

**Kaya Düşmeleri ve Kaya Şev Kaymaları için Risk Analizine
Dayalı Mühendislik Çözümlerinin Değerlendirilmesi**

Proje No: 110M796

Prof.Dr. H. Şebnem DÜZGÜN
Yrd.Doç.Dr. Aykut AKGÜN
Sohrab GHEIBIE

HAZİRAN 2012
ANKARA

Önsöz

Ülkemiz için önemli doğal afetlerden olan kaya kaymaları ve kaya düşmelerinin incelenmesi ve alınması gerekli mühendislik önlemlerinin belirlenmesi gerek ülkemiz açısından, gerekse insan hayatının korunması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Bu proje kapsamında yapılan çalışmalar ile, tarihi ve turistik öneme sahip Amasya şehrindeki kaya kayması ve kaya düşmesi problemi olan birkaç lokasyonda detay çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Proje süresince yapılan arazi çalışmaları sırasında değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Candan Gökçeoğluna teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, yine arazi çalışmaları sırasında göstermiş oldukları yakın ilgi nedeniyle Amasya Belediye Başkanlığına ayrıca teşekkür ederiz.

Laboratuvar çalışmalarının gerçekleştirilmesi aşamasında olanaklarından faydalanmış olduğumuz ODTÜ Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve Kaya Mekaniği laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	i
Tablolar Listesi.....	iii
Şekiller Listesi.....	v
Özet.....	ix
Abstract.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3.İNCELEME ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ.....	5
4. SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	8
5. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ.....	25
5.1. Model Oluşturma.....	27
5.2.Deformasyon Modeli ve Kaya Malzemesi Parametrelerinin Seçilmesi.....	29
5.3. Olasılığa Dayalı 3DEC Analizi.....	30
5.4. Sonuçlar.....	33
5.5. Tartışmalar ve Sonuçlar.....	67
6. KAYA DÜŞMESİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ.....	70
6.1. Profil 1 İçin Kaya Düşme Değerlendirmesi.....	72
6.2. Profil 2 İçin Kaya Düşme Değerlendirmesi.....	83
7. OLASI MÜHENDİSLİK ÇÖZÜMLERİNİN ÖNERİLMESİ.....	89
7.1. Kaya Kaymasına Bağlı Risk Durumu.....	89
7.2. Kaya Düşmesine Bağlı Risk Durumu.....	90
8. KAYNAKLAR.....	93

Tablolar Listesi

Tablo 1. Kesit 1'deki hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

Tablo 2. Kesit 2'deki hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

Tablo 3. Kesit 3'ün toğunda hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

Tablo 4. JRC değerlerinin özet istatistikleri

Tablo 5. Schmidt çekici değerlerinin istatistikleri

Tablo 6. Kral mezarındaki süreksizliklerin özellikleri

Tablo 7. Barton modelinin sürtünme= 33, kohezyon=0.05 MPa, farklı JCS, JRC ve Ks için Kesme deformasyonu, doruk kesme deformasyonu.

Tablo 8. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.15 MPa, JCS= 70 MPa ve farklı JRC değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri.

Tablo 9. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.20 MPa, JCS= 70 MPa ve farklı JRC değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri

Tablo 10. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.30 MPa, JCS= 70 MPa ve JRC=2 değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri

Tablo 11. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.50 MPa, JCS= 70 MPa ve JRC=2 ve 5 değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri.

Tablo 12. C=0.05 MPa, JCS=70 ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri

Tablo 13. $C=0.1$ MPa, $JCS=70$ MPa, $TSA=30^0$ ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

Tablo 14. $C=0.15$ MPa, $JCS=70$ MPa, ve $JRC= 9.5$ değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

Tablo 15. $C=0.20$ MPa, $JCS=70$ MPa, $TSA=30^0$ ve farklı JRCdeğerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri

Tablo 16. $C=0.30$ MPa, $JCS=70$ MPa, $TSA=30^0$ ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

Tablo 17. $C=0.50$ MPa, $JCS=70$ MPa, $JRC=2$ değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

Tablo 18. Herbir süreksizlik için δ_{dorum} değerinin yenilme olasılığı ve buna karşılık gelen güvenilirlik indeksi (β) için ortalama, maksimum ve minimum değerleri

Tablo 20. Profil 1’de incelenen beş bloğa ait değerlendirme parametreleri.

Tablo 19. Profil 1’de incelenen yamaca ait değerlendirme parametreleri

Şekiller Listesi

Şekil 1. Çalışma alanına ait üç boyutlu uydu görüntüsü

Şekil 2. İnceleme alanındaki kaya birimlerinin risk altındaki elemanlar ile ilişkisi

Şekil 3. Projede kullanılacak yöntemi gösteren akış şeması

Şekil 4. İnceleme alanı ve çevresine ait genelleştirilmiş jeoloji haritası

Şekil 6. Harşena Dağı kaya düşmesi ve kayması problemleri

Şekil 7. Kesit 1'deki süreksizlik (tabaka) takımları ($064^0/42^0$)

Şekil 8. Kesit 1'deki süreksizlik (eklem) takımları ($175^0/75^0$ ve $237^0/66^0$)

Şekil 9. Kesit 2'deki süreksizlik (eklem) takımları ($180^0/73^0$, $094^0/81^0$ ve $030^0/45^0$)

Şekil 10. Kesit 3'deki süreksizlik (eklem) takımları ($146^0/74^0$, $213^0/46^0$ and $028^0/35^0$)

Şekil 11. JRC değerlerine uyan lognormal dağılım

Şekil 12. JCS değerlerine uyan beta dağılımı

Şekil 13. S_2 numunesi için farklı normal gerilmelerde kesme Gerilmesi/Deplasman eğrisi

Şekil 14. S_2 numunesi için normal ve kesme gerilmesi doğrusu

Şekil 15. S_2 numunesi için normal gerilme- kesme katılığı eğrisi

Şekil 16. N_1 numunesi için kesme gerilmesi/ deplasman eğrisi

Şekil 17. N_1 numunesi için normal gerilme -kesme gerilmesi ilişkisi

Şekil 18. N_2 numunesi için normal gerilme- kesme katılığı eğrisi

Şekil 19. Birinci numune için gerilme-deformasyon eğrisi

Şekil 20. Kral mezarı yapısı civarında düşen ve asılı duran bloklar

Şekil 21. Analizi yapılan kaya mezarları

Şekil 22. Kral mezarı için oluşturulmuş geometric model

Şekil 23. 3DEC'de analiz edilmek üzere sadeleştirilen kral mezarı yapısı

Şekil 24. Analiz edilen 14 adet süreksizlik

Şekil 25. Olasılığa dayalı 3DEC modellemesi metodolojisi

Şekil 26. JCS=70, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik no 1 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 27. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 2 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 28. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 3 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 29. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 4 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 30. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 5 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 31. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 6 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 32. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 7 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 33. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 8 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 34. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 9 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 35. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 10 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 36. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 11 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 37. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 12 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 38. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik 13 için kesme yerdeğiştirmesi.

Şekil 39. Süreksizliklerin kohezyon ve yenilme olasılıkları arasındaki ilişki

Şekil 40. Süreksizlik no. 1'in kesme yerdeğiştirmesinin Beta dağılımı.

Şekil 41. İnceleme alanında kaya düşmesi modellemesi ve simülasyonlarının yapılmış olduğu yamaç profilleri: a) Profil 1 ve b) Profil 2.

Şekil 42. Profil 1'de Blok No.1'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 43. Profil 1'de Blok No.2'nin düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 44. Profil 1'de Blok No.3'ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 45. Profil 1'de Blok No.4'ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 46. Profil 1'de Blok No.5'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 47. Profil 1'de Blok No.6'nın düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 48. Profil 1'de Blok No.1 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 49. Profil 1'de Blok No.2 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 50. Profil 1'de Blok No.3 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 51. Profil 1'de Blok No.4 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 52. Profil 1'de Blok No.5 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 53. Profil 1'de Blok No.6 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 54. Profil 2'de Blok No.1'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 55. Profil 2'de Blok No.2'nin düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı

maksimum mesafe.

Şekil 56. Profil 2’de Blok No.3’ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

Şekil 57. Profil 2’de Blok No.1 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 58. Profil 2’de Blok No.2 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 59. Profil 2’de Blok No.3 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Şekil 60. İnceleme alanında belirlenen risk altındaki elemanlar ve olası risk alanlarının Google Earth görüntüsü üzerinde gösterimi.

Özet

Kaya düşmeleri ve kaya şev kaymaları ülkemizde oldukça sık rastlanan ve önemli kayıplara yol açan doğal tehlikelerdir. Kaya düşmeleri ve kaya şev kaymalarının büyüklüğü, şiddeti, mekanizması vb. faktörlere bağlı olarak alternatif mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi mümkün olmakla birlikte bu tür doğal olaylardaki belirsizliklerin çokluğu nedeni ile risk analizine dayalı yaklaşımların geliştirilmesi daha gerçekçi çözümler üretilmesine olanak sağlayacaktır. Bu proje kapsamında, kaya düşmelerinin ve kaya şev kaymalarının güvenilirlik indeksi ve olasılıksal-nümerik analiz metotlarına dayalı yöntemlerle tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Bu belirlemeden sonra, olasılık gerçekleştiğinde ortaya çıkabilecek kayıpların belirlenmesine dayalı risk analizi gerçekleştirilmiş, riskin büyüklüğüne bağlı olarak da alternatif mühendislik çözümlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Söz konusu değerlendirmeler, Türkiye'nin tarihi şehirlerinden biri olan Amasya'daki Harşena Dağı'nın kaya düşmesi ve kaya şevi kayması problemi olan bölümlerinde uygulanmıştır.

Bu kapsamda, öncelikli olarak arazide kaya düşmesi ve kaya şevi kayması olan alanlar ayrı ayrı belirlenmiş ve bu alanlardan ihtiyaç duyulan veriler toplanmıştır. Bu aşamada, problemin başlıca kaynağı olan süreksizliklere ait veriler toplanmış, kaya düşmesi modellenmesinde kullanılmak üzere kaya malzemesine ait fiziko-mekanik ve indeks özelliklerin belirlenmesi amacıyla kaya bloğu ve süreksizlik örnekleme yapılmıştır. Kaya düşmesi ve kaya kayması olasılığı olan şevlerinin geometrileri ile bu şevlerdeki askıda bulunan bloklar arazide yerinde belirlenmiştir. Toplanan veriler olasılıksal-numerik yöntemler ile değerlendirilmiştir. Analizler UDEC ve RocFall yazılımlardan faydalanılarak yapılmıştır. Şevlerin potansiyel düşme ve kayma olasılıkları belirlendikten sonra, kayıp analizi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada en önemli veriyi, olası şev probleminden etkilenecek her türlü bina, yol, demiryolu, sanayi alanı vb. alanların belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu taşınmazlar, risk analizi aşamasında "risk altındaki elemanlar"ı teşkil etmektedir. Bu maksatla, problem tespit edilen alanlara ait 1:1000-1:5000 ölçekli imar verileri elde edilmiş, elde edilen veriler, potansiyel tehlikeden en fazla zarar görebilirlik derecesine göre kendi içerisinde sınıflandırılarak bir "zarar görebilirlik" verisi üretilmiştir. Bu aşamadan sonra, mühendislik açısından problemlili alanlardaki sıkıntıların giderilmesi amacıyla alternatif mühendislik çözümlerinin değerlendirilmesine geçilmiştir. Söz konusu bu aşamada, olası problemin türü, büyüklüğü, tehdit ettiği alan ve taşınmazların durumuna göre hangi mühendislik çözümlerinin alınması gerektiği ve bu çözümlerin maliyetinin ne olacağı tespit edilmiştir. Burada, üretilecek farklı alternatiflerin farklı risk derecelerine göre

durumları karşılaştırılarak, ileride farklı risk durumları ile karşılaşılması durumunda daha hızlı ve etkin bir şekilde hangi mühendislik çözümlerinin alınacağı da açık bir biçimde ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kaya düşmesi, kaya kayması, olasılık, numerik analiz, Amasya

Abstract

Rock falls and rock slides are natural hazards which are frequently encountered in Turkey and cause important losses. It is possible to develop alternative engineering remediation according to size, magnitude, mechanism etc. of rock falls and rock slope failure, and developing approaches, based on risk analysis due to abundance of uncertainties, allows one to be produce more realistic remedition decisions. In this study, reliability index of the rock falls and rock slope failures were estimated by the methods based on probability and numerical analyses. Then, risk analyses, based on determination of possible losses which will occur once failure happen, were carried out, and the assessment of alternative engineering remediation were evaluated based on magnitude of risk. These assessments were applied to parts, where rock fall and rock slope failure exist, of the Harşena Mountain, in Amasya city, which is one of the historical cities of Turkey.

In this frame, the areas, where rock fall and rock slope failure exist, were primarily be determined. After determining of these areas, data needed were collected. In this stage, discontinuity data which is the major cause of problem were collected, rock block and discontinuity samples were sampled in order to determine the pyhsico-mechanical and index properties of rock materials which will be used for rock fall analyses. The geometry of slopes having possibility of rock fall and rock slope failure and the hanging blocks on these slopes were determined at in-situ. The collected data were evaluated by based on probabilistic-numerical methods. The software of UDEC and RocFall were used. After determining of fall and slide probabilities of the slopes, loss analyses stage have come. In this stage, the elements at risk such as building, road, railway, industrial area and etc., which will be affected by possible slope failure, constitutes the most important data. For this purpose, 1:1000-1:5000 scaled maps were obtained from published maps. The obtained data were reclassified in itself by the vulnerability degree.

After this stage, the assessment of alternative engineering remediation for the purpose of resolving troubles at problematic areas have come. In this stage, according to possible failure type, magnitude and threatened area and the situation of elements at risk, the appropriate engineering remediation needed and its cost were determined. At this point, it will be clearly presented that the situation of produced different alternatives were compared according to the different risk conditions.

Keywords: Rock fall, rock slide, probability, numerical analysis, Amasya

1. GİRİŞ

Amasya şehri, kurulmuş olduğu coğrafya itibariyle sel, taşkın, kaya düşmesi, kaya kayması ve deprem gibi doğal afetlere maruz kalma tehlikesi ile daima karşı karşıya kalmıştır. Ülkemizde plansız kentleşme ve yer seçiminin neden olduğu can ve mal kayıpları ise günümüzde halen güncelliğini korumaktadır. Amasya şehri de bu tür plansız ve kontrolsüz kentleşmesinin bir örneği olarak göz önünde durmaktadır. Amasya şehri, bu durumunun yanı sıra, tarihi bir kent olması dolayısıyla da önemli bir kent kimliği taşımaktadır. Grek toplumlarından başlayarak Bizans İmparatorluğu, Anadolu Selçuklu Devleti ve Osmanlı İmparatorluğu gibi önemli kültürlerle ev sahipliği yapmış olan Amasya şehri, bu kültürlerin mirası olan birçok kültür hazinesi yapıyı da barındırmaktadır. Ancak, yukarıda bahsedilen sel, kaya düşmesi, kaya kayması ve deprem gibi doğal afetlerin bu kültür yapılarının önemli bir bölümü tahrip ettiği ve ciddi ölçüde maddi kayıp verdirdiği de bilinmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanına ait üç boyutlu uydu görüntüsü (Google Earth'den alınmıştır).

İnceleme alanında yapılan ilk arazi gözlemlerine göre, kaya düşmelerinin ve kaymaların temel olarak litoloji, bozunma derecesi ve süreksizlik koşullarına bağlı olarak

geliştiği görülmüstür. Özellikle süreksizlik konumları ile Şev konumu iliŐkilerinin yanısıra, bozunma durumundaki deđiŐimler, Harşena dağının hemen altından geçen demiryolu ve bunun hemen altından geçen tali yollar ve yerleşim alanları üzerindeki kaya düşmesi ve kayması mekanizmalarını kontrol eden en önemli unsurlar olarak göze çarpmıŐtır. Bu nedenle, Harşena dağının değişik lokasyonlarında halen değişik boyut ve mekanizmada kaya düşmeleri ve Şev kaymaları meydana gelmekte olup bu lokasyonlar inceleme alanların seçilmesinde göz önünde bulundurulmuŐtur. Söz konusu lokasyonlarda Şevlerin kaya düşmesi ve kaya kayması tehlikesi açısından envanterleri çıkartılıp, bu Şevlerin kendi aralarında münferit jeoteknik birimlere ayrılması gerektiği belirlenmiş ve çalışma süresince bu yaklaşım izlenmiŐtir.

Düşen ve kayan bloklar, gerek demir yolunun ve gerekse Şevlere yakın lokasyonlarda bulunan yerleşim alanlarında maddi hasara sebep olmakta, bu da önemli ölçüde ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Söz konusu durum, hali hazırda herhangi bir mühendislik önlemi ile nlenmemekle birlikte, bu projede elde edilecek sonuçlar ile birlikte can ve mal kayıplarının en aza indirgenmesinde hedeflenmiştir.

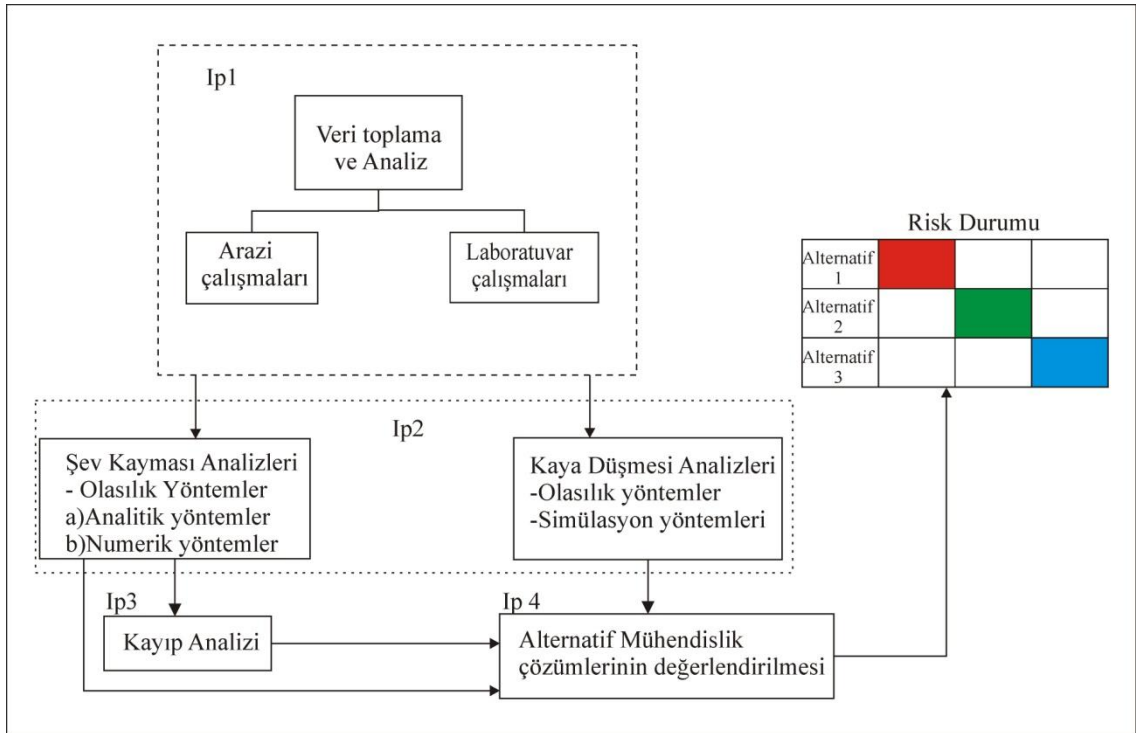


Şekil 2. İnceleme alanındaki kaya birimlerinin risk altındaki elemanlar ile ilişkisi.

Yukarıdaki belirtilen amaçlar doğrultusunda, proje kapsamında ilk olarak kaya düşme ve kaya kayma tehlikesi modellemesinde kullanılacak olan girdi parametrelerinin tanımlanması amacıyla detay arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak yukarıda da bahsedildiği üzere, kaya düşme ve kaya kayma riski taŐıyan Őevler kendi aralarında bölümlere ayrılmış bu maksatla kaya düşmesi analizi yapılması öngörülen iki kaya Şev profili üzerinde kaya düşmesi modellemeleri ile bir kaya Şevi üzerinde kaya kaymasına yönelik olasılıksal-nermik modelleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu

amaçla, jeolojik özellikler, süreksizlik özellikleri, erozyon ve bozunma durumları, şev geometrisi/yüksekliği ve kaya düşme mekanizması gözetilerek ayrılmış, şevlere taşıdıkları risk açısından puanlar atanmıştır. Bunun için, kaya kütlelerinin bozunma dereceleri ve erozyon durumları belirlenmiş, şevlerin geometrileri çıkartılmış, modellemeye girdi parametresi sağlayacak tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlilerin ve kaya malzemesinin kayma dayanımı gibi fiziko-mekanik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş, kaya düşmelerinin mekanizması ortaya konulmuş ve düşen blokların demir yolu, tali yollar ve yakın yerleşim lokasyonlarına ulaşıp ulaşmadıkları tespit edilmiştir.

Bu proje kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, elde edilen verilerin hem araştırmacılar hem de yerel yönetimler tarafından uygulamada kullanabilecek ekonomik ve uygulanabilir verileri ve önerileri de içermesi sağlanmıştır. Ayrıca, çeşitli yöntemler kullanılarak ve en iyi sonucu veren yöntem baz alınarak bir tehlike haritası üretilmiş, farklı risk durumları için olası mühendislik önlemleri önerilmiştir. Yukarıda bahsedilenler çerçevesinde bu proje kapsamında izlenen yol aşağıda Şekil 3'de verilen akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 3. Projede kullanılacak yöntemi gösteren akış şeması

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kaya düşmesi ve kaya kayması ile ilgili literature bakıldığında, gerek ülkemizde, gerekse dünyanın değişik yerlerinde pek çok çalışmanın olduğu görülmektedir. Dünyada kaya düşmesi modellemesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, genellikle A.B.D., Kanada, İtalya, Hong Kong gibi litolojik, yapısal ve iklimsel koşulların kaya düşmesi olayını zorlayıcı lokasyonlarda yoğun olarak gerçekleştiği görülmektedir. A.B.D'de Oregon Ulaştırma Dairesi (ODOT) tarafında, karayolu güzergahlarında meydana gelebilecek kaya düşmeleri ile ilgili bir sınıflama gerçekleştirmiştir (Pierson and Vickle, 1993), bu sınıflama baz alınarak daha sonra Missouri RFHRS, 2003; New York RFHRS, 2002; Tennessee RFHRS, 2004; Utah RFHRS, 2006; Canada RFHRS, 2004 gibi yerlerde modifiye edilerek kullanılmıştır. Wasoswki ve DelGaudio (2000), İtalya'da sismik olayların kaya düşmesi olayına etkisini kullanarak bir modelleme gerçekleştirmiştir. Agliardi ve Crosta (2003) dağlık kesimlerdeki kaya düşmelerinin doğru olarak tahmin edilebilmesi için üç boyutlu sayısal model oluşturmaya çalışmışlardır. Schweigl vd. (2003), Güney İtalya'da anayolu etkileyen bir şevde oluşan kaya düşmelerinin benzeşimini yaparak jeoteknik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Chau vd. (2002), Hong Kong'da yapmış oldukları çalışmada, iki boyutlu kaya düşmesi modellemesinde kullanılan normal ve teğetsel geri verme katsayılarının bulunmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Yine Chau vd. (2003), Hong Kong'da kaya düşmesi envanterine dayalı olarak iki boyutlu kaya düşmesi analizi ile tehlike değerlendirmesi yapmıştır. Kaya düşmesi ile ilgili olarak ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında, yapılan çalışmaların çoğunlukla volkano-sedimanter birimlerden tüffit ve volkanik birimler içerisinde olduğu görülmektedir. Bu tür çalışmalardan ilki sayılabilecek olan Doyuran (1976), Kapadokya yöresinde tuf birimlerinden oluşan Ortahisar Kalesinde meydana gelen kaya düşmesi olaylarını çevresel jeoloji perspektifinde ele almış, burada meydana gelen kaya düşmelerinin çevreye olan olumsuz etkilerinden bahsetmiştir. Aynı yörede, Tunusluoğlu ve Zorlu (2009) tarafından yapılan çalışmada kaya düşme problem ele alınmış, seçilen farklı profillerde kaya düşmesi sayısal olarak modellenerek olası kaya düşmesi olaylarının çevreye hangi ölçekte zarar verebileceği ortaya konulmuştur. Zorlu vd. (2011) tarafından yine Kapadokya bölgesinde yapılan çalışmada, seçilen beş farklı alanda benzer yöntem ve yaklaşımlar ile kaya düşme

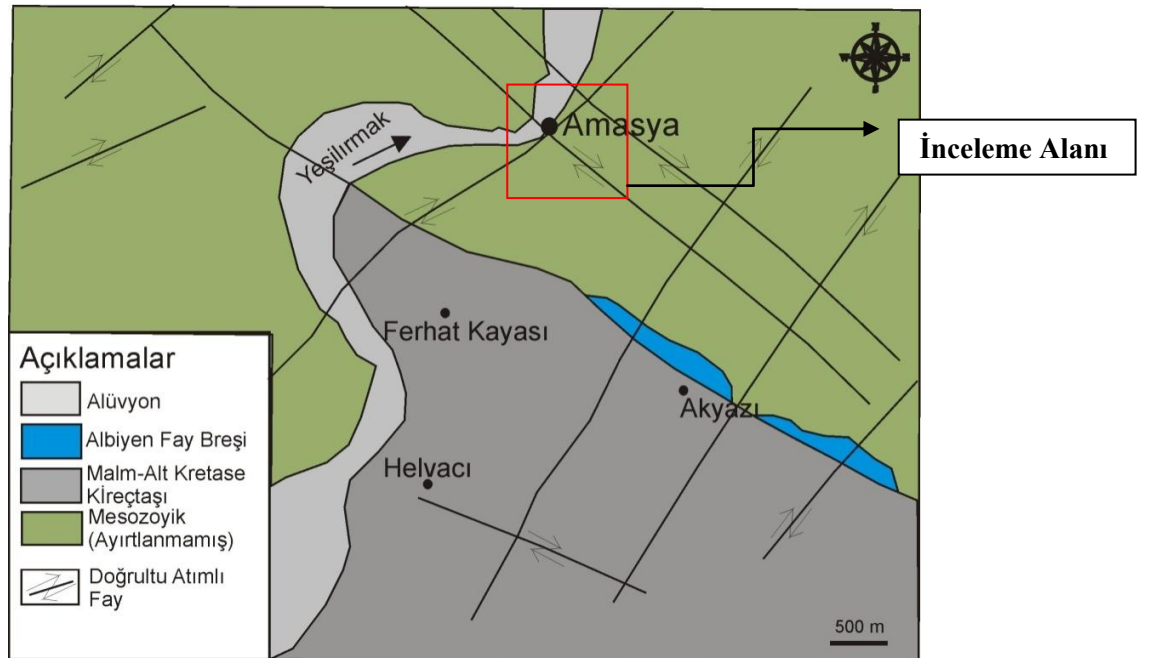
modellemesi yapılmış ve çevresel etki değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Topal vd. (2007), Afyonkarahisar kalesinde meydana gelen kaya düşmesi olayını incelemiş, volkanik birimlerdeki yoğun süreksizliklerle denetlenen kaya düşmesi probleminin yine çevreye olan mühendislik etkileri değerlendirilmiştir. Binal ve Ercanoğlu(2010) tarafından yapılan çalışma Kula (Manisa) yöresinde yüzeylenen volkanotortul birimler içerisinde oluşan jeomorfolojik yapılar olan peribacalarında meydana gelen kaya düşmesi olaylarını sayısal olarak modellemiş ve olası mühendislik önlemlerinin neler olabileceği tartışılmıştır.

Kaya kaymasıyla da ilgili literürde oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürde olasılık analizlerinin kullanıldığı ilk çalışma olarak MacMahon (1971) örnek olarak verilmektedir. Hasofer ve Lind (1974), Geliştirilmiş Birinci Derece İkinci Moment (AFOSM) yöntemi ilk kez kullanarak, kaya şevi kaymalarındaki belirsizliklerin giderilmesi amacıyla önerilerde bulunmuştur. Hoek ve Bray (1977), düzlemsel ve kama türü kaya şevi yenilmelerinde güvenlik sayısı değerinin hesaplanması için limit denge yaklaşımını kullanarak eşitlikler önermiştir. Gökçeoğlu vd. (2000), Ankara, Altındağ yöresinde yapmış oldukları çalışmada, süreksizlik kontrollü birimlerde olasılık yöntemleri kullanarak şev yenilmelerini incelemiştir. Düzgün vd. (2002) yaptıkları çalışmada, süreksizliklerin kayma dayanımlarındaki belirsizliklerin kaya şev yenilmeleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesini hedeflemiştir. Düzgün ve Bhasin (2009) yılında Norveç'te yapmış oldukları çalışmada, bir kaya şevindeki düzlemsel kayma türü yenilmeyi FORM yöntemi ve Barton-Bandis kayma dayanımı kriteri yöntemlerini kullanarak olasılıksal ve limit denge durumu açısından değerlendirmiştir. Yine Düzgün vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada Avustralya'da yer alan Kanmantoo madenindeki şev duraylılığı problemlerinin incelenmesi amacıyla AFOSM ve MCS yöntemlerini kullanmış ve yenilme olasılığı üzerinde doruk sürtünme açısı değerinin etkisini irdelemiştir.

3. İNCELEME ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Amasya'da en eski litolojik birimleri metamorfikler oluşturmaktadır. Özellikle güneyde yayılım gösteren ve yüksek kesimlerin anakayasını oluşturan Paleozoik'e ait seri, Alp (1972) ve Karaalioglu (1983) tarafından yeşil şist ve fillat serisi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Metamorfiklere, ayrıca ilin doğusunda geniş alanlı olarak rastlanırken, Amasya şehir merkezi çevresi ile fazla geniş alanlı olmamakla beraber ilin kuzey ve

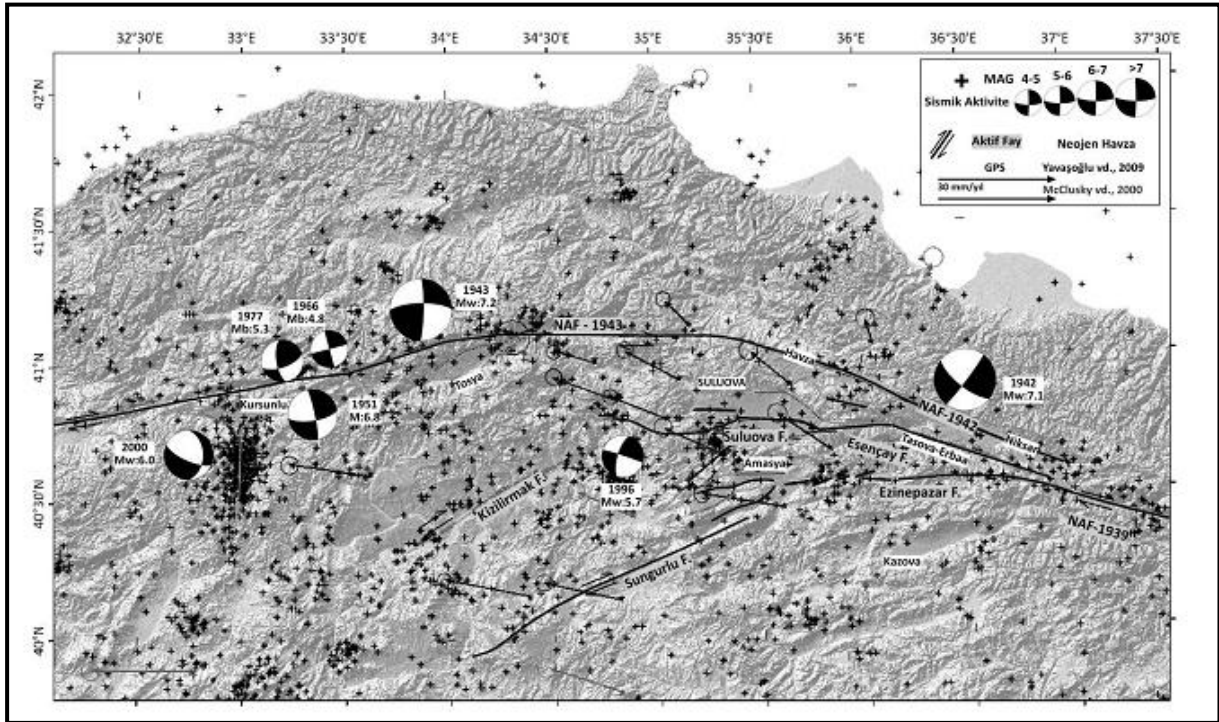
batısında da rastlanılmaktadır. Bölgede Paleozoik, metamorfik seri dışında yarı kristalize kalkerler ile de temsil edilmektedir. Bu kalkerlerin başlıca mostraları Sarıböcek köyü kuzeydoğusu ve İlyas köyü kuzeyinde belirgin olup, tamamı tek kütle durumundadır. Sahada Jura (Liyas) devri arazileri flişlerden oluşmakta ve Silüriyen öncesi kayalar üzerinde diskordans bir şekilde bulunmaktadır (Zeybek, 1998). Amasya ve çevresinde en geniş yayılıma Jura-Kretase yaşlı birimler sahiptir. Sahada, bu döneme ait kalkerler genellikle metamorfik seriye ait formasyonlar üzerinde parçalar halinde görülmektedir. (Zeybek, 1998). Bu formasyonun başlıca yayılım alanlarını ildeki dağlık alanlar ve çevresi ile Amasya şehir merkezi çevresi oluşturmaktadır. Amasya'da Eosen'e ait seri, seyrek olarak araya giren volkanik oluşuklar dikkate alınmazsa, konglomera, kumtaşı, kıltaşı, mam ve kumlu kalker araldanmasından oluşan fliş çökeltisi durumundadır. Neojen, Karaalioğlu'na (1983) göre, önce lagünel, sonra karasal fasiyeste gelişmiş ve kesin olarak bilinenleri Miyosen devrine aittir. Daha yaşlı formasyonlar üzerinde uyumsuz olarak bulunurlar. Saha, Neojen'de volkanik faaliyetlere de sahne olmuş ve Neojen volkanitleri geniş alanlara yayılmıştır. Volkanitlerin daha çok andezitik, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır (Zeybek, 1998). Amasya yöresinde Kuvaterner formasyonlarını alüvyonlar ve travertenler olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Alüvyon malzemenin kalınlığı 10-70 m arasında değişmekte olup, çoğunlukla çakıl, kum ve kil seviyelerinden oluşmaktadır.



