T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ İLİ KAYA DÜŞMESİ ALANLARININ ÜÇ BOYUTLU DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

YÜKSEK LİSANS

Sabır AKBAŞ

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ İLİ KAYA DÜŞMESİ ALANLARININ ÜÇ BOYUTLU DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

THREE DIMENSIONAL EVALUATION OF ROCKFALL AREAS IN KAHRAMANMARAS PROVINCE AND SOLUTION SUGGESTIONS

YÜKSEK LİSANS

Sabır AKBAŞ

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ İLİ KAYA DÜŞMESİ ALANLARININ ÜÇ BOYUTLU DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

THREE DIMENSIONAL EVALUATION OF ROCKFALL AREAS IN KAHRAMANMARAS PROVINCE AND SOLUTION SUGGESTIONS

YÜKSEK LİSANS

Sabır AKBAŞ

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum **"Kahramanmaraş İli Kaya Düşmesi Alanlarının Üç Boyutlu Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri"** isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirtiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

03/06/2024

…….

Sabır AKBAŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından nihayete erinceye kadar geçen süreçte sağladığı, verdiği, yaptığı herşey için hocam sayın Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a en samimi duygularımla teşekkürlerimi sunarım.

Yine bu süreçte her konuda yardımını esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Serhat DAĞ'a ve Kahramanmaraş merkezli depremlerde arazi çalışmalarında görev alan ve veri temininde bulunarak çalışmalarımda kolaylık sağlayan mesai arkaşlarım; başta Harita Mühendisi Salim GÜNEY, Harita Mühendisi Abdurrahman Yusuf Özçetin ve İnşaat Mühendisi Caner GÜL ile tüm AFAD teknik perseonellerine en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Pandemi ve Kahramanmaraş depremleri gibi asrımızın felaketi sayılan iki olaya tanık olan birisi olarak bu tez çalışmamı nihayete erdirmem de kelimeler ile tarif edemeyeceğim katkıları olan Eşim Ümmügülsüm AKBAŞ, Annem Gülcan AKBAŞ ve motivasyon kaynaklarım olan kızlarım Gülnihal AKBAŞ ve Sare AKBAŞ'a derin saygı ve muhabbetle şükranlarımı sunarım.

Çok zorlu bir süreçte hazırlamış olduğum ve Kahramanmaraş İli için fayda sağlayacağını düşündüğüm bu tez çalışmamı, 06.02.2023 tarihindeki Kahramanmaraş merkezli depremlerde hayatını kaybetmiş vatandaşlarımıza ithaf ederim.

Sabır AKBAŞ

GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

06.02.2023 tarihinde yaklaşık 500 yıllık bir tekrarlama periyodunun ardından Kahramanmaraş merkezli iki büyük deprem meydana gelmiştir. Bu depremler sırası ve sonrasında birçok kaya düşmesi vakaları yaşanmıştır. Bu çalışmada, yaşanan depremler sonrasında meydana gelen kaya düşmesi olayları incelenerek kaya düşmesine konu kaynak alanların tespiti yapılmıştır. 1040 adet farklı lokasyondaki kaynak alan verisinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamına aktarımı yapılarak sayısallaştırma işlemleri tamamlanmıştır. Böylelikle bütün çalışmaya altlık olacak kaynak alan veri seti hazırlanmıştır. İnceleme alanı olan Kahramanmaraş İline ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak analize dâhil edilecek parametre haritaları ***(sayısal arazi modeli (SAM), eğim, bakı, litoloji, arazi kullanım)*** CBS ortamında üretilmiştir. Hazırlanan kaynak alan veri setinin bu parametreler ile ilişkileri CBS ortamında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda kaya düşmesi olaylarının en yoğun yaşandığı parametre alt değerlerinin yeniden sınıflandırma ve puanlama işlemleri yapılarak Kahramanmaraş İli Duyarlılık Haritası oluşturulmuştur. Duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı alanlar ayırtlanarak, Kahramanmaraş İline ait potansiyel kaya düşmesi kaynak alanları ile karşılaştırması yapılmış, yayılım zonlarının belirlenmesinde kullanılacak kaynak alan haritası elde edilmiştir. 20 noktada gerçekleştirilen üç boyutlu (3B) analizlerle belirli hacim aralığındaki kaya bloklarının menzil mesafelerine bağlı enerji çizgi açılarının tespiti yapılmıştır. Referans alınan enerji çizgi açısı değerlerine göre, konik yayılım yöntemi kullanılarak conefall yazılımında yayılım zonları belirlenmiştir. Üç boyutlu analizlerde elde edilen enerji dağılımlarının, analiz noktalarını kapsayan yayılım zonları ile ilişkisi irdelenmiş, bu enerji verilerine göre il ölçeğindeki bir yaklaşım olarak iyileştirme tasarımlarına yönelik ıslah önerilerinde bulunulmuş olup, Kahramanmaraş İlinin kaya düşmesi afetinden etkilenebilirliği yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Kahramanmaraş, Kaya düşmesi, Conefall, 3B analizler

SUMMARY

Many rockfall cases occurred due to two major earthquakes centered in Kahramanmaraş on 06.02.2023. In this study, the source areas where these rockfall events occurred were determined. The digitization process was completed by transferring 1040 source field data from different locations to the geographic information systems (GIS) environment. Thus, the source data set that will serve as the basis for the entire study was prepared. Using the topographic and thematic maps of Kahramanmaraş Province, which is the study area, the parameter maps to be included in the analysis were produced in the GIS environment. The relationships of the prepared source area data set with these parameters were evaluated in the GIS environment. Kahramanmaraş Province Susceptibility Map was created by taking into account the parameter subgroups where rockfall events occur most frequently. Sensitive, high sensitive and very high sensitive areas and potential rockfall source areas were compared and the final source area map was obtained. With three-dimensional (3D) analyzes performed at 20 points, energy line angles depending on the range distances of rock blocks in a certain volume range were determined. According to the reference energy line angle values, propagation zones were determined in the conefall software using the cone propagation method. The relationship between the energy distributions obtained in three-dimensional analyzes and the distribution zones covering the analysis points was examined, according to these energy data, improvement suggestions were made for improvement designs as a provincial-scale approach, and the vulnerability of Kahramanmaraş Province to the rockfall disaster was interpreted.

Keywords: Geographic information systems, Kahramanmaraş, Rockfall, Conefall, 3D analyzes

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI IV
TEŞEKKÜR V
ÖZET VI
SUMMARY VII
İÇİNDEKİLER VIII
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş ve Amaç 1
1.2. Coğrafi Konum 3
1.2.1. İklim ve Bitki Örtüsü 4
1.2.2. Morfoloji 6
2. KAYA DÜŞMESİ 8
2.1. Kaya Düşmelerine Yönelik Yapılan Tanımlamalar 8
2.2. Kaynak Alan ve Yuvarlanma Bölgesi 10
2.3. Kaya Düşmelerine Etki Eden Tetikleyici Unsurlar 12
2.4. Düşen Bloğun Davranışlarına Yönelik Temel Kavramlar 13
2.5. Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri 13
2.5.1. Kaya Düşmesi Değerlendirmelerinde Kullanılan 2 Boyutlu ve 3 Boyutlu Analizler 14
2.5.2. Kaya Düşmesinin Ampirik Değerlendirilmesi 17
2.5.3. Kaya Düşmesi Haritalamasına Yönelik Önceki Çalışmalar 18
3. GENEL JEOLOJİ 25
3.1. Bölgesel Jeoloji 25
3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi 26
3.2.1. Koruk Formasyonu 28
3.2.2. Eloğlu Formasyonu Formasyonu 28
3.2.3. Koçali Karmaşığı 28
3.2.4. Kastel Formasyonu 28
3.2.5. Besni Formasyonu 29
3.2.6. Midyat Formasyonu 29
3.2.7. Yenicekale Formasyonu 29
3.2.8. Yavuzeli Bazaltları 29

3.2.9. Alüvyon 30
3.2.10. Yamaç Molozu 30
3.3. Yapısal Jeoloji 30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 32
4.1. Deprem Sırasında Meydana Gelen Kaya Düşme Alanlarının Sahada Etüt Edilmesi ve Modellemeye Uygun Hale Getirilmesi 33
4.2. Kahramanmaraş İline Ait Sayısal Arazi Modelinin ve Parametre Haritalarının Oluşturulması 38
4.3. Kaynak Alanlar Veri Setinin Parametre Haritaları ile Karşılaştırılması Sonucu Filtre Haritalarının Üretilmesi 44
4.3.1. Kaynak Alanların Yükseklik Verisi ile Karşılaştırması 44
4.3.2. Kaynak Alanların Eğim Haritası ile Karşılaştırması 46
4.3.3. Kaynak Alanların Litoloji Verisi ile Karşılaştırması 48
4.3.4. Kaynak Alanların Bakı Verisi ile Karşılaştırması 50
4.3.5. Kaynak Alanların Arazi Kullanım Verisi ile Karşılaştırması 52
4.4. Yoğunluklarına Göre Yüzde Oran Değerleri Tespit Edilen Parametre Haritalarında Sınıflandırma Yapılması 54
4.5. Bölgesel Ölçekte Kaynak Kaya Alanlarının Tanımlanması 60
4.6. Kaya Düşme Yayılma Mesafelerinin Belirlenmesi 61
4.6.1. Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle) 62
4.6.2. Gölge açısı (Shadow Angle) 62
4.7. Üç Boyutlu Analizler ile Menzil Mesafelerinin Belirlenmesi 63
4.7.1. A1 Analiz Noktası Aslanbey Mevkii 65
4.7.2. A2 Analiz Noktası Aslanbey Çiftliği Mevkii 68
4.7.3. A3 Analiz Noktası Avcılar Mevkii 69
4.7.4. A4 Analiz Sahası Barış Mevkii 72
4.7.5. A5 Analiz Sahası Beşenli Türközü Mevkii 74
4.7.6. A6 Analiz Sahası Cambaz Mevkii 76
4.7.7. A7 Analiz Sahası Çevrepınar Mevkii 77
4.7.8. A8 Analiz Sahası Çınarpınar Mevkii 80
4.7.9. A9 Analiz Sahası Çuhadarlı Mevkii 81
4.7.10. A10 Analiz Sahası Baydemirli Mevkii 83
4.7.11. A11 Analiz Sahası Efirağızlı Mevkii 84
4.7.12. A12 Analiz Sahası Kabaklar Mevkii 86
4.7.13. A13 Analiz Sahası Kapıkaya Mevkii 87

4.7.14. A14 Analiz Sahası Karamanlı Mevkii 90
4.7.15. A15 Analiz Sahası Kertmen Mevkii 92
4.7.16. A16 Analiz Sahası Dönüklü Mevkii 93
4.7.17. A17 Analiz Sahası Saygılı Mevkii 95
4.7.18. A18 Analiz Sahası Suluyayla Mevkii 96
4.7.19. A19 Analiz Sahası Yenicekale Mevkii 98
4.7.20. A20 Analiz Sahası Süleymanlı Mevkii 99
4.8. Conefall Programında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi 101
4.9. Kaya Düşmelerinde Tehlike ve Etkilenebilirlik Kavramı 102
1.9.1. Yerleşim Yerlerinin Kaya Düşmelerinden Etkilenebilirliği 109
4.9.2. Analiz Noktalarındaki Yerleşim Yerlerinin Etkilenme Değerlendirmesinin Yapılması 111
4.9.3. Üç Boyutlu Analizler ile Elde Edilen Maksimum Enerji Verilerinin Yayılım Zonları ile Değerlendirilmesi 118
4.9.4. İyileştirme Yöntemleri 133
4.9.4.1. Analiz Noktalarındaki Islah Projelerine Yönelik İyileştirme Önerileri 136
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 152
KAYNAKÇA 156
ÖZGEÇMİŞ 161

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kahramanmaraş ili afet olayları tablosu (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021) 2
Tablo 2. Kahramanmaraş iline ait meteorolojik veriler (1930-2022) (https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme) 5
Tablo 3. Literatürde sıklıkla kullanılan kaya düşmesi yazılımları 14
Tablo 4. Normal ve teğetsel geri sıçrama sayılarının (Rn ve Rt) yüzey özelliklerine göre literatürde yer alan bazı değerleri (Rocscience, Coefficient of Restitution Table) 16
Tablo 5. Kaynak alanlarının yükseklik değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu 45
Tablo 6. Kaynak alanlarının eğim değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu 47
Tablo 7. Kaynak alanlarının litoloji değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu 49
Tablo 8. Kaynak alanlarının bakı değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu 51
Tablo 9. Kaynak alanlarının arazi kullanım değerleri ile karşılaştırması sonuç tablosu 53
Tablo 10. Sınıf aralıkları tablosu 58
Tablo 11. Farklı Enerji Çizgi Açılarındaki yayılım olasılığı sınıflaması (Larcher vd., 2012) 62
Tablo 12. Analiz noktalarına ait koordinat bilgileri 65
Tablo 13. Analiz noktalarından 3 boyutlu simülasyonlar ile elde edilen enerji çizgi açıları (EÇA) tablosu 101
Tablo 14. Enerji çizgi açısı (EÇA) değerleri ve etkilenme sınıfı tablosu 102
Tablo 15. Düşen kaya bloğunun kinetik enerji değerine yönelik yapılan sınıflama önerisi 107
Tablo 16. Her bir grid hücresindeki kaya bloğundan etkilenme sayısına yönelik yapılan sınıflama önerisi 107
Tablo 17. Kaya bloğunun potansiyel sıçrama yüksekliğine yönelik yapılan sınıflama önerisi 107
Tablo 18. Etkilenme sınıfına yönelik yapılan puanlama 107
Tablo 19. Yayılım zonları ve enerji dağılımı ilişkisinin il ölçeğindeki genel değerlendirmesi 133

Tablo 20. Analiz noktalarında önerilen iyileştirme tasarımlarının gerçekleştiği etkilenme sınıfı ve enerji değerlerini gösterir tablo 148
Tablo 21. İl ölçeğinde yayılma zonlarında genellikle tatbik edilmesi öngörülen iyileştirme önerileri 150

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İllere göre deprem sayısı grafiği (https://deprem.afad.gov.tr/event-statistics)..... 1
Şekil 2. İllere göre kaya düşmesi olayı dağılımı (Gökçe vd., 2008)..... 2
Şekil 3. Kahramanmaraş iline ait yer bulduru haritası (Kahramanmaraş İl Çevre Düzeni Planı, 2011)..... 4
Şekil 4. Kahramanmaraş iline ait meteorolojik veriler (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)..... 5
Şekil 5. Kahramanmaraş iline ait arazi görünürlüğü arttırılmış uydu görüntüsü..... 6
Şekil 6. Kahramanmaraş iline ait jeomorfoloji haritası (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)..... 7
Şekil 7. Kaya düşmelerinde yamaç eğimleri ile hareket türleri ilişkisi (Fanos ve Pradhan, 2018'den değiştirilerek) 9
Şekil 8. Kaya düşmelerinde kaynak ve yuvarlanma zonları (Evans ve Hungr, 1993) 10
Şekil 9. Kaya düşmelerinde farklı depolanma bölgeleri (Evans ve Hungr, 1993)..... 11
Şekil 10. Şev açısına bağlı olarak düşen kaya bloğunun farklı zonlardaki davranışı ve depolanması (Wyllie, 2015) 11
Şekil 11. Çarpma öncesi ve sonrasında (a) Rn ve (b) Rt hız bileşenleri (Akın, 2021) 15
Şekil 12. Kaya düşmesi hesaplamaları için geliştirilen FallGIS isimli programın kullanımını gösterir akış şeması (Yılmaz vd., 2008) 19
Şekil 13. Şebinkarahisar ilçesindeki bir alan için kaya düşmesine yönelik Rockfall ve FallGIS programları kullanarak ArcGIS ortamında üretilen (a) enerji, (b) hız, (c) sıçrama yüksekliği ve (d) durma noktası haritaları (Yılmaz vd., 2008) 19
Şekil 14. Kinematik analizler ile oluşturulan duraysızlık modelleri (Topal ve Akın, 2012) 20
Şekil 15. Geriye dönük analizler ile belirlenen Rn ve Rt değerleri (Topal ve Akın, 2012) 21
Şekil 16. (a) Tehlike zonu, (b) Kaya bloğunun kinetik enerjisi (c) Sıçrama yüksekliği ve (d) Hız haritaları (Topal ve Akın, 2012)..... 21
Şekil 17. RocPro3D yazılımı ile 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri sonucu elde edilen düşen bloklara ait yuvarlanma hatları (Akın vd., 2019)..... 22

Şekil 18. Gümüşhane il merkezindeki 3 boyutlu kaya düşme analiz sonuçlarına göre elde edilen yuvarlanma hatları (Kaya, 2020) 23
Şekil 19. Türkiye ve civarındaki ana tektonik yapılar (Şengör vd., 1985) 25
Şekil 20. Kahramanmaraş İline Ait Jeoloji Haritası (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021) 26
Şekil 21. Kahramanmaraş İli genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yeleser, 2006) 27
Şekil 22. Kahramanmaraş iline ait yapısal jeoloji haritası (Kahramanmaraş İl Çevre Düzeni Planı, 2011) 31
Şekil 23. Düşmüş kaya blokları Beyoğlu,Türkoğlu 33
Şekil 24. Düşmüş kaya bloğu Ayaklıcaoluk, Dulkadiroğlu (60 m³) 34
Şekil 25. Düşmüş kaya bloğu Budaklı, Dulkadiroğlu 34
Şekil 26. Düşmüş kaya blokları Çamlıca, Onikişubat 35
Şekil 27. Düşmüş kaya bloğu Başdoğan, Andırın 35
Şekil 28. Düşmüş kaya bloğu Çakallıhasanağa, Türkoğlu 36
Şekil 29. Düşmüş kaya blokları 36
Şekil 30. Düşmüş kaya blokları 37
Şekil 31. Google earth uydu programına aktarılan kaynak alan görüntüleri 37
Şekil 32. CBS ortamına aktarılan kaya düşmesi kaynak alanları 38
Şekil 33. Kaya düşmesi duyarlılık ve yayılım haritalarının üretilmesi sürecindeki iş akışı 39
Şekil 34. Çalışma alanına ait yükselti haritası 40
Şekil 35. Çalışma alanına ait eğim haritası 41
Şekil 36. Çalışma alanına ait bakı haritası 42
Şekil 37. Çalışma alanına ait jeoloji haritası 43
Şekil 38. Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası 43
Şekil 39. Kaynak alanlara karşılık gelen yükseklik değerlerini gösterir harita 44
Şekil 40. Yükselti değer aralıklarının yüzdesel ağırlık grafiği 46
Şekil 41. Kaynak alanlara karşılık gelen eğim değerlerini gösterir harita 47
Şekil 42. Eğim değer aralıklarının yüzdesel ağırlık grafiği 48
Şekil 43. Kaynak alanlara karşılık gelen litolojik birimleri gösterir harita 49
Şekil 44. Kaya düşmeleri yaşanan litolojik birimlerdeki yüzdesel ağırlık grafiği 50
Şekil 45. Kaynak alanlara karşılık gelen bakı değerlerini gösterir harita 51
Şekil 46. Bakı değerlerinin yüzdesel ağırlık grafiği 52
Şekil 47. Kaynak alanlara karşılık gelen arazi kullanım haritası 52

Şekil 48. Arazi kullanım değerlerinin yüzdesel ağırlık grafiği 54
Şekil 49. Puanlandırılmış yükseklik haritası 55
Şekil 50. Puanlandırılmış eğim haritası 55
Şekil 51. Puanlandırılmış litoloji haritası 56
Şekil 52. Puanlandırılmış bakı haritası 56
Şekil 53. Puanlandırılmış arazi kullanım haritası 57
Şekil 54. Kahramanmaraş İline ait beş sınıfa ayrılmış kaya düşmesi duyarlılık haritası 59
Şekil 55. Duyarlılık sınıflarına karşılık gelen kontrol alanlarına ait pikseller ve yüzde dağılımları 59
Şekil 56. Nihai kaynak kaya alanı haritası 61
Şekil 57.Enerji çizgi açısı kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek) 62
Şekil 58. Gölge Açısı kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek) 63
Şekil 59. Üç boyutlu analiz noktalarının noktasal konumlarını gösterir kroki 64
Şekil 60. A1 analiz noktası düşen kaya blokları ve kaya kaynak alanı Aslanbey, Göksun 66
Şekil 61. A1 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 67
Şekil 62. A1 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 67
Şekil 63. A1 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 68
Şekil 64. A2 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 68
Şekil 65. A2 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 69
Şekil 66. A2 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 69
Şekil 67. A3 analiz noktası düşen bloklar Avcılar, Onikişubat 70
Şekil 68. A3 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 71
Şekil 69. A3 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 71
Şekil 70. A3 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 72
Şekil 71. A4 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Barış, Nurhak 72
Şekil 72. A4 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 73
Şekil 73. A4 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 73
Şekil 74. A4 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 74
Şekil 75. A5 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 75

Şekil 76. A5 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 75
Şekil 77. A5 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 76
Şekil 78. A6 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 76
Şekil 79. A6 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 77
Şekil 80. A6 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 77
Şekil 81. A7 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Çevrepınar, Onikişubat 78
Şekil 82. A7 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 79
Şekil 83. A7 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 79
Şekil 84. A7 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 80
Şekil 85. A8 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 80
Şekil 86. A8 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 81
Şekil 87. A8 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 81
Şekil 88. A9 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 82
Şekil 89. A9 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 82
Şekil 90. A9 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 83
Şekil 91. A10 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 83
Şekil 92. A10 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 84
Şekil 93. A10 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 84
Şekil 94. A11 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 85
Şekil 95. A11 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 85
Şekil 96. A11 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 86
Şekil 97. A12 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 86
Şekil 98. A12 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 87
Şekil 99. A12 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 87
Şekil 100. A13 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Kapıkaya, Onikişubat 88

Şekil 101. A13 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 89
Şekil 102. A13 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 89
Şekil 103. A13 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 90
Şekil 104. A14 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 91
Şekil 105. A14 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 91
Şekil 106. A14 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 92
Şekil 107. A15 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 92
Şekil 108. A15 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 93
Şekil 109. A15 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 93
Şekil 110. A16 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 94
Şekil 111. A16 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 94
Şekil 112. A16 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 95
Şekil 113. A17 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 95
Şekil 114. A17 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 96
Şekil 115. A17 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 96
Şekil 116. A18 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 97
Şekil 117. A18 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 97
Şekil 118. A18 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 98
Şekil 119. A19 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 98
Şekil 120. A19 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 99
Şekil 121. A19 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 99
Şekil 122. A20 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları 100
Şekil 123. A20 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi 100
Şekil 124. A20 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi 100
Şekil 125. Kahramanmaraş ili kaya düşmesi yayılım zonları haritası 102
Şekil 126. A7 analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalan yapılar ve düşen kaya bloklarının verdiği hasarlar 104

Şekil 127. A7 analiz noktasındaki düşen bloklara ait sıçrama yükseklikleri 105
Şekil 128. Grid hücresinden geçen blok sayıları 105
Şekil 129. A7 analiz noktasındaki enerji dağılımı 106
Şekil 130. A7 analiz noktasındaki kaya düşmesinden etkilenme sınıflaması 106
Şekil 131. A7 analiz noktası kaya düşmesi tehlike haritası 108
Şekil 132. İldeki yapı stoğu (MAKS, 2019) 110
Şekil 133. Yayılım zonlarına göre yapıların etkilenme sınıflaması 111
Şekil 134. A1 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 112
Şekil 135. A3 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 112
Şekil 136. A4 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 113
Şekil 137. A5 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 113
Şekil 138. A6 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 113
Şekil 139. A7 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 114
Şekil 140. A8 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 114
Şekil 141. A9 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması ... 114
Şekil 142. A10 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 115
Şekil 143. A11 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 115
Şekil 144. A12 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 115
Şekil 145. A13 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 116
Şekil 146. A14 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 116
Şekil 147. A15 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 116
Şekil 148. A16 analiz noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre tehlike sınıflaması 117
Şekil 149. A17 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 117
Şekil 150. A18 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 117
Şekil 151. A19 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması 118

Şekil 152. A1 analiz noktasındaki enerji dağılım ve yayılım zonları karşılaştırması ... 119
Şekil 153. A2 analiz noktasındaki enerji dağılım ve yayılım zonları karşılaştırması ... 119
Şekil 154. A3 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 120
Şekil 155. A4 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 121
Şekil 156. A5 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 121
Şekil 157. A6 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 122
Şekil 158. A7 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 123
Şekil 159. A8 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 123
Şekil 160. A9 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması 124
Şekil 161. A10 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 125
Şekil 162. A11 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 126
Şekil 163. A12 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 127
Şekil 164. A13 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 127
Şekil 165. A14 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 128
Şekil 166. A15 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 129
Şekil 167. A16 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 129
Şekil 168. A17 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 130
Şekil 169. A18 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 131
Şekil 170. A19 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 132
Şekil 171. A20 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması ... 132
Şekil 172. Farklı kaya düşmesi koruma yapıları için çarpma enerjisi kapasitesinin değişimi (Vogel vd., 2009) 135
Şekil 173. Kaya düşme önleme yöntemlerinin sınıflandırılması (Wyllie ve Norrsish, 1996) 136
Şekil 174. A1 analiz noktasındaki tasarım görseli 137
Şekil 175. A2 analiz noktası tasarım görseli 137
Şekil 176. A3 noktası tasarım görseli 138
Şekil 177. A4 noktası tasarım görseli 138
Şekil 178. A5 noktası tasarım görseli 139
Şekil 179. A6 noktası tasarım görseli 139
Şekil 180. A7 noktası tasarım görseli 140
Şekil 181. A8 noktası tasarım görseli 140
Şekil 182. A9 noktası tasarım görseli 141
Şekil 183. A10 noktası tasarım görseli 141
Şekil 184. A11 noktası tasarım görseli alternatif-1 142

Şekil 185. A11 noktası tasarım görseli alternatif-2 142
Şekil 186. A12 noktası tasarım görseli 143
Şekil 187. A13 noktası tasarım görseli 143
Şekil 188. A14 noktası tasarım görseli 144
Şekil 189. A15 noktası tasarım görseli 144
Şekil 190. A16 noktası tasarım görseli 145
Şekil 191. A17 noktası tasarım görseli 145
Şekil 192. A18 noktası tasarım görseli 146
Şekil 193. A19 noktası tasarım görseli 147
Şekil 194. A20 noktası tasarım görseli 147
Şekil 195. Kahramanmaraş iline ait kaya düşmesi afetinden etkilenebilirlik haritası 151

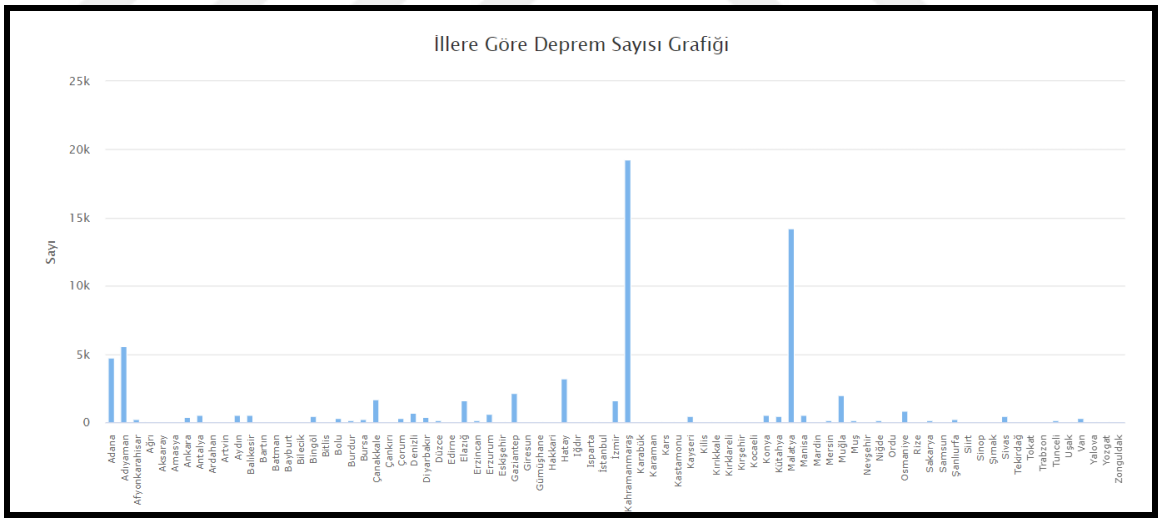
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2D	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
3D	: 3 Boyutlu
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AMB	: Afete maruz bölge
C	: Kaya bloklarından etkilenme sayısı
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
E	: Etkilenme sınıfı
EÇA	: Enerji çizgi açısı
H	: Sıçrama yüksekliği
k	: Sürtünme Katsayısı
KAP	: Kaynak alanlarla çakışan piksel sayısı
KAPT	: Kaynak alanlardaki toplam piksel sayısı
kg	: kilogram
km	: Kilometre
m	: Metre
m^2	: metrekare
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
mm	: Milimetre
RES	: Sayısal arazi modeli çözünürlüğü
RHI	: Kaya düşmesi tehlike indeksi
Rn	: Normal geri verme katsayısı
Rt	: Teğetsel geri verme katsayısı
SAM	: Sayısal arazi modeli
sn.	: Saniye
v.d.	: Ve diğerleri, ve devamı
vb.	: Ve benzeri
X^o	: Açısal derece
α	: Kritik eğim açısı değeri

1. GENEL BİLGİLER

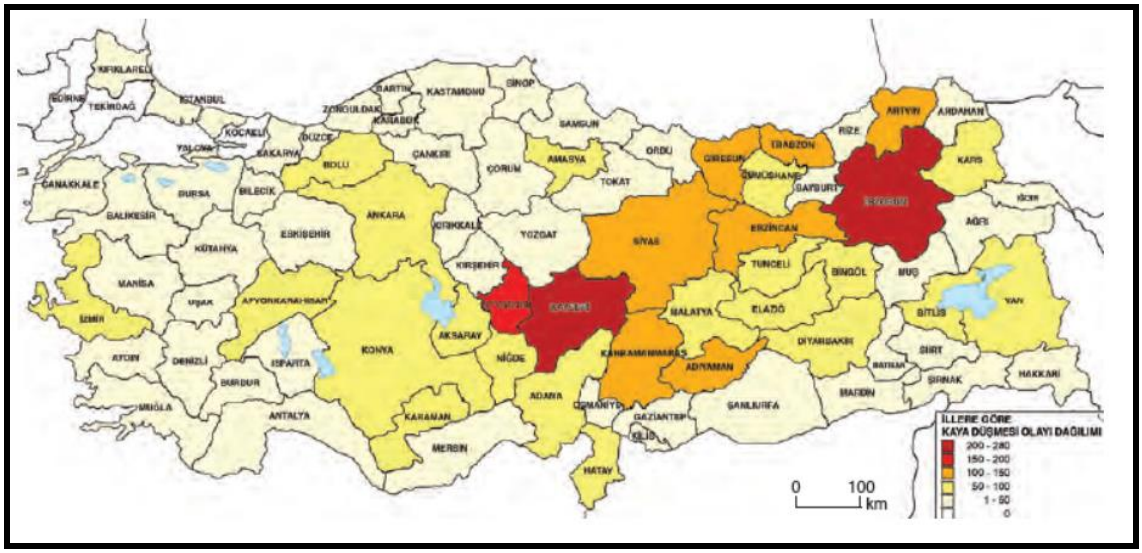
1.1. Giriş ve Amaç

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Artan nüfus ile beraber yeni yaşam alanlarına duyulan ihtiyaç da günden güne artmaktadır. Doğal olarak her insan, yaşadığı alanın her açıdan güvenli olması ve güvenli kalması arzusundadır. Ancak nasıl ki insan olarak bir hayat mekanizmamız var ise, dünyanın da kendi içerisinde işleyen ve her şeyin birbiri ile bağlantılı olduğu doğal bir mekanizması vardır. Bu sürecin sonuçlarından birisi de doğal afetlerdir. Doğal afetler; yaşamı kesintiye uğratan, hayatın olağan akışını durduran; deprem, heyelan, taşkın, sel/su baskını, kaya düşmesi, çığ, fırtına, tsunami vb. gibi olaylardır. Aslında doğal bir sürecin sonucu olarak gelişen bu doğa olayları, insan hayatını etkilemeye başlayınca afet adını almaktadır. 06.02.2023 tarihinde de Kahramanmaraş ili Pazarcık merkezli 7.7 büyüklüğünde ve Elbistan Merkezli 7.6 büyüklüğünde iki büyük deprem meydana gelmiş ve resmi kayıtlara göre 50000 insan yaşamını kaybetmiştir. Yaşanan bu büyük depremlerin ardından bugüne kadar yaklaşık 20 bin artçı sarsıntı yaşanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İllere göre deprem sayısı grafiği (https://deprem.afad.gov.tr/event-statistics)

Yaşanan bu depremler sırası ve sonrasında ise birçok noktada kaya düşmesi olayları yaşanmıştır. Kaya düşmeleri ülkemizin özellikle kırsal yerleşim yerlerinde oldukça sık olarak gözlenmektedir. Sahip olduğu jeolojik, litolojik ve morfolojik özellikleri ile Kahramanmaraş İli de kaya düşmesi olaylarının en çok yaşandığı iller arasında bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İllere göre kaya düşmesi olayı dağılımı (Gökçe vd., 2008)

1950-2016 yılları arasındaki AFAD afet enventer bilgilerine göre kaya düşmesi afeti il genelinde en çok gözlenen üçüncü afet türüdür. En çok görülen afet türü 273 olay ile heyelan iken su baskını 189 olayla ikinci ve kaya düşmesi 124 olay ile üçüncü sırada gelmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Kahramanmaraş ili afet olayları tablosu (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)

İlçe Adı	**Heyelan**	**Kaya Düşmesi**	**Su Baskını**	**Çığ**	**Deprem**	**Diğer Afetler**
Afşin	13	15	19	0	0	1
Andırın	22	11	4	1	0	0
Çağlayancerit	12	2	2	3	0	0
Dulkadiroğlu	42	20	8	0	0	2
Ekinözü	12	4	4	3	0	0
Elbistan	9	12	87	0	5	1
Göksun	20	6	23	9	0	0
Nurhak	1	0	0	0	0	0
Onikişubat	108	42	23	7	1	1
Pazarcık	19	12	9	1	1	0
Türkoğlu	15	0	10	0	0	1
Toplam	273	124	189	24	7	6

Meydana gelen kaya düşme olayları nedeniyle bugüne kadar birçok yerleşim yerinde ikamet yasaklanarak bu sahalara Afete Maruz Bölge (AMB) şerhi konulmuştur.

Her ne kadar gelişen teknoloji ile birlikte kaya düşmelerinin önlenmesine yönelik farklı yöntemler geliştirilmiş olsa da arazide uygulanabilirliği, bölge halkının yaklaşımları, ıslah maliyeti gibi durumlar ıslah çalışmasının mahiyetini daralttığından nihai çözüm olarak alanın yerleşime kapatılması gündeme gelmektedir. Bu durum

neticesinde AMB ilan edilen birçok alanda ortaya çıkan sosyal problemler ve mağduriyetler yıllar geçmesine rağmen nihayete kavuşturulamamakta; hem vatandaş açısından hem de kamu kurumları açısından birçok sorun beraberinde gelmektedir.

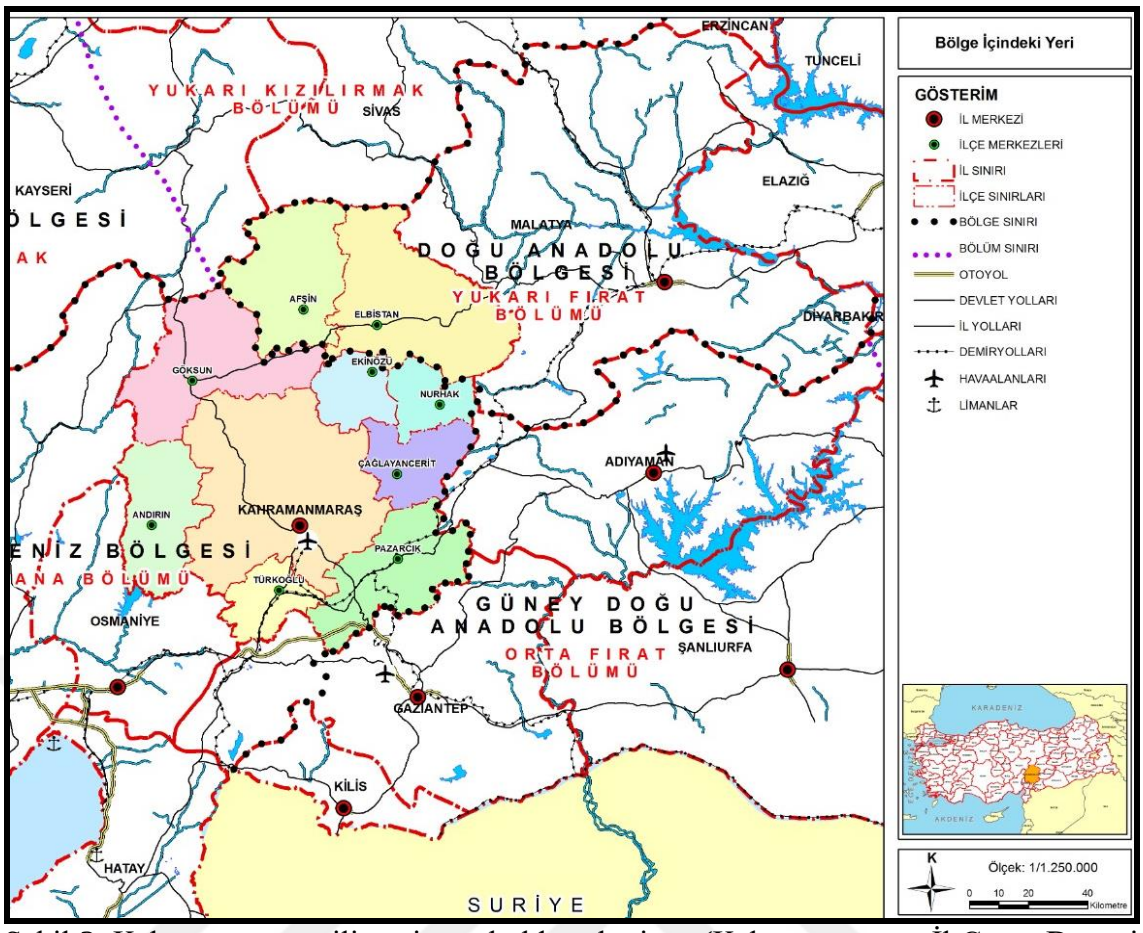
Bu çalışma kapsamında, Kahramanmaraş depremlerinden sonra meydana gelen kaya düşmesi olaylarının incelenerek morfolojik, topografik ve litolojik parametreler ile korelasyonu yapılmış, Kahramanmaraş İline ait kaya düşmesi duraylılık haritası hazırlanmıştır. Bu harita ile bölgesel anlamda kaya düşmesi olaylarına yönelik duyarlı alanların, karar verici kurum ve kuruluşlarla paylaşılarak yeni yerleşim yeri tespitinde göz önünde bulundurulması ve oluşabilecek mağduriyetlerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca CBS tabanlı bölgesel ölçekte kaya düşmesi duyarlılık haritasının hazırlanmasında uygulanan yöntemler, yeni çalışmalara ışık tutması açısından ayrıntılı olarak anlatılmış, elde edilen çıktı haritasının Kahramanmaraş İlinde kaya düşmesine yönelik yapılacak tehlike ve risk çalışmalarında altlık olarak kullanılması hedeflenmiştir.

Bu çalışma ile yeni yerleşim yerlerinin tespitinde, enerji nakil hatları, enerji tesisleri, karayolu ve tren yolu güzergâhlarının belirlenmesinde altlık olarak kullanılması sayesinde, ihtiyaç duyulan önlemlerin zamanında alınarak, ekonomik kayıpların önüne geçilmesi, proje aksamalarının yaşanmasına engel olunması, en önemlisi de herhangi bir afet durumunda can kayıplarının yaşanmaması hedeflenmiştir. Ayrıca kaya düşmelerine yönelik tedbir amaçlı ağaçlandırma faaliyetlerinde de yine bu haritanın kılavuz olarak kullanılması amaçlanmıştır.

1.2. Coğrafi Konum

Kahramanmaraş ili; Akdeniz Bölgesinin Doğu kısımlarında yer almaktadır. 37-38 kuzey paralelleri ile 36-37 doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır. Kuzeyinde Sivas, Malatya ve Kayseri, doğusunda Adıyaman, batısında Adana ve güneyinde ise Osmaniye ve Gaziantep illeriyle komşudur. 14.346 km²lik yüzölçümü ile Türkiye'nin 11. sırasında bulunan Kahramanmaraş ili nüfusa göre 18. büyük ili konumundadır.

2012 yılında çıkarılan 6360 sayılı kanun ile büyükşehir statüsü kazanmış olan Kahramanmaraş ilinin merkezde Onikişubat ve Dulkadiroğlu ilçeleri ile yerelde Afşin, Andırın, Çağlayancerit, Ekinözü, Elbistan, Göksun, Nurhak, Pazarcık ve Türkoğlu olmak üzere toplam 11 ilçesi bulunmaktadır (Şekil 3).

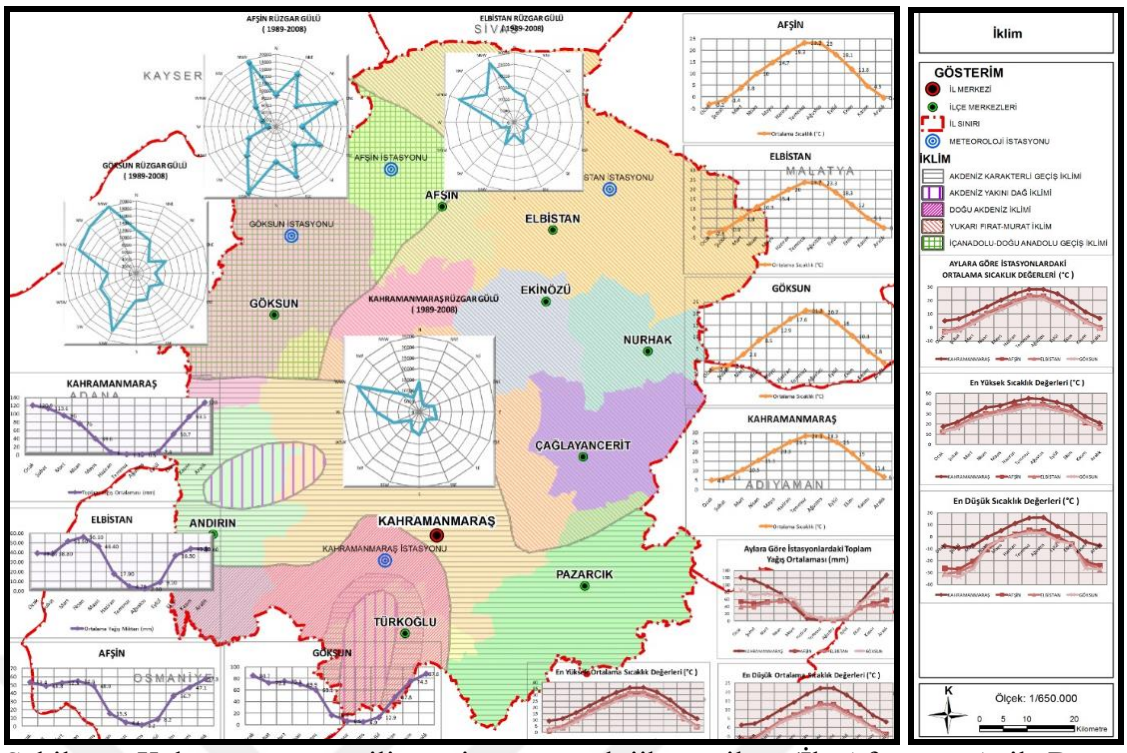


Şekil 3. Kahramanmaraş iline ait yer bulduru haritası (Kahramanmaraş İl Çevre Düzeni Planı, 2011)

1.2.1. İklim ve Bitki Örtüsü

Kahramanmaraş ili Akdeniz Bölgesinin İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile olan sınırında yer almaktadır. İlin kuzey kesimlerindeki Göksun, Afşin, Elbistan gibi ilçeler Doğu Anadolu iklim özelliklerine (karasal iklim), Kahramanmaraş Merkez ve yakın çevreleri ise hem Akdeniz hem de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin iklim özelliklerine, ilin batısında bulunan Andırın ilçesi körfezden gelen yağış ve coğrafi yapısından dolayı tipik Karadeniz iklim özelliklerine sahiptir.

En yüksek sıcaklık 45.2 °C (30.07.2007), en düşük sıcaklık -9.6 °C (06.02.1997), en çok yağış 98.2 kg/m2 (12.12.1989), en hızlı rüzgar 45 m/sn (22.12.1967), en yüksek kar 37 cm olarak ölçülmüştür (24.02.2003). Uzun yıllar ortalama sıcaklığı 16.9 °C, ortalama nispi nemi % 57.9, ortalama güneşlenme süresi 6.8 saat, ortalama rüzgar hızı 2.1 m/sn, ortalama yıllık toplam yağış 725.4 mm olarak kaydedilmiştir (MGM Kahramanmaraş İl Müdürlüğü).



Şekil 4. Kahramanmaraş iline ait meteorolojik veriler (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)

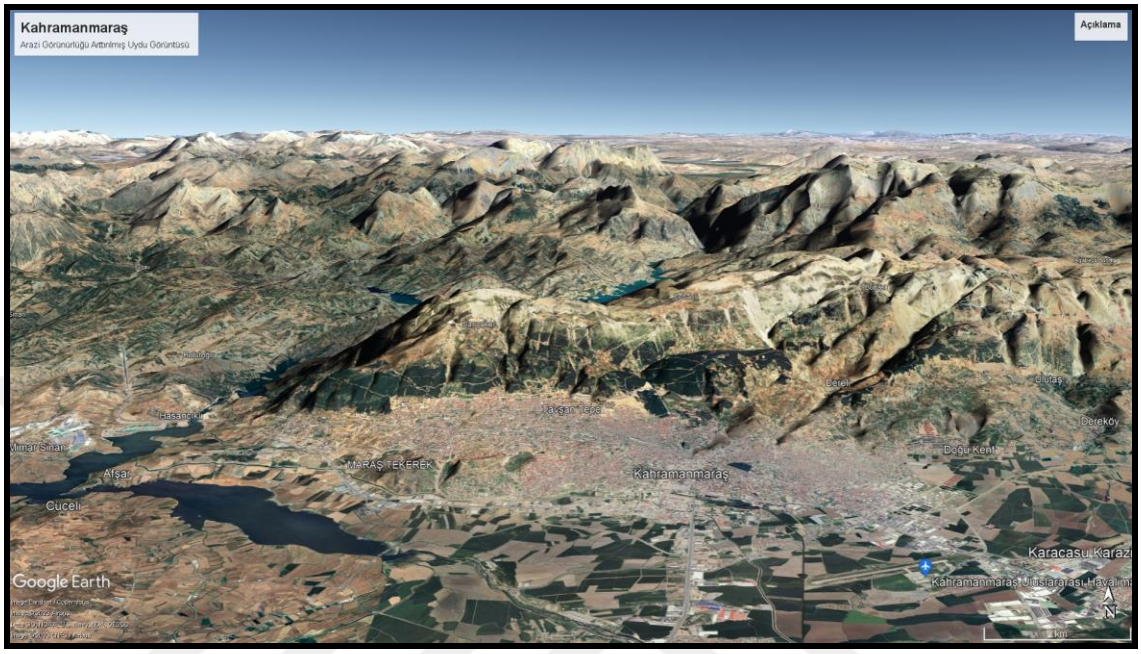
Kahramanmaraş il merkezinde kış aylarında düzenli ve ani olmayan uzun süreli yağışlar gerçekleşirken, bahar aylarında ise mevzi şeklinde kısa sürede yüksek yağış bırakan ani yağışlar gerçekleşmektedir. Yaz ayları yağış rejimi düşüktür. Yaz aylarında Kahramanmaraş il merkezinde, hakim yönü Kuzey-Kuzeybatı (315^{o}-360^{o}) olan yer yer fırtınaya dönüşen kuvvetli rüzgarlar görülmektedir (MGM Kahramanmaraş İl Müdürlüğü).

Tablo 2. Kahramanmaraş iline ait meteorolojik veriler (1930-2022) (https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme)

KAHRAMANMARAŞ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.8	6.2	10.4	15.2	20.1	24.9	28.3	28.4	25.0	18.9	11.8	6.7	16.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.3	11.1	15.9	21.3	26.8	32.0	35.7	36.1	3Z.6	26.1	17.9	11.2	23.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.4	2.5	5.7	9.9	14.1	18.7	22.2	22.3	18.5	13.0	7.1	3.3	11.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	40	5.5	6.6	8.1	10.0	10.5	9.8	8.7	6.6	4.5	3.2	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.44	10.60	10.40	9.36	6.96	2.14	0.41	0.37	1.81	5.59	7.17	10.17	75.4
Aylık Toplam Yağlş Miktarı Ortalaması (mm)	124	112.2	95.1	73.0	38.8	8.6	2.7	2.2	11.0	45.4	78.0	130.6	721.6
Ölçüm Periyodu (1930 - 2022)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.7	25.3	29.8	36.0	39.3	42	45.2	44.4	42.5	38.6	29.6	24	45.2
En Düşük Sıcaklık {°C)	-9.0	—9.6	-7.6	-1.8	4.7	6.6	12.4	12.5	4	0.0	-4.4	-7.6	-9.6

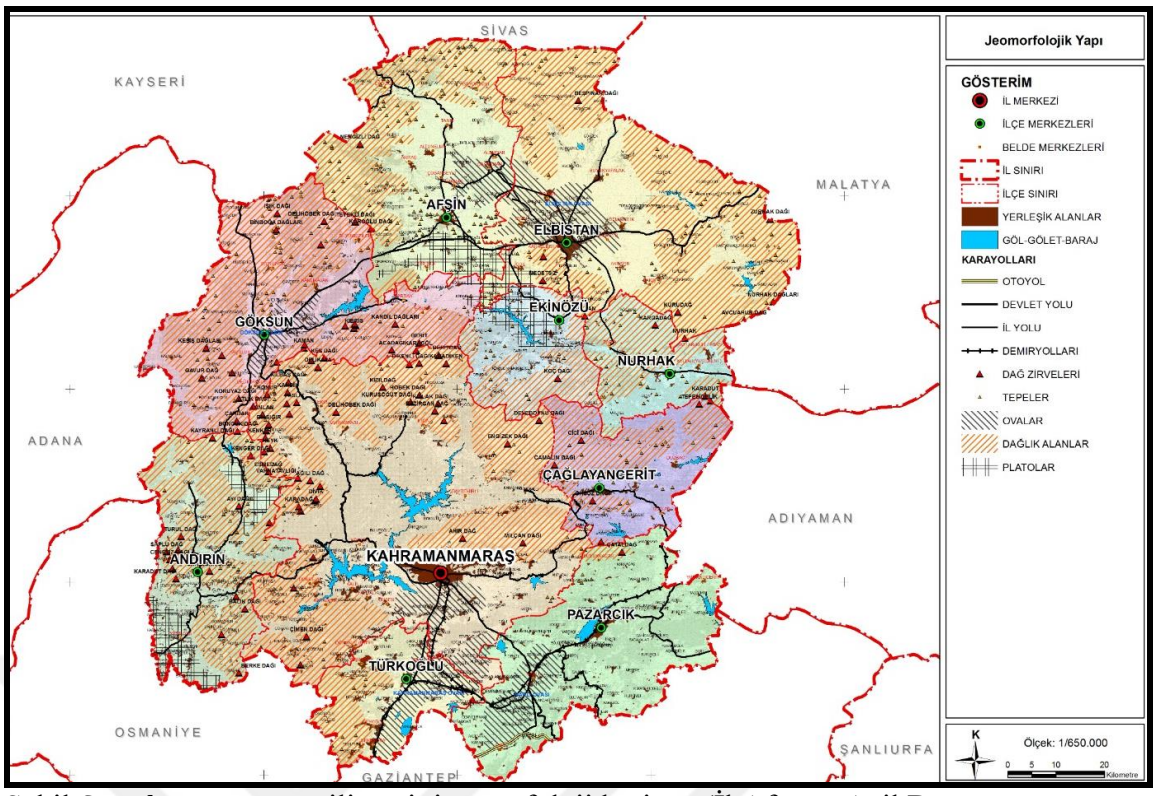
1.2.2. Morfoloji

Kahramanmaraş il sınırları içerisinde, genel olarak Doğu ve Güneydoğu Torosların uzantıları olan dağlarla bunlar arasında kalan çöküntü alanları bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Kahramanmaraş iline ait arazi görünürlüğü arttırılmış uydu görüntüsü

Amanos, Tahtalı, Nurhak, Kartalkaya, Dibek, Berit, Binboğa, Engizek ve Ahır Dağları, Doğu ve Güneydoğu Toroslar'ın Kahramanmaraş sınırları içerisinde yer alan uzantılarını oluşturmaktadır. Kahramanmaraş ilinin kapsadığı alanlar başlıca; kıvrımlı dağlar, kırıklı-kıvrımlı dağlar, lav, tüf platoları ve örtüleri, iç ve yüksek ovalar ile kıyı ve yakını alçak ovalar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Arazi yüksekliği 300 metreden 3100 metreye kadar çıkan Kahramanmaraş'ta geniş ovalar vardır. Toprakların %59,7'sini dağlar, %24'ünü platolar ve %16,3'ünü de ovalar teşkil eder (Şekil 6).



Şekil 6. Kahramanmaraş iline ait jeomorfoloji haritası (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)

2. KAYA DÜŞMESİ

2.1. Kaya Düşmelerine Yönelik Yapılan Tanımlamalar

Kaya düşmeleri, kaynak alan ve tetikleyici unsurlar açısından değerlendirildiğinde kestirilmesi güç bir kütle duraysızlık türüdür. Yamaç yüzeyinde uzun süre duraylılığını koruyan bloklar, aniden kütleden ayrılarak düşebilmekte, can ve mal kaybına neden olabilmektedir (Akın vd., 2019).

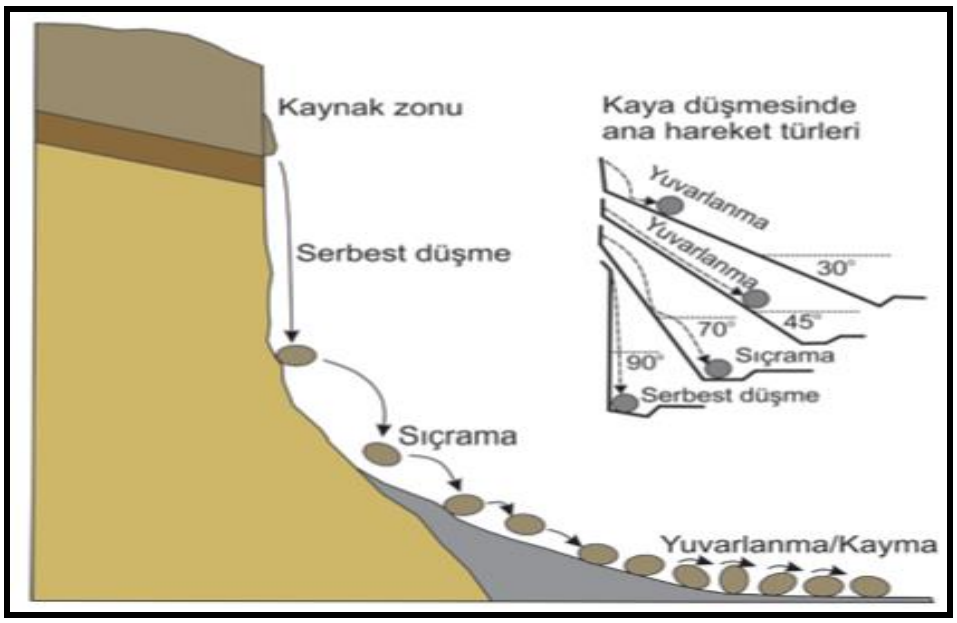
Yoğun yağışlar, donma-çözülme gibi meteorolojik faktörlere bağlı döngüler ile yoğun sismik faaliyetlerin yaşandığı bölgelerde kaya düşmeleri daha sık meydana gelmektedir (Wyllie, 2015).

Kaya düşmeleri, engebeli ve dağlık arazilerde, şev yarmalarında ve açık maden ocaklarında meydana gelen ve karayolu, demiryolu gibi çizgisel yapıların yanı sıra daha geniş yayılıma sahip yerleşim yerlerine zarar verebilen bir doğal afettir. Kaya düşmeleri sonucunda yapılarda ve araçlarda hasarlar, ulaşımda aksamalar ve buna bağlı ekonomik zararlar meydana gelebileceği gibi, düşen kaya blokları can kayıplarına da neden olabilmektedir. Diğer afet türleri ile kıyaslandığında her ne kadar daha sınırlı bir alanda etkili olsalar da, kaya düşmelerinin altyapıya veya insanlara verdikleri zarar ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, kaya düşme potansiyeli olan alanlarda çeşitli faktörler göz önüne alınarak, saha şartlarına en uygun tehlike ve risk önleme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir (Volkwein vd., 2011).

Kaya düşmesi, yamaç veya şevlerde süreksizlik yüzeyleri boyunca ayrılan kaya bloklarının yerçekiminin etkisiyle yamaç/şev eğimi yönündeki oldukça hızlı ve ani hareketi olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978).

Kaya düşmelerinde, süreksizlik yüzeylerindeki suların donma-çözülme etkileri, ağaç köklerinin büyümesi, ayrışma ve deprem dalgaları gibi faktörlerin etkisi altında tetiklenen kaya blokları, dik yamaçlardan aşağı doğru serbest düşerek, eğimin azalmasına bağlı olarak yuvarlanarak ve/veya sıçrayarak hareket ederler (Ritchie, 1963) (Şekil 7).

Şev ya da yamaç yüzeylerinden kopan kaya bloklarının topoğrafya yüzeyi ile temas etmediği hareketi serbest düşme; topoğrafya yüzeyine çarpmaya başladığı andan itibaren sahip olduğu enerjisine göre yaptığı çarpma ve havalanma tekrarlarından oluşan yer değiştirme hareketi sıçrama; topoğrafik eğimin azalmasına bağlı olarak topoğrafik yüzey üzerindeki kısa mesafeli sıçramasız hareketi ise yuvarlanma olarak tanımlanabilir.



Şekil 7. Kaya düşmelerinde yamaç eğimleri ile hareket türleri ilişkisi (Fanos ve Pradhan, 2018'den değiştirilerek)

Ülkemiz jeolojik, morfolojik ve iklimsel konumu gereği farklı doğal afetlerin tehdidi altındadır. Ortaya çıkardıkları etki açısından depremler öne çıkan en önemli doğal afet türü olmasına rağmen, kaya kütle duraysızlıkları ve özellikle kaya düşmeleri de ülkemizin maruz kaldığı önemli afet türlerinden biridir (Akın vd., 2019).

Kaya düşmeleri bazen tekil bir bloğun hareketi şeklinde gerçekleşebiliyorken bazen de birden fazla bloğun aynı anda hareketlenmesi ile çoklu kaya düşmesi olayları meydana gelmektedir. Diğer yandan büyük bir bloğun hareketi sonucu etrafındaki diğer bloklara çarpması ya da arkasında bulunan bloklarında deşarj olarak serbestlenmesi nedeniyle ya da büyük bloğun parçalanarak birkaç parça halinde hareketine devam etmesi sonucu çoklu kaya düşmesi olayları yaşanabilmektedir. Her ne kadar hareket eden kaya blokları aynı litolojiye sahip olsa da blok şekli, blok boyutu, hacmi ve çarptığı yüzey ve izlediği güzergah nedeniyle aynı anda düşen kaya blokları farklı davranışlar sergileyecektir. Bu nedenle kaya düşmesi alanlarındaki kaya karakteri ile topografik, morfolojik ve litolojik parametrelerin ortaya konması son derece önemlidir. Bu durum kaya düşme analizlerinde maksimum menzil mesafelerinin, enerji dağılımlarının, blok hız ve sıçrama yüksekliklerinin tespitinde yardımcı olacaktır. Kaya düşmelerinin hareket mekanizmasını kontrol eden ve düşen kaya bloklarının yamaç üzerindeki yayılma mesafelerine etki eden faktörler şunlardır;

a) Yamaç ya da şeve ait yükseklik

b) Yamaç ya da şevin açısı

c) Yamaç ya da şeve ait pürüzlülük değeri

d) Arazi kullanımı

e) Litoloji

f) Topoğrafik koşullar

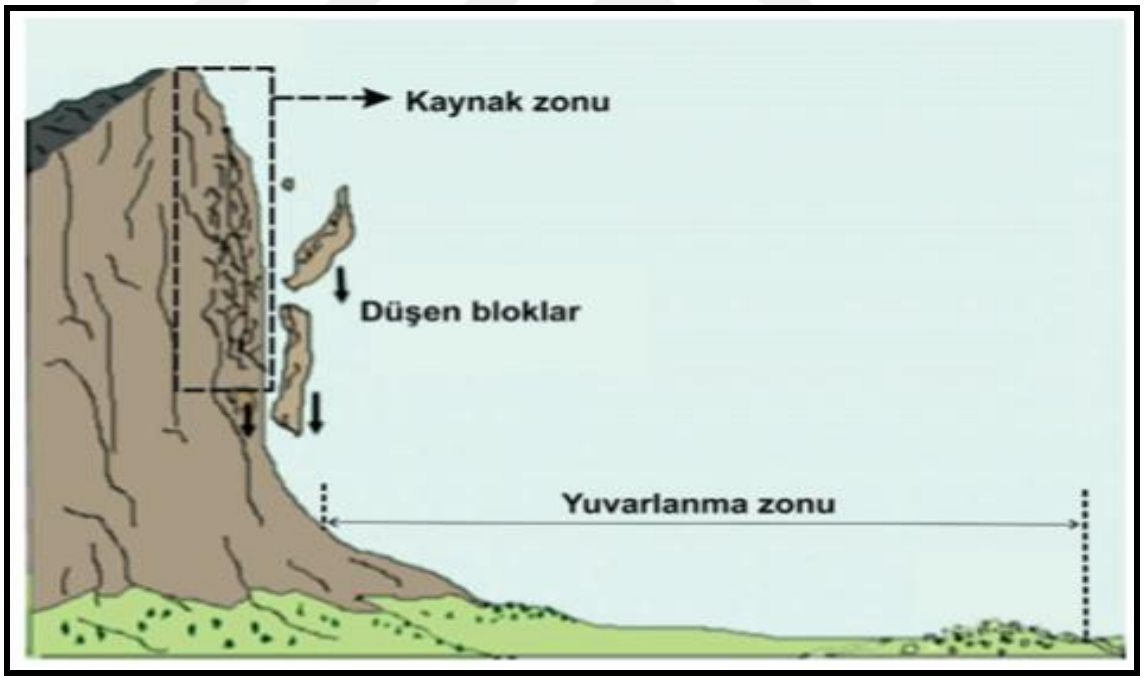
g) Düşen kaya bloğunun dayanımı

h) Düşen kaya bloğunun boyutu

i) Blok şekli

2.2. Kaynak Alan ve Yuvarlanma Bölgesi

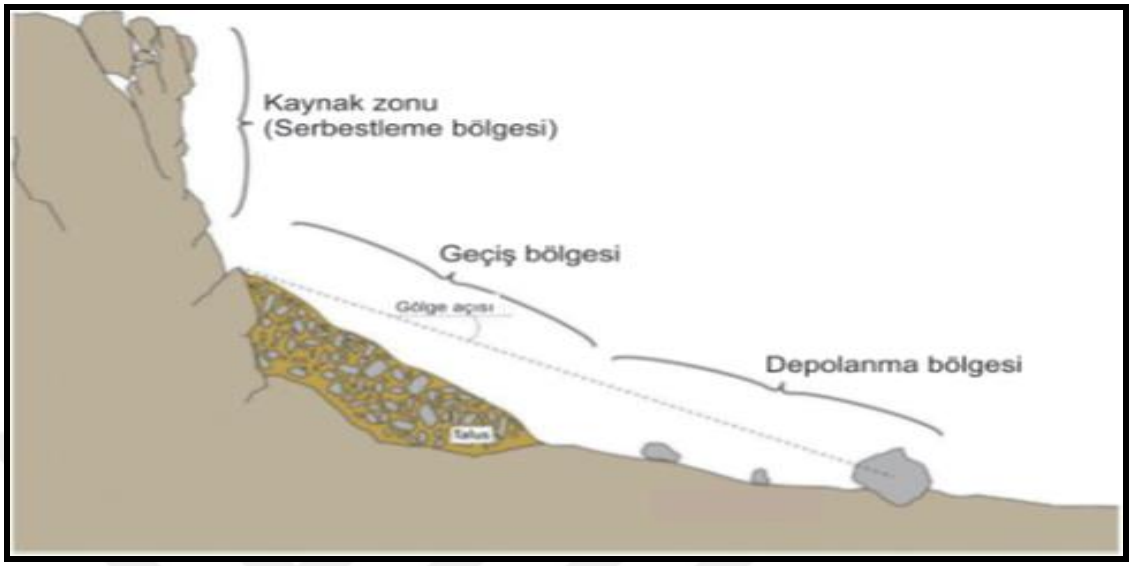
Kaya bloklarının farklı türdeki tetikleyici unsurlara bağlı olarak ana kütleden ayrılması ile düşme hareketi yaptığı ilk bölüm "kaynak alan" olarak tanımlanmaktadır. Kaynak alanlar yaygın olarak yüksek açısallıkların oluşturduğu, bol kırık ve çatlaklı yapıların gözlemlendiği kayalık alanlara karşılık gelmektedir. Düşme, devrilme ya da kayma hareketi ile kaynak alandan ayrılan kaya bloklarının, düşme hareketinden sonra şev ya da yamaç üzerindeki sıçrama ya da yuvarlanma yaparak durma noktasına kadar hareketlerine devam ettikleri bölge "yuvarlanma bölgesi" olarak tanımlanmaktadır (Evans ve Hungr, 1993) (Şekil 8).



Şekil 8. Kaya düşmelerinde kaynak ve yuvarlanma zonları (Evans ve Hungr, 1993)

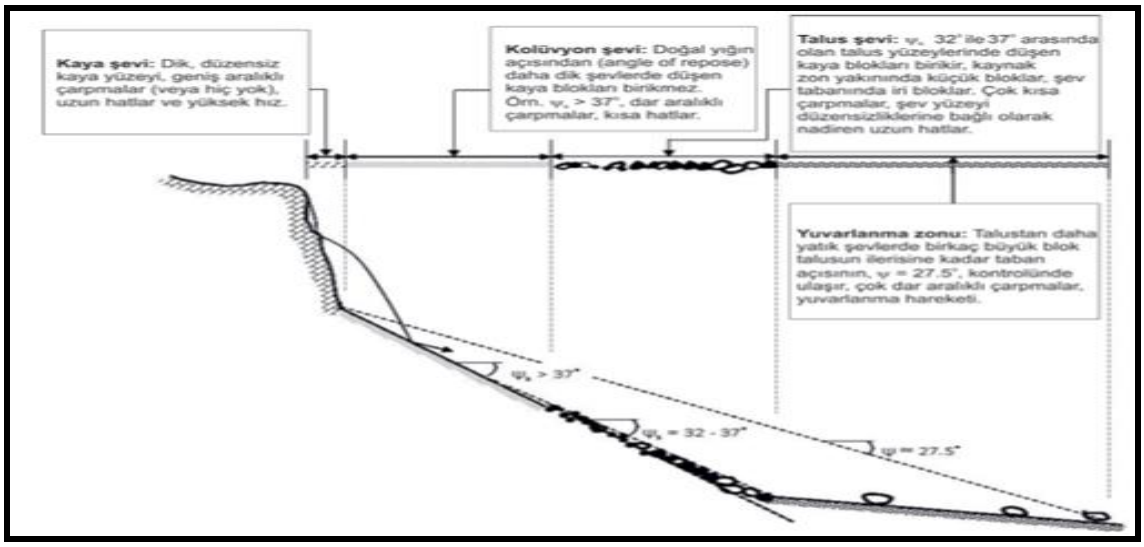
Düşen kaya bloklarının yuvarlanma bölgesi içerisindeki sıçrama ya da yuvarlanma şeklindeki hareketine devam ettiği ve enerjisini tamamen kaybederek durduğu alanlar, topoğrafyanın eğim değerlerine ve depolanma durumuna göre "geçiş bölgesi" ve "depolanma bölgesi (durma bölgesi)" olarak iki ayrı zona ayrılabilmektedir (Evans ve Hungr, 1993). Geçiş bölgelerinde görece olarak daha küçük boyutlardaki

kaya kütleleri ile o bölgeye ait ayrışma ürünleri, depolanma bölgelerinde ise yüksek enerji değerlerine ulaşmış iri kaya blokları depolanmaktadır. Ancak her kaya düşmesi sahasında geçiş bölgesi gözlenemeyebilir (Şekil 9).



Şekil 9. Kaya düşmelerinde farklı depolanma bölgeleri (Evans ve Hungr, 1993)

Şekil 10'da tipik bir yamaç ya da şev üzerinde düşen kaya bloğunun hareket davranışı ile depolanma özelliklerinin farklı açı değerlerine sahip zonlardaki değerlendirmesi verilmektedir (Wyllie, 2015). Kaya düşmesinin yuvarlanma mesafesine etki eden en önemli faktörler şev yüksekliği, şev açısı ve şevi oluşturan malzemedir. Bu neden kaya düşmesi analizlerinde kaya bloklarının hareket güzergahlarının özelliklerinin tespit edilmesi menzil mesafelerinin tayin edilmesinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 10. Şev açısına bağlı olarak düşen kaya bloğunun farklı zonlardaki davranışı ve depolanması (Wyllie, 2015)

Kaya bloklarının devrilme, kopma, kayma ve düşme eğilimi göstererek ayrıldığı ve kaynak alan olarak tanımlanan kaya yüzeyleri kaya şevi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge, düşen kaya bloğunun düştüğü kaya yüzeyi ile düşme eğilimi gösterdikten sonraki yamaç üzerinde çarptığı ilk nokta arasında kalan dar bölgeyi ifade etmektedir. Kaya düşmelerinin gerçekleştiği kaynak alandaki yamaç ya da şeve ait açı değerlerinin düşen kaya bloğunun hareket mekanizmasına etkisi oldukça yüksektir. Yüksek açı değerlerine sahip dik kaya şevlerinde, ana kütleden ayrılan kaya bloğu düştüğü yerdeki kaya yüzeyi ile hiçbir temas olmadan direkt olarak serbest düşme eğilimi gösterebilir. Dik açılı düşme hatlarının oluştuğu bu alanda kayanın enerjisi ve hızı oldukça yüksektir (Wyllie, 2015) (Şekil 10).

Doğal yığın açısı (angel of repose) olarak kabul edilen (>37º) alanın üst sınırı ile kaya şevi arasındaki kalan bölge kolüvyon şev olarak tanımlanmaktadır. Kolüvyon şevinde düşen kaya bloğunun hareketi kesikli ve kısa hatlardan oluşmaktadır. Genellikle düşen bloklar bu bölgede birikmez. (Şekil 10).

Kaya birikmelerinin gözlenmeye başladığı şeve talus şevi denmektedir. Bu bölgenin üst açı bölgeleri genellikle 37º iken, şev tabanına doğru 32ºdir. Doğal yığın içerisinde şev tabanına doğru giderek büyüyen tane boylanması gelişebilir. Yüksek enerji ve hız değerlerine sahip bazı iri bloklar bu bölgeyi aşarak daha yatık eğim değerlerine sahip alanda kinetik enerjilerini kaybedip durana kadar hareketlerine devam ederler. Kaynak zonun tabanı ile maksimum menzile ulaşan kaya bloğunun yatay ile yaptığı açı (gölge açısı) bölgesi yuvarlanma bölgesi olarak tanımlanmaktadır (Hungr ve Evans, 1988). Kaya düşmelerine bağlı risklerin azaltılmasına yönelik alınacak önlem türünün ne olduğu ile yapılmak istenen tasarımın yer tespitinde yuvarlanma bölgesi oldukça önemlidir. Düşen kaya bloklarına yönelik olarak bu bölgede kaya tutma hendekleri ile belirli yükseklik değerlerine sahip kaya bariyeri uygulamaları ile kaya ıslah çalışmaları yapılabilir (Wyllie, 2015).

2.3. Kaya Düşmelerine Etki Eden Tetikleyici Unsurlar

Kaya düşmelerinin yaşanmasında tetikleyici rol oynayan faktörler; yapısal, çevresel ve insan kaynaklı (antropojenik) olmak üzere başlıca üç gruba ayrılmaktadır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Kaya Düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz, Ankara, 2020).

Kaynak alandaki yamaç ya da şevin jeolojik yapısı, kaya kütlesinin sahip olduğu kırıklı ve çatlaklı yapısı ile süreksizlik düzlemleri **yapısal faktörleri**; yağmur-kar etkisi, donma-çözülme, rüzgar gibi meteorolojik etkiler, kazıcı ve tırmanıcı hayvanlar, fiziksel

ve kimyasal ayrışmalar, ani yüzeysel akışlar, su kaynaklarının varlığı ya da su sızıntıları, deprem ve volkan gibi tektonik etkiler **çevresel faktörleri**; inşaat ya da ulaşım sektöründe yüksek titreşim yaratan araç kullanımı, patlatma-kazı-dolgu işlemleri gibi yapay etkiler **insan kaynaklı (antropojenik) faktörleri** oluşturmaktadır.

2.4. Düşen Bloğun Davranışlarına Yönelik Temel Kavramlar

Kaya bloğunun serbestlenmesi durumunda potansiyel enerjisi eğim aşağı hareketle birlikte kinetik enerjiye dönüşmektedir. Aynı zamandan, yüzey ile temas ettiği bölgelerde ise çarpma ve sürtünme sonucunda normal ve teğetsel geri verme kat sayıları ile enerji değişimleri yaparak ta ki tüm enerjisi sönümleninceye kadar hareketine devam eder ve nihayetinde durur.

Kaya bloğunun serbestlendiği alandan, durduğu noktaya kadar olan yatay mesafe, menzil mesafesi olarak tanımlanmaktadır. Düşen bir kaya bloğu; devrilme, kopma ya da kayma (slinding/toppling) ile ilk hareketine başlamaktadır, bu hareketi sırasında serbest düşme (fall), sıçrama (bouncing/impact) ve yuvarlanma (rolling) olmak üzere dört temel süreç geçirir (Broili, 1973). Düşen bloğun fiziksel ve litolojik özellikleri ile yamaç geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü düşen bloğun hareket mekanizmasına yön veren önemli unsurlardır.

Yüksek eğimli yüzeylerde ilk hareket devrilme ya da kopmaya bağlı serbest düşme şeklinde gerçekleşmektedir. Bu evrede kaya bloğu yüksek hızda hareket etmektedir. Eğer düşen kaya bloğunun ağırlığı fazla ve ilk düştüğü zemin yumuşak yüzey ise hareket, belli bir mesafede kayma şeklinde devam etmekte ve sürtünme neticesinde sonlanabilmektedir. Ya da topografyaya temas eden kaya bloğu yamaç eğimine göre sıçramaya ya da yuvarlanmaya başlar. Harekete başlayan kaya bloğu için yamaç eğiminde önemli bir değişiklik olmasa bile sürtünme nedeniyle enerjisini kaybeden blok durur (Ritchie, 1963).

2.5. Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri

Kaya düşmesi analiz ve değerlendirmeleri inceleme alanının büyüklüğüne ve risk altındaki unsurlara göre değişkenlik göstermektedir. Geniş alanlarda yapılan bölgesel ölçekteki kaya düşme değerlendirmelerinde ampirik değerlendirme yöntemleri uygulama kolaylığı açısından avantajlar sağlıyor iken, detay gerektiren lokal çalışmalarda deterministik ve olasılıksal (2D ve 3D analizler) parametreler daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

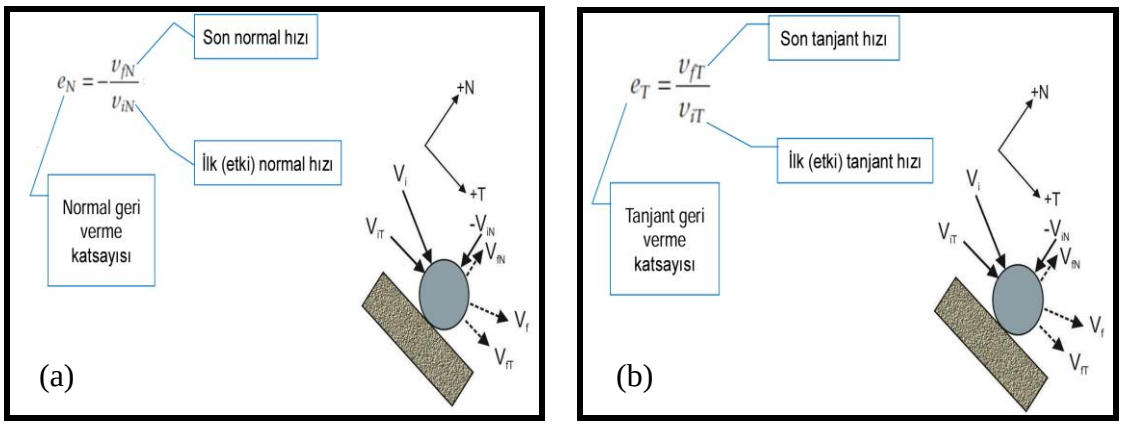
2.5.1. Kaya Düşmesi Değerlendirmelerinde Kullanılan 2 Boyutlu ve 3 Boyutlu Analizler

Kaya düşmesi değerlendirmelerinde alanın büyüklüğü ve risk sahası içerisinde bulunan unsur göz önünde bulundurulduğunda detay gerektiren lokal çalışma sahalarında genellikle iki veya üç boyutlu deterministik veya olasılıksal kaya düşmesi analizleri tercih edilir. Duran kaya bloğunun potansiyel enerjsinin, hareket etmesi ile birlikte kinetik enerjiye dönüşmesi ve bu esnadaki hareketlerine bağlı olarak enerji kayıplarının durma noktasına kadar fizik kuralları ile hesaplanması bu analizlerin temelini oluşturmaktadır.

