MONTE CARLO SİMULASYONU VE KERNEL YOĞUNLUK TAHMİNLEME YÖNTEMLERİNİN BİRBİRLERİNE ENTEGRE EDİLMESİYLE ŞEV DURAYLILIĞINDA ETKİLİ KAYA KÜTLE PARAMETRESİNİN TESPİTİ

Görkem ERTUĞRUL

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Hakan AYKUL
Ortak Danışman: Prof. Dr. Alparslan TURANBOY

Ocak – 2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

"Görkem ERTUĞRUL tarafından hazırlanan " Monte Carlo Simulasyonu ve Kernel Yoğunluk Tahminleme Yöntemlerinin Birbirlerine Entegre Edilmesiyle Şev Duraylılığında Etkili Kaya Kütle Parametresinin Tespiti" adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

21/01/2020

Prof.Dr. Şahmurat ARIK _____
Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Prof. Dr. Ali UÇAR _____
Anabilim Dalı Başkanı, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Hakan AYKUL _____
Danışman, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Alparslan TURANBOY _____
Ortak Danışman, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. İhsan ÖZKAN _____
Maden Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Melih GENİŞ _____
Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan AYKUL _____
Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Veli UZ _____
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr.Öğr. Üyesi Necmettin ÇETİN _____
Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 2 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman Adı Soyadı	Öğrenci Adı Soyadı
Prof. Dr. Hakan AYKUL	**Görkem ERTUĞRUL**
İmzası	İmzası

Ortak Danışman Adı Soyasdı

Prof. Dr. Alparslan TURANBOY

İmzası

MONTE CARLO SİMULASYONU VE KERNEL YOĞUNLUK TAHMİNLEME YÖNTEMLERİNİN BİRBİRLERİNE ENTEGRE EDİLMESİYLE ŞEV DURAYLILIĞINDA ETKİLİ KAYA KÜTLE PARAMETRESİNİN TESPİTİ

Görkem Ertuğrul

Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, 2020

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan Aykul

Ortak Danışman: Prof. Dr. Alparslan Turanboy

ÖZET

Şev duraylılık analizinde birçok karar verici yöntemler temelinde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar genel olarak Limit Denge Analizleri ve Nümerik Analizler karar verici olarak kabul edilmekte ve şev duraylılık analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu karar verici yaklaşımlar, sınırlı sayıda veriyi kullnılmasından dolayı olasılıklı yaklaşımlar kadar detaylı sonuçlar üretememektedirler. Bu nedenle son yıllarda olasılıklı yaklaşımlar kullanılarak şev duraylılığının değerlendirilmesindeki yönelimler artmıştır. Bu çalışmada, açık işletme madenciliğinde oluşturulan geçici şevler ile yol ve baraj gibi Kaya mühendislik yapılarında bulunan kalıcı şevlerde süreksizliklerin geometrik özellikleri ve kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına olan etkileri olasılıklı sınıflama yapılarak incelenmiştir. İnsana, doğaya, makine ve ekipmana zarar verme potansiyeli yüksek olan şev kayma durumlarını analiz etmek için Monte Carlo Simülasyonu (MCS) yöntemi ile Kernel Yoğunluğu Tahminleme (KYT) yöntemleri entegre edilerek, geliştirilmiş yeni olasılıklı yaklaşım öne sürülmüştür. Bu çalışmanın amacı, geliştirilmiş bu yeni yaklaşımla şevin duraylılık durumunda olasılıklı sınıflandırmaya göre hangi kaya kütle parametrelerinin etkili olduğunu saptamaktır.

Tez çalışmasında, kısıtı olmayan, daha çok yorum yapabilme imkanı sağlayan ve ayrıntılı analizi mümkün kılan olasılık temelli bir yaklaşıma odaklanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, Konya-Afyon güzergahındaki Bozdağ bölgesinde bulunan şevlerinin analizi amacıyla yapılan TUBİTAK 3189327 nolu (Turanboy, 2019) TUBİTAK PROJESİ' deki çekme dayanımı, doğal kayaç yoğunluğu, sürtünme açısı, kohezyon, kuru kayaç yoğunluğu, nokta yük dayanımı, suya doygun kayaç yoğunluğu ve tek eksenli basma dayanımı verisi dikkate alınmıştır. TUBİTAK

3189327 nolu (Turanboy, 2019) proje kapsamında, sahada kireçtaşı içeren kaya kütlelerinde yerinde ölçümlerle, dikkate değer süreksizliklerin eğim ve eğim yönünün belirlenmesi amacıyla Tarama Hattı (Scan-line) kullanılarak tetkiklere göre elde edilmiş süreksizliklerin takımlara ayrılması amacıyla DIPS 6 programı kullanılmıştır. Sonra takımlara ayrılan süreksizliklerin eğim değerleri, eğim yönü değerleri ve kaya kütle parametrelerinin (çekme dayanımı, doğal kayaç yoğunluğu, sürtünme açısı, kohezyon, kuru kayaç yoğunluğu, nokta yük dayanımı ve suya doygun kayaç yoğunluğu) değerleri, en sık kullanılan tahminleme metodu olan MCS yöntemi kullanılarak temsili değerler SPSS 26 (IBM, 2019) programıyla türetilmiş ve şev duraylılığında etkili parametrelerin sınıflaması KYT ile yapılmıştır. Böylece, şev duraylılık analizi için MCS ve KYT temelli, kaya kütle parametreleri ile süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönlerinin etkileşimlerini olasılıklı yoğunluk fonksiyonları doğrultusunda dikkate alan yeni bir yaklaşımı geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu örneklenen sahada, şevin duraylılığında nokta yük dayanımının diğer kaya kütle parametrelerine göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Öne sürülen yaklaşım da kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına etkileri olasılıklı temelde niteliksel olarak sınıflamaları yapılmıştır. Bu sınıflamalarda, KYT ile kaya kütle parametrelerine ait küme ağları oluşturulmuş ve bu parametrelerin yoğunluklarının sayısal ve görsel sonuçları elde edilmiştir. Kinematik analizlere benzer şekilde kaya kütle parametreleri KYT' nin yoğunluk bölgelerinin şev duraylılığı analizlerinde ön tasarım verisi olabileceği öne sürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Şev duraylılığı, süreksizlikler, karar verici yaklaşımlar, olasılıklı yaklaşımlar.

DETERMINATION OF EFFECTIVE ROCK MASS PARAMETER IN SLOPE STABILITY BY INTEGRATING THE MONTE CARLO SIMULATION AND KERNEL DENSITY ESTIMATION METHODS

Görkem Ertuğrul

Mining Engineering, Doctoral Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Prof. Hakan Aykul

Thesis Co-Advisor: Prof. Dr. Alparslan Turanboy

SUMMARY

Various approaches have been developed on the basis of many decision-making methods in slope stability analysis. These approaches are generally accepted as decision makers in Limit Balance Analysis and Numerical Analysis and are widely used in slope stability analysis. However, these decision-making approaches cannot produce results as detailed as probabilistic approaches due to the limited number of data used. For this reason, trends in the assessment of slope stability using probabilistic approaches have increased in recent years. In this study, the geometric properties of discontinuities and the effects of rock mass parameters on slope stability in temporary slopes created in open pit mining and permanent slopes found in rock engineering structures such as roads and dams were investigated by probabilistic classification. A new probabilistic approach has been proposed by integrating the Monte Carlo Simulation (MCS) method and Kernel Density Estimation (KDE) methods to analyze slope slip conditions with high potential to harm humans, nature, machinery and equipment. The aim of this study is to determine which rock mass parameters are effective in the stability of the slope according to the probabilistic classification with this new approach.

The thesis focuses on a probability-based approach that has no constraints, allows more interpretation and enables detailed analysis. Within the scope of this thesis study, the tensile strength, natural rock density, friction angle, cohesion, dry rock density, point load strength, water saturation in the TUBITAK PROJECT numbered 3189327 (Turanboy, 2019), which was conducted to analyze the slopes in the Bozdağ region on the Konya-Afyon route. rock density and uniaxial compressive strength data were taken into account. Within the scope of the TUBİTAK

3189327 project (Turanboy, 2019), the DIPS 6 program was used to group the discontinuities obtained by using Scan-line in order to determine the slope and slope direction of the significant discontinuities with on-site measurements in rock masses containing limestone. Then, the slope values of the discontinuities divided into sets, the slope direction values and the values of the rock mass parameters (tensile strength, natural rock density, friction angle, cohesion, dry rock density, point load strength and water-saturated rock density) are the most frequently used estimation method, the MCS method. Using the representative values, the SPSS 26 (IBM, 2019) program has been derived and the classification of the parameters effective in slope stability is made with KDE. Thus, a new approach for slope stability analysis, based on MCS and KDE, which takes into account the interactions of rock mass parameters and dip and dip directions of discontinuity planes in line with probabilistic density functions has been developed. As a result of the studies, it has been determined that point load strength is more effective than other rock mass parameters in slope stability in the sampled area.

In the proposed approach, the effects of rock mass parameters on slope stability are qualitatively classified on a probabilistic basis. In these classifications, cluster networks of rock mass parameters were formed by using KDE and numerical and visual results of the densities of these parameters were obtained. Similar to the kinematic analysis, it has been suggested that the rock mass parameters may be preliminary design data in the slope stability analysis of the density regions of the KDE.

Keywords: Slope stability, discontinuities, deterministic approaches, probolistic approaches.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında başta maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşsiz ve değerli Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan danışmanım Sayın Prof. Dr. Alparslan TURANBOY' a teşşekkürü borç bilirim. Kritik değerlendirmelerini sunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Hakan AYKUL' a teşşekkür ederim. Çalışmalarımda, manevi ve motivasyon desteklerinden dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL'e, Sayın Öğr. Gör. Şükrü ACAR'a ve Sayın Prof Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ'a çok teşşekkür ederim.

Tezin düzenlenmesinde emeği geçen Sayın Ömer Selim YÜCE' ye, teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, Tez çalışmamı değerlendirip katkı koyan tüm tez jüri üyelerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v
SUMMARY vii
ŞEKİLLER DİZİNİ xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxii

1. GİRİŞ 1

2. ŞEV DURAYLILIĞININ İNCELENMESİNDE ÖNEMLİ VE ETKİN KAVRAMLAR 7
2.1. Kaya Malzemesi ve Kaya Kütlesi 7
2.2. Şev Duraylılık Tanımı ve Önemi 7
2.2.1. Şev duraylılığının terminolojisi 12
2.2.2. Şev duraylılığına etki eden faktörler 18

3. KAYA ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR 21
3.1. Deterministik (Karar Verici) Yaklaşımlar 21
3.1.1. Klasik yöntemler (Conventional methods) 21
3.1.2. Sayısal yöntemler (Numerical methods) 22
3.1.3. Gerilim azaltma teknikleri 25
3.2. Olasılıklı (Probolistik) Yaklaşımlar 25
3.2.1. Monte Carlo simülasyonu (Monte Carlo Simulation) (MCS) yöntemi 28
3.2.2. Birinci Derece Güvenilirlik yöntemi (First Order Reliability Method) (BDGY) 30
3.2.3. Birinci Derece İkinci Moment yöntemi (First Order Second Method) (BDİMY) 30
3.2.4. Gaussian prosesi yöntemi (Gaussian Process Method) (GPY) 31
3.2.5. Sıralı bileşik yöntemi (Sequential Compounding Method) (SBY) 31
3.2.6. Örnekleme yöntemi (Sampling Method) (ÖY) 32
3.2.7. Yapay sinir ağları (Artificial Neural Network) (YSA) 32
3.2.8. Taylor yöntemi (Taylor Method) (TY) 32
3.2.9. Nokta tahminleme yöntemi (Point Estimate Method) (NTY) 33
3.2.10. Markov zinciri (Markov Chain) yöntemi (MZY) 33
3.2.11. Şev duraylılık olasılık sınıflaması (Slope Stability Probabilistic Classification) yöntemi (ŞDOSY) 33
3.2.12. Ağırlıklı artık tekniği (Weighted Residual Technique) (AAT) 33

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.13. BKY (Temel Kalite Yöntemi) (Basic Quality Method) ve $K_{şev}$ Sistemi (Q_{slope} System) 34
3.2.14. Kernel yoğunluğu tahminleme (Kernel Density Estimation) yöntemi (KYT) 34
3.3. Kaya Şev Duraylılığı Konusunda Yapılan Literatür Araştırması 40

4. GELİŞTİRİLEN MODEL ve ANALİZLERDE KULLANILAN METARYAL ve YÖNTEM 47

5. İNCELENEN ŞEVİN KİNEMATİK ANALİZİ VE KAYA KÜTLE SINIFLAMA UYGULAMALARI 50
5.1. Kaya Şev Duraylılığının Stereonet İzdüşüm Analizi 50
5.1.1. Süreksizlik düzlemlerinin takımlara ayrılması 55
5.2. Şev Duraylılığı Analizinde Kullanılan Jeoteknik Veri 57
5.3. Şev Duraylılığının Kinematik Analizi 57
5.4. Kaya Kütle Sınıflama Uygulamaları 63

6. TEZ ÇALIŞMASINDAKİ ÖNERİLEN YÖNTEMİN TANIMLANMASI 66

7. KAYA ŞEV DURAYLILIĞINA ETKİLİ PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 67
7.1. Şev Duraylılığına Etki Eden Parametrelerin Geliştirilen Yaklaşımlarla Değerlendirilmesi 73
7.1.1. 1B KYT yöntemleri ile parametrelerin analizleri 73
7.1.2. 2B AKYT ile parametrelerin analizleri 82
7.1.3. Şev duraylılığına etkisi olan ϕ' nin incelenmesi 104
7.2. Gerekli İterasyon Sayısı 110
7.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 114

8. SONUÇLAR 119
9. GELECEK ÇALIŞMALAR VE ÖNERİLER 123

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

KAYNAKLAR DİZİNİ 124

EKLER

Ek 1. Çekme Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 2. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 3. Sürtünme Açısı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 4. Kohezyon ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 5. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 6. Nokta Yük Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 7. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 8. Çekme Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 9. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 10. Sürtünme Açısı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 11. Kohezyon ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 12. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 13. Nokta Yük Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

İÇİNDEKİLER (devam)

Ek 14. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 15. Çekme Dayanımı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 16. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 17. Sürtünme Açısı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 18. Kohezyon ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 19. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 20. Nokta Yük Dayanımı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 21. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 22. Çekme Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü Ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 23. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 24. Sürtünme Açısı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 25. Kohezyon ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 26. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 27. Nokta Yük Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

İÇİNDEKİLER (devam)

Ek 28. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B Yoğunluk Analizi

Ek 29. Çekme Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 30. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 31. Sürtünme Açısı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 32. Kohezyon ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 33. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 34. Nokta Yük Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 35. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu İle Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

Ek 36. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 37. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 38. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 39. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

İÇİNDEKİLER (devam)

Ek 40. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 41. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 42. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 43. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 44. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 45. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 46. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 47. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 48. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 49. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 50. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

İÇİNDEKİLER (devam)

Ek 51. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 52. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 53. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 54. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 55. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

Ek 56. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Kaya kütlesinin süreksizlik etkisi altındaki durumu 7
2.2. Mohr Zarfı üzerinde τ, c, σ ve ϕ ilişkisi 13
2.3. Açık işletme basamağının yan kesit profili 15
2.4. Eğik bir düzlem üzerinde kaya kütlesini etkileyen kuvvetler 18
2.5. Su basıncının kaya kütlesinin hareketine etkisi.....19
2.6. Şev duraylılığında şev yüksekliği ve açısı arasındaki ilişki 20
3.1. Normal Dağılım grafiğinin özelliği.....27
3.2. MCS yönteminin genel akım şeması.....29
4.1. Tez çalışmasının akım şeması 48
4.2. Örneklenen sahanın Google Earth görüntüsü.....49
4.3. Çalışma sahası 49
5.1. 1B-Şerit metre ölçümü ile örneklenen 125 m'lik şev 53
5.2. Süreksizlik takımlarının bulunması.....55
5.3. Minimum ϕ değerinde kama tipi kaymanın kinematik analizi.....58
5.4. Maksimum ϕ değerinde kama tipi kaymanın kinematik analizi 59
5.5. Minimum ϕ değerinde düzlemsel kaymanın kinematik analizi 59
5.6. Maksimum ϕ değerinde düzlemsel kaymanın kinematik analizi 60
5.7. Minimum ϕ değerinde devrilmenin kinematik analizi 60
5.8. Maksimum ϕ değerinde devrilmenin kinematik analizi.....61
5.9. ϕ değerlerine göre Kama Tipi Kayma duraysızlık sayıları 62
5.10. ϕ değerlerine göre Düzlemsel Kayma duraysızlık sayıları.....62
5.11. ϕ değerlerine göre Devrilme duraysızlık sayıları 63
7.1. Birinci süreksizlik takımının eğiminin Lognormal dağılımı.....68
7.2. Birinci süreksizlik takımının eğim yönünün Weibull dağılımı.....68
7.3. İkinci süreksizlik takımının eğiminin Lognormal dağılımı.....69
7.4. İkinci süreksizlik takımının eğim yönünün Weibull dağılımı.....69
7.5. Üçüncü süreksizlik takımının eğiminin Normal dağılımı 69
7.6. Üçüncü süreksizlik takımının eğim yönünün Üstel dağılımı 70
7.7. ϕ değerlerinin Normal dağılımı 70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

7.8. Is(50) değerlerinin Normal dağılımı 70
7.9. ρ_{DKY} değerlerinin Üçgensel dağılımı 71
7.10. c değerlerinin Lognormal dağılımı 71
7.11. ρ_S değerlerinin Lognormal dağılımı 72
7.12. ρ_{KKY} değerlerinin Lognormal dağılımı 72
7.13. ÇD değerlerinin Normal dağılımı 73
7.14. Birinci süreksizlik takımı eğimlerin tek boyutlu KYT grafiği 74
7.15. Birinci süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği 74
7.16. İkinci süreksizlik takımı eğimlerinin tek boyutlu KYT grafiği 75
7.17. İkinci süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği 75
7.18. Üçüncü süreksizlik takımı eğimlerinin tek boyutlu KYT grafiği 76
7.19. Üçüncü süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği 76
7.20. ÇD değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 77
7.21. ϕ değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 77
7.22. ρ_{DKY} değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 78
7.23. c değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 78
7.24. ρ_{KKY} değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 79
7.25. Is(50) değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 79
7.26. ρ_S değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği 80
7.27. Birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi 84
7.28. İkinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi 85
7.29. Üçüncü süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi 86
7.30. ÇD ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 87
7.31. ρ_{DKY} ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 88
7.32. ϕ ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 89
7.33. c ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

7.34. ρ_{KKY} ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 90
7.35. Is(50) ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 91
7.36. ρ_S ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre 91
7.37. Kaya kütle parametrelerinin eğim/eğim yönü oranına göre birikimli KYT yoğunluk grafiği 103
7.38. Kaya kütle parametrelerinin eğim yönü/eğim oranına göre birikimli KYT yoğunluk grafiği 104
7.39. Birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği ...105
7.40. ϕ, birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği 105
7.41. Birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği ...106
7.42. İkinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği.....106
7.43. ϕ, ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği 107
7.44. ϕ, ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin 3B OYF grafiği 107
7.45. Üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği..108
7.46. ϕ, üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği 108
7.47. ϕ, üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin 3B OYF grafiği 109
7.48. ÇD' nin gerekli iterasyon sayısı 111
7.49. ρ_{DKY}' nin gerekli iterasyon sayısı 111
7.50. ϕ' nin gerekli iterasyon sayısı 112
7.51. c' nin gerekli iterasyon sayısı 112
7.52. ρ_{KKY}' nin gerekli iterasyon sayısı 113
7.53. Is(50)' nin gerekli iterasyon sayısı 113
7.54. ρ_S' nin gerekli iterasyon sayısı 114

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. F' in emniyet sınırları....8
2.2. Kaya kütlesinde bulunan şev kayma türlerinin yapısı ve oluşması için gerekli kinematik koşullar....17
3.1. SGİ ile ŞKOİ'nin arasındaki ilişki....28
3.2. KYT'nin sınırları....36
3.3. Genelleştirilmiş KYT'nin sınırları....36
3.4. Ençok kullanılan KYT fonksiyonları....37
5.1. Tarama Hattı ile ölçülen süreksizlik düzlemleri....54
5.2. Süreksizlik takımlarının eğim ve eğim yönleri....56
5.3. Kaya mekaniği çalışmalarından elde edilen deneysel sonuçlar....57
5.4. SK-1' e ait kaya kütle sınıflama değerleri....64
5.5. SK-2' ye ait kaya kütle sınıflama değerleri....64
5.6. SK-3' e ait kaya kütle sınıflama değerleri....64
7.1. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönleri....84
7.2. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ikinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönleri....85
7.3. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımı eğimleri....88
7.4. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ÇD ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri....92
7.5. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri....92
7.6. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımı eğim yönleri....93
7.7. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu c ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri....93
7.8. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri....94
7.9. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ρ_{KKY} ve üçüncü süreksizlik takımı eğim yönleri....95
7.10. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri....95
7.11. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri....95
7.12. 2B AKYT analizleriyle elde edilen kaya kütle parametrelerinin etkin KYT yoğunlukları....96
7.13. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ÇD ve birinci süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları....97

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

7.14. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları 98
7.15. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları 101
7.16. Manipüle edilmiş 2B AKYT analizleriyle elde edilen kaya kütle parametrelerinin etkin KYT yoğunlukları 102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
wi	Ağırlıklandırılmış Data Verisi
AAT	Ağırlıklı Artık Tekniği
AKYT	Ağırlıklı Kernel Yoğunluğu Tahminleme
AEY	Ayrık Elemanlar Yöntemi
h	Bant Genişliği
bd	Belirsiz Değişkenler
bdi	Belirsiz Değişkenlerin i'inci değeri
p	Belirsiz Değişkenlerin Korelasyon Katsayısı
μ	Belirsiz Değişkenlerin Ortalama Vektörü
SV	Belirsiz Değişkenlerin Standart Sapma Vektörü
x_i	Bir' den i' inci değere kadar rastgele x değerleri
x_j	Bir' den j' inci değere kadar rastgele x değerleri
BDGY	Birinci Derece Güvenilirlik Yöntemi
U	Boşluk Suyu Basıncı
ÇD	Çekme Dayanımı
ψ	Dilatasyon Açısı
M	Direkt Makaslama Dayanımı
ρ_{DKY}	Doğal Kayaç Yoğunluğu
UCS	Dolaylı Çekme (Brazilian) Deneyi
E_i	Elastisite Modülü
GPY	Gaussian Prosesi Yöntemi
2B	İki Boyutlu
Y	İkinci Boyut Değişken Göstergesi
Y_i	İkinci Boyut Nokta Değerleri
W	Kaya Bloğunun Ağırlığı
RQD	Kaya Kalite Göstergesi
RMR	Kaya Kütle Puanı
A	Kaya Kütlesinin Taban Alanı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
θ	Kaya Kütlesi Düzleminin Yatay Düzlemle Yaptığı Açı
ρ	Kayaç Yoğunluğu
Ωf	Kayma Alanı
τ	Kayma Gerilmesi
R	Kaymaya Karşı Olan Kuvvet Vektörü
F_S	Kaymaya Karşı Olan Kuvvetler
f_r	Kaymaya Karşı Olan Kuvvetlerin Ortalaması
SS_r	Kaymaya Karşı Olan Kuvvetlerin Standart Sapması
M_S	Kaymaya Karşı Olan Momentler
F_K	Kaymaya Neden Olan Kuvvetler
f_d	Kaymaya Neden Olan Kuvvetlerin Ortalaması
SS_d	Kaymaya Neden Olan Kuvvetlerin Standart Sapması
M_K	Kaymaya Neden Olan Momentler
KYT	Kernel Yoğunluğu Tahminleme
K	Kernel Yoğunluk Değişkeni
K()	Kernel Yoğunluk Fonksiyonu
c	Kohezyon
ρ_{KKY}	Kuru Kayaç Yoğunluğu
LHÖ	Latin Hiperküp Örnekleme
LDA	Limit Denge Analizleri
b	Maksimum İntegral Değişkeni
MZY	Markov Zinciri Yöntemi
MPa	Megapascal
MX	Miktar Değişkeni
a	Minimum İntegral Değişkeni
MCS	Monte Carlo Simülasyonu
M-P	Morgenstern-Price
NTY	Nokta Tahminleme Yöntemi
Is(50)	Nokta Yük Dayanımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
σ	Normal Gerilme
P()	Olasılık Fonksiyonu
OYF	Olasılıklı Yoğunluk Fonksiyonu
(xi, yi)	Örnekleme Noktasının Koordinatları
ÖY	Örnekleme Yöntemi
ν	Poisson Oranı
σ_i	Rastgele 1' den i'inci Değişkenlerin Standart Sapması
σ_j	Rastgele 1' den j' inci Değişkenlerin Standart Sapması
SBY	Sıralı Bileşik Yöntemi
FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi
SS	Standart Sapma
ρ_S	Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu
ψ_p	Süreksizliğin Eğim Açısı
α_p	Süreksizliğin Eğim Yönü
α_i	Süreksizlik Düzlemlerinin Kesişme Hattının Azimutu
ψ_i	Süreksizliklerin Kesişme Hattının Eğim Açısı
ϕ	Sürtünme Açısı
ψ_f	Şev Açısı
ŞDOSY	Şev Duraylılık Olasılık Sınıflaması Yöntemi
SGİ	Şev Güvenilirlik İndeksi
F	Şev Güvenlik Katsayısı
μ_F	Şev Güvenlik Katsayısı Değerlerinin Ortaması
σ_F	Şev Güvenlik Katsayısı Değerlerinin Standart Sapması
ŞKOİ	Şev Kayma Olasılığı İndeksi
H	Şev Yüksekliği
α_f	Şevin Eğim Yönü
T	Tabaka Kalınlığı
(x, y)	Tahmini Grid Hücresi Değişkenlerini

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
TY	Taylor Yöntemi
X	Tek Boyut Değişken Göstergesi
X_i	Tek Boyut Nokta Değerleri
u	Tek Değişken
K(u)	Tek değişkenli KYT Fonksiyonu
BKY	Temel Kalite Yöntemi
V	Toplam Su Hacmi
3B	Üç Boyutlu
x	Veri Değerleri
x_{ort}	Veri Ortalaması
n	Veri Sayısı
h_x	x_i Değerlerinin Bant Genişliği
$(\partial g)/(\partial x_i)$	x_i Değerlerinin Kısmı Türevi
p_{ij}	x_i ve x_j Arasındaki Korelasyon Katsayısı
$(\partial g)/(\partial x_j)$	x_j Değerlerinin Kısmı Türevi
$\Phi(z)$	x_{ort} Değeri "0" ve SS değeri "1" Olan Dağılım Fonksiyonu
YSA	Yapay Sinir Ağları
h_y	y_i Değerlerinin Bant Genişliği
f(x)	Yoğunluk Fonksiyonu
f(x,y)	Yoğunluk Katsayısı

1. GİRİŞ

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren temel sektör olmuştur. Günümüzde, sanayinin enerji ve hammadde ihtiyaçlarının büyük bir çoğunluğunu karşılayan madencilik sektörü ülkelerin ekonomik gücünü de temsil etmektedir. Diğer taraftan, ülkemizin maden çeşitliliği ve miktarı bakımından birçok ülkeye kıyasla daha şanslıdır. Fakat ülkemizde madencilik faaliyetlerini yürüten çoğu işletme, çevre, topografik ve jeolojik faktörler ile teknolojik ve finansal yetersizlik nedeniyle, rezervlerin yerkabuğundan kazanılması verimli yürütememektedir. Madencilik sektöründe sürdürülebilir ve emniyetli teknik alt yapının oluşturulması da gerekmektedir. Ülkemiz, dünyada sadece madencilikte değil tüm sektörlerde iş kazalarında ön sıralarda yer almaktadır. Teknik altyapının geleceğe dönük ve çözümleme odaklı olması şarttır.

Madencilikte teknolojik ilerleme ile teknik alt yapı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Teknik alt yapı çekirdeğini ileri çalışma planlamaları oluşturmaktadır. İleri çalışma planlamaları, çevreye duyarlılık, iş emniyeti konularına eksiksiz uyulmasıyla yerine getirilmesi gereken faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler daha düşük maliyet ve daha yüksek üretim kapasitesinin oluşmasını sağlamakta ve işletmelerin büyümesine katkı vermektedir. Açık işletme madenciliğinde ileriye dönük çalışma planlamalarının kurulması şev duraylılık analizleri konusuyla doğrudan bağlantılıdır. Şevin duraylı ve duraysız bölgelerinin tespitiyle bu bölgelerin durumlarının bilinmesi, madencilik faaliyetlerinin emniyetli şekilde devam etmesini sağlayacaktır.

Açık işletme madenciliğinin temel amacı cevherin yer kabuğundan çıkarılması işlemidir. Bunu gerçekleştirmek için de ilk yapılması gereken, cevher üzerinde bulunan örtü tabakasının kaldırılmasıdır. Bu amaçla, basamaklar oluşturulmakta ve şev üzerinden kazı işlemi gerçekleştirilmektedir. Yeraltı kaynaklarının sığ derinliklerde zamanla azalmasıyla ve artan hammadede ihtiyacı nedeniyle, açık işletme çukurlarının derinliği artmaka ve şev boyutları daha büyük geometrik boyutlar da planlanmaktadır. Fakat Bu ihtiyaç, büyük ölçekli kazıları açığa çıkaran üçüncül gerilmeler nedeniyle artan makaslama gerilmesinin etkileri ve dolayısıyla kaya kütlelerinin kontrol zorluğuna neden olmaktadır.

Kaya şevlerinde bulunan süreksizliklerin mevcudiyeti duraysızlığın en önemli nedenidir. Ayrıca iklim şartları (aşırı yağış ve sıcaklık farkları gibi), yerçekimi kuvveti ve şev üzerindeki hareketlilikler (kazı ve nakliye gibi) artırmaktadır. Böylece ya şev eğimlerinin düşülmesi ya da

tahkimat sistemlerinin ve drenaj sistemlerinin tasarımına yönelik şev duraylılık analizlerini zorunlu kılmaktadır. Bu analizlerde yapılacak hata ve yetersizlikler sonucu, şev kaymaları meydana gelmektedir. Şev kayması, kısa sürede meydana geldiği için, müdahale edilmesi mümkün olmamakta, insan hayatına, doğaya ve insan yapılarına tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, şev duraylılığının sağlanmasına yönelik faaliyetlerin hem maden, hem de inşaat çalışmalarının güvenli ve sürdürülebilir planlamaları gibi konulara hayati katkıları bulunmaktadır (Hoek ve Bray 1981; Köse vd., 2009; Wyllie ve Mah; 2014).

Şev duraylılığı konusu, inşaat, jeoloji ve maden bilim dallarının ortak konusu olup, çokludisiplin yapıya sahiptir. Yirminci yüzyılın başlarından itibaren titizlikle ve disiplinli bir şekilde incelenmeye başlayan bu konuya ilişkin, araştırmacılar tarafından fizik bilim dalının yerçekimi kanunları ve matematik bilim dalının da trigonometrik ve analitik geometrik konuları temel alınarak çeşitli yöntemler ortaya konmuştur. Ortaya çıkan bu yöntemler, özgün çözümleme, değerlendirme ve yorumlama yapılarında olmasına karşın, farklı yollardan benzer sonuçları ortaya koymaktadır. Bu yöntemlerde beklentiler, şev güvenliği ve çalışmanın devamlılığını sağlayacak, kontrol edilebilir en uygun şev geometrik parametrelerine (şev açısı, yüksekliği ve genişliğine) ulaşma yönündedir (Hoek ve Bray 1981; Wyllie ve Mah; 2014).

Kayma olasılığı yüksek şevlerde, şev duraylılık analizlerinden elde edilen sonuçlara göre önlem alınmaması nedeniyle kaymalar meydana gelmekte ve geri dönülmesi imkânsız sonuçlar ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Duraylı olmayan şevlerde meydana gelen kaymalar sonucu çok büyük hacimlerde kaya malzemesi bir anda hareket ederek, ciddi boyutta iş ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Günümüze kadar gerek açık maden ocaklarında gerekse çeşitli mühendislik kazıları sonucu oluşturulmuş açıklıklarda, büyük şev kaymaları meydana geldiği gözlenmiş ve çoğu zaman kaymaların hareket alanında bulunan insan hayatına, doğal hayata ve yerleşim birimlerine çok ciddi hasarlar verdiği görülmüştür. Günümüze kadar yapılan çalışmaların deneyimiyle, şev tasarım planlamaları doğrultusunda herhangi bir maden işletilmeye alınmadan ve inşaat yapılarıyla ilgili kazıların planlama aşamasında, arazi çalışmaları, gözlemleri, laboratuvar analizleri ve modellemeleri çalışmalarına dayalı şev duraylılık analizlerinin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Şev duraylılık analizleri sayesinde kazılarla oluşturulacak şev yüzeylerinde meydana gelecek duraylılık sorunları en aza indirilerek, çalışma veriminin artması sağlanacak, ekonomik zararların ve can kayıplarınının önüne geçilebilecektir. Dünyada, işletilen büyük maden ocaklarında ve büyük mühendislik çalışmalarında şev duraylılık analizleri, çeşitli yöntemlerle ve genelde bilgisayar yazılımları kullanımıyla sürekli bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Bu yazılımlar sayesinde gerçekleştirilen şev duraylılık analiz

çalışmalarının avantajları bulunmaktadır. (Hoek ve Bray 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah; 2014; Cao vd., 2017) Bunlar;

- Çok sayıda veri aynı anda değerlendirilmekte,
- Çeşitli yaklaşım yöntemleriyle şev duraylılık analizlerinin yapılmasını mümkün kılmakta,
- Şev duraylılık analizlerinden elde edilen sonuçların hata payı çok düşük olmakta,
- Anında model çıktılarla duraylılığın geometrisinden kaynaklı etkinin sebep olacağı hasarın büyüklüğü kısa zamanda tespit edilmekte ve
- Şevlerde duraylılık değişimleri anlık gözlenmektedir.

Kazı bölgelerinde kayma düzlemlerinin mevcudiyeti duraysızlığa neden olmaktadır. Duraysızlık probleminin çözümünde örtü-kazı çalışmaları sırasında oluşturulan geçici ve kalıcı şevlerde yerinde gözlem ve ölçümler ile elde edilen parametrelere ait bilgiler anahtar rolü üstlenmiştir. Şev duraylılık çalışmaları kapsamında, araştırmacılar aşağıda maddeler halinde verilen ve problemin çözümünde etkili olan parametrelerin tespit edilmesine, ölçülmesine, hesaplanmasına ve incelenmesine yoğunlaşırlar (Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014) Kaya malzemesi, kaya kütlesi ve şevin geometrik parametreleri genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Kayaç yoğunluğu (ρ),
- Sürtünme açısı (ϕ),
- Şev açısı (ψ_f),
- Şev yüksekliği (H),
- Süreksizliklerin geometrik özellikleri (sayısı, doğrultusu, eğimi, uzunluğu),
- Suya doygun kayaç yoğunluğu (ρ_S),
- Dilatasyon açısı (ψ),
- Elastisite modülü (E_i) ve
- Poisson oranı (ν) şeklindedir.

Şev duraylılık analizini sağlanmasına yönelik ihtiyaç duyulan tüm verilerin elde edilmesinden sonra, şevlerin emniyet sınırlarında kalması için karar verici (deterministik) ve/veya olasılıklı (probolistik) yaklaşımlarla analizler yapılmaktadır. Şevlerde duraylılığın ölçütü,

deterministik yaklaşım yöntemlerinde Şev Güvenlik Katsayısı (F) elde edilirken, olasılıklı yaklaşım yöntemlerinde ise ölçüm amacına bağlı Şev Kayma Olasılığı İndeksi (ŞKOİ) veya Şev Güvenilirlik İndeksi (ŞGİ) ile isimlendirilen olasılık fonksiyonları kullanılarak simülasyon modelinin çıktıları elde edilmektedir. F değeri, boyutsuz (birimsiz), bir yapıya sahip olmakta, temelde kaya kütlesinin ağırlığı nedeniyle açığa çıkan kaymaya sebep olan kuvvetler ile sürtünme kuvvetini dikkate alan fonksiyon olarak hesaplanmaktadır. En temel yaklaşımla, F değerinin 1' den büyük olması şev güvenliğini sağlamaktadır. Ancak, geçici şevlerin (açık işletme basamakları gibi) kendi kendini tutabilmesi için F değerinin minimum 1,3' den büyük olması, kalıcı şevlerde ise, bu değerin 1,5' ten (yol şevleri ve barajlar gibi) büyük olması gerekmektedir. Olasılıklı yaklaşımlarda ise, elde edilen indeks değerleride de birimsizdir. Şevde, duraylı veya duraysız olma sınıflaması yapılmaktadır (Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014).

Deterministik ve olasılıklı yaklaşım yöntemleriyle yapılan analizlerde, şevlerin duraylı olup olamayacağı öngörülebilir. Şev duraylılık anlizlerinde yaklaşım yöntemlerinin seçimine karar verirken, depremsellik, süreksizliklerin birbirlerine ve şev yüzeyine göre konumları, yeraltı suyu durumu ve şev yapılarında bulunan kayaların jeoteknik özelliklerinin verilerine bakılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda, şev kaymasının olasılığı ve şev kayma türünün tahmininde bulunularak, uygun yöntem(ler) kullanılarak şev duraylılığı için gerekli sonuçlara ulaşılır (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014).

Tez çalışmasında, şev ayrıntılı şekilde hangi kaya kütle parametre(leri) ile süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönlerine göre etkinlik sınıflaması, olasılıklı yaklaşımlarla tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar TUBİTAK 3189227 (2019) Nolu proje(Turanboy, 2019) kapsamında gerçekleştirilen saha ve kaya mekaniği labaratuvar sonuçlarına göre hazırlanan rapora ait veri ve sonuçlarından faydalanılmıştır. Tez çalışmasının adımları şu şekilde sıralanabilir;

- Streonet İzdüşüm yöntemi kullanılarak süreksizlik takımlarına ayrılmıştır. Bu amaçla tespit edilen 126 süreksizlik DIPS 6 (ROCKSCIENCE, 2012) programı kullanılarak analiz edilmiştir.
- TUBİTAK 3189327 nolu (Turanboy, 2019) projede ki süreksizlik takımlarının eğimleri, eğim yönleri ve laboratuvar testlerinden elde edilen kaya parametrelerinin sayısal verisini MCS kullanılarak analiz yapmak için, bu verinin hangi istatistiksel dağılıma yakın olduğu bulunmuştur. Bu dağılımlara göre, MCS analizleri yapılmış ve sayısal değerler türetilmştir.

- MCS ile türetilen sayısal değerler, tek boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) KYT yöntemlerine kullanılarak analiz edilmiştir. KYT' leri klasik yoğunluk fonksiyonlarına göre daha kesin ve tutarlı sonuçlar verdiği için kullanılmıştır.
- Sürtünme açısının süreksizlik eğim ve eğim yönlerine göre üç boyutlu ve kontur olasılıklı yoğunluk grafikleri çıkarılmıştır.
- MCS' nda gerekli iterasyon sayısı tespit edilmiştir.
- Öne sürülen yöntem kullanılarak örnek sahadan elde edilen sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Süreksizlik düzlemlerinin eğim, eğim yönleri ve elde edilen kaya kütle parametreleri, üzerinde geliştirilen olasılıklı yaklaşım kullanılarak, çoklu şev duraylılık analizleri yapılmıştır. Bu yaklaşımda, her bir parametrenin ölçüm sınırları içerisinde gerçek ihtimalleri değerlendirilmiştir. Kaya kütle parametreleri süreksizlik düzlemleriyle ilişkili şekilde ele alınarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Şevde kaymayı tetikleyebilecek kaya kütle parametreleri ile süreksizlik düzlemlerinin eğimleri ve eğim yönleri ilişkilendirilmiştir. Olasılıklı yoğunluk tahminleme analizleri yardımıyla, her bir kaya kütle parametresinin verileri kıyaslanmıştır. Böylece, hangi parametrenin şev duraylılığına ne şekilde etkin olacağı hakkında karakterizasyon ortaya çıkarılmıştır. Yoğunluk tahminlemelerinde, kaya kütle parametrelerinin (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, $I_{S(50)}$ ve ρ_S) maksimum yoğunluk değerleri dikkate alınmış ve buna göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Tez çalışması aşağıda verilen üç ana başlığı içermektedir;

- Şev duraylılığınında önemli ve etkin kavramların açıklanması,
- Şev duraylılık analizlerinde kullanılan temel yaklaşımlar,
- Geliştirilen yöntem, bu yöntemin uygulaması ve sonuçların değerlendirilmesi olarak sıralanabilir.

Kaya şev duraylılık analizlerinde, genel olarak kabul edilmiş analizler şu şekilde sunulmaktadır (Eberhardt, 2003; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014);

- Klasik yöntemler (Conventional method): Kinematik analiz (Kinematic analysis) ve Limit denge analizleri (Limit equilibrium analysis).

- Sayısal yöntemler (Numerical methods): Sürekli yaklaşımlar (Continuum approach), Süreksiz yaklaşımlar (Discontinuum approach) Ayrık Elemanlar yöntemi (Distinct Element method), Süreksizlik Deformasyon analizi (Discontinuous Deformation analysis)) ve Melez yaklaşımlar (Hybrid approach).

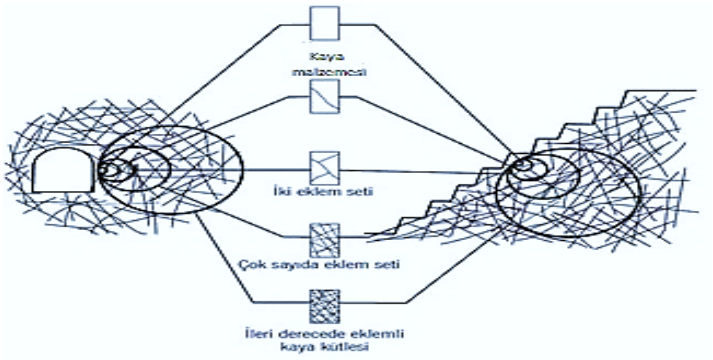
2. ŞEV DURAYLILIĞININ İNCELENMESİNDE ÖNEMLİ VE ETKİN KAVRAMLAR

Bu bölümde, şev duraylılığında kullanılan tüm geometrik, jeomekanik ve kayma türleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

2.1. Kaya Malzemesi ve Kaya Kütlesi

Süreksizlikler çerçevesinde bozulmamış kaya anlamına gelen kaya malzemesi (Intact rock), herhangi bir süreksizlik tarafından kesilmeyen kaya bloğudur (Hoek ve Bray, 1981; Hoek, 1994).

Kaya kütlesi (Rock mass) süreksizlik düzlemleri ile kaya malzemesinin birlikte oluşturdukları kütledir. Kaya kütleleri geçirdiği jeolojik süreçler ve tektonik aktiviteler nedeniyle daima homojen ve izotrop malzemeler değildir. Kaya kütlesi, süreksizlikler tarafından kesilmektedir. Bu nedenle dış yüklere maruz kalabilen kaya kütlelerinin davranışı, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan analizi yapılamamaktadır (Hoek ve Bray; 1981; Hoek, 1994). Şekil 2.1'de kaya kütlesinde açılan boşluğun ve süreksizliklerin etkisi ölçek değişim temelinde gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kaya kütlesinin süreksizlik etkisi altındaki durumu (Hoek, 1994'den)

2.2. Şev Duraylılık Tanımı ve Önemi

Kaya ve zemin kazıları sırasında ve sonrasında ortaya çıkan açıklıklar nedeniyle kaya kütle yapısında, yerçekimi kuvveti ve kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinin (yoğunluk, su

basıncı, ayrışma derecesi ve kristal yapısı gibi) etkileriyle üçüncül gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Üçüncül gerilmeler nedeniyle makaslama gerilmesinde ani değişimler meydana gelebilmektedir. Şevin kendi ağırlığı nedeniyle meydana gelen kaydırıcı faktörlere zıt olarak şevin ayakta kalmasına "şev duraylılığı" denilmektedir. Şevin duraylı olup olmadığı genellikle Şev Güvenlik Katsayısı (F) ile tanımlanmaktadır. Bu değer belli sınırlarda güvenli koşulları vermektedir (Terzaghi ve Peck 1967; The Canadian Geotechnical Society, 1992) (Çizelge 2.1). Kısaca şev duraylılığı: Kayan kütlenin sınırları boyunca gelişen bir makaslama gerilmesine bağlı olarak şevi oluşturan malzemenin aşağı yöndeki hareketinin alınacak mühendislik tedbirleriyle önlenmesidir (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014). Ayrıca, Temel mühendisliğinde, F değerinin 2' den büyük olması depreme karşı binanın korunmasını sağlamakta ve boşluk suyu basıncının binaya etkisi ihmal edilebilir seviyededir. (The Canadian Geotechnical Society, 1992; Day, 2012).

Çizelge 2.1. F' in emniyet sınırları (Terzaghi ve Peck 1967; The Canadian Geotechnical Society, 1992'den)

Çalışma Türü	Güvenlik Faktörü
Yer kazıları (Madencilik)	1.3–1.5
Toprak istinat yapısı, kazılar (Yol ve Baraj)	1.5–2.0
Temel Mühendisliği (Yerleşim Birimlerinde Bina İnşaatı)	2.0–3.0

Süreksizlik, kaya kütlesi içindeki yapısal elemanlardır. Mekanik açıdan birer zayıflık olarak görülen süreksizlikler, düzlemsel ve katı model şekilde olabilmektedir. Faylar, eklemler, tabakalanma ve foliasyon düzlemleri örnek olarak verilebilir. Süreksizliklerin sayısının fazlalığı ve süreksizliklerin göze çarpan bir devamlılığı olması halinde, şevin açısı ve yüksekliği duraylılık sağlanması yönünde uygun olsa bile şevler duraysız olabilmektedir. Eğer şevlerde bunun tersi olarak süreksizlikler sık ve belirgin değilse daha emniyetli olmaktadır (Hoek ve Bray 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah; 2014; Cao vd., 2017).

Kazı mühendisliğinin faaliyetleri arasında açık işletme basamaklarının oluştururulması, kara yolları, demir yolları, enerji santralleri, su gereksinimi için yapılan barajlar, endüstriyel ve kentsel gelişim gibi yapıların inşa edildiği zemin ve kaya özelliklerinin incelenmesi çalışmaları yer almaktadır. Bu çalışmalar kapsamında kaya kütlelerinin tasarımı, bu tasarıma uyumlu kazı yapılması ve şev duraylılığın sağlanması İş Sağlığı ve Güvenliği bakımından önemlidir. Kaya kütlesi içerisindeki süreksizliklerin etkisinin fazla olduğu, zayıf ve yıpranmış kaya kütlesinin jeoteknik özellikleri ile sahanın jeolojik koşulları arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Örneğin granit bir kaya bloğu, genelde homojen bir yapıya sahip olur ve granit kaya bloğunun

dayanımı yüksek olduğu için süreksizliklere nadir rastlanmaktadır. Bu kaya bloğundan oluşan şevler genel olarak duraylıdır. Buna karşın bir kil kütlesinin dayanımının düşük olması ve aşırı derecede ayrışmış olması nedeniyle süreksizlik takımları sık ve belirgindir. Bu nedenle içerisinde açılacak mühendislik kazı boşlukları duraysızdır (Hoek and Bray, 1981; Kliche, 1999; Wyllie ve Mah, 2014).

Kaya kütlelerinin değişken doğal yapısı nedeniyle sabit kaya şevlerinin tasarımı, ayrıntılı analizler gerektirir. Ayrıca zemin mekaniği, kaya mekaniği, yapısal jeoloji ve hidrojeolojinin doğru kullanımı kadar geçmişteki çalışmalardan elde edilen deneyimlerde önemlidir. Günümüzde birçok bilgisayar araçları, şev tasarım mühendisleri için kullanıma açıktır. Fakat bu bilgisayar araçlarının kullanılmaya başlanmadan önce, temel kaya duraylılığının teorisinin anlaşılması önemlidir (Kliche, 1999).

Maden mühendisliği alanı, kaya kütle kazılarında şevlerin duraylılıklarını analiz etmek için temel olarak kaya mekaniği prensiplerini kullanmaktadır (Brawner ve Milligan, 1971). Diğer yandan inşaat mühendisliğindeki şev duraylılık analizleri; gevşek, granül veya birleşik olmayan malzemeden oluşan şevlerde zemin mekaniği prensipleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Açık işletmelerde oluşturulan şevlerde, şev duraylılık analizlerinin inşaat mühendisliğinde yapılan şev duraylılık analizi çalışmalarının farklılıkları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999; Wyllie ve Mah, 2014);

- Açık işletme şevlerini oluşturan kaya kütleleri heterojendir ve genellikle anizotropik özelliktedir.
- Kaya kütleleri ile ilgili jeoteknik parametrelerinin belirlenmesi daha zor olmaktadır.
- Açık işletme şevlerinin kaya kütlesi daha çok değişkene sahiptir. Bu yüzden genelleştirilmiş modeller ve kaya davranışı teorilerin matematikte ifadesi karmaşıktır.
- Saha koşullarının laboratuvarda çoğaltılması ve gerçek değerleri yansıtması zordur,
- Saha testleri genellikle karmaşık, zaman alıcı ve maliyeti yüksektir. Bu faktörler nedeniyle inşaat mühendisliğinin yaptığı duraylılık analizlerinden daha karmaşık ve detaylıdır.

Kaya şev mühendisliği, kaya, zemin mekaniği prensipleri ile yapısal jeoloji prensiplerinin şev duraylılık analizlerine uygulanmasıdır. Kaya şev mühendisliği, jeomekanik mühendisliğinin uzmanlaşmış bir dalıdır. Diğer yandan, kaya şev mühendisliği uygulamalarında pratik ve hızlı

olması nedeniyle sadece kinematik analiz çalışmalarının yapılması da yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, şev duraylılık analizlerinde olasılıklı yaklaşımların kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara göre değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Hoek and Bray, 1981; Kliche, 1999; Wyllie ve Mah, 2014).

Bir açık ocak planlamasının en önemli amaçları; iş güvenliğinin sağlanması, cevher kazanımının optimum kapasiteye ulaştırılması ve kazı işlerinin düşük maliyetle başarılmasıdır. Yatırımcılar ve mühendisler; madencilik faaliyetleriyle yapılan şevlerin maden kazıları boyunca duraylı kalmasını ve işletme kapandıktan sonra da yine bu duraylılığın korunmasını arzu etmektedirler. Açık işletme madencilik faaliyetlerinin yapıldığı şevlerde emniyetli koşullar sağlandıktan sonra madencilik faaliyetlerinin devamlılığı sağlanmalı ve aynı zamanda yatırımcıların ekonomik ihtiyaçlarını karşılamak için cevher kazanımı, en üst düzeye çıkarılmalıdır. Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı süre boyunca ve bittiği süre boyunca da oluşturulan tüm şev yapılarının kayma olasılıklarının mümkün mertebede minimumda tutulması gereklidir. Bu düşünce baz alındığında, çalışma ortamında güvenli ve pratik olarak uygulanabilecek tasarımların formüle edilmesi ile ekonomik cevher üretimi açısından uygun şevlerin kurulması arasında bir denge sağlanması gerekmektedir (Read ve Stacey, 2009).

Şev tasarımları, açık işletme geometrisinin kısa veya uzun vadeli tasarımlarını kapsayan temel çalışmalardır. Açık ocak faaliyetleri boyunca her proje düzeyinde diğer kilit bileşenler (ekonomiklik ve emniyet gibi), tüm paydaşların gereksinimlerini içermektedir. Emniyetin daha önemli, maliyet ve gelir bileşenlerinin daha az önemli olduğu inşaat mühendisliği çalışmalarında, yüksek F değerleri istenmektedir. Bunun aksine, açık işletmedeki ocak şevlerinde sürekli kazı yapıldığından, maliyet ve gelir bileşenleri önemlidir ve şevler düşük F değerine sahip olmaktadır. Dolayısıyla, açık ocak şevleri kısa ömürlü ve büyük boyutlarda inşa edilmektedir. Bu şekilde oluşturulan şev planlamalarında, hem maden şirketleri hem de devletin sorumlu birimleri ortak bir paydada anlaşmaktadır. Ayrıca, emniyet ve kar isteklerinin düzeyi, şirketten şirkete, maden türüne ve jeolojik koşullara göre farklılıklar göstermektedir (Hoek and Bray, 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey 2009; Wyllie ve Mah, 2014).

Günümüzde yüzeye yakın rezervlerin azalması, açık işletme uygulamalarını daha derine ve büyük ölçeklerde kazıya zorlamaktadır. Ayrıca geometrik boyutları giderek artırılan şevlerde eğimin artırılması kazı maliyetini düşürmesine rağmen, şev duraylılığının sağlanmasında olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bunun aksine düşük eğimli oluşturulan şevlerin kayma olasılığı düşük olmasına rağmen kazı maliyetleri yüksek olacaktır. Bu yüzden, uygulamalarda, hem ekonomiklik hem de emniyet göz önünde bulundurulmalı ve mühendislik planlamalarıyla

optimum sonuçlar ortaya konulmalıdır. Kazı sonrası şevlerin boyutlandırılması (eğimi, yüksekliği, genişliği ve uzunluğu), şevlerde kazı yapılmadan önceki orijinal (doğal) şekline getirilmesi ayrıca mümkün olmamaktadır. Çünkü kazı yapıldıktan sonra kayayı tutan bitki örtüsünün ortadan kaldırılması, akiferin bozulması ve kazı işlemleriyle ortaya çıkan gerilmelerin etkisi gibi faktörler nedeniyle şevler duraysız olmaktadır. Tektonik aktiviteler veya kazı sırasında oluşmuş kaya bloklarının ağırlığından dolayı sürtünme kuvvetine bağlı olarak süreksizliklerin arasındaki boşluklara yerleşen malzemenin (özellikle kil dolgu ve su gibi) hidrolojik ve jeomekanik özellikleri kaya şev duraylılığını olumsuz etkilemektedir. Bir şevin topoğrafyasının değişmesi durumunda yapısal problemler görülmektedir. Bu problemler nedeniyle şevlerin kontrol edilmesi çok zordur ve şevlerde kayma olayı gerçekleşmektedir. Bu kayma olayının güvenlik, sosyal, çevresel ve ekonomik boyutuyla çalışma koşullarına doğrudan etkisi olmaktadır (Hoek and Bray, 1981; Read ve Stacey, 2009; Köse ve Kahraman, 2014; Wyllie ve Mah, 2014). Bunlar:

- Güvenlik Faktörleri ve Sosyal Faktörleri: Can kaybı ve yaralanma, çalışan güveninin kaybı, işçi geliri kaybı ve işletme güvenilirliği kaybı,
- Çevresel Faktörleri: Çevresel etkiler, arttırılmış düzenleme ve işletme kapatma hususları,
- Finansal Faktörleri: Çalışmanın sürdürülememesi, cevher kaybı, makine ekipman sorunları ve gereğinden fazla kazı yapılması.

Şev yapılarının kararlı olduğu veya olmadığının göstergesi olan F değeri, temelinde kaymaya neden olan faktörlerin sayısal değerleri (kayma doğrultusu ve ağırlığı gibi) ile, kaymaya karşı olan faktörlerin (sürtünme değerleri gibi) sayısal değerlerinin birbirine oranı şeklinde hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda duraylılık; moment (Eşitlik 2.1) ve kuvvet (Eşitlik 2.2) dengesine göre çözümlenmektedir (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009 Köse ve Kahraman, 2014; Wyllie ve Mah, 2014).

$$F = \frac{\sum M_S}{\sum M_K} \tag{2.1}$$

$$F = \frac{\sum F_S}{\sum F_K} \tag{2.2}$$

2.2.1. Şev duraylılığının terminolojisi

Şev duraylılığı konuları ayrıntılı olarak ele alınmadan önce, birtakım önemli teknik terimler hakkında bilginin olması gereklidir. Şev duraylılığı terminolojisi, tipik olarak şev tasarım sürecinde kullanılan terminolojiyi tanıtmaktadır. Özellikle kaya kütlesi hareketleriyle ve şev duraysızlığıyla ilgili çalışmalar standart bir planlama yapıldıktan sonra şev hakkında bilgi sağlanmaktadır. Bu konu kapsamında, şevin boyutlandırılmasında (şev yüksekliği ve eğim gibi), kaya kütle parametrelerinin (ϕ ve c gibi) dikkate alınması önemlidir. Şev duraylılık terminolojisinin tam olarak bilinmemesi, kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına etkisini belirlemeyi mümkün kılmamaktadır (Hoek and Bray, 1981; Kliche, 1999 Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014).

Sürtünme açısı (ϕ)

ϕ, kayacı oluşturan tanelerin birbiri ile kenetlenmelerinden kaynaklanan dirençtir. Belirli bir kayma, gerilme koşulunu temsil eden bir noktadaki Mohr zarfına teğet doğru parçası ve normal gerilim ekseni arasındaki açı şeklinde tanımlanmaktadır (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

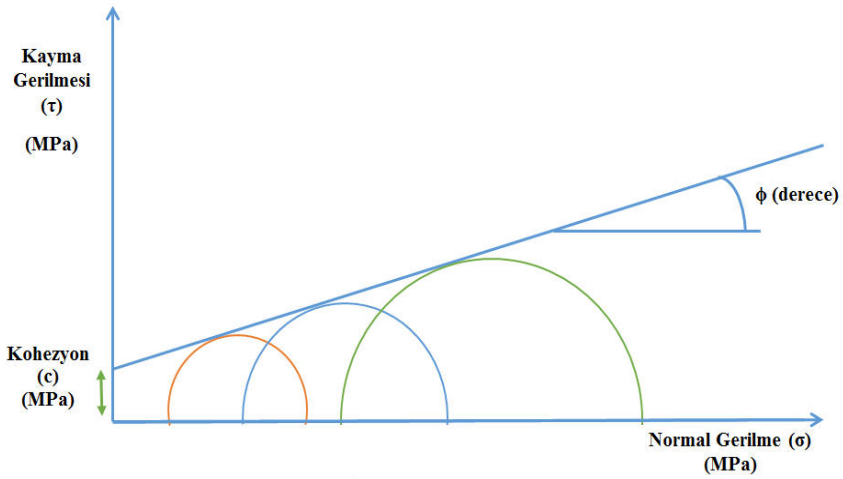
Kohezyon (c)

Kayada normal gerilme olmadığı koşulda makaslama gerilmesi düzleminde makaslama gerilmesine karşı gösterilen dirence "c" denilmektedir. Kayma mekanizmasında, makaslama gerilmesi (τ) ile c arasında güçlü bir bağ vardır. Bu bağ Mohr-Coulomb ölçütüyle ortaya konulmaktadır (Kliche, 1999; Lapidus, 2003; Read ve Stacey, 2009).

Mohr-coulomb ölçütü

Potansiyel bir kayma olasılığı olan süreksizlik düzlemlerini etkileyen normal gerilme (σ) ve kayma gerilmesi (τ) arasında, fonksiyonel bir ilişki olduğunu varsayan ve kaya kütlesinin hareketini inceleyen bir ölçüttür. Bu ölçütte, bu ilişki bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. (Eşitlik 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

$$\tau = c + \sigma.\tan(\phi) \tag{2.3}$$



Şekil 2.2. Mohr Zarfı üzerinde τ, c, σ ve ϕ ilişkisi (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009'dan)

Mohr-Coulomb ölçütü, grafiksel olarak Mohr Zarfı şeklinde gösterilmekte ve Mohr zarfı (Şekil 2.2), belirli bir kaya malzemesi bozunmasını, gerilme koşullarını temsil eden Mohr çemberlerinden oluşmaktadır. Mohr'un kayma hipotezine göre, bir kayma durumunun x-y koordinatları üzerinde belirli bir kaya malzemesinin hareketine neden olan normal ve kesme gerilme kombinasyonlarının temsil ettiği noktalar bulunmaktadır (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Şev boyutları

Şevin boyutları; şevin geometrik yapısında bulunan görsel, açısal ve uzunluk kavramlarıyla ifade edilen büyüklükler şöyle sıralanabilir:

Basamak (Bench): Açık işletme madenciliğinde, rezervin veya yan kayacın bitişik eksen yüzeyinden kazıldığı tek bir doğrultuda seviyesini oluşturan üzerinde kazı faaliyetlerinin yapıldığı geçici veya kalıcı şev yapılarıdır. Maden yatağı veya yan kayacın her birinin açık işletmenin farklı bölümlerinde ve farklı kotlarında aynı anda çalışabileceği kaya kütleleridir (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Şev (Basamak) açısı (Bench angle): Şev açısı açık işletmelerdeki basamaklarda kazı yapılan alnın (alın düzleminin) yatay düzlemle yaptığı dar açıdır. Yataydan ölçülen şev yüzeyinin açısı veya başka bir deyişle "şevin eğim açısı" olarak da ifade edilmektedir (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Sırt (Berm): Açık işletmede en üst kotun altında kalan ve diğer basamaklara göre şevin duraylılığının sağlanması için daha dar olan ve sorunlu bölge ile güvenli bölge arasında sınır oluşturan kısımdır (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Tepe (Crest): Kazılan bir şevin tepe noktasıdır (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Ayna-Alın (Face): Şevin kazıya maruz kalan bölgesidir. Şev ilerleme (kazı) doğrultusundaki dik kaya düzlemleridir. Bir başka deyişle, fiili kazı yüzeyidir (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

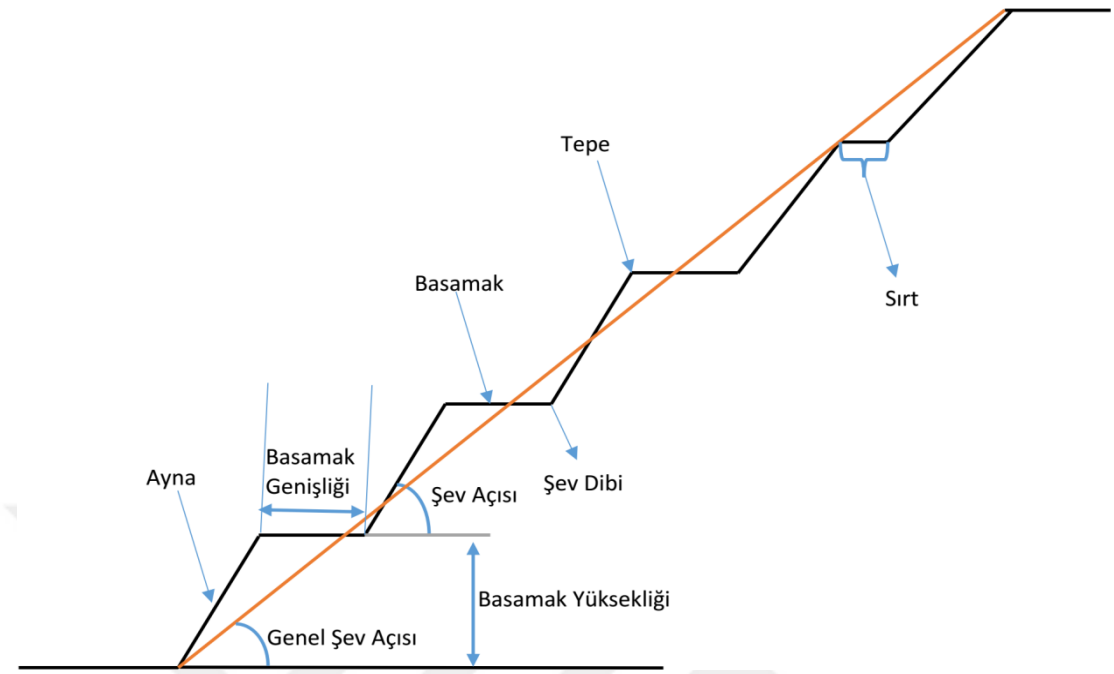
Şev topuğu (Toe): Bir şevin altındaki bölgedir (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Genel Şev Açısı (Overall slope angle): Ocağın en alt basamağındaki ayna dibi ile en üst noktasındaki şevin uç noktasını birleştiren doğrunun yatay eksenle yaptığı açıdır (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Eğim (Dip): Bir düzlemin (şev veya süreksizlik) yatay eksen ile yaptığı açı değeridir (Şekil 2.3) (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999; Wyllie ve Mah, 2014).

Eğim yönü (Dip direction): Şevin veya süreksizliklerin eğim doğrusunun yatay eksende kuzey doğrultusundan saat yönünde yaptığı açı değeridir. (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Doğrultu (Strike): Başlangıçta yan yana olan iki bölgenin süreksizlik etkisiyle birbirinden uzaklaşarak aralarında oluşan son konumdaki dik mesafedir (Şekil 2.3) (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).



Şekil 2.3. Açık işletme basamağının yan kesit profili (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999' dan)

Şev kayması

Şev; yapısında bulunan kaya kütlesinin yerçekimi kuvveti, eğimi, süreksizliklerin durumu ve su basıncı etkileriyle zamanla duraysız konuma gelmektedir. Bu etkiler sonucunda bir anda kaya kütlesinin içinde bloklarda yer değiştirme meydana gelmektedir. Buna jeoteknikte kayma olayı denilmektedir. Şevde çalışmaların güvenli olmadığı ve istenen koşulların yerine getirilemediği bir seviyeye ulaşıldığında tehlikeli kaya kaymalarını oluşturan kaya bloklarının mevcudiyetinden söz edilmelidir (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

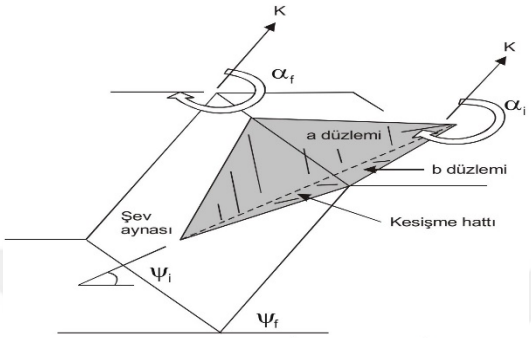
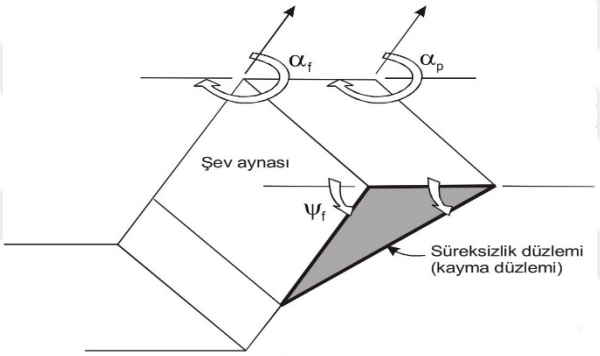
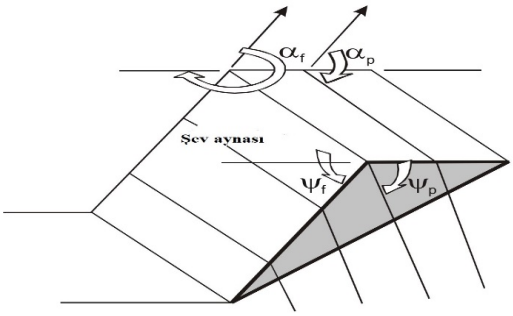
Madencilikte, şevde oluşan yapısal problemler nedeniyle ortaya çıkan kayma olayları sonrasında orijinal tasarım tamamen tahrip olmaktadır. Bu tahribatın giderilmesinde, devam etmekte olan madencilik faaliyetlerinde şev duraylılığının sağlanmasına yönelik, şevlerin üst yüzeylerinin düzleştirilmesi ve ψ_f' nin yeniden yapılandırılması gibi yerinde uygulama çalışmaları yapılmaktadır. Ancak bu çalışmalar kazı ve üretim unsurları dikkate alınmadan yapıldığında, kazı ve üretim maliyetlerinin artmasına ve rezerv kaybına neden olmaktadır (Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009).

Kaya kütlelerinde şev kaymaları kama tipi kayma, düzlemsel kayma ve devrilme olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Kama tipi kayma diğer iki kayma türüne göre oluşma koşulu zor

olmadığından daha sık rastlanmakta ve bu iki kayma türünü tetikleyici faktördür. Şevdeki kayma olayının kinematik analizlerinde dikkate alınan geometrik parametreler (Çizelge 2.2) şunlardır:

- Şev açısı (ψ_f),
- Şevin eğim yönü (α_f),
- Süreksizlik düzlemlerinin kesişme hattının azimutu (α_i),
- Süreksizliğin eğim yönü (α_p),
- Süreksizliklerin kesişme hattının eğim açısı (ψ_i),
- Süreksizliğin eğim açısı (ψ_p) ve
- ϕ parametreleridir (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014).

Çizelge 2.2. Kaya kütlesinde bulunan şev kayma türlerinin yapısı ve oluşması için gerekli kinematik koşullar (Hoek ve Bray, 1981; Kliche, 1999; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014' ten)

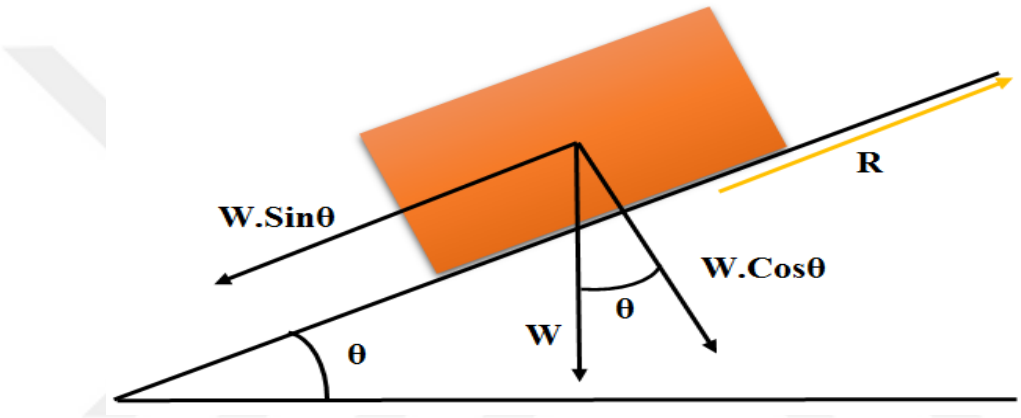
Kayma Türü	Kayma Görüntüsü	Kayma Koşulu
Kama Tipi Kayma		• $\psi_f > \psi_i > \phi$
Düzlemsel Kayma		• $\psi_f > \psi_i > \phi$ • $\lvert\alpha_f - \alpha_p\rvert \leq 20^0$
Devrilme		• $90 - \psi_p + \phi < \psi_f$ • $\alpha_p \leq (\alpha_f \pm 180^0) \pm 30^0$

2.2.2. Şev duraylılığına etki eden faktörler

Yerçekimi kuvveti, hidrojeolojik koşullar, kaya pürüzlülüğü, süreksizliklerin etkisi, açık işletmelerde patlatma uygulamaları ve şev geometrisi şev duraylılığını etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu parametrelerden, şev geometrisi ve patlatma çalışmaları hariç diğer faktörler doğal koşullarından kaynaklı olduğu için kontrolü (düzenlenmesi) mümkün olmamaktadır (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).

Yerçekimi kuvveti

Yerçekimi kuvvetini, kaya bloğunun kendi ağırlığı (W) ve kaya kütlesinin üstünde bulunduğu düzlemin yatay düzlemle yaptığı açı (θ), parametreleri tetiklenmektedir. Şev kaymasının gerçekleşmesini açıklamak için için kaymaya neden olan kuvvet vektörüyle (W.Sinθ) kaymaya karşı olan kuvvet vektörü (R) arasında temel bir bağıntı kurulabilir. "W.sinθ = R" bağıntısı, Sınır Denge Koşulu olarak isimlendirilmektedir. (Şekil 2.4) (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).



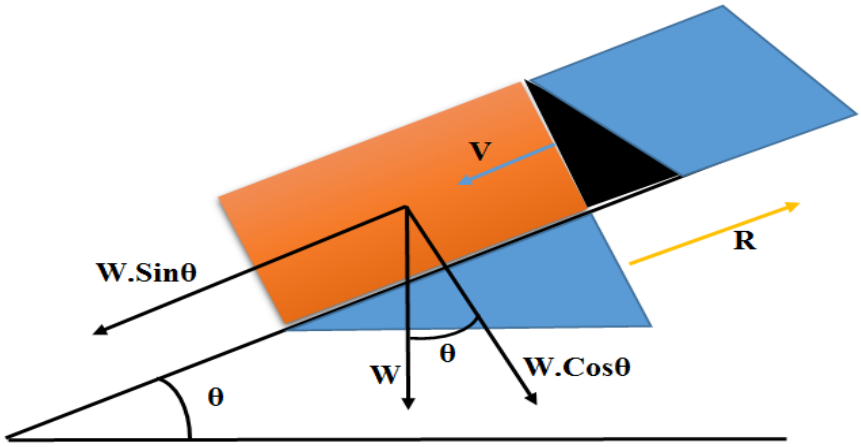
Şekil 2.4. Eğik bir düzlem üzerinde kaya kütlesini etkileyen kuvvetler (Hoek ve Bray, 1981; Köse ve Kahraman, 2014 'den)

Hidrojeolojik koşullar

Süreksizliklerin içinde bulunan yer altı suyu ve yağışlar nedeniyle içlerine dolan su kütlelerinin etkisiyle zaman içerisinde kaya kütlelerinde ayrışmalar görülebilmektedir. Kaya kütlesinin birim hacim ağırlığı artmakta, bünyesindeki su miktarının basıncı yükselmektedir. Ayrıca donan suyun hacmi artmaktadır. Tüm bunların etkileriyle kaya kütlesinin kayma dayanımı, düşmektedir. Süreksizlik düzlemlerinin derinliği ve su seviyesinin yüksekliğine bağlı su basıncı meydana gelmektedir. Kaya kütlesinin ağırlığı (W), kaya kütlesinin taban alanı (A), c, ϕ ve toplam su hacmi (V) bileşenleri, kaya kütlesinde kaydırıcı unsur olup hesaplanabilmektedir. Eğer su kütlesi, süreksizlik düzleminin tabanına ulaşırsa burada yukarı yönde kaldırıcı boşluk suyu basıncı (U) meydana gelmektedir (Eşitlik 2.4). Bu "U" basıncının büyüklüğü kaya kütlesinin tavanından tabanına doğru azalmaktadır. Süreksizlik düzlemini dik doğrultuda etkileyen normal basıncın kaymaya karşı olan durumunda da azalma görülmektedir (Şekil 2.5) (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).

$$W.\mathrm{Sin}\theta + V = c.A + (W.\mathrm{Cos}\theta - U).\tan\phi \quad (2.4)$$

(Kaymaya Teşvik Eden Kuvvetler = Kaymaya Karşı Koyan Kuvvetler)



Şekil 2.5. Su basıncının kaya kütlesinin hareketine etkisi
(Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014 'ten)

Kaya kütlesinin pürüzlülüğünün etkisi

Kaya kütlesinde bulunan süreksizliklerin yüzeyleri pürüzlü yapıya sahiptir. Ondüleli ve basamaklı olmak üzere iki çeşit pürüzlülük bulunmaktadır. Yüzeylerin pürüzlülüğü kayma direncini etkileyen en önemli parametrelerdendir (Patton ve Deere, 1970; Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).

Dolgu malzemesi özelliklerinin etkisi

Süreksizlik düzleminin konumuna göre, iklim aktiviteleri ve jeolojik aktiviteler nedeniyle süreksizlik açıklıklarına; kum, kil ve breşler gibi aşırı derecede ayrışmış veya masif haldeki mineral malzemeler birikebilmektedir. Süreksizlik düzlemleri arasında dolgu malzemesinin olmaması, ince taneli dolgu malzemesinin olması (tane çapı<10 cm) ve iri taneli dolgu malzemesinin olması (tane çapı > 10 cm) olmak üzere üç farklı durum bulunmaktadır. (Hoek ve Bray, 1981; Köse ve Kahraman, 2014).