Şekil 4. İnceleme alanı ve çevresine ait genelleştirilmiş jeoloji haritası (Bektaş vd., 2001).

Çalışma alanında gözlenen kaya düşmeleri ve kaymaları çoğunlukla Mesozoyik birimleri içerisinde yer alan yarı kristalize kireçtaşları içerisinde gerçekleşmektedir. Bunu yanısıra, söz konusu kireçtaşlarının fiziksel bozunması sonucunda gelişen yamaç molozu karakterindeki gevşek malzemelerde de zemin türü kütle hareketleri de gözlenmektedir.

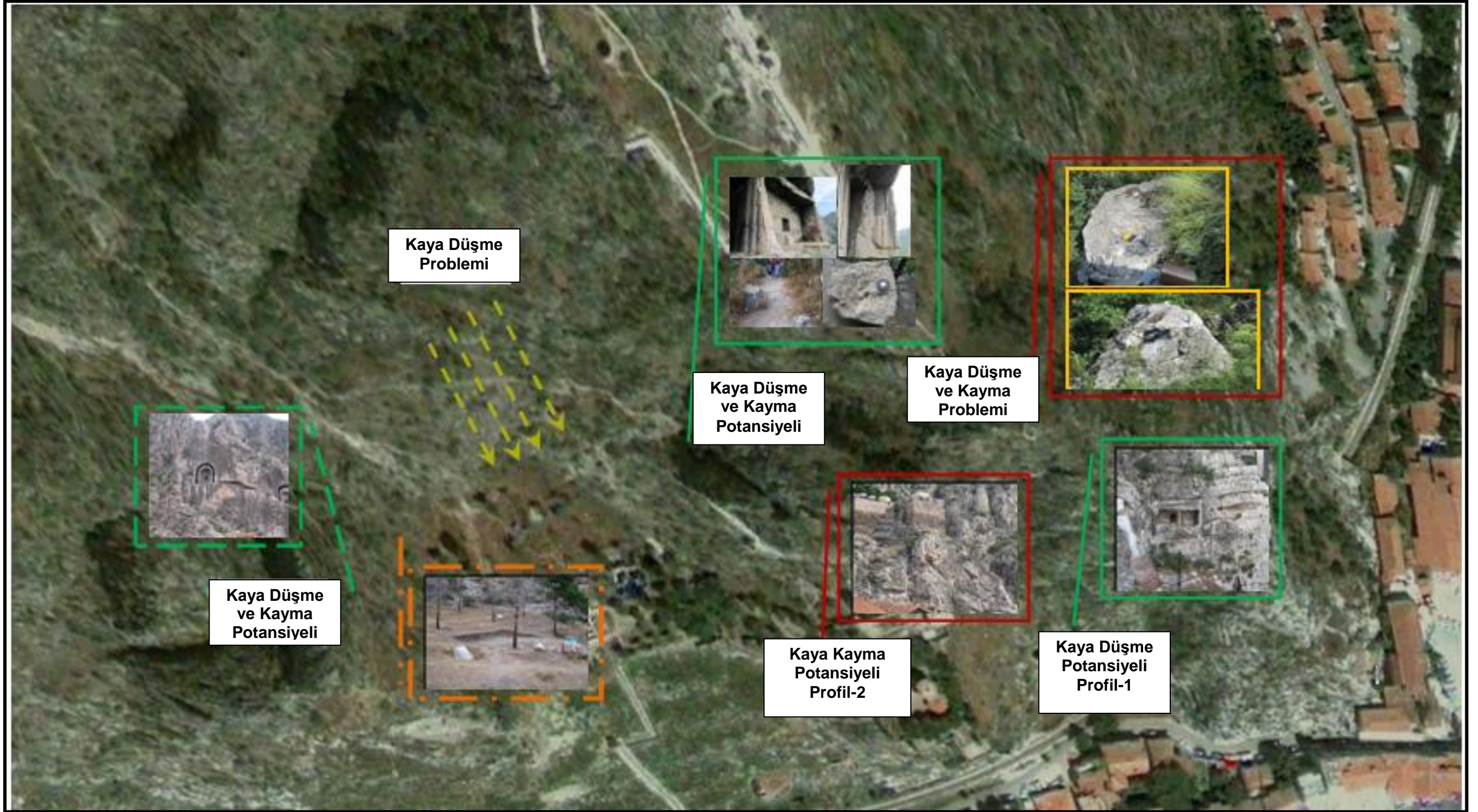
Erturaç ve Tüysüz, (2010), Amasya ve çevresindeki sismik aktivitenin dağılımının anlaşılabilmesi için 1916-1999 tarihleri aralığında MAM-ISC (Tan vd., 2008), 1999-2009 Ağustos ayına kadar ise KOERI (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) kataloglarından yararlanılarak bütünleşik bir veri seti hazırlandığını belirtmiştir. Buna göre, Amasya ve çevresini içersine alan bir alan için (Şekil 5) aletsel dönemde magnitüdü 4'den büyük 40; 5'den büyük 19 deprem gerçekleşmiştir (Şekil 5). Bu depremler ve magnitüdü 3'den küçük olan depremler belirli bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Amasya ve çevresinde aletsel dönem içerisinde gerçekleşen önemli depremler: 1942 Kızılırmak Vadisi depremleri (M:5-6);1996 Salhan Vadisi depremi (Mw:5.7) ile 2000 Orta Depremi (Mw: 6.0) olarak belirtilmiştir.



Şekil 5. Amasya ve çevresinin sismotektonik haritası (Erturaç ve Tüysüz, 2010).

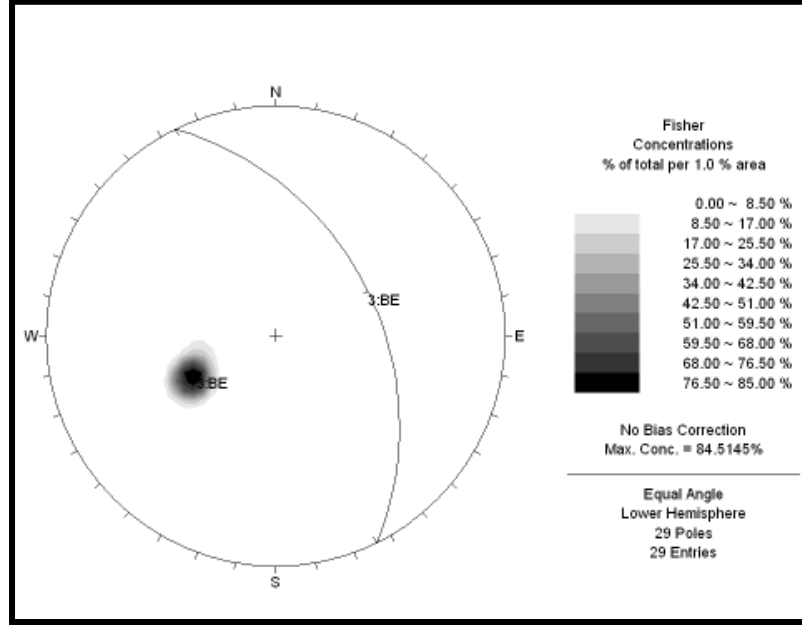
4. SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Yapılan arazi çalışmaları sonrasında Harşena Dağı'nı oluşturan şevde Şekil 1'de gösterilen yenilme problemleri görülmüştür. Şekil 6'dan da görüleceği gibi Harşena dağı yamaçlarında hem kaya düşmesi hem de kayma şeklinde oluşabilecek yenilme tehlikeleri bulunmaktadır.

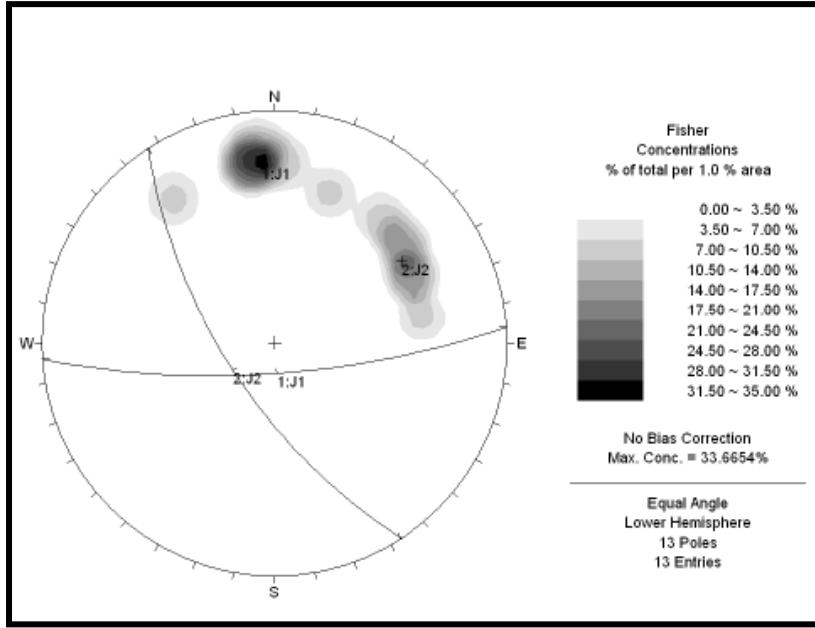


Şekil 6. Harşena Dağı kaya düşmesi ve kayması problemleri.

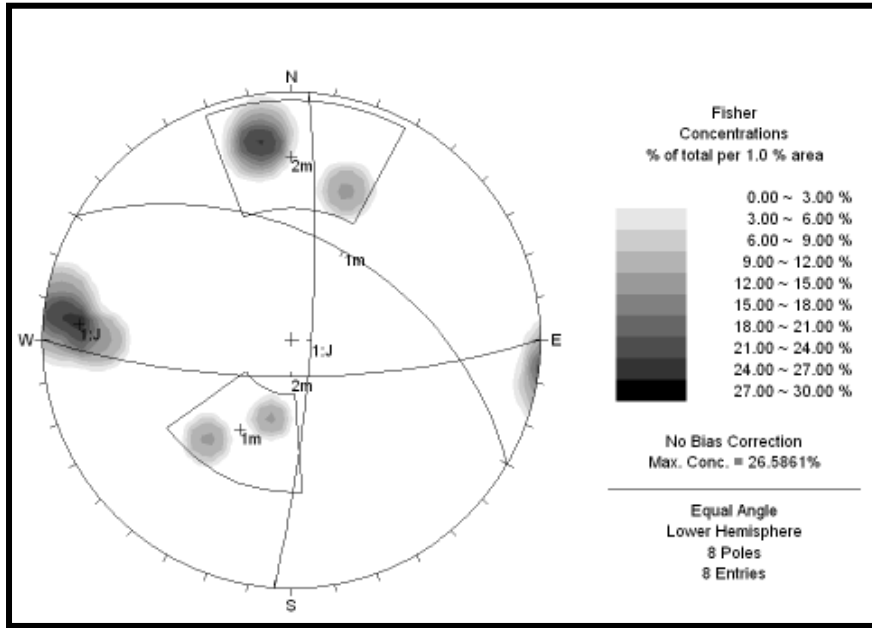
Sahada kaya süreksizliklerinin karakteristikleri hat izleme yöntemi ile belirlenmiş ve eğim açısı/eğim yönü ve doğrultu açısı/doğrultu yönü, süreksizlik aralıkları eklem pürüzlülük katsayısı (Joint Roughness Coefficient, JRC), eklem duvarı basma dayanımı (Joint Wall Compressive Strength, JCS) özellikleri belirlenmiştir. Tablo 1 - 3 yapılan hat izleme çalışmalarından elde edilen verileri içermektedir. Şekil 7-10 ise süreksizlik setlerinin eğim ve doğrultu özelliklerini göstermektedir.



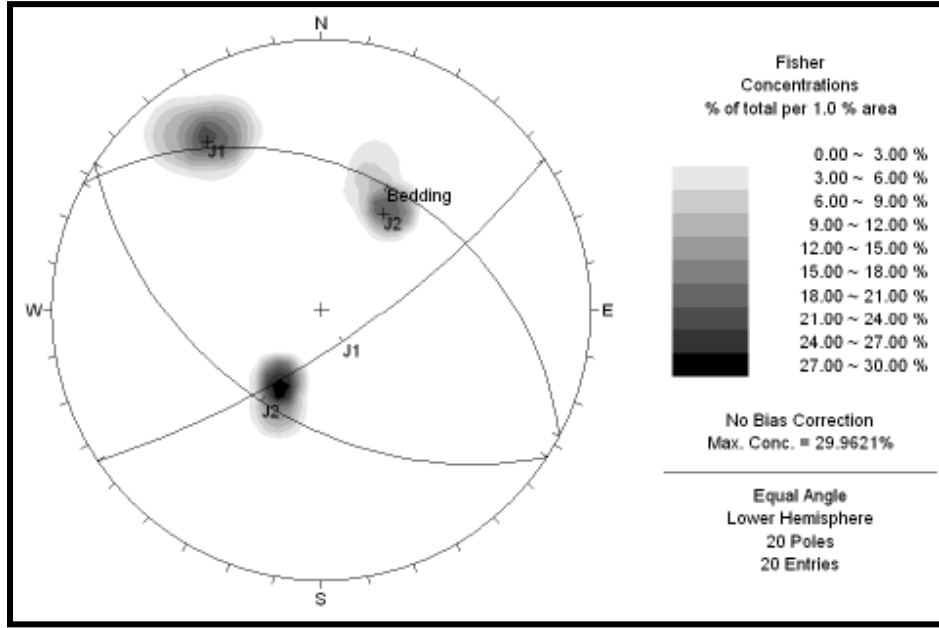
Şekil 7. Kesit 1'deki süreksizlik (tabaka) takımları (064⁰/42⁰)



Şekil 8. Kesit 1'deki süreksizlik (eklem) takımları ($175^0/75^0$ ve $237^0/66^0$)



Şekil 9. Kesit 2'deki süreksizlik (eklem) takımları ($180^0/73^0$, $094^0/81^0$ ve $030^0/45^0$)



Şekil 10. Kesit 3'deki süreksizlik (eklem) takımları ($146^{\circ}/74^{\circ}$, $213^{\circ}/46^{\circ}$ and $028^{\circ}/35^{\circ}$)

Şekiller 7-10'dan da görüleceği gibi bölgede üç ana süreksizlik takımı bulunmaktadır. Kesit 1'deki hakim süreksizlik takımlarının eğim ve doğrultuları $064^{\circ}/42^{\circ}$, $175^{\circ}/75^{\circ}$ ve $237^{\circ}/66^{\circ}$ dir. Kesit 2'deki hakim süreksizlik takımlarının eğim ve doğrultuları ise $180^{\circ}/73^{\circ}$, $094^{\circ}/81^{\circ}$ and $030^{\circ}/45^{\circ}$ dir. Kesit 3'deki hakim süreksizlik takımlarının eğim ve doğrultuları ise $146^{\circ}/74^{\circ}$, $213^{\circ}/46^{\circ}$ and $028^{\circ}/35^{\circ}$ dir. Eklem takımları ve tabaka düzlemlerinden oluşan süreksizlikleri kaya düşmesi ve kayması oluşturacak geometride kaya blokları oluşmasını sağlamaktadır.

Tablo 1. Kesit 1'deki hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

No.	Aralık	Litoloji	Eğim Yönü	Eğim	Süreksizlik Tipi	JRC	Schmidt Hammer Değerleri	Dolgu Durumu	Kalınlığı (mm)
1	210	Kireçtaşı	080 ⁰	36 ⁰	Tabaka	-	26-38-42	-	-
2	242	Kireçtaşı	080 ⁰	36 ⁰	Tabaka	-	34-26	Kalsit	190
3	285	Kireçtaşı	072 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	29	Kalsit	5
4	340	Kireçtaşı	072 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	34	-	-
5	520	Kireçtaşı	064 ⁰	47 ⁰	Tabaka	-	27	Kalsit	10
6	542	Kireçtaşı	064 ⁰	47 ⁰	Tabaka	-	40	-	-
7	625	Kireçtaşı	055 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
8	850	Kireçtaşı	062 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	50-30	Kalsit	30
9	1100	Kireçtaşı	060 ⁰	52 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
10	1150	Kireçtaşı	060 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	18	-	-
11	1405	Kireçtaşı	062 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
12	1440	Kireçtaşı	065 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
13	1730	Kireçtaşı	062 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
14	1820	Kireçtaşı	064 ⁰	44 ⁰	Tabaka	-	48-34	Kalsit	10
15	1930	Kireçtaşı	064 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
16	1980	Kireçtaşı	064 ⁰	44 ⁰	Tabaka	-	-	-	-

17	2040	Kireçtaşı	068 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
18	2170	Kireçtaşı	062 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
19	2225	Kireçtaşı	060 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
20	2265	Kireçtaşı	064 ⁰	44 ⁰	Tabaka	-	-	-	-

Tablo 1'in devamı

No.	Aralık	Litoloji	Eğim Yönü	Eğim	Süreksizlik Tipi	JRC	Schmidt Hammer Değerleri	Dolgu Durumu	Kalınlığı (mm)
21	2310	Kireçtaşı	062 ⁰	43 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
22	2375	Kireçtaşı	062 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
23	2600	Kireçtaşı	065 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
24	2670	Kireçtaşı	062 ⁰	44 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
25	2775	Kireçtaşı	062 ⁰	45 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
26	2825	Kireçtaşı	065 ⁰	40 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
27	2880	Kireçtaşı	062 ⁰	44 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
28	3000	Kireçtaşı	065 ⁰	47 ⁰	Tabaka	-	-	-	-
Bu kesitte hat izleme yöntemi için erişilemeyen ve eğimi/doğrultusu 175 ⁰ /75 ⁰ ve 237 ⁰ /66 ⁰ olan iki takım daha bulunmaktadır.									

Tablo 2. Kesit 2'deki hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

No.	Aralık	Litoloji	Eğim Yönü	Eğim	Süreksizlik Tipi	JRC	Schmidt Hammer Değerleri	Dolgu Durumu	Kalınlığı (mm)
1	0	Kireçtaşı	015 ⁰	36 ⁰	Tabaka	-	20-25-40	Kalsit	5-10
2	400	Kireçtaşı	100 ⁰	86 ⁰	Eklem	-	30-39	Kalsit	20
3	400	Kireçtaşı	200 ⁰	65 ⁰	Eklem	-	22—24-38	Kalsit	20
4	1090	Kireçtaşı	040 ⁰	55 ⁰	Tabaka	-	33-36-43	Kalsit	20
5	1190	Kireçtaşı	093 ⁰	85 ⁰	Eklem	-	43-38	Kalsit	10
6	1640	Kireçtaşı	020 ⁰	84 ⁰	Eklem	-	34-37-39	-	-
7	2410	Kireçtaşı	090 ⁰	75 ⁰	Eklem	-	27-38-39-40	-	-

Bu kesitte hat izleme yöntemi için erişilemeyen ve eğimi/doğrultusu 180⁰/73⁰ ve süreksizlik aralığı 1.5 m olan paralel bir eklem takımı bulunmaktadır.

Tablo 3. Kesit 3'ün toğunda hat izleme yöntemi sonrası toplanan süreksizlik verisi

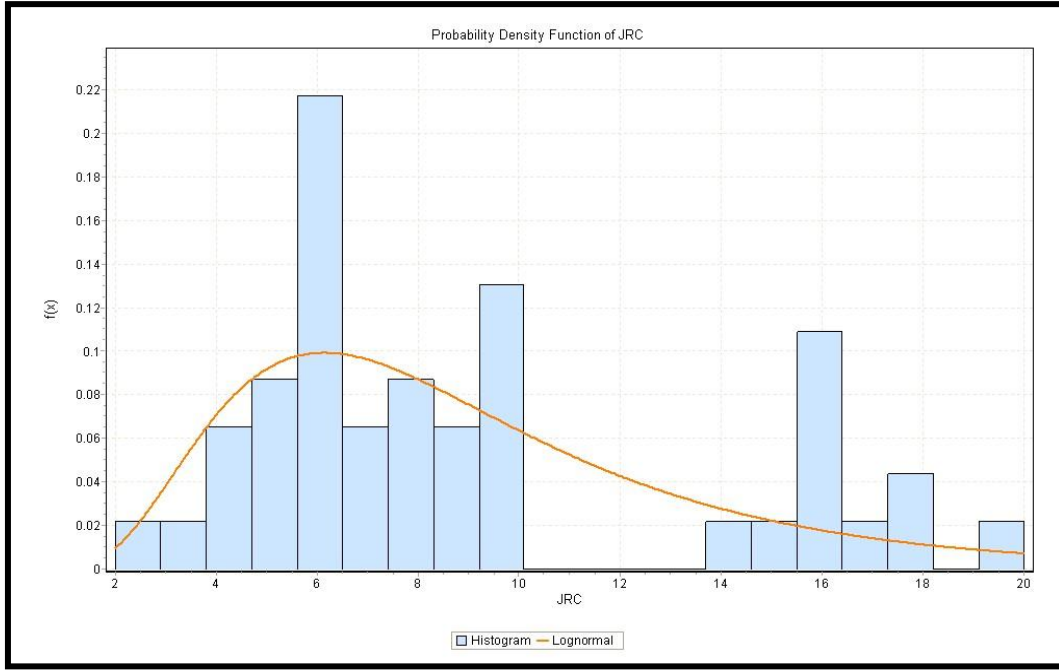
No.	Aralık	Litoloji	Eğim Yönü	Eğim	Süreksizlik Tipi	JRC	Schmidt Hammer Değerleri	Dolgu Durumu	Kalınlığı (mm)
1	70	Kireçtaşı	31	32	Tabaka	-	21-35-39	-	-
2	115	Kireçtaşı	31	32	Tabaka	-	35	-	-
3	100	Kireçtaşı	142	80	Eklem	-	-	Kalsit	10
4	65	Kireçtaşı	20	45	Tabaka	-	24	-	-
5	100	Kireçtaşı	152	72	Eklem	-	20-21-40	Kalsit	60
6	120	Kireçtaşı	148	75	Eklem	-	-	-	-
7	100	Kireçtaşı	145	70	Eklem	-	-	-	-
8	50	Kireçtaşı	25	40	Tabaka	-	-	Kalsit	30
9	90	Kireçtaşı	30	35	Tabaka	-	-	-	-
10	90	Kireçtaşı	140	78	Eklem	-	-	-	-
11	60	Kireçtaşı	28	33	Tabaka	-	-	-	-
12	50	Kireçtaşı	33	34	Tabaka	-	-	-	-
13	140	Kireçtaşı	153	74	Eklem	-	-	-	-
14	60	Kireçtaşı	25	45	Tabaka	-	-	Kalsit	-
15	Yüzeye	Kireçtaşı	200	50	Eklem	-	22-22-24-34-42-	-	-

16	parallel ve aralığı 30 cm - 80 cm arasında değişen	Kireçtaşı	200	60	Eklem	-	36	-	-
17		Kireçtaşı	215	50	Eklem	-		-	-
18		Kireçtaşı	215	50	Eklem	-		-	-
19		Kireçtaşı	215	45	Eklem	-		-	-
20		Kireçtaşı	215	47	Eklem	-		-	-

Süreksizlikleri yüzey pürüzlüğünün belirlenmesi ve Barton and Choubey (1977) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre JRC değerlerinin bulunması için süreksizlik yüzeyleri bir kağıda çizilerek değerler Barton and Choubey (1977)'de verilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4'de elde edilen JRC değerlerinin istatistiksel özeti verilmiştir. JRC değerlerinin istatistiksel dağılımı Easyfit yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve lognormal dağılım gösterdiği saptanmıştır (Şekil 11).

Tablo 2. JRC değerlerinin özet istatistikleri

İstatistik	Değer
Örnek sayısı	46
Aralık	18
Ortalama	9.1087
Varyans	21.966
Standard sapma	4.6868
Varyasyon katsayısı	0.51454
Standard Hata	0.69102
Simetriklik	-0.80172
Kurtosis	-0.49338

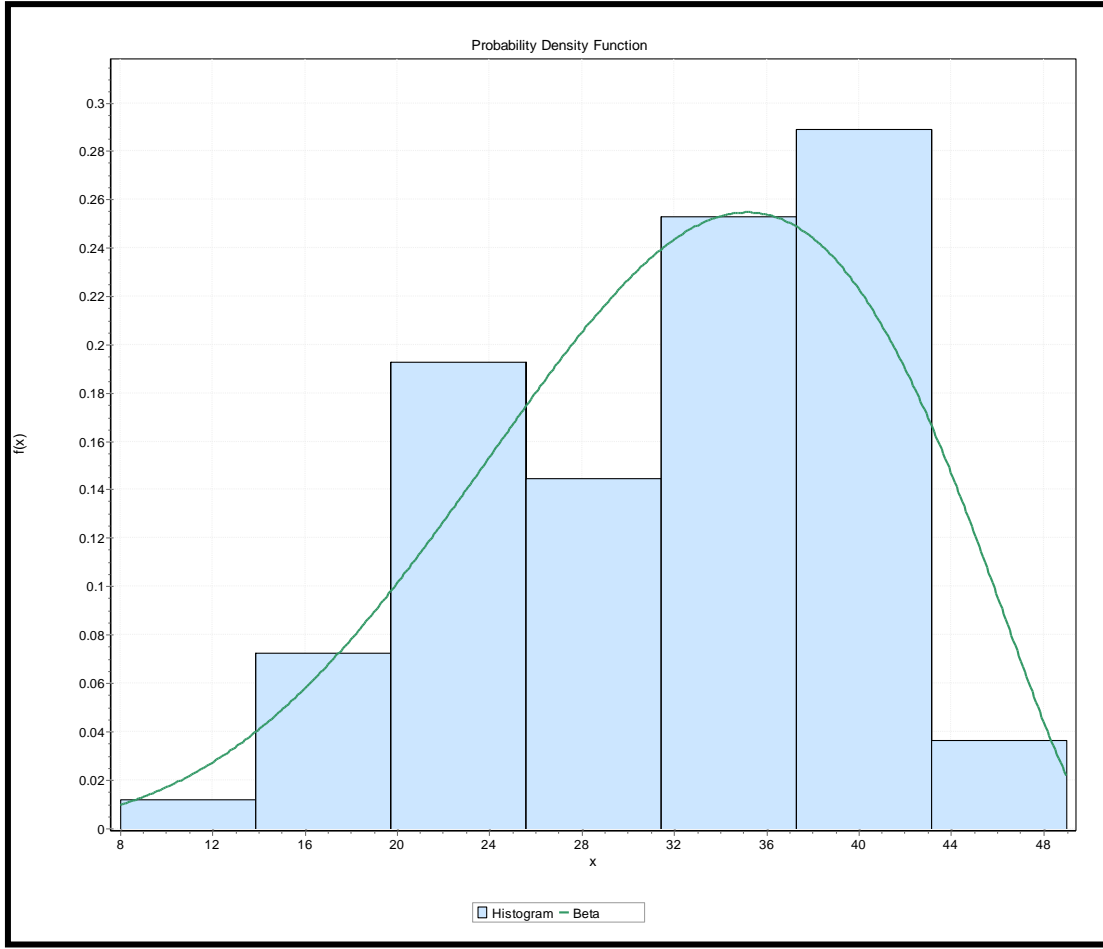


Şekil 11. JRC değerlerine uyan lognormal dağılım

Eklem duvarı basma dayanımı (joint wall compressive strength, JCS) değerlerinin bulunması için Schmidt çekici deneyleri yapılmıştır ve Tablo 5’de sonuçlar verilmiştir. JCS değerleri için yapılan dağılım analizinde ise JCS değerlerine Beta dağılımının uyduğu görülmüştür (Şekil 12).

Tablo 3. Schmidt çekici değerlerinin istatistikleri

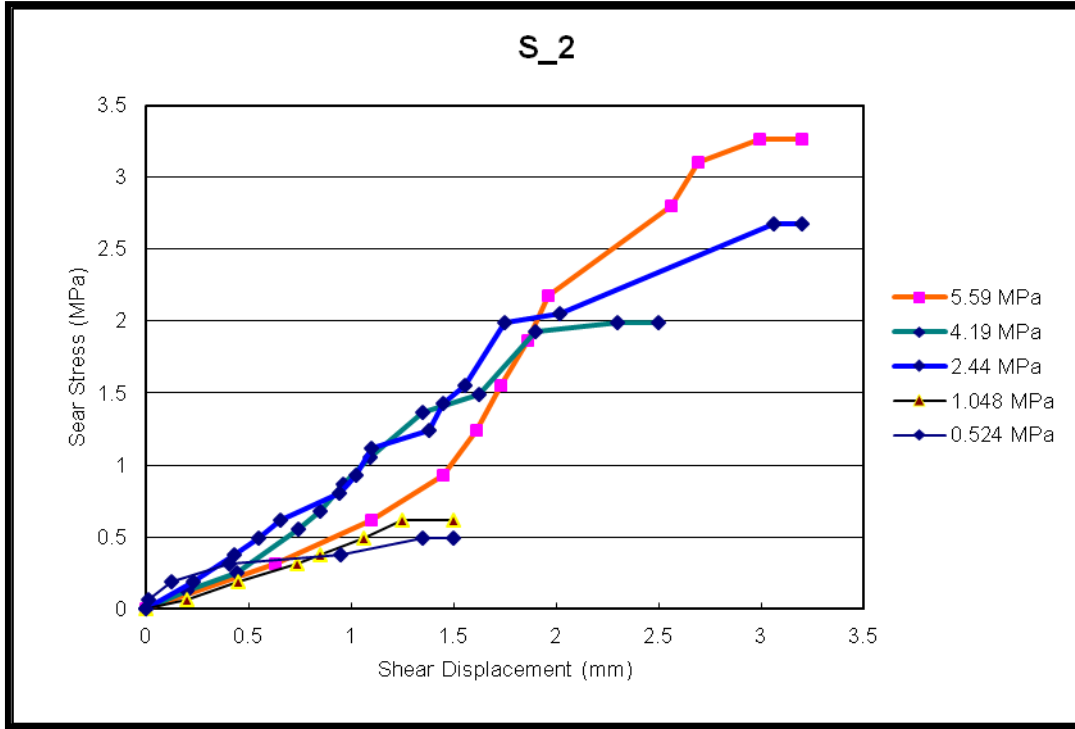
İstatistik	Değer
Örnek sayısı	83
Aralık	41
Ortalama	32.181
Varyans	78.028
Standard sapma	8.8333
Varyasyon katsayısı	0.27449
Standard Hata	0.96959
Simetriklik	-0.50298
Kurtosis	-0.51933



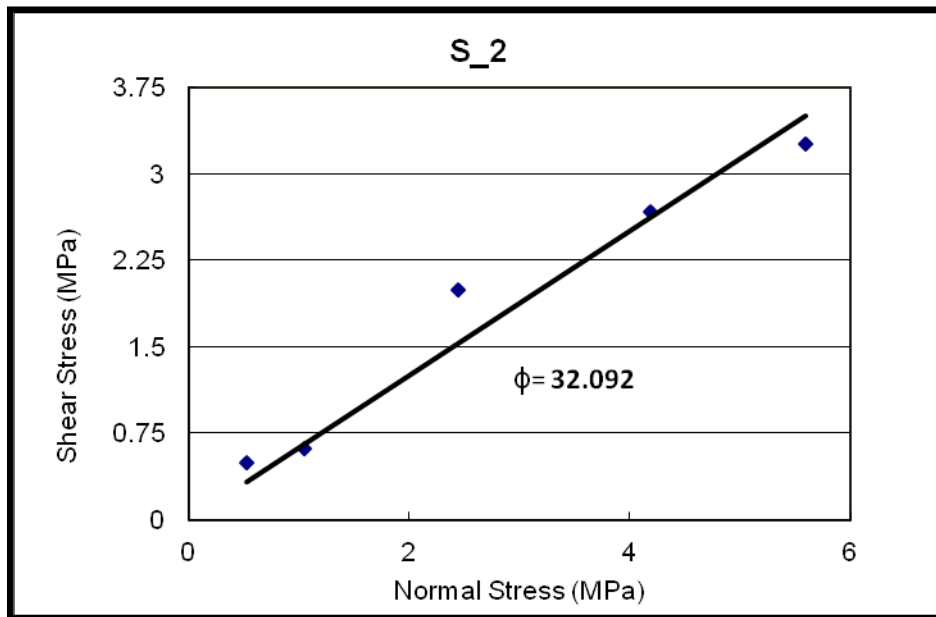
Şekil 12. JCS değerlerine uyan beta dağılımı

Süreksizlikleri temel sürtünme açısının bulunması için beş adet direk kesme deneyi yapılmıştır. Numuneler S_2, S_3, S_4, S_5 ve S_7'de yapılan deneyler sonrasında her numune için sırası ile temel sürtünme açıları, 32.09, 32.23, 29.16, 33.48 ve 29.01 derece olarak bulunmuştur. Şekiller 13-15'de S_2 numunesi için elde edilen eğriler farklı normal gerilmeler için verilmiştir. Burada S_2, S_3, S_4, S_5 ve S_7 nolu numuneler yapay kesme yüzeleri içermektedir ve Şekiller 8-10'da verilen grafiklerin tamamı elde edilerek temel sürtünme açıları bulunmuştur.

