

Kaya Şev Duraylılığının Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Ünye, Ordu)

Evaluation of Rock Slope Stability by Different Methods (Ünye, Ordu)

Kadir KARAMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 01 Şubat (February) 2013

Düzeltilme (revised) : 07 Mart (March) 2013

Kabul (accepted) : 19 Mart (March) 2013

ÖZ

Bu çalışmada, iki adet kaya şevinin duraylılığı kinematik analizler, Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi (SSPC) ve Şev Kütle Puanlaması (SMR) ile değerlendirilmiştir. Kinematik analiz sonuçları şevlerde düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmelerin oluşmayacağını göstermiştir. SSPC yönelime bağlı duraylılık analizine göre; şev-1 kayma türü yenilmeye karşı % 100, devrilme türü yenilmeye karşı > % 95 duraylıdır. Şev-2 kayma ve devrilme türü yenilmeye karşı > % 95 duraylıdır. Yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre şevlerin duraylı kalabileceği yükseklikler ve eğim açıları belirlenmiştir. Yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre güvenli şev açıları şev-1 için 75° ve şev-2 için 70° olarak bulunmuştur. SMR sistemine göre şev-1 “kısmen duraylı” şev-2 ise “duraysız” sınıfına dahil olmuştur.

Anahtar kelimeler: Kinematik analiz, Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi (SSPC), Şev Kütle Puanlaması (SMR), Şev stabilitesi.

ABSTRACT

In this study, the stability of two rock slopes was evaluated by means of kinematic analysis, Slope Stability Probability Classification System (SSPC), and Slope Mass Rating (SMR). The results of the kinematic analyses have revealed that planar, wedge and toppling failures would not occur in the analyzed slopes. Based on the SSPC orientation-dependent stability analysis, the slope-1 has 100% stability against the sliding failure, and over 95% stability against the toppling failure. The probability of stability of the slope-2 is over 95% against the sliding and toppling failures. The maximum possible heights and dip angles of the slopes were determined according to the orientation-independent stability analysis. Based on the SSPC orientation-independent stability analysis, the angles for a safe slope are proposed to be 75° for the slope-1 and 70° for the slope-2. According to the SMR system, the stabilities of the slope-1 and the slope-2 were determined as “partially stable” and “unstable”, respectively.

Key Words: Kinematic analysis, Slope Stability Probability Classification System (SSPC), Slope Mass Rating (SMR), Slope stability.

K. Karaman

E-Posta: kadirkaraman@ktu.edu.tr

GİRİŞ

Kaya şevi duraylılığının incelenmesi, açık ocak madenleri ve karayolları gibi birçok mühendislik sürecinin tasarlanması için oldukça önemlidir. Uygun ve doğru yöntemler kullanılarak yapılan şev tasarımları sadece şev duraylılığını arttırmakla kalmaz, aynı zamanda kazaları azaltarak güvenli ortamda çalışma imkanı da sağlar. Kaya şevlerindeki yenilmeler çoğunlukla kütle içindeki süreksizliklere bağlıdır. Kaya şev problemlerinin çoğu süreksizlikler arasında geometrik ilişkilerin değerlendirmesini gerektirdiğinden (Koca, 1995; Bye ve Bell, 2001; Hack vd., 2003; Koca ve Kıncal, 2004; Kıncal ve Koca, 2009), süreksizliklerin kinematik olarak değerlendirilmesi kaya mühendisliği alanında önemli bir konudur.

Kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler vardır. Şev duraylılığı genellikle kinematik analizler, limit denge analizleri, sayısal analizler (nümerik) ve Şev Kütle Puanlaması (SMR) gibi kaya kütle sınıflandırma sistemleri ile değerlendirilmektedir (Hoek ve Bray 1981; Hoek, 1999; Ulusay vd., 2001; Pantelidis, 2009; Alejano vd., 2011). Veri olarak, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma dayanımı parametrelerinden içsel sürtünme açısının kullanıldığı kinematik analizler, kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda kullanılabilir (Kliche, 1999; Kıncal ve Koca, 2009; Kulatilake vd., 2011). Kinematik analizler ile kaya şevlerindeki olası yenilme türleri (düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmeler) belirlenebilmektedir. Kinematik analiz sonucunda herhangi bir yenilme tehlikesi ortaya çıkarsa, limit denge analizleri ile olası tehlike araştırılır. Limit denge analizleri yenilme düzlemi boyunca gelişen makaslama dayanımını,

