
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 07-02-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 01-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.290521	

Tarihi Safranbolu’yu çevreleyen kaya şevlerindeki duraysızlık problemlerinin kinematik analizlerle değerlendirilmesi

İnan Keskin *

ÖZ

Şev kaynaklı afete uğrama olasılığı oldukça yüksek olan Safranbolu, ülkemiz için oldukça önemli bir yerleşim yeri olup, sahip olduğu tarihsel ve kültürel varlıklarla dünya mirası için de değerli bir kenttir. Bu dünya mirası kentteki zenginliklerin olası bir doğal afetten etkilenme potansiyellerinin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir. Tarihi Safranbolu çok dik kaya şevleri ile çevrili olup, zaman zaman bu şevleri oluşturan kaya kütlelerinde duraysızlıklar meydana gelmektedir. Çeşitli sebep ve şekillerde serbestleşen kaya blokları, oldukça dik olan bu şevlerde kaya düşmelerine de kaynak oluşturup şev aşağı hareket ederek tarihi kente yaşam alanlarına zarar verebilmektedir. Söz konusu zararların aza indirilmesi ve tehlike potansiyelinin ortaya konulması amacıyla bu çalışmada kaya şevleri kinematik analizlerle değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kaya düşmelerine kaynak oluşturan kaya kütlelerinin özellikleri incelenmiş elde edilen veriler ve şevlerin özellikleri dikkate alınarak kinematik kontrollü duraysızlık türleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: UNESCO Dünya miras kenti, Safranbolu, Kaya şevi stabilitesi, Kinematik analiz

Evaluation of the instability problems in rock slopes surrounding historical Safranbolu by kinematic analysis

ABSTRACT

Safranbolu which has high probability for slope-induced disasters is a very worthwhile settlement for our country and also for the world with its historical and cultural heritage. Finding out potential hazards that may affect the wealth of this world heritage city is very crucial. The historic Safranbolu is surrounded by very steep rock slopes, and occasionally instability occurs in the rock mass that forms these slopes. The rock blocks that are released in various causes and shapes can damage the historic town living spaces by creating a source for the rock fallings and moving down the slope in these very steep slopes. The rock slopes were evaluated by kinematic analysis in order to reduce the mentioned damages and to reveal potential hazards. In the study, characteristics of mass that causes rock fallings are analysed, kinematic controlled instability types are determined considering the obtained data and characteristic of slopes.

Keywords: UNESCO world heritage, Safranbolu, Rock slope stability, Kinematic analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz, sahip olduğu jeolojik, topoğrafik ve meteorolojik koşullar nedeniyle büyük can ve mal kayıplarına yol açan doğal afet olayları ile sıkça karşılaşmaktadır. Türkiye, coğrafyasının yaklaşık %93'ü, nüfusunun yaklaşık %98'i deprem tehlikesiyle karşı karşıya olduğu bir ülkedir. Ancak ülkemizdeki kentsel ve kırsal yerleşim alanları, sadece depremle değil aynı zamanda da heyelan, su baskını, kaya düşmesi vb. tehlikelerin yarattığı zararlarla mücadele etmek zorunda kalmaktadır. Geçmişte meydana gelen bu tür afetler nedeniyle birçok vatandaşımız hayatını kaybetmiş veya yaralanmış ve sonucunda da yüksek miktarda ekonomik kayıplar yaşanmıştır. Afet İşleri Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu "Türkiye'de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri"ne göre 1950-2008 yılları arasında ülkemizdeki 35471 yerleşim biriminin %44'ü en az bir kez afete maruz kalmıştır [1]. Bu afetlerin %55'nin kaynağını depremler, geri kalan kısmını da heyelan, kaya düşmesi, yangın gibi doğal afetler oluşturmaktadır. Bu türden bir afete uğrama olasılığı oldukça yüksek olan Safranbolu, ülkemiz için oldukça önemli bir yerleşim yeri olup, sahip olduğu tarihsel ve kültürel varlıklarla dünya mirası için de değerli bir kenttir. Sahip olduğu zengin kültürel miras ve bu mirası korumadaki başarısı Safranbolu'yu bir dünya kenti ününe kavuşturmuş ve UNESCO tarafından Dünya Miras Listesi'ne alınmasını sağlamıştır. Safranbolu tarihi kenti aynı zamanda ülkemizdeki UNESCO tarafından koruma altına alınan dokuz yerleşkeden birisidir. 1300'ü koruma altında olan sayısız kültürel eseri bulunan Safranbolu, bugün kent ölçeğinde en iyi korunan yer olarak anılmaktadır (Şekil 1). Dünya tarihi mirasının korunması ve yasatılması açısından, dünya insanına bu mekanları doğal halleriyle görsel olarak modellemek önemli bir kültür ve turizm hizmetidir. Bu nedenlerle, bu dünya mirası kentteki zenginliklerin olası bir doğal afetten etkilenme potansiyellerinin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir.

Bu bakış açısından yola çıkılarak planlanan bu çalışma ile Safranbolu çevresindeki kaya düşmelerinin yaşandığı tarihi Safranbolu çevresindeki kaya şevlerin duraylılığı kinematik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışma alanında birçok kaya düşmesi gözlenmiş olmakla birlikte kaya düşmesine potansiyel oluşturan duraysız

birçok alan da mevcuttur. Bu kaya düşmelerinin ve potansiyel kaya bloklarının yoğun olduğu yönler ise genelde yerleşim alanlarını tehdit eder konumdadırlar. Bölge geçmişte birçok kaya düşmesi etkisinde kalmış ve yerleşim alanlarında birçok ev hasara uğramıştır. Bu nedenle kaya düşmelerine kaynak oluşturan söz konusu şevlerin kinematik açıdan değerlendirilmesi ve kaynak bölgelerin saptanması oldukça önemlidir. Çalışma alanı olan Safranbolu ilçesi tarihi yerleşim yeri 14° 15' 03"- 41° 14' 54" kuzey enlemleri ve 32° 41' 15"- 32° 41' 29" doğu boylamları arasında, Karabük ilinin KB'sında yer almaktadır (Şekil 2).