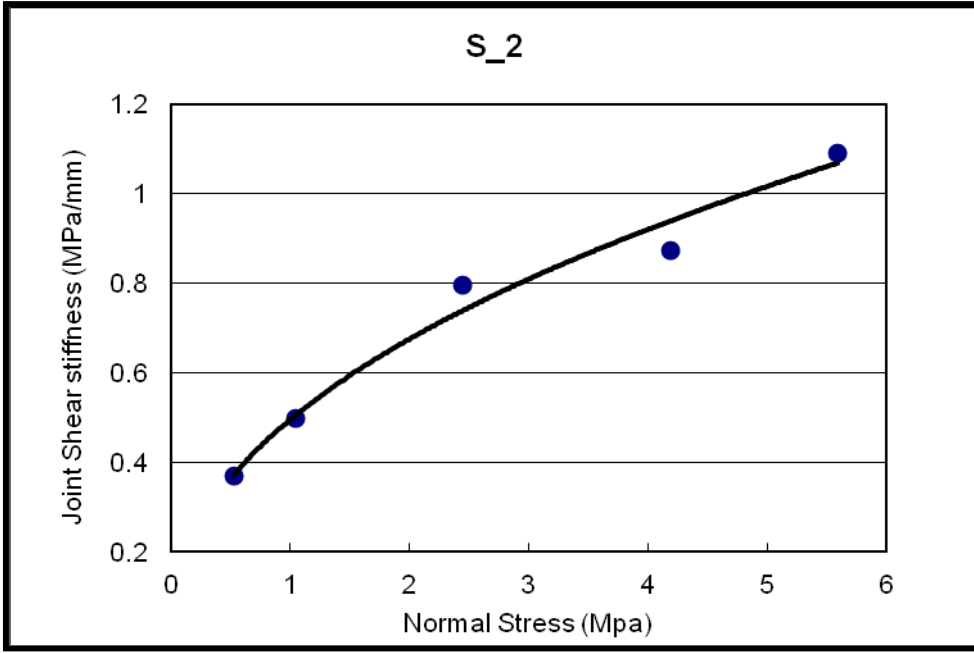
İki adet doğal süreksizlik üzerinde de direk kesme deneyleri yapılmıştır. Şekiller 11-13'de elde edilen eğriler verilmiştir.



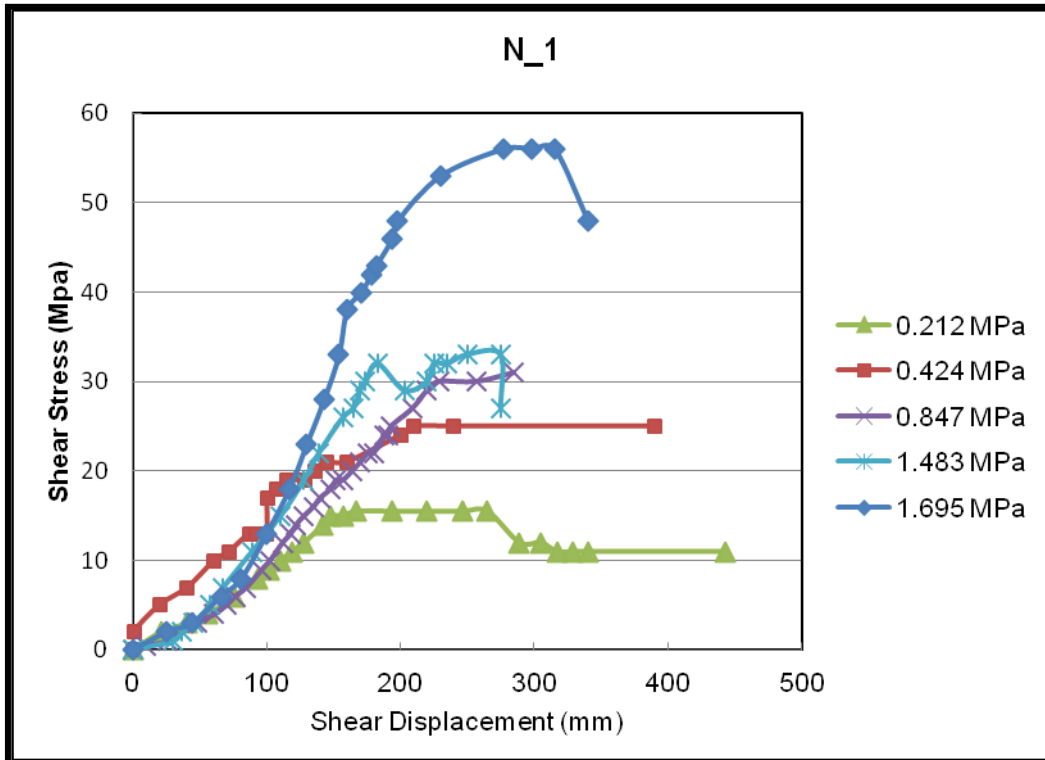
Şekil 13. S_2 numunesi için farklı normal gerilmelerde kesme Gerilmesi/Deplasman eğrisi



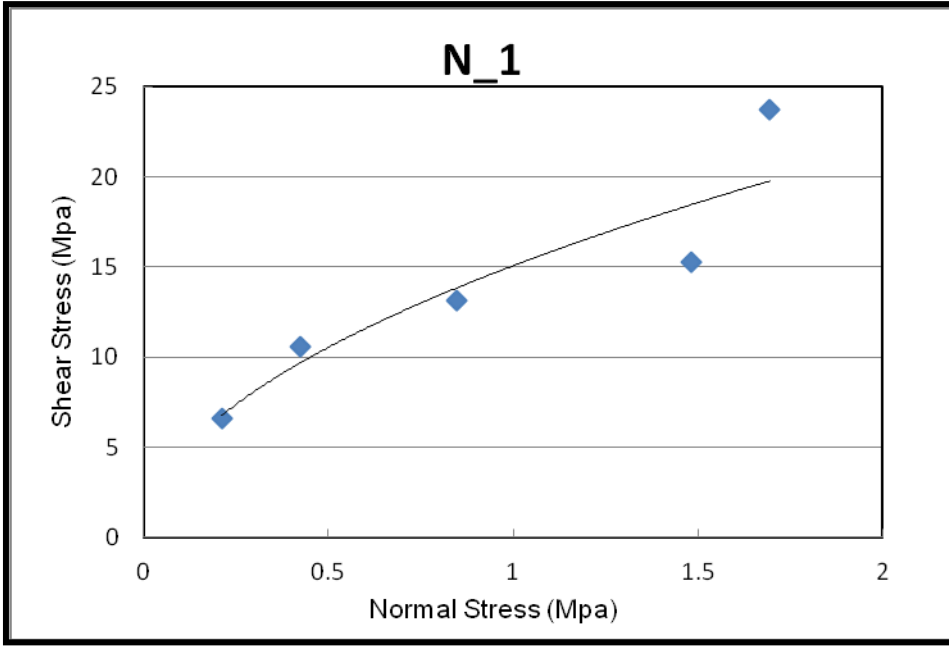
Şekil 14. S_2 numunesi için normal ve kesme gerilmesi doğrusu



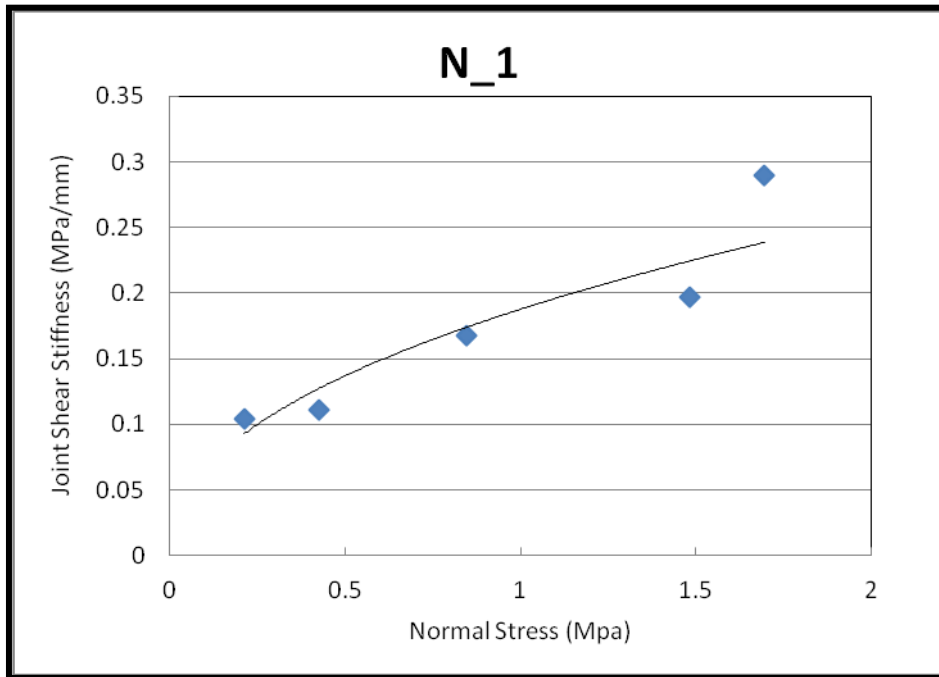
Şekil 15. S_2 numunesi için normal gerilme- kesme katılığı eğrisi



Şekil 16. N_1 numunesi için kesme gerilmesi/ deplasman eğrisi



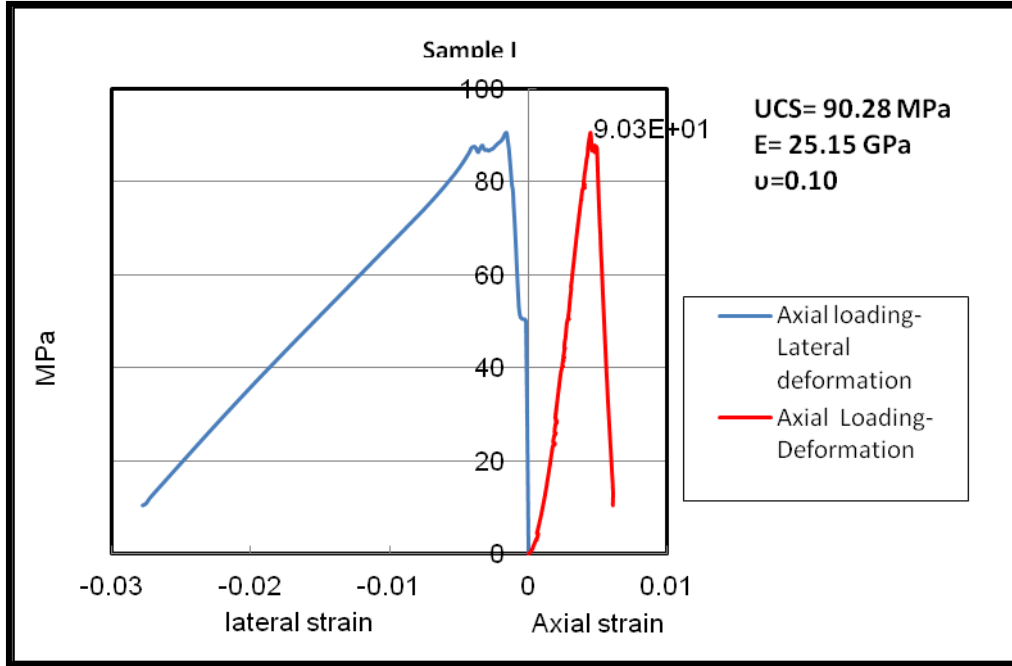
Şekil 17. N_1 numunesi için normal gerilme -kesme gerilmesi ilişkisi



Şekil 18. N_2 numunesi için normal gerilme- kesme katılığı eğrisi

Tüm bunlara ek olarak iki adet deformasyon deneyi yapılmış ve birinci numune için elastik modülü, tek eskenli basma dayanımı ve Poisson oranı 25.15 GPa, 90.28 MPa and 0.1 ve

ikinci numune için ise 28 GPa, 95.26 MPa and 0.116 elde edilmiştir. Şekil 19’da deformasyon deneyleri sonucu verilmiştir.



Şekil 19. Birinci numune için gerilme-deformasyon eğrisi

5. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

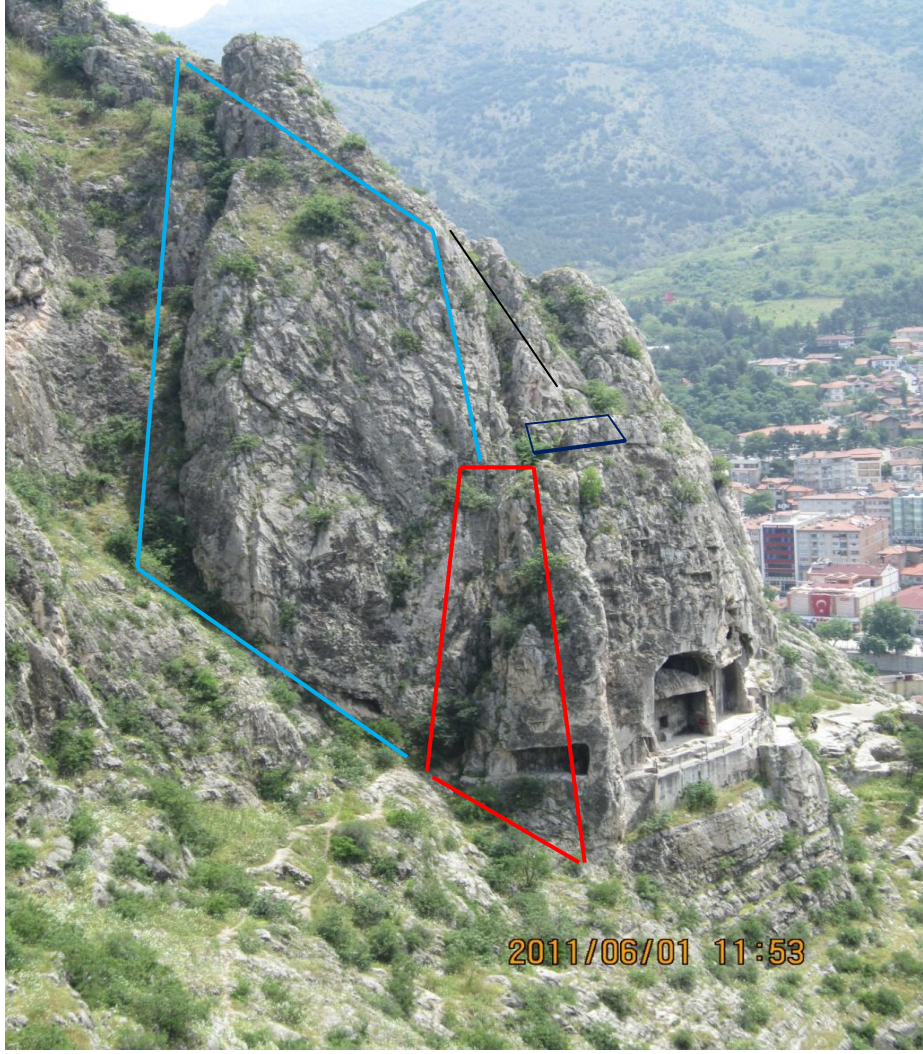
Harşena Dağı’ndan yer alan ve Şekil 6’da da gösterilen şev duraylılığı problemleri içinde analiz için arkeolojik ve turistik önemi de dikkate alınarak kral mezarı kısmının olasılığa dayalı numerik analiz yöntemi ile analizi uygun bulunmuştur. Söz konusu kral mezarı günlük yüzlerce ziyaretçi almakta ve yapının altında bir kayma olduğunda zarar görecektir restoran, otel, dükkan vb. kent elemanları bulunmaktadır. Kral mezarının altında düşen kaya blokları gözlenmiş ve halihazırda askıda bulunan ve düşme tehlikesi yaratabilecek başka bloklar da bulunmaktadır. Şekil 20’de düşen ve asılı duran bloklar gösterilmektedir.

Kral mezalarının bulunduğu kesimde yenilmeler süreksizlikler tarafından yönetildiği için numerik modellemenin ayrık elemanlar metodu ile yapılmasının en uygun yaklaşım olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 20. Kral mezarı yapısı civarında düşen ve asılı duran bloklar

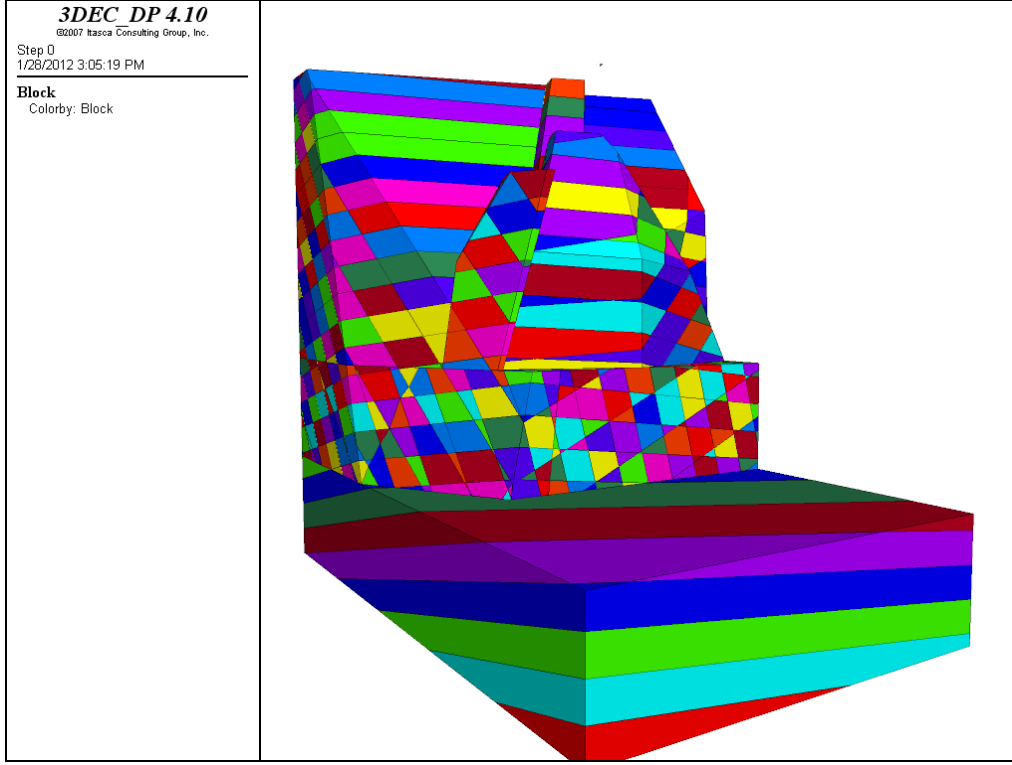
Analizi yapılan kaya mezarı yapısı kireç taşında oyulmuş bir açıklıktır ve biri tabaka eğimi diğeri de dik eklem takımlarından oluşmuş iki hakim süreksizlik ile kesilmiştir. Bu süreksizlikler yapıda düzlemsel kayma şeklinde bir yenilmenin oluşumunu hazırlamışlardır. Şekil 21’de modellenen kaya mezarı gösterilmiştir.



Şekil 21. Analizi yapılan kaya mezarları

5.1.Model Oluşturma

Çalışılacak yapı kompleks bir geometriye sahiptir. Bu nedenle yapının geometrisini çıkarabilmek için yapıdaki önemli noktaların GPS ile koordinatları belirlenmiştir. Kral mezarı için oluşturulan geometrik model Şekil 22’de verilmiştir. Tablo 6’da ise modeli oluşturan süreksizliklerin özellikleri verilmiştir.

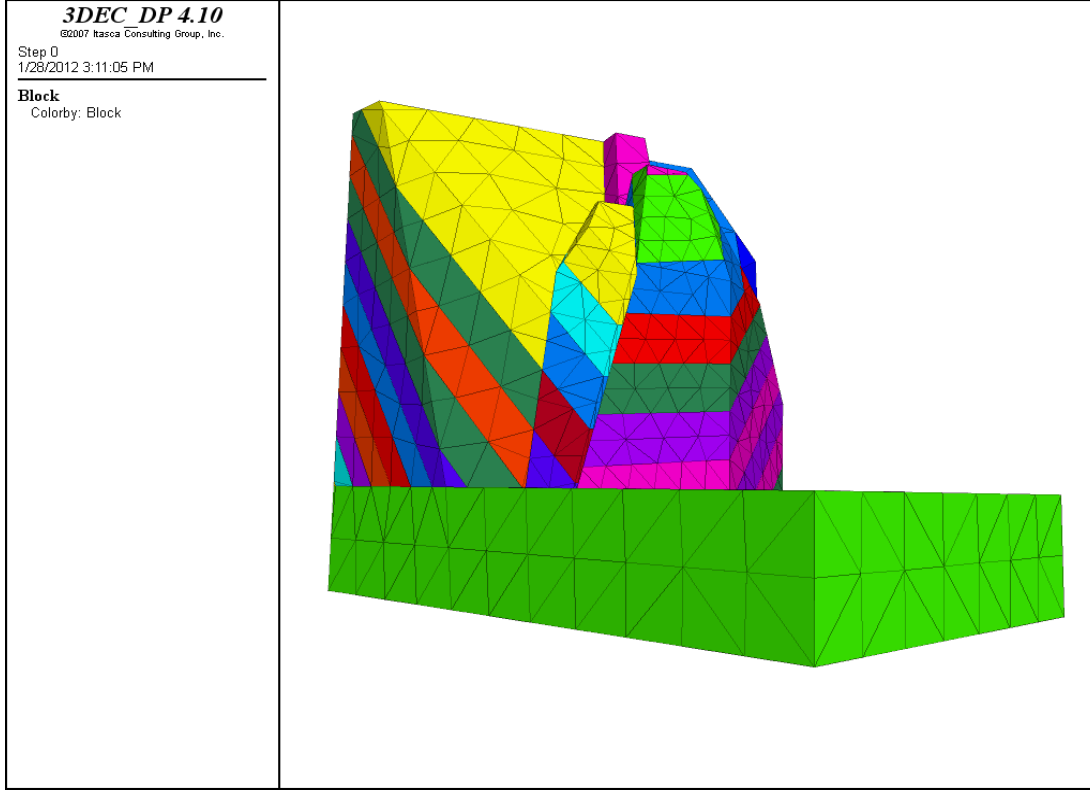


Şekil 22. Kral mezarı için oluşturulmuş geometric model

Tablo 6. Kral mezarındaki süreksizliklerin özellikleri

	Tabaka	Eklem 1	Eklem 2	Eklem 3
Eğim ($^{\circ}$)	35°	87°	55°	75°
Eğim yönü ($^{\circ}$)	028°	180°	200°	288°

3B ayrıık elemanlar modellemesinde süreksizliklerin tümü için analiz yapılması gerektiğinden ve kral mezarını oluşturan geometride oldukça fazla süreksizlik olması ve tabaka eğimlerinin kayma yönünün tersinde olması nedeniyle analizlerin tabaka düzleminde olanları göz ardı edilmiş ve eklemlerdeki yenilmeler numeric modelle değerlendirilmiştir. Şekil 23’de numerik analizde (3DEC) kullanılmak üzere sadeleştirilen kral mezarı geometrisi verilmiştir. Burada sınır durumlarında hız sıfır olarak alınmıştır.



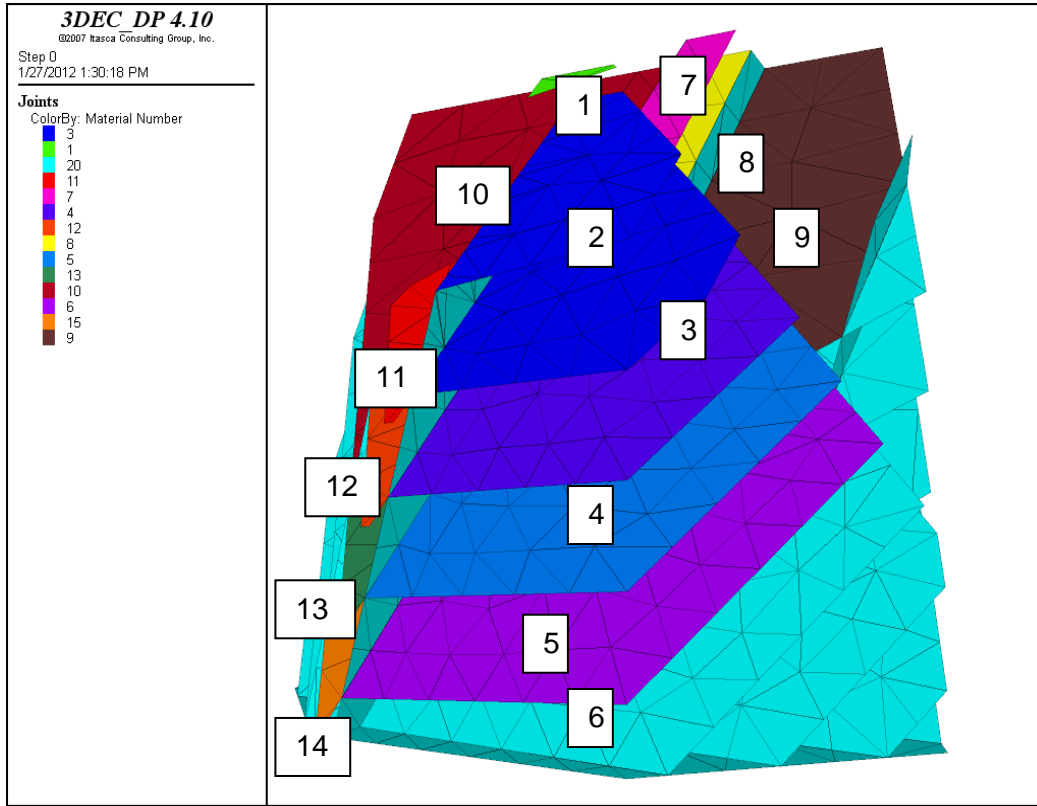
Şekil 23. 3DEC’de analiz edilmek üzere sadeleştirilen kral mezarı yapısı

5.2.Deformasyon Modeli ve Kaya Malzemesi Parametrelerinin Seçilmesi

3DEC’de analizleri yapılmazı için sağlam kaya malzemesi ve süreksizliklerin dayanım özelliklerinin ve deformasyon modellerinin belirlenmesi gerekmektedir. Deformasyon modeli deformasyon ve gerilme arasındaki matematiksel ilişkidir. Karal mezarı yapısı yüzeyde ve düşük normal gerilmeler etkisinde olduğundan elastik Hook yasası sağlam kaya malzemesi için deformasyon modeli olarak seçilmiştir. Kaya malzemesinin bu yasaya göre modellenmesi için kayanın yoğunluğu, sıkışma modülü (K) ve kesme modülü (G) değerlerinin bulunması gerekir. K ve G değerleri ise Young modülü ve Poisson oranından bulunur. Laboratuvar çalışmalarından Young modülü ve Poisson oranı sırası ile 26.5 GPa, and 0.11 olarak bulunmuştur. Bu değerlere karşılık gelen K ve G değerleri 11.32 GPa and 11.94 GPa’dır. Kayanın yoğunluğu ise 2600 Kg/m³.

Şekil 24’de 3DEC’de analiz edilen süreksizlikler gösterilmektedir. Şekil 24’den de görüleceği gibi toplan 14 adet süreksizlik analiz edilmiştir. Analizlerde süreksizliklerin plastik davranış gösterdiği arazi gözlemlerine dayanarak kabul edilmiştir. Şekil 24’de

numaraları verilen süreksizliklerden 20 nolu süreksizlik üstünde kaymaya izin verilmemiştir. Geri kalan tüm süreksizlikler için ise Coulomb kayma modeli kullanılmıştır.



Şekil 24. Analiz edilen 14 adet süreksizlik

3DEC modellemesinde modelin koşturmadan önce limit dengeye ulaşması gerekmektedir. Bu amaçla başlangıç normal yüklemesinde yüksek ks, kn, kohezyon, çekme gerilmesi ve sürtünme açısı değerleri verilerek modelin elastik olarak davranarak dengeye ulaşması sağlanmıştır.

5.3.Olasılığa Dayalı 3DEC Analizi

Geleneksel mümerik analiz yaklaşımında oluşturulan modele sabit kaya ve süreksizlik mekanik özellikleri verilerek yapı davranışı gözlenir. Ancak bilindiği gibi kral mezarı yapısını oluşturan süreksizlik ve kaya malzemesinin mekanik özellikleri değişkenlik gösterdiğinden belirsilik içermektedir. Bu nedenle numeric analizlerin olası malzeme ve süreksizlik kombinasyonları için yapılarak yenilme olasılığının bulunması daha gerçekçi kararlar alınmasına olanak sağlayacaktır. Kral mezarı yapısında kayma

olasılığının bulunması için farklı JRC, JCS, temel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri kombinasyonları ile modeller üretilerek rassallık sağlanmış ve bu rassalığa göre kayma olasılığı belirlenmiştir.

Birinci grup analizlerde JRC rassal değişken olarak kabul edilmiş ve JCS ve sürtünme açısı deterministic parametreler olarak alınmış ve kohezyonun sıfır değeri için analizler yapılmıştır.