Biriken malzeme tabakasının kalınlığı ve dayanım parametreleri, pürüzlü şev yüzeylerinin duraylılık durumunu etkilemektedir. Süreksizliklerin şev yapısına olan etkisi ile

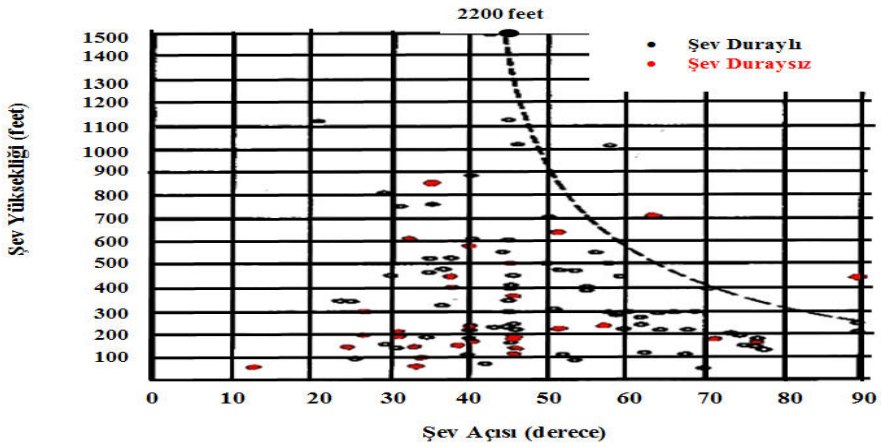
biriken malzemenin kesme direnci arasında bir ilişki bulunmaktadır (Hoek ve Bray, 1981; Köse ve Kahraman, 2014).

Patlatma çalışmalarının şev üzerine etkisi

Patlatma veya iş makinenelerinin çalışmasıyla açığa çıkan titreşim enerjisi ile kaya kütleleri arasındaki bağ kopabilmektadır. Bu kopma ile kaya blokları yerlerinden sökülmektedir. Yerlerinden sökülmeye etken unsur da parçacık hızıdır. Kabaca, parçacık hızı 5.1 cm/s' den küçükse hasar verme ihtimali düşüktür. Fakat bu değerden büyükse hasar verme olasılığı da artmaktadır (Hoek ve Bray, 1981; Köse vd., 2009; Köse ve Kahraman, 2014).

Şev geometrik yapısının etkisi

Şev duraylılığında şevin geometrik parametreleri olan yükseklik ve eğim açısı, belirleyici parametrelerdendir. Yükseklik ve eğim açısının artması ile şev emniyetinin sağlanması zorlaşmaktadır. Şev duraylılığın sağlanması için şev açısı ile şev yüksekliğinin arasında da genel bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkide şev yüksekliği (feet) ve şev açısı (derece) değerlerine göre şevin duraylı veya duraysız olduğu gösterilmiştir (Şekil 2.6) (Kley ve Lutton, 1967; Ross - Brown, 1973).



Şekil 2.6. Şev duraylılığında şev yüksekliği ve açısı arasındaki ilişki (Kley ve Lutton, 1967; Ross - Brown, 1973 'ten)

3. KAYA ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR

Bir asırdan fazla süredir çalışılan şev duraylılığının analizi için araştırmacılar özel yöntemler geliştirmişlerdir. Kaya şev duraylılık analizlerinde kullanılan analizler şu şekilde sıralanabilir (Jing ve Hudson, 2002; Eberhardt, 2003; Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014);

- Klasik yöntemler (Conventional method): Kinematik Analiz (Kinematic analysis), ve Limit Denge analizleri (Limit Equilibrium analysis).
- Sayısal yöntemler (Numerical methods): Sürekli yaklaşımlar (Continuum approach, Süreksiz yaklaşımlar (Discontinuum approach), Ayrık Elemanlar yöntemi (Distinct Element method), Süreksizlik Deformasyon Analizi (Discontinuous Deformation Analysis) ve Hibrit yaklaşımlar (Hybrid approach).

Bu yöntemler, deterministik ve olasılıklı yaklaşımlar olmak üzere iki temel başlıkta incelenmektedir (Read ve Stacey, 2009; Wyllie ve Mah, 2014).

3.1. Deterministik (Karar Verici) Yaklaşımlar

Deterministik yaklaşım modelleri; bilimsel bir sistemin gelecekteki durumlarını, hareketlerini ve davranışlarını belirlemede kesinlikle rastgele olmayacak şekilde analiz yapan sistemlerdir. Optimum koşullarda tasarlanmış sistem için, aynı şartlar altında ve aynı başlangıç durumlarında daima aynı sonuçlar elde edilmektedirler. Deterministik yaklaşımlarda, her bir sistemi oluşturan jeoteknik veriler kullanılarak tüm süreç analiz edilmektedir. Ancak deterministik yaklaşımlar ortak bir kavramsal modele entegre edilemez (Scholz, 2011; Dechter, 2013; Wyllie ve Mah, 2014; Cao vd., 2017).

3.1.1. Klasik Yöntemler (Conventional Methods)

Klasik yöntemler, 2 Boyutlu (2B) veya 3 Boyutlu (3B) yöntemlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerde, düzlem şekil değiştirme koşulları varsayılarak analiz yapılmaktadır. Basit analitik yaklaşımlar kullanarak şev geometrilerinin stabilite analizleri, şevlerin ilk tasarımı ve risk değerlendirmesi hakkında bilgiler sağlayabilir (Hoek ve Bray, 1981; Hungr ve Evans, 1988; Eberhardt, 2003; Wyllie ve Mah, 2014).

Kinematik Analiz (Kinematic Analysis)

Kinematik analizde, kaya kütlesinde hangi kayma türünün (düzlemsel, dairesel, kama tipi kayma ve devrilme) meydana gelebileceği incelenmektedir. Bu analizde, şev duraylılığını etkileyen ϕ, süreksizliklerin eğim ve eğim yönü parametreleri dikkate alınarak geometrik olarak şevin duraylılığı ayrıntılı değerlendirilmektedir. Şevin duraylı ve duraysız olduğu şev ve süreksizlik düzlemlerinin analizleri kutupsal koordinat sisteminde analiz edilmektedir (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).

Limit Denge Analizleri (Limit equilibrium analysis) (LDA)

LDA yöntemleri teknik anlamda şev duraylılığı konusunda geliştirilen ilk yöntemlerdir. Kaya kütlesinde dilimlere bölme prensibine göre analiz yapılmaktadır. Şev duraylılık çalışmalarındaki artan ihtiyaca göre birçok LDA yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler gerçekçi olmadığından F değerinin hesaplanması statikçe belirsizdir. Kaya kütlesinin fiziksel denge denklemlerinin yetersiz olmasından, Hiperstatik sistem (Varsayımlara dayalı sistem) çözümüdür. Bu sistemi çözebilmek için kaçınılmaz olarak varsayımlar yapılarak bilinmeyenin sayısını azaltmak gerekmektedir. Akla gelen ilk kabuller, normal kuvvet dilim tabanını orta noktasından etkiler. Diğer kabuller ise genellikle dilimler arası kuvvetlerin büyüklüğü, doğrultusu ya da etki noktası ile ilgilidir. F değerinin hesaplanmasında kuvvet veya moment denge denklemleri oluşturulmaktadır. Bu denklemleri izostatik hale çevirmek için dilimler arasındaki kuvvet ve momentlerde kabullemelere bağımlı analiz yapılmaktadır (Wyllie ve Mah, 2014; Cheng ve Lau, 2014; Cao vd., 2017).

3.1.2. Sayısal Yöntemler (Numerical methods)

Sayısal yöntemler, geleneksel yöntemlerle çözülemeyen problemlere yaklaşık bir çözüm sağlar. Diğer yandan bu yöntemler karar verici yaklaşım olduğundan varsayımlara bağlı olarak sınırlandırılmıştır (Wyllie ve Mah, 2014; Cheng ve Lau, 2014; Cao vd., 2017).

Sürekli Yaklaşımlar (Continuum approach)

Sürekli yaklaşımlar, sağlam kaya ve çok eklemli kaya kütlelerinin analizi için uygundur (Hoek ve Bray, 1981; Eberhardt, 2003; Wyllie ve Mah, 2014).

Sonlu Elemanlar yöntemi (Finite Element Method) (FEM):

FEM ile kaya kütlesinin denge analizlerinin yapılması için düğüm noktaları meydana getirilmektedir. FEM' in analizlerinde her düğüm noktasındaki deplasmandan yola çıkılarak gerilme ve şekil değiştirme alanları bulunur. Sonlu elemanlar analizinde sayısal modeller kullanılarak tüm elemanların aynı yapısal duruma göre davranmaları sağlanır. Kullanılan modelleme genelde kaymanın oluşumuna kadar kaya malzemesi elastik, kayma sonrası ise tam plastik özelliktedir. Kullanılan kayma ölçütü genelde Mohr-Coulomb ölçütüdür (Bromhead, 1986).

FEM, kaya kütlesindeki gerilme dağılımlarını değerlendirmektedir. Bu gerilme dağılımlarının gerçek şev kütlesini temsil etmesi gerekmektedir. FEM' nin denklemlerini oluşturmak için, aşağıda verilen işlemler yapılmaktadır (Cheng ve Lau 2014; Wyllie ve Mah, 2014);

- Her dilimin kuvvet dengesininin sağlaması ve
- Güvenlik faktörünün her dilim için aynı değerde hesaplanmasıdır.

Bu doğal kavramlar ve varsayımlar, kayma yüzeyi boyunca veya kayma kütlesi içinde gerçekçi gerilme dağılımlarının elde edilmesinin her zaman mümkün olmadığını ifade eder. Bu sınırlamaları aşmak için duraylılık analizine başka bir düğüm parçası eklenmelidir. Eksik düğüm parçası bir gerilme-deformasyon ilişkisidir. Böyle bir ilişki dahil edilerek, yer değiştirme uyumluluğu oluşur ve bu da daha gerçekçi gerilme dağılımlarına yol açmaktadır. Bir duraylılık analizini bir gerilme-deformasyon ilişkisini eklemenin yolu, önce bir sonlu elemanlar analizi kullanarak zemindeki gerilme dağılımını oluşturmak ve daha sonra bu gerilmeleri bir duraylılık analizinde kullanmaktır. FEM' den elde edilen temel bilgiler, her bir eleman içinde normal gerilmeler ve kayma dayanımıdır. FEM ile hesaplanan gerilmeler klasik bir limit denge analizine aktarılabilir. Gerilme ve kayma dayanımları her bir eleman içerisinde bilinmekte ve bu bilgiden normal ve kayma gerilmeleri her dilimin taban orta noktasında hesaplanmaktadır. Harekete geçirilmiş kaya kütlesi ve dirençli kesme kuvvetleri her dilim için mevcut olduğunda, kuvvetler bir denge faktörünü belirlemek için kayma yüzeyinin uzunluğu boyunca entegre edilebilir (Kulhawy 1969; Naylor, 1982).

Analizi yapılacak bir parçada doğru sonuçların elde edilmesi için parça en uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölünmelidir. Sonlu elemanlara göre bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın şekli seçilmelidir. Sonlu elemanlar

probleme göre bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Genelde, sonlu elemanın sınırları düzgün olarak seçilebilir ya da bazı durumlarda sınırlı elemanların da kullanılması gerekebilir. SEY' nin dezavantajları arasında, modelleme kabulleri, modelin bağlantı tasarımlarının zorluğu ve parametrelerin etkileşimlerinin tahmin zorluğu bulunmaktadır (Asmussen ve Peutzfeldt, 2008; Long vd., 2009; Khoei, 2014; Pepper ve Heinrich, 2017).

Süreksiz Yaklaşımlar (Discontinuum approach)

Süreksiz yaklaşım, süreksizliklerin davranışı tarafından kontrol edilen kaya şevlerinin analizi için kullanışlıdır. Kaya kütlesi, harici yüklere maruz kalan ve zamanla harekete geçeceği varsayılan farklı, etkileşimli blokların bir araya gelmesi olarak kabul edilir (Hoek ve Bray, 1981; Eberhardt, 2003; Wyllie ve Mah, 2014).

Ayrık Elemanlar yöntemi (Distinct element method) (AEY):

AEY' de, kaya kütlesi, harici yüklere maruz kalan ve zamanla harekete geçeceği ve blokların bir araya geldiği kabul edilerek analizler yapılmaktadır. AEY analizleri, sınır koşulları ve temas ve hareket yasaları karşılanana kadar her blok için dinamik denge denkleminin çözümüne dayanmaktadır. Kaya şev analizlerinde süreksizliklerin modellenmesinde yaygın olarak AEY tercih edilmektedir (Eberhardt, 2003).

Süreksiz Deformasyon Analizi (Discontinuous deformation analysis):

Süreksizlik deformasyon analizi, AEY' e benzer bir yöntem olup, kaya kütlesindeki yer değiştirmeler bilinmemekte ve denge denklemleri Sonlu Elemanlar yöntemine (FEM) benzer şekilde çözülmektedir. Süreksizlik deformasyon analizinde her sonlu eleman tipi ağ birimi, süreksizliklerle sınırlanmış izole bir bloğu temsil etmektedir (Shi, 1992; Wyllie ve Mah; 2014).

Melez yaklaşımlar (Hybrid approach)

Hibrit yaklaşımlar, deterministik şev duraylılık analiz yöntemlerinin temel avantajlarını en üst düzeye çıkarmak için çeşitli yöntemlerin entegre edilmesidir (FEM ve LDA). Bu yaklaşımların, boru hatlarının geçtiği şevlerde, yüksek yeraltı suyu basınçlarının zayıf kaya şevlerinin bozulması üzerindeki etkisinin araştırılmasında kilit rolü bulunmaktadır (Eberhardt, 2003; Hicks vd., 2014).

3.1.2. Gerilim Azaltma teknikleri

Mukavemet azaltma tekniklerinde ise kayma mukavemeti ve kohezyon değerleri şev göçünceye kadar azaltılır (Zienkiewicz ve Taylor, 1989).

3.2. Olasılıklı (Probolistik) Yaklaşımlar

Olasılık teorisi, bir sistemin işleyişi ve durumu sırasında ortaya çıkabilecek olayların belirlenmiş konumlar içerisinde meydana gelebilme olasılığı ve bu olayların muhtemel etkilerini incelemektedir. Olasılık teorisi, mühendislikte, tasarım ve üretim süreci, ürün güvenilirliği ve kalite kontrolü gibi önemli konuların iyileştirilmesinde temel yapı taşlarındandır. Mühendislik sistemlerindeki parametrelerin çoğu rasgele değişken niteliğinde olmasından dolayı deterministik yaklaşımlarla ele alınmaları yetersiz olmaktadır. Mühendislik problemlerinin çözümünde olasılık teorisine temel alan yaklaşımların kullanılması, belirsizlik ve risk faktörlerinin etkilerini göz önüne alınmasına olanak vermekte ve böylece daha gerçekçi projelerin hazırlanması sağlanmaktadır. Mühendislikte risk ve tehlike faktörleri açık uçlu yapısından dolayı tahminler ağı içerisinde değerlendirilebilmektedir. Tüm mühendislik planlamalarının bünyesinde kaçınılmaz biçimde varolan potansiyel olasılık faktörü bulunmaktadır. Bu planlamalarda olasılık faktörünün, mühendislik sisteminin işleyişini iyileleştirmesi bakımından göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Gatti, 2004; Faber, 2012).

Şev duraysızlığının olasılık dağılımı, ŞKOİ değerine göre incelenmektedir. Olasılık analizi, mühendislik çalışmalarında ilk 1940'lı yıllarda kullanılmaya başlanmış ve daha sonra analizler geliştirilmiştir. Yer ve havacılık mühendisliği ağlarında karmaşık sistemlerin güvenilirliğini incelemek için olasılıklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Jeoteknik mühendisliği alanındaki ilk kullanımlar arasında, belirli bir kayma riskinin kabul edilebilir olduğu açık ocak şev tasarımları bulunmaktadır. Olasılıklı analizler, madencilik planlamalarında da kullanılmıştır. Olasılıklı yaklaşım uygulamaları, her parametrenin değişkenliğinin şev duraylılığına etkisinin incelenmesi için sistematik işlemleri kapsamaktadır (Harr, 1977; Canada DEMR, 1978; Pentz, 1981; Savely, 1987; Coffman ve Lueker, 1991; Seber ve Lee, 2003; Boland, 2007).

Olasılıklı yaklaşımların kaya ve zemin mühendisliği kullanımlarına örnekler, kara ve demir yollarının bulunduğu şevlerin duraylılık analizi çalışmalarından, tehlikeli atıkların depolanması için inşa edilen tesislerin kurulu olduğu şev tasarım çalışmalarına kadar değişmektedir (Wyllie vd., 1979; McGuffey vd., 1980; Roberds, 1984; Roberds ve Pentz, 1986; Fell, 1994; Cruden, 1997). Olasılıklı yaklaşımlarda, kullananılacak veri sayısı sınırlı ve ölçüm parametreleri modellerde tam olarak temsil edilemiyorsa, şev duraysızlılık analizleri yetersiz

olmaktadır. Bu nedenle, küçük örneklem verisinin olasılıklı değerleri çoğunlukla Normal dağılıma uyduğu varsayılarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Rohrbaugh, 1979; Roberds, 1990; Wyllie ve Mah, 2014; Cao vd., 2017).

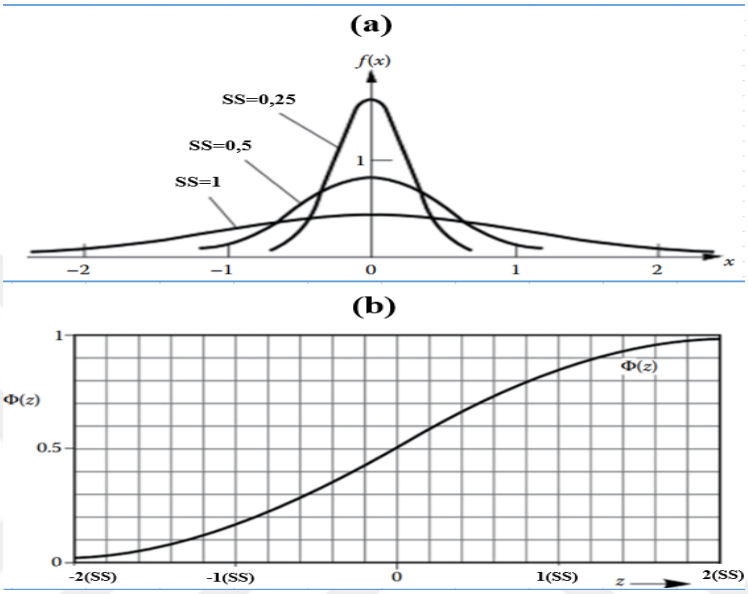
Şev duraylılık analizlerinde olasılıklı yaklaşımların kullanılması sayesinde, şev yapılarının duraylı veya duraysız durumları deterministik yaklaşımlara göre daha detaylı hesaplanmaktadır. Şev yapılarının kullanım (maden şevi ve yol şevi vb.) amaçlarına göre genel kabul görmüş kayma olasılık aralıkları seçiminin makul ölçüde doğruluğu da önemli olmaktadır. İnşaat yapılarındaki jeoteknik projeler için ise, kabul edilebilir yıllık kayma olasılığı bir ve on puan aralığı değerlerinde sınıflandırılmış, geçici yapılar için minimum iki puan verilmiştir. Yıllık kayma olasılığı yüzlerce hayatın kaybıyla sonuçlanabileceği barajlar için, yıllık kayma olasılığı minimum dört puan saptanmıştır. Minimum beş puan değeri, yerleşim yapıları için verilmiştir. Mühendislik projeleri için bu olasılık sınıflamaları hem kontrollü olan inşaat çalışmaları hem de kontrolsüz olan madencilik çalışmaları faaliyetlerinde tehlikeli durumların göstergesidir (Salmon ve Hartford, 1995). Kayma tehlikesinin daha da azaltılmasında gereken maliyet hızla yükselmektedir. Gelir ve maliyet faktörleri arasında yatırımcılar açısından problem yaratabilecek dengesizlik oluşmaktadır (Cao vd., 2017).

Olasılıklı yöntemden yararlanmak için, ilk olarak temel olasılık dağılım fonksiyonları oluşturulur. Olasılık analizinde, tasarım değerinin belirsiz olduğu sürtünme açısı ve kohezyon gibi her parametre için, bir olasılık dağılım fonksiyonu tanımlanmaktadır. Sonra grafikte eğrisel bir değer aralığı atanmaktadır. Jeoteknik verilere uygun dağılım fonksiyonlarında genellikle Normal, Beta, Lognormal ve Üçgensel dağılımlar kullanılmaktadır. Bunlardan Normal Dağılım fonksiyonu en yaygın olanıdır. Normal Dağılım fonksiyonunun genel ifadesi Eşitlik 3.2 de verilmiştir (Wyllie ve Mah, 2014; Cao vd., 2017).

$$F(x) = \frac{e^{-1/2(\frac{x-x_{ort}}{SS})^2}}{SS.\sqrt{2\pi}} \tag{3.2}$$

Normal Dağılım eğrisinin (Şekil 3.1a) genişliği SS kullanılarak tanımlanmaktadır. Normal dağılımın önemli özellikleri, eğri altındaki toplam alanın 1’ e eşit olmasıdır. Olasılık durumlarında, tüm parametrenin değerleri eğrinin sınırlarında yer almaktadır. Ayrıca, değerlerinin % 68' i ortalamanın her iki tarafında bir SS aralığında yer alacak ve % 95' i ortalamanın her iki tarafında iki SS içinde yer alacaktır. Ayrıca, Normal Dağılım ile türetilen bir

parametrenin değerinin, olasılığının belirlenmesi mümkündür. Bu, ortalama 0 ve SS 1.0 durumu olan dağılım fonksiyonudur (Φ(z)) (Şekil 3.1b). Bu dağılım fonksiyonunda türetilen değerler ortalamaya eşittir (Wyllie ve Mah, 2014; Cao vd., 2017).



Şekil 3.1. Normal Dağılım grafiğinin özelliği: (a) Normal Dağılım grafiği; (b) veri ortalamasının 0 ve SS' in 1 olduğu Dağılım fonksiyonu (Kreyszig, 1976)

Normal dağılım her iki yönde de sonsuzluğa kadar uzanır, ancak bu genellikle bir parametrenin muhtemel üst ve alt sınırlarının tanımlanabileceği gerçekçi bir jeoteknik veri ifadesi değildir. Bu şartlar için, maksimum ve minimum noktalara sahip olan ve tek tip olabilen sola veya sağa "U" şeklinde veya "J" şeklinde eğrilebilen Beta dağılımının kullanılması uygundur (Harr, 1977).

ŞKOİ, şevdeki yer değiştirme ve direnç kuvvetlerinin göreceli büyüklüklerinin incelenmesiyle güvenlik faktörüne benzer şekilde hesaplanır. Kayma olasılığını hesaplamanın iki yöntemi mevcuttur. Bunlar; Ortalama Emniyet Marjı ve Güvenlik Standart Sapma Marjı'dır (Canada DEMR, 1978; Wyllie ve Mah, 2014; Cao vd., 2017).

$$\text{Ortalama emniyet marjı} = f_r - f_d \tag{3.3}$$

$$\text{Güvenlik standart sapma marjı} = \sqrt{SS_r^2 - SS_d^2} \tag{3.4}$$

Şev mühendisliğinde kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin değişkenliği, stratigrafisindeki belirsizlikler ve jeoteknik modellerle ilgili modelleme hataları gibi çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Olasılık teorisi, şev duraylılık analizindeki bu belirsizlikleri hesaba katacak gerçekçi bir araç sunmaktadır. Bu teori bağlamında şev duraylı olma koşulu SGİ ve şev duraysız olma koşulu ise ŞKOİ ile ölçülmektedir. Çizelge 3.1'de, şevlerin emniyetli olma veya olmama koşullarının sınıflandırılması ve şevlerin performans seviyeleri gösterilmektedir. ŞKOİ değeri 0,16 ile 3×10^{-7} arasında ve SGİ değeri ise 1 ile 5 arasında değişmektedir. Minimum durumda şevin duraylı kalması için, SGİ değeri minimum 2 sınırında ve ŞKOİ değeri de minimum 0,023 sınırında olmalıdır. Jeoteknik çalışmalarda bu sınırların temel alınması sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmalarda, SGİ ve ŞKOİ analizlerinde genellikle Birinci Dereceden İkinci Moment yöntemi (BDİMY) kullanılmaktadır (Tang vd., 1976; Christian vd., 1994; Low ve Tang 1997; Low vd., 1998; Hassan ve Wolff 1999; Au ve Beck 2001; Au, 2001; El-Ramly vd., 2002; Low, 2003; Au ve Beck, 2003; Griffiths ve Fenton 2004; El-Ramly vd., 2005; Au vd., 2009; Wang vd., 2009; Au vd., 2010).

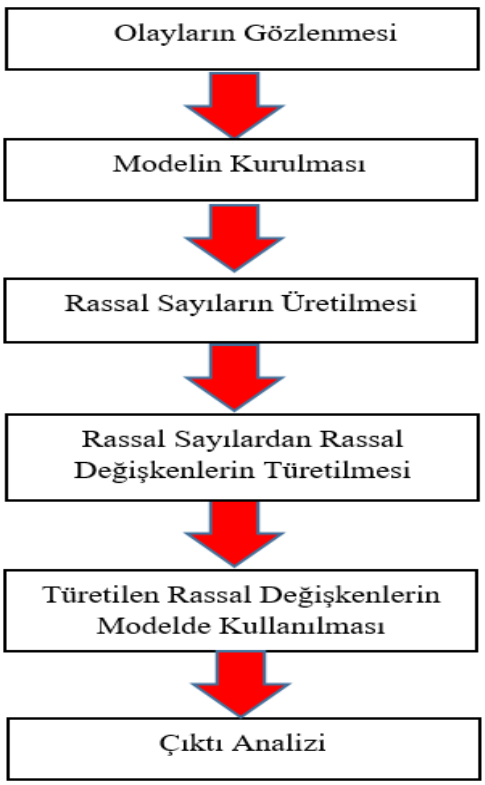
Çizelge 3.1. SGİ ile ŞKOİ'nin arasındaki ilişki (U.S. Army Corps of Engineers, 1997' den)

SGİ	ŞKOİ	Beklenen Şev Seviyesi
1	0,16	Çok Tehlikeli
1,5	0,07	Tehlikeli
2	0,023	Zayıf
2,5	0,006	Beklenti ortalamasının altı
3	0,001	Beklenti ortalamasının üstü
4	0,00003	İyi
5	0,0000003	Mükemmel

3.2.1. Monte Carlo Simülasyonu (Monte Carlo Simulation) (MCS) yöntemi

MCS bir olayın belirli olasılıklarla gelecekte ne gibi çıktılar elde edileceğinin önceden kestirilmesine yönelik kullanılan nicel bir analiz tekniğidir. MCS, fonksiyonunun içindeki

değişkenlerin rastgele olduğu ve bu değişkenlerin öngörülen olasılık dağılımlarının girdi olarak kullanıldığı ve ampirik bir fonksiyonda tekrar hesaplanmasının gerçekleştirildiği sayısal bir işlemdir (Ang ve Tang 2007; Wang, 2011; Wang vd., 2011; Kroese vd., 2013). MCS işleminin her tekrarda elde edilen sayısal sonuçları, nitel bir deneyden gözlemlenen bir örneğe benzer şekilde, analizlerin gerçek çözümünün bir örneği olarak kabul edilmektedir. MCS' nin performans işlevi olan "g(x)" fonksiyonunda genellikle ŞKOİ hesaplanmaktadır. Ayrıca g(x) fonksiyonu kullanılarak SGİ değeri de hesaplanabilmektedir. Sonra, doğrudan MCS kullanımıyla olasılık dağılımlarının oluşturulması ve MCS kümelerinin üretilmesi gerçekleştirilmektedir. Deterministik yaklaşımlarla oluşturulan g(x) fonksiyonunda MCS kullanımıyla rastgele örneklem kümeleri türetilerek, SGİ değerleri elde edilmektedir. Bu işlemlerden sonra ŞKOİ ve SGİ değerlerinin istatistiksel analizleri yapılmaktadır (Baecher ve Christian, 2005). MCS yöntemi için genel bir akım şeması Şekil 3.2' te sunulmuştur.



Şekil 3.2. MCS yönteminin genel akım şeması (Thomopoulos, 2012; Chen ve Chen, 2017' den)

3.2.2. Birinci Derece Güvenilirlik yöntemi (First Order Reliability Method) (BDGY)

BDGY, SGİ aralığının bir ölçüsü olarak yorumlanır. Belirsiz değişkenlerin (bd değerleri), çok değişkenli dağılımınlarının tepe noktaları ile boyutsuz olasılıklı aralıkta bulunan şevin kritik kayma sınırları analiz edilmektedir (Eşitlik 3.5) (Hasofer ve Lind 1974; Ang ve Tang 1984; Low ve Tang 1997; Wise Uranium Project, 1997; Low vd., 1998; Baecher ve Christian 2005; Der Kiureghian, 2005).

$$\text{SGİ} = \underbrace{\min}_{\text{bdi}\in\Omega\text{f}} \sqrt{\left[\frac{\text{bd}-\underline{\mu}}{\underline{\text{SV}}}\right]^{\text{T}} \underline{\underline{\text{p}^{-1}}} \left[\frac{\text{bd}-\underline{\mu}}{\underline{\text{SV}}}\right]} \tag{3.5}$$

Eşitlik 3.5' te ortalama değerlerin ve rastgele değişkenlerin standart sapmalarının kullanılması gerekmektedir. bd parametresinin normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır. BDGY' de potansiyel kritik kayma yüzeylerinin değişmesi, şev duraylılık analizinde etkin faktör olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, kullanılan optimizasyon aracının sınırlandırılmasından dolayı BDGY, SGİ değerlerini çok az hesaba katmakta ve p değerlerini daha az analiz etme eğilimindedir (Ang ve Tang 1984; Low vd., 1998; Low, 2003; Wang vd., 2009).

3.2.3. Birinci Derece İkinci Moment yöntemi (First Order Second Method) (BDİMY)

Olasılık fonksiyonunda, deterministik yaklaşımlarla hesaplanan F değerlerine göre şevin duraylılığının performans durumu tespit edilmektedir. BDİMY' yle, belirsiz model parametrelerini temsil eden rastgele değişkenler kümesi oluşturulmaktadır. F değerlerinin normal dağılıma uyduğu varsayılmakta ve SGİ değerleri hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.6).

$$\text{SGİ} = \frac{\mu_{\text{F}}-1}{\sigma_{\text{F}}} \tag{3.6}$$

σ_F değeri Eşitlik 3,7' ye göre hesaplanmaktadır (Cornell 1969; Ang ve Tang 1984; Baecher ve Christian 2005).

$$\sigma_F = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2 \left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right)^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j\neq 1}^{k} \sigma_i^2 \, p_{ij}\sigma_i\sigma_j \frac{\partial g}{\partial x_i}\frac{\partial g}{\partial x_j}} \quad (3.7)$$

P_{ij}, şev kayma olasılığının kritik göstergesidir. Rastgele değişkeninin Normal birikmiş dağılım işlevi "1 – f(SGİ)" denklemine göre hesaplanmaktadır (Baecher ve Christian 2005). BDİMY, olasılıklı şev duraylılık analizinde kullanılan basit bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, bu yöntemde yer alan tüm rastgele değişkenlerin (x_i ve x_j) hesaplanmasında, farklılaştırılmış analitik şev duraylılık analiz modeline ihtiyaç duyulmaktadır. BDİMY' de genellikle şevde önceden tanımlanmış kritik kayma yüzeyinin belirsizlikleri hesaba katılmamaktadır (Cornell 1969; Ang ve Tang 1984; Baecher ve Christian 2005).

3.2.4. Gaussian Prosesi yöntemi (Gaussian Process Method) (GPY)

GPY' de rastgele değişkenlerin normal dağılıma sahip olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Bu yöntem doğrusal olmayan analizlerin modellemesini yapmaktadır (Dym ve McKean, 2008; Shi ve Choi, 2011; Kocijan, 2016).

GPY ile Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemi entegre edilerek şev duraylılık analizleri yapılmaktadır. LHÖ yönteminde (Stein, 1987; Heltonve Davis, 2003) MCS yönteminde olduğu gibi bir parametreye ait sayısal değerler türetilmekte, veri sayısını ve hesaplama süresini MCS göre yarıya düşürerek risk analizleri yapılabilmektedir. GPY ve LHÖ yöntemlerinin entegre edilerek kullanılmasıyla şevin emniyetli limit durum fonksiyonu oluşturulmaktadır. Ayrıca, GPY bu fonksiyonun sınıflandırılmasında ve fonksiyonel boyutsallığın azaltılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem Yapay Sinir Ağları ile karşılaştırıldığında, kullanımı daha kolaydır ve başka yöntemlerle entegre kullanılması koşuluyla daha verimli tahminlemeler yapmaktadır (Dym ve McKean, 2008; Pal ve Deswal, 2010; Shi ve Choi, 2011; Verrelst vd., 2011; Pérez-Cruz vd., 2013; Samui ve Jagan, 2013; Kang vd., 2015; Kocijan, 2016).

3.2.5. Sıralı Bileşik yöntemi (Sequential Compounding Method) (SBY)

SBY, sistem işleyişindeki bileşenleri ikili şekilde, sistemi temsil edinceye kadar tek bir bileşik sonuçta sırayla birleştirmektedir. Bu yöntem, güçlü istatistiksel bağımlılığa sahip olmadığından olasılık değerinin hesaplanması kolaydır. SBY' nin analiz boyutunun büyük

olmaması nedeniyle, sistem olayının tanımlanması karmaşık değildir. Olasılıklı analizlerde üstün doğruluk ve hesaplama verimliliği bulunmaktadır (Kang ve Song, 2010; Ruppert, 2014).

SBY, LDA' ya göre şev duraylılık analizlerini daha kısa zamanda ve daha doğru değerlendirme yapmaktadır. SBY kullanılarak ŞKOİ değeri hesaplanmaktadır (Johari ve Lari 2017; Johari ve Rahmati, 2019).

3.2.6. Örnekleme yöntemi (Sampling Method) (ÖY)

ÖY küçük ve aşamalı küme örneklemesi yaptığından olasılıklı yaklaşımların çoğundan daha önemli fakat daha karmaşıktır. Bu yöntemde, değerlerin oranlamalı tahmini ve regresyon tahmini kullanılarak olasılıklı model oluşturulmakta ve bu model çerçevesinde ayrıntılı analiz yapılmaktadır. Bu yöntemde genellikle analizler verimlilik karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. ÖY, eldeki verilerin doğru kullanılmasıyla tahminlemenin etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Tutarlılık ve yanlılık açısından MCS ile karşılaştırılmış ve ÖY' nin daha kesin sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Lehtonen ve Pahkinen, 2004; Wu vd., 2017).

3.2.7. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) (YSA)

YSA, jeoteknik problemlerin çözümünde kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. YSA, birçok jeoteknik mühendislik sorununa çözüm olabileceği savunulmuştur (Behrens vd., 2010; Alavi vd., 2013). YSA kullanımıyla, kum ve çakılın üç eksenli plastisite davranışının analizlerinde ve kaya kütlesindeki gerilmelerin modellemesi gibi birçok jeoteknik alanda başarıyla uygulandığı belirtilmiştir. Ayrıca, kaya kütleleri duraylılığının sağlanması için kullanılan kaya cıvatalarının dayanım kapasitelerinin ölçülmesi, şev duraylılık koşullarının haritalandırılması ve şevin duraylı kalması için minimum su içeriğinin tahminlemesi çalışmalarında YSA kullanılmıştır (Ellis vd., 1995; Kiefa, 1998; Yang ve Rosenbaum, 2002; Sakellariou ve Ferentinou, 2005; Behrens vd., 2010; Alavi vd., 2013). MCS ve BDGY gibi olasılıklı yaklaşımların belirsizlik faktörünün azaltılmasında kullanılabileceği belirtilmiştir (Cho, 2009).

3.2.8. Taylor yöntemi (Taylor Method) (TY)

c ve ϕ parametreleriyle oluşturulan Taylor grafikleri daha çok dairesel kayma tipi analizlerinde kullanılmaktadır. Bu grafiklerde kohezyon ve sürtünme açısı parametrelerine göre saptanan şev güvenlik katsayılarının birbirine oranıyla yeni bir F değeri üretilir (Taylor, 1937).

3.2.9. Nokta Tahminleme yöntemi (Point Estimate Method) (NTY)

NTY' de, yoğunluk tahminleme fonksiyonunun aynı düşük sıralı aşamalarının modellemesi gereken ayrı olasılıkları spesifik olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde değişimlere uğramış olasılık fonksiyonu meydana getirilmektedir. Bu değişimlerin belirlenmesi için öncelikle değişkenlere ağırlıklı veri setleri eklenmektedir. Bu yöntem basit, kullanımı kolay ve esnek yapıdadır. Ancak NTY ile ilişkili değişkenlerin düzenlenmesi farklı açılardan gerçekleştirildiği için karmaşıktır (Rosenblueth 1975; 1981; Harr 1987; Wolff, 1996; Duncan, 1999; Miller vd., 2004; Chiwaye ve Stacey, 2010).

3.2.10. Markov Zinciri (Markov Chain) yöntemi (MZY)

MZY, kaya kütlelerinin uzaysal değişkenliği ve jeoteknik alan karakterizasyonu sırasında ortaya çıkan çeşitli belirsizliklerin çözümünde kullanılmaktadır. Olasılıklı Yoğunluk Fonksiyonu'nun (OYF) durağan dağılımlarını sınırlayarak bu fonksiyondan türetilen rastgele değişkenler dizisini simüle eden sayısal bir işlemdir (Beck ve Au, 2002; Robert ve Casella 2013). Özellikle OYF karmaşık olduğunda ve analitik şekilde ifade etmek zor olduğunda MZY kullanılmaktadır. Ayrıca, düzensiz oluşturulan bir OYF 'den MCS örnekleri üretmek için uygun bir yol sağlamaktadır (Metropolis vd., 1953; Au 2001; Au ve Beck 2001 ve 2003).

3.2.11. Şev Duraylılık Olasılık Sınıflaması (Slope Stability Probolistic Classification) yöntemi (ŞDOSY)

ŞDOSY, şev duraylılık analizinde kullanılan bir kaya kütle sınıflandırma sistemidir. Bu yöntemde, iklim koşullarının kaya kütlelerinde meydana getirdiği ayrışma dereceleri ve kazı yöntemini dikkate alarak şev duraylılığı analiz edilmektedir. Süreksizliklerin varlığı ve geometrik özellikleri dikkate alınarak şev kayma türlerinin meydana gelmesinin olasılıklı sınıflandırılması yapılmaktadır. Bu sınıflandırılmaya göre emniyetli şev tasarımı yapılmaktadır (Hack, 1998; Lindsay vd., 2001; Hack vd., 2003; Rai vd., 2005; Andrade ve Saraiva, 2008; Filipello vd., 2010; Hailemariam Gugsa ve Schneider, 2010).

3.2.12. Ağırlıklı Artık tekniği (Weighted Residual Technique) (AAT)

AAT, gelişmiş şev duraylılık sınıflama yaklaşımıdır ve iki aşamadan oluşmaktadır: İlk aşamada, bağımlı değişkenlerde varsayımlar yapılmakta, sonra sınır koşulları oluşturularak istatistiksel denklemler meydana getirilmektedir. İkinci aşamada ise bu denklemler diffaransiyel denkleme dönüştürülmektedir. Differansiyel denklemlerin çözümü yaklaşık olduğu için hata

çıkmaktadır. Bu hatayı azaltmak için differansiyel denklemler cebirsel denklemlere dönüştürülmektedir. (Finlayson, 2013; Lindgren, 2009).

3.2.13. BKY (Temel Kalite Yöntemi) (Basic Quality Method) ve $K_{şev}$ Sistemi (Q_{slope} System)

BKY, birçok jeoteknik çalışmalarda kullanılan Çin Ulusal Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemi (GB / T 50218-2014 2014) olarak kabul edilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde, tek eksenli basınç dayanımı ve kaya sağlamlığı endeksi dikkate alınarak şev duraylılık analizleri yapılmaktadır. Şev duraylılığı analizlerinde, mevcut jeolojik koşulların olumsuz etkisi göz önüne alındığında, BKY' de, şevin duraylılık derecesini belirlemek için beş adet düzeltme katsayısı kullanılmakta ve düzeltilmiş BKY' den elde edilen değer hesaplanmaktadır (The National Standards Compilation Group of People's Republic of China (2014) GB/T 50218, 2014; Bar ve Barton, 2017).

$K_{şev}$ sistemi, kaya kütlesi kalite sınıflandırmasına dayanan şev duraylılık analizi yöntemidir. BKY' nin anlam ve parametre değerlerini uygun hale getirmek için indeks değer atanarak geliştirilmiştir. Ayrıca Asya, Avustralya, Orta Amerika ve Avrupa ülkelerindeki çok sayıda şev duraylılık çalışmalarında kullanılmıştır. $K_{şev}$ değeri ile şev açısı arasında uzun vadeli şev duraylılığını koruyabilen ilişki bulunmaktadır. Bu sistem yumuşak ve sert kayalarla birleşmiş kaya yüzeylerinde ve zayıf kaya katmanlarının olduğu şevlerde uygulanamaz (Barton vd., 1974; Barton, 2002; Barton ve Bar, 2015; Bar ve Barton, 2017).

3.2.14. Kernel Yoğunluğu Tahminleme (KYT) (Kernel Density Estimation) yöntemi

OYF istatistikte temel bir kavramdır. OYF' de işleve sahip rastgele X miktarı ele alınarak, fonksiyon denklemi belirlenmektedir. X değerlerinin dağılımının istatistiksel tanımlaması verilmekte (Eşitlik 3.8) ve X değerleri ile ilişkili olasılıklar hesaplanmaktadır (Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

$$P(a < MX < b) = \int_{b}^{a} f(x)dx \tag{3.8}$$

Eşitlik 3.8'de her bir a ve b değerleri için a<b ile bütün x değerleri için $f(x) \geq 0$ koşulları bulunmaktadır (Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

Klasik yoğunluk tahminleme yaklaşımı parametriktir. Bilinen bir parametrik dağılımlardan birinin ortalama ve varyans değerlerine göre yoğunluk analizleri yapılmaktadır. Klasik yoğunluk tahminleri, veriden ortalama ve varyans tahminleri yaparak ve bu tahminleri normal yoğunluk formülü ile düzentilerek tahminleme yapılmaktadır. Bu yaklaşım, gözlemlenen verilerin dağılımı hakkında daha az değişimi olan varsayımların yapılması nedeniyle daha parametrik olmayacaktır. (Silverman, 1998).

Yoğunluk fonksiyonlarında veri doğrusallaştırma kavramı, veri analizinde temel bir kavramdır. Metot, temel olarak fonksiyonları filtrelerken ve analizlerde ilgili olmadığı düşünülen veri yapılarını dikkate almazken, sadece önemli kalıpları yakalamaya çalışan yaklaşımla bir fonksiyon oluşturmayı içermektedir. Genel olarak filtre olarak adlandırılan işlevler, fonksiyonu sadeleştirici görevi üstlenmişlerdir (Parzen, 1962; Rosenblatt, 1956).

Konuyla ilgili çalışmalarda, KYT bilinen en iyi pürüzsüzleştirme tekniklerinden birisidir (Silverman, 1998; Gramacki, 2018). KYT'nin önemli rol oynadığı problemlerde, olasılık yoğunluk işlevini tahmin etmek için istatistiksel yöntemlere başvurulur. Bu nedenle KYT yöntemleri, veri düzeltme yöntemlerinin en doğrusudur (Rosenblatt, 1956; Parzen, 1962).

OYF' ler arasında önemli bir yeri olan KYT yöntemi, veri analizlerinde kullanılan ve parametrik olmayan bir olasılıklı yaklaşımdır. Görsel modellemelerde KYT yöntemleriyle veri yapılarının en yakın komşuluk ilişkileri incelenebilmektedir. Mekansal istatistik analizlerde, araştırılan birimlerin büyüklükleri ve konumları hesaba katılarak inceleme yapılmaktadır. Böylece daha analaşılır ve gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir (Silverman, 1998; Motai, 2015; Gramacki, 2018).

Yoğunluk analizinde, radyal olarak simetrik özelliğe sahip olan normal (Gauss) KYT yöntemlerinde popüler seçenektir. Bu yoğunluk analiz yöntemi, diğer KYT yöntemlerine göre daha basit olması nedeniyle, pratik uygulamalarda en sık kullanılandır. Tek değişkenli ve çok değişkenli olarak kullanılabilmektedir (Silverman, 1998; Gramacki, 2018). Tek değişkenli KYT yöntemi temel formülüyle gösterilirse (Eşitlik 3.9) (Gramacki, 2018);

$$K(u) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \tag{3.9}$$

KYT' de kullanılacak fonksiyon belli koşullarda (Çizelge 3.2) sınırlıdır (Gramacki, 2018)

Çizelge 3.2. KYT' nin sınırları (Gramacki, 2018' den)

$\int K(x)dx = 1$
$\int xK(x)dx = 0$
$\int x^2K(x)dx < \infty$
K(x)≥0 (her x için)
K(x)=K(-x)

Çekirdek fonksiyonu; simetrik, ortalaması sıfır, sınırlı varyanslı ve sürekli olmalıdır. Bu durumlarda K(x), k = 2 derecesinin çekirdeği olarak adlandırılır. Bazen yüksek dereceli çekirdekte göz önüne alınmaktadır. Böyle bir durumda, sınırlar (Çizelge 3.3) daha genel bir biçimde yeniden yazılmalıdır (Jones ve Foster, 1993; Gramacki, 2018).

Çizelge 3.3. Genelleştirilmiş KYT' nin sınırları (Jones ve Foster, 1993; Gramacki, 2018' den)

$\int K(x)dx = 1$
$\int x^jK(x)dx = 0$ (j=1,….k-1 için)
$\int x^kK(x)dx \neq 0$
K(x)=K(-x)

Tek değişkenli KYT' de, Epanechnikov, İki Ağırlıklı, Üç Ağırlıklı, Üçgensel, Normal ve Dikdörtgensel yöntemleri tercih edilmektedir (Çizelge 3.4). Çok boyutlu olanlarda kullanılmaktadır. Epanechnikov KYT, Dikdörtgensel KYT, İki Ağırlıklı KYT ve Üç Ağırlıklı KYT özel yöntemlerdir (Epanechnikov, 1969; Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

Çizelge 3.4. Ençok kullanılan KYT fonksiyonları
(Epanechnikov, 1969; Silverman, 1998; Gramacki, 2018' den)

KYT Türü	Fonksiyon Denklemi	Koşul	Etkinliği
Normal	$(2\pi)^{-1/2}\exp(x^2/2)$	-	0,9512
Epanechnikov	$(3/4)(1-x^2)$ koşul	$\{\|x\|<1\}$	1
Dikdörtgensel	½	$\{\|x\|<1\}$	0,9295
İki Ağırlıklı	$(15/16)(1-x^2)^2$	$\{\|x\|<1\}$	0,9939
Üç Ağırlıklı	$(35/32)(1-x^2)^3$	$\{\|x\|<1\}$	-
Üçgensel	$(1-\|x\|)$	$\{\|x\|<1\}$	0,9859

Ortalama olarak bütünleşik kare hata temelinde, çeşitli KYT fonksiyonları arasında seçim yapılabilecek çok az durum mevcuttur. Analiz yapılacak birimlerde, temel alınan fonksiyon türü tamamen kişinin seçimine bağlıdır. Epanechnikov fonksiyonu ise, diğerlerine göre en düşük ortalama karesel hataya (asimptotik) sahiptir (Epanechnikov, 1969; Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

KYT görsel analiz işlemleri, veri setleri ile oluşturulan grafiksel nokta dağılım yapılarının rastgele, düzenli veya belli bir bölgeye toplanıp toplanmadığı (kümelenme) incelemelerden oluşmaktadır. Görsel model üzerinde veri setleriyle meydana getirilen grafiksel noktalar, eşit dağılım ve birbiri ile aynı veya çok yakın ise düzenli (homojen dağılımlı) noktalar veya birbirine göre farklı uzaklıkta ve farklı konumlarda dağılmışlarsa rastgele ve bu noktalar belli bir alana yoğunluk gösterip diğer alanlarda bulunmuyorsa kümelenmiş dağılım oluşturmaktadır. Kümelenmiş dağılım ile yapılan analizler, değerlendirme ve yorumlamaya imkan vermektedir. Görsel modele taşınan araştırma alanlarının konumsal analizinde kullanılan KYT yöntemi, noktalar arasındaki uzaklık bilgisi ve ortaya çıkan yoğunluk fonksiyonları sayesinde parametrelerin birbirleriyle etkileşimlerini incelemektedir. Böylece modeller birbirleriyle koordinat sistemlerinde karşılaştırılmaktadır (Epanechnikov, 1969; Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

KYT yönteminin, çok değişkenli (2B veya daha fazla boyutlu) şekilde uygulanması tek boyutlu uygulamalara göre daha doğru sonuçlar üretmektedir. Çünkü en az iki boyut (X ve Y değişkenlerinin olması) dikkate alındığında, analizlerde model bileşenlerinin konumlandırılması daha net olmaktadır. Çok boyutlu yaklaşımda, belirlenmiş bir dairesel bölge içinde, veri

bilgilerine göre oluşturulan noktaların yoğunluğu, referans alınan dairenin merkez noktasına göre yer değiştiren nokta yoğunluğunu temsil etmektedir. Yöntem, belirlenen bir yarıçap değerine sahip çember içerisinde kalan veri seti yoğunluğu ile çemberin merkezinden uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu tanımlamak üzere kuruludur. (Bailey ve Gatrell, 1995; Silverman, 1998; Gramacki, 2018). KYT yöntemi, birden fazla değişkenli her bir örnekleme noktasında x ve y değişkenlerini esas almaktadır. Her örnekleme noktasına ait yoğunluk katsayıları, her grid hücre merkezinde, bant genişliği olarak tanımlanan belli bir yarıçap aralığında yoğunluk fonksiyonlarının denklemleri sayesinde hesaplanmaktadır. Araştırma bölgesi yarıçap sınırları içinde grid hücre merkezine daha yakın olan örnekleme noktaları, daha yüksek yoğunluk katkı değerine sahip olmaktadır. Her noktadaki yoğunluk birimleri, bütün noktalar için bir kümülatif yoğunluk yüzeyinin sağlanması için tüm kernel yüzeylerinin değerlerinin işleme alınmasıyla hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.10) (Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

$$f(x,y) = \frac{3}{n\pi h^2}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{h^2-[(x-xi)+(y-yi)]}{h^2}\right]^2 \quad (3.10)$$

Bant genişliği parametresini seçme sorunu, KYT bağlamında sıklıkla ortaya çıkan önemli bir konudur. Bu parametrenin bilinen olduğu varsayılmaktadır. Optimum bant genişliği seçimi için mevcut yöntemler öznel olarak tercih edilmektedir. KYT' nin doğruluk derecesi bant genişliği değerine bağlıdır. KYT fonksiyonunun tek değişkenli olması durumunda, bant genişliğinin düzleştirme miktarını kontrol eden bir işlevi bulunmaktadır. Çok değişkenli durumda, bant genişliği bir matristir ve düzleştirmenin hem miktarını hem de yönünü kontrol eder. Bu matris, çeşitli karmaşıklık seviyelerinde tanımlanabilir. Konu literatürde birçok farklı çözümler de incelenmiş ancak, literatürde kanıtlanmış olarak uygulanabilecek en iyi yöntem yoktur. Dolayısıyla, KYT yönteminde bant genişliğinin optimum olacak şekilde seçimi önemli bir faktördür. Eğer bant genişliği büyük seçilirse grafiksel değerler, doğrusal bir yapıda, yani nokta yoğunluğundaki değişim daha düzlemsel hale gelmekte ve yoğunluğun yapısı da etkilenmektedir. Eğer bant genişliği küçük seçilirse grafiksel değerler, daha anlamsız eğrilere dönüşmektedir. Her bir tahminleme noktasının yoğunluk değerleri eşit olmamakta ve analizlerin sayısal değerlerinin varyans değeri azalmaktadır (Silverman, 1998; Gramacki, 2018).

KYT yönteminin kullanım avantajları şöyle sıralanabilir (Silverman, 1998; Gramacki, 2018; Węglarczyk, 2018);

- Düzgün bir eğridir ve bu nedenle OYF ayrıntılarını daha iyi gösterir. Anormal yapıların tespit edilmesini kolaylaşmaktadır,
- Tüm örnek noktalarının yerlerini kullanır, bu nedenle, örnekte yer alan bilgileri daha iyi ortaya koymaktadır,
- Daha gerçekçi bir şekilde çoklu önerimler sunmaktadır,
- Kernel tahmincisinin odak noktası, bir histogram tahmincisinden daha iyi bir düzendedir,
- Çok boyutlu analiz yapabildiğinden kullanıcıya araştırmanın yönlerinin tespitinde kolaylık sağlamaktadır.

Ağırlıklı Kernel Yoğunluğu Tahminleme (AKYT) yöntemi (Weighted Kernel Density Estimation)

KYT yönteminin özel bir halidir. Ağırlıklı çekirdek yoğunluğu tahmincisi, görsel kısıtlı yoğunluk tahmini için dikkate değer bir seçenektir, çünkü basit, bilinen ve çok farklı değişkenleri kullanarak şekil kısıtlaması için uygulanmaktadır. Bir düzenleme eğrisinin kullanılmasıyla KYT şekli kontrol edilmektedir. AKYT yöntemi, klasik KYT göre fazladan karmaşıklığı ortadan kaldırır. AKYT yönteminde fonksiyonun olası kısıtlamaları aynı anda kullanılmaktadır. Olay serilerini bir uzay-zaman noktası model çerçevesine yerleştirerek uzamsal yoğunluk fonksiyonu meydana getirilmektedir. Ağırlıkların göstergeleri ve gözlemlerin bilgi içeriği bu anlamda verilerin yerel yoğunluğunun göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Gisbert, 2003; Wang ve Wang, 2007; Wolters ve Braun, 2018). AKYT yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda problemlerin çözümü için ağırlıklı verinin önemi büyüktür ve modelde gizli kalan nokta yoğunluğununun tespit edilmesini sağlamaktadır. MCS yöntemi bu noktayı açıkça ortaya koymasına rağmen çekirdek yoğunluğu tahmincisi, ağırlık tahmininde ağırlıkların tanıtımını rasyonelleştirerek faydalı bir alternatif yöntem olarak kullanılmaktadır (Gisbert, 2003).

En çok tercih edilen ve noktasal yoğunluk tahminlemesinde kullanılan klasik KYT yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerde ağırlıklı veri dikkate alınmamaktadır. Bu, her zaman nokta yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, problem olduğu anlamına gelmemektedir. Bu yüzden analizlerde sorun oluşturmaktadır. AKYT ile bu sorunun üstesinden gelinmektedir. (Hall ve Huang, 2002; Gisbert, 2003; Wolters ve Braun, 2018).

AKYT yönteminin hesaplamaları için çok sayıda formül yazılmıştır. Bu formüller tek boyutlu (Eşitlik 3.11) veya çok boyutlu (Eşitlik 3.12) olabilmektedir. İncelenen noktasal birimlerin boyutları birbirinden çok farklıdır. AKYT' de özellikle bu noktaların aralarında eşit olmayan bir dağılıma sahip olmakta ve yoğunlaşma derecelenmesini aynı temelde ele almaktadır. Bu işlemle farklı noktaların büyüklükleri somut şekilde ortaya koyulmaktadır. Böylece analizin gerçekçiliğine ve verimliliğine olumlu katkılar sağlanmaktadır (Dinardo vd., 1995; Durlauf ve Johnson 1995; Guillamón vd., 1998; Wang ve Wang, 2007).

$$f(x) = (h.n)^{-1}.\sum_{i=1}^{n} wi.\,K(\frac{X-Xi}{h}) \tag{3.11}$$

$$g(x) = \frac{(h.n)^{-1}\sum_{i=1}^{n}\frac{wi}{hxhy}K(\frac{Xi-X}{hx})K(\frac{Yi-Y}{hy})}{\sum_{i=1}^{n}wi} \tag{3.12}$$

KYT yöntemi, şev duraylılığı araştırmalarında çok az kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, süreksizlik düzlemlerinin nerede ve ne sıklıkla konumlandığını ve bu konumlanması ile nasıl bir KYT yoğunluk dağılımının ortaya çıktığını belirtmektedir. (Turanboy vd., 2019).

Tez çalışmasında, KYT ve AKYT yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen şev duraylılığı analizinde KYT nokta yoğunluğu temel alınarak bölgesel bir duraylılık sınıflanması yapılmıştır. Kaya kütlesi parametrelerinin etkilerinin önem dereceleri ortaya konularak farklı bir bakış açısıyla şevin duraylılığı incelenmiştir.

3.3. Kaya Şev Duraylılığı Konusunda Yapılan Literatür Araştırması

Şev duraylılığı, üzerinde yapılan ve bölüm 3'te belirtilen yöntemleri içeren kinetik, kinematik, deterministik ve olasılıklı yaklaşımlar kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda; kaya malzemesinin özellikleri, süreksizlik düzlemlerinin eğimi, eğim yönü gibi geometrik parametreleri ve kaya kütlelerinin jeoteknik parametreleri dikkate alınarak yapılan olasılıklı tabanlı yaklaşımlar oldukça cazip ve aktüel hale gelmiştir. Bu konuyla ilgili bu güne kadar yapılan önemli çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

Düzgün vd. (1995), BDİMY kullanarak düzlemsel kayma analizi yaptıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ortalama değerleri, varyansları ve korelasyon özellikleri dikkate alarak sürtünme açısı ve süreksizliklerin geometrik parametrelerini rastgele değişkenler olarak ele

aldıklarını belirtmişlerdir. Yer altı suyu seviyesi, şev yüksekliği ve şev açısı parametrelerinin, şev kayma olasılığı üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Miller ve Sias (1998), su kalitesi ve balık habitatı için potansiyel olarak olumsuz sonuçları olan nehir kenarındaki doğal şevlerin kayma olaylarını analiz ettiklerini ifade etmişlerdir. Kuzeybatı Pasifik'te kayma olaylarını gözlemledikleri noktalarda, kaya malzemesindeki farklılıkların, yağışlarda değişkenliklerin ve yer altı suyu alanlarına yakın kereste işletmeciliği faaliyetlerinin zamanla etkileri olduğunu savunmuşlardır. Hidroloji, yer altı suyu akışı sayısal datalarını ve şev duraylılığı modellerinde kullandıklarını ifade etmişlerdir. Bu modelle bir coğrafi bilgi sistemi oluşturduklarını ve veri depolama, aktarma ve görüntüleme için verimli bir çerçeve sağladıklarını vurgulamışlardır.

Cao ve Zaman (1999), kohezyonlu ve kohezyonsuz kaya malzemesi durumlarına göre şev duraylılığının analizi için, yeni bir analitik yöntem öne sürmüşlerdir. Bu yöntemde, tektonik hareketlerin şev yapılarına etkilerini sismik katsayılı bağımlı kuvvetlere göre analizinin yapıldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, düzlemsel ve dairesel kayma analizlerini gerçekleştirdiklerini ve dilim yöntemlerinden daha doğru bir alternatif olduğunu ve meydana getirdikleri denklemlerin integral bir formda temsil edilerek yapıldığını ifade etmişlerdir.

Park ve West (2001), kama tipi kayma analizi yaptıklarını aktarmışlardır. Karar verici yaklaşımlarla, istatistiksel belirsizlik derecesine bakılmaksızın her parametre için sabit bir temsilci değerinin gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle deterministik analizin, belirsizlik ve değişkenliği doğru şekilde gösteremediğini vurgulamışlardır. Bu gördükleri eksikliğin üstesinden gelmek için, NTY kullaranak uygun bir simülasyon prosedürü getirdiklerini öne sürmüşlerdir.

Düzgün vd. (2002), çalışmalarında, kayma dayanımı parametresinin şevlerin tasarımında kritik bir rol oynadığını ve bunun nedeninin de bu parametrenin kesin tahmininin genellikle mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Kayma mukavemetinin tahmini ile ilgili hataların ve belirsizliklerin şev tasarım sisteminde ölçülmesi ve modele yansıtılmasının daha doğru bir analiz için önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Kayma dayanımının altında yatan belirsizlikleri detaylı bir şekilde incelediklerini, yerinde çalışmalarla kayma dayanımının tahmin edilmesi için bir belirsizlik analiz modeli geliştirdiklerini öne sürmüşlerdir.

Düzgün vd. (2003), çalışmalarında Gelişmiş BDİMY oluşturduklarını ve bu yöntemi düzlemsel kayma analizinde uyguladıklarını ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada süreksizlik düzlemlerinin kayma dayanımı özellikleri ile ilgili belirsizlikleri analizlere dahil ettiklerini ve bu analizlerde normal gerilme seviyelerinde süreksizliklerin kayma özelliklerini değerlendirdiklerini

açıklamışlardır. Kayma dayanımının özelliklerini Gelişmiş BDİMY ile nitelendirdiklerini belirtmişlerdir.

Budetta (2004), çalışmasında Kaya Düşmesi Tehlike Derecelendirme Sistemi geliştirdiğini belirtmiştir. Bu sistemde puanlama işlevleri sınıflandırma oluşturmuş ve bunları kategorize ettiğini aktarmıştır. Şevdeki tehlikeyi göstermek için analiz boyunca riske maruz kalma derecesinin değerlendirilmesinin (süreksizlik sayısı, blok ağırlığı, iklim, su dolaşımı ve şev kayma geçmişi) temel alındığını aktarmıştır.

Zolfaghari vd. (2005), şev duraylılık analizlerinde, genellikle LDA kullanılarak analiz edildiğini, homojen kaya malzemeleri için kritik dairesel kayma yüzeyini bulmaya dayandığını aktarmışlardır. Çalışmalarında kayma yüzeylerinin katmanlı şevler için dairesel olmadığını açıklayarak şev duraylılık analizinde kritik dairesel olmayan kayma yüzeyini tespit etmek için Genetik Algoritma yardımıyla Nodal Optimizasyon metodu oluşturduklarını ifade etmişlerdir.

Cheng vd. (2008), dairesel olmayan kayma düzlemleri izlediklerini belirtmişlerdir. Şev yapılarında, kritik kayma yüzeyinin hassas şekilde tespit edilmesinin karmaşık olduğunu ve bunun üstesinden gelmek için çok amaçlı akış tipi optimizasyon problemini ortaya çıkardıklarını aktarmıştırlar. Şevlerin jeoteknik özelliğiyle yapısal sorunların çözümünde başarılı olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemi kullanarak yeni bir yaklaşım öne sürdüklerini belirtmişlerdir. Öne sürdükleri bu yaklaşım ile karmaşık şev duraylılığıyla ilgili sorunları yüksek güven düzeyinde çözdüklerini ifade etmişlerdir.

Grenon ve Hadjigeorgiou (2008), çalışmalarında süreksizlik sistemi modellemesinin kullanımının kama kaymasına duyarlı şevlerde denge analiz sınırlama problemlerini çözmek için yeni bir yaklaşım geliştirdiklerini öne sürmüşlerdir. Geliştirdikleri yaklaşımda, süreksizlik ve yapısal veri analizlerine dayalı olarak daha kapsamlı girdi verilerine izin verildiğini ve oluşturdukları metodolojide mekansal değişkenlik ve kama büyüklüğü dağılımlarının önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Düzgün ve Bhasin (2009), Norveç'in batısındaki 734 metre yüksekliğindeki eklemli bir kaya şevinin duraylılık durumunu BDGY ile analiz ettiklerini aktarmışlardır. Yerinde çalışmalarla verilerin elde edildiğini ve istatistiksel dağılımları, rastgele veriler için uygun algoritmaları oluşturduklarını belirtmişlerdir. ϕ' nin şev duraylılığında etkin rol oynadığını öne sürmüşlerdir.

Li vd. (2009), kama tipi kayma analizini modellemek için Karar Ağacı yöntemini kullandıklarını, sistem güvenilirlik analizlerinde farklı kayma türleri arasındaki korelasyonlarını dikkate aldıklarını ve bir N-boyutlu eşdeğer metodu kullandıklarını belirtmişlerdir.

Budetta (2010) gerçekleştirdiği simülasyon çalışmasında, sayısal modellemenin sonuçları, Rayleigh yönteminde topaklanmış kütle denklemini kullanarak kinetik izo-enerji eğrilerinin haritalarını elde etmiştir. Bu haritalar üzerinde, kaya kütle akışının tetikleme alanında, 1 m^3' lük düşen bir kaya için ortalama kinetik enerjiyi 120 kJ olarak hesapladığını, bu değerin şev yüzeyinde yaklaşık 800 kN' lik bir çarpma kuvvetine eşdeğer olduğunu belirtmiştir. Kayan bir blok tarafından zemine maksimum nüfuz etme derinliğinin yaklaşık 16 cm değerinde olduğunu ifade etmiştir.

Reddy ve Adarsh (2011), Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniğini kullanarak ve şev duraylılık durumlarını dikkate alıp açık su kanallarında optimal tasarımı için pratik bir metodoloji yaptıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, su derinlikleri ve akış hızı parametrelerin ele alındığını ve bu parametrelere göre şev duraylılık analizi ve şev tasarımı yaptıklarını ifade etmişlerdir.

Park vd. (2012), çalışmalarında NTY' yi kullanarak kama tipi kayma analizi yaptıklarını belirtmişlerdir. MCS yöntemi birçok avantaja sahip olsa da, duraylılık analizinde rastgele değişkenler hakkında tam bilgi gerektirdiğini belirtmişlerdir. Rastgele değişkenler hakkındaki bilgilerin örnekleme numaralarının kısıtlamaları nedeniyle genellikle sınırlı olduğunu öne sürmüşler ve bu yüzden güvenilirlik analizleri için MCS ve NTY kullanılmasını önermişlerdir. BDİMY ve NTY gibi yaklaşımlar kullanılarak yapılan analizlerde, rastgele değişkenlerin ortalama ve standart sapma değerlerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bilginin sınırlı olduğu durumlarda kullanımının kolay olduğunu açıklamışlardır. Kama kaymasının maksimum olabilirlik seviyesini dikkate alarak basit bir denklem yardımıyla kayma olasılığını analiz ettiklerini belirtmişlerdir.

Can (2012), doktora tezinde sahanın jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla sondaj karot numunelerinden, kaya ve zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile birçok jeoteknik parametreyi analiz ettiğini açıklamıştır. Ayrıca, sahada kaymaların mekanizmalarını tespit ettiğini ve karar verici yaklaşımlarla şevlerin duraylılığını analiz ettiğini belirtmiştir. Ayrıca, Micromine yazılımını kullanarak Şevleri tasarladığını ifade etmiştir. Şevlerin duraylılığının yer altı su tablası yükselimine çok hassas olduğunu ifade etmiştir.

Wang vd. (2013) düzlemsel ve dairesel kayma analizi yaptıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, şev duraylılığının analizlerinde kullanılan deterministik yaklaşımların hesaplama açısından verimli olmasına rağmen, duraylılığın izlenmesi açısından yeterli olmadığını, olasılıklı yaklaşımla kıyaslandığında karar verici yaklaşımlarda kaya kütle parametrelerinin hepsininin hesaba katılmadığını dolayısıyla değerlendirme aşamasında özellikle kritik şevlerde öngörülemeyen problerin ortaya çıkabileceğini belirtmişlerdir. MCS yöntemiyle kıyaslamalı şev duraylılıkları analiz etmek için yeni bir algoritma sunduklarını ve şev duraylılığının kaya kütle parametrelerinden etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Budetta ve De Luca (2015), İtalya' nın güney bölgesindeki deniz kenarı şevlerde, kama tipi kayma analizi için MCS yöntemi kullandıklarını belirtmişlerdir. Kama tipi kaymaya neden olan süreksizlik düzlemlerini tespit ettiklerini ve dalga enerjisinin şev duraysızlığına katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

Gu ve Huang (2016), nehir kenarında bulunan şevlerde, devrilme analizi yaptıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, Kiriş Demeti Modeli geliştirdiklerini öne sürmüşlerdir. Rezervuar su seviyesinin periyodik olarak dalgalanmasından kaynaklanan uzun süreli yoğun su debisinin etkileriyle, suda taşınan tortul kaya parçacıklarının şev dibinden devrilme olasılığını artırdığını ifade etmişlerdir.

Turanboy (2016), çalışmasında şev yapısında kama yapılarının konumlarını Lineer İzometrik Projeksiyonda tanımlamak için yeni bir yaklaşım geliştirdiğini aktarmıştır. Bir kaya şevlerinin yüzeyleri üzerinde süreksizliklerin kesişme noktalarının yoğunluğunu göstermek amacıyla, KYT yöntemini kullandığını, bu yötemin çok amaçlı şev duraylılık analizlerinde uygun olduğunu ve jeoteknik analizlerin karmaşıklığının üstesinden gelindiğini öne sürmüştür.

Rousseau vd. (2017) düzlemsel kayma analizi yaptıklarını aktarmışlardır. LIDAR kullanarak süreksizlik düzlemlerinin sayısal verilerini elde ettikten sonra, Bishop yöntemi ve Genetik Algoritma kullanarak kritik kayma bölgelerini tespit ettiklerini aktarmışlardır. Kayma bölgelerinin oluşmasında su varlığının etkisi olduğunu öne sürmüşlerdir.

Dadashzadeh vd. (2017), şev duraylılığının olasılıklı sayısal modellemesi için entegre bir metodoloji öne sürmüşlerdir. Çalışmalarındaki sayısal simülasyonların sonuçlarından performansı iyileştirmek için BDGY kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışma yönteminin MCS 'den % 72 daha verimli olduğunu ifade etmişlerdir.

Spreafico vd. (2017), kaya devrilmesinin yanal yayılma olaylarının başlangıcını kontrol eden mekanizmaların tam olarak bilinemeyeceğini belirterek yer altı suyunun şev duraysızlığına

yol açan jeomorfolojik süreçler üzerindeki etkisini açıklamak için hipotezler ortaya koyduklarını ifade etmişlerdir. SEY ile jeomekanik modeller oluşturduklarını ve bu modellere göre kil tabakalarının dağılmasının şev kaymasına neden olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu tabakaların dağılmasını, Voronoi Poligonal Ağ yaklaşımı ile birleştirilmiş Ayrık Kırılma Ağı modeli kullanılarak simüle ettiklerini aktarmışlardır. Model sonuçlarında, devrilmenin sınıflamasını yaptıklarını ve yer altı suyunun kayma süreçlerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Raghuvanshi (2017) düzlemsel kayma analizi çalışmasında tabakalı tortul ve meta-tortul kaya kütlelerinde, gerilmelerinin çok yaygın olduğunu aktarmıştır. Çalışmasında, düzlemsel kayma olasılığına sahip olan şev duraylılığının, geometriye, kaya tipine, potansiyel kayma düzlem özelliklerine, yeraltı suyu koşullarına ve dinamik yükleme özelliklerine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Alessio (2019), düzlemsel kayma analizi çalışmasında, SHALSTAB hazır paket programıyla Histogram ve tek boyutlu OYF kullandığını aktarmıştır. Şev kaymalarının, toprak ve temel kaya ara yüzeyinde oluşturulan basınçları tarafından yaygın olarak tetiklendiğini ve şiddetli yağışlarla bağlantılı olduğunu ifade etmiştir. Doymuş hidrolik iletkenlik (Ksat) ölçümlerini yaparak su sızma hızlarını hesapladığını ve bu hesaplamalar sonucunda yüksek su sızma hızı olan bölgelerin şev kayma olasılığının yüksek olduğunu belirtmiştir.

Raghuvanshi (2019) düzlemsel kayma ile ilgili çalışmasında, kontrol edilebilen şev geometrik özelliklerinin, potansiyel düzlemsel kaymanın kökenine etkilerini incelediklerini belirtmişlerdir. Çalışmasında, düzlemsel kayma olasılığı yüksek olan 17 adet şevin; eğim açısı, genel şev açısı, potansiyel kayma düzleminin eğimi, süreksizlik sayısı, şev yüksekliği, kohezyon, sürtünme açısı ve gerilim çatlağındaki yeraltı suyunun yükseklik parametreleri dikkate alınarak karar verici yaklaşımla F değerlerinin hesaplandığını ifade etmiştir. Ayrıca statik ve dinamik koşullar altında kaya parametreleri ve şev geometri verilerinin şev güvenlik katsayısı üzerindeki istatistiksel önemini incelemek için Varyans Analizi uyguladığını vurgulamıştır.

Turanboy vd. (2020) çalışmalarında, kazı sırasında olası kama tipi kayma problemlerini incelemişlerdir. Kaya kütlesindeki kama tipi kaymaya neden olan geometrik koşulları tespit etmişlerdir. Çalışmalarında bir dizi filtreleme, sıralama ve doğrusal denklem içeren yapısal veri analiz sistemi geliştirdiklerini ifade etmişlerdir. LDA kullanarak şev emniyet katsayısını hesapladıklarını vurgulamışlardır. Kazı yüzeylerindeki olası jeoteknik sorunlarının değerlendirilmesinde MCS yöntemi kullandıklarını ve şev emniyet katsayısının değişim varyasyonlarını elde ettiklerini açıklamışlardır.

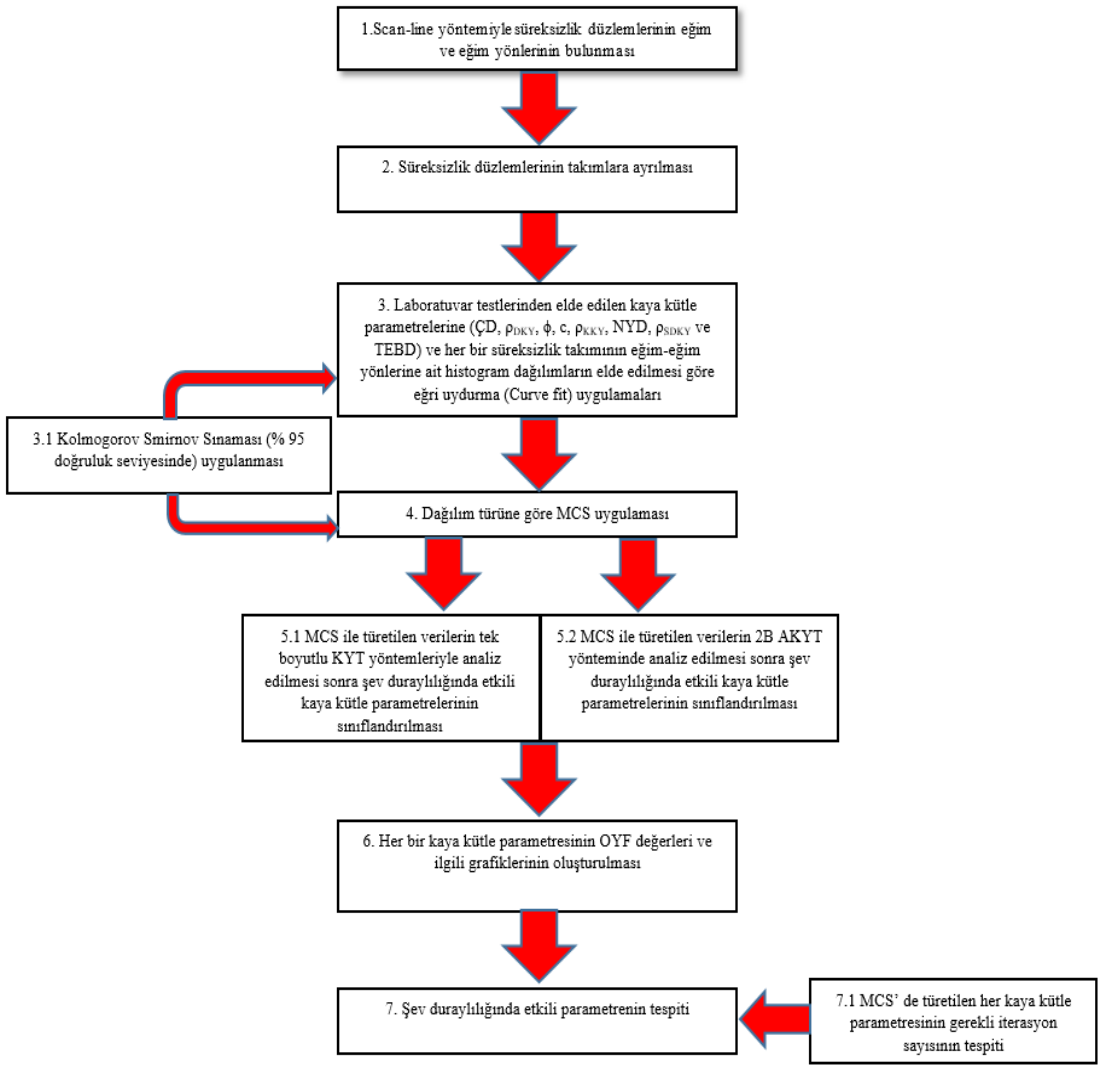
Yukarıda yapılmış çalışmalar incelendiğinde, şev duraylılığını etkileyebilen süreksizlik düzlemlerinin eğimleri, eğim yönleri ve kaya kütle parametrelerinin bir arada KYT yöntemleriyle değerlendirildiği herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında şev duraylılığında kaya parametrelerinin (kohezyon ve sürtünme açısı gibi) etkinliği ve süreksizlik düzlemlerinin hangi geometrik değerlerinin yönelimlerinde nasıl bir konumda bulunduğu incelenerek yeni bir olasılıklı yaklaşım önerilmiştir.