Tablo 3. Literatürde sıklıkla kullanılan kaya düşmesi yazılımları

Model/Program	Boyut	Yaklaşım
RocPro3D	3-B (x, y, z)	Hybrid
ROCKSIM	2-B (x, y)	Lumped-mass
SASS	2-B (x, y)	Hybrid
CRSP (4.0)	2-B (x, y)	Hybrid
Rotomap	3-B (x, y, z)	Lumped-mass
CADMA	2-B (x, y)	Hybrid
ROFMOD 4.1	2-B (x, y)	Hybrid
3-D-GEOTEST-Zinggeler	3-B (x, y, z)	Hybrid
RocFall	2-B (x, y)	Lumped-mass
STONE	3-B (x, y, z)	Lumped-mass
STAR3-D	3-B (x, y, z)	Rigid-body
Rocky3	2-B (x, y)	Hybrid
HY-STONE	3-B (x, y, z)	Hybrid
RockyFor	3-B (x, y, z)	Hybrid
RAMMS: Rockfall	3-B (x, y, z)	Rigid-body
PICUS-ROCKnROLL	3-B (x, y, z)	Lumped-mass

Düşen bir kaya bloğunun enerji ve hız değişimleri ile hareketine yön veren en önemli kritelerden birisi de “geri sıçrama katsayısı”dır (coefficients of restitution). Geri sıçrama katsayısı, herhangi bir yüzeye çarpan bloğun, çarpma anındaki hız veya enerjisinin çarpmadan sonraki hız veya enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Çarpma noktasındaki vektörel yönüne göre; normal geri sıçrama katsayısı (Rn) ve teğetsel geri sıçrama katsayısı (Rt) olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Çarpma öncesi ve sonrasında (a) Rn ve (b) Rt hız bileşenleri (Akın, 2021)

Daha önce kaya düşmesi olayının gerçekleştiği sahalardaki kaya bloklarının ve yamaç özelliklerinin belirlenmesi ile geriye dönük analizlerle geri sıçrama katsayıları gerçekçi yaklaşımlar ile belirlenebilmektedir. Ancak kaya bloğunun hangi meteorolojik koşullar altında ve hangi tetikleyici faktör ile gerçekleştiğinin tam olarak bilinemediği durumlarda maksimum menzil mesafesi ve yayılma zonlarının belirlenmesinde bir takım eksiklikler yaşanacaktır. Şöyle ki kar örtüsünün bulunduğu bir zaman diliminde meydana gelen kaya düşmesi olayı neticesinde düşen blok, yamaç üzerinde sürtünmeden dolayı çok fazla ilerleyemeyecektir. Ya da aşırı yağışlar nedeniyle suya doygun bir zemin yüzeyine düşen blok, kurak sezonda sıçrama yaparak hareketine hızlanarak devam edebilecek iken kayma hareketi yaparak düştüğü yere yakın bir alanda durabilecektir. Daha sonraki bir dönemde bu blok üzerinde yapılan geriye dönük analizler yanıltıcı olabilecektir. Bu nedenle kontrollü bir şekilde kaya düşürülerek yerinde yapılan analizlerle Rn ve Rt değerlerinin belirlenmesinin daha belirleyici olacağı düşünülmektedir. Ancak bu durum her zaman mümkün olmamaktadır.

Rn ve Rt değerlerinin tespit edilmesine yönelik arazi ve laboratuvar ortamlarında birçok çalışma yapılmıştır. Kaya düşmesi analizlerinin yapıldığı programlarda zemin özellikleri tanımlanırken bu değerlerin ataması bu verilerin programa entegre edilmesiyle standart olarak verilmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Normal ve teğetsel geri sıçrama sayılarının (Rn ve Rt) yüzey özelliklerine göre literatürde yer alan bazı değerleri (Rocscience, Coefficient of Restitution Table)

RN (Normal)			RT (Teğetsel)			
Min.	**Max.**	**Ort.**	**Min.**	**Max.**	**Ort.**	**Yüzey Tipi**
0.370	0.420		0.870	0.920		Sert yol kaplaması
0.330	0.370		0.830	0.870		Az miktarda toprak veya bitki örtüsüyle birlikte anakaya/büyük kaya blokları
0.300	0.330		0.830	0.870		Az miktarda bitki örtüsüyle birlikte yamaç molozu
0.300	0.330		0.800	0.830		Az miktarda bitki örtüsüyle birlikte yamaç molozu
0.280	0.320		0.800	0.830		Az miktarda bitki örtüsüyle yumuşak toprak
0.280	0.320		0.780	0.820		Bitki örtüsü kaplı toprak şev
		0.315			0.712	Kireçtaşı
		0.303			0.615	Kısmi bitki örtüsü ve kireçtaşı döküntüsü
		0.315			0.712	Örtüsüz kireçtaşı patlatma yığını
		0.100			0.530	Kayalık yüzey ve moloz birikintisi üzerinde dolomitik kireçtaşı blokları
		0.000			0.200	Piroklastikler
		0.393			0.240	Kaya döküntüsü
		0.453			0.567	Toprak
		0.487			0.737	Püskürtme beton
		0.500			0.910	Kaya şevi
		0.350			0.950	Anakaya
		0.300			0.850	Büyük bloklarla kaplı anakaya
		0.250			0.700	Yamaç molozu
		0.530			0.550	Bitki örtüsüyle kaplı toprak
		0.400			0.990	Bitki örtüsüyle kaplı toprak
		0.350			0.900	Asfalt
		0.320			0.850	Büyük bloklarla birlikte anakaya
		0.320			0.820	Yamaç molozu
		0.300			0.800	Yamaç molozu ve bitki örtüsü
					0.800	Yumuşak toprak ve bitki örtüsü
0.370	0.420					Pürüzsüz sert yüzey ve yol kaplaması
0.330	0.370					Anakaya ve büyük bloklar
0.300	0.330					Yamaç molozu ve sert toprak
0.280	0.300					Yumuşak toprak
			0.870	0.920		Pürüzsüz sert kaya yüzeyi
			0.830	0.870		Ana kaya ve yamaç molozu
			0.820	0.850		Yamaç molozu ve bitki örtüsü
			0.800	0.830		Bitki örtüsüyle kaplı toprak ve yamaç molozu
			0.780	0.820		Çalılıkla kaplı toprak
		0.530			0.990	Temiz sert yüzeyli anakaya
		0.350			0.850	Anakaya
		0.320			0.820	Yamaç molozu
		0.320			0.800	Bitki örtüsüyle birlikte yamaç molozu
		0.400			0.900	Asfalt

Tablo 4. (Devamı)

RN (Normal)			RT (Teğetsel)			Yüzey Tipi
Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	
		0.850			0.530	Beton
		1.000			0.550	Bozunmuş kaya
		0.500			0.700	Kaya bloklarıyla kaplı yüzey
		0.500			0.650	Çalılık ve ağaçlarla birlikte kaya blokları
		0.500			0.500	Kaya blokları ile kaplı ormanlık alan
		0.300			0.800	Bitki örtüsü ve toprak
		0.350			0.850	Çakıl yol

2.5.2. Kaya Düşmesinin Ampirik Değerlendirilmesi

Larcher vd. (2012), bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritalarının aşağıdaki soruları cevaplar niteliklere sahip olması gerektiğini belirtmektedirler.

i. Aktif kaynak alan var mıdır? Varsa konumu nedir?

ii. Maksimum yayılma zonu nedir?

iii. Yerleşim yeri, alt ve üst yapılar vb. etkileniyor mu?

iv. Yaşamsal alanlar ile kaya düşmesi kaynak alanları arasında orman örtüsü bulunmakta mıdır?

Günümüzde kaya ıslahlarına yönelik birçok aktif ve pasif koruyucu önlemleri geliştirilmiş olsa da saha koşulları, sosyal ve ekonomik etkiler sahada uygulanabilirliği zorlaştırmaktadır. Bu nedenle özellikle kırsal kesimde birçok alanda kalıcı tahliye çalışmaları yapılmaktadır. Ancak bu durum neticesinde insanlar yıllarca yaşamlarını sürdürdükleri alanlardan tahliye edildiklerinden ya riskli bölgede yaşamaya devam etmekteler ya da geçim kaynakları olan faaliyetleri terketmek zorunda kalmaktadırlar. Bu da yıllarca sürecek sosyal problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bölgesel ölçekteki potansiyel kaya düşme sahalarının ve yayılım alanlarının tespiti yeni yerleşim yeri seçimi, enerji tesisleri, nakil hatları, yol, tünel vb. güzergahların belirlenmesinde uygulama anlamında önemli rol oynamaktadır. Önceki kaya düşmesi olaylarından yola çıkarak sayısal arazi modeli girdisi ile geniş alanlardaki kaya düşmesi potansiyelinin ortaya konması anlamında uygulama pratiği oldukça yüksektir. Ayrıca yüksek potansiyelli alanların belirlenebildiği bu haritalar, detay çalışma yapılması gereken alanlar için altlık olarak kullanılabilmektedir. Bu tez kapsamında da öncelikli olarak bölgesel ölçekte kaynak alanların ayırtlanması aşamasında yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmuş, sonrasında ise konik yayılım açısı kavramı ile kaya düşmesi yayılım zonu ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

2.5.3. Kaya Düşmesi Haritalamasına Yönelik Önceki Çalışmalar

Kaya düşmesi ile ilgili birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalar özetlenecek olursa;

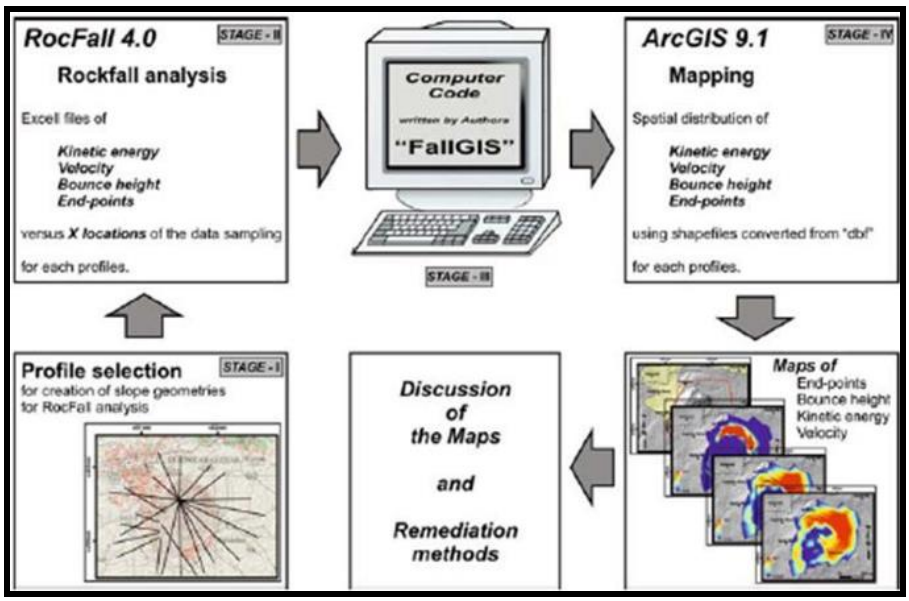
Guzzetti vd., (2002), Dijital formatta mevcut olan tematik bilgileri işlemek için CBS teknolojisini kullanarak, kaya düşmesi tehlikesini değerlendirmede kullanışlı basit haritalar üreten STONE adı verilen üç boyutlu bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Program girdisi olarak; arazi modeli, kaynak alan veri seti, çarpma noktalarındaki normal ve teğetsel sürtünme değerleri kullanılmaktadır.

Marzorati vd., (2002), 1997 yılında İtalya'nın Umbria ve Marche bölgelerinde meydana gelen orta büyüklükteki bir deprem nedeniyle Valneria vadisinin yamaçlarında çok sayıda kaya düşmesi olayının yaşandığını ifade etmiş, çalışma kapsamında kaya düşmeleri ile eğim açısı, jeoloji ve sismik parametreler arasındaki mevcut korelasyon sonucu elde edilen model ile olası bir deprem durumunda meydana gelebilecek kaya düşmeleri için duraylılık haritaları üretmişlerdir.

Lan vd., (2007), gelişen teknoloji ile birlikte çok büyük ölçekte herhangi bir kaya şevindeki en küçük jeoljik yapının tespitine yönelik üç boyutlu sayısal yükseklik modelinin elde edilebilmesi için karasal tabanlı LİDAR ve dijital fotogrametri araştırması yapılmıştır. Çalışma içerisinde her iki yöntem de karşılaştırılmış hem büyük hem de küçük ölçekli jeolojik yapıların haritalanmasında kullanılabilecek yüzey modellerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

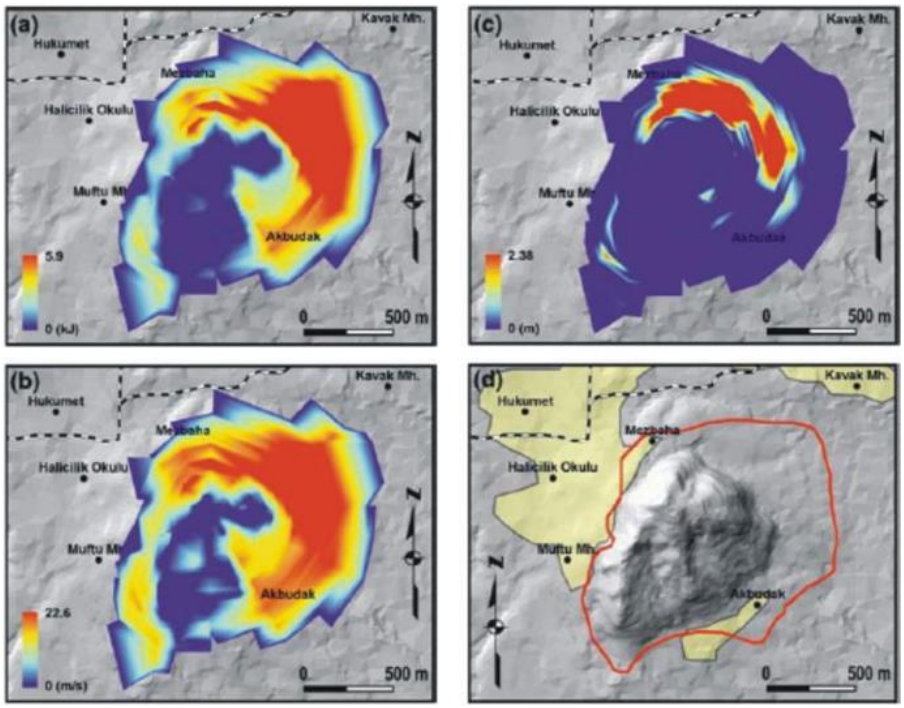
Topal vd., (2007), Afyon kalesi ve çevresinde iki boyutlu analizler ile kaya düşmelerinin etki sahaları, profil hattı boyunca blokların enerjileri, hızları, sıçrama yükseklikleri ve yuvarlanma mesafeleri ile ilgili değerlendirmede bulunmuşlardır.

Yılmaz vd., (2008), Geliştirdikleri FallGIS adlı bir program ile RocFall (kaya düşmesi analiz programı) programından elde edilen verileri, coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında hızlı bir şekilde değerledirmişlerdir (Şekil 12).



Şekil 12. Kaya düşmesi hesaplamaları için geliştirilen FallGIS isimli programın kullanımını gösterir akış şeması (Yılmaz vd., 2008)

Rocfall programından elde edilen kinetik enerji, hız, sıçrama yüksekliği ve durma noktası haritalarını üretmek ve değerleri analiz etmek üzere ArcGIS programını kullanılmışlardır. Geliştirdikleri program ile Giresun İlçesi Şebinkarahisar'da RocFall programında elde edilen verileri ArcGIS programına yönlendirerek 4 farklı parametre haritasını üreterek analiz etmişlerdir (Şekil 13).

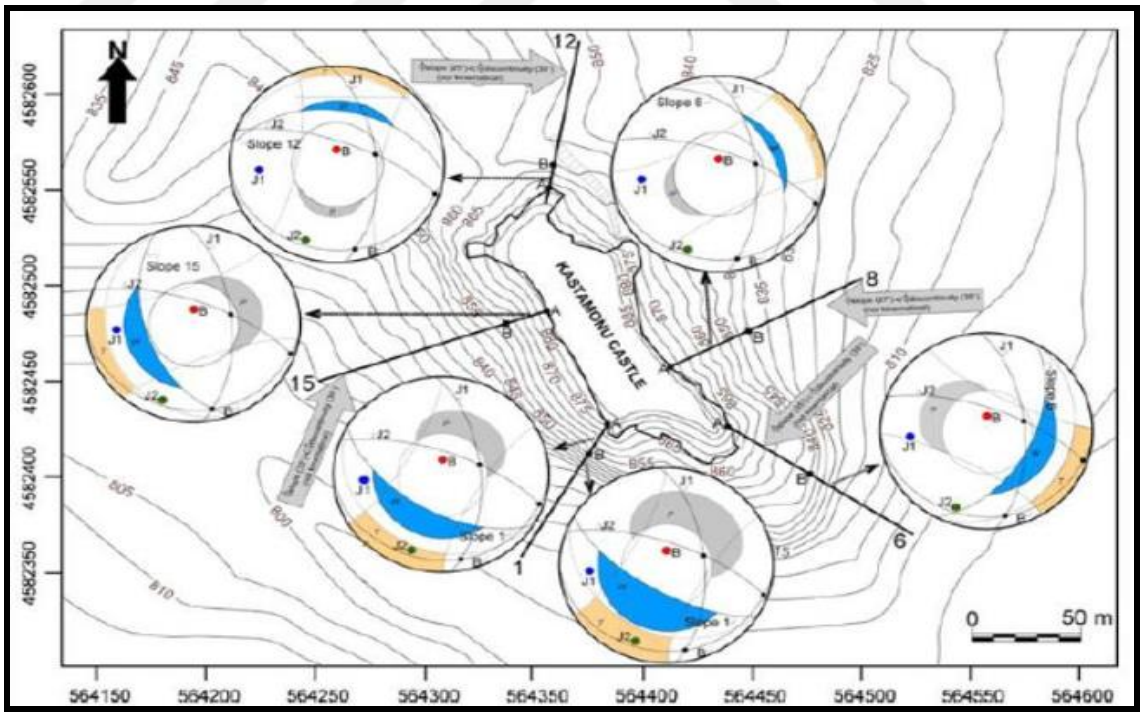


Şekil 13. Şebinkarahisar ilçesindeki bir alan için kaya düşmesine yönelik Rockfall ve FallGIS programları kullanarak ArcGIS ortamında üretilen (a) enerji, (b) hız, (c) sıçrama yüksekliği ve (d) durma noktası haritaları (Yılmaz vd., 2008)

Tunusluoğlu ve Zorlu (2009), Tatlarin Yeraltı Şehri yakınındaki kaya düşmesi tehlikesi potansiyelini araştırmak için HY-STONE 3 boyutlu sayısal model aracılığıyla kaya düşmesi analizleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırma kapsamında litolojik birimler (tüfler ve bunların üzerinde yer alan bazaltlar, yamaç moloz yatakları) ve uçurum boyunca yer alan dengesiz blokların haritalanması; kaya kütlesi jeomekaniği ve blok stabilitesinin kinematik analizi ile tüf ve bazaltın laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda duraysızlıkların temel olarak tüf ve bazaltların farklı dayanıklılıkları tarafından kontrol edildiğini ifade etmişlerdir.

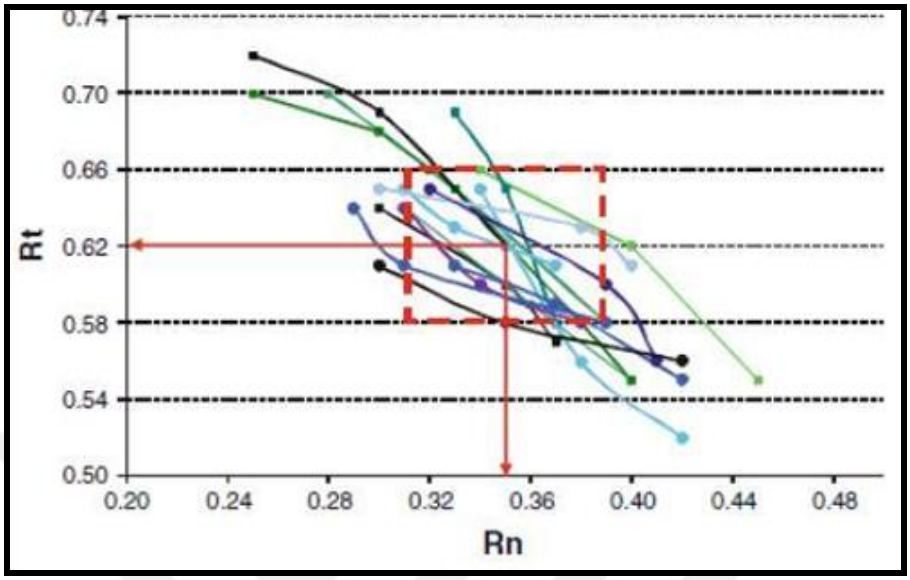
Zorlu vd., (2011), Kapadokya bölgesinde meydana gelmiş kaya düşme vakalarını çalışmışlardır. 4 farklı alana ayrılan herbir bölge için 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmışlardır. Sonuç haritasına göre önlem yöntemleri önerisinde bulunmuşlardır.

Topal ve Akın (2012), Kastamonu Kalesi (Türkiye) çevresinde kaya düşmesi değerlendirmesi yapmış ve inceleme alanında belirlenen 17 profil hattı boyunca kaya düşmesi analizleri gerçekleştirmiştir. Öncelikle kaya düşmesi kaynak alanlarından alınan çok sayıdaki süreksizlik ölçümleri ile ana eklem setleri belirlenmiş ve kinematik analizler ile süreksizlikler tarafından kontrol edilen duraysızlık modellerini ortaya koymuşlardır (Şekil 14).



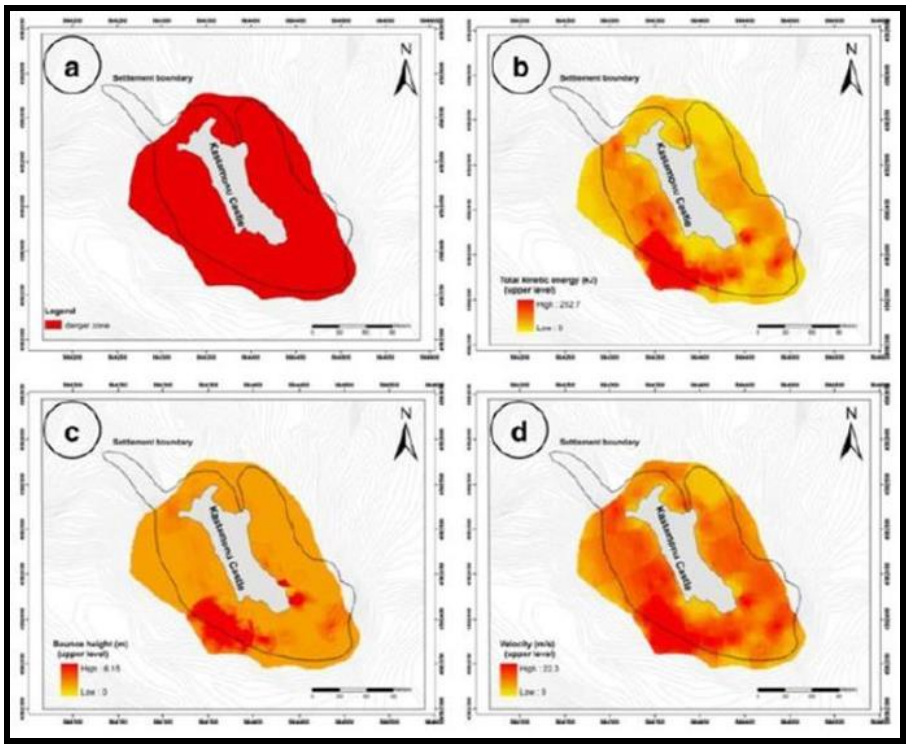
Şekil 14. Kinematik analizler ile oluşturulan duraysızlık modelleri (Topal ve Akın, 2012)

Farklı şev profillerinde kaya düşme analizlerinin en önemli girdi parametrelerinden olan normal ve teğetsel geri verme katsayılarının belirlenmesine yönelik geri analizler yapmışlardır (Şekil15).



Şekil 15. Geriye dönük analizler ile belirlenen Rn ve Rt değerleri (Topal ve Akın, 2012)

Son olarak elde edilen girdi parametrelerinin analizi sonucunda kaya düşmesi tehlike haritasını hazırlamışlardır (Şekil 16).



Şekil 16. (a) Tehlike zonu, (b) Kaya bloğunun kinetik enerjisi (c) Sıçrama yüksekliği ve (d) Hız haritaları (Topal ve Akın, 2012)

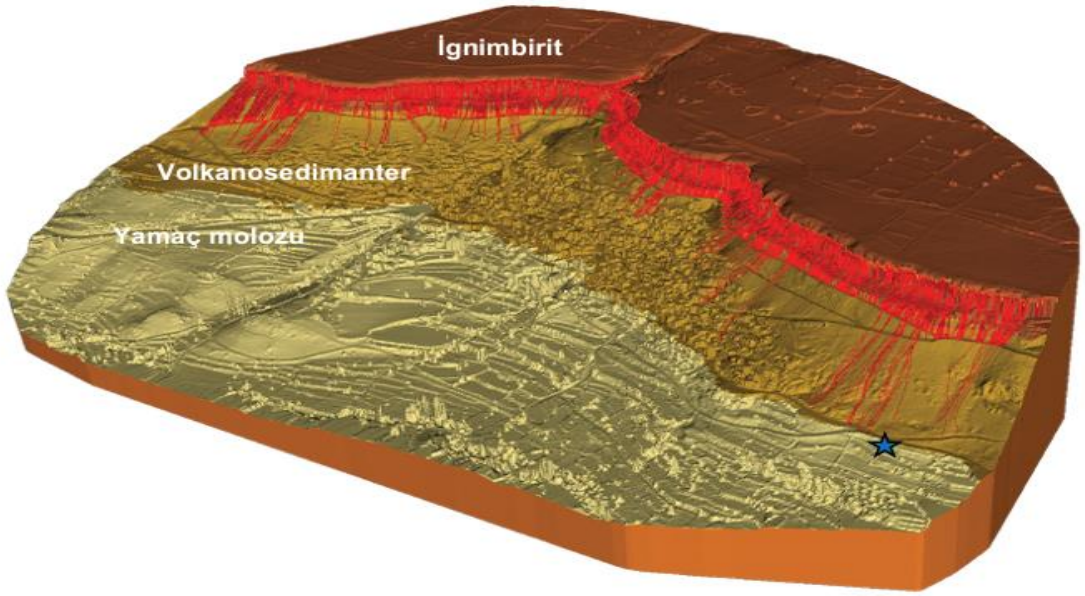
Keskin (2013), Erzincan Boğaziçi bölgesinde bulunan kaya düşmesi yaşanabilecek alanlarda kaya düşmesi kesit hatlarını RocFall bilgisayar programında modellemiştir. Her bir profil hattında düşen kayalara ait kinetik enerji, yayılım mesafesi, hız ve sıçrama yüksekliklerini belirlemiştir.

Artuç (2014), Ankara ili Çubuk ilçesindeki Susuz köyü ve çevresindeki kaya düşme vakalarını çalışmıştır. Çalışma kapsamında enerji ve gölge açısı kavramları kullanılarak çalışma alanına ait bloklar için yayılma, enerji ve hız haritaları oluşturulmuştur.

Kalender (2017), çalışmasında enerji çizgi açısı ve gölge açısı kavramlarındaki belirsizliklerin ortadan kaldırılması için morfolojik ve jeolojik değerlendirmelerinde yapıldığı yeni bir yöntem sunmuştur.

Akın vd., (2018), kaya düşmesi sahasına ait yüksek çözünürlüklü nokta bulutları verisi ile oluşturulan sayısal yükseklik modellerinden 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. 2 boyutlu kaya düşmesi analizlere kıyasla daha etkili sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Akın vd., (2019), Akköy'de (Ürgüp-Nevşehir) İnsansız hava araçları ile elde edilen fotogrametrik görüntülerin görüntü işleme programlarında analiz edilmesi sonucu üretilen sayısal arazi modeli ile kaya düşmeleri için yapılan yakalama hendeklerinin performans değerlendirmesi 3 boyutlu kaya düşme analizleri ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda yakalama hendeklerinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. RocPro3D yazılımı ile 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri sonucu elde edilen düşen bloklara ait yuvarlanma hatları (Akın vd., 2019)

Gacener (2019), Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolu üzerindeki kaya düşmesi yaşanabilecek alanlar üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmasında düşebilecek bloklara dair alanların tespiti yapılarak, düşebilecek blokların yenilme tipleri hakkında değerlendirmeler yapmıştır. Düşebilecek bloklara ilişkin enerji değerleri, yayılma mesafeleri ve sıçrama yüksekliği gibi parametreler değerlendirilmiş, bariyer uygulamaları ile kaya düşmesi riskine karşı alınabilecek tedbirler irdelenmiştir.

Şener (2019), inceleme alanı olarak kasımlar Köyünün (Isparta-Türkiye) seçildiği bu çalışmada; CBS tabanlı 3 boyutlu modellemeler ile düşebilecek kaya bloklarına ilişkin enerji, hız ve sıçrama yüksekliği değerlendirmelerinde bulunulmuştur.

Kara (2020), Gümüşhane İli merkez ilçesini esas alan bu çalışmada yerleşim yerlerini tehdit eden kaya alanlarında RocPro3D yazılımı ile 3 boyutlu kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, düşebilecek bloklara ilişkin enerji değerleri, yayılma mesafeleri ve sıçrama yüksekliği gibi parametreler değerlendirilmiş, bariyer uygulamaları ile kaya düşmesi riskine karşı alınabilecek tedbirler irdelenmiştir (Şekil 18).

Şekil 18. Gümüşhane il merkezindeki 3 boyutlu kaya düşme analiz sonuçlarına göre elde edilen yuvarlanma hatları (Kaya, 2020)

Alemdağ vd., (2022), Trabzon-Erzurum Karayolu üzerinde yer alan Gümüşhane merkez Oltanbey ve Hasanbey mahallelerinin bazı kesimlerinde kaya düşmesi potansiyeli açısından büyük tehdit oluşturan yamaçları çalışma alanı olarak seçmiştir. Bu çalışmalarında kaya düşme olasılığı yüksek olan kaya düşmesi kaynak bölgelerinde belirlenen hatlar üzerinde RocPro3D programı kullanılarak üç boyutlu kaya düşmesi

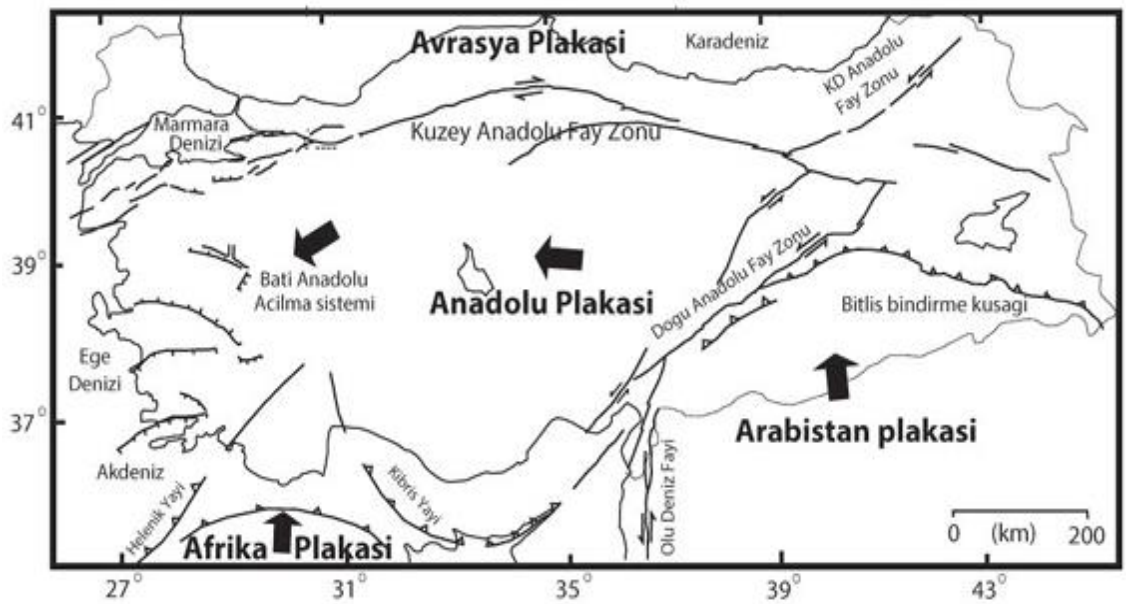
analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda çalışma alanının üst kotlarında belirlenen kaynak kaya hatlarından yuvarlanan kaya bloklarının yerleşimleri ve yol ağlarını tehdit ettiği belirlenmiştir. 3 boyutlu kaya düşmesi analiz sonuçları incelenerek kaya düşmesi tehlikesini ortadan kaldıracak en güvenli ve en ekonomik farklı bariyer tipleri önerilmiştir.

Alemdağ vd., (2022), Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolunda kaya kütlelerinin olası yenilme mekanizmasını kinematik analiz yöntemini kullanarak belirlemişler ve inceleme alanının kaya düşmesi duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. İncelenen saha içerisinde düşme potansiyeline sahip kaya bloklarına ait yayılma mesafesi, sıçrama yüksekliği, kinetik enerjisi gibi parametreler ışığında; kaya düşme riski yüksek bölgelerde çelik bariyer uygulamaları ile riskli bölgelerin iyileştirilmesi için bariyer tipi ve yeri için önerilerde bulunmuşlardır.

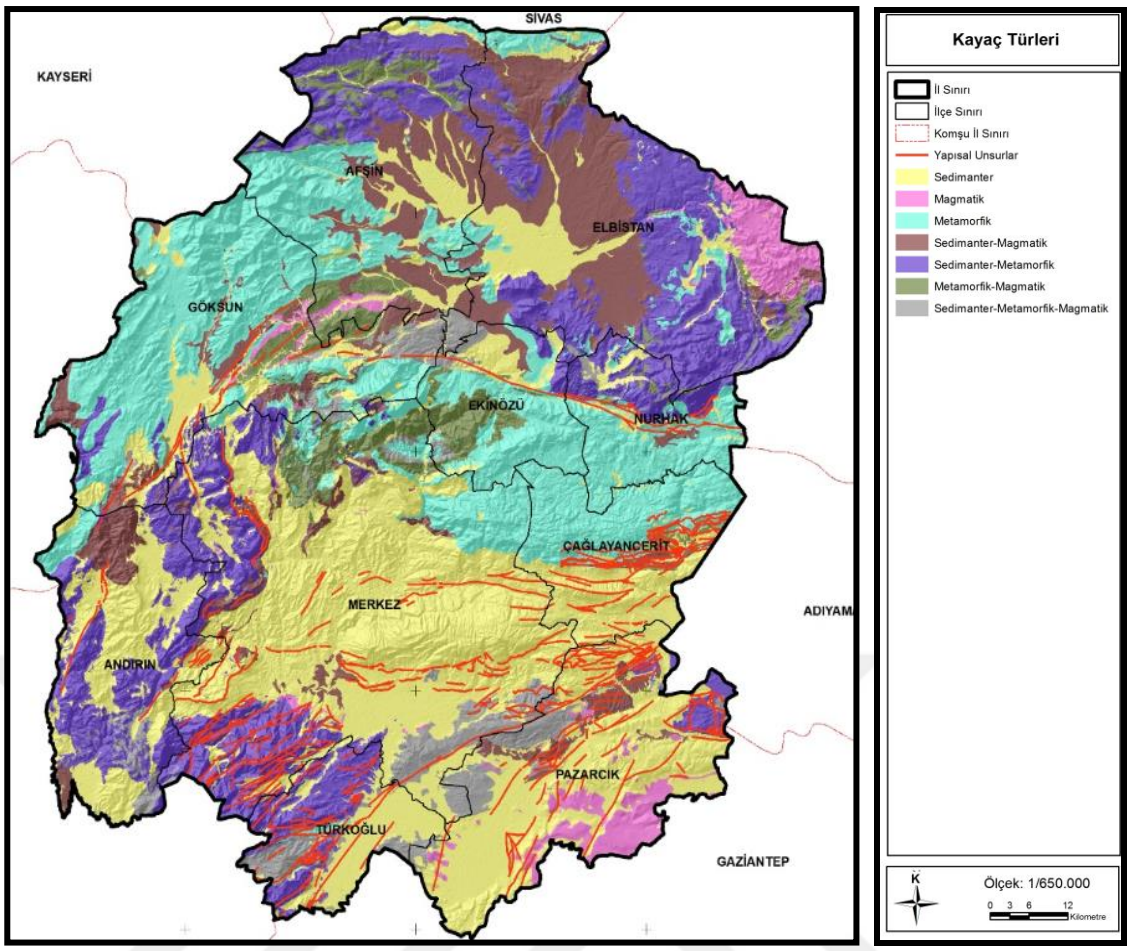
3. GENEL JEOLOJİ

3.1. Bölgesel Jeoloji

Arap, Afrika ve Anadolu levhalarının birbirleri ile kenetlendiği zonda yer alması nedeniyle, oldukça kompleks bir jeolojik yapıya sahip olan Kahramanmaraş ve civarında; yaş, ortam ve litolojik açıdan oldukça önemli farklılıklar sunan kayaçlar yüzeylemektedir. Çok genel olarak, Toros Orojenik Kuşağı, Güneydoğu Anadolu Otoktonu ile örtü kayalarına ait birimler yüzeylenmektedir. Güneydoğu Anadolu otoktonu, Prekambriyen-Miyosen yaş kontağında gelişmiş, platform tipi kaya türlerinden oluşur. Arap levhası ile Toros levhasının çarpışma sürecinde okyanus tabanının kapanması sırasında oluşan allokton birimler, güneye doğru itilerek Arap levhası ile çarpışmışlardır. Bu durum Neotetis Okyanusu'nun güney kısımlarının kapanmasına ve bölgede karmaşık yapısal özellikler sergileyen bindirme ve fayların oluşumuna sebebiyet vermiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Arap levhasının en kuzey ucundaki doğu-batı yönünde uzanan ve güneye doğru itilmiş allokton birimler şaryaj cephelerini oluşturmaktadır (Yıldırım ve Yılmaz, 1991). Andırın Bindirmesi ile bölgedeki kıta-kıta çarpışma kuşaklarının en önemlilerinden biri olan Bitlis Sütur Zonu'nun batı devamı olan Engizek Bindirmesi bu şaryaj cephelerinin en alt sınırlarını oluşturmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981); (Şengör, 1979). Neotektonik evre denilen Serravaliyen sonlarında bölgedeki yoğun sıkışmanın sonuçlarından biri olarak Doğu Anadolu Fayı ile diğer fay sistemleri gelişmiştir (Şekil 19).



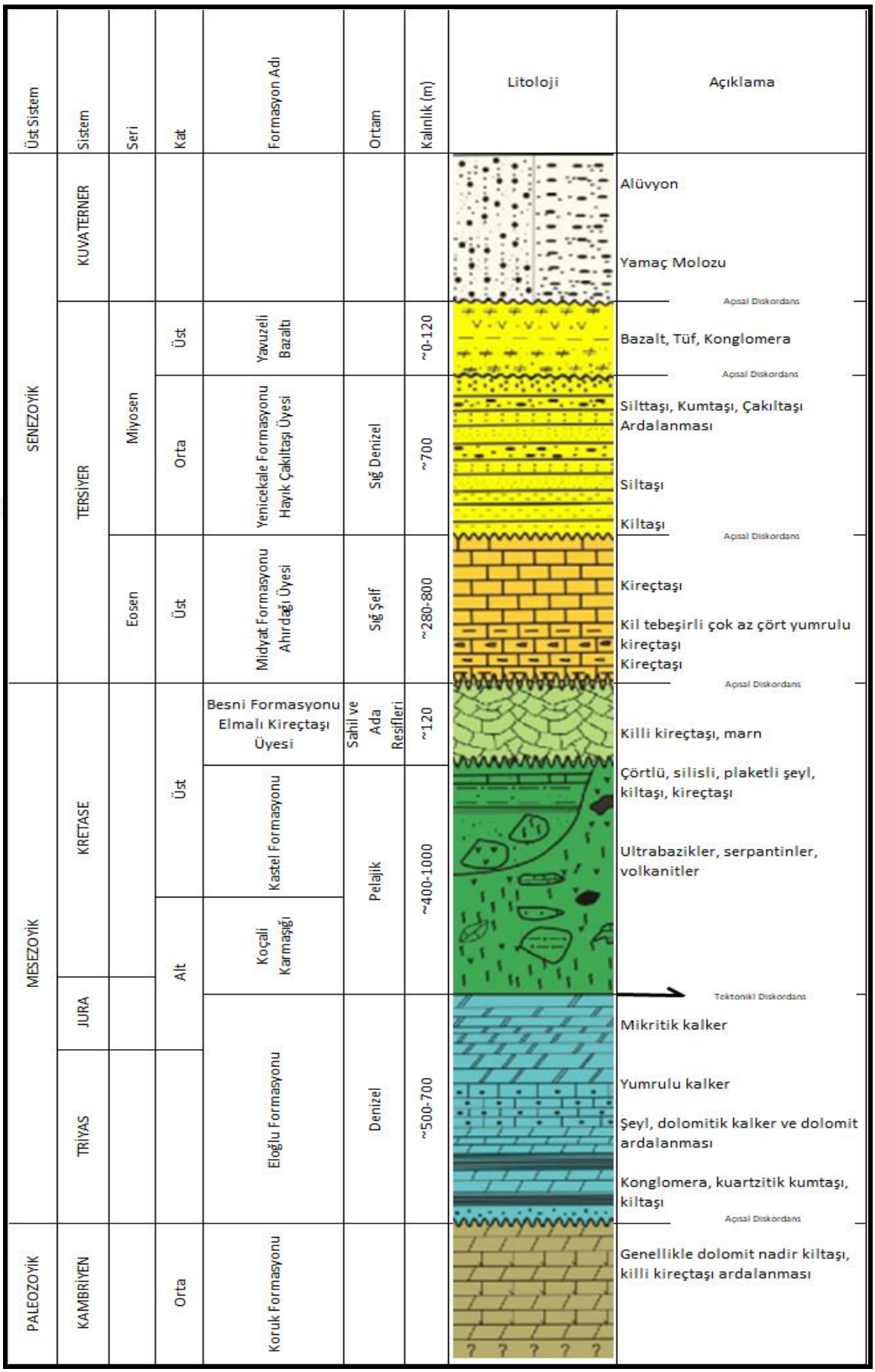
Şekil 19. Türkiye ve civarındaki ana tektonik yapılar (Şengör vd., 1985)



Şekil 20. Kahramanmaraş İline Ait Jeoloji Haritası (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021)

3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Kahramanmaraş İli ve civarında litostratigrafi kuralları gözetilerek yaşlıdan gence doğru; Koruk Formasyonu (Paleozoyik), Eloğlu Formasyonu (Triyas-Alt Kretase), Koçali karmaşığı (Üst Jura-Alt Kretase), Kastel Formasyonu (Üst Kretase), Besni Formasyonu (Üst Kretase), Midyat Formasyonu (Alt-Orta Eosen), Yenicekale Formasyonu (Üst Miyosen), Yavuzeli bazaltları (Üst Miyosen-Pliyosen) ile örtü olarak gelen Yamaç molozu ve Alüvyon birimleri yer almaktadır (Şekil 21).



Şekil 21. Kahramanmaraş İli genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yeleser, 2006)

3.2.1. Koruk Formasyonu

Koruk Formasyonu ilk defa Korkmaz (2001) tarafından adlandırılmıştır. Genel olarak, en altta bulunan siyah-gri renkteki sert dolomit ve dolomitik kireçtaşlarıyla masif özelliktedir. Bunun üzerinde ise, orta tabakalı killi kireçtaşlarından oluşan pembe-mor renkli bir litoloji bulunmaktadır (Korkmaz, 2001). Üzerine ise tektonik olarak Eloğlu Formasyonu gelmektedir.

3.2.2. Eloğlu Formasyonu Formasyonu

Eloğlu Formasyonu ilk kez Baydar ve Yergök (1996) tarafından adlandırılmıştır. Orta–kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşan birim alacalı bej, gri, mavimsi renklidir. Üzerinde Kretase yaşlı birimlerin bulunduğu Eloğlu Formasyonu, Kürecik Formasyonu üzerine açısal uyumsuzluk ile gelmiştir (Baydar ve Yergök, 1996). Eloğlu Formasyonunun altında bulunan Kürecik Formasyonu üzerine açısal uyumsuzluk ile geldiğini ve üzerinde de Kretase yaşlı birimlerin yer aldığını belirtmiştir. Eloğlu Formasyonu olarak adlanadırılan kireçtaşı birimi, Engizek birliği içerisinde yer alan Kapıkaya Formasyonu (Beyazpirinç, 2005) ile Üçtepe Kireçtaşı (Demirtaşlı, 1967) deneştirilebilir.

3.2.3. Koçali Karmaşığı

En iyi örneklerin gözlendiği Adıyaman İlinin kuzey kesiminde bulunan Koçali Kasabası'ndan adını alan Koçali karmaşığı ilk kez Sungurlu (1973) tarafından adlandırılmıştır. Radyolaritli seviyelerinde kalker içeriğinde barındırdığı fosiller sebebiyle Koçali Karmaşığı'na Yalçın, 1980 tarafından Geç Jura–Erken Kretase yaşı verilmiştir. Bu çalışmada da benzer litolojiler için Koçali Karmaşığı isminin aynen kullanılması uygun görülmüştür. Arazide genel olarak yumuşak bir topografya sunmaktadır. Yeşilimsi kahverengi rengi ile arazide kolaylıkla belirlenebilmektedir. Kocali Karmaşığı kimi yerlerde alüvyonal çökeller tarafından örtülmekte kimi yerlerde ise Miyosen yaşlı birimleri tektonik olarak üzerlemektedir. Ancak Geç Maastrihtiyen yaşlı flişlerin ofiyolitlerin üzerini örtmesi nedeniyle, Terlemez vd., 1992 Koçali Karmaşığı'nın yaşının Geç Jura–Geç Kretase olduğunu ifade etmişlerdir.

3.2.4. Kastel Formasyonu

ESSO şirketi (Tuna, 1973) tarafından adlandırılmıştır. Siyahımsı gri ve yeşilimsi kahverengi ile karakteristiktir. Bu birimden teşekkül eden topofrafya genellike hafif eğimli yamaçlardan oluşmaktadır. Yaygın olarak; kumlu kireçtaşı, çamurtaşı, marn ve

kumtaşı birimlerinin oluşturduğu ardalanmalardan teşekkül etmektedir. Sığ denizel ortamını temsil eden Kastel Formasyonu üzerine Besni Formasyonuna ait Elmalar Kireçtaşı üyesi gelmektedir.

3.2.5. Besni Formasyonu

Amoseas tarafından bu adla tanıtılan (Tuna, 1973) Besni Formasyonu, Keklikpınar konglomera üyesi, Sıraca marn üyesi, Elmalı kireçtaşı üyesi ve Gökyalçın konglomera üyesi olarak dört üyeye ayrılmıştır. Arazide genel olarak sert topografya sunan, beyaz renkli ve kalın tabakalı görünüme sahip, ada ve sahil resifleri halinde gözlenen Elmalı kireçtaşı üyesine ait litolojiler yüzeylenmektedir. (Baydar ve Yergök, 1996).

3.2.6. Midyat Formasyonu

Tromp ve Maxon tarafından bu birime Midyat Formasyonu adı verilmiştir (Tuna, 1973). Önalan (1985/1986), tarafından Midyat Formasyonu; Fırat, Cacık ve Ahırdağı olarak üç üyeye ayrılmıştır. Arazide genel olarak beyaz, krem, boz, beyazımsı-sarı renklerde ve kalın tabakalı killi kireçtaşı aradalanmaları görünümüne sahip Ahırdağ üyesine ait litolojilerin gözlendiği ifade edilmiştir.

3.2.7. Yenicekale Formasyonu

En iyi yüzeylemelerinin Kahramanmaraş ili Onikişubat İlçesi Yenicekale Mahallesinde gözlenmesi sebebiyle bu ismi almıştır (Baydar ve Yergök, 1996). Birim kiltaşı, silttaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmasından teşekkül etmektedir. Kısmen masif özellikler gösteren, sarı-gri renkli, orta kalın tabakalı birim; dağılgan, az tutturulmuş ya da iyi tutturulmuş özellikler sergilemektedir.

3.2.8. Yavuzeli Bazaltları

En iyi yüzeylemeleri Yavuzeli ilçesinin batısında gözlenen birim Yoldemir (1987) tarafından bu isim ile tanımlanmıştır. Yayvan topoğrafya özelliği sunan birim siyah, lacivert renklerde gözlenmektedir. Yavuzeli Bazaltı, gözenekli ve masif bir görünüm sergilemekle beraber, gözeneklerinde kalsit dolgu barındırmaktadır. (Korkmaz, 2001). Koçali Karmaşığı üzerine açısal uyumsuzluk ile gelmiştir. Korkmaz (2001), lavların tektonik faaliyetler sonucu oluşan kırık sistemlerinden yeryüzüne ulaşması ile Yavuzeli Bazaltlarının oluştuğunu ileri sürmüştür.

3.2.9. Alüvyon

Akarsu vadilerinde çökelmiş alüvyonlar çoğunlukla kum ve çakıl içeren litolojiden oluşmaktadır. Kısmen silt düzeylerinin eşlik ettiği birim arazide gri renk tonlarında gözlenmektedir. Alüvyon tüm birimler üzerine uyumsuz olarak gelmiştir.

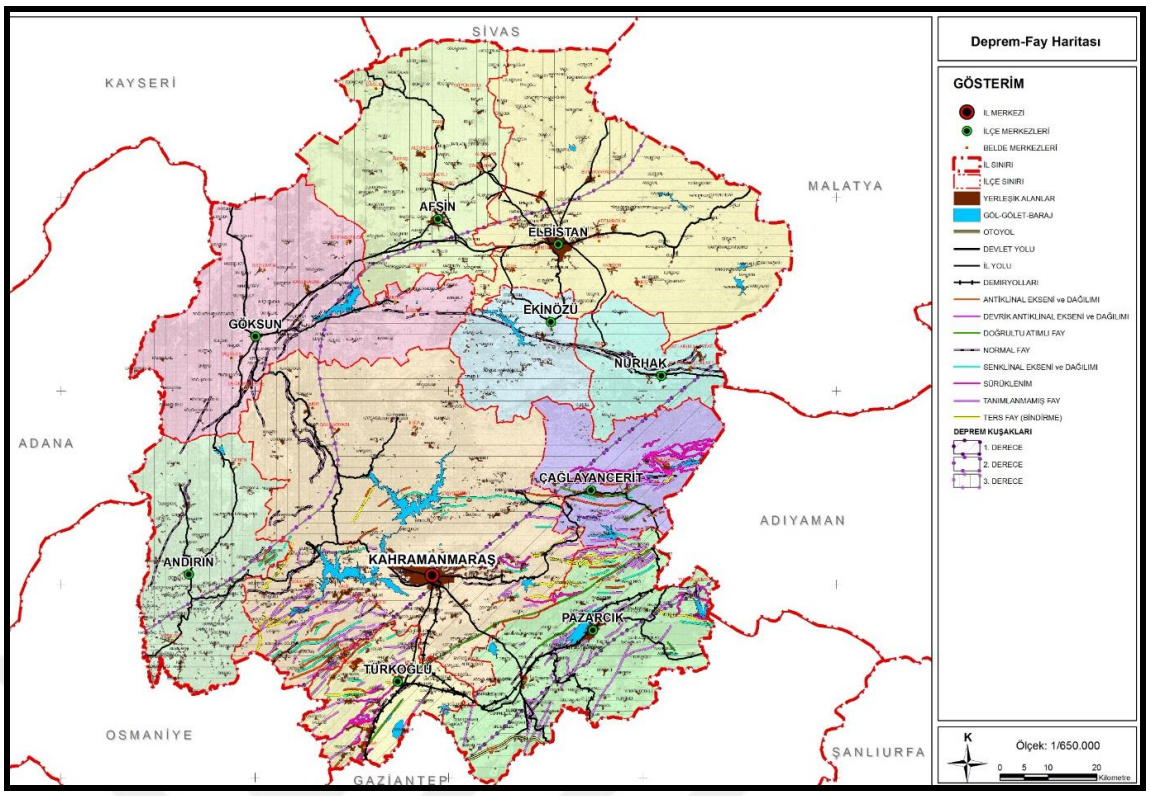
3.2.10. Yamaç Molozu

Dağ yamaçlarında gelişen yamaç molozları, farklı tür ve boyutlardaki kaya bloklarını bünyesinde barındırmaktadır. Kahramanmaraş İlinde yamaç molozu oluşumları dağ yamaçlarının eteklerinde yoğun olarak gözlenmektedir. Özellikle Kahramanmaraş İl merkezinin büyük bölümünde yerleşim, yamaç molozu üzerine kurulmuştur.

3.3. Yapısal Jeoloji

Rigo De Righi ve Cortesini (1964)'ye göre, tektonostratigrafik özellikleri bakımından Güneydoğu Anadolu Bölgesi; Ön Ülke, Toros Orojenik Kuşağı, Kenar Kıvrımları Kuşağı ve Kıvrımlanmış Kuşak olmak üzere dört ana tektonik kuşaktan teşekkül etmektedir. Bu değerlendirmeye göre; Kahramanmaraş ili, Toros Levhası ile okyanusal kabuğun çarpıştığı ve allokton birimlerin bulunduğu orojenik kuşak ile güneyde Arap levhası üzerinde otokton birimler ile temsil edilen Kenar Kıvrımları Kuşağında yer almaktadır.

Bölgenin morfolojik açıdan şekillenmesinde ve jeolojik gelişiminde etkili olan tektonik yapılardan önemli olanları; Kahramanmaraş Fay Zonu, Doğu Anadolu Fayı'nın kuzey ve güney kollarınadaki faylar, Engizek Fay Zonu, Andırın Fay Zonu ve Ölü Deniz Fay Zonuna ait faylardır. Bu faylar bulundukları konum itibariyle deprem üretme potansiyeli taşıyan faylardır (Kahramanmaraş 1/100.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planı Raporu, 2011).



Şekil 22. Kahramanmaraş iline ait yapısal jeoloji haritası (Kahramanmaraş İl Çevre Düzeni Planı, 2011)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar, arazi incelemeleri ve bilgisayar destekli büro çalışmaları olarak gerçekleşmiştir.

06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş İlinde meydana gelen depremlerden sonra Kahramanmaraş AFAD İl Müdürlüğüne gelen kaya düşmesi ihbarları üzerine yerleşim yerlerini tehdit eden kaya düşmelerinin gerçekleştiği alanların yerinde incelemesi yapılmıştır. Yaşanan depremler sırasında kaya düşmesinin meydana geldiği alandaki kaynak alanların tespiti yapılarak sınırları belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda 1040 lokasyonda kaynak alan tespiti yapılmış olup, çalışmaya altlık oluşturacak deprem afeti sırasında meydana gelen kaya düşmesi kaynak alanlarına dair veri seti hazırlanmıştır. Kaya düşmesi kaynak alanlarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımı ile sayısallaştırma ve coğrafi konumlandırma (UTM Zone 37) işlemleri yapılmıştır. Sayısallaştırma işlemi yapılan bu alanların; morfolojik, topografik ve jeolojik parametreler ile ilişkisi araştırılmış; buna göre kaya düşmesi olaylarının yaşanabileceği alanlara dair kaya düşmesi duyarlılık ve yayılım zonları haritası" oluşturulmuştur.

Kaya düşmelerinin bölgesel ölçekli değerlendirmesinde CBS yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da gerekli analizlerin yapılmasında ve parametre haritalarının üretilmesinde CBS tabanlı bir porgram olan Arcgis sürüm 10.3 kullanılmıştır. Üç boyutlu analizler ise RocPro3D kaya düşmesi analiz programı ile gerçekleştirilmiştir.

Kaya düşmelerinin gerçekleştiği sahaların tespitine yönelik arazi çalışmalarından elde edilen veriler ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'ndan temin edilen ham veriler CBS programındaki analizlerde kullanılmak üzere uygun hale getirilmiş olup, ihtiyaç duyulan çıktı haritaları hazırlanmıştır.

Kaya düşmesi yayılım alanlarının belirlenmesinde ise ücretsiz bir yazılım olan CONEFALL programı kullanılmıştır. Bu yazılım ile farklı konik açı değerlerine göre yayılım haritaları kolaylıkla oluşturulabilmektedir. Bunun için sayısal arazi modeli ve kaynak alan veri girdilerine ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanı sıra blok kütlesi verisi girilerek kinetik enerji haritası oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Çıktı dosyaları "*.asc" uzantılı olup, CBS programlarında raster veri dönüşümleri kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.

4.1. Deprem Sırasında Meydana Gelen Kaya Düşme Alanlarının Sahada Etüt Edilmesi ve Modellemeye Uygun Hale Getirilmesi

06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremler sonrasında kaya düşmelerinin gerçekleştiği sahalar incelenmiştir. Yapılan arazi çalışmalarında Kahramanmaraş İli'nin genelinde olmak üzere 1040 lokasyonda kaynak alan tespiti yapılmış olup Google Earth uydu programına aktarılmıştır. (Şekil 23-31). Yapılan tespitlere 10.02.2023 tarihinde başlanıldığından, ulaşım ve meteorolojik koşullar göz önünde bulundurularak zor koşullar altında planlama yapılmıştır.

Şekil 23. Düşmüş kaya blokları Beyoğlu,Türkoğlu

Şekil 24. Düşmüş kaya bloğu Ayaklıcaoluk, Dulkadiroğlu (60 m³)

Şekil 25. Düşmüş kaya bloğu Budaklı, Dulkadiroğlu

Şekil 26. Düşmüş kaya blokları Çamlıca, Onikişubat

Şekil 27. Düşmüş kaya bloğu Başdoğan, Andırın

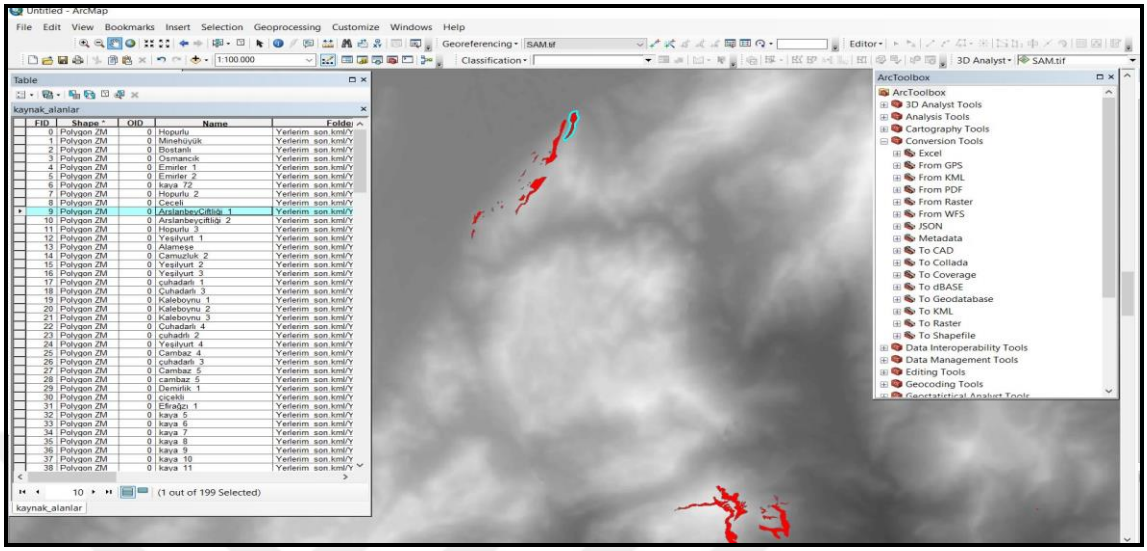
Şekil 28. Düşmüş kaya bloğu Çakallıhasanağa, Türkoğlu

Şekil 29. Düşmüş kaya blokları

Şekil 30. Düşmüş kaya blokları

Şekil 31. Google earth uydu programına aktarılan kaynak alan görüntüleri

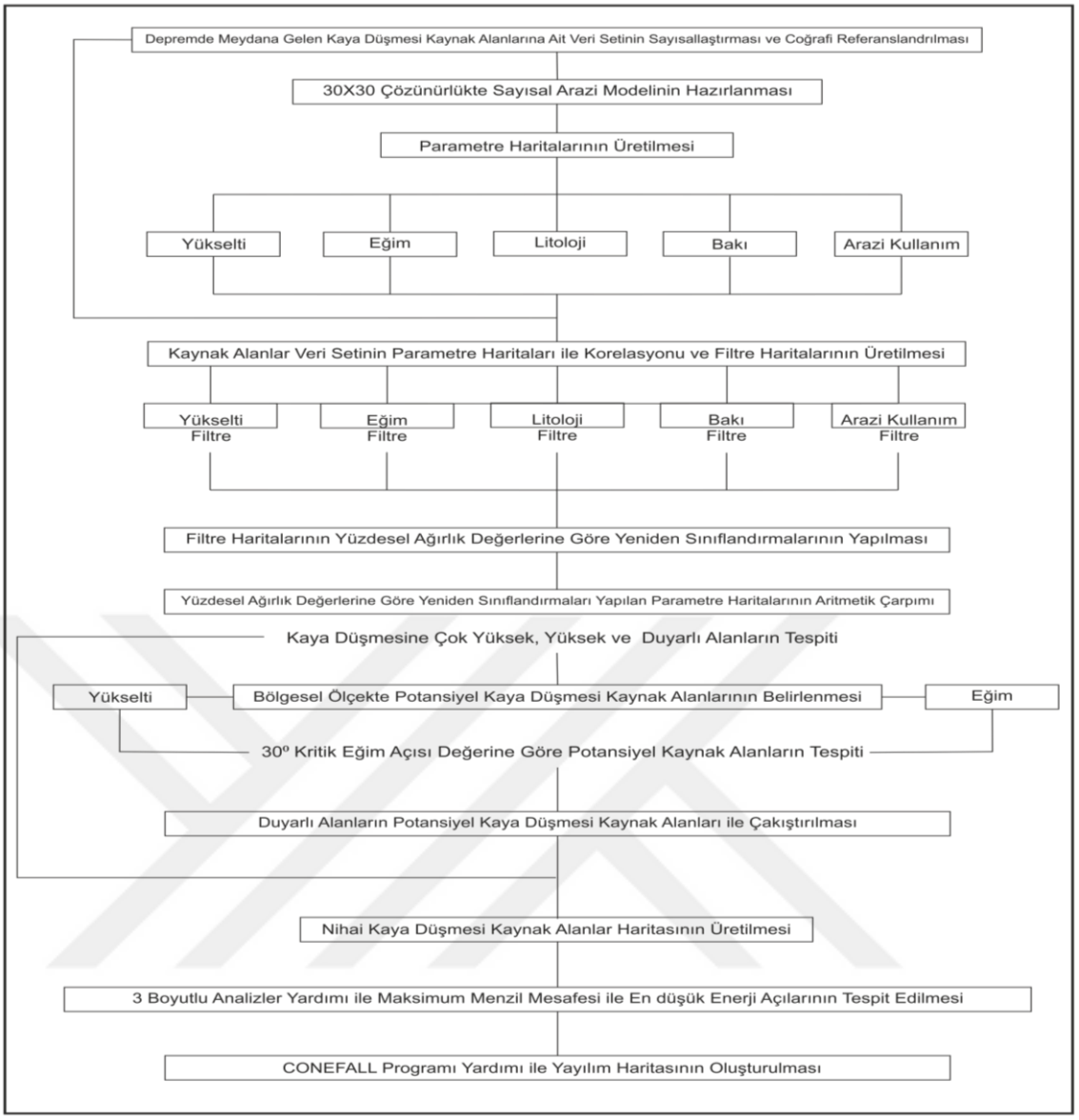
Uydu görüntüleri ile sınırları revize edilen kaynak alanlarının CBS ortamına "*.shp" uzantısında aktarımı yapılarak sayısallaştırma ve raster veri dönüşümü ile coğrafi konumlandırma işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 32).



Şekil 32. CBS ortamına aktarılan kaya düşmesi kaynak alanları

4.2. Kahramanmaraş İline Ait Sayısal Arazi Modelinin ve Parametre Haritalarının Oluşturulması

İnceleme alanı olan Kahramanmaraş İline ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak analize dahil edilecek parametre haritaları (sayısal arazi modeli (SAM), eğim, bakı, litoloji, arazi kullanım) CBS ortamında üretilmiştir. Hazırlanan kaynak alan veri setinin bu parametreler ile ilişkileri CBS ortamında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda kaya düşmesi olaylarının en yoğun yaşandığı parametre alt değerlerinin yeniden sınıflandırma ve puanlama işlemleri yapılmıştır. CBS ortamında parametre haritalarının yeniden puanlanması ile il sınırları dahilindeki tüm alanlar beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı alanlar ayırtlanarak, Kahramanmaraş İline ait potansiyel kaya düşmesi kaynak alanları ile korelasyonu yapılarak yayılım zonlarının belirlenmesinde kullanılacak kaynak alan haritası elde edilmiştir. Üretilen nihai kaynak alan haritası sonrasında ise 20 noktada gerçekleştirilen üç boyutlu analizlerle belirli hacim aralığındaki kaya bloklarının en uzak menzil mesafeleri ve yoğun kaya düşmesi yaşanan alanların durma noktası gibi parametreler göz önünde bulundurularak CONEFALL programında farklı konik açıları için kaya düşmesinden etkilenebilecek alanlar ayırtlanmış ve Kahramanmaraş İli Kaya Düşmesi duyarlılık ile yayılım zonları haritaları hazırlanmıştır (Şekil 33).

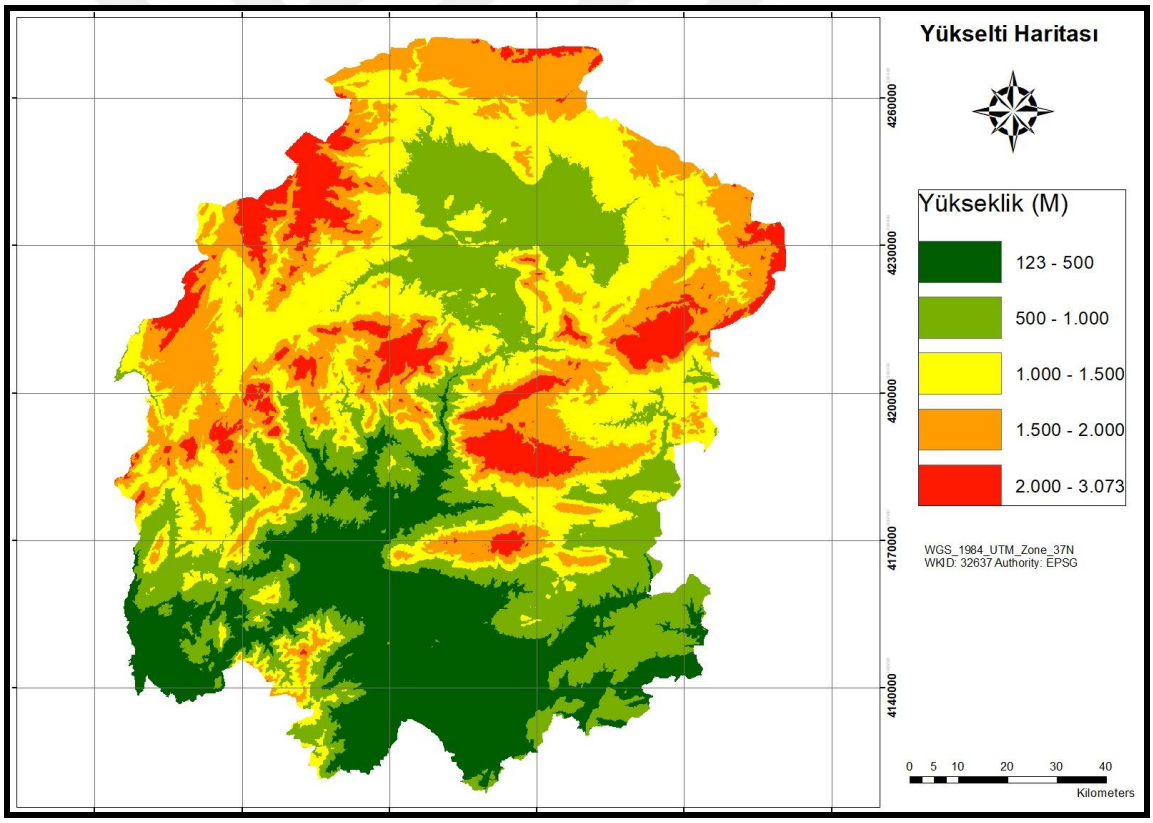


Şekil 33. Kaya düşmesi duyarlılık ve yayılım haritalarının üretilmesi sürecindeki iş akışı

Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen kaya düşmelerinin morfolojik, topografik ve litolojik unsurlar ile korelasyonunun araştırılması için ihtiyaç duyulan parametre haritaları üretilmiştir. Çalışma kapsamı bölgesel olduğundan modellemeye dahil edilecek parametrelerin tespitinde kişiye bağlı değerlendirme yolu tercih edilmiş olup, kaya düşmelerinin gerçekleşmesinde yüksek etkiye sahip olduğu düşünülen parametreler modellemeye dahil edilmiştir.

Uygulama için seçilen alan, Kahramanmaraş İl sınırlarını kapsayan ve AFAD Başkanlığı'ndan temin edilen 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafya haritası paftalarını içermektedir. Sayısal topografya haritaları kontur (münhani) ve nokta olarak topoğrafik yükseklik değerlerini içermektedir. Bu değerler kullanılarak, çalışma alanına ait Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmiştir. Bu çalışmada nokta ve kontur yükseklik değerleri içerilmesinden ötürü, Topo to Raster modülü seçilmiştir. Bu algoritma ile ara değerleme

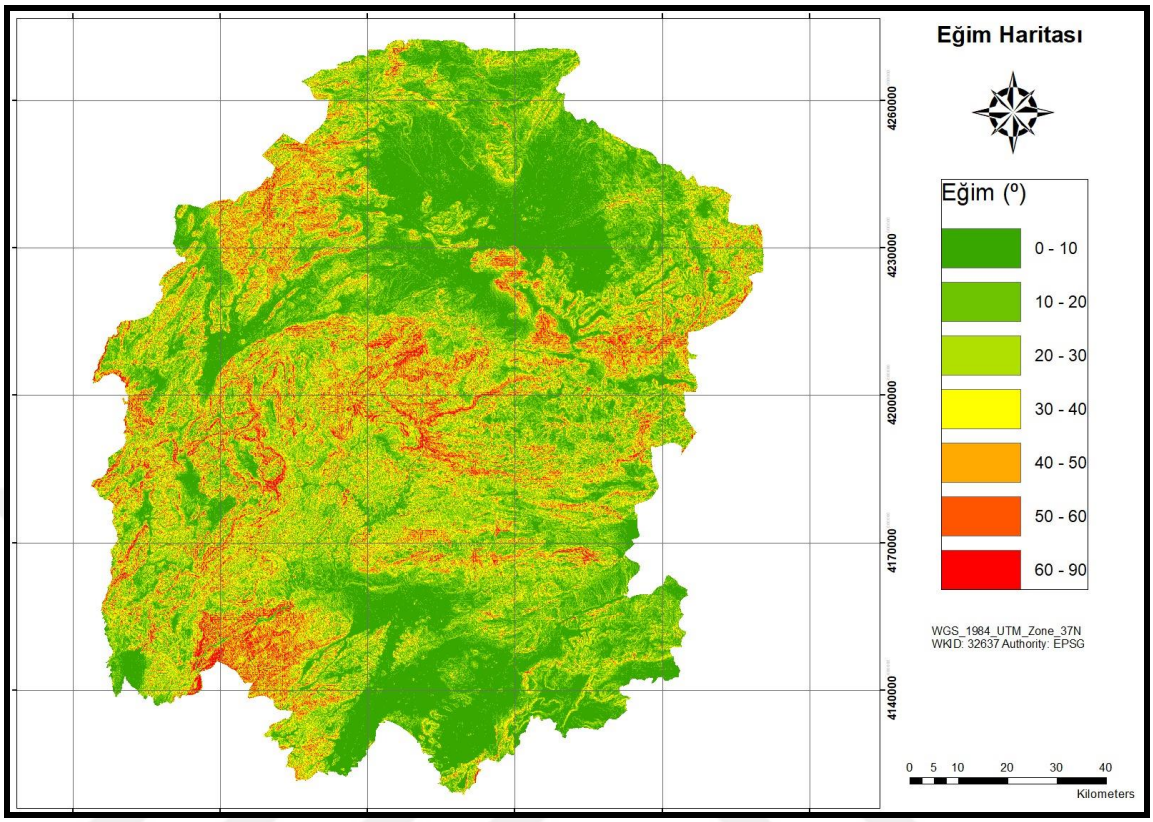
işlemi gerçekleştirilerek çalışılacak alandaki her bir noktanın yükseklik değerinin raster formatında elde edilmesi sağlanmaktadır. İlk aşamada kullanılan tüm veri grupları "*.shp" uzantılı, vektörel formata sahip olduğundan, analiz aşamasında bu verilerin raster veri formatına dönüşümleri yapılmıştır. Bu uygulamada, Arcgis 10.3 yazılımının; Arctoolbox/3D Analyst Tools/Raster İnterpolation/Topo to Raster alt modülü kullanılarak interpolasyon işlemi gerçekleşmiştir. Çözünürlük değeri olarak 30x30 m seçilmiş ve interpolasyon sınırı Kahramanmaraş İl sınırları olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının bölgesel ölçekte olması nedeniyle yüksek çözünürlüklü haritaların analize dahil edilme işlemleri çok uzun süreceğinden çözünürlük değeri 30x30 m olarak belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen çalışmalar sonucunda Kahramanmaraş İline ait 30x30 m çözünürlüklü SAM haritası üretilmiş olup, coğrafi konumlandırması UTM Zone 37 olarak yapılmıştır (Şekil 34). Bu işlem yazılımın; Arctoolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Project Raster modülünden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 34. Çalışma alanına ait yükselti haritası

Modellemede kullanılan ikinci parametre, yamaç eğimidir. Çalışma alanına ait eğim haritası SAM raster veri formatının girdi verisi olarak kullanılması sonucu oluşturulmuştur. Elde edilen eğim haritası değer olarak derece (degree) cinsinden ifade edilmektedir.

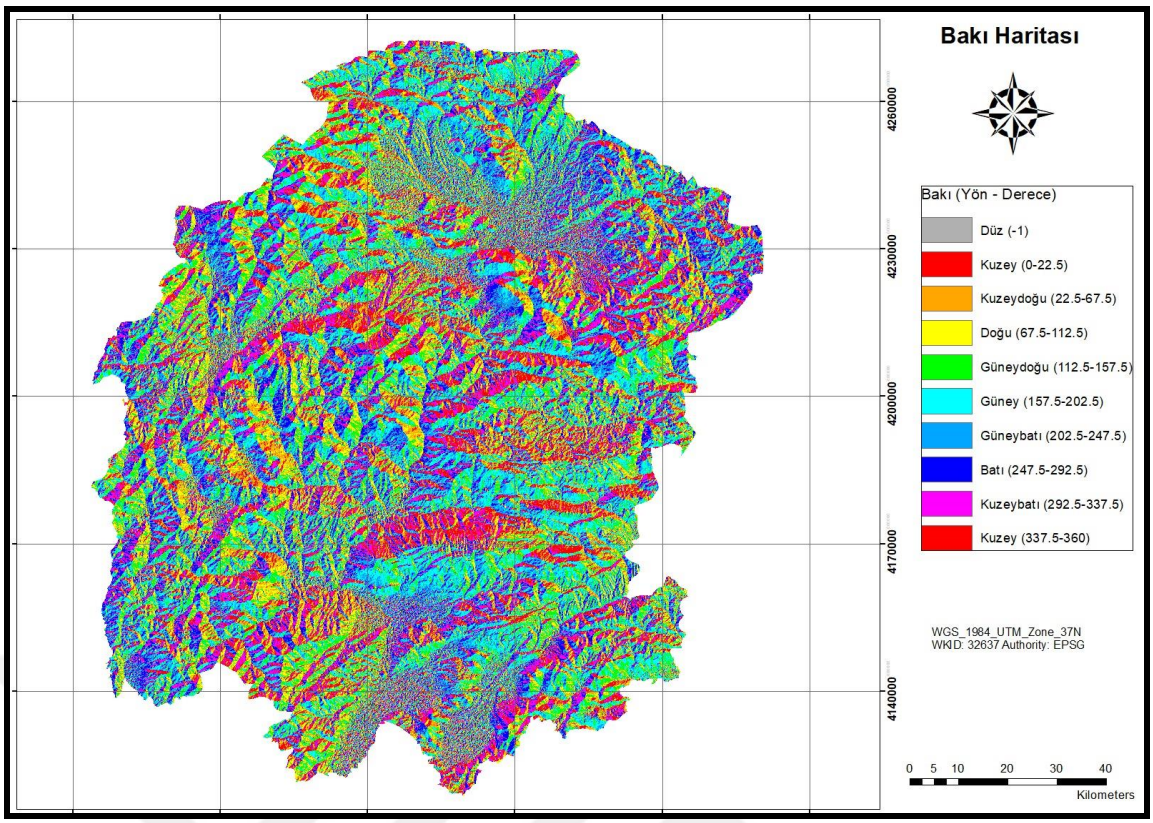
Çalışma alanına ait eğim haritası, CBS yazılımının ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Slope modülü kullanılarak üretilmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Çalışma alanına ait eğim haritası

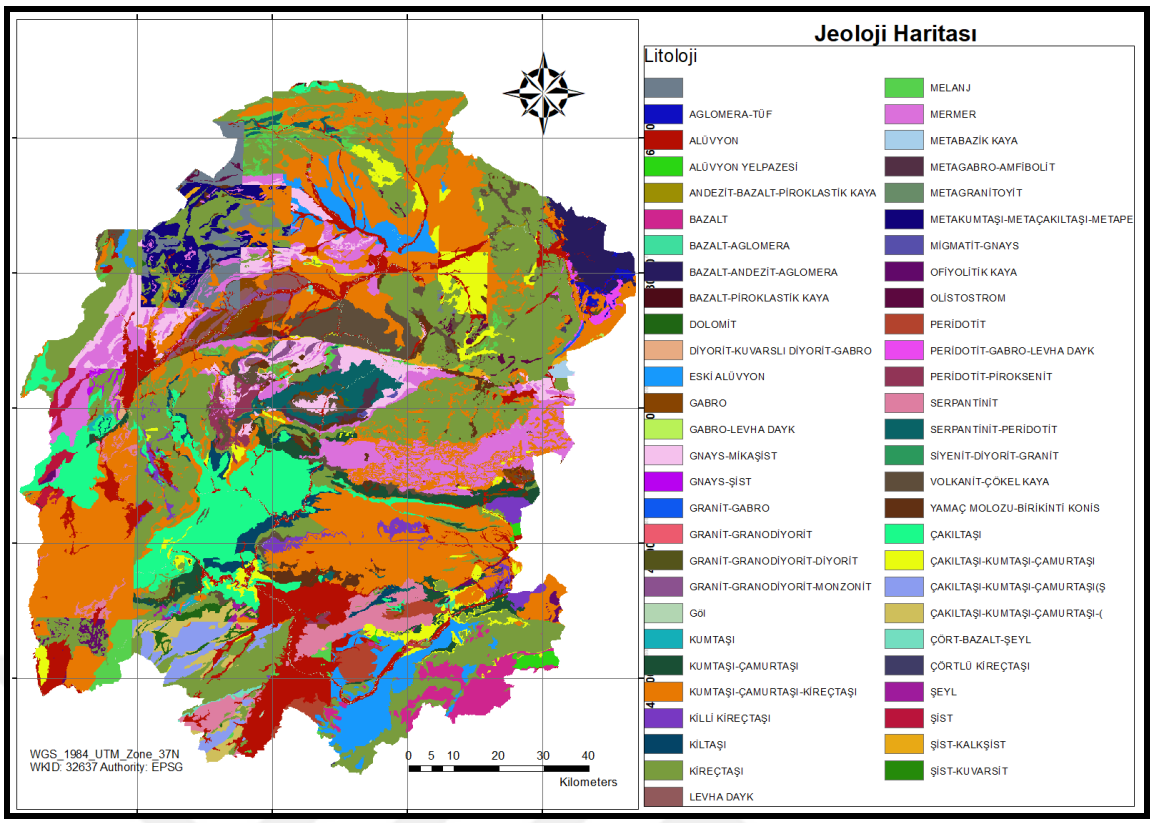
Modellemede kullanılacak olan bir diğer parametre haritası ise bakı (yamaç yönelimi) haritasıdır. Yazılımda çıktı haritasındaki bakı değerleri yamaçların baktığı yönlerin kuzey ile yaptığı 0º-360º arasındaki değerlere karşılık gelen açı değerleri olduğundan "derece" cinsinden ifade edilmiştir.