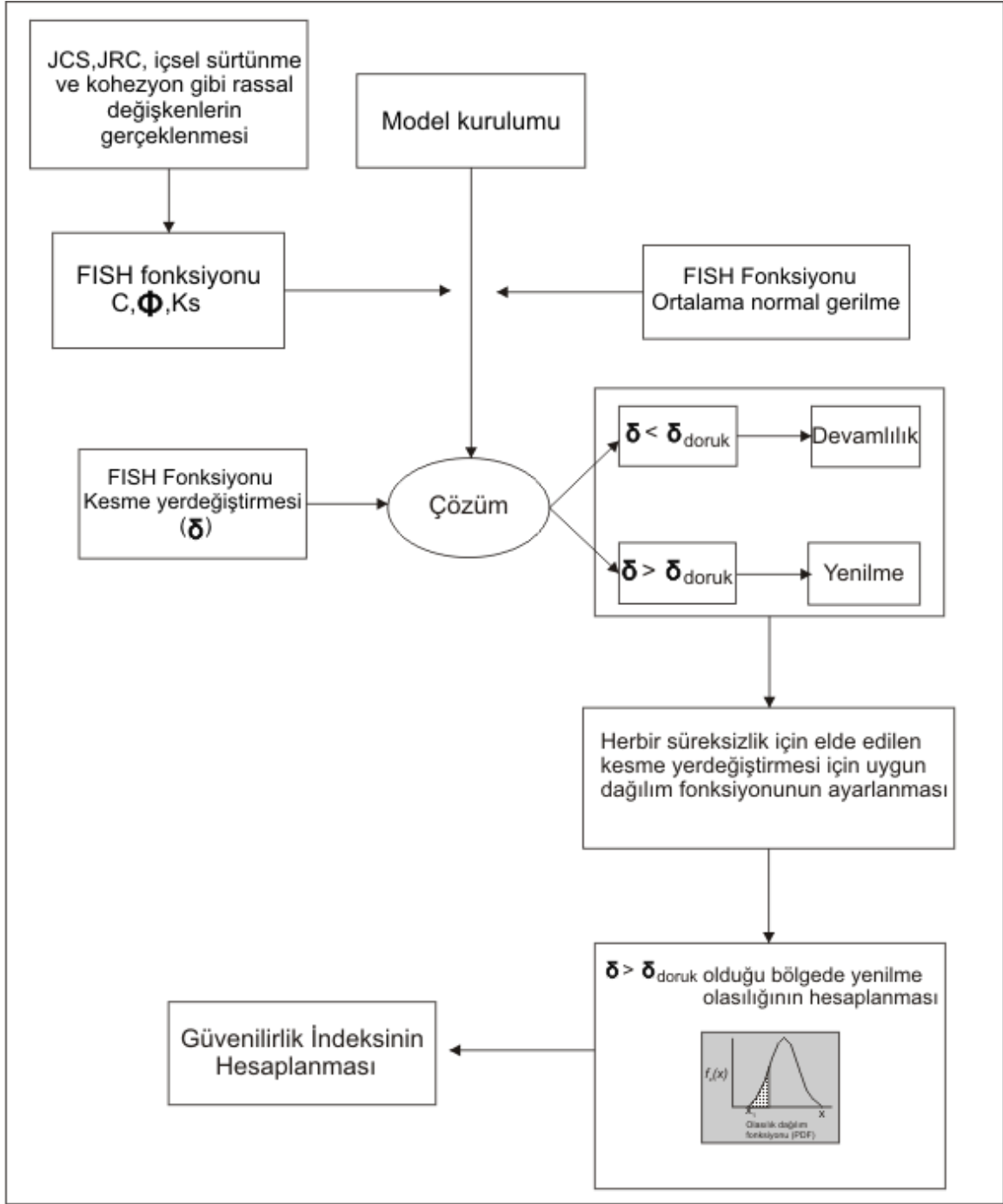
İkinci grup analizlerde ise eklemlerde dolgu malzemesi etkisinin görülmesi için modellere kohezyon eklenmiştir. Bu analizlerin ilk grubunda temel sürtünme açısı 33^0 , JCS=50 MPa ve 70 MPa olarak alınmış ve farklı JRC ve kohezyon değerleri için analizler yapılmıştır. Analizlerin ikinci grubunda ise temel sürtünme açısı (TSA) 30^0 , JCS=70 MPa olarak alınmış ve farklı JRC ve kohezyon değerleri için analizler gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak bu analiz kombinasyonları ortaya çıkabilecek olası parametre değerlerine göre kral mezarı yapısının duraylılık durumu için rassal olarak ortaya çıkabilecek durumların bir örneklemesini oluşturmaktadır. Rassal örnekleme için göz önüne alınan durumlar özet olarak şöyledir:

1. C=50 kPa, TSA= 33^0 ve JCS=70 MPa
2. C=50 kPa, TSA = 33^0 ve JCS=50 MPa
3. C=100 kPa, TSA=330 ve JCS=70 MPa
4. C=150 kPa, TSA = 33^0 ve JCS=70 MPa
5. C=200 kPa, TSA = 33^0 ve JCS=70 MPa
6. C=300 kPa, TSA = 33^0 ve JCS=70 MPa
7. C=500 kPa, TSA = 33^0 ve JCS=70 MPa
8. C=50 kPa, TSA = 30^0 ve JCS=70 MPa

9. $C=100$ kPa, $TSA =30^0$ ve $JCS=70$ MPa
10. $C=150$ kPa, $TSA =30^0$ ve $JCS=70$ MPa
11. $C=200$ kPa, $TSA =30^0$ a $TSA JCS=70$ MPa
12. $C=300$ kPa, $TSA =30^0$ ve $JCS=70$ MPa
13. $C=500$ kPa, $TSA =33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Şekil 25’de metodolojik yaklaşımı verilen yöntemle olasılık değerleri belirlenmiştir. Bu metodolojide 3DEC’de halihazırda var olan yaklaşımlar yeterli olmadığından 3DEC’in yazılım dili olan FISH’de kodlamalar yapılmıştır. Şekil 25’de verilen metodolojiden de görüleceği gibi modelde anlık normal gerilme, kohezyon, sürtünme açısı ve K_s değerlerinin her sürtünme açısı için hesaplanması gerekmektedir. Sözelimi, süreksizlik 5 anlık normal gerilme, kohezyon, sürtünme açısı, tepe dürtünme deplasmanı ve K_s değerleri sırası ile 0.197149 MPa, 53.56^0 , 0.1547 MPa, 0.03423 m ve 12.32 MPa/m için bulunmuştur. Benzer şekilde yukarıda verilen rassal örneklem için tüm hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 25. Olasılığa dayalı 3DEC modellemesi metodolojisi

5.4.Sonuçlar

Her rassal örneklem için elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir:

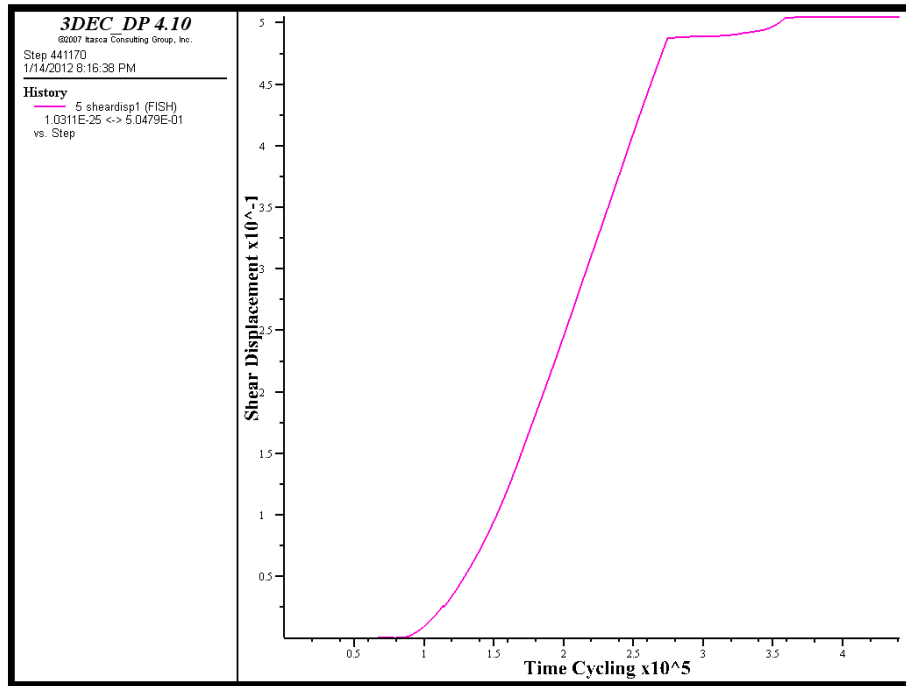
1. $C=50 \text{ kPa}$, $TSA=33^0$ ve $JCS=70 \text{ MPa}$

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak amacıyla kohezyon 50 kPa olarak eklenmiştir. Belirli bir JRC değeri K_s ve her bir süreksizliğin kesme dayanımını

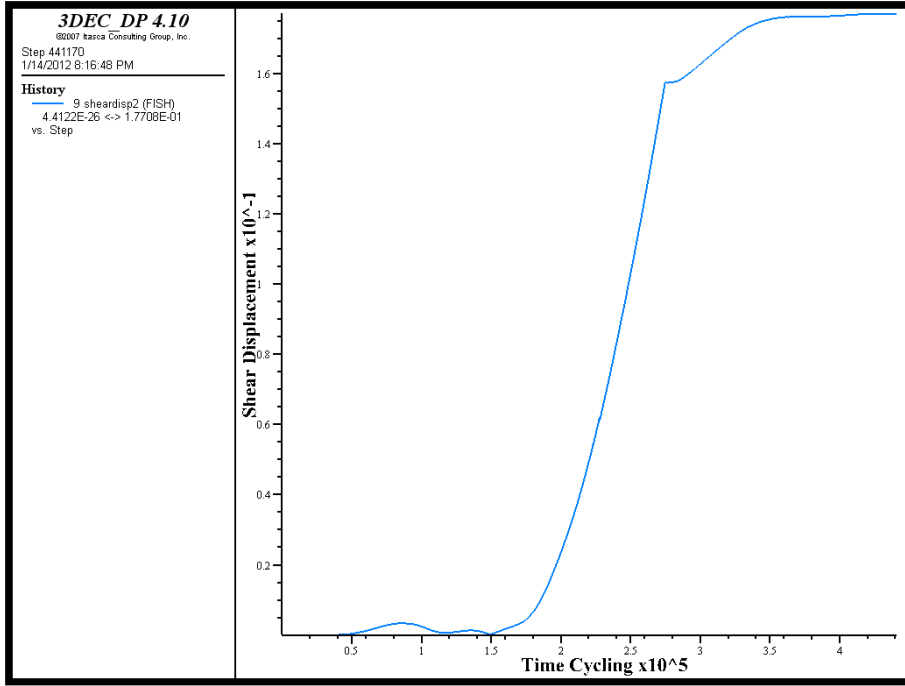
değiştirmektedir. $C=50$ kPa için JRC 15, 13, 11, 10 verilmiştir. JRC'nin 15, 13, 11 olduğu durumlarda kesme yerdeğiştirmeleri izin verilebilir kesme yerdeğiştirmesi (δ_{doruk}) ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Bununla birlikte, JRC 11'den daha düşük değerde olduğunda süreksizlik no. 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 dikkate değer biçimde yer değiştirmektedir. Buna karşın süreksizlik no 5, 6, 8, 9, 10, 13, ve 14 δ_{doruk} değerinden daha az miktarda yerdeğiştirme göstermiştir. Dolayısıyla, şayet kesme yerdeğiştirmesi δ_{doruk} 'dan daha büyük olması yenilme olarak isimlendirildiği düşünülürse JRC=11, $C=50$ kPa olması durumunda süreksizlikler içinsınır durum koşulu olarak değerlendirilebilir. Tablo 7, her bir süreksizlik için K_s için hesaplanan değerleri, kesme yerdeğiştirmesi ve doruk kesme yerdeğiştirmesi değerlerini göstermektedir.

Şekil 26'dan Şekil 38'e ondört süreksizlik için JRC=10 koşulundaki kesme yerdeğiştirmelerini göstermektedir. Aynı zamanda, Ek B'deki Şekil B1'den B13'e JRC=11 değeri için herbir süreksizliğin kesme yerdeğiştirme geçmişini ifade etmektedir.

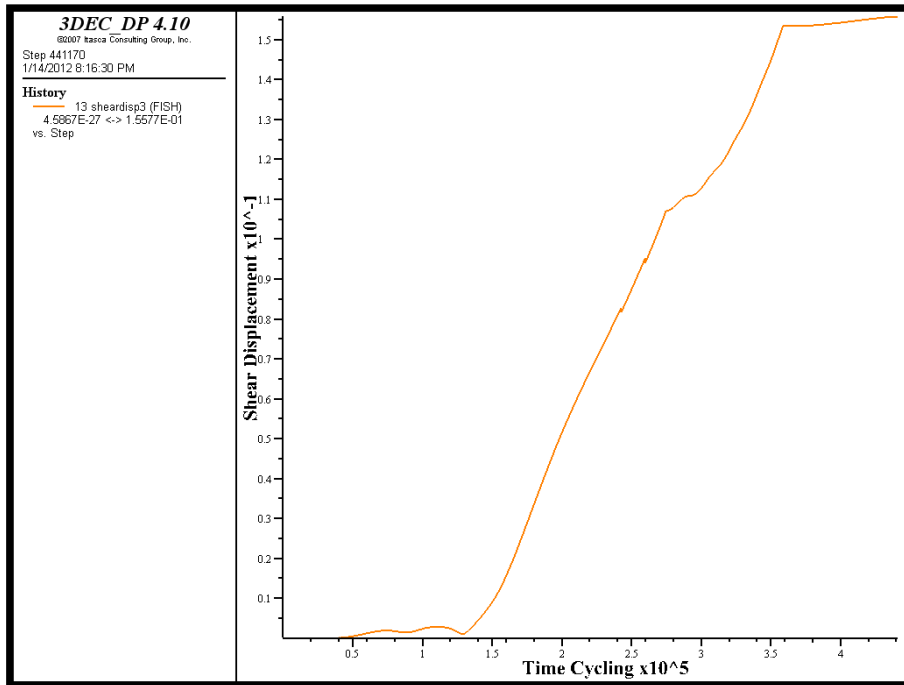
Süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 için bu gerçeğin sınır denge koşulu JRC=11 olduğundan, bu süreksizliklerin yenilme olasılığı JRC'nin Lognormal dağılımı için 9.1 ortalama ve 6.68 standart sapma ile %76.26'dır.



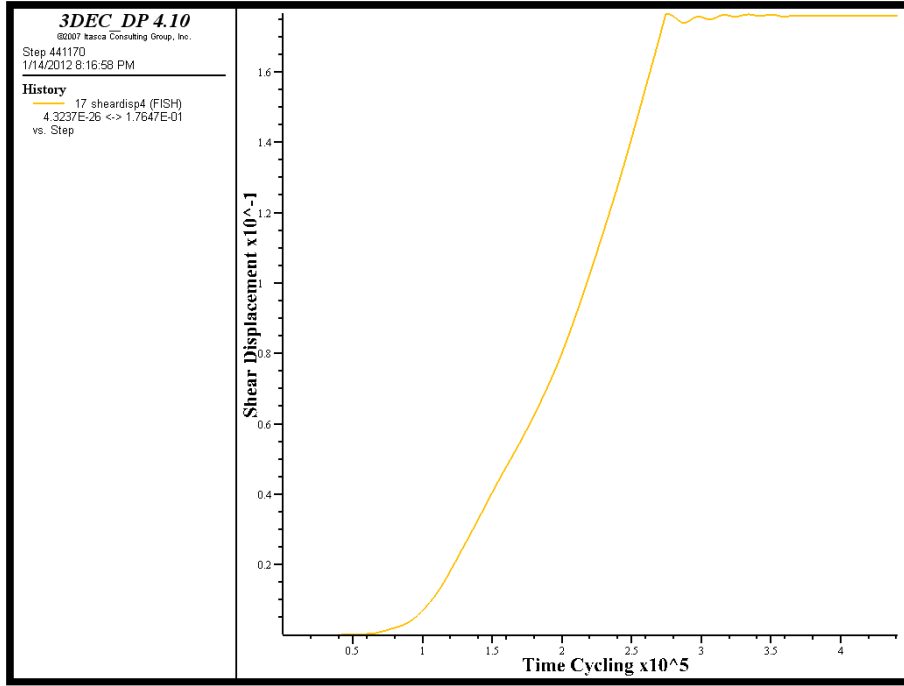
Şekil 26. JCS=70, $C=50$ kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Süreksizlik no 1 için kesme yerdeğiştirmesi.



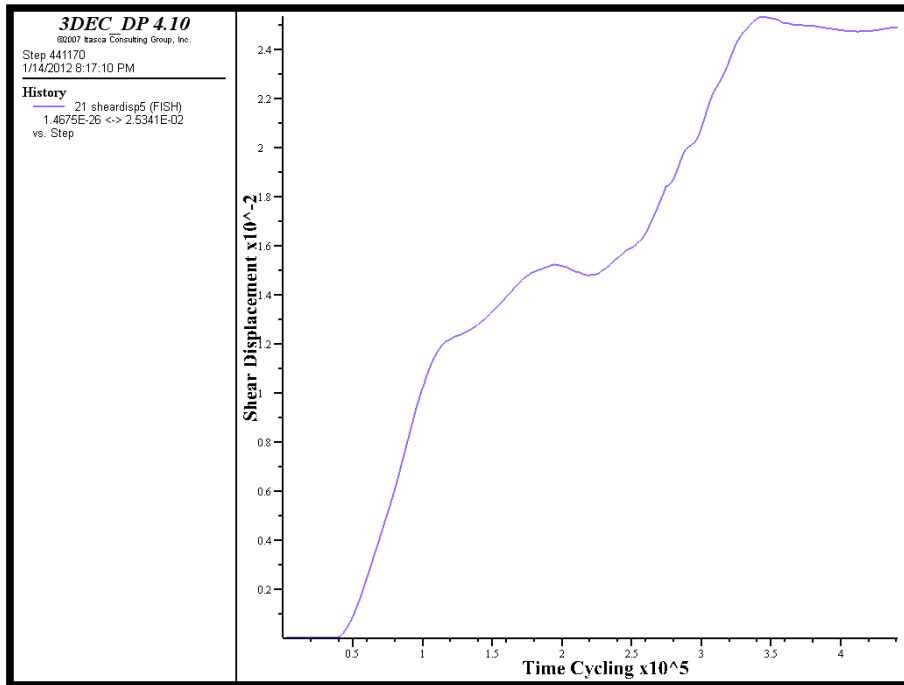
Şekil 27. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsksizlik 2 için kesme yerdeğıştirmesi.



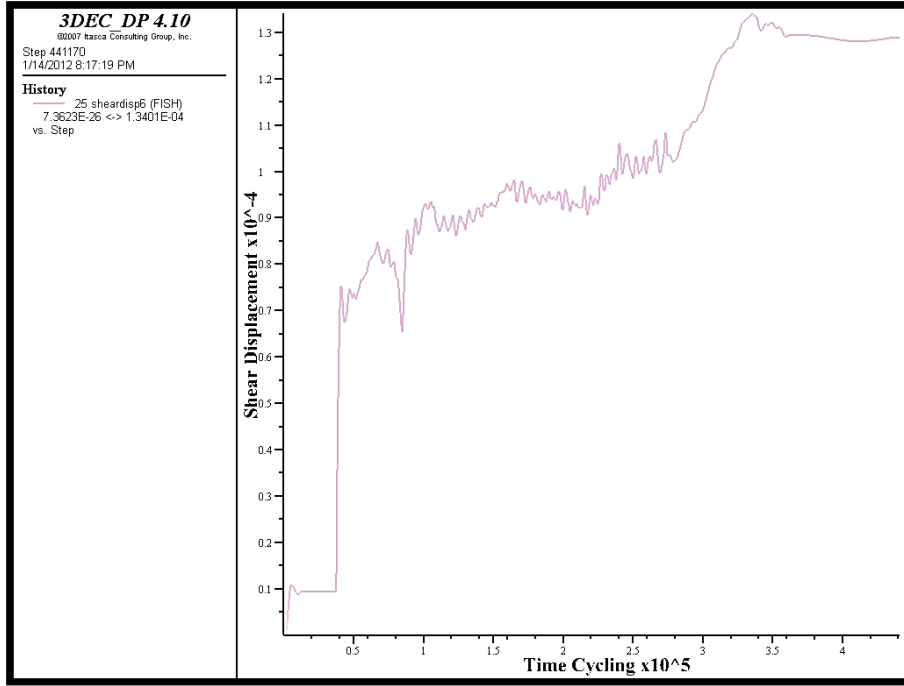
Şekil 28. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsksizlik 3 için kesme yerdeğıştirmesi.



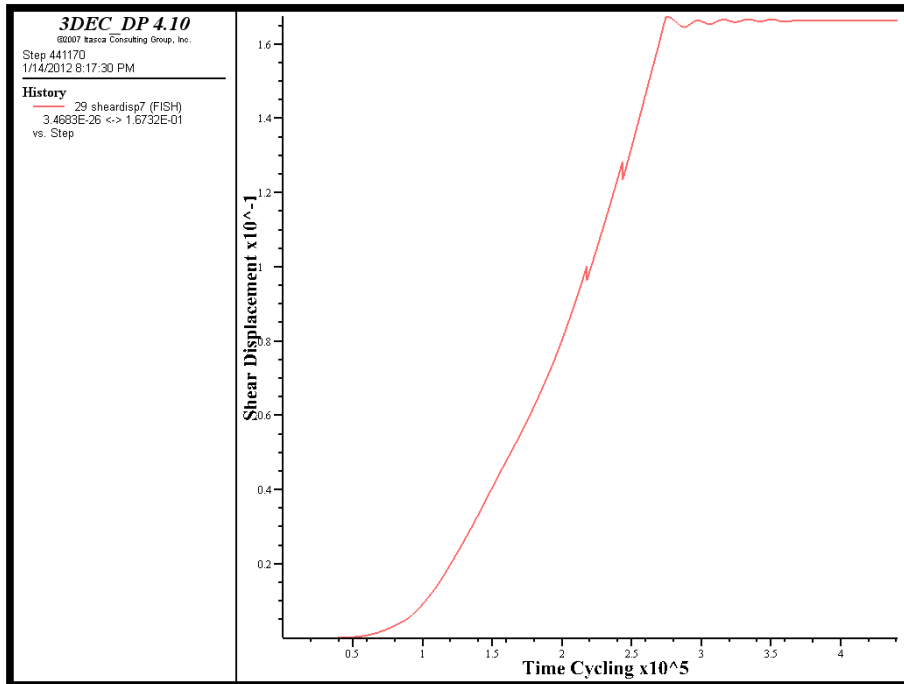
Şekil 29. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 4 için kesme yerdeğiştirmesi.



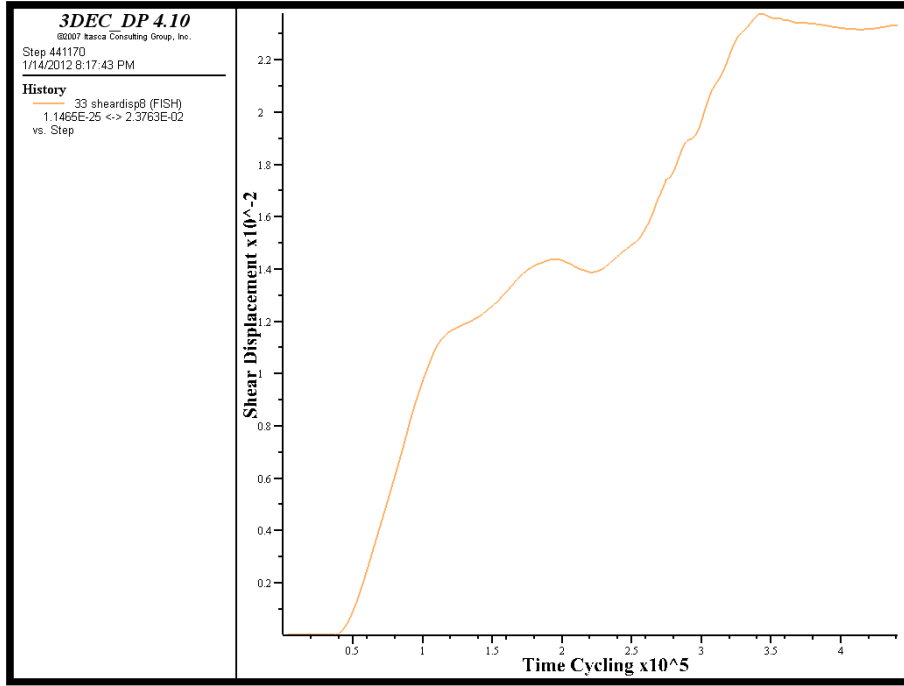
Şekil 30. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 5 için kesme yerdeğiştirmesi.



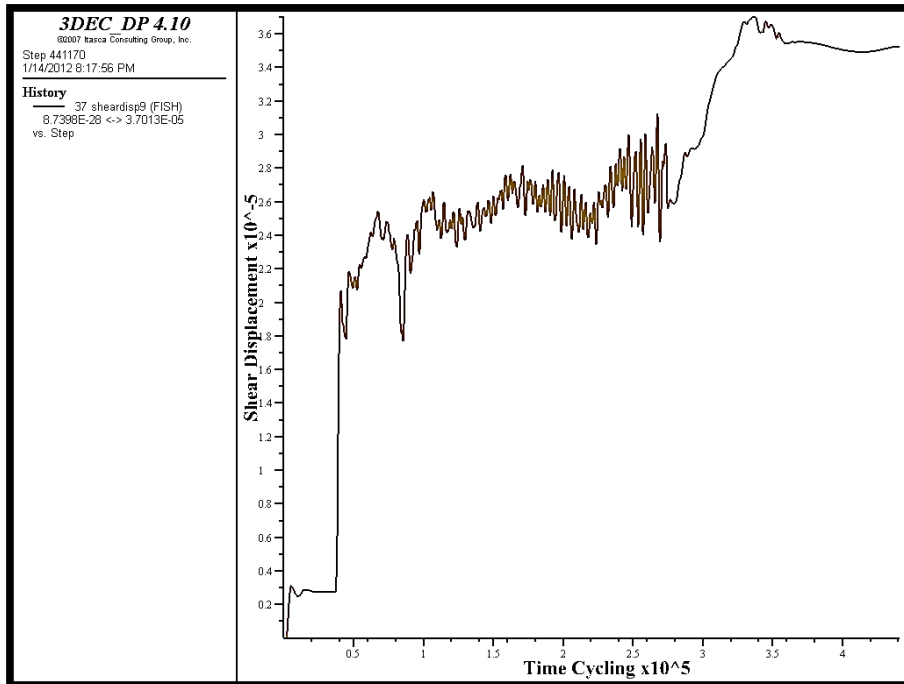
Şekil 31. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 6 için kesme yerdeğiştirmesi.



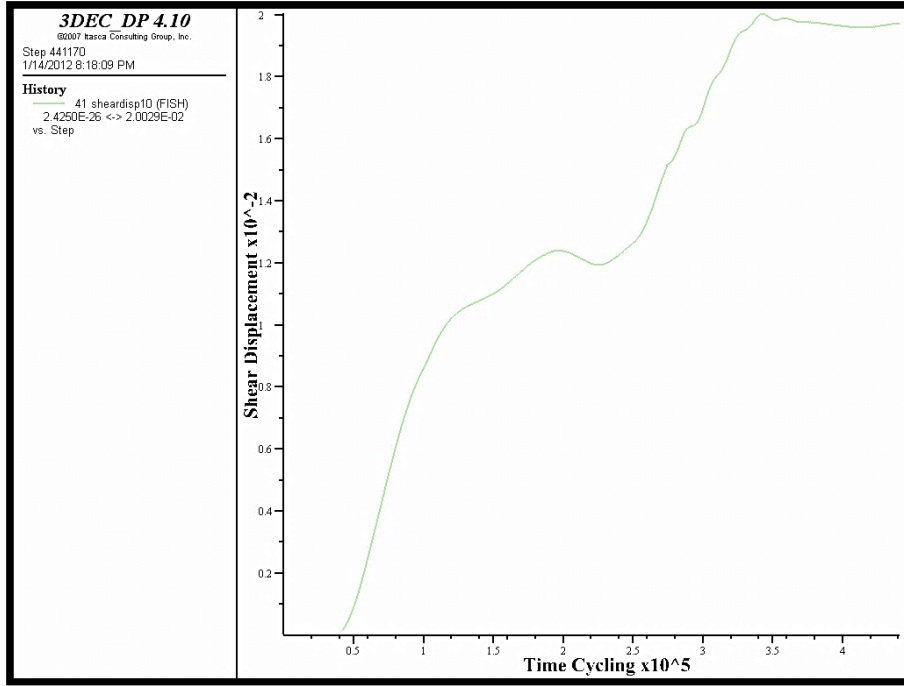
Şekil 32. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 7 için kesme yerdeğiştirmesi.



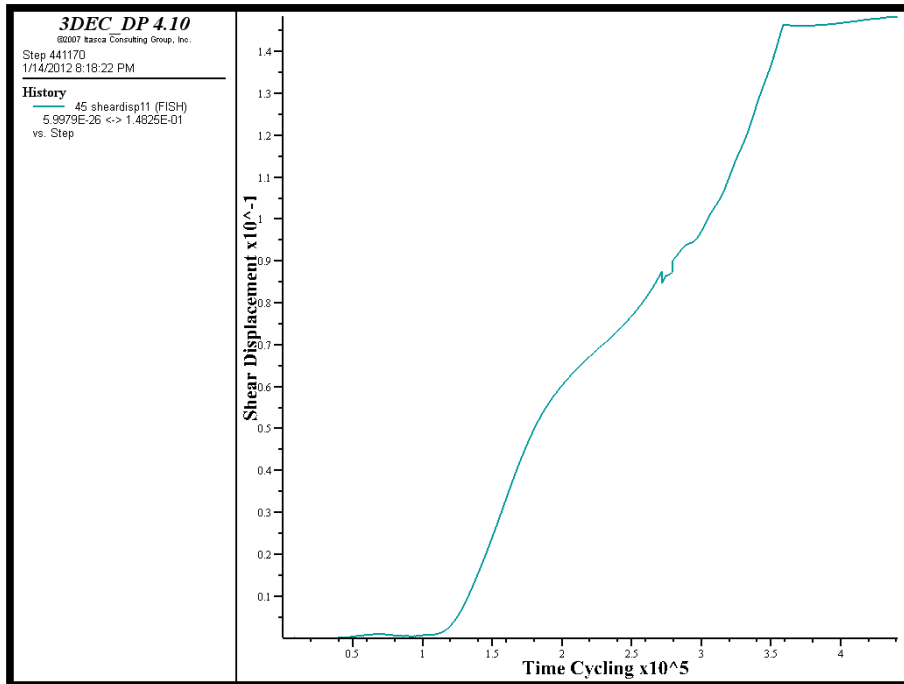
Şekil 33. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 8 için kesme yerdeğiştirmesi.



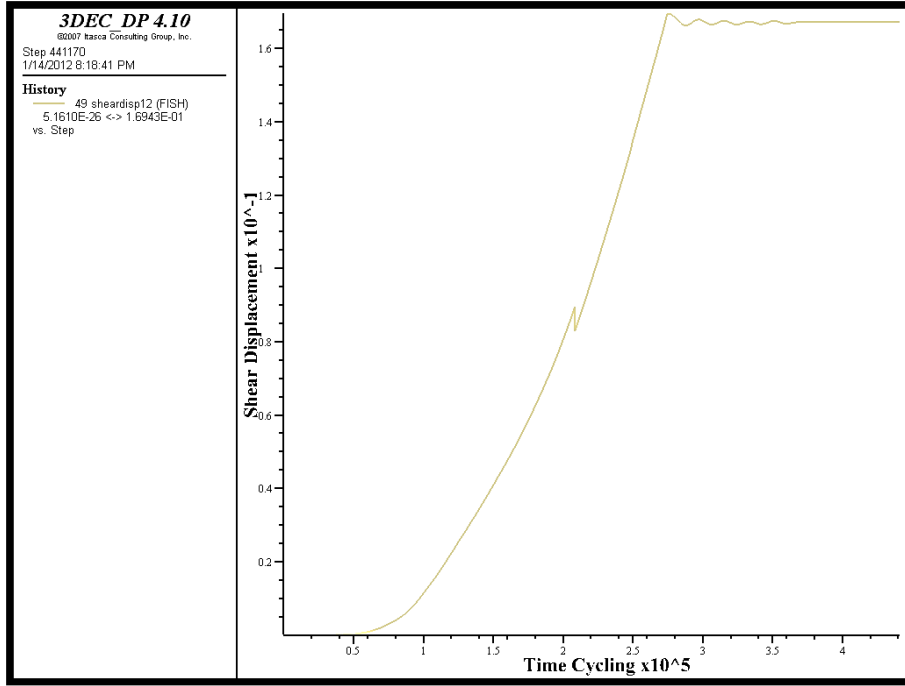
Şekil 34. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 9 için kesme yerdeğiştirmesi.



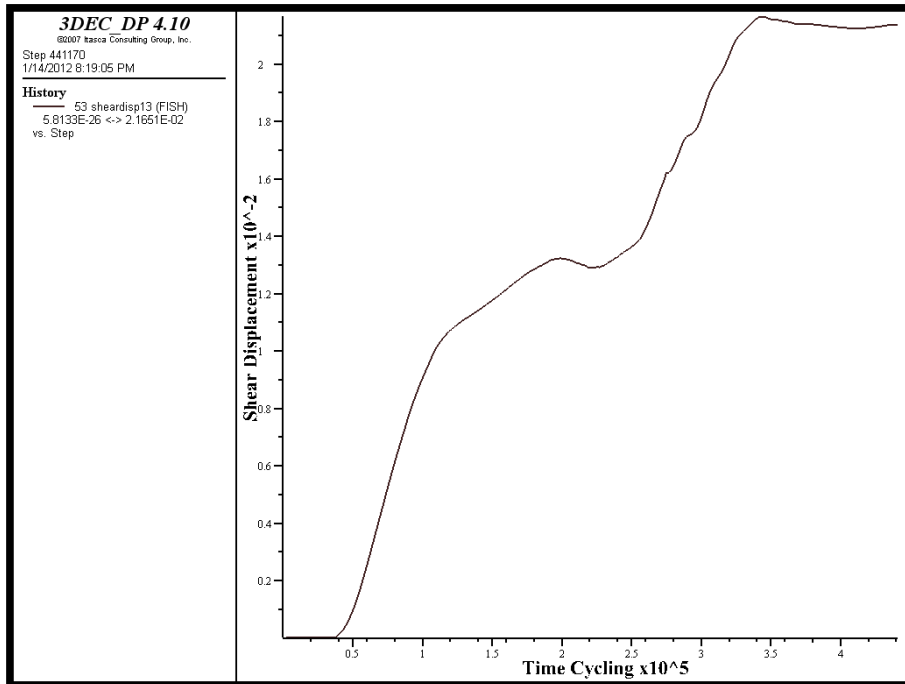
Şekil 35. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 10 için kesme yerdeğiştirmesi.



