

Mudurnu Vadisi Yamaç Şevleri Süreksiz Kaya Kütlelerindeki Kompleks Kinematik Yenilmelerin İHA ile Değerlendirilmesi

*¹Arzu Arslan Kalam, ¹Haluk Akgün, ²Mustafa Kerem Koçkar
*¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
²Gazi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye

Öz:

Sarp bir vadiye kurulmuş olan Mudurnu İlçesi, bölgede yer alan kütleli şev duraysızlıklarından etkilenmektedir. Mudurnu vadisinin batı yakasında bulunan şevlerdeki süreksiz kireçtaşları, kinematik yenilme (düzlemsel kayma, kama tipi, devrilme tipi) kombinasyonlarından kaynaklanan kompleks kinematik yenilmeler oluşturmaya yatkındır. Bu şev duraysızlıkları, yerleşim alanı ve çevresinde önemli tehlike zonları yaratmakta ve bölgesel risk oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı vadiye süreksiz kireçtaşı için olası yenilme türlerini araştırmak ve tanımlamaktır. Vadinin geniş ve şevlerdeki topoğrafyanın dik oluşu nedeniyle birçok sorunlu alana fiziksel olarak ulaşmak olanaksızdır. Bu sorunun üstesinden gelmek ve daha geniş alanları karakterize etmek için insansız hava araçları teknolojisi (İHA) kullanılmıştır. Ardından, İHA ile şevlerde toplanan görüntüler işlenerek değerlendirilmiş ve vadi boyunca yenilme türlerini tanımlamak için yapılan hat etüdü saha çalışmaları (kaya kütleli karakterizasyonu) ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak vadinin batı yakasındaki kütleli olarak tehlike potansiyeli yaratacak şev zonları belirlenerek gerekli iyileştirme önerileri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şevlerde süreksiz kaya kütleli duraysızlıkları, kompleks kinematik yenilmeler, İHA teknolojisi, şevlerde kütleli tehlike değerlendirmeleri, Mudurnu

A UAV Supported Evaluation of the Complex Kinematic Failures for the Discontinuous Rock Mass Slopes of Mudurnu Valley

*¹Arzu Arslan Kalam, ¹Haluk Akgün, ²Mustafa Kerem Koçkar
*¹Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, Turkey
²Gazi University, Earthquake Engineering Implementation and Research Center, Turkey

Abstract:

Mudurnu County, which is settled in a steep valley is affected from regional rock slope instabilities. Discontinuous limestones slopes located at the west side of the Mudurnu valley are susceptible to complex kinematic failures resulting from the combination of slope instabilities (i.e., planar, wedge, toppling). These slope instabilities tend to create important hazard zones in and around the settlement area and generate regional hazard. The purpose of this study is to define the possible modes of failure for discontinuous limestone slopes along the valley. Many problematic slopes are inaccessible due to the wide and steep nature of the region. In order to overcome this problem and to cover a larger area, unmanned aerial vehicles technology (UAV) have been used. Then, the collected digital images from the slopes have been processed and compared with the information gained by the scan-line field studies (i.e., rock mass characterization) in order to define the possible modes of slope failure zones along the Mudurnu valley. Finally, regional rock slope instabilities along the west side of the valley have been examined entirely and remediation measures after zonation studies have been implemented.

Key words: Discontinuous rock mass slope instability, complex kinematic failure, UAV technology, rock mass slope hazard assessment, Mudurnu

*Corresponding author: Address: Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, 06800, Ankara TURKEY, E-mail address: ararzu@metu.edu.tr, Phone: +90312 210 5726

1. Giriş

Bolu İli'nin bir ilçesi olan Mudurnu, Ankara ile İstanbul arasında önemli bir noktada bulunur. Sarp bir vadide kurulmuş olan ilçe merkezi, Bolu'nun 50 km güneybatısında ve Ankara'nın 200 km kuzeybatısında yer almaktadır.

Mudurnu, vadinin batı tarafında jeoloji, topoğrafya, yağış koşulları, insan etkisi ve sismik aktivitenin etkisi sonucunda oluşan kaya duraysızlıklarından etkilenmektedir. İlçe nüfusu 19.066'dır ve 5.036 kişi ilçe merkezinde yaşamaktadır [1]. Önceki raporlara göre, 1961 ile 2016 yılları arasında yamaç şevlerinde meydana gelen afetlerin 84'ü yağışların, hava koşullarının ve depremlerin ikincil etkilerinin neden olduğu kütle hareketleri ve kaya düşmelerinden kaynaklanmıştır.