4. GELİŞTİRİLEN MODEL ve ANALİZLERDE KULLANILAN METARYAL ve YÖNTEM

Karar verici klasik yöntemlerle nihai tek bir sonuç elde edilmekte, olasılıklı yaklaşım modellerinde ise belirsizlik problemleri dikkate alınarak belirli güvenlik aralığında sonuçlar sunulmaktadır. Ayrıca, belirsizlik problemleri nedeniyle, olasılıklı yaklaşımların doğruluk dereceleri de düşük çıkabilmektedir. Bu nedenle belirsizlik problemlerinin en aza indirilmesi ve daha gerçekçi analizlere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, MCS ve KYT yöntemleri entegre edilerek, şev duraylılığına etkisi olan süreksizlik düzlemlerinin eğim, eğim yönü ve kaya kütle parametrelerinin her birine göre oluşturulan OYF' lerdeki değişimler analiz edilmiştir. Böylece, KYT' nin en önemli özelliği olan ayrıntılı fonksiyonel yakınsama sayesinde MCS' deki belirsizlik problemleri azaltılmıştır.

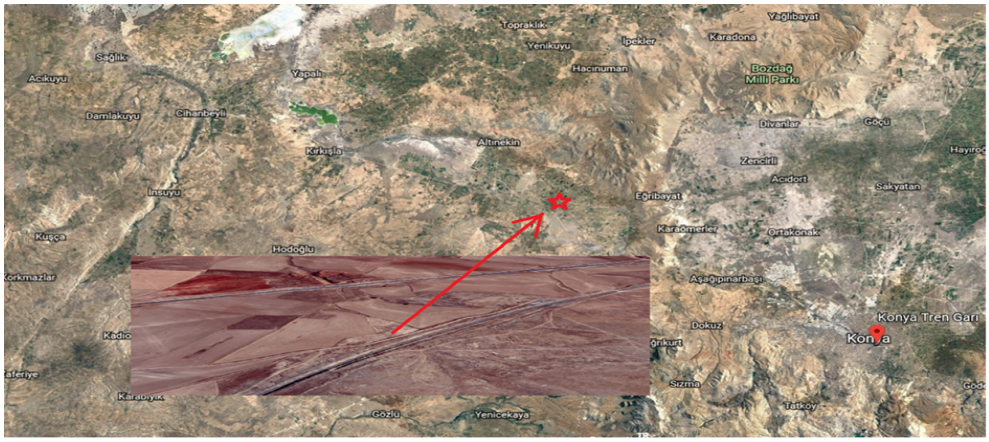
Süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri üzerinde şev duraylılığına etkisi olan ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY} ve ρ_S parametrelerine ayrı ayrı MCS yöntemi uygulanmış ve bu parametrelerin rastgele değerleri türetilmiştir. Bu değerlerin şev duraylılığına olan etkilerinin olasılıklı sınıflamaları niteliksel olarak KYT yöntemleri ile analiz edilmiştir. Parametrelerin KYT ile oluşturulan düzgün OYF' leri sayesinde, bu parametrelere ait yoğunlukların sayısal sonuçları elde edilmiş, KYT' nin küme ağları yapılandırılmış ve buna bağlı olarak şev duraylılığında etkinlik sınıflandırması oluşturulmuştur. Ayrıca, çözüm duyarlılığını arttırmak amacıyla 2B AKYT yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntemde, kaya kütle parametreleri ile süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönü değerleri birlikte değerlendirilmiş ve böylece bulunan OYF' lerde ki yoğunluk değerleri dikkate alınarak şev duraylılığında etkin kaya kütle parametrelerinin sınıflandırması yapılmıştır.

Süreksizlik düzlemlerinin varlığının fazla olması ve süreksizlik düzlemlerinin geometrik parametrelerinin kullanılarak yapılan niteliksel KYT yönteminde bölgesel yoğunluğun yüksek olması şev duraylılık analizlerinde her zaman etkili olmayabilmektedir. Bu çalışmada, aynı kinematik analizde ki kontur diyagramlarla oluşturulan ve kritik blok kaymalarının tanımlandığı niteliksel analizlerde olduğu gibi ağırlıklı veriler temel alınarak oluşturulan yoğunluk bölgelerinin de şev duraylılığının tanımlanmasında kullanılabileceği öne sürülmüştür. Şev duraylılık analizlerinde, ağırlıklı olarak kaya kütle parametre verilerinin yeni yöntem ile etkin olarak kullanılabileceği önerilmiştir. Tezde yapılan çalışmaların genel akım şeması Şekil 4.1' de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Tez çalışmasının akım şeması

Çalışma sahasının Google Earth görüntüsü ise Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Örneklenen sahanın Google Earth görüntüsü (Turanboy, 2019' dan)



Şekil 4.3. Çalışma sahası (Turanboy, 2019' dan)

Tez çalışmasında, örnek saha olarak seçilen bölgede (Şekil 4.3), kinematik analiz ile kama, düzlemsel ve devrilme türü kaymalarla, kaya kütle sınıflama sistemleri olan RMR, RQD, Q-Sistem ve M-RMR uygulamarına da yer verilerek öne sürülen yöntem üzerinde tartışmalar yapılmıştır.

5. İNCELENEN ŞEVİN KİNEMATİK ANALİZİ VE KAYA KÜTLE SINIFLAMA UYGULAMALARI

Kinematik analizler, genellikle şev tasarım çalışmaların başında yer almaktadır. Bu bölümde şev duraylılığı hakkında ön değerlendirme yapmak ve bu tezde geliştirildiği öne sürülen yöntemle kıyaslamak amacıyla kinematik analizler yapılmıştır.

5.1. Kaya Şev Duraylılığının Stereonet İzdüşüm Analizi

Saha verilerinden elde edilen süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönü parametrelerinin, şev duraylılık analizlerinde anahtar rolü bulunmaktadır. 3B veri kullanımı, Stereografik izdüşüm yöntemi için temel alınmıştır. Stereografik izdüşüm yöntemi süreksizlik düzlemlerinin 3B yönelimlerini, 2B şekilde temsil edilmesini mümkün kılmaktadır. Stereografik modeller, bir boyutu devre dışı bırakmakta, 3B süreksizlik düzlemlerini, yay şeklinde veya noktasal olarak temsil edebilmektedir. Noktasal temsille yapılan analizlerde süreksizliklerin birbiriyle olan ilişkileri tam olarak incelenememektedir. Yay şeklinde temsille yapılan analizlerde ise, süreksizliklerin kesim durumları ve aralarındaki açısal farkları net tespit edildiğinden noktasal temsille yapılan analizlere göre daha detaylı sonuçlar elde edilebilmektedir. Stereografik izdüşüm, ekvatoral düzlemin yatay ve bu düzlemin konumunun kuzeye göre sabit olduğu bir küreyi referans almaktadır. Stereografik izdüşümde şevin ve süreksizlik düzlemlerinin temsil edildiği çizgiler referans kürenin sınırları içinden geçecek biçimde hayalî olarak konumlandırılır. Süreksizliklerin referans kürenin alt yarısı ile arakesiti, referans küre yüzeyinde özel bir çizgiye karşılık gelir. Bir düzlem için referans küre ile arakesit çizgisi bir daire olup, büyük daire şeklinde adlandırılır. Bir çizginin referans küre ile arakesiti bir noktadır. Şevin ve süreksizliğin stereografik izdüşümünü elde etmek için, referans küre ile arakesit noktası arasında kalan kürenin tabanındaki yatay düzlemde döndürülmesi gerekmektedir. Döndürülmüş çizgiler veya noktalar, stereonet üzerinde süreksizliklerin eğimini ve eğim yönünü temsil eden özel noktalardır. Stereonet izdüşüm yönteminde, yapılan şev duraylılığı analizinde, süreksizlikleri ve şev yüzeyini temsil etmede düzlemler kullanılmaktadır. Bir düzlem yönelimini temsil etmenin alternatif bir yolu, düzlemin kutbudur. Kutup, herhangi bir düzlemin normali olan ışınsal çizginin, referans küre yüzeyini deldiği yerdir. Kutup izdüşümü, bir düzlemin yöneliminin tamamının tek bir nokta ile temsil edilebilmesiyle gösterilir. Kutupsal koordinat sisteminde oluşturulan stereografik izdüşüm kullanımı, büyük dairelerin kullanımına kıyasla, çok sayıda düzlemin analizini kolaylaştırmaktadır (Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014).

Stereonetler üzerinde verilen bilgilerin yorumlanmasına yardımcı araç olması bakımından, düşük eğimli düzlem ve çizgilerin büyük dairelerinin ve noktalarının stereonetin dış dairesi yakınlarına ve eğimi fazla olanların da merkez yakınlarına düştüğü görülebilir. Bunun aksine, düşük eğimli düzlemlerin kutupları merkez yakınına düşerken, çok eğimli düzlemlerin kutupları dış daireye yakın bölgelere düşmektedir (Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014).

Yapısal jeoloji de kutupsal ve ekvatoral izdüşüm olmak üzere iki tip stereografik izdüşüm kullanılmaktadır. Kutupsal izdüşümde, sadece kutuplar işaretlenebilirken, ekvatoral izdüşümde ise, hem düzlemler hem de kutuplar işaretlenebilmektedir. Ekvatoral izdüşüm durumunda en yaygın stereonet izdüşümü, Eşit Alan veya başka bir ifadeyle Lambert (Schmidt) ağıdır. Bu ağda referans küre üzerindeki herhangi bir alan, stereonet üzerine eşit alan olarak izdüşürülür. Ağın bu özelliği, tercihli yönelimleri ve süreksizlik takımlarını temsil eden kutup konsantrasyonlarını konturlamada kullanılmaktadır. Ekvatoral izdüşümün diğer çeşidi, Eşit Açılı Ağ veya Wulff ağıdır. Açısal ilişkileri incelemede Wulff ve Lambert ağlarının ikisi de kullanılabilse de, kutup konsantrasyonlarını konturlamada sadece Lambert ağı kullanılabilir. Fakat bu metodolojiler, çok karmaşık, zaman alıcı, sınırlı bir bilgi sunmakta ve şevler için olası kayma lokasyonları ile ilgili ek çalışmalar gerektirmektedir. Mekânsal analizlerle istatistiksel yöntemlerin kombinasyonlu şekilde kullanımı yetersizdir. Kaya şev duraylılık analizlerinde geometrik-trigonometrik kavramlar göz önünde bulundurularak, olasılıklı bir yaklaşım benimsenmelidir (Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah; 2014; Turanboy, 2016; Turanboy, vd., 2018).

Kaya kütlesinde süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri, tektonik aktiviteler ve yerçekimi kuvveti nedenleriyle setler halinde görülmektedir. Bu setler, stereonet'teki kutupsal diyagramlara yansıtılmaktadır. Süreksizlikler belli noktalarda yoğunlaşarak süreksizlik takımlarını meydana getirmektedir. Stereografik izdüşüm üzerinde, çok sayıda süreksizlik takımına ait kutuplar olması halinde, farklı süreksizlik takımlarına ait kutuplar arasında ayırımın yapılması ve her bir süreksizlik takımın en olası yönelimini bulmak oldukça güç ve zaman alıcı olmaktadır. Fakat Stereografik izdüşümde konturlamak suretiyle süreksizlik kutuplarının en yoğun olarak kümelendiği alanlar Fisher dağılımı yöntemiyle kolaylıkla bulunmaktadır. Kontur oluşturmada en çok tercih edilen yöntem, çoğu stereografik izdüşüm bilgisayar programı ile birlikte sağlanan konturlama paketinin kullanılmasıdır. Konturlama işlemi aynı zamanda Kalsbeek Ağı kullanarak elle de yapılabilir. Bu ağ, her biri stereonetin yüzde birine karşılık gelen birbirine komşu altıgen kutucuklardan oluşmaktadır. Konturlama işlemi, sayma ağını kutup diyagramı üzerine yerleştirip, her kare içine düşen kutup sayısını elde etmek suretiyle yapılmaktadır (Phillips, 1971; Leyshon ve Lisle, 1996; Hoek and Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014).

Tez kapsamında çalışma sahası olarak Konya-Afyon demiryolu güzergâhında konumlanan Bozdağ tünelinin Afyon çıkışındaki demiryolu boyunca uzanan ve kireçtaşlarından oluşan şev seçilmiştir. İncelenen şevin 1B-Şerit metre ölçümüyle örneklenen 125 m genişliğinde şev aynası Şekil 5.1' de sunulmuştur. Şev boyunca 126 adet süreksizlik ele alınmıştır (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1. 1B-Şerit metre ölçümü ile örneklenen 125 m' lik şev (Turanboy, 2019' dan)

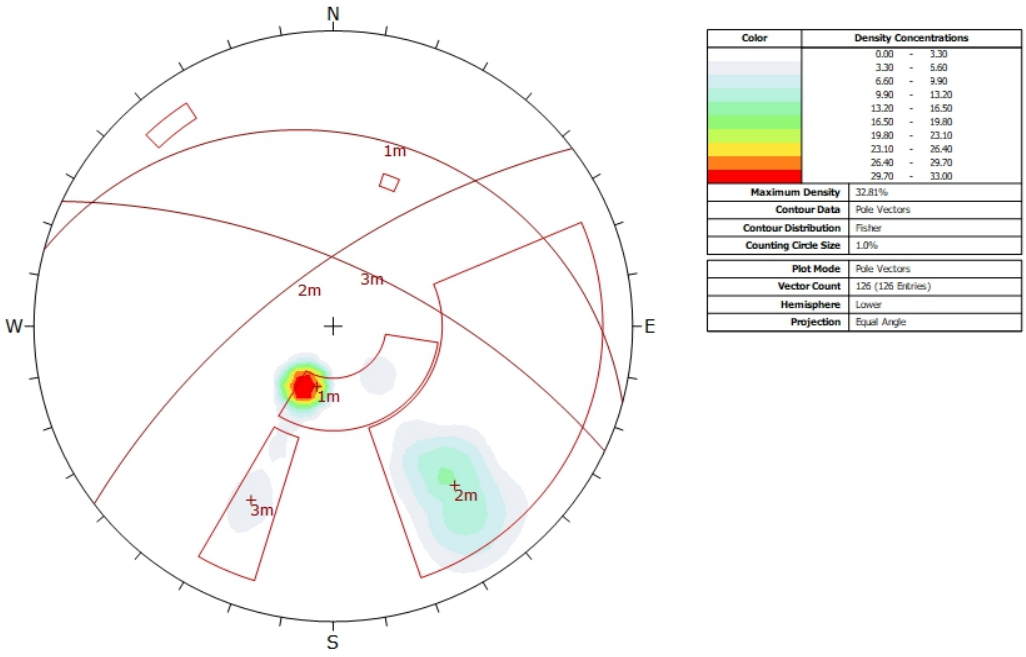
Çizelge 5.1. Tarama Hattı ile ölçülen süreksizliklerin eğim açısı ve yönelimleri (Turanboy, 2019' dan)

Sıra Numarası	Eğim Yönü (derece)/ Eğim (derece)	Sıra Numarası	Eğim Yönü (derece)/ Eğim (derece)	Sıra Numarası	Eğim Yönü (derece)/ Eğim (derece)
1	311/59	**43**	026/24	**85**	026/26
2	309/61	**44**	309/24	**86**	025/26
3	025/26	**45**	025/79	**87**	330/53
4	024/27	**46**	312/25	**88**	330/37
5	024/25	**47**	024/79	**89**	325/52
6	316/63	**48**	318/24	**90**	325/58
7	314/64	**49**	023/79	**91**	327/71
8	025/25	**50**	317/25	**92**	324/81
9	325/60	**51**	024/70	**93**	024/68
10	316/62	**52**	318/25	**94**	328/80
11	026/24	**53**	026/75	**95**	328/78
12	315/59	**54**	315/24	**96**	025/66
13	026/24	**55**	026/81	**97**	026/66
14	282/32	**56**	332/45	**98**	330/65
15	026/24	**57**	020/82	**99**	323/52
16	026/26	**58**	025/48	**100**	024/26
17	027/24	**59**	250/68	**101**	329/70
18	026/24	**60**	320/60	**102**	024/24
19	201/55	**61**	331/24	**103**	330/71
20	026/24	**62**	026/79	**104**	028/22
21	025/24	**63**	321/45	**105**	331/24
22	322/52	**64**	027/62	**106**	331/70
23	024/25	**65**	322/82	**107**	315/25
24	025/25	**66**	330/79	**108**	026/52
25	318/65	**67**	329/63	**109**	025/26
26	319/65	**68**	322/61	**110**	324/79
27	024/25	**69**	332/22	**111**	026/26
28	025/62	**70**	024/62	**112**	332/59
29	320/75	**71**	330/24	**113**	324/98
30	321/88	**72**	025/80	**114**	027/26
31	320/25	**73**	328/42	**115**	026/25
32	027/68	**74**	320/25	**116**	025/24
33	319/88	**75**	026/59	**117**	025/26
34	321/26	**76**	322/55	**118**	024/27
35	023/71	**77**	335/35	**119**	027/27
36	318/65	**78**	024/70	**120**	320/82
37	322/25	**79**	322/81	**121**	026/28
38	026/24	**80**	025/68	**122**	025/29
39	025/24	**81**	323/37	**123**	321/45
40	026/51	**82**	026/71	**124**	332/79
41	310/25	**83**	024/36	**125**	332/75
42	024/55	**84**	330/52	**126**	338/68

Stereografik İzdüşüm yönteminde, sadece düzlemler arasındaki açısal ilişkiler dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına olan etkisi açıklanamamaktadır. Ayrıca şevde süreksizliklerin yoğunluğun fazla olması her zaman şevin duraylı olmadığı anlamına gelmez. ρ, ρ_S, ϕ ve c gibi kaya kütle parametreleri, şev kaymalerında etkin olduklarından, analizlerde önemli rolü bulunmaktadır (Lisle ve Leyshon, 2004; Hunt, 2005; Jackson, 2019).

5.1.1. Süreksizlik düzlemlerinin takımlara ayrılması

Çizelge 5.1 verilen süreksizlik düzlemlerine ait ölçüm değerleri DIPS 6 (ROCKSCIENCE, 2012) programı kullanılarak süreksizlik takımlarına ayrılmıştır (Şekil 5.2). Buradaki amaç, bu takımların hangi konumlarda yoğunlaştığının tespit edilmesi ve detaylı olarak şev duraylılığına olan etkisinin incelenmesidir.



Şekil 5.2. Süreksizlik takımlarının bulunması

DIPS 6 (ROCKSCIENCE, 2012) yazılımı kullanılarak stereonet izdüşümde (Şekil 5.2), Fisher dağılımıyla üç süreksizlik takımı tespit edilmiştir (Çizelge 5.2). Fisher dağılım konsantrasyonlarıyla, toplam süreksizlik sayısının % 1 alanlara bölünmesiyle yoğunluk sınıflaması yapılmıştır. Maksimum yoğunluk değerininin (% 32,81) olduğu belirlenmiş ve bu değer birinci süreksizlik olarak atanmıştır. Birinci, ikinci ve üçüncü süreksizlik takımlarının ortalama eğim ve eğim yönleri sırasıyla, 66º/195º, 22º/143º ve 24º/205º değerleridir. Birinci ve üçüncü süreksizlik takımları yaklaşık Kuzey-Doğu yönelimdeyken ikinci takım ise, yaklaşık olarak Kuzey-Batı yönelimindedirler.

Çizelge 5.2. Üç Süreksizlik takımına ait eğim ve eğim yönleri

	Birinci Süreksizlik Takımı	**İkinci Süreksizlik Takımı**	**Üçüncü Süreksizlik Takımı**
	Eğim Yönü (derece)/Eğim (derece)	**Eğim Yönü (derece)/ EğimYönü (derece)**	**Eğim Yönü (derece)/Eğim (derece)**
	025/26	311/59	201/55
	024/27	309/61	025/62
	024/25	316/63	027/68
	025/25	314/64	023/71
	026/24	325/60	026/51
	026/24	316/62	024/55
	282/32	315/59	020/45
	026/24	322/52	025/82
	026/26	318/65	027/45
	027/24	319/65	025/81
	026/24	320/75	024/68
	026/24	321/88	025/66
	025/24	319/88	026/66
	024/25	318/65	026/52
	025/25	312/79	
	024/25	318/79	
	320/25	317/79	
	321/26	318/70	
	322/25	315/75	
	026/24	332/81	
	025/24	250/48	
	310/25	320/68	
	309/24	331/60	
	025/24	321/79	
	024/25	322/62	
	023/24	330/82	
	024/25	329/79	
	026/25	322/63	
	026/24	332/61	
	026/24	330/62	
	024/22	328/80	
	025/24	320/42	
	026/25	322/59	
	024/35	335/55	
	026/37	322/70	
	024/36	323/68	
	026/26	323/71	
	025/26	330/52	
	330/37	330/53	
	024/26	325/52	
	024/24	325/58	
	028/22	327/71	
	331/24	324/81	
	315/25	328/80	
	025/26	328/78	
	026/26	330/65	
	027/26	323/52	
	026/25	329/70	
	025/24	330/71	
	025/26	331/70	
	024/27	324/79	
	027/27	332/59	
	026/28	324/88	
	025/29	320/82	
		321/45	
		332/79	
		332/75	
		338/68	
SS (Eğim Yönü/Eğim)	**109,362/3,344**	**11,599/11,264**	**47,113/11,960**

5.2. Şev Duraylılığı Analizinde Kullanılan Jeoteknik Veri

Süreksizlik düzlemlerinin bulunduğu kaya kütlelerinin jeoteknik karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla üç tane sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde, nokta yoğunluk-gözeneklilik-nem deneyi, suda dağılma dayanımı deneyi, yükleme dayanım indeks deneyi, dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı (UTS), tek eksenli basma dayanımı deneyi ve direkt makaslama dayanımı (M) kaya mekaniği deneylerinden sağlanan sayısal veri kullanılmıştır. Test çalışmaları Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu 'nun (ISRM, 2007) önerileri çerçevesinde gerçekleştirilerek, şev duraylılığına etkisi olduğu öngörülen jeoteknik veri elde edilmiştir (Çizelge 5.3). Tez çalışmasında kullanılan kaya kütle parametrelerine ait sayısal veri TUBİTAK 3189327 nolu (Turanboy, 2019) projesinden alınmış olup, bu projedeki tüm jeoteknik laboratuvar çalışmaları Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarında yapılmıştır (Turanboy, 2019).

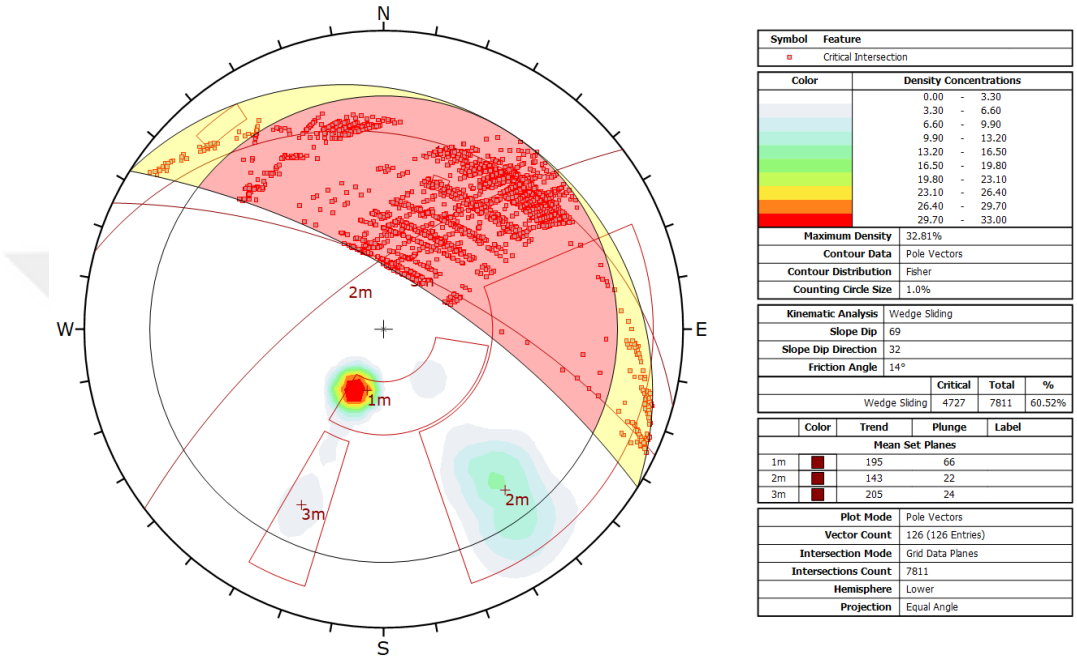
Çizelge 5.3. Kaya mekaniği çalışmalarından elde edilen deneysel sonuçlar (Turanboy, 2019' dan)

ϕ (derece)	Is(50) (MPa)	ρ_{DKY} (g/cm^3)	c (MPa)	ρ_S (g/cm^3)	ρ_{KKY} (g/cm^3)	ÇD (MPa)
46,70	0,19	2,60	1,00	2,65	2,60	0,48
44,63	0,09	2,52	0,87	2,60	2,52	1,51
14,29	0,11	2,50	0,12	2,55	2,50	0,53
51,31	0,09	2,38	0,11	2,47	2,38	2,32
51,27	0,12	2,51	0,08	2,53	2,51	3,14
48,01	0,05		0,15			3,81
56,25	0,09		0,07			2,64
44,72	0,17		0,99			1,53
53,63	0,02		0,26			0,2
40,78	0,03		0,32			1,61
54,02	0,05		0,49			0,83
37,56	0,39		1,15			0,68
22,62	0,32		0,95			1,25
63,43	0,14		0,40			0,69
44,71	0,16		3,50			6,54
	0,07					6,52
	0,07					5,09
	0,03					5,21
	0,03					3,67
						2,07
						2,16

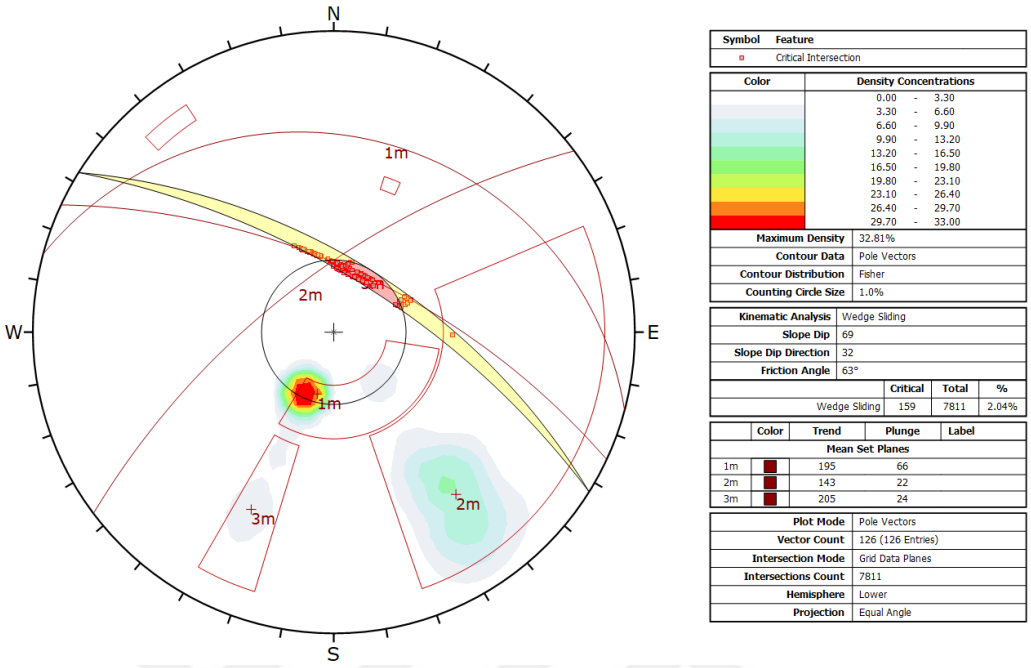
5.3. Şev Duraylılığının Kinematik Analizi

İncelenen şevin eğimi 69^0 ve eğim yönü ise 032^0 olarak saptanmıştır (Turanboy, 2019). Bu şevin eğim ve eğim yönü değerleri, Çizelge 5.1' de verilen süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönü değerleri ve Çizelge 5.3' te verilen ϕ parametresinin minimum (yaklaşık 14^0) ve

maksimum (yaklaşık 63^0) değerleri kullanılarak kinematik analiz yapılmıştır. Bu analizde, kama, düzlemsel ve devrilme kayma türlerine ait kinematik analizler Dips 6 (ROCKSCIENCE, 2012) programı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.3-8).



Şekil 5.3. Minimum ϕ değerinde kama tipi kaymanın kinematik analizi



Symbol	Feature
	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00
Maximum Density	32.81%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

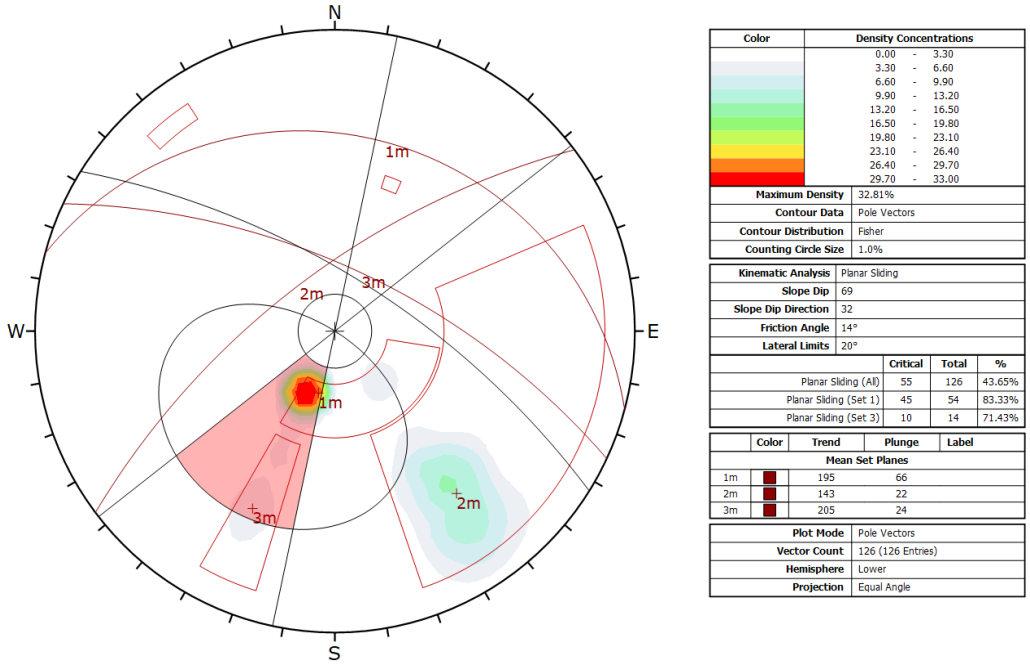
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	69
Slope Dip Direction	32
Friction Angle	63°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	159	7811	2.04%

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m		195	66	
2m		143	22	
3m		205	24	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	126 (126 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	7811
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 5.4. Maksimum ϕ değerinde kama tipi kaymanın kinematik analizi



Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00
Maximum Density	32.81%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

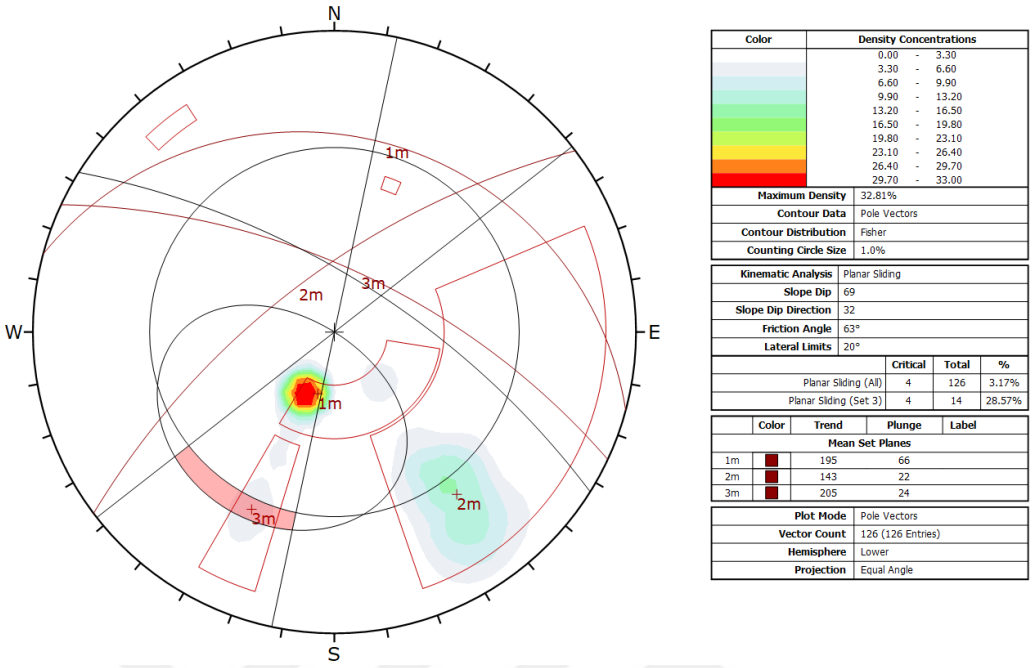
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	69
Slope Dip Direction	32
Friction Angle	14°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	55	126	43.65%
Planar Sliding (Set 1)	45	54	83.33%
Planar Sliding (Set 3)	10	14	71.43%

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m		195	66	
2m		143	22	
3m		205	24	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	126 (126 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 5.5. Minimum ϕ değerinde düzlemsel kaymanın kinematik analizi



Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00
Maximum Density	32.81%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

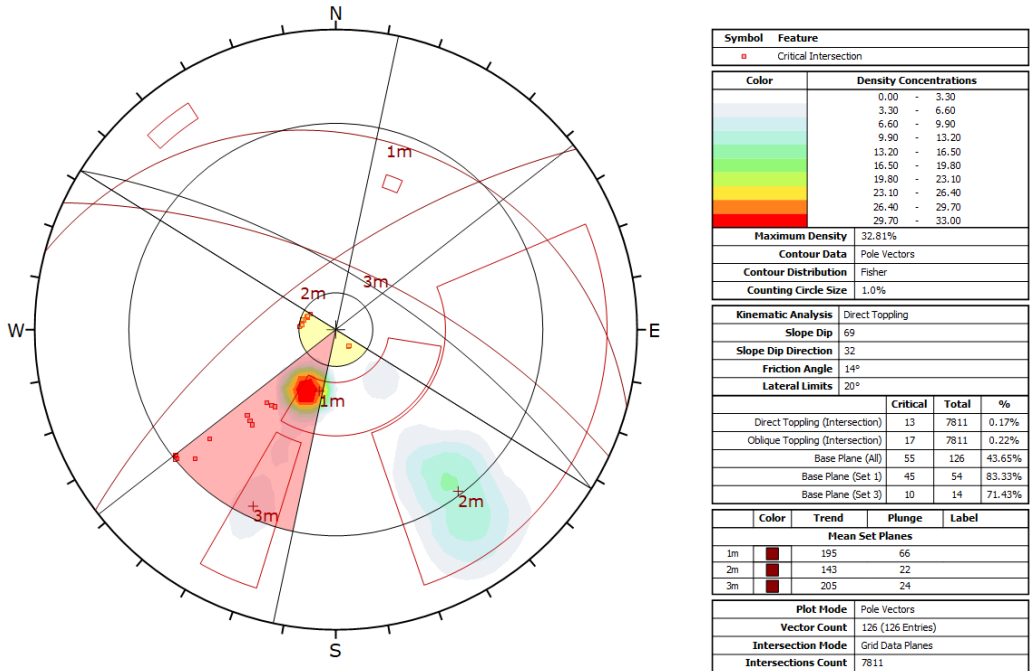
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	69
Slope Dip Direction	32
Friction Angle	63°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	4	126	3.17%
Planar Sliding (Set 3)	4	14	28.57%

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m		195	66	
2m		143	22	
3m		205	24	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	126 (126 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 5.6. Maksimum ϕ değerinde düzlemsel kaymanın kinematik analizi



Symbol	Feature
	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00
Maximum Density	32.81%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

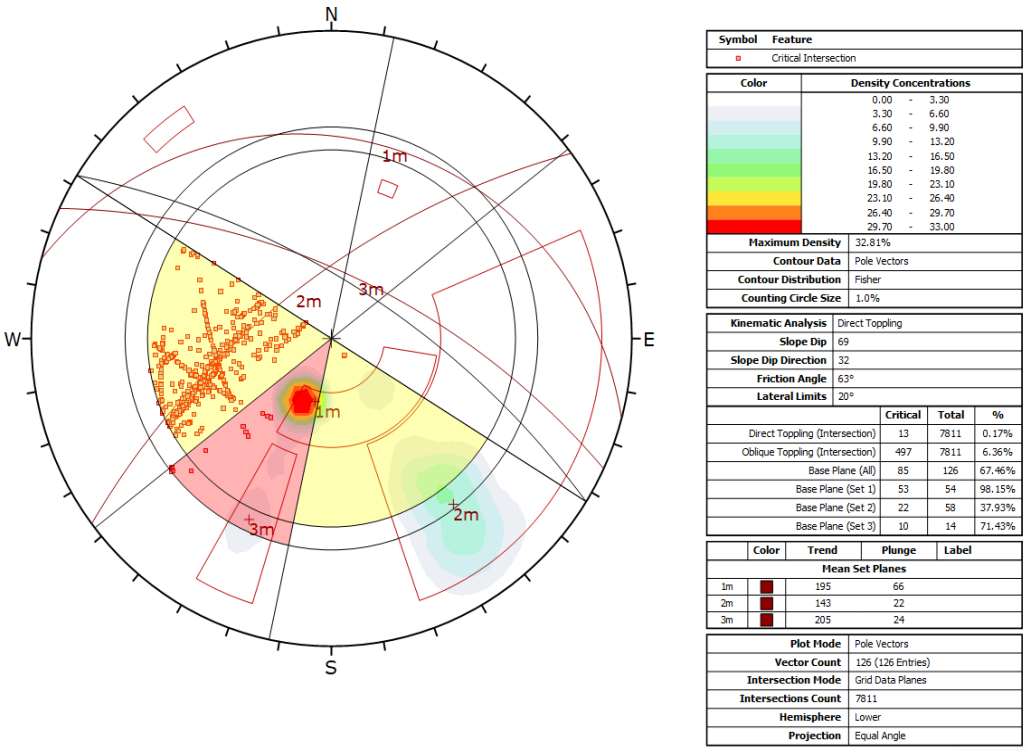
Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	69
Slope Dip Direction	32
Friction Angle	14°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	13	7811	0.17%
Oblique Toppling (Intersection)	17	7811	0.22%
Base Plane (All)	55	126	43.65%
Base Plane (Set 1)	45	54	83.33%
Base Plane (Set 3)	10	14	71.43%

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m		195	66	
2m		143	22	
3m		205	24	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	126 (126 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	7811
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 5.7. Minimum ϕ değerinde devrilmenin kinematik analizi



Şekil 5.8. Maksimum ϕ değerinde devrilmenin kinematik analizi

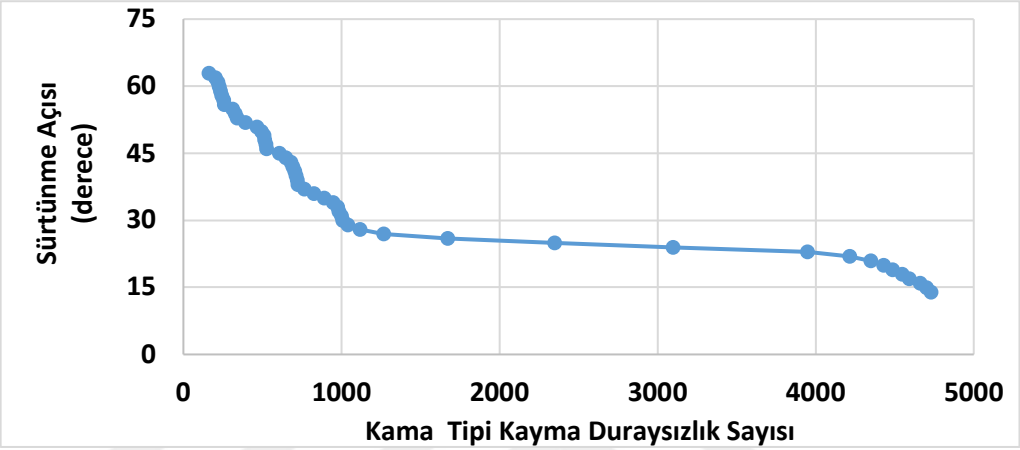
Kama tipi kaymanın kinematik analizlerinde, toplam 7811 adet kama tipi kayma oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Minimum ϕ değerine göre 4727 tane kritik seviyede kama oluşumu saptanmıştır (Şekil 5.3). Maksimum ϕ değerine göre ise, 159 tane kritik seviyede kama oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 5.4).

Düzlemsel kaymanın kinematik analizlerinde, toplam 126 adet düzlemsel kayma oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Minimum ϕ değerine göre 55 adet kritik seviyede düzlemsel kayma oluşumu saptanmıştır (Şekil 5.5). Maksimum ϕ değerine göre ise, 4 adet kritik seviyede düzlemsel kayma oluşumu saptanmıştır (Şekil 5.6).

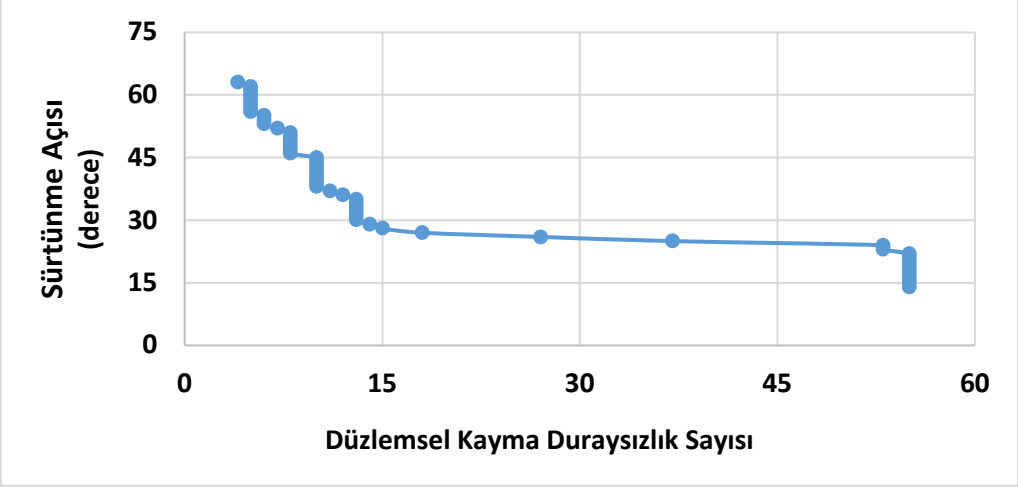
Devrilmenin kinematik analizlerinde, toplam 7811 adet devrilme oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8). Minimum ϕ değerine göre 30 adet kritik seviyede devrilme oluşumu saptanmıştır (Şekil 5.7). Maksimum ϕ değerine göre ise, 510 adet kritik seviyede devrilme oluşumu saptanmıştır (Şekil 5.8).

Kinematik analizde, görüleceği üzere ϕ parametresinin minimum ve maksimum değerleri dikkate alınarak (Şekil 5.3-8) ve kısıtlı sayıdaki bu verilerden yola çıkarak, bu parametrenin birer derece arttırılması suretiyle oluşturulan grafiklerde (Şekil 5.9-11) oldukça farklı sonuçlar ortaya

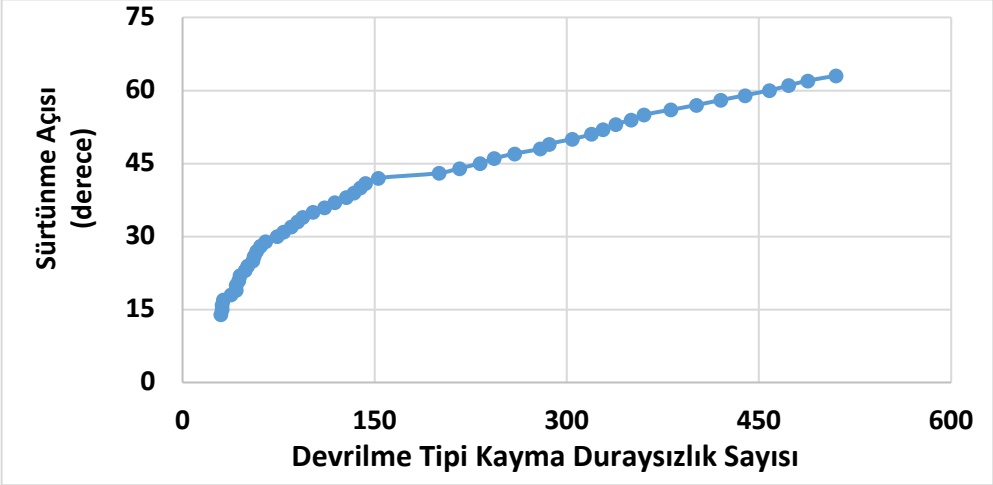
çıkmaktadır. Kinematik analizde, kama tipi kayma (Şekil 5.9) ve düzlemsel kayma (Şekil 5.10) ϕ değeri düştükçe kritik seviyedeki kayma sayıları artmakta, fakat devrilmede (Şekil 5.11) ise ϕ değeri düştükçe kritik seviyedeki devrilme azalmaktadır. Bu analizin sonuçlarının detay analizler için yeterli olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.9. ϕ değerlerine göre Kama Tipi Kaymaduraysızlık sayıları (ϕ birer derece aralıklarla arttırılmıştır)



Şekil 5.10. ϕ değerlerine göre Düzlemsel kayma duraysızlık sayıları (ϕ birer derece aralıklarla arttırılmıştır)



Şekil 5.11. ϕ değerlerine göre Devrilme duraysızlık sayıları (ϕ birer derece aralıklarla arttırılmıştır)

Kinematik analizler de kaya kütle parametrelerinden ϕ dikkate alınarak işlemler yapılmakta ve diğer kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına etkisini ihmal edilmektedir. Bu yüzden kinematik analizlerin kullanımıyla kapsamlı ve ayrıntılı işlemler yapılamamaktadır.

5.4. Kaya Kütle Sınıflama Uygulamaları

Çalışma sahasında kaya kütlesinin incelenmesi amacıyla üç adet sondaj yapılmıştır. Birinci sondaja (SK-1), ikinci sondaja (SK-2) ve üçüncü sondaja (SK-3) ait RMR (Rock Mass Rating) (Kaya Kütle Puanı) (Bieniawski, 1973), RQD (Rock Quality Designation) (Kaya Kalite Göstergesi) (Deere vd., 1967), Q-System (Q-Sistem) (Barton vd., 1974) ve M-RMR (Modified-RMR) (Yeniden Düzenlenen RMR) (Ünal ve Özkan, 1990) değerleri bulunmuştur (Çizelge 5.4-6) (Turanboy, 2019).

SK-1' den elde edilen karot örneğindeki çalışmalarda, RMR, M-RMR ve RQD' ye göre kaya kütlesi genel olarak orta sınıfta ve Q-sistemine göre ise, kaya kütlesi genel olarak zayıf sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir (Çizelge 5.4) (Turanboy, 2019).

SK-2' den elde edilen karot örneğindeki çalışmalarda, RMR ve M-RMR' a göre kaya kütlesi orta sınıfta, RQD' ye göre kaya kütlesi genel olarak çok zayıf sınıfta ve Q-sistemine göre ise, kaya kütlesi genel olarak çok zayıf sınıfta yer aldığı saptanmıştır (Çizelge 5.5) (Turanboy, 2019).

SK-3' ten elde edilen karot örneğindeki çalışmalarda, RMR ve M-RMR' a göre kaya kütlesi orta sınıfta, RQD' ye göre kaya kütlesi genel olarak çok zayıf sınıfta ve Q-sistemine göre ise, kaya kütlesi genel olarak çok zayıf sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir (Çizelge 5.6) (Turanboy, 2019).

Çizelge 5.4. SK-1' e ait kaya kütle sınıflama değerleri (Turanboy, 2019' dan)

Aralık (m.)	RMR	RQD	Q-sistemi	M-RMR
0,00-1,50	-	0	-	30
1,50-1,60	45	0	3	43
1,60-2,43	-	0	-	30
2,43-2,65	51	50	2,5	51
2,65-3,00	47	0	0,0417	43
3,00-4,50	47	24	0,2	45
4,50-5,71	66	80	1	67
5,71-6,50	52	31	0,3875	49
6,50-7,00	61	86	1,075	62

Çizelge 5.5. SK-2' ye ait kaya kütle sınıflama değerleri (Turanboy, 2019' dan)

Aralık (m.)	RMR	RQD	Q-sistemi	M-RMR
0,00-1,00	-	0	-	22
1,00-1,30	49	0	0,4444	44
1,30-2,80	-	0	-	17
2,80-3,12	53	34	0,1417	39
3,12-3,50	-	0	-	20
3,50-5,15	47	28	0,1167	30
5,15-5,29	47	0	0,6667	43
5,29-5,40	-	0	-	24
5,40-5,82	51	50	5	50
5,82-6,00	-	0	-	37

Çizelge 5.6. SK-3' e ait kaya kütle sınıflama değerleri (Turanboy, 2019' dan)

Aralık (m.)	RMR	RQD	Q-sistemi	M-RMR
0,00-1,10	43	0	0,0938	19
1,10-2,00	47	0	0,125	26
2,00-2,10	60	100	3,75	51
2,10-3,00	-	0	-	29
3,00-3,11	43	0	0,667	39
3,11-4,00	-	0	-	29

TUBİTAK 3189227 (Turanboy, 2019) Nolu proje kapsamında gerçekleştirilen kaya mekaniği labaratuvar sonuçlarına göre hazırlanan rapor içeriğinde kaya kütle sınıflama sistemleri

(RMR, M-RMR, Q-Sistem ve RQD) sonuçları kaya şevini oluşturan formasyon, orta sınıftan çok zayıf kaya sınıfa kadar değişim göstermektedir.

Kaya kütle sınıflama sistemlerinde, incelenen kaya kütlesinin indeks puanları hesaplanarak, niteliksel olarak kaya kütlesinin duraylılık açısından kalitesi tespit edilmektedir. Kaya kütle sınıflama sistemlerinde, sınıflama parametreleri yeterli ölçü de tanımlanamamaktadır. Dolayısıyla şev duraylılığı ayrıntılı analiz edilememekte ve bir kaya kütlesinin karmaşık özellikleri tek bir sayı ile tatmin edici bir şekilde tanımlanamaz (U.S. Army Corps of Engineers, 1997; Riedmüller ve Schubert, 1999).

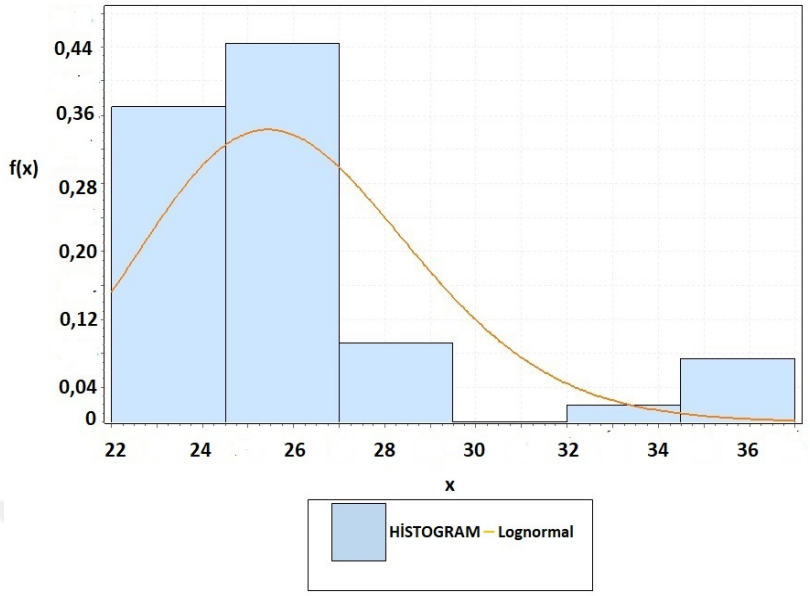
6. TEZ ÇALIŞMASINDAKİ ÖNERİLEN YÖNTEMİN TANIMLANMASI

Önerilen yöntem, kaya kütle sınıflama sistemlerinde olduğu gibi kaya kütle parametrelerini dikkate almaktadır. Olasılık teorisinin kullanıldığı bu yöntem kaya kütle parametrelerinin etkinlik sınıflamasını ayrı ayrı gerçekleştirmektedir. Böylece, şev duraylılığında etkisi olan kaya kütle parametrelerinin herbirininin ayrı ayrı olasılıklı yoğunluklarının sayısal büyüklüklerine göre değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu MCS ile incelenen hedef parametreninin daha fazla kaya mekaniği deneyine gerek duyulmaksızın, istenen güvenilirlik seviyesinde kaya kütle parametresine ait sayısal sonuçlar düşük maliyette ve kısa sürede elde edilmesini sağlamaktadır. MCS ile elde edilen zenginleştirilmiş veri, KYT yöntemleri ile işlenmekte ve niteliksel olarak kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına etkisi çok ölçekli (ayrıntılı fonksiyonel denklemler) değerlendirilebilmektedir.

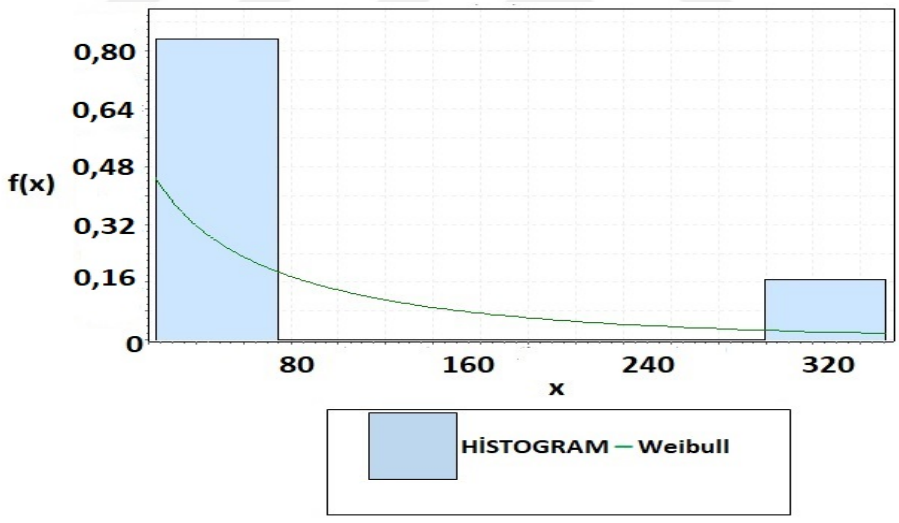
7. KAYA ŞEV DURAYLILIĞINA ETKİLİ PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeoteknik çalışmalarda genellikle kullanılan parametrelerin Normal Dağılım gösterdiği kabul edilmektedir (Baecher ve Christian, 2005). Ancak, bu çalışmada yapılan istatistiksel analizlerde farklı dağılımların olduğu görülmüştür (Şekil 8.1-14). Çizelge 5.2' de süreksizlik takımlarının ve Çizelge 5.3' te verilen kaya mekaniği deneylerinden elde edilen sonuçların hangi dağılımlara yakın olduğu, EasyFit (Mathwave, 2020) programıyla belirlenmiştir. Kolmogorov Smirnov Sınaması (% 95 doğruluk seviyesinde) nominal ve ordinal verilerle uygulanabilmesi ve az sayıdaki verilerle bile analiz oluşturabilmesi avantajlarından dolayı (Pratt ve Gibbons 1981; Kinney, 2015) tercih edilmiş buna göre eldeki verilere uygulanarak olasılıklı dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde;

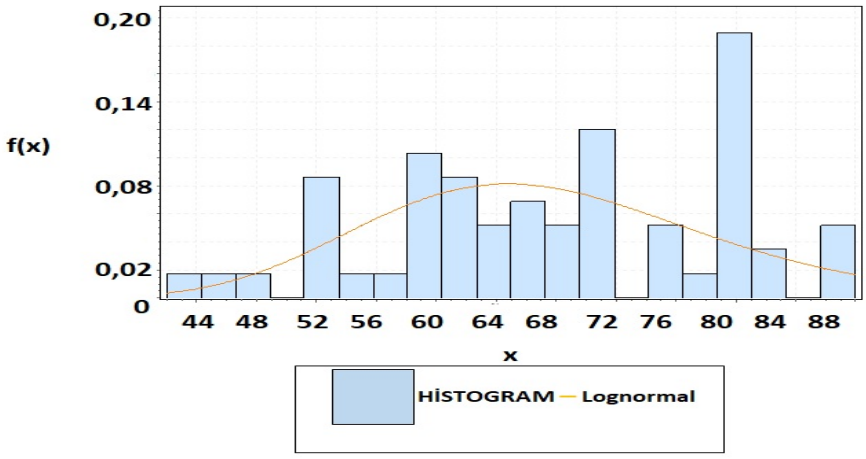
- Birinci süreksizlik takımının eğimi Lognormal dağılımına (Şekil 7.1), eğim yönü Weibull dağılımına (Şekil 7.2),
- İkinci süreksizlik takımının eğimi Lognormal dağılımına (Şekil 7.3), eğim yönü Weibull dağılımına (Şekil 7.4),
- Üçüncü süreksizlik takımının eğimi Normal dağılımına (Şekil 7.5), eğim yönü ise Üstel dağılımına (Şekil 7.6),
- ϕ Normal dağılımına (Şekil 7.7),
- Is(50) Lognormal dağılımına (Şekil 7.8),
- ρ_{DKY} Üçgensel dağılımına (Şekil 7.9),
- c Lognormal dağılımına (Şekil 7.10),
- ρ_S Lognormal dağılımına (Şekil 7.11),
- ρ_{KKY} Weibull dağılımına (Şekil 7.12) ve
- ÇD Normal dağılımına (Şekil 7.13) yakın olduğu görülmüştür.



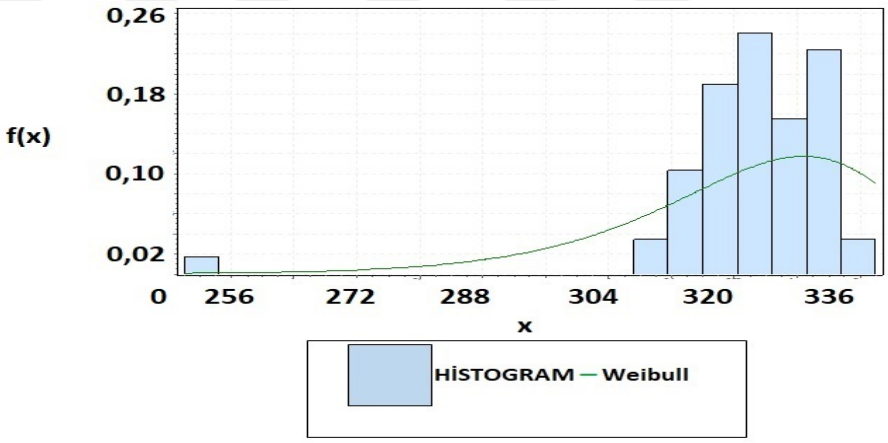
Şekil 7.1. Birinci süreksizlik takımının eğiminin Lognormal dağılımı



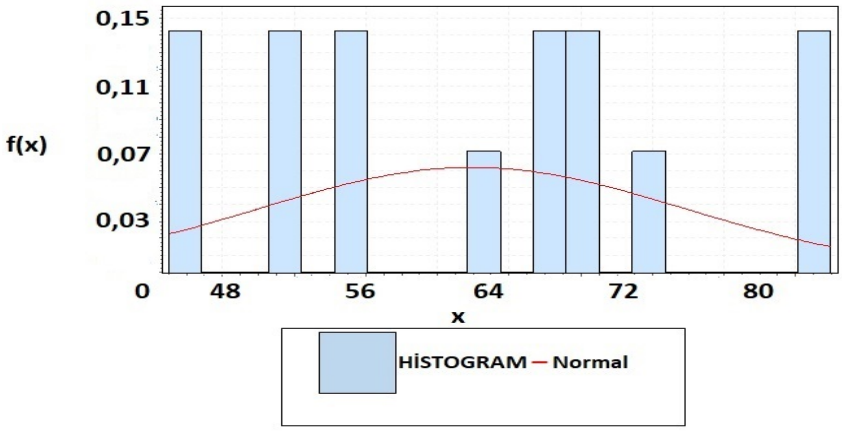
Şekil 7.2. Birinci süreksizlik takımının eğim yönünün Weibull dağılımı



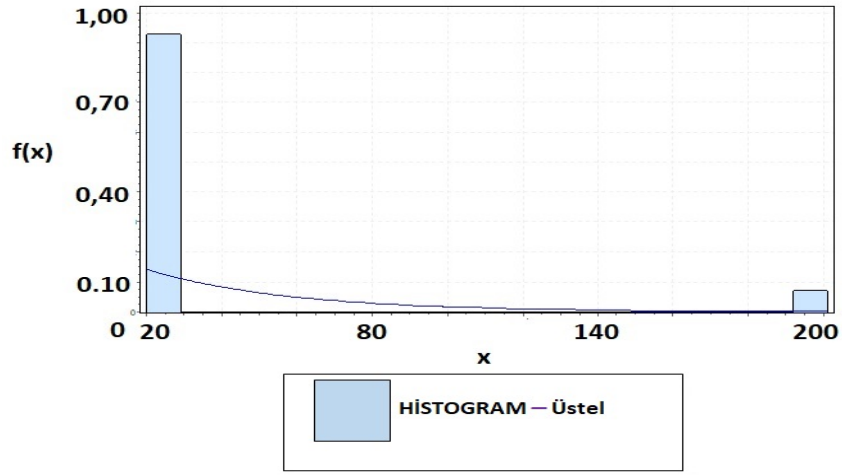
Şekil 7.3. İkinci süreksizlik takımının eğiminin Lognormal dağılımı



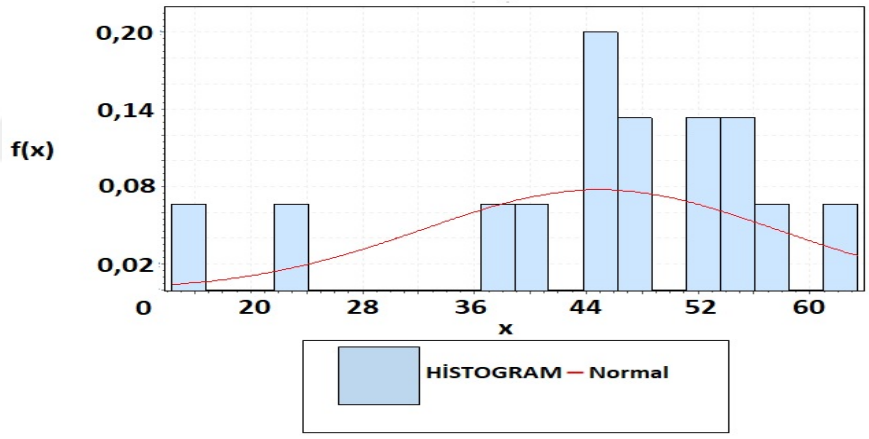
Şekil 7.4. İkinci süreksizlik takımının eğim yönünün Weibull dağılımı



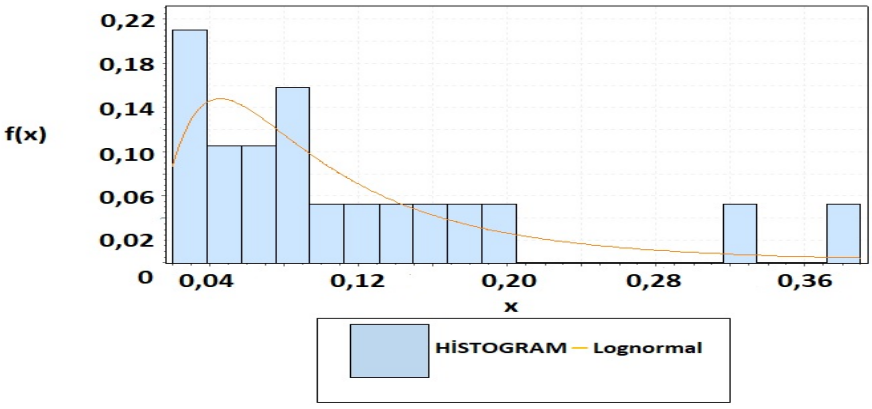
Şekil 7.5. Üçüncü süreksizlik takımının eğiminin Normal dağılımı



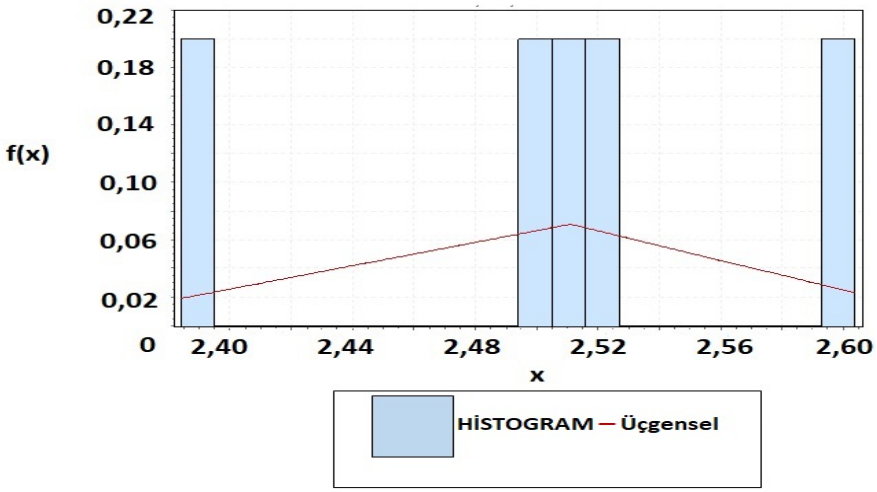
Şekil 7.6. Üçüncü süreksizlik takımının eğim yönünün Üstel dağılımı



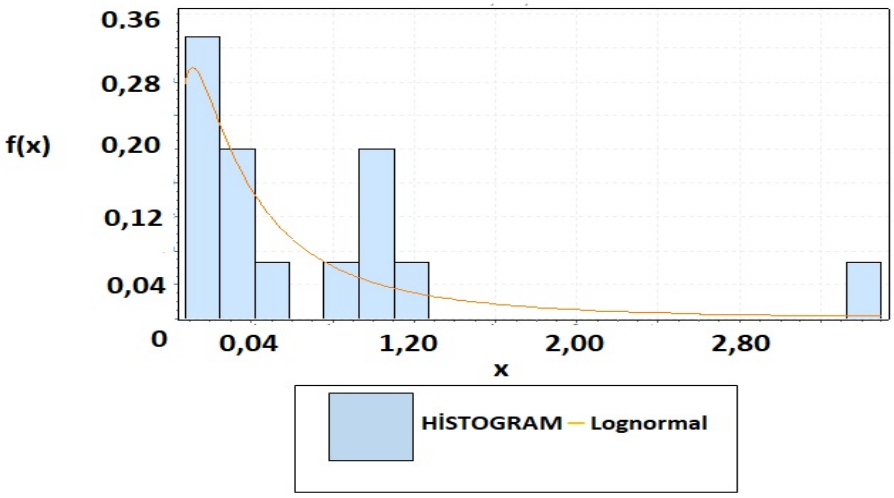
Şekil 7.7. ϕ değerlerinin Normal dağılımı



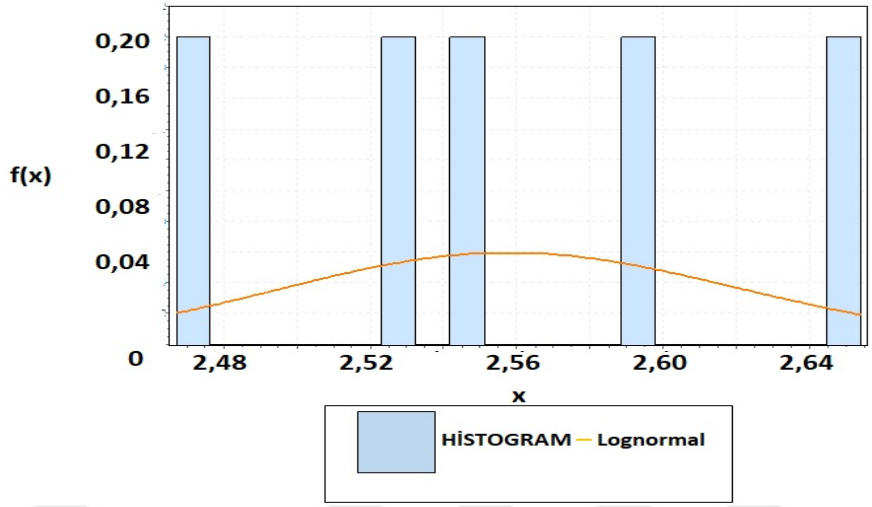
Şekil 7.8 Is(50) değerlerinin Lognormal dağılımı



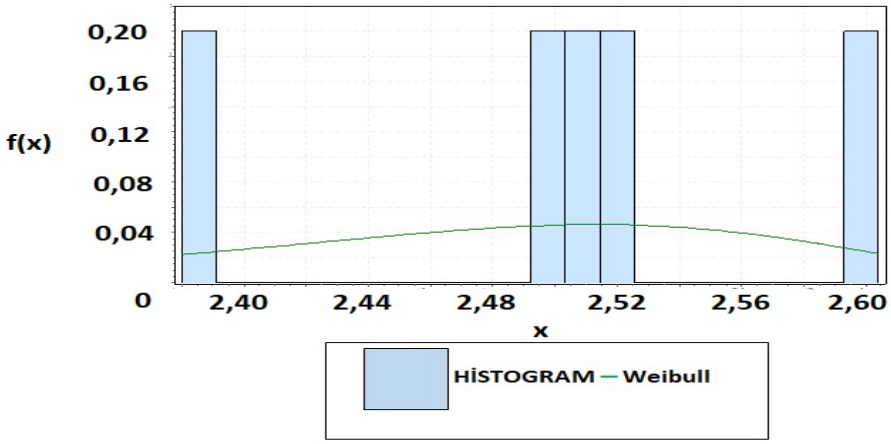
Şekil 7.9. ρ_{DKY} değerlerinin Üçgensel dağılımı



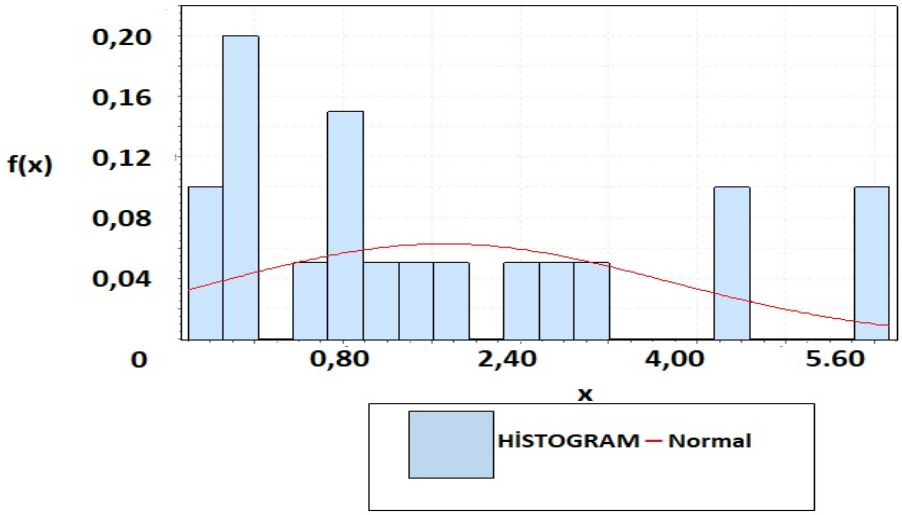
Şekil 7.10. c değerlerinin Lognormal dağılımı



Şekil 7.11. ρ_S değerlerinin Lognormal dağılımı



Şekil 7.12. ρ_{KKY} değerlerinin Weibull dağılımı



Şekil 7.13. ÇD değerlerinin Normal dağılımı

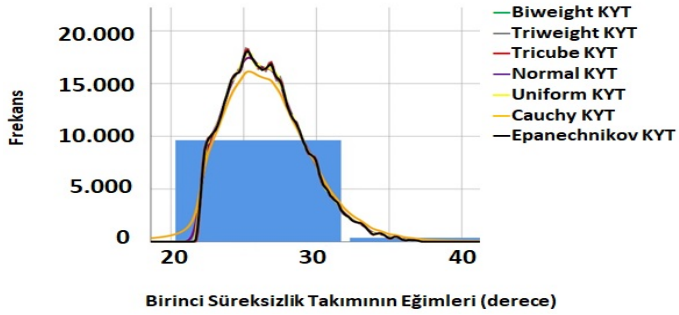
Kaya kütlesine ve süreksizliklere ait parametrelerin hangi istatistiksel dağılım türünü temsil ettiğinin saptanması, olasılıklı analizlerin doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır.

7.1. Şev Duraylılığına Etki Eden Parametrelerin Geliştirilen Yaklaşımlarla Değerlendirilmesi

Ölçüm değerlerinin dağılım türleri tespit edildikten sonra, her bir parametrenin uyum gösterdiği dağılıma göre, SPSS 26 (Kremelberg, 2010; Leech vd., 2014; McCormick ve Salcedo, 2017; IBM, 2019; Williams, 2020) programı kullanılarak MCS yöntemi uygulanmıştır. MCS kullanılarak yapılan tahminlemelerden türetilen sayısal değerlerin, ölçüm değerlerine yakın olması için, herbir ölçümün en küçük ve en büyük sayısal değerlerine göre 10.000 tane veri türetilmiştir. 10.000 tane verinin türetilmesi, ölçümün doğruluk durumunun iyileştirilmesi için birçok araştırmacı tarafında tercih edilmektedir (Beck ve Au, 2002; Au vd., 2010; Robert ve Casella, 2013; Cao vd, 2017).