Şekil 36. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 11 için kesme yerdeğiştirmesi.



Şekil 37. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 12 için kesme yerdeğiştirmesi.



Şekil 38. JCS=70 MPa, C=50 kPa, $\Phi=33^0$ ve JRC=10 koşulunda Sürsüzlik 13 için kesme yerdeğiştirmesi.

Tablo 7. Barton modelinin sürtünme= 33, kohezyon=0.05 MPa, farklı JCS, JRC ve Ks için Kesme deformasyonu, doruk kesme deformasyonu

		*Denge olmaması durumunda			** Denge durumunda			Süreksizlik ID												
Kohezyon	JCS	50	JRC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Durum		
			0.05 MPa	JCS	50	11	δ (m)	0.7	0.202	0.14	0.16 4	0.03	0.000 1	0.15 5	0.023	3.3e-5	0.019	0.13 6	0.15 6	0.021
δ_{doruk} (m)	0.00 6	0.037					0.04	0.03 6	0.04	0.04	0.08	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.023	0.02 3	
Ks (MPa/m)	13.0 6	3.65					5.53	8.22	10.87	13.68	2.65	3.65	3.23	6.31	7.23	9.04	15.52	21.8 4		
12	δ (m)	9.8e- 6				0.000 1	3.5e- 5	1.2e- 5	0.000 5	3.4e-5	3.1e- 5	0.000 5	9.9e-6	0.000 6	4.6e- 5	1.9e- 5	0.000 6	4.5e- 5	**	
	δ_{doruk} (m)	0.00 6				0.038	0.04	0.03 7	0.036	0.036	0.07 8	0.074	0.066 1	0.031	0.02 8	0.03 4	0.024	0.02 4		
	Ks (MPa/m)	14.0 1				3.95	5.96	8.75	11.51	14.41	2.84	3.9	3.47	6.79	7.77	9.62	16.46	22.9 9		

70	10	δ (m)	0.505	0.177	0.16	0.176	0.025	0.0001	0.166	0.023	2.9e-6	0.0197	0.148	0.167	0.021	7.9e-5	**
		δ_{doruk} (m)	0.006	0.036	0.04	0.035	0.034	0.0342	0.073	0.07	0.0623	0.0288	0.0265	0.032	0.022	0.022	
		Ks (MPa/m)	12.8	3.57	5.47	8.17	10.86	13.73	2.61	3.62	3.19	6.22	7.13	8.99	15.48	21.94	
	11	δ (m)	1.0e-5	0.0001	7.2e-5	1.9e-5	0.001	4.1e-5	7.1e-5	0.001	1.2e-5	0.0014	0.0001	3.7e-5	0.001	4.5e-5	**
		δ_{doruk} (m)	0.006	0.037	0.04	0.036	0.035	0.036	0.075	0.072	0.0643	0.0297	0.0273	0.033	0.023	0.023	
		Ks (MPa/m)	13.15	3.7	5.65	8.42	11.17	14.08	2.7	3.73	3.29	6.43	7.37	9.26	15.93	22.5	
	13	δ (m)	1.7e-6	0.0001	1.7e-5	1.9e-5	3.4e-5	9.8e-6	1.8e-5	2.3e-5	2.9e-6	1.9e-5	1.3e-5	1.8e-5	3.5e-5	1.5e-5	**
		δ_{doruk} (m)	0.006	0.039	0.04	0.038	0.037	0.037	0.08	0.076	0.0679	0.0314	0.0289	0.035	0.024	0.024	
		Ks (MPa/m)	89.44	4.83	7.03	10.22	13.29	16.49	3.39	4.57	4.12	8.11	9.26	11.23	19.07	26.27	

2. $C=50$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=50$ MPa

Modelde JCS'nin değişim etsinin incelemek için JCS değerleri aynı zamanda 50 MPa'a kadar düşürülmüştür. Tablo 8 bu koşuldaki her bir süreksizliğin kesme yerdeğiştirmesini göstermektedir. Bu durum için 12'den küçükolan JRC kesme yerdeğiştirmesine ve Barton ile tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesi ile karşılaştırılmasına dayanan sınır koşul fonksiyonu olarak düşünülebilir.

Süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 için bu örnekte sınır denge koşulu $JRC=12$ olduğu için bu süreksizliklerin yenilme olasılığı %81.75'dir.

Örnek no 1 ve 2'nin karşılaştırması ile sabit $C=50$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa'dan 50 MPa'a düşürülmüş JCS koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık %5.5 arttığı görülmektedir.

3. $C=100$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 100 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=100$ kPa için JRC değerleri olarak modele 2, 3, 5, 9, 9.8 and 10 değerleri verilmiştir. JRC'nin 9.8 ve 10 değerleri için kesme yerdeğiştirmeleri izin verilebilir kesme yerdeğiştirmelerine kıyasla çok düşüktür. Bununla beraber JRC'nin 9.8'den düşük olması durumunda süreksizlik no. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13'de dikkate değer olarak yerdeğiştirmiştir. Bunun yanısıra, süreksizlik no 6 ve 14 tahmin edilen doruk kesme yer değiştirmesinden daha az yer değiştirmiştir. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği düşünöldüğünde $JRC=9.8$ bu örnek için süreksizliğimiz için sınır denge kriteri olarak düşünülebilir.

Bu örnek için sınır denge koşulu süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 için $JRC=9.8$ olduğundan, bu süreksizliklerin yenilme olasılıkları %68.07'dir.

Örnek no 1 ve 3'ün karşılaştırması ile sabit $JCS=70$ MPa, $TSA=33^0$ ve 50 kPa'dan 100 kPa'arttırılmış kohezyon koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık %8.2 azaldığı görülmektedir.

4. $C=150$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 150 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=150$ kPa için JRC değerleri olarak modele 7, 7.4, 8 ve 9 değerleri verilmiştir. $JRC=9$ değeri için tüm süreksizliklerin yerdeğiştirmeleri ihmal edilmiştir. Bunun yanısıra, JRC'nin 7.4 ve 8 değeri için yalnızca süreksizlik no. 1, tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha fazla yer değiştirmiştir. Bununla birlikte, JRC değeri 7.4'den daha az bir değer aldığında 6,9 ve 14 nolu süreksizliklerin dışındaki diğer tüm süreksizliklerin dikkate değer biçimde yer değiştirdikleri grlmştr. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği dşnldğnde süreksizlik no 1 için $JRC=9$, ve süreksizlik no 6,9 ve 14 haricinde diğer tüm süreksizlikler için $JRC=7.4$ bu örnek için sınır denge kriteri olarak dşnlebilir. Tablo 5.3, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 için sınır denge koşulu $JRC=7.4$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasılıkları %41.47'dir.

rnek no 3 ve 4'n karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $TSA= 33^0$ ve 100 kPa'dan 150 kPa'arttırılmış kohezyon koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık %26.6 azaldığı grlmektedir.

Tablo 8. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.15 MPa, JCS= 70 MPa ve farklı JRC değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri.

*Denge olmaması durumunda		** Denge durumunda		Süreksizlik ID														Durum
Kohezyon	JCS	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
		0.15 MPa	70	7	δ (m)	1.31	1.30 6	0.49	0.17	0.153	0.000 1	0.16	0.15	3.2e- 5	0.13 1	0.469	0.155	0.14 8
δ_{dorum} (m)	0.005				0.03 2	0.034	0.031	0.031	0.03	0.06 5	0.062	0.055	0.02 3	0.024	0.029	0.02	0.02	
Ks (MPa/ m)	31.45				6.33	7.73	10.4	12.9	15.52	3.84	4.78	4.6	9.37	10.51	11.39	18.7 2	24.64	
7.4	δ (m)			0.011	0.00 1	8.7e- 5	0.000 3	0.002	7e-5	0.00 1	0.002	1.5e- 5	0.00 2	7.6e- 5	0.001	0.00 2	6.8e- 5	*
	δ_{dorum} (m)			0.005	0.03 3	0.035	0.032	0.032	0.031	0.06 6	0.063	0.056	0.02 6	0.024	0.029	0.02 0	0.020	
	Ks (MPa/ m)			31.07	6.3	7.74	10.43	12.95	15.6	3.83	4.79	4.6	9.36	10.51	11.42	18.8	24.77	

		8	δ (m)	0.012	0.001	5.9e-5	1.7e-5	0.002	6.3e-5	2.9e-5	0.001	1.6e-5	0.001	5.8e-5	1.7E-5	0.001	6.1e-5	* *
			δ_{doruk} (m)	0.005	0.033	0.036	0.033	0.032	0.032	0.068	0.065	0.058	0.027	0.025	0.03	0.021	0.021	
			Ks (MPa/m)	30.58	6.27	7.77	10.5	13.07	15.76	3.84	4.82	4.62	9.37	10.53	11.51	18.96	25.03	
		9	δ (m)	4.8e-6	8e-5	1.6e-5	2.2e-5	2.8e-5	3.3e-5	1.9e-5	2.2e-5	6.9e-6	2e-5	1.1e-5	2e-5	3e-5	4.e-5	* *
			δ_{doruk} (m)	0.006	0.035	0.038	0.034	0.034	0.034	0.072	0.069	0.061	0.028	0.026	0.032	0.022	0.022	
			Ks (MPa/m)	29.9	6.31	7.97	10.86	13.56	16.38	3.93	4.97	4.73	9.57	10.77	11.9	19.66	26.01	

5. $C=200$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 200 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=200$ kPa için JRC değerleri olarak modele 2, 5, ve 7 değerleri verilmiştir. $JRC=7$ değeri için tüm süreksizliklerin yerdeğiştirmeleri ihmal edilmiştir. Bunun yanısıra, JRC'nin 5 değeri için yalnızca süreksizlik no. 1, tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha fazla yer değiştirmiştir. Bununla birlikte, JRC değeri 5'den daha az bir değer aldığında 6,9 ve 14 nolu süreksizliklerin dışındaki diğer tüm süreksizliklerin dikkate değer biçimde yer değiştirdikleri grlmştr. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği dşnldğnde süreksizlik no 1 için $JRC=7$, ve süreksizlik no 6, 9 ve 14 haricinde diğer tüm süreksizlikler için $JRC=5$ bu örnek için sınır denge kriteri olarak dşnlebilir. Tablo 5.4, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 için sınır denge koşulu $JRC=5$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasılıkları %18.88'dir.

rnek no 1 ve 5'in karşılaştırması ile sabit $JCS=70$ MPa, $TSA=33^0$ ve 50 kPa'dan 200 kPa'arttırılmış kohezyon koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık %57 azaldığı grlmektedir.

Tablo 9. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.20 MPa, JCS= 70 MPa ve farklı JRC değerleri ve her bir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri

*Denge olmaması durumunda			** Denge durumunda	Süreksizlik ID														Durum
Cohesion	JCS	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0.2 kPa	70	2	δ(m)	0.59 6	0.596	0.531	0.17 8	0.156	0.000 2	0.16 6	0.140	4e-5	0.13 2	0.519	0.164	0.15	0.000 1	*
			δ _{doruk} (m)	0.00 4	0.021	0.023	0.02 1	0.02	0.02	0.04 3	0.041	0.03	0.01 7	0.016	0.019	0.01 3	0.013	
			Ks (MPa/ m)	59.9 8	10.85	11.88	14.9 5	17.62	20.42	6.02	7.05	7.16	14.9 1	16.53	16.33	25.9 6	32.23	
		5	δ(m)	0.04 2	0.002	4.7e-5	0.00 1	0.003	0.000 1	0.00 2	0.003	2e-5	0.00 2	2.8e-5	0.002	0.00 3	8.3e-5	*
			δ _{doruk} (m)	0.00 5	0.029	0.031	0.02 8	0.027	0.027	0.05 8	0.056	0.05	0.02 3	0.021	0.025 7	0.01 8	0.018	
			Ks (MPa/ m)	45.0 9	8.44	9.58	12.3 3	14.78	17.34	4.82	5.77	5.75	11.8 9	13.23	13.48	21.6 7	27.42	

			m)															
		7	$\delta(m)$	3e-6	0.000 4	6.6e-5	5e-5	5.3e- 5	6.2e- 5	4e-5	4e-5	1e-5	2e-5	2.4e-5	4.5e-5	6e-5	6.2e-5	* *
	δ_{doruk} (m)		0.00 5	0.032	0.034	0.03 1	0.03	0.030 4	0.06 5	0.062	0.05 5	0.02 6	0.024	0.028 7	0.02	0.019 8		
	Ks (MPa/ m)		41.0 6	7.9	9.2	12.0 1	14.53	17.17	4.61	5.59	5.51	11.3 2	12.64	13.13	21.2 5	27.17		

6. $C=300$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 300 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=300$ kPa ve $JRC=7$ değeri için tüm sureksizliklerin yerdeğiştirmeleri JRC değeri 2'den buyk olduğu için ihmal edilebilir. Dolayısıyla $C=300$ kPa için model guvenli olarak isimlendirilebilir ve yenilme olasılığı 0'dır. Tablo 5.5, her bir sureksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri gostermektedir.

7. $C=500$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 500 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=500$ kPa ve $JRC=2$ ve 5 değeri için tüm sureksizliklerin yerdeğiştirmeleri JRC değeri 2'den buyk olduğu için ihmal edilebilir. Dolayısıyla $C=500$ kPa için model guvenli olarak isimlendirilebilir ve yenilme olasılığı 0'dır. Tablo 5.6, her bir sureksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri gostermektedir.

Tablo 10. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.30 MPa, JCS= 70 MPa ve JRC=2 değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri

*Denge olmaması durumunda		** Denge durumunda		Süreksizlik ID														Durum
Cohesion	JCS	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0.3 kPa	70	2	$\delta(m)$	2 e-6	0.000 2	1.7e- 5	1e-5	0.000 4	8e- 5	9e- 6	0.000 4	2e-5	0.000 4	2e- 5	1e-5	0.000 4	7e-5	**
			$\delta_{doruk}(m)$	0.00 3	0.021	0.02	0.02	0.02	0.0	0.0	0.04	0.03 7	0.017	0.0	0.01 9	0.013	0.01 3	
			Ks (MPa/m)	89.0 1	15.59	16.3 2	19.8 2	22.59	25. 4	8.3 5	9.49	9.89	20.81	22. 9	21.6	33.61	39.8 8	

Tablo 11. Sürtünme =33⁰, kohezyon= 0.50 MPa, JCS= 70 MPa ve JRC=2 ve 5 değerleri ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı için kesme deformasyonu ve Barton'un doruk kesme deformasyonu değerleri.

*Denge olmaması durumu		**Denge durumu		Süreksizlik ID														Durum	
Cohesion	JCS	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
0.5 kPa	70	2	δ(m)	1.1e-6	2.5e-5	2.8e-6	7e-6	1.3e-5	1e-5	5e-6	8e-6	3e-6	6e-6	2e-6	6e-6	1e-5	1.9e-5	**	
			δ _{doruk} (m)	0.003	0.02	0.02	0.02	0.02	0.0	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0		0.013
			Ks (MPa/m)	147.1	25.1	25.2	29.5	32.5	35.35	13.0	14.35	15.35	32.62	35.81	32.1	48.92	55.19		
		5	δ(m)	1.4e-6	3.3e-5	3.9e-6	8.7e-6	1.6e-5	9e-6	6e-6	1e-5	3e-6	7e-6	3e-6	8e-6	2e-5	1.2e-5	**	
			δ _{doruk} (m)	0.005	0.03	0.03	0.02	0.02	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.0	0.018		

			Ks (MPa/m)	109. 5	18.9 6	19.4 2	23.1 2	25.7 9	28. 37	9.99	11. 16	11. 8	24. 97	27. 47	25.1 7	38. 64	44.39	
--	--	--	-------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------	--

8. $C=50$ kPa, $TSA=30^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 50 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=50$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 11 ve 12 verilmiştir. JRC=12 değeri için kesme yerdeğiştirmeleri izin verilebilir doruk kesme yerdeğiştirmesine göre çok küçüktür. Bunun yanısıra, JRC değeri 11'e düştüğü zaman süreksizlik no. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12 ve 13 dikkate değer biçimde yer değiştirmiştir. Bununla birlikte, süreksizlik no 6, 9 ve 14 tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha az yerdeğiştirmiştir. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği düşünöldüğünde süreksizlik no 1 için JRC=12, $C=50$ kPa ve $TSA=30^0$ olması durumunda bu örnek için sınır denge kriteri olarak düşünölebilir. Tablo 5.7, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 için sınır denge koşulu JRC=12 olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasıkları %81.75'dir.

Örnek no 1 ve 8'in karşılaştırması ile sabit $JCS=70$ MPa, $C=50$ kPa ve TSA 'nın 33^0 'den 30^0 'ye azaltılması koşulu altında yenilme olasığının yaklaşık %5 arttığı görölmektedir.

Tablo 12. C=0.05 MPa, JCS=70 ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri

*Denge olmaması durumunda				** Denge durumunda	Süreksizlik ID															Durum
Kohezyon	TSA	JCS	JRC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
				0.05 MPa	30	70	11	$\delta(m)$	1.70	1.70	0.69	0.16	0.14	0.000	0.16	0.1	4e-	0.1	0.6	0.1
$\delta_{doruk}(m)$	0.00	0.03	0.04					0.03	0.03	0.035	0.075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	
Ks (MPa/m)	12.6	3.49	5.29					7.84	10.3	13.04	2.53	3.4	3.0	6.0	6.9	8.6	14.	20.8		
12	$\delta(m)$	1.1e-	0.00		6e-5	1e-5	0.00	5e-5	8e-5	0.0	1e-	0.0	9e-	4e-	0.0	5.e-5	**			
	$\delta_{doruk}(m)$	0.00	0.03		0.04	0.03	0.03	0.036	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02				
	Ks (MPa/m)	13.5	3.77		5.67	8.36	11.0	13.77	2.72	3.7	3.3	6.4	7.4	9.2	15.	21.9				

9. $C=100$ kPa, $TSA=30^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 100 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=100$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 10, 10.5 ve 11 verilmiştir. $JRC=10.5$ ve 11 değeri için kesme yerdeğiştirmeleri izin verilebilir doruk kesme yerdeğiştirmesine göre çok küçüktür. Bunun yanısıra, JRC değeri 10'a düştüğü zaman süreksizlik no. 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11 and 12 dikkate değer biçimde yer değiştirmiştir. Bununla birlikte, süreksizlik no 6, 9, 13 ve 14 tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha az yerdeğiştirmiştir. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği düşünüldüğünde süreksizlik no 1 için $JRC=10.5$, $C=100$ kPa ve $TSA=30^0$ olması durumunda bu örnek için sınır denge kriteri olarak düşünülebilir. Tablo 5.8, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 için sınır denge koşulu $JRC=10.5$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasıkları %73.08'dir.

Örnek no 3 ve 9'un karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $C=100$ kPa ve TSA 'nın 33^0 'den 30^0 'ye azaltılması koşulu altında yenilme olasığının yaklaşık % 4-5 arttığı görülmektedir.

Örnek no 8 ve 9'un karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $TSA= 30^0$ ve kohezyonun 50 kPa'dan 100 kPa'a arttırılması koşulu altında yenilme olasığının yaklaşık % 8 azaldığı görülmektedir.

10. $C=150$ kPa, $TSA=30^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 150 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=150$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 9.5 verilmiştir. $JRC=9.5$ değeri için kesme yerdeğiştirmeleri süreksizlik no 1 hariç hepsinde izin verilebilir doruk kesme yerdeğiştirmesine göre çok küçüktür. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği düşünüldüğünde $JRC=10$, $C=150$ kPa ve $TSA=30^0$ olması durumunda bu örnek için sınır denge kriteri olarak düşünülebilir. Tablo 5.9, her bir süreksizlik için

kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 2, 3, 4, 7, 11, 12 için sınır denge koşulu $JRC=10$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasılıkları % 69.57'dir.

Örnek no 4 ve 10'un karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $C=150$ kPa ve TSA'nın 33^0 'den 30^0 'ye azaltılması koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık % 28 arttığı görölmektedir.

Örnek no 9 ve 10'un karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $TSA= 30^0$ ve kohezyonun 100 kPa'dan 150 kPa'a arttırılması koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık % 3 azaldığı görölmektedir.

Tablo 13. C=0.1 MPa, JCS=70 MPa, TSA=30⁰ ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

*Denge olmaması durumu				** Denge durumu	Süreksizlik ID														Durum
Kohezyon	JCS	TSA	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0.1 MPa	70	30	10	δ(m)	0.59	0.146	0.189	0.165	0.019	0.000 1	0.156	0.017	3e-5	0.014	0.19	0.159	0.016	8e-5	*
				δ _{doruk} (m)	0.00 6	0.036	4e-2	0.035	0.034	0.034	0.073	0.07	0.062	0.029	0.026	0.032	0.022	0.022	
				Ks (MPa /m)	20.6 6	4.69	6.29	8.85	11.3	13.89	3.07	4.01	3.71	7.42	8.40	9.71	16.29	22.10	
	10.5	δ(m)	0.00 01	0.000 3	7e-5	0.000 1	0.002	6.3e-5	0.000 3	0.002	2e-5	0.002	9.8e- 5	0.0003	0.002	6e-5	*		
		δ _{doruk} (m)	0.00 6	0.036	0.039	0.036	0.035	0.035	0.074	0.071	0.063	0.029	0.027	0.033	0.023	0.023			
		Ks (MPa /m)	20.7 4	4.76	6.41	9.03	11.53	14.16	3.13	4.08	3.78	7.55	8.56	9.90	16.62	22.53			

				/m)														
		II	δ (m)	6e-6	8.2e5	8e-5	8e-5	0.0002	5.1e-5	9.5e-5	0.0002	1e-5	0.0002	7.9e-5	9.8e-5	0.0002	5e-5	* *
	δ_{dorum} (m)		0.006	0.037	0.04	0.036	0.035	0.035	0.075	0.072	0.064	0.03	0.027	0.033	0.023	0.023		
	Ks (MPa /m)		20.92	4.85	6.55	9.23	11.78	14.46	3.19	4.18	3.86	7.71	8.74	10.12	16.98	23		

Tablo 14. C=0.15 MPa, JCS=70 MPa, ve JRC= 9.5 değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

*Denge olmaması durumu		** Denge durumu		Süreksizlik ID															Durum
Kohezyon	JCS	TSA	JRC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
0.15 MPa	70	30	9.5	$\delta(m)$	0.01 3	0.000 5	5e-5	0.000 2	0.00 1	7e-5	0.000 3	0.00 1	2e- 5	0.00 1	6e-5	0.000 3	0.00 1	6.4e -5	**
				$\delta_{doruk}(m)$	0.00 6	0.035	0.03 7	0.034	0.03 3	0.03 3	0.071	0.06 8	0.0 6	0.02 8	0.03	0.031	0.02 2	0.02 2	
				Ks (MPa/m)	29.5 5	6.051	7.46	10.04	12.4 4	14.9	3.69	4.62	4.4 4	9.02	10.1 3	11	18.1	23.7	

11. $C=200$ kPa, $TSA=30^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 200 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=200$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 5, 7 ve 8 verilmiştir. $JRC=8$ değeri için kesme yerdeğiştirmeleri izin verilebilir doruk kesme yerdeğiştirmesine gore çok küktür. Bunun yanısıra, JRC değeri 7'ye düştüğü zaman sadece süreksizlik no 1 ve JRC 8'e düştüğü zaman süreksizlik no 1, 3, 4, 7, 11 ve 12 dikkate değer biçimde yer değiştirmiştir. Bununla birlikte, süreksizlik no 6, 9, 13 ve 14 tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha az yerdeğiştirmiştir. Dolayısıyla, kesme yerdeğiştirmesinin doruk kesme yerdeğiştirmesinden büyük olmasının yenilme olarak isimlendirildiği düşünüldüğünde süreksizlik no 1 için $JRC=8$, ve diğerleri için $JRC=7$, $C=200$ kPa ve $TSA=30^0$ olması durumunda bu örnek için sınır denge kriteri olarak düşünülebilir. Tablo 16, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1, 3, 4, 7, 11, 12 için sınır denge koşulu $JRC=7$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasıkları %30.08'dir.

Örnek no 5 ve 11'in karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $C=200$ kPa ve TSA 'nın 33^0 'den 30^0 'ye azaltılması koşulu altında yenilme olasığının yaklaşık % 27 arttığı görülmektedir.

Örnek no 10 ve 11'in karşılaştırması ile sabit $JCS= 70$ MPa, $TSA= 30^0$ ve kohezyonun 150 kPa'dan 200 kPa'a arttırılması koşulu altında yenilme olasığının yaklaşık % 39.5 azaldığı görülmektedir.

Tablo 15. C=0.20 MPa, JCS=70 MPa, TSA=30⁰ ve farklı JRCdeğerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri

*Denge olmama durumu				** Denge durumu	Süreksizlik ID														Durum
Kohezyon	JCS	TSA	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0.2 MPa	70	30	5	$\delta(m)$	0.29	0.016	0.064	0.18	0.012	0.0001	0.16	0.01	2.8.e-5	0.007	0.073	0.16	0.01	8.7e-5	**
				$\delta_{peak}(m)$	0.005	0.029	0.030	0.028	0.027	0.027	0.058	0.056	0.05	0.023	0.021	0.026	0.018	0.018	
				Ks (MPa/m)	44.86	8.3	9.28	11.82	14.04	16.35	4.68	5.55	5.58	11.57	12.86	12.91	20.64	25.82	
			7	$\delta(m)$	0.039	0.001	0.0001	0.0002	0.002	8.1e-5	0.0003	0.002	1.7e-5	0.001	9.1e-5	0.0004	0.002	7e-5	**
				$\delta_{peak}(m)$	0.005	0.032	0.034	0.031	0.030	0.03	0.065	0.062	0.055	0.026	0.024	0.029	0.02	0.02	
				Ks	40.	7.73	8.86	11.44	13.73	16.11	4.45	5.35	5.31	10.9	12.21	12.51	20.13	25.46	

			(MPa/m)	76								6					
		8	δ (m)	3e-6	0.0004	6.1e-5	6.5e-5	9.1e-5	6.3e-5	7e-5	0.0001	1.3e-5	3.9e-5	6.3e-5	9.6e-5	6.3e-5	**
	δ_{peak} (m)		0.005	0.033	0.036	0.032	0.032	0.032	0.068	0.065	0.058	0.027	0.025	0.03	0.021	0.021	
	Ks (MPa/m)		39.4	7.58	8.8	11.43	13.78	16.22	4.41	5.33	5.27	10.84	12.09	12.5	20.19	25.65	

12. $C=300$ kPa, $TSA=30^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 300 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=300$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 3 ve 5 verilmiştir. $JRC=5$ değeri için tüm süreksizliklerin kesme yerdeğiştirmeleri ihmal edilebilir. Bunun yanısıra, $JRC=3$ için sadece süreksizlik no 1 tahmin edilen doruk kesme yerdeğiştirmesinden daha fazla yerdeğiştirmiştir. Tablo 5.11, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Bu örnekte süreksizlik no 1 için sınır denge koşulu $JRC=3$ olduğundan, söz konusu süreksizliklerin yenilme olasılıkları % 0.297'dir.

rnek no 6 ve 12'in karşılaştırması ile sabit $JCS=70$ MPa, $C=300$ kPa ve TSA 'nın 33^0 'den 30^0 'ye azaltılması koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık % 0.3 arttığı grlmektedir.

rnek no 11 ve 12'in karşılaştırması ile sabit $JCS=70$ MPa, $TSA=30^0$ ve kohezyonun 200 kPa'dan 300 kPa'a arttırılması koşulu altında yenilme olasılığının yaklaşık % 30 azaldığı grlmektedir.

13. $C=500$ kPa, $TSA=33^0$ ve $JCS=70$ MPa

Bu durumda, farklı JRC değerleri için modeli çalıştırmak maksadıyla 500 kPa'lık kohezyon değeri eklenmiştir. $C=500$ kPa ve $TSA=30^0$ için JRC değerleri olarak modele 2 ve 5 verilmiş ve JRC'nin değeri 2'den büyük olduğu için tüm süreksizliklerin kesme yerdeğiştirmelerinin ihmal edilebilir olduğu grlmştr. Dolayısıyla $C=500$ kPa için modelin güvenli ve yenilme olasılığı 0 olarak isimlendirilebilir. Tablo 5.12, her bir süreksizlik için kesme yerdeğiştirmesi, doruk kesme yerdeğiştirmesi ve K_s için hesaplanan değerleri göstermektedir.

Tablo 16. C=0.30 MPa, JCS=70 MPa, TSA=30⁰ ve farklı JRC değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

*Denge olmama durumu		** Denge durumu		Süreksizlik ID														Durum	
Kohezyon	JCS	TSA	JR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
0.3 MPa	70	30	3	δ (m)	0.025	0.0006	2.9e-5	3.6e-5	0.0006	8.3e-5	4e-5	0.0006	12e-5	0.0005	2.e-5	3e-5	0.0006	7.4e-5	
				δ_{dorum} (m)	0.004	0.024	0.026	0.023	0.023	0.023	0.023	0.049	0.047	0.042	0.019	0.018	0.022	0.015	0.015
				Ks (MPa/m)	77.93	13.65	14.27	17.29	19.65	22.02	7.3	8.28	8.65	18.21	20.08	18.84	29.27	34.57	
	5	δ (m)	2e-6	0.0002	4e-6	4.4e-6	6.1e-5	7.4e-5	9e-6	5.3e-5	2e-5	2.9e-5	1e-5	3e-6	7e-5	7.2e-5			
		δ_{dorum} (m)	0.005	0.029	0.03	0.028	0.027	0.027	0.058	0.056	0.05	0.023	0.021	0.026	0.018	0.018			
		Ks (MPa/m)	66.32	11.8	12.56	15.42	17.71	20.02	6.41	7.35	7.6	15.93	17.61	16.81	26.3	31.47			

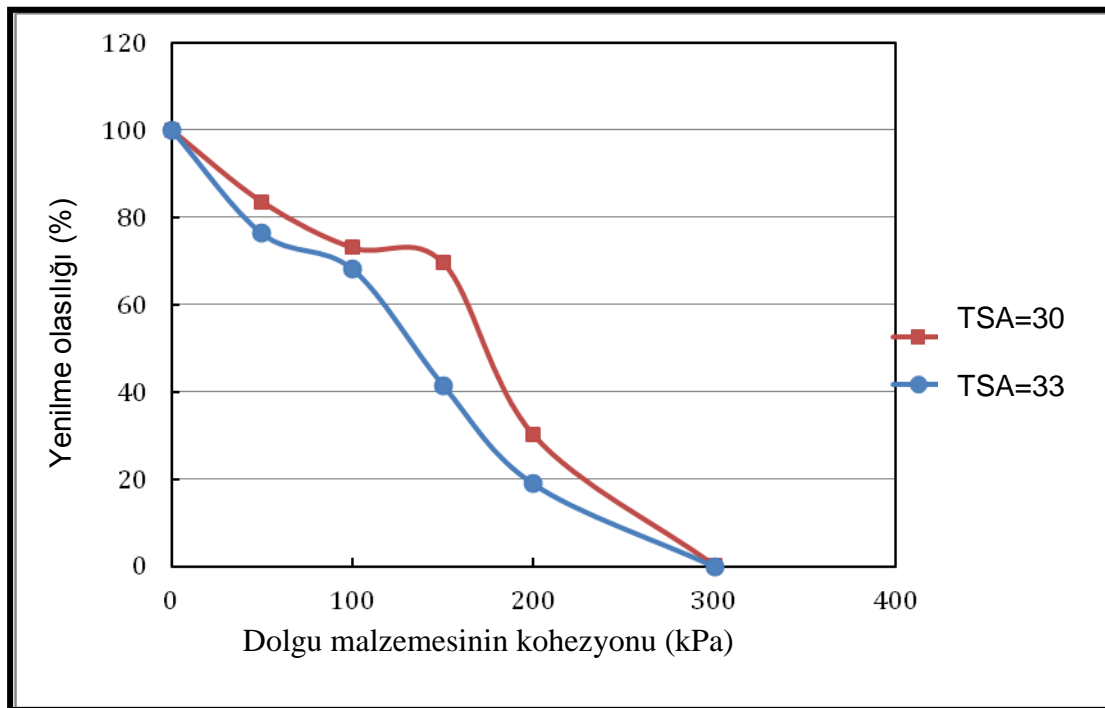
Tablo 17. C=0.50 MPa, JCS=70 MPa, JRC=2 değerleri için kesme deformasyonu, izin verilebilir doruk kesme deformasyonu ve herbir süreksizlik için çatlak kesme katılığı değerleri.