Mudurnu vadisinin batı tarafını oluşturan yamaç şevlerindeki kireçtaşları süreksizlik kontrollü kompleks kinematik yenilme (düzlemsel kayma, kama tipi ve/veya devrilme tipi yenilmelerin kombinasyonu) potansiyeli oluşturabilecek özelliindedir (Şekil 1). İlçe, eğimi dik olan vadideki şevlerin konumu nedeniyle, geçmişte meydana gelen ve gelme potansiyeli olan duraysızlıklar açısından oldukça tehlikeli bir bölgedir. Vadideki bu yamaç şevi duraysızlıkları insan yaşamını, yerleşim alanlarını ve küçük sanayi tesislerini tehdit etmektedir. Buna ek olarak, duraysızlıklar, Mudurnu'da bulunan ve ilçenin UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne aday olmasını sağlayan konaklar, camiler, Türk hamamı ve ahşap saat kulesi gibi tarihi yapılar için de tehlike oluşturmaktadır.



Şekil 1. Vadi yamaçlarındaki kireçtaşlarında süreksizlik düzlemlerini gösteren görüntü ve tehdit altındaki yapıların durumu

Bu çalışmanın amacı, vadinin batı yakasındaki yamaçlardaki süreksizlik düzlemlerindeki kireçtaşları için olası yenilme mekanizmalarını araştırmak ve yenilme yüzeylerini, belirlenen farklı

mekanizmalara göre sektörlere ayırmaktır. Şevlerdeki süreksizliklerin ve yenilme mekanizmalarının konumsal olarak tanımlanması hayati önem taşımaktadır. Çünkü vadinin ulaşılması zor ve dik olması ile kaya kütlelerinin süreksizlik özelliklerinin vadi boyunca değişmesi ve farklı karmaşık yenilmelere yol açması bu durumu zaruri kılmaktadır. Yamaç şevlerindeki süreksizlikler, yapılan zonlama çalışmaları, saha çalışmaları ve klasik hat etüdü metodolojisi ile birlikte insansız hava aracı teknolojisi (İHA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İHA ile görüntü alımı, yamaçların dik topoğrafyası ve karmaşık süreksizlik özellikleri nedeniyle ulaşamayan bölgelerinde değerlendirilmesi ve çalışmanın bütünselleştirilmesi amacıyla tercih edilmiştir. İHA'lerden yardım alınması ile daha geniş bir alan detaylı olarak tanımlanmış ve analiz edilmiştir.

2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri

Mudurnu ve çevresinde yüzeyleyen birimler Kuvaterner çökeller, Alt-Orta Miyosen yaşlı volkanikler ve piroklastikler, Paleosen yaşlı karasal kıvrıntılılar, Kretase kıvrıntıları ve karbonatlar, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı pelajik kireçtaşı ve Alt-Orta Jura volkanikleri ve sedimanlarıdır [2]. Mudurnu ilçe merkezinde bulunan jeolojik birimler Kuvaterner alüvyon, Kretase yaşlı Yenipazar formasyonu ve Jura yaşlı Mudurnu formasyonudur [3]. Çalışma alanındaki yamaçlardaki süreksizlik düzlemlerinde görülen kireçtaşları Geç Kretase yaşlı Yenipazar formasyonunun Değirmenözü üyesidir (Şekil 2). Değirmenözü üyesi bir şerit olarak mostra verir ve beyaz-bej renkli pelajik kireçtaşlarından oluşur. Yenipazar formasyonunun alt seviyelerinde bulunur ve şelf ortamında çökelmiştir.



Şekil 2. Yamaçlardaki süreksizlik düzlemlerinde gözlenen kireçtaşlarının durumu

Bolu, üç farklı basenin (Anatolit-Torid bloğu, İzmir-Ankara kenedi ve Sakarya zonu) bindirme fayları ile tektonik olarak bir araya geldiği bir bölgede yer almaktadır. Çalışma alanı, Türkiye'nin en önemli aktif sismik fay zonlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nunda (NAFZ) bulunması sebebiyle tektonik olarak çok aktif bir bölgededir. Özellikle, NAFZ'nin İsmetpaşa-

Yeniçağa segmanı Mudurnu'ya yakındır. Bölgede, tarihsel dönemde (2100-1900) [4] 9 adet ve aletsel dönemde 6 adet deprem kaydedilmiştir. Deprem Bölgeleri Haritası'na [5] göre Mudurnu birinci derece tehlike bölgesindedir ve bölgede beklenen maksimum yer ivmesi (PGA) 0.4g'den büyüktür.