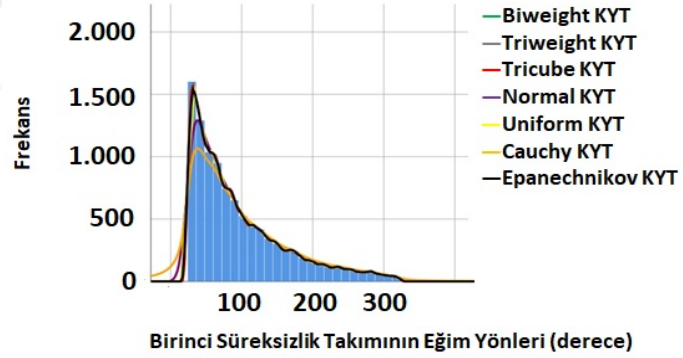
7.1.1. 1B KYT yöntemleri ile parametrelerin analizleri

Türetilen her 10.000'er tahminleme değerleri, SPSS 26' nın (IBM, 2019) Syntax ekranında yedi tane tek boyutlu KYT yöntemi' nin (Biweight, Triweight, Tricube, Normal, Uniform, Cauchy ve Epanechnikov) kodları yazılarak (Kremelberg, 2010; Leech vd., 2014; McCormick ve Salcedo, 2017; Williams, 2020) OYF grafikleri meydana getirilmiştir. Böylece grafiksel OYF' lere ait tahminleme çıkarımları ortaya konulmuştur (Şekil 7.14-26).



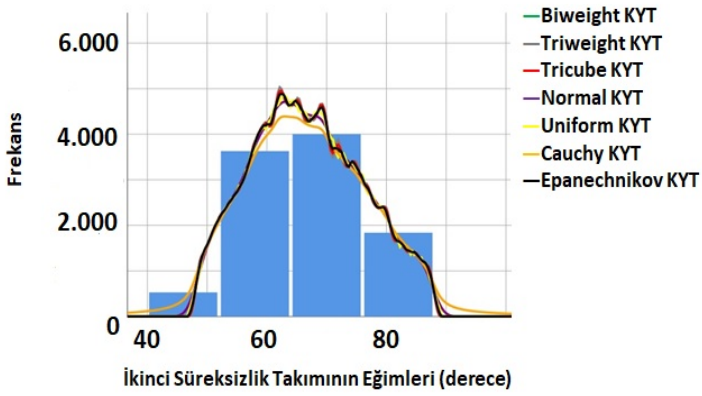
Şekil 7.14. Birinci süreksizlik takımı eğimlerin tek boyutlu KYT grafiği

Birinci süreksizlik takımının eğimlerine ait yoğunluk tahminleri analiz edildiğinde, yaklaşık 22° – 36° aralıklarında bir yoğunlaşma oluştuğu, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 26° değerinde maksimum (etkin) yoğunluğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.14).



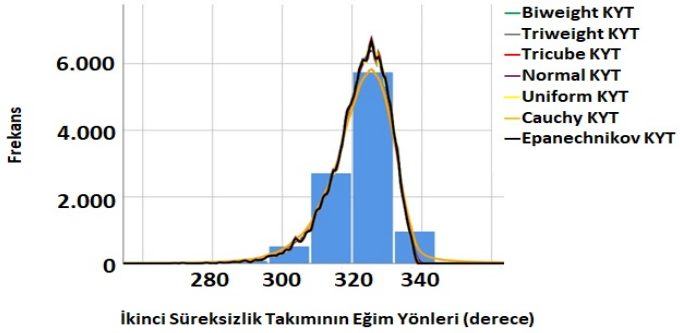
Şekil 7.15. Birinci süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği

Birinci süreksizlik takımına ait eğim yönlerinin yoğunluk tahminleri analiz edildiğinde, yaklaşık 40° ve 320° aralıklarında bir yoğunlaşma meydana geldiği, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 40° değerinde maksimum yoğunluğun olduğu saptanmıştır (Şekil 7.15).



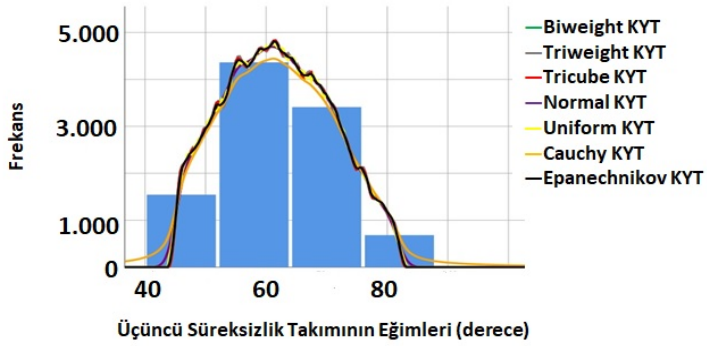
Şekil 7.16. İkinci süreksizlik takımı eğimlerinin tek boyutlu KYT grafiği

İkinci süreksizlik takımına ait eğimlerinin yoğunluk tahminleri analiz edildiğinde, yaklaşık 46° ve 90° aralıklarında bir yoğunlaşma olduğu, diğer değerlerde yoğunluk gözlenmediği ve yaklaşık 62° değerinde maksimum yoğunluğun meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 7.16).



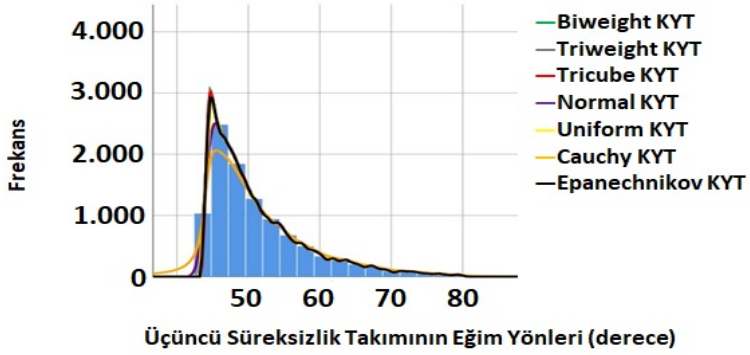
Şekil 7.17. İkinci süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği

İkinci süreksizlik takımına ait eğim yönlerinin yoğunluk tahminleri analiz edildiğinde, yaklaşık 290° ve 340° aralıklarında bir yoğunlaşma meydana geldiği, diğer değerlerde yoğunluk gözlenmediği ve yaklaşık 335° değerinde maksimum yoğunluğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.17).



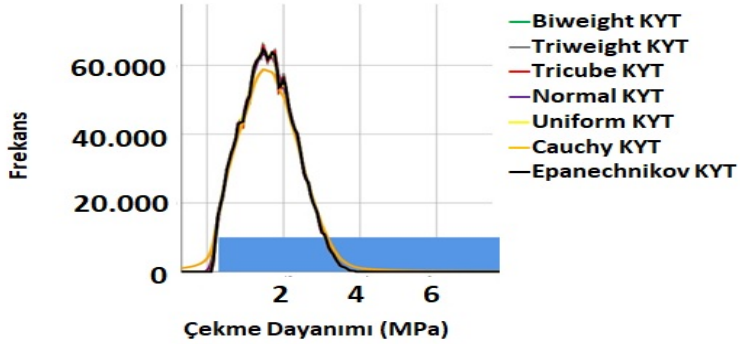
Şekil 7.18. Üçüncü süreksizlik takımı eğimlerinin tek boyutlu KYT grafiği

Üçüncü süreksizlik takımına ait eğimler analiz edildiğinde, yaklaşık 45° ve 85° değer aralıklarında bir yoğunlaşma olduğu, diğer değerlerde yoğunluk gözlenmediği ve yaklaşık 62° değerinde maksimum yoğunluğun ortaya çıktığı saptanmıştır (Şekil 7.18).



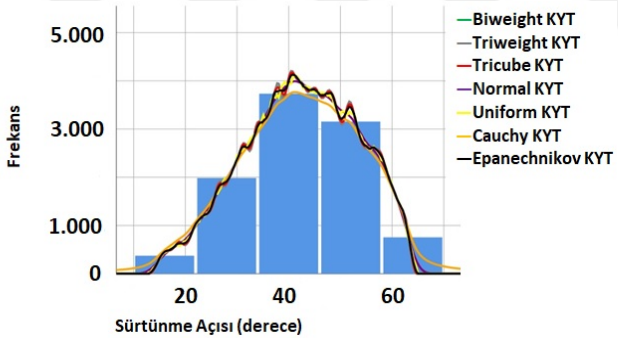
Şekil 7.19. Üçüncü süreksizlik takımı eğim yönlerinin tek boyutlu KYT grafiği

Üçüncü süreksizlik takımına ait eğim yönlerin yoğunluk tahminleri analiz edildiğinde, yaklaşık 20° ve 200° değer aralıklarında yoğunlaştığı, diğer değerlerde yoğunluk gözlenmediği ve yaklaşık 25° ‘de maksimum yoğunluğun olduğu saptanmıştır (Şekil 7.19).



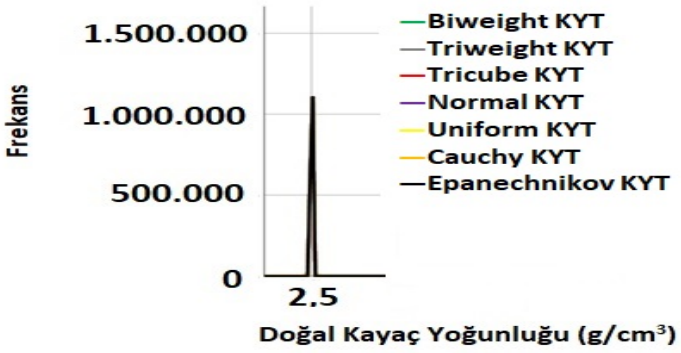
Şekil 7.20. ÇD değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

ÇD değerlerinin yoğunlukları incelendiğinde, yaklaşık 0 ve 4 MPa aralıklarında bir yoğunlaşma ortaya çıktığı, diğer değerlerde yoğunluk gözlenmediği ve yaklaşık 1,8 MPa değerinde maksimum yoğunluğun olduğu saptanmıştır (Şekil 7.20).



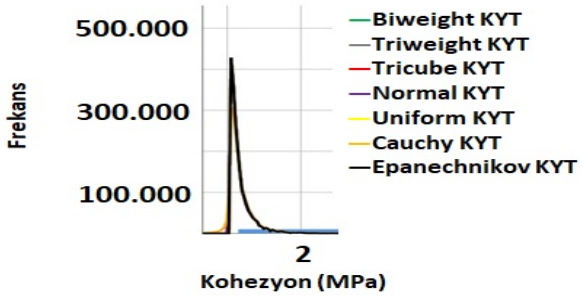
Şekil 7.21. ϕ değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

ϕ değerlerinde, yaklaşık 10º ve 65º derece aralıklarında bir yoğunluk olduğu, diğer değerlerde yoğunluk olmadığı ve yaklaşık 45º' de maksimum yoğunluk olduğu saptanmıştır (Şekil 7.21).



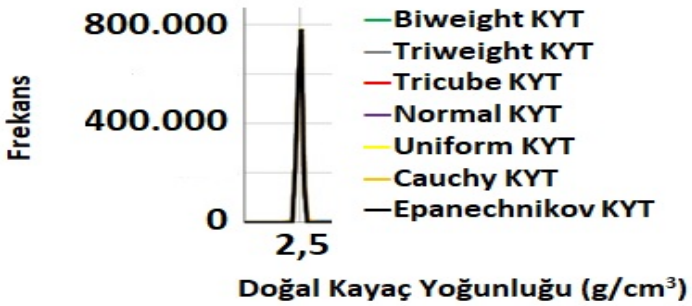
Şekil 7.22. ρ_{DKY} değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

ρ_{DKY}' de, yaklaşık 2,4 ve 2,6 g/cm^3 aralıklarında bir yoğunluk olduğu, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 2,5 g/cm^3 değerinde maksimum yoğunluğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.22).



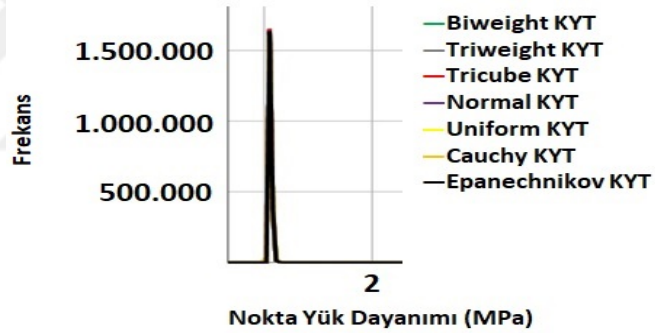
Şekil 7.23. c değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

c değerlerinin yoğunlukları incelendiğinde, yaklaşık 0 ve 1,8 MPa aralıklarında bir yoğunlaşma ortaya çıktığı, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 0,002 MPa değerinde maksimum yoğunluğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.23).



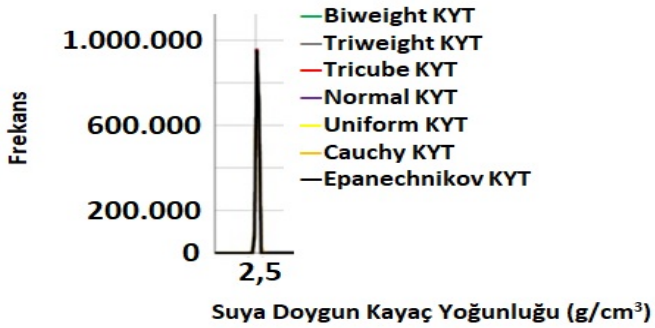
Şekil 7.24. ρ_{KKY} değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

ρ_{KKY}' de, yaklaşık 2,4 ve 2,6 g/cm^3 aralıklarında bir yoğunlaşma görülmekte, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 2,5 g/cm^3 değerinde maksimum yoğunluk olduğu bulunmuştur (Şekil 7.24).



Şekil 7.25. Is(50) değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

Is(50) değerleri yoğunlukları analiz edildiğinde, yaklaşık 0 ve 0,39 MPa aralıklarında bir yoğunlaşma ortaya çıktığı, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 0,03 MPa değerinde maksimum yoğunluğun olduğu saptanmıştır (Şekil 7.25).



Şekil 7.26. ρ_S değerlerinin tek boyutlu KYT grafiği

ρ_S' de, yaklaşık 2,4 ve 2,58 g/cm^3 aralıklarında bir yoğunlaşma görülmekte, diğer değerlerde yoğunlaşma olmadığı ve yaklaşık 2,5 g/cm^3 değerinde maksimum yoğunluğun olduğu saptanmıştır (Şekil 7.26).

KYT yöntemlerinin kullanılmasının, uygulamalı çalışmalarda birçok avantajları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda KYT ile elde edilen yoğunluk dikkate alındığında, kapsamlı yorumlama, tutarlı tahminleme ve verilerin varyans analizleri gibi önemli unsurlar hakkında ayrıntılı bilgi sağlanması ve analizlerin derinlenmesine (deep analysis) yapılması mümkün olmaktadır (Bierens 1987; Silverman, 1998; Scott, 2015).

KYT yöntemleri, jeoteknik analizlerde kaya kütle parametreleri ve süreksizlik düzlemlerinin geometrik parametrelerinin kümelenmesini açıkça göstermekte ve bunların baskın (etkin) durumunu ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada istatistik yardımıyla labaratuvardan elde edilen kaya kütle parametreleri ile süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönü parametreleri ilişkilendirerek, çalışma sahasındaki şev hakkında bilgi sağlanmaktadır. Önerilen yöntemin şev duraylılığının sıralı ve karmaşık yapıya sahip analizlerine uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, önerilen yöntemin şev duraylılık kriterlerinin önemli noktalarına yol gösterici bir işlevi bulunmaktadır. Şev duraylılık analizlerinin düşük maliyetle ve detaylı değerlendirmesini mümkün kılmaktadır.

Karar verici yaklaşımlar ve diğer olasılıklı yaklaşımlarla yapılan şev duraylılık analizlerinde kaya kütle paremetreleri ile takımlara ayrılmış süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönlerinin şev duraylılığına olan etkinlikleri sınıflandırılamamaktadır. Ayrıca doğrusal ve doğrusal olmayan denklem sistemlerinin birbirinden ayrılamaması nedeniyle tahminleme sınırları belirlenememekte ve dolayısıyla şev duraylılık analiz karmaşıklığı artmaktadır. Bu problemler KYT yöntemi sayesinde çözülmektedir. Bu yöntem şevde bulunan süreksizlik düzlemlerinin eğimleri, eğim yönleri ve kaya kütle parametrelerine ait KYT yoğunluk bölgelerinde hangi

parametrelerin hangi sınırlarda kümelendiğini ve örneklem sayılarının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Böylece şevde duraylı olan veya olmayan bölgelerin bilgiside elde edilmektedir.

KYT yöntemlerinin hem tek boyutlu hem de 2B analizlerinde önemli bir unsur olan yakınsama kavramı, bir verinin belli bir doğru üzerinde (1B) veya koordinat düzleminde belli bir alanda (2B) konumsal değişimini ifade etmektedir. Yakınsama işlevi KYT' nin 1B analizlerinde grafikteki eğri arasındaki açıklık uzaklığının göreceli bir ölçüsü olmakta, 2B KYT' de yakınsama işlevi ise, verinin belli noktalarda oluşturduğu küme ağlarının görsel ve sayısal ölçüsüdür. Tek boyutlu KYT grafiklerinde yakınsama işlevi arttıkça fonksiyon eğrisi doğrusal fonksiyona benzemekte ve yoğunluğu artmaktadır. Böylece, tahminin sıklığı da artmaktadır. 2B KYT' lerde ise, yakınsamanın fazla olması sebebiyle anomalilerin dikkate değer bir şekilde görünürlüğü artmakta ve bu anomalilerin yoğunluk değerleri de ilgili parametrelerin aynı frekans aralıklarında yüksek olmaktadır. Ölçüm parametresine ait yakınsamanın yüksek olduğu bölgelerden elde edilen maksimum (etkin) yoğunluk, en yüksek tahminleme olduğunu işaret etmektedir. KYT analizlerinde bu yoğunluklar önemli role sahiptir ve bu yoğunluklar temel alınarak, KYT analizlerinin sonuçlarının değerlendirilebilmesi gerçekleştirilebilmektedir (Silverman, 1998; Huang, vd., 2006; Scott, 2015; Chacon ve Duong, 2018; Gramacki, 2018).

Tek boyutlu KYT yöntemleriyle yapılan analizlerde, Is(50)' ye ait grafiğin diğer parametrelere ait grafiklere göre daha dar aralıkta yakınsama yaptığı için şev duraylılığında en etkili parametre olduğu görülmektedir (Şekil 7.25). ρ_{DKY} (Şekil 7.22), ρ_{KKY} (Şekil 7.24) ve ρ_S (Şekil 7.26) parametrelerine ait grafiklerin, Is(50)' ye ait grafiğe (Şekil 7.25) benzer şekilde yakınsama yaptığı görülmüş ancak Is(50) grafiği kadar yakınsamamaktadır. KYT grafiklerinde yakınsama karakterini dikkate alan analizlerle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de Bailey ve Gatrell (1995)' in çalışmasıdır. Çalışmalarında KYT' nin küme ağları dikkate alınmasının haritacılıkta ki coğrafi veri yapısının değerlendirilmesinde önemli bir araç olduğunu açıklamışlardır. Yine benzer başka bir çalışma da Al-Ahmadi vd. (2013) Normal KYT yöntemiyle Kızıldeniz bölgesindeki sismik hareketleri incelemişler, depremlerin Coğrafi Bilgi Sistemi' nde sismik veri tabanı meydana getirdiklerini ve harita üzerinde deprem bölgelerinin büyüklüklerini KYT yöntemi kullanarak küme ağlarında gösterdiklerini ifade etmişlerdir. McCloud ve Parmeter (2020) çalışmalarında, karmaşık problemlerin çözümünde tek boyutlu KYT yönteminin etkili parametre analizlerinde farklılıkların yorumlanmasında yararlı olabileceğini öne sürmüşlerdir.

7.1.2. 2B AKYT ile parametrelerin analizleri

Şev duraylılık analizlerindeki kaya kütlesi çok sayıda ve karmaşık veri içermektedir. Bu verinin 2B olasılıklı yaklaşımlarla analiz, tek boyutlu olasılıklı yaklaşımlarla analize göre daha gerçekçi değerlendirmeler sağlamaktadır. İki değişkenli OYF' lerin veri setlerini bir referans (bağlayıcı) noktası seçimi sayesinde 2B uzayda gösterilmesi mümkün olamaktadır. Şev duraylılığına ilgili veri örneği alınması ve hiçbir verinin yoğunlaşmasının gözlenmediği bölgeler de dahil olmak üzere, her yerde veriler ikili (bivariate) olarak ilişkilendirilerek, temel OYF hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Bu verilerin yapısının ve bunlara ait yoğunluk fonksiyonunun genel bir görsel ve sayısal tematiği oluşturulmuştur.

Şev duraylılığında süreksizlik düzlemlerinin geometrik parametrelerin (eğim ve eğim yönü) etkisi önemli olmaktadır. Bu etkinin büyüklüğü ϕ ve c gibi kaya kütle parametreleriyle bağlantılı olarak değişebilmektedir (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2014). Bu nedenle tez çalışmasında, süreksizlik düzlemlerinin geometrik parametreleri ile bütünleşik olarak olasılık tabanlı kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına yapacağı etkilerin sınıflandırmasının yapılması temel alınmıştır.

KYT'nin kullanımıyla ilgili analizler birçok mühendislik alanında son yıllarda aktüel olmuştur. Lopez-Novoa vd. (2015) 2B Normal KYT yöntemi kullanarak iklim değişikliğinin okyanuslara yaptığı etkileri incelediklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarında deniz yüzeyi sıcaklıklarını ve deniz seviyelerini dikkate alarak 2B KYT modeli kullandıklarını ifade etmişlerdir. Yedi küresel iklim modelinin bölgesel ortalama sıcaklığı ve deniz seviyesinin değişimlerinin mevsimsel döngüsü yeniden tahminlenerek küresel ısınmanın etkilerini tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Burada incelenen parametrelerin maksimum yoğunlukları dikkate alınarak küresel ısınmanın etkileri değerlendirdiklerini açıklamışlardır. Irvine ve Hollingsworth (2018) karmaşık verinin epidemiyolojik araştırmalarda uydurulmasının zor olduğunu ve 2B Normal KYT kullanımıyla bu zorluğun üstesinden gelinebileceğini açıklamışlardır. Çalışmalarında, uyarlanabilir bir tolerans şeması kullandıklarını, epidemiyolojik olarak ilgili çeşitli verileri minimum hiper parametre ayarıyla parazitlerden kaynaklı salgının boyutunu optimal olarak tespit ettiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca parazitlerin hetorojenliği, parazitlerin ısırık hetorojenliği ve ısırık sayılarını dikkate alarak 2B KYT yönteminde salgınla ilgili çeşitli planlamalar oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Zhang vd. (2018) makine elemanlarının ömrünü tahmin etmek için 2B Normal KYT yöntemini kullandıklarını belirtmişlerdir. Makine elemanın yüzeyindeki değişimleri analiz etmek için, 2B KYT yöntemiyle anomali tespitine yönelik, yoğunluk temelli bir yaklaşım sunduklarını ifade etmişlerdir. Kullandıkları yaklaşımda, her bir

numunenin bulunduğu yerden ne kadar saptığını belirlemek için, 2B KYT' nin bölgesel yoğunluklarının maksimum değerlerini dikkate aldıklarını belirtmişlerdir. Numunedeki pürüzlülük parametresinin makine elemanının ömründe önemli bir etken olduğunu belirtmişledir. Gopi ve Palanisamy (2015) çalışmalarında telekomünikasyonda hesaba alınan, Halfring, Boat, Saturn ve Hard Doughnut parametrelerini kullanarak 2B KYT ile hesaplanan bu parametrelerin maksimum yoğunluk değerlerine göre olasılık tabanlı sınıflama yaptıklarını belirtmişlerdir. Bu sınıflamaya göre parametrelerin (Halfring, Boat, Saturn ve Hard Doughnut) atmosferdeki konumlarının 2B KYT ile optimal tahminlemesini yaptıklarını ifade etmişlerdir. Lopez-Molina vd. (2015) çalışmalarında mikroskop görüntülerinde mantarların biyolojik aktivitelerini 2B KYT yöntemi kullanarak tespit ettiklerini açıklamışlardır. Bu tez çalışmasında Yukarıda belirtilen analizlere benzer çalışmalar yapılmış olup, 2B AKYT yöntemiyle şev duraylılığına etkili olan kaya kütle parametrelerinin sınıflaması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, kaya kütle parametreleri (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S) ele alınarak, 2B AKYT yönteminde küme ağları oluşturulmuş ve bu küme ağlarından maksimum yoğunluk değerleri dikkate alınarak, şev duraylılığında etkin parametrelerin sınıflaması yapılandırılmıştır.

Dips 6 (ROCKSCIENCE, 2012) programında Fisher yöntemi ile süreksizlik düzlemleri takımlara ayrılmıştır. Bu takımlara ayrılan süreksizlik düzlemlerinin eğim, eğim yönleri ve kaya kütle parametrelerinin MCS ile türetilen değerleri, KYT yöntemi Origin 2019b (Originlabs, 2019) programı yardımıyla 2B uygulanmıştır. Süreksizlik takımlarının eğimi, eğim yönü ve kaya kütle parametrelerinin göreli KYT yoğunluk değişimleri analiz edilmiştir. SPSS 26 (IBM, 2019) programıyla ancak 1B KYT yapılabilmekte ve bu tahminleme kompakt küme set analizleriyle sınırlı olduğundan tercih edilmemiştir.

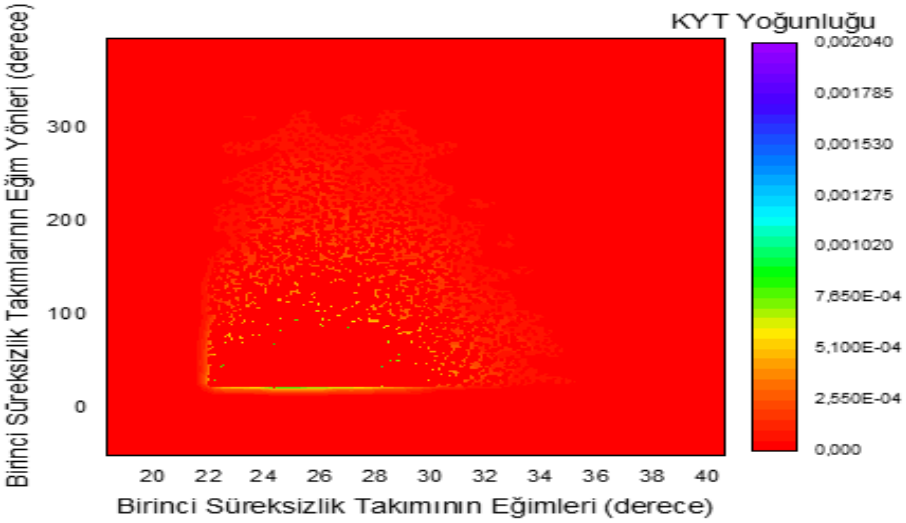
KYT fonksiyonunun yoğunluğunun arttırılmasıyla analizlerin duyarlılığı artmaktadır. Böylece daha kapsamlı analizlerin yapılmasını mümkün olmaktadır. Ayrıca kullanıcıya analizlerde karşılaştırmalı inceleme imkanı vermektedir. Bu tezde, herhangi bir kaya kütle parametresi, süreksizliklerin eğim ve eğim yönü ilişkisinin şevde ortak şekilde meydana getireceği etkilerin incelelenmesine yönelik 2B AKYT modelleri oluşturulmuş ve bunlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Böylece şev duraylılığına etkili olan parametrelerin önem sırasına göre tahminlemeleri incelenmiştir. Örnek arazi ve laboratuvar verisi, öne sürülen yöntem ile işlenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Süreksizlik takımlarının birbiriyle 2B AKYT analizleri

Birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü paremetrelerinin (Şekil 7.27) 2B AKYT analizleri yapılmıştır Etkin yoğunluğun (0,00209) bulunduğu eğim ve eğim yönü değerleri Çizelge 7.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Etkin yoğunluğun bulunduğu birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönleri

Eğim (derece)	Eğim Yönü (derece)	Eğim (derece)	Eğim Yönü (derece)
25,07	030,65	25,03	030,81
25,12	032,34	25,01	032,32
25,1	032,7	25	031,93
25,07	032,82	25,04	032,06
25,09	032,58	25,02	031,54
25,11	031,68		

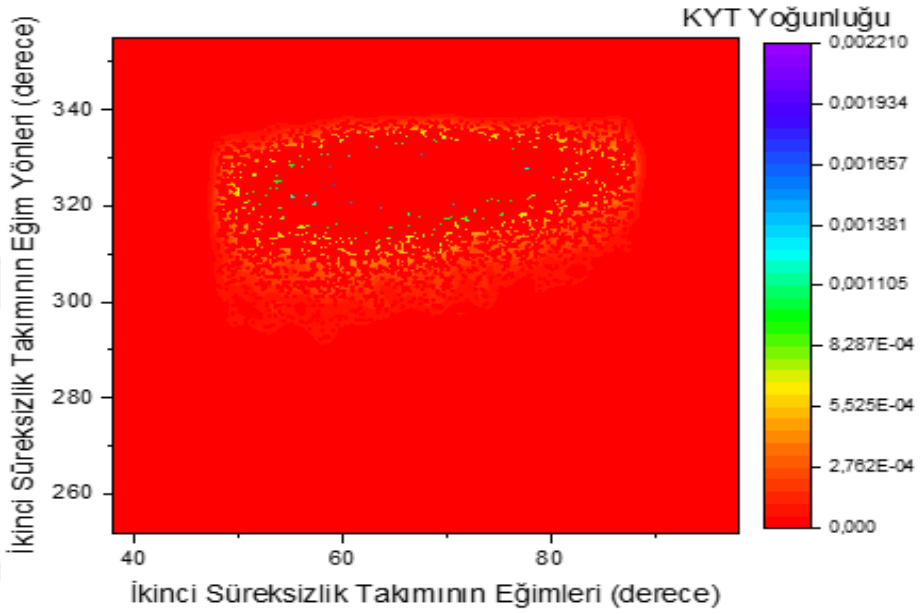


Şekil 7.27. Birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi

İkinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin (Şekil 6.28) 2B AKYT analizlerinde, etkin KYT yoğunluğuna (0,0022) neden olan ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü değerleri, Çizelge 7.2' de verilmiştir.

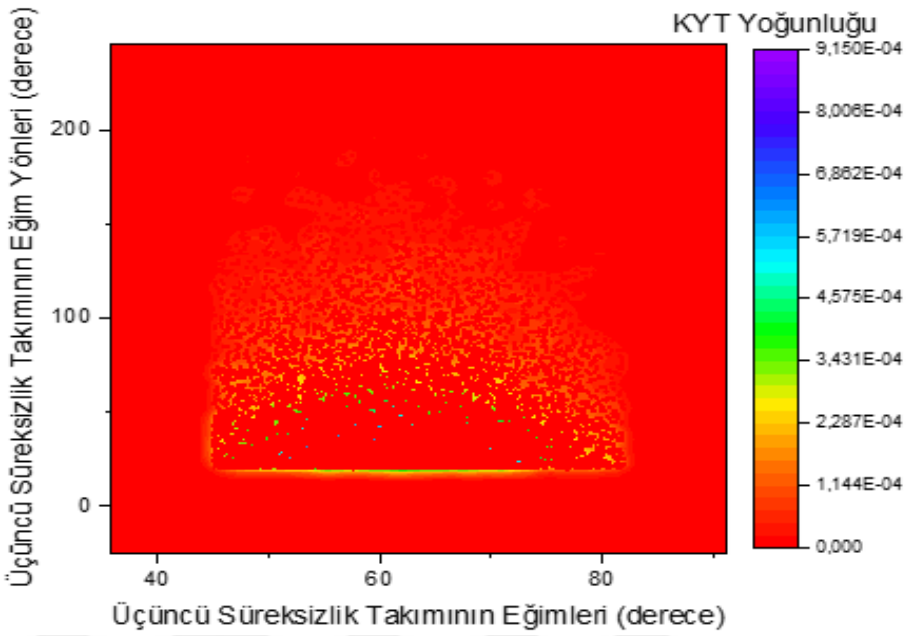
Çizelge 7.2. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ikinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönleri

Eğim (derece)	Eğim Yönü (derece)	Eğim (derece)	Eğim Yönü (derece)
69,52	325,34	69,46	325,43
69,61	325,62	69,43	325,58
69,54	325,72		



Şekil 7.28. İkinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi

Üçüncü süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B yoğunluk analizleri yapılmış ve etkin KYT yoğunluğunun ($9{,}6964 \times 10^{-4}$) bulunduğu eğim ve eğim yönü değerleri sırasıyla, $65{,}37^0$ ve $024{,}68^0$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.29).



Şekil 7.29. Üçüncü süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizi

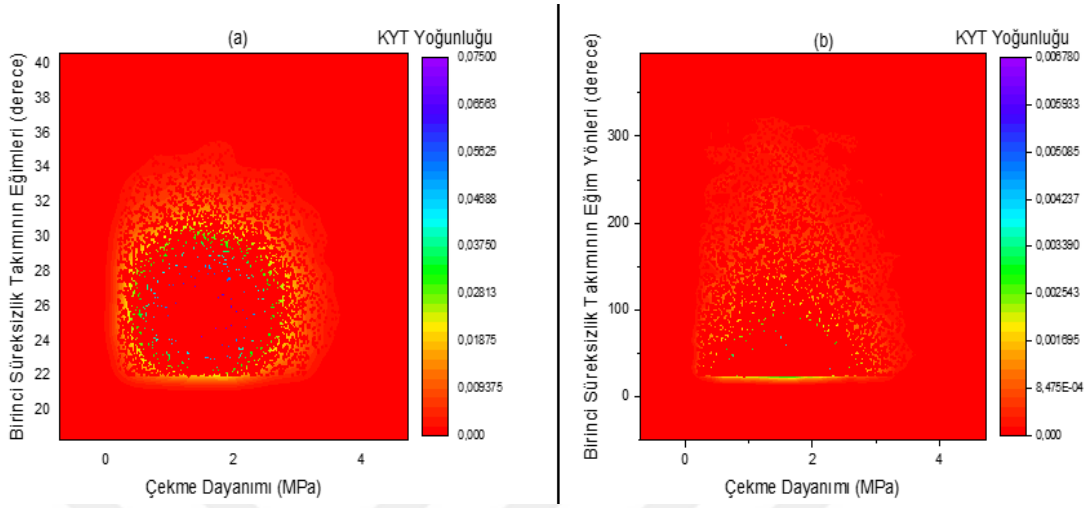
Üç süreksizlik takımının eğim ve eğim yönleri dikkate alınarak, yapılan 2B AKYT yöntemi analizlerinde, birinci süreksizlik takımının KYT yoğunluk değeri diğer takımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu yoğunluk değerine göre şevde birinci süreksizlik takımının şev duraylılığına etkisi daha büyüktür. Üçüncü süreksizlik takımının KYT yoğunluk değeri diğer takımlara göre düşük çıktığından şev duraylılığına etkisi daha azdır.

Şev duraylılık analizlerinde, KYT kullanımı önemlidir (Turanboy ve Ulker, 2008; Turanboy vd., 2018 ve Turanboy vd., 2020). Çünkü kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına etkileri ayrıntılı olarak incelenmekte ve diğer olasılıklı yaklaşımların kullanılmasıyla yapılamayan kaya kütle parametrelerinin neden olduğu farklı anomalilerin tespiti duyarlı şekilde yapılmaktadır.

Birinci süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri

ÇD ile birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri (Şekil 7.30) yapılmıştır. Etkin KYT yoğunluğun (0,07494) bulunduğu, ÇD ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 1,54 MPa ve 25,11^{o} olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.30a).

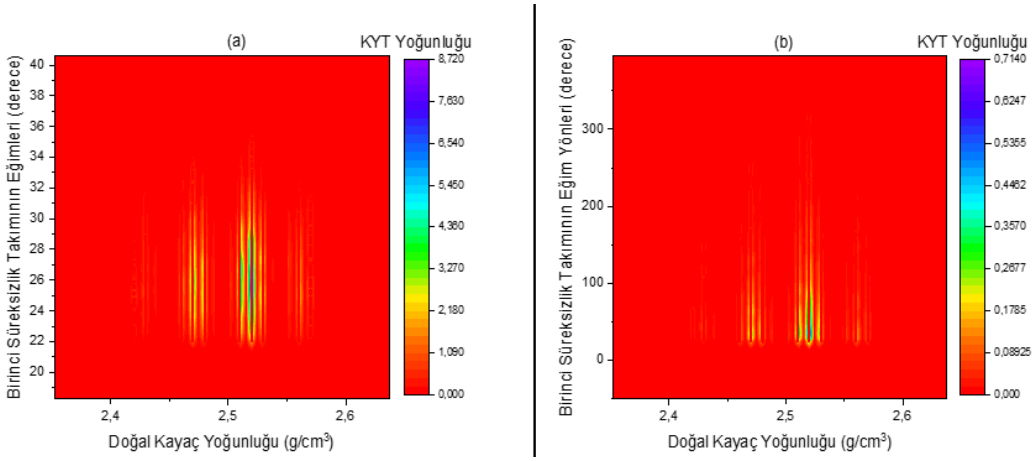
Etkin KYT yoğunluğuna (0,00718) neden olan ÇD değeri 1,51 MPa olarak ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü ise, 031,29^{o} olarak tespit edilmiştir. (Şekil 7.30b).



Şekil 7.30. ÇD ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

ρ_{DKY} ile birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Şekil 7.31). Etkin KYT yoğunluğunun (8,84983) bulunduğu ρ_{DKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 25,62^o olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.31a).

ρ_{DKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü parametrelerine göre yapılan analizlerde, etkin KYT yoğunluğunun (0,72121) var olduğu ρ_{DKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 033,92^o olarak tespit edilmiştir. (Şekil 7.31b).



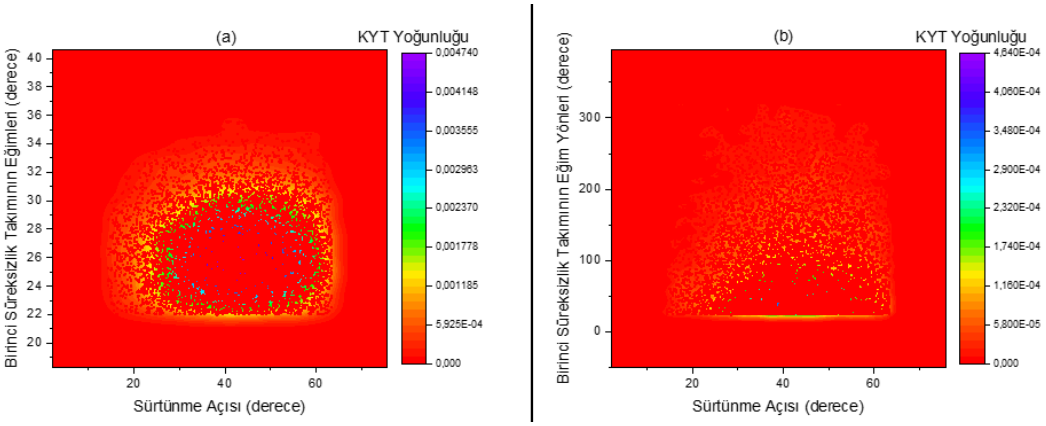
Şekil 7.31. ρ_{DKY} ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

ϕ ile birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri (Şekil 7.32) yapılmıştır. Etkin KYT yoğunluğunun (0,00474) bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri Çizelge 7.3' te verilmiştir (Şekil 7.32a).

Çizelge 7.3. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımı eğimleri

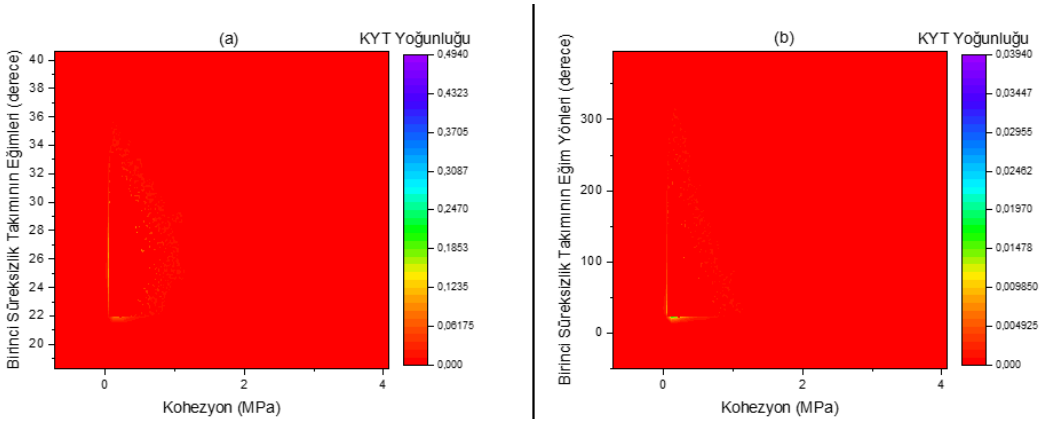
ϕ (derece)	Eğim (derece)	ϕ (derece)	Eğim (derece)
41,79	25,74	41,65	25,65
41,63	25,63	41,47	25,7
41,46	25,73	41,71	25,67
41,4	25,7	41,68	25,69
41,47	25,66		

Etkin KYT yoğunluğunun ($4{,}76973 \times 10^{-4}$) bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, $41{,}8^{o}$ ve $031{,}96^{o}$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.32b).



Şekil 7.32. ϕ ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

c ile birinci süreksizlik takımını eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde önemli seviyede yoğunlaşma alanının olmadığı görülmüştür (Şekil 7.33). Etkin KYT yoğunluğunun (0,50494) olduğu c ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 0,12 MPa ve $25{,}28^0$ olarak tespit edilmiştir. (Şekil 7.33a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,04182) bulunduğu c ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 0,12 MPa ve $030{,}46^o$ olarak saptanmıştır (Şekil 7.33b).

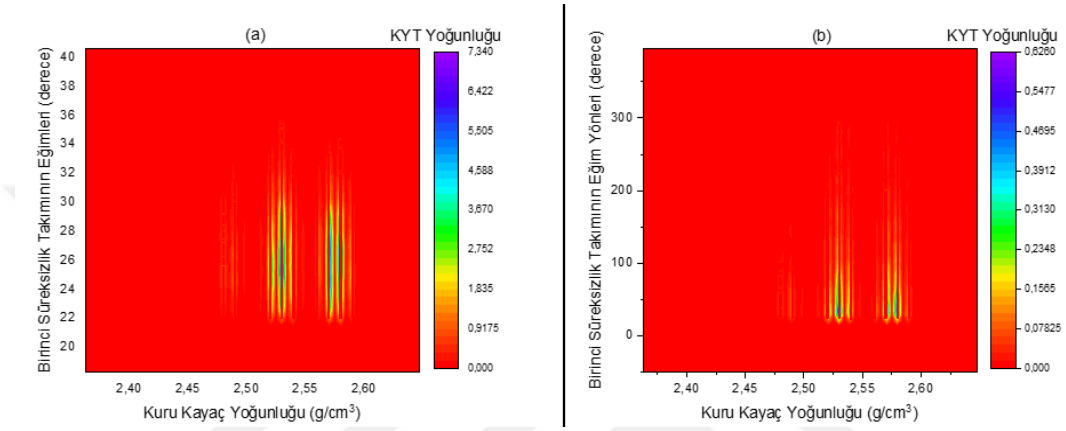


Şekil 7.33. c ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

ρ_{KKY} ile birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Şekil 7.34). Etkin KYT yoğunluğunun (8,66251) bulunduğu, ρ_{KKY} 2,54

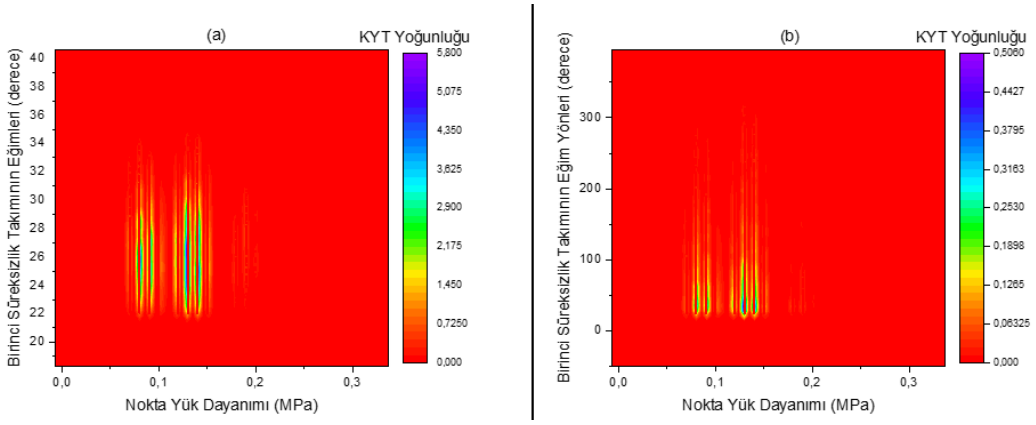
g/cm^3 değerinde ve birinci süreksizlik takımının eğimi ise, 26,39^o değerinde saptanmıştır (Şekil 7.34a).

Etkin KYT yoğunluğunun (0,69948) var olduğu ρ_{KKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,55 g/cm^3 ve 035,89^o olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.34b).



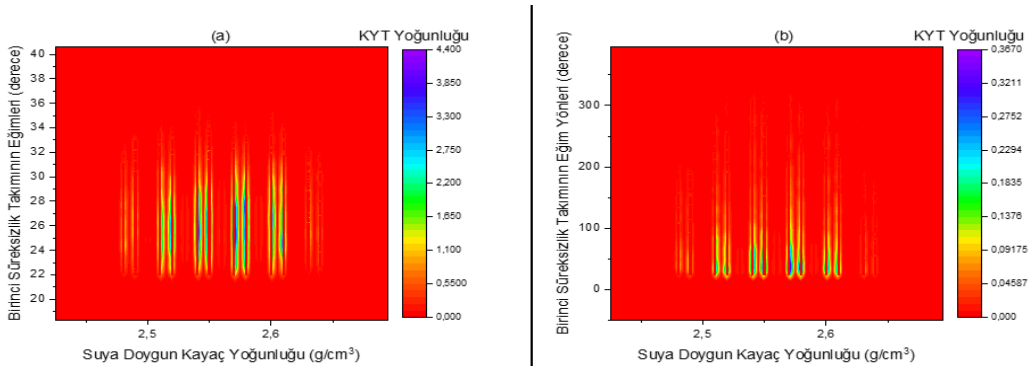
Şekil 7.34. ρ_{KKY} ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

Is(50) ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri (Şekil 7.35) yapılmıştır. Etkin KYT yoğunluğuna (10,22479) neden olan Is(50) ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 0,1 MPa ve 25,25^o olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.35a). Birinci süreksizlik takımının eğim yönleri ve Is(50) parametrelerinin yoğunluk analizlerinde (Şekil 7.35b) ise, etkin KYT yoğunluğunun (0,76801) bulunduğu Is(50) ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 0,11 MPa ve 032,7^o olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.35. Is(50) ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

ρ_S ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönleri paremetrelerin 2B AKYT analizleri (Şekil 7.36) yapılmıştır. Etkin KYT yoğunluğunun (6,93448) bulunduğu ρ_S ve birinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 25,09^o olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.36a). ρ_S ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizlerinde (Şekil 7.36b) ise, etkin KYT yoğunluğunun (0,53529) bulunduğu ρ_S ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 033,27^o olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.36. ρ_S ile birinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönlerinin 2B AKYT analizleri (a) eğime göre; (b) eğim yönüne göre

İkinci süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri

ÇD ile ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 1). Etkin KYT yoğunluğunun (0,02062) bulunduğu ÇD ve birinci süreksizlik takımı eğim değerleri Çizelge 7.4' te verilmiştir (Ek 1a).

Çizelge 7.4. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ÇD ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri

ÇD (MPa)	Eğim (derece)	ÇD (MPa)	Eğim (derece)
1,46	65,59	1,46	65,24
1,46	65,23	1,46	65,37

Etkin KYT yoğunluğunun (0,02892) bulunduğu ÇD ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 1,48 MPA - 325,77^o ve 1,48 MPa - 325,83^o olarak saptanmıştır (Ek 1b).

ρ_{DKY} ile ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 2). Etkin KYT yoğunluğunun (2,27947) bulunduğu ρ_{DKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 65,04^o olarak tespit edilmiştir (Ek 2a). Etkin KYT yoğunluğunun (3,67618) bulunduğu ρ_{DKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 324,86^o olarak saptanmıştır (Ek 2b).

ϕ ile ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönleri parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 3). Etkin KYT yoğunluğunun (0,00132) bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri Çizelge 7.5' te verilmiştir (Ek 3a).

Çizelge 7.5. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri

ϕ (derece)	Eğim (derece)	ϕ (derece)	Eğim (derece)
42,03	62,03	42,05	62,89
42,19	62,91	42,4	62,15
42,39	62,11	42,16	62,8
42,11	62,08	42,38	62,49
42,54	62,29	42,18	62,64
41,93	62,5	42,14	62,63

Etkin KYT yoğunluğunun (0,00194) bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri Çizelge 7.6' da verilmiştir (Ek 3b).

Çizelge 7.6. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımı eğim yönleri

ϕ (derece)	Eğim Yönü (derece)	ϕ (derece)	Eğim Yönü (derece)
41,6	324,7	41,49	324,84
41,21	324,95	41,34	324,61
41,21	324,83	41,33	324,74
41,5	324,52	41,4	324,72

c ile ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 4). Etkin KYT yoğunluğunun (0,00132) bulunduğu c ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri, Çizelge 7.7' de verilmiştir (Ek 4a).

Çizelge 7.7. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu c ve ikinci süreksizlik takımı eğimleri

c (MPa)	Eğim (derece)	c (MPa)	Eğim (derece)
0,13	62,07	0,13	62,09
0,13	62,1		

Etkin KYT yoğunluğunun (0,18204) bulunduğu c ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 0,12 MPa - 324,7^o ve 0,12 MPa - 324,66^o olarak tespit edilmiştir (Ek 4b).

ρ_{KKY} ile ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 5). KYT yoğunluğunun (2,38326) bulunduğu ρ_{KKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,54 g/cm^3 ve 65,02^o olarak tespit edilmiştir (Ek 5a). Etkin KYT yoğunluğunun (3,57108) bulunduğu ρ_{KKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 2,54 g/cm^3 ve 326,84^o olarak saptanmıştır (Ek 5b).

Is(50) ile ikinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 6). Etkin KYT yoğunluğunun (2,45274) bulunduğu Is(50) ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 0,12 MPa ve 62,51^o olarak saptanmıştır (Ek 6a). Etkin KYT yoğunluğunun (3,83066) bulunduğu Is(50) ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 0,11 MPa ve 326,45^o olarak tespit edilmiştir (Ek 6b).

ρ_S ile İkinci süreksizlik takımı eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 7). Etkin KYT yoğunluğunun (2,0006) bulunduğu ρ_S ve ikinci süreksizlik takımının eğim değerleri sıralasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 65,06^o olarak tespit edilmiştir (Ek 7a). Etkin KYT yoğunluğunun (2,70344) bulunduğu ρ_S ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 324,36^o olarak saptanmıştır (Ek 7b).

Üçüncü süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri

ÇD ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 8). Etkin KYT yoğunluğunun (0,02029) bulunduğu ÇD ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 1,48 MPa - 57,93^o ve 1,49 MPa - 58° olarak tespit edilmiştir (Ek 8a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,01487) bulunduğu ÇD ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 1,69 MPa - 23,98^o olarak saptanmıştır (Ek 8b).

ρ_{DKY} ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 9). Etkin KYT yoğunluğunun (2,17513) bulunduğu ρ_{DKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,53 g/cm^3 ve 61° olarak saptanmıştır (Ek 9a). Etkin KYT yoğunluğunun (1,43917) bulunduğu ρ_{DKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 025,47^o olarak tespit edilmiştir (Ek 9b).

ϕ ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 10). Etkin KYT yoğunluğunun (0,0013) bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri Çizelge 7.8' de verilmiştir (Ek 10a).

Çizelge 7.8. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri

ϕ (derece)	Eğim (derece)	ϕ (derece)	Eğim (derece)
45,21	61,3	45,64	60,55
45,81	60,56	45,12	61,13
45,58	61,06	45,01	60,85
44,75	60,84	45,41	60,81
44,77	61,13	45,27	60,71
44,8	60,96	45,24	60,85
44,97	61,19		

Etkin KYT yoğunluğunun (8,30595x10^{-4}) bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 39,31^o ve 023,97^o olarak tespit edilmiştir (Ek 10b).

c ile üçüncü süreksizlik takımı eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 11). Etkin KYT yoğunluğunun (0,13993) bulunduğu c ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 0,12 MPa ve 61,13^o olarak saptanmıştır (Ek 11a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,08335) bulunduğu c ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise sırasıyla, 0,13 MPa ve 024,14^o olarak saptanmıştır (Ek 11b).

ρ_{KKY} ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 12). Etkin KYT yoğunluğunun (2,23369) bulunduğu ρ_{KKY} ve üçüncü

süreksizlik takımının eğim değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 60,26^0 olarak saptanmıştır (Ek 12a). Etkin KYT yoğunluğunun (1,43685) bulunduğu ρ_{KKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri ise, Çizelge 7.9' da verilmiştir (Ek 12b).

Çizelge 7.9. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ρ_{KKY} ve üçüncü süreksizlik takımı eğim yönleri

ρ_{KKY} (g/cm^3)	Eğim Yönü (derece)	ρ_{KKY} (g/cm^3)	Eğim Yönü (derece)
2,56	25,57	2,56	25,55

Is(50) ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 13). Etkin KYT yoğunluğunun (2,35689) bulunduğu Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri Çizelge 7.10' da verilmiştir (Ek 13a).

Çizelge 7.10. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri

Is(50) (MPa)	Eğim (derece)	Is(50) (MPa)	Eğim (derece)
0,12	59,05	0,12	59,06

Etkin KYT yoğunluğunun (1,51413) bulunduğu Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 0,11 MPa ve 024,81^o olarak saptanmıştır (Ek 13b).

ρ_S ile üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametrelerinin 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 14). Etkin KYT yoğunluğunun (1,86739) bulunduğu ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımının eğim değerleri Çizelge 7.11' de verilmiştir (Ek 14a).

Çizelge 7.11. Etkin yoğunluğun bulunduğu ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımı eğimleri

ρ_S (g/cm^3)	Eğim (derece)	ρ_S (g/cm^3)	Eğim (derece)
2,56	63,07	2,56	63,1
2,56	63,08		

Etkin KYT yoğunluğunun (1,09703) bulunduğu ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 025,54^o olarak tespit edilmiştir (Ek 14b).

2B AKYT analizlerinin değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, yedi adet kaya kütle parametresi (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S) dikkate alınarak yapılan 2B AKYT analizlerinde, etkin KYT yoğunlukları ele alınmıştır. Böylece, sözü edilen parametrelerin sayısal değerleri de ortaya konulabilmektedir. Etkin KYT yoğunlukluklarının sayısal değerleri kıyaslandığında, üç tane süreksizlik takımının eğim ve eğim yönü parametreleriyle yapılan analizlerinin tümünde Is(50) parametresinin maksimum KYT yoğunluğuna sahip olduğu ve dolayısıyla şev duraylılığında en etkin parametre olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.12).

Çizelge 7.12. 2B AKYT analizleriyle elde edilen kaya kütle parametrelerinin etkin KYT yoğunlukları

Kaya Kütle Parametreleri	**Birinci Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri**		**İkinci Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri**		**Üçüncü Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri**	
	Eğime Göre	**Eğim Yönüne Göre**	**Eğime Göre**	**Eğim Yönüne Göre**	**Eğime Göre**	**Eğim Yönüne Göre**
ÇD	0,07494	0,00718	0,02062	0,02892	0,02029	0,01487
ρ_{DKY}	8,84983	0,72121	2,27947	3,67618	2,17513	1,43917
ϕ	0,00474	$4{,}76973 \times 10^{-4}$	0,00132	0,00194	0,0013	$8{,}30595 \times 10^{-4}$
c	0,50494	0,04182	0,00132	0,18204	0,13993	0,08335
ρ_{KKY}	8,66251	0,69948	2,38326	3,57108	2,23369	1,43685
Is(50)	***10,22479***	***0,76801***	***2,45274***	***3,83066***	***2,35689***	***1,51413***
ρ_S	6,93448	0,53529	2,0006	2,70344	1,86739	1,09703
En Etkin Parametre	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**

Manipüle edilmiş 2B AKYT analizleri

KYT yöntemleri parametrik olmayan özelliğe sahip olduğundan doğrudan rastgele veri kullanmaktadır. KYT veri yapısına bağlı olmadığından dolayı klasik histogram tahmincisine göre daha ayrıntılı ve daha düzgün OYF' ler elde edilmektedir. Ancak bu yöntemin duyarlılık özelliğinin iyileştirilmesine yönelik fonksiyon veya veri yapısında değişliklerin yapılması mümkündür. Fonksiyonel iyileştirmelerde zaman kaybı, hata yapma olasılığı ve doğruluk derecesinin düşük çıkma gibi dezavantajları bulunmaktadır. Veri yapısındaki iyileştirmeler ise, fonksiyonel iyileştirmelere göre daha kolaydır. Veri yapısındaki iyileştirmelerde, verinin sahip olduğu boyutsallık üzerine odaklanmak gereklidir. Boyutsallıkta veri sayısındaki artışı sağlamaktan ve negatif değerdeki verileri kullanmaktan kesinlikle kaçınılmalıdır. KYT' nin pürüzsüzleştirme ve spekturumununa etki edebilecek verilerin olması sağlanmalıdır. Küçük olarak belirlenen pürüzsüzleştirme (smoothing) KYT' de kullanılan değişkenler etrafında daha yoğun bölgelerin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Böylece, süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönü parametreleri aynı birime sahip olmasına rağmen, bu parametrelere ait sayısal

değerlerin toplama, çıkarma veya çarpma işlemlerinin yapılması KYT ile yapılan analizlerde önemli problemler meydana getirmektedir. Ancak, eğim ve eğim yönü parametrelerinin orantılarının alınmasıyla kompakt yapıya sahip olmayan simetrik uzayda marjinal yoğunluk fonksiyonları dar sınırlarda elde edilebilmektedir. Böylece gözlemlere daha çok ağırlık vererek fonksiyonel ölçek artmakta ve daha duyarlı analizler mümkün olmaktadır (Von Davier, vd., 2003; Weber, 2007; Motai, 2015; Chacon ve Duong, 2018). Tez çalışmasında iki oran (eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim) kullanılmıştır. Böylece, daha duyarlı ve detaylı analizler yapılmıştır. Bu iki oranda kaya kütle parametrelerinin küme ağları daha anlamlı ölçüde ortaya çıkmış, yoğunluk değerleri yükselmiş ve bu oranlar birbirine göre farklı yapılarda (rastgele ve düzenli) küme ağları meydana getirmiştir.

Aynı yöntem, tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Buna göre, her kaya kütle parametresinin eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim ayrı ayrı ele alınarak 2B AKYT yöntemi uygulanmıştır.

Örnek saha için, eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim (y ekseninde) ve kaya kütle parametreleri (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S) ile 2B AKYT sonuçları üç süreksizlik takımı için şu şekilde sunulabilir;

Manipüle edilmiş birinci süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri:

ÇD ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 15). Etkin KYT yoğunluğunun (0,82367) bulunduğu ÇD ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 1,62 MPa ve 0,93 olarak saptanmıştır (Ek 15a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,18634) bulunduğu ÇD ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise, Çizelge 7.13' te gösterilmiştir (Ek 15b).

Çizelge 7.13. Etkin yoğunluğun bulunduğu ÇD ve birinci süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları

ÇD (MPa)	Eğim Yönü/Eğim Oranları	ÇD (MPa)	Eğim Yönü/Eğim Oranları
1,65	1	1,65	1,01

ρ_{DKY} ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 16). Etkin KYT yoğunluğunun (89,47474) bulunduğu ρ_{DKY} ve

birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 0,86 olarak saptanmıştır (Ek 16a). Etkin KYT yoğunluğunun (19,29638) bulunduğu ρ_{DKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 1,08 olarak tespit edilmiştir (Ek 16b).

ϕ ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 17). Etkin KYT yoğunluğunun (0,05081) bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri Çizelge 7.14' de verilmiştir (Ek 17a).

Çizelge 7.14. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları

ϕ (derece)	Eğim/Eğim Yönü Oranları	ϕ (derece)	Eğim/Eğim Yönü Oranları
41,11	0,86	41,18	0,86

Etkin KYT yoğunluğunun (0,01201) bulunduğu ϕ ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri sırasıyla, 41,05^o ve 0,91 olarak tespit edilmiştir (Ek 17b).

c ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 18). Etkin KYT yoğunluğunun (5,51413) bulunduğu c ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,13 MPa ve 0,87 olarak tespit edilmiştir (Ek 18a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,01201) bulunduğu c ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,13 MPa ve 0,96 olarak tespit edilmiştir (Ek 18b).

ρ_{KKY} ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 19). Etkin KYT yoğunluğunun (101,74269) bulunduğu ρ_{KKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,54 g/cm^3 ve 0,87 olarak tespit edilmiştir (Ek 19a). Etkin KYT yoğunluğuna (19,38067) sebep olan ρ_{KKY} ve birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,54 g/cm^3 ve 1,01 olarak saptanmıştır (Ek 19b).

Is(50) ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 20). Etkin KYT yoğunluğunun (96,60266) bulunduğu Is(50) ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,12 MPa ve 0,87 olarak tespit edilmiştir (Ek 20a). Etkin KYT yoğunluğunun (20,57679) bulunduğu Is(50) ve birinci

süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,1 MPa ve 1,01 olarak saptanmıştır (Ek 20b).

ρ_S ile birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 21). Etkin KYT yoğunluğunun (66,48253) bulunduğu ρ_S ve birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 0,86 olarak tespit edilmiştir (Ek 21a). Etkin KYT yoğunluğuna (13,88232) neden olan ρ_S ve birinci süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 1,03 olarak saptanmıştır (Ek 21b).

Manipüle edilmiş ikinci süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri:

ÇD ile ikinci süreksizlik takımı eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 22). Etkin KYT yoğunluğunun (40,73383) bulunduğu ÇD ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 1,48 MPa ve 0,23 olarak tespit edilmiştir (Ek 22a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,26732) bulunduğu ÇD ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 1,62 MPa ve 4,86 olarak saptanmıştır (Ek 22b).

ρ_{DKY} ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 23). Etkin KYT yoğunluğunun (3803,96202) bulunduğu ρ_{DKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 0,2 olarak saptanmıştır (Ek 23a). Etkin KYT yoğunluğuna (30,76718) neden olan ρ_{DKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 5,01 olarak tespit edilmiştir (Ek 23b).

ϕ ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 24). Etkin KYT yoğunluğuna (2,55966) sebep olan ϕ ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 41,68^o ve 0,21 olarak saptanmıştır (Ek 24a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,01664) bulunduğu ϕ ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 42,59^o ve 4,8 olarak tespit edilmiştir (Ek 24b).

c ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 25). Etkin KYT yoğunluğunun (301,5438) bulunduğu c ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,12 MPa ve 0,21 olarak tespit edilmiştir (Ek 25a). Etkin KYT yoğunluğunun (1,8143) bulunduğu c ve ikinci süreksizlik

takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,13 MPa ve 4,95 olarak tespit edilmiştir (Ek 25b).

ρ_{KKY} ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 26). Etkin KYT yoğunluğunun (4125,4029) bulunduğu ρ_{KKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü değerleri sırasıyla 2,55 g/cm^3 ve 0,21 olarak tespit edilmiştir (Ek 26a). Etkin KYT yoğunluğunun (29,26178) bulunduğu ρ_{KKY} ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,55 g/cm^3 ve 4,93 olarak saptanmıştır (Ek 26b).

Is(50) ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 27). Etkin KYT yoğunluğunun (4455,74576) bulunduğu Is(50) ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,1 MPa ve 0,22 olarak tespit edilmiştir (Ek 27a). Etkin KYT yoğunluğuna (36,77951) neden olan Is(50) ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,11 MPa ve 4,86 olarak saptanmıştır (Ek 27b).

ρ_S ile ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 28). Etkin KYT yoğunluğuna (2949,12925) neden olan ρ_S ve ikinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 0,22 olarak tespit edilmiştir (Ek 28a). Etkin KYT yoğunluğunun (21,98564) var olduğu ρ_S ve ikinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 4,57 olarak saptanmıştır (Ek 28b).

Manipüle edilmiş üçüncü süreksizlik takımı ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizleri:

ÇD ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 29). Etkin KYT yoğunluğuna (1,21613) neden olan ÇD ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 1,47 MPa ve 0,45 olarak saptanmıştır (Ek 29a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,34857) bulunduğu ÇD ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 1,6 MPa ve 2,28 olarak saptanmıştır (Ek 29b).

ρ_{DKY} ile üçüncü süreksizlik takımı eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 30). Etkin KYT yoğunluğuna (144,6359) neden olan ρ_{DKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 0,4 olarak tespit edilmiştir (Ek 30a). Etkin KYT yoğunluğunun (42,95243) bulunduğu ρ_{DKY} ve üçüncü

süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,52 g/cm^3 ve 2,29 olarak saptanmıştır (Ek 30b).

ϕ ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 31). Etkin KYT yoğunluğuna (2,55966) neden olan ϕ ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 41,11^o ve 0,39 olarak tespit edilmiştir (Ek 31a). Etkin KYT yoğunluğunun (0,02202) bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise, Çizelge 7.15' te verilmiştir (Ek 31b).

Çizelge 7.15. Etkin KYT yoğunluğunun bulunduğu ϕ ve üçüncü süreksizlik takımı eğim yönü/eğim oranları

ϕ (derece)	Eğim Yönü/Eğim Oranları	ϕ (derece)	Eğim Yönü/Eğim Oranları
42,03	2,35	42,28	2,35
42,6	2,35	42,34	2,35
42,22	2,35		

c ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 32). Etkin KYT yoğunluğuna (7,43971) neden olan c ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,11 MPa ve 0,38 olarak tespit edilmiştir (Ek 32a). Etkin KYT yoğunluğunun (2,34073) bulunduğu c ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,12 MPa ve 2,4 olarak tespit edilmiştir (Ek 32b).

ρ_{KKY} ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 33). Etkin KYT yoğunluğuna (137,79089) neden olan ρ_{KKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,54 g/cm^3 ve 0,39 olarak tespit edilmiştir (Ek 33a). Etkin KYT yoğunluğunun (41,86412) bulunduğu ρ_{KKY} ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,55 g/cm^3 ve 2,32 olarak saptanmıştır (Ek 33b).

Is(50) ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 34). Etkin KYT yoğunluğuna (161,09504) neden olan Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 0,11 MPa ve 0,41 olarak saptanmıştır (Ek 34a). Etkin KYT yoğunluğunun (36,77951) bulunduğu Is(50) ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 0,11 MPa ve 2,23 olarak tespit edilmiştir (Ek 34b).

ρ_S ile üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla 2B AKYT analizleri yapılmıştır (Ek 35). Etkin KYT yoğunluğuna (105,25736) sebep olan ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımı eğim/eğim yönü oranı değerleri sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 0,4 olarak saptanmıştır (Ek 35a). Etkin KYT yoğunluğunun (21,98564) bulunduğu ρ_S ve üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı değerleri ise sırasıyla, 2,56 g/cm^3 ve 0,4 olarak tespit edilmiştir (Ek 35b).

Manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerinin değerlendirilmesi:

Manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerinde, KYT yoğunlukların sayısal değerleri arttırılmış (fonksiyonun ölçeği genişletilmiş) ve bu sayede 2B AKYT analizlerine göre şev duraylılığında etkili parametrelerin sınıflamasına yönelik daha kapsamlı ve daha duyarlı sonuçlar elde edilmiştir. Manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerininde elde edilen dikkate değer sonuçlar Çizelge 7.16' da verilmiştir.

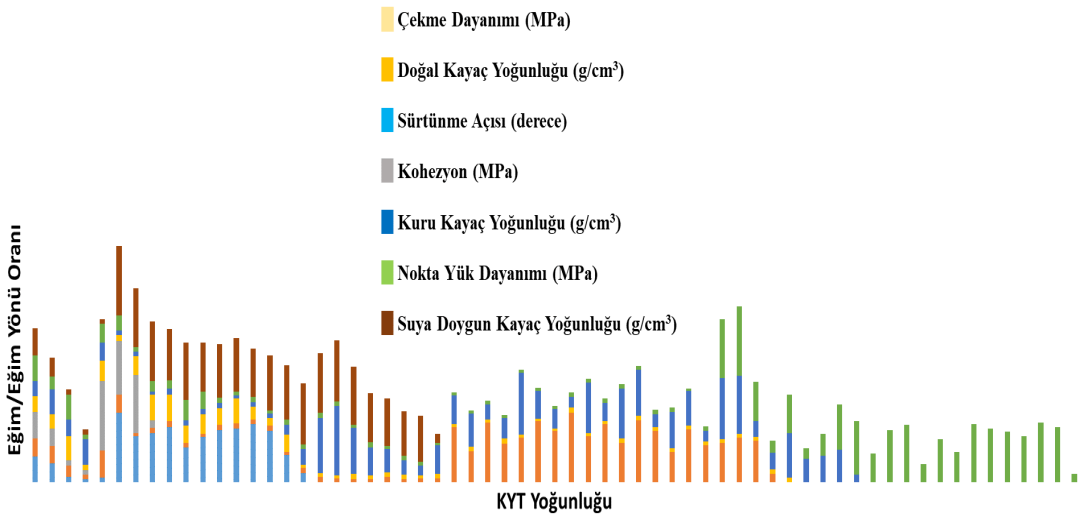
Çizelge 7.16. Manipüle edilmiş 2B AKYT analizleriyle elde edilen kaya kütle parametrelerinin etkin KYT yoğunlukları

Kaya Kütle Parametreleri	Birinci Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri		İkinci Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri		Üçüncü Süreksizlik Takımında Etkin Yoğunluk Değerleri	
	Eğim/Eğim Yönüne Göre	Eğim Yönü/Eğime Göre	Eğim/Eğim Yönüne Göre	Eğim Yönü/Eğime Göre	Eğim/Eğim Yönüne Göre	Eğim Yönü/Eğime Göre
ÇD	0,82367	0,18634	40,73383	0,26732	1,21613	0,34857
ρ_{DKY}	89,47474	19,29638	3803,96202	30,76718	144,6359	**42,95243**
ϕ	0,05081	0,01201	2,55966	0,01664	2,55966	0,02202
c	5,51413	0,01201	301,5438	1,8143	7,43971	2,34073
ρ_{KKY}	**101,74269**	19,38067	4125,4029	29,26178	137,79089	41,86412
Is(50)	96,60266	**20,57679**	**4455,74576**	**36,77951**	**161,09504**	36,77951
ρ_S	66,48253	13,88232	2949,12925	21,98564	105,25736	21,98564
En Etkin Parametre	**ρ_{KKY}**	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**	**Is(50)**	**ρ_{DKY}**

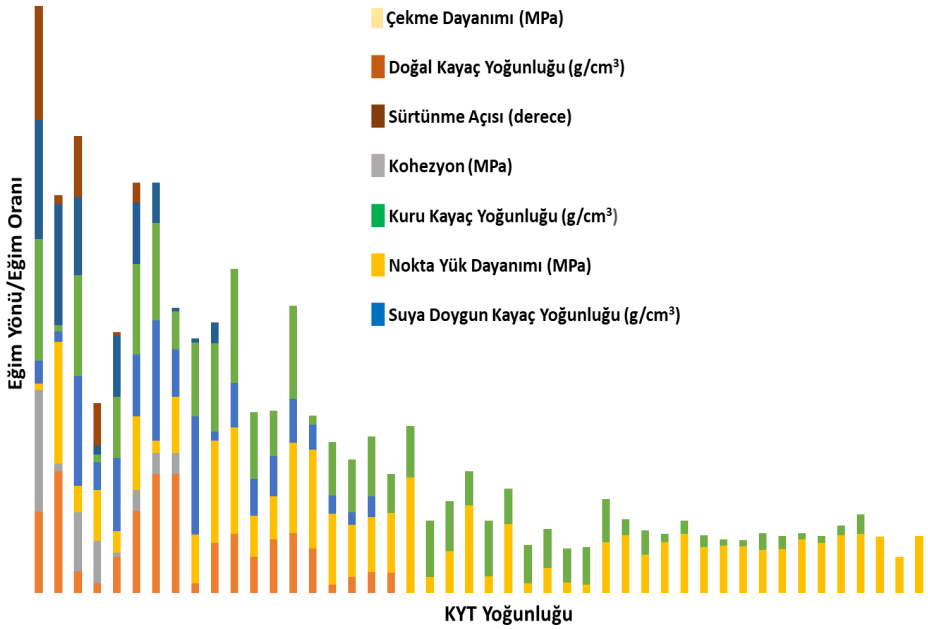
ρ_{DKY}, ρ_{KKY} ve Is(50) parametrelerinin süreksizlik takımlarının eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim oranlarıyla yapılan 2B AKYT analizleri dikkate alındığında, şev duraylığına etkisinin diğer kaya kütle parametrelerine (ÇD, ϕ, c ve ρ_S) göre daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca bu parametrelere ait 3B nokta bulutu dağılım grafikleri Ek 36-56' da sunulmuştur (her bir süreksizlik takımına ait en etkin parametreler kırmızı, diğerleri yeşil renkte belirtilmiştir). Mevcut kaya kütle parametrelerinin şev duraylılık etkinlik sınıflamasında, manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerin KYT yoğunluk değerlerinde büyük ölçüde artış meydana geldiğinden eğim ve eğim yönü ile yapılan analizlere (Çizelge 7.12) göre daha duyarlı olduğu görülmüştür.

Manipüle edilmiş analizlerde olasılık teorisine uygun olarak her bir takım için eğim ve eğim yönüne (Çizelge 7.16) göre rasgele artış miktarları olmuştur. Bu analizlerde ikinci süreksizlik takımının KYT yoğunluk değerlerinin diğer (birinci ve üçüncü) takımlara göreli farklılıkları açıkça görülmektedir. İkinci süreksizlik takımında en etkin parametrenin Is(50) olduğu göze çarpmaktadır. Diğer iki takımın (birinci ve üçüncü) sayısal değerleri dikkate alınarak elde edilen yoğunluk değerleri, ikinci süreksizlik takımı dikkate alınarak elde edilen KYT' nin yoğunluk değerlerine yakın olması halinde Is(50) parametresinin birinci ve üçüncü süreksizlik takımlarıyla yapılan 2B AKYT analizlerinde de en etkin parametre olduğu söylenebilmektedir. Elde edilen sonuçların KYT teorisine göre uyumlu olduğu görülmektedir (Von Davier, vd., 2003; Weber, 2007; Motai, 2015).

Kaya kütle parametreleri ile yapılan 2B AKYT analizlerinden elde edilen KYT yoğunlukları dikkate alınarak eğim/eğim yönü oranına (Şekil 7.37) ve eğim yönü/eğim oranına (Şekil 7.38) göre birikimli (kümülatif) sütun grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler 2B AKYT yöntemiyle elde edilen KYT yoğunlukları arasındaki ilişkiyi net şekilde sunmak için ve şev duraylılığına etkisi olan kaya kütle parametrelerini karşılaştırmak amacıyla çizilmiştir. Grafiklerde (Şekil 7.37 ve Şekil 7.38) NYD' nin şev duraylılığında en önemli parametre olduğu görülmektedir.