Çalışma alanının bakı haritası, CBS yazılımının ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Aspect modülü kullanılarak üretilmiştir (Şekil 36).



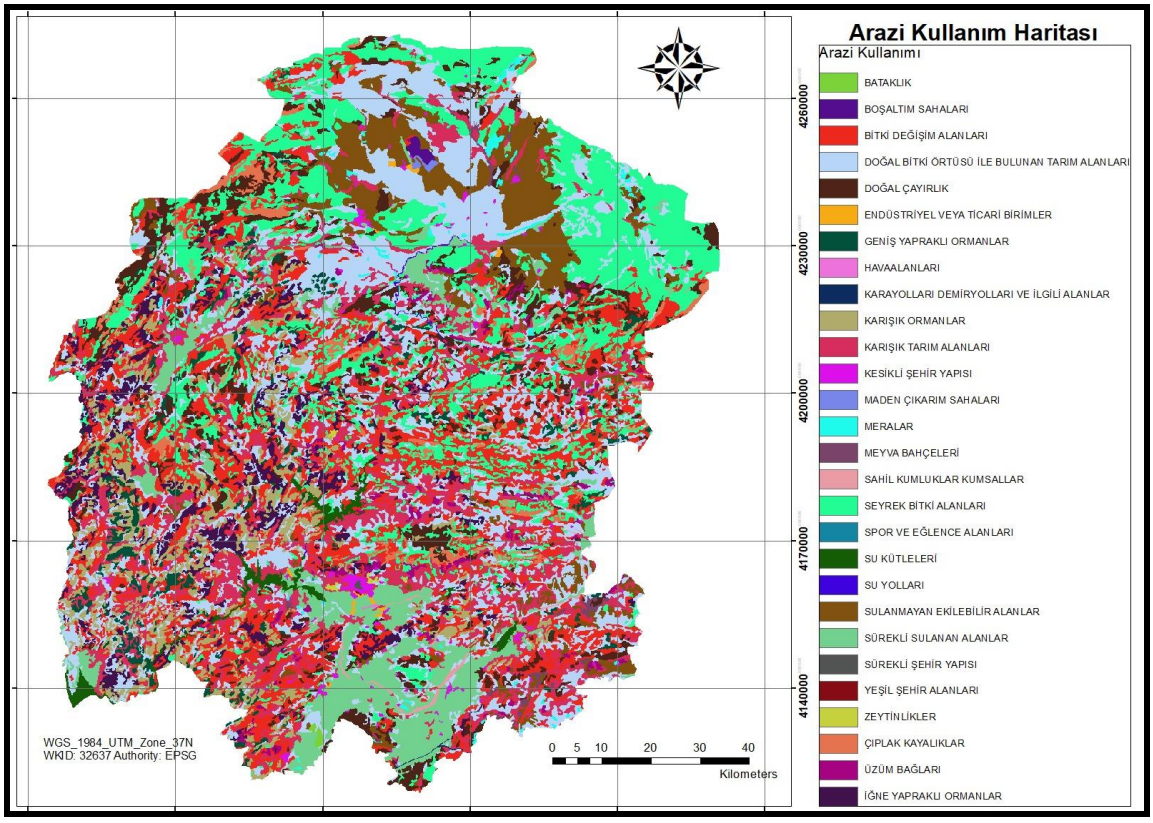
Şekil 36. Çalışma alanına ait bakı haritası

AFAD Başkanlığından temin edilen ve modellemede kullanılacak olan dördüncü ve beşinci parametre ise litoloji ve arazi kullanım haritalarıdır (Şekil 37-38). Bu haritalar vektörel formatta "*shp." uzantılı olduğundan analizlerde kullanılmak üzere raster veri formatına dönüştürülerek, coğrafi olarak konumlandırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem Arctoolbox/Conversion/Conversion Tools/To Raster/Feature to Raster modülü kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 37. Çalışma alanına ait jeoloji haritası

Coğrafi olarak konumlandırma işlemi için; Arctoolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Project Raster modülü kullanılmıştır.



Şekil 38. Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası

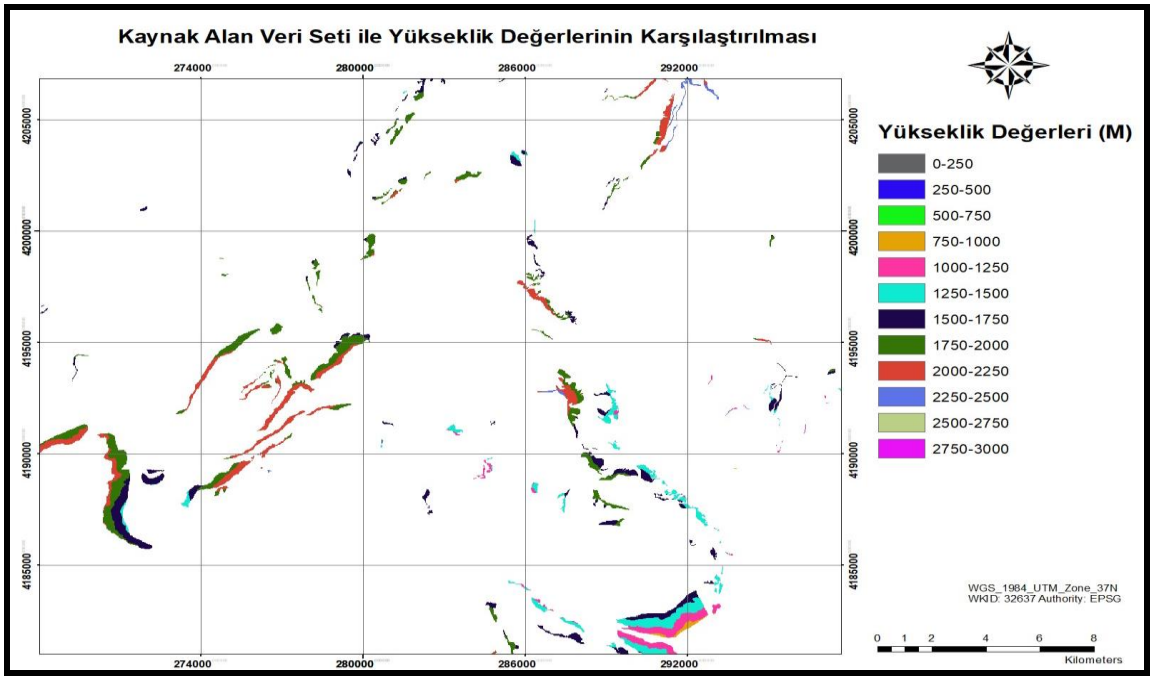
4.3. Kaynak Alanlar Veri Setinin Parametre Haritaları ile Karşılaştırılması Sonucu Filtre Haritalarının Üretilmesi

Yukarıda bahsedildiği üzere çalışma kapsamında modellemede kullanılmak üzere beş adet parametre haritasının üretilmesi ve analize uygun hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu aşamada ise CBS ortamında sayısallaştırılmış kaynak alan verilerinin, üretilen parametre haritaları ile çakıştırılarak, deprem sırasında ve sonrasında oluşan kaya düşmelerinin meydana geldiği morfolojik, topoğrafik ve litolojik koşullar ortaya konulmuştur.

Analizlerde kullanılan ve kaya düşmelerinin meydana gelmesinde etkili olduğu düşünülen her bir parametrenin arazi çalışmaları sonucu tespit edilen kaynak alan veri seti ile karşılaştırılması sonucunda; parametre alt gruplarına ait ağırlık değerleri, parametre içerisindeki kaya düşmesi kaynak alanlarına karşılık gelen piksel sayısı ile toplam piksel sayısı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu işlemle parametre alt gruplarına ait piksel yoğunluklarının yüzde cinsinden puanlanması yapılmış ve filtre haritalarının üretilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Kaynak Alanların Yükseklik Verisi ile Karşılaştırması

Çalışma alanının yükseklik değerleri 123 m ile 3073 m arasında değişiklik göstermektedir. CBS ortamında yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen yükselti değerlerini gösterir harita üretilmiştir (Şekil 39). Bu işlem için Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Extarction/Extract by Mask modülü kullanılmıştır.



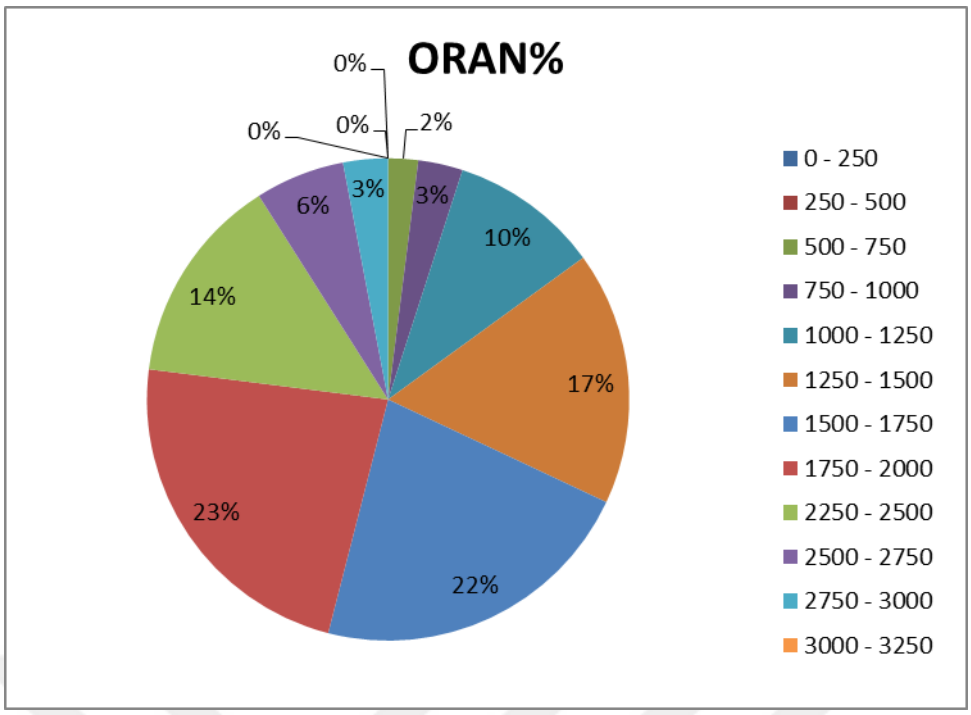
Şekil 39. Kaynak alanlara karşılık gelen yükseklik değerlerini gösterir harita

Kahramanmaraş İl genelinde düşük kotlarda yamaç molozu ve alüvyon birimler yaygın bir şekilde gözlenirken, daha üst kotlarda kayalık birimler yer almaktadır. Kaya düşmesi kaynak alanlarının 1500 m ile 2000 m yükselti değerleri arasında yoğunluk göstermesi bu durumun bir sonucu olarak değerlendirilmiştir (Tablo 5). Daha yüksek kotlarda ise kayalık olmayan çayır alanları geniş yayılımlar göstermektedir.

Tablo 5. Kaynak alanlarının yükseklik değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu

Yükselti Değer Aralığı (m)	**Kaynak Alanlarla Çakışan Piksel Sayısı (KAP)**	**Kaynak Alanlardaki Toplam Piksel Sayısı (KATP)**	**B=KAP/KATP**	**ORAN%**
0 - 250	59	104100	0.000566763	0
250 - 500	442		0.004245917	0
500 - 750	1449		0.013919308	2
750 - 1000	3125		0.030019212	3
1000 - 1250	10205		0.09803074	10
1250 - 1500	17210		0.165321806	17
1500 - 1750	22240		0.21364073	22
1750 - 2000	23318		0.223996158	23
2250 - 2500	14431		0.138626321	14
2500 - 2750	5823		0.055936599	6
2750 - 3000	3164		0.030393852	3
3000 - 3250	684		0.006570605	0

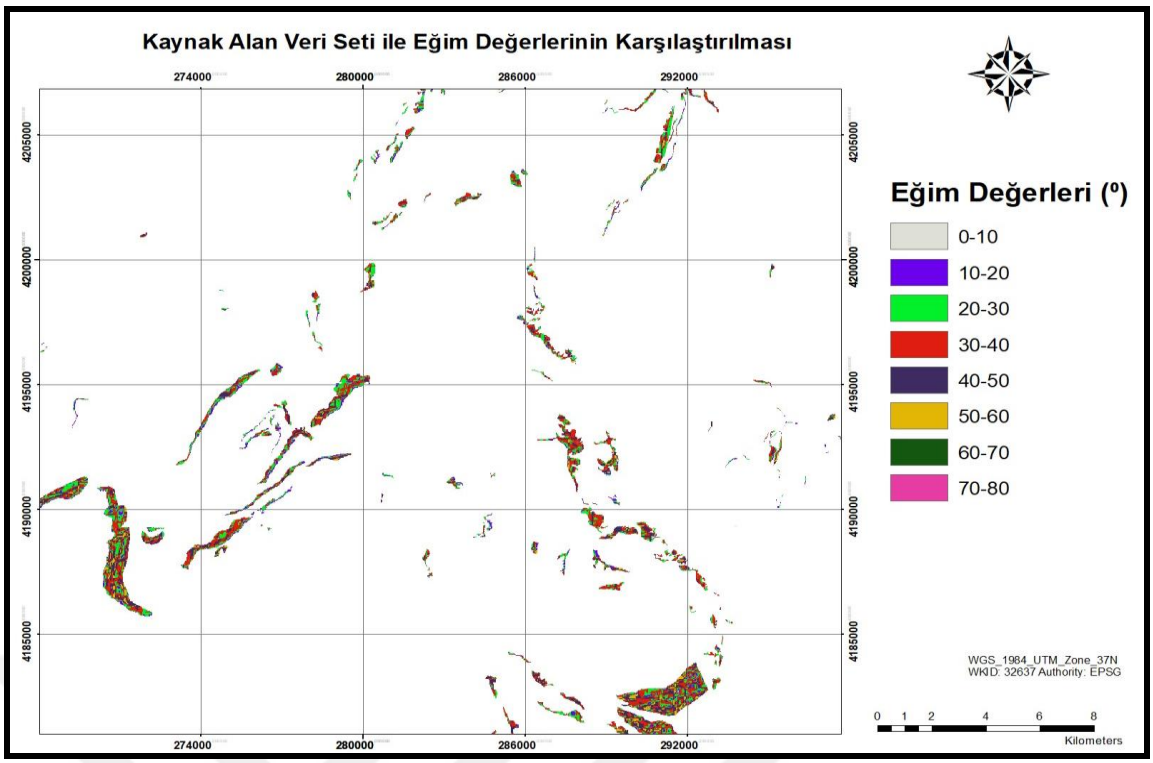
Yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen yükselti değerlerinin 1500 m – 2000 m arasındaki yükselti değerlerine karşılık geldiği görülmüş olup, parametre alt grupları içerisindeki yoğunluk oranın %45 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 40).



Şekil 40. Yükselti değer aralıklarının yüzdesel ağırlık grafiği

4.3.2. Kaynak Alanların Eğim Haritası ile Karşılaştırması

Düşen blokların menzil mesafesine, yayılım alanlarına ve düşen bloğun hareket mekanizmasına doğrudan etki ettiğinden, kaya düşmesi olaylarında eğim parametresi duraylılık analizlerinde kullanılan en önemli girdilerden birisidir. Özellikle hangi değer aralığında yoğunlaşmanın daha fazla olduğunun anlaşılması için 10ºlik eğim değer aralıkları ile sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma alanının eğim değer aralığı 0º ile 80º arasında değişiklik göstermektedir. CBS ortamında yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen eğim değerlerini gösterir harita üretilmiştir (Şekil 41).



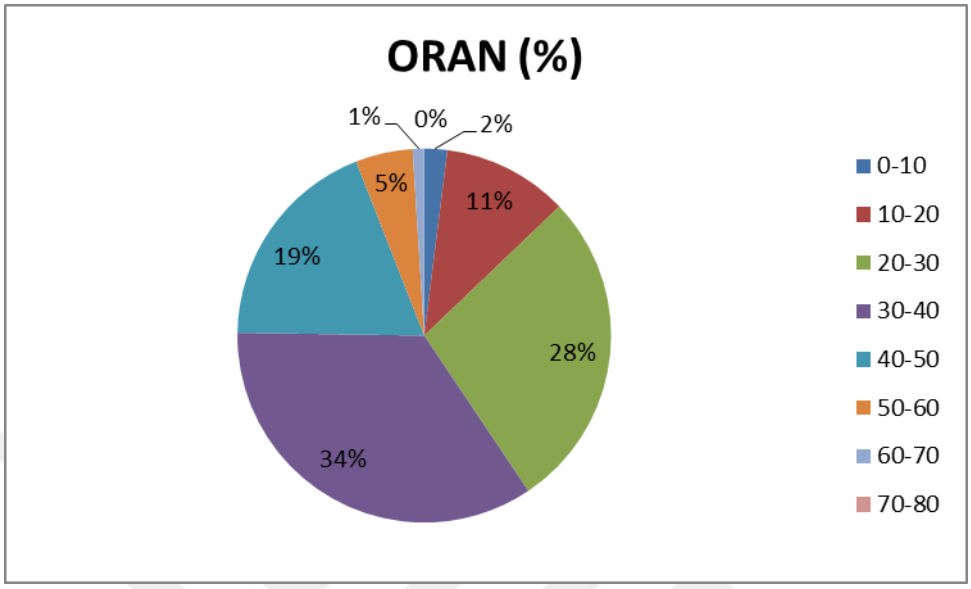
Şekil 41. Kaynak alanlara karşılık gelen eğim değerlerini gösterir harita

Kaynak alanların eğim paramatresi ile karşılaştırılması sonucunda özellikle 30º - 40º eğim değer aralığı olmak üzere 20º - 50º eğim değerleri aralığında yoğunlaşmanın olduğu görülmüştür (Tablo 6). Dik topografyaya sahip alanlarda düşecek kaya blokları anında ana kütleden ayrılıp hareketlenebiliyorken, daha düşük eğim değerlerinde kaya bloğu ana kütleden ayrılsa bile ya ana kütle üzerinde ya da yamaç üzerinde bir yerde hareketlenmeyip olduğu yerde askı halde kalabilmektedir. Askı haldeki bu kaya bloğu daha sonraki bir dönemde yağış, insan etkisi, deprem vb. tetikleyici unsurlar ile hareketlenebilmektedir. Deprem sırasında meydana gelen kaya düşmesi olaylarının daha düşük eğim değerlerinde daha fazla yoğunluk göstermesi bu durumun bir sonucu olarak düşünülmektedir.

Tablo 6. Kaynak alanlarının eğim değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu

Eğim Değeri (º)	Kaynak Alanlarla Çakışan Piksel Sayısı (KAP)	Kaynak Alanlardaki Toplam Piksel Sayısı (KATP)	B=KAP/KATP	ORAN (%)
0-10	1809	104100	0.017377522	2
10-20	11444		0.109932757	11
20-30	29333		0.281777137	28
30-40	36352		0.34920269	35
40-50	19280		0.185206532	19
50-60	5156		0.049529299	5
60-70	694		0.006666667	1
70-80	32		0.000307397	0

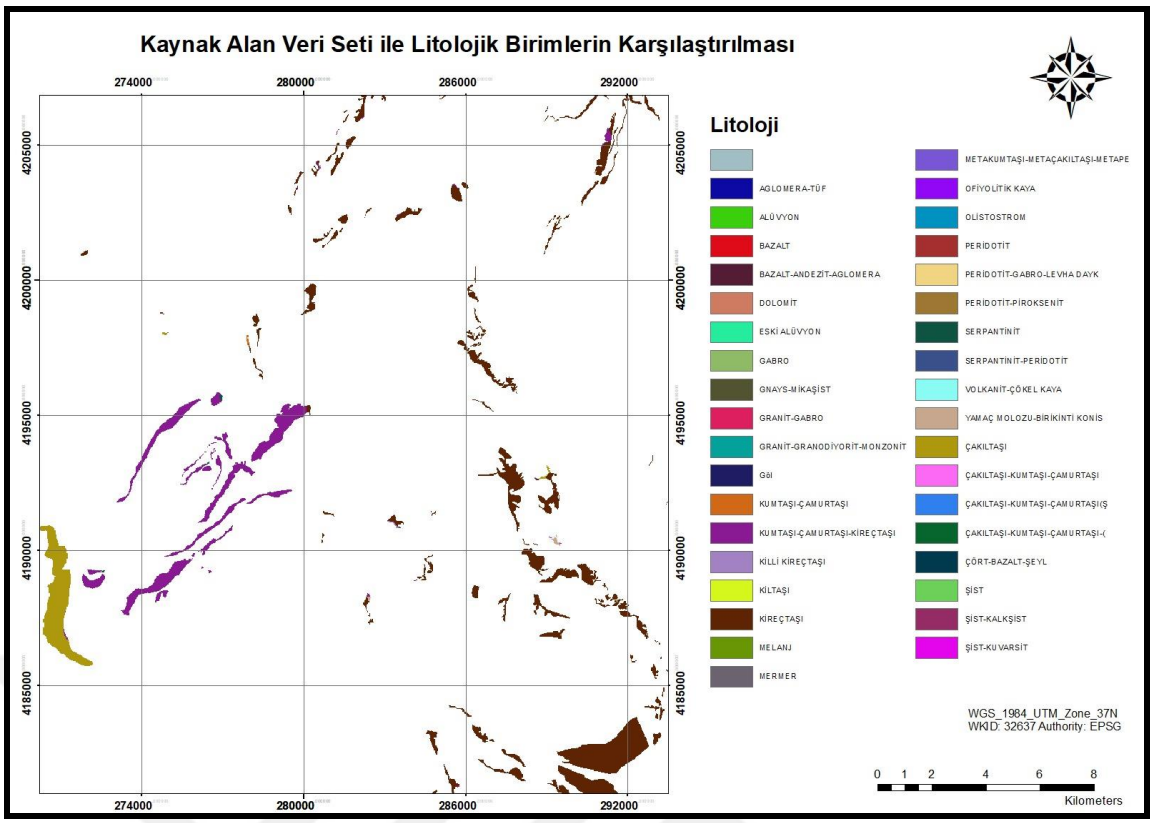
Yapılan analiz sonucunda kaynak alanlarla çakışan piksel sayısının diğer parametre alt gruplarına göre 30º - 40º eğim aralığında yoğunlaştığı ve oransal değerinin yaklaşık %35 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 42).



Şekil 42. Eğim değer aralıklarının yüzdesel ağırlık grafiği

4.3.3. Kaynak Alanların Litoloji Verisi ile Karşılaştırması

Litoloji parametresi kaya düşmesi olaylarındaki en önemli faktördür. Kaya düşme mekanizmalarının ortaya konmasında kayaların fiziksel özelliklerinin bilinmesi önemli rol oynamaktadır. Bol süreksizlik içeren, kırıklı, çatlaklı, zayıf dolgu maddesi içeren ve yoğun alterasyona maruz kalmış bloklar içeren kaya alanları kaya düşmesi olaylarına daha yatkın alanlardır. Bu aşamada kaynak alanlar veri setinin birimler üzerindeki alansal dağılımları tespit edilmiştir. CBS ortamında yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen litolojik birimleri gösterir harita üretilmiştir (Şekil 43).



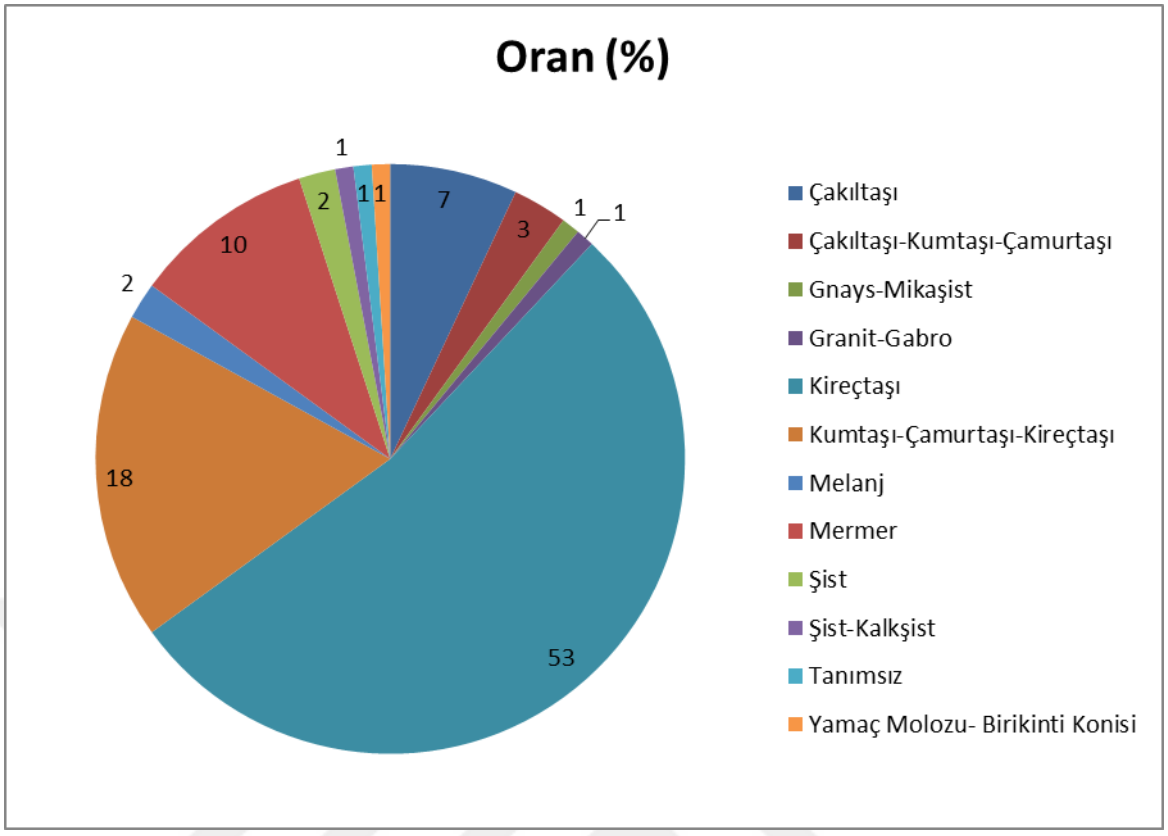
Şekil 43. Kaynak alanlara karşılık gelen litolojik birimleri gösterir harita

CBS ortamında yapılan değerlendirmelerde kaynak alan verilerine ait piksel değerlerinin özellikle kireçtaşı olmak üzere; mermer ve çakıltaşı birimlerinde daha fazla yoğunluk gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Kaynak alanlarının litoloji değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu

Litoloji	Kaynak Alanlarla Çakışan Piksel Sayısı (KAP)	Kaynak Alanlardaki Toplam Piksel Sayısı (KATP)	B=KAP/KATP	ORAN%
Tanımsız	1516	104100	0.01456	1
Çakıltaşı	7794		0,07487	7
Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı	1816		0,03270	3
Gnays-Mikaşist	808		0,00776	1
Kireçtaşı	55534		0,53346	53
Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	18499		0,17770	18
Melanj	2120		0,02036	2
Mermer	10786		0,10361	10
Şist	1773		0,01703	2
Şist-Kalkşist	641		0,00615	1
Granit-Gabro	527		0,00506	1
Yamaç Molozu-Birikinti Konisi	474		0,00853	1

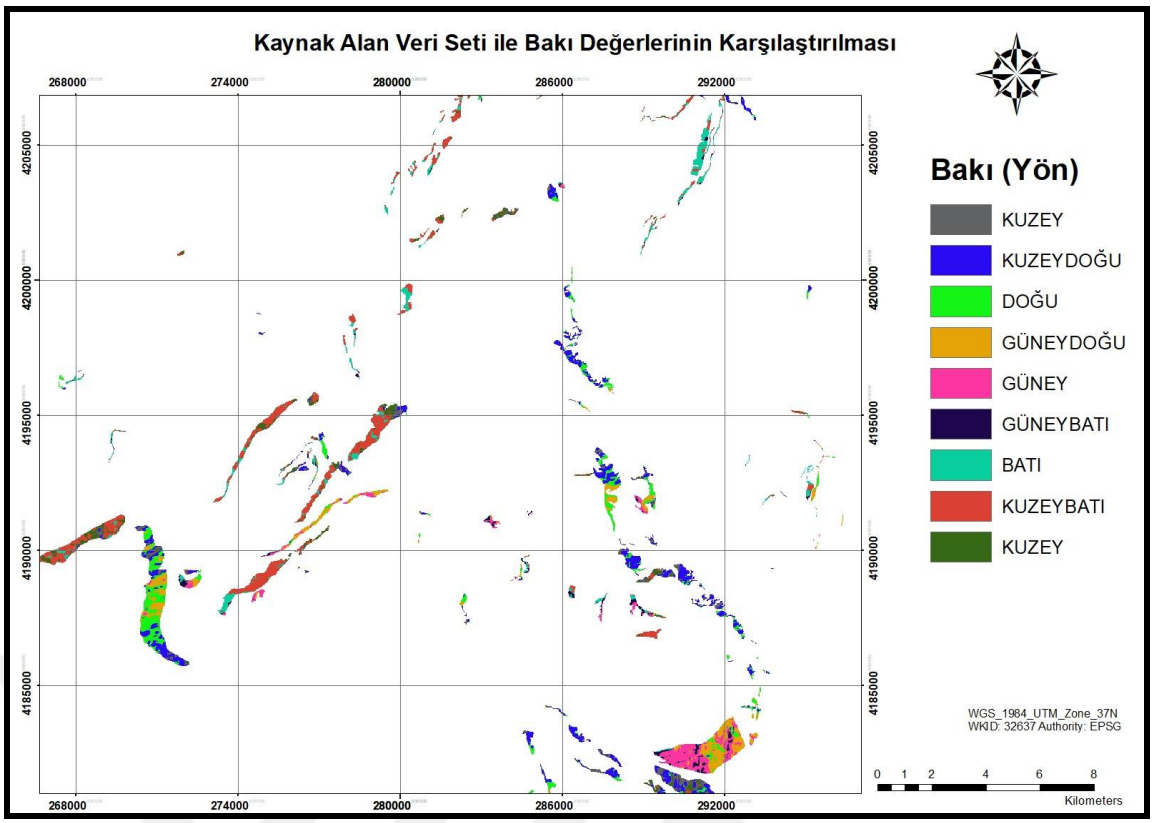
Analiz sonuçlarına göre yoğunluğun en fazla olduğu kireçtaşı birimindeki yüzde oranı %53'dür (Şekil 44).



Şekil 44. Kaya düşmeleri yaşanan litolojik birimlerdeki yüzdesel ağırlık grafiği

4.3.4. Kaynak Alanların Bakı Verisi ile Karşılaştırması

Bu çalışma kapsamında modellemede kullanılan bir diğer önemli parametre ise bakıdır. İklimsel koşullar göz önünde bulundurulduğunda kuzeye bakan yamaçlarda kaya düşmesi olaylarının daha fazla yaşanması beklenmektedir. CBS ortamında yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen yamaç yönelimlerini gösterir harita üretilmiştir (Şekil 45).



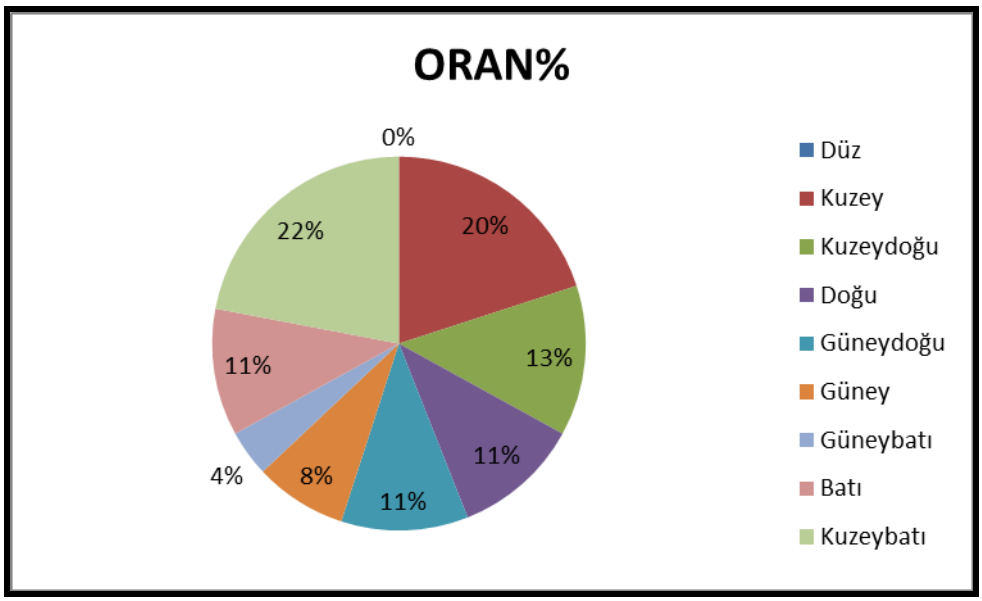
Şekil 45. Kaynak alanlara karşılık gelen bakı değerlerini gösterir harita

Yapılan analiz sonucunda, kuzey ve kuzeye bakan ara yönlerde yoğunlaşmanın olduğu; yoğunluğun en fazla olduğu yamaç yönelim bölgesinin ise Kuzeybatı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Kaynak alanlarının bakı değerleri ile karşılaştırmasına ait sonuç tablosu

Bakı Değer Aralığı	Kaynak Alanlarla Çakışan Piksel Sayısı (KAP)	Kaynak Alanlardaki Toplam Piksel Sayısı (KATP)	B=KAP/KATP	ORAN%
Düz	0		0	0
Kuzey	20636		0.198232469	20
Kuzeydoğu	13452		0.129221902	13
Doğu	11466		0.110144092	11
Güneydoğu	11209	104100	0.107675312	11
Güney	8225		0.079010567	8
Güneybatı	4631		0.044486071	4
Batı	11447		0.109961575	11
Kuzeybatı	23034		0.221268012	22

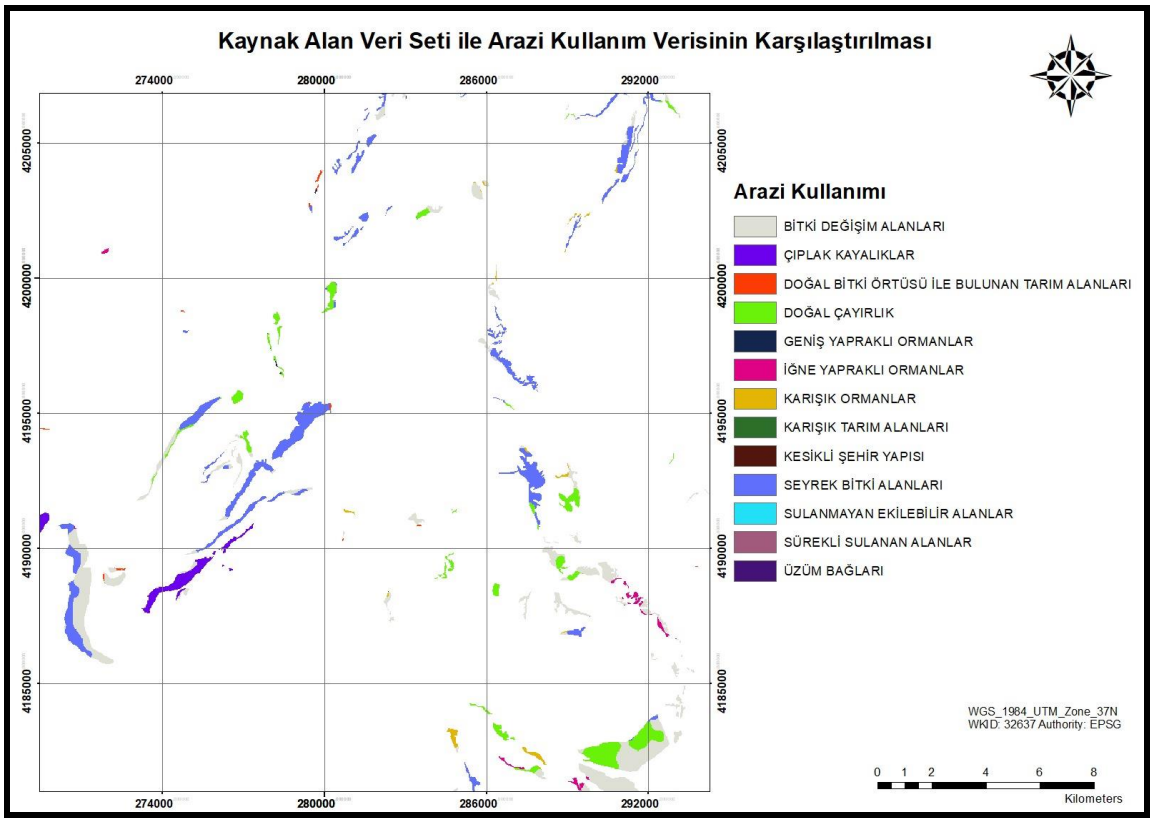
Analiz sonuçlarına göre yoğunluğun en fazla olduğu yamaç yönelimi Kuzeybatı olup, oransal değeri %22'dir (Şekil 46).



Şekil 46. Bakı değerlerinin yüzdesel ağırlık grafiği

4.3.5. Kaynak Alanların Arazi Kullanım Verisi ile Karşılaştırması

Bu çalışmadaki girdi parametrelerinden bir tanesi de arazi kullanım parametresidir. Bu aşamada kaynak alanlar veri setinin arazi kullanım verileri üzerindeki alansal dağılımları tespit edilmiştir. CBS ortamında yapılan analiz sonucunda kaynak alanlara karşılık gelen arazi kullanımını gösterir harita üretilmiştir (Şekil 47).



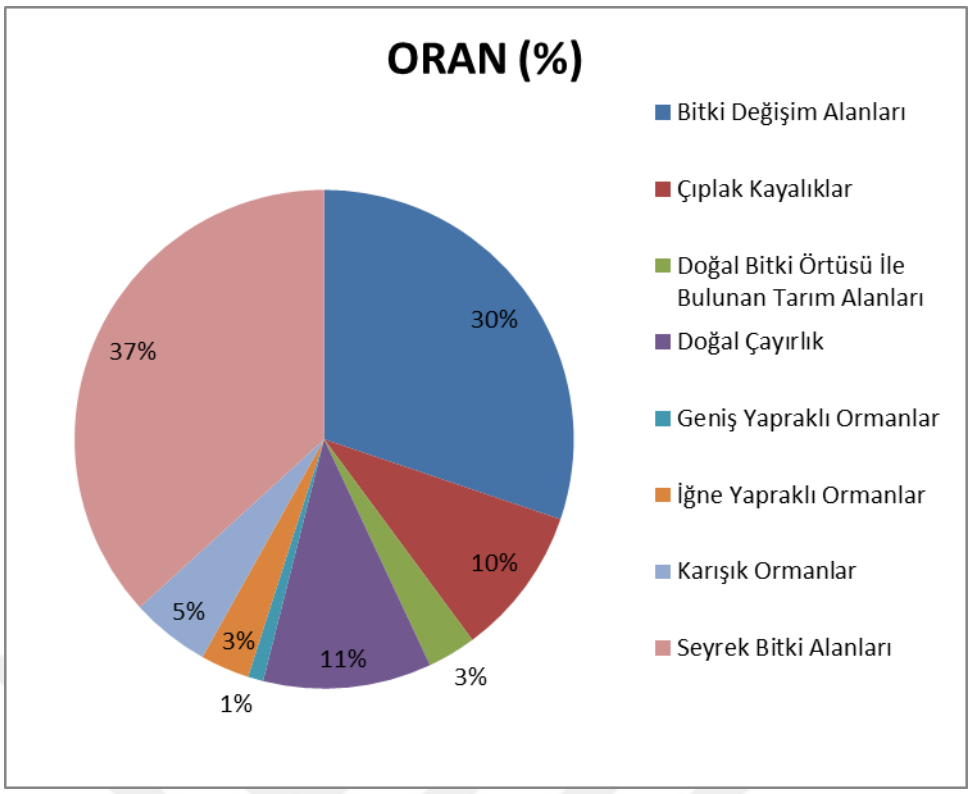
Şekil 47. Kaynak alanlara karşılık gelen arazi kullanım haritası

Bu parametre içerisinde yer alan unsurların kaya düşmesi olaylarında olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Ormanlık alanlarda ağaç kökleri kayaların kırık ve çatlaklarında ilerleyerek fiziksel olarak parçalanmasına ve dayanımının düşmesine sebep olabiliyorken, aynı zamanda üst kotlardan düşen bir kaya bloğu için ağaçlık alanlar set görevi görmektedir. Diğer bir yandan erozyonun ve ayrışmanın ileri derecede olduğu sahalar kaya düşmesi olaylarına yatkın alanlar olup, seyrek bitki alanları genellikle bu alanlara karşılık etmektedir. Ağaç bakımından yoksun olan bu bölgelerdeki kaya bloklarının ormanlık alanlarda bulunan kayalık alanlara nazaran donma-çözülme, sıcaklık farkları, aşırı yağışlara bağlı yüzey sellenmeleri vb. gibi meteorolojik koşullardan daha fazla etkilendiği düşünülmektedir. CBS ortamında yapılan değerlendirme sonuçları da bu kanıyı doğrular nitelikte olup; kaynak alanların bitki değişim alanları ile seyrek bitki alanlarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Kaynak alanlarının arazi kullanım değerleri ile karşılaştırması sonuç tablosu

Sınıf Adı	**Kaynak Alanlarla Çakışan Piksel Sayısı (KAP)**	**Kaynak Alanlardaki Toplam Piksel Sayısı (KATP)**	**B=KAP/KATP**	**ORAN (%)**
Bitki Değişim Alanları	31642	104100	0.303957733	30
Çıplak Kayalıklar	10138		0.097387128	10
Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları	3301		0.031709894	3
Doğal Çayırlık	11434		0.109836695	11
Geniş Yapraklı Ormanlar	967		0.009289145	1
İğne Yapraklı Ormanlar	3338		0.032065322	3
Karışık Ormanlar	5368		0.051565802	5
Seyrek Bitki Alanları	37912		0.36418828	37

Analiz sonuçlarına göre yoğunluğun en fazla olduğu seyrek bitki alanlarındaki oran değeri %37'dir (Şekil 48).

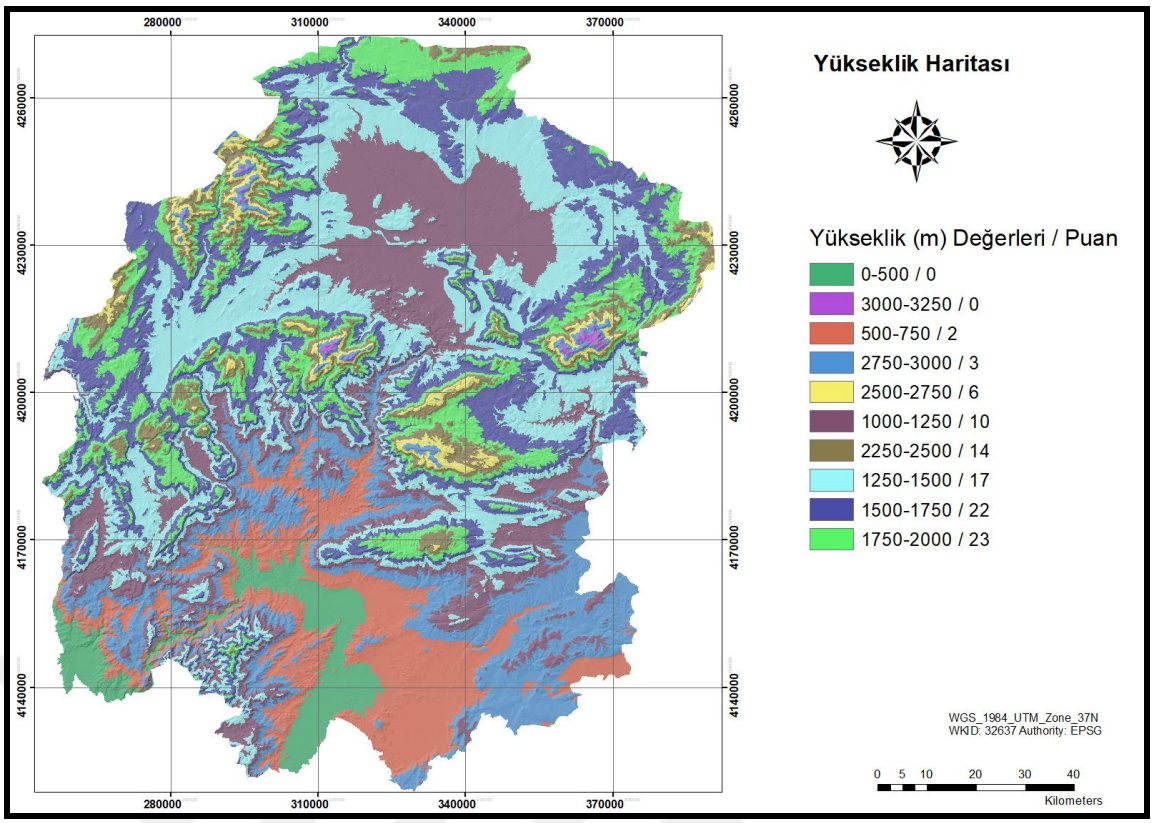


Şekil 48. Arazi kullanım değerlerinin yüzdesel ağırlık grafiği

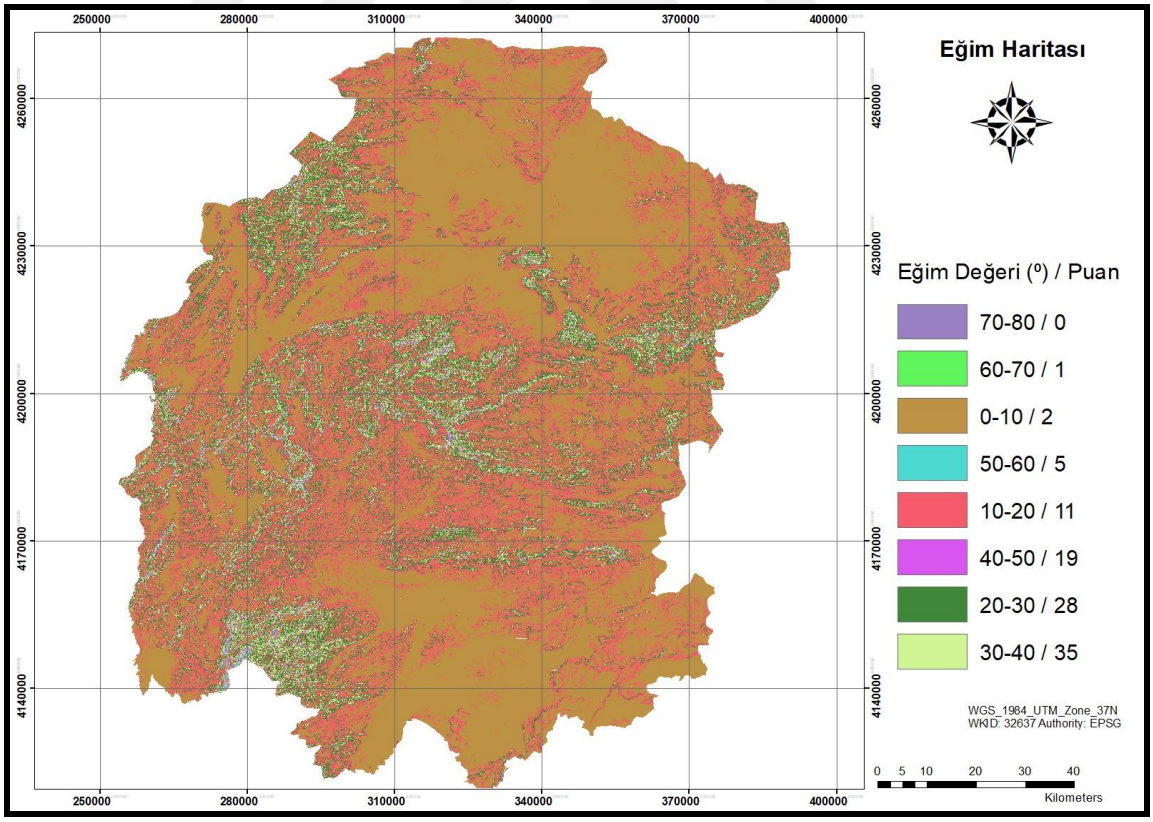
4.4. Yoğunluklarına Göre Yüzde Oran Değerleri Tespit Edilen Parametre Haritalarında Sınıflandırma Yapılması

Bir önceki aşamada dikkate alınan yükseklik, yamaç eğimi, bakı, litoloji ve arazi kullanım parametre haritalarının kaya düşmesi kaynak alanlarına ait veri seti ile karşılaştırması sonucu parametre alt grubundaki yoğunlukları dikkate alınarak yüzde oran değerlerinin tespiti yapılmıştır.

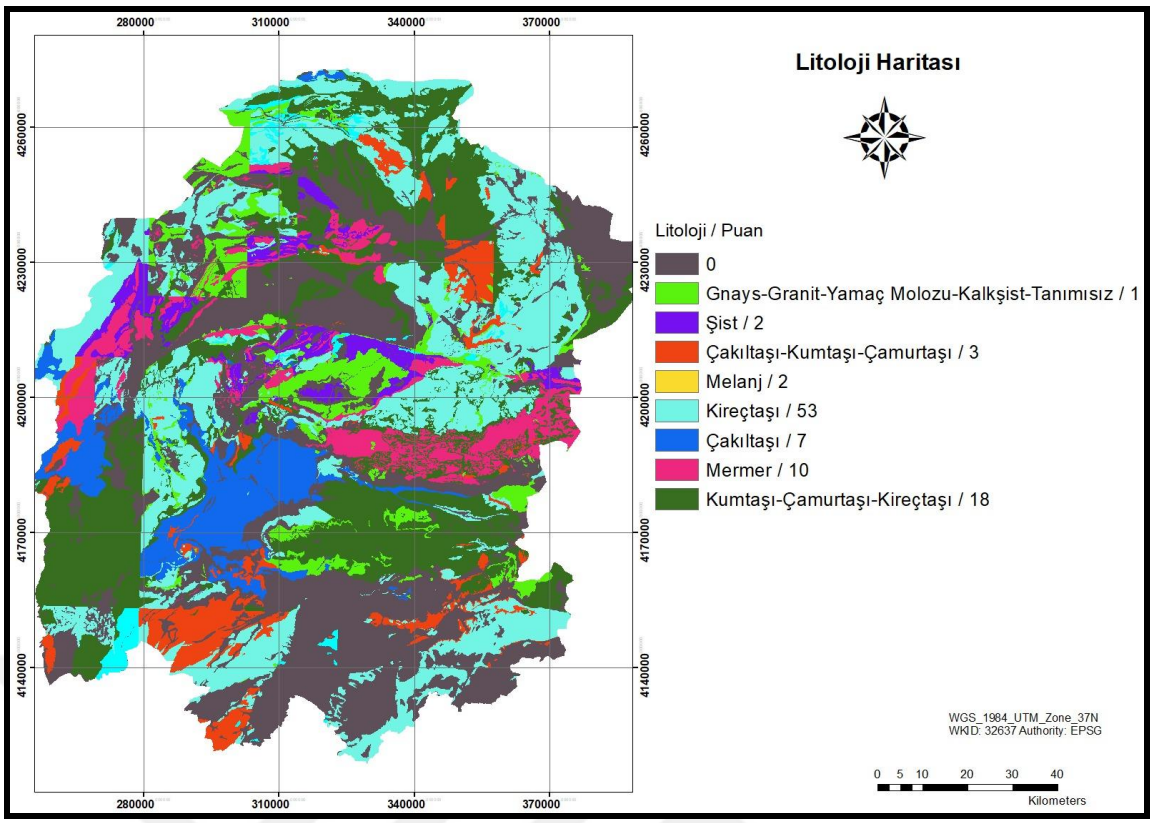
Bu aşamada ise üretilen parametre haritalarının, yüzde oran değerlerine göre yeniden sınıflandırma işlemi yapılmış olup, bu işleme göre puanlandırılmış yeni parametre haritaları elde edilmiştir. Her bir parametre için, CBS yazılımının ArcToolbox/Spatial Analyst/Reclass/Reclassify modülü kullanılarak ilgili puanlar, parametre alt sınıflarına atanmıştır. Analizler sonucu elde edilen sınıflandırılmış puanlama haritaları, Şekil 49 ile Şekil 53 arasında sunulmuştur.



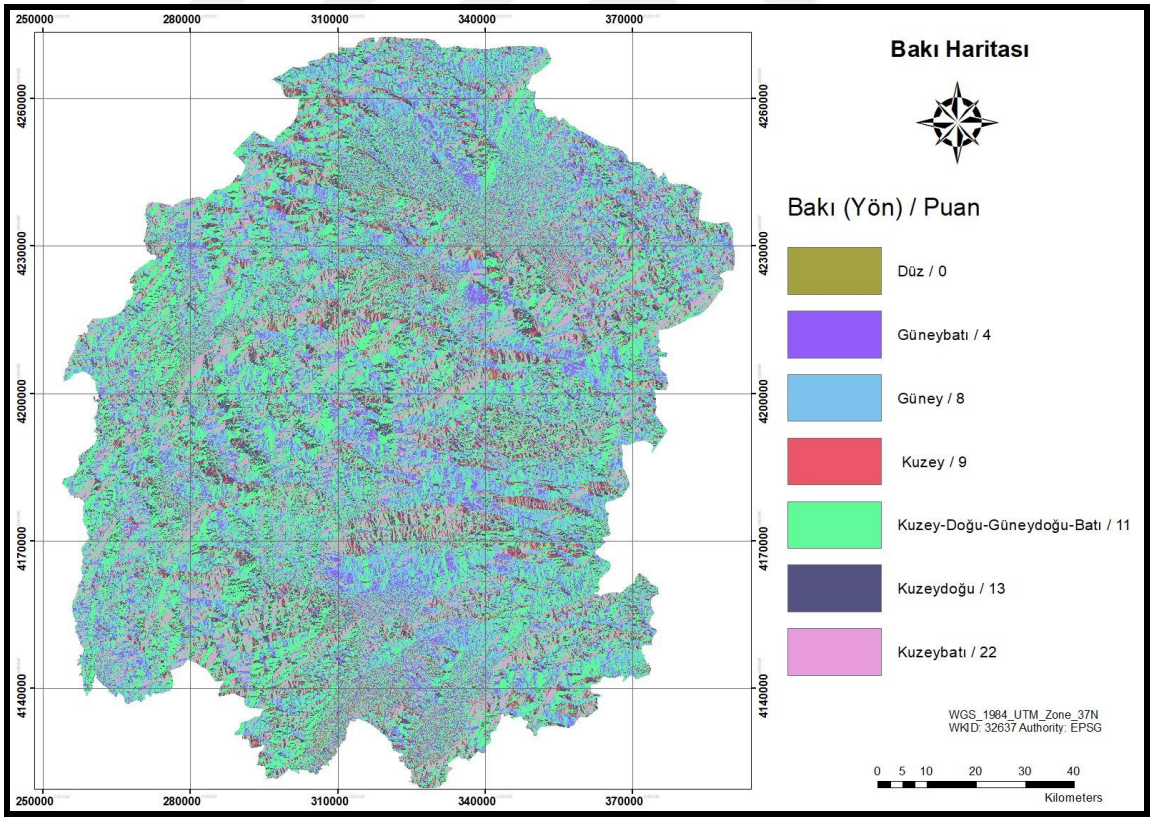
Şekil 49. Puanlandırılmış yükseklik haritası



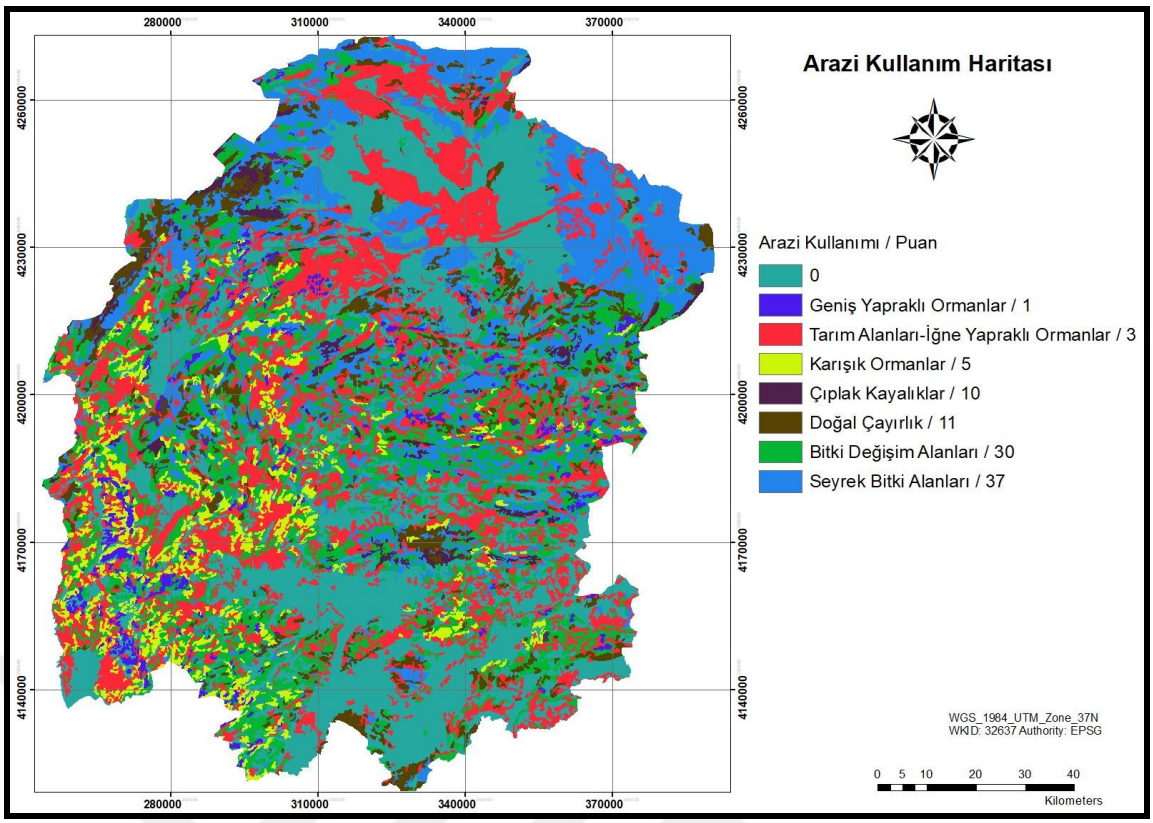
Şekil 50. Puanlandırılmış eğim haritası



Şekil 51. Puanlandırılmış litoloji haritası



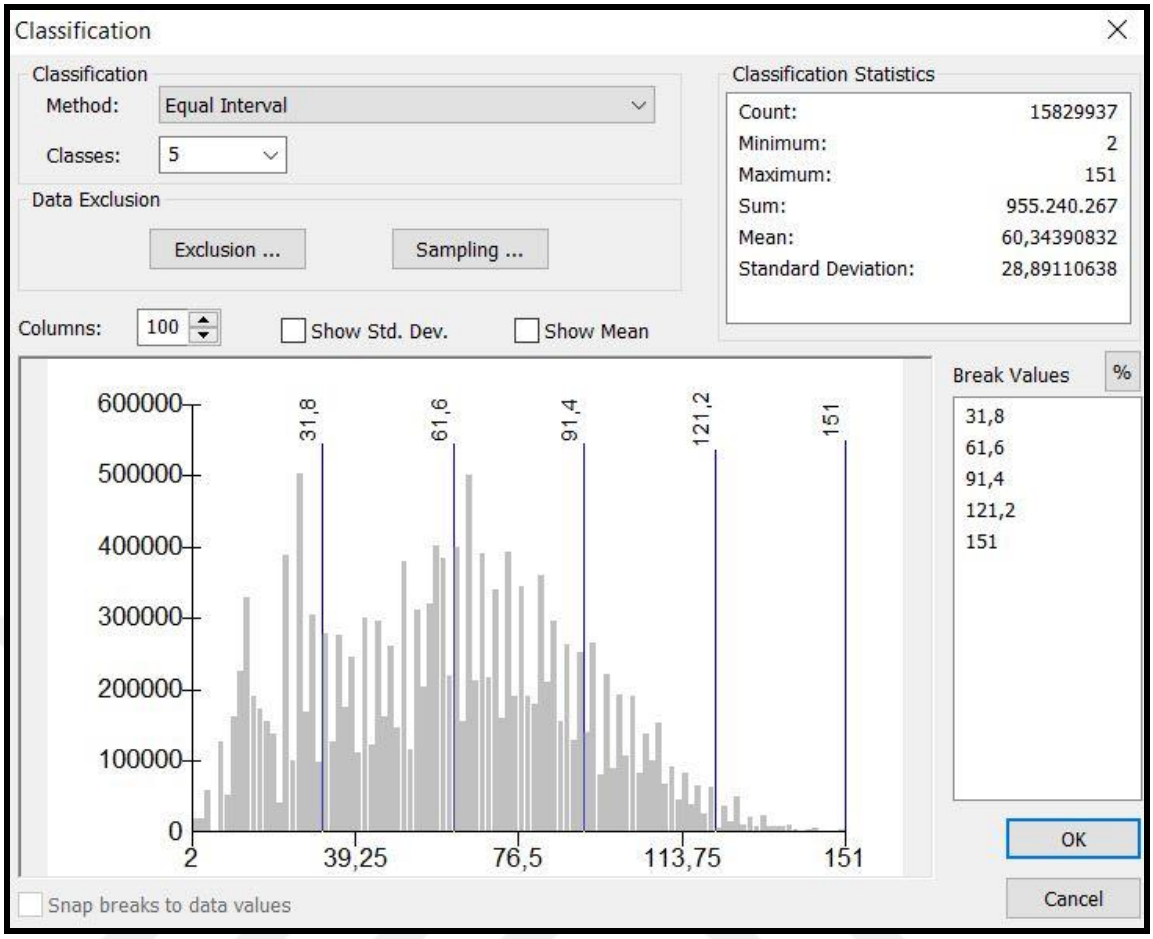
Şekil 52. Puanlandırılmış bakı haritası



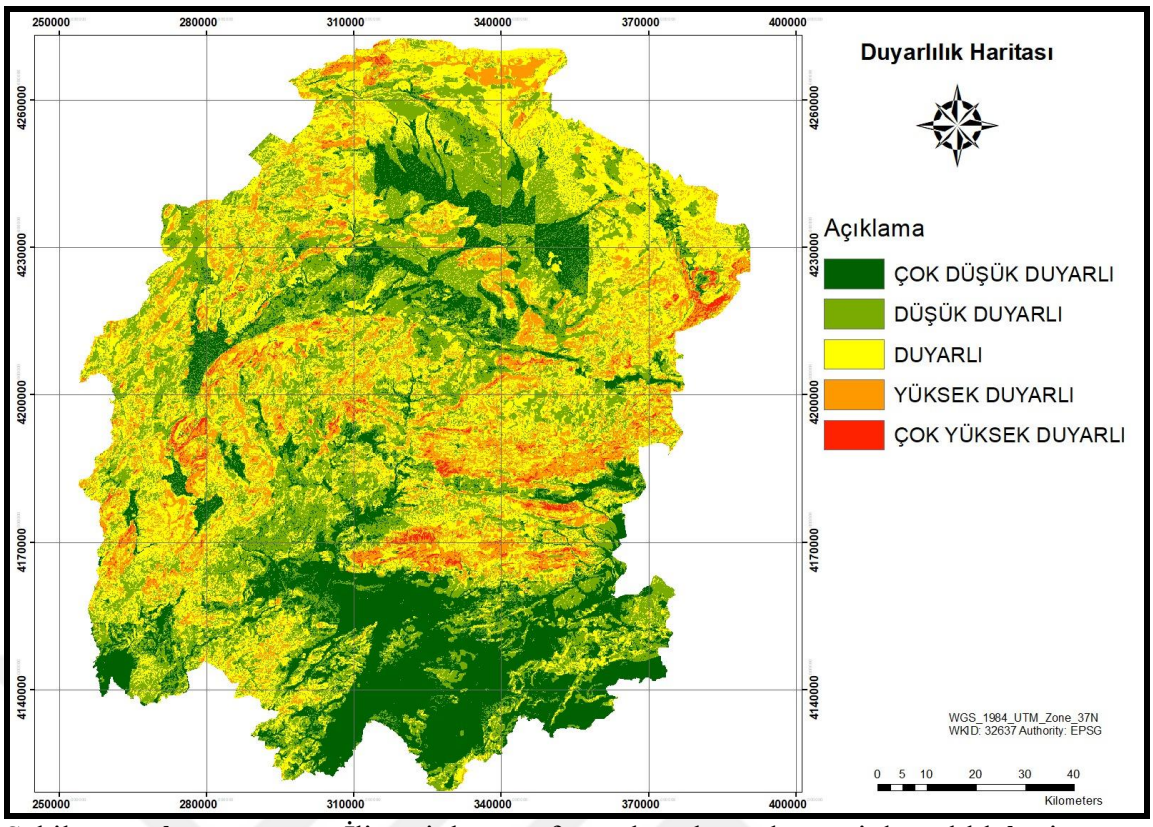
Şekil 53. Puanlandırılmış arazi kullanım haritası

Yoğunluklarına göre elde edilen oransal değerlerden üretilen yeni parametre haritaları, CBS ortamında gerçekleştirilen aritmetiksel toplama işlemi ile birleştirilmiştir. Böylelikle deprem sırası ve sonrasında meydana gelen kaya düşme olaylarına ait kaynak alanların morfolojik, litolojik ve topoğrafik veriler ile karşılaştırılması sonucu kaya düşmesine en hassas alanların sınıflandırıldığı çıktı haritası elde edilmiştir. Raster Calculator ile elde edilen haritadaki değerler (en düşük: 2 ile en yüksek:151) gözetilerek, "Reclassify" modülü ile yeniden sınıflama işlemi yapılmıştır. Sınıflar arası tanımlama Equal Interval metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu metoda göre sınıf aralıkları; 31, 61, 91, 121 ve151 olarak belirlenmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Sınıf aralıkları tablosu

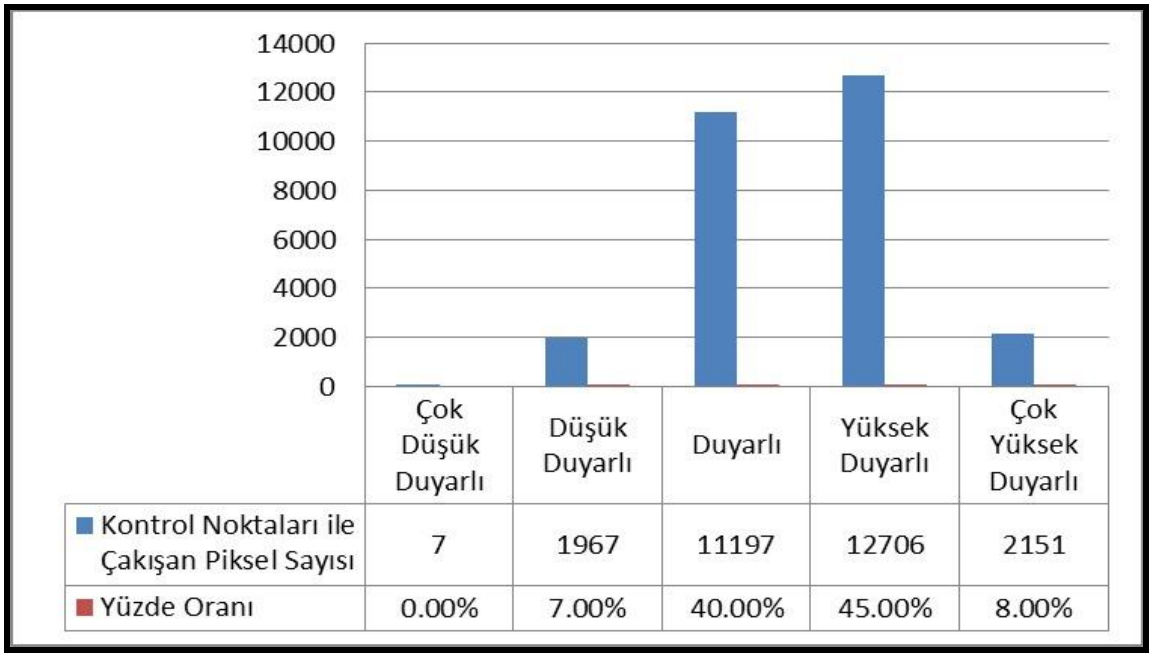


"Çok Düşük" ile "Çok Yüksek" sınıfları arasındaki değişim grupları; "Çok Düşük Duyarlı", "Düşük Duyarlı", "Duyarlı", "Yüksek Duyarlı" ve "Çok Yüksek Duyarlı" olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 54).



Şekil 54. Kahramanmaraş İline ait beş sınıfa ayrılmış kaya düşmesi duyarlılık haritası

Üretilen haritanın performansını analiz etmek için kontrol alanları olarak ayrılan 268 kaya düşmesi lokasyonu (toplam piksel sayısı: 28028) ile duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Kontrol alanlarının % 93'ünün duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda kaldığı belirlenmiştir (Şekil 55).



Şekil 55. Duyarlılık sınıflarına karşılık gelen kontrol alanlarına ait pikseller ve yüzde dağılımları

4.5. Bölgesel Ölçekte Kaynak Kaya Alanlarının Tanımlanması

Saha çalışmaları ile kaya düşmesi kaynak alanlarının bölgesel ölçekte belirlenmesi uygulama noktasında birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bu nedenle literatürde eğim haritalarından yararlanılarak kritik eğim açısı da denilen belli bir eğim açısı hesaplanmakta, bu değer üzeri kaya alanları kaya düşmesi olaylarının meydana gelebileceği potansiyel kaynak alanlar olarak belirlenebilmektedir. Bu işlemi yaparken sayısal arazi modeli haritalarından üretilen eğim haritalarından yararlanılmaktadır. Ayrıca sayısal arazi modeline ait çözünürlük değeri de sınır eğim açısının elde edilmesinde etkili bir diğer faktördür. Bu çalışma kapsamında sayısal arazi modeli 30x30 m çözünürlükte üretilmiş olup, buna göre potansiyel kaynak alanlara ait kritik eğim açısı değeri aşağıdaki Eşitlik 1 ile belirlenmektedir (Dorren, 2003); (Troisi, 2008).

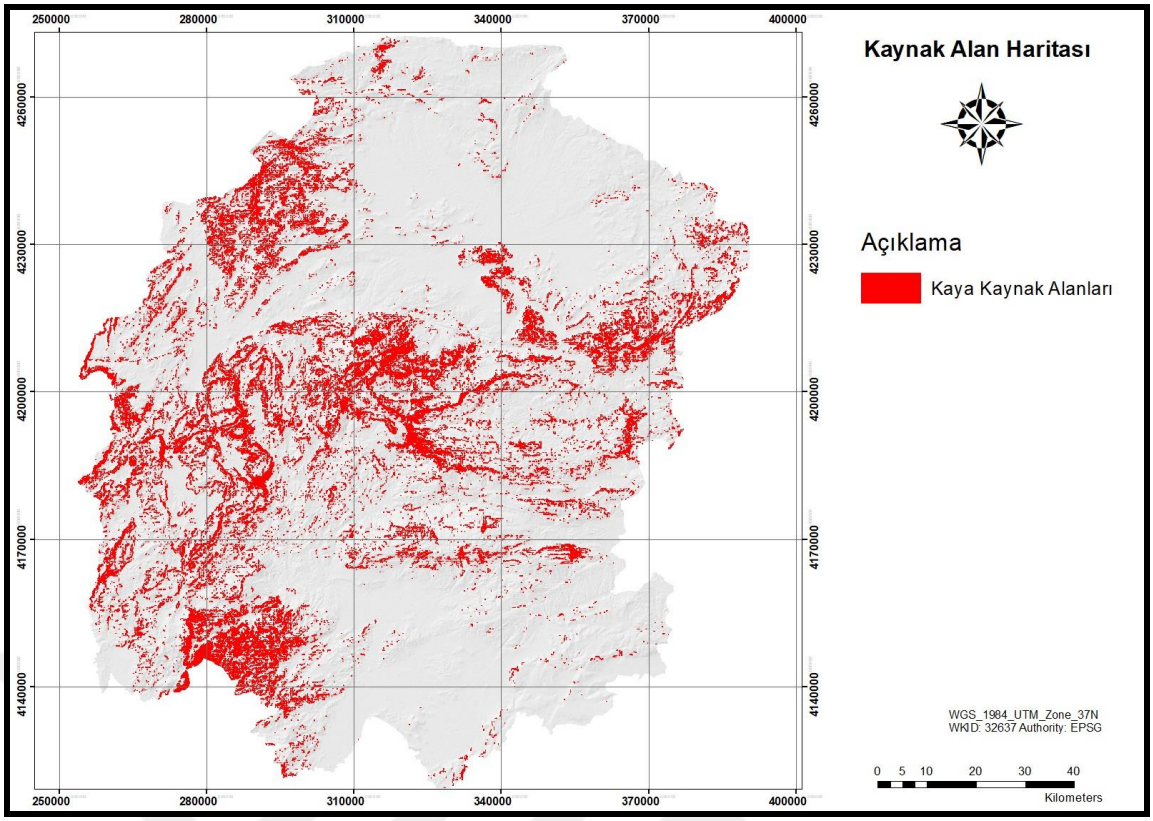
$$\alpha = 55 x RES^{-0.075} \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

Bu eşitlikte:

α : Potansiyel kaynak alanlar için sınır eğim değeri,

RES : Sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğünü ifade etmektedir.

Bu durumda üretilen sayısal arazi modeline göre sınır eğim açısı değeri 42.6 olarak belirlenmiştir. Ancak potansiyel kaynak alanlar için belirlenen bu değer dikkate alındığında, kaya düşmesi yaşanan birçok kaynak alanın, değerlendirme dışı kaldığı görüldüğünden, verilen eşitlikteki bağlantıda elde edilen değer yerine, kaya düşmesi meydana gelen sahaların, eğim değerleri ile korelasyonu sonucu en yoğun yaşandığı değer olan 30-40 aralığı referans olarak alınmış ve sınır eğim açısı değeri 30º olarak kabul edilmiştir. Bu değere göre sayısal arazi modelinden üretilen eğim haritası kullanılarak 30º ve üzeri eğim değerine sahip alanlar potansiyel kaynak alanlar olarak ayırtlanmıştır. Şekil 40'ta gösterilen Kahramanmaraş İline ait kaya düşmesi duraylılık haritası ile 30º eğim değerine göre belirlenmiş potansiyel kaynak alanlar haritasının çakıştırılması sonucunda; yayılım zonlarının tespitinde kullanılacak nihai kaynak alan haritası elde edilmiştir (Şekil 56). Çakıştırma işlemi yapılırken çok düşük ve düşük duyarlılık zonları analize dahil edilmemiş olup, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı alanlar ile işlem yapılmıştır.



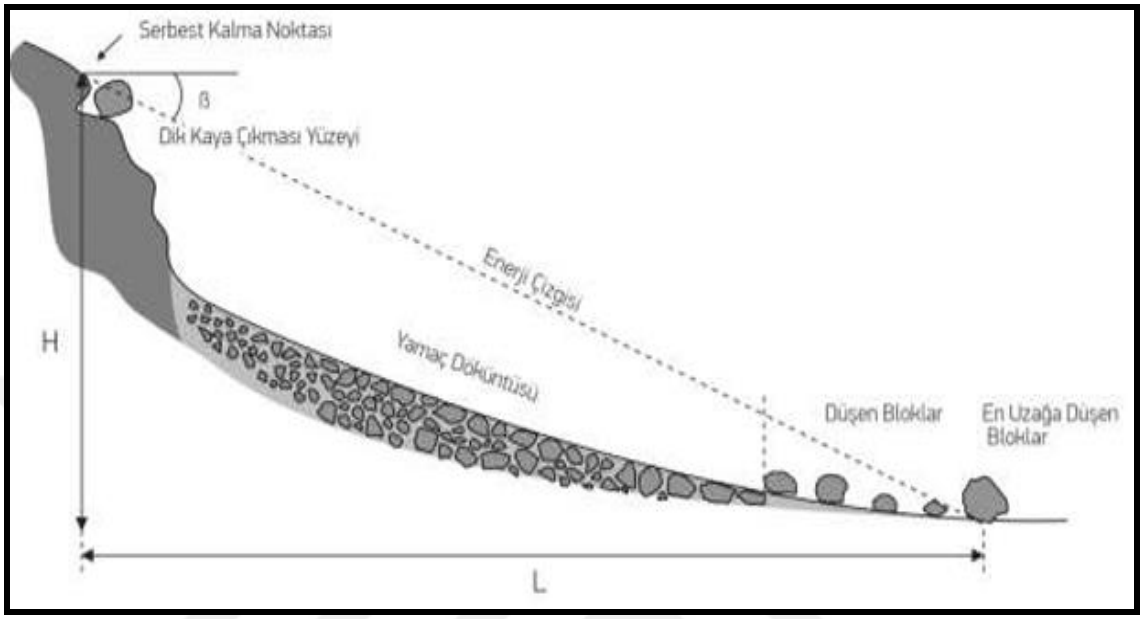
Şekil 56. Nihai kaynak kaya alanı haritası

4.6. Kaya Düşme Yayılma Mesafelerinin Belirlenmesi

Ritchie (1963) düşen bir kaya bloğunun yayılma mesafesinin, kaynak alan özelliklerinden, düşen bloğa ait kaya geometrisinden, düşme hattındaki topoğrafyadan ve kaya kütlesine ait jeomekanik özelliklerden doğrudan etkilendiğini ifade etmiştir. Arazinin kompleks yapısı nedeniyle topografyaya bağlı geometrik ve jeolojik özellikler lokal alanlarda bile farklılık gösterebiliyorken bölgesel alanlarda bu durum oldukça belirgin değişiklikler göstermektedir (Guzzetti vd., 2002). Lokal olarak yapılan kaya düşmesi çalışmalarında sahaya ait topoğrafik ve jeolojik özellikler düşen bloğun hareket mekanizması göz önünde bulundurularak gerçeğe yakın bir şekilde ortaya konulabiliyorken bölgesel çalışmalarda bu durum uygulanabilirlik anlamında birçok problemi beraberinde getirmektedir. Ayrıca 2 boyutlu kaya düşme analizlerinde kaya düşme menzil mesafelerinin tespiti yapılırken belirli profil hatları üzerinde yanal yayılım göz ardı edilmektedir (Kalender, 2017). Bu nedenle bölgesel çalışmalarda daha az sayıdaki veri girdisine ihtiyaç duyan ampirik yaklaşımlar sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır (Larcher vd., 2012). Bölgesel bir alan için yapılan çalışmayı ele alan bu tez çalışmasında da ampirik yaklaşımlardan yararlanılmış olup, konik yayılım açılarına göre menzil mesafelerinin belirlenmesinde önerilen "Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)" ve "Gölge Açısı (Shadow Angle)" kavramları aşağıda açıklanmıştır.