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLÖJİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ (GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF STUDY AREA)

Çalışma alanı Türkiye tektonik birliklerinden Pontidler [2] üzerinde ve Karabük-Safranbolu Tersiyer Havzası'nın kuzey kenarında yer alır. Tektonik olarak da aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zon'una çok yakındır (Şekil 3). Bu nedenle bölgedeki kayaçlar genelde kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Çalışmaya konu olan bölge ve yakın çevresinde, yaşlıdan gence doğru Şekil 4'de ifade edildiği üzere; Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Kışlaköy formasyonu, Alt-Orta Eosen yaşlı Safranbolu formasyonu, Alt-Orta Eosen yaşlı Karabük formasyonu, Orta Eosen yaşlı Soğanlı formasyonu, Orta Eosen Yaşlı Akçapınar formasyonu, Orta-Üst Eosen yaşlı Yunuslar formasyonu, Pliyosen yaşlı Örencik formasyonu ve Alüvyon (Qal) bulunmaktadır [3].

Çalışma alanının bazı jeomorfolojik özellikleri Millî Savunma Bakanlığı Harita Genel Komutanlığı tarafından temin edilen çözünürlüğü 45 cm olan ortofoto görüntüleri (Şekil 5) kullanılarak ArcGIS 10.2 programı aracılığı ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Buna göre, inceleme alanında en düşük yükseklik değeri 360 m, ortalama yükseklik değeri 481 m ve en fazla topoğrafik yükseklik değeri ise 580 m'dir (Şekil 6). Sayısal yükseklik modeli kullanılarak çalışma alanının eğim haritası üretilmiş olup eğim değerleri 14 eşit sınıfa ayrılarak yorumlanmıştır. Buna göre sahadaki eğimler 0-85° aralığında değişmektedir (Şekil 7). Farklı yönlerde bakan yamaçların güneş, donma-çözülme, yağış ve maruz kaldığı güneş ışığı gibi

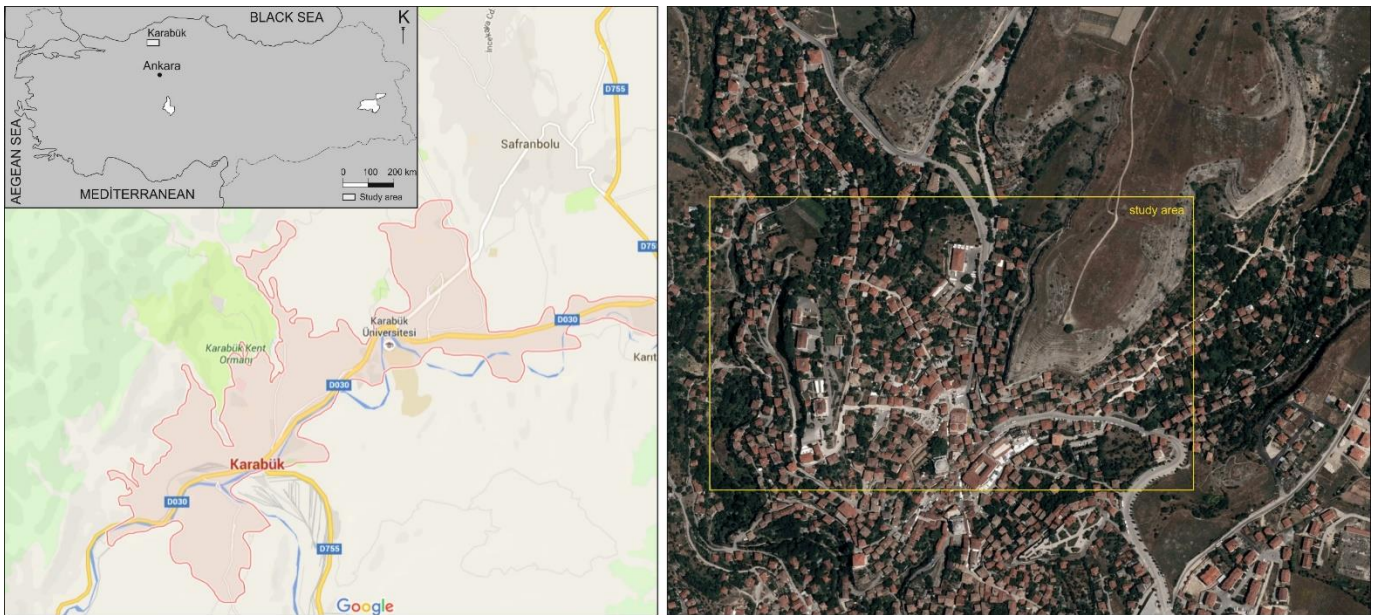
atmosferik ve iklim olaylarından etkilenme dereceleri de farklı olmaktadır. Bu nedenden dolayı yamaç yönelimi (bakı), kaya şevlerinde meydana gelen duraysızlıkların nedenlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan önemli morfolojik parametrelerden birisini oluşturur. Bölgede potansiyel alanların farklı boyuttaki serbest kaya bloklarının ilerleme yönünün

değerlendirilmesi amacıyla yamaç yönelimi haritası oluşturulmuştur (Şekil 8).

Bu haritada çalışma alanındaki yamaç yönelimi değerleri 10 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanında, güney ve güneybatı yönleri en çok görülen yamaç yönelimi değerlerini oluşturmaktadır.