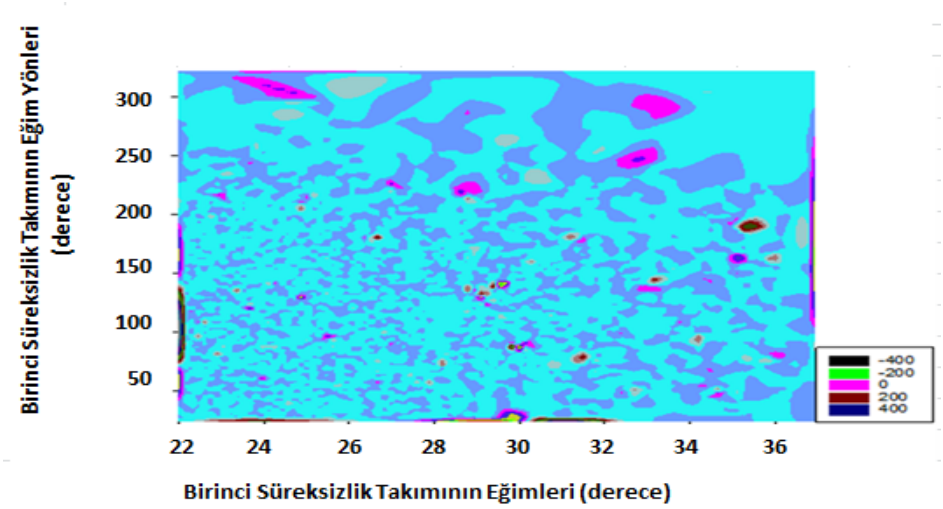
Şekil 7.37. Kaya kütle parametrelerinin eğim/eğim yönü oranına göre birikimli KYT yoğunluk grafiği



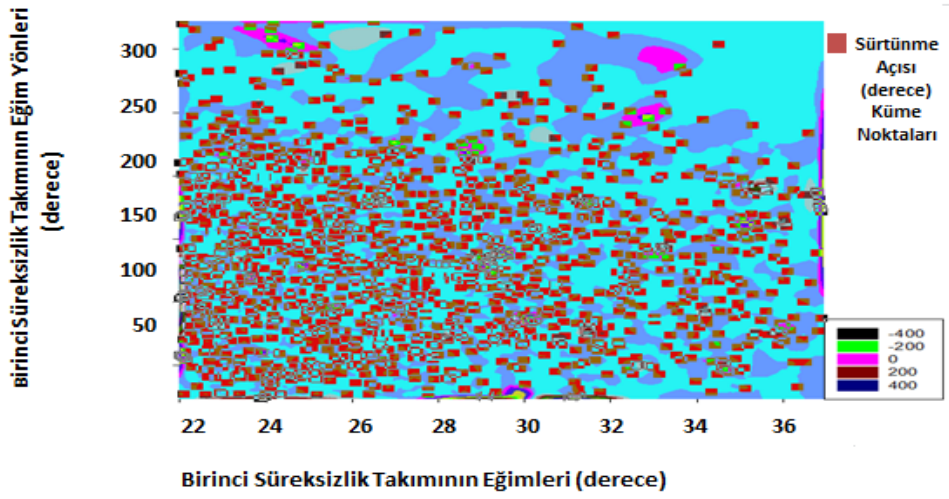
Şekil 7.38. Kaya kütle parametrelerinin eğim yönü/eğim oranına göre birikimli KYT yoğunluk grafiği

7.1.3. Şev duraylılığana etkisi olan ϕ' nin OYF' ye göre incelenmesi

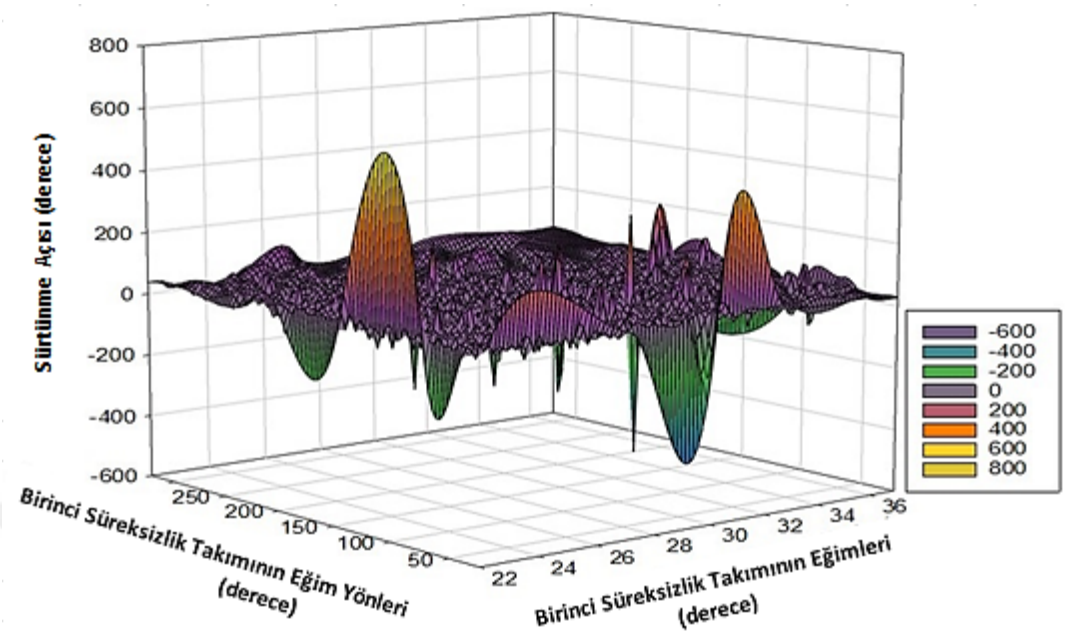
MCS yöntemi kullanılarak türetilen 2B AKYT yöntemi analizlerine göre kayma olasılığına en az etkisi olduğu tespit edilen ϕ parametresi ile birinci, ikinci ve üçüncü süreksizlik takımlarının eğim ve eğim yönü parametreleri dikkate alınarak kontur yapılı ve 3B OYF grafikleri çizilmiştir. Eğim ve eğim yönü kontur grafiklerinde birbirleriyle ilişkili olarak istatistiksel yoğunlaşmanın meydana geldiği aralıklar tespit edilmiştir (Şekil 7.39, Şekil 7.42 ve Şekil 7.45). ϕ ve eğim ve eğim yönleriyle oluşturulan kontur grafikleri (Şekil 7.40, Şekil 7.43 ve Şekil 7.46) ϕ' nin olasılıklı dağılımının konumunu belirlemek; 3B grafikler ise, ϕ ve eğim ve eğim yönlerinin xyz eksenindeki dağılımını tespit etmek amacıyla hazırlanmıştır (Şekil 7.41, Şekil 7.44 ve Şekil 7.47).



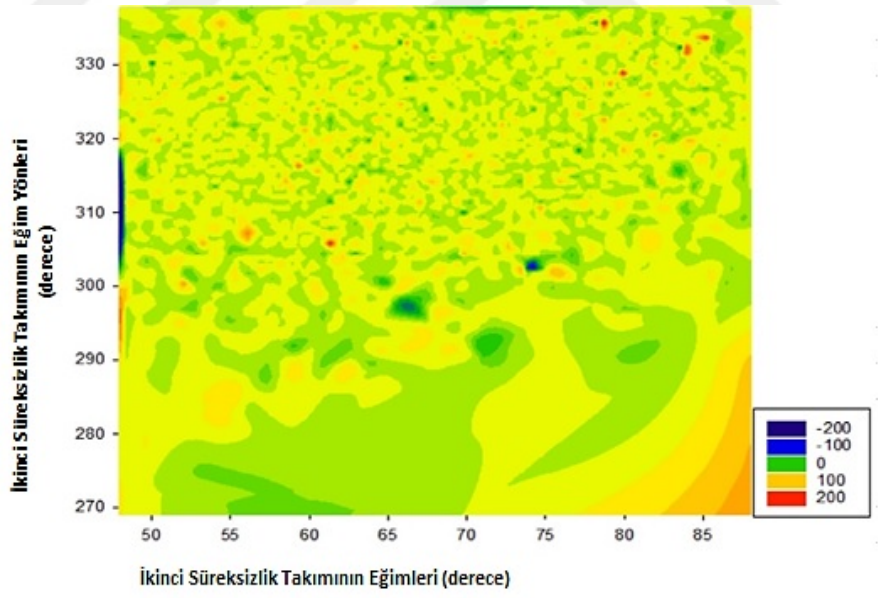
Şekil 7.39. Birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği



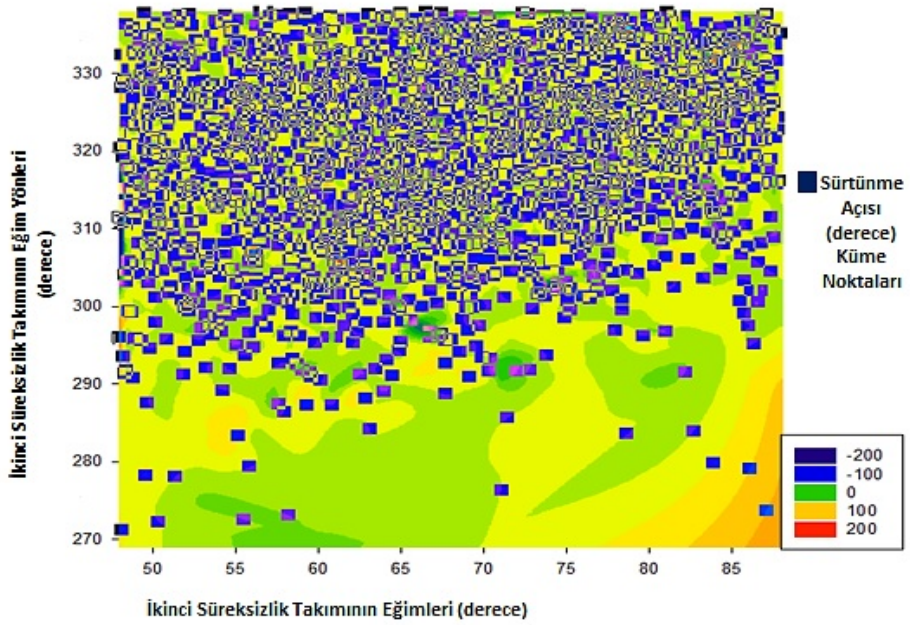
Şekil 7.40. ϕ, birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği



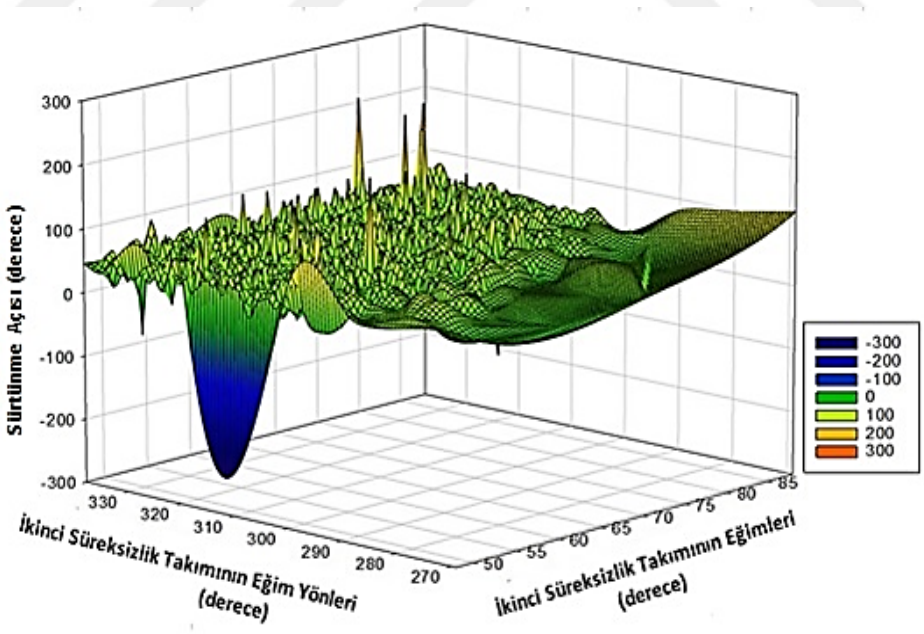
Şekil 7.41. ϕ, birinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin 3B OYF grafiği



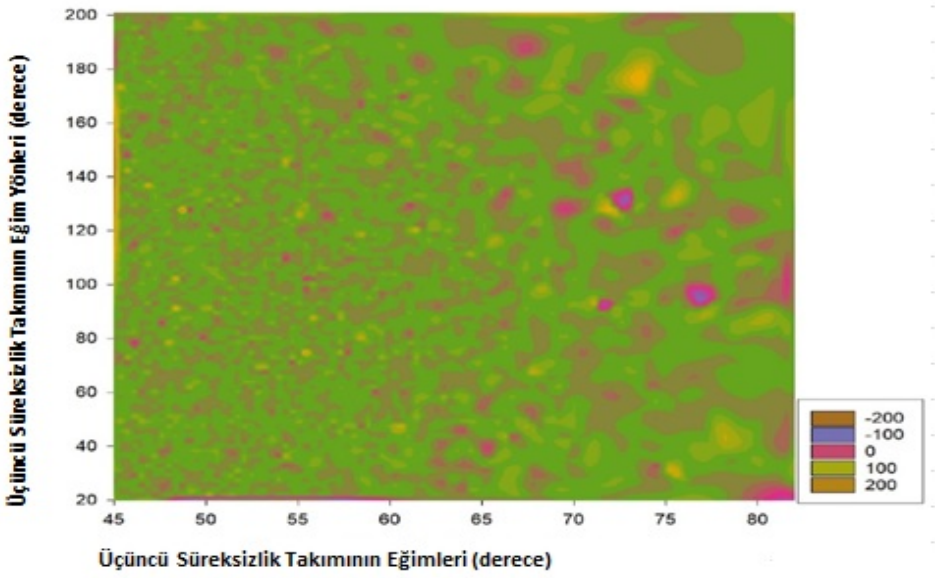
Şekil 7.42. İkinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği



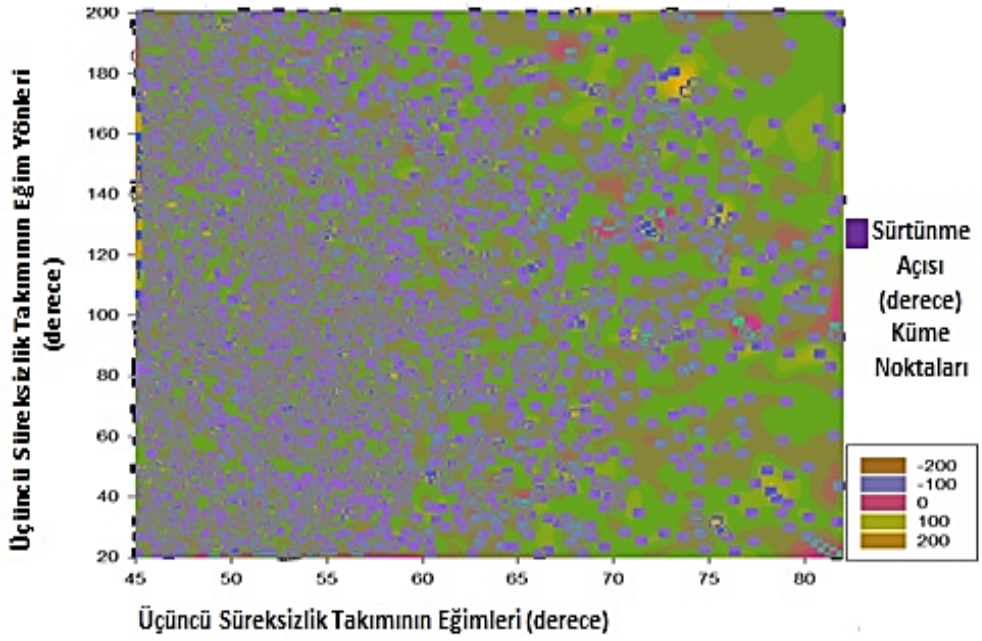
Şekil 7.43. ϕ, ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği



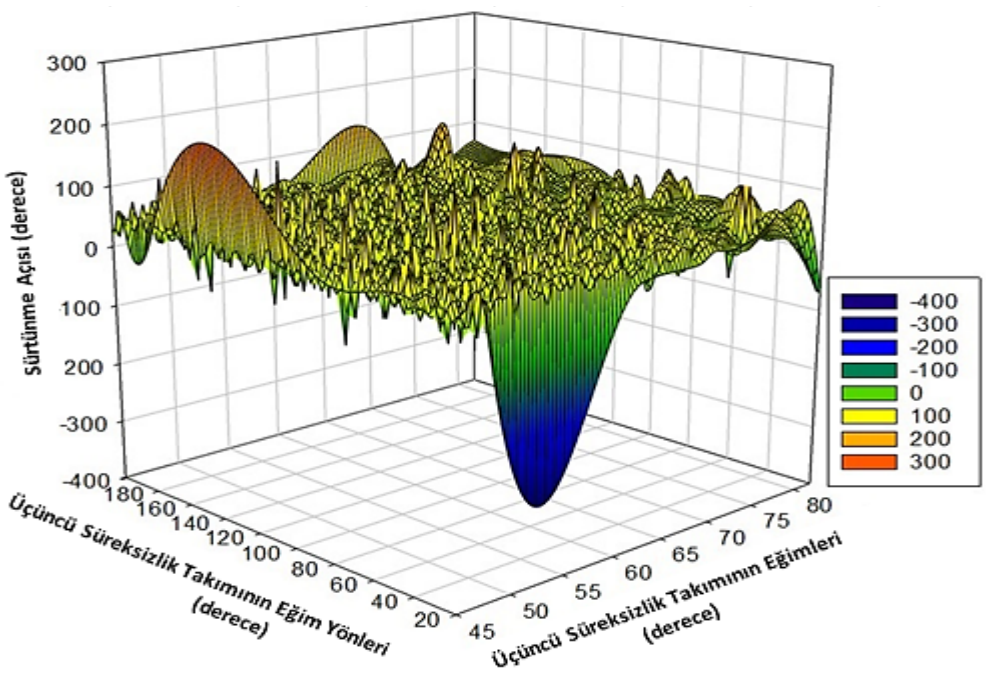
Şekil 7.44. ϕ, ikinci süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin 3B OYF grafiği



Şekil 7.45. Üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki OYF grafiği



Şekil 7.46. ϕ, üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin kontur üzerindeki kümelenmiş OYF grafiği



Şekil 7.47. ϕ, üçüncü süreksizlik takımının eğim ve eğim yönlerinin 3B OYF grafiği

ϕ parametresinin OYF analizlerinden elde edilen sonuçlara göre,

- Birinci süreksizlik takımında eğimin yaklaşık 30° altında ve eğim yönünde yaklaşık 250°'nin altında ki değerlerde yaygın kümelenme daha fazla (Şekil 7.39-41) olduğu saptanmış ve dolayısıyla bu aralıklarda ϕ parametresinin şev duraylılığında etkili olabileceği,
- İkinci süreksizlik takımında yaklaşık 50°'den fazla eğimlerde ve 295° eğim yönünün üstündeki değerlerde kümelenme yaygınlaşmasının daha fazla (Şekil 7.42-44) olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle bu aralıklarda ϕ parametresinin şev duraylılığında etkili olabileceği,
- Üçüncü süreksizlik takımında ise 45° ile yaklaşık 70° aralığındaki eğim değerlerinde ve 20° ile yaklaşık 200° arasında yoğun kümelenmeler olduğu (Şekil 7.45-47) olduğu saptanmış ve dolayısıyla bu aralıklarda ϕ parametresinin şev duraylılığında etkili olabileceği öne sürülmektedir.

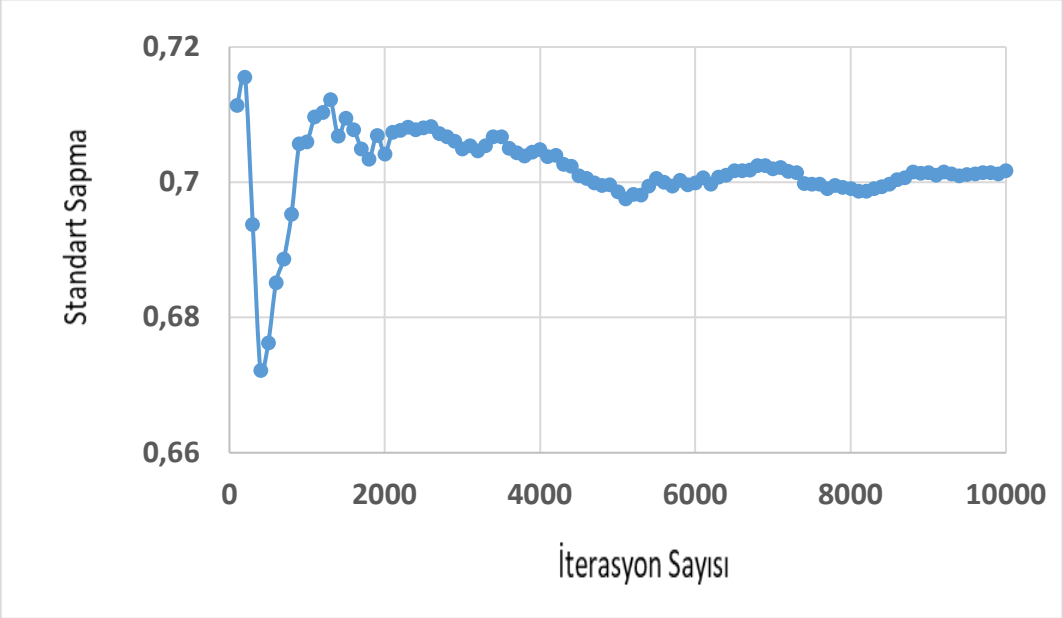
7.2. Gerekli İterasyon Sayısı

MCS yöntemi varyasyonel çıkarım yaparak belirleyici alternatifleri açığa çıkarmaktadır. Bu bağlamda gerekli iterasyon sayısının bulunmasının bazı avantajları bulunmaktadır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

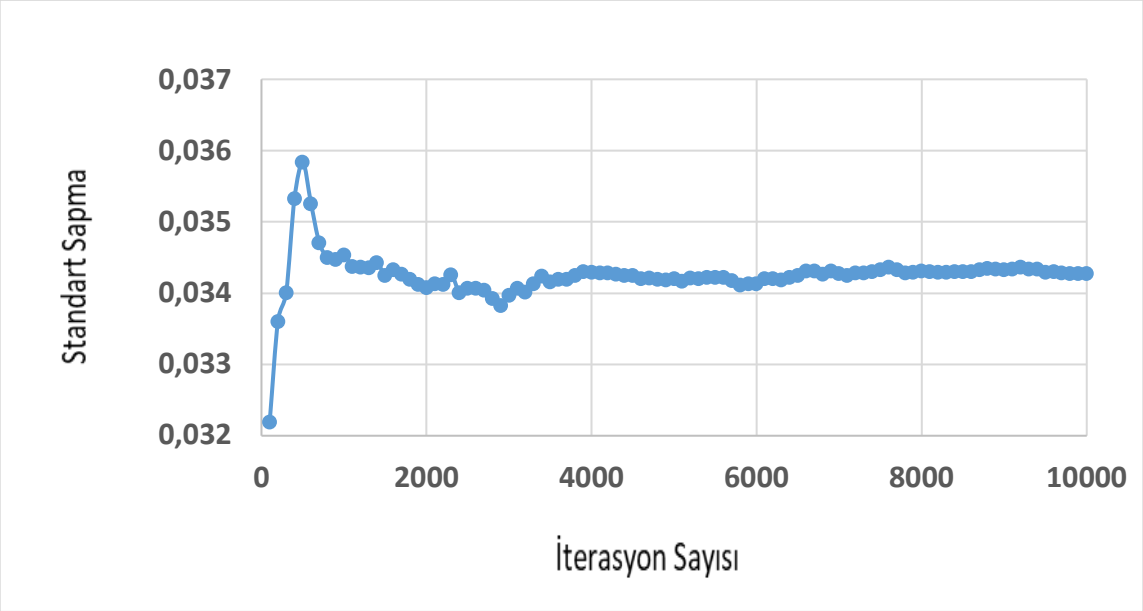
- Ölçeklendirilmiş çalışmalarda hesaplama açısından daha verimlidirler.
- Yinelemelerin ne zaman durdurulacağını belirlemek zaman açısından tasarruf sağlamaktadır.
- Yakınsamanın hangi aralıkta sağlandığını bilmek oldukça kolay olmakta ve daha az sınırlarda çalışma imkânı sağlamaktadır.
- OYF' lerin sınırları azalmakta ve dolayısıyla işlemler daha kapsamlı olmaktadır.
- İterasyon sayısının azalması, simülasyon maliyetinin azalmasına da katkı sağlanmaktadır (Brooks, 2011; Thomopoulos, 2012; Glasserman, 2013; Krooese vd., 2013).

MCS yöntemiyle türetilen kaya parametrelerinin minimum gerekli iterasyon sayısı, her iterasyon sayısının standart sapması ile oluşturulan grafik incelenerek bulunmaktadır (Baecher ve Christian, 2005; Ritter vd., 2011). Tez çalışması kapsamında, 100'er artan aralıklarla 10.000 iterasyona kadar toplam 100 adet iterasyon değerleri ve bu değerlerin SS' leri hesaplanmış ve grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 7.48-54). Buna göre;

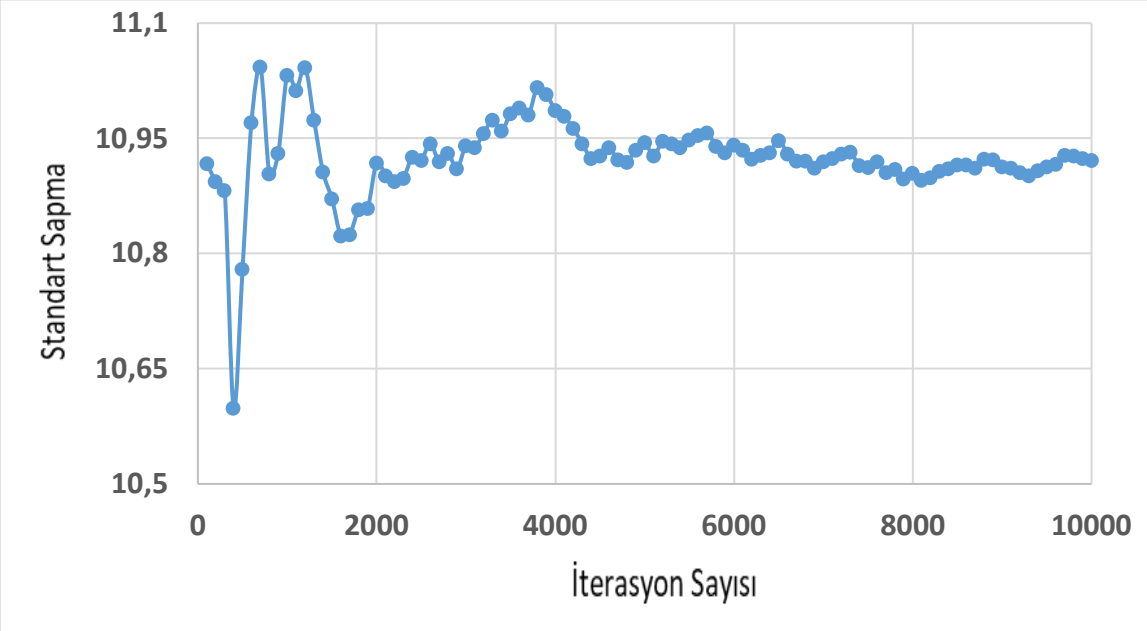
- ÇD' nin (Şekil 7.48) gerekli iterasyon sayısı 2100,
- ρ_{DKY}' nin (Şekil 7.49) gerekli iterasyon sayısı 3200,
- ϕ' nin (Şekil 7.50) gerekli iterasyon sayısı 4400,
- c' nin (Şekil 7.51) gerekli iterasyon sayısı 5100,
- ρ_{KKY}' nin (Şekil 7.52) gerekli iterasyon sayısı 4500,
- Is(50)' nin (Şekil 7.53) gerekli iterasyon sayısı 4600 ve
- ρ_S' nin (Şekil 7.54) gerekli iterasyon sayısı 3500 olarak tespit edilmiştir.



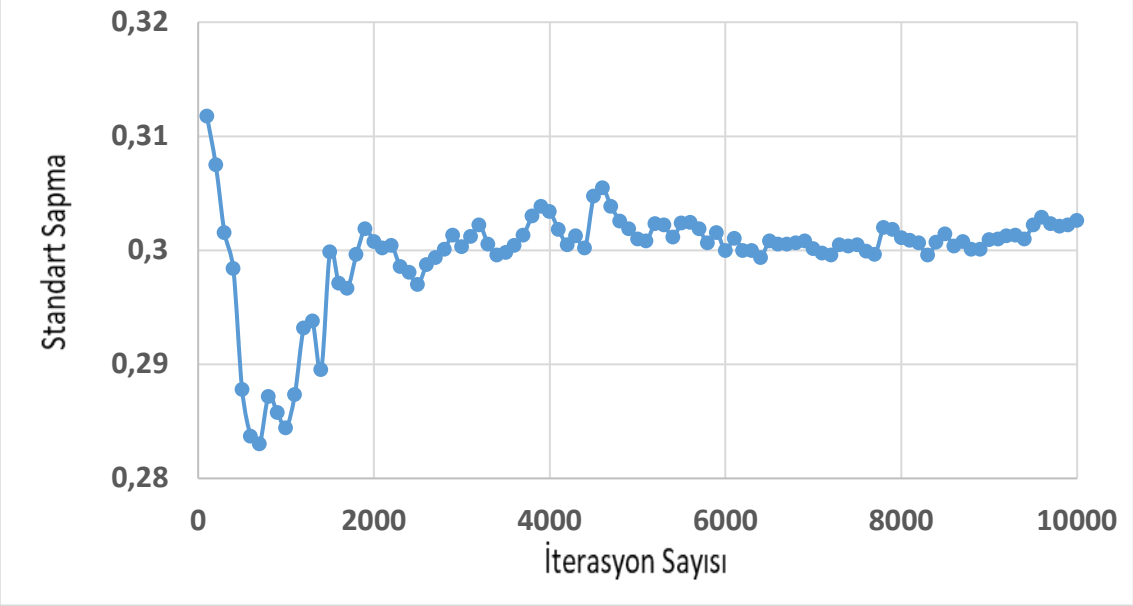
Şekil 7.48. ÇD' nin gerekli iterasyon sayısı



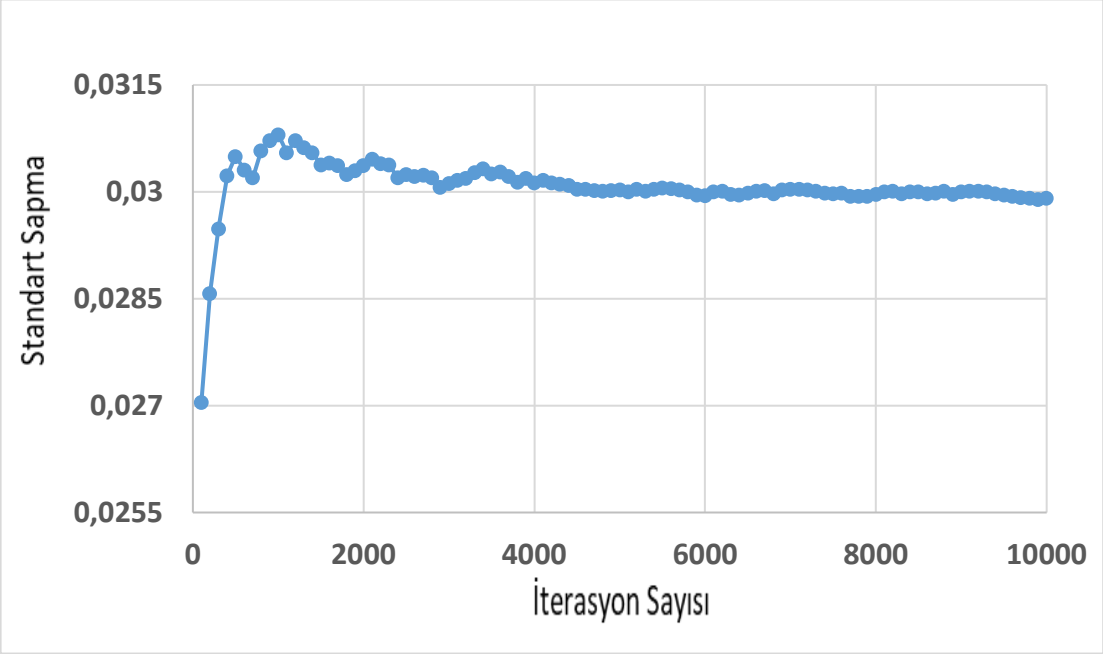
Şekil 7.49. ρ_{DKY}' nin gerekli iterasyon sayısı



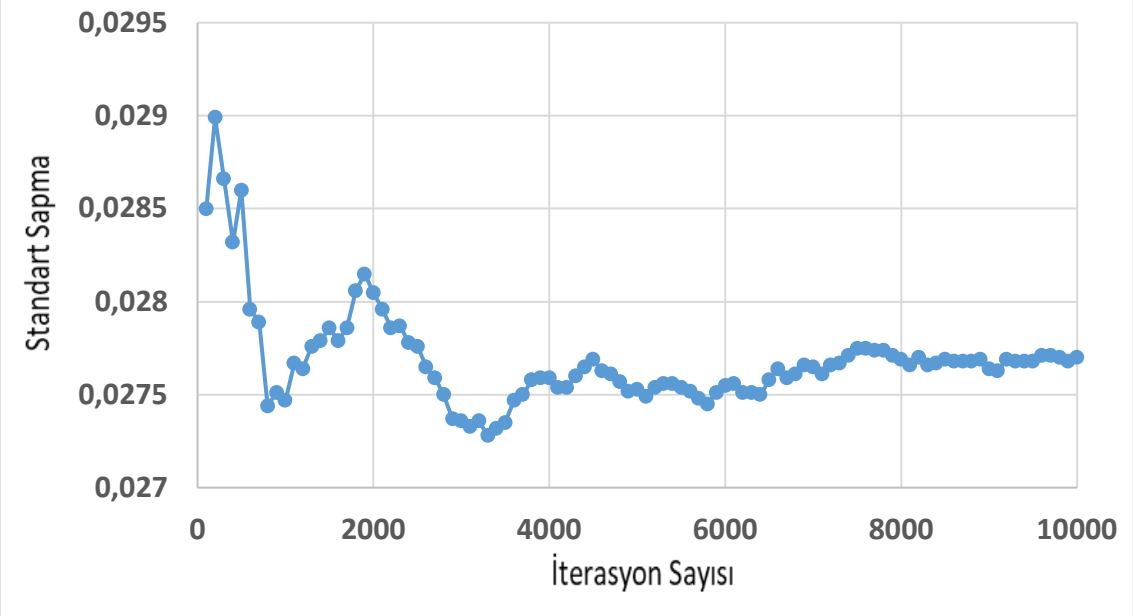
Şekil 7.50. ϕ' nin gerekli iterasyon sayısı



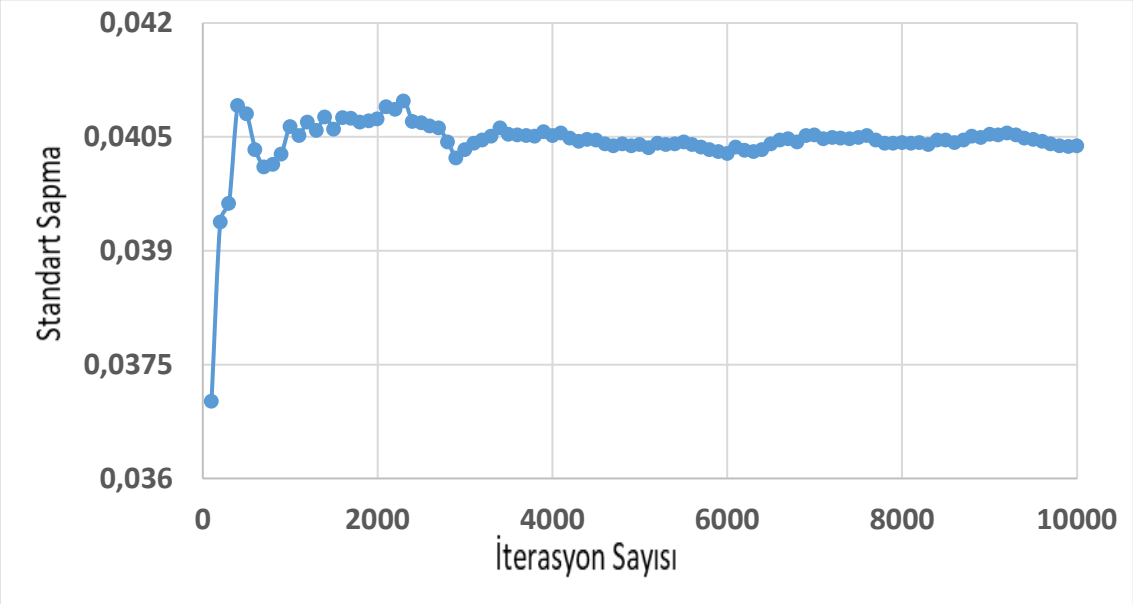
Şekil 7.51. c' nin gerekli iterasyon sayısı



Şekil 7.52. ρ_{KKY}' nin gerekli iterasyon sayısı



Şekil 7.53. Is(50)' nin gerekli iterasyon sayısı



Şekil 7.54. ρ_S' nin gerekli iterasyon sayısı

MCS yöntemi ile yapılan gerekli iterasyon sayısı tespitleri, kullanılan parametrelerin değerlerini fonksiyonel yakınsamayı temel alarak, iterasyon sayısını kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre MCS ile türetilen sayısal veri (10.000 adet) her kaya kütle parametresi için yeterli olup, MCS uygulamalarının doğru olduğu belirlenmiştir.

7.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucu, kaya kütle parametrelerinin OYF' lerdeki frekansları nedeniyle oluşan küme yoğunluğu bağlantı bölgelerinin duraylılık üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ileri sürülmektedir. Önerilen yöntemde, süreksizliklerin eğim ve eğim yönü parametreleri ile kaya kütle parametrelerinin KYT küme ağlarından oluşan 2B modellerin farklı bölgelerinde meydana gelen etkin KYT yoğunlukları dikkate alınmıştır. Bu yoğunlukların, şev duraylılığının sistematik analizlerinde önemli bir rolünün olacağı öngörülmektedir.

Süreksizlik düzlemelerin eğim ve eğim yönü verileri manipüle edilerek, analizlerin duyarlılığı arttırılmıştır. Böylece daha kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün kılınmıştır. Bu işlemin amacı, manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerinde, ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S kaya kütle parametreleri ile yapılan analizlerle, hem eğim/eğim yönü hem de eğim yönü/eğim oranlarında eğim ve eğim yönü parametrelerine göre daha düzgün küme ağları oluşturmaktır (Ek 15-35).

Geliştirilen 2B AKYT analizlerinde, belirli kaya kütle parametrelerinin, belirli süreksizlik setlerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu parametrelerin her biri, her bir takım için istatistiksel büyüklük bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Örneğin tez çalışması kapsamında yer alan saha analizi için c parametresi 2B modellerde (şekil 7.33, Ek 4, Ek 11, Ek 18, Ek 25b ve Ek 32) anlamlı küme ağları oluşturmadığından bu parametrenin şev duraylılığına önemli bir etkisinin olmadığı öngörülmüştür. ϕ parametresi ise, 2B modellerde (şekil 7.32, Ek 3, Ek 10, Ek 17, Ek 24 ve Ek 31) anlamlı küme ağları oluşturmasına rağmen şev duraylılığında niteliksel olarak (Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.16) etkinliği en düşük parametre olarak görülmektedir.

Örneklem sahasında yer alan üç ayrı süreksizlik takımında Is(50) parametresinin yoğunluk değerinin (Çizelge 7.12) diğer parametrelere göre yüksek olması nedeniyle şev duraylılığında en etkin parametre olduğu görülmektedir. Birinci ve ikinci süreksizlik takımlarının eğim ve eğim yönü parametreleri ile kaya kütle parametrelerinin 2B AKYT analizlerinden elde edilen yoğunluk değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Üçüncü süreksizlik takımıyla yapılan 2B AKYT analizlerinde ise, elde edilen yoğunluk değerleri diğer süreksizlik takımlarına göre düşük çıkmıştır. Bu takımda düşük yoğunluk değerlerinin nedeni, süreksizliklerin eğimlerinin geniş aralıklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü parametresi dikkate alınarak yapılan analizin (Ek 25a) dışında c parametresinin, diğer manipüle edilmiş analizlerde (Şekil 7.33, Ek 4, Ek 11, Ek 18, Ek 25b ve Ek 32) 2B görsel modellerdeki küme ağları dikkate değer yakınsama yapmadığından, görsel modellerdeki KYT yoğunluk bölgelerine göre şev duraylılığında önemli etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, sayısal analizlere göre (Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.16) c parametresinin şev duraylılığına yapacağı etki ϕ parametresinden daha fazla olduğu görülmektedir.

Birinci süreksizlik takımında, ÇD parametresi ile eğim/ eğim yönü oranıyla (Ek 15a) gerçekleştirilen 2B AKYT analizlerinin, 2B AKYT eğim yönü/eğim (Ek 15b) analizlerine göre daha yoğun küme ağları oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, 2B AKYT' nin modelinde küme ağları daha pürüzsüz şekilde meydana gelmiştir (Ek 15, Ek 22 ve Ek 29). İkinci Süreksizlik takımının da birinci takıma göre görsel olarak benzer modeller elde edilmiştir (Ek 22). İkinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranlarıyla yapılan 2B AKYT modellerinde (Ek 22a) diğer iki süreksizlik takımının eğim/eğim yönü modellerine (Ek 15a ve Ek 29a) göre hesaplanan KYT yoğunluk değerlerinin daha büyük olmasından dolayı daha anlamlı küme ağları oluşmuştur.

ρ_{DKY} parametresi ile yapılan analizlerde, birinci süreksizlik takımının hem eğim hem de eğim yönü parametrelerinden elde edilen küme ağlarının benzer olduğu görülmüştür (Şekil 7.31). İkinci (Ek 2) ve üçüncü (Ek 9) süreksizlik takımınının geometrik parametreleriyle yapılan 2B AKYT analizlerde ρ_{DKY} parametresinin eğim parametresi ile meydana getirdiği küme ağları, eğim yönü ile olana göre daha geniş aralıklıdır. Manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerinde, birinci (Ek 16) ve ikinci (Ek 23) süreksizlik takımlarının eğim/eğim yönü oranlarında daha yaygın ve pürüzsüz küme ağları oluşturmuştur. Üçüncü süreksizlik takımında (Ek 30) ise, eğim yönü/eğim oranınında eğim/eğim yönü oranına göre daha yaygın ve daha pürüzsüz küme ağları meydana gelmiştir.

2B AKYT ve Manipüle edilmiş 2B AKYT yöntemlerinin analizlerinde, ϕ parametresinin şev duraylılığı üzerinde en az etkili olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.16). İncelenen kaya kütlesinin ϕ değerleri yüksektir. Bu değerlerin Hoek ve Bray (1981), Kliche (1999) ve Wyllie ve Mah (2014) göre yüksek olması şevde düzlemsel ve kama kayması riskini azaltmaktadır. ϕ parametresi, 2B AKYT modellerinde birinci süreksizlik takımında eğim yönü/eğim oranına (Ek 17b) göre eğim/eğim yönü oranında (Ek 17a) ve üçüncü süreksizlik takımında ise eğim/eğim yönü oranına (Ek 31a) göre eğim yönü/eğim (Ek 31b) oranında geniş aralıklı kümelenmeler meydana gelmiştir. ϕ parametresi, ikinci süreksizlik takımında hem eğim/eğim yönü hem de eğim yönü/eğim oranlarıyla yapılan analizlerde dikkate değer küme ağları oluşturmuştur (Ek 24). Bu takımda eğim/eğim yönü oranıyla (Ek 24a) yapılan modelde oluşan küme ağları eğim yönü/eğime (Ek 24b) göre daha yoğun olmaktadır.

2B AKYT ve manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerde, ρ_{KKY} (Şekil 7.34, Ek 5, Ek 12, Ek 19, Ek 26 ve Ek 33) ve ρ_S (Şekil 7.36, Ek 7, Ek 14, Ek 21, Ek 28 ve Ek 35) parametreleri birbirine benzer küme ağları ortaya çıkmıştır. Bu parametreler ile ikinci süreksizlik takımına ait geometrik parametreler kullanılarak yapılan analizlerin (Ek 5 ve Ek 7), diğer süreksizlik takımları (birinci ve üçüncü) ile yapılan analizlere (Şekil 7.34, Şekil 7.36, Ek 19, Ek 21, Ek 33 ve Ek 35) göre şev duraylılığında daha etkin olduğu görülmüştür.

ρ_{DKY} ve ρ_S ile üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı (Ek 30b ve Ek 35b) kullanılarak yapılan analizlerde meydana gelen küme ağları bu takımın eğim/eğim yönü oranı (Ek 30a ve Ek 35a) ile yapılan analizlerine göre daha geniş aralıklı küme ağları oluşturmaktadır.

Kaya kütle parametreleri ile İkinci süreksizlik takımının geometrik parametreleri ile yapılan manipüle edilmiş 2B AKYT analizlerde (Ek 22-28), elde edilen yoğunluk değerlerinin diğer takımlara (birinci ve üçüncü) göre (Ek 15-21 ve Ek 29-35) daha büyük olduğu görülmüş ve

dolayısıyla kaya kütle parametrelerinin etkinlik sınıflaması diğer takımlarla yapılan analizlere göre daha duyarlıdır.

Is(50)' nin her üç takım için yapılan 2B AKYT analizlerde niteliksel olarak şev duraylılığında en etkili parametre olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.16). Laboratuvar testlerinden elde edilen Is(50) değerleri (1 MPa altında), Broch ve Franklin' nin (1972) Is(50) ile ilgili çalışmalarında belirttikleri Is(50)' nin kaya şevlerinde yaklaşık 8-10 MPa' da duraylılığın sağlandığını bulgularıyla paralellik göstermektedir. Is(50) kaya kütlesinin taşıma gücünü etkilemekte ve Is(50) değeri azaldıkça kaya kütlesinin taşıma gücü de azalmaktadır. Dolayısıyla, Is(50)' nin düşük olması şevin duraysız olduğunun habercisidir (Canadian Geotechnical Society, 1992; Warner, 2004). Tezde çalışılan sahada, şev duraylılığının sağlanması için dayanımı yüksek ve su geçirimliliği az olan enjeksiyon uygulaması önerilmektedir.

Manipüle edilmiş 2B KYT analizlerinde (Çizelge 6.16);

- Birinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında ρ_{KKY} en etkili parametre,
- Birinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında Is(50) en etkili parametre,
- İkinci süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında Is(50) en etkili parametre,
- İkinci süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında Is(50) en etkili parametre,
- Üçüncü süreksizlik takımının eğim/eğim yönü oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında Is(50) en etkili parametre,
- Üçüncü süreksizlik takımının eğim yönü/eğim oranı ile yapılan analizlere göre, şev duraylılığında ρ_{DKY} en etkili parametre olarak belirlenmiştir.

Manipüle edilmiş analizlerde, en etkili parametre olarak ortaya çıkan ρ_{DKY}, ρ_{KKY} ve Is(50) dikkate alınarak şev duraylılığının sağlanması gerekmektedir. ρ_{DKY} ve ρ_{KKY} parametreleri dikkate alınırsa, su mevcudiyeti şev duraylılığında önemli faktördür. Su mevcudiyeti şev duraysızlık problemlerinin temel nedenlerinden birisidir. Bu problemi çözmek için drenaj çalışmalarının başlatılması gerekmektedir. Drenaj çalışmarı şev duraylılığının sağlanması için daha ekonomik ve efektif çözümler meydana getirmektedir. Aşırı su varlığının zemine sızması önlenerek ve mevcut suyun şevden uzaklaştırılmasıyla boşluk suyu basıncı azalmaktadır. Böylece şev duraylı

olacaktır. Yüzey sularının şev yapısına sızmaması için, hendekler ve yüzeye yakın yerleştirilen drenaj boruları ile şevden su atılması gerekmektedir. Yeraltı sularının şevde kaya kütlesine yapacağı kaydırıcı etkiyi azaltmak için de, bore drenler, kuyu açılması ve yatay dren uygulamalarının yapılması tavsiye edilmektedir. Yöntem kaya kütle parametrelerini karakterize etmek için de kullanılabilir özelliktedir. Şüphesiz, geliştirilen yöntemde elde edilen sonuçlar, inceleme alanındaki kaya şevi örneklerine özgüdür.

8. SONUÇLAR

Tez çalışmasında, kaya kütle parametreleri (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S) kullanılarak kaya şev duraylılığı problemlerinin çözümü için gerekli olabilecek yeni veriler türetilmiştir. Bu yeni veriler olasılık tabanlı bir sınıflandırma modeli geliştirilerek elde edilmiştir. Yaklaşım modeli örneklem bir sahada test edilerek sonuçlar ayrıntılarıyla sunulmuştur.

Önerilen yöntemde, sözü edilen parametrelerinin şev duraylılığına etkileri niteliksel olarak incelenmiştir. Bu parametrelere ait OYF 'ler, KYT kullanılarak oluşturulmuş ve bu sayede kaya kütle parametrelerinin yoğunluklarının sayısal sonuçları elde edilebilmiştir. KYT' nin küme ağlarının yapılandırılmasıyla şev duraylılığında kaya kütle parametrelerinin etkinlik sınıflaması meydana getirilmiştir.

Önerilen yöntemde, kinematik analizlerde yapılan kritik kayma bölgelerinin tespit çalışmalarına benzer şekilde, niteliksel olarak ağırlıklı veri dikkate alınarak oluşturulan KYT yoğunluk bölgelerinin de şev duraylılık analizlerinde kullanımının önemli olacağı ileri sürülmüştür.

Önerilen yöntemde, KYT ile MCS entegre edilerek ve bunların güçlü tahminleme avantajlarından faydalanılmasıyla daha kapsamlı analizler yapılmıştır. Geliştirilen simulasyonda KYT' nin yegane kullanılma amacı, kaya kütle parametrelerinin olasılık sınıflama modellerini oluşturmaktır.

2B AKYT analizlerinde, düşey eksende daima süreksizlik düzlemlerinin eğim, eğim yönü, eğim/eğim yönü ve eğim yönü/eğim parametrelerinden birisi, yatay eksende ise kaya kütle parametrelerinden (ÇD, ρ_{DKY}, ϕ, c, ρ_{KKY}, Is(50) ve ρ_S) birisi kullanılmıştır. Bunun gerekçesi, takımlara ayrılan süreksizliklerin geometrik parametreleri ile kaya kütle parametrelerinin ortak şekilde şev duraylılığına yapacağı etkilerin sınıflandırılmasıdır.

Kaya kütlesi anizotropik ve heterojen özelliktedir. Böylece herbir kaya kütle parametresi belirsizlik içerir. Dolayısıyla kaya kütlesi, olasılık teorisinin belirsiz ve limitsiz sistemlerin çözümünde ele alınabilecek ideal bir malzemedir. Herbir kaya kütle parametresinin değişim ölçüsünün KYT kullanılarak açıklanmasının etkinlik sınıflama analizlerinin daha gerçekçi olmasına katkı sağlayacağı açıktır. Yöntem, kullanılan verinin maksimum ve minimum uzamsal genişlemelerinin ayrıntılı fonksiyonel değerini açığa çıkarmakta, kullanılan veri setleri zayıf bir yoğunlaşmaya neden olsa bile, pürüzsüz (smooth) OYF' ler oluşturmakta ve verinin yoğunluk değerlerini hesaplayabilmektedir. Burada sonuca KYT' nin asimptotik özelliklerinin kararlılığı

sayesinde ulaşılmaktadır. Ayrıca, verinin noktasal yoğunlukları yakınsanarak küme ağları oluşturulabilmektedir.

Geliştirilen KYT yöntemi, farklı noktalar arasındaki benzerlik ölçüsünü kullanmaktadır. Modellerde, her bölgesel noktaya anomali ve bu anomaliye bölgesel olarak temsil edebileceği KYT yoğunluk değeri atayabilmektedir. Bu anomaliler, komşu noktalarının kümesi içindeki bölgesel KYT yoğunluğunun göreceli bir ölçüsünün tanımlanmasına imkan sunmaktadır. Burada bölgesel KYT yoğunluğu, bir noktanın komşu noktalara ne kadar benzer veya farklı olduğunu değerlendirmekte ve bu değerlendirmeyi yaparken pürüzsüzlük ölçüsünü dikkate almaktadır. Bu ölçüyü arttırmak için koordinat düzleminde görsel genişletme işlemi kullanılmaktadır. Sonuçta, şev duraylılık analizlerinde kullanılan parametreler yaygın kümelenme alanlarına sahip ise görsel genişleme yüksek, düşük ise görsel genişleme daha küçük seviyede olmaktadır. Bunun gerçekleştirmesiyle modeldeki tutarsızlıklar azaltılmaktadır.

Tez çalışmasında, ayrıca bir kaya şevi örnek alınarak bu şevin mekânsal yoğunluk analizleri ile jeoteknik parametrelerin dağılımları kullanılarak mekânsal deseni ve istatistiksel bilgisi ortaya konulmuştur. Çalışmada, MCS ile türetilen sayısal değerlere 2B AKYT yöntemi aracılığıyla 2B koordinat sisteminde olasılıklı sınıflama yapılmıştır. Jeoteknik incelemelerde öncelikle şevin duraylılığı ile ilişkili olabilecek aktif parametrelerin 2B AKYT analizleri gerçekleştirilmiş ve kaya kütlesinin duraylılığı açısından bu parametrelerin değişik ölçülerde etkinliklerinin olduğu öne sürülmüştür.

KYT yöntemi parametrik olmamasından dolayı, gerçekleştirilen analizler önceden belirlenmiş model parametrelerininin yoğunluklarını tahmin etme hatalarını içermemektedir. KYT, amaç yoğunluk değerlerini doğrudan tahmin etmektedir. KYT'de model belirlenirken bilinmeyen yoğunluk alanlarını içeren ve süreklilik konusunu temel alarak uygun fonksiyon uzayı seçimi yapılabilmektedir. Geliştirilen yöntem, şev duraylılık analizlerinde deterministik yaklaşımlarla çözülemeyen ve ortalama değerlerle kabullenilen kaya kütle parametrelerinin etkinlik sınıflamalarını kapsamlı şekilde yapmaktadır. Bu parametrelerin birbiriyle çoklu iç ilişkilerinin varlığı durumunda, süreksizliklerin ve kaya kütle parametrelerinin konumsal ilişkilerinin farklılıklarını açığa çıkartmakta ve bu nedenle kaya şev duraylılık analizlerinde etkili parametrenin tanımlanması için güçlü bir araç olduğu görülmektedir.

Süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri manipüle edilerek yapılan analizde, üç süreksizlik takımında meydana gelen, KYT büyüklükleri incelenmiş sayısal ve konumsal istatistiksel analizler uygulanarak değerlendirilmiştir. Konumsal istatistiksel analizler (genel ve bölgesel) sayesinde kaya kütle parametrelerine ait 2B AKYT' de küme ağları oluşturularak, sayısal

analizler yapılmış ve böylece yoğunluk-model temelinde parametrelerin birbirleriyle ilişkili olduğu öne sürülmüştür.

Tez çalışmasıyla, kaya kütle parametrelerinin şev duraylılığına yapacağı etkinin ortaya konulduğu geliştirilen sınıflandırma metodu ile birçok avantajların elde edileceği öne sürülmüştür. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Öne sürülen yöntem, şev duraylılığında etkili parametrelerin tamamının dikkate alınmasını mümkün kılmakta, daha kapsamlı, daha duyarlı ve daha ayrıntılı analizlerin yapılmasına imkân sağlamaktadır.
- Şev duraylılığında, kaya kütle parametreleri ile süreksizlik düzlemlerinin geometrik parametreleri birbirine bağlı bir etki meydana getirmektedir. Bu sebeple KYT yöntemleri sayesinde eş zamanlı olarak şev duraylılığına etki eden parametrelerin sınıflandırılması sayesinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir.
- Labaratuvar testlerinden, yerinde çalışmalarla elde edilen ölçüm verisi ile MCS ile üretilen veri, ortak şekilde OYF ile aynı ilişki içerisinde kullanılabilmektedir. Kaya kütle parametrelerinin, şev üzerine yapacağı etkilerde aynı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin niteliğini kestirmek, klasik yöntemlerle mümkün değildir, AKYT yöntemlerinde kullanılan kaya kütle parametreleri, süreksizlik düzlemlerinin her birinde MCS' nin yineleme özelliği sayesinde şevde hem bölgesel hemde genel bir simülasyona imkan vermesiyle, şev duraylılığı ile ilgili parametrelerin etkinliğinin sınıflamasına yönelik daha detaylı çözümler sunabilmektedir.
- Önerilen yöntem, duraylı veya duraysız kaya kütlelerinin her birinin ayrı ayrı incelenmesine izin vermektedir. Bu nedenle, geniş bir açıdan, şev duraylılığında etkili olan kaya kütle parametrelerinin orijinal verisine yakın olarak yüksek düzeyde (% 95 doğruluk seviyesinde) tahminleme seviyesinde ulaşılmaktadır. Böylece klasik yöntemlerden daha üstün sonuçlar elde edilmektedir.
- Şev duraylılık çalışmalarında, KYT yönteminin, kritik şev problemlerinin duyarlı analizlerinde MCS analizleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Literatür taramasında (Bölüm 3) açıklandığı üzere başka yöntemlerle uyumlu yapılabilen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.
- Çizelgelerde ve şekillerde görüldüğü gibi KYT ile hesaplanan bazı KYT yoğunluk sınıflamaları birbirine yakın olan kaya kütle parametrelerinde düşük seviyede göreli

farklılıklar göstermektedir. Böylece, önerilen yöntemde istenen hedefe ulaşıldığı görülmüştür. Sonuçlar, duyarlı yakınsama yapan MCS kullanılarak elde edilmekte ve bu yöntem kullanılan dağılım grafiklerine göre sayıların türetilmesine bağlı olmamasından dolayı simülasyonda tutarlı sonuçlar elde edilmektedir.

9. GELECEK ÇALIŞMALAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın aşamaları dikkate alındığında göze çarpan en önemli mühendislik problemi, zaman alıcı olmasıdır. Öne sürülen yöntemde, kullanılan parametrelerin değerleri, olasılıklı analizler aşamasından önce şev duraylılığında etkili parametrelerin değişim aralıklarının tüm değerlerini, klasik yöntemlere göre daha detaylı ve kapsamlı dikkate alındığında zaman faktörü dezavantaj oluşturmaktadır. Önerilen yöntem olasılık teorisini temel almakta ve bu nedenle kesin sonuçlar vermemektedir.

Gelecekte yöntemin iyileştirmelere yönelik öngörüler ve çalışmalar:

- 2B veya 3B şev modellerinde, süreksizlik düzlemlerinin kesim doğrularına kaya kütle parametreleri (kesim doğrusunun eğimi ve kesim noktasının lokasyonu gibi) ile birlikte dikkate alınarak KYT ve AKYT yöntemlerinin uygulanarak mevcut yönteme entegre edilmesi
- KYT ile MCS yöntemlerinin tam uyumlu entegre yaklaşımına benzer alternatif bir yaklaşım geliştirilmesi ve bu yaklaşımda hesaplamaları fazla zaman almayan Latin Hiperküp yöntemi gibi olasılıklı yaklaşımın kullanılması,
- Stereonet İzdüşüm yöntemi ile KYT yöntemlerinin entegre edilmesinin, geleneksel şev duraylılığının kinematik analizlerine göre daha ayrıntılı analiz yapmayı mümkün kılması ve böylece kaya kütle parametrelerinin KYT yöntemleriyle birlikte dikkate alınarak değerlendirilmesi de öngörülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N., ve Hosseinzadeh, M. (2013). Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. Waste Management & Research, 31(1), 98-105.

Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A., ve See, L. (2013). A Spatial Statistical Analysis of the occurence of earthquakes along the Red Sea floor spreading: Clusters of Seismicity. Arabian Journal of Geosciences, 7(7), 2893–2904.

Alessio, P. (2019). Spatial variability of saturated hydraulic conductivity and measurement-based intensity-duration thresholds for slope stability, Santa Ynez Valley, CA. Geomorphology.

Andrade, P. S., ve Saraiva, A. A. (2008). Estimating the joint roughness coefficient of discontinuities found in metamorphic rocks. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(3), 425-434.

Ang, A.H.S., ve W.H. Tang. 1984. Probability concepts in engineering planning and design, vol. II. New York: Wiley

Ang, A.H.S., ve Tang W.H. 2007. Probability concepts in engineering: Emphasis on applications to civil and environmental engineering. New York: Wiley.

Asmussen, E., ve Peutzfeldt, A. (2008). Class I and Class II restorations of resin composite: an FE analysis of the influence of modulus of elasticity on stresses generated by occlusal loading. Dental Materials, 24(5), 600-605.

Au, S. K., ve Beck, J. L. (2001). Estimation of small failure probabilities in high dimensions by subset simulation. Probabilistic engineering mechanics, 16(4), 263-277.

Au, S. K., ve Beck, J. L. (2003). Subset simulation and its application to seismic risk based on dynamic analysis. Journal of Engineering Mechanics, 129(8), 901-917.

Au, S. K., Cao, Z. J., ve Wang, Y. (2010). Implementing advanced Monte Carlo simulation under spreadsheet environment. Structural Safety, 32(5), 281-292.

Au, S. K., Wang, Y., ve Cao, Z. J. (2009). Reliability analysis of slope stability by advanced simulation with spreadsheet. In Geotechnical Risk and Safety (pp. 289-294). CRC Press.

Au, S.K. 2001. On the solution of first excursion probability by simulation with applications to probabilistic seismic performance assessment. Ph.D. thesis. California, USA: California Institute of Technology

Baecher, G. B., ve Christian, J. T. (2005). Reliability and statistics in geotechnical engineering. John Wiley & Sons.

Bailey, T. C., ve Gatrell, A. C. (1995). Interactive spatial data analysis (Vol. 413). Essex: Longman Scientific & Technical.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bar, N., ve Barton, N. (2017). The Q-slope method for rock slope engineering. Rock Mechanics and Rock Engineering, 50(12), 3307-3322.

Barton N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. Int J Rock Mech Min Sci 39(2):185–216.

Barton N., ve Bar N (2015). Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects. In: Schubert W, Kluckner A (eds) Future development of rock mechanics; Proceedings of the ISRM regional symposium, Eurock 2015 and 64th geomechanics colloquium, Salzburg, 7–10 October 2015, pp 157–162.

Barton N., Lien R., ve Lunde J. (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech 6:189–236

Beck, J. L., ve Au, S. K. (2002). Bayesian updating of structural models and reliability using Markov chain Monte Carlo simulation. Journal of engineering mechanics, 128(4), 380-391.

Behrens, T., Zhu, A. X., Schmidt, K., ve Scholten, T. (2010). Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. Geoderma, 155(3-4), 175-185.

Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering classification of jointed rock masses: Transaction of the South African Institution of Civil Engineers, v. 15, p. 335-344.

Bierens, H. J. (1987). Kernel estimators of regression functions. In Advances in econometrics: Fifth world congress (Vol. 1, pp. 99-144). New York: Cambridge University Press.

Boland, P. J. (2007). Statistical and probabilistic methods in actuarial science. Chapman and Hall/CRC.

Brawner, C. O., ve Milligan, V. (1971). Stability in open pit mining (Proceedings).

Broch, E. ve Franklin, J. A., (1972). "The point load strength test. Int J Rock Mech Min Sci, 9, 669–697.

Brooks, S., Gelman, A., Jones, G., ve Meng, X. L. (Eds.). (2011). Handbook of markov chain monte carlo. CRC press.

Bromhead, E. N. (1986). Pore water pressure manipulation in computerised slope stability analysis. Computer Applications in Geotechnical Engineering, Midland Geotechnical Society, Birmingham, 175-184.

Budetta, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazards and Earth System Science, 4(1), 71-81.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Budetta, P. (2010). Rockfall-induced impact force causing a debris flow on a volcanoclastic soil slope: a case study in southern Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(9), 1995.

Budetta, P., ve De Luca, C. (2015). Wedge failure hazard assessment by means of a probabilistic approach for an unstable sea-cliff. Natural Hazards, 76(2), 1219-1239.

Can, Y. (2012). Taşlıtepe açık işletmesinde jeomekanik parametrelerin belirlenmesi ve şev stabilitesi çalışmaları (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Canada Department of Energy, Mines and Resources (DEMR). 1978. Pit Slope Manual. DEMR, Ottawa, Canada.

Canadian Geotechnical Society. 1992. Canadian Foundation Engineering Manual. BiTech Publishers Ltd., Vancouver, Canada.

Cao, J., ve Zaman, M. M. (1999). Analytical method for analysis of slope stability. International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, 23(5), 439-449.

Cao, Z., Wang, Y., ve Li, D. (2017). Practical reliability analysis of slope stability by advanced Monte Carlo simulations in a spreadsheet. In Probabilistic Approaches for Geotechnical Site Characterization and Slope Stability Analysis (pp. 147-167). Springer, Berlin, Heidelberg.

Chacon, J. E., ve Duong, T. (2018). Multivariate kernel smoothing and its applications. CRC Press.

Chen, D. G., ve Chen, J. D. (Eds.). (2017). Monte-Carlo simulation-based statistical modeling. Springer.

Cheng, Y. M., ve Lau, C. K. (2014). Slope stability analysis and stabilization: new methods and insight. CRC Press.

Cheng, Y. M., Liang, L., Chi, S. C., ve Wei, W. B. (2008). Determination of the critical slip surface using artificial fish swarms algorithm. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 134(2), 244-251.

Chiwaye, H. T., ve Stacey, T. R. (2010). A comparison of limit equilibrium and numerical modelling approaches to risk analysis for open pit mining. Journal of the Southern African institute of Mining and Metallurgy, 110(10), 571-580.

Cho, S. E. (2009). Probabilistic stability analyses of slopes using the ANN-based response surface. Computers and Geotechnics, 36(5), 787-797.

Christian, J. T., Ladd, C. C., ve Baecher, G. B. (1994). Reliability applied to slope stability analysis. Journal of Geotechnical Engineering, 120(12), 2180-2207.

Coffman, E. G., ve Lueker, G. S. (1991). Probabilistic analysis of packing and partitioning algorithms. Wiley-Interscience.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Cornell, C. A. (1969). A probability-based structural code. In Journal Proceedings (Vol. 66, No. 12, pp. 974-985).

Cruden, D. M. 1997. Estimating the risks from landslides using historical data. In: Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, D. M. Cruden and R. Fell, eds., Honolulu, HI, CRC/Balkema, Leiden, Netherlands, pp. 177–184.

Dadashzadeh, N., Duzgun, H. S. B., ve Yesiloglu-Gultekin, N. (2017). Reliability-based stability analysis of rock slopes using numerical analysis and response surface method. Rock Mechanics and Rock Engineering, 50(8), 2119-2133.

Das, M.B., (2006). Principles of Geotechnical Engineering, Thomson.

Day, R. W. (2012). Geotechnical earthquake engineering handbook: with the 2012 International building code. McGraw-Hill Education.

Dechter, R. (2013). Reasoning with probabilistic and deterministic graphical models: Exact algorithms. Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, 7(3), 1-191.

Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D., ve Cording, E.J., (1967). Design of surface and near surface construction in rock, 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics: Failure and breakage of rock: New York, Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.

Der Kiureghian, A. (2005). First-and second-order reliability methods. Engineering design reliability handbook, 14.

Dinardo, J., Fortin, N. M., ve Lemieux, T. (1995). Labor market institutions and the distribution of wages, 1973-1992: A semiparametric approach (No. w5093). National bureau of economic research.

Duncan, J. M. (1999). Use of back analysis to reduce slope failure risk. Civil engineering practice, 14(1), 75-91.

Durlauf, S. N., ve Johnson, P. A. (1995). Multiple regimes and cross‐country growth behaviour. Journal of applied econometrics, 10(4), 365-384.

Düzgün, H. S. B., ve Bhasin, R. K. (2009). Probabilistic stability evaluation of Oppstadhornet rock slope, Norway. Rock Mechanics and Rock Engineering, 42(5), 729.

Düzgün, H. S. B., Yucemen, M. S., ve Karpuz, C. (2002). A probabilistic model for the assessment of uncertainties in the shear strength of rock discontinuities. International journal of rock mechanics and mining sciences, 39(6), 743-754.

Düzgün, H. S. B., Yucemen, M. S., ve Karpuz, C. (2003). A methodology for reliability-based design of rock slopes. Rock Mechanics and Rock Engineering, 36(2), 95-120.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Düzgün, H. Ş. B., Paşamehmetoğlu, A. G., ve Yücemen, M. S. (1995). Plane failure analysis of rock slopes: A reliability approach. International Journal of Surface Mining and Reclamation, 9(1), 1-6.

Dym, H., ve McKean, H. P. (2008). Gaussian processes, function theory, and the inverse spectral problem. Courier Corporation.

Eberhardt, E. (2003). Rock slope stability analysis–utilization of advanced numerical techniques. Earth and Ocean sciences at UBC.

Ellis, G. W., Yao, C., Zhao, R., ve Penumadu, D. (1995). Stress-strain modeling of sands using artificial neural networks. Journal of geotechnical engineering, 121(5), 429-435.

El-Ramly, H., Morgenstern, N. R., ve Cruden, D. M. (2005). Probabilistic assessment of stability of a cut slope in residual soil. Geotechnique, 55(1), 77-84.

El-Ramly, H., Morgenstern, N. R., ve Cruden, D. M. (2002). Probabilistic slope stability analysis for practice. Canadian Geotechnical Journal, 39(3), 665-683.

Epanechnikov, V. A. (1969). Non-parametric estimation of a multivariate probability density. Theory of Probability & Its Applications, 14(1), 153-158.

Faber, M. H. (2012). Statistics and probability theory: in pursuit of engineering decision support (Vol. 18). Springer Science & Business Media.

Fell, R. 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. Can. Geotech. J., 31(2):261–72.

Filipello, A., Giuliani, A., ve Mandrone, G. (2010). Rock slopes failure susceptibility analysis: from remote sensing measurements to geographic information system raster modules. American Journal of Environmental Sciences, 6(6), 489-494.

Finlayson, B. A. (2013). The method of weighted residuals and variational principles (Vol. 73). SIAM.

Gatti, P. L. (2004). Probability theory and mathematical statistics for engineers. CRC Press.

Gisbert, F. J. G. (2003). Weighted samples, kernel density estimators and convergence. Empirical Economics, 28(2), 335-351.

Glasserman, P. (2013). Monte Carlo methods in financial engineering (Vol. 53). Springer Science & Business Media.

Gopi, E. S., ve Palanisamy, P. (2015). Neural network based class-conditional probability density function using kernel trick for supervised classifier. Neurocomputing, 154, 225-229.

Gramacki, A. (2018). Nonparametric kernel density estimation and its computational aspects. Springer International Publishing.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Grenon, M., ve Hadjigeorgiou, J. (2008). A design methodology for rock slopes susceptible to wedge failure using fracture system modelling. Engineering Geology, 96(1-2), 78-93.

Griffiths, D. V., ve Fenton, G. A. (2004). Probabilistic slope stability analysis by finite elements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(5), 507-518.

Gu, D., ve Huang, D. (2016). A complex rock topple-rock slide failure of an anaclinal rock slope in the Wu Gorge, Yangtze River, China. Engineering geology, 208, 165-180.

Guillamón, A., Navarro, J., & Ruiz, J. M. (1998). Kernel density estimation using weighted data. Communications in Statistics-Theory and Methods, 27(9), 2123-2135.

Hack, H. R. G. K. (1998). Slope stability probability classification (SSPC). ITC Publication.

Hack, R., Price, D. ve Rengers, N. (2003). A new approach to rock slope stability–a probability classification (SSPC). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 62(2), 167-184.

Hailemariam Gugsa, T., ve Schneider, J. F. (2010, May). Rock Mass Classification of Karstic Terrain in the Reservoir Slopes of Tekeze Hydropower Project. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 12, p. 831).

Hall, P., ve Huang, L. S. (2002). Unimodal density estimation using kernel methods. Statistica Sinica, 965-990.

Harr, M. E. 1977. Mechanics of Particulate Matter – A Probabilistic Approach. McGraw-Hill, New York, 543pp.

Harr, M. E. 1987 Reliability-based design in civil engineering New York, McGraw-Hill.

Hasofer, A. M., ve Lind, N. C. (1974). Exact and invariant second-moment code format. Journal of the Engineering Mechanics division, 100(1), 111-121.

Hassan, A. M., ve Wolff, T. F. (1999). Search algorithm for minimum reliability index of earth slopes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125(4), 301-308.

Helton, J. C., ve Davis, F. J. (2003). Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. Reliability Engineering & System Safety, 81(1), 23-69.

Hicks, M. A., Brinkgreve, R. B., ve Rohe, A. (2014). Numerical methods in geotechnical engineering. CRC Press.

Hoek, E., ve Bray, J. D. (1981). Rock slope engineering. CRC Press.

Hoek, E., Bray, J., ve Boyd, J. 1973. The stability of a rock slope containing a wedge resting on two intersecting discontinuities. Quart. J. Eng. Geol., 6(1):22–35.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal, 2(2), 4–16.

Huang, D., Gu, D., Yang, C., Huang, R., ve Fu, G. (2016). Investigation on mechanical behaviors of sandstone with two preexisting flaws under triaxial compression. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(2), 375-399.

Huang, T. M., Kecman, V., ve Kopriva, I. (2006). Kernel based algorithms for mining huge data sets (Vol. 1). Heidelberg: Springer.

Hungr, O., ve Evans, S. G. (1988). Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards. In International symposium on landslides. 5 (pp. 685-690).

Hunt, R. E. (2005). Geotechnical engineering investigation handbook. Crc Press.

IBM, (2019). https://www.ibm.com/tr-tr?lnk=m

Irvine, M. A., ve Hollingsworth, T. D. (2018). Kernel-density estimation and approximate Bayesian computation for flexible epidemiological model fitting in Python. Epidemics, 25, 80-88.

ISRM, (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J. A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Comission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, Pages 628.

Jackson, R. E. (2019). Earth Science for Civil and Environmental Engineers. Cambridge University Press.

Janbu, N. (1957). Earth pressure and bearing capacity calculations by generalized procedure of slices. In Proc. 4. Int. Conf. SMFE, London (Vol. 2, pp. 207-212).

Jing, L., ve Hudson, J. A. (2002). Numerical methods in rock mechanics. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 39(4), 409-427.

Johari, A., ve Lari, A. M. (2017). System probabilistic model of rock slope stability considering correlated failure modes. Computers and Geotechnics, 81, 26-38.

Johari, A., ve Rahmati, H. (2019). System reliability analysis of slopes based on the method of slices using sequential compounding method. Computers and Geotechnics, 114, 103-116.

Jones, M. C., ve Foster, P. J. (1993). Generalized jackknifing and higher order kernels. Journal of Nonparametric Statistics, 3(1), 81-94.

Kang, F., Han, S., Salgado, R., ve Li, J. (2015). System probabilistic stability analysis of soil slopes using Gaussian process regression with Latin hypercube sampling. Computers and Geotechnics, 63, 13-25.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kang W.H. ve Song J. (2010). Evaluation of multivariate normal integrals for general systems by sequential compounding. Struct Saf 32(1):35–41.

Keskin, M. Ö. (2008). Çukurova yöresi kuvarsit işletmelerinde bilgisayar destekli şev dizaynı ve şev stabilite analizleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 256.

Khoei, A. R. (2014). Extended finite element method: theory and applications. John Wiley & Sons.

Kiefa, M. A. (1998). General regression neural networks for driven piles in cohesionless soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(12), 1177-1185.

Kinney, J. J. (2015). Probability: an introduction with statistical applications. John Wiley & Sons.

Kley, R. J., ve Lutton, R. J. (1967). A study of selected rock excavations as related to large nuclear craters. Army Engıneer Nuclear Craterıng Group Lıvermore CA.

Kliche, C. A. (1999). Rock slope stability. SME.

Kocijan, J. (2016). Modelling and control of dynamic systems using Gaussian process models. Springer International Publishing.

Köse, H., ve Kahraman, B. (2014). Kaya mekaniği. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 5. baskı.

Köse, H., Şimşir, F., Onargan, T., Yalçın, E., Konak, G., ve Kızıl, M. S. (2009). Açık işletme tekniği. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 4. baskı.