4.6.1. Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)

Enerji çizgi açısı, kaynak alan noktasındaki kaya bloğunun, düşme sırasındaki serbest kalma noktası ile enerjisini kaybederek durduğu son nokta arasındaki doğrunun eğimidir (Şekil 57).



Şekil 57.Enerji çizgi açısı kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek)

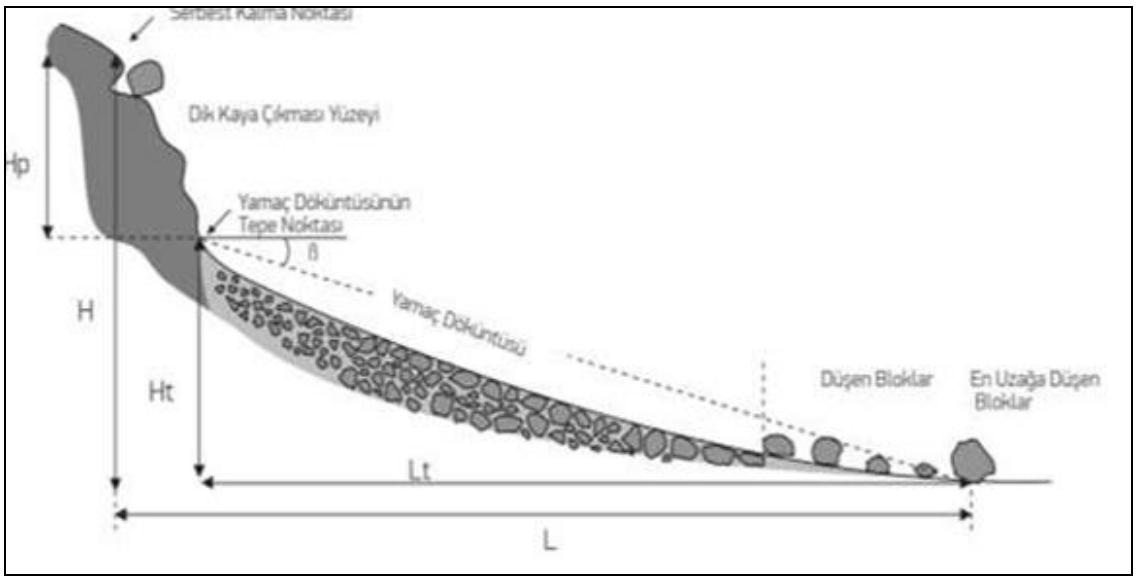
Larcher vd., (2012) Fransa Kuzey alplerinde yapmış olduğu incelemelerde farklı enerji çizgisi açılarında maksimum menzil mesafelerine ulaşmış kaya bloklarını yayılım zonundaki yoğunluğuna göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflamayı RockforLIN yazılımına da dahil etmişlerdir (Tablo 11).

Tablo 11. Farklı Enerji Çizgi Açılarındaki yayılım olasılığı sınıflaması (Larcher vd., 2012)

Enerji çizgi açısı sınırı değeri (º)	**Kaya düşmelerinin yayılım olasılığı**	**Yayılım zonundan geçen oran (%)**
38º	YÜKSEK	65 ve üzeri
35 ≤ X < 38	ORTA	40 - 65
32 ≤ X < 35	DÜŞÜK	20 - 40
28 ≤ X < 32	ÇOK DÜŞÜK	4 - 20

4.6.2. Gölge açısı (Shadow Angle)

Gölge açısı kavramı, enerji çizgi açısından farklı olarak kaya bloğunun serbest kaldığı nokta yerine kaynak şevinden düşerek çarptığı ilk nokta ile enerjisini kaybederek durduğu nokta arasındaki doğrunun yatayla yaptığı açı değeridir (Şekil 58).



Şekil 58. Gölge Açısı kavramı (Capons vd., 2009'dan değiştirilerek)

4.7. Üç Boyutlu Analizler ile Menzil Mesafelerinin Belirlenmesi

Ampirik yöntemlerin uygulamadaki pratikliği önemli bir özellik olsa da özellikle enerji çizgi açısındaki değer aralığının geniş olması kullanımda birtakım belirsizlikler meydana getirmektedir. Bu belirsizliğin ortadan kaldırılması için kaya düşmesinin yaşandığı 20 lokasyonda 64 kaynak alan hattı belirlenerek 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır (Şekil 59), (Tablo 12). Bu analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda; kaya bloklarının maksimum menzil mesafeleri ile kaya düşmesinin yoğun yaşandığı durma noktaları göz önünde bulundurularak enerji çizgi açılarının tespiti yapılmıştır. Bölgesel ölçekli çalışmaya altlık olarak kullanılmak istenen 3B analizlerde uygulama pratiği açısından bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabulleri gerekçeleri ile sıralamak gerekirse;

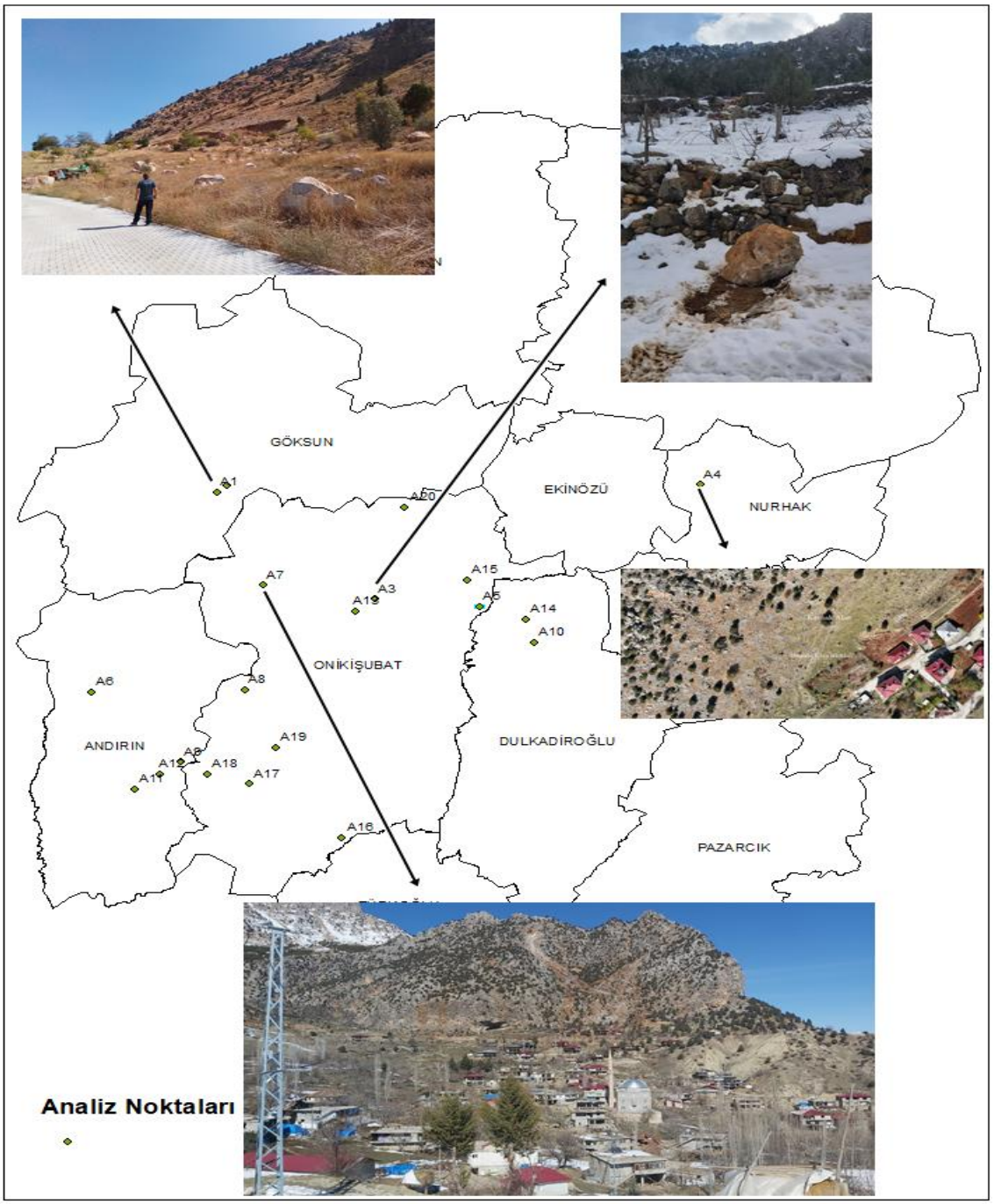
Kaya düşmelerinin yaşandığı kış dönemi, Kahramanmaraş İl genelinde yoğun kar örtüsünün bulunduğu zaman dilimine denk geldiğinden, blok hareketlerinin menzil mesafelerinin, kurak döneme göre daha düşük seviyelerde kalması ve analiz yapılan alanların genelinde kaya bloklarının hareket ettiği yamaç yüzeyinin bitki örtüsü ile kaplı yamaç molozu birimi olması nedeniyle tüm analizlerde aynı geri verme kat sayıları kullanılmıştır. Bunun için; Rn:0.40, Rt:0,85 (±%8) değerleri kullanılmıştır (Rocscience, Coefficient of Restitution Table). Ayrıca sürtünme katsayısı değeri ise geri verme katsayılarına yönelik programın otomatik olarak hesapladığı bir değer olup, k: 0.55 olarak hesaplanmıştır.

Arazi etütlerinde bir alanda çok farklı boyutlardaki kaya bloklarının aynı alanda depolanabildiği ya da farklı noktalarda durduğu gözlemlendiğinden analizlerde tek bir hacim değeri yerine, düşen kaya bloklarının referans alındığı blok hacmi değerinin en az

%50 aşağı ve yukarı değerleri kullanılarak, aynı hat içerisindeki farklı boyutlardaki kaya bloklarının analize dâhil edilmesi sağlanmıştır.

Saha çalışmalarında yapılan gözlemlerde kaya bloğunun şev ya da yamacın herhangi bir yerinden kopabileceği tespit edildiğinden, analiz noktalarındaki kaynak alanları tanımlayıcı özellikte, birden çok kaynak alan hattı tayini yapılmıştır.

Analizlerde sayısal arazi modeli kullanıldığından topografyaya bağlı enerji çizgi açıları elde edilmiş olup; yayılım mesafesine doğrudan etki edecek olan ormanlık alanlar, insan eli ile yapılmış yapı unsurları analize dâhil edilmemiştir.



Şekil 59. Üç boyutlu analiz noktalarının noktasal konumlarını gösterir kroki

Tablo 12. Analiz noktalarına ait koordinat bilgileri

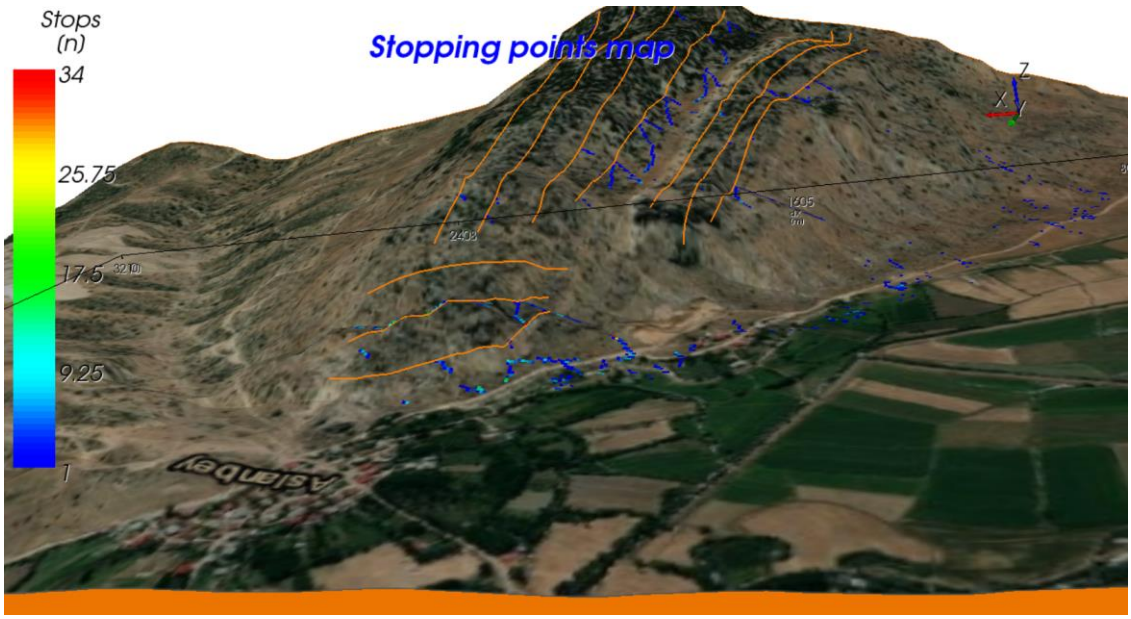
ANALİZ NOKTASI	X	Y
A1	282519,9369	4207549,9519
A2	283874,6063	4208650,6207
A3	304870,8485	4189183,0618
A4	351061,5251	4208775,7432
A5	319740,4615	4187862,7883
A6	264728,9786	4173200,8736
A7	289074,4863	4191531,5082
A8	286513,4154	4173559,1013
A9	277373,9705	4161189,1190
A10	327574,3487	4181695,7794
A11	270865,2075	4156558,9014
A12	274437,0896	4159045,9897
A13	302235,5932	4187119,3077
A14	326410,1797	4185638,0790
A15	318073,5832	4192373,9432
A16	300252,9649	4148182,6031
A17	287004,8232	4157432,0281
A18	281131,0614	4159098,9065
A19	290814,8308	4163676,2073
A20	309164,4896	4204905,4380

4.7.1. A1 Analiz Noktası Aslanbey Mevkii

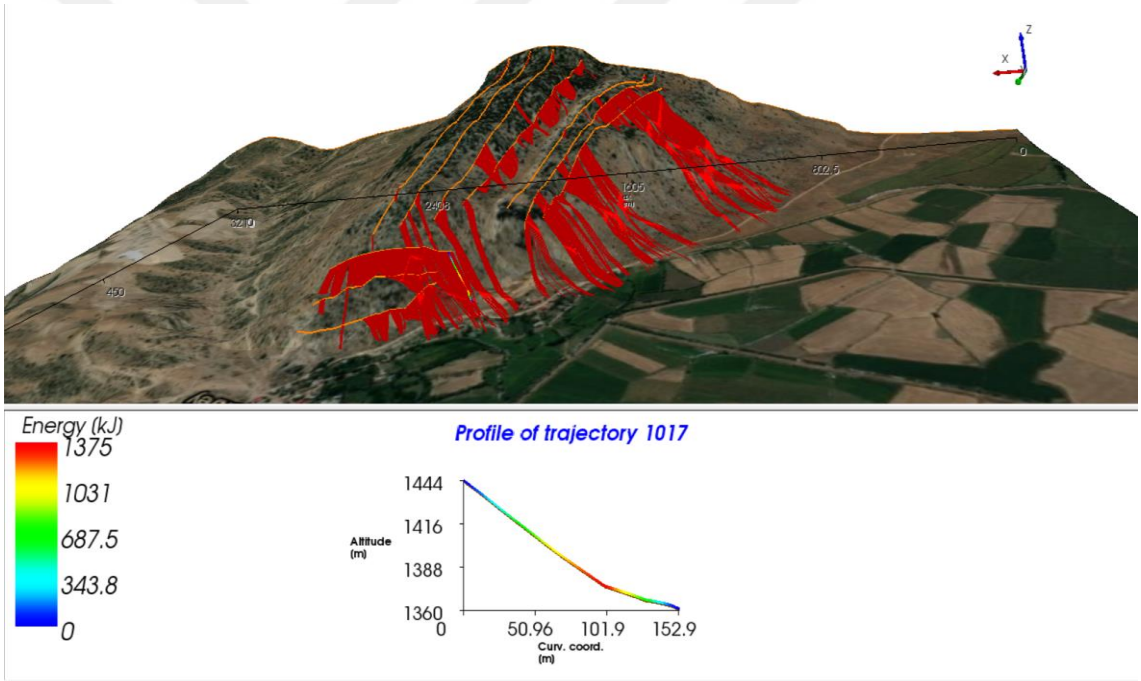
Aslanbey Mevkii, Kahramanmaraş İli Göksun İlçesinde bulunmaktadır (Şekil 60). A1 analiz sahası için 10 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta düşebilir 500 adet kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 2,094 m^3 - 6,283 m^3 aralığı arasındaki değerler blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

Şekil 60. A1 analiz noktası düşen kaya blokları ve kaya kaynak alanı Aslanbey, Göksun

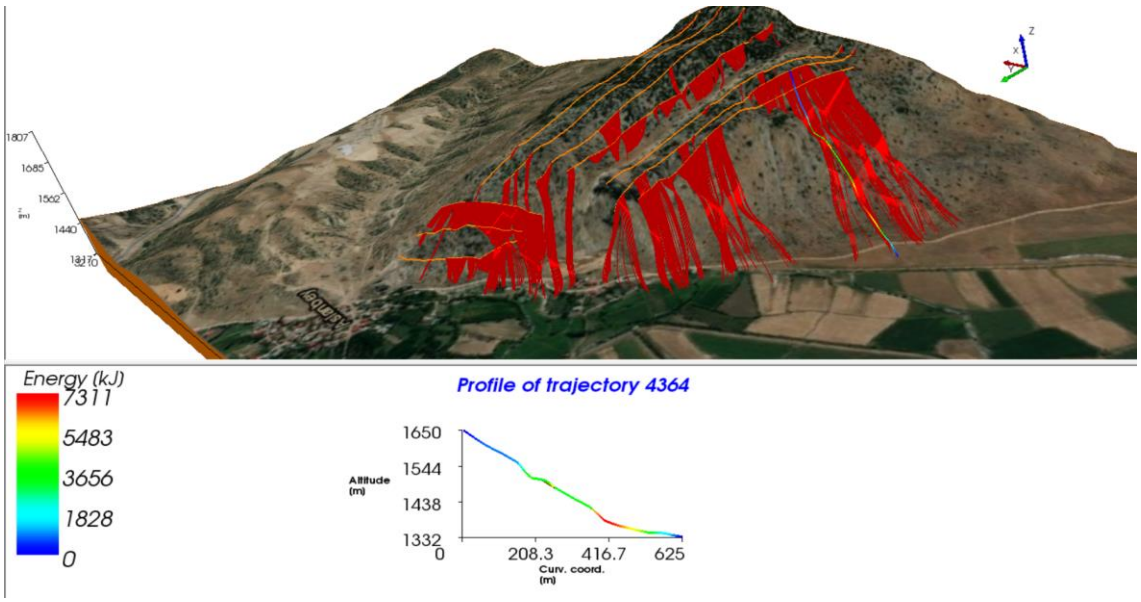
Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 61). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 153 m (Şekil 62), 2 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29º, maksimum menzil mesafesinin 625 m (Şekil 63), 8 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 27.1º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 61. A1 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 62. A1 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



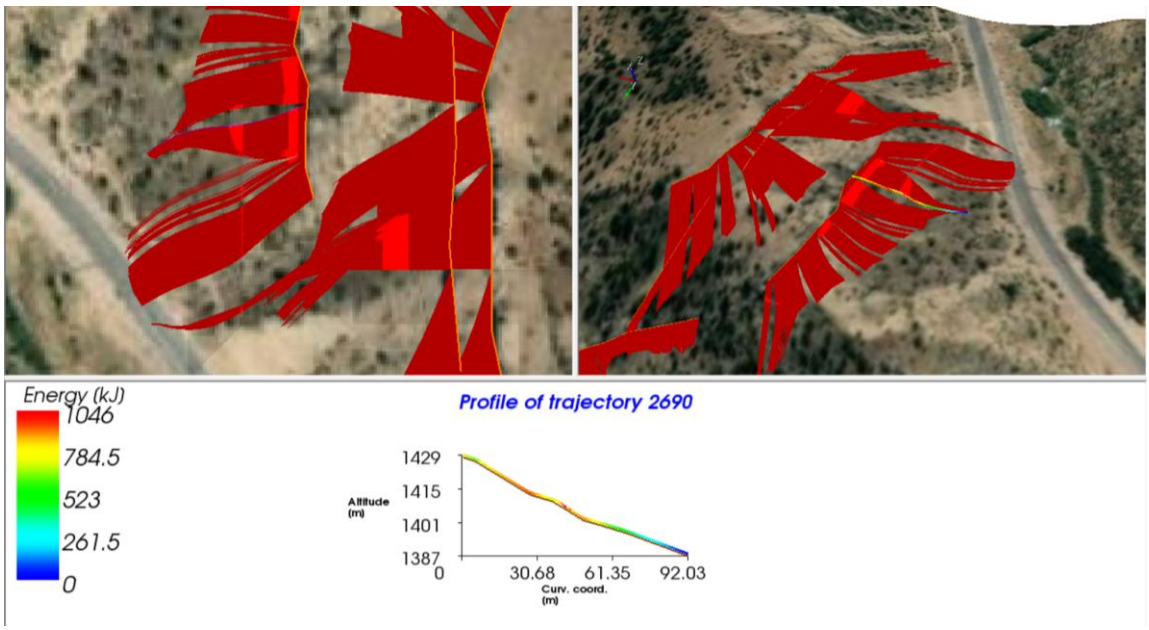
Şekil 63. A1 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.2. A2 Analiz Noktası Aslanbey Çiftliği Mevkii

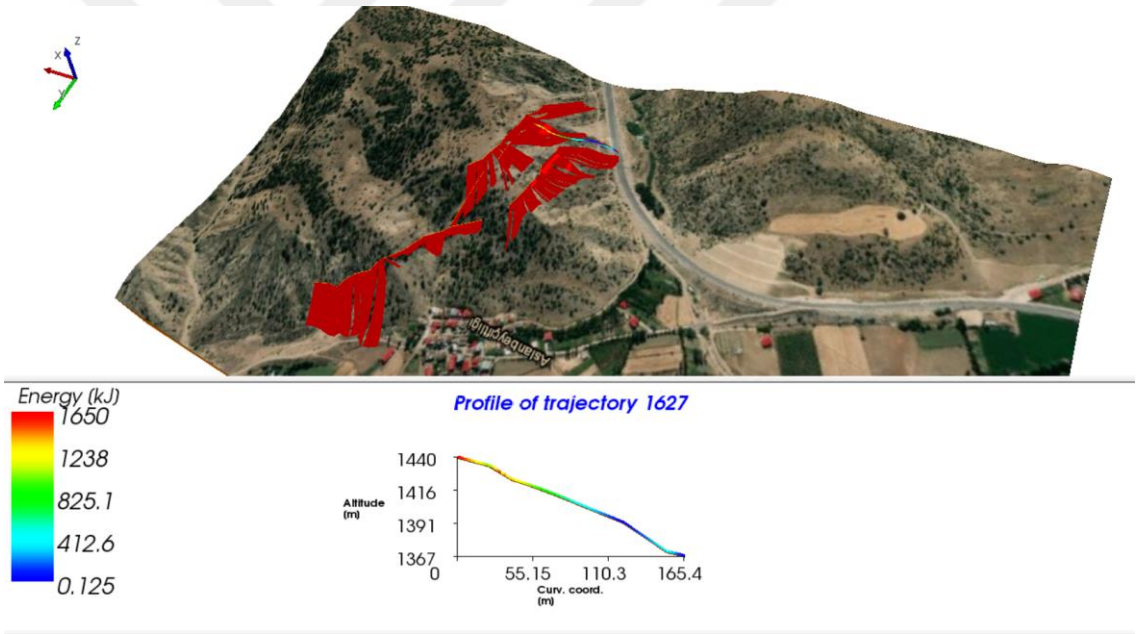
Aslanbey Çiftliği Mevkii, Kahramanmaraş İli Göksun İlçesinde bulunmaktadır. A2 analiz sahası için 6 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta düşebilir 1000 adet kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 4,091 m³ - 12,27 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 64). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 92.03 m (Şekil 65), 2 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 24.5º, maksimum menzil mesafesinin 165.4 m (Şekil 66), 6 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 24º olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 64. A2 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 65. A2 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



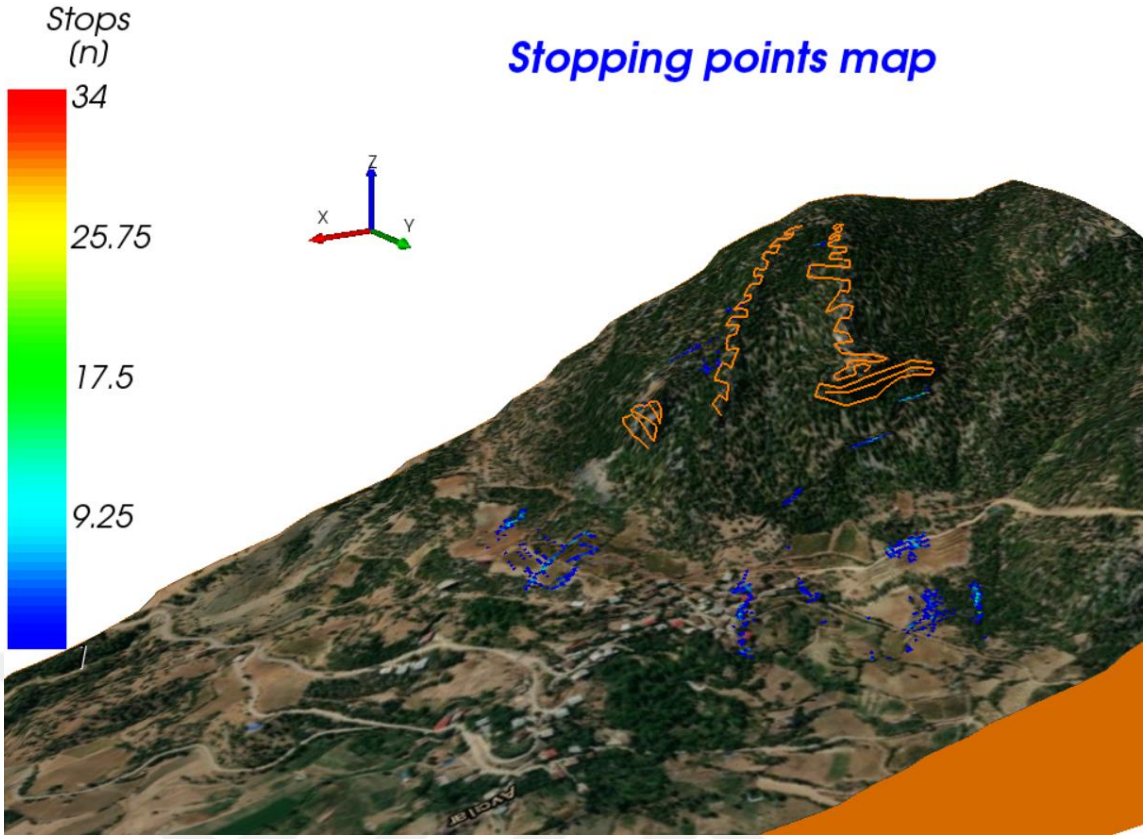
Şekil 66. A2 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.3. A3 Analiz Noktası Avcılar Mevkii

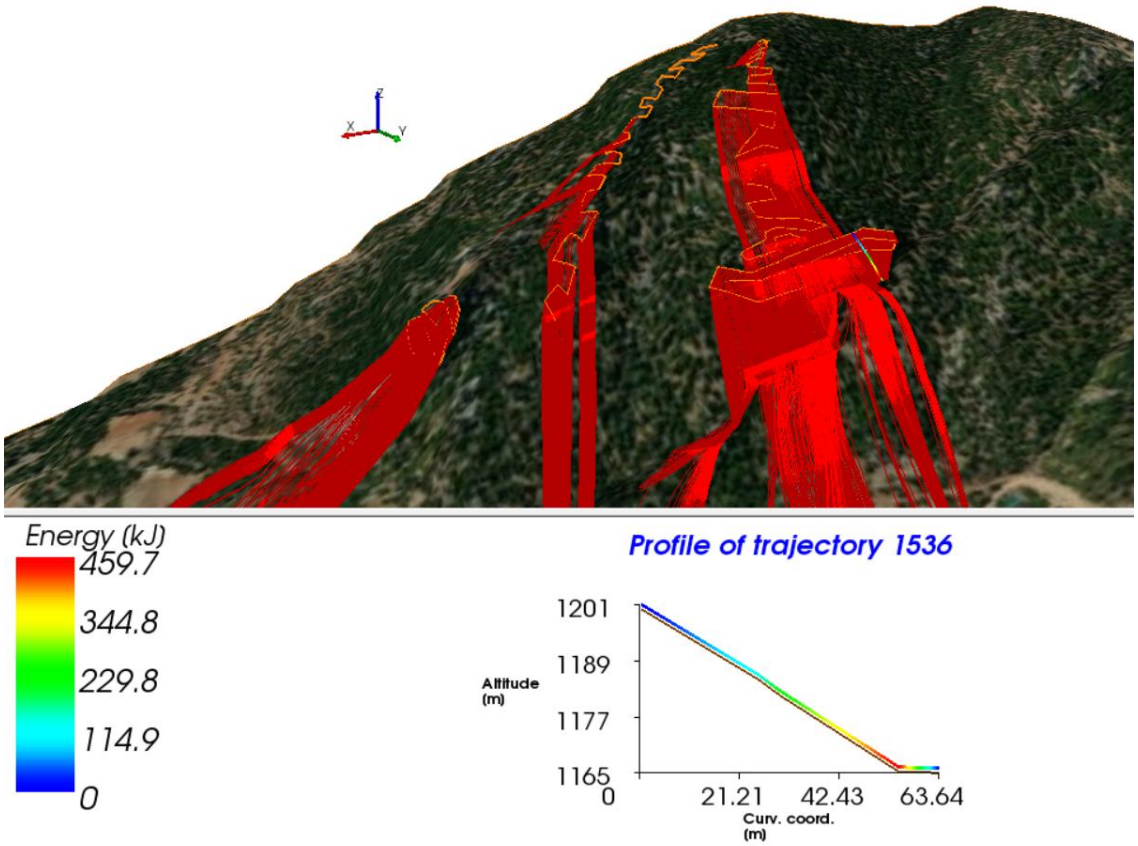
Avcılar Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır (Şekil 67). A3 analiz sahası için 4 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 500 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 2,094 m³ - 6,283 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

Şekil 67. A3 analiz noktası düşen bloklar Avcılar, Onikişubat

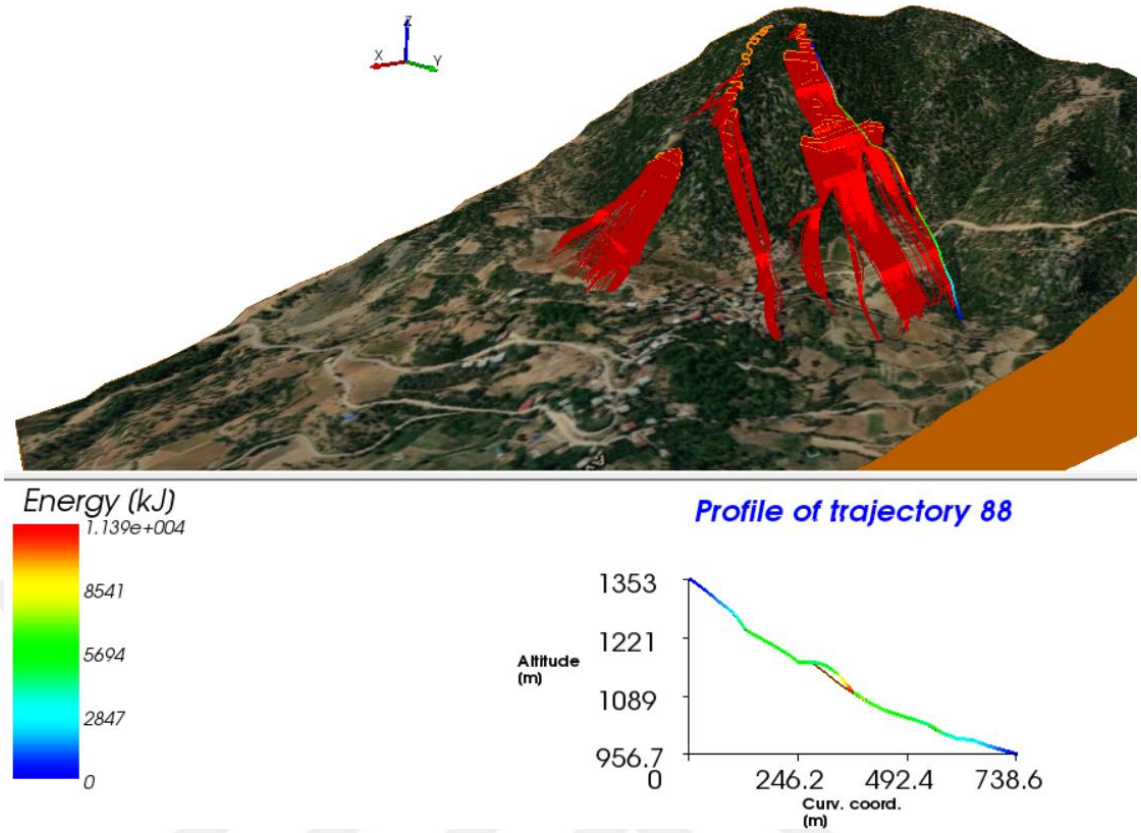
Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 68). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 63.64 m (Şekil 69), 3 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29.5º, maksimum menzil mesafesinin 738.6 m (Şekil 70), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 28.2º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 68. A3 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 69. A3 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



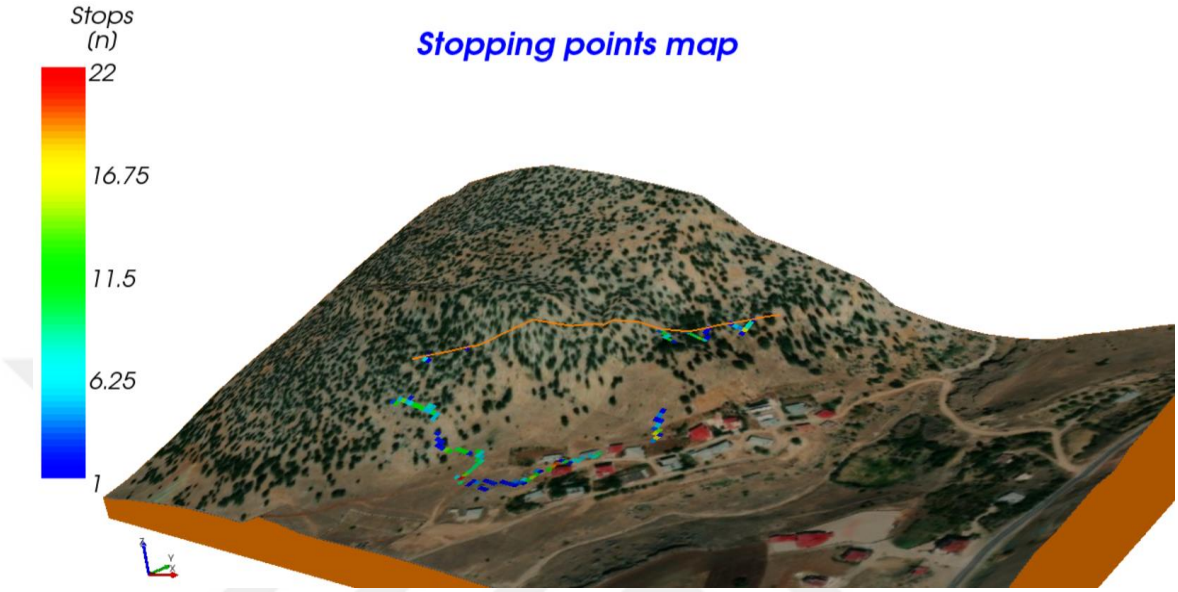
Şekil 70. A3 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.4. A4 Analiz Sahası Barış Mevkii

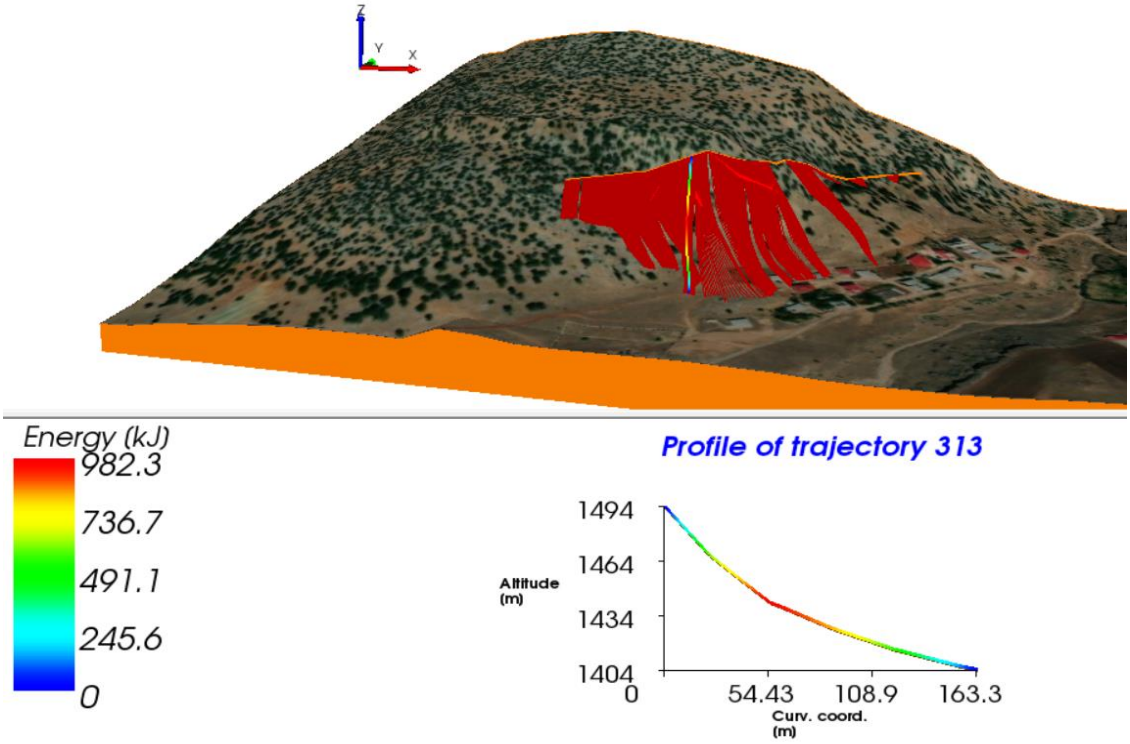
Barış Mevkii, Kahramanmaraş İli Nurhak İlçesinde bulunmaktadır (Şekil 71). A4 analiz sahası için 1 adet hat belirlenmiştir. Belirlenen hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 0,884 m³ - 2,651 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

Şekil 71. A4 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Barış, Nurhak

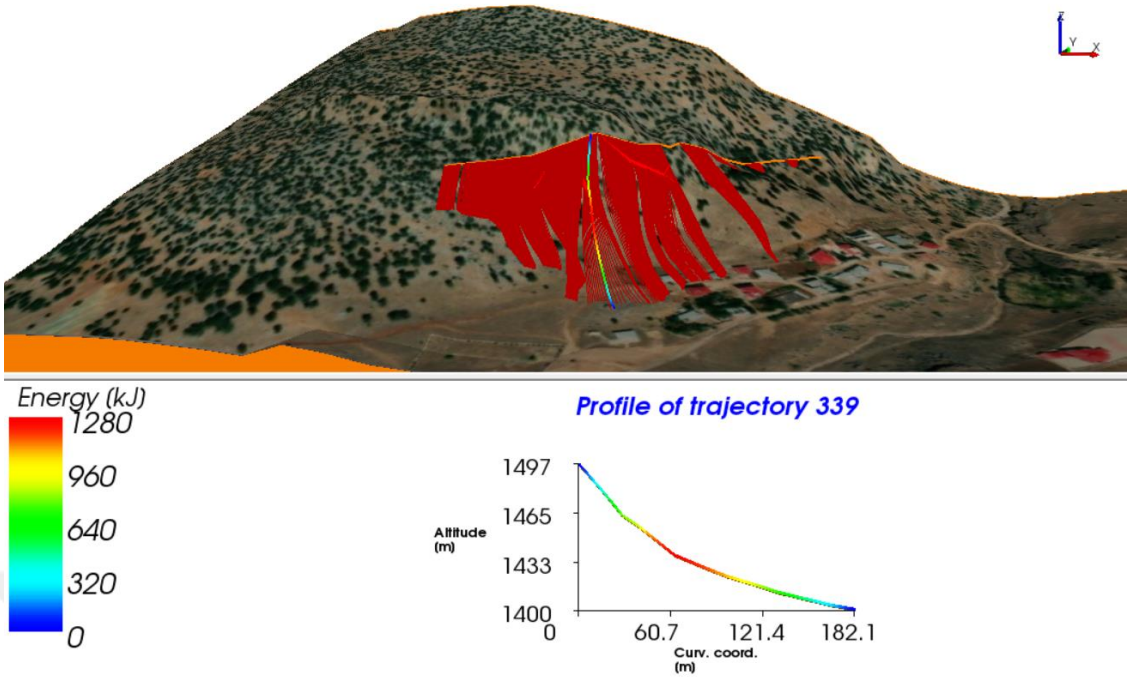
Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 72). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 163.3 m (Şekil 73), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29º, maksimum menzil mesafesinin 182.1 m (Şekil 74), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 28º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 72. A4 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



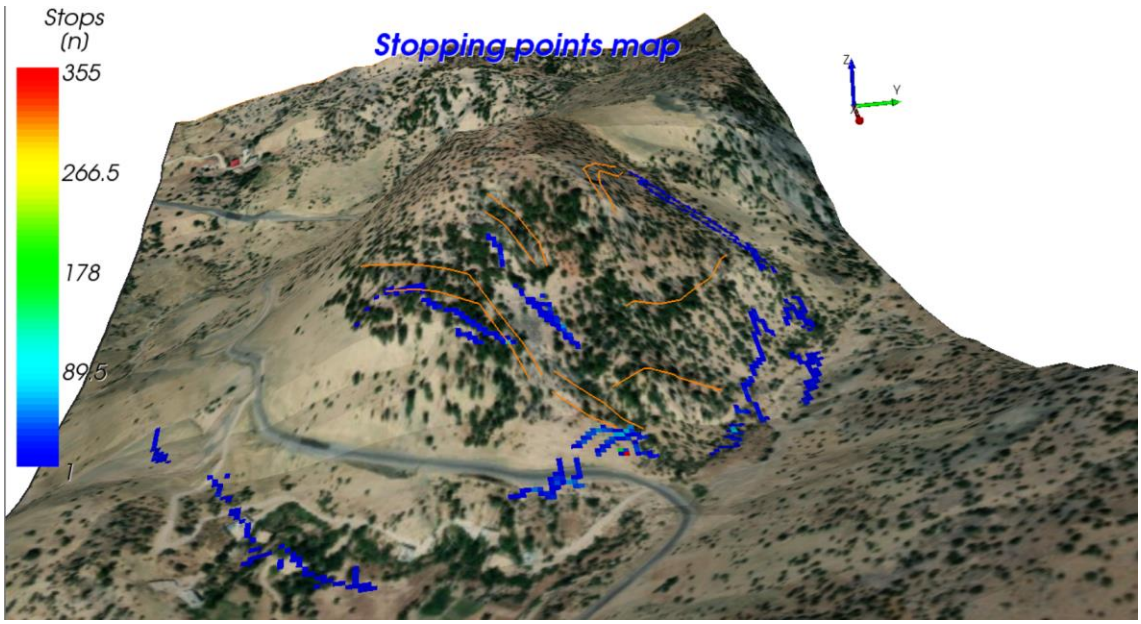
Şekil 73. A4 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



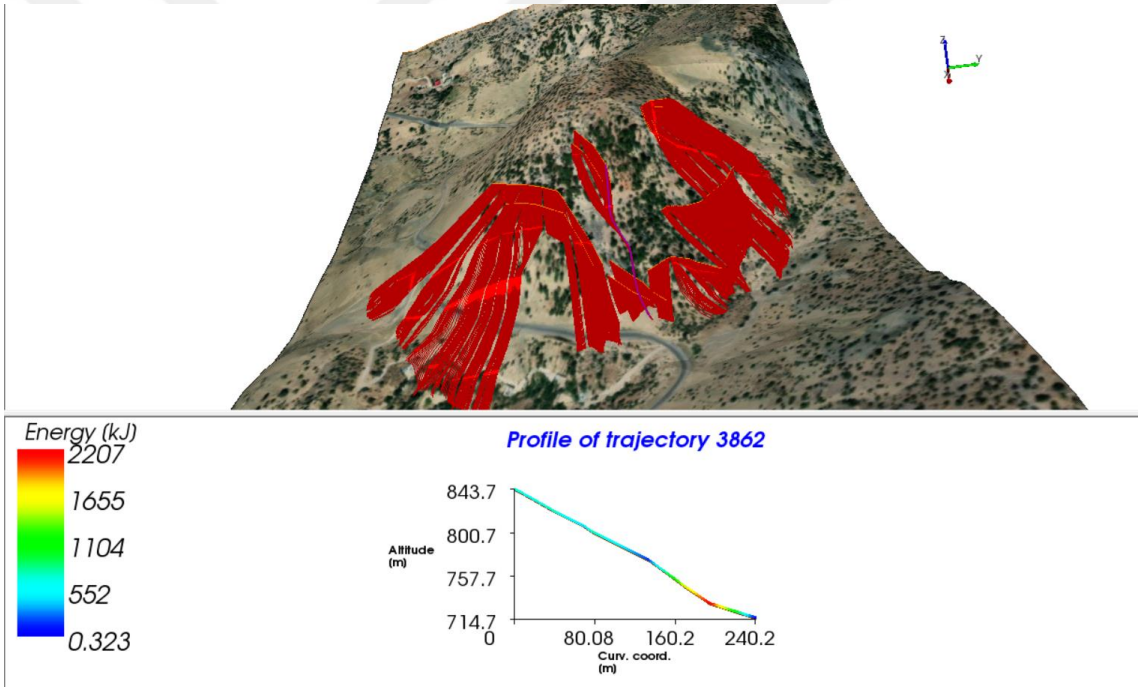
Şekil 74. A4 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.5. A5 Analiz Sahası Beşenli Türközü Mevkii

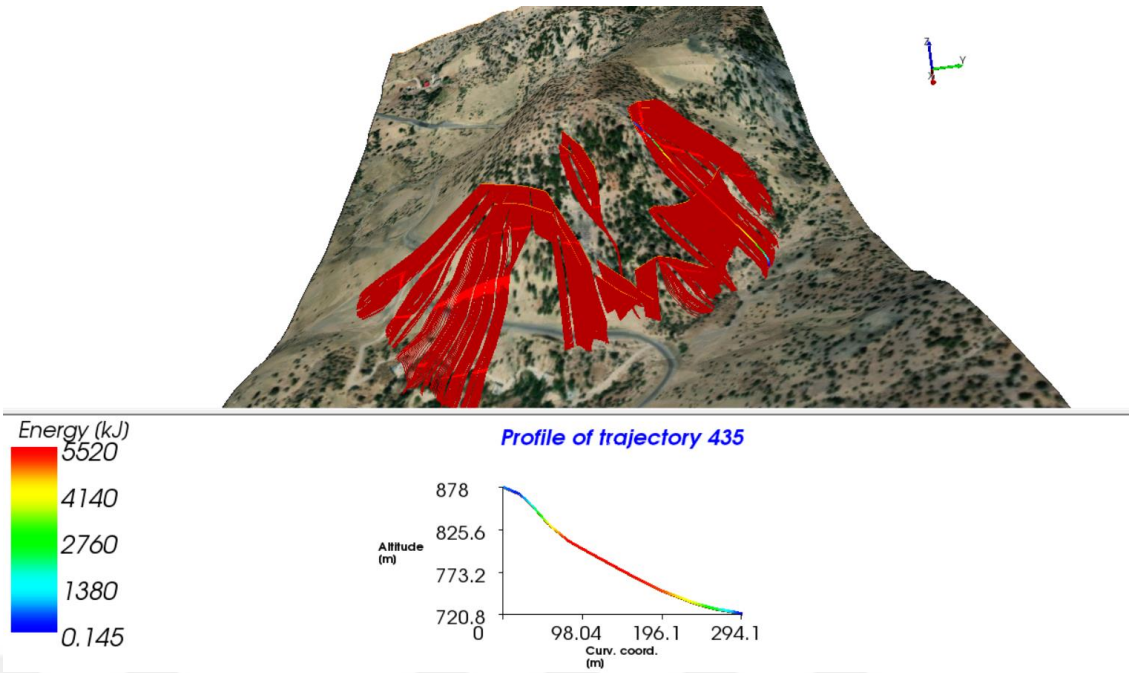
Beşenli Türközü Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A5 analiz sahası için 10 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 500 adet 10 Nolu hatta ise 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 4,091 m^3 - 12,27 m^3 aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 75). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 240.2 m (Şekil 76), 7 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 28º, maksimum menzil mesafesinin 291.4 m (Şekil 77), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 28º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 75. A5 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



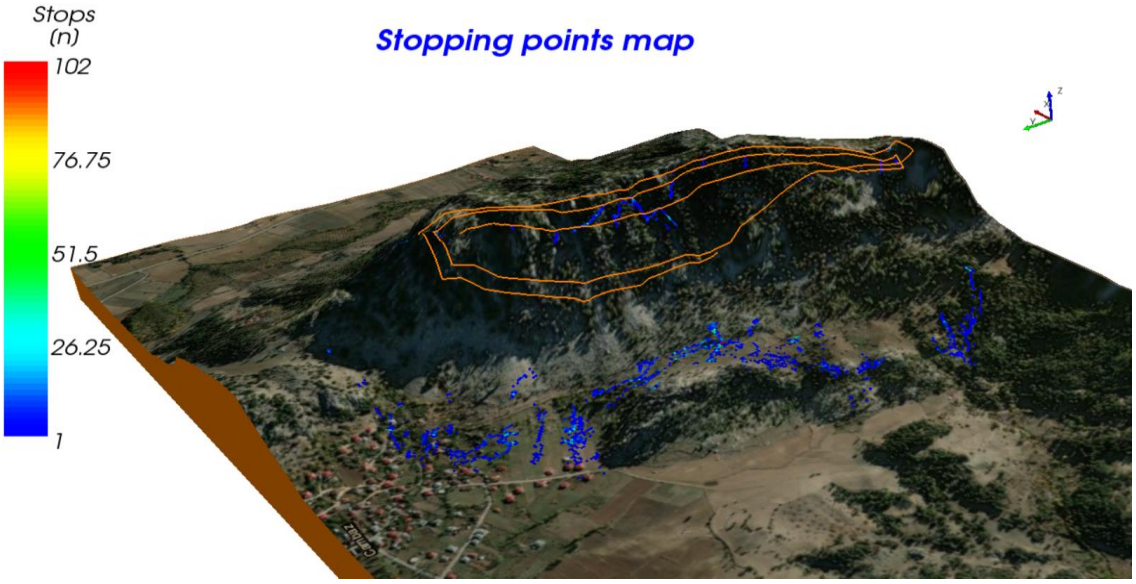
Şekil 76. A5 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



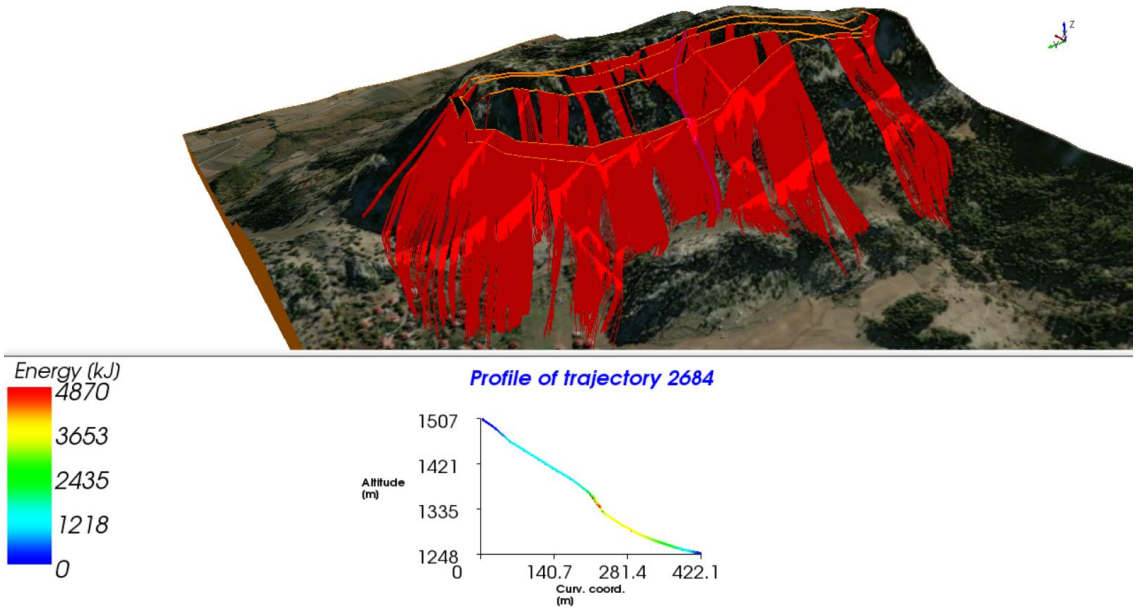
Şekil 77. A5 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.6. A6 Analiz Sahası Cambaz Mevkii

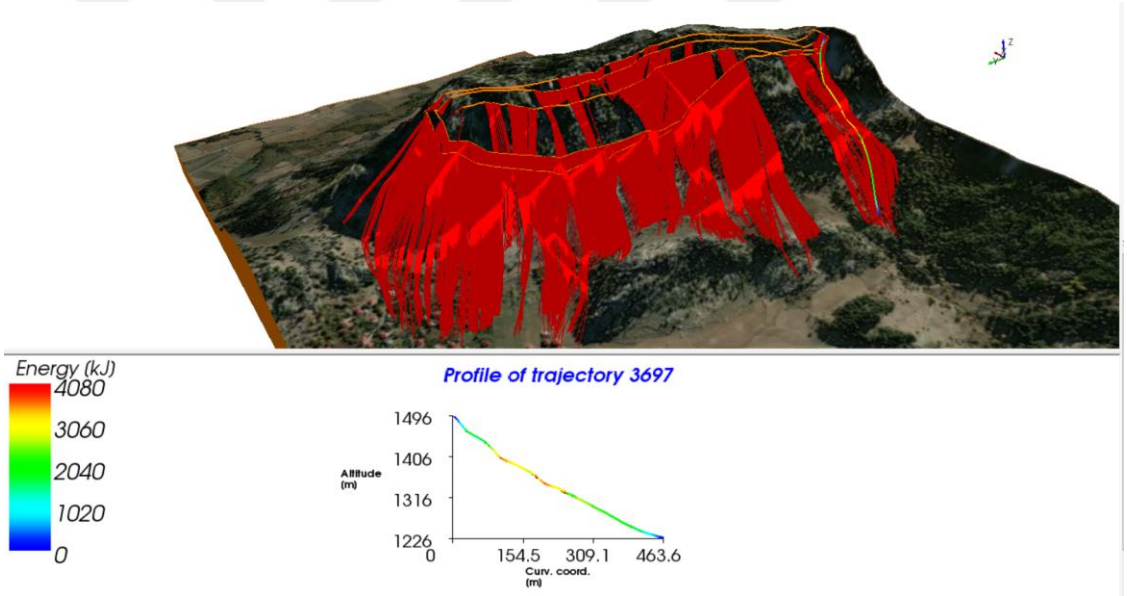
Cambaz Mevkii, Kahramanmaraş İli Andırın İlçesinde bulunmaktadır. A6 analiz sahası için 1 adet hat belirlenmiştir. Belirlenen hat üzerinde 10000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 0,1 m^3 - 8,378 m^3 aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 78). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 422.1 m (Şekil 79), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 31,6, maksimum menzil mesafesinin 463,6 m (Şekil 80), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 30.3º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 78. A6 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 79. A6 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



Şekil 80. A6 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

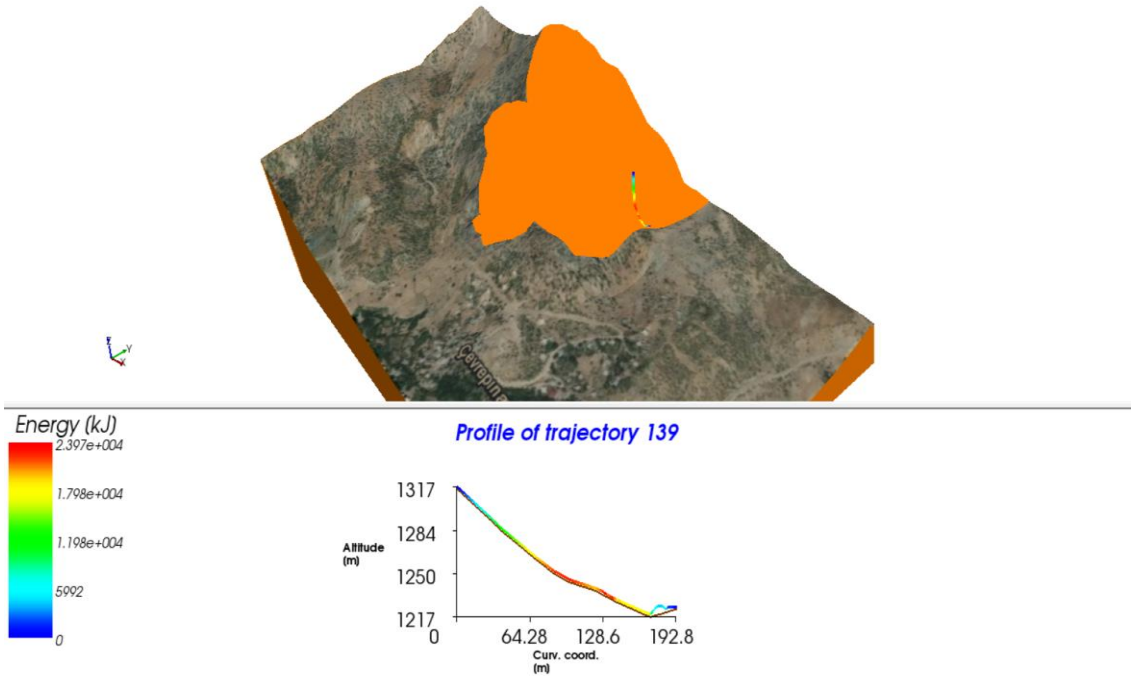
4.7.7. A7 Analiz Sahası Çevrepınar Mevkii

Çevrepınar Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır (Şekil 81). A7 analiz sahası için 1 adet hat belirlenmiştir Belirlenen hat üzerinde 500 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 3,351 m³ - 63,67 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

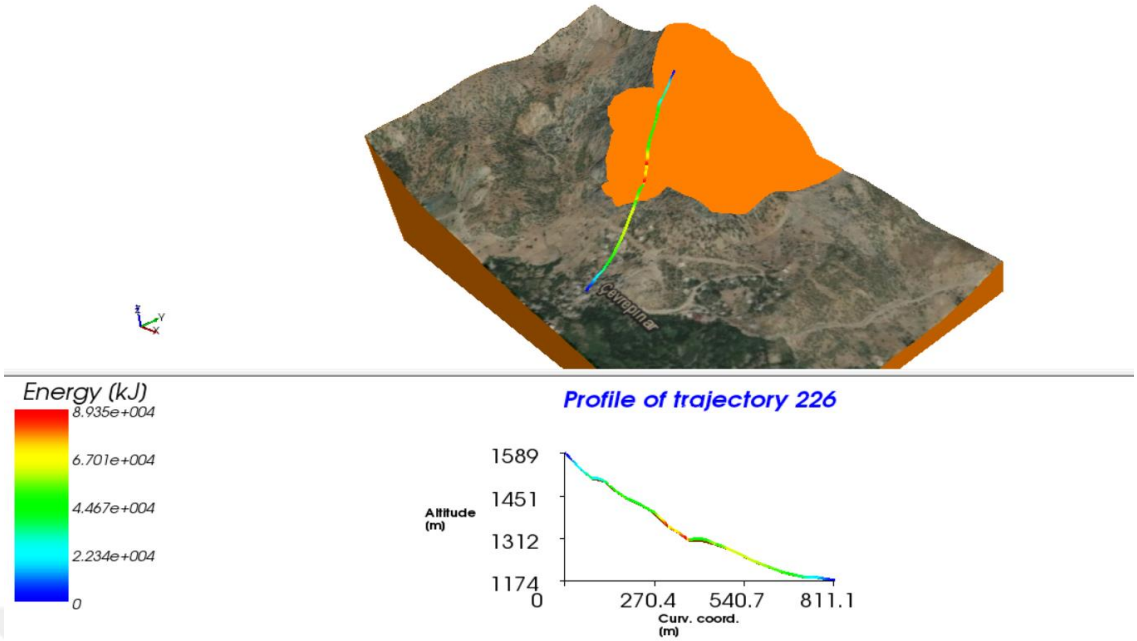
Şekil 81. A7 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Çevrepınar, Onikişubat

Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 82). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 192.8 m (Şekil 83), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 27.3º, maksimum menzil mesafesinin 811.1 m (Şekil 84), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 27.1º olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 82. A7 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



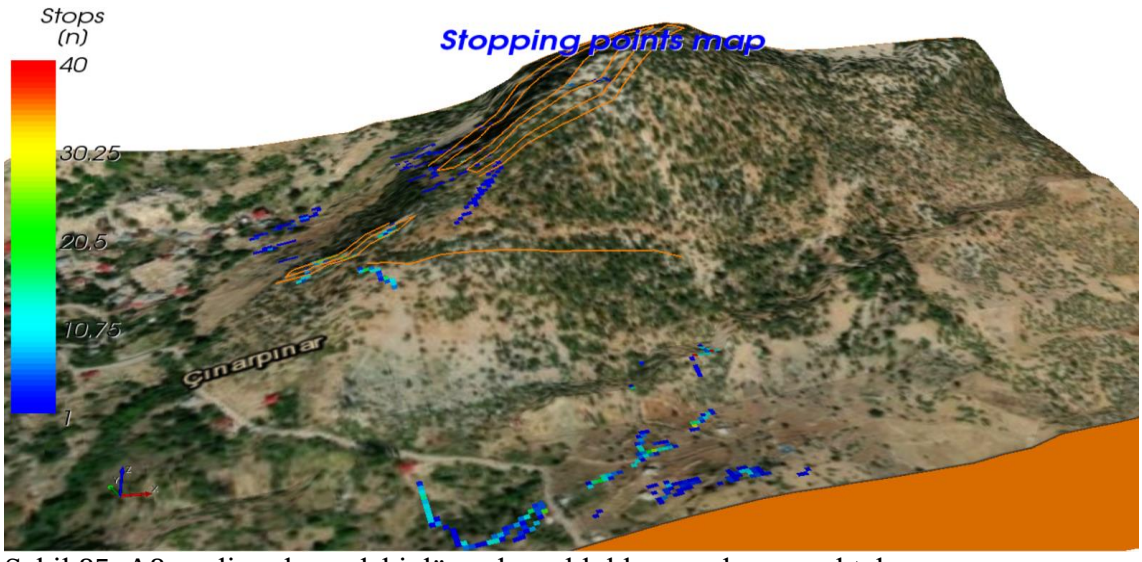
Şekil 83. A7 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



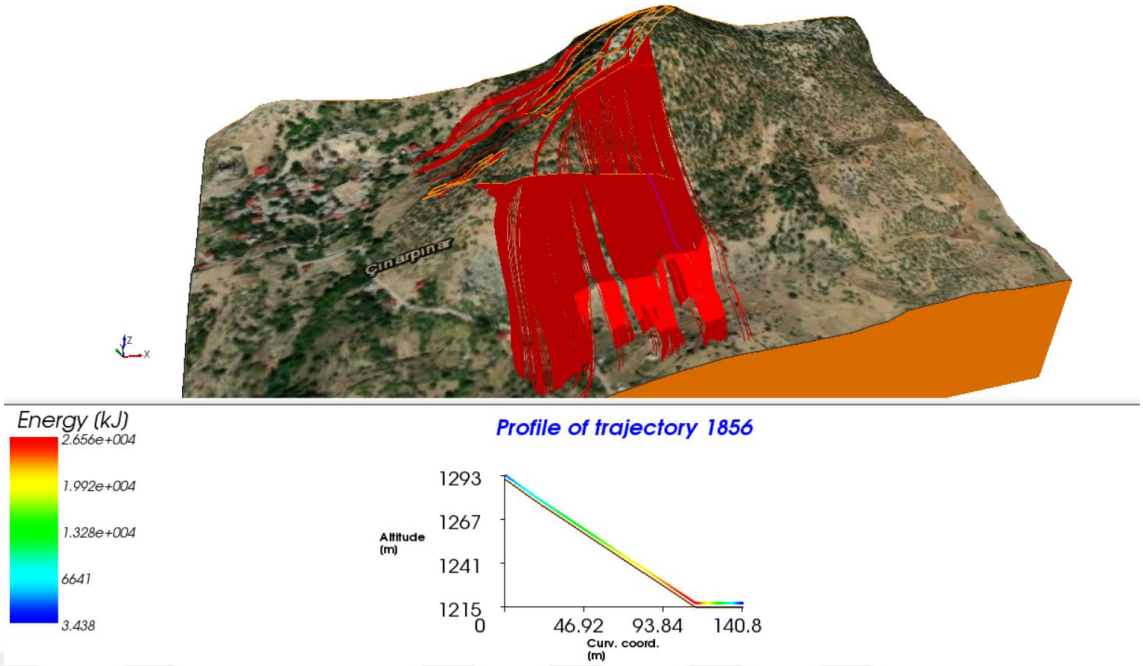
Şekil 84. A7 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.8. A8 Analiz Sahası Çınarpınar Mevkii

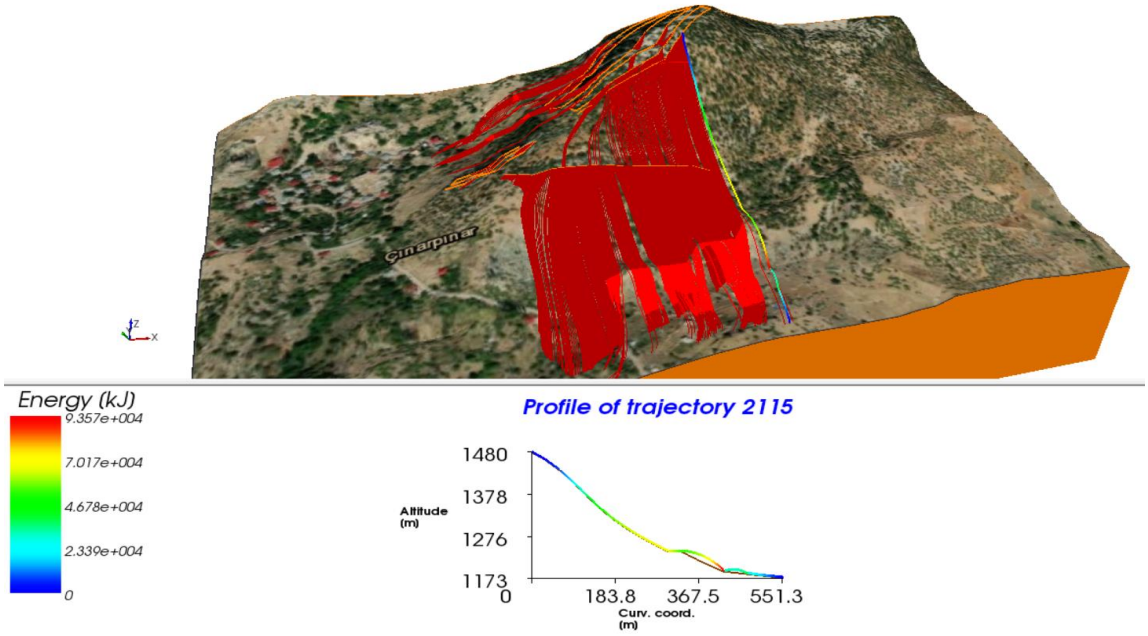
Çınarpınar Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A8 analiz sahası için 3 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 7,069 m³ - 104.2 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 85). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 140.8 m (Şekil 86), 1 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 30.4º, maksimum menzil mesafesinin 551.3 m (Şekil 87), 2 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 29º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 85. A8 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 86. A8 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



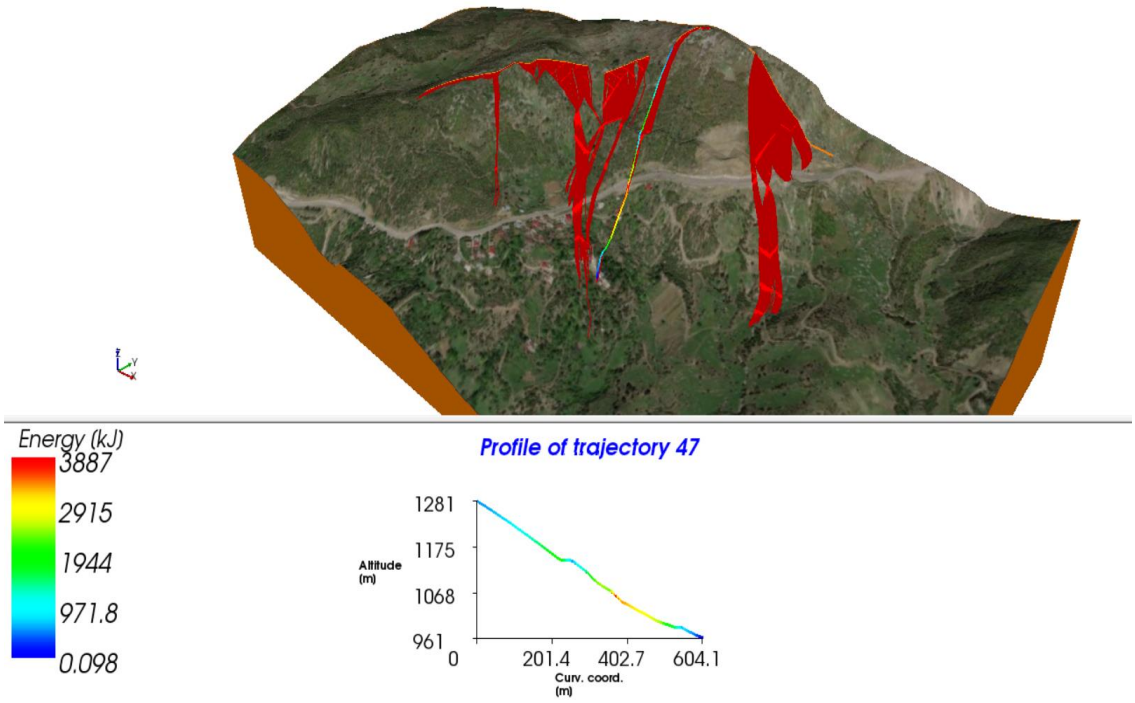
Şekil 87. A8 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.9. A9 Analiz Sahası Çuhadarlı Mevkii

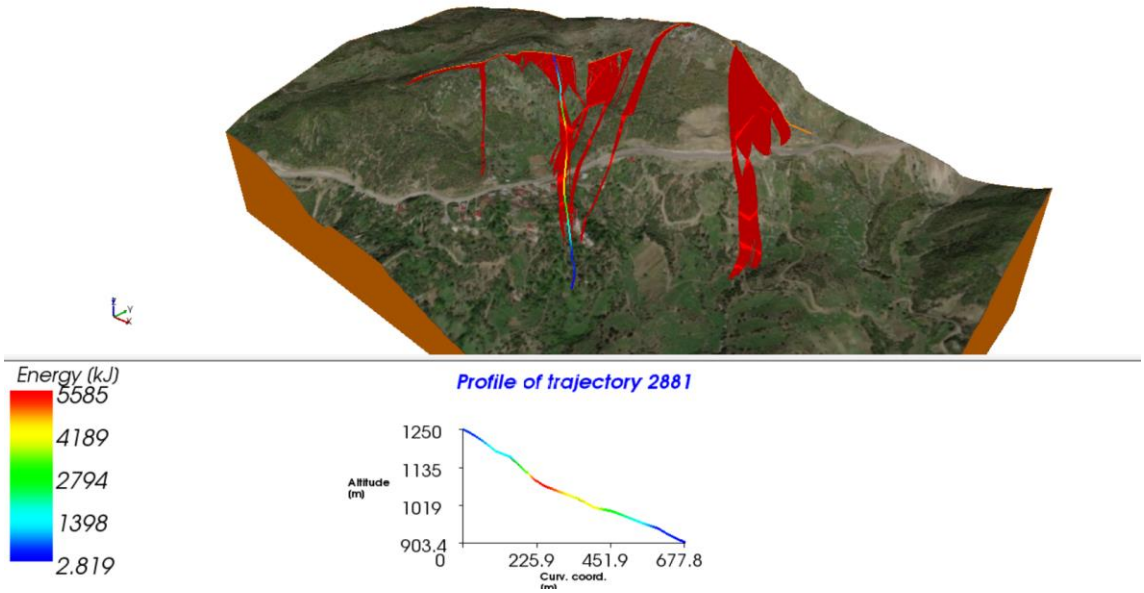
Çuhadarlı Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A9 analiz sahası için 4 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 2,094 m³ - 6,283 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 88). Düşen kaya bloklarının en

fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 604.1 m (Şekil 89), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 27.6º, maksimum menzil mesafesinin 677.8 m (Şekil 90), 2 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 27,1º olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 88. A9 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



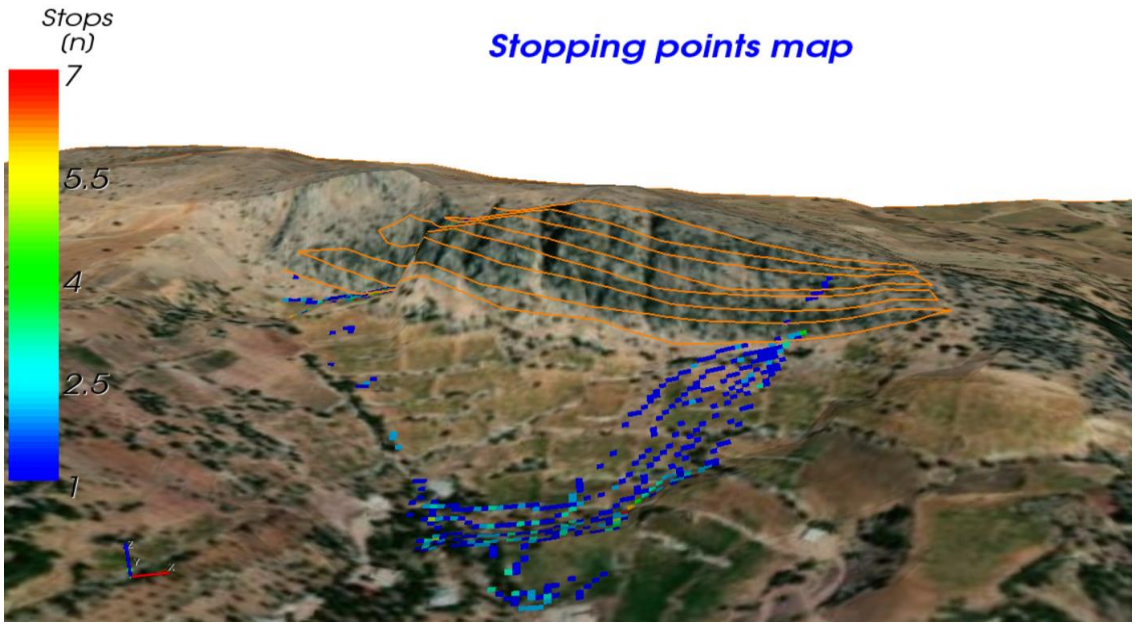
Şekil 89. A9 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



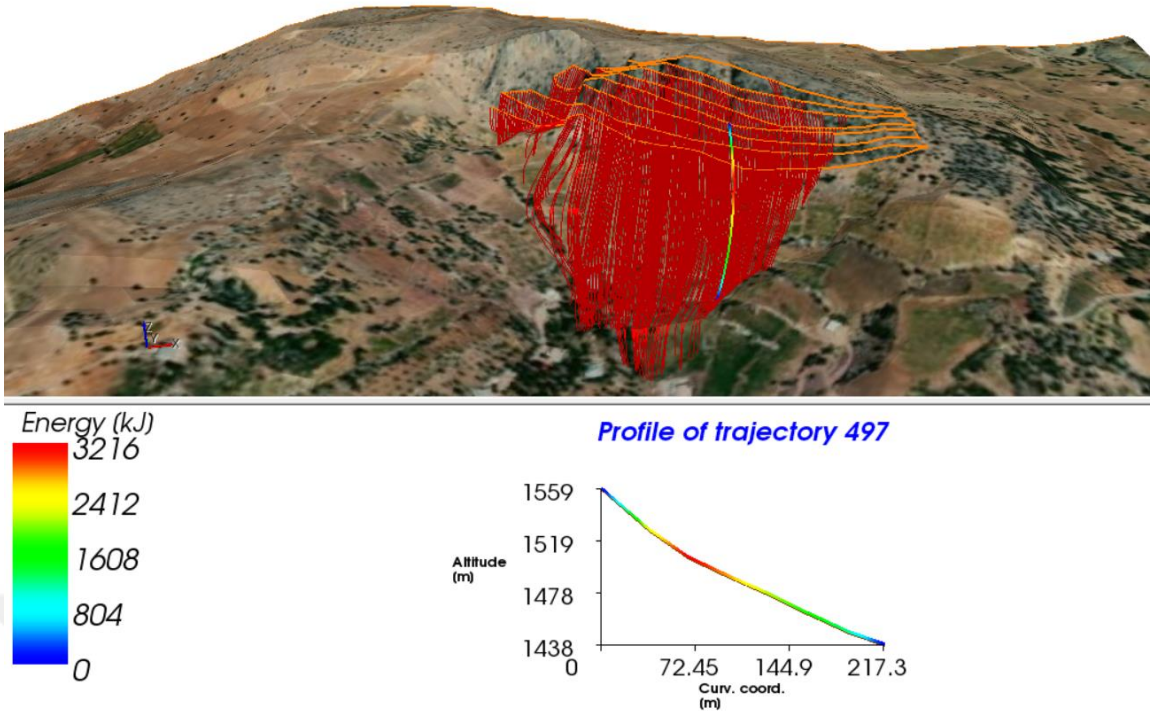
Şekil 90. A9 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.10. A10 Analiz Sahası Baydemirli Mevkii