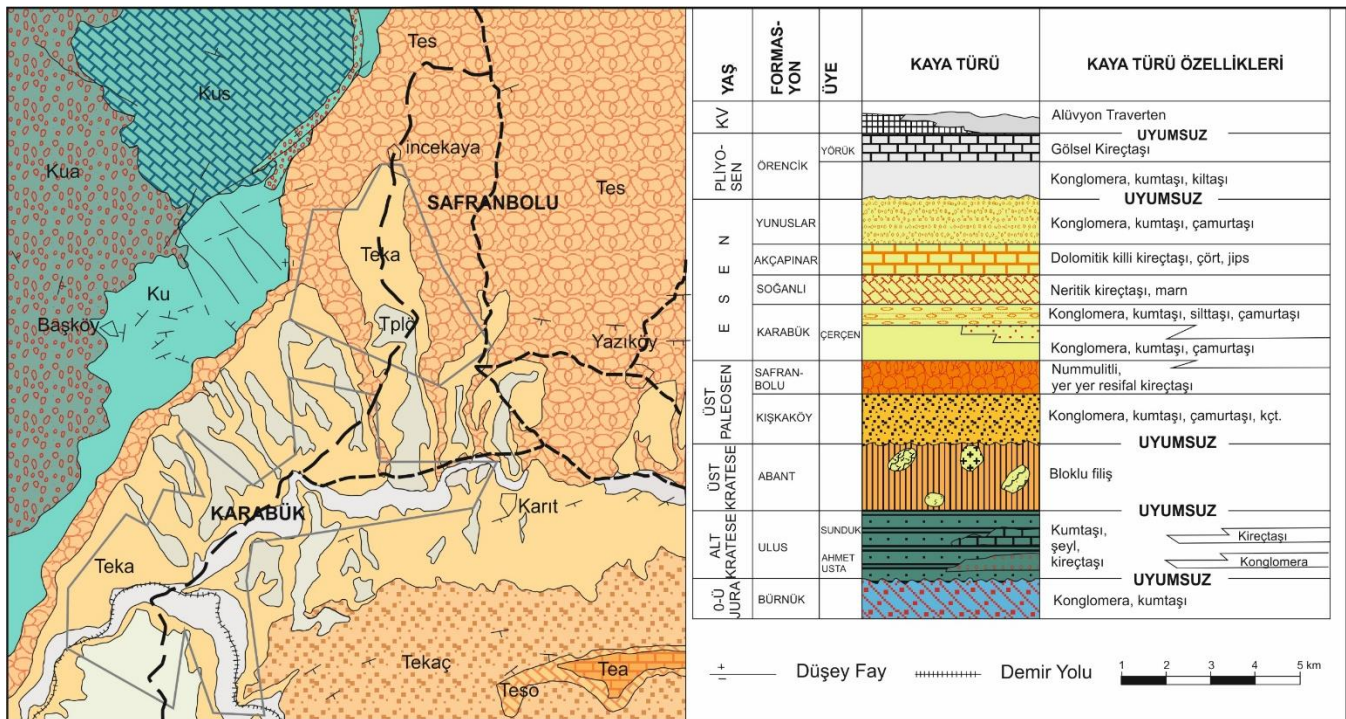
Şekil 1. UNESCO tarih kenti Safranbolu'dan görüntü (An image from Safranbolu UNESCO heritage city)



Şekil 2. Çalışma alanının yerbuldurma haritası (Location map of study area)



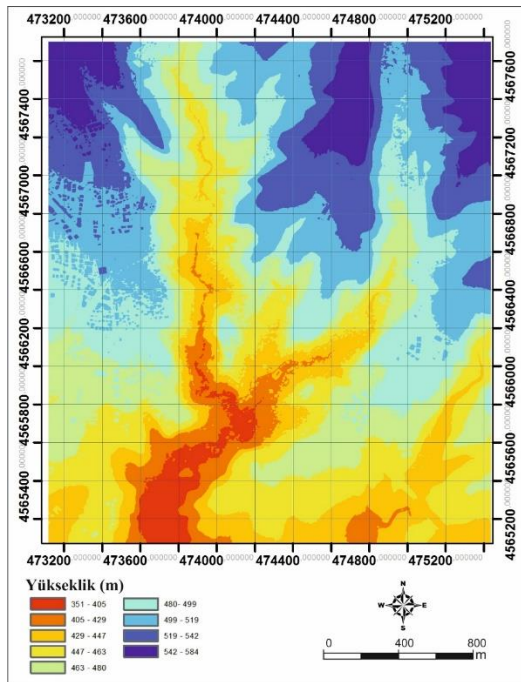
Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresinin Türkiye'nin ana faylarına göre konumu (The location of the study area and its proximity to Turkey's main fault zones)



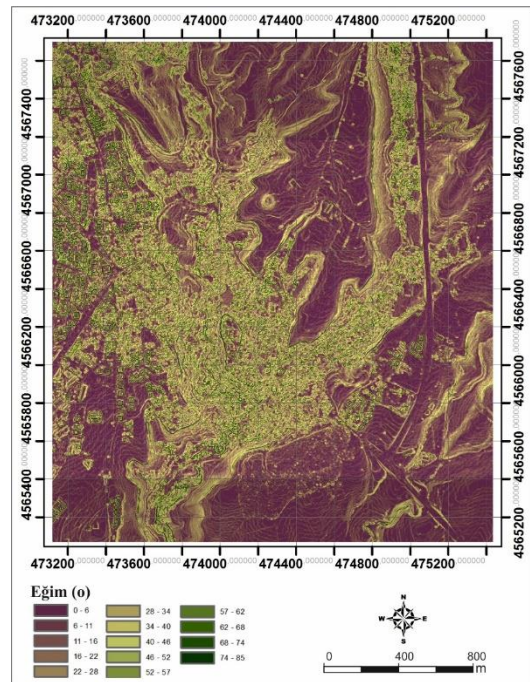
Şekil 4. Çalışma alanı ile çevresinin jeoloji haritası ve dikme kesiti [3] (Geology map and stratigraphic section of the study area [3])



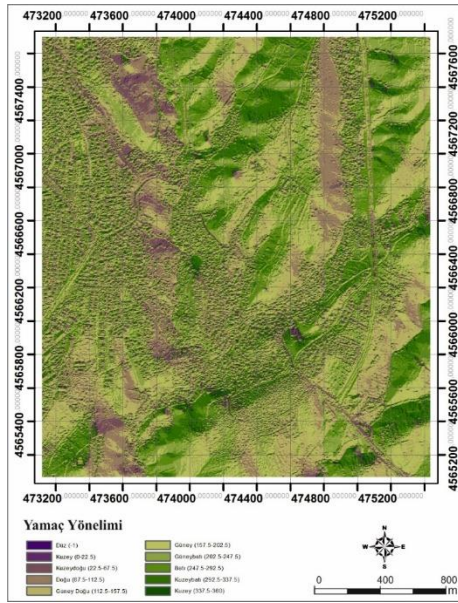
Şekil 5. İnceleme alanını içeren orto foto görüntü (Ortho-photo image covering the review area)



Şekil 6. İnceleme alanının dijital yükseklik modeli (Elevation maps of the study area)



Şekil 7. İnceleme alanının eğim haritası (Slope map of the study area)



Şekil 8. İnceleme alanının yamaç yönelim haritası (Aspect map of the study area)

3. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE SÜREKSİZLİK ANALİZLERİ (FIELD INVESTIGATION AND DISCONTINUITY ANALYSIS)