Krahn, J. (2004). Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision, 1, 396.

Kremelberg, D. (2010). Practical statistics: A quick and easy guide to IBM® SPSS® Statistics, STATA, and other statistical software. SAGE publications.

Kreyszig, E. (1976). Advanced Engineering Mathematics. John Wiley & Sons, New York, 898s.

Kroese, D. P., Taimre, T., ve Botev, Z. I. (2013). Handbook of monte carlo methods (Vol. 706). John Wiley & Sons.

Kulhawy, F. H. (1969). Finite element analysis of the behavior of embankments (Doctoral dissertation, Library Photographic Service, University of California).

Lapidus, D. F. (2003). Collins Dictionary Geology. HarperCollins UK.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Leech, N. L., Barrett, K. C., ve Morgan, G. A. (2014). IBM SPSS for intermediate statistics: Use and interpretation. Routledge.

Lehtonen, R., ve Pahkinen, E. (2004). Practical methods for design and analysis of complex surveys. John Wiley & Sons.

Leyshon, P. R. ve Lisle, R. J. (1996). Stereographic Protection Techniques in Structural Geology. Butterworth and Heinemann, Oxford, UK, 104 s.

Li, D., Zhou, C., Lu, W., ve Jiang, Q. (2009). A system reliability approach for evaluating stability of rock wedges with correlated failure modes. Computers and Geotechnics, 36(8), 1298-1307.

Lindgren, L. E. (2009). From weighted residual methods to finite element methods.

Lindsay, P., Campbell, R. N., Fergusson, D. A., Gillard, G. R., ve Moore, T. A. (2001). Slope stability probability classification, Waikato coal measures, New Zealand. International Journal of Coal Geology, 45(2-3), 127-145.

Lisle, R. J., ve Leyshon, P. R. (2004). Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers. Cambridge University Press.

Long, Y. Q., Cen, S., ve Long, Z. F. (2009). Advanced finite element method in structural engineering. Beijing: Tsinghua University Press.

Lopez-Molina, C., De Ulzurrun, G. V. D., Baetens, J. M., Van den Bulcke, J., ve De Baets, B. (2015). Unsupervised ridge detection using second order anisotropic Gaussian kernels. Signal Processing, 116, 55-67.

Lopez-Novoa, U., Sáenz, J., Mendiburu, A., Miguel-Alonso, J., Errasti, I., Esnaola, G., ve Ibarra-Berastegi, G. (2015). Multi-objective environmental model evaluation by means of multidimensional kernel density estimators: Efficient and multi-core implementations. Environmental Modelling & Software, 63, 123-136.

Low, B. K. (2003). Practical probabilistic slope stability analysis. Proceedings, soil and rock America, 12, 22-26.

Low, B. K., ve Tang, W. H. (1997). Reliability analysis of reinforced embankments on soft ground. Canadian Geotechnical Journal, 34(5), 672-685.

Low, B. K., Gilbert, R. B., ve Wright, S. G. (1998). Slope reliability analysis using generalized method of slices. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(4), 350-362.

Mathwave, (2020). Mathwave Data Analysis and Simulation. http://www.mathwave.com/easyfit-distribution-fitting.html

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

McCloud, N., ve Parmeter, C. F. (2020). Determining the Number of Effective Parameters in Kernel Density Estimation. Computational Statistics & Data Analysis, 143, 106843.

McCormick, K., ve Salcedo, J. (2017). SPSS statistics for data analysis and visualization. John Wiley & Sons.

McGuffey, V., Athanasiou-Grivas, D., Iori, J. ve Kyfor, Z. 1980. Probabilistic Embankment Design a Case Study. Transportation Research Board, Washington, DC.

Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., ve Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. The journal of chemical physics, 21(6), 1087-1092.

Miller, D. J., ve Sias, J. (1998). Deciphering large landslides: linking hydrological, groundwater and slope stability models through GIS. Hydrological Processes, 12(6), 923-941.

Miller, S. M., Whyatt, J. K., ve McHugh, E. L. (2004). Applications of the point estimation method for stochastic rock slope engineering. In Gulf Rocks 2004, the 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS). American Rock Mechanics Association.

Morgenstern, N. U., ve Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique, 15(1), 79-93.

Motai, Y. (2015). Data-variant kernel analysis. John Wiley & Sons.

Naylor, D. J. (1982). Finite elements and slope stability. In Numerical methods in geomechanics (pp. 229-244). Springer, Dordrecht.

Originlabs, (2019). https://www.originlab.com/2019.

Pal, M., ve Deswal, S. (2010). Modelling pile capacity using Gaussian process regression. Computers and Geotechnics, 37(7-8), 942-947.

Park, H. J., Um, J. G., Woo, I., ve Kim, J. W. (2012). The evaluation of the probability of rock wedge failure using the point estimate method. Environmental earth sciences, 65(1), 353-361.

Park, H., ve West, T. R. (2001). Development of a probabilistic approach for rock wedge failure. Engineering Geology, 59(3-4), 233-251.

Parzen, E. (1962). On estimation of a probability density function and mode. The annals of mathematical statistics, 33(3), 1065-1076.

Patton, F. D., ve Deere, D. U. (1970). Significant geologic factors in rock slope stability. Planning Open Pit Mines: AA Balkema, Capetown, South Africa, 143-151.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Pentz, D. L. 1981. Slope stability analysis techniques incorporating uncertainty in the critical parameters. 3rd International Conference on Stability in Open Pit Mining, Vancouver, Canada. Society of Mining Engineers of AIME, Englewood, CO.

Pepper, D. W., ve Heinrich, J. C. (2017). The finite element method: basic concepts and applications with MATLAB, MAPLE, and COMSOL. CRC Press.

Pérez-Cruz, F., Van Vaerenbergh, S., Murillo-Fuentes, J. J., Lázaro-Gredilla, M., ve Santamaria, I. (2013). Gaussian processes for nonlinear signal processing: An overview of recent advances. IEEE Signal Processing Magazine, 30(4), 40-50.

Phillips, F. C. (1971). The Use of Stereographic Projections in Structural Geology. Edward Arnold, London, UK, 90 s.

Pratt, J. W., ve Gibbons, J. D. (1981). Concepts of nonparametric theory. Springer Science & Business Media.

Raghuvanshi, T. K. (2017). Plane failure in rock slopes–A review on stability analysis techniques. Journal of King Saud University-Science.

Raghuvanshi, T. K. (2019). Governing factors influence on rock slope stability–Statistical analysis for plane mode of failure. Journal of King Saud University-Science.

Rai, S. M., Upreti, B. N., Yoshida, M., Bhattarai, T. N., Ulak, P. D., Dahal, R. K., ve Koirala, M. P. (2005). Geology of the Lesser and Higher Himalayan zones along the Kaligandaki Valley, central-west Nepal Himalaya. In Proceeding of the JICA Regional Seminar on National Disaster Mitigation, Kathmandu, Nepal (pp. 43-56).

Read, J., ve Stacey, P. (2009). Guidelines for open pit slope design.

Reddy, M. J., ve Adarsh, S. (2011). Slope‐stability‐constrained design of irrigation canals using particle swarm optimization. Irrigation and drainage, 60(5), 590-599.

Riedmüller, G., & Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. Felsbau, 17(3), 164-167.

Ritter, F. E., Schoelles, M. J., Quigley, K. S., ve Klein, L. C. (2011). Determining the number of simulation runs: Treating simulations as theories by not sampling their behavior. In Human-in-the-loop simulations (pp. 97-116). Springer, London.

Roberds, W. J. (1984). Risk-based decision making in geotechnical engineering: overview of case studies. In Engineering Foundation Conf. on Riskbased Decision Making in Water Resources.

Roberds, W. J. (1990). Methods for developing defensible subjective probability assessments. Transportation Research Record, (1288).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Roberds, W. J., & Pentz, D. L. (1986). Applications of decision theory to hazardous waste disposal. In ASCE Specialty Conf. GEOTECH IV.

Robert, C., ve Casella, G. (2013). Monte Carlo statistical methods. Springer Science & Business Media.

Rocscience Inc., (2012). Dips Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data. Manuel https://www.rocscience.com/help/dips/pdf_files/verification/Dips_Verification_Manual.pdf+&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr

Rohrbaugh, J. (1979). Improving the quality of group judgment: Social judgment analysis and the Delphi technique. Organizational Behavior and Human Performance, 24(1), 73-92.

Rosenblatt, M. (1956). Remarks on some nonparametric estimates of a density function. The Annals of Mathematical Statistics, 832-837.

Rosenblueth, E. (1975). Point estimates for probability moments. Proceedings of the National Academy of Sciences, 72(10), 3812-3814.

Rosenblueth, E. (1981). Two-point estimates in probabilities. Applied Mathematical Modelling, 5(5), 329-335.

Ross-Brown, D. R. 1973. Slope design in open cast mines, PhD thesis, University of London, UK, 250pp.

Rousseau, Y. Y., Van de Wiel, M. J., ve Biron, P. M. (2017). Simulating bank erosion over an extended natural sinuous river reach using a universal slope stability algorithm coupled with a morphodynamic model. Geomorphology, 295, 690-704.

Ruppert, D. (2014). Statistics and finance: An introduction. Springer.

Sakellariou, M. G., ve Ferentinou, M. D. (2005). A study of slope stability prediction using neural networks. Geotechnical & Geological Engineering, 23(4), 419.

Salmon, G. M., ve Hartford, D. N. D. (1995). Risk analysis for dam safety. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts (Vol. 6, No. 32, p. 284A).

Samui, P., ve Jagan, J. (2013). Determination of effective stress parameter of unsaturated soils: A Gaussian process regression approach. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 7(2), 133-136.

Sarma, S. K. (1975). Seismic stability of earth dams and embankments. Geotechnique, 25(4), 743-761.

Sarma, S. K. (1979). Stability analysis of embankments and slopes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 105(ASCE 15068).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Savely, J. P. 1987. Probabilistic analysis of intensely fractured rock masses. 6th International Congress on Rock Mechanics, Montreal, 509–14.

Scholz, D. (2011). Deterministic global optimization: geometric branch-and-bound methods and their applications (Vol. 63). Springer Science & Business Media.

Scott, D. W. (2015). Multivariate density estimation: theory, practice, and visualization. John Wiley & Sons.

Seber, G. A., ve Lee, A. J. (2003). Wiley series in probability and statistics. Linear regression analysis, 36-44.

Shi, G. H. (1992). Discontinuous deformation analysis: a new numerical model for the statics and dynamics of deformable block structures. Engineering computations.

Shi, J. Q., ve Choi, T. (2011). Gaussian process regression analysis for functional data. Chapman and Hall/CRC.

Silverman, B. W. (1998). Density estimation for statistics and data analysis. Routledge.

Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter slice forces. Geotechnique, 17(1), 11-26.

Spreafico, M. C., Cervi, F., Francioni, M., Stead, D., ve Borgatti, L. (2017). An investigation into the development of toppling at the edge of fractured rock plateaux using a numerical modelling approach. Geomorphology, 288, 83-98.

Stein, M. (1987). Large sample properties of simulations using Latin hypercube sampling. Technometrics, 29(2), 143-151.

Tang, W. H., Yucemen, M. S., ve Ang, A. S. (1976). Probability-based short term design of soil slopes. Canadian Geotechnical Journal, 13(3), 201-215.

Taylor, D. W. 1937. Stability of earth slopes. J. Boston Soc. Civil Eng., 24:197.

Terzaghi K. ve Peck R. B. (1967) Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York

The National Standards Compilation Group of People's Republic of China (2014) GB/T 50218—2014 standard for engineering classification of rock masses. China Planning Press, Beijing (in Chinese).

Thomopoulos, N. T. (2012). Essentials of Monte Carlo simulation: Statistical methods for building simulation models. Springer Science & Business Media.

Turanboy A ve Ulker E. (2008). LIP-RM: an attempt at 3D visualization of in situ rock mass structures. Comput Geosci 12(2):181–192.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Turanboy, A., Ülker, E., ve Küçüksütçü, C. B. (2018). A new approach for assessing stability of rock slopes considering centroids of weak zones. Journal of Mining and Environment, 9(1), 1-18.

Turanboy A., Ülker E. ve Küçüksütçü C. B. (2019). A New Approach to Probabilistic Stability Analysis by the Decreasing Dip Angle of a Rock Slope, The International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference in Seydişehir/TURKEY (IATENS'19), October 4-6 2019, 144-150.

Turanboy, (2019). Sezgisel Yaklaşıma Dayalı Modelleme ile Kaya Şevlerinde Duraylılık Analizi, TUBİTAK No: 3189227, Konya.

Turanboy, A. (2016). 2D visual characterisation of wedge failure types and locations on rock slopes. Environmental Earth Sciences, 75(12), 1022.

Turanboy, A., Ülker, E., ve Burak Küçüksütçü, C. (2020). A New Stability Approach Using Probabilistic Profile along Direction of Excavation. Journal of Mining and Environment, 11(1), 1-20.

U.S. Army Corps of Engineers, 1997. Engineering and design: introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering. Engineer technical letter 1110-2-547. Washington, DC: Department of the Army.

Verrelst, J., Alonso, L., Camps-Valls, G., Delegido, J., ve Moreno, J. (2011). Retrieval of vegetation biophysical parameters using Gaussian process techniques. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(5), 1832-1843.

Von Davier, A. A., Holland, P. W., ve Thayer, D. T. (2003). The kernel method of test equating. Springer Science & Business Media.

Ünal, E., ve Özkan, I. (1990). Determination of classification parameters for clay-bearing and stratified rock mass. In 9th Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, USA (pp. 250-259).

Wang, B., ve Wang, X. (2007). Bandwidth selection for weighted kernel density estimation. arXiv preprint arXiv:0709.1616.

Wang, J. P., Yang, Z., ve Huang, D. (2013). New pole-searching algorithm with applications to probabilistic circular slope stability assessment. Computers & geosciences, 51, 83-89.

Wang, Y. (2011). Reliability-based design of spread foundations by Monte Carlo simulations. Géotechnique, 61(8), 677-685.

Wang, Y., Au, S. K., ve Kulhawy, F. H. (2011). Expanded reliability-based design approach for drilled shafts. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(2), 140-149.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wang, Y., Cao, Z., Au, S. K., ve Wang, Q. (2009). Reliability analysis of a benchmark problem for slope stability. In Proceedings of the second international symposium on geotechnical safety and risk (pp. 89-93).

Warner, J. (2004). Practical handbook of grouting: soil, rock, and structures. John Wiley & Sons.

Weber, A. (2007). Heat kernel estimates and L p-spectral theory of locally symmetric spaces.

Węglarczyk, S. (2018). Kernel density estimation and its application. In ITM Web of Conferences (Vol. 23, p. 00037). EDP Sciences.

Williams, H. M. (2020). Statistics for Politics and International Relations Using IBM SPSS Statistics. SAGE Publications Limited.

Wise Uranium Project, (1997) Slope Stability Calculator https://www.wise-uranium.org/csst.html

Wolff, T. F. (1996). Probabilistic slope stability in theory and practice. In Uncertainty in the geologic environment: From theory to practice (pp. 419-433). ASCE.

Wolters, M. A., ve Braun, W. J. (2018). A practical implementation of weighted kernel density estimation for handling shape constraints. Stat, 7(1), e202.

Wu, Z. Y., Shi, Q., Guo, Q. Q., ve Chen, J. K. (2017). CST-based first order second moment method for probabilistic slope stability analysis. Computers and Geotechnics, 85, 51-58.

Wyllie, D. C., ve Mah, C. (2014). Rock slope engineering. CRC Press.

Wyllie, D. C., McCammon, N. R., ve Brumund, W. F. (1979). Use of risk analysis in planning slope stabilization programs on transportation routes. Transportation Research Board.

Yang, Y., ve Rosenbaum, M. S. (2002). The artificial neural network as a tool for assessing geotechnical properties. Geotechnical & Geological Engineering, 20(2), 149-168.

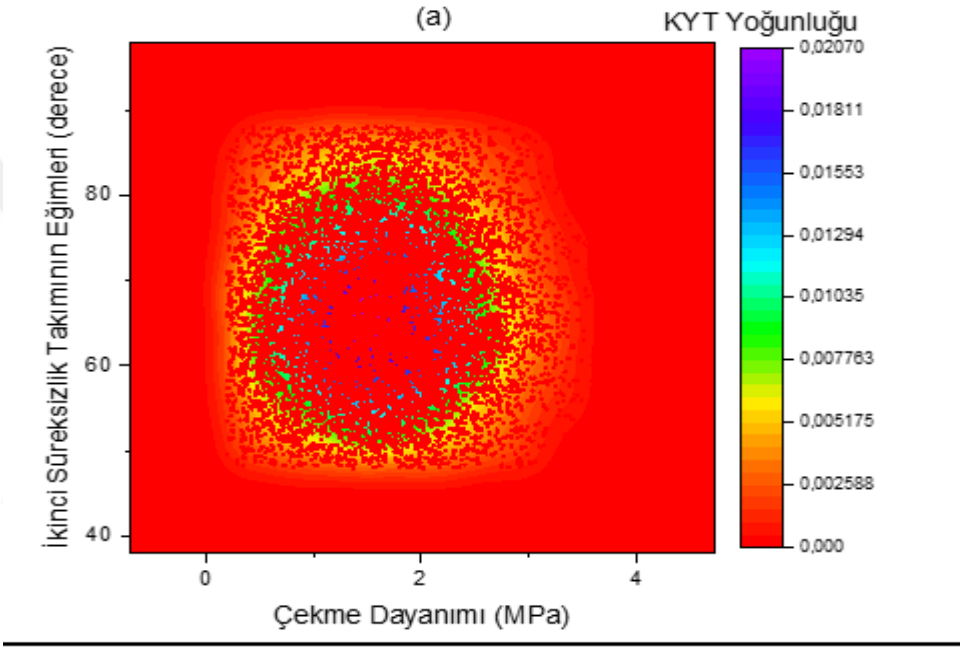
Zhang, L., Lin, J., ve Karim, R. (2018). Adaptive kernel density-based anomaly detection for nonlinear systems. Knowledge-Based Systems, 139, 50-63.

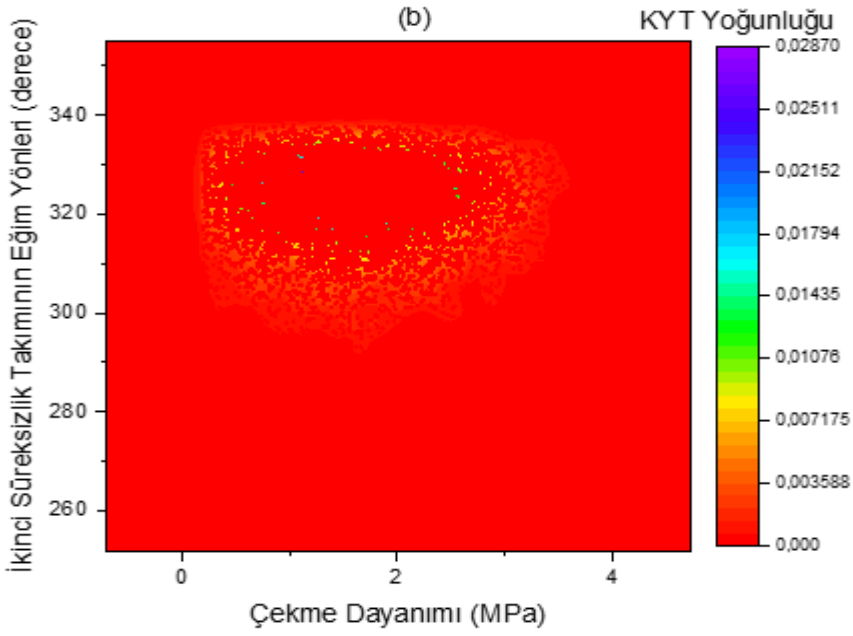
Zienkiewicz, O. C., ve Taylor, R. L. (1989). Solid and fluid mechanics, dynamics and non-linearity. McGraw-Hill..

Zolfaghari, A. R., Heath, A. C., ve McCombie, P. F. (2005). Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis. Computers and geotechnics, 32(3), 139-152.

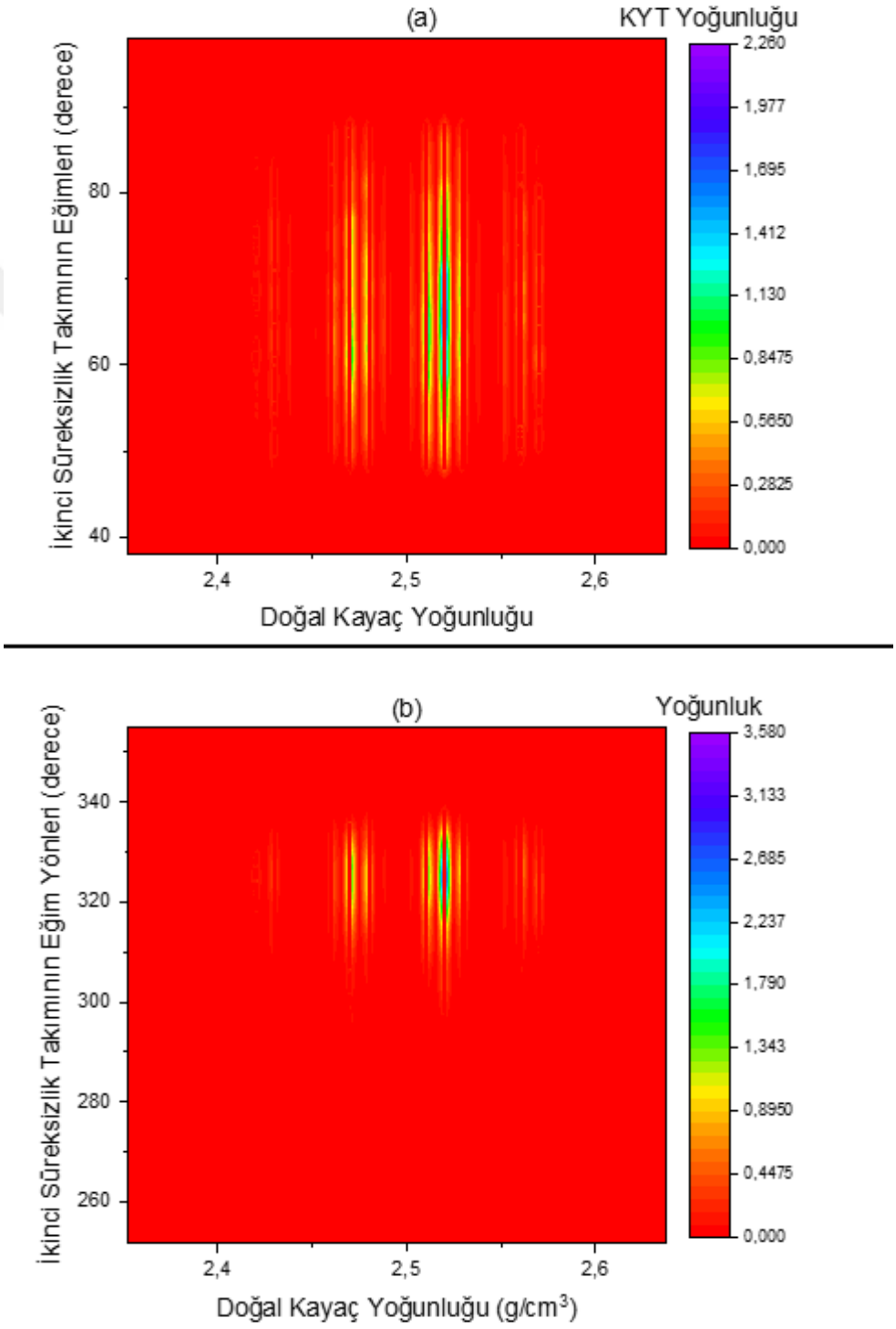
EKLER

Ek 1. Çekme Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

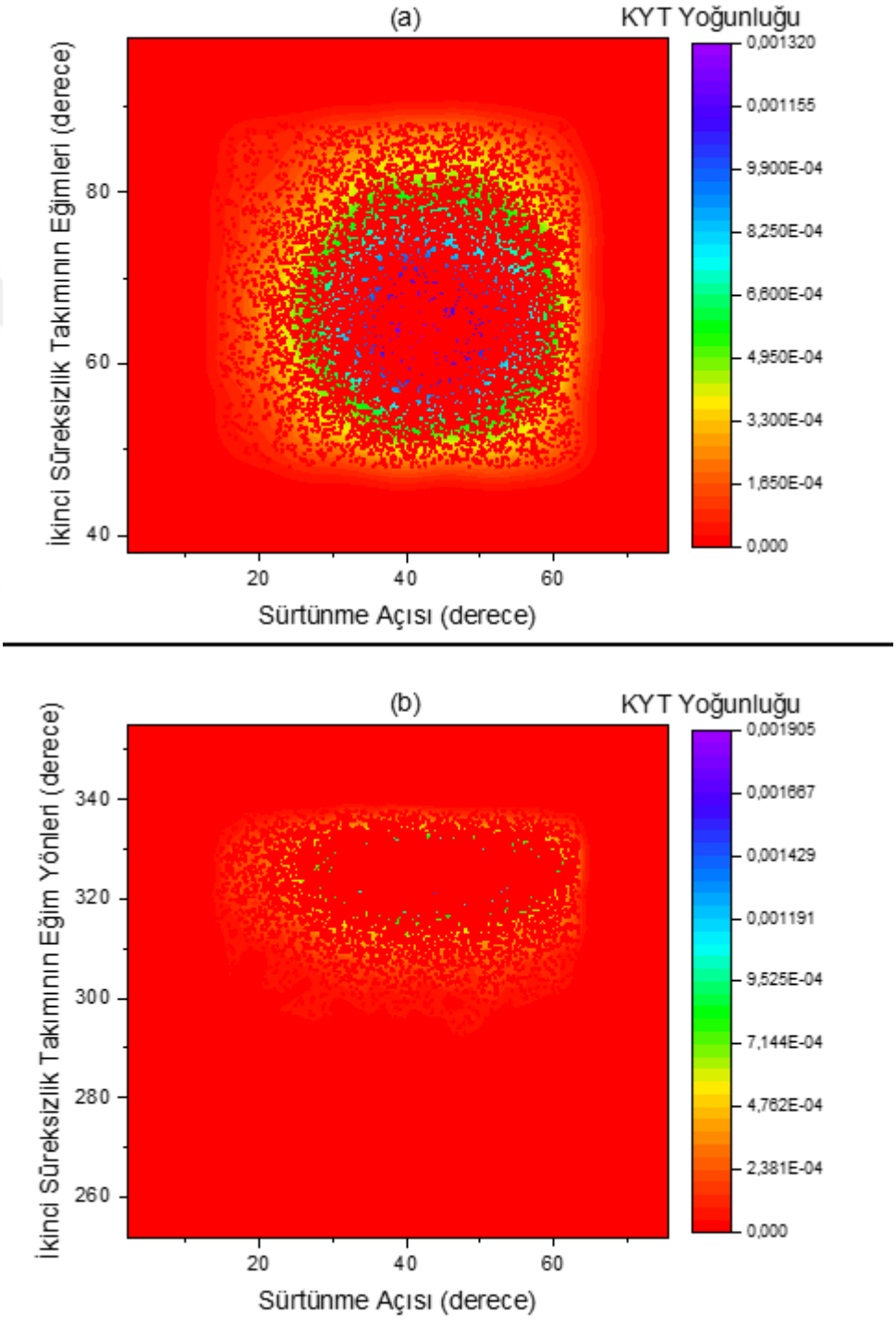




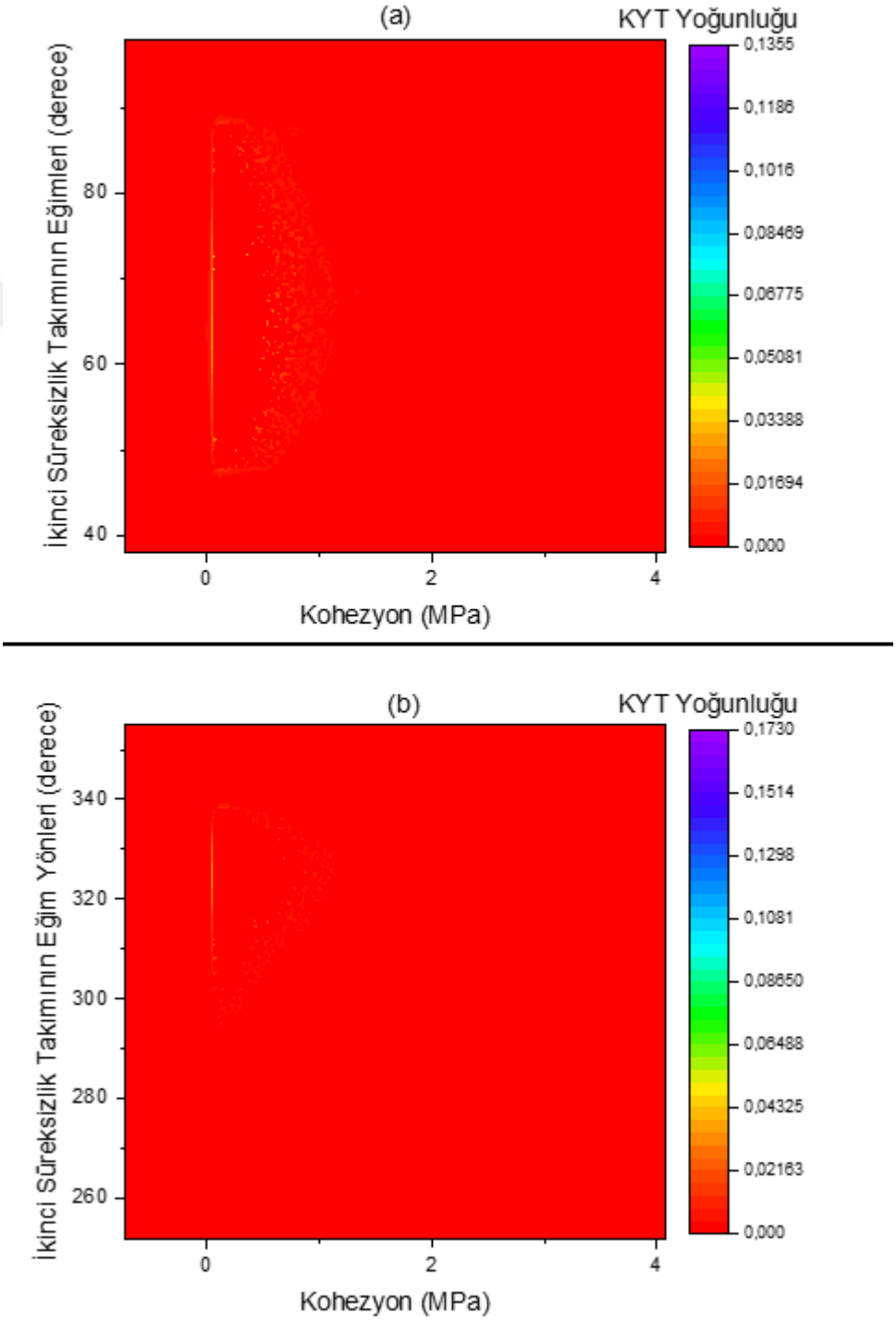
Ek 2. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



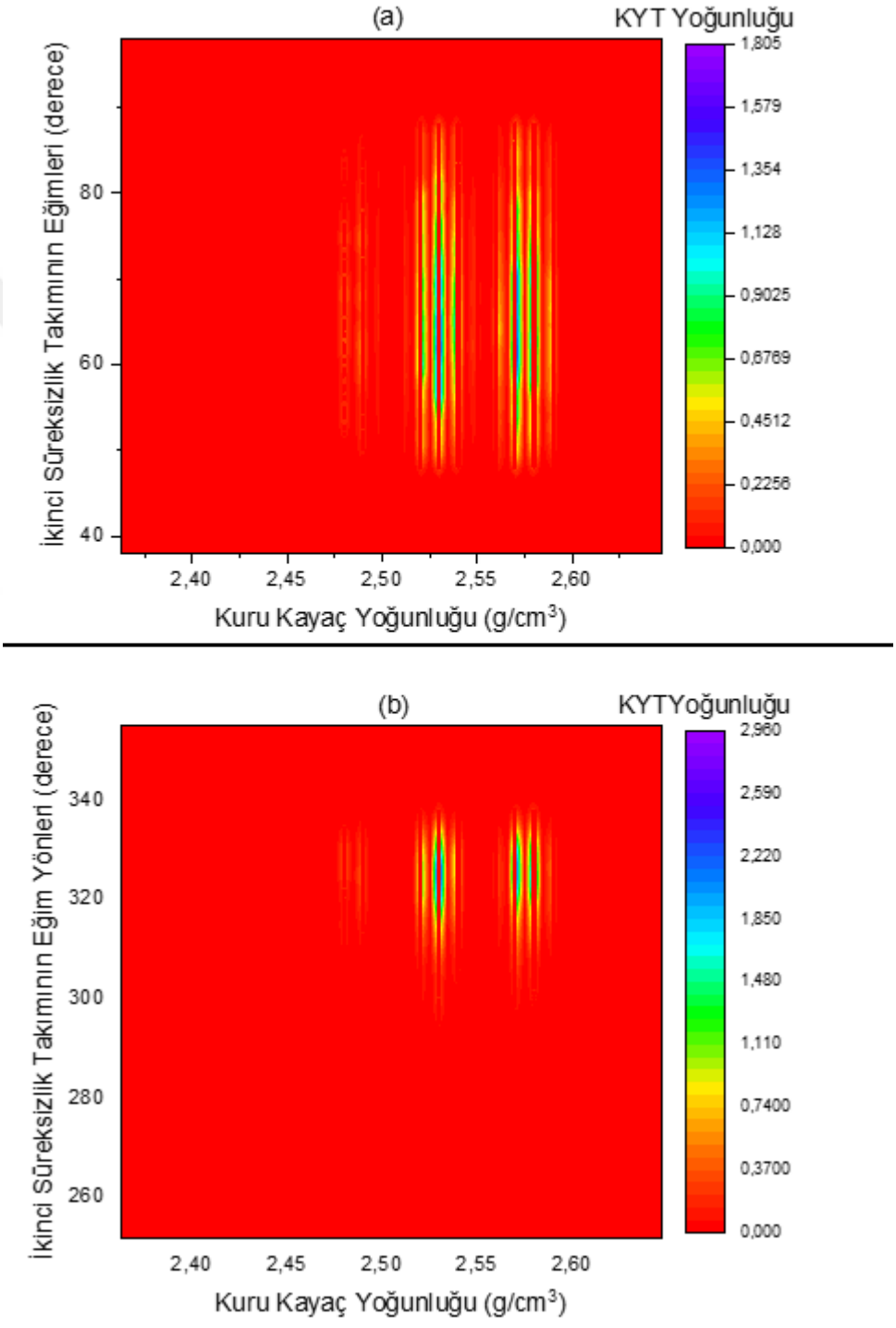
Ek 3. Sürtünme Açısı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



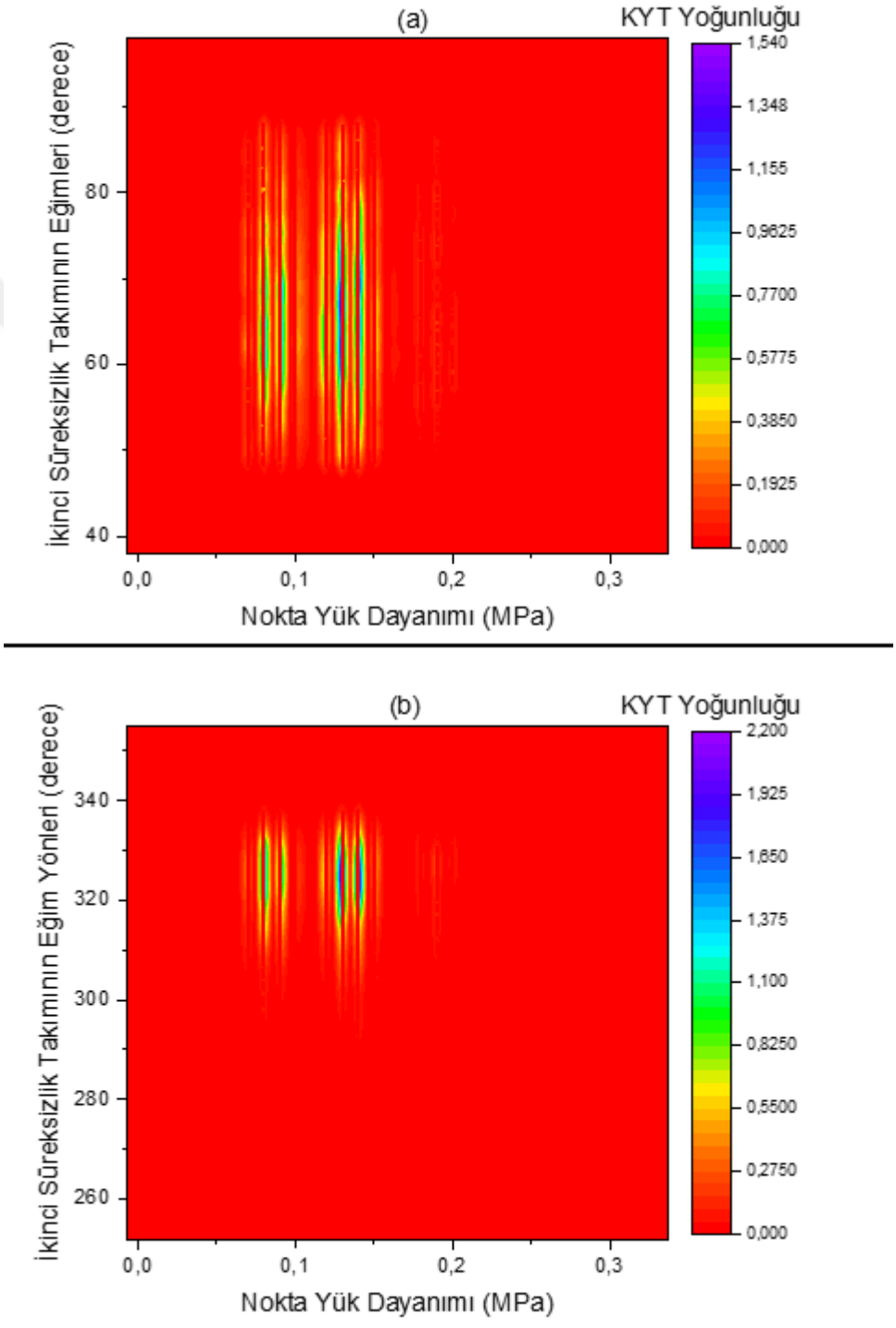
Ek 4. Kohezyon ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



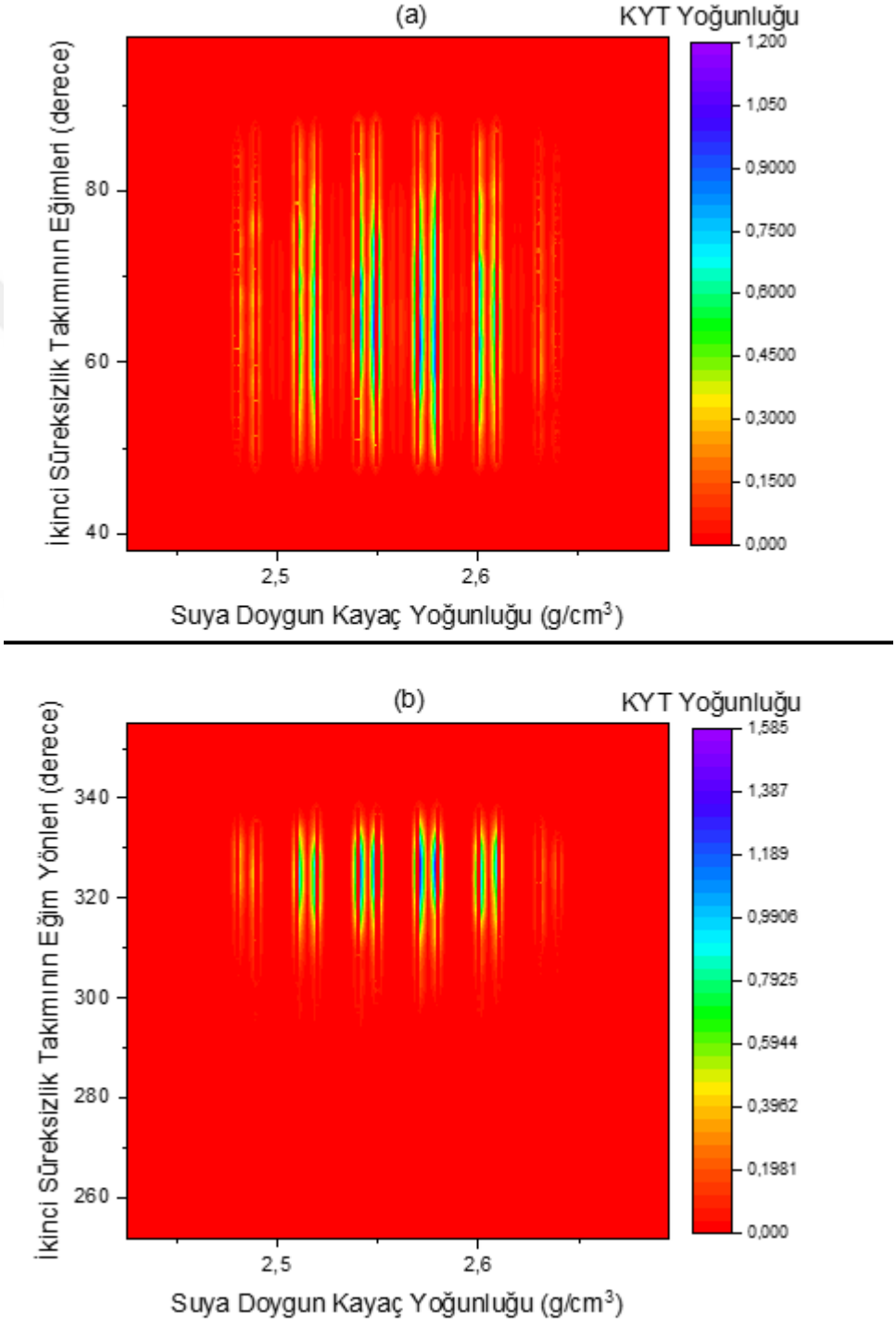
Ek 5. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



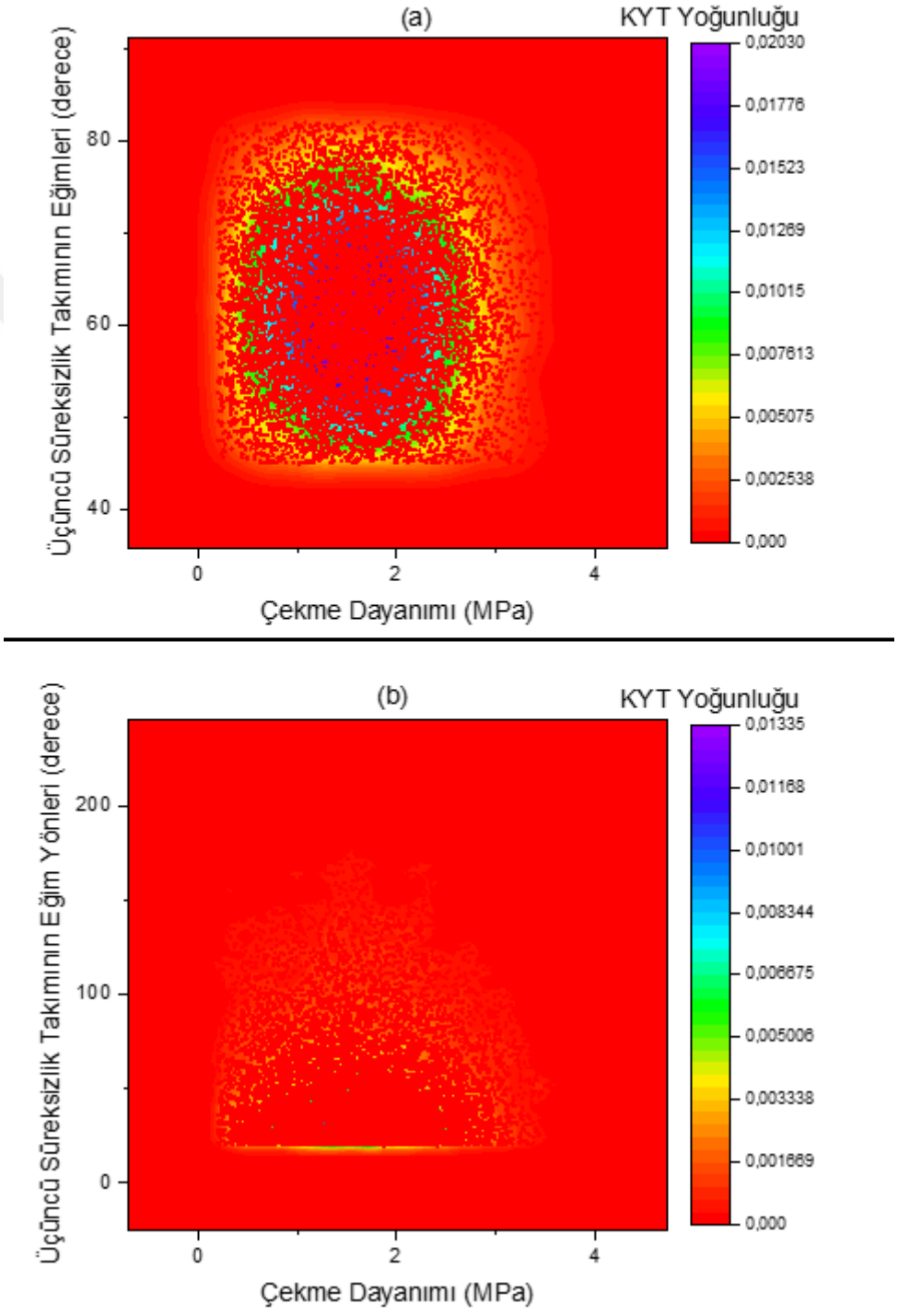
Ek 6. Nokta Yük Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



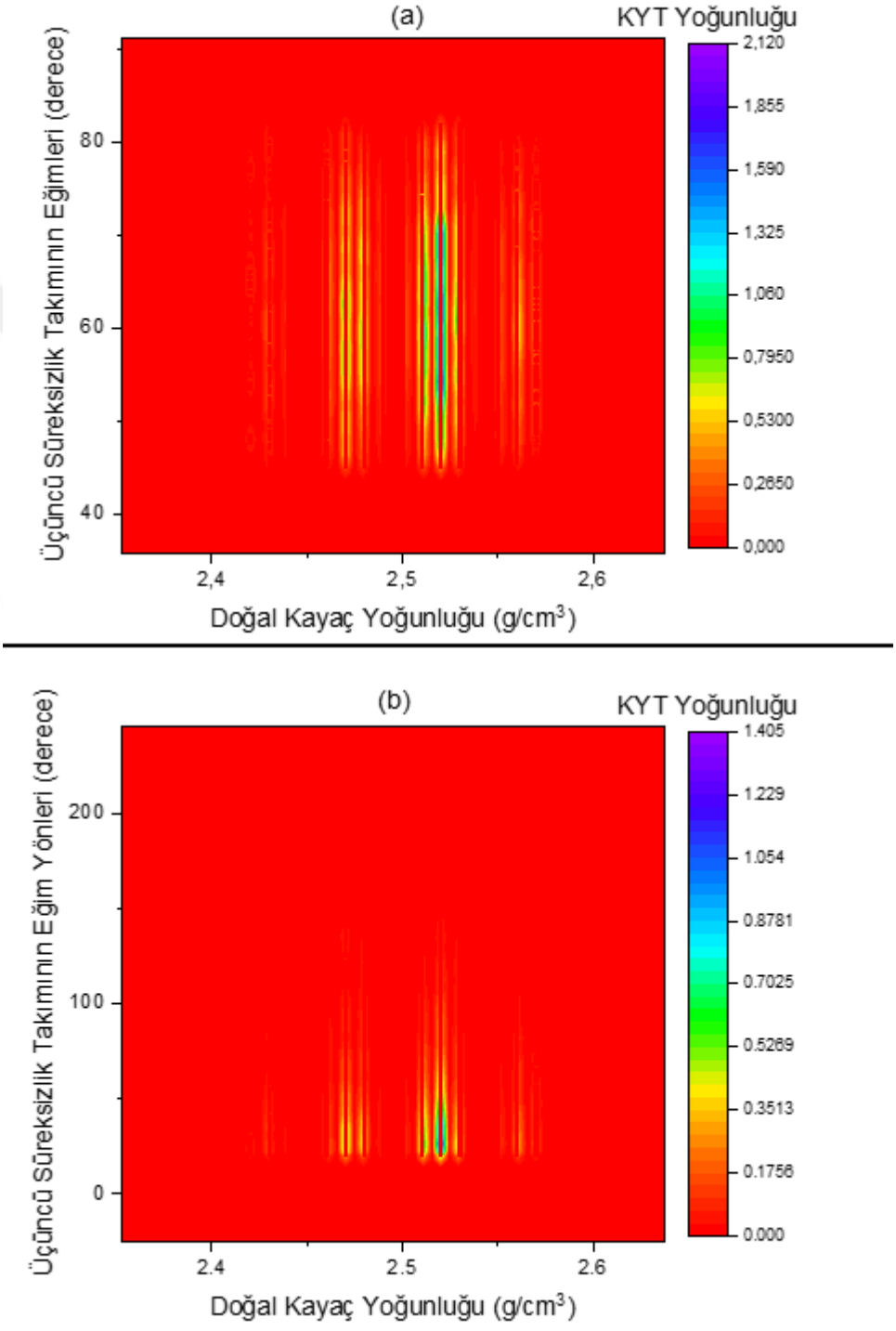
Ek 7. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



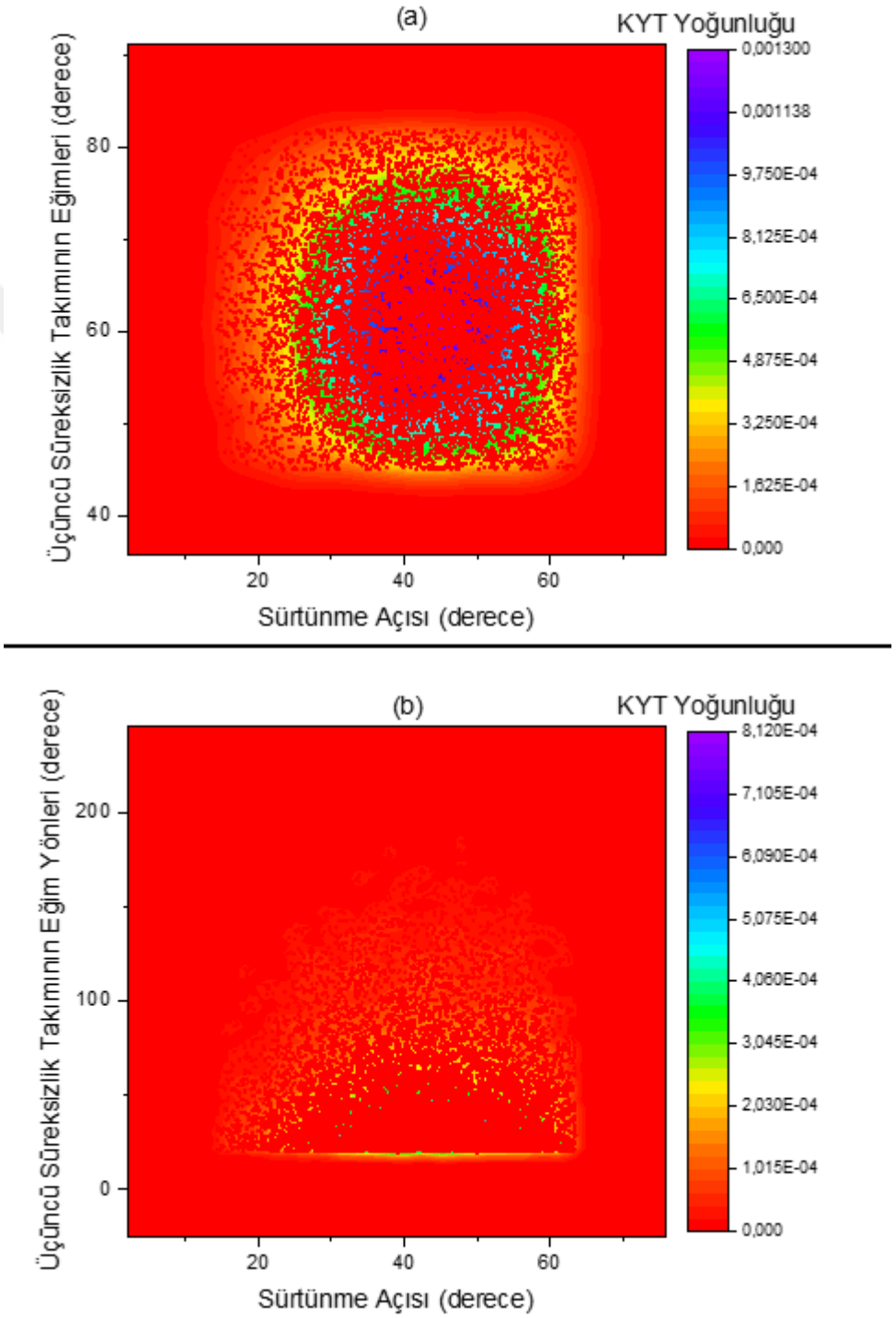
Ek 8. Çekme Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



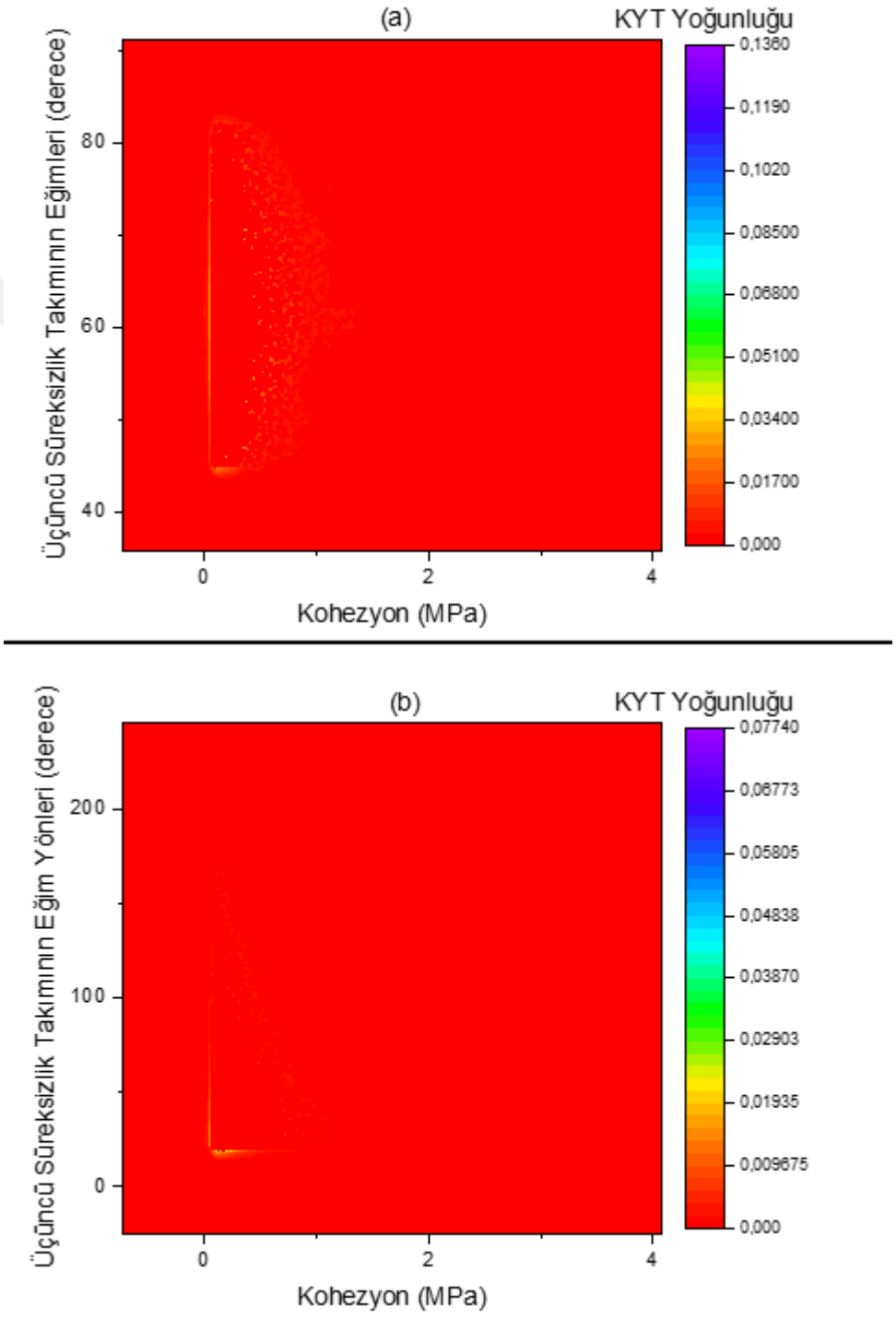
Ek 9. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



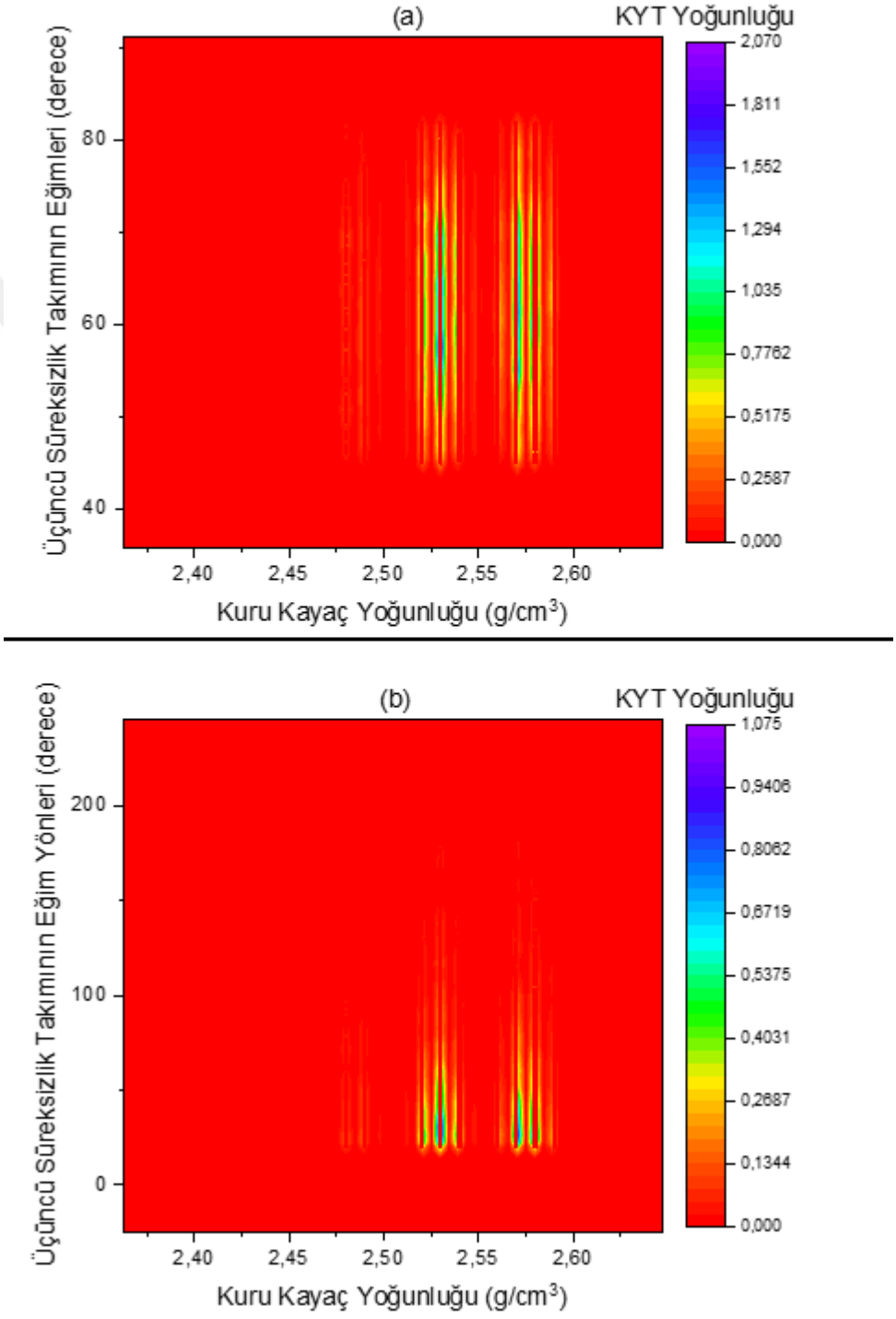
Ek 10. Sürtünme Açısı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



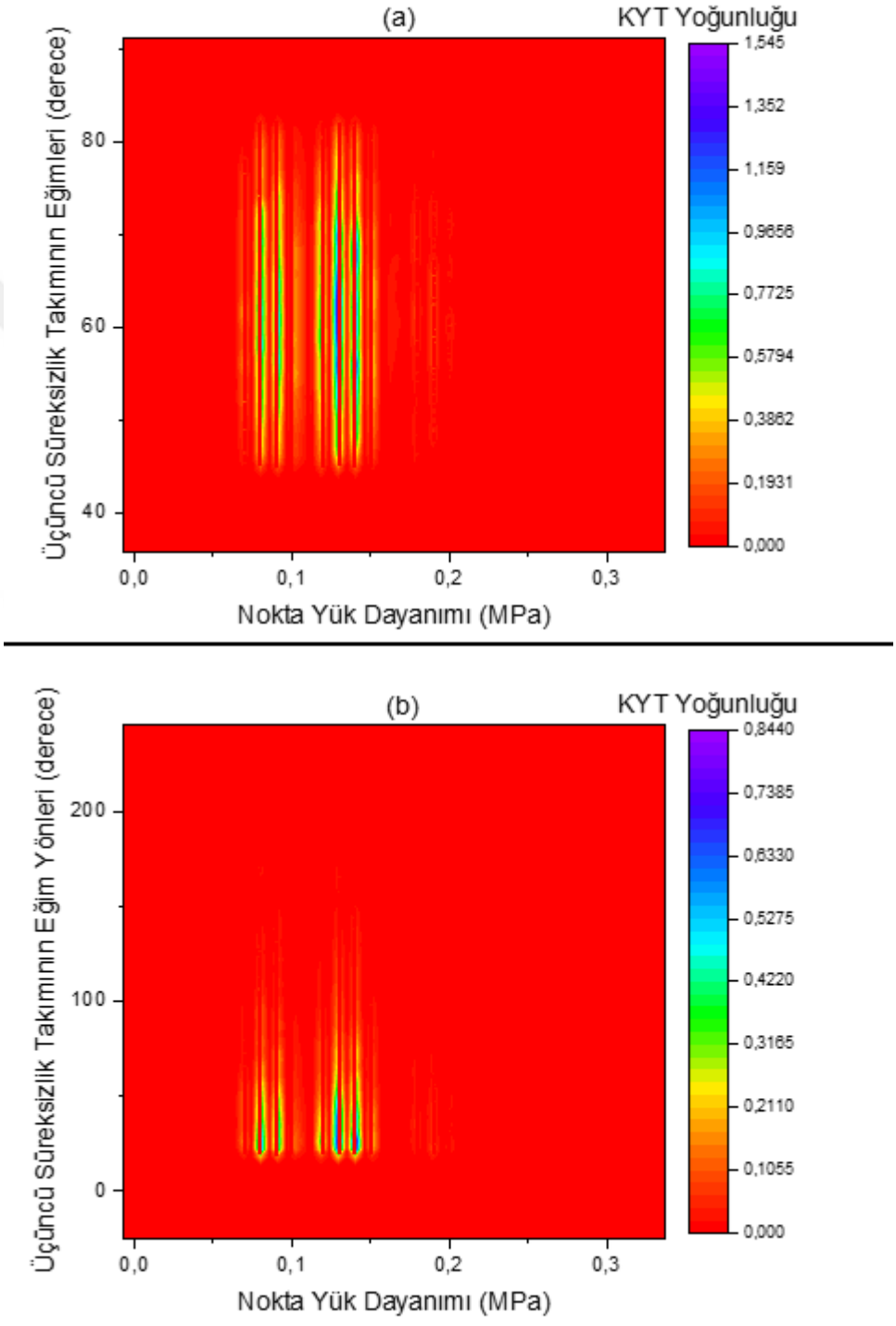
Ek 11. Kohezyon ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre



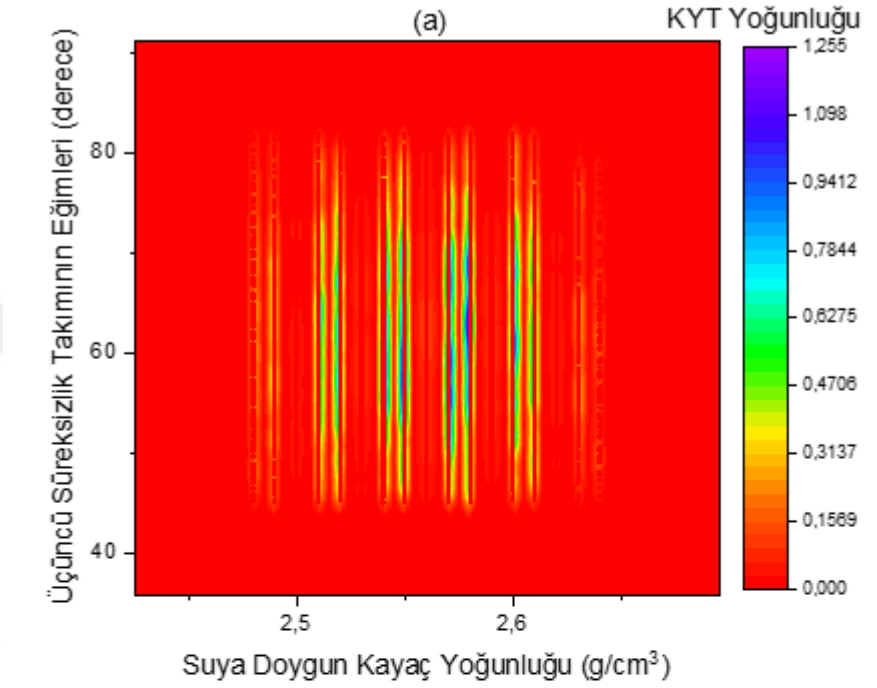
Ek 12. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

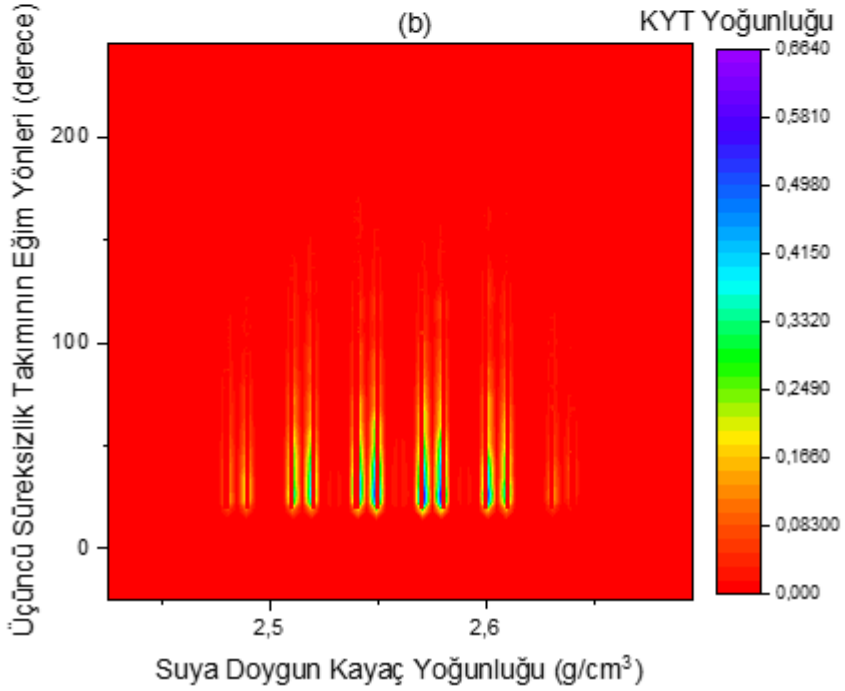


Ek 13. Nokta Yük Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

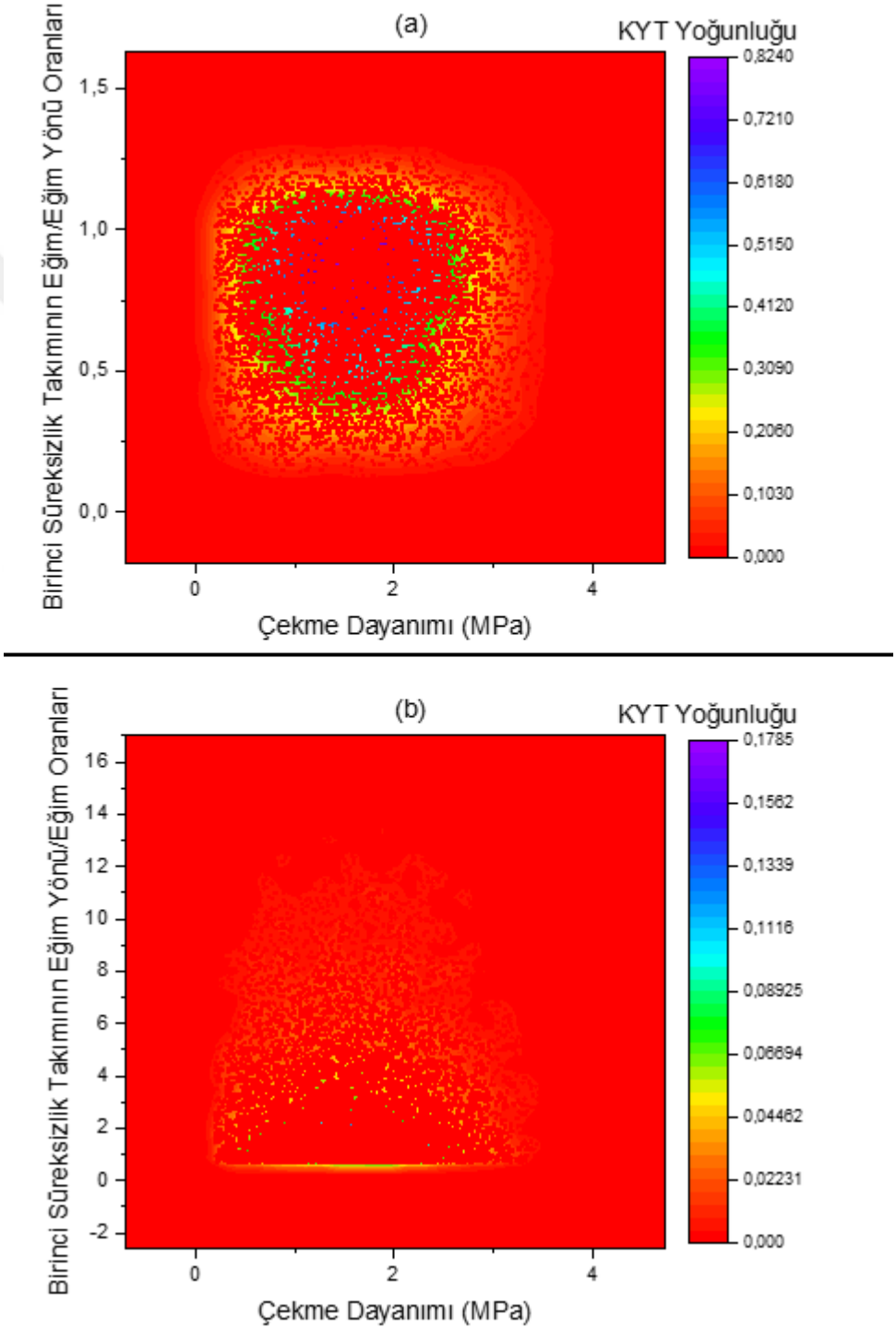


Ek 14. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim ve Eğim Yönlerinin 2B AKYT Analizleri (a) Eğime göre; (b) Eğim Yönüne göre