3. Metodoloji

Çalışma sahasındaki şevlerde kaya kütlesi sınıflandırma çalışmaları, yapılan çalışmadaki yöntemlerin güvenilirliğini sağlamak açısından karşılaştırma amacı ile iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin biri vadi yamaçlarında uygun görülen alanlarda uygulanan hat etütleri iken, ikinci yöntem İHA ile elde edilen görüntülerden elde edilen verilerin proses edilmesi esasına dayanır. Bu amaç doğrultusunda hat etütleri sahada çalışmaya müsait ulaşılabilir alanlarında yapılmış olup, İHA'larla yapılan çalışmalar ise vadi boyunca alanın tamamında uygulanmıştır. İHA ile elde edilen görüntüler, şevlerde hat etüdü sonucunda elde edilen kaya kütlesi özellikleri ile karşılaştırılmış, vadideki yenilme tipleri ve potansiyel tehlike arz eden alanları belirlemek için kullanılmıştır. Sonuç olarak saha çalışmaları neticesinde elde edilen kaya kütle sınıflaması İHA görüntüleri ile karşılaştırılarak hassasiyet ve güvenilirlik analizleri yapılarak sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir.

3.1. İHA ile çalışma alanının görüntülerinin oluşturulması

Bu çalışmanın temel esası, Mudurnu Vadisi'nin batı kesiminde bulunan yamaçlardaki kireçtaşı birimlerinin süreksizlik düzlemlerini konumsal olarak karakterize etmek ve muhtemel yenilme tiplerine göre farklı sektörlere/zonlara ayırmaktır. Birimlerde oluşabilecek potansiyel yenilmeler süreksizlik kontrollü olup süreksizlik veri setleri düzlemsel, kama ve devrilme şeklinde yenilmelere sebep olabilir [6]. Ayrıca vadi boyunca yamaçlardaki şev yönelimlerinde jeolojik ortama bağlı olarak deformasyona ve sıkışmaya dayalı farklılıklar olduğu gibi şev aynası yönelimleri de buna bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu durum bölgenin daha hassas ve sektörlere ayırarak yapılacak olan karakterizasyon çalışmalarına ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Ancak, vadinin geniş bir alanda olması ve şev eğimlerin yüksek olması, problemlili yamaçlarda her bölgede bu şekilde detaylı çalışma yapmanın zorluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle yamaç şevlerinde konumsal olarak verinin elde edilmesi zaruri olmaktadır. Sonuç olarak tüm vadide bütünleşik bir çalışma yapabilmek ve yamaçların tamamında karakterizasyon çalışmaları yapabilmek için İHA teknolojisi kullanılmıştır. Bu teknoloji son zamanlarda oldukça popüler bir araç haline gelmiştir ve heyelan izleme, heyelan haritalama, kaya düşme tehlikesi ve kaya kütlesi yenilmesi gibi çeşitli mühendislik jeolojisi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. [7, 8, 9, 10]. İHA uygulamaları basit ve hızlı olmakla birlikte lazer taramaya göre de daha düşük maliyetler sunmaktadır [11]. Bu amaçla yapılan bu çalışmada vadi yamaçlarında kireçtaşı birimlerindeki süreksizlik düzlemlerinin görüntüleri İHA teknolojisi yardımıyla elde edildikten sonra bölgenin nokta bulutu oluşturulmuştur.

3.2. Arazide yapılan hat etüdü çalışmaları

Arazideki şevlerdeki kaya kütlelerinin mühendislik jeolojisi özelliklerini, süreksizlikleri ve

bunların farklı şevler üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla arazi etütleri yapılmıştır. Şevlerde kireçtaşlarını etkileyen süreksizlikler düzlemsel, kama ve devrilme şeklinde yenilmelere sebep olabilecek özelliktedir [6]. Birimleri kaya kütlesi mekanik özellikleri (dayanım, süreksizlik türleri, süreksizlik aralığı ve eklem sıklığı, açıklık, dolgu malzemesi, devamlılığı, blok boyutu) ile süreksizlik yönelimlerinin karakteristiğinin [12] belirlenmesi amacıyla çalışma sahasındaki ulaşılabilen yamaçlarda hat etütleri yapılmıştır. Hat etüdü, süreksizlik özelliklerinin belirlenmesinde detaylı araştırma imkanı sunduğu için tercih edilmiştir [13]. Hat etütleri için 3 metre uzunluğunda bir şerit metre kullanılmış ve kaya kütlelerine sabitlenen ve bu hatı kesen tüm süreksizliklerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