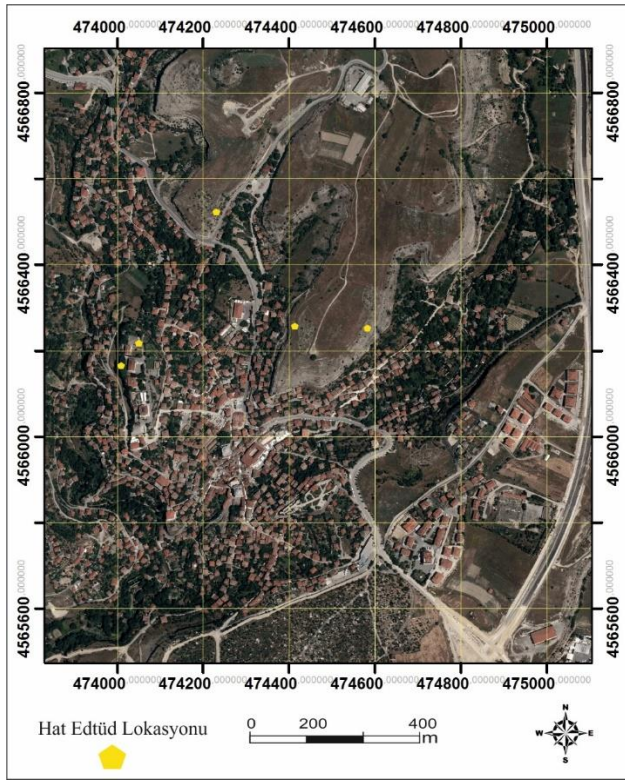
Çalışma kapsamında Safranbolu ilçesinde tarihi Safranbolu yerleşim yerini adeta sınırlayan kaya şevleri arazi çalışmalarıyla detaylıca incelenmiştir. Bu çalışmalarda arazi gözlemleri sonucunda belirlenen olası kaya düşme tehlike alanları haritalanmış, kaya düşmelerine kaynak oluşturmasından dolayı Safranbolu formasyonuna ait kireçtaşlarında süreksizlik ölçümleri alınmıştır.

Süreksizlikler kaya kütlelerinin duraylılığını etkileyen en önemli parametredir. Süreksizliklerin mühendislik özellikleriyle ilgili veri toplanmasında pencere haritası ve hat etütü olmak üzere iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Pahl [4] tarafından hat etütü yöntemine alternatif olarak önerilen pencere haritası, kaya kütlesi yüzleğinde belirlenen bir alan içerisinde kalan süreksizliklerin özelliklerin tayin edilmesi esasına dayanmaktadır. Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak sağlayan hat etütü yöntemi daha fazla tercih edilmektedir. Jennings [5] tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau [6] tarafından revize edilmiş, Fookes ve Denness [7], Attewell ve Farmer [8], Priest ve Hudson [9] gibi araştırmacılar ile ISRM 1978 [10] tarafından geliştirilmiştir ve sonraki yıllarda ISRM (2007) [11] tarafından yapılan önerilerle bugünkü

halini almıştır [12]. Pencere haritalaması yönteminin oldukça engebeli ve keskin şevlerle sınırlanan böyle bir sahada etkin bir biçimde uygulanmasının oldukça güç olacağı dikkate alınarak, süreksizliklere ait özellikler hat etütü çalışmaları ile belirlenmiştir. Ancak çalışma alanındaki litoloji, sahanın tamamında oldukça benzer bir özellik sunmasına rağmen konglomeratik bir yapıda olması ölçümlerin yapılmasında zorluklara neden olmuştur. İnceleme alanındaki kireçtaşlarının yüzlek verdiği ve kaya düşme tehlikesinin bulunduğu kesimler sarp bir topoğrafya ve dik falezler sunmaktadır (Şekil 9). Bu nedenle, hat etütü yapılabilecek sınırlı sayıda yüzlek bulunmakta olup, Şekil 10'da gösterilen 5 yerde hat etütü çalışmaları ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemine uygun olarak yapılmaya çalışılmıştır [11]. Özellikle sınırlı sayıda yüzlekte ölçüm ve gözlem yapılabilmesi nedeniyle, örnekleme açısından ISRM 2007 [11] tarafından önerilen sayılara ulaşamamıştır. Hat etütleri, her yerde şev aynasının doğrultusuna paralel olarak yapılmış ve süreksizliklerin türü, konumu, açıklığı, devamlılığı, dolgu malzemesinin türü, bozunmanın derecesi, yüzey pürüzlülüğü ve su durumu ile ilgili bilgiler süreksizlik veri formlarına işlenmiştir. İnceleme alanında toplam 43 m hat etütü gerçekleştirilmiştir.

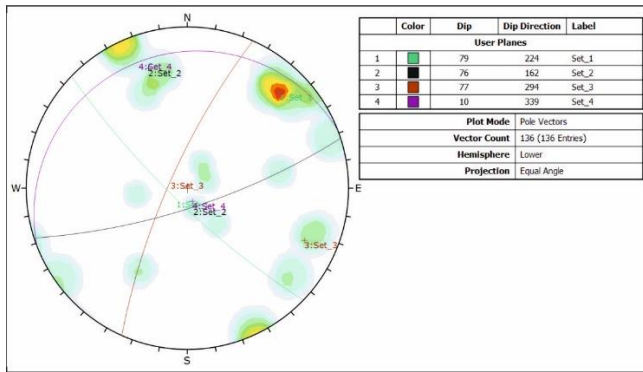


Şekil 9. Süreksizlik analizlerinin yapıldığı lokasyonlardan görüntüler (Images from discontinuity analysis locations)



Şekil 10. Hat etütlerinin gerçekleştirildiği lokasyonlar (Location of scan line in study area)

İnceleme alanında eklemli kireçtaşlarında 136 adet süreksizliğe ait eğim ve eğim yönü ölçümleri alınmıştır. DIPS 6.0 programı [13] kullanılarak süreksizlik yönelimlerinin dağılımını gösteren kontur diyagramı çizilmiştir (Şekil 11). Yapılan analizler sonucunda dört ana süreksizlik seti ve bu süreksizlik setlerinin yanı sıra, rastgele gelişmiş süreksizliklerin varlığı da belirlenmiştir. Dört ana süreksizlik setinin yönelimleri; Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239 şeklindedir. Set 4 tabakalanmaya, Set 1, Set 2 ve Set 3 ise eklemlere aittir.



Şekil 11. Süreksizlik analiz verileri (Analysis of discontinuity in the study area.)