*Denge olmama durumu				** Denge durumu	Süreksizlik ID														
Konezyo n	JCS	TSA	JRC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Durum
				0.5 MPa	70	30	2	δ (m)	1e-6	3e-5	3e-6	7e-6	1e-5	1 e-5	4.e-6	9e-6	3 e-6	6e-6	2e-6
				δ_{doruk} (m)	0.003	0.021	0.023	0.02	0.02	0.02	0.043	0.04	0.037	0.017	0.016	0.019	0.013	0.013	*
				Ks (MPa/m)	146.9	24.94	24.89	29.	31.73	34.3	12.87	14.1	15.18	32.3	35.43	31.55	47.82	53.44	*

5.5.Tartışmalar ve Sonuçlar

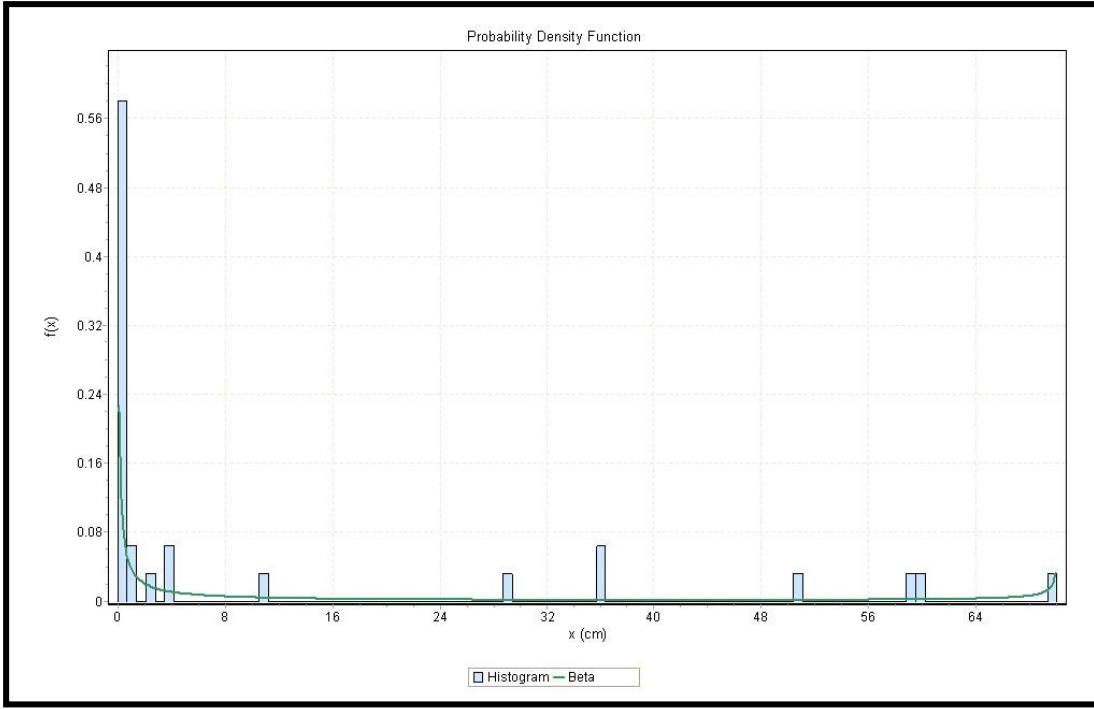
Bu çalışmada ana değişken JRC olarak kullanılmış, dolayısıyla dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı, kohezyon ve JCS gibi diğer etkiyen parametrelerin etkisi incelenmiştir. Örneklemeler süreksiz yüzeylerindeki bozunma sürecinin etkisi olarak düşünülebilen bir yaklaşımla alınmıştır. Bozunma içsel sürtünme açısının değerini düşürdüğü için dolgu malzemesinin dayanımı ve JCS aynı zamanda gelecekte yapının durumunu da dikkate almaktadır.

Analizler, kohezyondaki artışın yerdeğiştirmeleri ve yapının yenilme olasılığını azalttığını işaret etmiştir. Aynı zamanda, temel sürtüne açısı ve çatlak duvarlardaki sıkışma dayanımının azalması yerdeğiştirme ve yenilme olasılığını da arttırmaktadır. Şekil 39 temel sürtünme açısının 33^0 ve 30^0 olması durumunda kohezyondaki artıştan dolayı yenilme olasılığının azaldığı göstermektedir.



Şekil 39. Süreksizliklerin kohezyon ve yenilme olasılıkları arasındaki ilişki

Model farklı JCS, JRC, TSA ve kohezyon değerleri için yaklaşık otuzbeş kez tekrarlanmıştır. İşlem döngülerinin tümü için her bir süreksizliğin kesme yerdeğiştirmeleri uygun dağılım fonksiyonlarına uymuş ve süreksizliğe karşılık gelen yenilme olasılı olan $\delta > \delta_{\text{doruk}}$ olasılığı hesaplanmıştır. Şekil 40 süreksizlik no 1'in kesme yerdeğiştirmesinin Beta dağılımına uyduğunu göstermektedir.



Şekil 40. Süreksizlik no. 1'in kesme yerdeğiştirmesinin Beta dağılımı.

Ek C'de Şekil C1'den C13'e kadar süreksizlik 2'den 14'e kadar kesme yerdeğiştirmesinin istatistiksel dağılımı gösterilmiştir. Farklı JCS, JRC, kohezyon ve TSA için δ_{peak} değiştiğinden, δ_{peak} değerinin ortalama, minimum ve maksimum değerleri yenilme olasılığı ve buna karşılık gelen güvenilirlik indeksinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Tablo 19 herbir süreksizlik için δ_{peak} değerinin ortalama, minimum ve maksimum değerini, yenilme olasılığını ve buna karşılık gelen güvenilirlik indeksi değerini göstermektedir.

$\beta < 1$ koşulu yenilme olarak kabul edildiği için süreksizlik no 1, 2, 10, 11 ve 13 yenilmiş ve diğer süreksizlikler ise güvenli durumda olarak görölmüştür.

Tablo 18. Herbir süreksizlik için δ_{doruk} değerinin yenilme olasılığı ve buna karşılık gelen güvenilirlik indeksi (β) için ortalama, maksimum ve minimum değerleri

Süreksizlik ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\delta_{\text{doruk_Ortalama}}$ (cm)	0.52	3.22	3.42	3.13	3.07	3.07	6.56	6.26	5.57	2.58	2.42	2.89	2.00	2.00
$\delta_{\text{doruk_min}}$ (cm)	0.3	2	2	2	2	2	4	4	3.7	1.7	1.6	1.9	1.3	1.3
$\delta_{\text{doruk_max}}$ (cm)	0.7	4	4	4	3.9	3.9	8.3	8	7.1	3.14	3	3.7	2.5	2.5
$P_f(\delta > \delta_{\text{doruk_Ortalama}})$ %	47.683	21.26	3.798	4.445	4.586	0	4.813	5.04	0	11.765	12.463	10.602	18.576	0
$P_f(\delta > \delta_{\text{doruk_max}})$ %	50.458	23.84	9.175	9.175	9.175	0	2.86	2.86	0	16.925	17.781	15.421	22.593	0
$P_f(\delta > \delta_{\text{doruk_min}})$ %	46.15	20.04	2.86	2.86	2.995	0	3.817	3.958	0	9.814	10.242	8.402	16.704	0
β_{Ort}	0.058	0.797	1.7746	1.7012	1.6864	INF	1.663	1.641	INF	1.1868	1.1521	1.248	0.8936	INF
β_{min}	-	0.712	1.3301	1.3301	1.3301	INF	1.902	1.9018	INF	0.9571	0.9237	1.0185	0.7523	INF
β_{max}	0.0966	0.84	1.9018	1.9018	1.8815	INF	1.772	1.7556	INF	1.2922	1.2679	1.3785	0.9659	INF

6. KAYA DÜŞMESİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

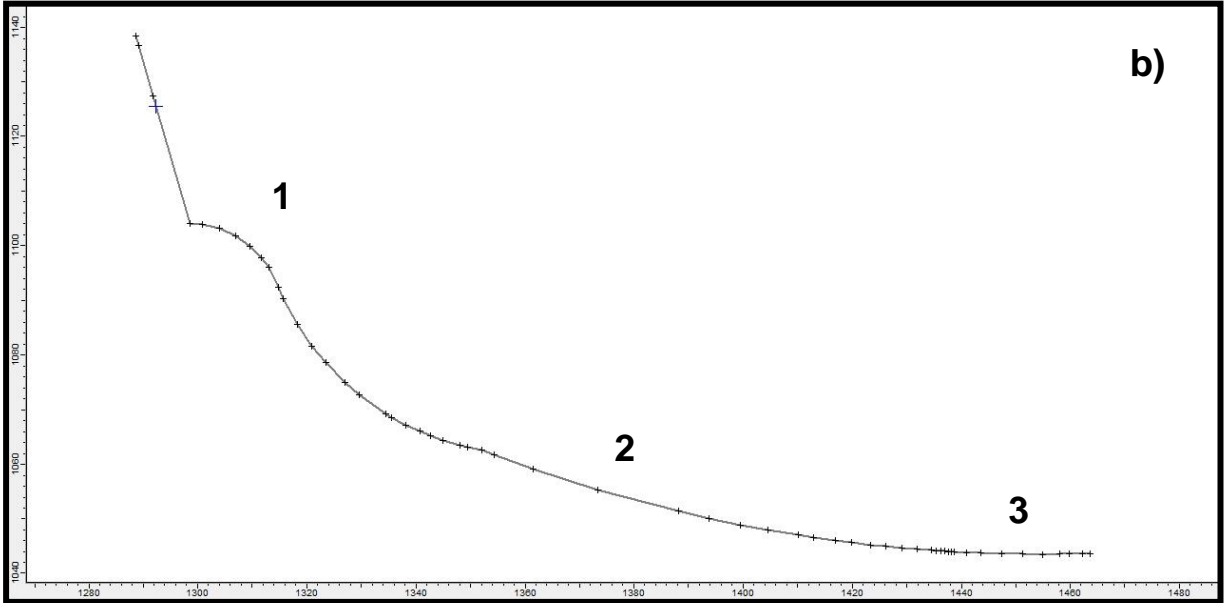
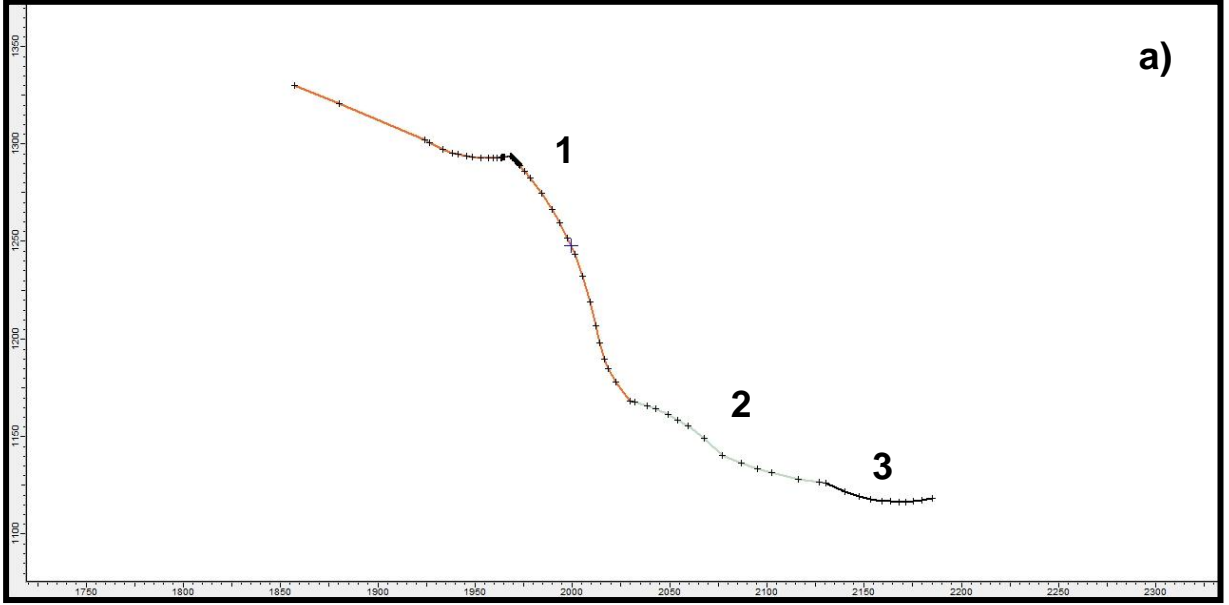
Bu bölümde, inceleme alanında kaya düşmesi potansiyeli olan seçilmiş olan lokasyonlarda gerçekleştirilen modelleme-simülasyon ve bunlardan elde edilen sonuçlara değinilecektir.

İnceleme alanında kaya düşmesi potansiyeline sahip olan iki lokasyon seçilmiştir (Şekil 6). Bu alanların seçilmesinde dikkate alınan temel ölçüt olarak askıda kaya bloğu bulunup bulunmaması ve süreksizliklerin şev içine eğimli olması olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, söz konusu bu lokasyonlar ile yerleşim, yol, demiryolu gibi taşınmazlar ile ilişkili olabilecek alanlar olması gözetenilmiştir.

Fiziksel kaya düşmesinin modellenmesinde kaya parçalarının ayrılması, düşmesi, uçması veya zıplaması, parçalanma, yuvarlanma veya kayma ve en son olarak çökme süreçlerinin dikkate alınması gerekir (Hutchinson, 1988; Evans ve Hungr, 1993; Guzzetti vd., 2002; Lan vd., 2007). Sınırlı hacimlerine karşın kaya düşmeleri enerjileri ve hareket kabiliyetleri ile karakterize edilmektedir. Bunları dinamik süreçleri ise kaya bloklarının ve kaya şevinin ayrılma durumları, geometrik ve mekanik (statik ve dinamik sürtünme, pürüzlülük, yuvarlanma direnci, zıplamaya karşı direnç özellikleri ve parçalanma oranı) özellikleri gibi konumsal ve zamansal olarak dağıtılmış nitelikler ile domine edilmektedir (Agliardi and Crosta, 2003; Jaboyedoff et al., 2005). Dolayısıyla konumsal bilginin etkin biçimde kullanılarak uygun bir bilgisayar yazılımı ile kaya düşmesi modellemesinin yapılması önemli bir rol oynamaktadır (Lan vd., 2007). Bu amaçla literatürde kaya düşmesi modellemesi yapılması amacıyla birçok yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışma bulunmaktadır (McNeil et al., 2002; Dorren, 2003; Dorren et al., 2004; Agliardi and Crosta, 2003, Guzzetti et al., 2004; Lan vd., 2007; Zorlu vd., 2011). Bu çalışmalar içerisinde son yıllarda özellikle kullanımının kolay olması ve efektif sonuçlar elde edilmesi nedeniyle Rocscience® firması tarafından geliştirilen RocFall yazılımı kullanılmıştır. Bu proje kapsamında da yazılımın RocFall 4.055 versiyonu kullanılmıştır.

RocFall yazılımının kullanılabilmesi için öncelikli olarak kaya düşmesi olayının gerçekleştiği ya da gerçekleşme olasılığı olan şev/yamaca ait topoğrafik profilinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu maksatla, inceleme alanında seçilen iki profile ait yamaç

profilleri arazide DGPS ölçümleri yardımıyla elde edilen 1:2000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak çıkartılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. İnceleme alanında kaya düşmesi modellemesi ve simülasyonlarının yapılmış olduğu yamaç profilleri: a) Profil 1 ve b) Profil 2.

Şekil 41’de verilen profiller çıkartıldıktan sonra bu profillerde kaya düşmesine neden olacak kaynak potansiyel kaya bloklarının yerleri belirlenerek bu profiller üzerinde yerleri işaretlenmiştir. Bu aşamadan sonra gelen en önemli aşama, kaya düşmesi modellemesi ve

simülasyonu yapılacak olan şev ve düşmesi olası kaya bloğunun materyal özellikleridir. RocFall yazılımında bu maksatla dikkate alınan materyal özellikleri şunlardır:

- 1) R_n (Normal geri verme)
- 2) R_t (Teğetsel geri verme)
- 3) İçsel sürtünme açısı (ϕ -Derece)
- 4) Şev pürüzlülüğü (Derece)

Bu materyal özelliklerinden R_n ve R_t belirlenirken incelenen şev yada yamaçtan aşağıya ağırlıkları bilinen kaya blokları yuvarlanarak sözü edilen değerlerin belirlenmesi gerekir. Ancak, şev yada yamaç altında yerleşim, yol vb. yapıların bulunması durumunda bu belirlemenin arazide pratik olarak yapılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, RocFall yazılımı tarafından önerilen ve birçok araştırmacının yapmış olduğu daha önceki çalışmalar dikkate alınarak hazırlanan tablolardan da yararlanmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında da, incelenen yamaçların hemen alt tarafında yerleşim, demir yolu ve ara sokakların bulunması nedeniyle geri verme değerleri sözü edilen tablolardan yararlanılarak belirlenmiştir.

Bir diğer önemli parametre olan içsel sürtünme açısı (ϕ -Derece) ise laboratuarda kaya süreksizliklerinde yapılan direk kesme dayanımı deneyleri yardımıyla elde edilen değerlerden faydalanılarak kullanılmıştır.

Şev pürüzlülüğü olarak isimlendirilen parametre ise, şev yada yamaç üzerinde belirlenen her bir segmentin yüzeyinin pürüzlülük değeri olarak tanımlanmakta olup 0 ila 5 derece arasında bir değer ile ifade edilmektedir (RocFall, 2012). Bu çalışma kapsamında incelenen yamaçlardaki şev pürüzlülüğü değeri 0 olarak alınmış ve kaya düşme simülasyonları bu değere göre gerçekleştirilmiştir.

6.1.Profil 1 İçin Kaya Düşme Değerlendirmesi

İnceleme için seçilen profil 1'de belirlenen beş bloğa ait kaya düşme modellemesi yapılmıştır. Bunun için, öncelikli olarak profil 1'i oluşturan yamaç kendi içerisinde malzeme özelliğinin farklılık göstermesi nedeniyle 3 segmente ayrılmıştır (Şekil 41). Ayrılan her bir segment için kullanılan girdi parametreleri aşağıdaki tablo 19'da

verilmiştir. Bununla birlikte, düşme simülasyonu yapılan altı bloğa ait değerlendirme parametreleri de tablo 20’de verilmiştir.

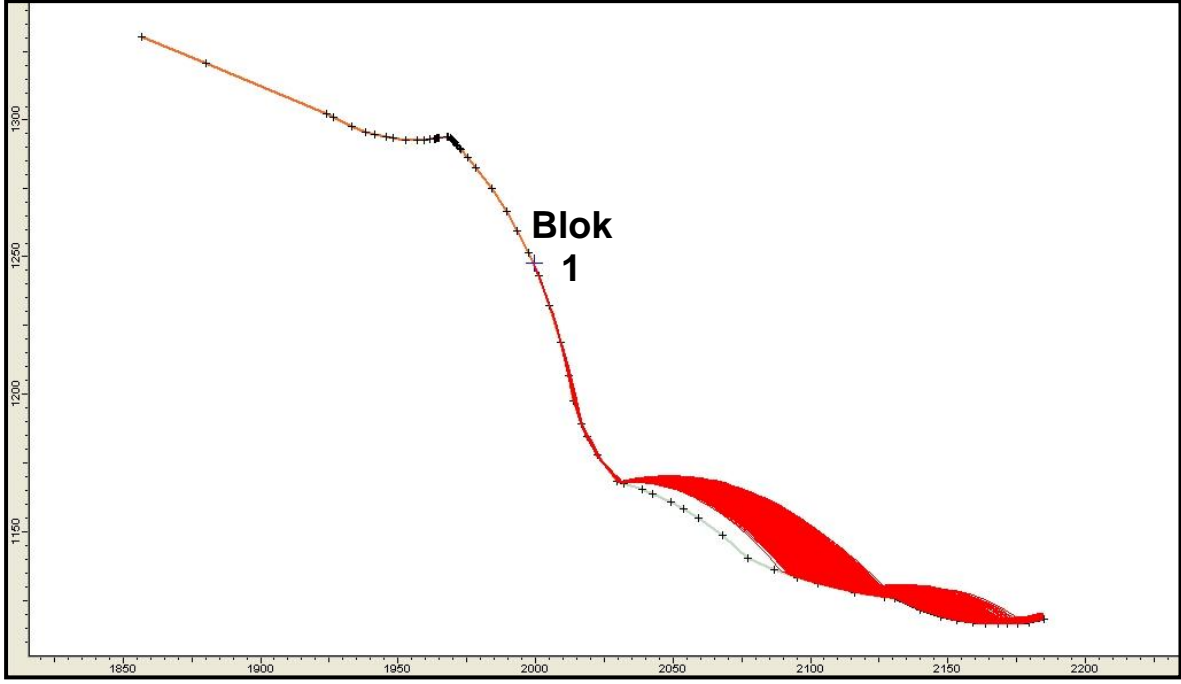
Tablo 19. Profil 1’de incelenen yamaca ait değerlendirme parametreleri

Yamaç Segment No	Rn	Rt	Φ (Derece)	Şev Pürüzlülüğü	Materyal Tanımı
1	0.53	0.99	30	0.00	Temiz yüzeyle sert temel kayası
2	0.32	0.80	30	0.00	Bitki örtülü yamaç molozu
3	0.40	0.90	30	0.00	Asfalt yüzey

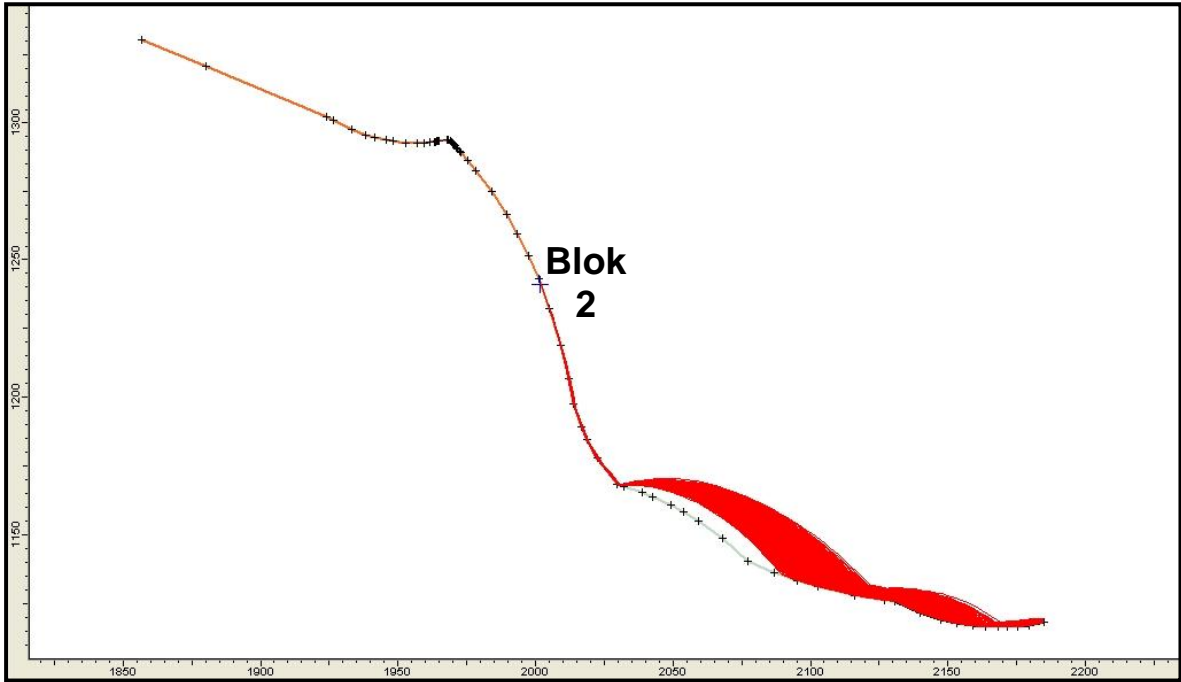
Tablo 20. Profil 1’de incelenen beş bloğa ait değerlendirme parametreleri.

Blok No	X hızı (m/s)	Y hızı (m/s)	Kütle (Kg)	Açısal Hız (rad/s)
1	0	0	7360	0
2	0	0	2072140	0
3	0	0	1872000	0
4	0	0	1746420	0
5	0	0	1373250	0
6	0	0	22582300	0

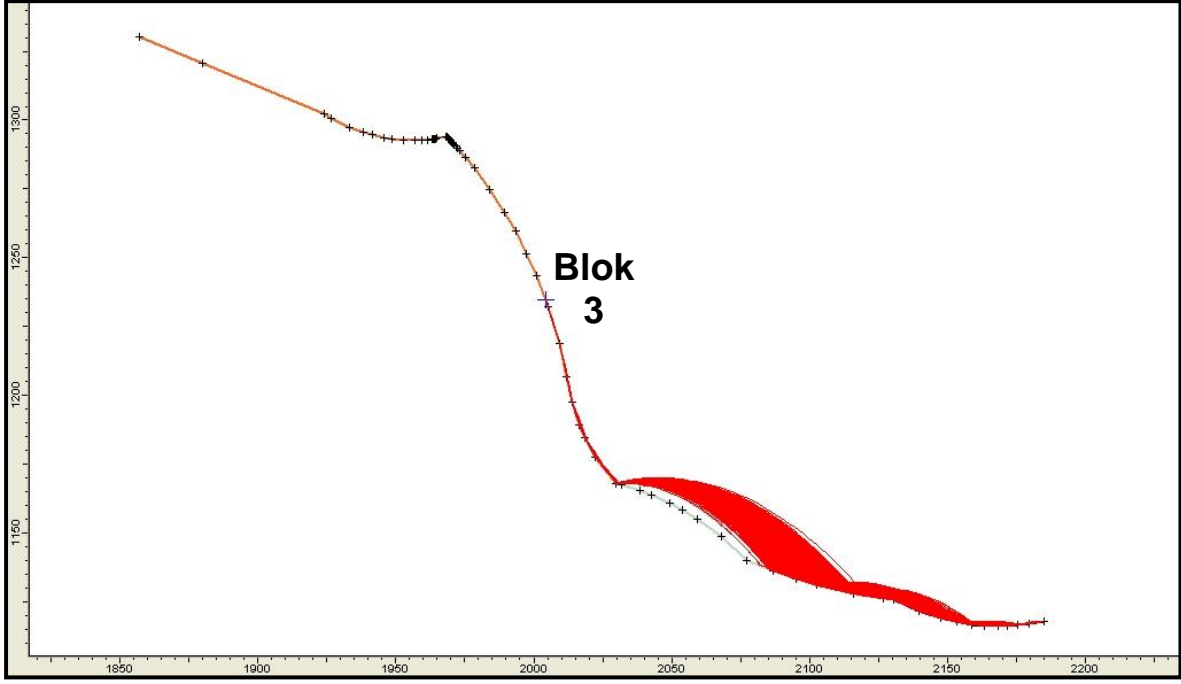
Bu verilerin girilmesinden sonra yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen kaya bloğu düşme yolları ve bloğun ulaşabileceği maksimum uzaklıklar belirlenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Şekil 42’den Şekil 47’ya kadar verilmiştir.



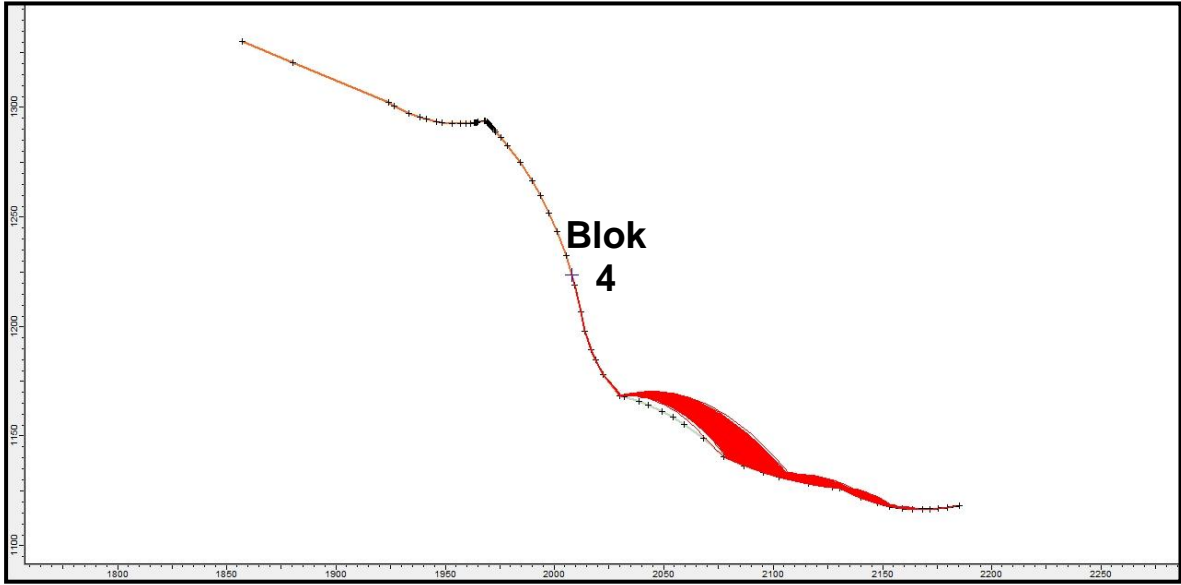
Şekil 42. Profil 1'de Blok No.1'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.



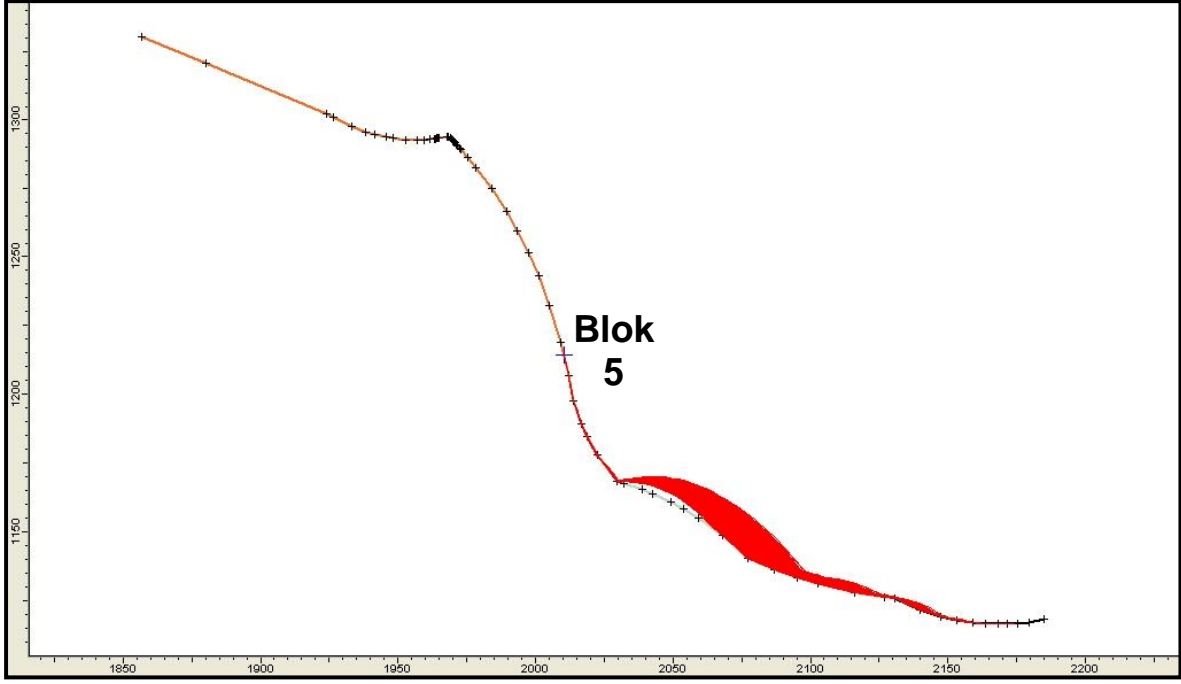
Şekil 43. Profil 1'de Blok No.2'nin düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.