Vadi yamaçlarında genel anlamda bir değerlendirme yapıldığında, sahada yüzeyleyen birim ince taneli pelajik kireçtaşlarıdır. Rengi pembemsi griden açık griye kadar değişmektedir (Şekil 3a, 3b). Arazi gözlemlerine ve Schmidt çekici ile yapılan ölçümlere göre bu birim orta ve sağlam kayaç olarak tanımlanmıştır [14]. Genellikle az ve bazı yerlerde ise orta derecede ayrılmış ve bozunmuştur. Tüm hat etütleri neticesinde şevlerde genel olarak 2 eklem takımı ve 1 tabaka düzleminden oluşan süreksizlik setleri tanımlanmıştır. Süreksizlikler dalgalı pürüzlü ve dalgalı düz yüzeyle sahiptir. Açıklıklar genellikle açık ile orta derecede geniş iken yer yer çok sıkı açıklıklar da bulunmaktadır [12]. Sıkı açıklıklar dolgu malzemesi barındırmazken açıklığın arttığı yerlerde kil, siltli kil veya kalsit dolgusu gözlenmiştir. Çok düşük ve çok yüksek aralıkta devamlılığa sahip olan süreksizlikler az ve orta derecede aralıklıdır. Süreksizlik setleri, orta ve geniş boyutlu bloklar oluşturmaktadır [12]. Arazi çalışması sırasında bir miktar su sızıntısı gözlenmiş ve bazı lokasyonlarda bu durum alterasyonlara ve renk değişikliklerine sebep olmuştur. Yıllık ortalama yağış miktarı 571 mm olan Mudurnu'da yüzey sularının kaya kütlelerinde ayrışma ve bozunmaya etkisinin olduğu düşünülmektedir.

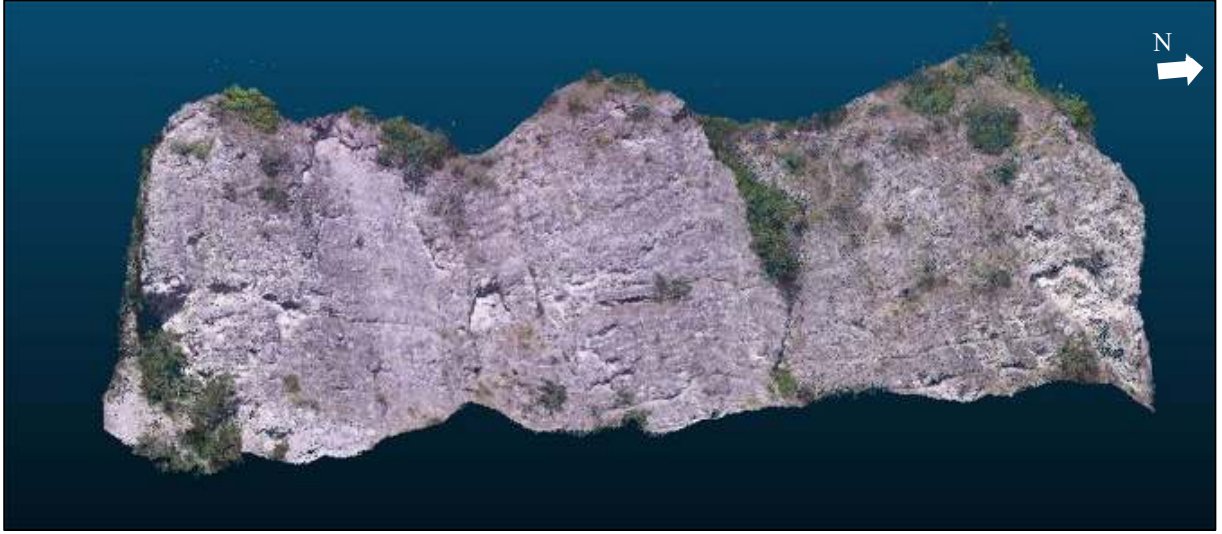


Şekil 3. a) Kireçtaşındaki süreksizlik düzlemlerinin genel b) eklemli kaya kütlelerinin yakından görünümü