İnceleme alanında, kaya yüzleklerinin yüzeyi döküntülerden temizlenerek, belirlenen etüt hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıkları kumpas ve cetvel kullanılarak ölçülmüştür. İnceleme alanında yerleri Şekil 10'da gösterilen 5 ayrı yerde yapılan hat etütlerinden elde edilen ölçümler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, ortalama açıklık 12.4 mm, en küçük açıklık değeri 0,8 mm, en büyük açıklık değeri ise 55 mm olarak elde edilmiştir. Lokasyonlardaki süreksizlikler genellikle dolgu içermemekte, ancak yer yer kil ve kalsit dolgu gözlenmektedir. ISRM (2007) [11], süreksizlik açıklıklarını tanımsal olarak Tablo 1'de verildiği şekliyle sınıflandırmıştır. Buna göre; süreksizlikler "boşluklu"dan "açık" yapılara kadar değişen bir sınıf aralığına sahip olmakla birlikte, genelde "açık" olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Açıklık tanımlama ölçütleri [11] (discontinuity definition criteria [11])

Açıklık (mm)	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok sıkı	
0.1 – 0.25 mm	Sıkı	"Kapalı" yapılar
0.25 – 0.5 mm	Kısmen açık	
0.5 – 2.5 mm	Açık	
2.5 – 10 mm	Orta derecede geniş	"Boşluklu" yapılar
>10 mm	Geniş	
1 – 10 mm	Çok geniş	
10 – 100 mm	Aşırı geniş	"Açık" yapılar
>100 mm	Boşluklu	

Çalışma alanının tamamı için süreksizlik aralık ölçümleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, süreksizlik aralıklarının %50'den fazlası 60-200 mm arasında değişmekte olup, çalışma alanında 20-60 mm, 200-600 mm ve 600-2000 mm aralıklı süreksizlikler de mevcuttur. İnceleme alanındaki süreksizlik aralığı değerleri ISRM (2007) [10] tarafından önerilmiş süreksizlik aralığı tanımlama ölçütleri esas alınarak değerlendirildiğinde, eklem aralıkları "dar aralıklı"dan "geniş aralıklı"ya kadar değişmekte olup çoğunluğu "yakın aralıklı" olarak tanımlanmıştır (Tablo 2).

Kaya kütlesi özelliklerinin ölçümü sırasında, süreksizliklerin boyu ve alansal uzunluğu ile belirtilen devamlılıkları da şerit metre yardımıyla ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki kaya kütlesi genelde oldukça kalın bir tabakalanma özelliği sunmakta ve çalışma alanının

tamamında tabakalanmalar oldukça devamlı bir özellik göstermektedir. Bu anlamda devamlılık parametresini değişken kılan eklem devamlılığıdır. İnceleme alanını oluşturan birim konglomeratik kireçtaşı olduğu için eklem devamlılığı oldukça düşük olmaktadır. Çalışma alanındaki birimlerde ölçülen eklemlerin devamlılıklarının tanımlanmasında ISRM. (2007) [11] tarafından önerilen devamlılık tanımlama ölçütleri (Tablo 3) kullanılmış olup, kaya kütlelerindeki süreksizlikler “çok düşük-düşük derecede devamlı” olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Süreksizlik aralık tanımlama ölçütleri [11] (Discontinuity spacing definition criteria [11])

Aralık (mm)	Tanımlama
<20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derecede aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

Tablo 3. Devamlılık tanımlama ölçütleri [11] (Discontinuity persistence definition criteria [11])

Tanımlama	Devamlılık
Çok düşük devamlılık	<1 m
Düşük derecede devamlılık	1-3
Orta devamlılık	3-10 m
Yüksek devamlılık	10-20 m
Çok Yüksek devamlılık	>20 m

4. KINEMATİK ANALİZLER (FIELD INVESTIGATION AND DISCONTINUITY ANALYSIS)

Kinematik analizler, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından kontrol edildiği kaya

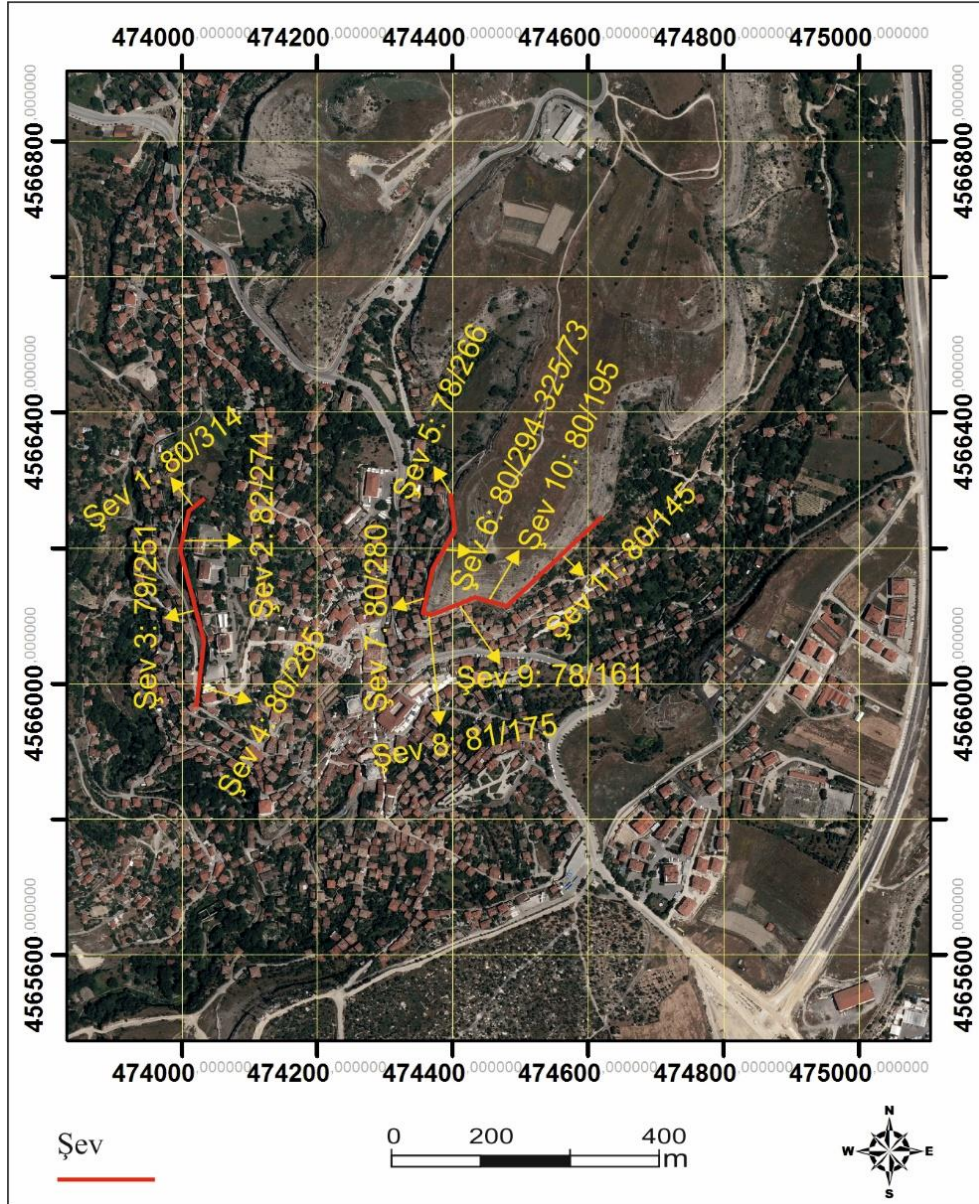
kütlelerinde duraysızlık problemleri yaşanabilecek olası şevlerin ayırt edilmesi amacıyla ayrıntılı analizlere başlamadan önce kullanılan bir yöntemdir [12]. Bu yöntem, birçok araştırmacı [14-23] tarafından en fazla tercih edilen yöntem olmasına ve birçok avantaj sunmasına karşın, bazı sınırlamalara da sahiptir. Sadece ön tasarım için uygun olması, kritik süreksizliklerin kesin olarak belirlenmesinin gerekliliği, yenilme yüzeyine ait kohezyonun, dış yüklerin, boşluk suyu basıncının, kayan kütlelerin ağırlığının ve dinamik yüklerin dikkate alınmaması bu yöntemin en önemli sınırlamalarıdır. İlk olarak Hoek ve Bray [24] tarafından tanımlanan, Goodman [25] tarafından geliştirilen ve Wyllie ve Mah [26] tarafından yeniden düzenlenen kinematik analiz yönteminde, sadece süreksizlik yönelimleri, şev yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açıları dikkate alınarak, düzlemsel kayma, kama kayması ve devrilme türü yenilmeler için duraylılık analizleri yapılmaktadır. Bu yöntemde analizler, süreksizlik setlerinin ve incelenen şevin durumlarının süreksizliklerin içsel sürtünmesi de dikkate alınarak steronetler kullanılarak elle ya da bu amaçla yazılmış yazılımlarla gerçekleştirilmektedir.