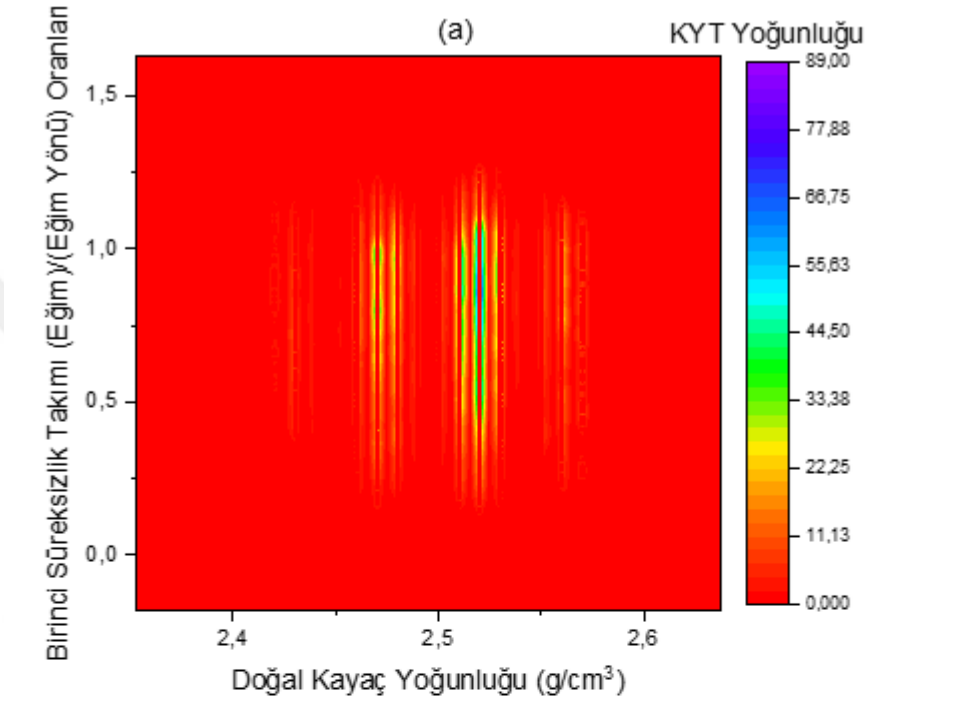


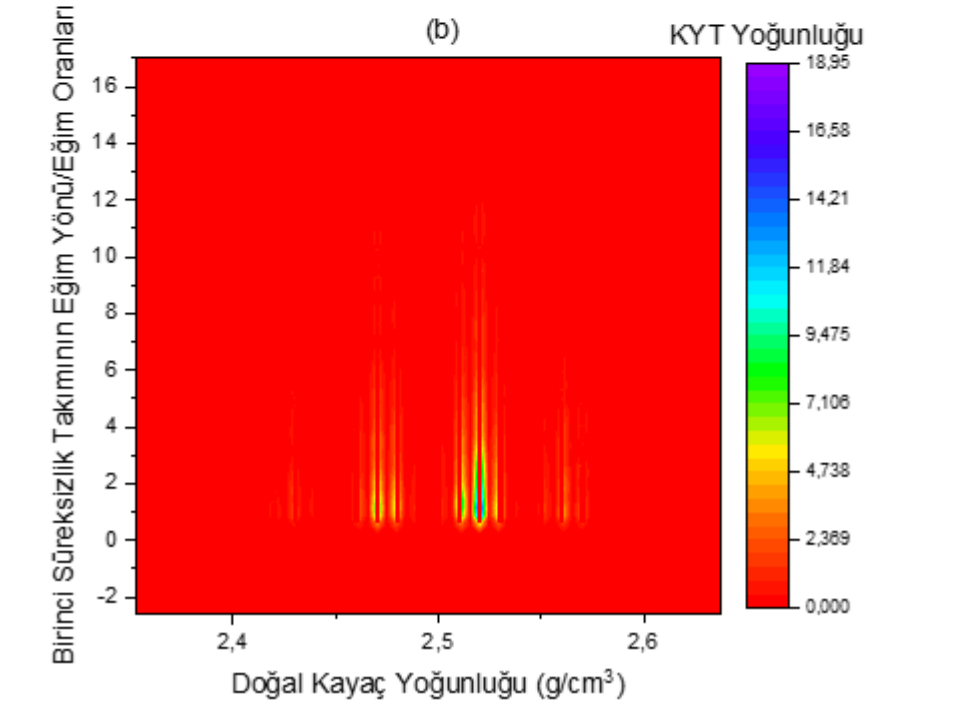


Ek 15. Çekme Dayanımı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

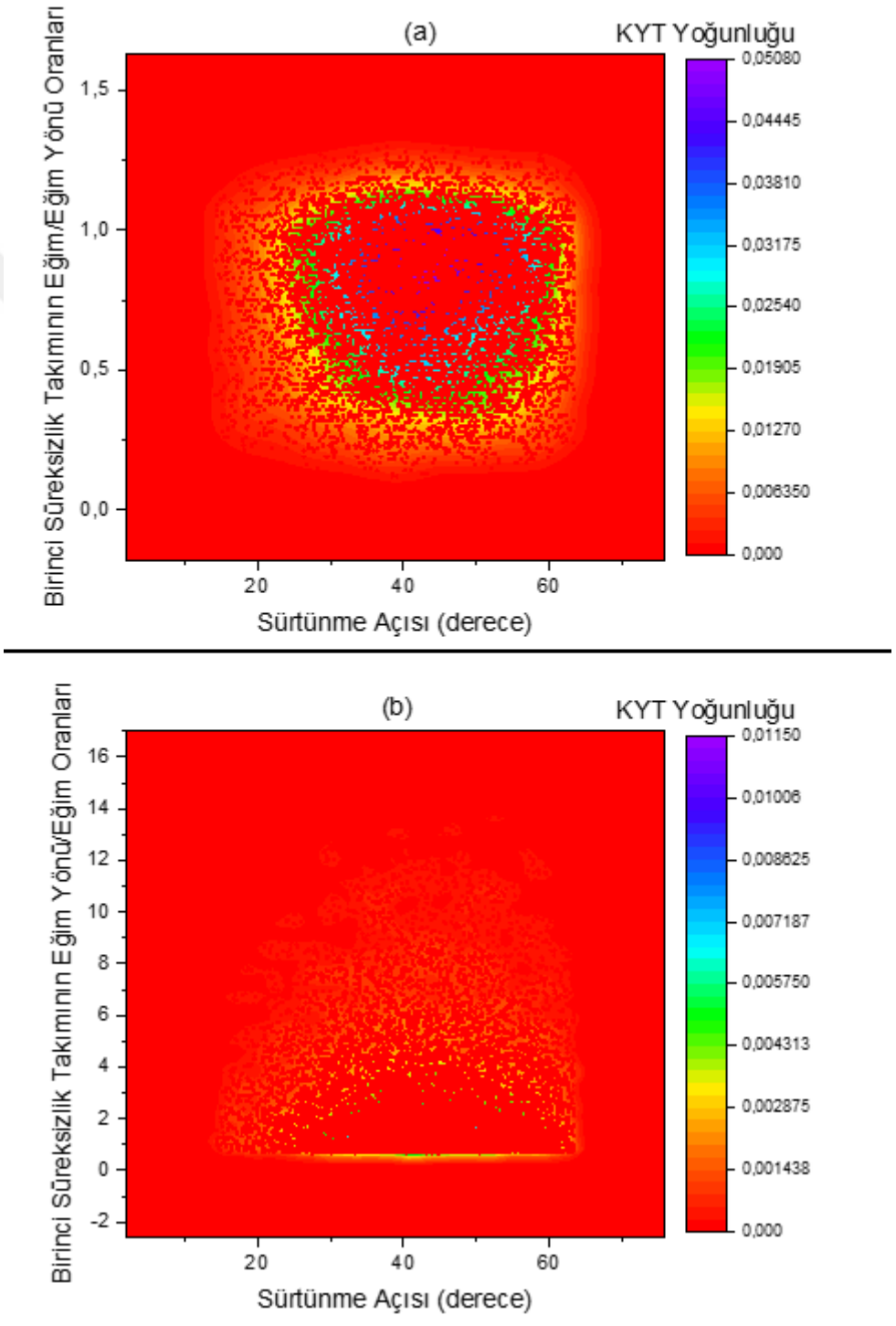


Ek 16. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

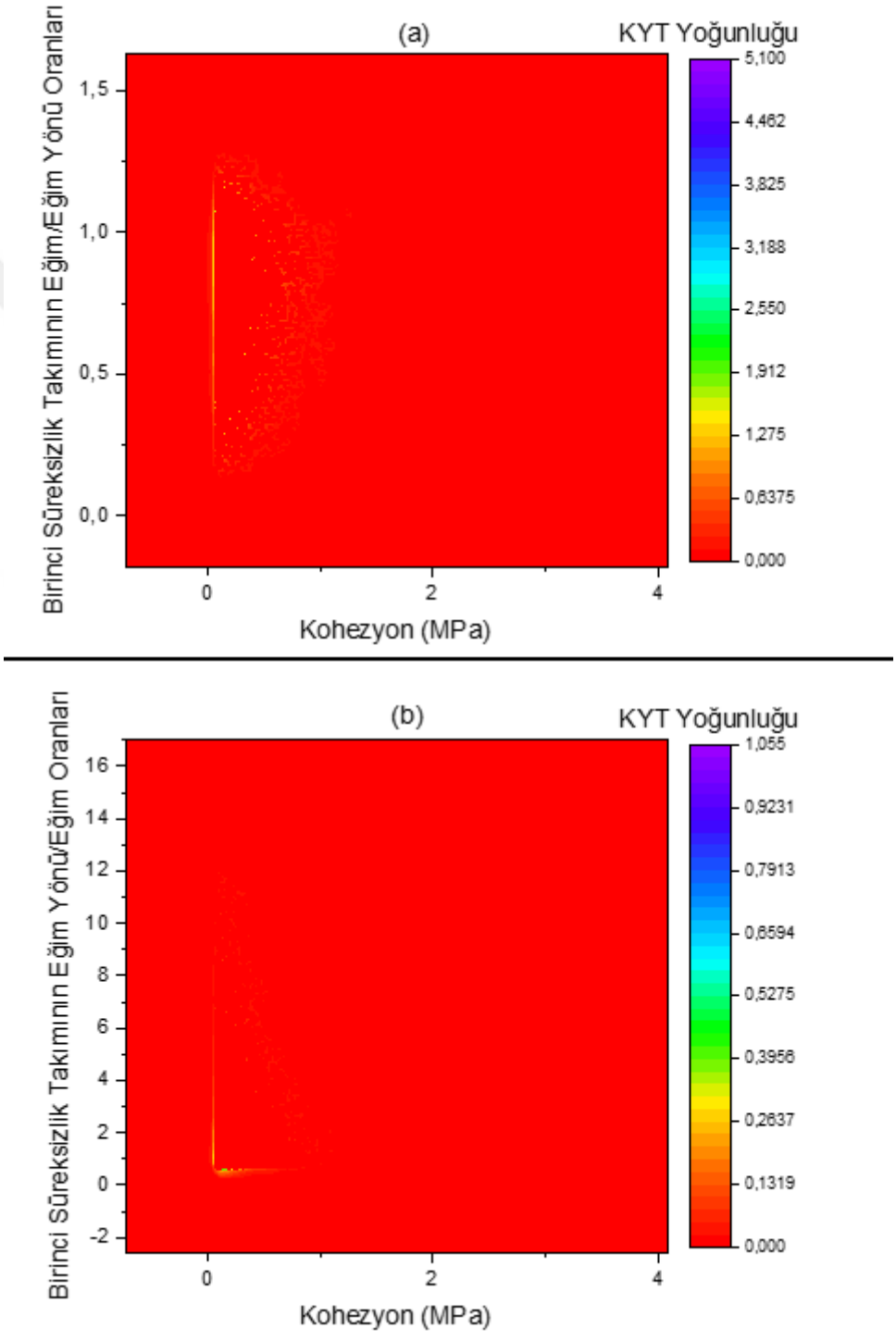




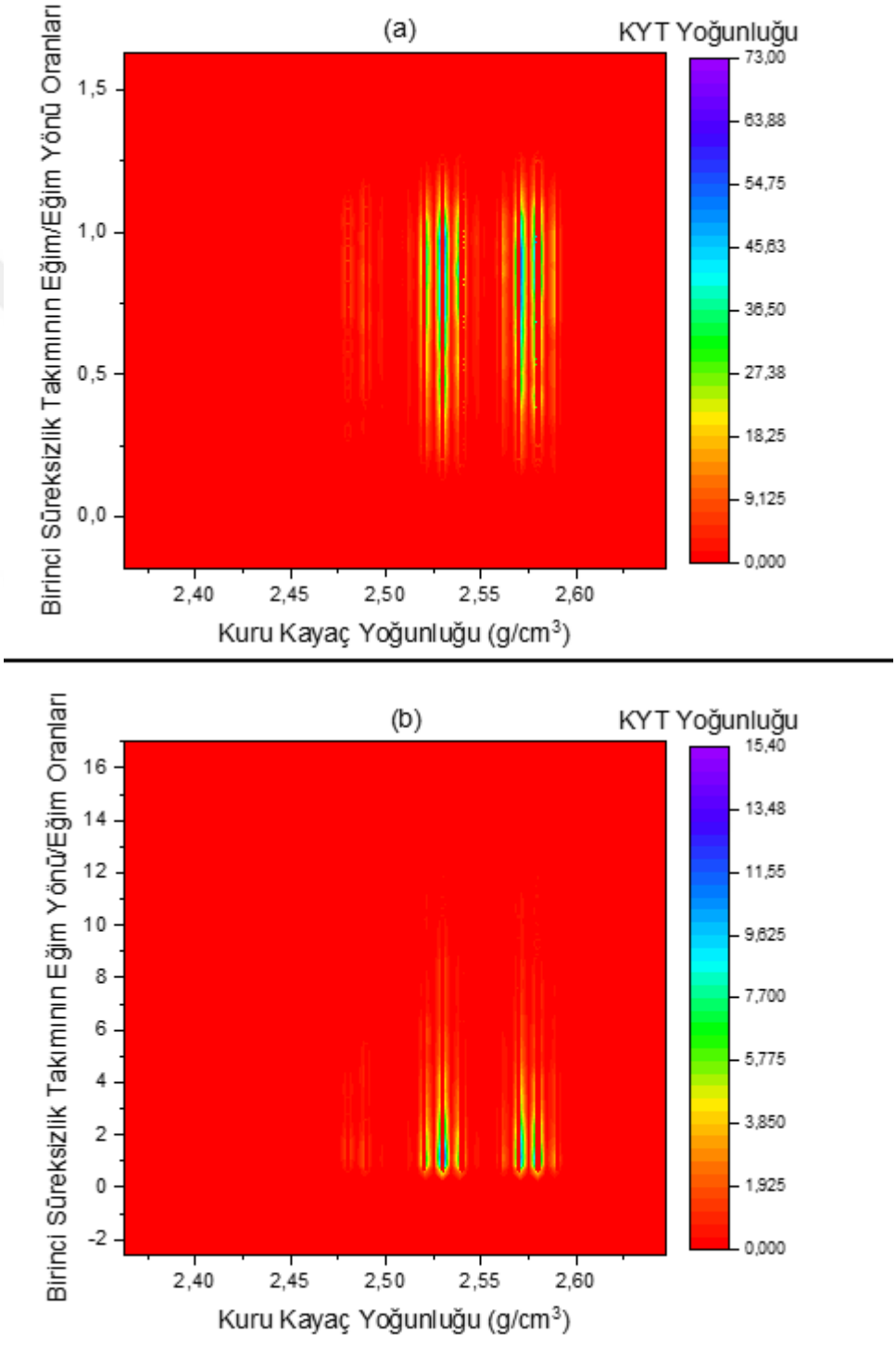
Ek 17. Sürtünme Açısı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



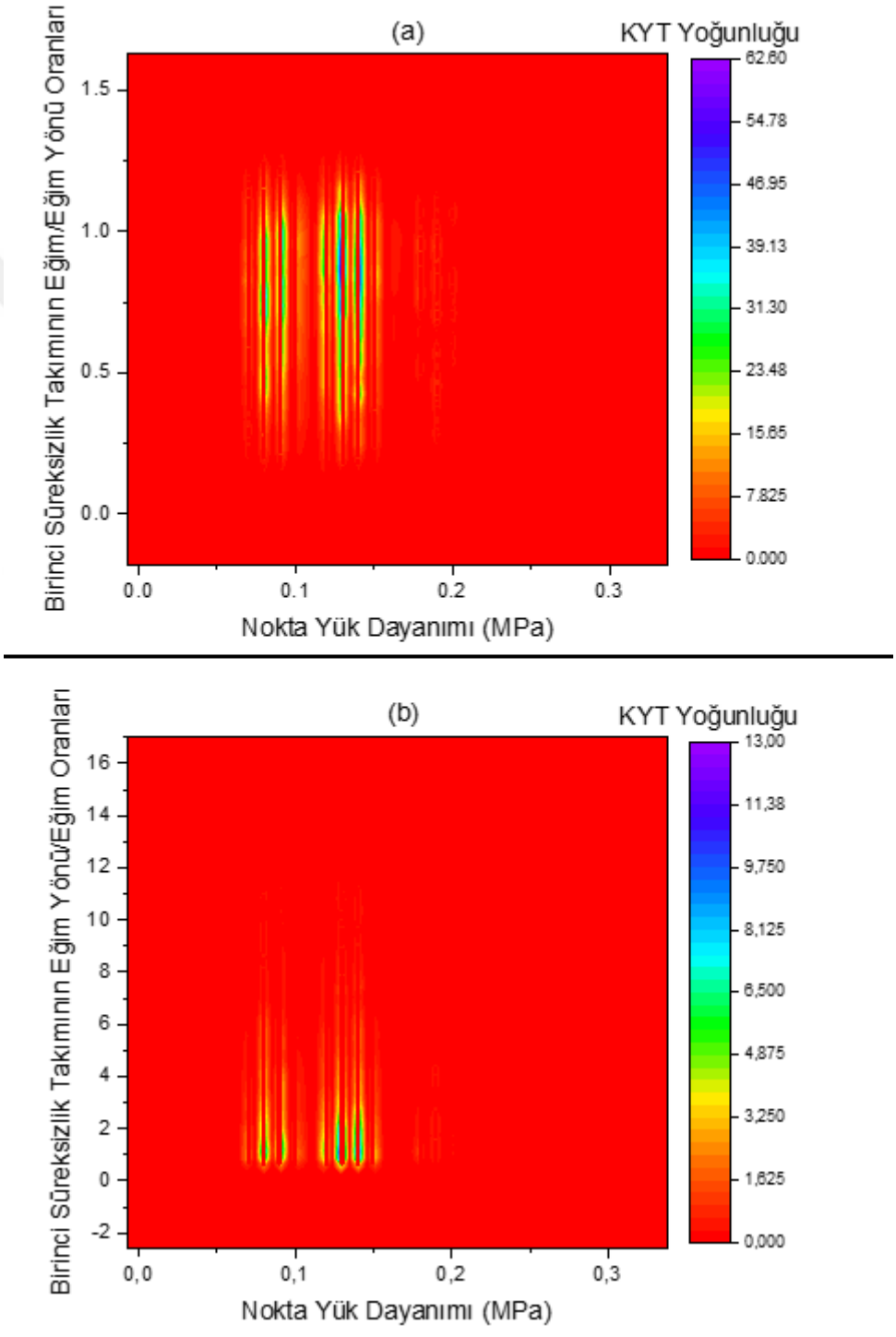
Ek 18. Kohezyon ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



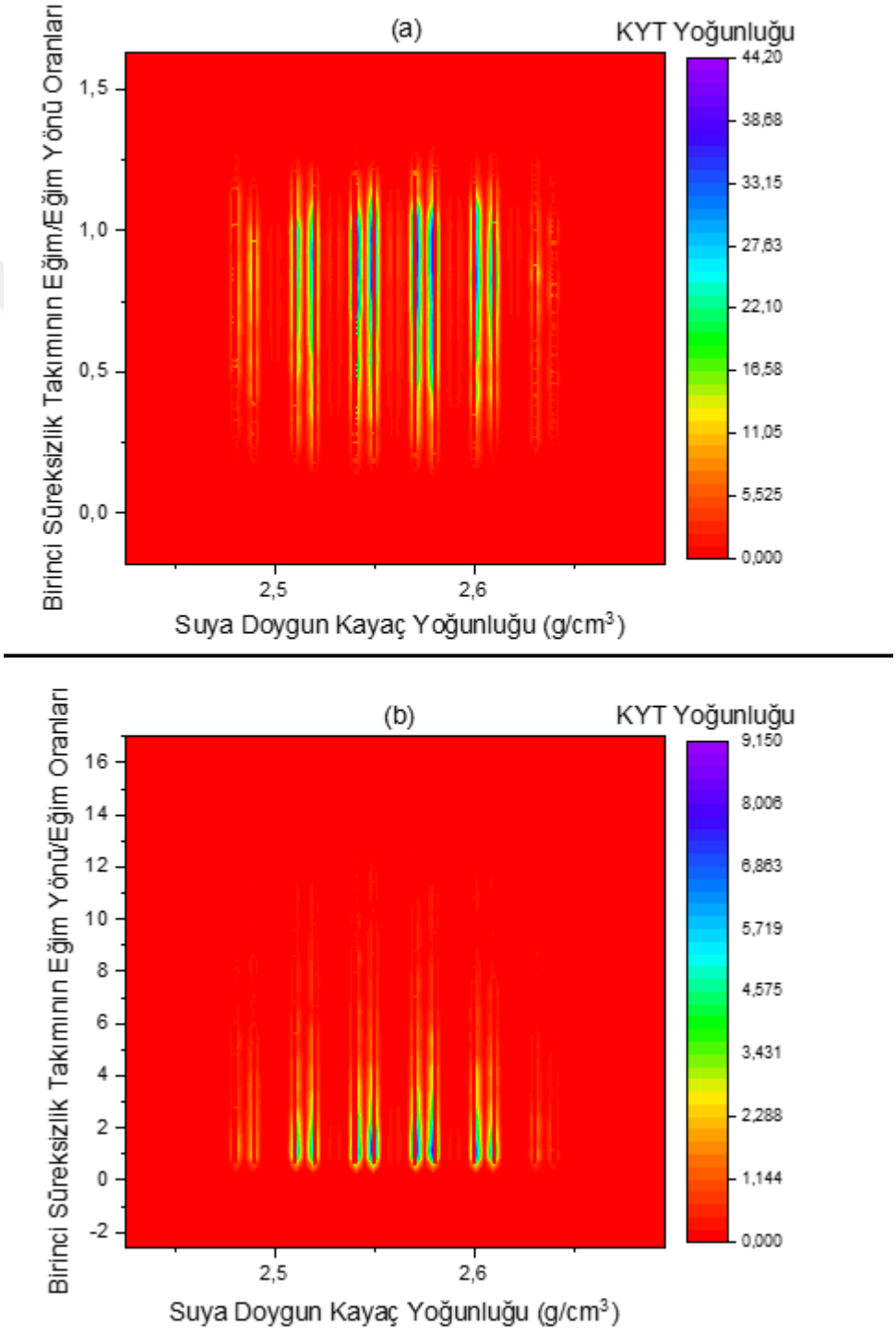
Ek 19. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



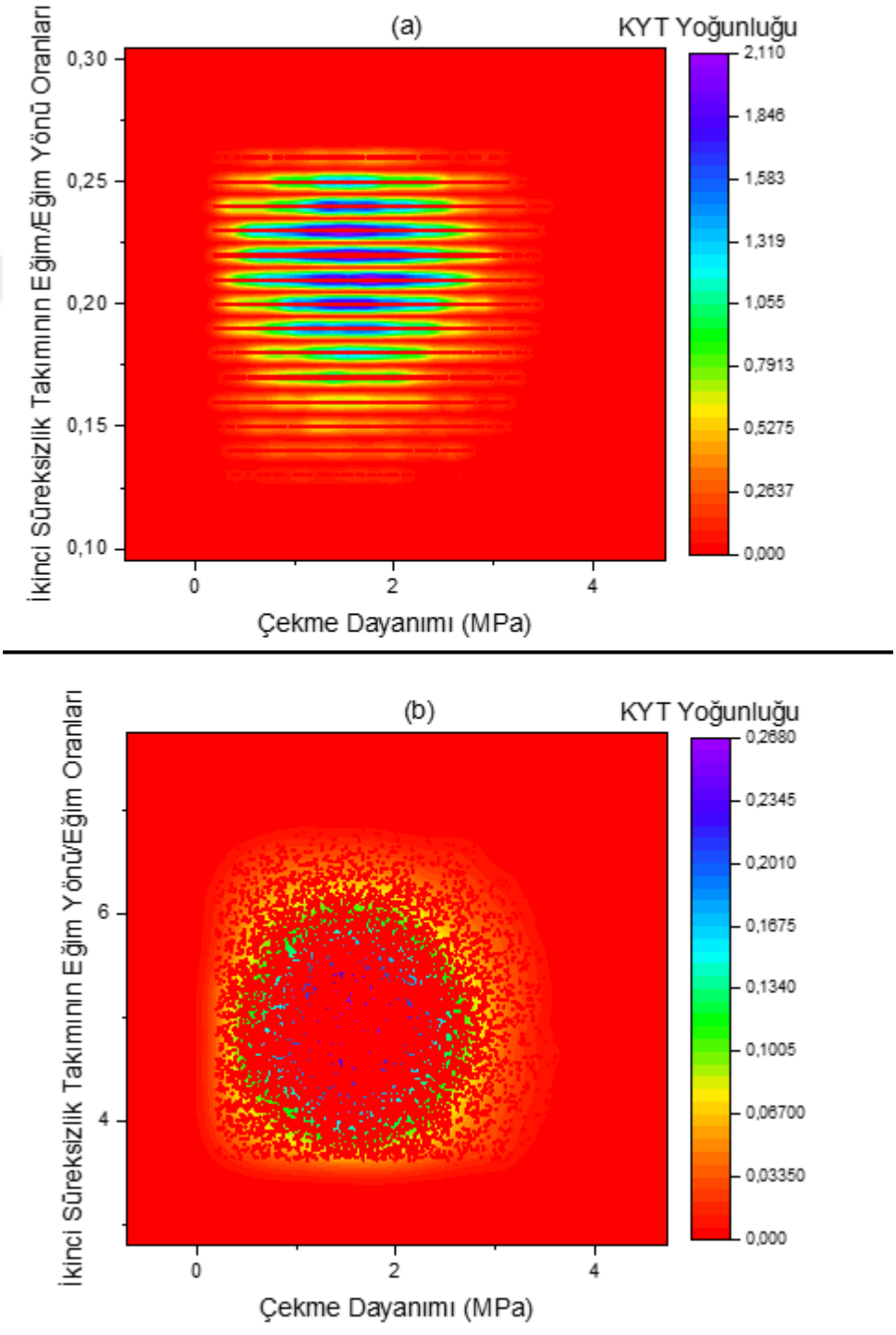
Ek 20. Nokta Yük Dayanımı ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



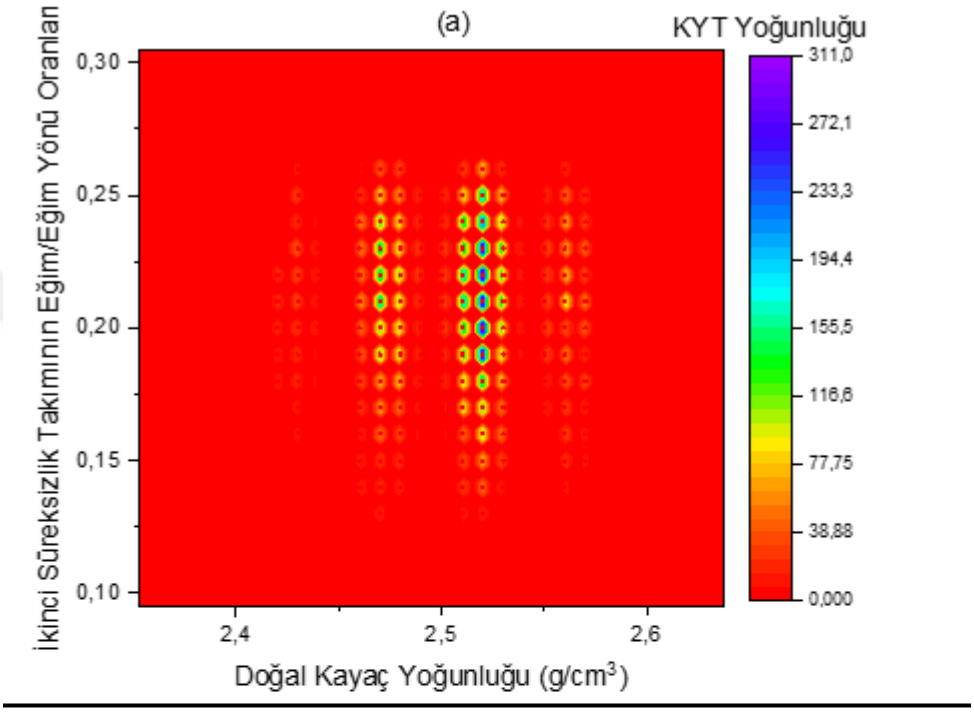
Ek 21. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile Birinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

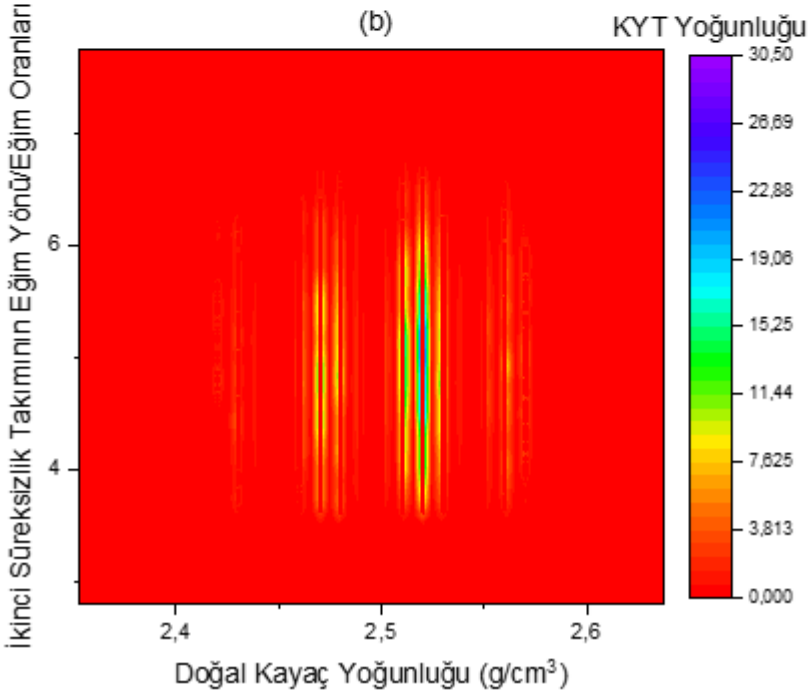


Ek 22. Çekme Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

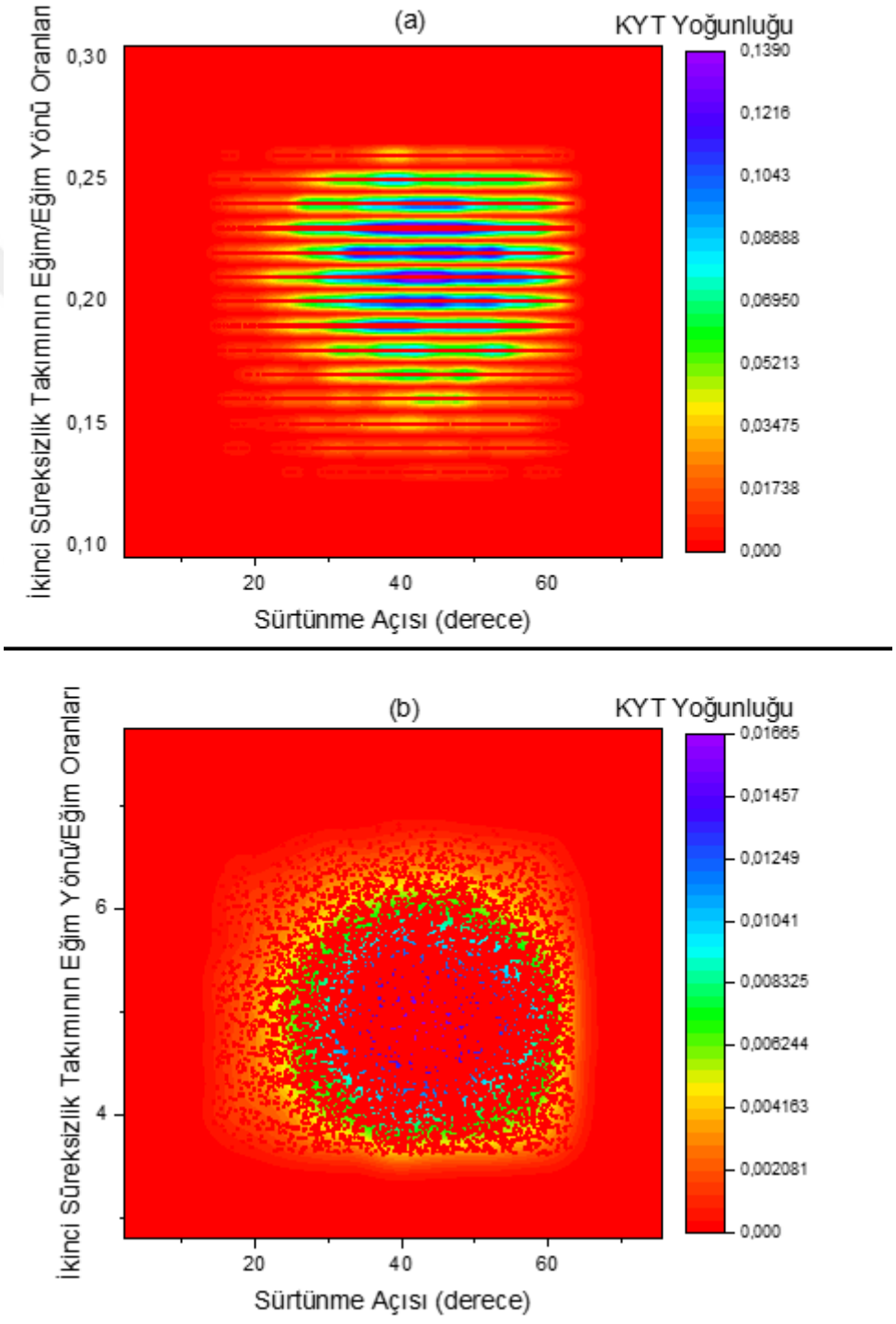


Ek 23. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

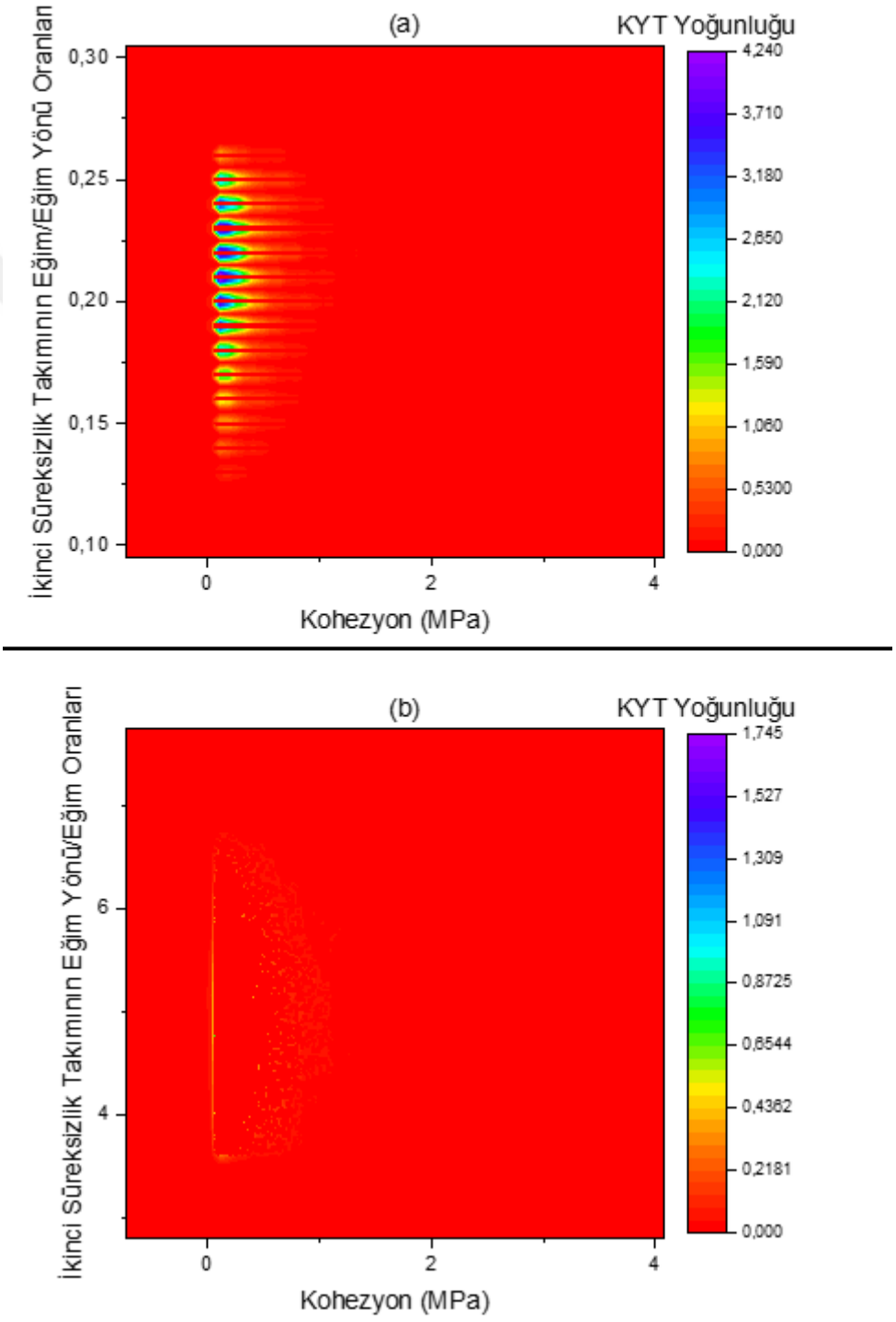




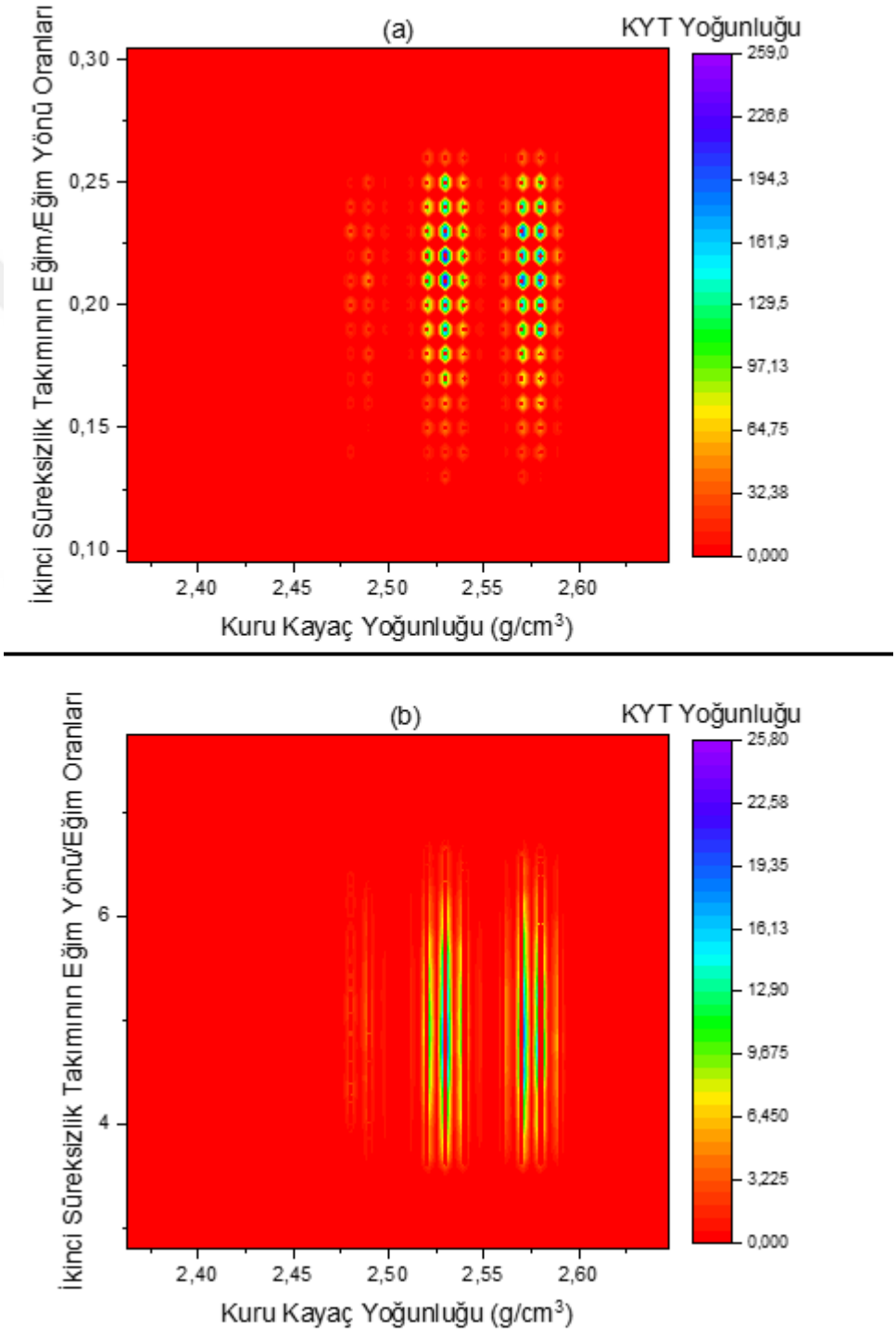
Ek 24. Sürtünme Açısı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



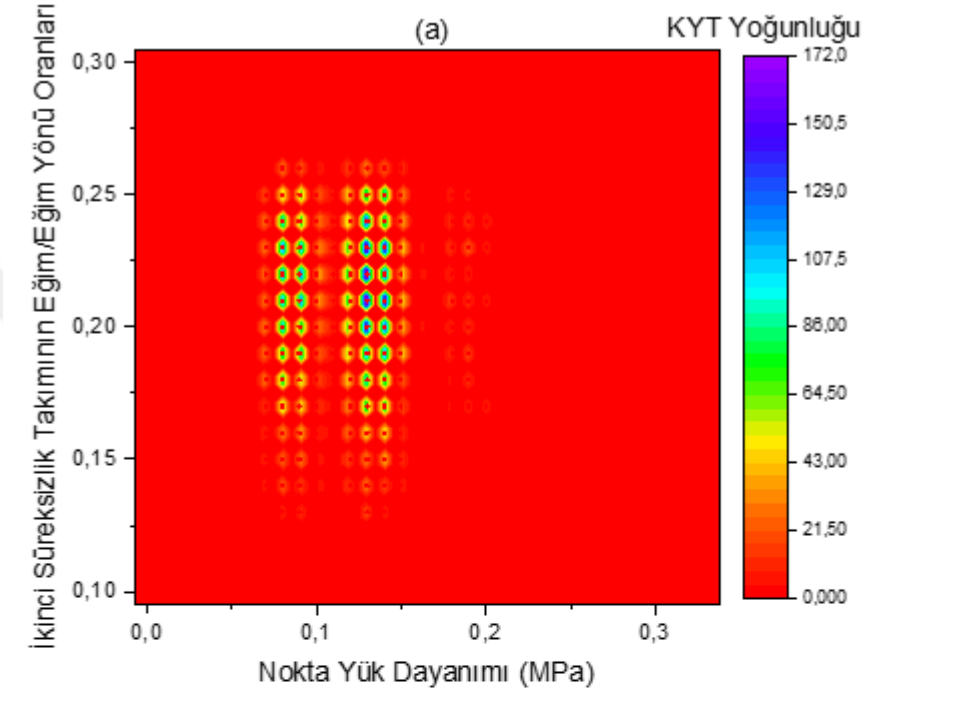
Ek 25. Kohezyon ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

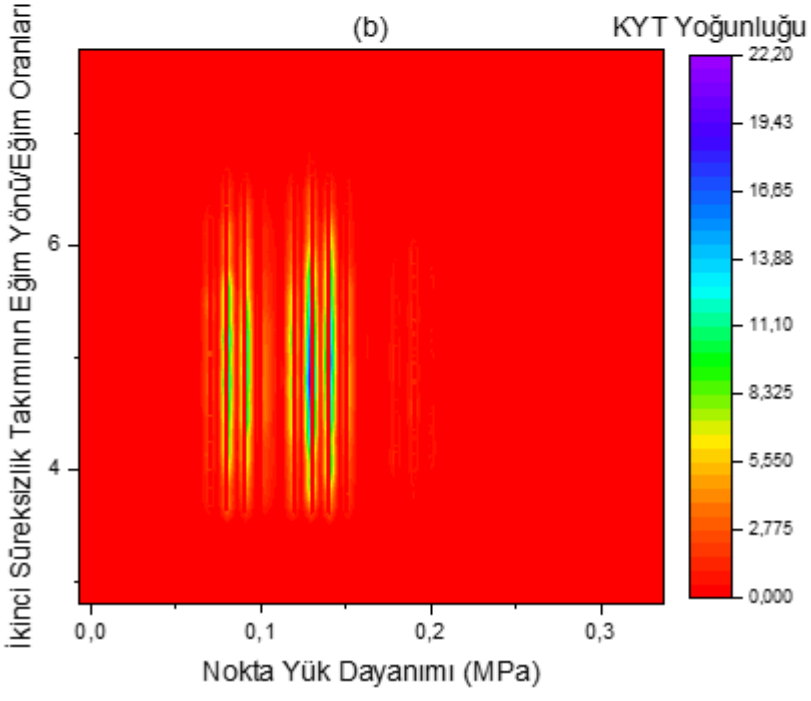


Ek 26. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

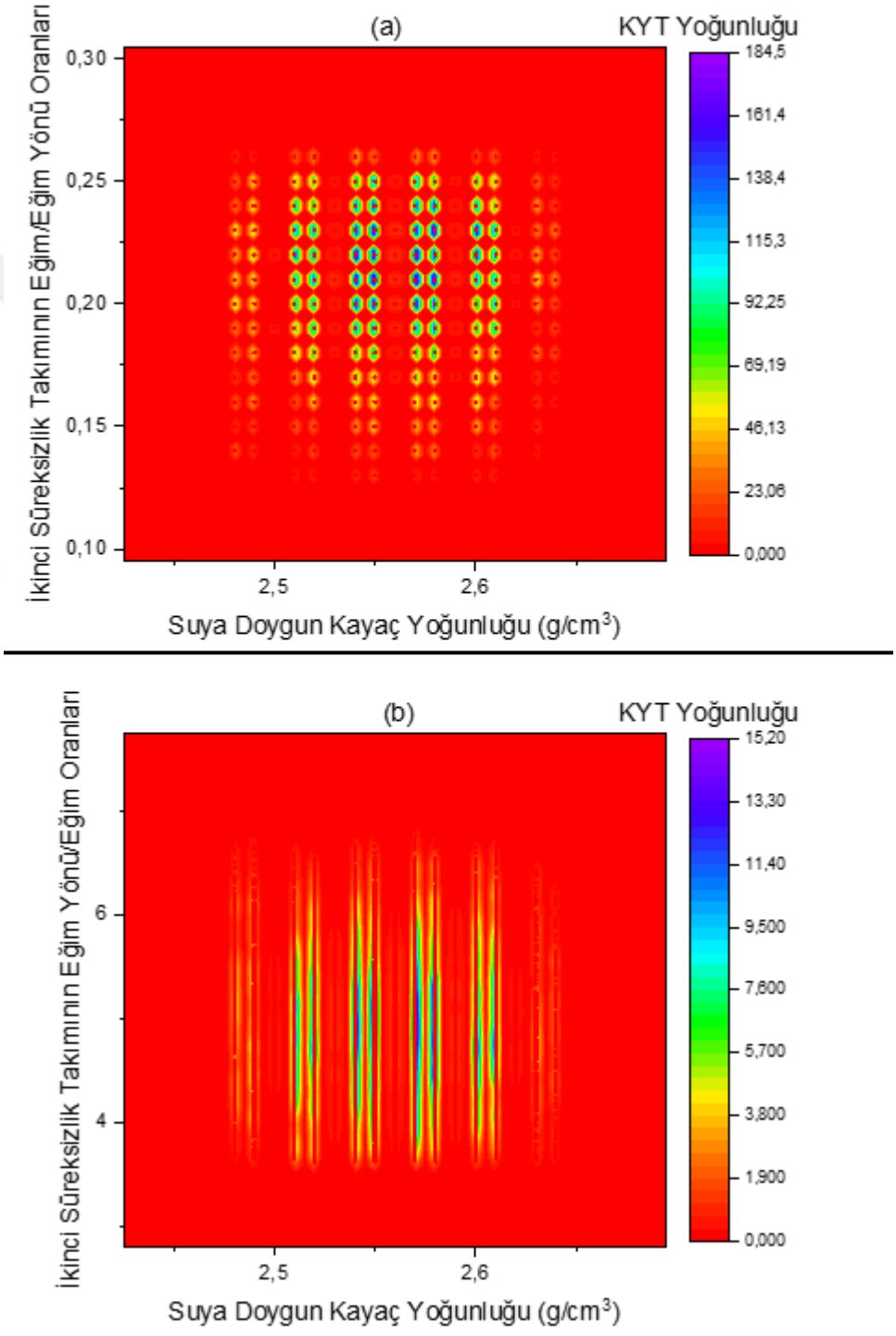


Ek 27. Nokta Yük Dayanımı ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

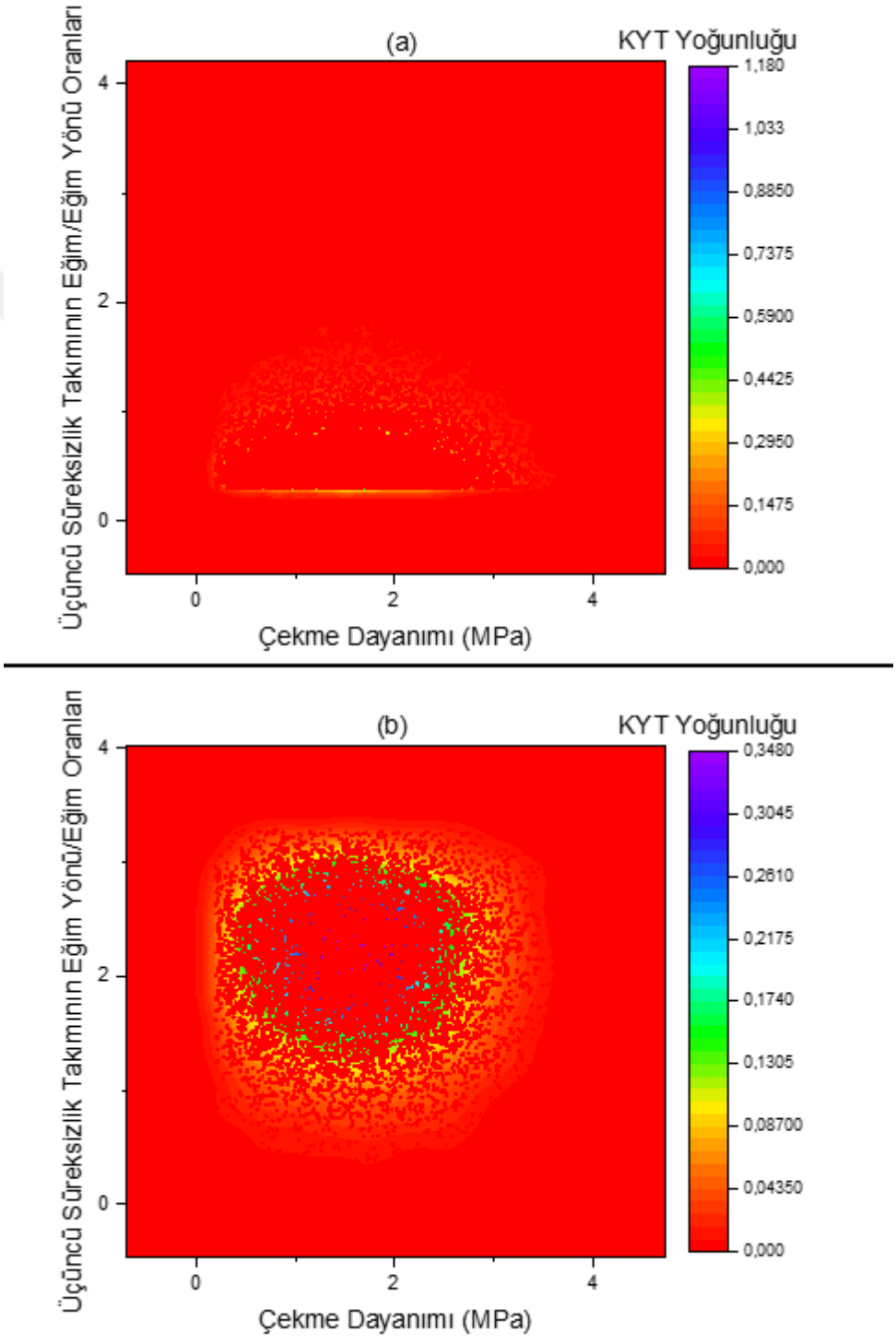




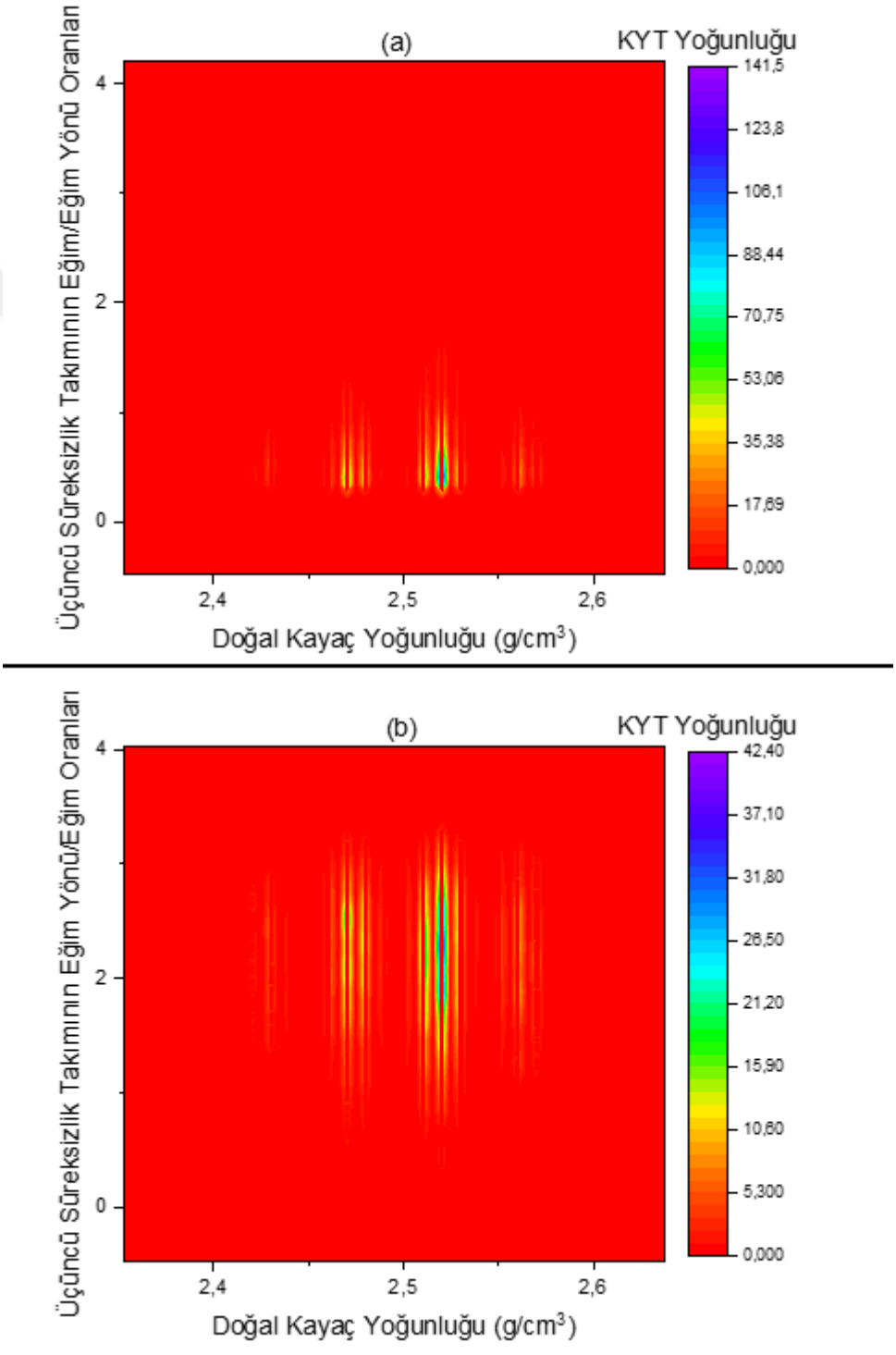
Ek 28. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile İkinci Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



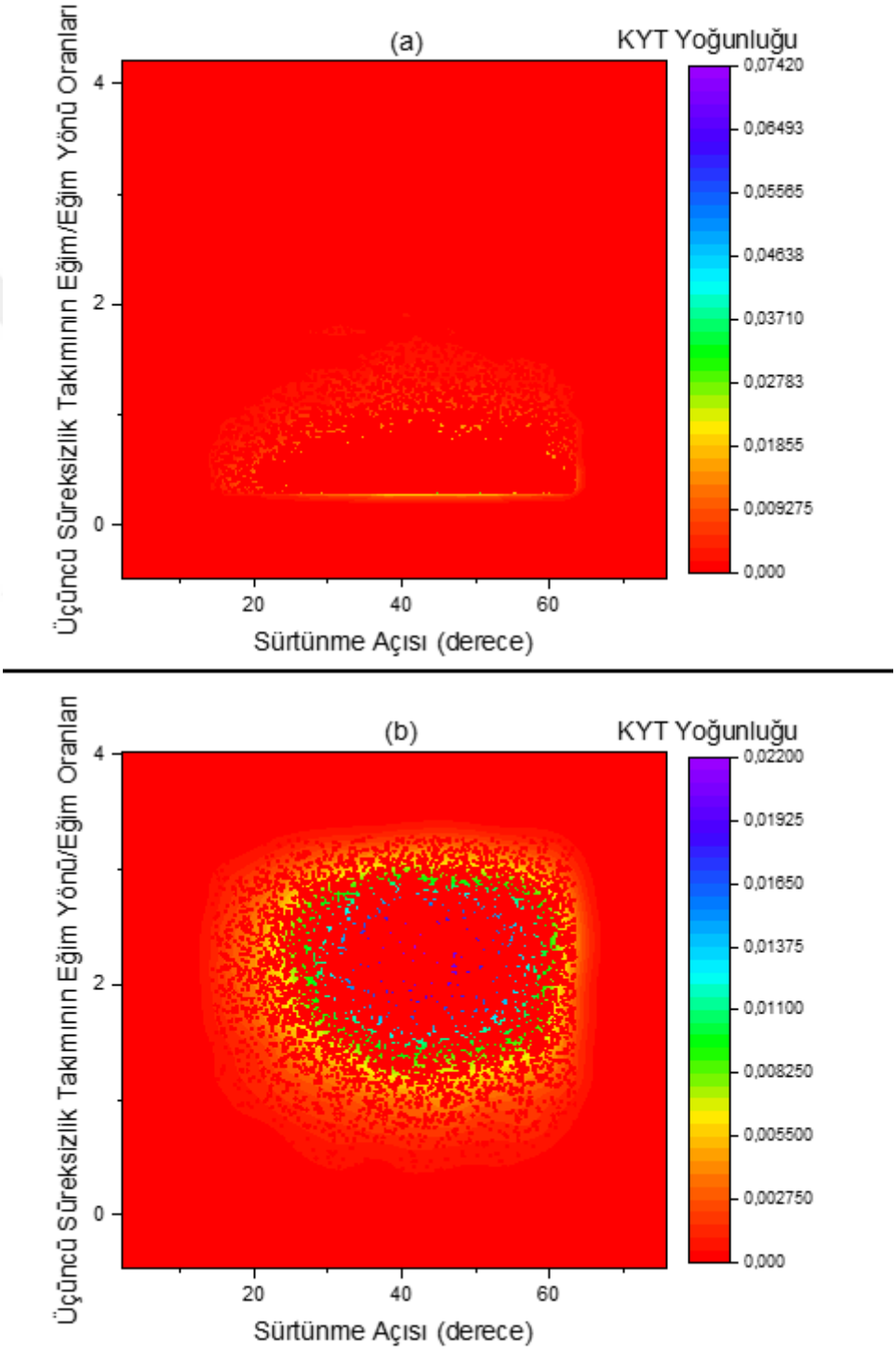
Ek 29. Çekme Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



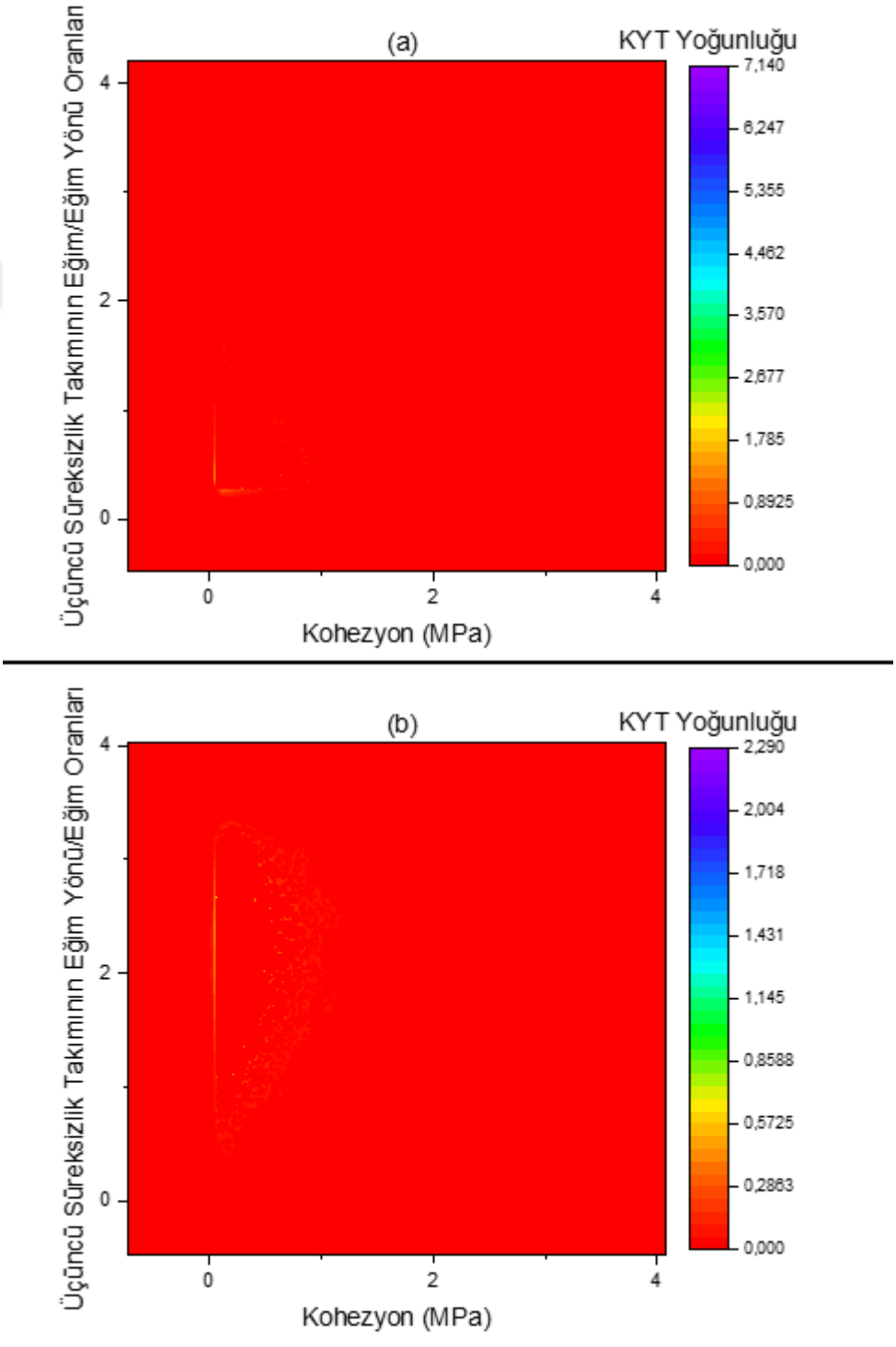
Ek 30. Doğal Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



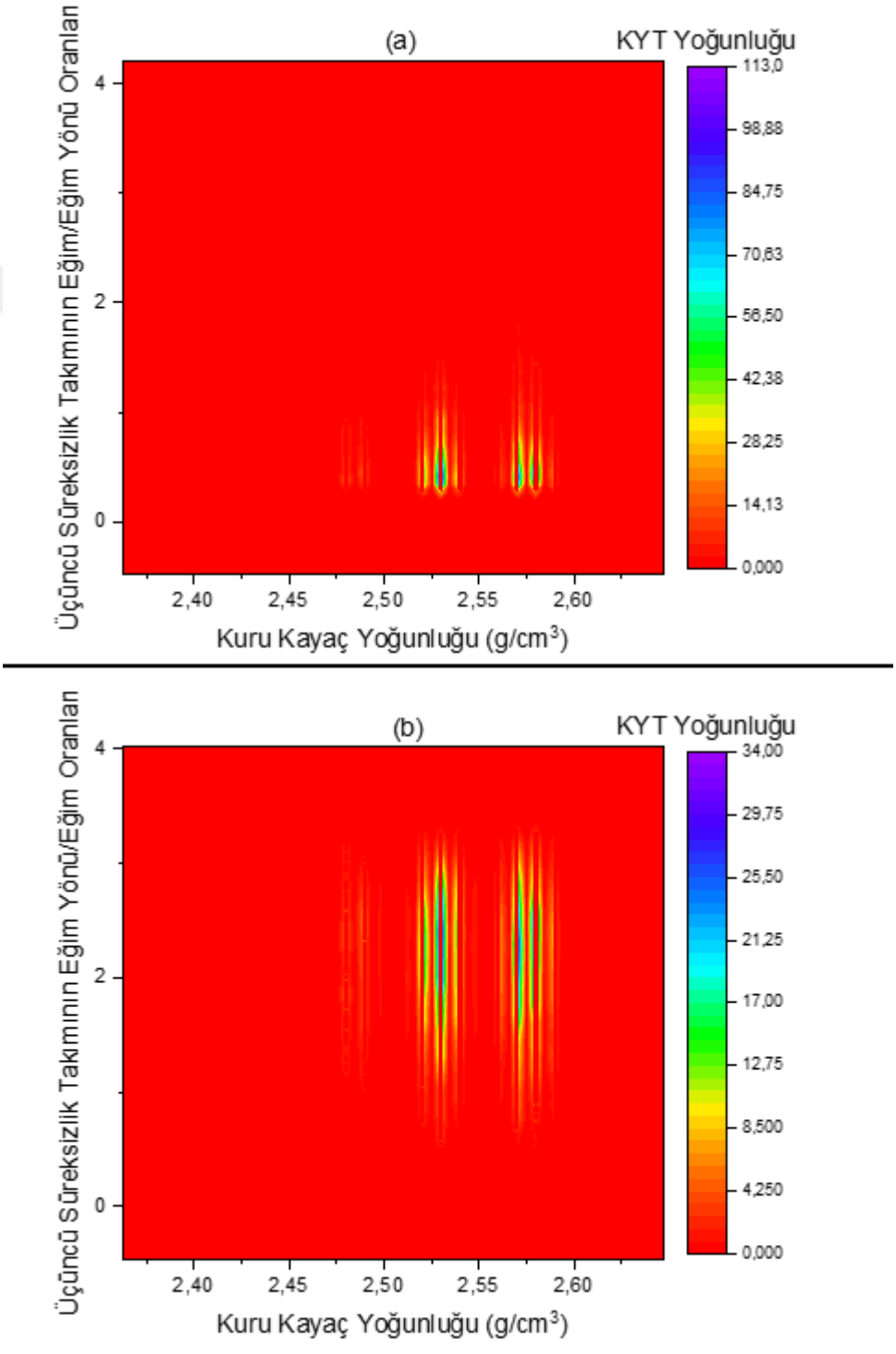
Ek 31. Sürtünme Açısı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



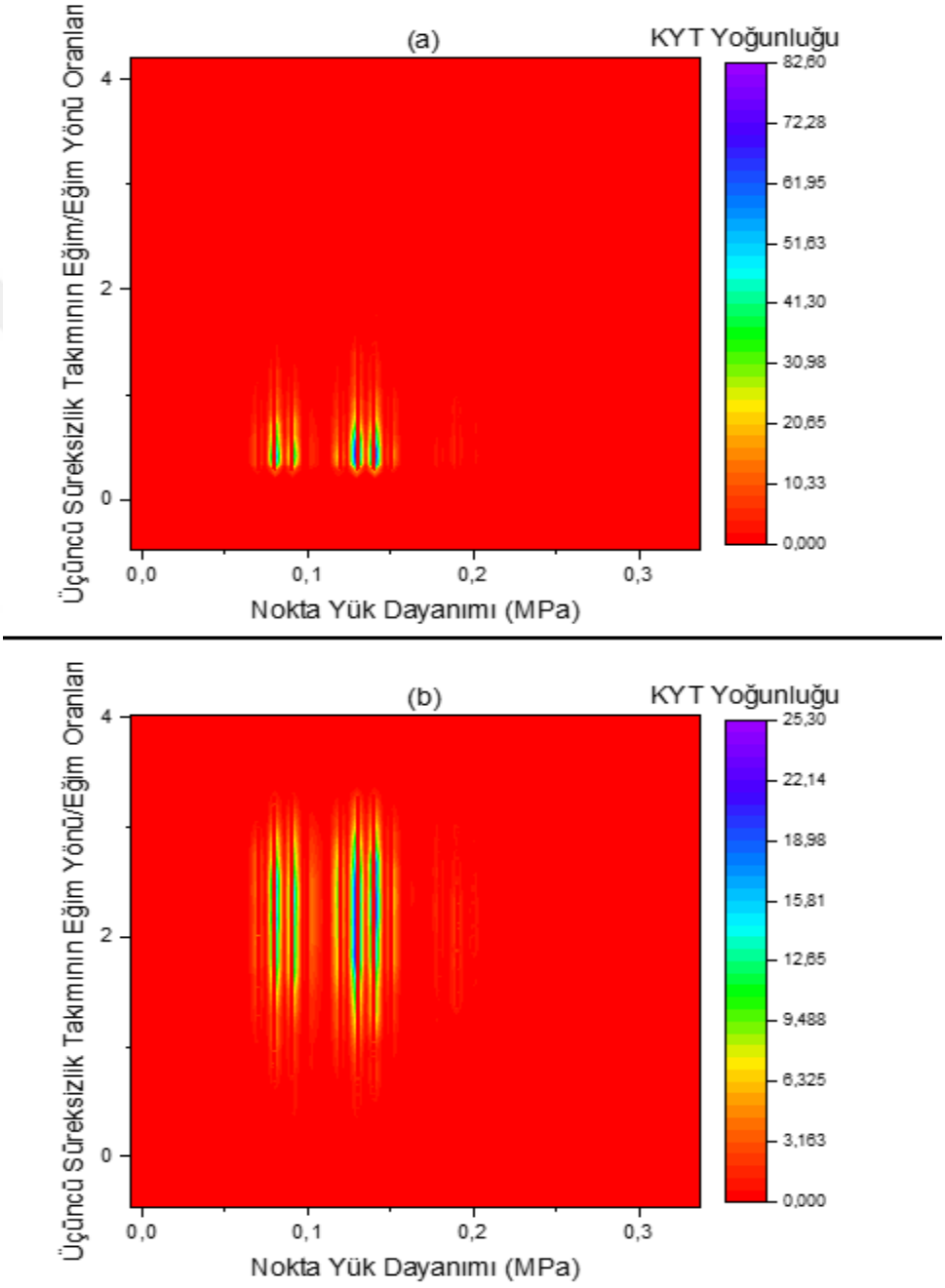
Ek 32. Kohezyon ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



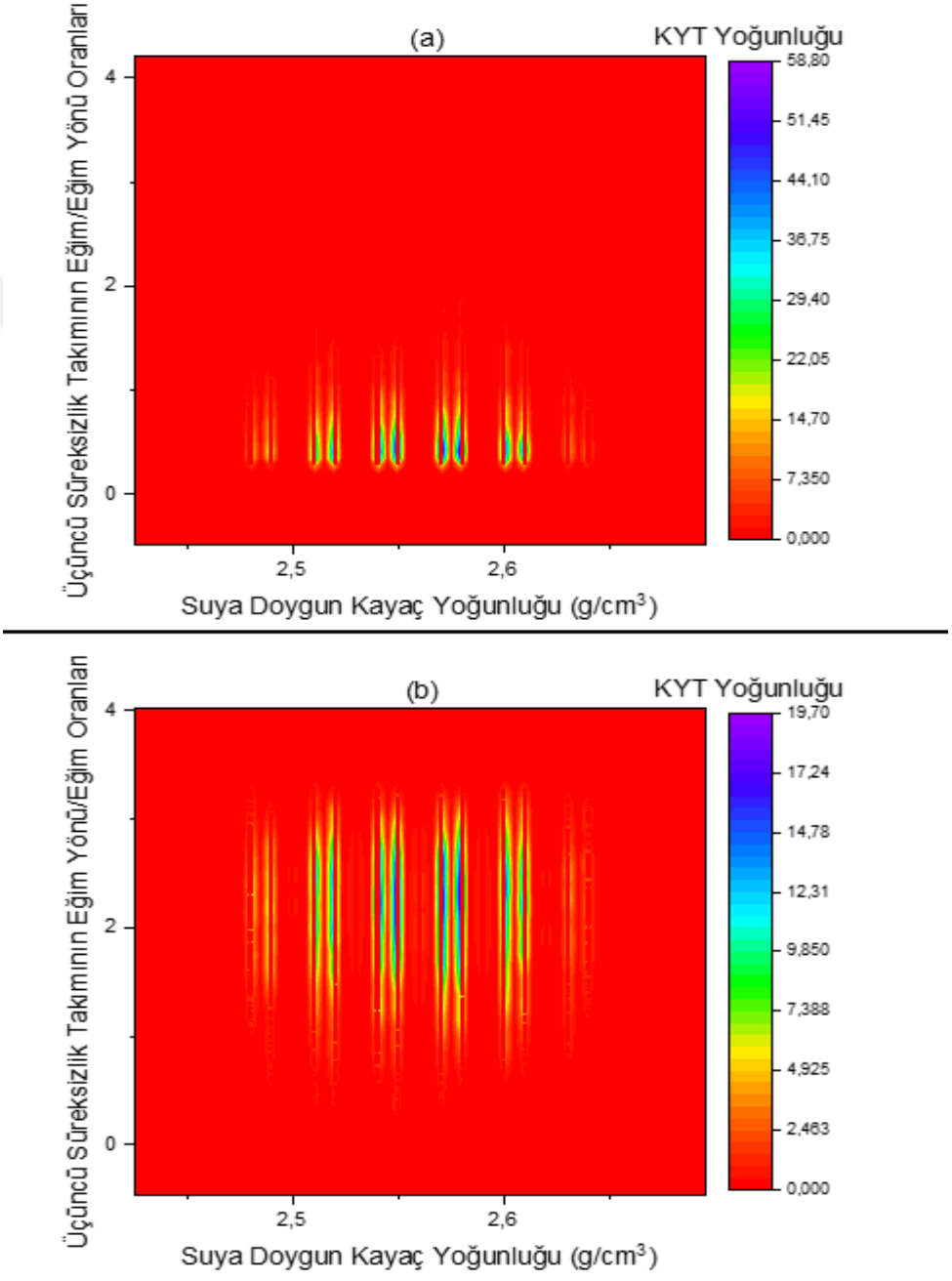
Ek 33. Kuru Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



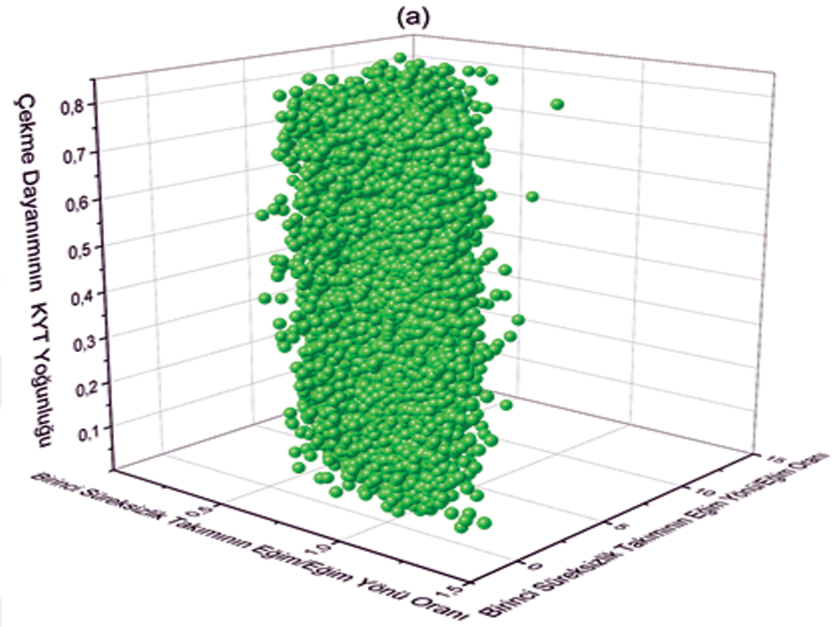
Ek 34. Nokta Yük Dayanımı ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

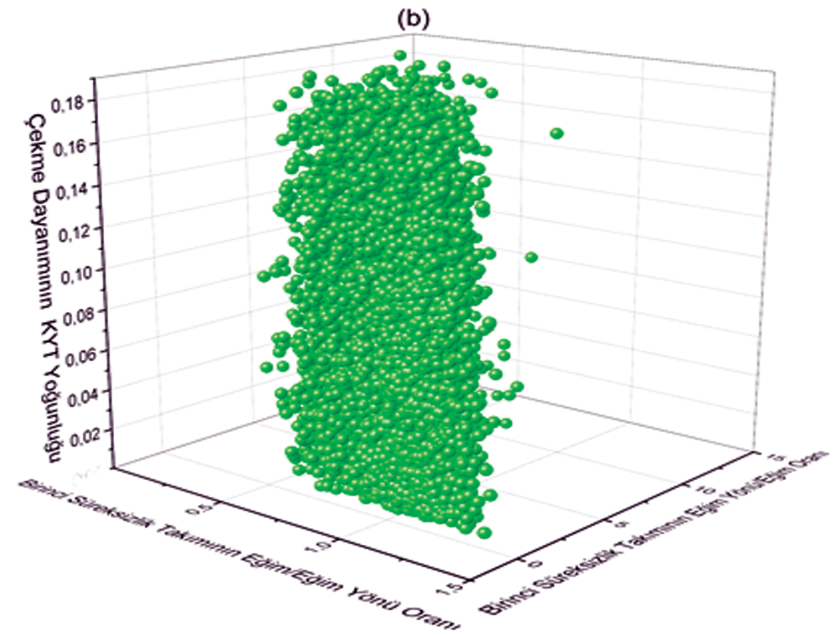


Ek 35. Suya Doygun Kayaç Yoğunluğu ile Üçüncü Süreksizlik Takımının Eğim/Eğim Yönü ve Eğim Yönü/Eğim Oranlarının 2B AKYT Analizleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