4. Çalışma alanında mekânsal değerlendirmelere örnek bir sektör analizi

Saha gözlemleri ile İHA görüntülerinden elde edilen nokta bulutu birlikte değerlendirilmiş ve vadi

yamacındaki süreksizlik düzlemlerini ve buna bağlı şev duraylılığını etkileyen şev aynası yönelimleri dikkate alınarak çalışmalar farklı sektörlere bölünmüştür. Bu bildiri kapsamında, vadinin çok geniş olması ve tüm çalışmaların bir arada verilmesinin zorluğu nedeniyle, bu çalışmada her iki yöntemle değerlendirilen sektörlerden biri ayrıntılı olarak ele alınmış ve detaylı olarak açıklanmıştır. Nokta bulutu ile oluşturulan örnek sektör Şekil 4'te sunulmuştur. Sektörde bulunan şevlerdeki kaya kütleleri yukarıda belirtildiği üzere hat etütleri yardımıyla da karakterize edilmiştir.



Şekil 4. Sektörün 3B nokta bulutu

Bu sektörde kaya kütleleri, pembemsi gri-açık gri renkli ince taneli pelajik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kaya kütlesi sağlam ve az bozunmuştur [12]. Bu sektörde şev aynasının yönelimi $54^{\circ}/090^{\circ}$ 'dir (eğim/eğim yönü) ve aşağıdaki yönelimlere sahip üç ayrı düzlemsel süreksizlik seti tespit edilmiştir.

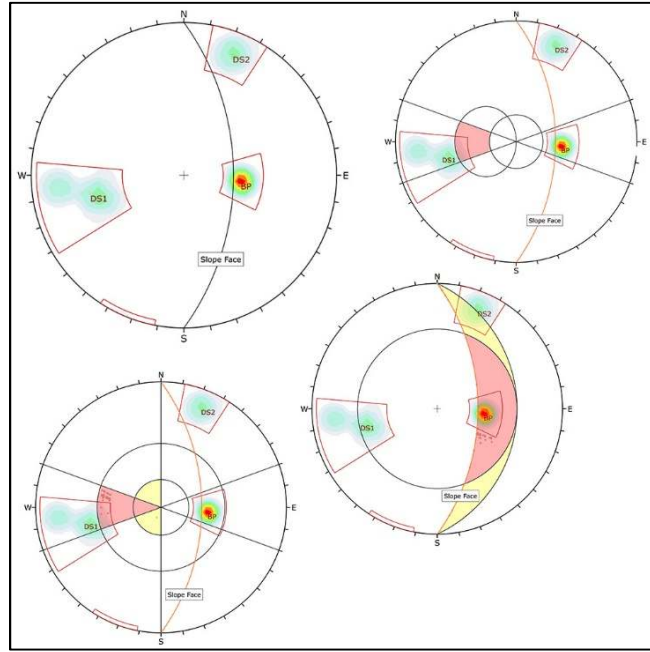
Tabaka düzlemi: $41^{\circ}/276^{\circ}$
Eklem takımı 1 (S1): $63^{\circ}/077^{\circ}$
Eklem takımı 2 (S2): $81^{\circ}/202^{\circ}$

Süreksizlik düzlemi yüzeyleri, dalgalı pürüzlü ile dalgalı düz arasında değişen bir yapıya sahiptir. Açıklıklar orta derecede geniş ve sıkı aralığında tanımlanmıştır. Orta derecede geniş açıklıklarda kil dolgusuna rastlanmıştır [12]. Yakın-orta derecede aralıklıdır ve çok yüksek devamlılığa sahiptir. Süreksizlik setleri, orta ve geniş boyutlu blokların oluşmasına sebep olmaktadır [12]. Çatlaklarda su sızıntısı gözlenmiştir. Şev aynası ve süreksizlik setlerinin yönelimi kullanılarak, Dips [15] yazılımı ile kinematik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Analizler, bu yönelimler ile düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıkların oluşabileceğini göstermiştir. Alanda, S1 düzlemsel kaymaya, S1 ve S2'nin kesişimi kama tipi ve tabaka düzlemi ise devrilme potansiyeline sebep olabilecek özelliktedir. Devrilmeye sebep olabilecek bloklar küçük ve orta boyutludur, ancak düzlemsel kayma potansiyeli olan kaya kütleleri çok büyük boyuttadır. Bu nedenle, bölge için kritik olan düzlemsel kaymadır. Buna ek olarak, büyük bloklar kama türü kayma potansiyeli de

göstermektedir.