Süreksizlikler ve yamacın konumları arasındaki ilişkiler bu analizlerin girdi parametreleridir. Bu yöntemde; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenir ve şev ile duraysızlığa neden olabilecek süreksizliklerin yönelimi ve süreksizlik yüzeyinin içsel sürtünme açısı (Φ) analizlerde girdi parametre olarak kullanılır. Bu çalışmada süreksizliklerin içsel sürtünme açısı Barton [27] tarafından önerilen yenilme ölçütü kullanılarak 350 olarak kabul edilerek kinematik analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında olası kinematik kontrollü yenilmeleri ortaya koyabilmek amacıyla eski Safranbolu'yu çevreleyen şevler, yönelimleri baz alınarak Şekil 12'de belirttiği üzere 11 sınıfa ayrılmış ve her bir şev için DIPS 6.0 programı kullanılarak ayrı ayrı kinematik analizler gerçekleştirilmiştir. Egemen eklem durumları dikkate alınarak yapılan bu analizlerdeki girdi parametreleri Tablo 4'de her bir hat için ayrı ayrı verilmiştir.

İnceleme alanının batısında Safranbolu hükümet konağı ve Jandarma binalarının bulunduğu tepenin batıya bakan yamacındaki Şev 1, 2, 3, 4 olarak adlandırılan Safranbolu formasyonu'dan oluşan

şevlerde, dört hakim süreksizlik sistemi baz alınarak DIPS 6.0 programı (Rocscience 2012) ile yapılan analizlere göre; herhangi bir devrilme türü duraysızlık gözlenmezken, Şev 1, 2, 3, 4' de kama kayması, ve Şev 1, 2, 4'de düzlemsel kayma tipte duraysızlıkların oluşma potansiyeli olduğu analiz edilmiştir. Şev 1'de düzlemsel kayma 76/162 konumlu süreksizlik tarafından denetlenirken 79/224 ile 77/294 yönelimine sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesit yönünde kama kayması tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 2'de düzlemsel kayma 77/294 konumlu süreksizlik tarafından denetlenirken, 79/224 ile 77/294 yönelimine sahip süreksizlikler ve 76/162 ile 77/294 yönelimli süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil

13). Şev 3'de düzlemsel kayma ve devrilme türü duraysızlık olasılığı gözlenmezken, 79/224 ile 77/294 yönelimine sahip süreksizlikler ve 76/162 ile 77/294 yönelimli süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama kayması tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 4'de yapılan kinematik analizlerde devrilme türü duraysızlık olasılığı gözlenmezken, 77/294 süreksizliği ile denetlenen düzlemsel kayma olasılığı tespit edilmiştir. Yine aynı şevde 79/224 ile 77/294 yönelimine sahip süreksizlikler, 76/162 ile 77/294 süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama kayması tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13).



Şekil 12. Kinematik analizlerin gerçekleştirildiği şevler ve durumları (Locations kinematic analysis in study area)

Tablo 4. Kinematik analizlerde göz önünde bulundurulmuş şev parametreleri (Slope parameters taken into account in kinematic analyses)

Şev No	Şev Yönelimi (Eğim/Eğim Yönü)	Hakim Eklem Yönelimi	Süreksizlik Düzlemlerinin İçsel Sürtünme Açısı (Φ)	Litoloji
Şev 1	80/314	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 2	82/274	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 3	79/251	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 4	80/285	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 5	78/266	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 6	80/294--73/325	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239 Set 5: 65/335	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 7	80/280	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 8	81/175	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 9	78/161	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 10	80/195	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı
Şev 11	80/145	Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239	35 ⁰	Yumrulu Kireçtaşı