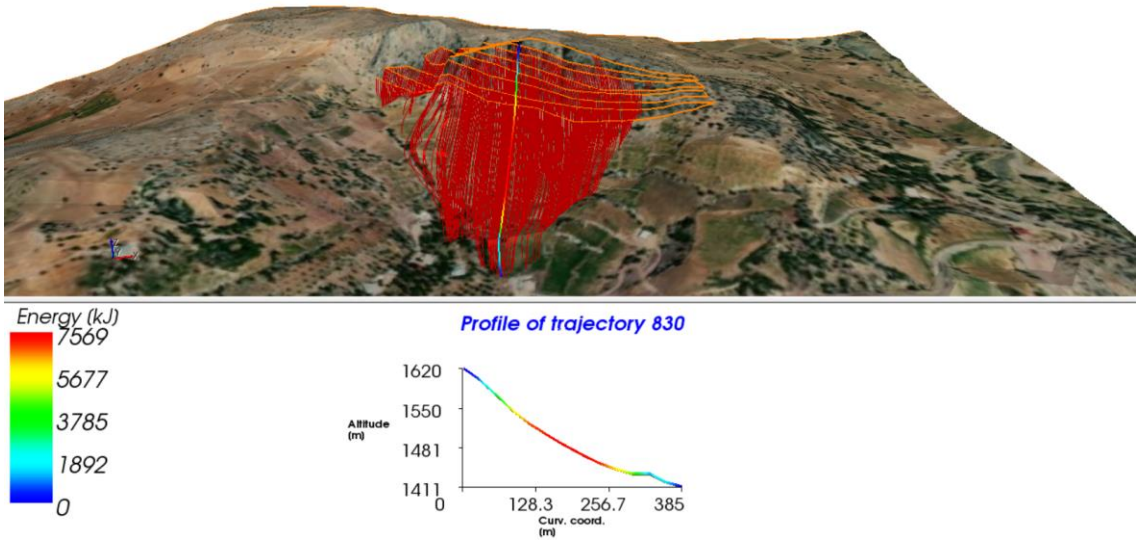
Baydemirli Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A11 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 4.091 m³ - 12.27 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 91). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesini 217.3 m (Şekil 92), 1 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29º, maksimum menzil mesafesinin 385 m (Şekil 93), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 28.4º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 91. A10 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 92. A10 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi

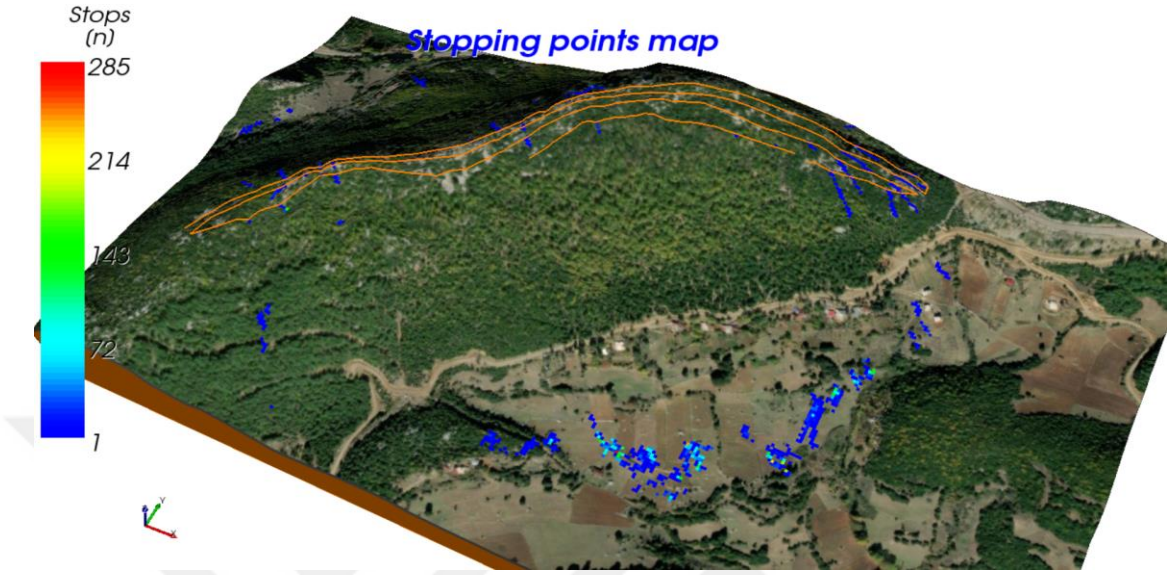


Şekil 93. A10 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

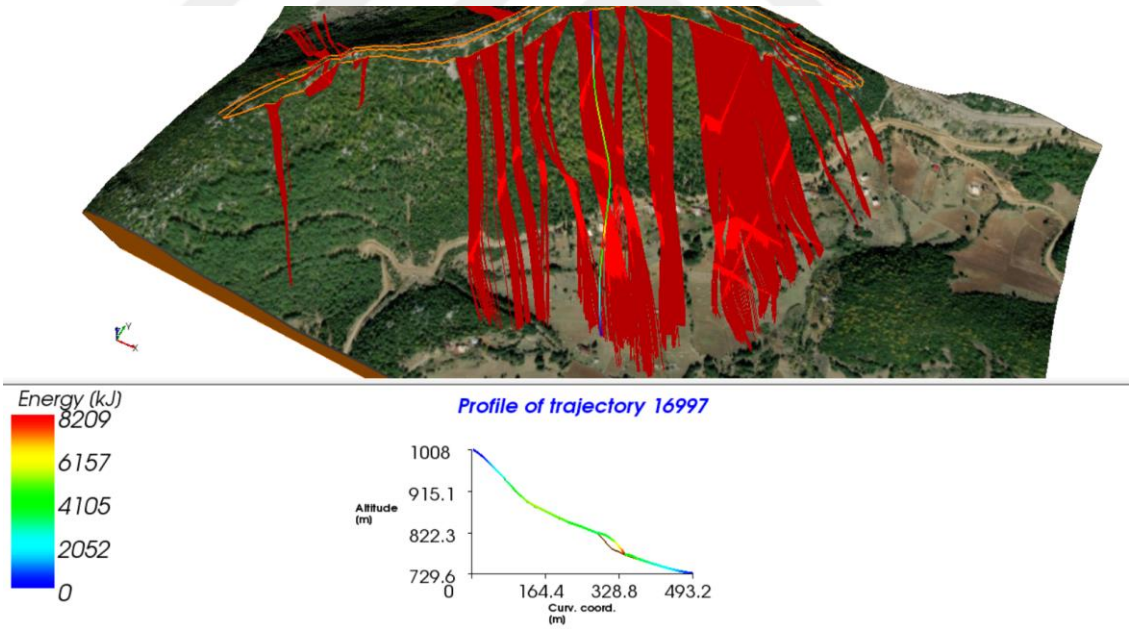
4.7.11. A11 Analiz Sahası Efirağızlı Mevkii

Efirağızlı Mevkii, Kahramanmaraş İli Andırın İlçesinde bulunmaktadır. A11 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 10000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 0,209 m³ - 8,168 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 94). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 493.2 m (Şekil 95), 0 Nolu

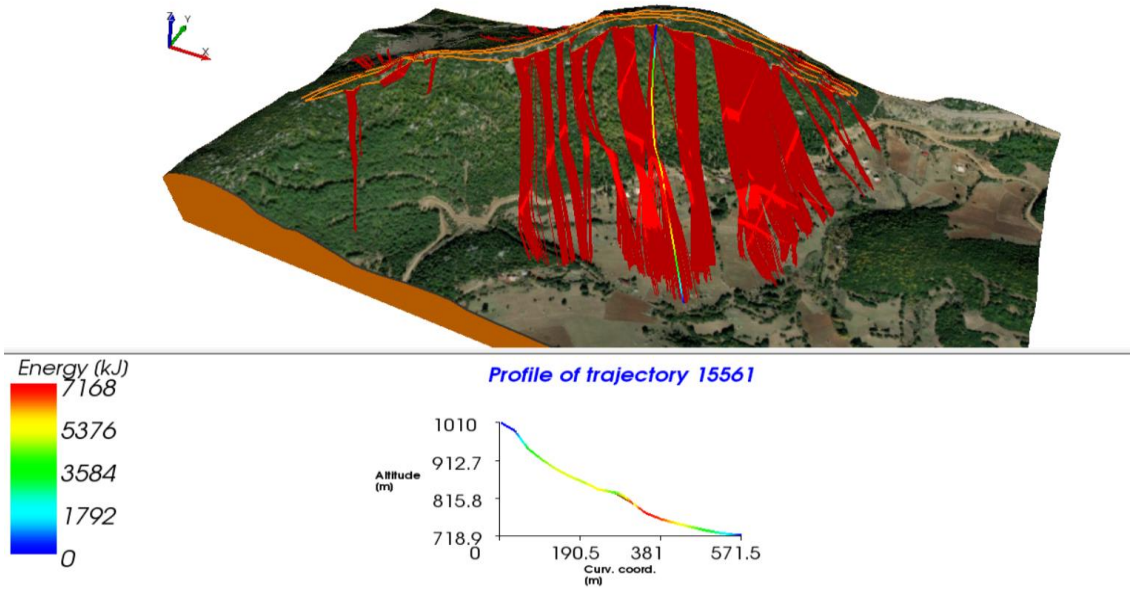
kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29.5º, maksimum menzil mesafesinin 571.5 m (Şekil 96), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.3º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 94. A11 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



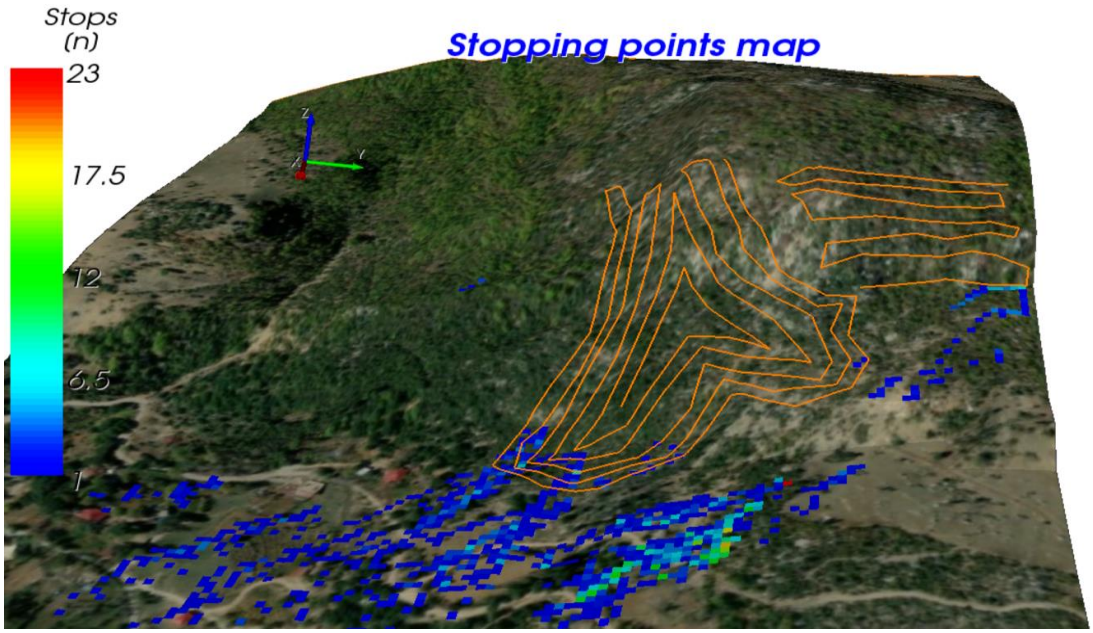
Şekil 95. A11 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



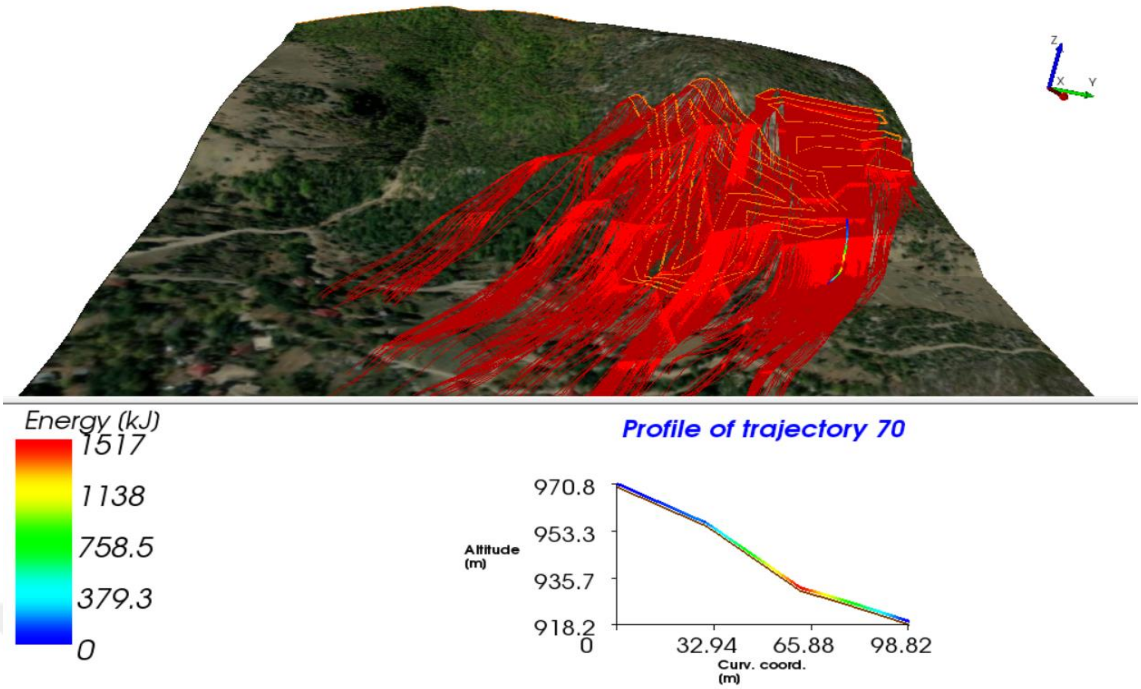
Şekil 96. A11 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.12. A12 Analiz Sahası Kabaklar Mevkii

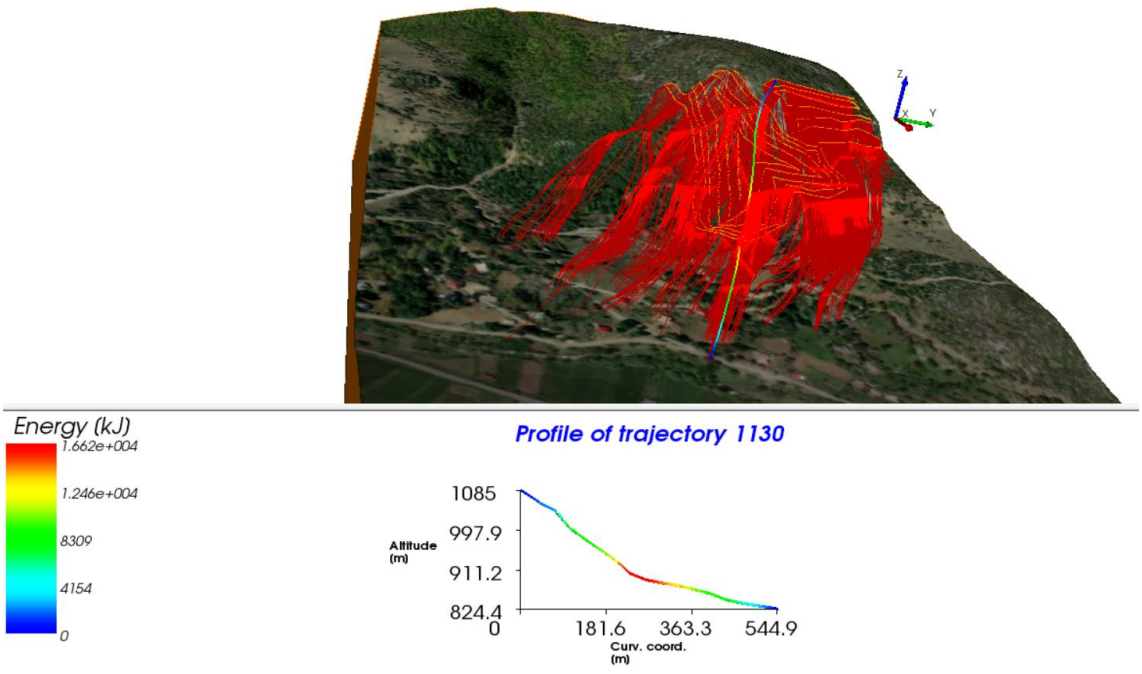
Kabaklar Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A12 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 4,091 m³ - 12,27 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 97). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 98.82 m (Şekil 98), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 27.6º, maksimum menzil mesafesinin 544.9 m (Şekil 99), 1 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 25.4º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 97. A12 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 98. A12 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



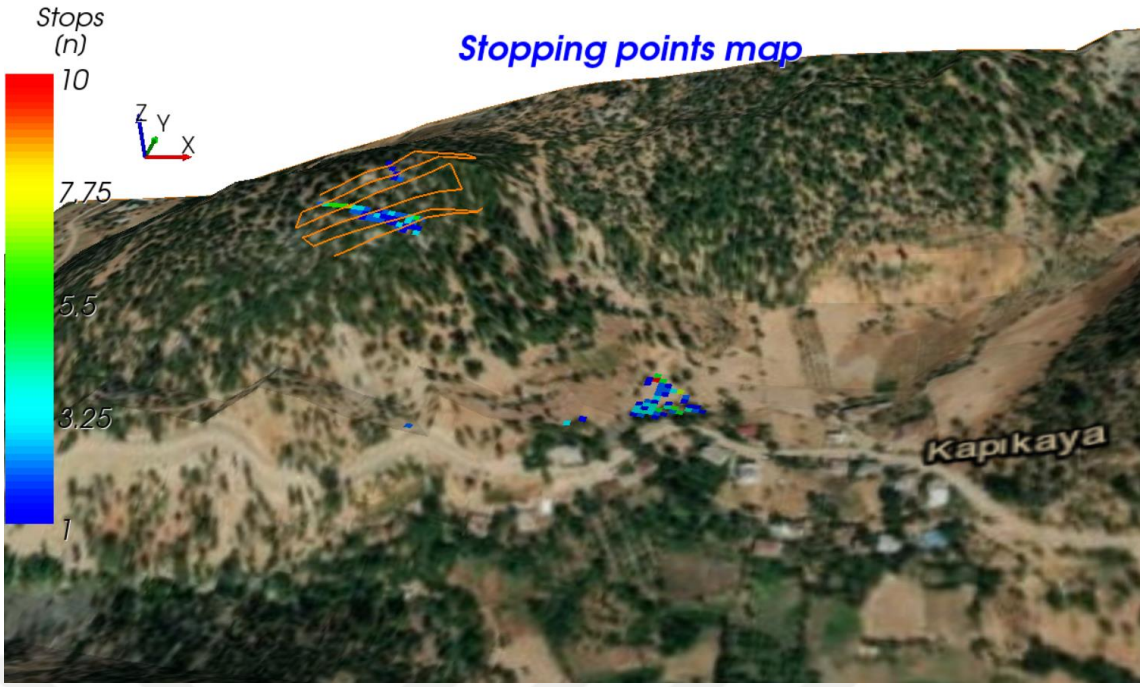
Şekil 99. A12 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.13. A13 Analiz Sahası Kapıkaya Mevkii

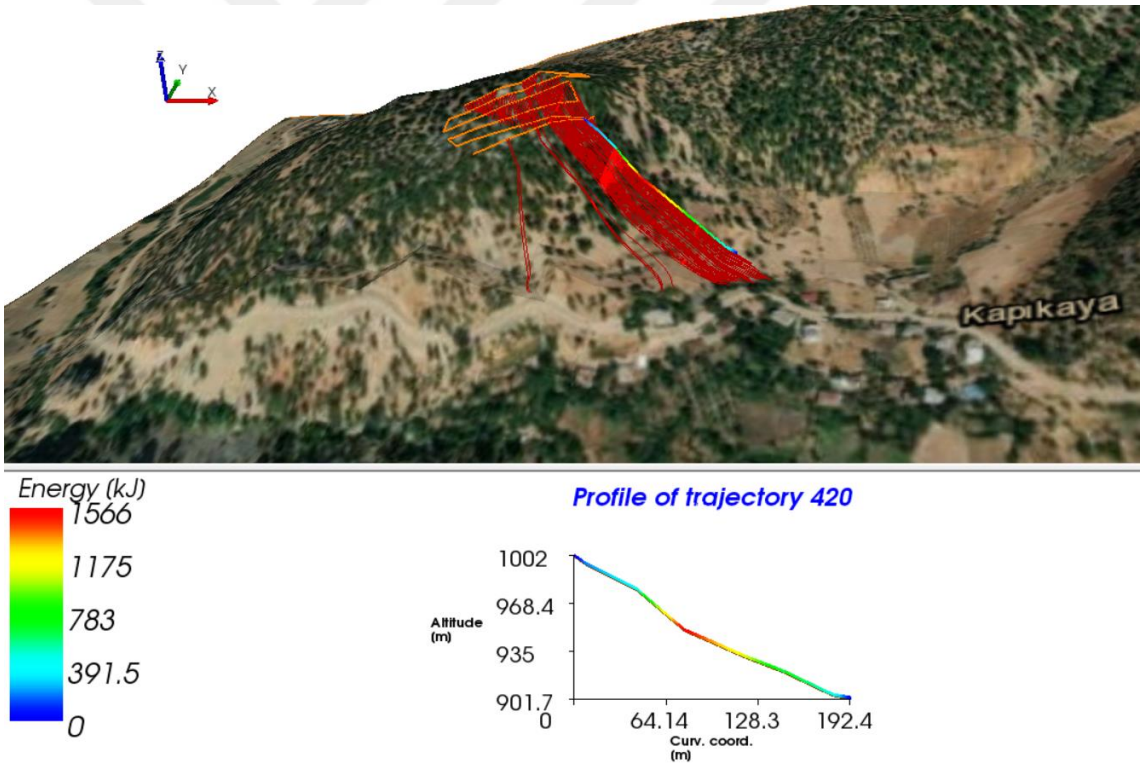
Kapıkaya Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır (Şekil 100). A13 analiz sahası için 1 adet hat belirlenmiştir. Belirlenen hatta 500 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 2,094 m³ - 6,283 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir.

Şekil 100. A13 analiz noktası düşen bloklar ve kaya kaynak alanı Kapıkaya, Onikişubat

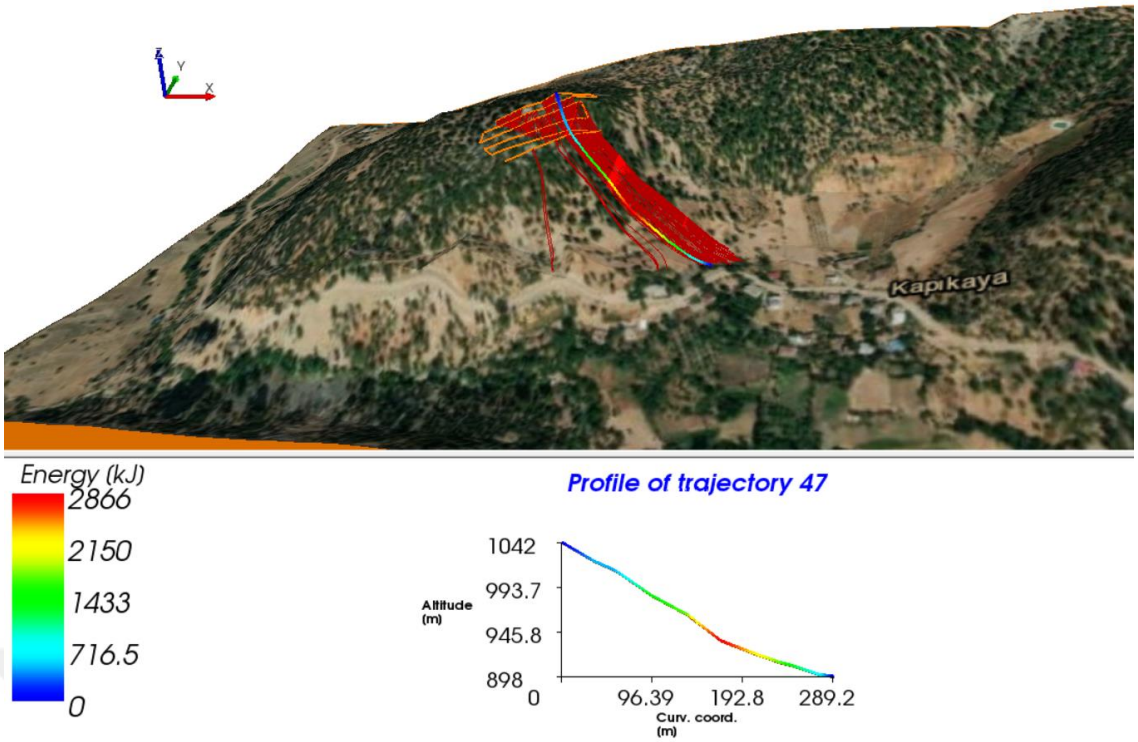
Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 101). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 192.4 m (Şekil 102), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 27.6º, maksimum menzil mesafesinin 289.2 m (Şekil 103), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.4º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 101. A13 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



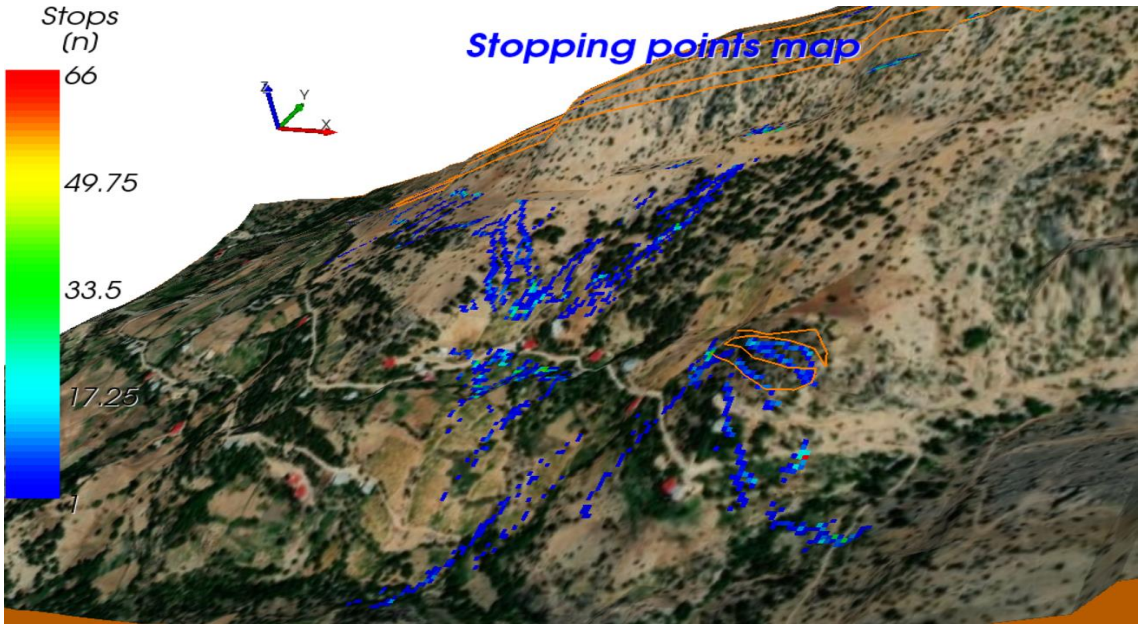
Şekil 102. A13 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



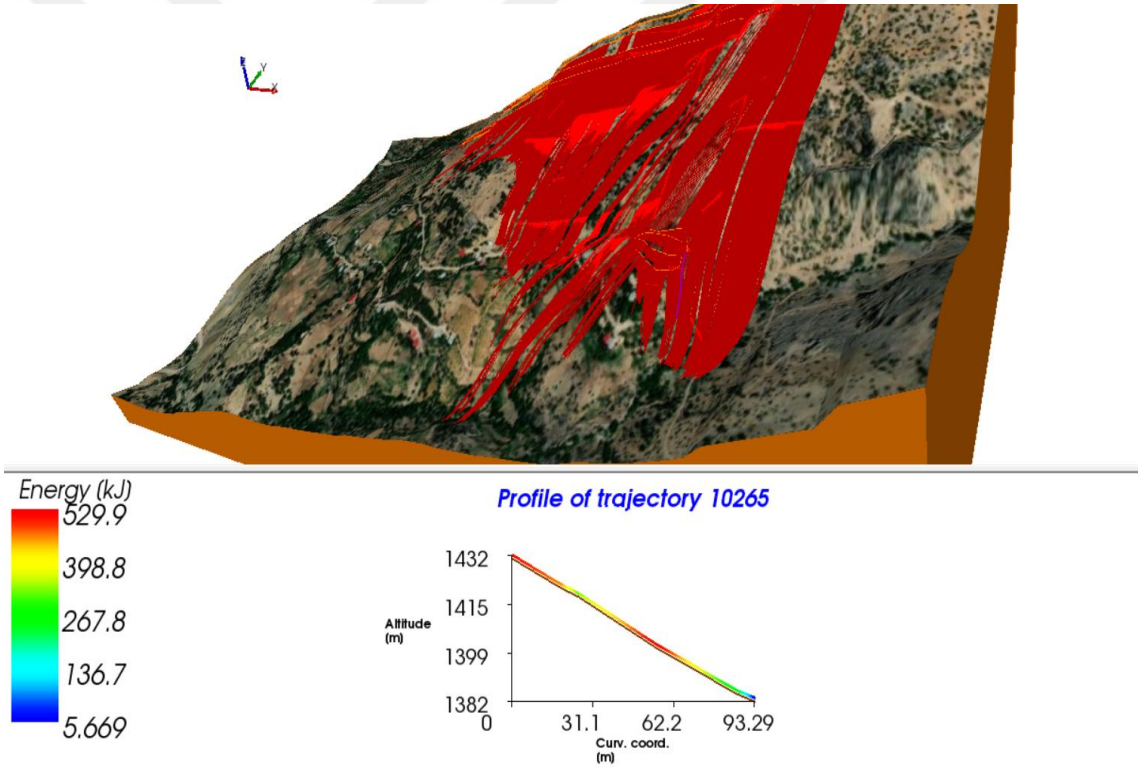
Şekil 103. A13 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.14. A14 Analiz Sahası Karamanlı Mevkii

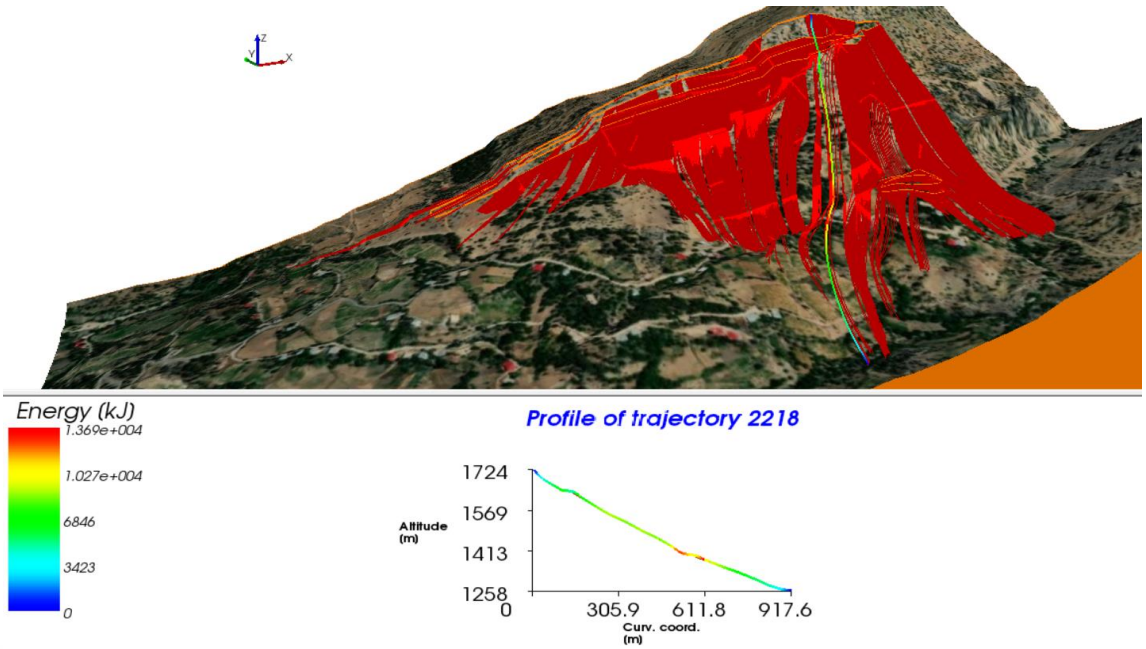
Karamanlı Mevkii, Kahramanmaraş İli Dulkadiroğlu İlçesinde bulunmaktadır. A14 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. 0 Nolu hatta 10000 1 Nolu hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 4,091 m³ - 12,27 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 104). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 93.99 m (Şekil 105), 1 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 28º, maksimum menzil mesafesinin 917.6 m (Şekil 106), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.7º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 104. A14 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



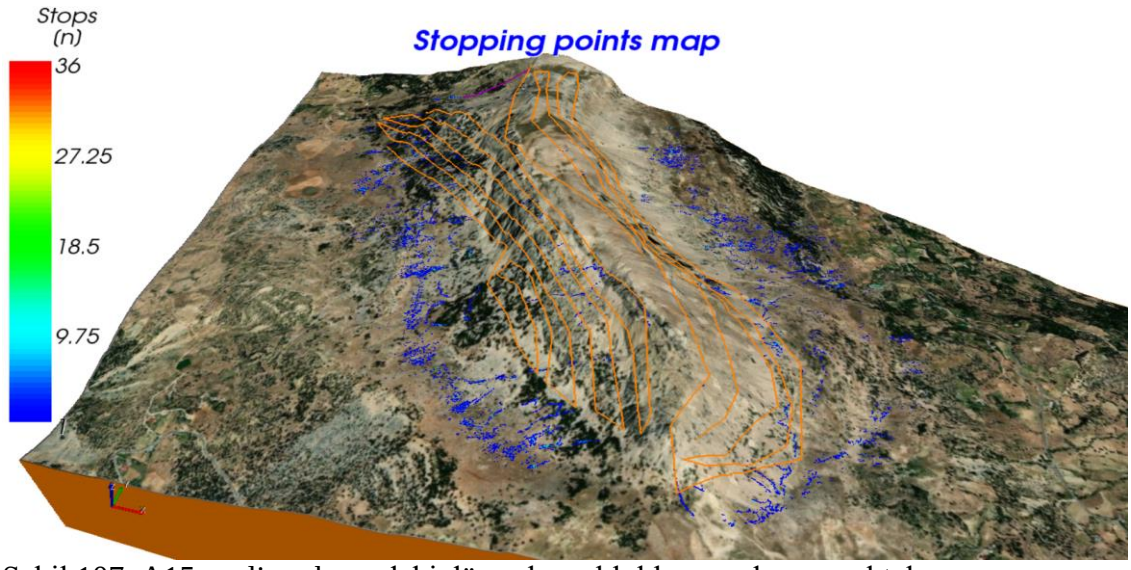
Şekil 105. A14 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



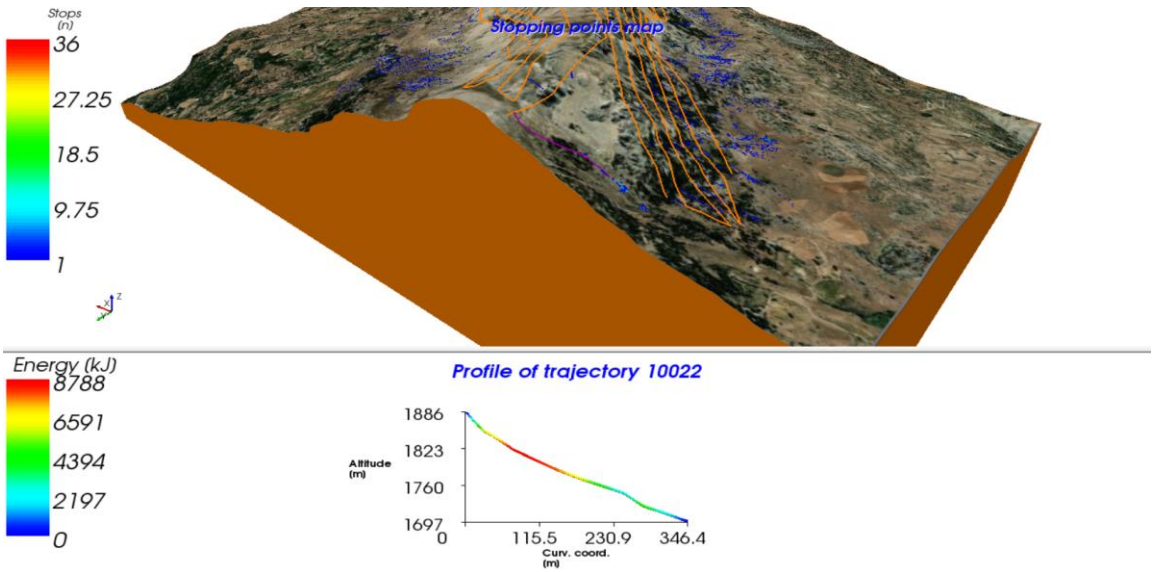
Şekil 106. A14 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.15. A15 Analiz Sahası Kertmen Mevkii

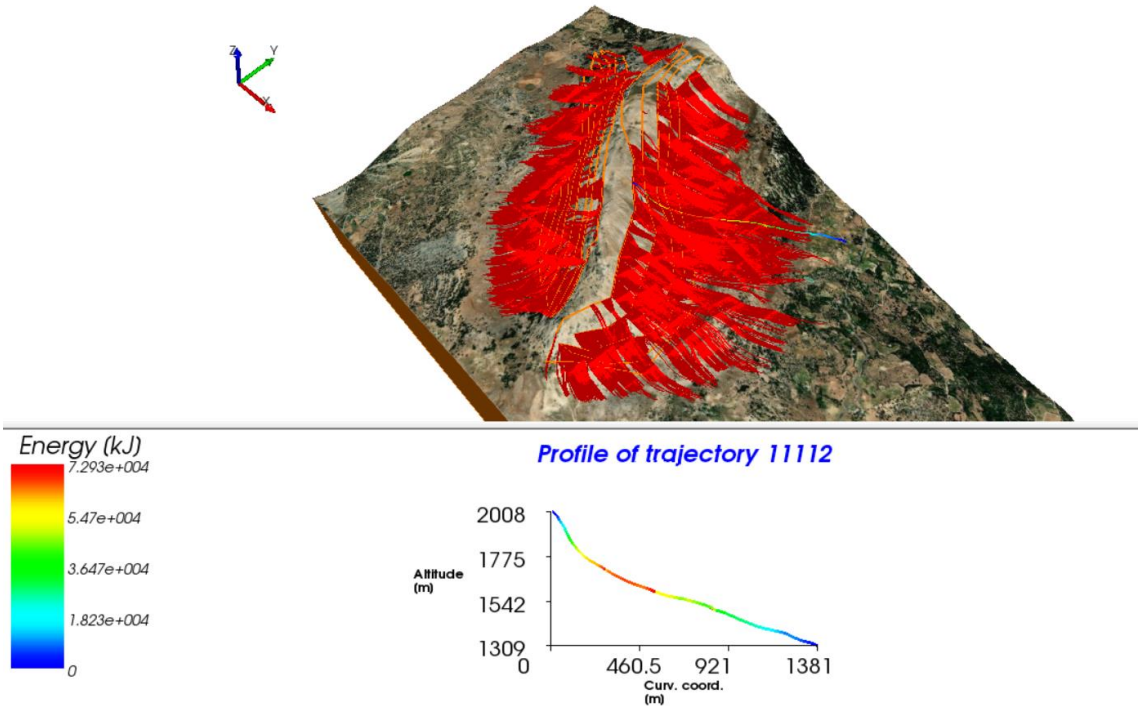
Kertmen Mevkii, Kahramanmaraş İli Dulkadiroğlu İlçesinde bulunmaktadır. A15 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 10000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 0.1 m³ - 27.57 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 107). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 346.4 m (Şekil 108), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 28.5º, maksimum menzil mesafesinin 1381 m (Şekil 109), 1 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.8º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 107. A15 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 108. A15 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi

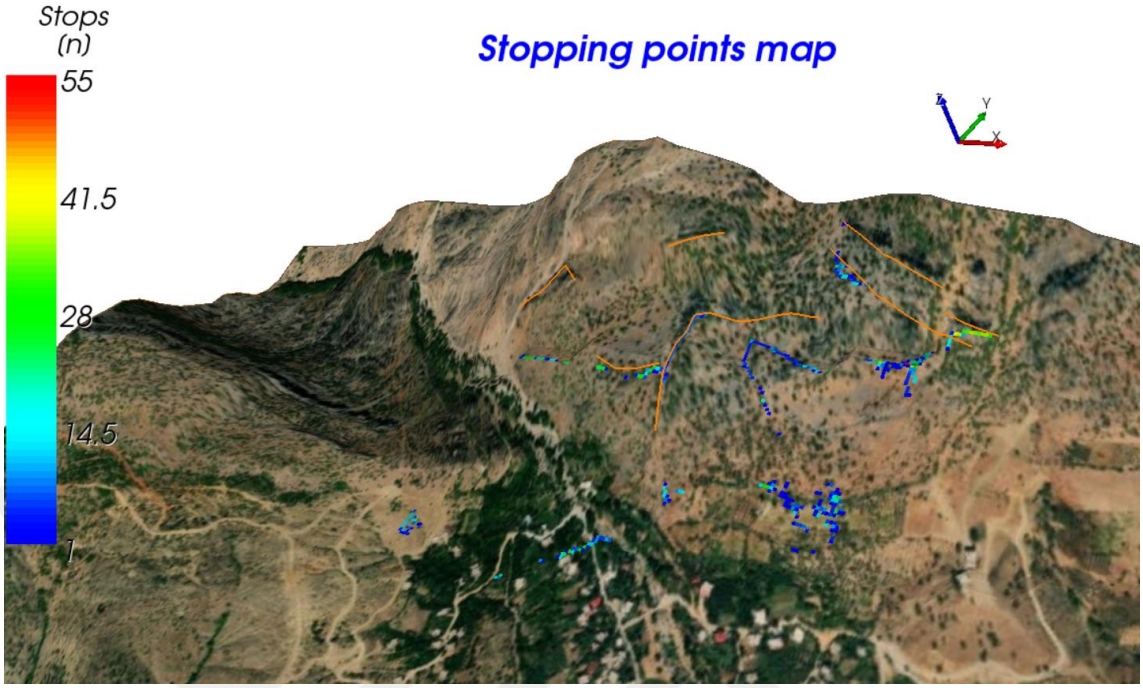


Şekil 109. A15 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

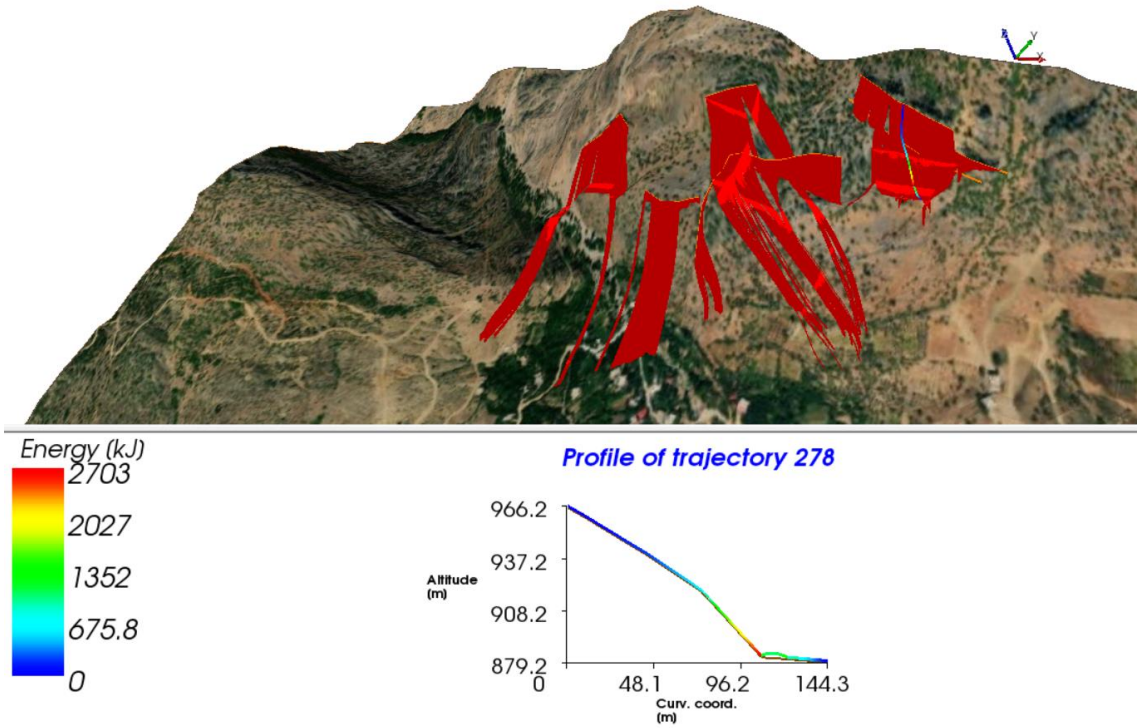
4.7.16. A16 Analiz Sahası Dönüklü Mevkii

Dönüklü Mevkii, Kahramanmaraş İli Türkoğlu İlçesinde bulunmaktadır. A16 analiz sahası için 7 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 500 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dahil edilmiştir. 2,094 m^3 - 6,283 m^3 aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 110). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 144.3 m (Şekil 111), 0 Nolu kaynak alan

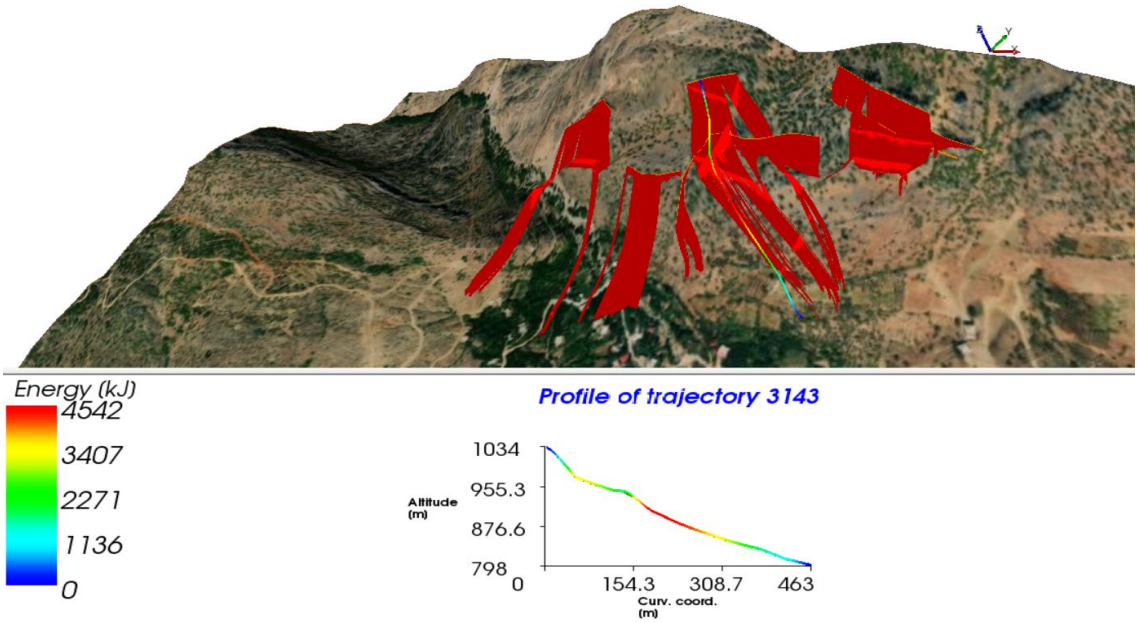
hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 31º, maksimum menzil mesafesinin 463 m (Şekil 112), 6 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.8º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 110. A16 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



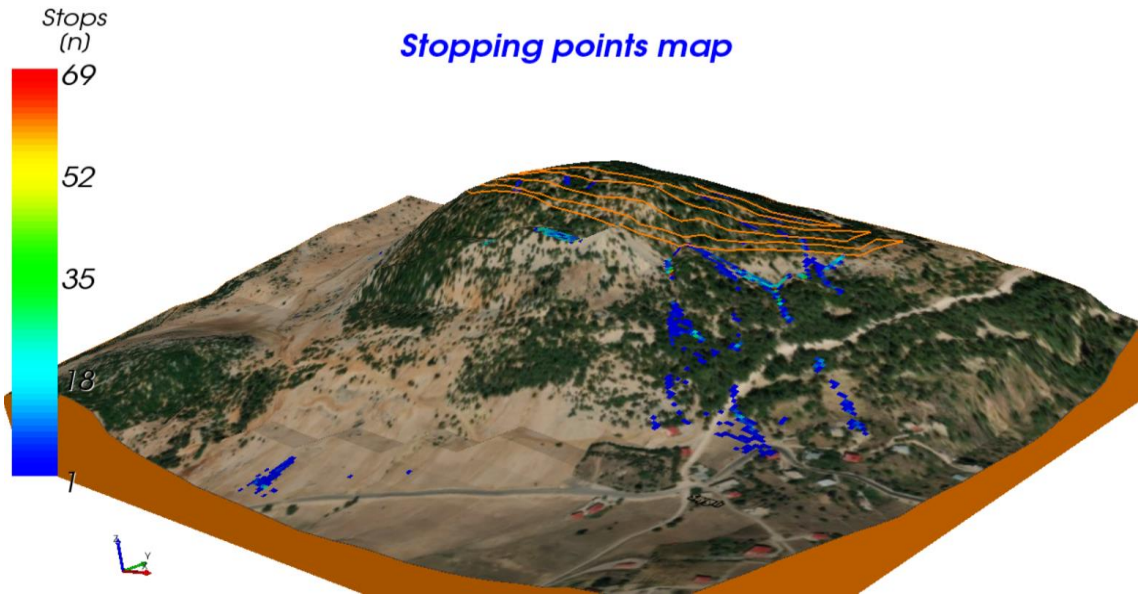
Şekil 111. A16 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



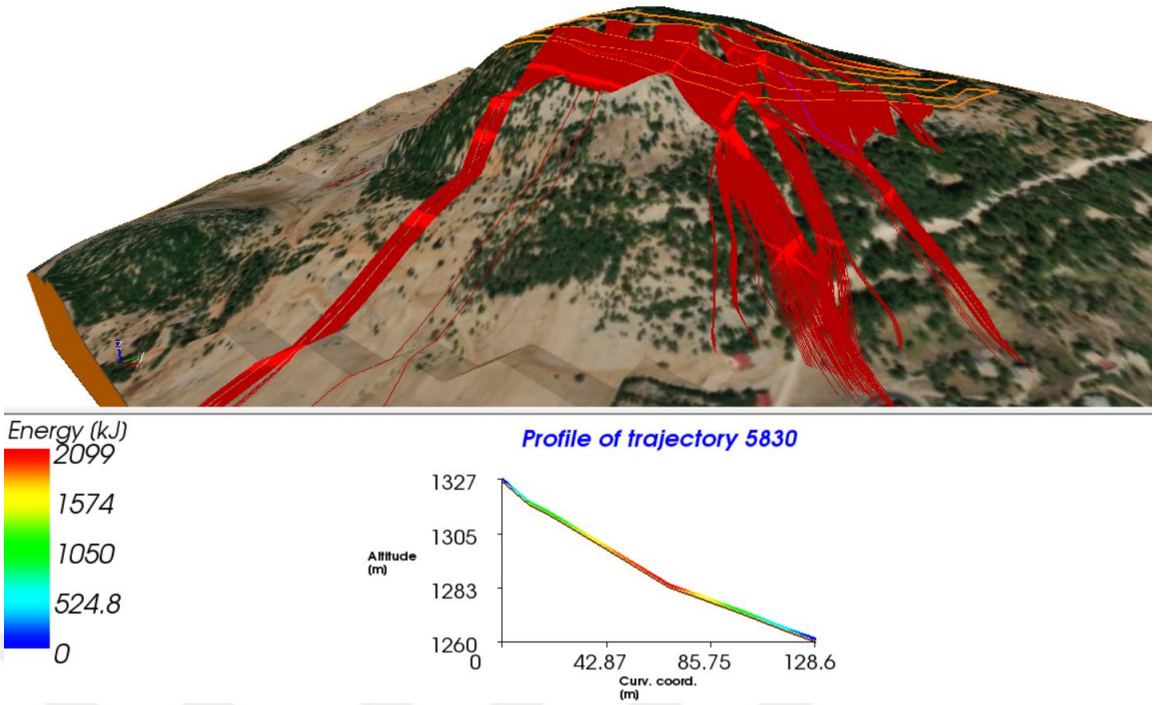
Şekil 112. A16 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.17. A17 Analiz Sahası Saygılı Mevkii

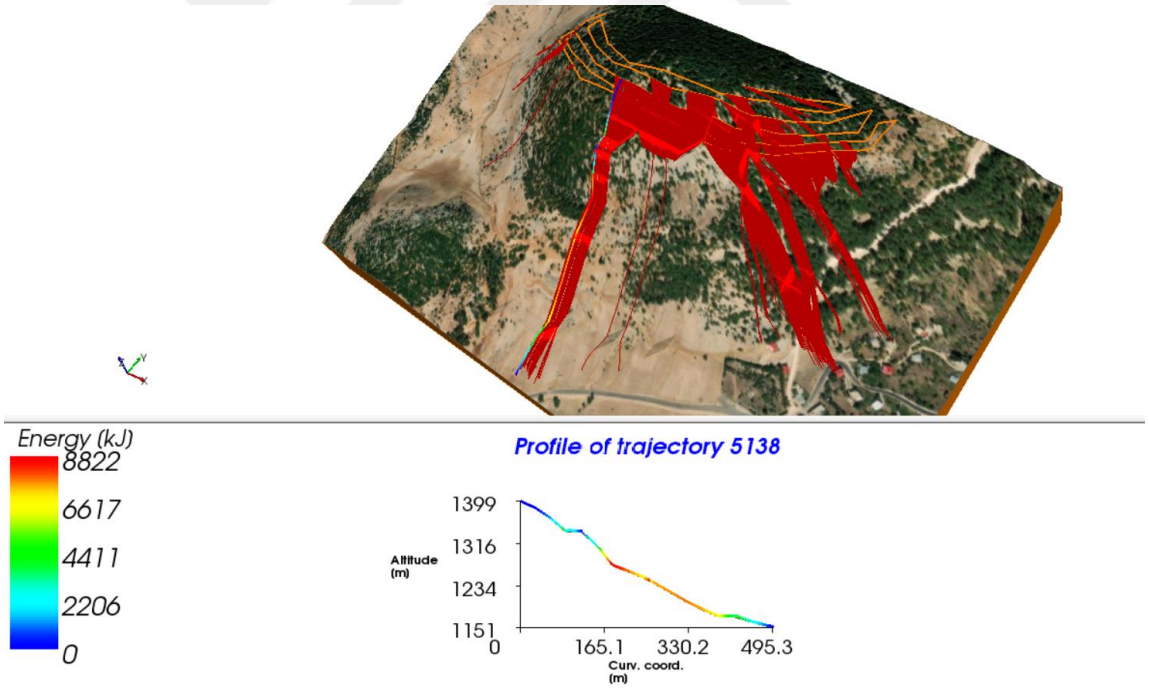
Saygılı Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A17 analiz sahası için 1 adet hat belirlenmiştir. Belirlenen hatta 10000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dâhil edilmiştir. 0,409 m³ - 15,95 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 113). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 128.6 m (Şekil 114), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 27.6º, maksimum menzil mesafesinin 493.5 m (Şekil 115), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 26.8º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 113. A17 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 114. A17 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi

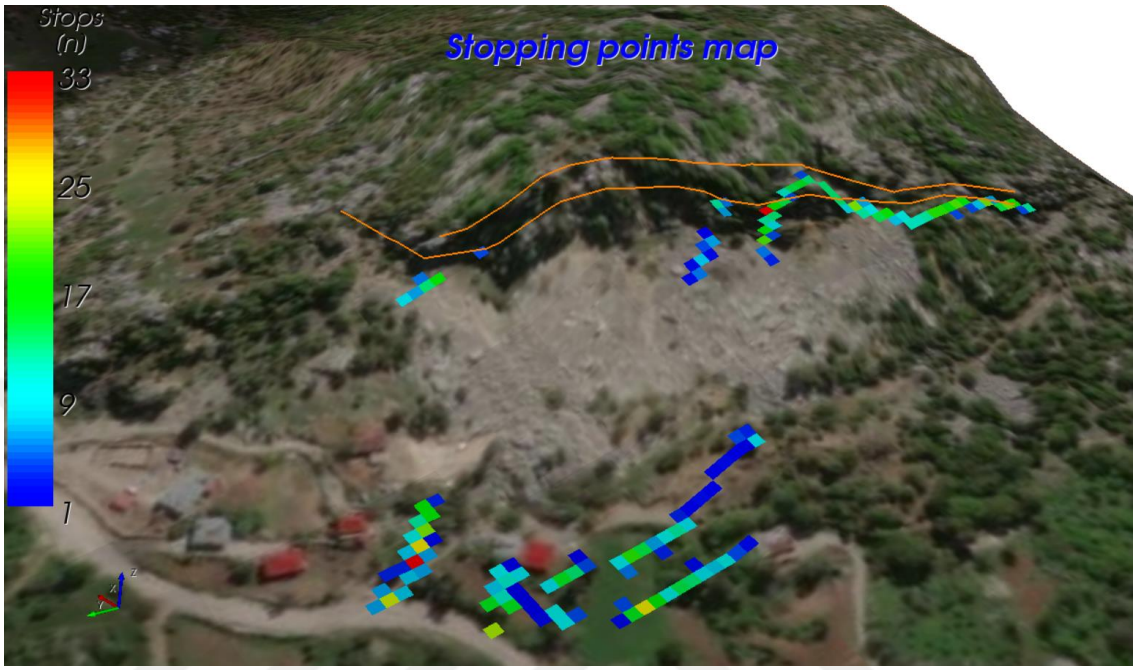


Şekil 115. A17 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

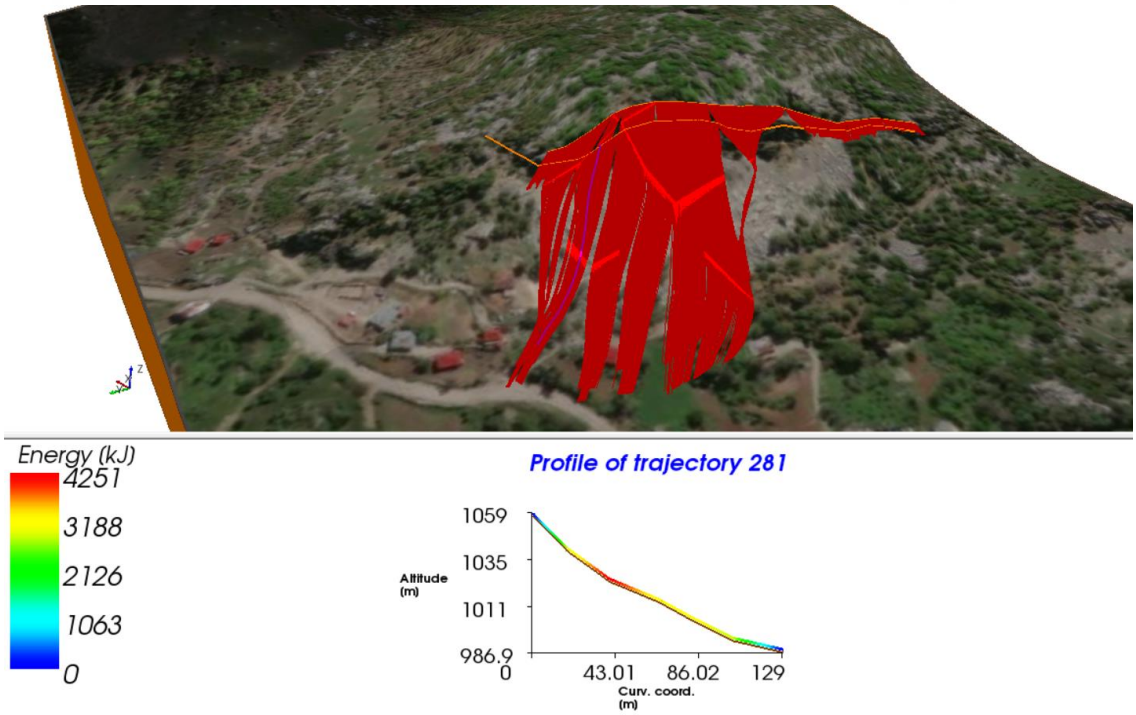
4.7.18. A18 Analiz Sahası Suluyayla Mevkii

Suluyayla Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A18 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dâhil edilmiştir. 7,069 m³ - 21,21 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının

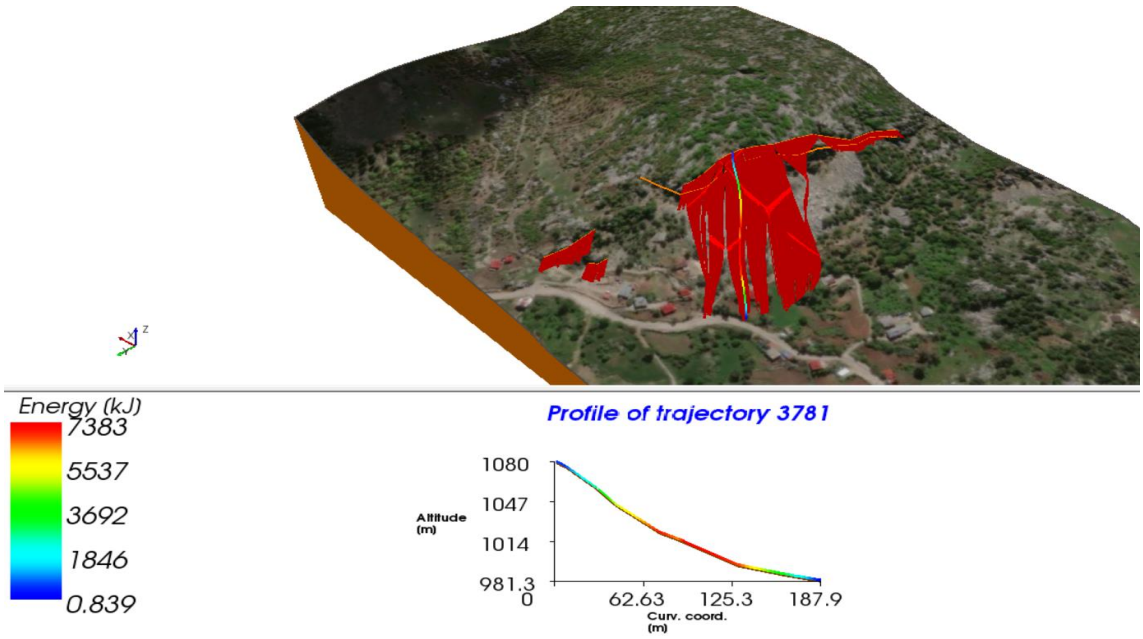
en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 116). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 129 m (Şekil 117), 1 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29º maksimum menzil mesafesinin 187. 9 m (Şekil 118), 3 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 27.6º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 116. A18 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



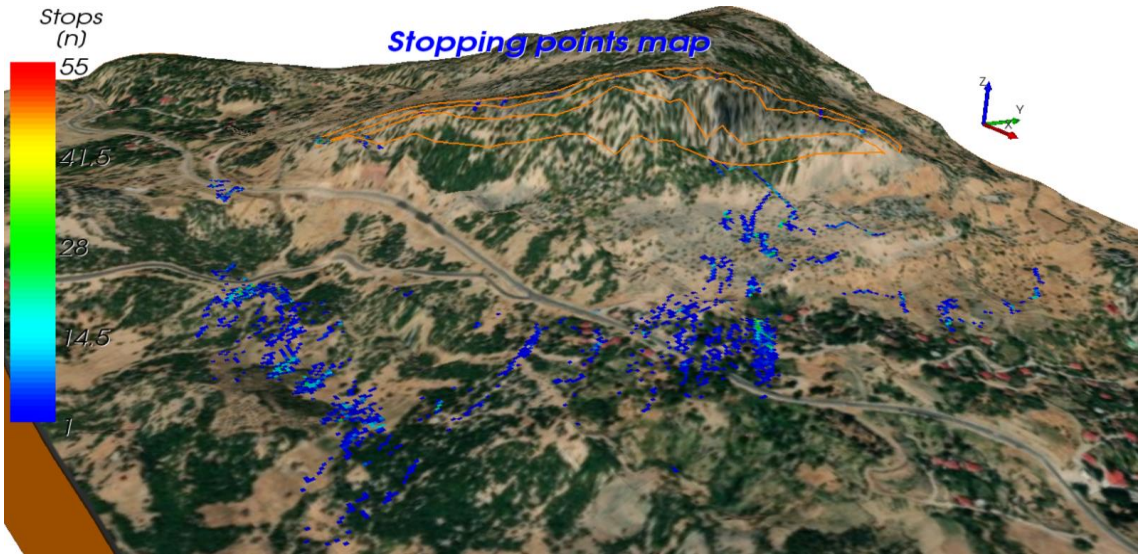
Şekil 117. A18 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



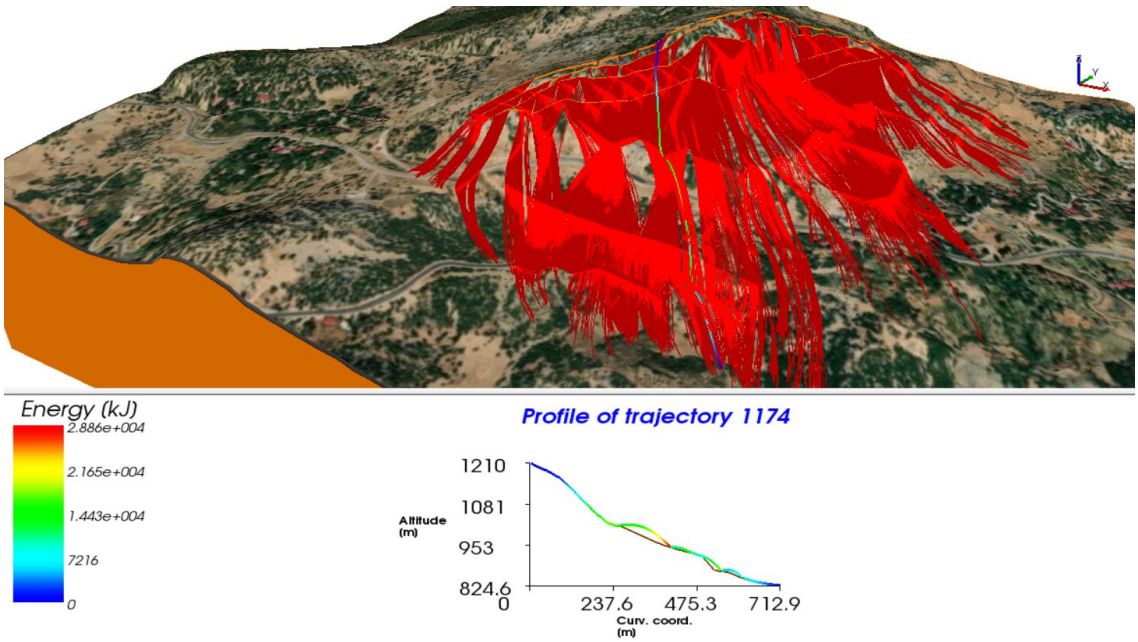
Şekil 118. A18 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.19. A19 Analiz Sahası Yenicekale Mevkii

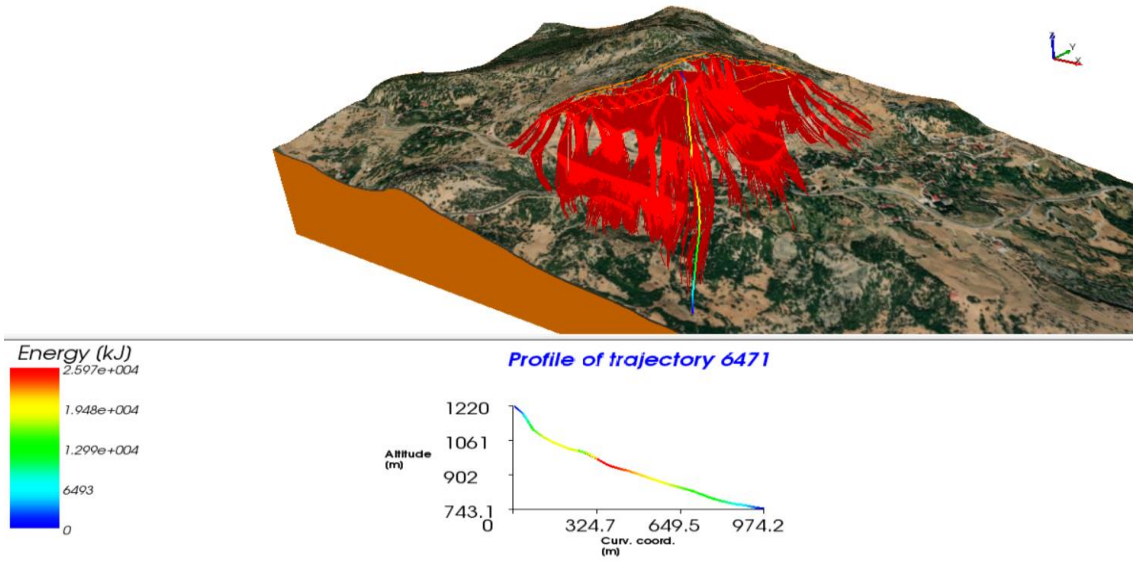
Yenicekale Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A19 analiz sahası için 1 adet kaynak alan hattı belirlenmiştir. Belirlenen hatta 10000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dâhil edilmiştir. 0,409 m³ - 15,95 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 119). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 712.9 m (Şekil 120), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 28.6º, maksimum menzil mesafesinin 974.2 m (Şekil 121), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 25.8º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 119. A19 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



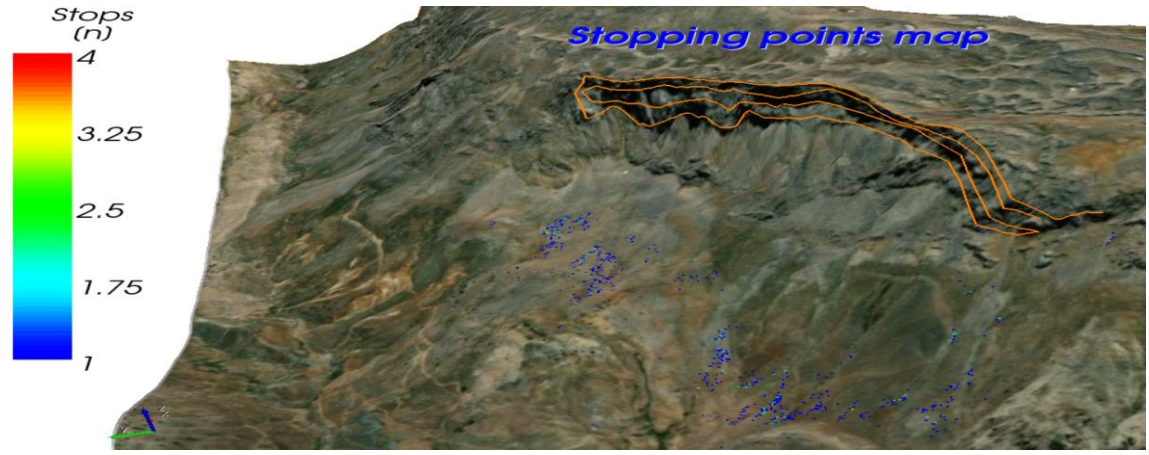
Şekil 120. A19 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



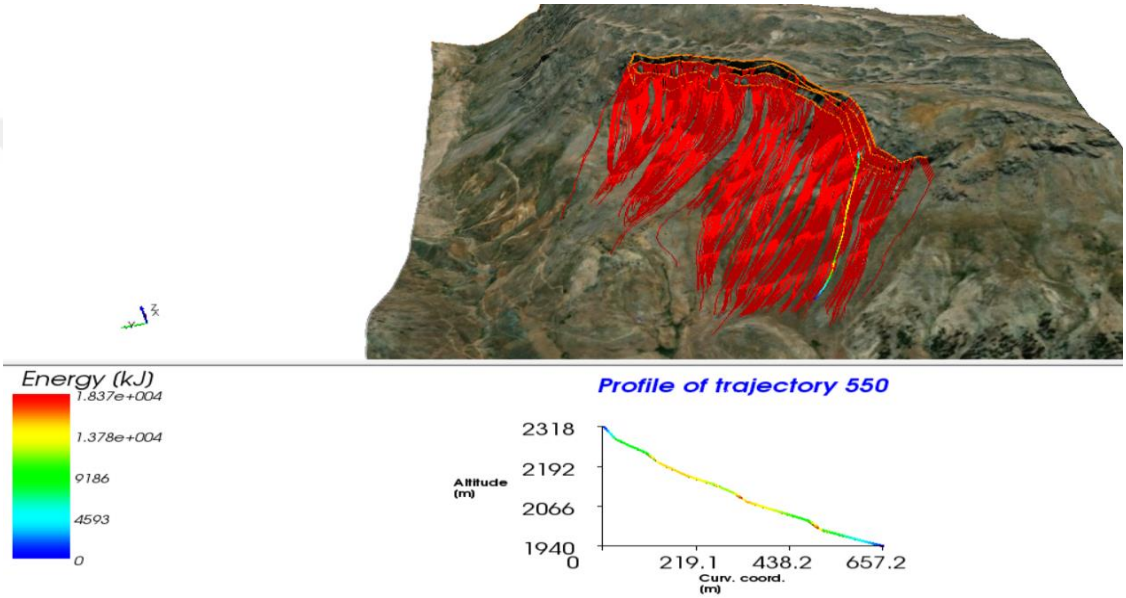
Şekil 121. A19 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.7.20. A20 Analiz Sahası Süleymanlı Mevkii

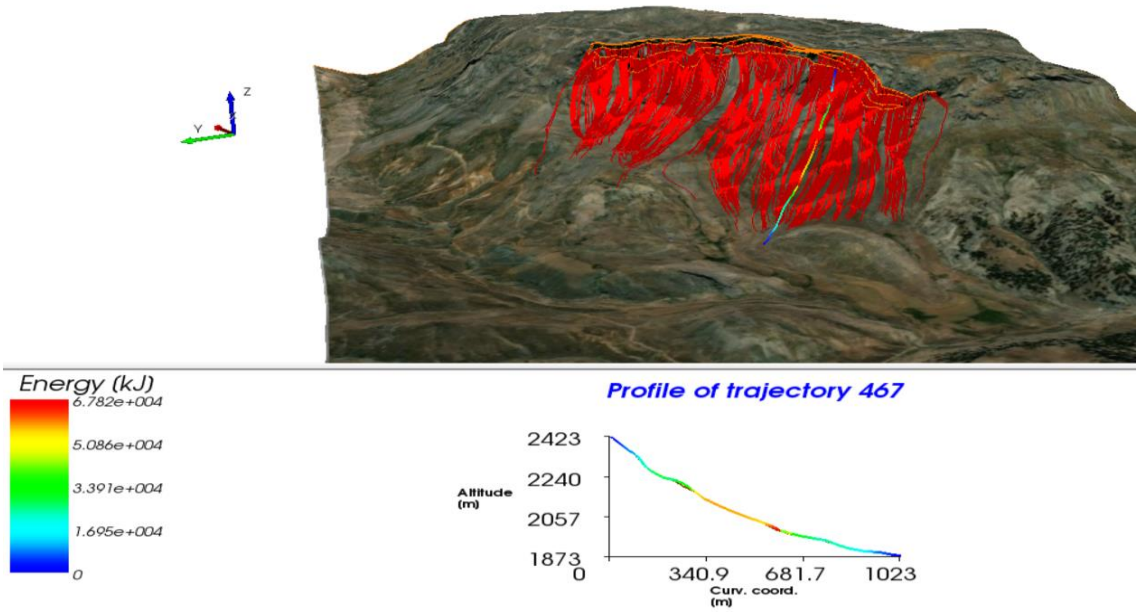
Süleymanlı Mevkii, Kahramanmaraş İli Onikişubat İlçesinde bulunmaktadır. A20 analiz sahası için 2 adet hat belirlenmiştir. Belirlenen her bir hatta 1000 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanarak analize dâhil edilmiştir. 7.069 m³ - 21.21 m³ aralığı arasındaki değerler, blok hacim değerleri olarak tayin edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; kaya bloklarının en fazla durdukları noktaların tespiti yapılmıştır (Şekil 122). Düşen kaya bloklarının en fazla düştüğü noktadaki menzil mesafesinin 657.2 m (Şekil 123), 0 Nolu kaynak alan hattına göre bu noktadaki enerji çizgi açısının 29º, maksimum menzil mesafesinin 1023 m (Şekil 124), 0 Nolu hatta göre enerji çizgi açısının 28.2º olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 122. A20 analiz sahasındaki düşen kaya bloklarının durma noktaları



Şekil 123. A20 analiz sahasındaki kaya bloklarının en fazla durduğu yerdeki menzil mesafesi



Şekil 124. A20 analiz sahasındaki kaya bloklarının maksimum menzil mesafesi

4.8. Conefall Programında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi

Bir önceki bölümde her bir analiz noktasındaki kaya düşme yoğunluğunun en sık olarak yaşandığı bölgedeki menzil mesafeleri ve enerji çizgi açılarının tespiti ile o analiz noktasına ait maksimum menzil mesafeleri ve enerji çizgi açılarının tespiti yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre 20 analiz noktasından elde edilen veriler aşağıdaki tabloda sunulmaktadır (Tablo 13).