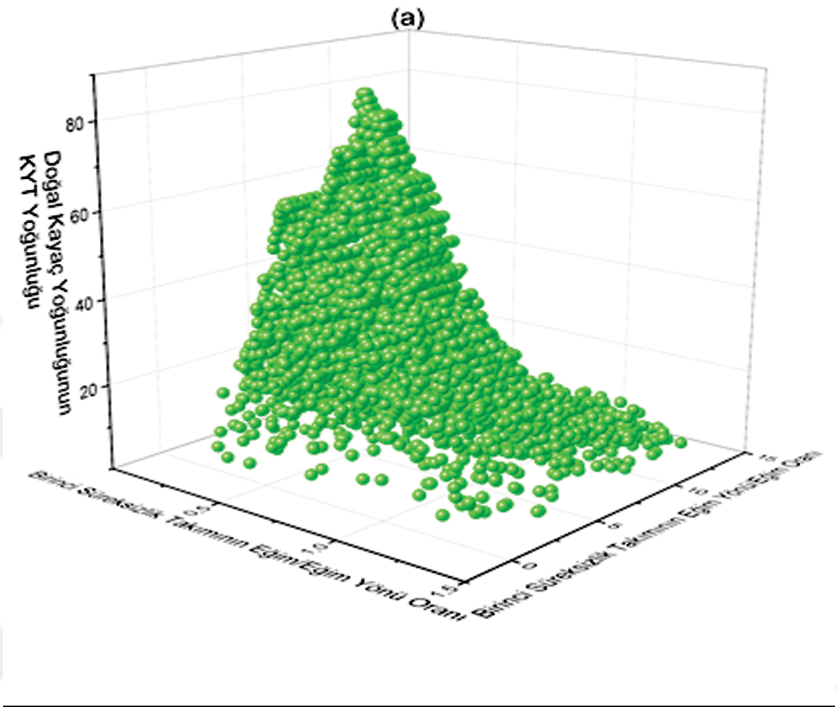


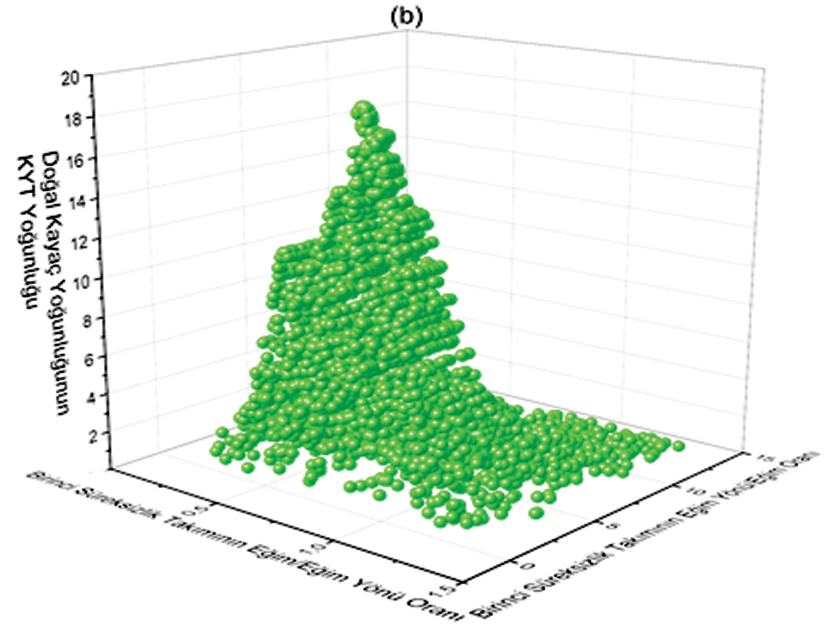
Ek 36. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



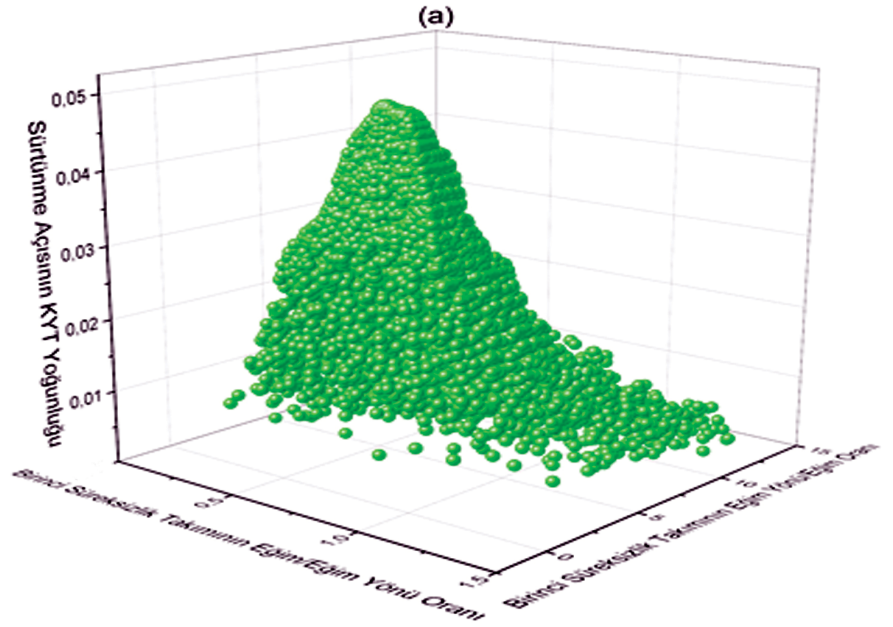


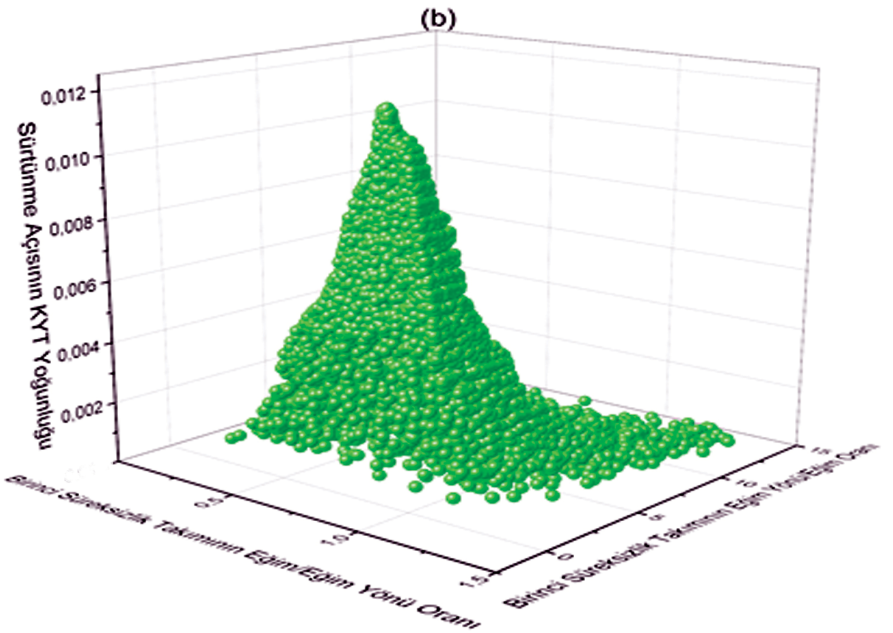
Ek 37. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



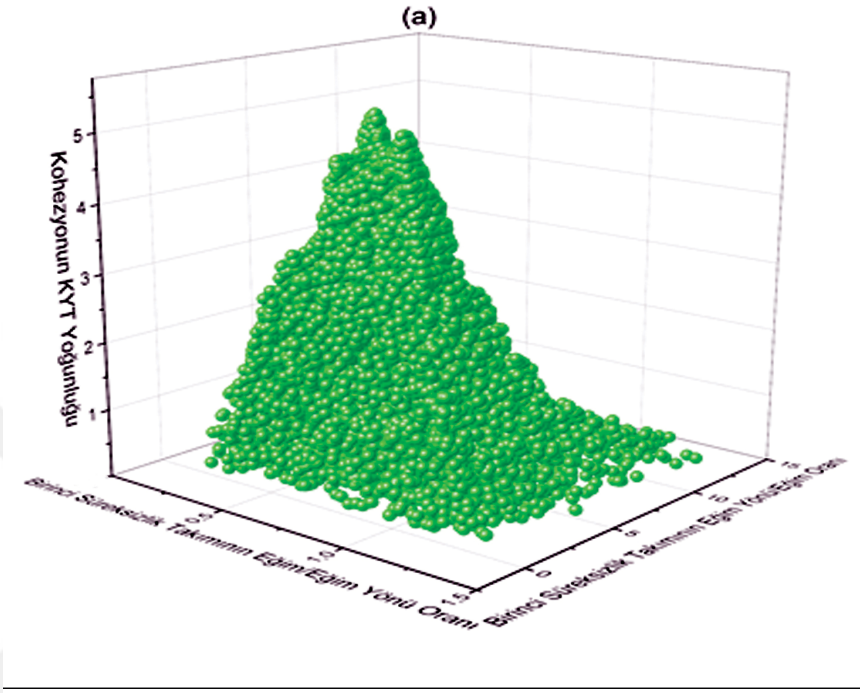


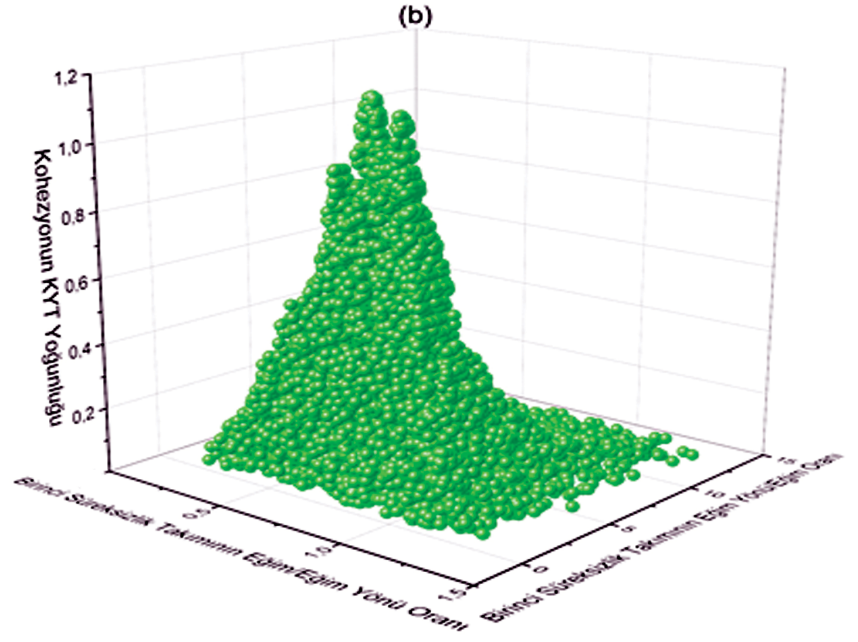
Ek 38. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



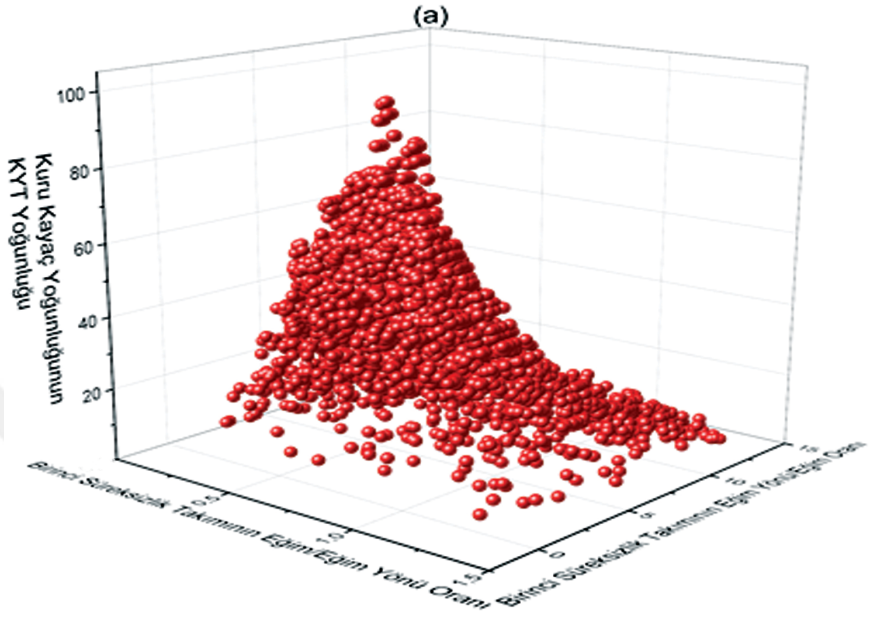


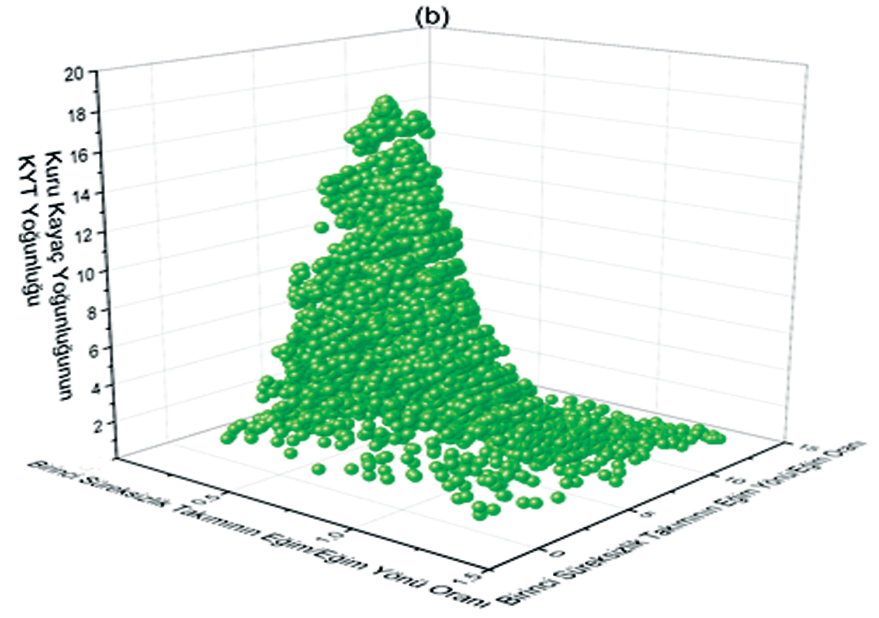
Ek 39. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



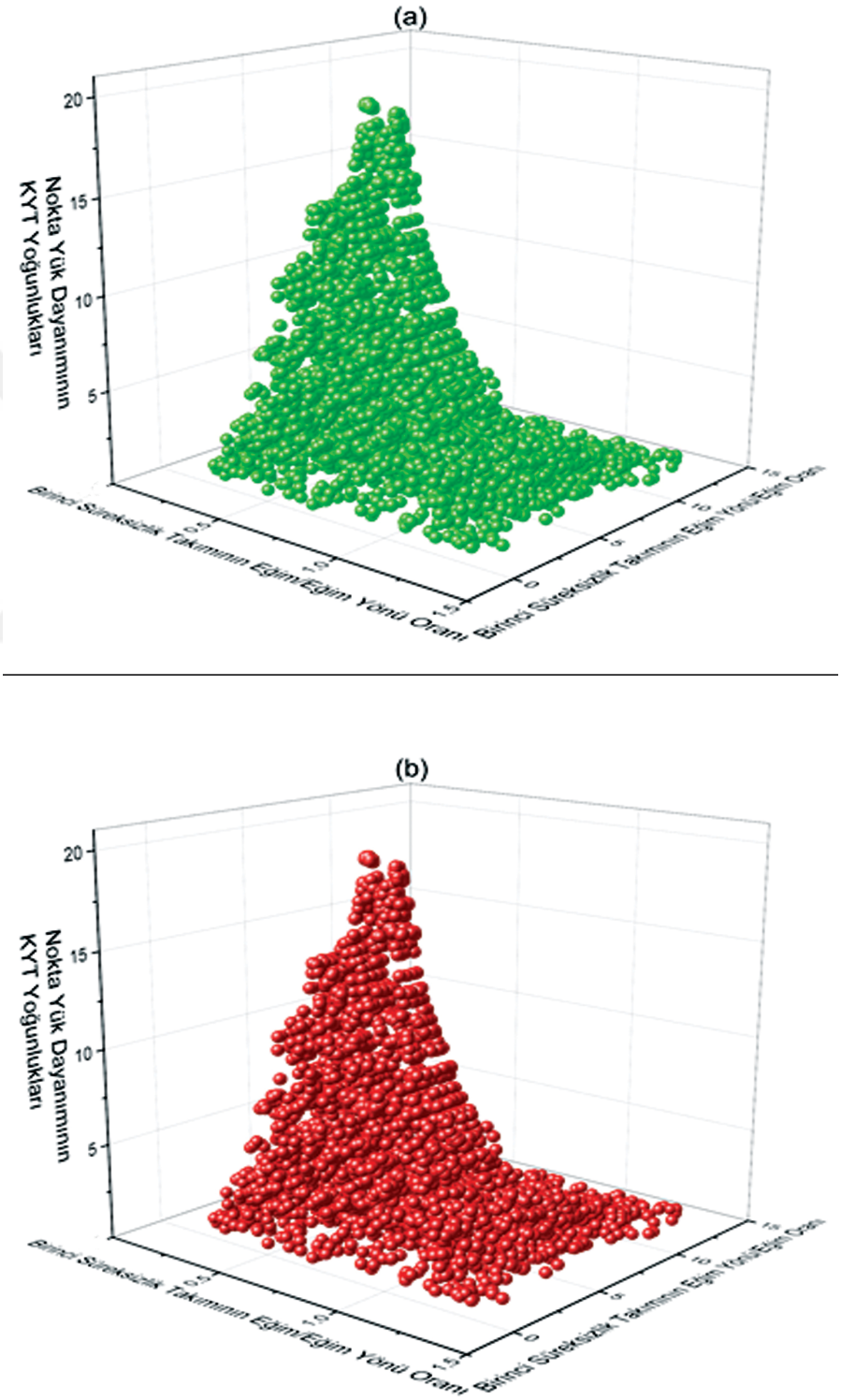


Ek 40. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

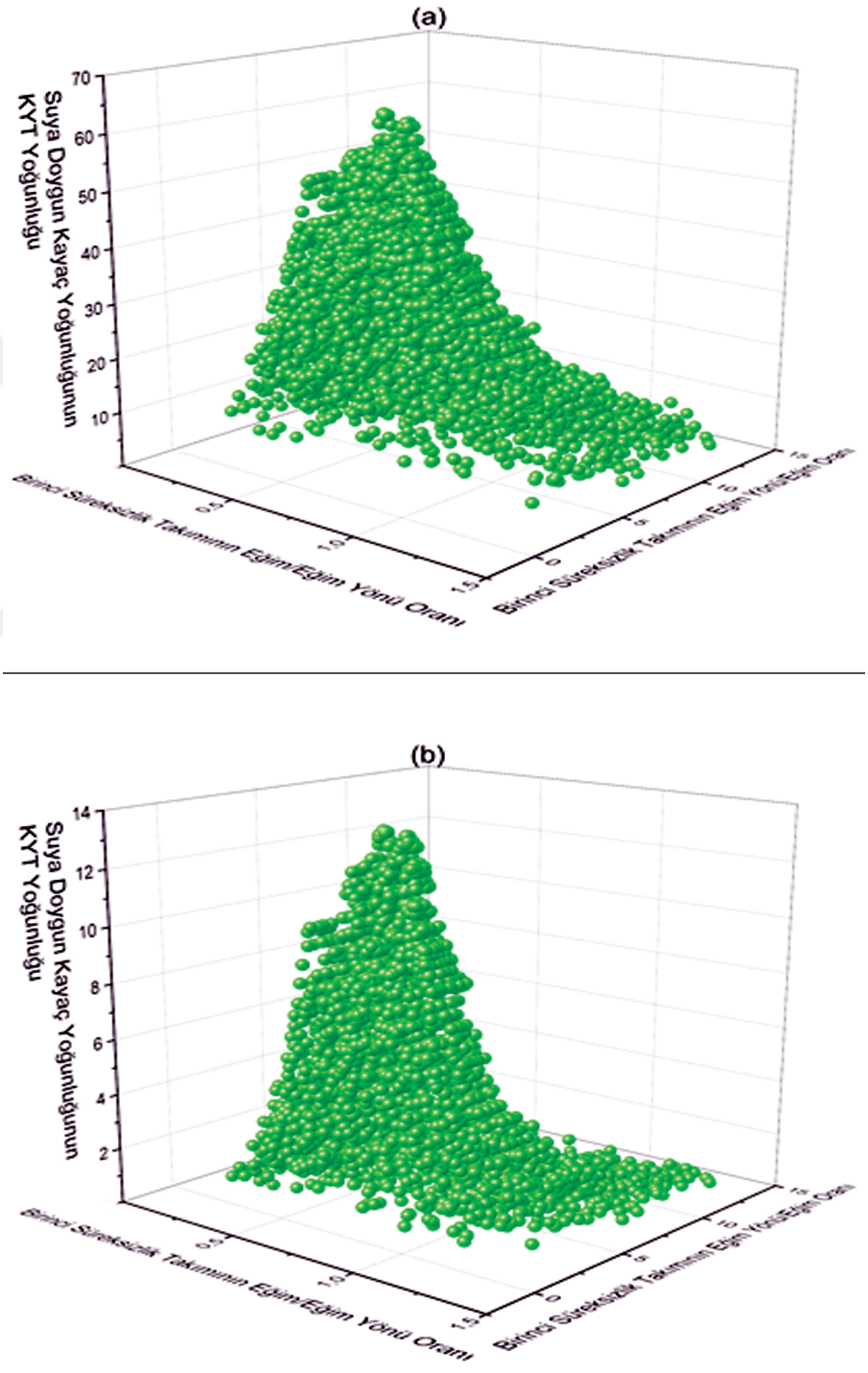




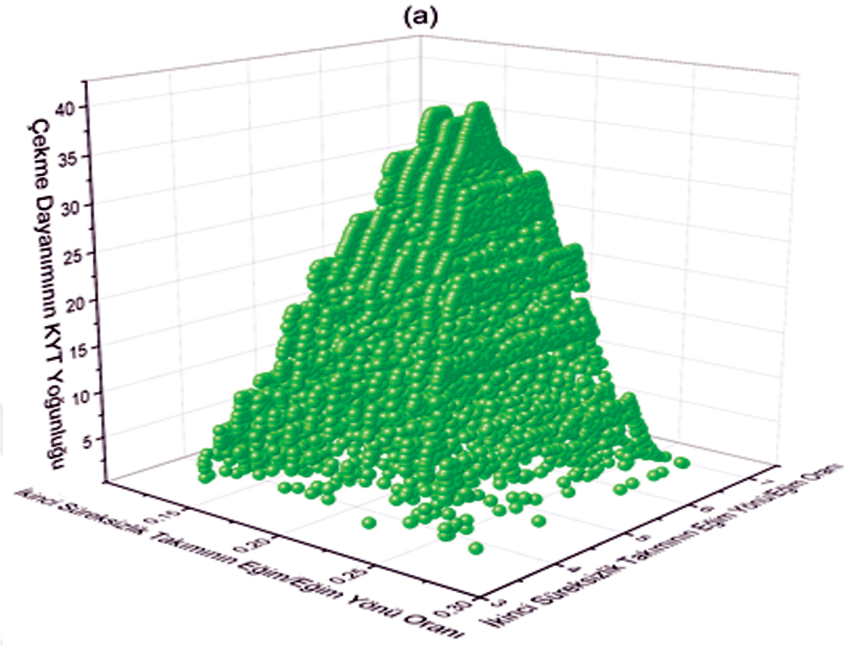
Ek 41. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

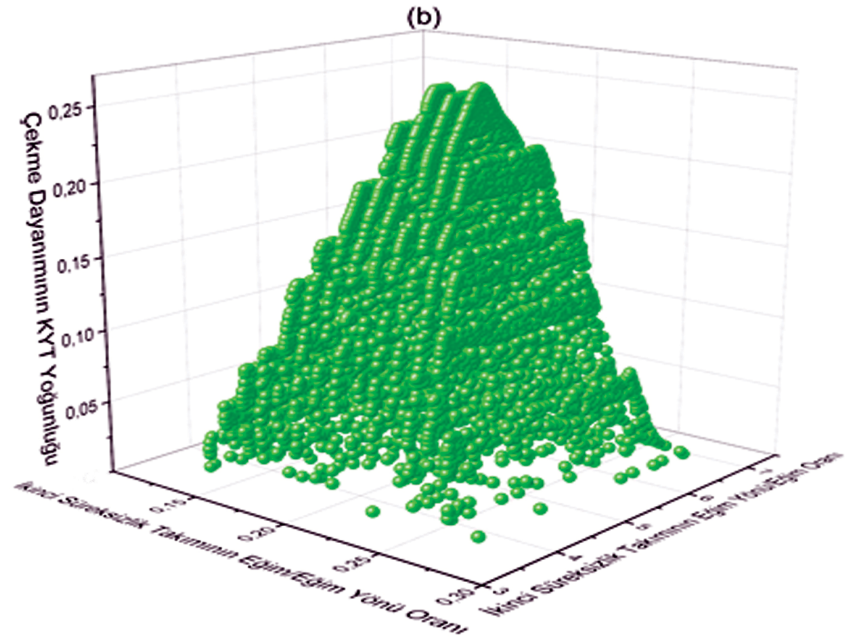


Ek 42. Manipüle Edilmiş Birinci Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

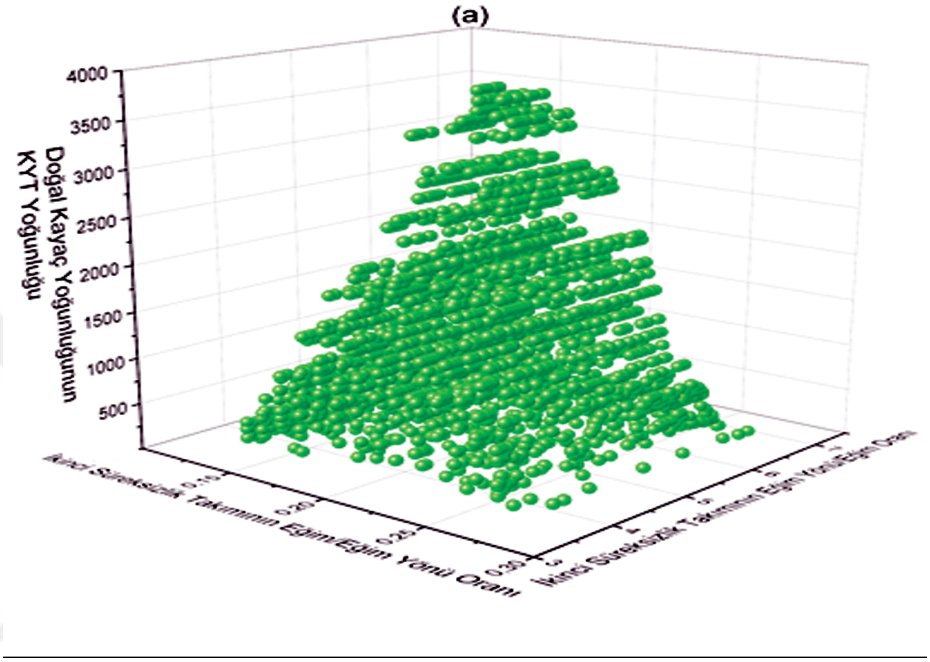


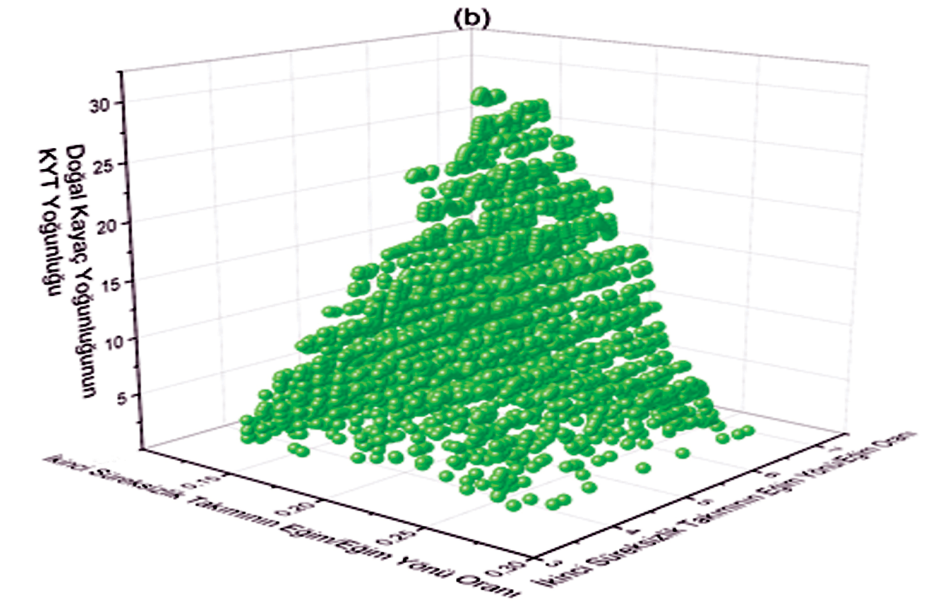
Ek 43. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



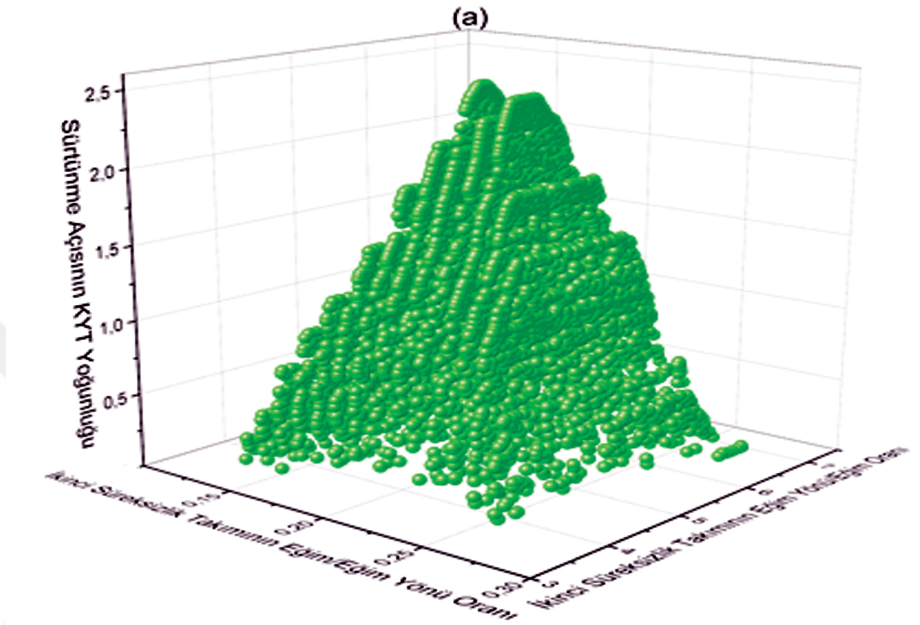


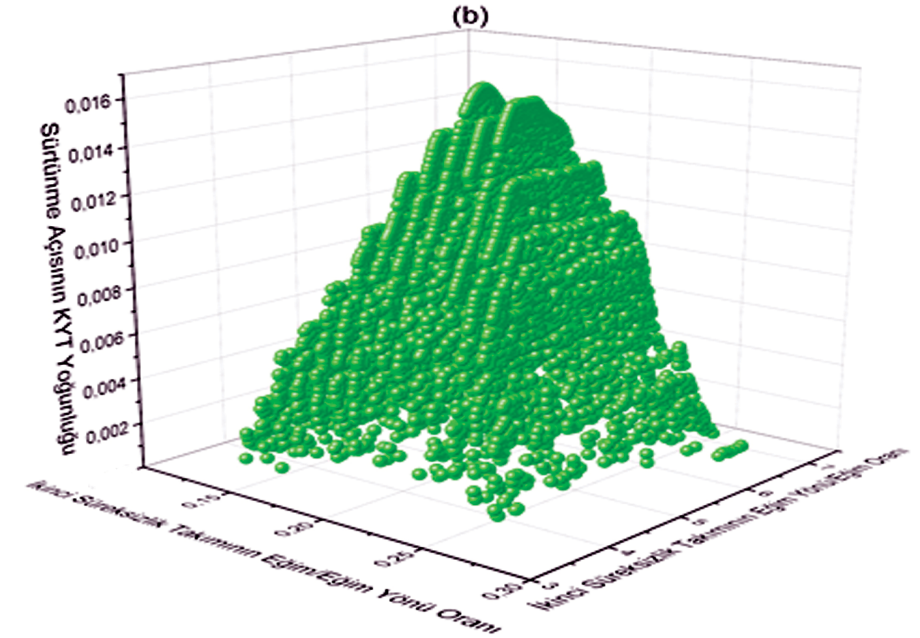
Ek 44. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



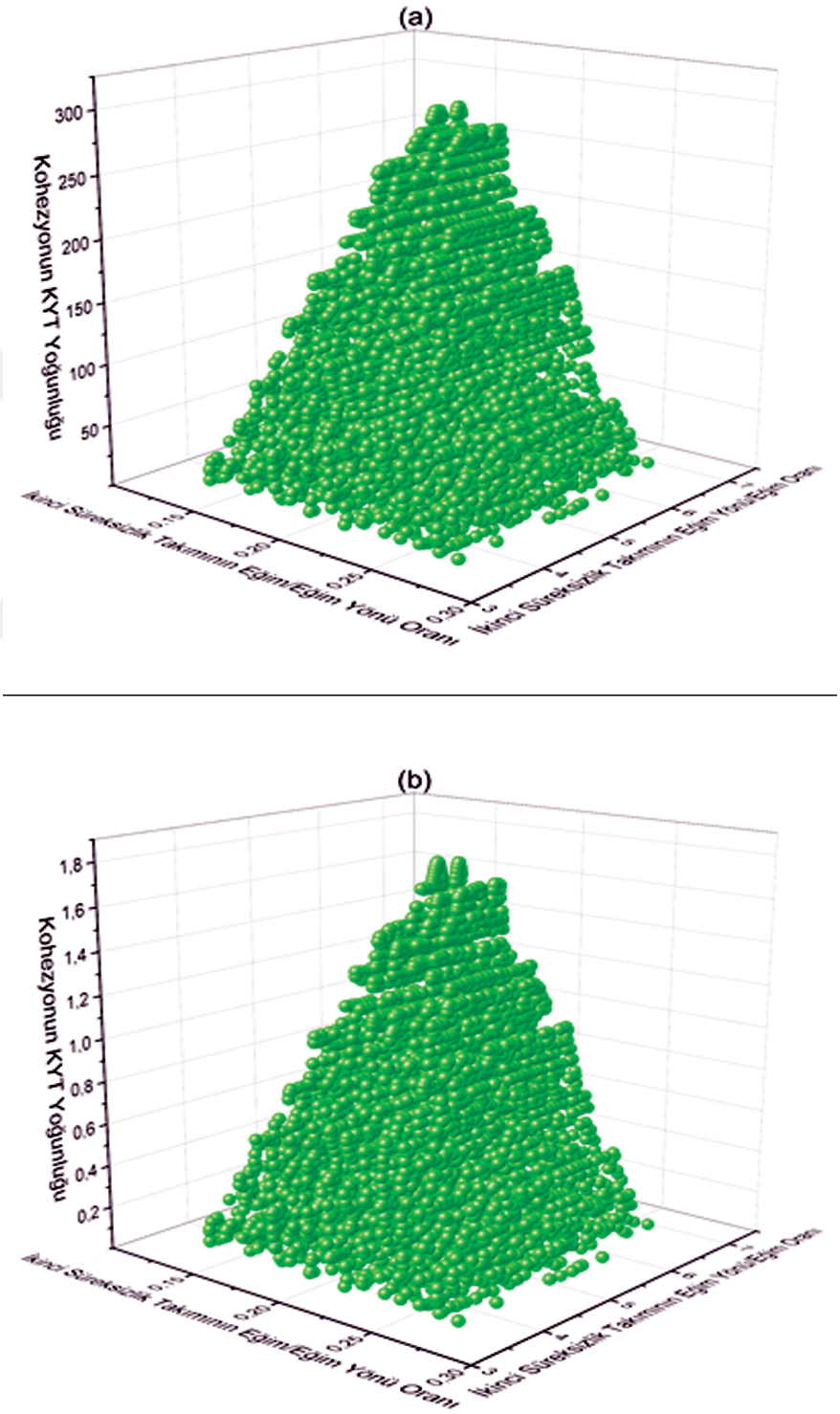


Ek 45. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

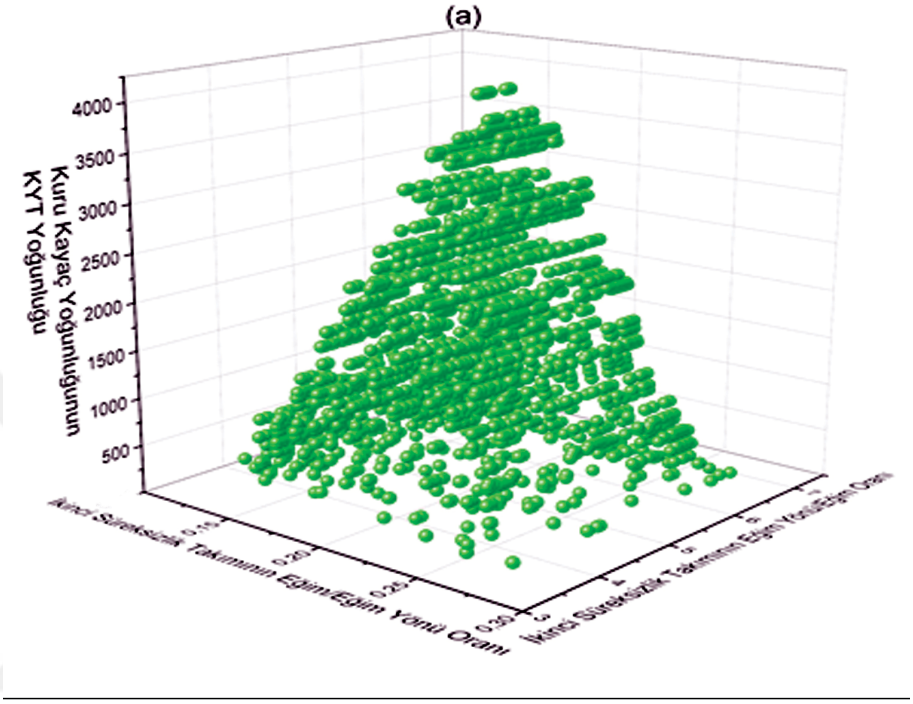


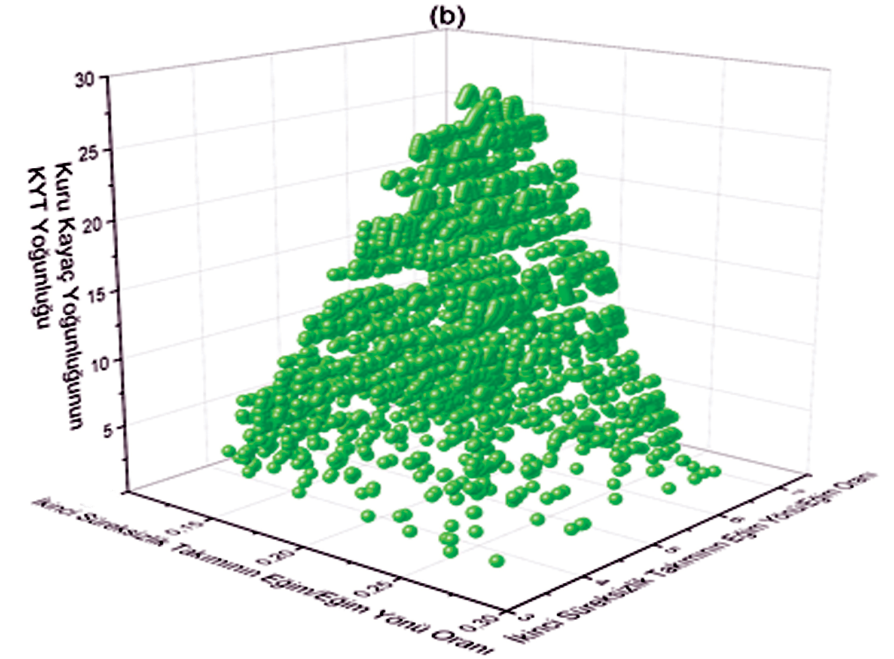


Ek 46. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

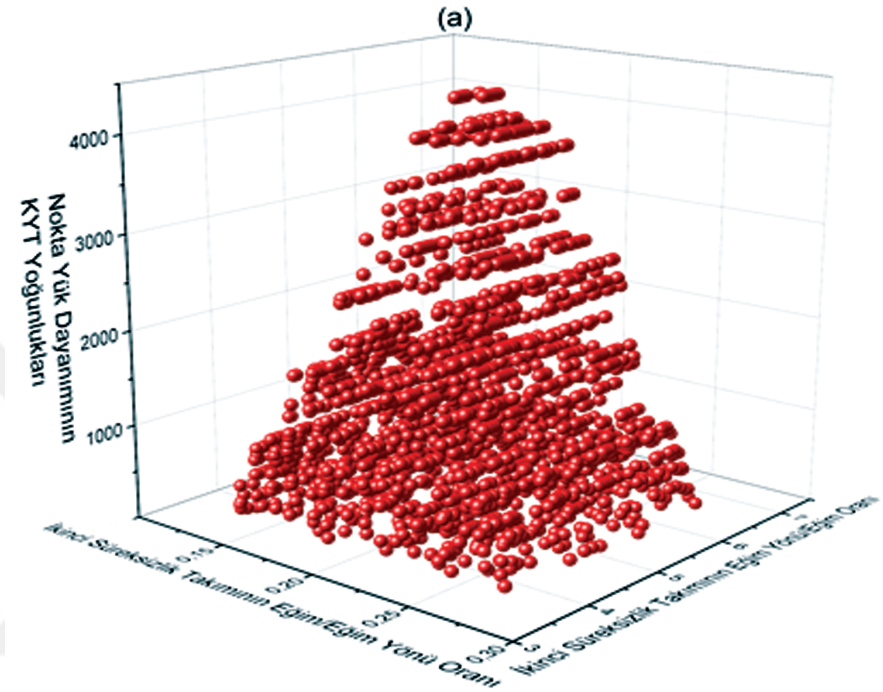


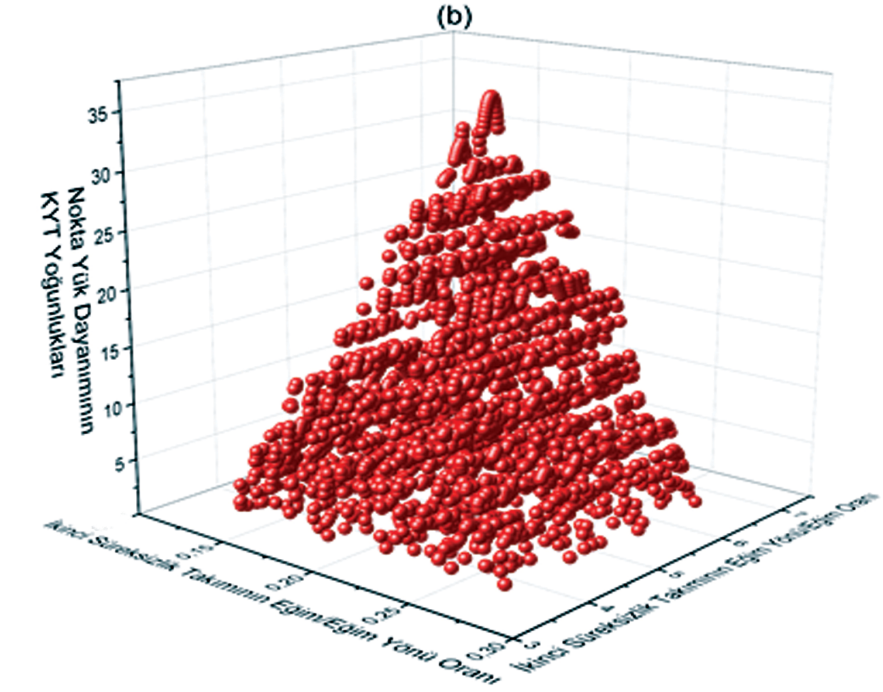
Ek 47. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



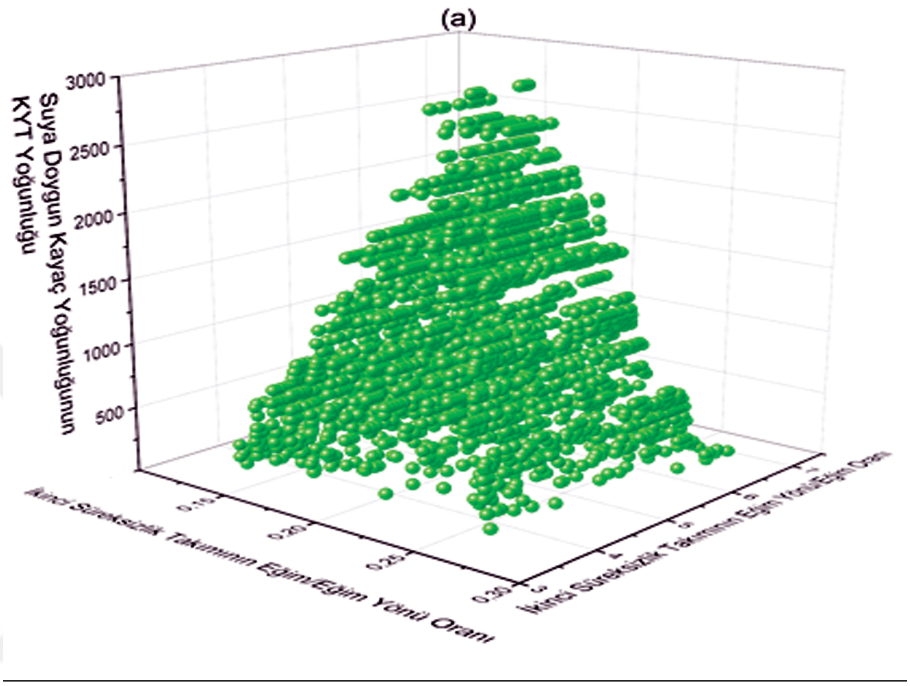


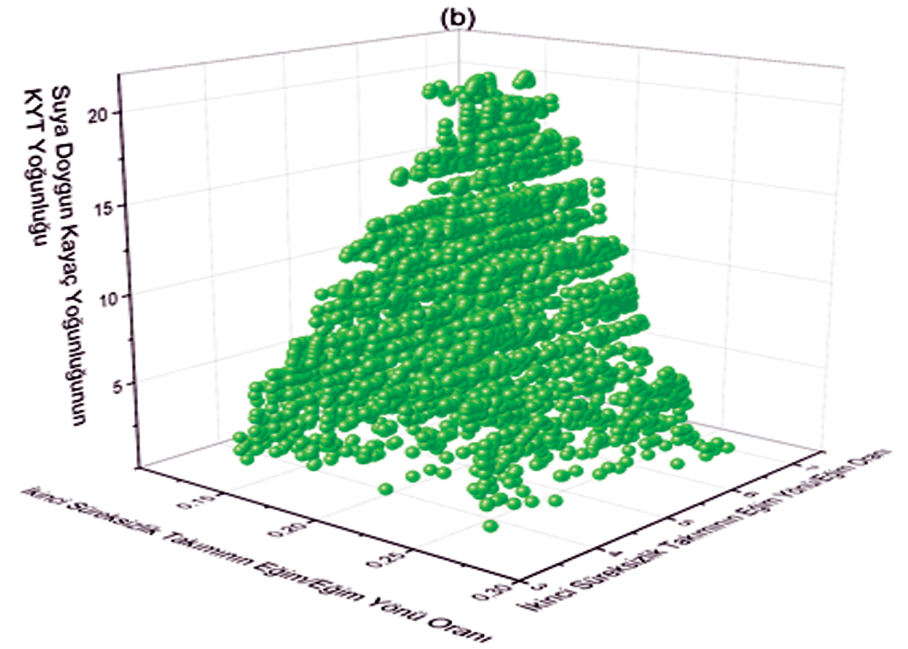
Ek 48. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



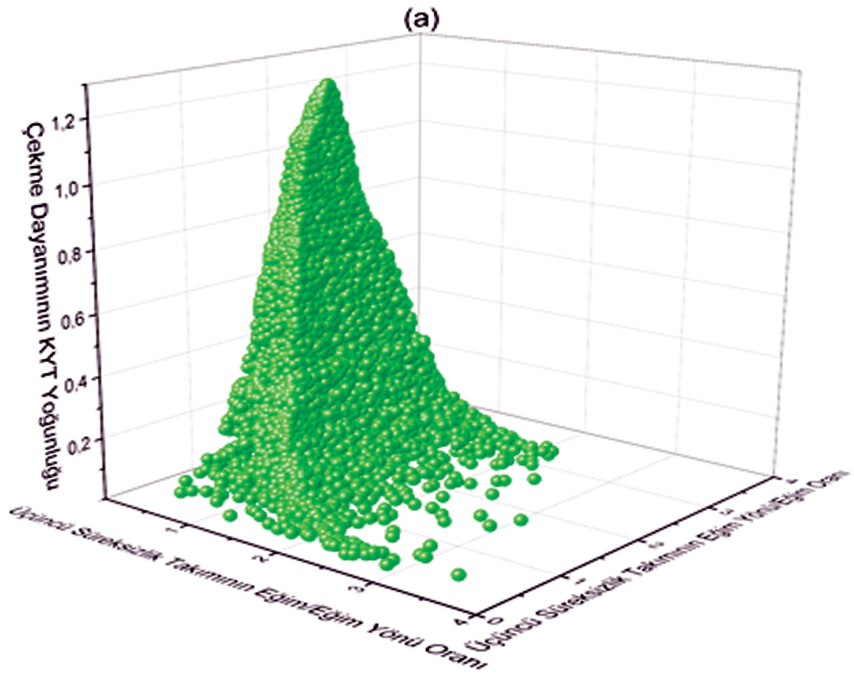


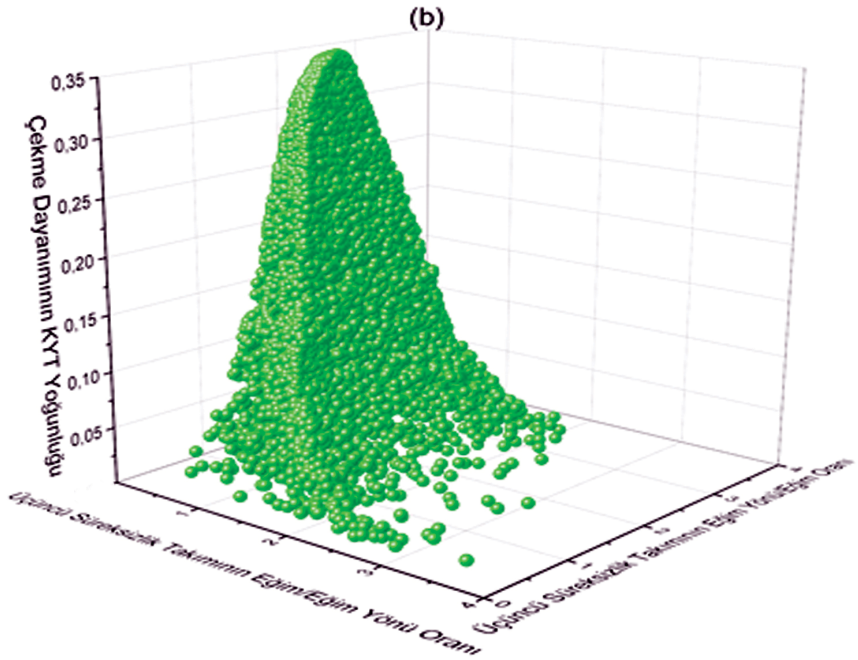
Ek 49. Manipüle Edilmiş İkinci Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



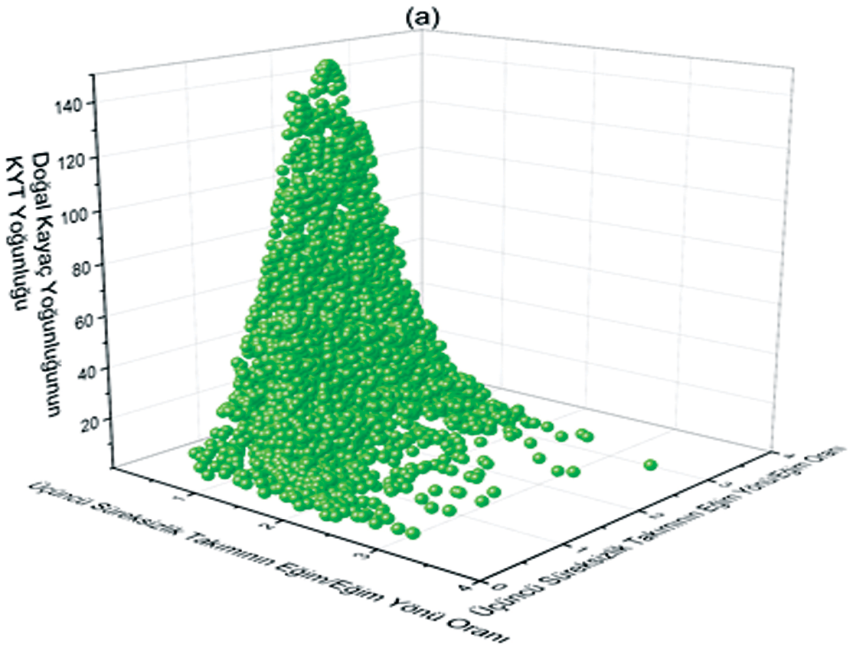


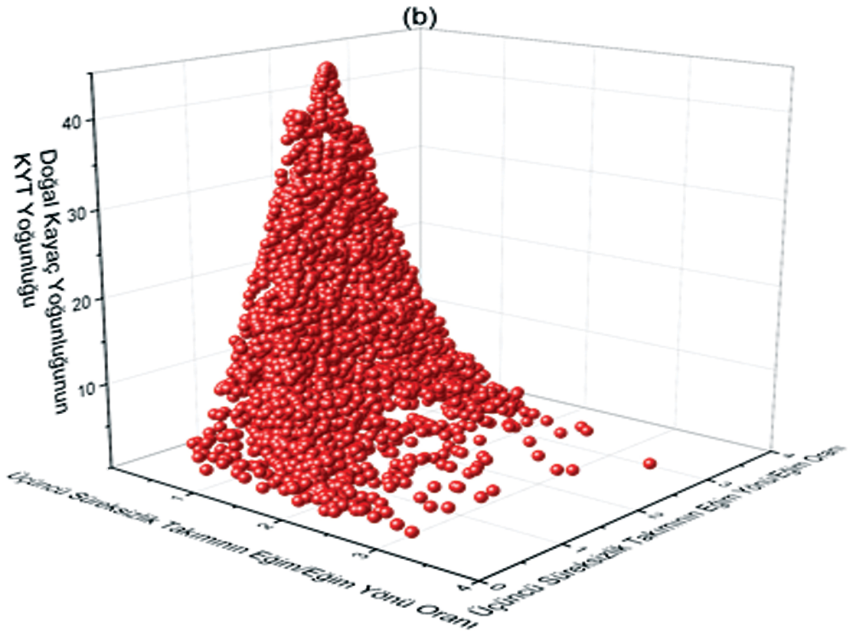
Ek 50. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Çekme Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



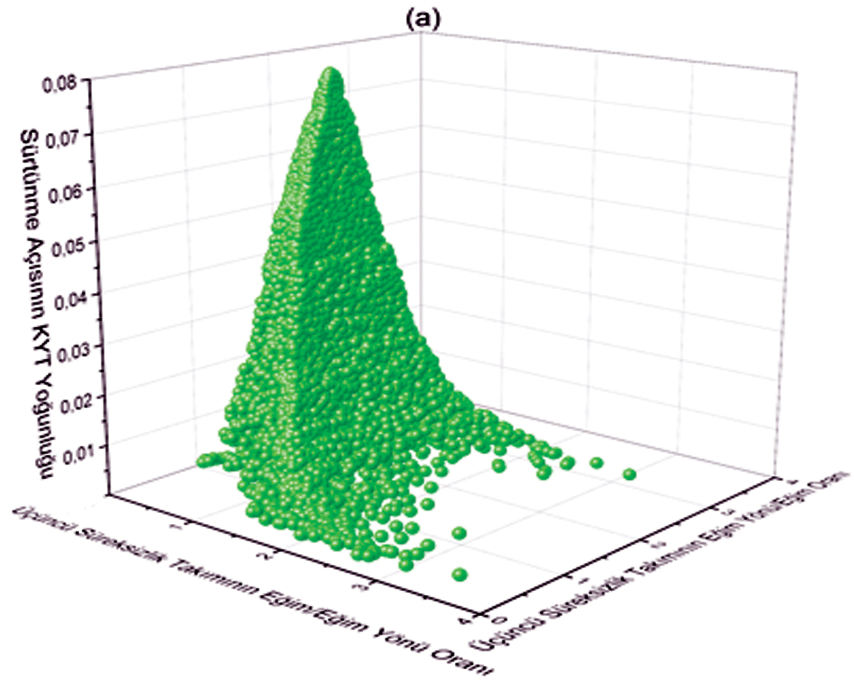


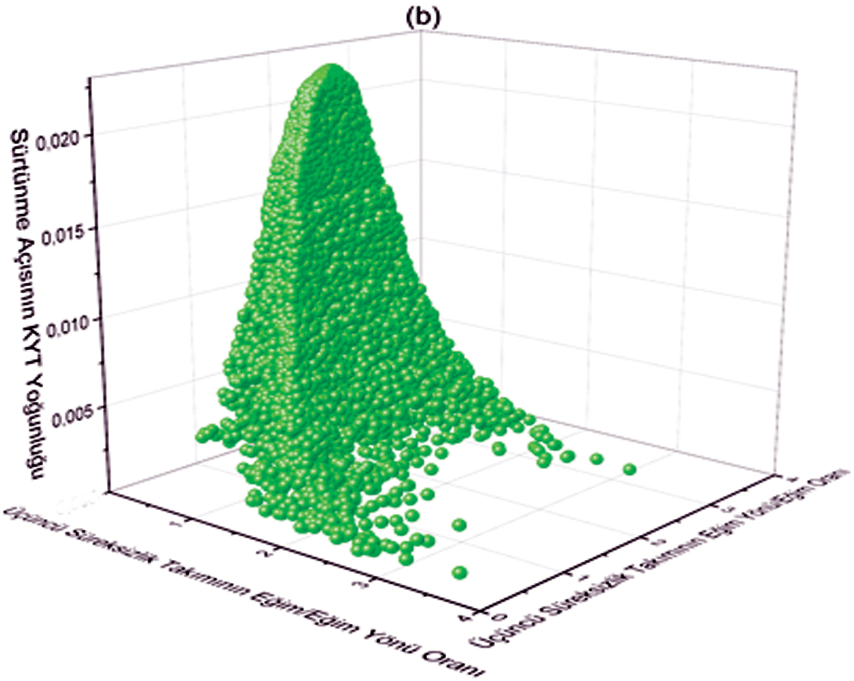
Ek 51. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Doğal Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



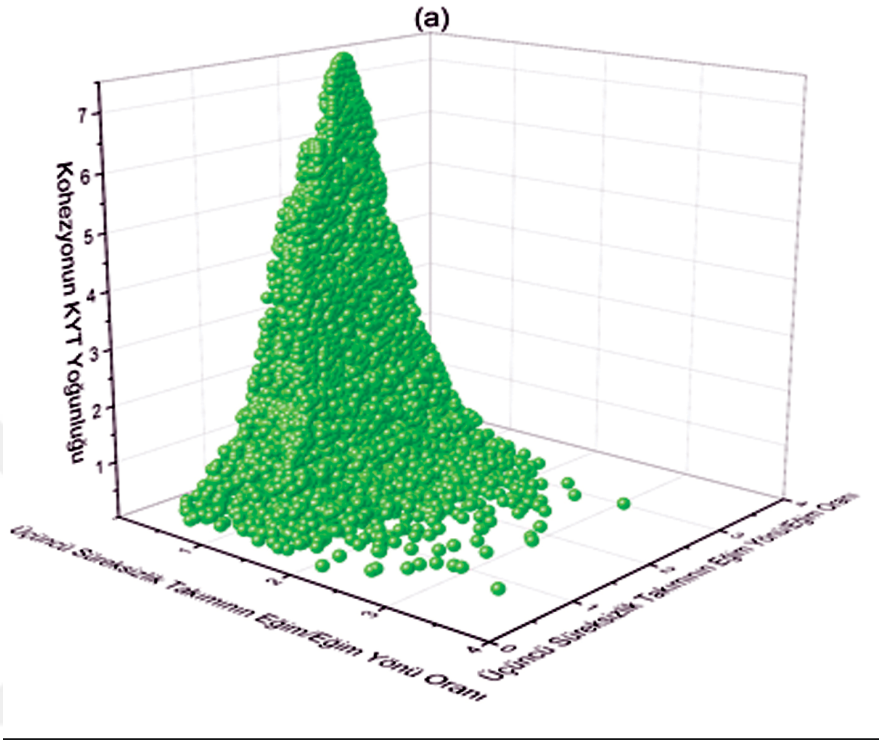


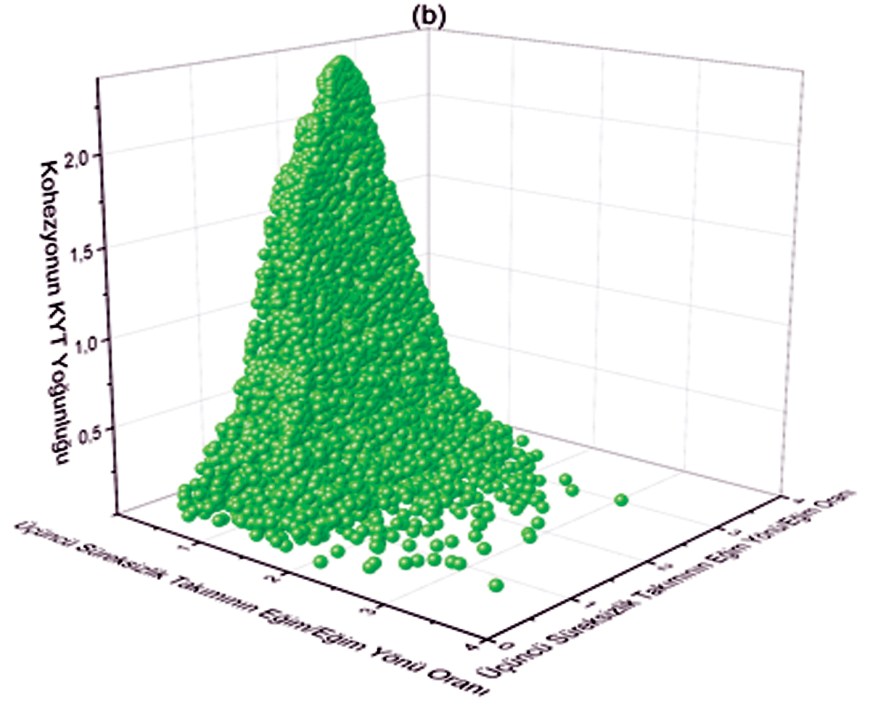
Ek 52. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Sürtünme Açısının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre



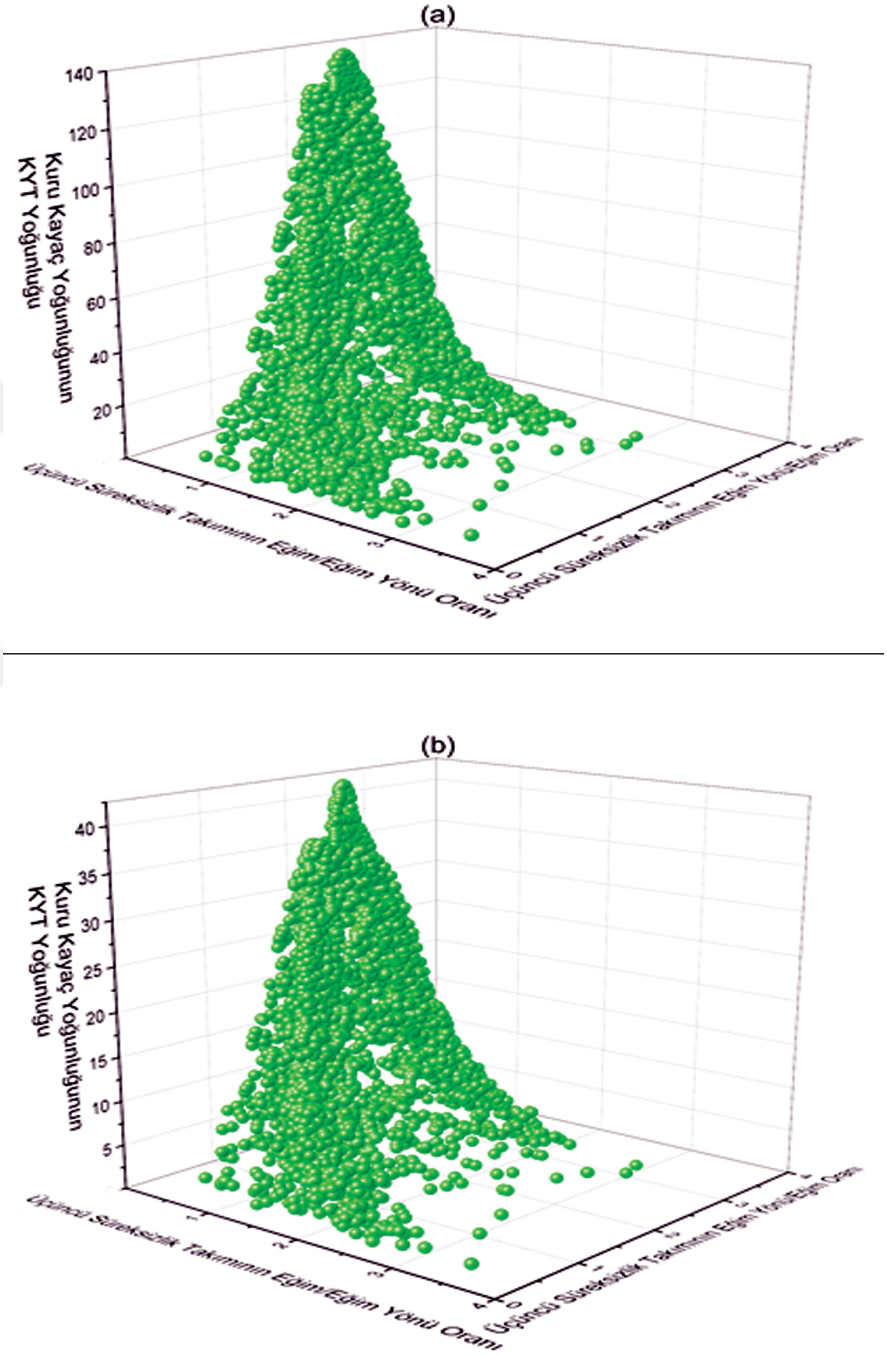


Ek 53. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Kohezyonun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

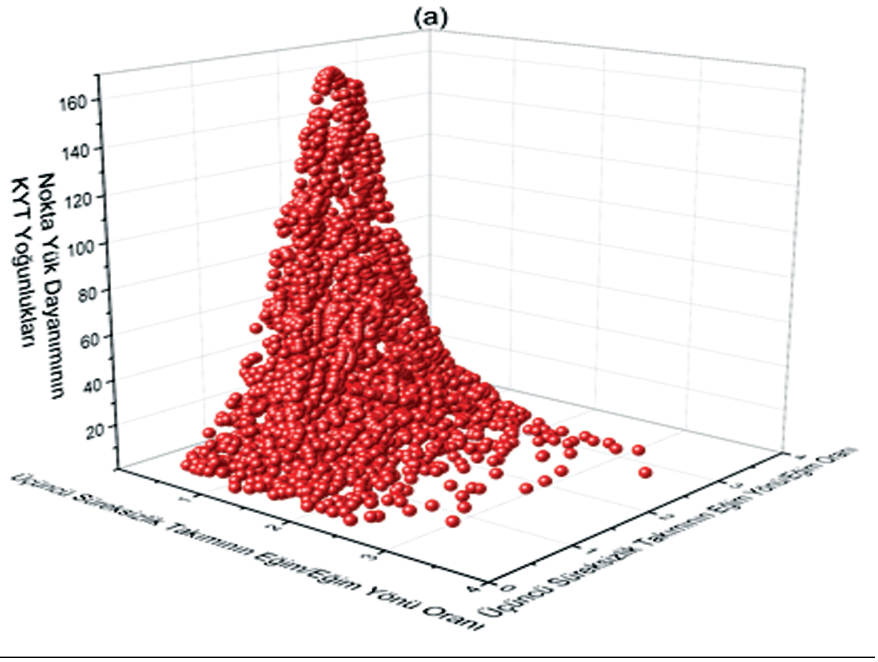


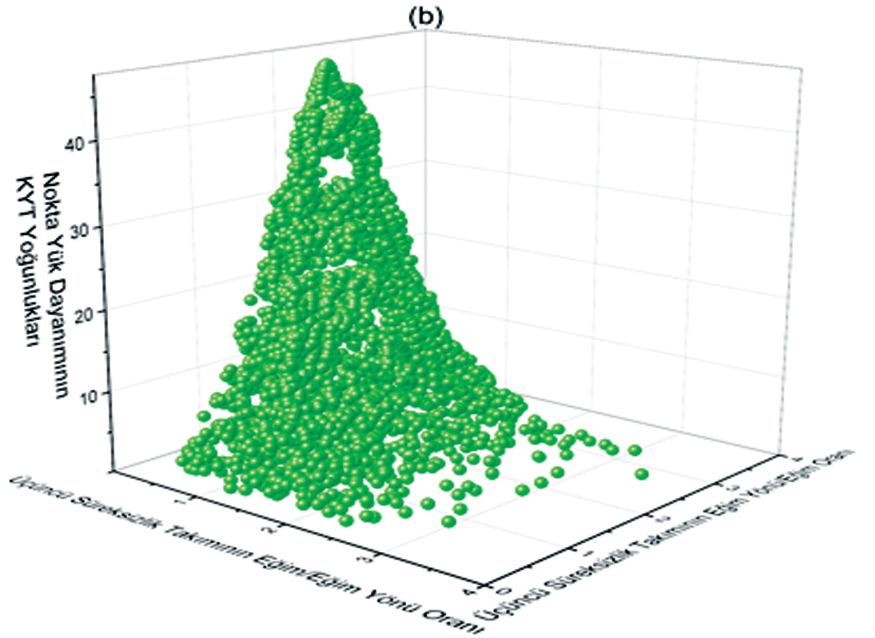


Ek 54. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Kuru Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre

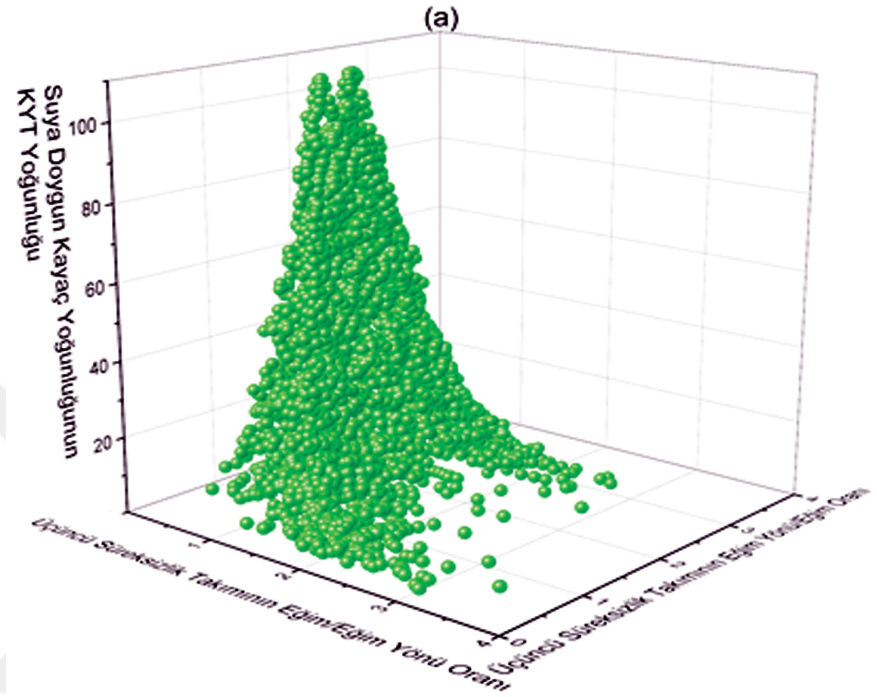


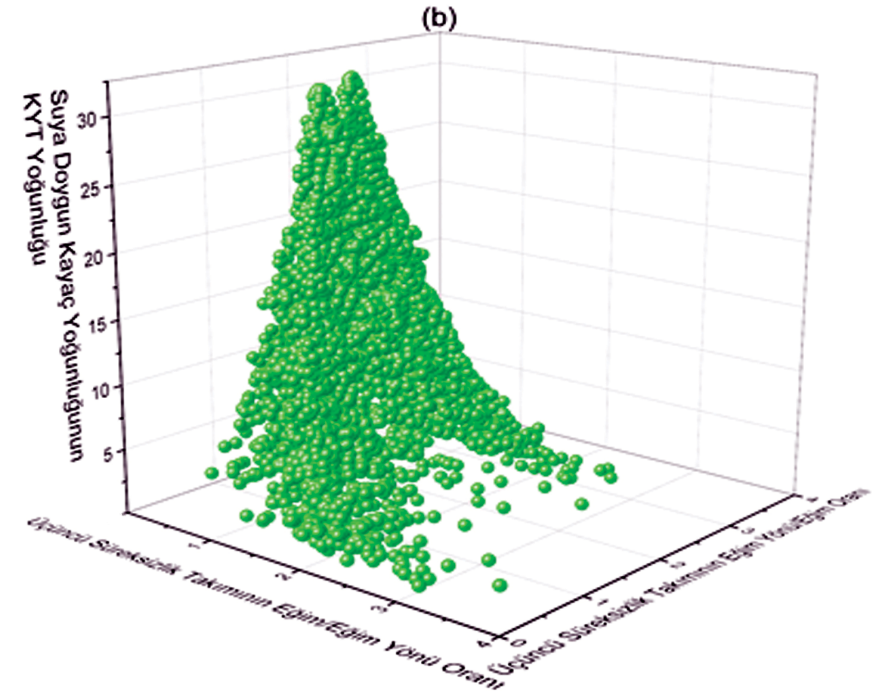
Ek 55. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Nokta Yük Dayanımının Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre





Ek 56. Manipüle Edilmiş Üçüncü Süreksizlik Takımı ile Suya Doygun Kayaç Yoğunluğunun Nokta Bulutu KYT Yoğunluk Grafikleri (a) Eğim/Eğim Yönüne göre; (b) Eğim Yönü/Eğime göre





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERTUĞRUL Görkem

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Doktora	KDPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. ABD	2021
Yüksek lisans	DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. ABD	2010
Lisans	DEÜ Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Bölümü	2007
Lise	İzmir Karşıyaka Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**

Yabancı Dil

Yayınlar:

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

- Bulbul, S., Ertugrul, G., ve Arli, F. (2018). Investigation of usage potentials of global energy systems. International Advanced Researches and Engineering Journal, 2(1), 58-67.