Eski Safranbolu'nun Kuzey bölümündeki yamaçların duraysızlığı ise Şev 5, Şev 6, Şev 7, Şev 8, Şev 9 ve Şev 10 olarak adlandırılan 6 şev profili baz alınarak kinematik yöntemle araştırılmıştır. Bu şevleri oluşturan kaya kütlesi de Safranbolu Formasyonu'na ait yumrulu kireçtaşlarıdır. Şevlerde dört hakim süreksizlik sistemi baz alınarak, DIPS 6.0 programı (Rocscience 2012) ile yapılan kinematik analizlere göre; Şev 6'da devrilme türü duraysızlık, Şev 5, 6, 7, 8, 9 ve Şev 10'da kama kayması, ve Şev 6b, Şev 7, Şev 8, Şev 9, Şev 11 'de düzlemsel kayma tipte duraysızlıkların oluşma potansiyeli olduğu analiz edilmiştir. Şev 5'de düzlemsel kayma ve devrilme potansiyeli görülmezken, 79/224 ile 77/294 yönelimine sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesit yönünde kama tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 6 birbirine yakın yönelimle tanımlanmış ve hâkim eklem yönelimlerinin yanında tali bir eklem seti olan 65/335 eklemi de dikkate alınarak analiz edilmiştir. Buna göre 77/294 konumlu süreksizlik tarafından tanımlanan her iki şevde de düzlemsel kayma denetlenmektedir. Şev 6b ile indislenen şev üzerinde 65/335 yönelimli süreksizlik denetimli devrilme olasılığı gözlenmektedir. Şev 6a'da 65/335 ile 77/294, 79/224 ile 77/294, 76/162 ile

79/294, 65/335 ile 79/224 yönelimine sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde, Şev 6b'de ise 65/335 ile 77/294 ve 65/335 ile 79/224 yönelimine sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama kayması tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 7'de 77/294 yönelimli süreksizlik denetimli düzlemsel kayma ve 79/224 ile 77/294 ve 77/294 ile 76/162 yönelimli süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 8'de yapılan kinematik analizlerde devrilme türü duraysızlık olasılığı gözlenmezken, 76/162 süreksizliği ile denetlenen düzlemsel kayma olasılığı tespit edilmiştir. Yine aynı şevde 79/224 ile 76/162 ve 77/294 süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 9'de 77/294 yönelimli süreksizlik denetimli düzlemsel kayma ve 79/224 ile 77/294 ve 77/294 ile 76/162 yönelimli süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesitler yönünde kama kayması tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 13). Şev 10'da yapılan kinematik analiz sonuçları incelendiğinde bu şevde sadece kama kayması türü duraysızlık potansiyelinin bulunduğu görülmüştür. Şekil

13'de verilen analiz sonuçları incelendiğinde 76/162 durumlu süreksizliğin 77/294 ve 79/224 durumlu süreksizliklerle kesişimlerinin kama türü kayma için tehlikeli alanda kaldığı görülmüştür. Şev 11'da yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre devrilme türü duraysızlık olasılığı gözlenmezken, 76/162 süreksizliği ile denetlenen düzlemsel kayma olasılığı tespit edilmiştir. Şev kamasal kayma açısından irdelendiğinde 79/224 ile 76/162 süreksizliklerin kesimlerinin kama kayma için tehlikeli bölgede olduğu, dolayısıyla da bu şev üzerinde kamasal bir yenilme olasılığının bulunduğu görülmüştür Şekil (13).

Kinematik analizler toplu olarak değerlendirildiğinde tanımlanan şevlerin büyük bir bölümünde kinematik açıdan farklı kaya kütle duraysızlıklarını oluşturabilecek süreksizlik sistemleri bulunmakta olup analiz sonuçlarını içeren özet Tablo 5'de sunulmuştur. Kaya düşme açısından irdelenmesi gereken durum, düzlemsel, kamasal kayma ve devrilme şeklinde başlayan kaya kütle duraysızlıkları şevin genel eğimine bağlı olarak kaya düşmesi ve yuvarlanması şekline devam ederek yerleşim alanlarına tehdit edebilecek durumda oluşudur. Bu mekanizma bu nedenle kaya düşme analizlerinde önemli olmaktadır.

Tablo 5. Belirlenen şevlerde kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıklar (Summary of kinematic analysis results)

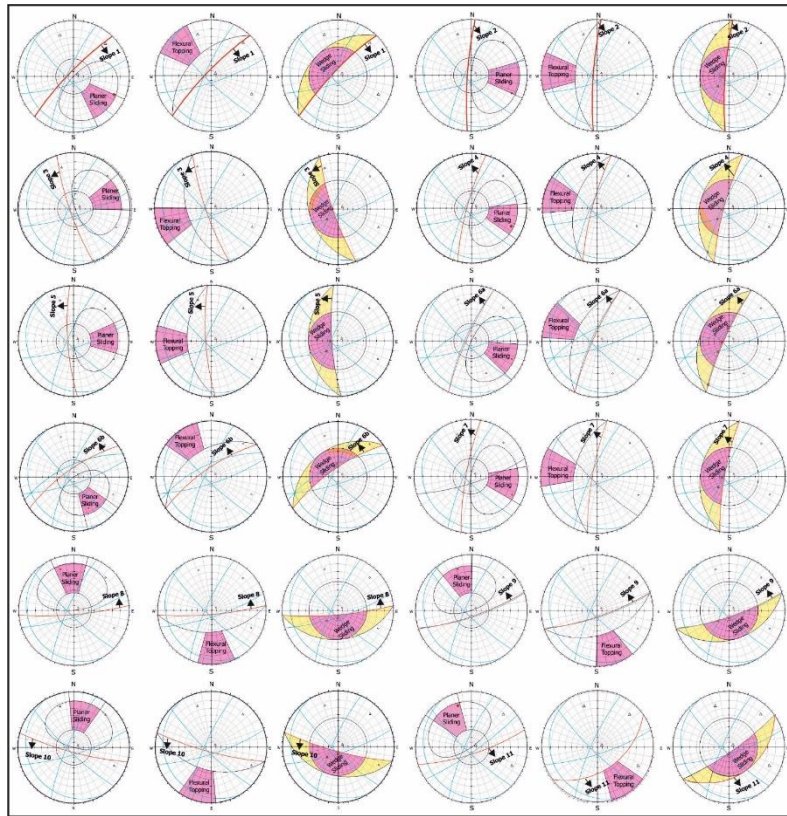
Şev	Düzlemsel kayma	Kamasal Kayma	Devrilme
Şev 1	√	√	
Şev 2	√	√	
Şev 3		√	
Şev 4	√	√	
Şev 5		√	
Şev 6a-b	√	√	√
Şev 7	√	√	
Şev 8	√	√	
Şev 9	√	√	
Şev 10		√	
Şev 11	√	√	

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND CONCLUSIONS)