Tablo 13. Analiz noktalarından 3 boyutlu analizler ile elde edilen enerji çizgi açıları (EÇA) tablosu

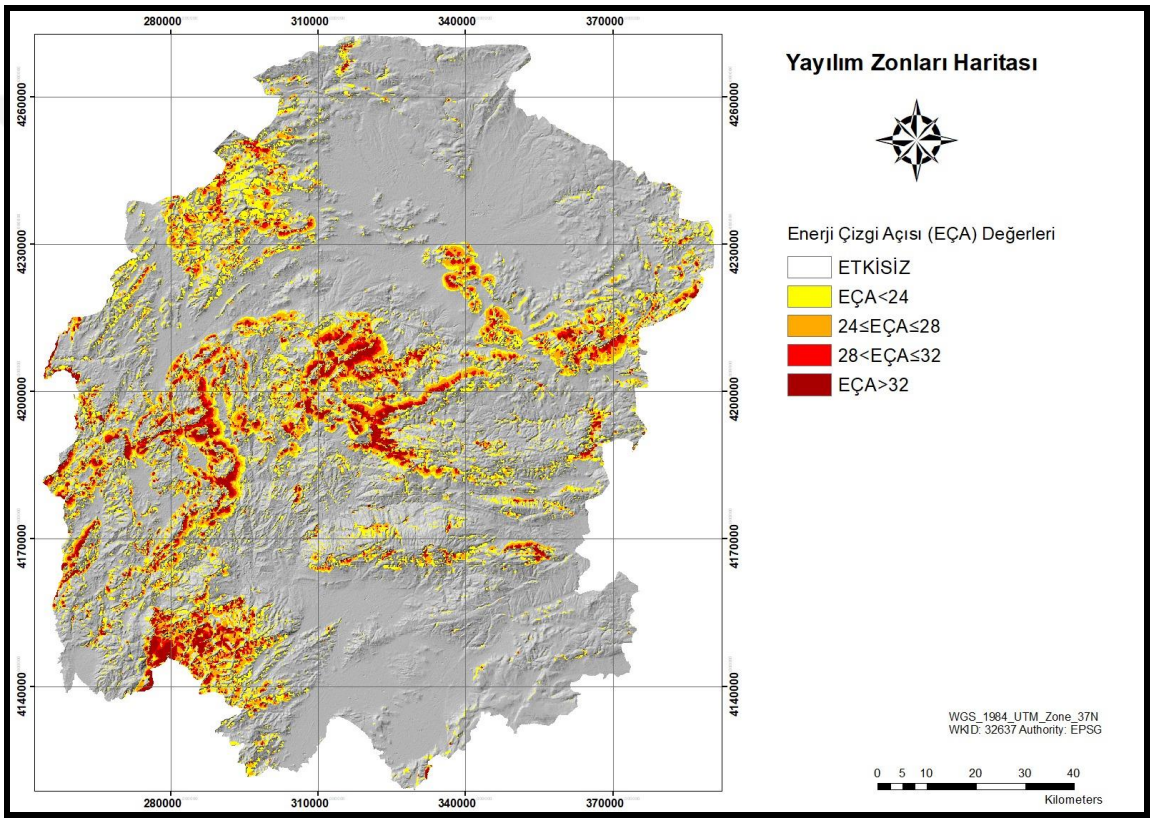
Analiz Noktası (A)	En Yoğun Noktadaki Enerji Çizgi Açısı (º)	Maksimum Menzil Mesafesindeki Enerji Çizgi Açısı (º)
A1	29	27.1
A2	24.5	24
A3	29.5	28.2
A4	29	28
A5	28	28
A6	31.6	30.3
A7	27.3	27.1
A8	30.4	29
A9	27.6	27.1
A10	29	28.4
A11	29.5	26.3
A12	27.6	25.4
A13	27.6	26.4
A14	28	26.7
A15	28.5	26.8
A16	31	26.8
A17	27.6	26.8
A18	29	27.6
A19	28.6	25.8
A20	29	28.2
Ort.	**28.615**	**27.2**

Elde edilen veriler doğrultusunda kaya düşme olaylarının gerçekleştiği sahalarda, maksimum menzil mesafelerine göre elde edilen enerji çizgisi açı değerlerinin; 30,3º (A6) ile 24º (A2) arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bölgesel olarak yapılan değerlendirmelerde, enerji çizgi açısı değeri her yer için analize tanımlanan tek bir açısal değer olarak hesaplandığından; maksimum yayılma mesafesinin tespiti için analizde kullanılacak enerji çizgi açısı (EÇA) değeri olarak tüm analiz noktalarındaki en düşük değer olan 24º alınmıştır. Bu değerlendirme sonucunda analizde kullanılan enerji çizgi açısı değerleri ve yayılım zonu tanımlaması aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. Enerji çizgi açısı (EÇA) değerleri ve etkilenme sınıfı tablosu

Enerji çizgi açısı (EÇA) sınırı değeri	**Etkilenme sınıfı**
EÇA > 32º	ÇOK YÜKSEK
32º ≥ EÇA > 28º	YÜKSEK
28º ≥ EÇA ≥ 24º	ORTA
24º > EÇA	DÜŞÜK - ÇOK DÜŞÜK ya da ETKİSİZ

Sayısal arazi modeli, nihai kaynak alan verisi ve 3 boyutlu kaya düşme analizleri ile elde edilen enerji çizgi açısı girdileri ile analize dâhil edilen parametreler sonucunda kaya düşmesinden etkilenebilecek alanlara ait elde edilen yayılım zonları haritası Şekil 125'te gösterilmektedir.



Şekil 125. Kahramanmaraş ili kaya düşmesi yayılım zonları haritası

4.9. Kaya Düşmelerinde Tehlike ve Etkilenebilirlik Kavramı

Crosta ve Agliardi (2003), kaya düşmesi tehlike haritaları hazırlanırken yayılma zonu içerisinde bulunan her bir grid hücresindeki kaya düşmesinden etkilenme sayısı, düşen kaya bloğunun kinetik enerjisi ve o noktadaki yükseklik ilişkisinin önemli olduğunu belirterek tehlike değerlendirmelerindeki kullanılmasını önerdikleri bu ilişkiyi Eşitlik 2'de verilen bağlantı ile açıklamışlardır.

$$|RHI|=\sqrt{(c^2+k^2+h^2)} \qquad \text{(Eşitlik 2)}$$

Bu eşitlikte;

RHI: kaya düşmesi tehlike indeksi (rockfall hazard index),

c: kaya düşme sayısı olasılığı,

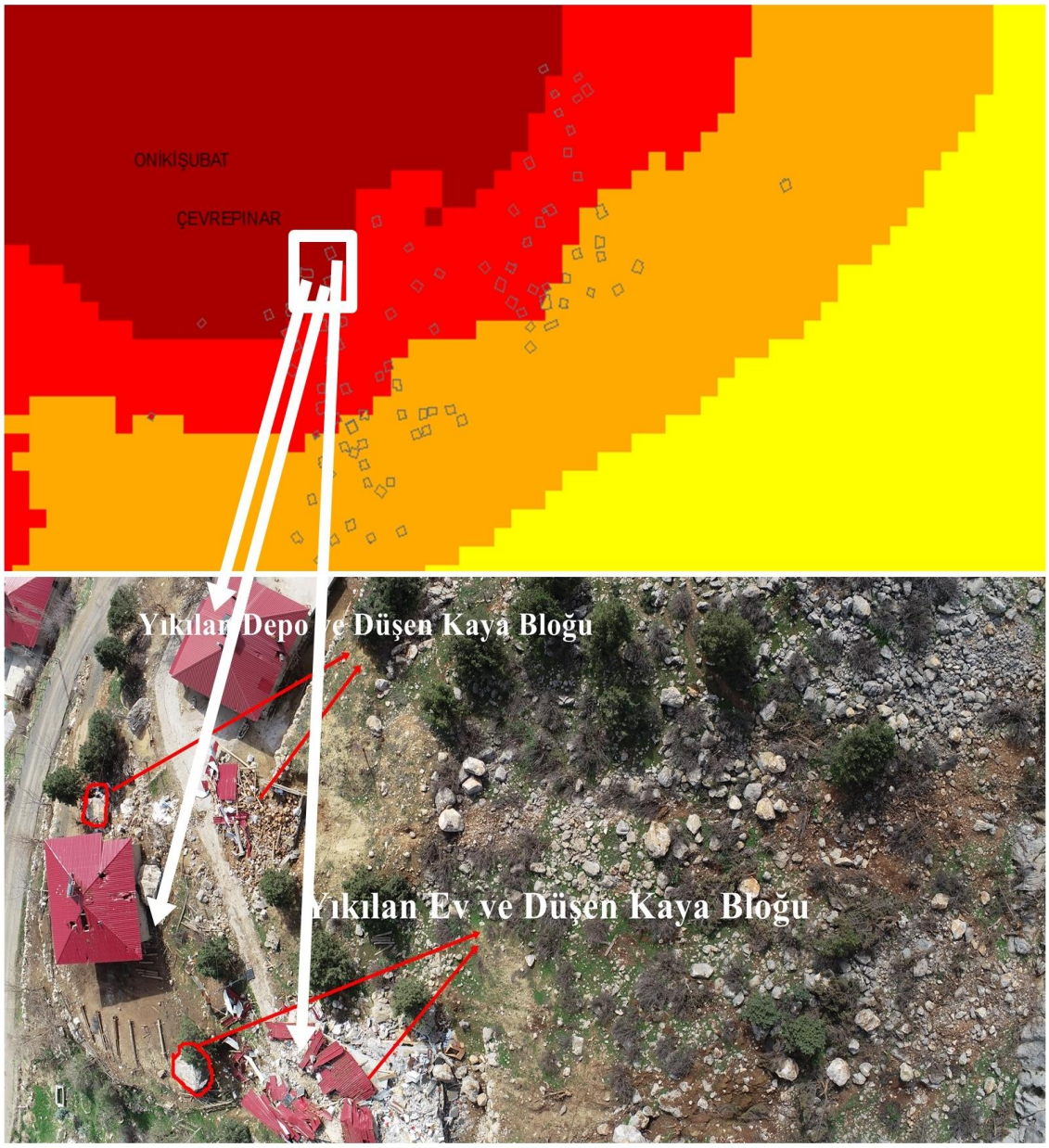
k: kaya bloğunun kinetik enerjisi ($k=0.5(mv^2)$) ve

h: kaya bloğunun potansiyel yüksekliğidir.

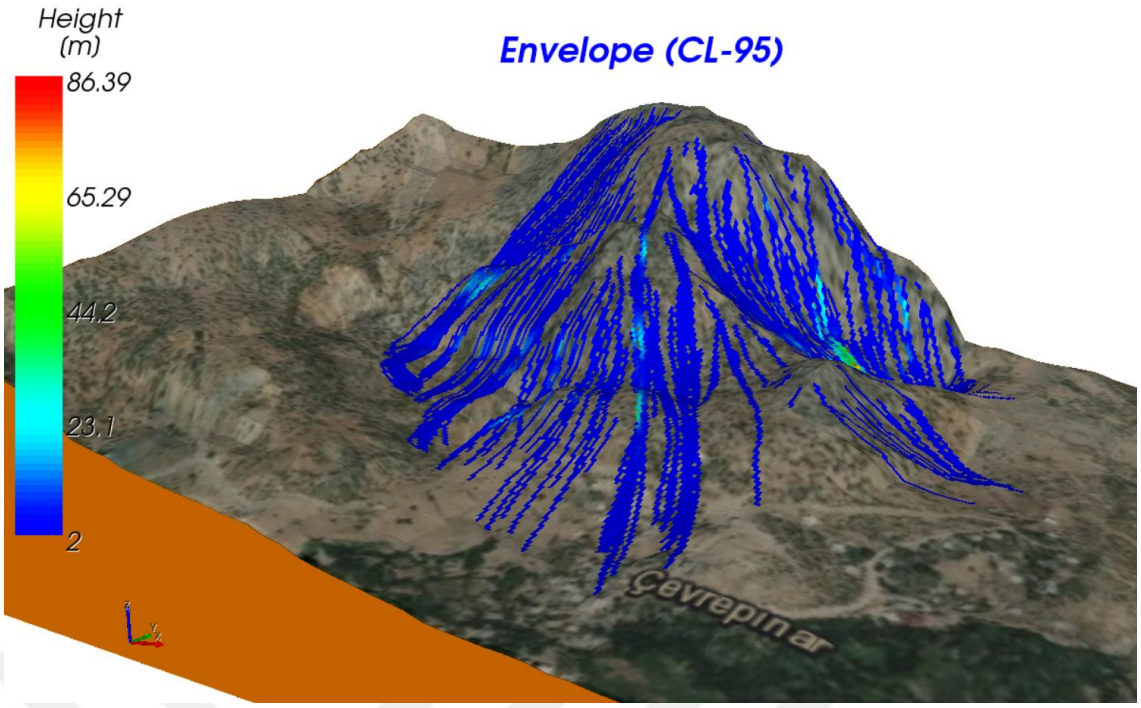
3 boyutlu kaya düşmesi analizleri sonucunda tehlike değerlendirmelerinde altlık olarak kullanılacak parametre haritaları (her bir hücreyi etkileyen blok sayısı, kinetik enerji ve sıçrama yüksekliği) kolaylıkla elde edilebilmektedir (Şekil 127 - 128 - 129). Ayrıca tehlike değerlendirmeleri için önerilen bu parametrelere ilave olarak bu tez çalışmasındaki yayılım zonlarına bağlı etkilenme sınırları da (e: etkilenme sınıfı) parametre girdisi olarak analize dâhil edilmiş (Şekil 130), Eşitlik 3'teki gibi formüle edilmiştir.

$$|RHI|=\sqrt{(c^2+k^2+h^2+e^2)} \qquad \text{(Eşitlik 3)}$$

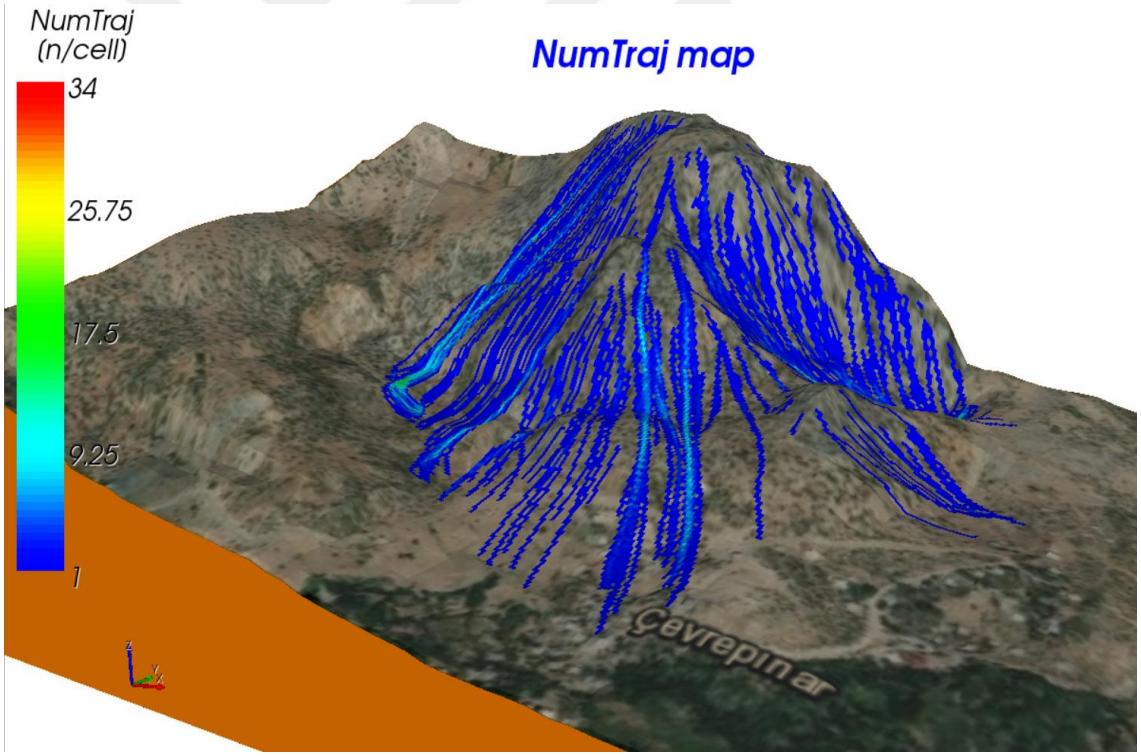
Bölgesel ölçekli çalışmalarda yayılma zonu içerisindeki alanda, kaya düşmesinden etkilenme sayısı ve kinetik enerji düzeyi gibi parametreler ampirik yöntemler ile belirlenebiliyorken, sıçrama yüksekliğine dair veri elde edilememektedir. Bu nedenle bölgesel ölçekli tehlike haritalarında kaya bloğunun sıçrama yüksekliği parametresi genellikle ihmal edilmektedir. Ayrıca grid boyutunda yapılan tehlike değerlendirmelerinin ki bu çalışma özelinde belirtecek olursak her bir hücre boyutunun 30m*30m çözünürlük değerlerine sahip olduğu düşünülürse; lokal alanlarda yapılmasının daha anlamlı sonuçlar vereceği ve aynı zamanda birtakım uygulama zorluklarını beraberinde getireceği düşünüldüğünden, bu tez içerisindeki tehlike değerlendirmesi, tek bir analiz noktası için uygulama örneği olarak verilmiştir. Bunun için A7 analiz noktası, tehlike değerlendirmesinin yapılacağı uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu alanda 06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremler sırasında yaklaşık 500 m menzil mesafesi kat eden farklı boyutlardaki (3 – 63 m^3) kaya blokları yerleşim yerlerine kadar ulaşmış, bir konutun tamamıyla yıkılmasına ve burada bulunan iki kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur (Şekil 126).



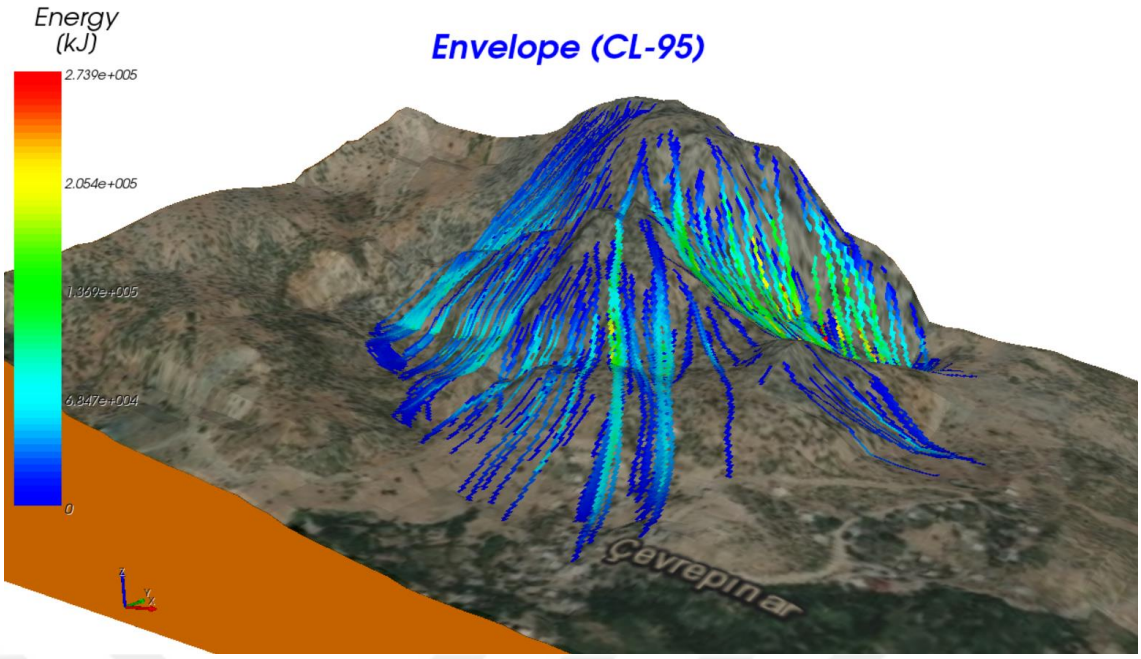
Şekil 126. A7 analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalan yapılar ve düşen kaya bloklarının verdiği hasarlar



Şekil 127. A7 analiz noktasındaki düşen bloklara ait sıçrama yükseklikleri



Şekil 128. Grid hücresinden geçen blok sayıları



Şekil 129. A7 analiz noktasındaki enerji dağılımı

Şekil 130. A7 analiz noktasındaki kaya düşmesinden etkilenme sınıflaması

Parametre haritalarının anlamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için Reclassify modülü kullanılarak yeniden sınıflandırma işlemleri ile her bir parametrenin tehlike tanımlamasının yapılması gerekmektedir. Bu örnekteki tehlike değerlendirmesinde önerilen tanımlamalar aşağıdaki tablolarda sunulmaktadır (Tablo 15 – 16 – 17 – 18).

Tablo 15. Düşen kaya bloğunun kinetik enerji değerine yönelik yapılan sınıflama önerisi

Kinetik Enerji (kj) Aralığı	Tehlike Sınıfı	Tehlike İndeksine Esas Puanı
<250	Çok düşük	1
0 - 1000	Düşük	2
1000 - 2500	Orta	3
2500 - 5000	Yüksek	4
>5000	Çok Yüksek	5

Tablo 16. Her bir grid hücresindeki kaya bloğundan etkilenme sayısına yönelik yapılan sınıflama önerisi

Kaya Bloğu Sayısı (Adet)	Tehlike Sınıfı	Tehlike İndeksine Esas Puanı
1 – 17.6	Çok düşük	1
17.6 – 34.2	Düşük	2
34.2 – 50.8	Orta	3
50.8 – 67.4	Yüksek	4
67.4 - 84	Çok yüksek	5

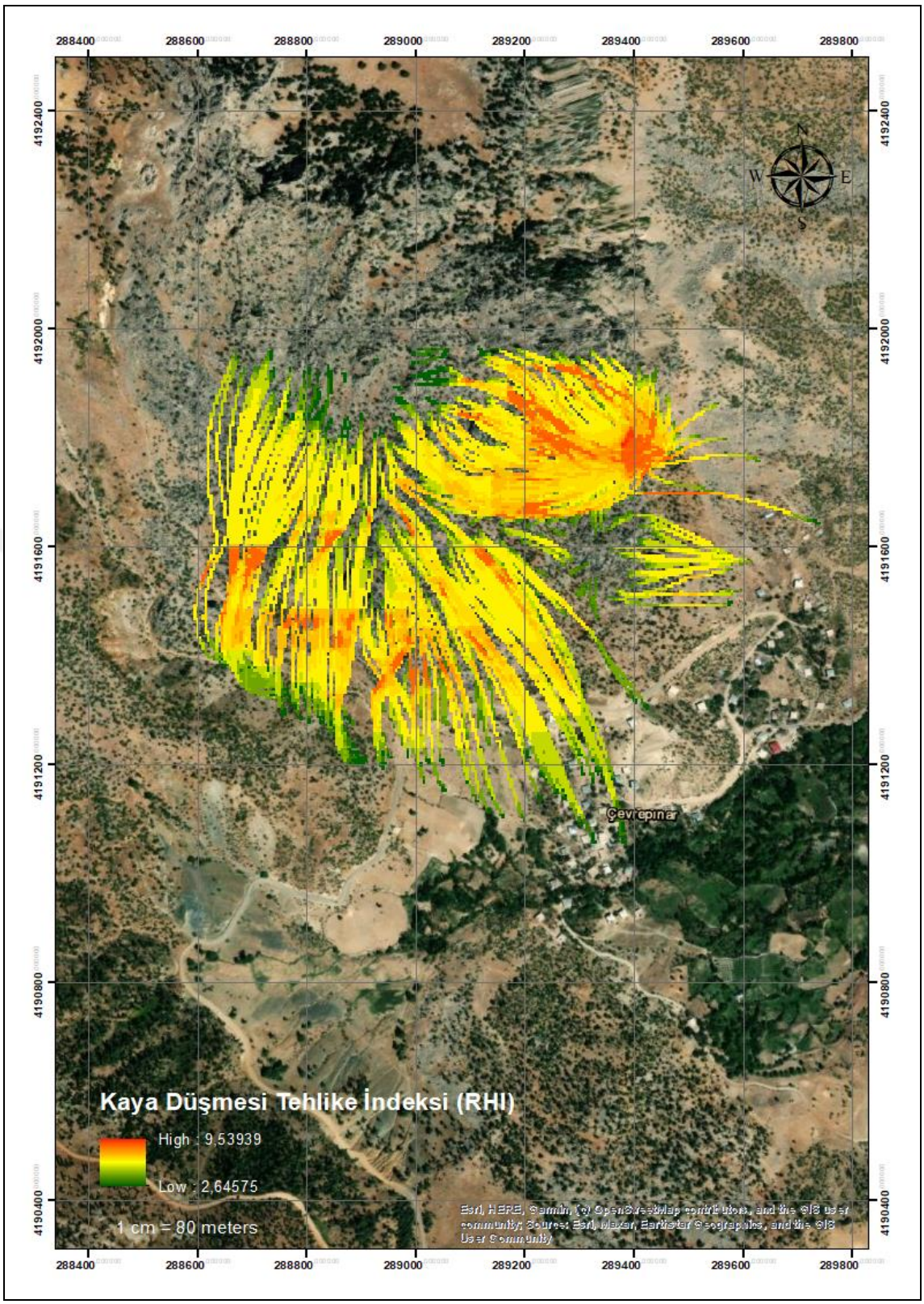
Tablo 17. Kaya bloğunun potansiyel sıçrama yüksekliğine yönelik yapılan sınıflama önerisi

Sıçrama Yüksekliği (m)	Tehlike Sınıfı	Tehlike İndeksine Esas Puanı
0 – 2	Çok düşük	1
2 – 4	Düşük	2
4 – 6	Orta	3
6 – 10	Yüksek	4
>10	Çok yüksek	5

Tablo 18. Etkilenme sınıfına yönelik yapılan puanlama

Etkilenme Sınıfı	Tehlike İndeksine Esas Puanı
Çok düşük	1
Düşük	2
Orta	3
Yüksek	4
Çok yüksek	5

Analize uygun hale getilen parametre haritalarının Eşitlik 3'de verilen bağlantı aracılığı ile Arcgis yazılımında; Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator modülü kullanılarak; SquareRoot(Square("c")+Square("k")+Square("h")+ Square("e")) işlemi ile kaya düşmesi tehlike indeksi belirlenmiştir (Şekil 131).



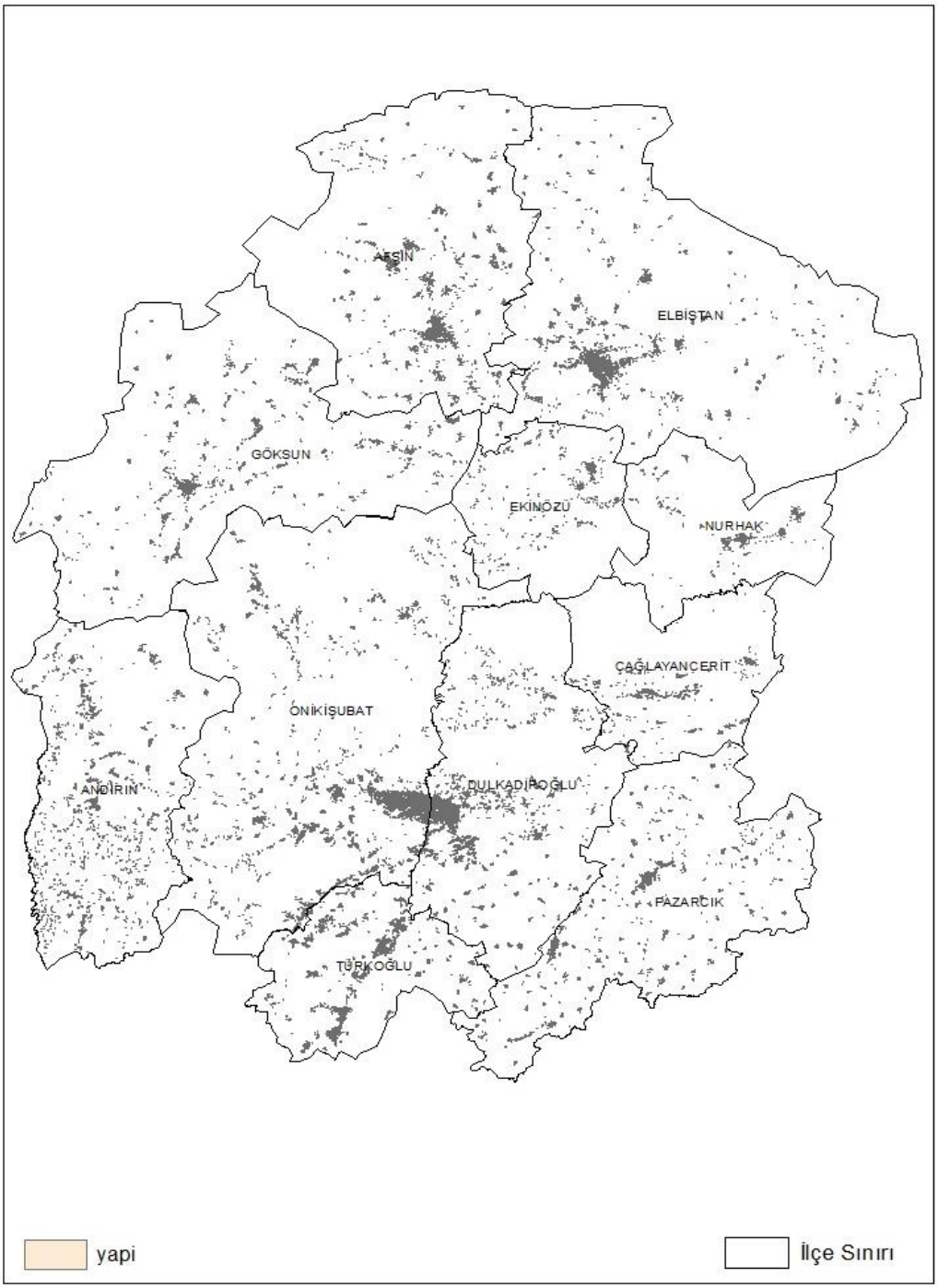
Şekil 131. A7 analiz noktası kaya düşmesi tehlike haritası

Tehlike değerlendirmelerinde her bir grid hücresi için enerji miktarı, etkilendiği blok sayısı ve sıçrama yüksekliği gibi parametrelerin bilinmesi gerektiği ve tehlike değerlendirmelerinin lokal ölçekteki detay çalışamalar için daha anlamlı sonuçlar vereceği yukarıda ifade edilmişti. İl ölçeğindeki yaklaşımı konu alan bu çalışmada ise

duyarlılık değerlendirmelerinden farklı olarak kaya düşmesi olayı yaşanmış alanlardaki kaynak alanların, pilot bölge seçilen 20 analiz noktasındaki 3 boyutlu değerlendirmelerine göre, herhangi bir yapının genel perspektifte etkilenebilirliğinin ortaya konması amaçlanmış, bu nedenle kaya düşmelerinin yayılma zonlarına karşılık gelen tanımlama için "etkilenme sınıfı" ifadesi kullanılmıştır. Buna ilave olarak, 20 analiz noktasındaki enerji dağılımı ve yapıların kaya düşmesi afetinden korunmasına yönelik ıslah edilebilirlikleri irdelenmiş, yapılan değerlendirmeler sonucunda il ölçeğindeki bir yaklaşım için etkilenme sınıflarına karşılık gelen enerji dağılımları ve koruma yapıları yorumlanmıştır.

1.9.1. Yerleşim Yerlerinin Kaya Düşmelerinden Etkilenebilirliği

Kahramanmaraş ili için kaya düşmesi yayılım zonları haritası kullanılarak, herhangi bir yerleşim yerinin, kaya düşmesi afeti yönünden etkilenme sınıfının tespiti kolaylıkla yapılabilmektedir. Böylelikle yerleşim yeri, enerji nakil hatları, enerji tesisleri, turistik alan, tarihi alan, karayolu, köy yolları vb. tüm alanlara dair kaya düşmesi değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bunun için ihtiyaç duyulan yapı stoğu bilgisi olarak; Kahramanmaraş İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü envanterinde bulunan 2019 yılına ait Mekansal Adres Kayıt Sistemi (MAKS) verileri kullanılmıştır (Şekil 132). Bu alanlara karşılık gelebilecek enerji dağılımının ve uygulanabilecek ıslah yapılarının belirlenmesine yönelik değerlendirmeler ilerleyen bölümlerde izah edilecektir.

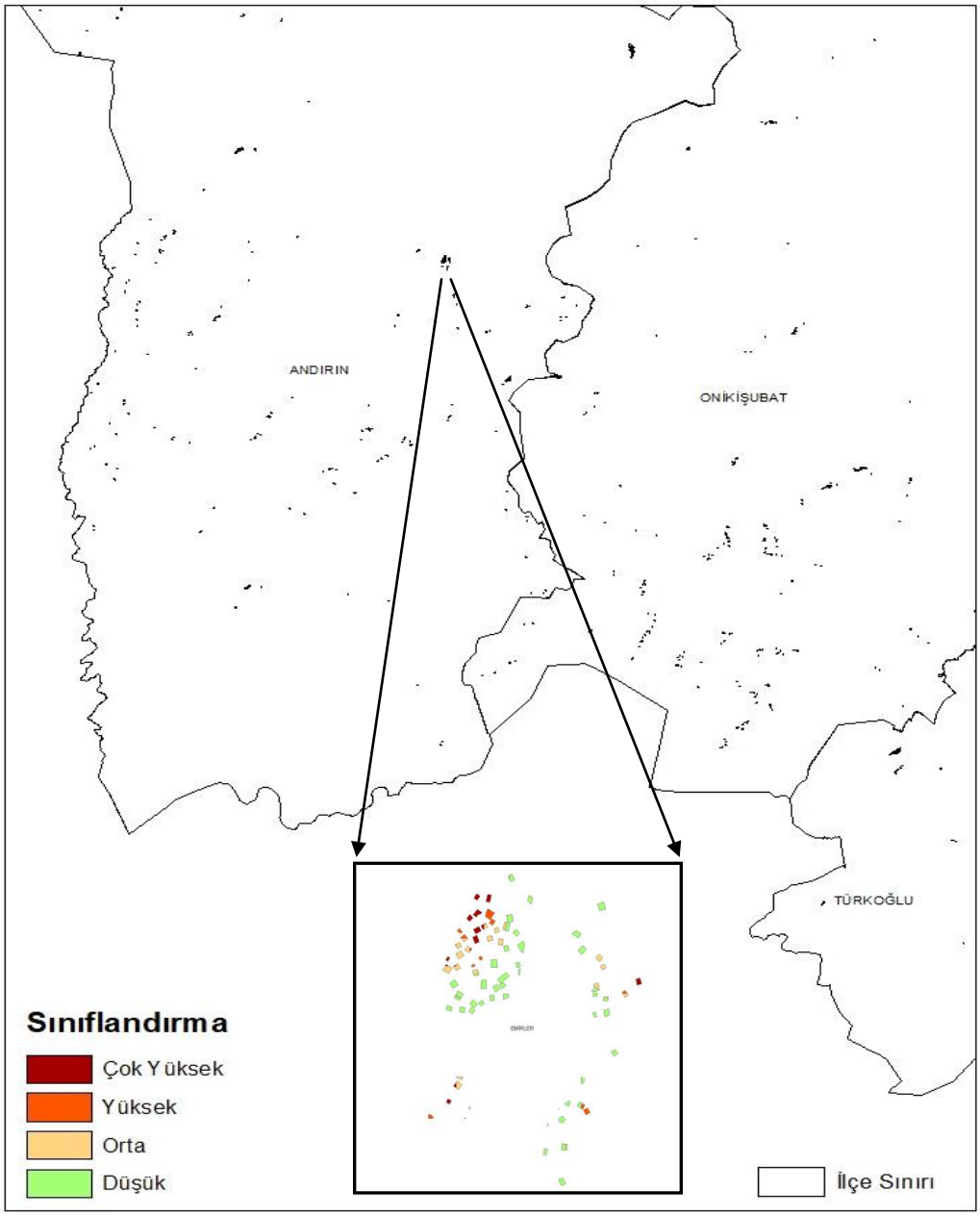


Şekil 132. İldeki yapı stoğu (MAKS, 2019)

Bu işlem için raster veri formatındaki yayılım zonları haritası “Conversion Tools - From Raster - Raster to Poygon” analiz aracı kullanılarak vektör formata dönüştürülmüş ve farklı enerji çizgi açısı değerleri “Properties - Definition Query” modülü kullanılarak ayırtlanmıştır. Farklı enerji çizgi açısı değerlerine göre ayırtlanan yayılım zonlarının, yapı stoğu verisi ile “Geoprocressing – Clip” analiz aracı ile çakıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

İl ölçeğinde yapılan bu değerlendirme sonucunda MAKS veri tabanında kayıtlı 227199 yapı analize dahil edilmiştir. Tablo 14’te sunulan enerji çizgi açısı değerlerine

göre; 359 yapının çok yüksek, 1039 yapının yüksek, 5558 yapının orta, 9242 yapının ise düşük etkilenme sınıfı içerisinde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 133).



Şekil 133. Yayılım zonlarına göre yapıların etkilenme sınıflaması

4.9.2. Analiz Noktalarındaki Yerleşim Yerlerinin Etkilenme Değerlendirmesinin Yapılması

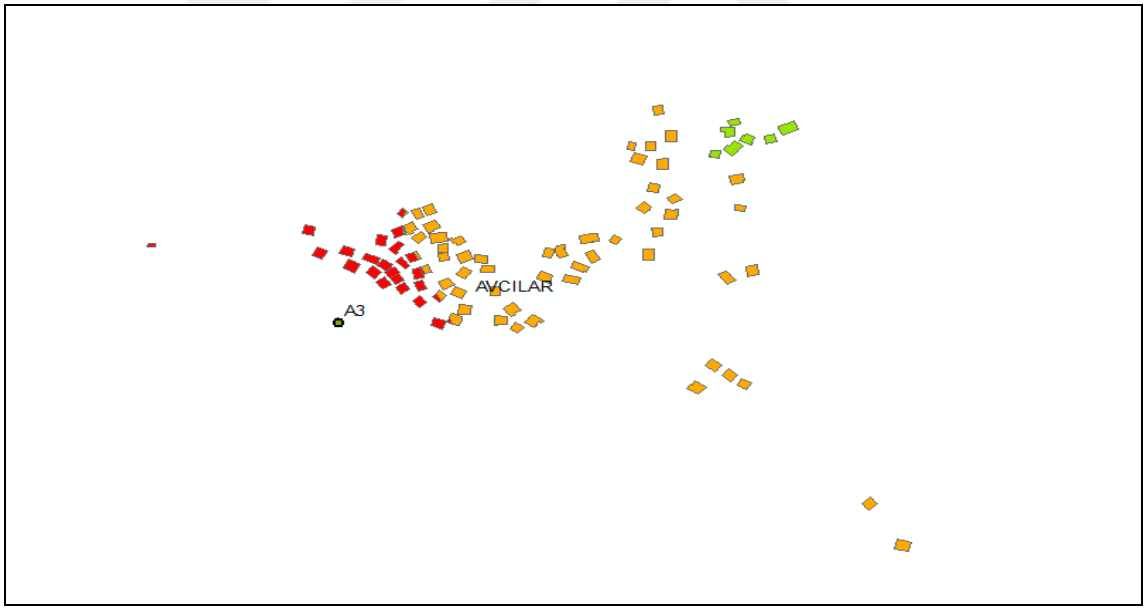
Üç boyutlu analizlerin yapıldığı analiz noktalarındaki yerleşim yerlerinin yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması yapılmıştır. Buna göre;

A1 analiz noktasında; 4 yapı yüksek, 6 yapı orta, 2 yapı ise düşük etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 134).

Şekil 134. A1 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

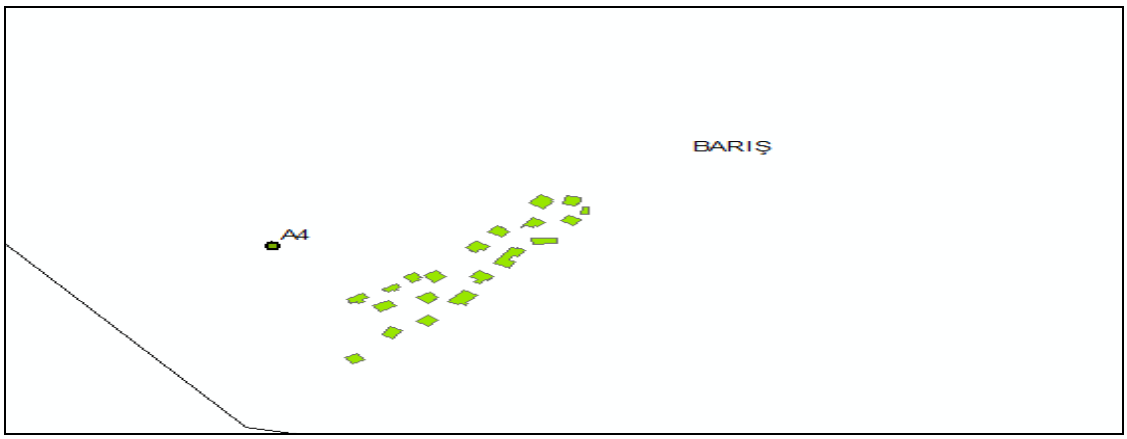
A2 analiz noktasında etkilenme sınıflamasına herhangi bir yapı girmemiştir.

A3 analiz noktasında 7 yapı düşük, 57 yapı orta, 19 yapı ise yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 135).



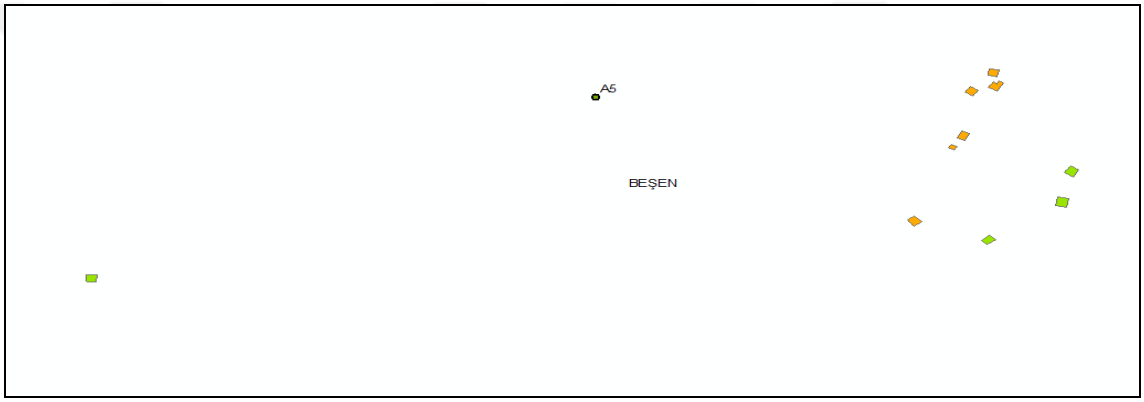
Şekil 135. A3 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A4 analiz noktasında 20 yapı düşük etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 136).



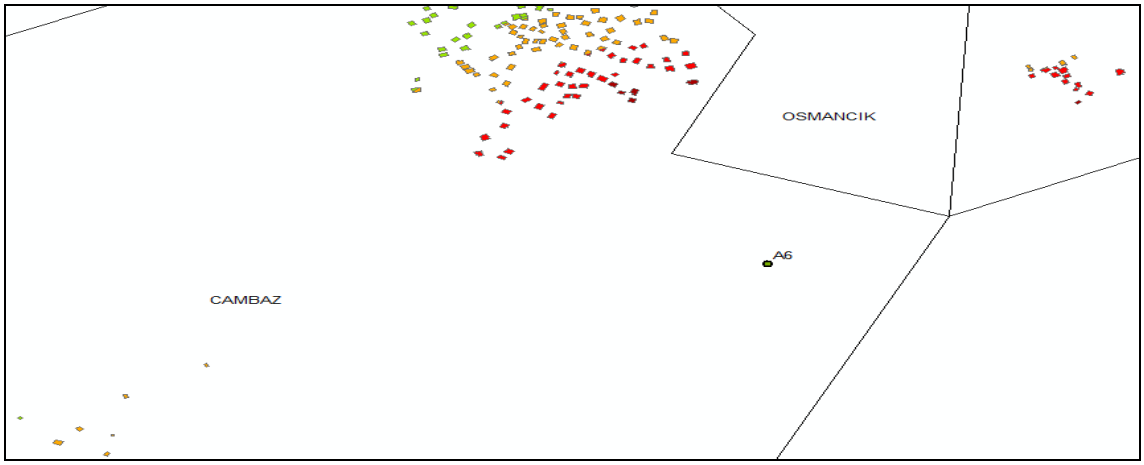
Şekil 136. A4 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A5 analiz noktasında 4 yapı düşük tehlike, 6 yapı ise orta etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 137).



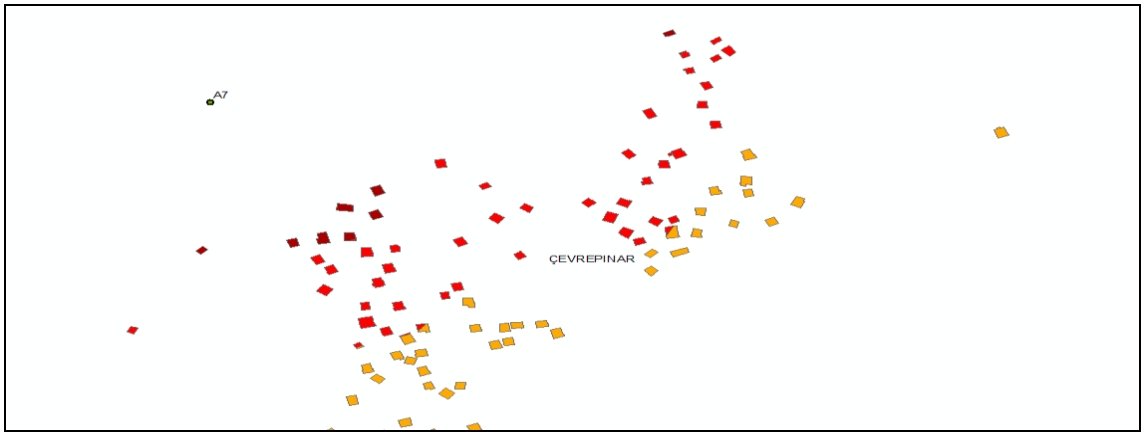
Şekil 137. A5 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A6 analiz noktasında 22 yapı düşük, 54 yapı orta, 46 yapı yüksek, 6 yapı ise çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 138).



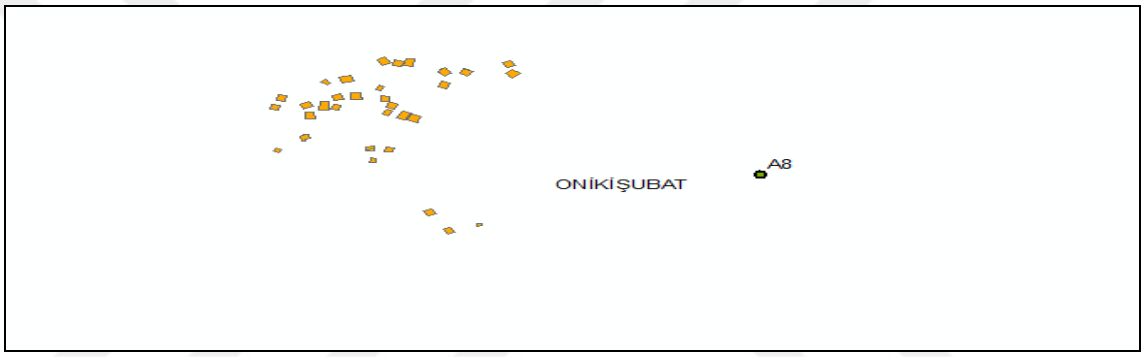
Şekil 138. A6 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A7 analiz noktasında; 34 yapı orta, 43 yapı yüksek, 8 yapı ise çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 139).



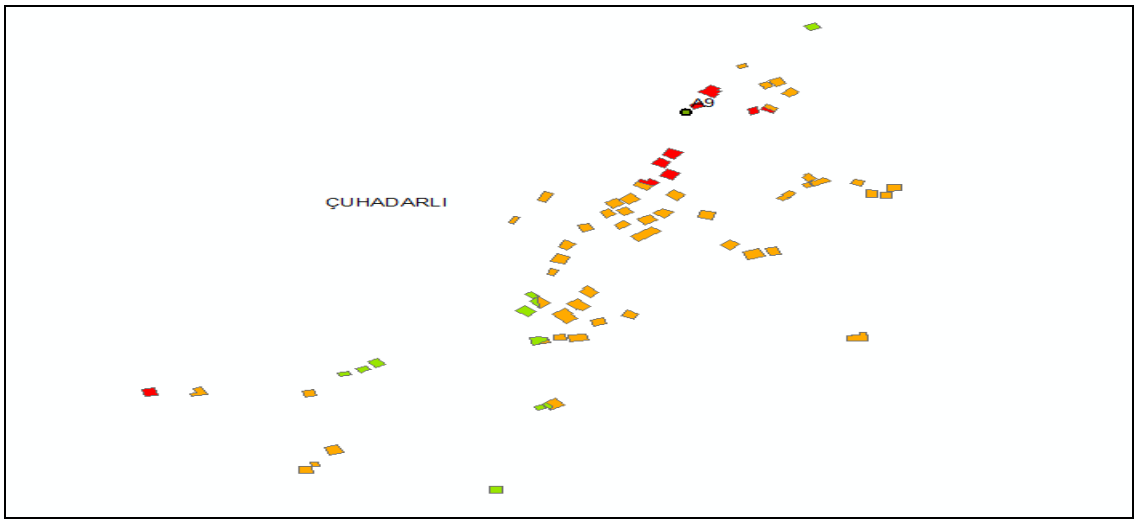
Şekil 139. A7 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A8 analiz noktasında 32 yapı orta tehlike sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 140).



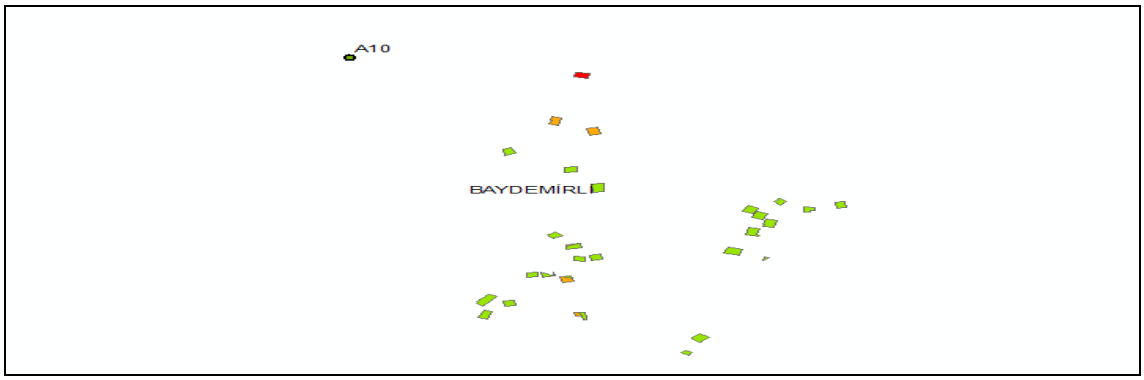
Şekil 140. A8 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A9 analiz noktasında 8 yapı düşük, 50 yapı orta, 9 yapı ise yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 141).



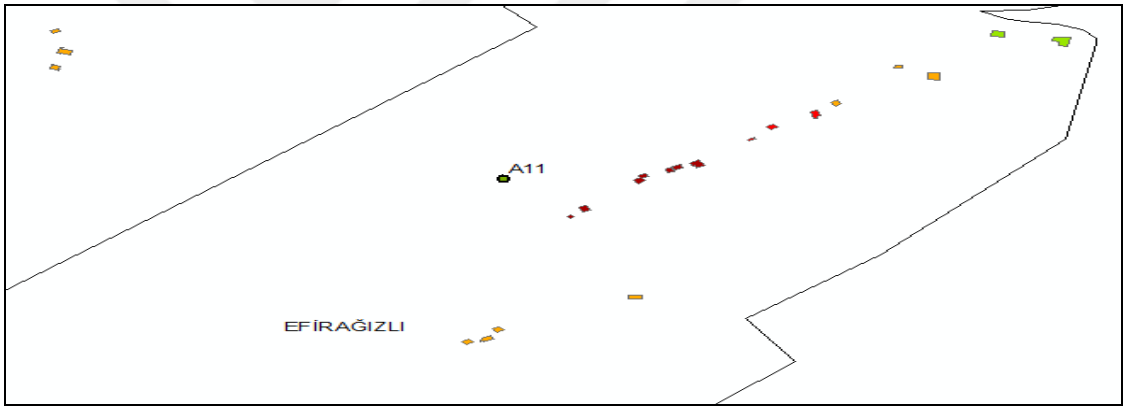
Şekil 141. A9 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A10 analiz noktasında; 22 yapı düşük, 4 yapı orta, 1 yapı ise yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 142).



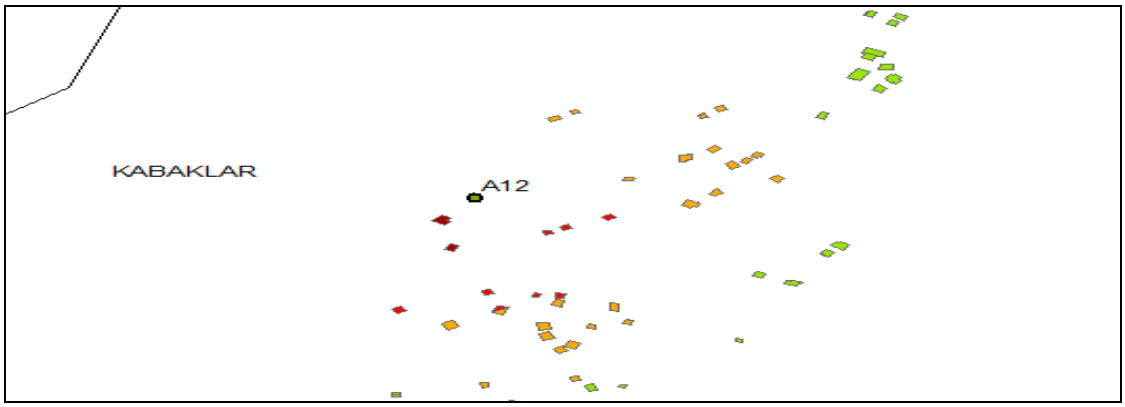
Şekil 142. A10 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A11 analiz noktasında 2 yapı düşük, 10 yapı orta, 3 yapı yüksek, 7 yapı ise çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalmıştır (Şekil 143).



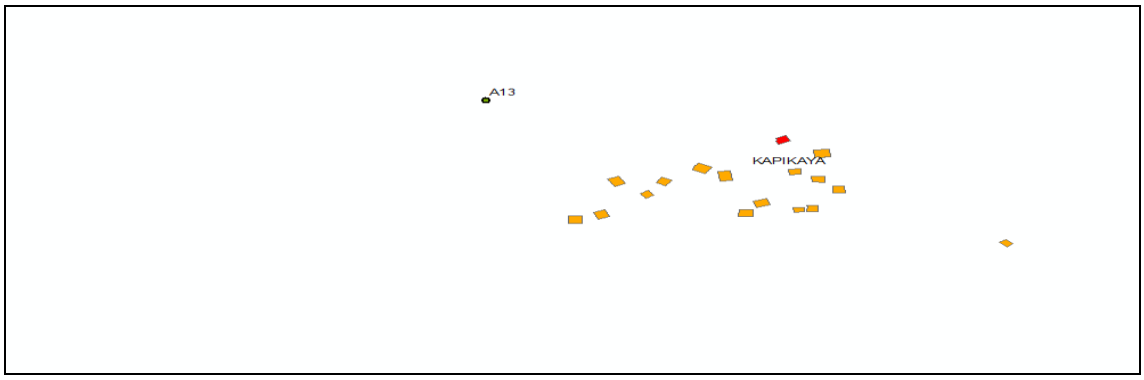
Şekil 143. A11 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A12 analiz noktasında; 17 yapı düşük, 25 yapı orta, 8 yapı yüksek, 2 yapı ise çok yüksek etkilenme sınıfı içerisindedir (Şekil 144).



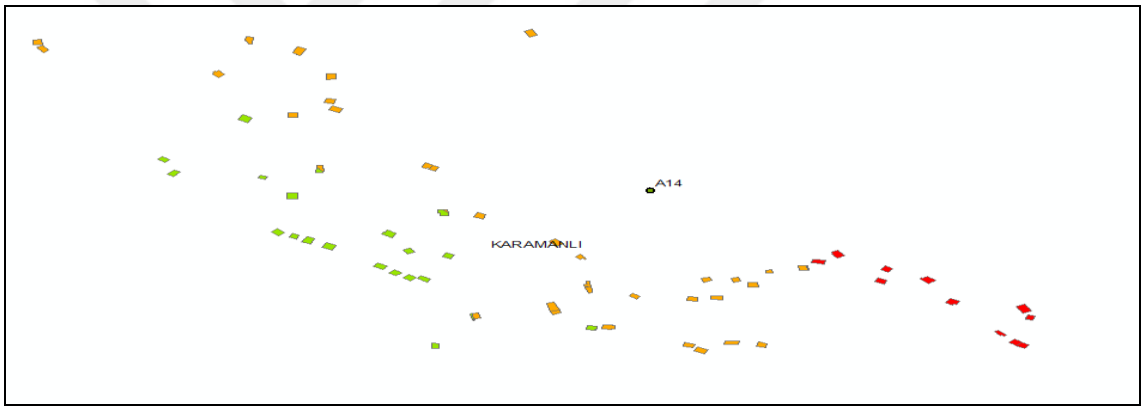
Şekil 144. A12 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A13 analiz noktasında; 16 yapı orta, 1 yapı yüksek etkilenme sınıfı içerisindedir (Şekil 145).



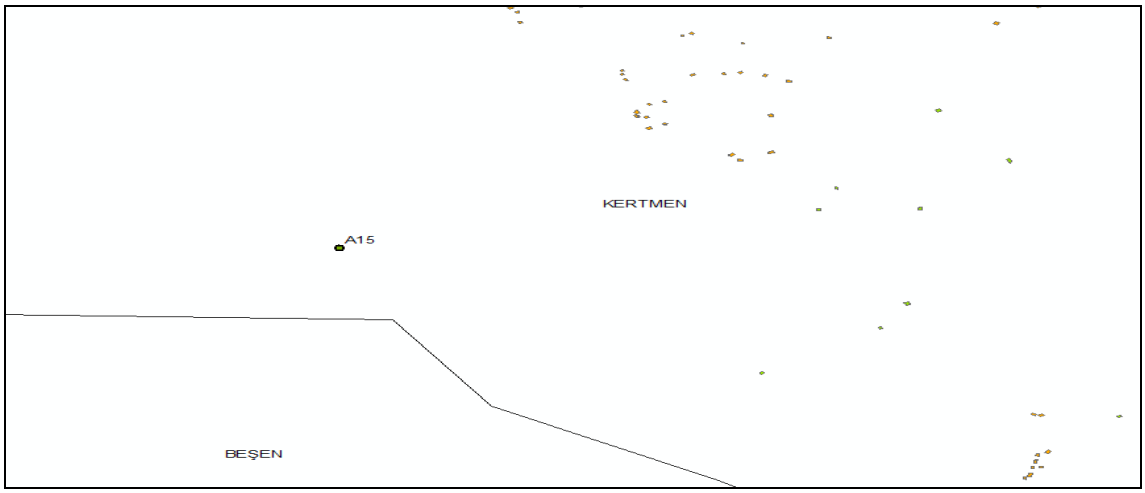
Şekil 145. A13 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A14 analiz noktasında 20 yapı düşük, 32 yapı orta, 10 yapı ise yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalmaktadır (Şekil 146).



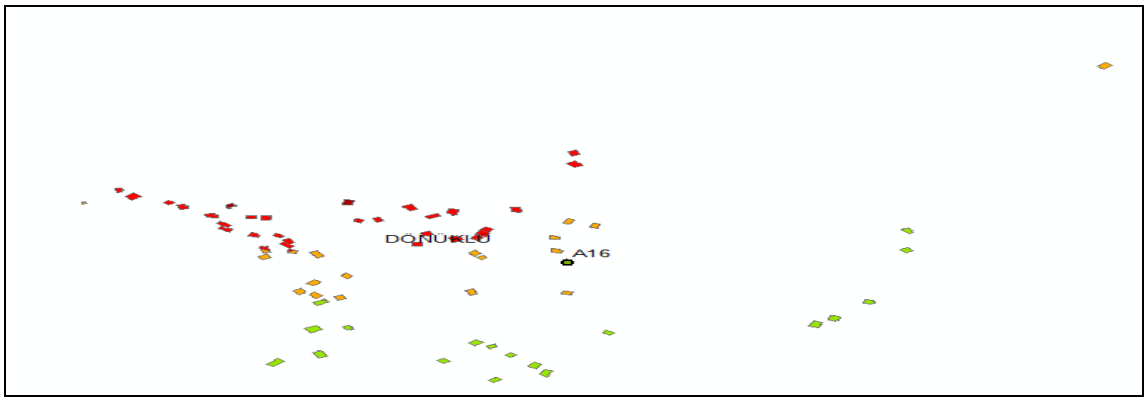
Şekil 146. A14 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A15 analiz noktasında 15 yapı düşük, 42 yapı ise orta etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 147).



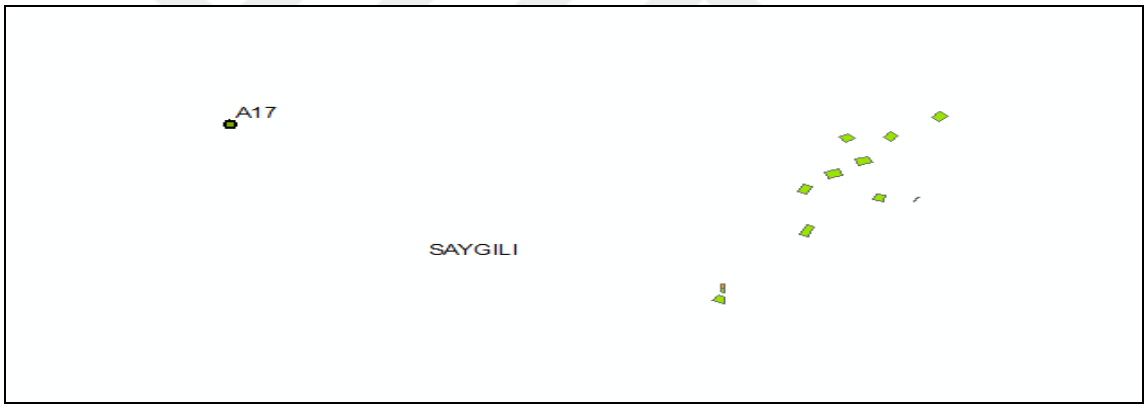
Şekil 147. A15 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A16 analiz noktasında 18 yapı düşük tehlike, 17 yapı orta, 28 yapı yüksek, 2 yapı ise çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 148).



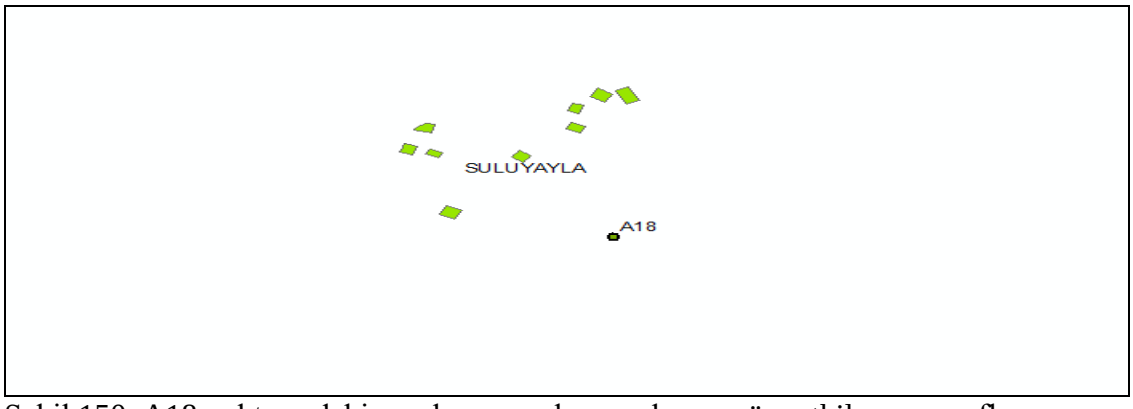
Şekil 148. A16 analiz noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre tehlike sınıflaması

A17 analiz noktasında 10 yapı düşük etkilenme sınıflaması içerisinde bulunmaktadır (Şekil 149).



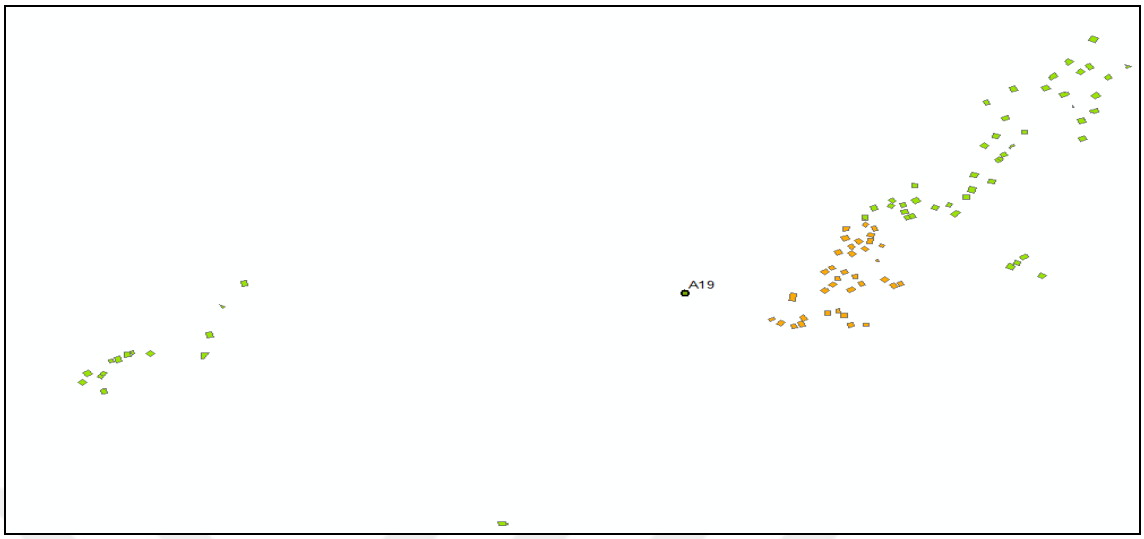
Şekil 149. A17 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A18 analiz noktasında 9 yapı düşük etkilenme sınıfı içerisinde yer almaktadır (Şekil 150).



Şekil 150. A18 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A19 analiz noktasında 58 yapı düşük, 37 yapı ise orta etkilenme sınıfı içerisinde yer almıştır (Şekil 151).



Şekil 151. A19 noktasındaki yapıların yayılım zonlarına göre etkilenme sınıflaması

A20 analiz sahasında herhangi bir etkilenme sınıfı içerisinde yer alan yapı bulunmamaktadır.

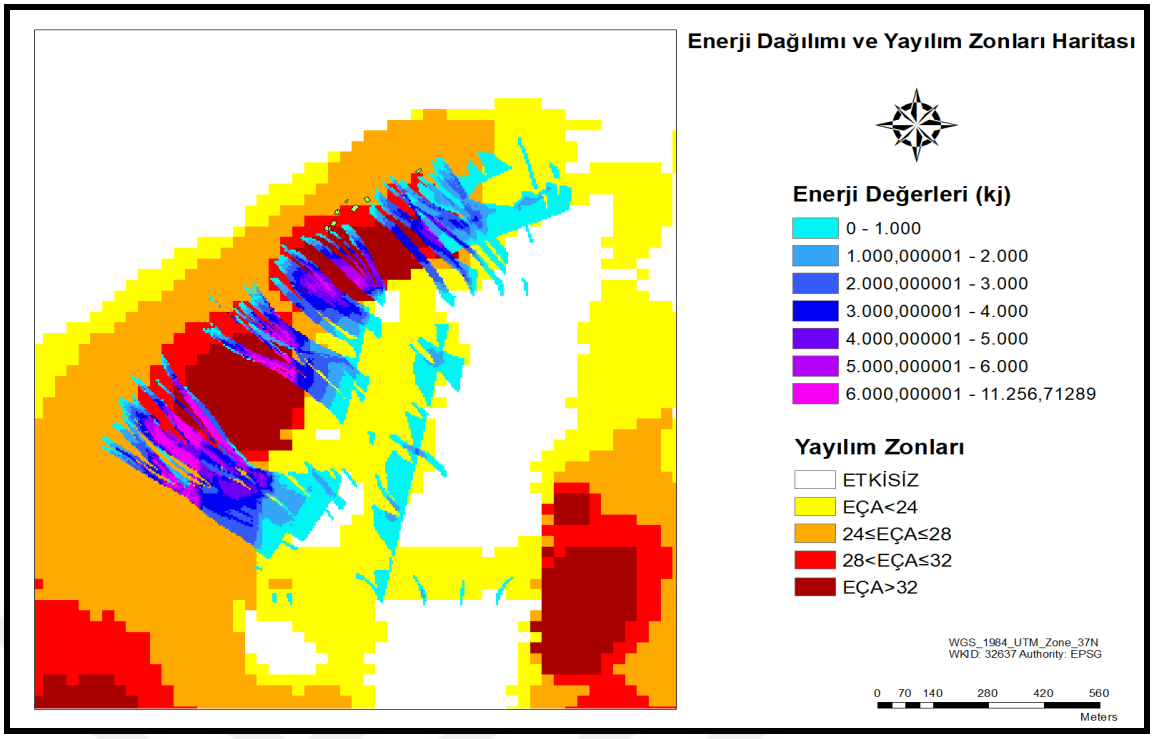
4.9.3. Üç Boyutlu Analizler ile Elde Edilen Maksimum Enerji Verilerinin Yayılım Zonları ile Değerlendirilmesi

Bu aşamada üç boyutlu analizler sonucu elde edilen enerji değerlerinin yayılım zonları içerisindeki dağılımı ve yapı ilişkisi araştırılmıştır.

Rocpro3d yazılımı ile elde edilen enerji dağılım alanları" Maps" sekmesinden haritaya dönüştürülerek "*.asc" uzantısı ile Arcgis programına aktarılmış ve raster dönüşüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Enerji dağılımları ile yayılım zonları haritaları karşılaştırılarak her bir etkilenme sınıfındaki enerji değerlerine göre; yapıların maruz kaldığı enerjilerin tespitine yönelik yorumlama yapılmıştır.

A1 Analiz Noktası;

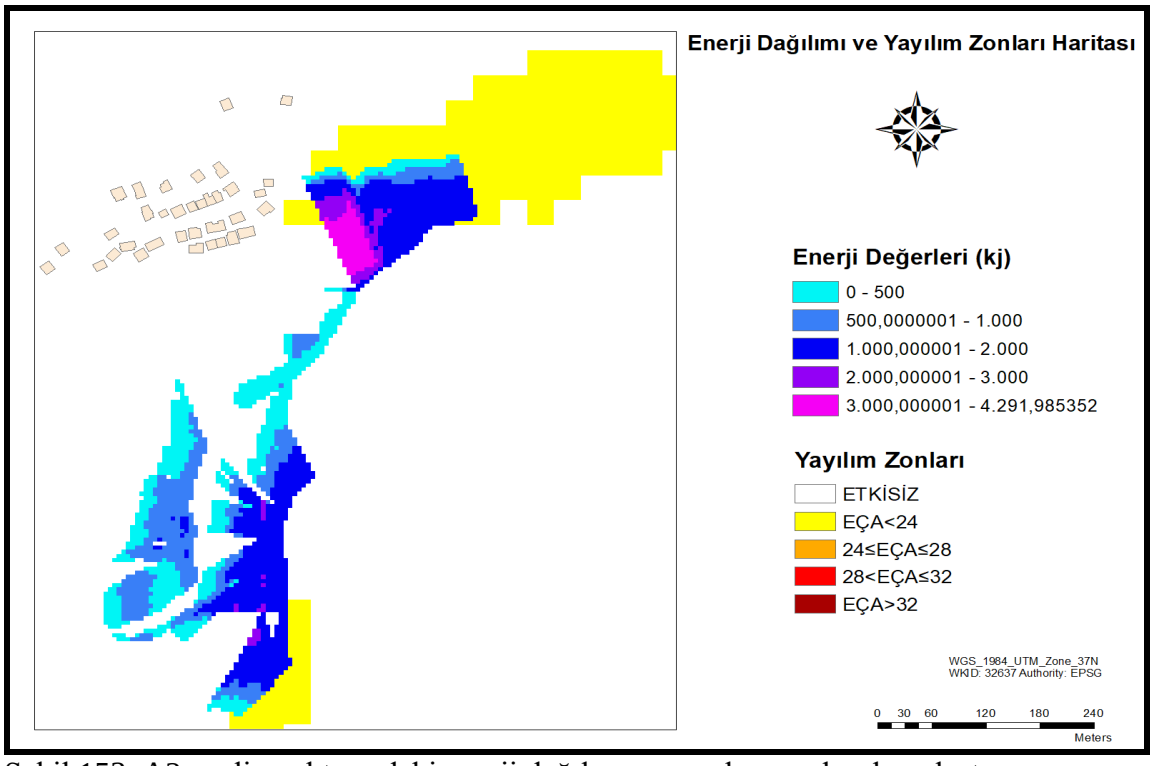
A1 analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfı içerisindeki enerji dağılımının genellikle 6000 kj ile 11256 kj değer aralığında olduğu görülmektedir. Enerjinin yüksek etkilenme sınıfı içerisinde azaldığı, kimi yerlerde ise durduğu belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfı içerisinde hareketin tamamıyla durduğu, bu etkilenme sınıfındaki genel enerji dağılımının 1000 kj civarında seyrettiği tespit edilmiştir. Yapılaşmanın enerjinin giderek azaldığı ya da durduğu yüksek ve orta etkilenme sınıfı içerisinde 0 - 3500 kj değer aralığındaki enerji dağılımına maruz kaldığı görülmektedir (Şekil 152).



Şekil 152. A1 analiz noktasındaki enerji dağılım ve yayılım zonları karşılaştırması

A2 Analiz Noktası;

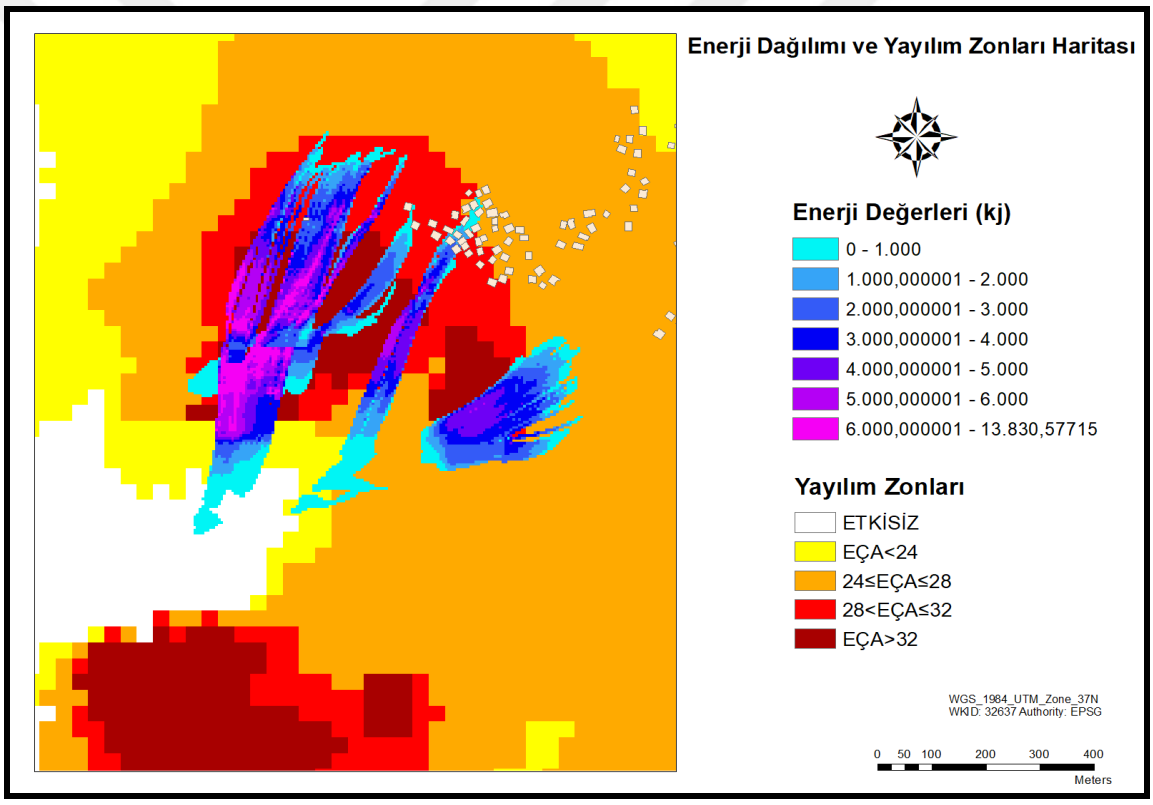
A2 Analiz noktasındaki enerji dağılımı düşük etkilenme sınıfı içerisinde yaygın olarak 0 – 1000 kj değer aralığında kalmaktadır. Enerjinin etkisiz alan içerisinde kaybolduğu, yapılar için herhangi bir tehdit oluşmadığı belirlenmiştir (Şekil 153).



Şekil 153. A2 analiz noktasındaki enerji dağılım ve yayılım zonları karşılaştırması

A3 Analiz Noktası;

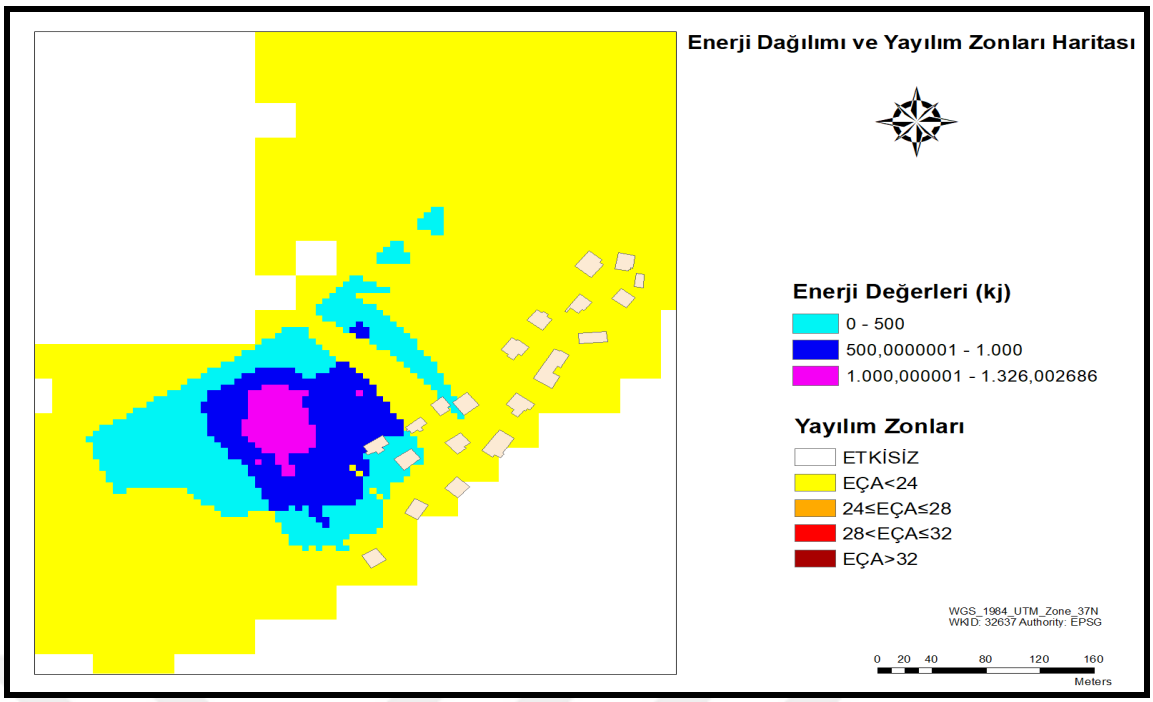
A3 analiz noktasında üç boyutlu analizler sonucunda hesaplanan maksimum enerji miktarı 13830 kj'dur. Çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yaygın olarak; 5000 kj ile 13830 kj arasındaki enerji değerlerinin dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek etkilenme sınıfı içerisinde enerji hareketlerinin giderek azaldığı, yaygın olarak durduğu görülmektedir. Yer yer 3000 kj ile 5000 kj değerleri arasındaki enerji dağılımlarının bu sınıf içerisinde yer aldığı görülmüştür. Orta etkilenme sınıfında ise enerjinin büyük ölçüde azaldığı yaygın olarak 1000 kj civarında seyrettiği tespit edilmiştir. Yüksek enerji sınıfındaki yapıların 2000 kj – 3500 kj değer aralığındaki enerji dağılımının, orta etkilenme sınıfında ise 1000 kj değerindeki enerji dağılımının etkisinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 154).