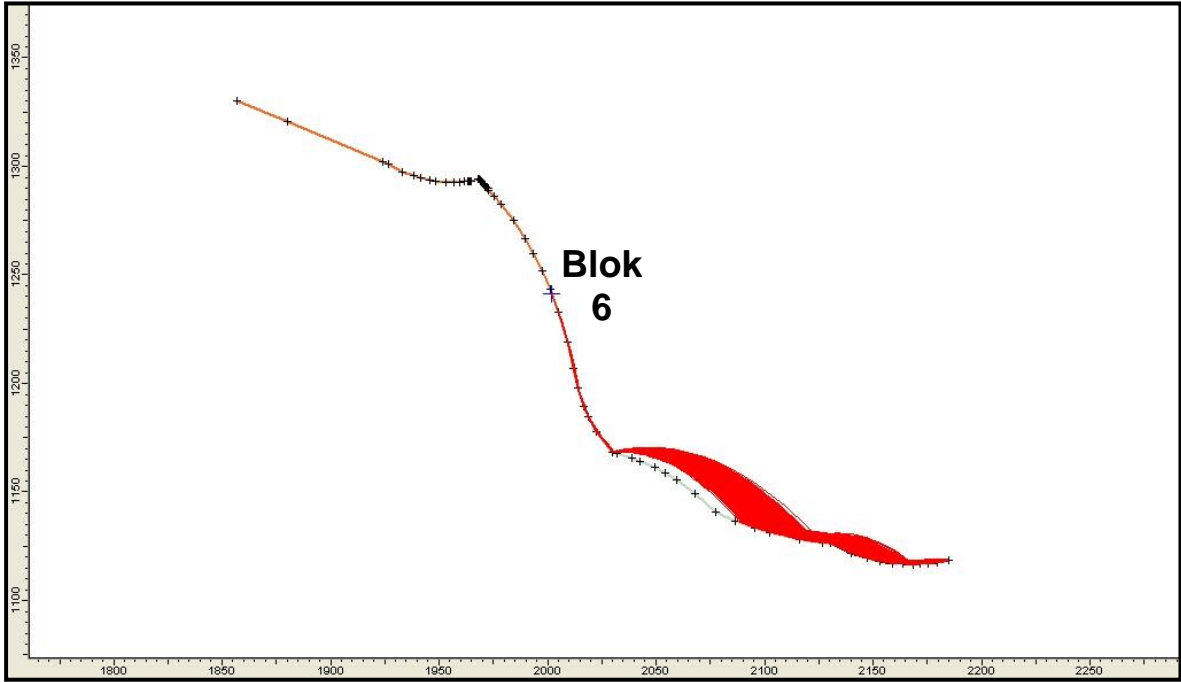
Şekil 44. Profil 1'de Blok No.3'ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.



Şekil 45. Profil 1'de Blok No.4'ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

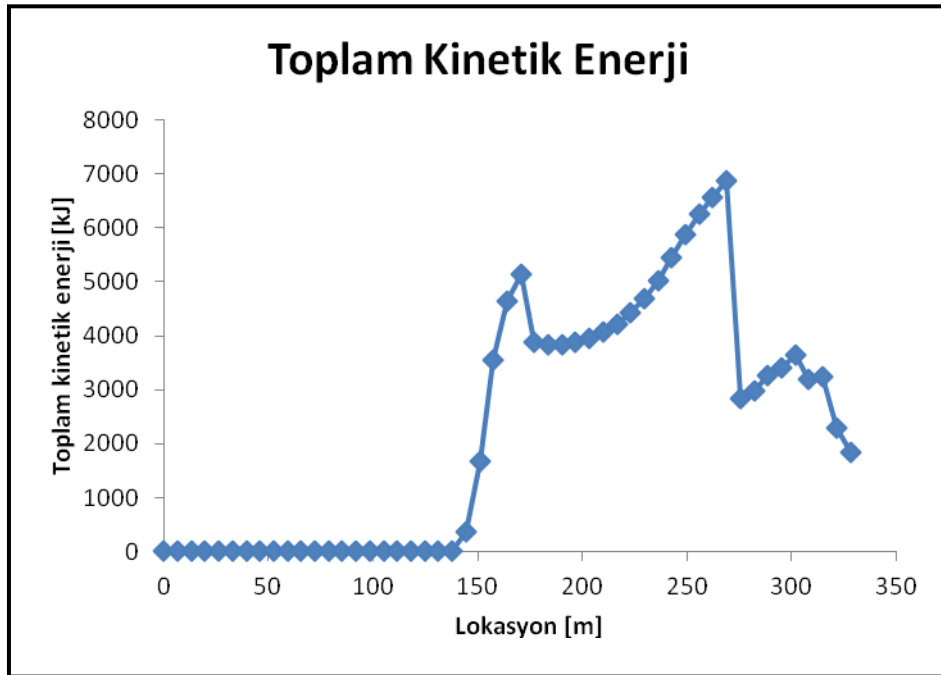
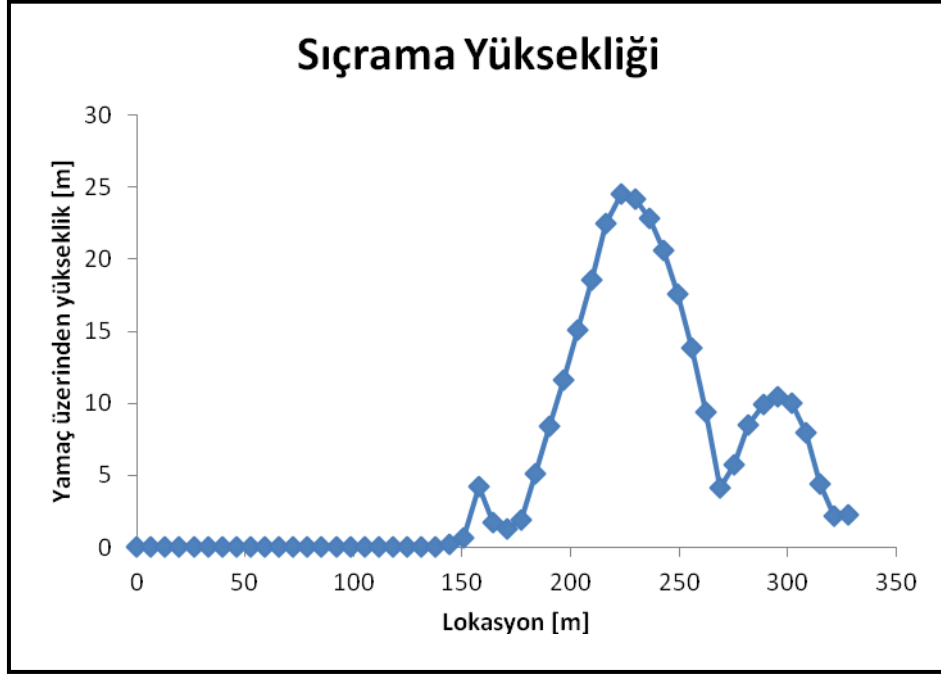


Şekil 46. Profil 1'de Blok No.5'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

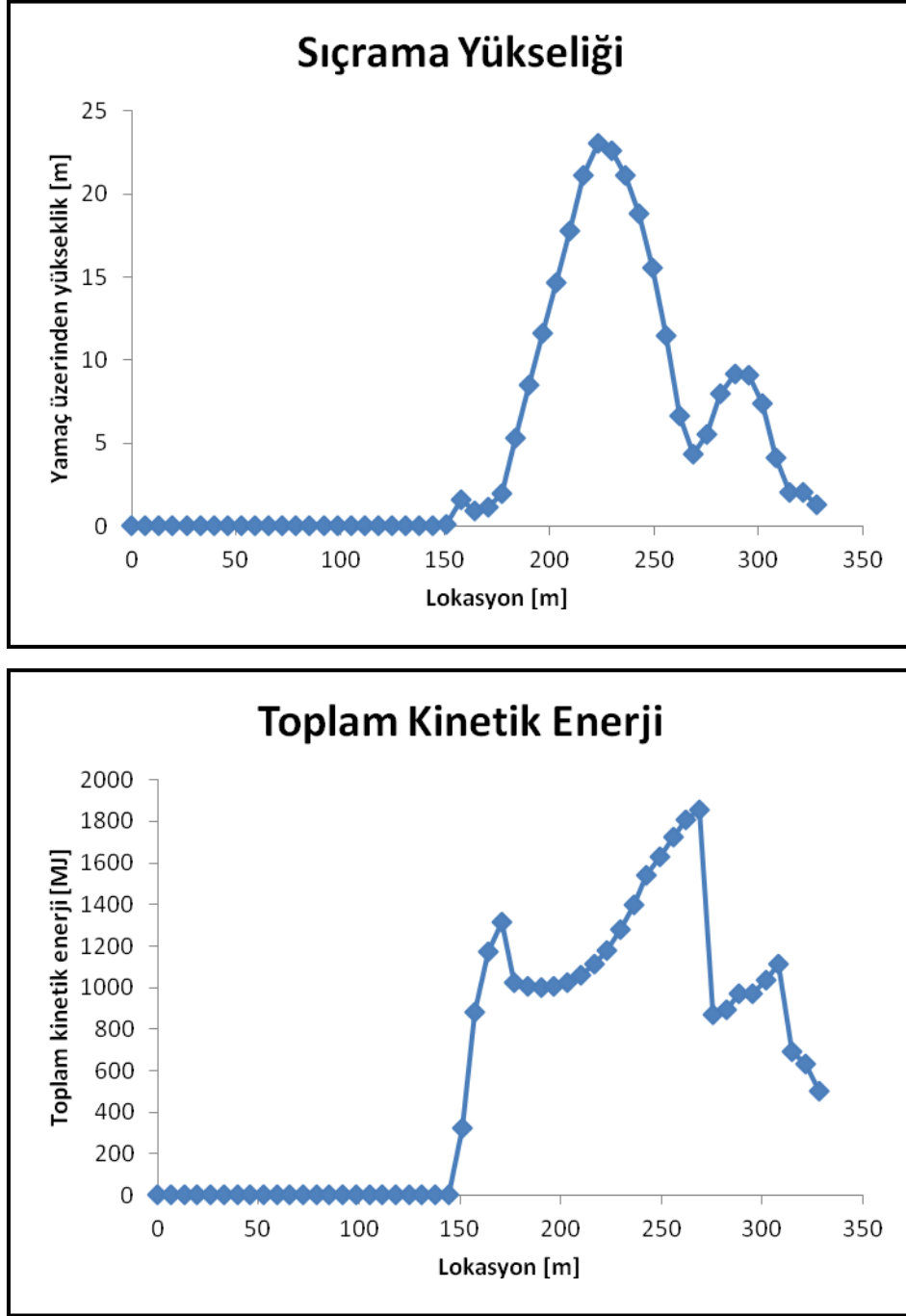


Şekil 47. Profil 1'de Blok No.6'nın düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

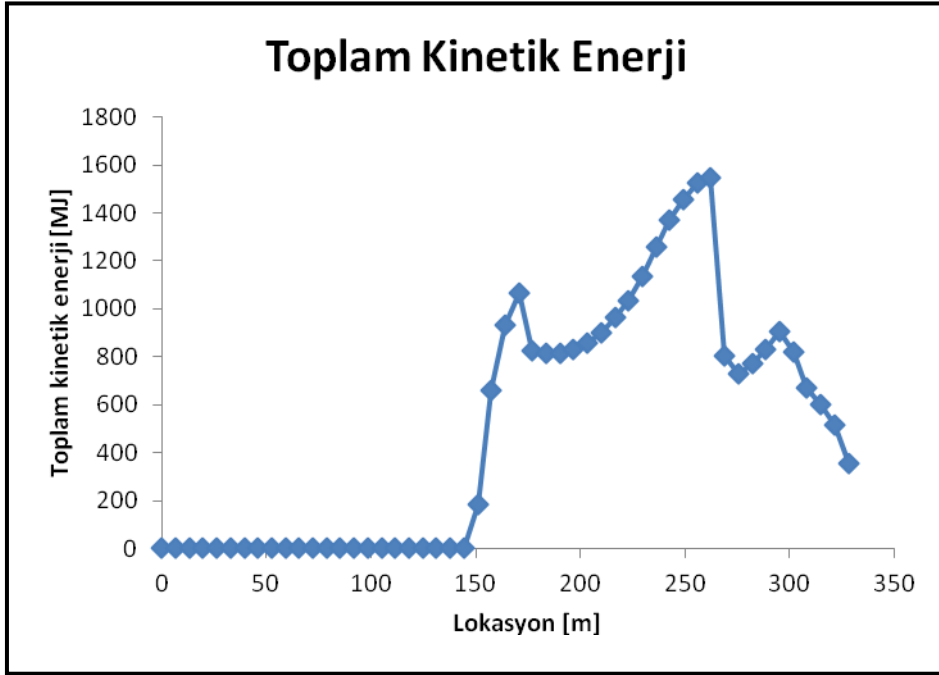
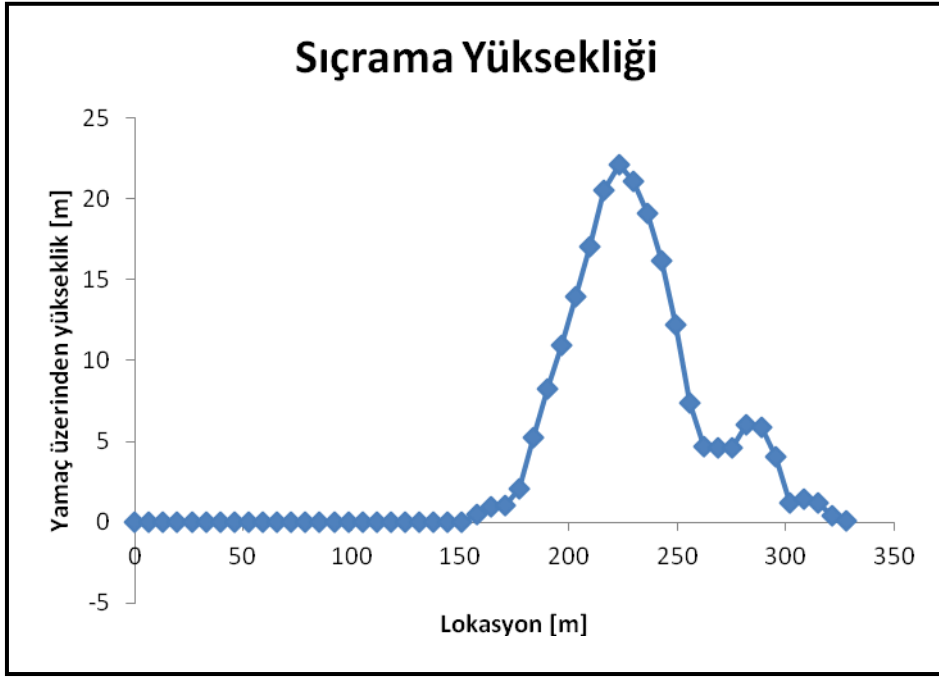
Elde edilen bu simülasyon sonuçlarına bağlı olarak aynı zamanda bloğun düşmesi esnasında yamaç yüzeyinde sekerek sıçrama ve sahip olacağı toplam kinetik enerji miktarlarını da elde etmek mümkündür. Bu amaçla, Profil 1’de Blok 1’den Blok 6’ya kadar her bir bloğa ait sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerji miktarları Şekil 48’den Şekil 53’e kadar verilmiştir.



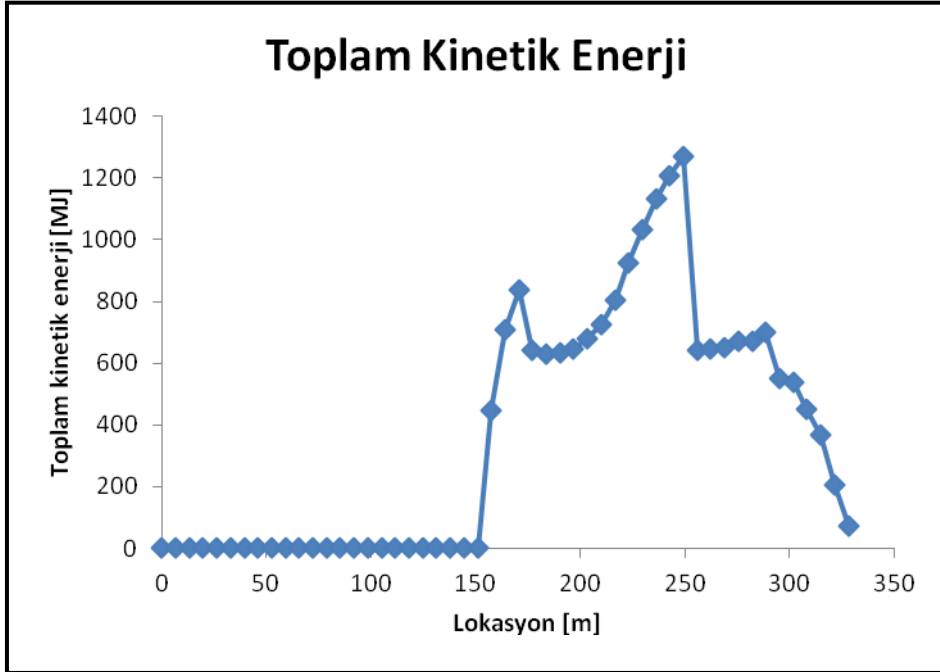
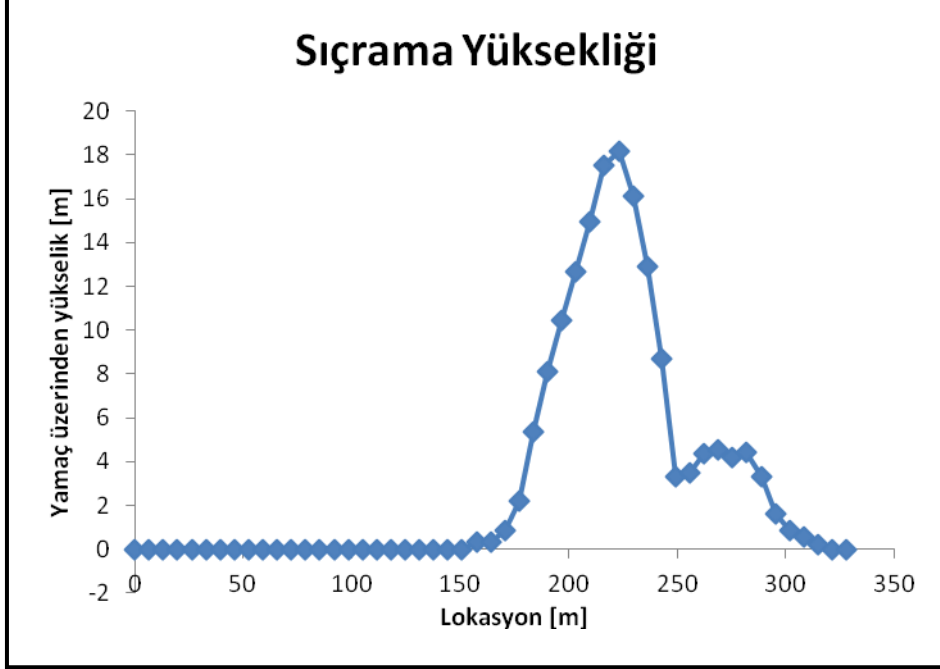
Şekil 48. Profil 1’de Blok No.1 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



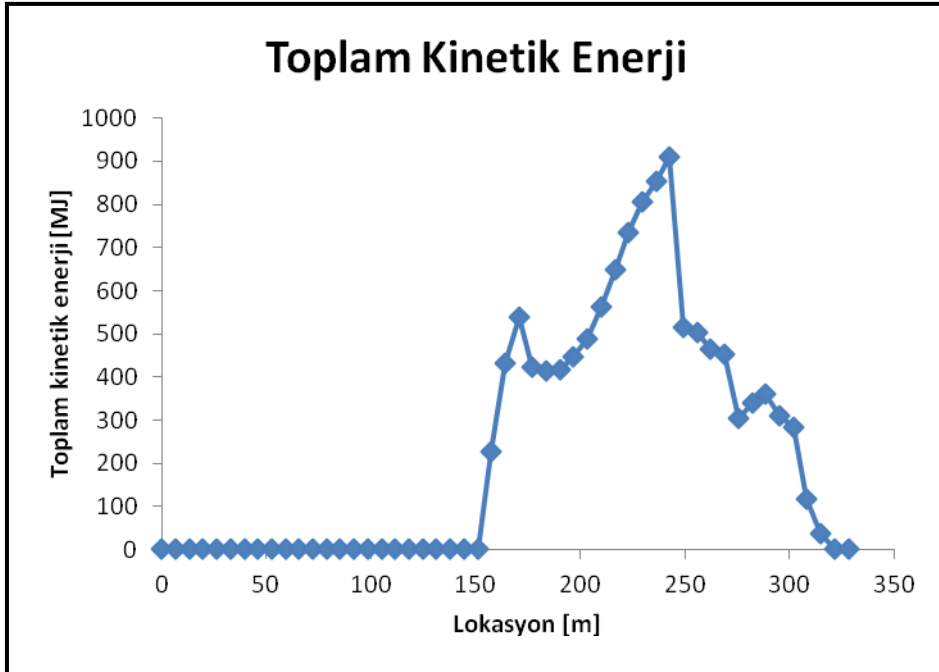
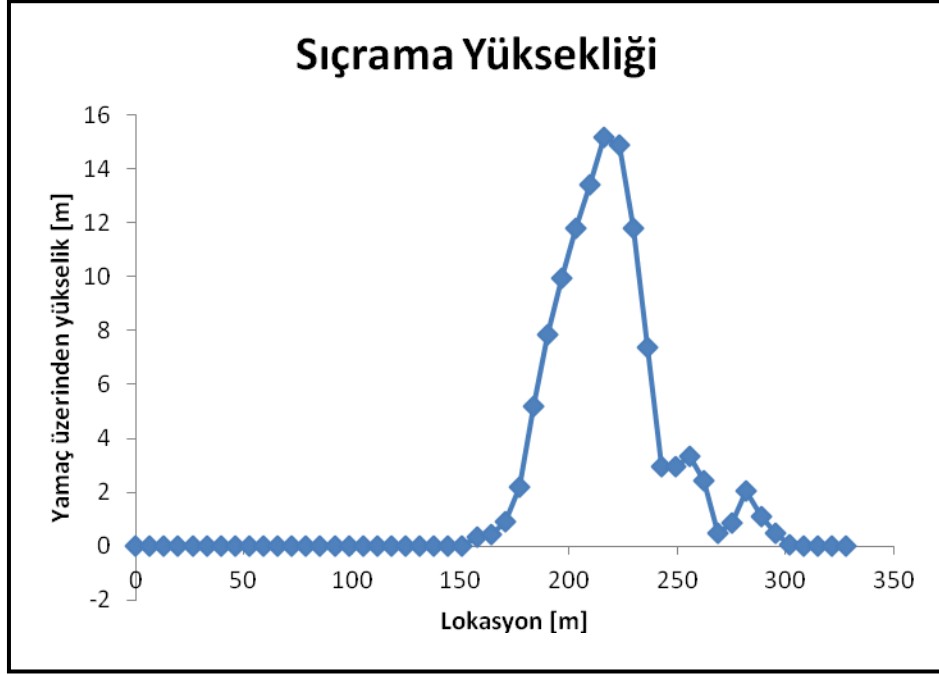
Şekil 49. Profil 1’de Blok No.2 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



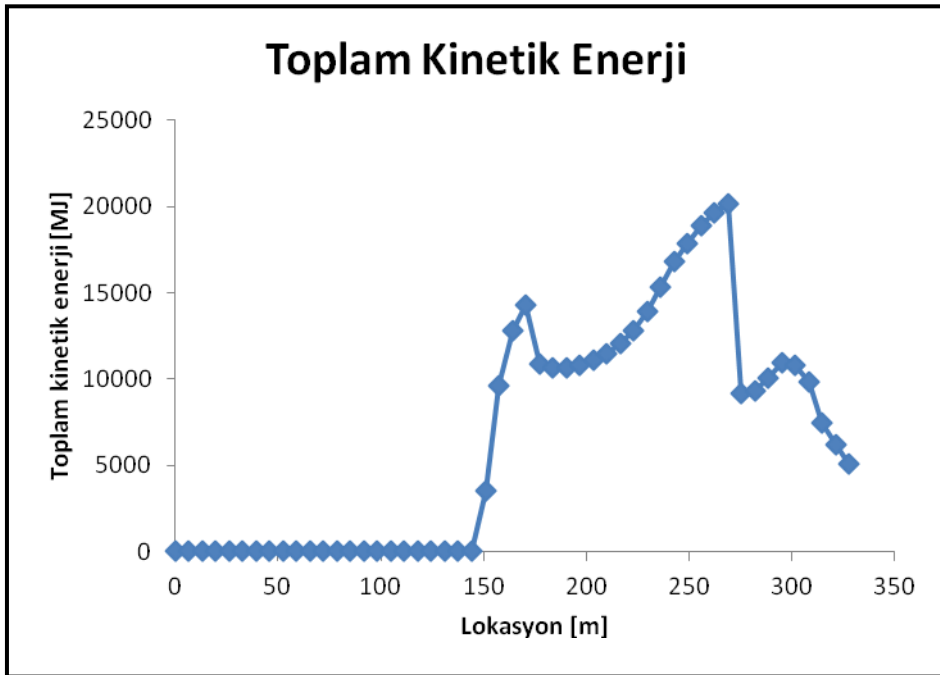
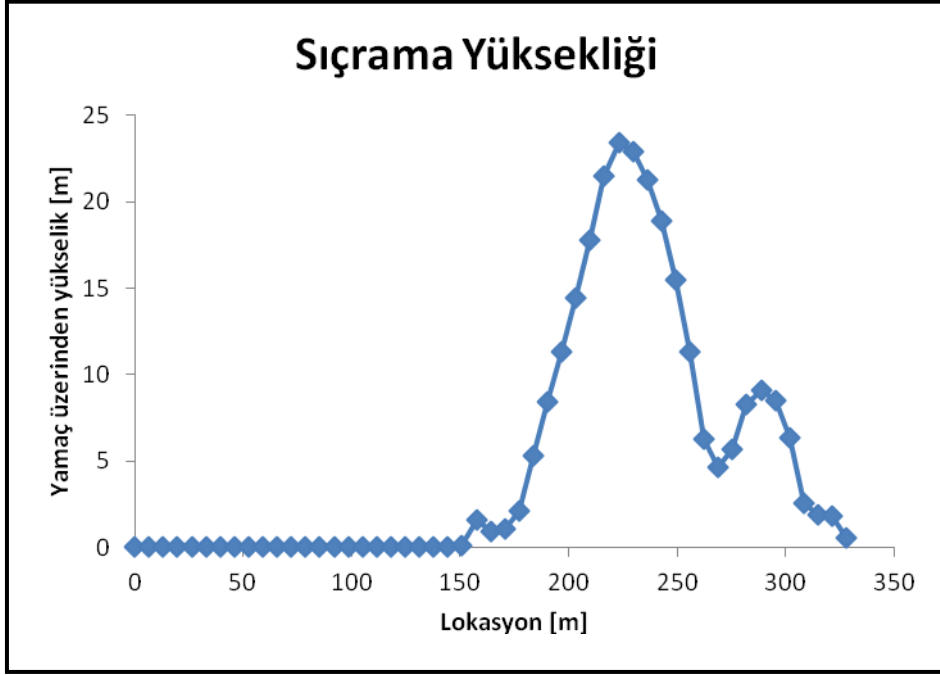
Şekil 50. Profil 1'de Blok No.3 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



Şekil 51. Profil 1’de Blok No.4 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



Şekil 52. Profil 1’de Blok No.5 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



Şekil 53. Profil 1’de Blok No.6 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Yukarıda verilen sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerji grafiklerine bakıldığında, incelenen blokların buldukları lokasyondan itibaren düşmeye başladıkları andan başlayarak yaklaşık 200 m’lik bir mesafe aldıklarından maksimum sıçrama yüksekliğine ve maksimum toplam kinetik enerji miktarına ulaştıkları görülmektedir. Yine bu blokların, 320 m sonra kinetik enerjilerinin sönümlendiği de açıktır. Buna göre, blokların düşmesine karşı alınacak mühendislik önlemlerinin en başında olan bariyer uygulamasında bariyer lokasyonlarının, blok ilk lokasyonundan yaklaşık 300 m mesafelerinde konumlandırılmasının da etkin sonuç alınmasına imkan tanıyacağı görülmektedir.

6.2.Profil 2 İçin Kaya Düşme Değerlendirmesi

Kaya düşme modellemesi için seçilen ikinci profilde yamaç, Blok No. 1 ve Blok No. 2’nin olduğu lokasyonlar için tek bir malzeme özelliği göstermektedir. Bu amaçla, yamaç parametreleri burası için $R_n=0.53$, $R_t= 0.99$, $\phi = 30^0$ ve Pürüzlülük = 0 olarak alınmıştır. Malzeme türü olarak temiz, sert taban kayası seçilmiştir. Blok No. 3’ün bulunduğu lokasyonda yamaç profili 3 segmente ayrılmıştır (Şekil 41). Buna göre 1 no.lu segment için yamaç malzeme özellikleri, Blok No.1 ve Blok No.2 için alınan yamaç malzeme değerleri ile aynıdır. Segment No. 2 için $R_n=0.32$, $R_t= 0.80$, $\phi = 30^0$, Pürüzlülük = 0 ve malzeme türü bitki örtülü yamaç molozudur. Segment No.3 için ise $R_n=0.40$, $R_t= 0.90$, $\phi = 30^0$, Pürüzlülük = 0 ve malzeme türü olarak asfalt olarak alınmıştır.

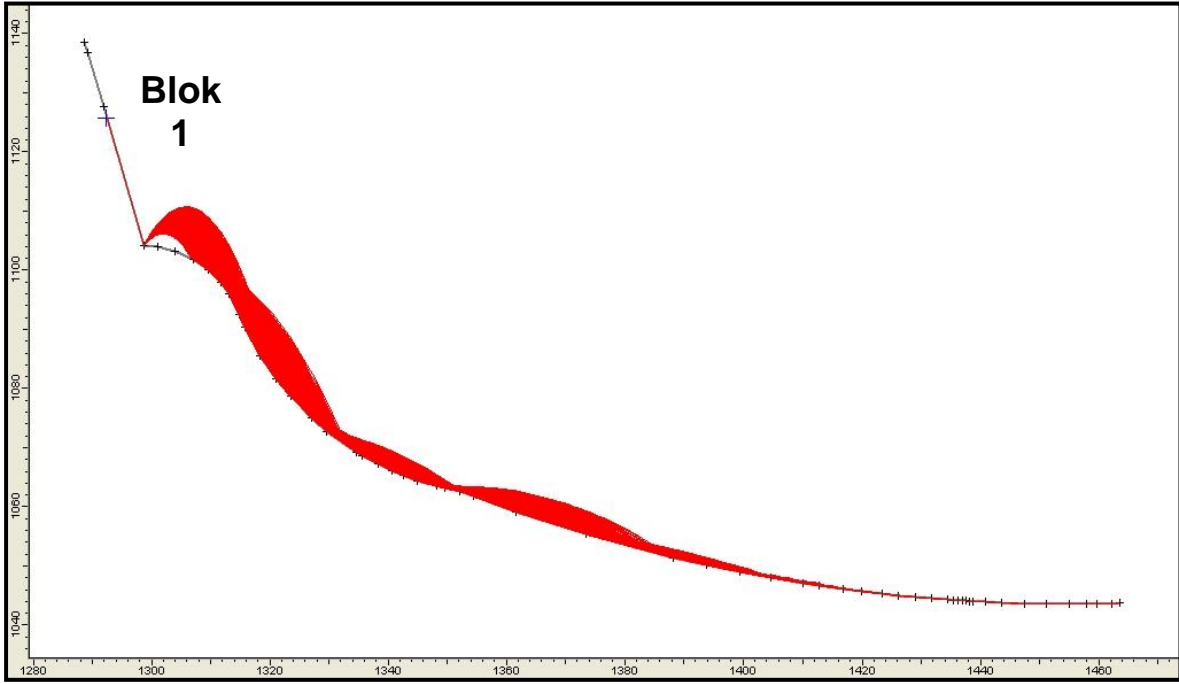
Bu yamaç profilinde ise üç blok modelleme amacıyla seçilmiştir. Buna göre blok düşme simülasyonlarında kullanılan blokların özellikleri aşağıda tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Profil 2’de incelenen üç bloğa ait değerlendirme parametreleri.