Safranbolu ilçesi tarihi yerleşim yeri; kumtaşı, çamurtaşı, konglomeradan oluşan Karabük formasyonunda oluşan dik şevlerle sınırlanmıştır. Söz konusu şevlerde oldukça dik falez oluşumları söz konusu olup bu falezlerde farklı büyüklükte asılı ve süreksizliklerle sınırlı kaya blokları gözlenmektedir. İlçedeki kaya düşme tehlikesi bu formasyondan oluşan seviyelerin aşınması sonucu oluşmaktadır. Çalışma alanında meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarında süreksizlik büyük rol oynamaktadır. Yapılan süreksizlik çalışmalarına göre, dört ana süreksizlik seti ve bu süreksizlik setlerinin yanı sıra, rastgele gelişmiş süreksizliklerin varlığı belirlenmiştir. Üç ana süreksizlik setinin yönelimleri; Set 1: 79/224, Set 2: 76/162, Set 3: 77/294, Set 4: 10/239 şeklindedir. Set 4 tabakalanmaya, Set 1, Set 2 ve Set 3 ise eklemlere aittir. İnceleme alanında bazı noktalarda eklemler şev doğrultusuna paralel olarak gelişmiştir. İnceleme alanında olası kinematik kontrollü yenilmeleri ortaya koyabilmek amacıyla eski Safranbolu'yu çevreleyen şevler, yönelimleri baz alınarak 11 sınıfa ayrılmış ve her bir şev için ayrı ayrı kinematik analizler gerçekleştirilmiştir. Eğemen eklem durumları dikkate alınarak yapılan kinematik analizlere göre tanımlanan şevlerin büyük bir bölümünde kinematik açıdan farklı kaya kütle duraysızlıklarını oluşturabilecek süreksizlik sistemleri bulunmaktadır. Kinematik açıdan kamasal kayma ve düzlemsel türü duraysızlıklar daha yoğun gözlenirken, devrilme türü duraysızlık ise sınırlı sayıda şevde izlenmiştir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma TÜBİTAK 114Y265 projeden üretilmiştir. Yazar finansal desteğinde dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.



Şekil 13. Analiz edilen tüm şevlerdeki kinematik analiz sonuçları (Evaluations of kinematic analysis in study area)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] O. Gökçe, Ş. Özden ve A. Demir, «Türkiye'de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri,» Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.
- [2] İ. Ketin, «Tectonic units of Anatolia,» Bull. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, cilt 66, pp. 22-34, 1966.
- [3] E. Timur ve A. Aksaray, «1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:30 Zonguldak F29 Paftası,» Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 2002.
- [4] P. Phal, «Estimating the mean length of discontinuity traces,» International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts , cilt 18, pp. 221-228, 1981.
- [5] J. Jennings, «A mathematical theory for the calculation of the stability of open cast mines,» %1 içinde Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema,, 1970.
- [6] D.R. Piteau, «Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock,» %1 içinde Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg,, 1970
- [7] P. Fookes ve B. Denness , «Observational studies on fissure patterns in Cretaceous sediments of southeast England,» Geotechnique,, cilt 19, no. 4, pp. 453-77, 1969.
- [8] P. Attewell ve I. Farmer , Principles of engineering geology, Chapman and Hall: London, 1976.
- [9] S. Priest ve J. Hudson , «Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys,» International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts,, cilt 18, no. 3, pp. 183-197, 1981 .
- [10] ISRM, «Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses,» International Rock Mechanics and Mining Science, Geomech. Abstr. , cilt 15, pp. 319-368, 1978.
- [11] ISRM, The complete isrm suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Suggested Methods prepared by the Commission on

- Testing Methods, ISRM, R. Ulusay and J.A. Hudson (Ed.), Ankara: Kozan Ofset, Ankara, 628s., 2007.
- [12] R. Ulusay ve H. Sönmez, Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri, Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, 2002.
- [13] Rocscience, Dips v6.0 Graphical and statistical analysis of orientation data, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, 2012.
- [14] C. Gokceoglu , H. Sonmez ve M. Ercanoglu , «Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey,» Engineering Geology, cilt 55, pp. 277-296., 2000.
- [15] W. Yoon , U. Jeong ve J. Kim, «Kinematic analysis for sliding failure of multi-faced rock slopes,» Engineering Geology , cilt 67, no. 1-2 , pp. 51-61, 2002.
- [16] B. Kentli ve T. Topal, «Assesment of rock slope stability for a segment of the Ankara-Pozanti motorway Turkey,» Engineering Geology, cilt 74, no. 1-2, pp. 73-90, 2004.
- [17] İ. Keskin ve I. Yılmaz, «Şebinkarahisar ve çevresindeki kütle hareketleri ve kaya şevlerinin duraylılığının kinematik değerlendirilmesi,» Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri , cilt 23, no. 1-2, pp. 25-42., 2006.
- [18] G. Özdemir , İ. Keskin ve I. Yılmaz, «Aluçra (Giresun) yöresindeki kaya şevlerinin duraylılığının kinematik analizi ve yapısal yaklaşım,» Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, cilt 24, no. 1-2, pp. 1-18, 2007.
- [19] Z. Gurocak , S. Alemdag ve M. Zaman, «Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapıkaya Dam site, Eastern Turkey,» Engineering Geology, cilt 96, no. 1-2, pp. 17-27., 2008.
- [20] I. Yılmaz, M. Marschalko, M. Yıldırım ve E. Dereli, «GIS-based kinematic slope instability and slope mass rating (SMR) maps: application to a railway route in Sivas (Turkey),» Bull. Eng. Geol. Environ., cilt 71, no. 2, pp. 351-357, 2012.
- [21] S. Tudes, Ş. Ceryan ve F. Bulut, «Geoenvironmental evaluation for planning: an example from Gumushane City,» Bull. Eng. Geol. Environ., cilt 71, no. 4, pp. 679-690, 2012.
- [22] S. Alemdag, A. Akgun, A. Kaya ve C. Gokceoglu, «A large and rapid planar failure: Causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey),» Arabian Journal of Geosciences,, cilt 7, no. 3, pp. 205-1221, 2014.
- [23] S. Alemdağ,, G. Zülfü ve C. Özkirişçi, «Bağlarbaşı-Tekke (Gümüşhane) Karayolundaki Kaya Şevlerinin Kinematik ve Limit Denge Yöntemleri İle Değerlendirilmesi,» Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, cilt 1, no. 1-2, pp. 1-10, 2015.
- [24] E. Hoek ve J. Bray, Rock slope engineering, Third Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1981.
- [25] R. Goodman, Introduction to rock mechanics, 2nd edition, New York: Wiley, 1989.
- [26] D. Wyllie ve C. Mah, Rock slope engineering civil and mining, Spon Press, Taylor and Francis e-library., 2004.
- [27] N. Barton, «Reviw of a newshear strength criterion for rock joints,» Engineering Geology, cilt 7, pp. 287-332, 1973.