Şekil 154. A3 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A4 Analiz Noktası;

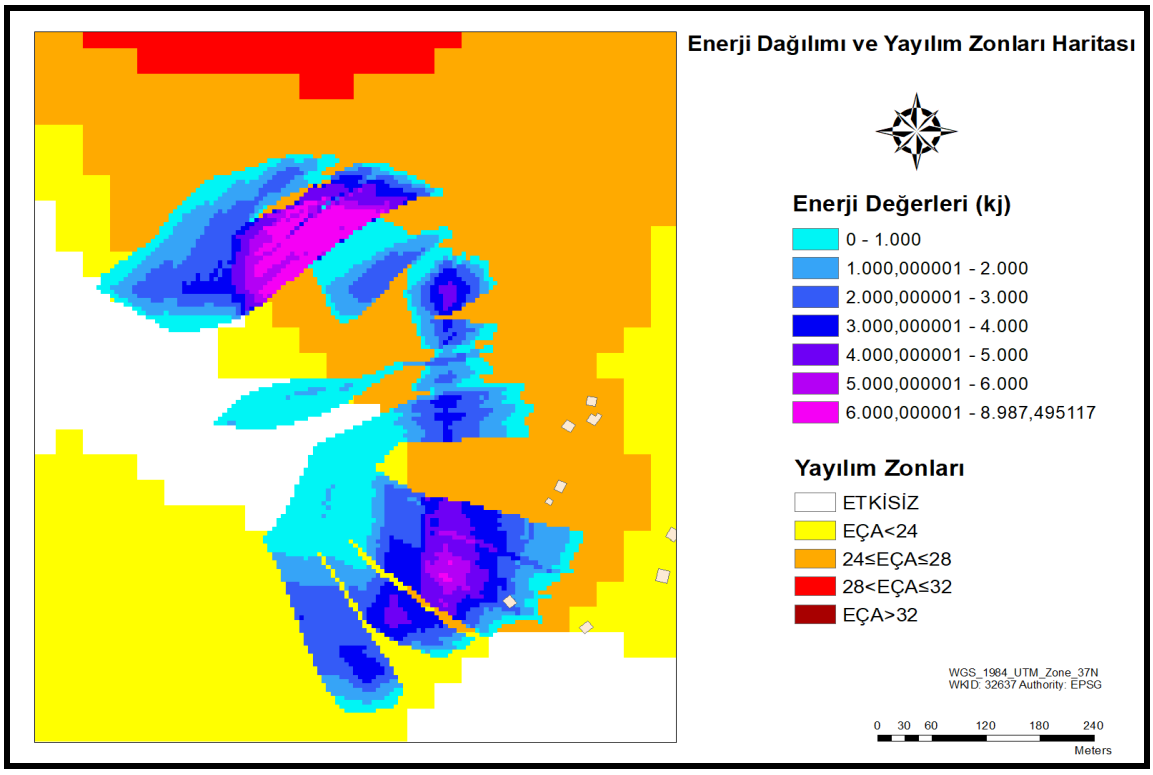
A4 Analiz noktasındaki enerjinin düşük etkilenme sınıfı içerisinde 0 – 1326 kj değer aralığında kaldığı belirlenmiştir. Bu bölgedeki bazı yapıların 1000 kj enerji değeri etkisi altında kaldığı belirlenmiştir (Şekil 155).



Şekil 155. A4 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A5 Analiz Noktası;

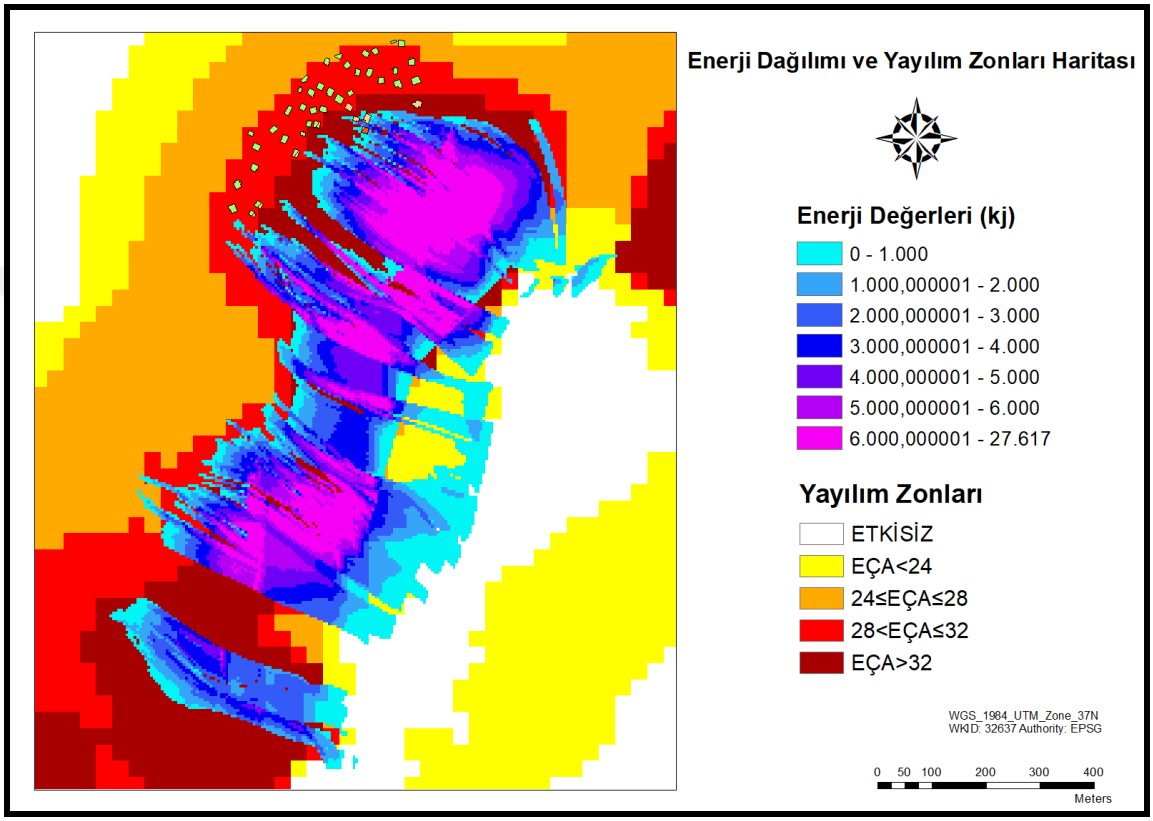
A5 Analiz noktasında enerjinin orta etkilenme sınıfında yayılım yaptığı ve 8987 kj değerine ulaştığı görülmektedir. Yine aynı etkilenme sınıfı içerisinde enerjinin giderek azaldığı ve durduğu belirlenmiştir. Bir yapının 2000 kj – 3000 kj değer aralığındaki enerji dağılımının etkisi altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 156).



Şekil 156. A5 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A6 Analiz Noktası;

A6 Analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfı içerisindeki enerji dağılımı yaygın olarak 10000 kj – 27617 kj arasındadır. Aynı etkilenme sınıfı içerisinde enerjinin büyük oranda azaldığı ve yaygın olarak durduğu görülmektedir. Çok yüksek etkilenme sahası içerisindeki bazı yapıların 2000 kj – 4500 kj değer aralığındaki enerji dağılımının etkisi altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 157).

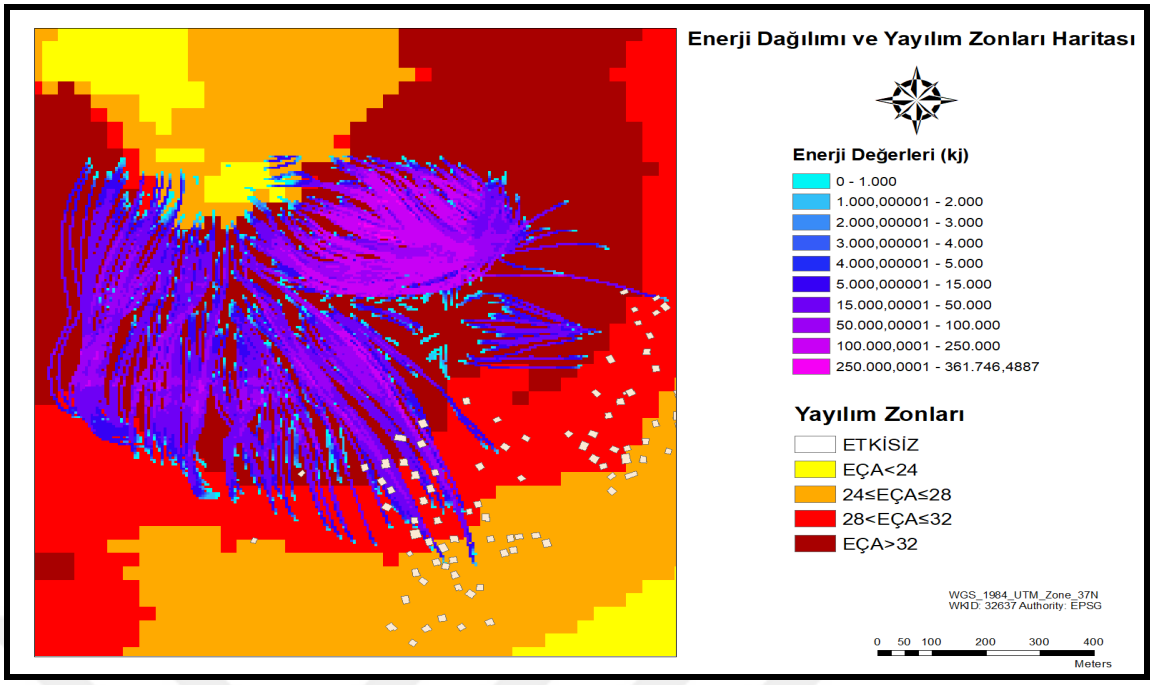


Şekil 157. A6 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A7 Analiz Noktası;

A7 analiz noktasında üç boyutlu analizler sonucunda hesaplanan maksimum enerji miktarı yaklaşık 361000 kj'dur. Çok yüksek etkilenme sınıfında yaygın olarak 10000 kj ile 361000 kj arasındaki enerji değerleri dağılım göstermektedir. Yüksek etkilenme sınıfı içerisinde enerji hareketlerinin giderek azaldığı, yaygın olarak durduğu görülmektedir. Çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfında bulunan bazı yapıların 15000 kj – 60000 kj gibi yüksek enerji dağılımlarının etkisi altında kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 158).

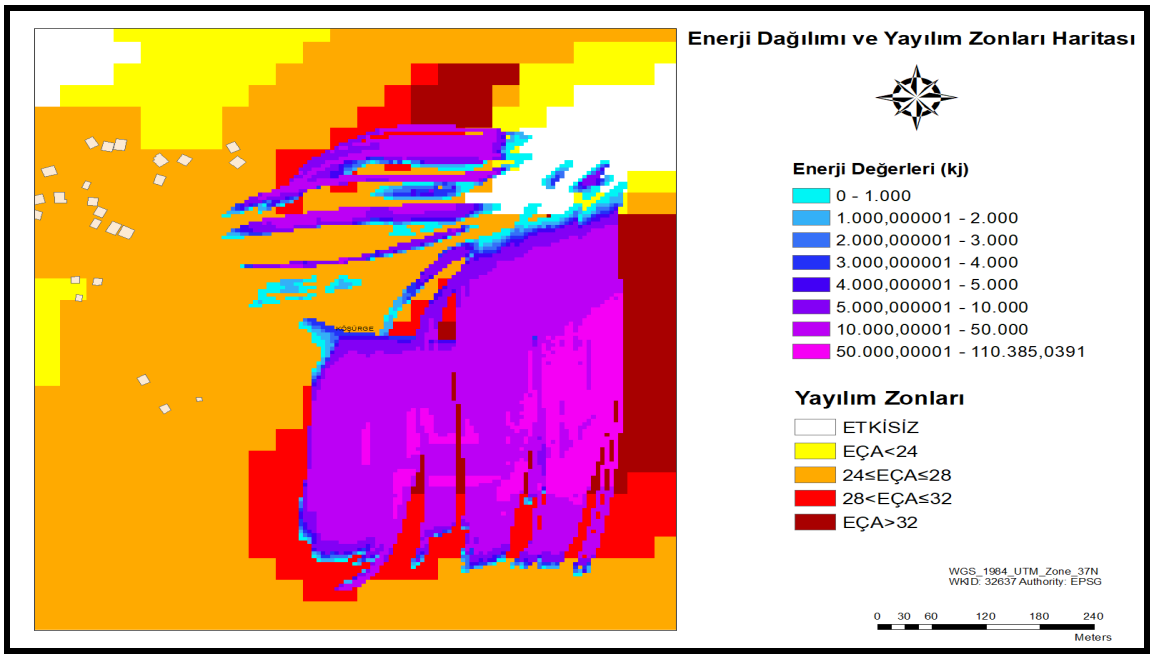
.



Şekil 158. A7 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A8 Analiz Noktası;

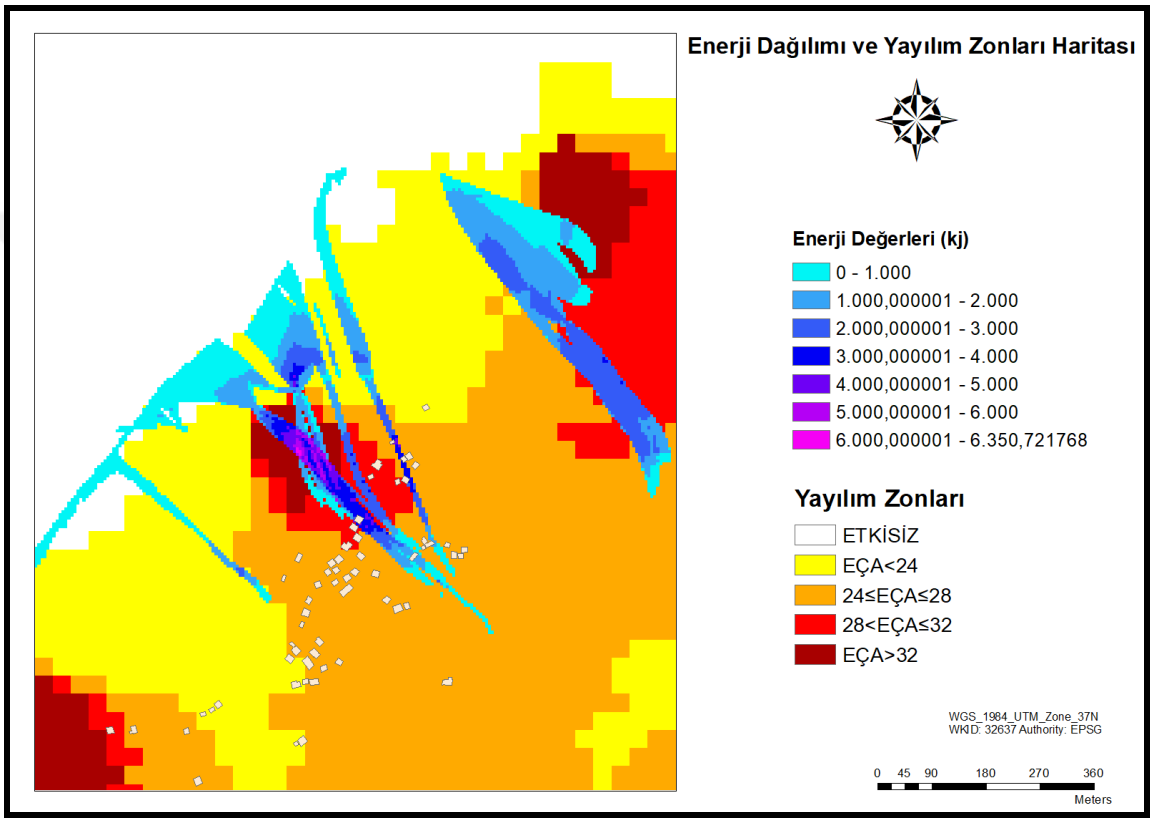
A8 Analiz alanında çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde 10000 kj ile 110385 kj değer aralığındaki enerji dağılımının yoğunluk gösterdiği görülmektedir. Enerji dağılımının yüksek etkilenme sınıfında azalarak devam ettiği ve genellikle 5000 kj – 10000 kj değer aralığında yayılım yaptığı belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfında enerjinin azalarak devam ettiği ve bütün noktalarda tamamen durduğu gözlemlenmiştir. Konutların herhangi bir enerji dağılım aralığında kalmadığı görülmektedir (Şekil 159).



Şekil 159. A8 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A9 Analiz Noktası;

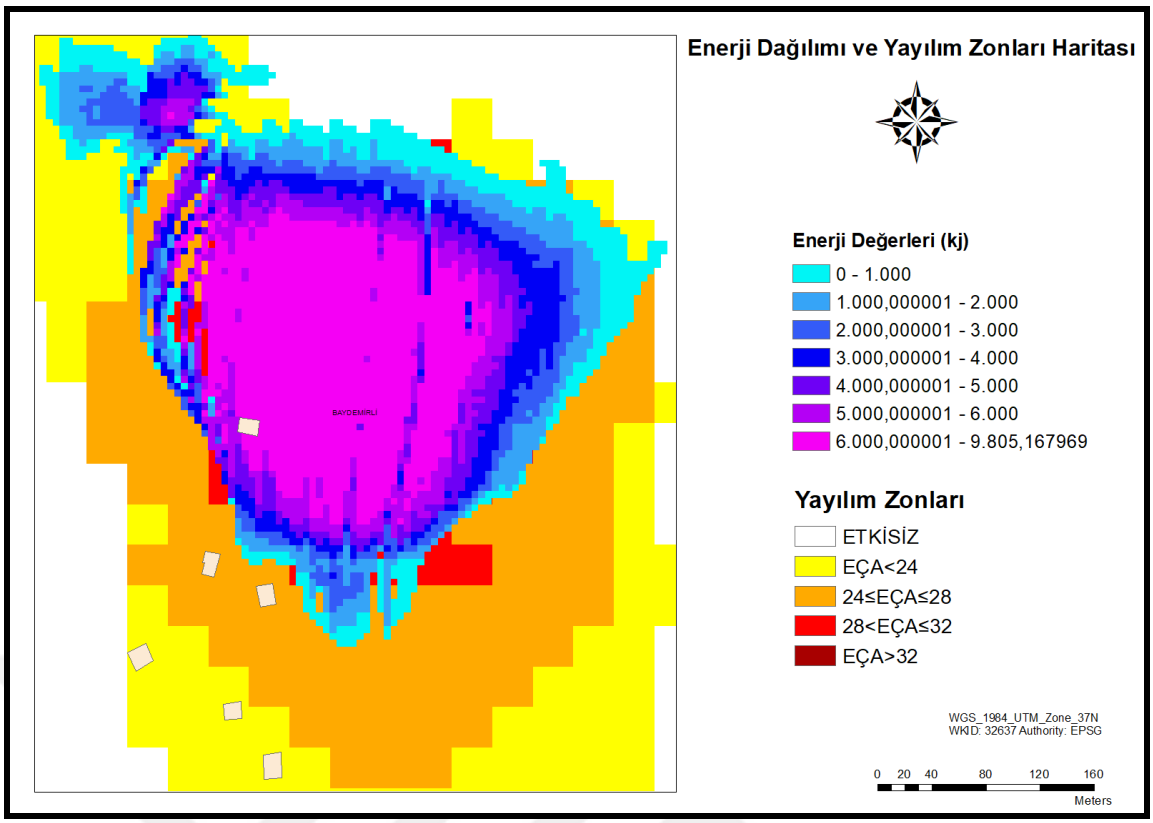
A9 Analiz noktasında enerjinin çok yüksek etkilenme sınıfında 6375 kj değerine kadar ulaştığı görülmektedir. Yüksek etkilenme sınıfında ise 3000 kj ile 4000 kj değer aralığındaki enerji dağılımı yaygın olarak izlenmektedir. Orta etkilenme sınıfında ise enerjinin 1000 kj – 3000 kj değer aralığında seyrederek giderek azaldığı ve tamamen durduğu görülmektedir. Bazı yapıların 1000 kj – 3000 kj değer aralığındaki enerjilere maruz kaldığı belirlenmiştir (Şekil 160).



Şekil 160. A9 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A10 Analiz Noktası;

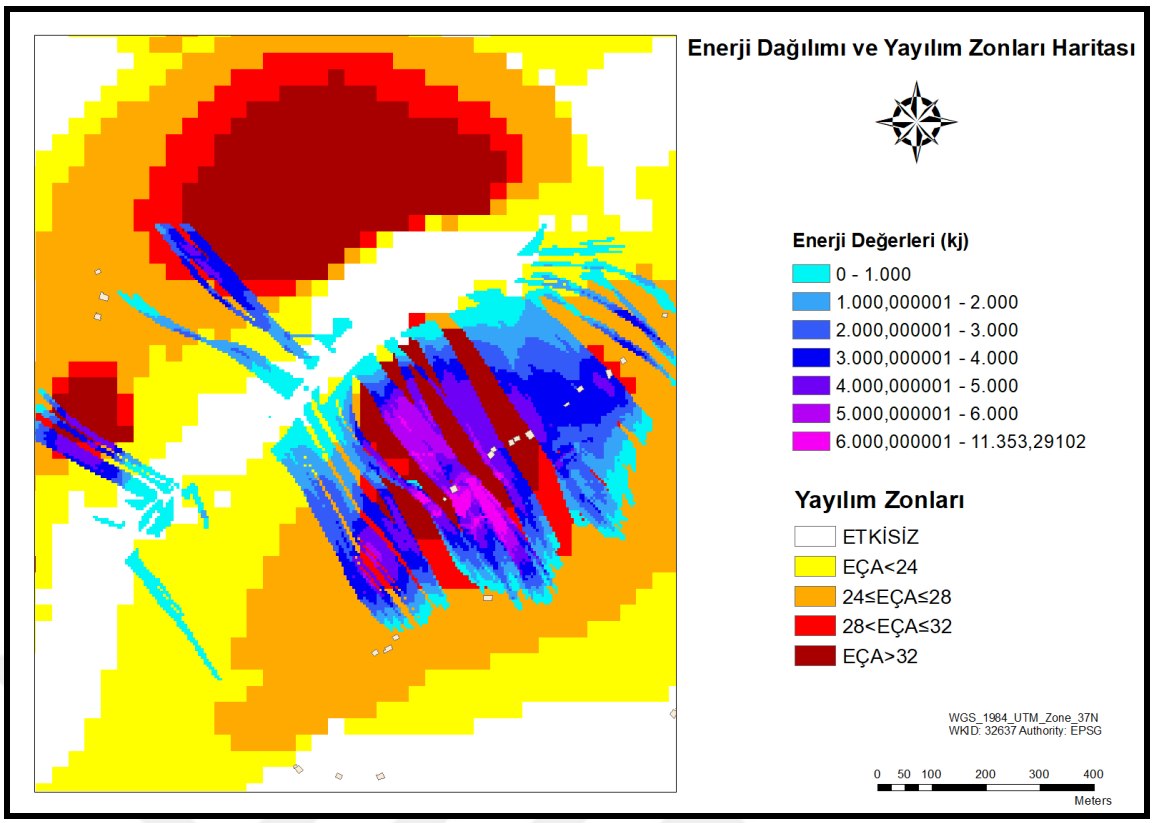
A10 Analiz alanında enerji dağılımının büyük bir kısmının çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kaldığı görülmektedir. 9805 kj enerji değerine ulaşan enerji dağılımı orta etkilenme sınıfında iyice azalarak tamemen, başka bir noktada ise düşük etkilenme sınıfında tamamen durmuştur. Bu analiz noktasındaki yapıların yüksek etkilenme sınıfında yaklaşık 7000 kj değerindeki enerjiye maruz kalabileceği belirlenmiştir (Şekil 161).



Şekil 161. A10 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A11 Analiz Noktası;

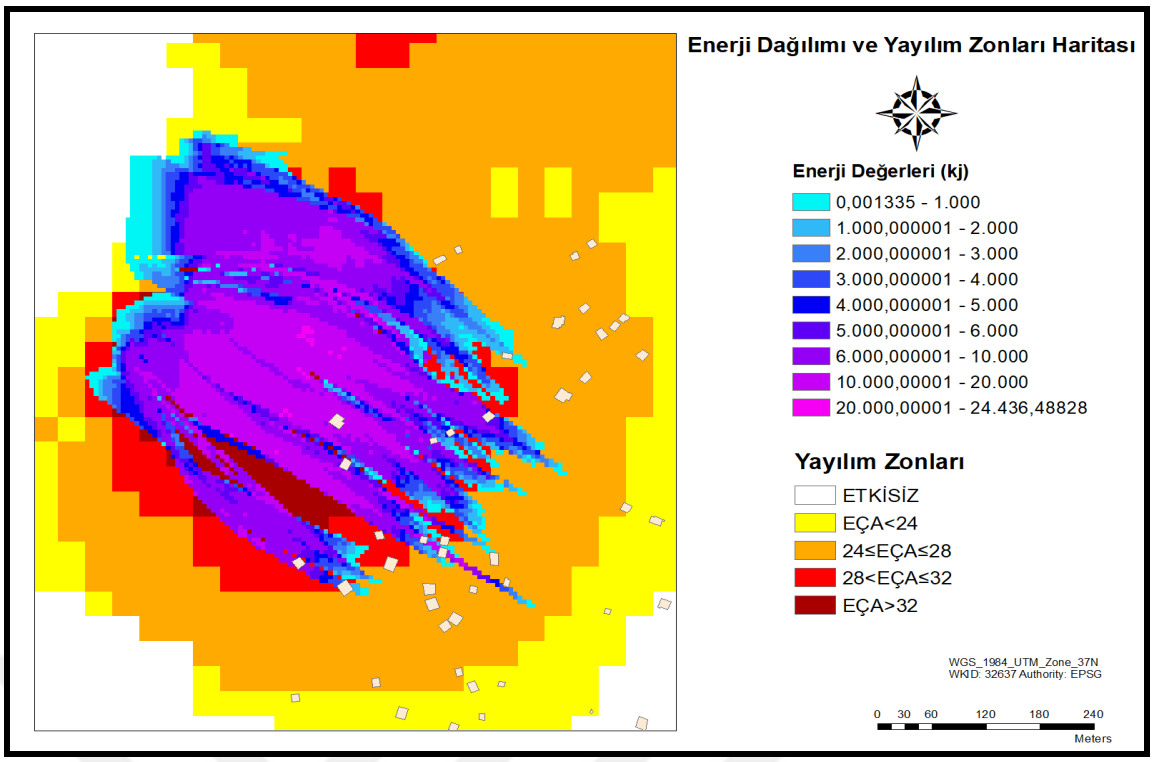
A11 Analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfındaki enerji 11353 kj değerine kadar ulaşabilmektedir. Yüksek enerji sınıfında 6000 kj – 11353 kj değer aralığındaki enerji dağılımının azalarak devam ettiği yer yer 1000 kj seviyelerine kadar düştüğü, orta etkilenme sınıfında ise enerjinin tamamen durduğu görülmektedir. Bu analiz sahasındaki bazı yapıların çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde 3000 kj – 11353 kj değer aralığı gibi yüksek enerjilere maruz kaldığı belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfında bulunan yapıların bazı noktalarda 1000 kj enerji değeri etkisi altında kalabileceği görülmektedir (Şekil 162).



Şekil 162. A11 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A12 Analiz Noktası;

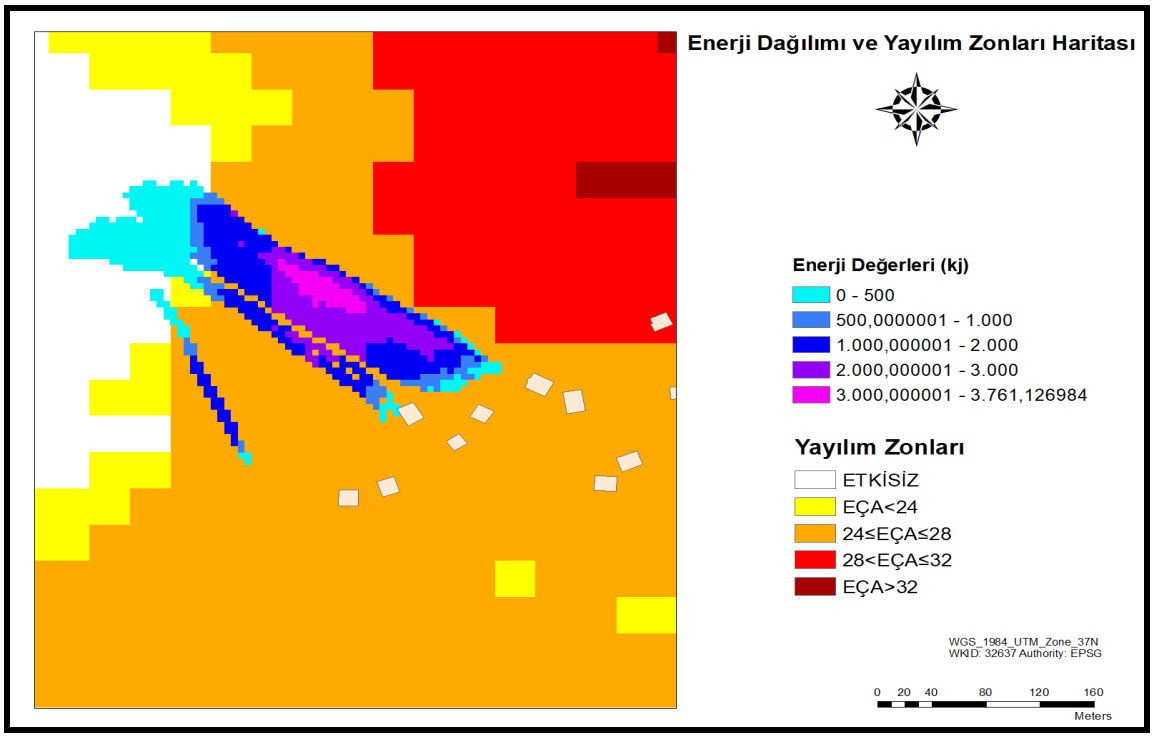
A12 Analiz sahasında enerji dağılımının yoğun olarak çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yayılım gösterdiği, maksimum enerjinin 24436 kj seviyelerine kadar ulaştığı görülmektedir. Çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde kalan yapıların 5000 kj – 20000 kj değer aralığındaki enerji dağılımının içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfında ise enerjinin yaygın olarak 1000 kj – 2000 kj değer aralığındaki enerji seviyelerinde devam ettiği ve tamamen durduğu belirlenmiştir. Bu alanda bulunan bazı yapıların 1000 kj – 8000 kj değer aralığındaki enerji dağılımı etkisi altında kaldığı görülmüştür (Şekil 163).



Şekil 163. A12 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A13 Analiz Noktası;

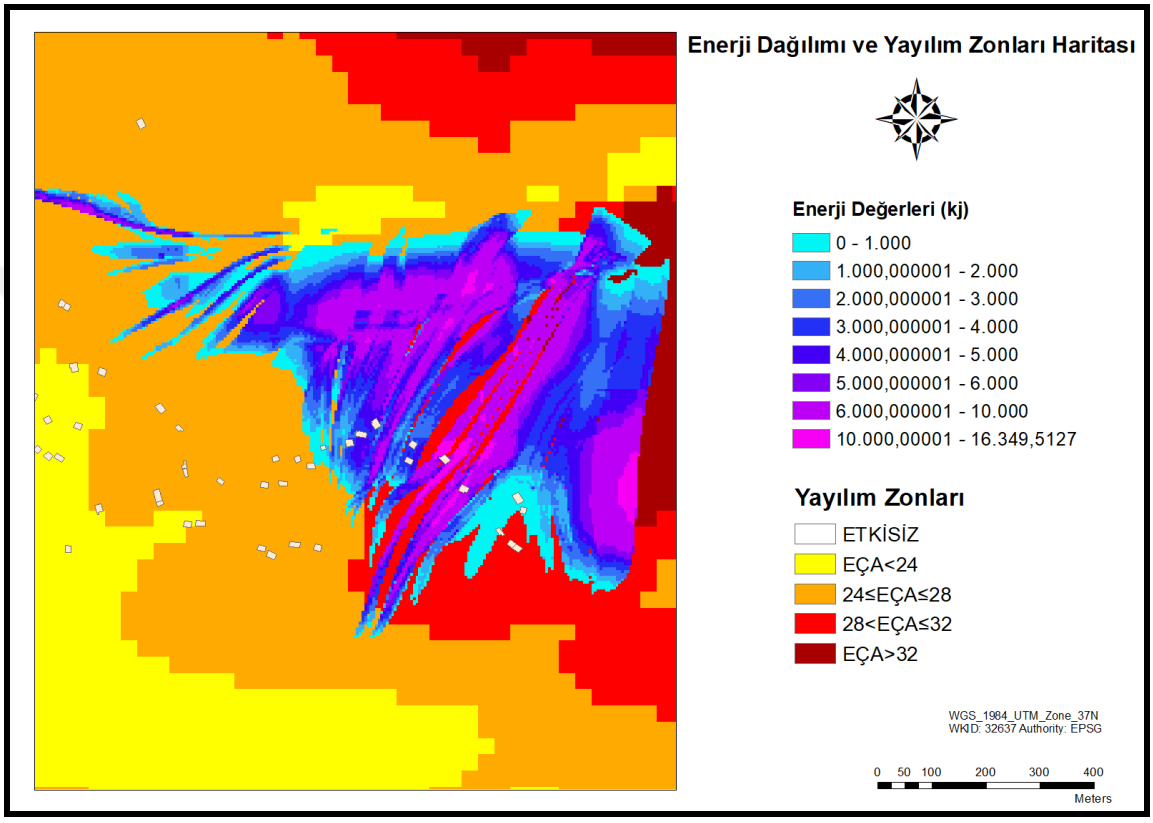
A13 Analiz noktasında enerjinin orta etkilenme sınıfı içerisinde yayılım yaptığı belirlenmiştir. Maksimum enerji seviyesi 3775 kj seviyelerinde olsa da bu alandaki yapılar herhangi bir enerji dağılımı etkisi altında kalmamaktadır. Ancak 0 – 1000 kj değer aralığının yapılara çok yakın seyirde tamamen durduğu görülmüştür (Şekil 164).



Şekil 164. A13 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A14 Analiz Noktası;

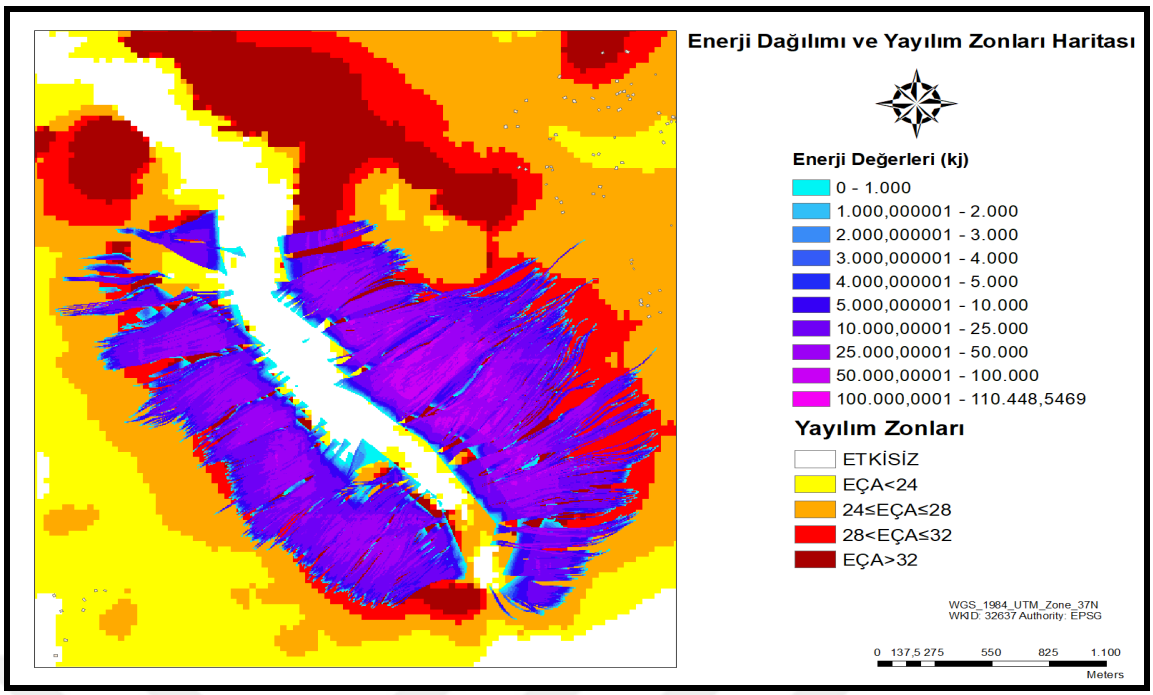
A14 Analiz noktasında enerji dağılımının yaygın olarak çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yayılım yaptığı görülmektedir. Enerji değeri bu alanlarda 16349 kj'e ulaşmaktadır. Bu alandaki yapıların birçoğunun 3000 kj – 16349 kj değer aralığındaki enerji dağılımının etkisi altında kaldığı belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfında ise enerji azalarak hareketine devam etmiş ve tamamen durmuştur (Şekil 165).



Şekil 165. A14 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A15 Analiz Noktası;

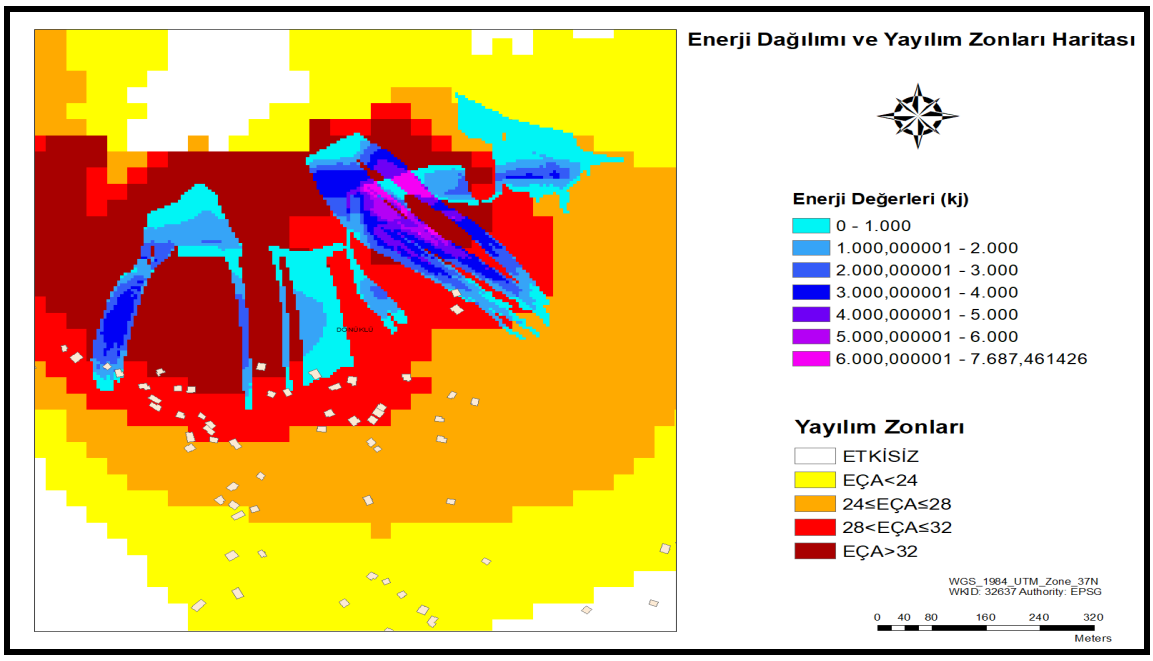
A15 Analiz noktasında enerji dağılımının yaygın olarak çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yayılım yaptığı görülmektedir. Enerji değeri bu alanlarda 110448 kj'e ulaşmaktadır. Bu alanda herhangi bir yapılaşma bulunmamaktadır. Orta etkilenme sınıfında ise enerjinin azalarak hareketine devam ettiği ve tamamen durduğu görülmektedir. Bu alandaki yapıların herhangi bir enerji dağılımı etkisi altında kalmadığı görülmektedir (Şekil 166).



Şekil 166. A15 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A16 Analiz Noktası;

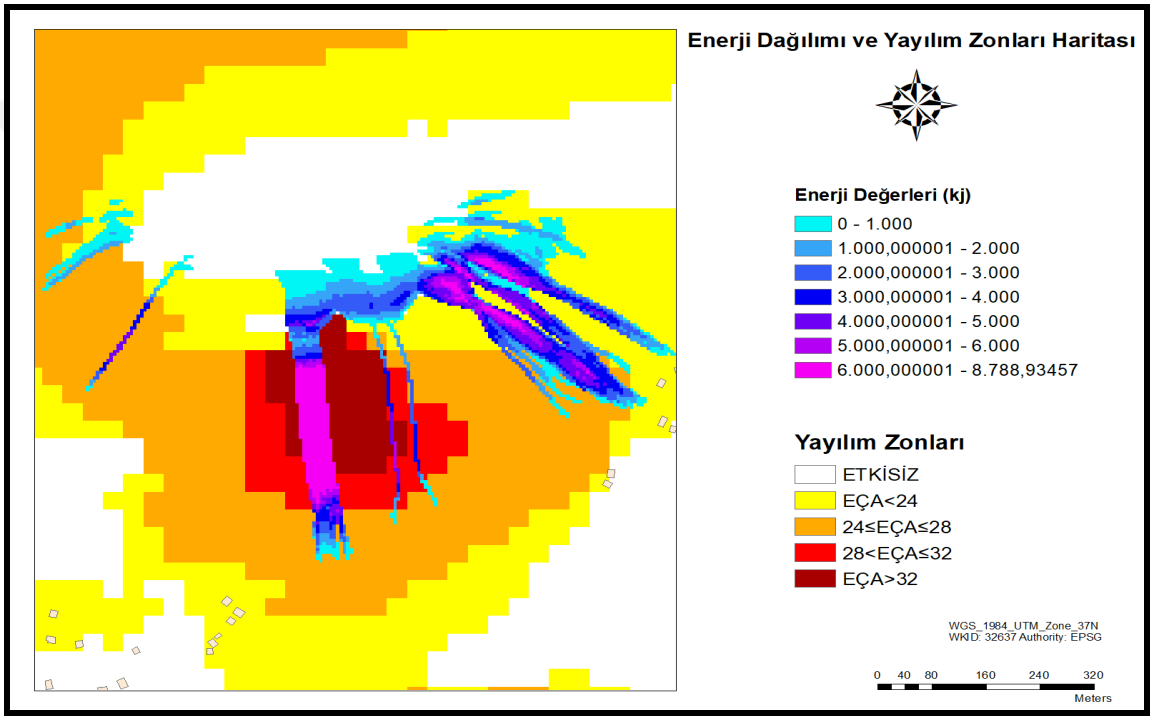
A16 Analiz noktasında çok yüksek etkilenme sınıfındaki enerji dağılımı bazı bölgelerde 7687 kj değerlerine ulaşmaktadır. Yüksek etkilenme sınıfında ise enerjinin giderek azaldığı ve genellikle durduğu görülmektedir. Bu alanda bulunan bazı yapıların 1000 kj – 3000 kj değer aralığındaki enerji dağılımı etkisi altında kaldığı belirlenmiştir. Orta etkilenme sınıfında ise enerjinin tamamen durduğu, bu alandaki yapıların herhangi bir enerji dağılımı etkisi altında kalmadığı görülmektedir (Şekil 167).



Şekil 167. A16 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A17 Analiz Noktası;

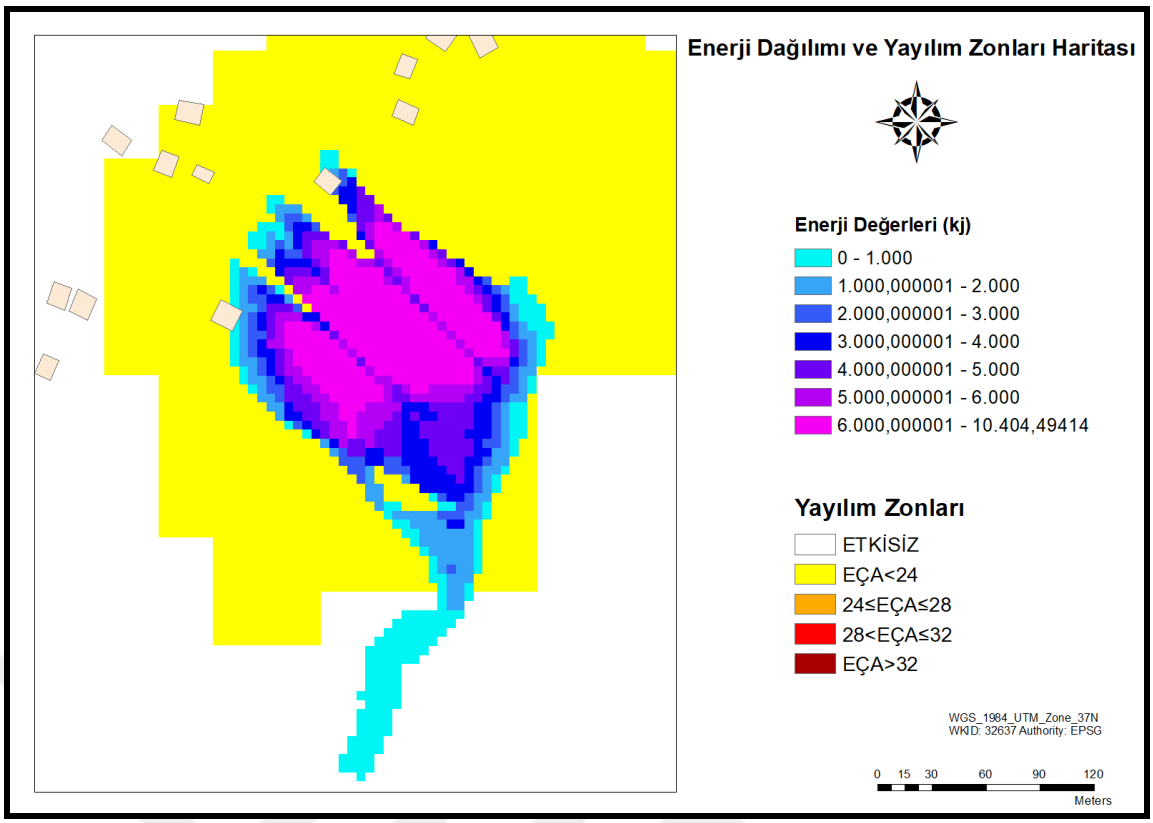
A17 Analiz noktasındaki çok yüksek etkilenme sınıfında enerjinin 8788 kj düzeylerine ulaştığı ve genel olarak 3000 kj – 8788 kj değer aralığındaki enerji dağılımı etkisi altında kaldığı görülmektedir. Yüksek etkilenme sınıfında enerjinin maksimum seviyelerden 3000 kj seviyelerine kadar azalarak devam ettiği, orta etkilenme sınıfında ise tamamen durduğu belirlenmiştir. Bu analiz noktasındaki düşük etkilenme sınıfında yapılara yakın noktalara kadar 6000 kj gibi yüksek enerji seviyelerinden azalarak devam eden ve yapılara ulaşmadan duran enerji akışının olduğu görülmektedir. Ancak yapılar herhangi bir enerji dağılımı etkisi altında kalmamaktadır (Şekil 168).



Şekil 168. A17 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A18 Analiz Noktası;

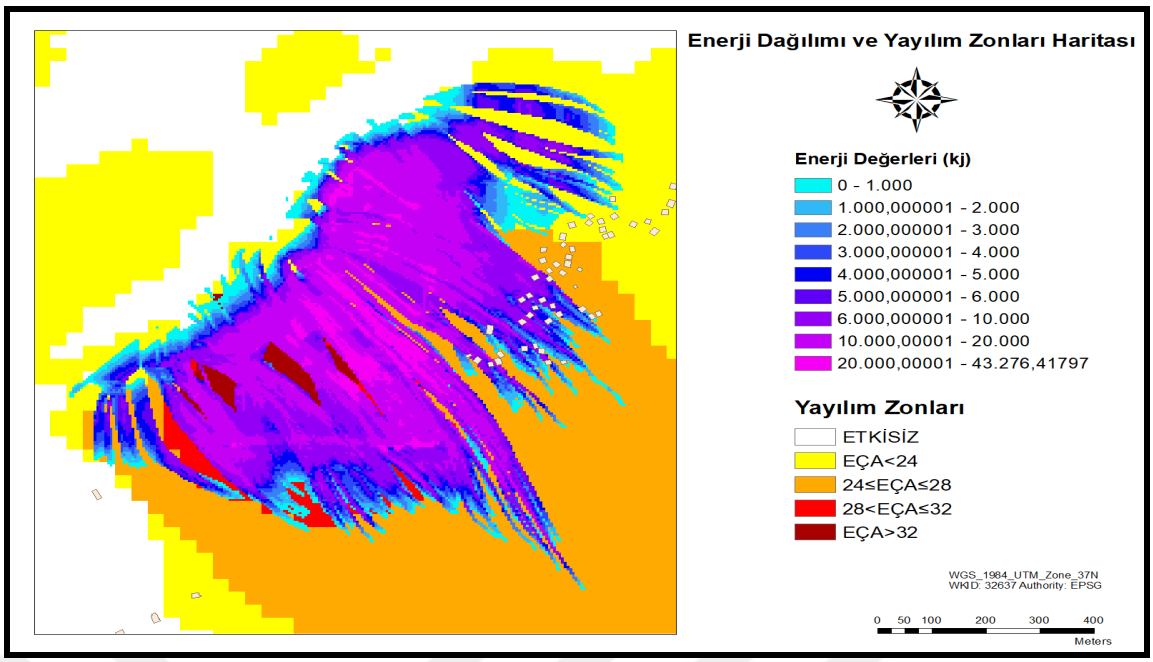
A18 Analiz noktasında enerji dağılımı düşük etkilenme sınıfında yayılım göstermiştir. Maksimum enerji 10404 kj seviyelerine ulaşmaktadır. Bazı yapıların bulunduğu konum itibariyle enerji seviyesi 1000 kj – 4000 kj düzeyinde olan enerji dağılımlarının etkisi altında kaldığı gözlenmektedir (Şekil 169).



Şekil 169. A18 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A19 Analiz Noktası;

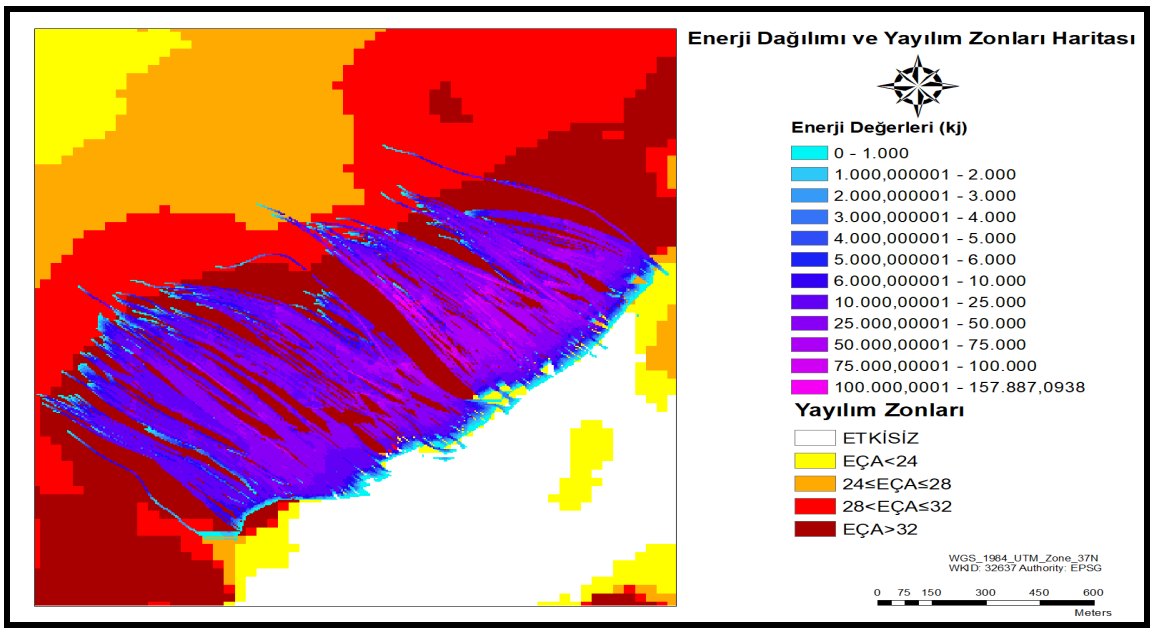
A19 analiz noktasında üç boyutlu analizler sonucunda hesaplanan maksimum enerji miktarı yaklaşık 43276 kj'dur. Çok yüksek etkilenme sınıfında yaygın olarak 10000 kj ile 43276 kj arasındaki enerji değerlerinin dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek etkilenme sınıfı içerisindeki enerji hareketlerinin yaygın olarak 10000 kj - 43276 kj arasında dağılım gösterdiği, orta etkilenme sınıfında ise enerjinin giderek azaldığı ve durduğu görülse de bazı yapıların bulunduğu alanların 3000 kj - 14000 kj arasındaki enerji dağılımı içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Düşük etkilenme sahası içerisinde de 10000 kj seviyelerinden 0 – 1000 kj seviyelerine kadar enerji akışının olduğu görülmektedir. Buradaki yapıların ise 0 – 1000 kj değer aralığındaki enerji dağılımı etkisinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 170).



Şekil 170. A19 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

A20 Analiz Noktası;

A20 Analiz sahasında enerji dağılımının yoğunluklu olarak çok yüksek etkilenme sınıfı içerisinde yayılım yaptığı görülmektedir. Maksimum enerji seviyesi 157887 kj seviyelerine ulaşmaktadır. Enerji dağılımı yüksek etkilenme sınıfında azalarak devam etmektedir. Enerji dağılımının çoğunlukta bu aralıkta durduğu tespit edilmiştir. 1000 kj – 10000 kj değer aralığındaki enerji dağılımı bu etkilenme sınıfında yaygın olarak yayılım yapmaktadır. Çok az bir bölgede ise enerji dağılımının orta etkilenme sınıfında yayılım yaptığı görülmüştür. 5000 kj ile seyreden enerji değeri giderek azalmış ve orta etkilenme sınıfında çok mesafe almadan durmuştur (Şekil 171).



Şekil 171. A20 analiz noktasında enerji dağılımı ve yayılım zonları karşılaştırması

Yapılan analizler sonucunda genel olarak; çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfındaki yayılma zonlarında, enerji dağılımlarının düşük enerji seviyelerinden çok yüksek enerji değerlerine kadar geniş enerji değer aralığına sahip şekilde seyrettiği (1000 kj - 361000 kj), orta dereceli etkilenme sınıfında ise enerjinin azalarak durduğu (0 – 7000 kj), düşük etkilenme sınıfında ise çoğunlukla 0 – 1000 kj değerleri arasındaki enerji dağılımının yayılım gösterdiği belirlenmiştir. Yapı etkilenebilirliği açısından yapılan genel değerlendirme sonucunda; çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfı içerisinde bulunan yapıların çok yüksek enerjilere maruz kaldığı, orta etkilenme sınıfındaki yapıların genel olarak 0 - 1000 kj değer aralığındaki enerji dağılımına, nadiren de olsa yüksek enerjiye maruz kaldığı, düşük etkilenme sınıfında ise genellikle yapıların enerji hareketlerinden etkilenmediği ancak çok nadir de olsa yüksek enerji hareketlerine maruz kalabileceği belirlenmiştir.

Yukarıdaki etkilenme sınıflarına karşılık gelen enerji değerlerine bakıldığında etkilenme tanımlaması çok yüksek bir alandaki kinetik enerji seviyesi çok düşük çıkabilmekte ya da düşük etkilenme sınıfında yüksek enerji seviyeleri görülebilmektedir. Bu durum yapılan çalışmalarda tehlike analizleri ile değerlendirme yapılmasının ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu değerlendirmeler sonucunda yayılım zonları ve enerji dağılımı ilişkisi alansal olarak yorumlanmış ve Tablo 19'da sunulmuştur.

Tablo 19. Yayılım zonları ve enerji dağılımı ilişkisinin il ölçeğindeki genel değerlendirmesi

Enerji çizgi açısı (EÇA) sınırı değeri	**Etkilenme Sınıfı**	**Enerji Dağılımı**
EÇA>32º	ÇOK YÜKSEK	Yaygın olarak çok yüksek ve yüksek, kısmen orta, az olarak orta ve düşük
32º≥ EÇA>28º	YÜKSEK	Yaygın olarak yüksek ve orta, az olarak düşük
28º≥ EÇA≥24º	ORTA	Yaygın olarak orta ve düşük, az olarak yüksek
24º>EÇA	DÜŞÜK-ÇOK DÜŞÜK-ETKİSİZ	Genellikle düşük, az olarak orta ve yüksek, çok az olarak çok yüksek

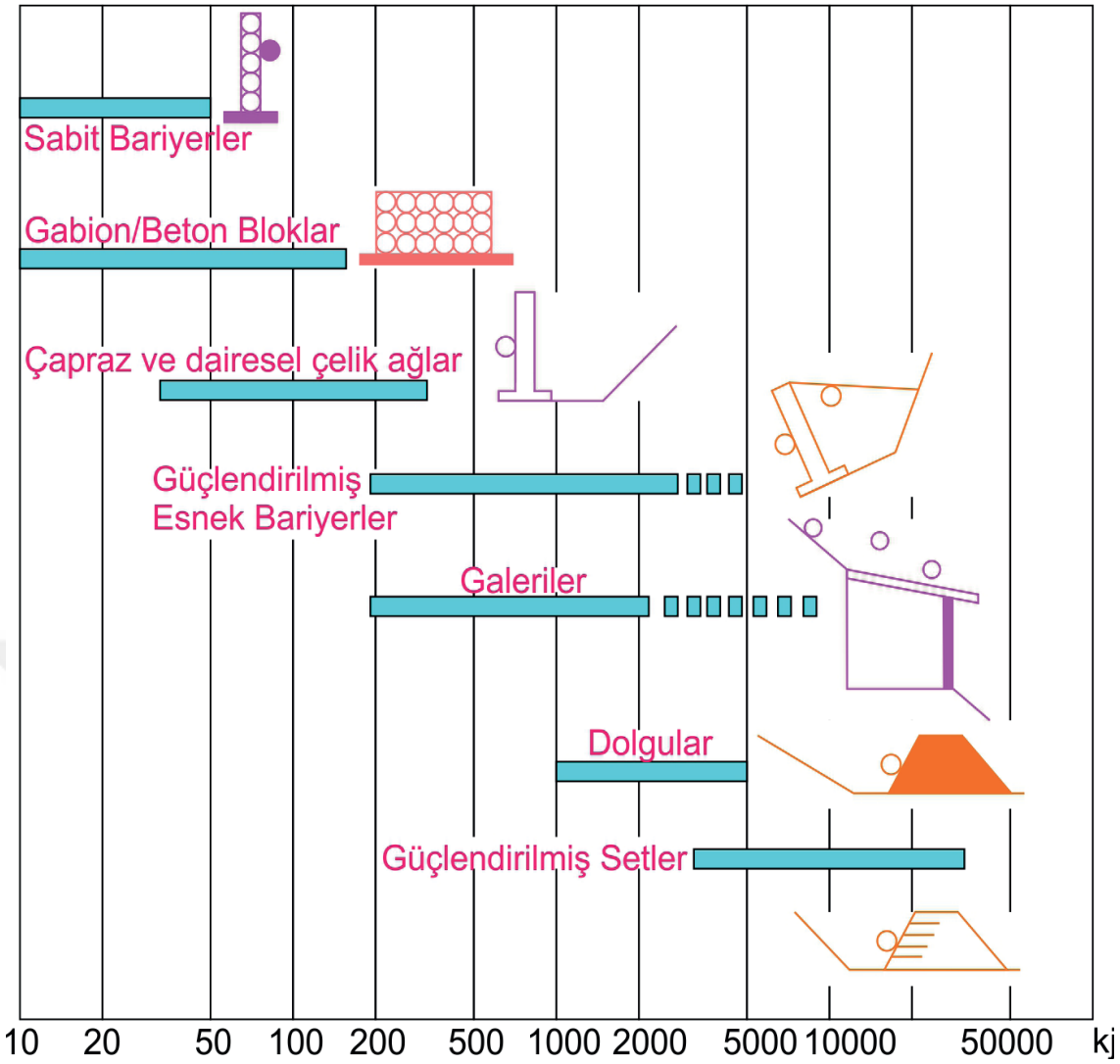
4.9.4. İyileştirme Yöntemleri

Bu bölümde yayılım zonlarına karşılık gelen enerji değerleri göz önünde bulundurularak tatbik edilebilecek iyileştirme yöntemleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Düşen kaya bloklarının kütlesi ve enerjisi iyileştirme yönteminin belirlenmesinde en önemli ölçütlerden birini oluşturmaktadır. Buna göre; düşen ya da düşmesi potansiyel blokların referans alındığı kaya düşmelerine bağlı riskin bertaraf edilmesi ya da

azaltılmasına yönelik aktif ve pasif koruma yöntemleri ile ıslah tasarımları gerçekleştirilmektedir. Pasif yöntemlerde kayanın hareketine müsaade edildiği ve yamaç aşağısındaki bölgede farklı enerji seviyelerine göre durdurma ve koruma yapıları inşa edilebiliyorken, aktif yöntemlerde ise kaya düşme olaylarının yaşandığı ya da yaşanabileceği kaynak alanlarda şev stabilizasyonunun sağlanmasına yönelik uygulamalar yapılabilmektedir.

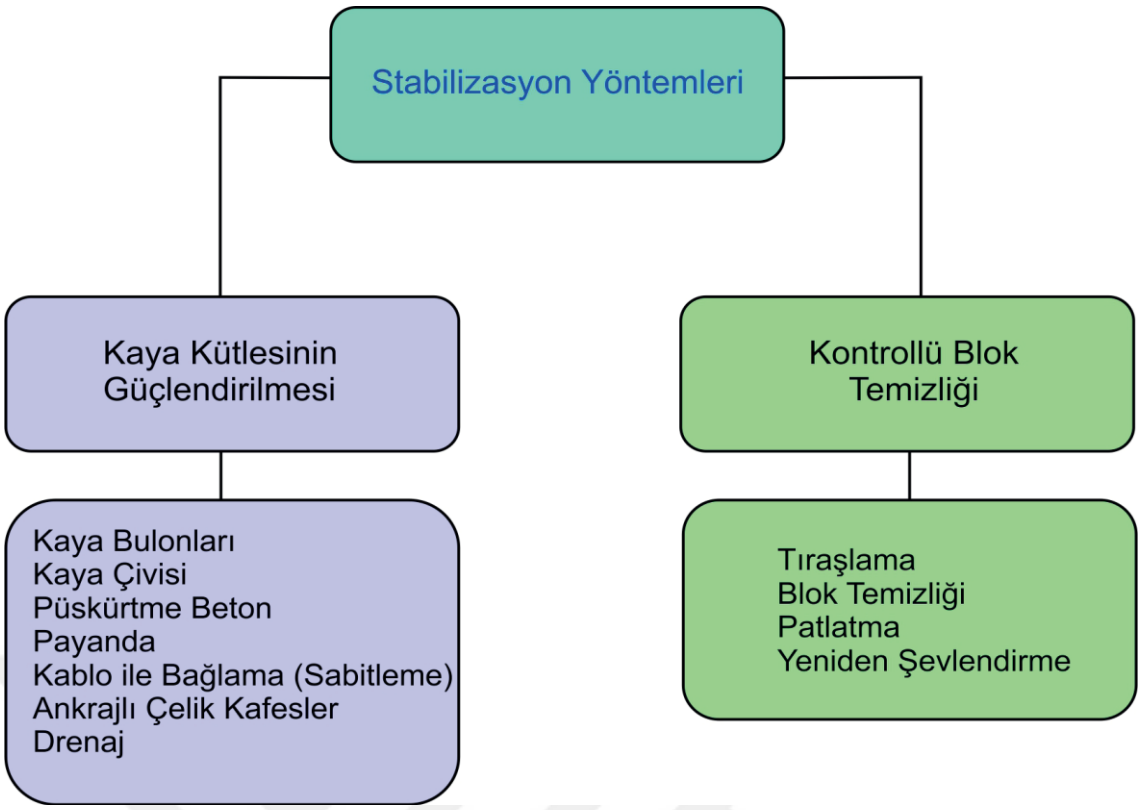
Bu bölümde yayılım zonlarına karşılık gelen enerji değerleri göz önünde bulundurularak tatbik edilebilecek iyileştirme yöntemleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Sabit (rijit) bariyer uygulamalarında 50 kJ'un altındaki blok enerjileri karşılanabilmektedir. Bir başka koruma yapısı olan büyük kütleli gabion duvarlarının enerji karşılama kapasitesi 150 kJ'a kadar ulaşabilmektedir. Şev topuğunda konumlandırılan ve sönümleyici özelliği olmayan çelik ağlar 50-250 kJ arasındaki enerjileri karşılayabilmektedirler. Sönümleme özelliği bulunan esnek bariyer uygulamaları ile 10000 kJ'a kadar koruma sağlanabilmektedir.

Galeri veya kaya atlatma yapıları hareket halindeki blokların üzerlerinden aşmasını sağlayarak hareketlerine müsaade edecek şekilde planlanmışlardır, yine de blok darbe enerjisine dayanabilecek şekilde imal edilmelidirler. Bu sistemler 10000 kJ'a kadar koruma sağlayabilmektedirler. Dolgu uygulamalarında çok farklı enerji gruplarına yönelik koruma imalatları yapılabilmektedir. Toprak dolgular, büyük kütleleri sayesinde 1000 ila 5000 kJ enerji kapasitesine sahip olabiliyorken, jeosentetik malzemeler kullanılarak inşa edilen sıkıştırılmış setler, 30000-40000 kJ gibi oldukça yüksek enerji değerlerine karşılık gelen bloklara karşı koruma sağlayabilmektedirler (Şekil 172). Buna göre, kaya düşme koruma yapılarının seçiminde bundan önceki bölümlerde sunulan ölçütlerin yanı sıra, düşen blokların enerji değerleri de göz önüne alınmalıdır. Bu amaçla 2 veya 3-boyutlu kaya düşme analizleri gerçekleştirilerek kaynak zonundan kopan blokların yuvarlanma hattı boyunca ulaşabilecekleri kinetik enerji değerleri belirlenmelidir. Modellemeler sonucunda ortaya konan kinetik enerji değerlerinin dağılımına göre koruma yapısı türü ve yeri seçilmelidir (Kaya Düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz, 2020).



Şekil 172. Farklı kaya düşmesi koruma yapıları için çarpma enerjisi kapasitesinin değişimi (Vogel vd., 2009)

Kaya düşmelerine karşı kaynak alanda tatbik edilebilecek iyileştirme çalışmaları şev stabilizasyonu olarak tanımlanmaktadır. Kaya düşmelerinde şev yüzeyinin stabilizasyonu işlemi ile kaya düşmesine etki eden tetikleyen faktörlerin ortadan kaldırılması veya azaltılması ve/veya düşmesini engelleyecek kuvvetlerin arttırılmasına yönelik uygulamalar ile riskli blokların kaynak alandan ayrılmasının engellenmesi ve önlenmesi amaçlanmaktadır. Stabilizasyon yöntemleri, kaya kütlesinde güçlendirme ve kaynak alanda blok temizliği olmak üzere iki farklı başlık altında değerlendirilebilir (Şekil 173).

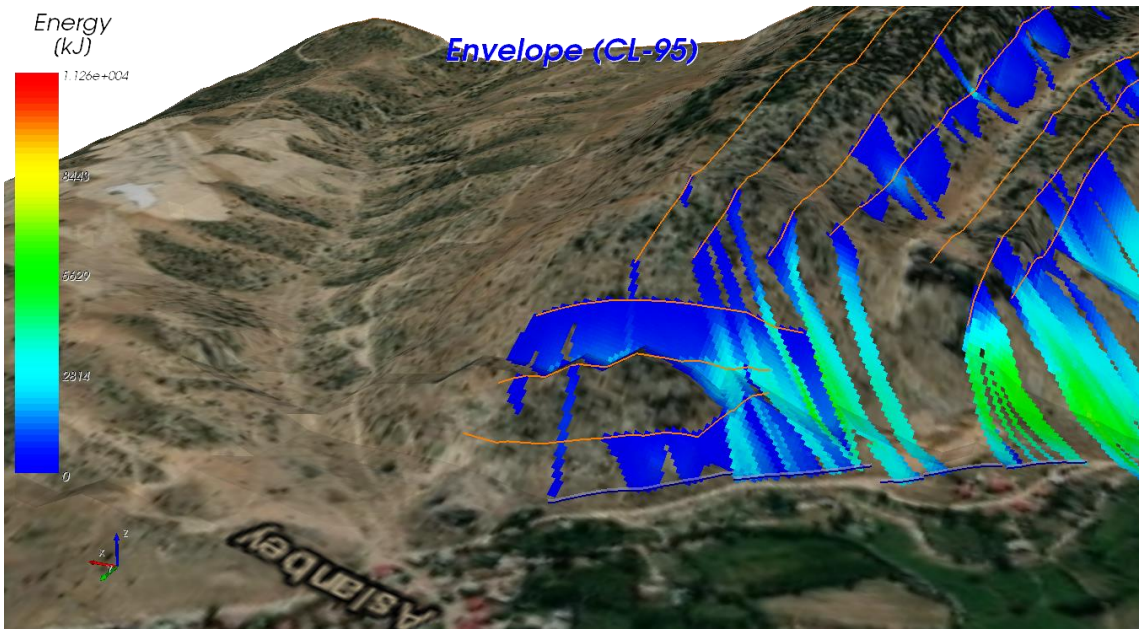


Şekil 173. Kaya düşme önleme yöntemlerinin sınıflandırılması (Wyllie ve Norrsish, 1996)

4.9.4.1. Analiz Noktalarındaki Islah Projelerine Yönelik İyileştirme Önerileri

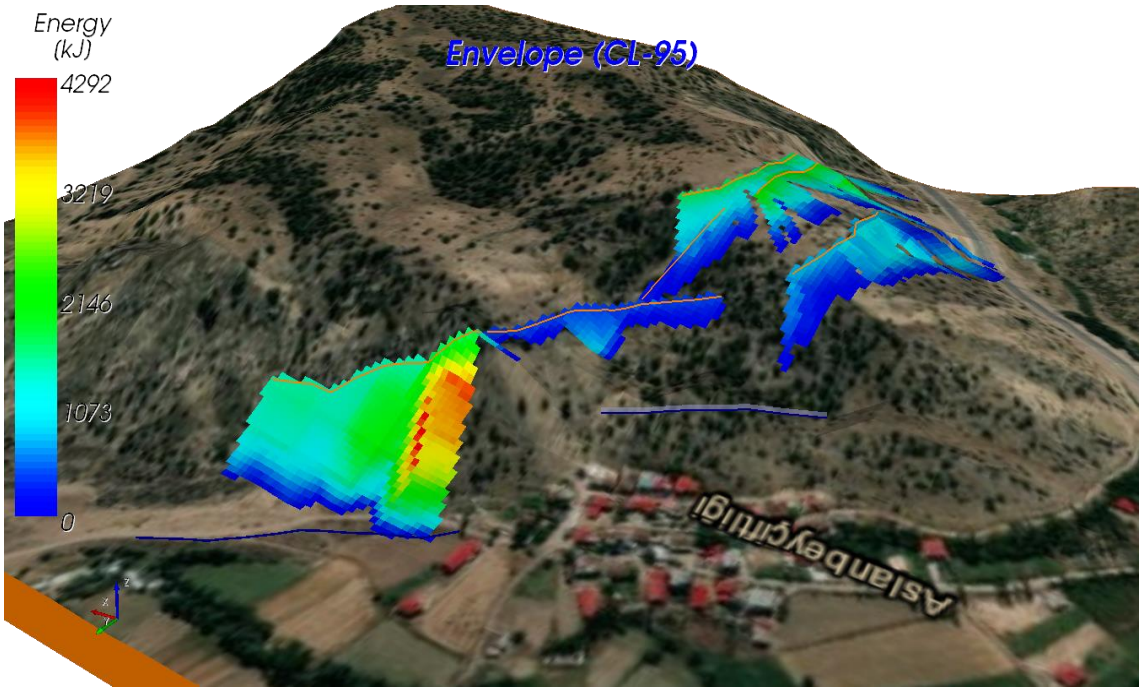
20 Analiz noktasında yapılan üç boyutlu analizler sonucu kaya düşmesi etkisi altında kalan mevcut yapıların korunmasına yönelik iyileştirme durumları da araştırılarak, yayılım zonları ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Ancak bu durumun il ölçeğindeki bir yaklaşım için fikir vermesi açısından yapılan bir değerlendirme olduğu unutulmamalıdır. İyileştirme önerisi olarak sunulan yüksek enerji sönümleyici çelik bariyerler piyasada sertifikalı olarak 4 m yüksekliğinde standart olarak tasarlandığından, daha yüksek bir sıçrama değerine maruz kalmadıkça standart olarak tasarım değeri olarak kullanılmıştır.

A1 Analiz Noktası İçin; Farklı alanlardaki 2000 kj ve 3000 kj enerji sönümleyici özelliği bulunan çelik bariyerler ile kaya tehlikesi altında bulunan yapılar için koruma sağlanmıştır (Şekil 174).



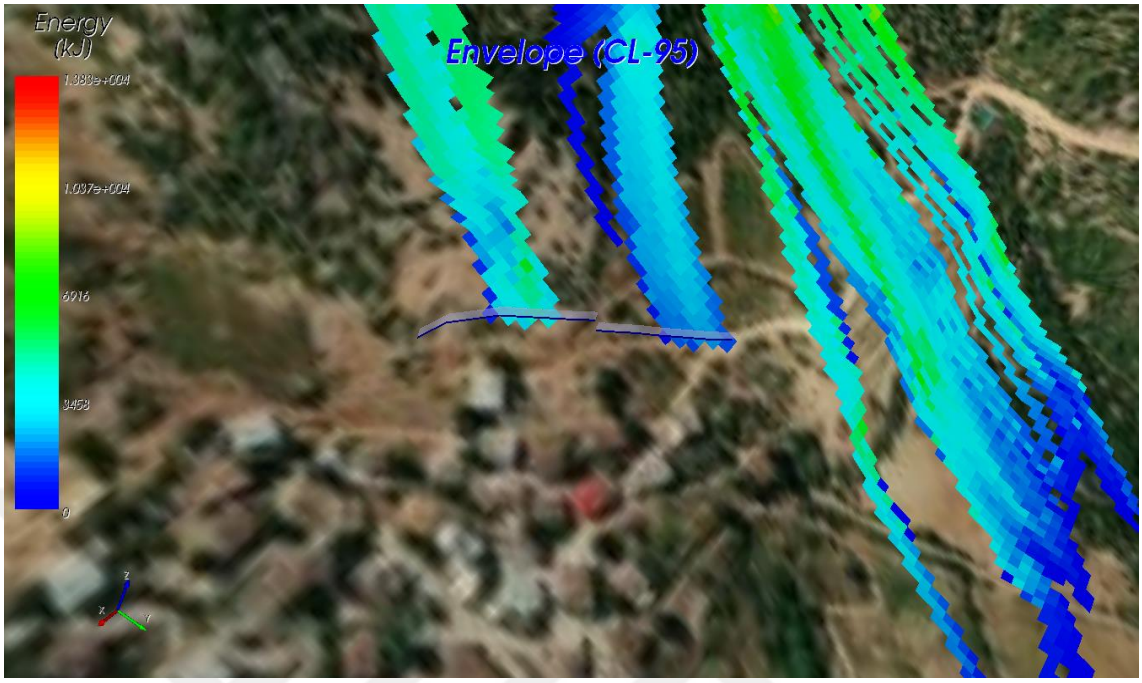
Şekil 174. A1 analiz noktasındaki tasarım görseli

A2 Analiz noktasında; herhangi bir yapının enerji dağılımı etkisinde kalmadığı belirlenmiştir. Ancak bu alanda tampon bölge oluşturulması, tampon bölgede topografyanın müsaade ettiği alanlarda kaya tutma hendek tasarımı yapılabilir. Ayrıca topograyaya bağlı olarak bazı alanlardaki kaya hareketlerinin belli yerlerde durduğu görülse de yapıları koruma amaçlı olarak bariyer konumlandırması yapılabilir (Şekil 175).



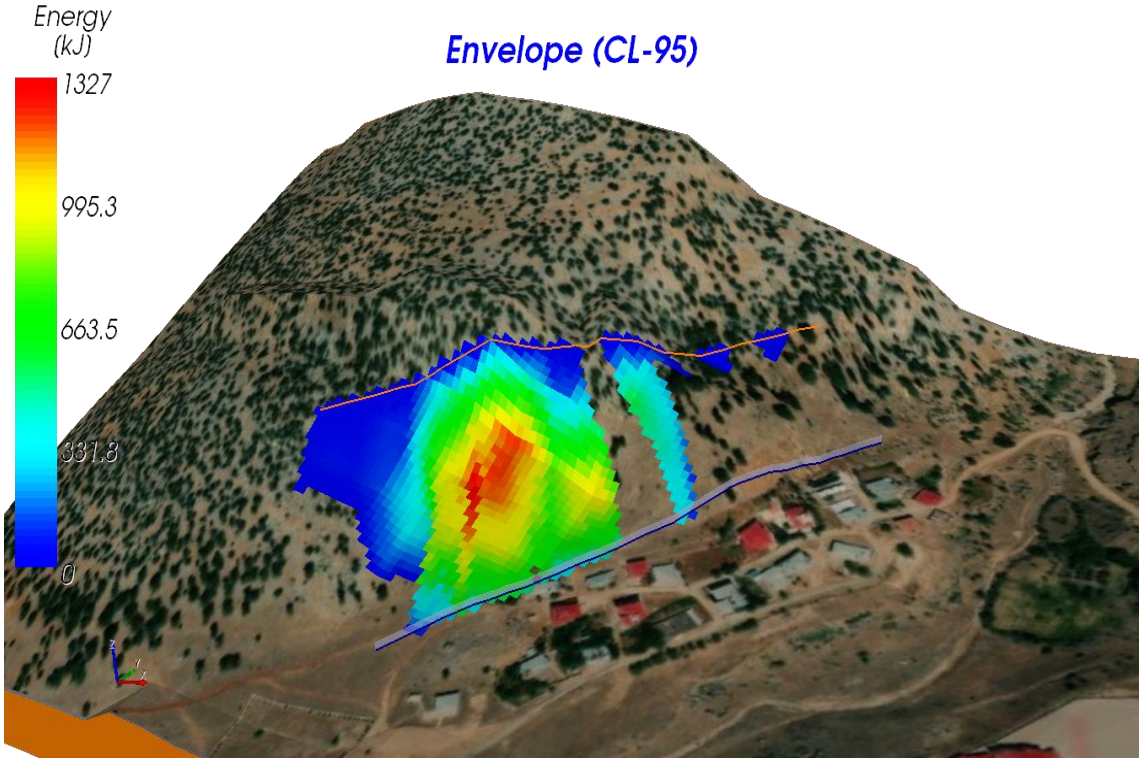
Şekil 175. A2 analiz noktası tasarım görseli

A3 Analiz Noktasında; farklı alanlarda 2000 kj ve 3500 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 176).