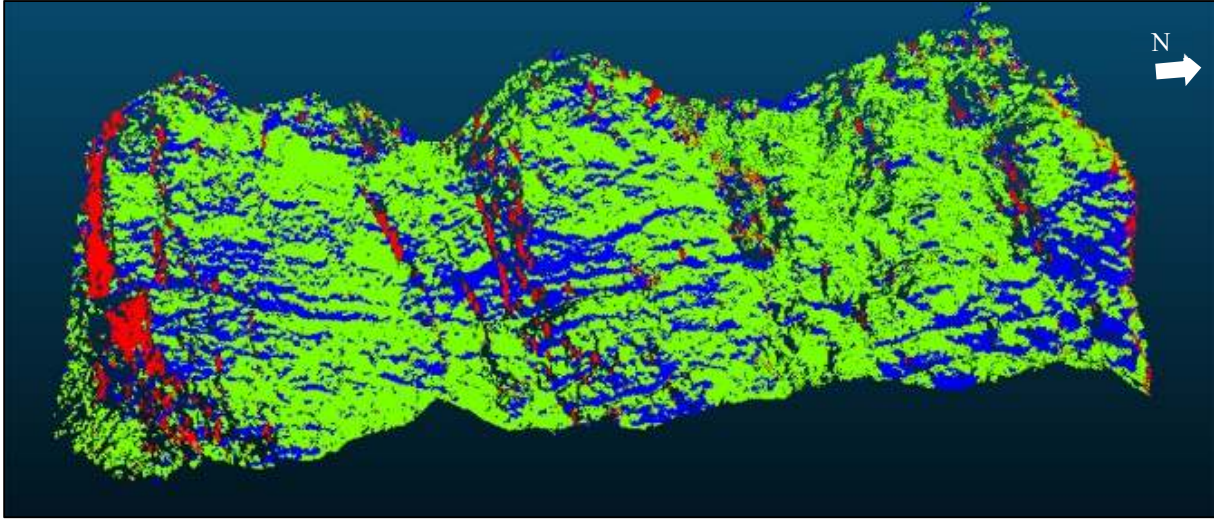
Çalışma alanındaki süreksizlik düzlemleri ayrıca nokta bulutundan süreksizlik setlerinin tanımlanması için kullanılan Discontinuity Set Extractor (DSE) kullanılarak da değerlendirilmiştir [16]. DSE ile belirlenen süreksizlik setleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da her renk bir süreksizlik setini temsil etmektedir. DSE ile elde edilen süreksizlik yönelimleri şunlardır:

Tabaka düzlemi: $43^\circ/282^\circ$
Eklem takımı 1 (S1): $55^\circ/088^\circ$
Eklem takımı 2 (S2): $79^\circ/203^\circ$

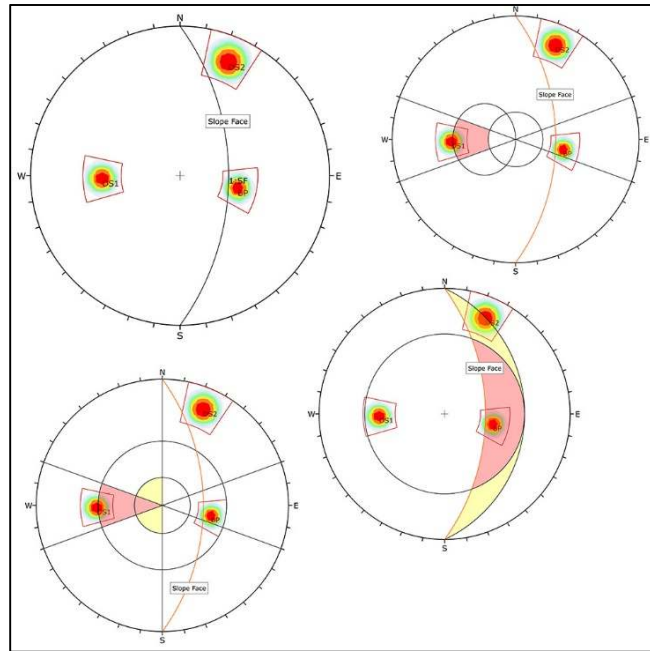


Şekil 5. Örnek sektörün Dips ile gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçları

DSE ile tespit edilen süreksizlik yönelimleri de Dips [15] yazılımı kullanılarak kinematik olarak değerlendirilmiştir. Şekil 7'de verilen kinematik analiz sonuçları, tabaka düzlemlerinin düzlemsel kayma, kama ve devrilme tipi potansiyeli olabileceğini ortaya koymuştur. İHA teknolojisi ile oluşturulan nokta bulutunu kullanmanın avantajı, Mudurnu gibi geniş ve dik yamaçları olan bir vadide kaya kütlelerinin karakterize edebilmesidir. Görüntülerin yardımı ile çalışma alanı, hat etütleriyle mümkün olmayacak şekilde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, İHA teknolojisinin avantajlarına rağmen, sahada yapılan ölçümlerin verilerinin karşılaştırılması ve sonuçların doğruluğunun ve güvenilirliğinin test edilmesi için önemlidir.



Şekil 6. DSE ile belirlenen süreksizlik düzlem setleri



Şekil 7. a) DSE ile belirlenen süreksizlik setleri için gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçları

5. Sonuçlar

Bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere Mudurnu vadisi kaya kütleleri duraysızlıklarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Çalışma alanındaki yamaçlarda kaya kütlelerinin duraysızlıklarının kaynağı süreksizlik özelliği gösteren kireçtaşlarıdır. Mudurnu vadisinin batı yakasında yer alan bu süreksiz kireçtaşları, düzlemsel kayma, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar ve bunların

birleşiminden kaynaklanan karmaşık kinematik yenilmeler oluşturmaktadır. Bu duraysızlıklar, vadi boyunca tehlike bölgeleri yaratmakta ve yerleşim alanını doğrudan tehdit ettikleri için bölgesel risk oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, süreksizlik özelliği gösteren kireçtaşı birimlerinin vadi boyunca ayrı sektörlerde meydana getirdiği duraysızlıkları tanımlamaktır. Kaya kütesinin süreksizlik özellikleri geniş ve eğimi yüksek vadi boyunca konumsal olarak değiştiği için duraysızlık mekanizmalarının konumsal olarak karakterize edilmesi çok önemlidir. Bu amaçla, Mudurnu vadisindeki yamaçların geniş ve eğimli yapısı nedeniyle fiziksel olarak erişilemeyen yerler de dahil olmak üzere şevlerin ayrıntılı olarak incelenmesi için İHA teknolojisi başarıyla kullanılmıştır. Sonrasında, İHA görüntüleri sahada çalışılması uygun görülen alanlarda hat etüdü sonuçları ile karşılaştırılmış ve birlikte değerlendirilmiştir. Sektörlerin kaya kütesi durumları ayrı ayrı değerlendirilmiş, bu bildiri için sektörlerden biri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu örnek sektör için kaya kütesi karakterize edilmiş ve bir tabaka düzlemi ve iki eklem takımından oluşan üç düzlemsel süreksizlik seti ayırtlanmıştır. Sektörün nokta bulutundan süreksizlik setlerini çıkarmak için DSE kullanılmıştır. Hat etütleri ile süreksizlik yönelimleri $41^{\circ}/276^{\circ}$ (Tabaka doğrultusu), $63^{\circ}/077^{\circ}$ (S1), $81^{\circ}/202^{\circ}$ (S2) olarak belirlenirken; DSE ile bu süreksizlik yönelimleri $43^{\circ}/282^{\circ}$ (Tabaka doğrultusu), $55^{\circ}/088^{\circ}$ (S1), $79^{\circ}/203^{\circ}$ (S2) olarak tespit edilmiştir. Bu iki yöntemle saptanan süreksizlik sonuçları birbiriyle uyumludur. En farklı sonucu şev aynasına neredeyse paralel giden S1 eklem takımı vermektedir. Bu fark, DSE şev aynasındaki tüm küçük değişiklikleri hesaba kattığı ve S1'in yönelimini buna göre değerlendirdiği için ortaya çıkmaktadır. Kinematik duraysızlık analizleri her iki yöntem için de DIPS programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, hem hat etüdü hem de DSE ile S1'in düzlemsel kaymaya, S1 ve S2 kesişiminin kama tipi kaymaya ve tabaka düzleminin devrilme potansiyeline sebep olabileceği ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, İHA teknolojisi kullanılarak oluşturulan görüntüleri ile hat etüdü çalışmalarının uyumlu sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. UAV, özellikle ulaşılması zor ve dik yamaçlarda ve geniş bölgelerde, kaya kütlelerinin karakterizasyon değerlendirmelerinde kullanmak için faydalı bir yöntemdir. Ayrıca, DSE, süreksizlik setlerini ve yönelimlerini tanımlamak amacıyla kullanılmış ve saha çalışmaları ile benzer bulgulara ulaşılmıştır. Bu çalışmaya ilave olarak yamaçlardaki kütle hareketlerinin detaylı olarak tanımlanabilmesi için bozunma ve sismik etki gibi diğer tetikleyici faktörlerin etkilerin de incelenmesi gereklidir. Bölgedeki kaya duraysızlığı tehlikesinin önüne geçmek için kütle hareketlerinin etkileri değerlendirilerek modelleme çalışmaları yapılmalı ve tehlike sınırları belirlenerek buna göre bölgedeki konutlar boşaltılmalıdır. Daha sonrasında, alandaki devrilmeler gibi küçük boyutlu kaya kütlelerinin tutmak için kaya dolgu istinat duvarlarının oluşturulması önerilmelidir. Büyük kütleli düzlemsel kaymaların kontrolü için vadi boyunca bulonlu çelik hasır, kaya tutucu bariyer ve kaya perdeleri kullanılmalıdır. Özellikle kaya perdeleri büyük blokluya kaya kütlelerini aşağıya yönlendirmede ve kopan parçaların sıçramasını önlemede etkilidir.