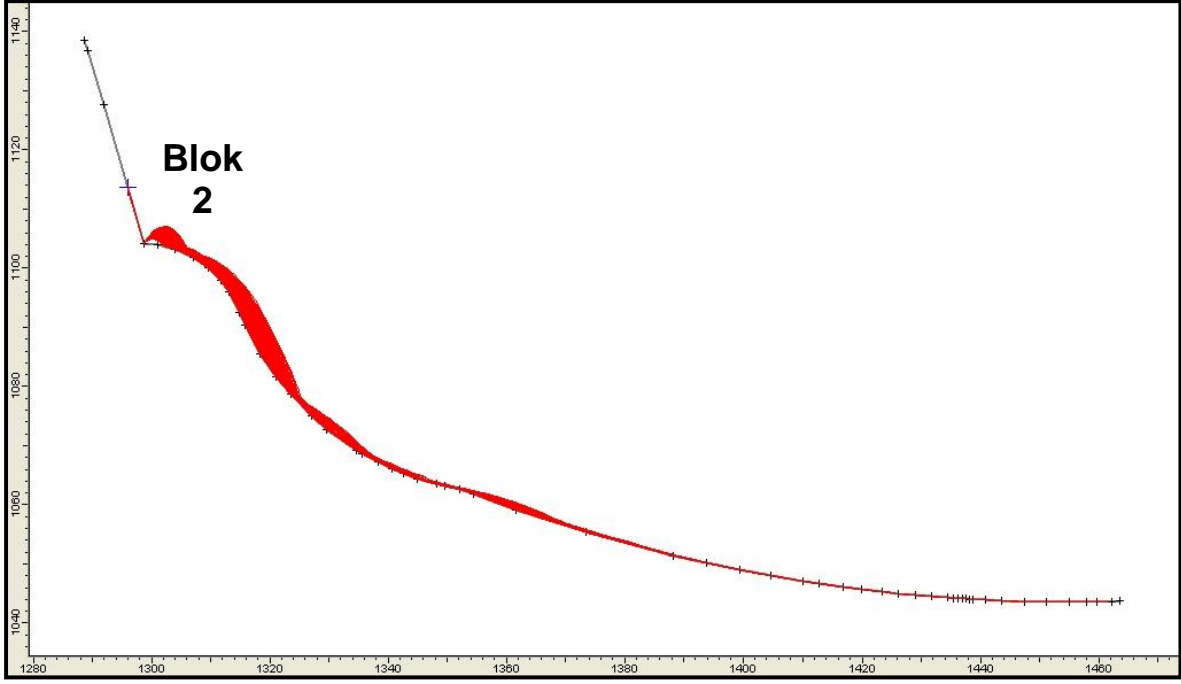
Blok No	X hızı (m/s)	Y hızı (m/s)	Kütle (Kg)	Açısal Hız (rad/s)
1	0	0	958100	0
2	0	0	357240	0

3	0	0	127400	0
---	---	---	--------	---

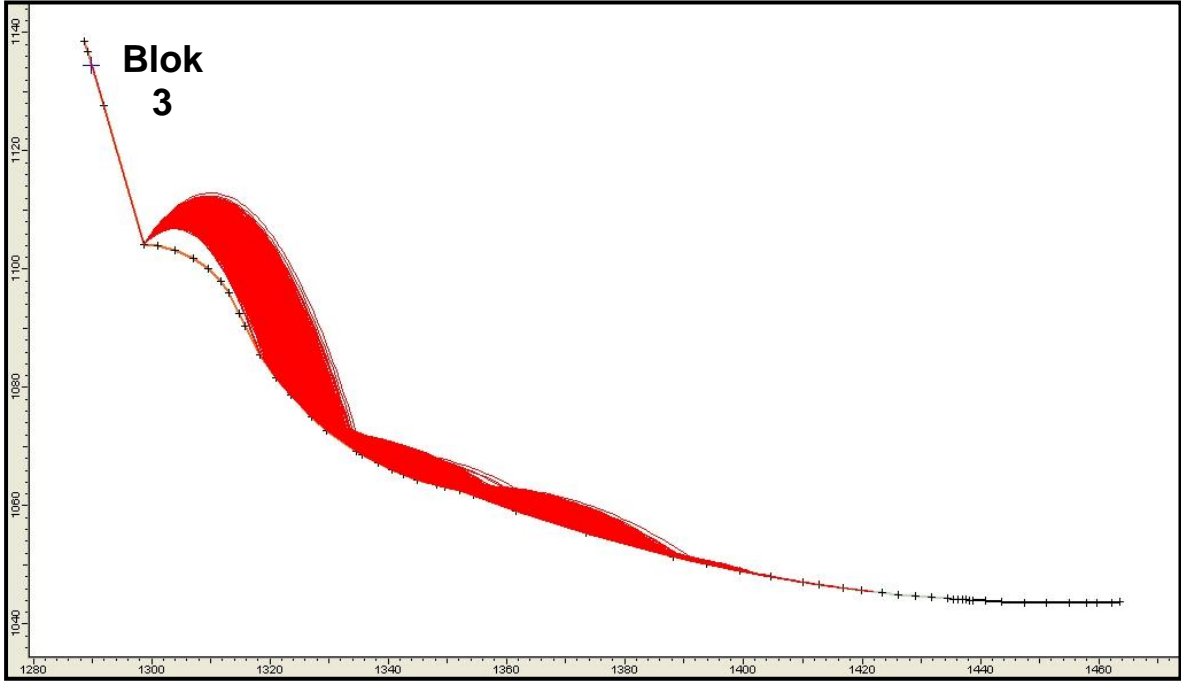
Yukarıda belirtilen model parametrelerinin girilmesinden sonra model simülasyonları 10000 iterasyon ve Monte-Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyon model sonuçları aşağıda Şekil 54'den Şekil 56'ya kadar verilmiştir.



Şekil 54. Profil 2'de Blok No.1'in düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

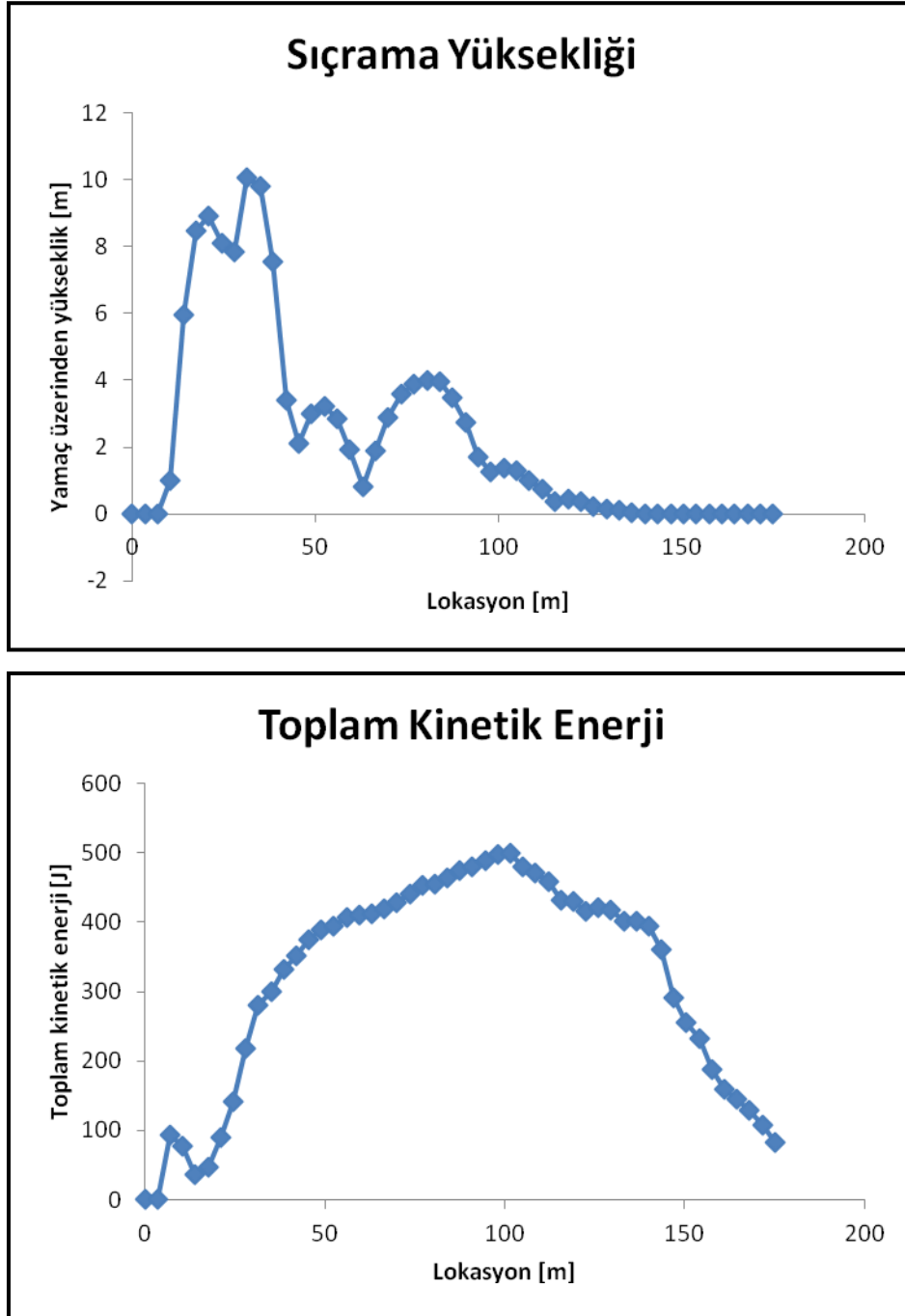


Şekil 55. Profil 2'de Blok No.2'nin düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

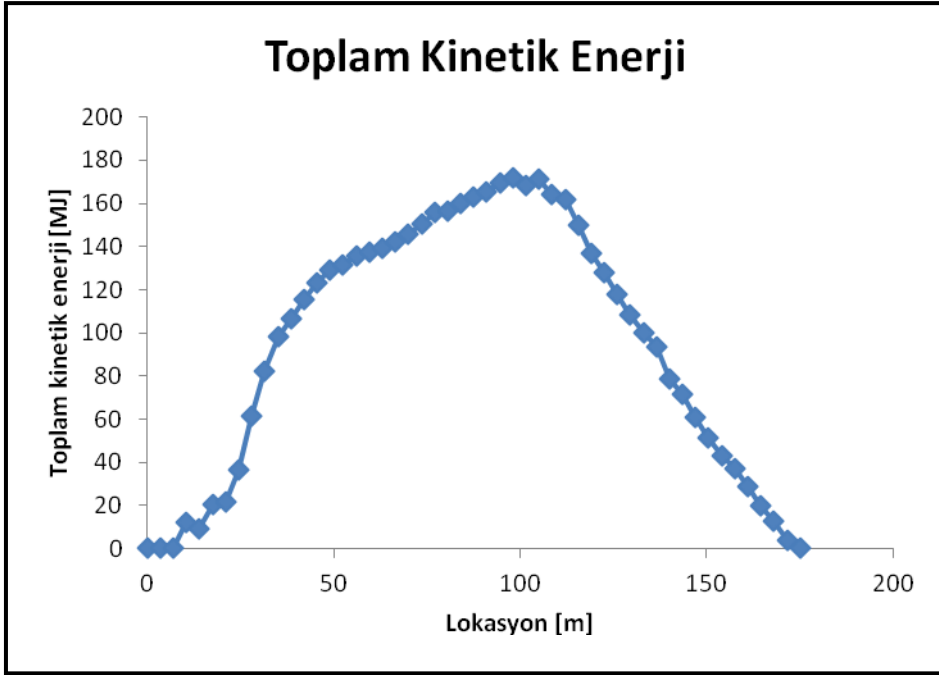
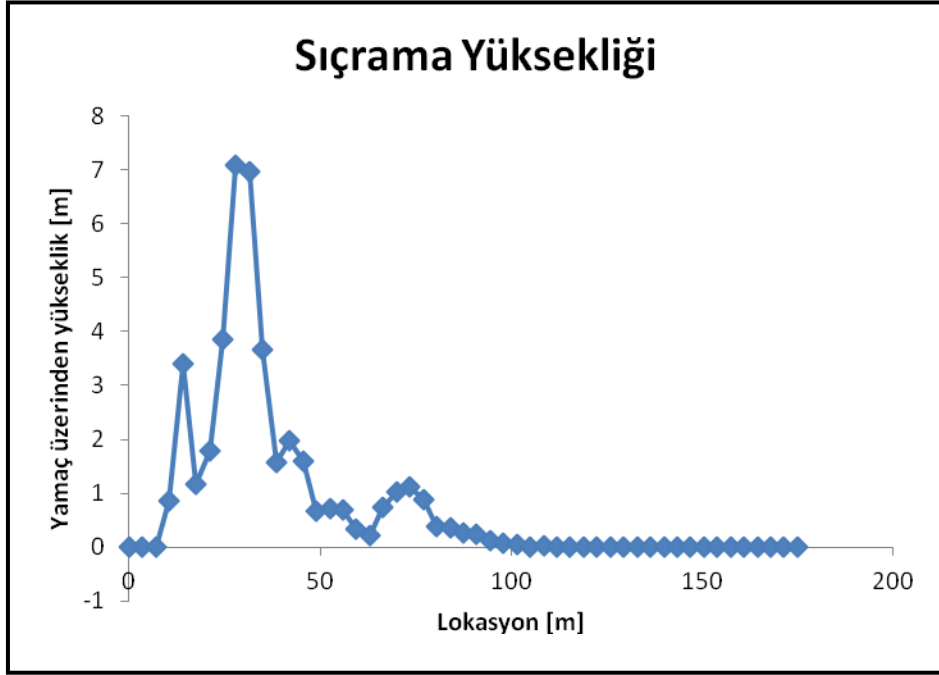


Şekil 56. Profil 2'de Blok No.3'ün düşmesi durumunda izleyeceği yol ve ulaşacağı maksimum mesafe.

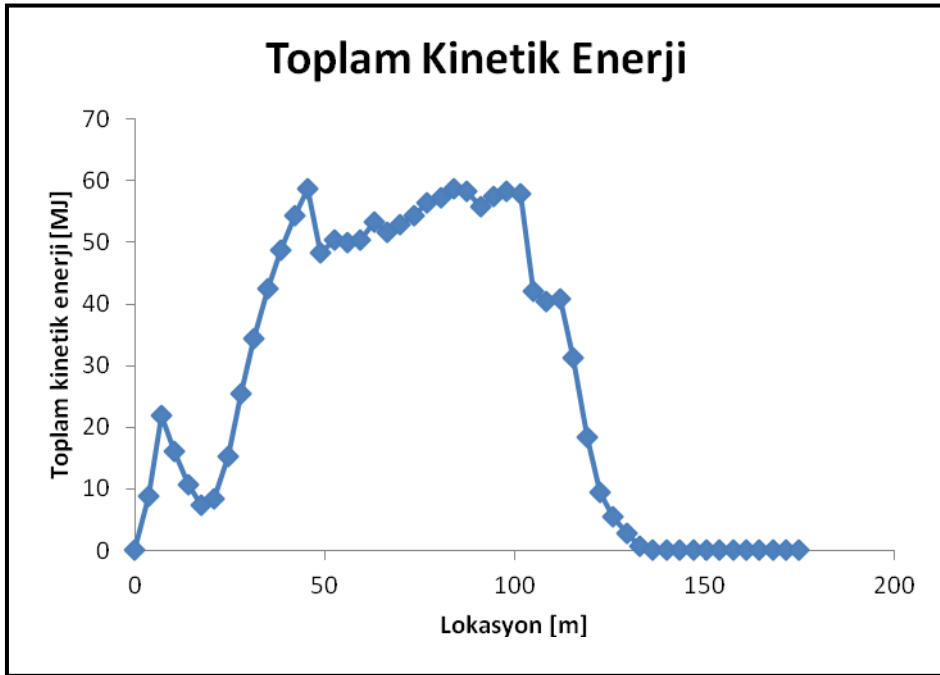
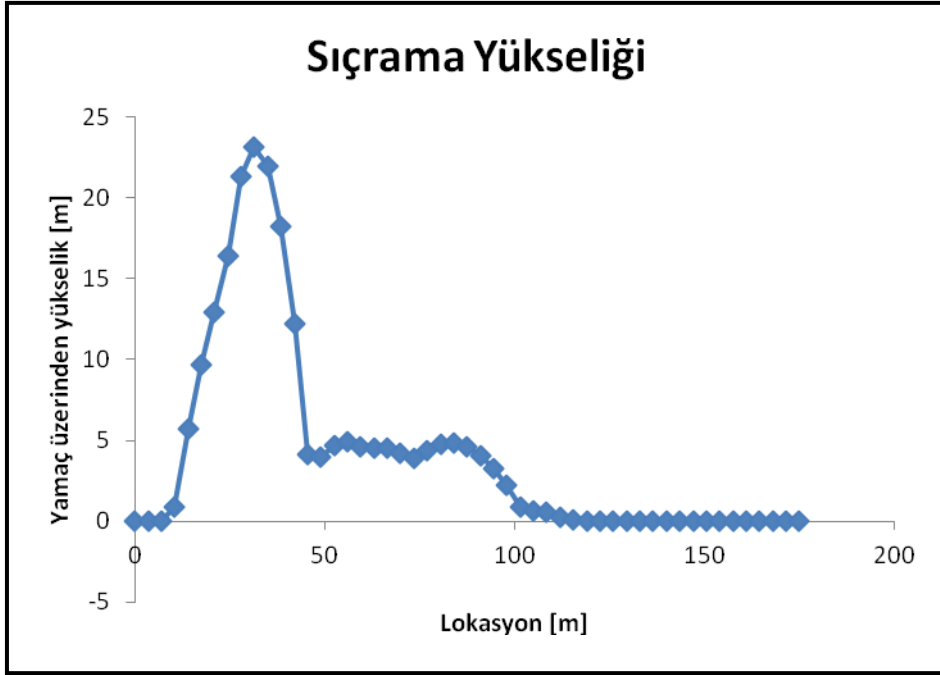
Profil 2 için yapılan modellemeler sonunda da düşmesi olası blokların yamaç üzerinde maksimum zıplama yüksekliği ve toplam kinetik enerjileri belirlenmiş ve bu değerlendirmeler grafik şeklinde Şekil 57'den Şekil 59'a kadar verilmiştir.



Şekil 57. Profil 2'de Blok No.1 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



Şekil 58. Profil 2’de Blok No.2 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.



Şekil 59. Profil 2’de Blok No.3 için yamaç üzerinde sıçrama yükseliği ve toplam kinetik enerji miktarlarını gösteren grafikler.

Elde edilen sıçrama ve toplam kinetik enerji grafiklerine göre, Blok No.1’in maksimum 10 m’lik bir sıçrama ile 170 m’lik bir mesafede kinetik enerjisinin sönümlendiği, Blok No.2’nin maksimum 7 m’lik bir sıçrama ile yine 170 m’de kinetik enerjisini yitirdiği, Blok No.3’ün ise 25 m’lik bir sıçrama ile yine 170 m’de kinetik enerjisinin tamamen sönümlendiği belirlenmiştir.

7. OLASI MÜHENDİSLİK ÇÖZÜMLERİNİN ÖNERİLMESİ

Proje kapsamında yapılan detay analizler sonucunda elde edilen neticeler yardımıyla, olası kaya düşmesi ve kayması olaylarının gerçekleşmesi durumunda zarar görebilecek risk altındaki elemanların yani yol, tünel, bina, yerleşim alanı gibi her türlü taşınmazın sayı, mesafe gibi durumları ile birinci ve ikinci derece olarak tanımlanan risk alanlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, kaya kayması ve kaya düşmesi durumlarında ortaya çıkacak risk durumları ayrı ayrı olarak ele alınmış ve buna bağlı olarak da olası risk durumlarının önlenmesi maksadıyla alınması gereken mühendislik çözümleri sunulmuştur.

7.1.Kaya Kaymasına Bağlı Risk Durumu

Olasılıksal ve nümerik analizler sonucunda elde edilen neticelere bağlı olarak, inceleme alanında kaya kayması olasılığının olduğu görülmektedir. Söz konusu kayma olayının olması durumunda inceleme alanında etki alanının dağılımına ilişkin öngörü, Şekil 50’de gösterilmiştir. Buna göre, olası kaya kayması olayında, inceleme alanının Kuzey Doğusunda yer alan yamaçların alt kısmında yer alan yerleşim alanı, yol ve demir yolunun risk altındaki elemanlar olduğu açıktır.

Olası kayma hareketinin olması durumunda, yaklaşık olarak 15 hanelik bir yerleşim alanının birinci derecede etkileneceği görülmektedir. Bu alanda bulunan evlerin hemen hepsinin tarihi değere sahip, ya güncel olarak turistik işletme olarak ya da henüz aktif olarak kullanılmayan potansiyel değere sahip olduğu bilinmektedir. Bu evlerinin güncel expertiz değerlerinin ortalama 500.000 ₺ olduğu dikkate alınır, olası hasarın yaklaşık

7.500.000 ₺ olması beklenmektedir. Bunun yanısıra, yol ve demir yolunun da ortalama olarak 100.000 ₺ zarar görmesi düşünüldüğünde, sadece toplam zararın 7.600.000 ₺ olması ihtimali söz konusudur. Olası kayma olayının gerçekleşmesi durumunda, kayan malzemenin kaldırılması ve ortamın yeniden tesisi için de kazı ve taşıma maliyetleri de göz önüne alındığında kabaca 8.000.000 ₺ gibi bir kaybın olma olasılığı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu zarar hesaplarının taşınmaz mallara yapılmasının yanısıra, şehrin turistik olması ve söz konusu risk alanı içerisinde özellikle bahar ve yaz aylarında artan ziyaretçi sayısı göz önünde bulundurulduğunda, insan kaybı açısından da son derece ciddi bir risk durumunun ortaya çıktığı da ortaya çıkmaktadır.

Taşınmazlara yönelik söz konusu kayıpların önüne geçilmesi amacıyla alınması gereken önlemlerin başında, kayma olasılığı olan süreksizlik denetimli blokların rehabilitasyonu gelmektedir. Bu amaçla, kayma olasılığı olan alanlarda zayıf kaya bloklarının boyutuna bağlı olarak kolaydan zora doğru olmak üzere çelik tel kafes uygulaması, püskürtme beton uygulaması ile ankraj uygulamasının olası kayma problemlerinin önlenmesi maksadıyla önerilmesi gerekli olan mühendislik çözümleri olduğu düşünülmelidir. Önerilen bu mühendislik önlemlerinin alınması durumunda pararle olarak insan hayatı üzerinde olan risk durumunun da ortadan kaldırılmış olacağı da görülmektedir.

7.2.Kaya Düşmesine Bağlı Risk Durumu

Kaya kaymasına benzer olarak kaya düşmesi riskinin olduğu alanlarda belirlenmiştir. Bunun için, kaya düşmesi modellemesi sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen model simülasyon sonuçlarına bağlı olarak, kaya düşmesi olayının gerçekleşmesi durumunda, toplam kinetik enerji sönmelenme değerlerine bakıldığında, Profil 1'in yer aldığı alanda düşmesi olası kayaların kaynak noktalarından itibaren yaklaşık 320 m'lik bir mesafe alacakları ve bu alan içerisinde yer alan her türlü taşınmaza da zarar verme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Buna göre inceleme alanında Profil 1 için olası risk alanları Şekil 50'de gösterilmiştir. Yine benzer olarak, Profil 2 için yapılan model simülasyon değerlendirmelerinde, kaya bloklarının düşmesi durumunda yaklaşık olarak 170 m'lik bir mesafe kat edecekleri ve bu alan içerisinde zarar verme potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir. Yine bu alan da Şekil 50'de gösterilmiştir.

Söz konusu risk alanı içerisinde yaklaşık 20 hane'nin ve yol ile demir yolu'nun olduğu görülmektedir. Yine bu alanda yer alan hanelerin, kaya kayması açısından risk

altında bulunan evlerle aynı karakteristiklere sahip oldukları göz önüne alındığında, toplam zararın yaklaşık 10.000.000 ₺ olacağı ortaya çıkmaktadır.

Olası kaya bloklarının düşmesinin kontrolü ve zarar potansiyelinin azaltılması amacıyla alınması gereken önlemlerin başında kaya bloklarının olası risk alanına ulaşmadan kontrol altına alınması gelmektedir. Bunun için, kaya kayması olayında önerilen çelik tel kafeslerin yanısıra kaya bloklarının üzerinden sıçramadan kalabileceği ve enerjilerinin maksimum seviyeye ulaşmadığı noktalarda yapılacak bariyer uygulamaları olacaktır. Son derece etkin ve yaygın kullanıma sahip olan bu yöntem ile kaya blokları olası risk alanına ulaşmadan bariyere takılmak suretiyle zarar potansiyelleri azaltılmış olacaktır.



Şekil 60. İnceleme alanında belirlenen risk altındaki elemanlar ve olası risk alanlarının Google Earth görüntüsü üzerinde gösterimi.

8. KAYNAKLAR

AGLIARDI, F., Crosta, G., High resolution three-dimensionnal numerical modelling of rockfalls, *Int. J. Rock. Mech. Min.*, 40,455–471, (2003).

BARTON, N., Choubey, V. The shear strength of rock joints in theory and practice, *Rock Mechanics 1/2*, Vienna: Springer, (1977) Pp: 1-54.

BEKTAS, O., Capkinooglu, S., Akdag, K., Successive extensional tectonic regimes during the Mesozoic as evidenced by neptunian dikes in the Pontide Magmatic Arc, Northeast Turkey. *International Geology Review* 43 (9), 840-849, (2001).

BİNAL, A., Ercanoğlu, M., Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey) Geopark Region, *Environmental Earth Sciences*, 61(7), 1361-1373 (2010).

CHAU, K.T., Wong, R.H.C. and Wu, J.J., Coefficient of restitution and rotational motions of rockfall impacts, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 39(1):69–77, (2002).

CHAU, K.T., Wong, R.H.C., Liu, J., Lee, C.F., Rockfall hazard analysis for Hong Kong based on rockfall inventory, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 36, 383-408, (2003).

DORREN, L.K.A., Maier, B., Putters, U.S., Seijmonsbergen, A.C., Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps, *Geomorphology* 57 (3–4), 151–167, (2004).

DORREN, L.K.A., Mountain Geoecosystems. GIS modeling of rockfall and protection forest structure, (PhD Thesis), University of Amsterdam. (2001).

DOYURAN, V., Environmental geology problems of Ortahisar (in Turkish), *TJK Bulteni* 19:83–88, (1976).

DÜZGÜN, H.S.B., Yucemen M.S., Karpuz, C., A Probabilistic Model for the Assessment of Uncertainties in Shear Strength of Rock Discontinuities, *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 39, pp. 743-754, (202).

DÜZGÜN, H.S.B., Bhasin R.K., Probabilistic Stability Evaluation of Oppstadhornet Rock Slope Norway, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 42, 724-749, (2009).

ALP, D., Amasya yöresinin Jeolojisi (Doktora tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Fak. Monografileri, (1972).

ERTURAÇ, M.K., Tüysüz, O., Amasya ve çevresinin depremselliği ve deterministik deprem tehlike analizi, *İTÜ Dergisi Mühendislik Serisi*, 9 (3), 121-132, (2010).

EVANS, S., Hungr, O., The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, *Can. Geo. J.*, 30, 620-636, (1993).

GÖKÇEOĞLU, C., Sönmez, H., Ercanoğlu, M., Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of Altındağ (settlement) region (Turkey), *Engineering Geology*, 55 (4), 277-296, (2000).

GUZZETTI, F., Reichenbach, P., Ghigi, S., Rockfall hazard and risk assessment along a transportation corridor in the Nera Valley, Central Italy, *Env. Manage.* 34: 191-208, (2004).

GUZZETTI, F., Crosta, G. B., Detti, R., Agliardi, F., STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls, *Computers and Geosciences*, 28, 9, 1081–1095, (2002).

HASOFER, A. M., Lind, N. C., Exact and invariant second-moment code format.” *J. Engrg. Mechanics*, 100: 111-121, ASCE, New York, (1974).

HOEK, E., Bray J.W., *Rock Slope Engineering*, The Institution of Mining and Metallurgy, Revised Second Edition, (1977), London.

HUTCHINSON, J. N., General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides* (Ed: Bonnard, C.),1, 3-35. (1988), Rotterdam: Balkema.

JABOYEDOFF, M., Dudt, J. P., Labiouse, V., An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency and fragmentation degree, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 621–632, (2005).

KARAALIOĞLU, B., Amasya Geldingen Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, II. Bölge Müdürlüğü. Ankara (1983).

LAN, H, Martin, C.D., Lim, C.H., RockFall analyst: a GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modelling, *Computers & Geosciences*, 33, pp. 262–279, (2007).

MCMAHON, B. K., A statistical method for the design of rock slopes. Proceedings of 1st Australia - New Zealand Geomechanics Conference, Melbourne, 314-321, (1971).

MCNEIL, B.E., Jasper, J.D., Luchsinger, D.A., Rainsmier, M.V., Implementation and application of GIS at Timpanogos Cave National Monument, Utah, *Journal of Cave and Karst Studies*, 64 (1), pp. 34–37, (2002).

PIERSON, L. A., Van Vickle, R., Rockfall Hazard Rating System: Participant's Manual: Federal Highway Administration Publication SA-93-057, (1993), 104 Pp.

ROCFALL, User manual, RocScience Comp. Canada (2012).

SCHWEIGL, J., Ferretti, C., Nossing, L., Geotechnical characterization and rockfall simulation of slope: a practical case study from South Tyrol (Italy), *Eng Geol* 67:281–296, (2003).

TAN, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 405–418, (2008).

TOPAL T., Akin M., Ozden, A.U., Assessment of rock fall hazard around Afyon Castle, Turkey, *Environ Geol* 53:177–189, (2007).

TUNUSLUOĞLU,C., Zorlu, K., Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey), *Environmental Geology*, 56, 5, 963-972, (2009).

WASOWSKI, J., Del Gaudio, V., Evaluating seismically induced mass movement hazard in Caranico Terme (Italy), *Eng. Geol.*, 58, 291–311, (2000).

ZEYBEK, H. İ., Amasya Ovasının ve Yakın Çevresinin Fiziki Coğrafyası, (Doktora tezi), Ondokuzmayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (1998).

ZORLU K, Tunusluoglu, M.C., Gorum, T., Nefeslioglu, H.A., Yalcin, A., Gokceoglu, C., Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey), *Environ Earth Sci. Environ Earth Sci*, 62:1685–1693, (2011).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No:110M796
Proje Başlığı: Kaya Düşmeleri ve Kaya Şev Kaymaları için Risk Analizine Dayalı Mühendislik Çözümlerinin Değerlendirilmesi.
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof.Dr. H. Şebnem DÜZGÜN Yrd.Doç.Dr. Aykut AKGÜN Sohrab GHEIBIE
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Çankaya/ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:-
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.02.2011-15.02.2012
Öz (en çok 70 kelime) <p>Bu kapsamda, öncelikli olarak arazide kaya düşmesi ve kaya şevi kayması olan alanlar ayrı ayrı belirlenmiş ve bu alanlardan ihtiyaç duyulan veriler toplanmıştır. Bu aşamada, problemin başlıca kaynağı olan süreksizliklere ait veriler toplanmış, kaya düşmesi modellemesinde kullanılmak üzere kaya malzemesine ait fiziko-mekanik ve indeks özelliklerin belirlenmesi amacıyla kaya bloğu ve süreksizlik örnekleme yapılmıştır. Kaya düşmesi ve kaya kayması olasılığı olan şevlerinin geometrileri ile bu şevlerdeki askıda bulunan bloklar arazide yerinde belirlenmiştir. Toplanan veriler olasılıksal-numerik yöntemler ile değerlendirilmiştir. Analizler UDEC ve RocFall yazılımlardan faydalanılarak yapılmıştır. Şevlerin potansiyel düşme ve kayma olasılıkları belirlendikten sonra, kayıp analizi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada en önemli veriyi, olası şev probleminde etkilenecek her türlü bina, yol, demiryolu, sanayi alanı vb. alanların belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu taşınmazlar, risk analizi aşamasında "risk altındaki elemanlar"ı teşkil etmektedir. Bu maksatla, problem tespit edilen alanlara ait 1:1000-1:5000 ölçekli imar verileri elde edilmiş, elde edilen veriler, potansiyel tehlikeden en fazla zarar görebilirlik derecesine göre kendi içerisinde sınıflandırılarak bir "zarar görebilirlik" verisi üretilmiştir. Bu aşamadan sonra, mühendislik açısından problemler alanlardaki sıkıntıların giderilmesi amacıyla alternatif mühendislik çözümlerinin değerlendirilmesine geçilmiştir. Söz konusu bu aşamada, olası problemin türü,</p>

büyüklüğü, tehdit ettiği alan ve taşınmazların durumuna göre hangi mühendislik çözümlerinin alınması gerektiği ve bu çözümlerin maliyetinin ne olacağı tespit edilmiştir. Burada, üretilecek farklı alternatiflerin farklı risk derecelerine göre durumları karşılaştırılarak, ileride farklı risk durumları ile karşılaşılması durumunda daha hızlı ve etkin bir şekilde hangi mühendislik çözümlerinin alınacağı da açık bir biçimde ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler:

Kaya düşmesi, kaya kayması, olasılık, numerik analiz. Amasya

Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu?

Evet

Gerekli Değil

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

Probabilistic-Numerical Modeling of Stability of a Rock Slope in Amasya Turkey. (Yüksek Lisans Tezi) (Sohrab Gheibie)

Ekte Bulunan "ARDEB Başarı Öyküsü Formu", "Kazanımlar" Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşdığını Düşünüyorsanız "ARDEB Başarı Öyküsü Formu"nu doldurunuz.