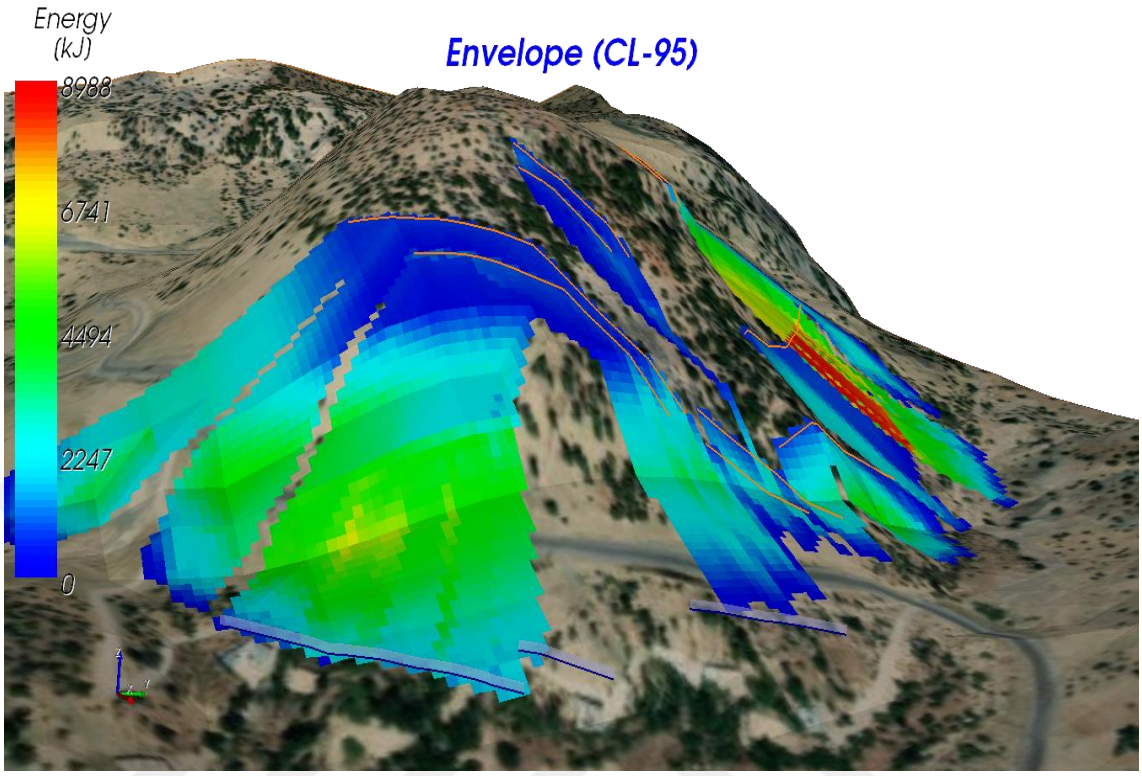
Şekil 176. A3 noktası tasarım görseli

A4 Analiz Noktasında; 1000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 177).



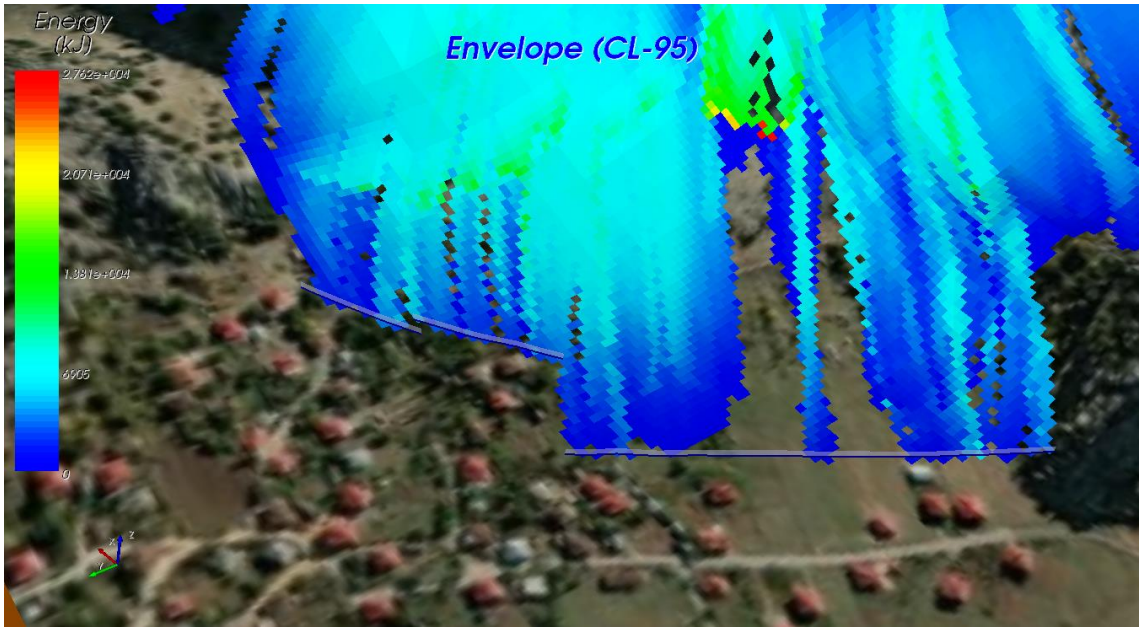
Şekil 177. A4 noktası tasarım görseli

A5 Analiz Noktasında; 2500 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 178).



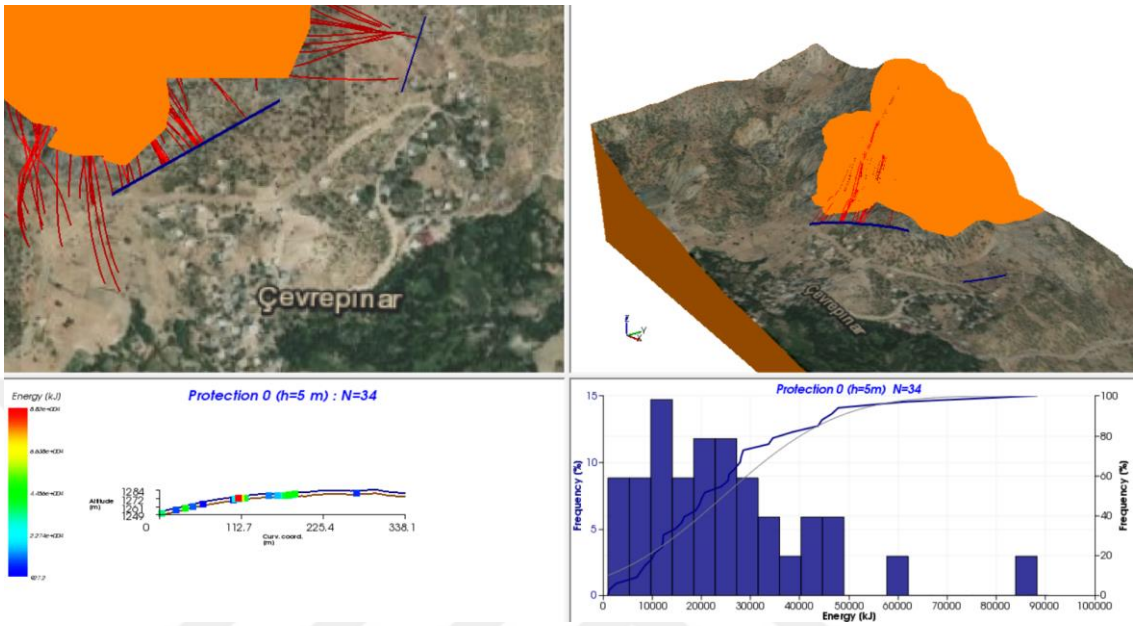
Şekil 178. A5 noktası tasarım görseli

A6 Analiz Noktasında; Farklı noktalarda 3000 kj, 4000 kj ve 4500 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 179).



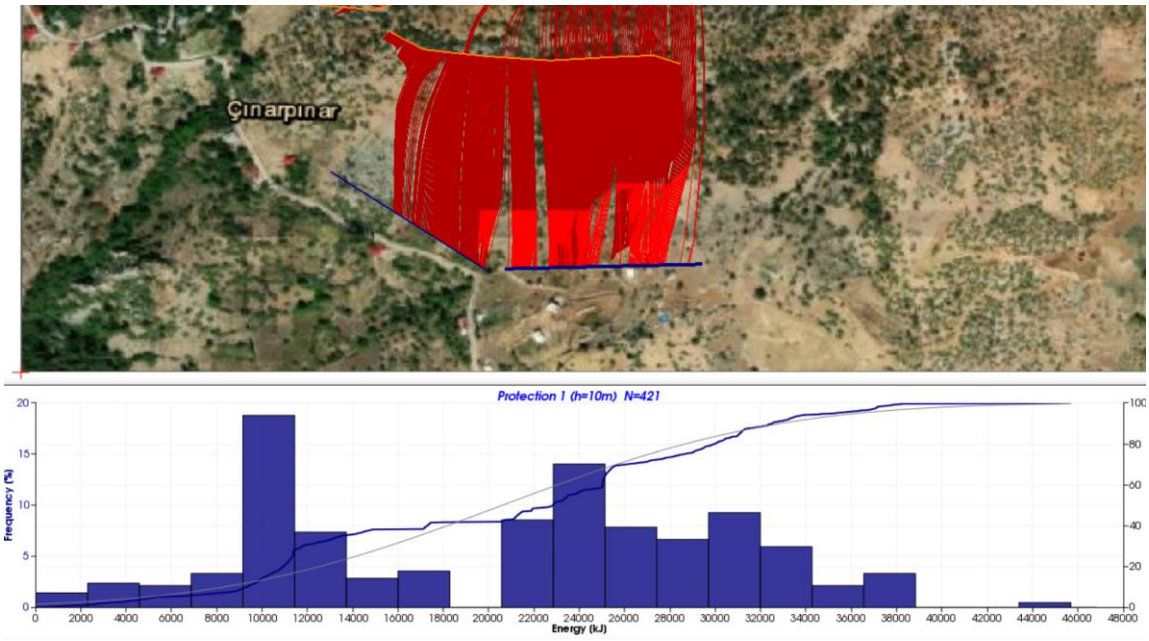
Şekil 179. A6 noktası tasarım görseli

A7 Analiz Noktasında; en az 5 m yüksekliğinde ve yaklaşık 90000 kj enerjiyi sönümleyebilecek toprak dolgu set uygulamasının yapılması gerekmektedir. Diğer bir alanda ise 1000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 180).



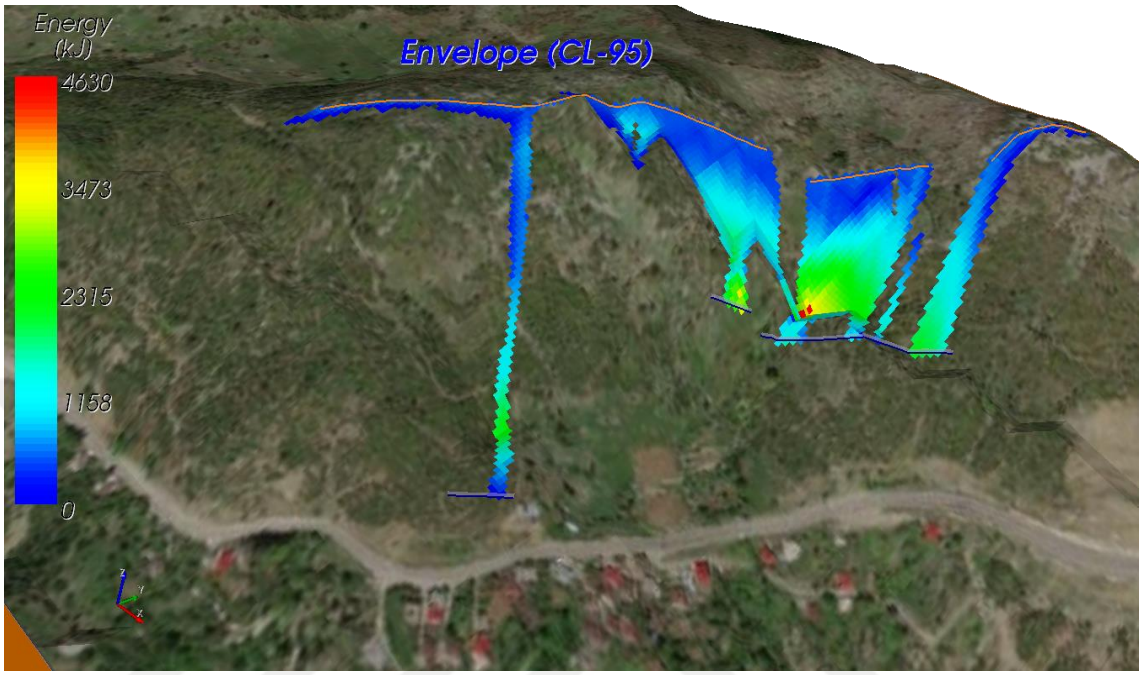
Şekil 180. A7 noktası tasarım görseli

A8 Analiz Noktasında; en az 8 m ve 10 m yüksekliğinde ve yaklaşık 50000 kj enerjiyi sönümleyebilecek güçlendirilmiş set uygulamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 181).



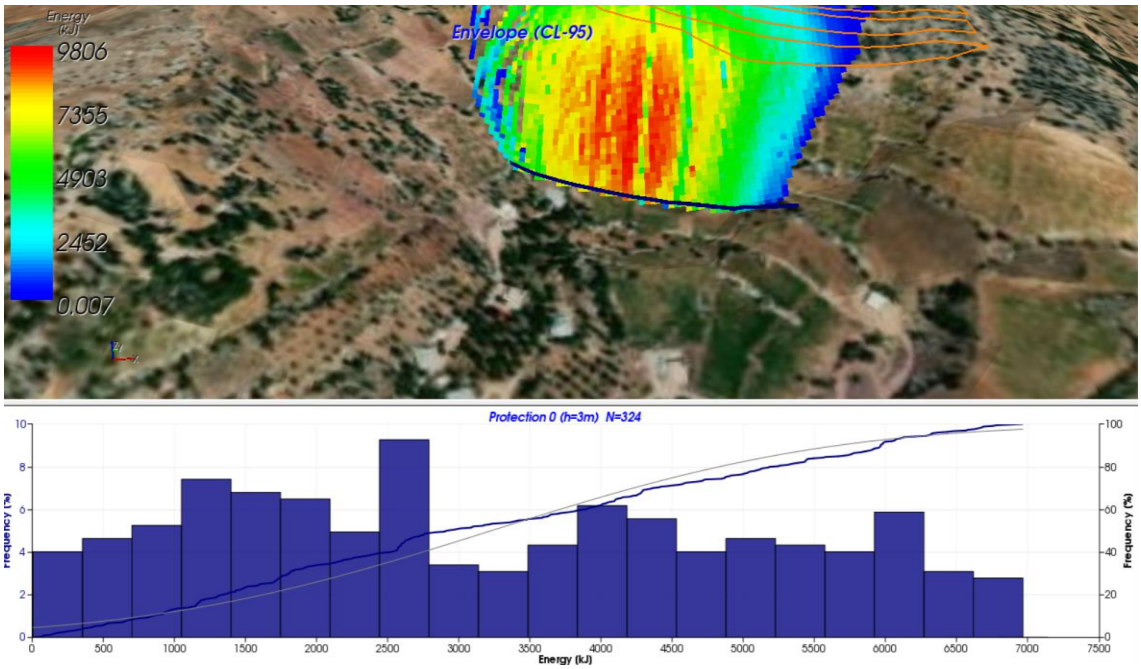
Şekil 181. A8 noktası tasarım görseli

A9 Analiz Noktasında; Farklı noktalarda 1000 kj, 2500 kj ve 3000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 182).



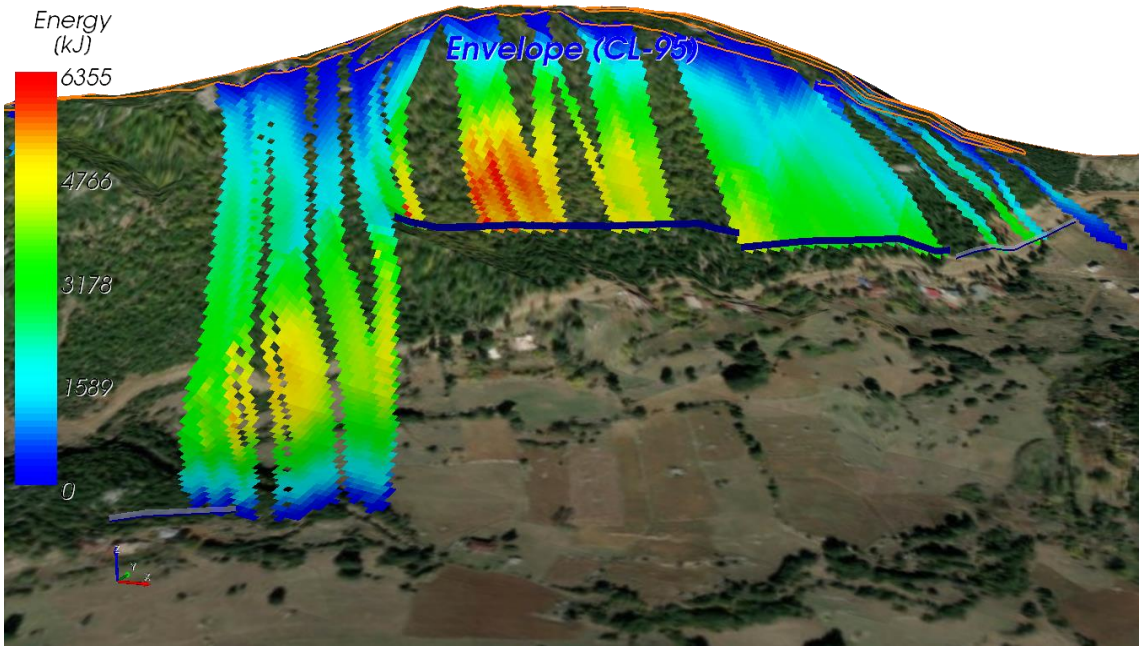
Şekil 182. A9 noktası tasarım görseli

A10 Analiz Noktasında; en az 3 m yüksekliğinde ve yaklaşık 7000 kj enerjiyi sönümleyebilecek toprak dolgu set uygulamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 183).

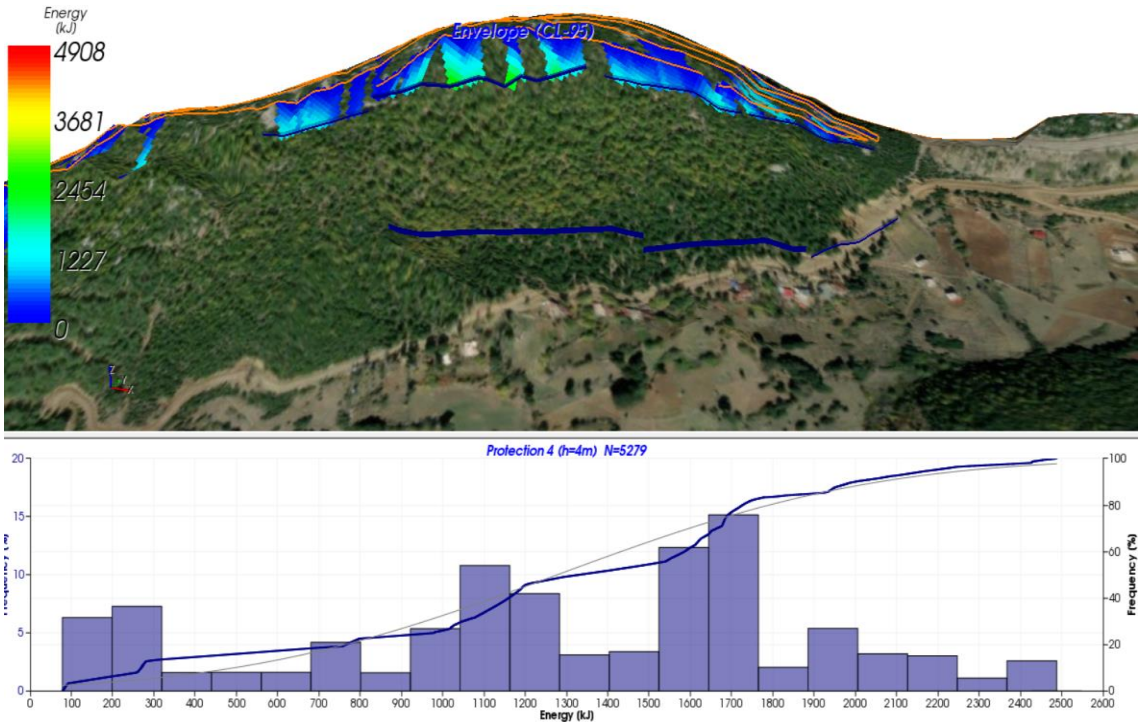


Şekil 183. A10 noktası tasarım görseli

A11 Analiz Noktasında; en az 5 m yüksekliğinde ve yaklaşık 6500 kj enerjiyi sönümleyebilecek toprak dolgu set uygulamasının yapılması gerekmektedir. Diğer bir alanda ise 3500 kj ve 1000 kj enerji sönümleyici kapasiteye sahip çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 184). 2.alternatif olarak ise farklı alanlarda ve servis imkanlarının oluşturulması dahilinde 2500 kj ve 2000 kj enerji sönümleyici kapasiteye sahip çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 185).

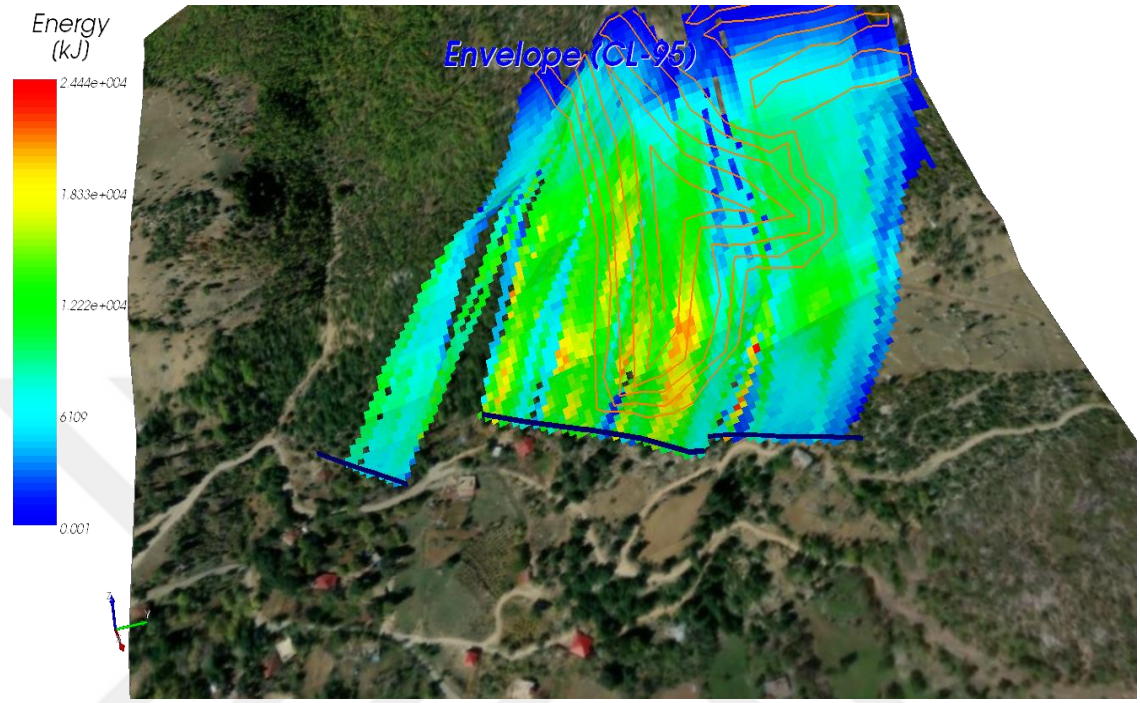


Şekil 184. A11 noktası tasarım görseli alternatif-1



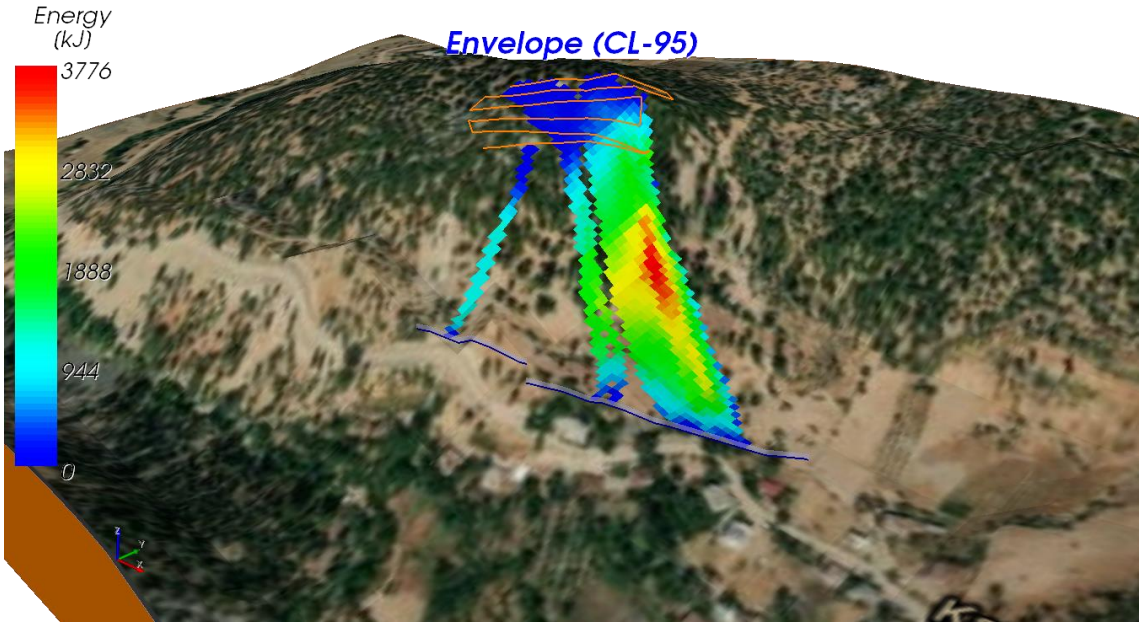
Şekil 185. A11 noktası tasarım görseli alternatif-2

A12 Analiz Noktasında; en az 5 m yüksekliğinde ve yaklaşık 21000 kj enerjiyi sönümleyebilecek toprak dolgu set uygulamasının yapılması gerekmektedir. Diğer alanlarda ise en az 5 m yüksekliğinde ve yaklaşık 8000 kj enerjiyi sönümleyebilecek güçlendirilmiş set uygulamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 186).



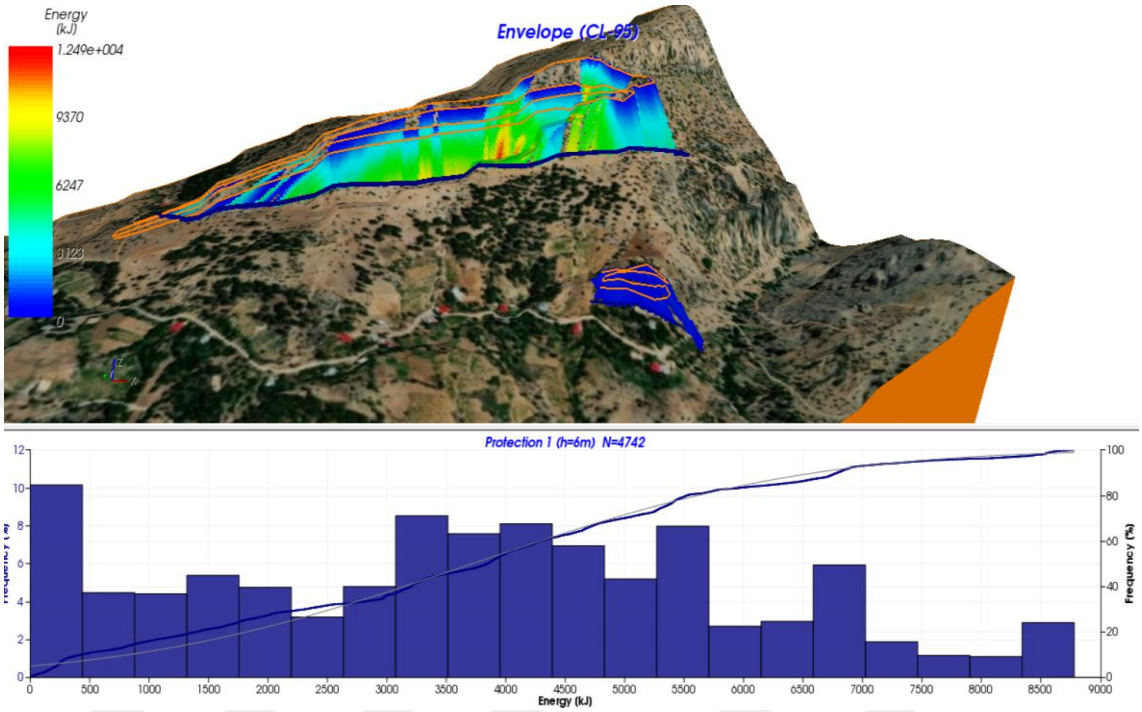
Şekil 186. A12 noktası tasarım görseli

A13 Analiz Noktasında; 1000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 187).



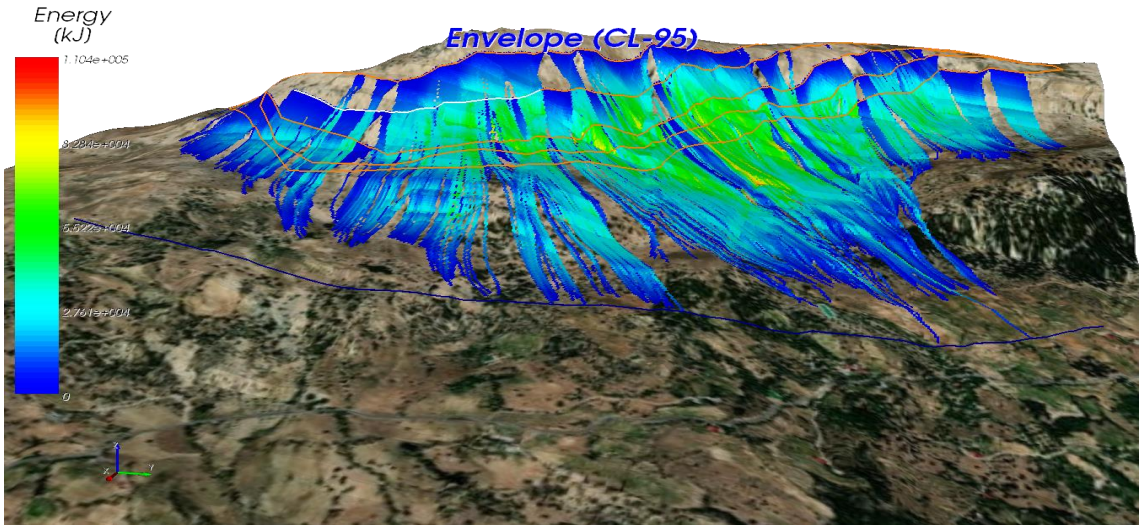
Şekil 187. A13 noktası tasarım görseli

A14 Analiz Noktasında; en az 6 m yüksekliğinde ve yaklaşık 9000 kj enerjiyi sönümleyebilecek toprak dolgu set uygulamasının yapılması gerekmektedir. Diğer bir alanda ise 2000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulaması ile koruma sağlanmıştır (Şekil 188).



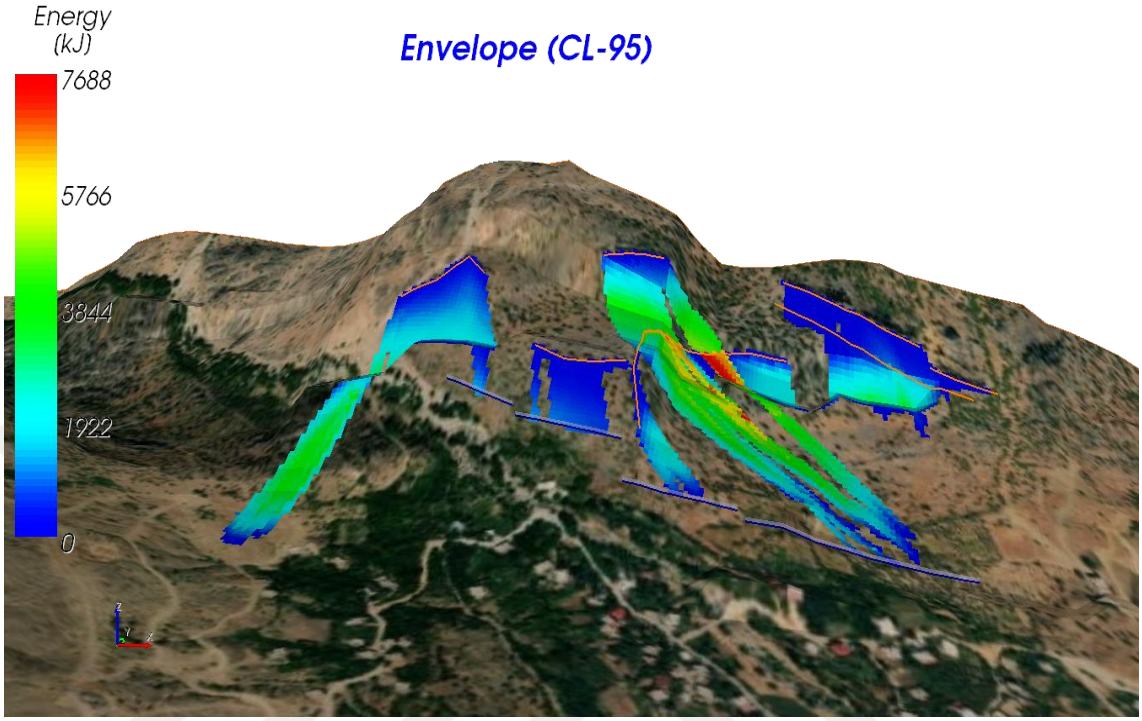
Şekil 188. A14 noktası tasarım görseli

A15 Analiz noktasında; herhangi bir yapının enerji dağılımı etkisinde kalmadığı belirlenmiştir. Ancak bu alanda tampon bölge oluşturulması, tampon bölgede topografyanın müsaade ettiği alanlarda en az 2 m derinliğinde kaya tutma hendeklerinin açılması gerekmektedir (Şekil 189).



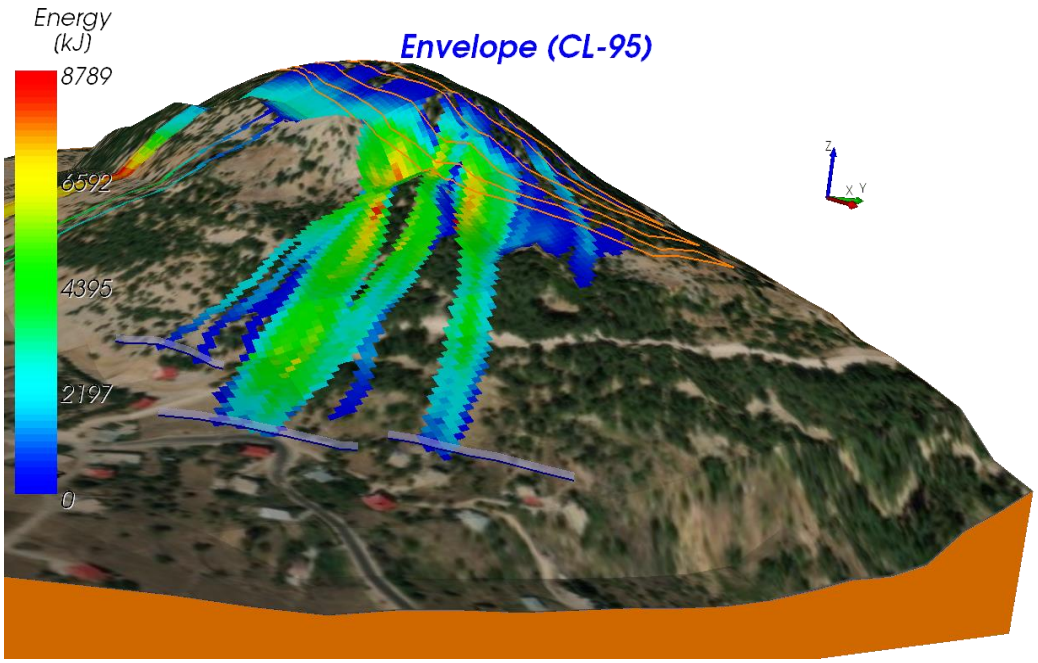
Şekil 189. A15 noktası tasarım görseli

A16 Analiz Noktasında; Farklı noktalarda 1000 kj ve 2000 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 190).



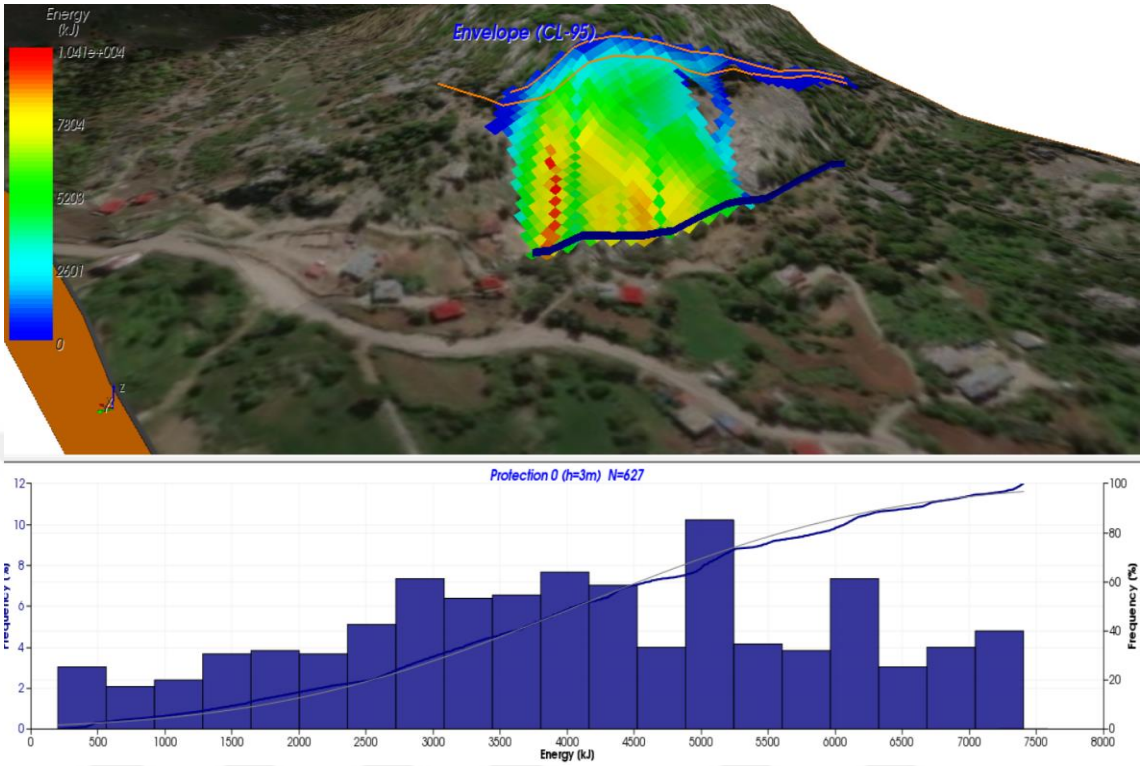
Şekil 190. A16 noktası tasarım görseli

A17 Analiz Noktasında; Farklı noktalarda 1000 kj ve 1500 kj enerji sönümleyici özelliği olan çelik bariyer uygulamaları ile koruma sağlanmıştır (Şekil 191).



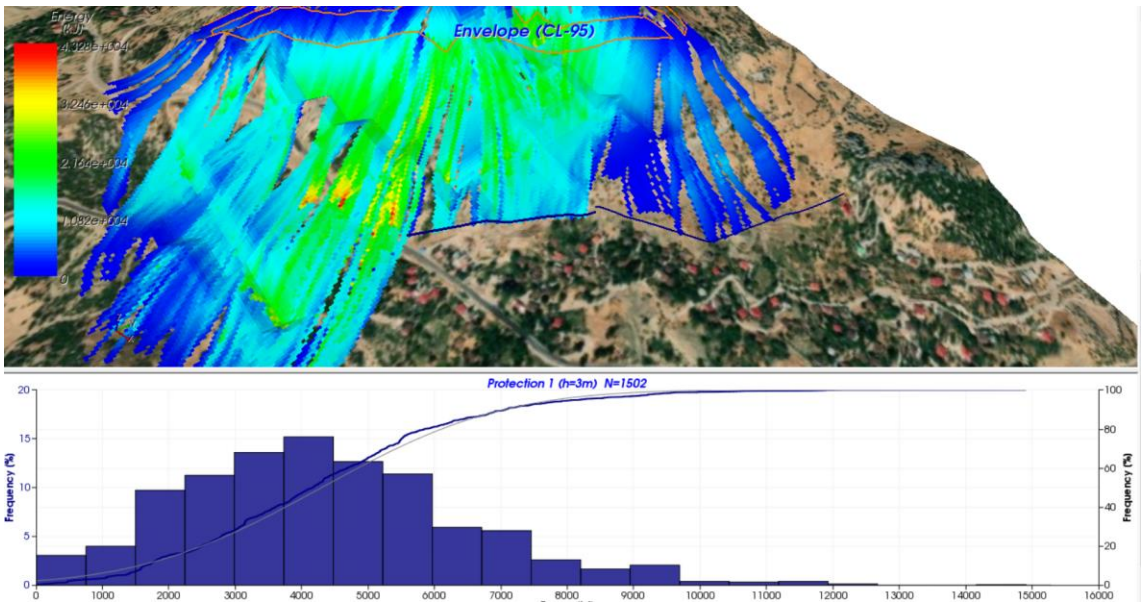
Şekil 191. A17 noktası tasarım görseli

A18 Analiz Noktasında; en az 3 m yüksekliğinde ve yaklaşık 7500 kj enerjiyi sönümleyebilecek güçlendirilmiş set uygulamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 192).



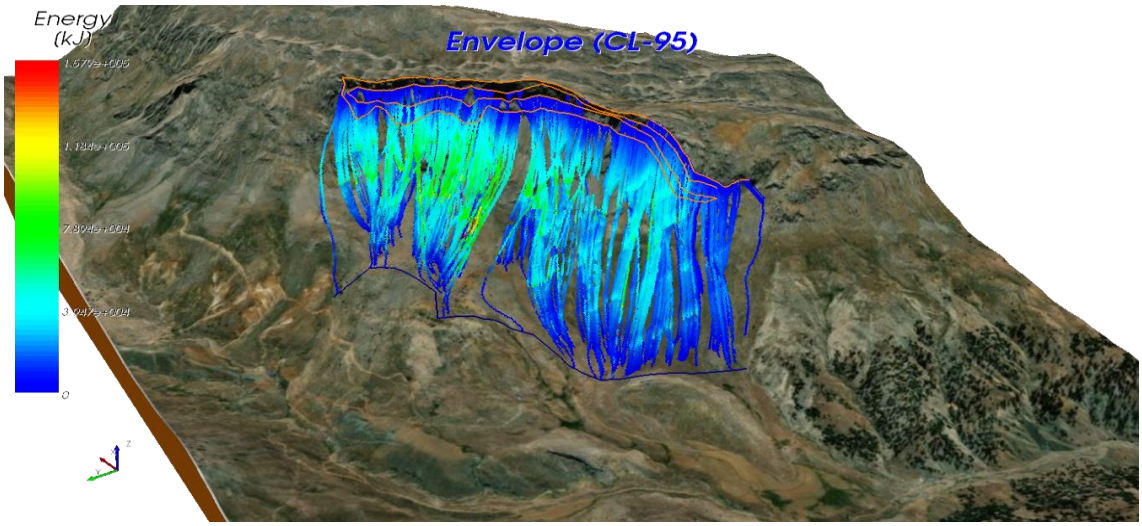
Şekil 192. A18 noktası tasarım görseli

A19 Analiz Noktasında; en az 3 m yüksekliğinde ve yaklaşık 15000 kj enerjiyi sönümleyebilecek güçlendirilmiş set uygulamasının yapılması gerekmektedir. Diğer bir alanda ise herhangi bir yapının enerji dağılımı etkisinde kalmadığı belirlenmiştir. Ancak bu alanda tampon bölge oluşturulması, tampon bölgede topografyanın müsaade ettiği alanlarda en az 2 m yüksekliğinde set yapılması ya da kaya tutma hendek tasarımı yapılması gerekmektedir (Şekil 193).



Şekil 193. A19 noktası tasarım görseli

A20 Analiz Noktasında; herhangi bir yapılaşmanın olmadığı dağlık bir bölge olup, yerleşim yeri dışındaki çok dağlık bölgelerdeki yayılım ve enerji dağılımının analiz edilmek istenmesi sebebiyle analiz noktaları içerisine dahil edilmiştir. Bu gibi alanlarda çok yüksek enerji bölgelerinden uzaklaşarak enerjinin bittiği düşük etkilenme bölgelerinde tampon bölge uygulaması ile beraber topografyanın müsaade etmesi durumunda en az 2 m yüksekliğindeki set ya da kaya tutma hendekleri inşa edilmesinin maksimum koruma sağlayacağı düşünülmektedir (Şekil 194).



Şekil 194. A20 noktası tasarım görseli

Yukarıdaki analizlerle her bir analiz noktasındaki kinetik enerji, sıçrama yüksekliği ve menzil mesafesi parametreleri göz önünde bulundurularak iyileştirme tasarımı önerisinde bulunulmuştur. Buna göre; iyileştirme tasarımlarının tatbik edileceği alandaki etkilenme sınıfı ve enerji değerleri tablosu aşağıda sunulmaktadır (Tablo 20).

Tablo 20. Analiz noktalarında önerilen iyileştirme tasarımlarının gerçekleştiği etkilenme sınıfı ve enerji değerlerini gösterir tablo

		Enerji Miktarı (kj)				**İyileştirme Önerisi**	**Yükseklik (m)**
Etkilenme Sınıfı		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük		
Analiz Noktası							
A1			2000 - 3500			Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A2					1000	Tampon Bölge uygulaması, Kaya tutma Hendeği, Tercihen enerji sönümleyici çelik bariyer	4
A3			2000-3500			Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A4					1000	Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A5				2500		Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A6		4000-4500	3000			Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A7		90000		1000		Güçlendirilmiş Set, Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4-5
A8		50000				Güçlendirilmiş Set	8-10
A9			2500-3000	1000		Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A10		7000				Toprak Dolgu Set	3-4
A11	alternatif-1	6500	3500	1000		Toprak Dolgu Set, Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4-5
	alternatif-2	2000-2500				Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A12		21000				Güçlendirilmiş Set	5
A13				1000		Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A14			2000-9000			Güçlendirilmiş Set, Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4-6
A15					1000	Tampon Bölge uygulaması, Kaya tutma Hendeği, Tercihen enerji sönümleyici çelik bariyer	2-4
A16		1000-2000				Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A17		1000-1500				Enerji Sönümleyici Çelik Bariyer	4
A18					7500	Güçlendirilmiş Set	3-4
A19				15000		Güçlendirilmiş Set, Kaya Tutma Hendeği	2-4
A20					1000	Tampon Bölge uygulaması, Kaya tutma Hendeği, Tercihen enerji sönümleyici çelik bariyer	2-4

Bu tablo sonucuna göre; 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri ile önerilen iyileştirme tasarımlarının ortalama kinetik enerji değeri, çok yüksek etkilenme sınıfında 20000 kj, (çok yüksek düzeydeki enerji), yüksek etkilenme sınıfında 4250 kj (yüksek düzeydeki

enerji), orta dereceli etkilenme sınıfında 3583 kj (yüksek düzeydeki enerji), düşük etkilenme sınıfında ise 2300 kj (orta düzeydeki enerji) değerindedir.

Çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıflarındaki yayılma zonlarında; yüksek enerjilere karşılık gelen enerji sönümleyici çelik bariyerler, galeriler, dolgular ve güçlendirilmiş set uygulamalarının inşa edilmesinin daha uygun olduğu görülmektedir. Ancak bu alanlarda zorlu topoğrafik koşullar hakim olduğundan uygulanmak istenen imalatların sahada tatbik edilmesinin bir takım zorlukları beraberinde getireceği kaçınılmazdır.

Orta dereceli etkilenme sınıfında enerji sönümleyici çelik bariyer uygulamaları ile kaya tutma hendeklerinin uygulanması, gerek enerji değerleri açısından, gerekse uygulanabilirlik açısından daha uygun olacaktır.

Düşük dereceli etkilenme sınıfında ise imkan olması durumunda tampon bölge bırakılması, sabit bariyer uygulaması ile kaya tutma hendeklerinin inşa edilmesi, mümkün olmayan alanlarda enerji sönümleyici çelik bariyer uygulaması yapılması uygun olacaktır.

Çelik bariyer uygulamalarında 4 m'lik standart yüksekliğin bariyer uygulamalarında genellikle yeterli olduğu, güçlendirilmiş set ya da dolgu imalatlarında uygulama yüksekliğinin (4 m – 10 m) uygulanma sahasına göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

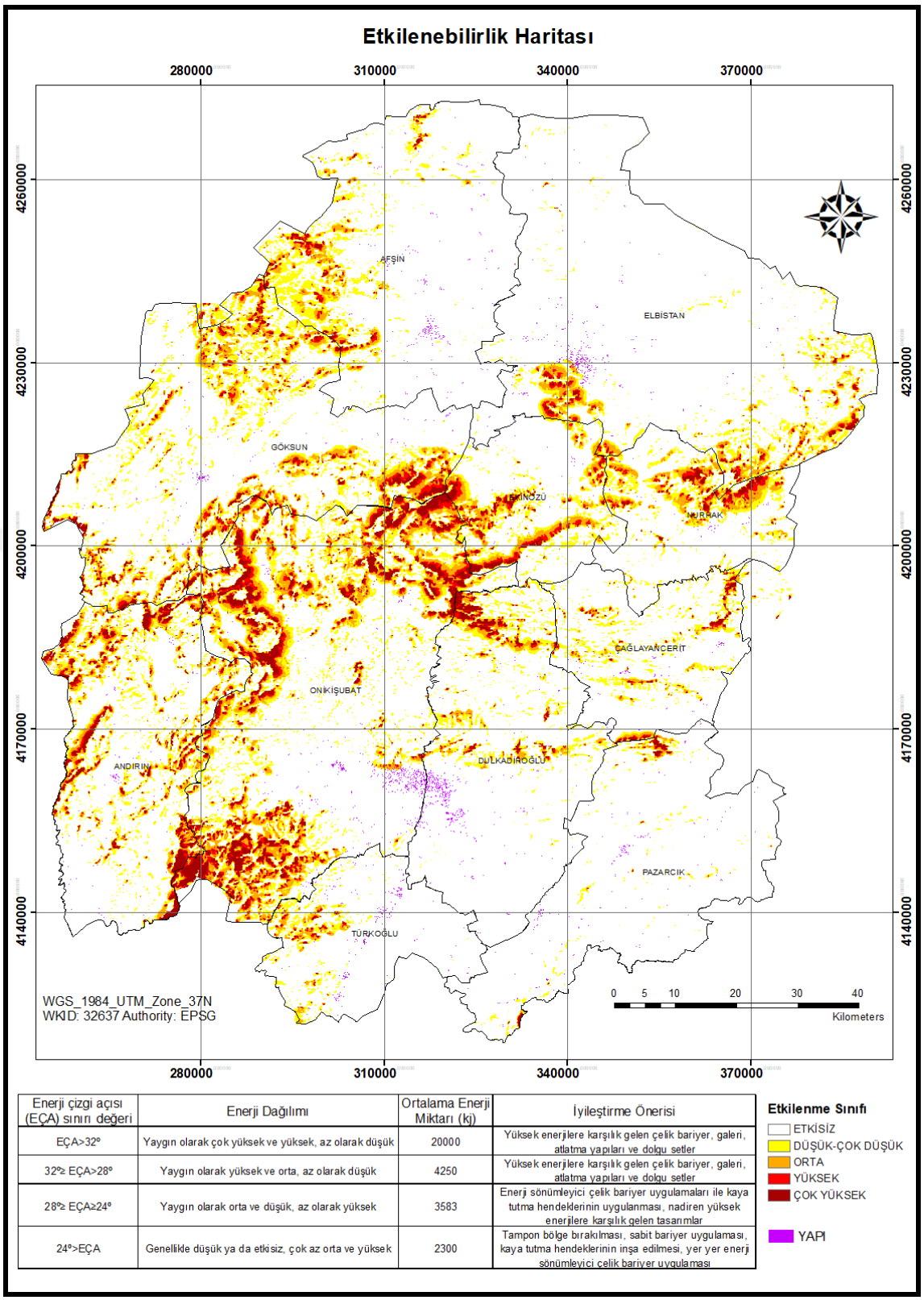
Stabilizasyon yöntemleri açısından değerlendirildiğinde buradaki aktif önlem tedbirleri her türlü yayılım zonunda ilave olarak ya da tek başına uygulanabilir niteliktedir.

Üç boyutlu analizler ile yayılma zonlarına karşılık gelen enerji miktarları ve bu alanlardaki iyileştirme önerileri, il ölçeğindeki bir değerlendirme olarak tablo 21'de yorumlanmıştır.

Tablo 21. İl ölçeğinde yayılma zonlarında genellikle tatbik edilmesi öngörülen iyileştirme önerileri

Enerji çizgi açısı (EÇA) sınırı değeri	Kaya Düşmelerinin Etkilenme Sınıfı	Enerji Dağılımı	Ortalama Enerji Miktarı (kj)	İyileştirme Önerisi
EÇA>32º	ÇOK YÜKSEK	Yaygın olarak çok yüksek ve yüksek, az olarak düşük	20000	Yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri, atlatma yapıları ve dolgu setler
32º≥ EÇA>28º	YÜKSEK	Yaygın olarak yüksek ve orta, az olarak düşük	4250	Yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri, atlatma yapıları ve dolgu setler
28º≥ EÇA≥24º	ORTA	Yaygın olarak orta ve düşük, az olarak yüksek	3583	Enerji sönümleyici çelik bariyer uygulamaları ile kaya tutma hendeklerinin uygulanması, nadiren yüksek enerjilere karşılık gelen tasarımlar
24º>EÇA	DÜŞÜK-ETKİSİZ (ÇOK DÜŞÜK)	Genellikle düşük ya da etkisiz, çok az orta ve yüksek	2300	Tampon bölge bırakılması, sabit bariyer uygulaması, kaya tutma hendeklerinin inşa edilmesi, yer yer enerji sönümleyici çelik bariyer uygulaması

Kaya düşmesi iyileştirme yöntemi seçiminde, fayda-maliyet analizi yaparken korunması istenen yapının niteliği önemli bir kriter oluşturmaktadır. Şehir merkezlerinde, tarihi ve turistik alanların korunmasında, büyük enerji tesislerinin bulunduğu alanlarda veya enerji nakil hatlarının korunmasını konu alan fayda-maliyet analizlerinde, tasarım anlamında daha geniş bir aralıkta değerlendirme yapılabiliyorken, özellikle kırsal alanlarda dağınık yerleşmelerin bulunduğu bölgelerde, korunacak yapı niteliği açısından fayda-maliyet analizi tasarım aralığını oldukça kısıtlamaktadır. Bu gibi durumlarda alanın afet bölgesi ilan edilerek yerleşime kapatılması öngörülmekte ancak bu durum da bir takım sosyo-kültürel problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bölgesel ölçekte bu gibi çalışmalar ile yerleşim yerlerinin planlamasının yapılması uzun vadede bu problemlerin tekrar tekrar yaşanmasının önüne geçecektir. Ayrıca yukarıda bahsedilen uygulamaların çok yüksek ve yüksek etkilenme sınıfında kalan bölgelerde uygulanması gerek işçilik, gerek imalat gerekse uygulanabilirlik açısından yüksek maliyetleri ve ciddi problemleri beraberinde getirdiğinden, doğru yer seçim planlaması ile bu maliyetler ciddi oranda azaltılabilecektir. Böylelikle kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve başka yerlerde değerlendirilmesi imkanı doğacaktır. Bu bağlamda tüm bu değerlendirme ve yorumların sonucunda hazırlanan etkilenebilirlik haritası Şekil 195'te sunulmuştur.



Enerji çizgi açısı (EÇA) sınırı değeri	Enerji Dağılımı	Ortalama Enerji Miktarı (kj)	İyileştirme Önerisi
EÇA>32°	Yaygın olarak çok yüksek ve yüksek, az olarak düşük	20000	Yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri, atlatma yapıları ve dolgu setler
32°≥ EÇA>28°	Yaygın olarak yüksek ve orta, az olarak düşük	4250	Yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri, atlatma yapıları ve dolgu setler
28°≥ EÇA≥24°	Yaygın olarak orta ve düşük, az olarak yüksek	3583	Enerji sönümleyici çelik bariyer uygulamaları ile kaya tutma hendeklerinin uygulanması, nadiren yüksek enerjilere karşılık gelen tasarımlar
24°>EÇA	Genellikle düşük ya da etkisiz, çok az orta ve yüksek	2300	Tampon bölge bırakılması, sabit bariyer uygulaması, kaya tutma hendeklerinin inşa edilmesi, yer yer enerji sönümleyici çelik bariyer uygulaması

Etkilenme Sınıfı
- ETKİSİZ
- DÜŞÜK-ÇOK DÜŞÜK
- ORTA
- YÜKSEK
- ÇOK YÜKSEK
- YAPI

Şekil 195. Kahramanmaraş iline ait kaya düşmesi afetinden etkilenebilirlik haritası

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Kahramanmaraş depremleri sırası ve sonrasında kaya düşmesi meydana gelmiş sahalardaki kaynak alanların sınırları dijital ortama aktarılarak sayısallaştırma işlemi yapılmış ve 1040 adet farklı alanda kaya düşmesi kaynak alan veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinin morfolojik, topografik ve litolojik parametreler ile korelasyonu yapılarak, deprem sırasında ve sonrasında oluşan kaya düşmelerinin meydana geldiği koşullar ortaya konularak parametre haritaları (yükselti, eğim, bakı, litoloji, arazi kullanım) üretilmiştir. CBS ortamında parametre haritalarının yeniden puanlanması ile tüm alanlar beş duyarlılık sınıfına ayrılarak Kahramanmaraş İline ait kaya düşmesi duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Oluşturulan tüm sayısal haritalar WGS_1984_UTM_Zone_37N projeksiyon sisteminde üretilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda;

1) En fazla kaya düşmesi olayının 1500 m ile 2000 m yükselti değerleri arasında yaşandığı, kuzeye bakan bakı değerlerinin kaya düşmesi yönünden çok daha duyarlı olduğu ve 20º-40º arasındaki eğim değerlerinin kaya düşmesi potansiyeli açısından en yüksek değer aralığında olduğu belirlenmiştir.

2) Seyrek bitki alanları ile bitki değişim alanlarının kaya düşme olaylarının yoğunlukla yaşandığı araziler olduğu ve özellikle kireçtaşı olmak üzere mermer ve çakıltaşı birimlerinin kaya düşmesinin en sık yaşandığı litolojik birimler olduğu belirlenmiştir.

3) Kahramanmaraş İline ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak ***(sayısal arazi modeli (SAM), eğim, bakı, litoloji, arazi kullanım)*** kaya düşmelerine yönelik duyarlı alanların tespiti yapılmış ve Kahramanmaraş İli Duyarlılık Haritası oluşturulmuştur.

4) Kaya düşmesi meydana gelen sahaların yoğunluk değerlendirmesi sonucunda sınır eğim açısı değeri 30º olarak kabul edilmiştir. Kahramanmaraş İline ait kaya düşmesi duraylılık haritası ile 30º eğim değerine göre belirlenmiş potansiyel kaynak alanlar haritasının çakıştırılması sonucunda; yayılım zonlarının tespitinde kullanılacak nihai kaynak alan haritası elde edilmiştir.

5) İnceleme alanında kaya düşmesinin gerçekleştiği 20 ayrı analiz noktasında ***(A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20)*** 3 boyutlu analizler ile maksimum menzil mesafeleri ve enerji çizgi açıları tespit edilmiştir. Yukarıda bahsedilen 20 analiz noktasındaki maksimum menzil mesafelerine göre elde edilen enerji çizgisi açı değerlerinin; **30,3º (A6)** ile **24º (A2)** arasında olduğu, kaya düşmelerinin en yoğun yaşandığı alanlardaki enerji çizgi açısı değerlerinin ise **31,6º (A6)** ile **24,5º (A2)** arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerlere göre analizlerde kullanılan enerji çizgi açısı değerlerinde; 32º, 28º ve 24º açısal değerleri referans alınmıştır.

6) Nihai kaynak alanlar verisi, 3 boyutlu analizler sonucu elde edilen enerji çizgi açısı değerlerine göre konik yayılma yöntemi kullanılarak yayılma zonlarına ayrılmıştır. Bu açılara karşılık gelen yayılma zonları**; EÇA>32º - çok yüksek, 32º≥EÇA>28º - yüksek, 28º≥EÇA≥24º orta, EÇA<24º düşük - çok düşük** ya da **etkisiz** etkilenme sınıfları olarak adlandırılmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre; Kahramanmaraş ili için MAKS veri tabanında kayıtlı 227199 yapıdan; 359 yapının çok yüksek, 1039 yapının yüksek, 5558 yapının orta, 9242 yapının ise düşük etkilenme sınıfı içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

7) 20 analiz noktasındaki 3 boyutlu değerlendirmelere göre, herhangi bir yapının il ölçeğindeki genel perspektifte etkilenebilirliğinin ortaya konması amaçlanmış, bu nedenle kaya düşmelerinin yayılma zonlarına karşılık gelen tanımlama için "etkilenme sınıfı" ifadesi kullanılmıştır. Buna ilave olarak, 20 analiz noktasındaki enerji dağılımı ve yapıların kaya düşmesi afetinden korunmasına yönelik ıslah edilebilirlikleri irdelenmiş, yapılan değerlendirmeler sonucunda il ölçeğindeki bir yaklaşım için etkilenme sınıflarına karşılık gelen enerji dağılımları ve koruma yapıları yorumlanmıştır.

8) **A3, A4, A5, A6, A8, A10, A20** analiz noktalarının yayılma zonuna göre **32º-28º** enerji çizgi açısı değer aralığında, **A1, A2, A7, A9, A11, A12, A13, A14, A15, A16 A17, A18, A19** analiz noktalarının ise **28º-24º** enerji çizgi açısı değer aralığında kaldığı belirlenmiştir. Yapı etkilenebilirliği açısından yapılan değerlendirmede ise; **A6, A7, A8, A10, A11 A12, A16, A17** analiz noktalarındaki yapıların çok yüksek ve diğer alt etkilenme sınıflarında, **A1, A3, A9 ve A14** analiz noktalarındaki yapıların yüksek ve diğer alt etkilenme sınıflarında; **A5, A13** ve **A19** analiz noktalarındaki yapıların orta etkilenme

sınıfında; **A2, A4, A15** ve **A18** analiz noktalarındaki yapıların ise düşük etkilenme sınıfında kaldığı tespit belirlenmiştir.

9) 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri ile önerilen iyileştirme tasarımlarının ortalama kinetik enerji değeri, çok yüksek etkilenme sınıfında 20000 kj, (çok yüksek düzeydeki enerji), yüksek etkilenme sınıfında 4250 kj (yüksek düzeydeki enerji), orta dereceli etkilenme sınıfında 3583 kj (yüksek düzeydeki enerji), düşük etkilenme sınıfında ise 2300 kj (orta düzeydeki enerji) değerindedir. Nadiren de olsa etkilenme sınıfı çok yüksek bir alandaki kinetik enerji seviyesinin çok düşük ya da A18 analiz noktası örneğindeki gibi düşük etkilenme sınıfındaki bir alanın çok yüksek seviyelerine maruz kalabildiği görülmüştür. Bu nedenle yapılması planlanan her çalışmanın lokal olarak detaylandırılması, sağlıklı bir proje tasarımı için büyük önem arz etmektedir.

10) Çok yüksek etkilenme sınıfındaki enerji değerlerinin çok yüksek seviyelere ulaştığı ve genelde yıkıcı hasar verebilir niteliktedir. Yüksek enerjilere karşılık gelen imalatların uygulanabilirliği, kurulum ve bakım maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda planlama yapılırken çok yüksek etkilenme sınıfındaki alanların kaya düşmesi açısından uygun olmayan alanlar olarak ayrılması, özellikle sürekli ikamete kesinlikle müsaade edilmemesi önerilmektedir. Islah projelerine yönelik olarak; yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri ve atlatma yapıları ile güçlendirilmiş set uygulamaları bu etkilenme sınıfındaki en uygun iyileştirme önerileri olarak belirlenmiştir.

11) Yüksek etkilenme sınıfındaki alanlar çoğunlukla yüksek enerjilere karşılık gelen alanlar olduğundan, bu alanların detaylı arazi çalışmaları ile etüt edilmesi sonrasında ise uygun iyileştirme yöntemlerinin uygulanabilirliği, fayda-maliyet analizi değerlendirmelerine göre planlama yapılması önerilmektedir. Yapı etkilenebilirliği açısından yıkıcı ya da yüksek hasar verebilir niteliktedir. Kaya düşmesi açısından riskli alanlar olarak ayrılması, yeni yerleşime müsaade edilmemesi, mevcut yapıların niteliğine göre iyileştirme tasarımlarının yapılması ya da güvenli alanlara nakil kararı verilmesi önerilmektedir. Islah projelerine yönelik olarak; yüksek enerjilere karşılık gelen çelik bariyer, galeri ve atlatma yapıları ile güçlendirilmiş set uygulamaları bu etkilenme sınıfındaki en uygun iyileştirme önerileri olarak belirlenmiştir.

12) Orta etkilenme sınıfındaki alanlarda ise genellikle daha düşük enerjilere karşılık gelen iyileştirme yöntemleri ile yapıların korunduğu belirlenmiştir. Ayrıca uygulanabilirlik ve servis imkanları daha kolay olmaktadır. Enerji dağılımı yapı etkilenebilirliği açısından kısmi hasar verebilir niteliktedir. Bu alanlar, kaya düşmesi yönünden önlem alınması gereken alanlar olarak ayrılmalıdır. Yer yer yüksek enerji dağılımlarının olduğu görüldüğünden iyileştirme tasarımları detaylı arazi etütleri sonrasında planlanmalıdır. Islah projelerine yönelik olarak; enerji sönümleyici çelik bariyer uygulamaları ile kaya tutma hendeklerinin uygulanması, nadiren yüksek enerjilere karşılık gelen alanlar için ise galeri ve atlatma yapıları ile güçlendirilmiş set uygulamaları bu etkilenme sınıfındaki en uygun iyileştirme önerileri olarak belirlenmiştir.

13) Düşük etkilenme sınıfındaki yapıların genellikle herhangi bir enerji dağılımının etkisi altında olmadığı görülmektedir. Ancak nadir de olsa yüksek enerjinin etki edebileceği alanlar bulunması sebebiyle detaylı arazi etüdü sonrasında ihtiyaç duyulması halinde iyileştirme tasarımı planlanabilir ya da tampon bölge uygulaması ile yerleşme ve yapılaşma sınırlandırılabilir. Yapı etkilenebilirliği açısından enerji düzeyi genellikle etkisiz olmakla birlikte az da olsa kısmi hasar verebilir niteliktedir. Islah projelerine yönelik olarak; tampon bölge bırakılması, sabit bariyer uygulaması, kaya tutma hendeklerinin inşa edilmesi, yer yer enerji sönümleyici çelik bariyer uygulaması bu etkilenme sınıfındaki en uygun iyileştirme önerileri olarak belirlenmiştir.

14) Bu çalışma kaya düşmesi alanlarının etkilenme sınıflarına göre enerji dağılımlarına ve buralarda tatbik edilebilecek önlem çalışmalarına 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri ışığında yorum getirmiş olup, En önemli sonuçları; yeni yerleşim yerlerinin tespitinde, enerji nakil hatları, enerji tesisleri, karayolu ve tren yolu güzergâhlarının belirlenmesinde altlık olarak kullanılması ve dolayısıyla ihtiyaç duyulan önlemlerin zamanında alınarak ekonomik kayıpların önüne geçilmesi, proje aksamalarının yaşanmaması ve en önemlisi de herhangi bir afet durumunda can kayıplarının yaşanmaması veya en aza indirgenmesidir. Ayrıca kaya düşmelerine yönelik tedbir amaçlı ağaçlandırma faaliyetlerinde de önlem alanlarının belirlenmesinde kullanılması önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Kaya düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz, Ankara, 2020.

Akın, M., Kaya düşmelerinde güncel analiz ve iyileştirme yöntemleri, Jeotag Eğitim Çalışmaları, 7-17 Nisan, 2021.

Akın, M., vd., 2018. RocPro3D 3 boyutlu kaya düşme analizi örnek uygulama, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Eğitim Semineri.

Akın, M., vd., 2019. Kaya tutma hendek performansının 3-boyutlu kaya düşme analizleriyle değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) örneği, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi;* 43, 211-232.

Alemdag S., Bostanci H.T., Gacener E. 2022. GIS-based determination of potential instabilities and source rock areas on the Torul-Kürtün (Gümüşhane) motorway, rockfall, and protection structure analyses. *Bull. Eng. Geol. Env.,* 81(1):30.

Alemdağ, S., Kara, R. T., & Bostancı, H. T. (2022). Evaluation of potential rock falls with three-dimensional analysis: Example of Oltanbey and Hasanbey districts (Gümüşhane city center). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration,* 169(169), 87-104.

Artuç, E. F., Susuz Köyü (Çubuk -Ankara) ve yakın çevresinin kaya düşme potansiyelinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2014.

Baydar, O., Yergök, A.F. 1996. *Güneydoğu Anadolu-kenar kıvrım kuşağı-Amanos Dağları Kuzeyi ve Doğu Torosların jeolojisi*. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 90s (yayınlanmamış).

Beyazpirinç, M., Keypez-Nişanıt-Domuzdere-Kitiz (Afşin-Kahramanmaraş) Dolayının Jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2005.

Broili, L., In situ tests for the study of rockfall, Geol. Appl. e Idrogeol., 8, 1, 1973.

Capons, R., Vilaplana, J. M., Linares, R., (2009) Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Sola d'Andorra la Vella, Central Pyrenees. *Natural Hazards Earth System Science*, 9, 2107-2118.

Crosta, G.B., and Agliardi, F., 2003. A methodology for physically based rockfall hazard assessment: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 3, p. 407-422.

Demirtaşlı, E. 1967. *Jeolojinin ana konuları ve temel prensipleri*, Cilt: 6, Sayı: 4, 259-267.

Dorren, L. K. A., A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 69–87, 2003.

Evans, S.G., Hungr, O., The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 30, no. 4. pp. 620–636, 1993.

Fanos, A.M., Pradhan, B., 2019. A novel rockfall hazard assessment using laser scanning data and 3D modelling in GIS. *Catena*, 172, 135-150.

Gacener, E., Kürtün (Gümüşhane) Karayolu Kaya Şev Duraysızlıklarının CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi ve İki Boyutlu Kaya Düşme modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 2020.

Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). Türkiye'de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., Agliardi, F., STONE: A computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. *Computers and Geoscience*, 28, 1079–1093, 2002.

İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İl Risk Azaltma Planı, Kahramanmaraş, 2021.

Kahramanmaraş 1/100.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planı Raporu. (2011).

Kalender, A., Konik yayılım yaklaşımıyla kaya düşmesi potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik bir yöntem önerisi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2017.

Kara, T. R., Üç boyutlu kaya düşme analizleri ile olası tehlike haritası üretilmesi ve önlem yapıları tasarımı; Gümüşhane kent merkezi örneği, Y. Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 2020.

Kaya, Y., Assessment of rock slope stability For A Coastal Area near Kuşadası, Aydın, Turkey, Y. Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2013.

Keskin, I. 2013. Evaluation of rock falls in an urban area: the case of Boğazici (Erzincan/Turkey). *Environ Earth Sci*., 70, 1619–1628.

Korkmaz, H. 2001. *Kahramanmaraş Havzası'nın jeomorfolojisi*. T.C. Kahramanmaraş Valiliği İl Kültür Müdürlüğü, Kahramanmaraş, 195s.

Lan, H., Martin, D., Lim, C., RockFall analyst: A GIS extension for three dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling. *Computer and Geoscience*, 33, 262–279, 2007.

Larcher, V., Simoni, S., Pasquazzo, R., Strada, C., Zampedri, G., Berger, F.,WP6 guidelines rockfall and forecast systems, Italy, 2012.

Marzorati,S., Luzi L., Amicis, M.D., Rock falls induced by earthquakes: a statistical approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 565-577, 2002.

Önalan, M. 1985/1986. Kahramanmaraş Tersiyer istifinin sedimanter özellikleri ve çökelme ortamları. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yayınları Yerbilimleri Dergisi*, c. 5 (1-2), s.39-78.

Rıgo De Rıghi, M.,Cortesini, A., 1964, Gravitytectonics in foothills structure belt of southeast Turkey, *A.A.P.G. Bull*., 48-12, 1911-1938.

Ritchie Arthur M., Evaluation of rockfall and its control. Stability of rock slope Vol 17, Highway Research Board, *National Academy of Sciences-National Research Council*, Washington, DC, 13–28, 1963.

Rocscience, Coefficient of Restitution Table https://www.rocscience.com/help/rocfall/documentation/slope/materials/reference-tables/rocscience-coefficient-of-restitution-table-in-rocfall adresinden erişildi.

Sungurlu, O. 1973. Gölbaşı-Gerger arasının jeolojisi. T.P.A.O. Rap. No: 802, Ankara.

Şener, E., 2019. İnsansız hava araçları kullanılarak olası kaya düşmelerinin coğrafi bilgi sistemleri tabanlı 3D modellenmesi: Kasımlar Köyü (Isparta-Türkiye) örneği.

Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-slip deformation, Basin Formation and Sedimentation. *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub*. 37 (in honor of J.C. Crowell), 227- 264,

Şengör, A.M.C. ve Yilmaz, Y., 1984, Türkiye'de Tetis'in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. *TJK Yer Bilimleri özel Dizisi*, no:1, 75 s, Ankara.

Şengör, A.M.C., 1979, The North Anatolian transform fault: its age, -offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, London 136, 269–282.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyanevolution of Turkey, A platetectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.

Terlemez, H. Ç. İ., Şentürk, K., Ateş, Ş., Sümengen, M., ve Oral, A. 1992. Gaziantep dolayının ve Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli arasının jeolojisi. M.T.A. Enst., Derleme Rap. No: 9526, Ankara.

Topal, T., Akin, M. K., and Akin, M. Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey), *Natural Hazards*, 62, 2, 255–274, 2012.

Topal, T., Akin, M. K., Ozden, A.U., 2007. Assessment of rockfall hazard around Afyon Castle. *Environmental Geology*, 53(1):191–200.

Troisi, C., Berger, F, Dorren, L., Protection de la viabilité alpine, PROVIALP project report, 2008.

Tuna, D., 1973, VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 813, 131 s., Ankara.

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

URL-1, https://deprem.afad.gov.tr/event-statistics

URL-2, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme

Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes in landslides, Analysis and control, Ed: Schuster, R.L. and Krizek, R.J.), Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington DC, Special Report, 176: 11-13.

Vogel, T., Labiouse, V., and Masuya, H. (2009) Rockfall protection as an integral task. *Struct. Eng. Int.*, 19(3), 321–326

Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Gerber, W., Jaboyedoff, M., Rockfall characterisation and structural protection - A review. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 11, 9, 2617–2651, 2011.

Wyllie, D.C., 2015. *Rock fall engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group. 270 pp.

Wyllie, D.C., Norrish, N.I. (1996) Stabilization of rock slopes. In special report 247: Landslides: Investigation and Mitigation (A.K. Turner and R.L Schuster, eds.). Transportaion Research Board, *National Research Concuil*, Washington, D.C. pp, 474-504.

Yalçın, N. 1980. Amanoslar'ın litolojik karakterleri ve Güneydoğu Anadolu'nun tektonik evrimindeki yeri. *Türkiye Jeol. Kur. Bül.,* Cilt: 23, Sayı: 1,:21-30.

Yeleser, L. 2006. Kahramanmaraş İli'nin mühendislik özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Yıldırım, M., Yılmaz, Y., 1991, Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağının ekaylı zonu, *TPJD Bülteni*, C:3 I:57-73.

Yilmaz, I., Yildirim, M., Keskin, I., A method for mapping the spatial distribution of RockFall computer program analyses results using ArcGIS software. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 4, 547–554, 2008.

Zorlu, K., Tunusluoglu, M.C., Gorum, T., Nefeslioglu, H.A., Yalcin, A., Turer, D., Gokceoglu, C., 2011. Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 62, 8, 1685-1693.

ÖZGEÇMİŞ

1993-2004 yılları arasında ilk ve orta öğrenimini tamamlayarak, 2010 yılında İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2012 yılında yedek subay olarak askerliğini tamamladıktan sonra bir dönem Anadolu Lisesi öğrencilerine Coğrafya dersleri vermiştir. 2013 yılında Gümüşhane İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde Jeoloji Mühendisi olarak göreve başlamıştır. 2021 yılı itibariyle Kahramanmaraş İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde çalışmaktadır. Coğrafi tabanlı tehlike ve duyarlılık haritalarının hazırlanması, yer seçim çalışmaları, afet açısından riskli alanların belirlenmesi, risk azaltma çalışmaları, afet öncesi ve sonrasına yönelik iyileştirme planlarının hazırlanması, kütle hareketlerine yönelik projelendirme çalışmaları gibi afet merkezli konular çalışma sahasını oluşturmaktadır. Bu konular ile ilgili olarak birçok proje, seminer ve eğitim faaliyetlerinde katılımcı ve konuşmacı olarak yer almıştır. Orta düzeyde İngilizce ve başlangıç seviyesinde Arapça bilmektedir. Evli ve iki çocuk babası Sabır AKBAŞ afet konuları ile ilgili çalışan biri olarak şunları söylemiştir: *"Meslek hayatım boyunca birçok afet ile karşılaştım. Kötü insan kadar büyüğünü görmedim."*