Referanslar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. 31 Aralık 2017 Tarihli Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları; 2017.
- [2] Aksay A, Pehlivan Ş, Gedik İ, Bilginer E, Duru M, Akbaş B, Altun İ. 1/500.000 ölçekli Zonguldak paftası. MTA; 2002.

- [3] Saner S. Explanation of the formation of the Western Pontites and adjacent basins, NW Turkey. MTA Journal; 1980, 93/94: 1-20.
- [4] Sipahioğlu S. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Çevresinin Deprem Etkinliğinin İncelenmesi. Deprem Araştırma Bülteni. Deprem Araştırma Dairesi; 1984.
- [5] Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. AFAD; 1996.
- [6] Hoek E, Bray J. Rock Slope Engineering. 3rd ed. London: Inst. Mining and Metallurgy; 1981.
- [7] Lucieer A, de Jong SM, Turner D. Mapping Landslide Displacements Using Structure from Motion (SfM) and Image Correlation of Multi-temporal UAV Photography. Progress in Physical Geography: Earth and Environment; 2013, 38 (1): 97-116.
- [8] Manousakis J, Zekkos D, Saroglou F, Clark M. Comparison of UAV enabled photogrammetry-based 3D point clouds and interpolated DSMs of sloping terrain for rockfill hazard analysis. International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2016; XLII-2/W2: 71–77.
- [9] Greenwood W, Zekkos D, Lynch J, Bateman J, Clark M, Chamlagain D. UAV-Based 3-D characterization of rock masses and rock slides in Nepal. 50th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 26–29 June, Houston, TX: American Rock Mechanics Association 2016; 4: 3027-3035.
- [10] Zekkos D, Clark M, Whitworth M, Greenwood W, West AJ, Roback K ve diğ. Observations of Landslides Caused by the April 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake Based on Land, UAV, and Satellite Reconnaissance. Earthquake Spectra; 2017, 33 (S1): 95-114.
- [11] Firpo G, Salvani R, Francioni M, Ranjith PG. Use of Digital Terrestrial Photogrammetry in Rocky Slope Stability Analysis by Distinct Elements Numerical Methods. International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences; 2011, 48: 1045-1054.
- [12] ISRM. Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Rock characterization, Testing and Monitoring. Ed. Brown T. Oxford: Pergamon Press; 1981.
- [13] Piteau DR. Geological Factors Significant at the Stability of Slopes Cut in Rock, Proc. Symp. Planning Open Pit Mines, 1970, p. 33-53.
- [14] Deere DU, Miller RP. Engineering classification and index properties for intact rocks. Technical Report. Air Force Weapons Laboratory, New Mexico; 1966, p. 65–116.
- [15] Rocscience. Dips, Graphical and statistical analysis of orientation data. Rocscience Inc. 54 St. Patrick St. Toronto, Ontario M5T 1V1, Canada; 2017.
- [16] Riquelme AJ, Abellan A, Tomas R, Jaboyedoff M. A New Approach for Semi-automatic Rock Mass Joints Recognition from 3D Point Clouds. Computer&Geosciences; 2014, 68: 38-52.