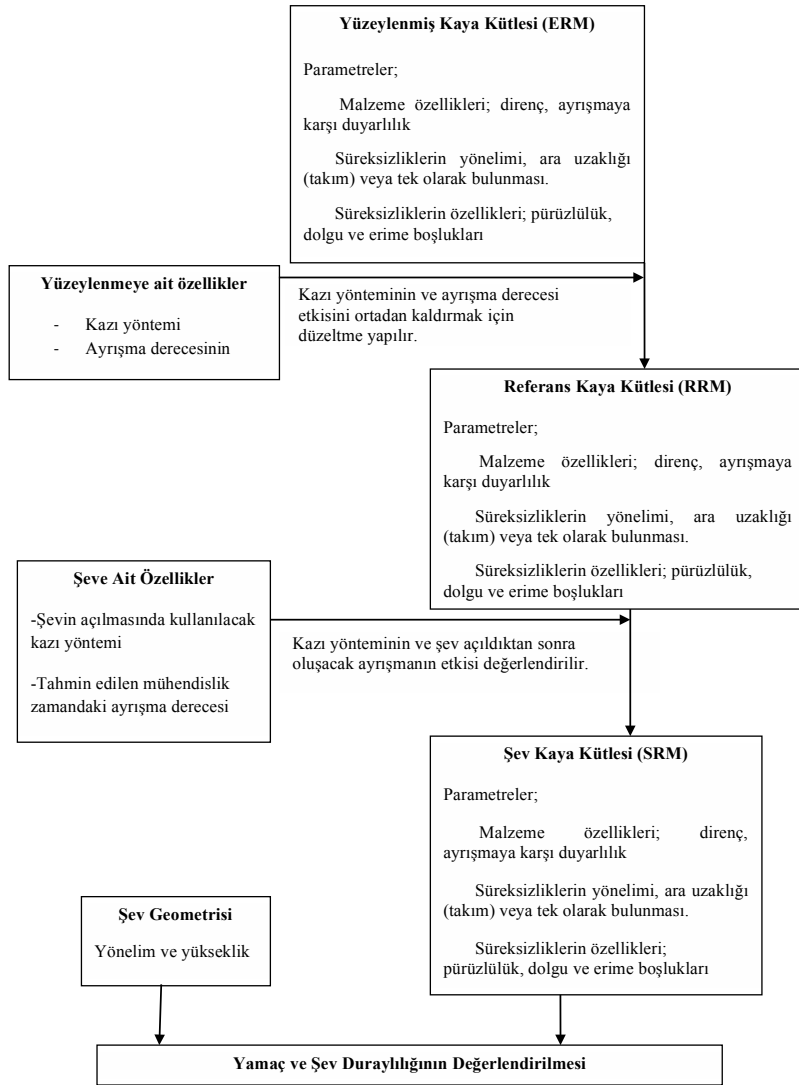
boşluk suyu basıncını ve maksimum yatay yer ivmesi gibi dış kuvvetleri dikkate almaktadır (Kentli ve Topal, 2004; Gürocak vd., 2008). Limit denge analizleri şevlerin duraylılığının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan basit bir yöntem olmasına rağmen, şevler kazı örselenmesi, süreksizlik yönelimleri gibi karmaşık mekanizmalar tarafından duraysızlığa uğradığında limit denge analizleri zaman zaman yetersiz kalmaktadır (Eberhardt, 2003).

Kaya kütle sınıflandırmaları tünel ve yer-altı madenciliğinde yıllarca başarı ile uygulanmaktadır (Barton 1976, 1988; Bieniawski, 1989; Laubscher, 1990). Yeraltı kazıları için geliştirilen bazı kaya kütle sınıflandırmaları sonraki yıllarda şevler için de uygulanabilmiş (Bieniawski, 1989) veya yeniden düzenlenmiştir (Haines ve Terbrugge, 1991; Romana, 1985, 1991; Selby, 1980, 1982). Shuk (1994) ve Hack (1998) özellikle kaya şev duraylılığının değerlendirilebilmesi için farklı sistemler geliştirmişlerdir. Ancak, kaya kütle sınıflandırma sistemleri çoğunlukla yüzeyleşmiş kaya şevleri ile oluşturulacak kaya şevleri arasında bir ayırım yapmamaktadır. Ayrışma durumu ve kazı yöntemi gibi etkenler farklılığın ana nedeni olabilmektedir (Hack vd., 2003). Ayrıca şevlerin duraylı kalabileceği en büyük şev yüksekliği değerini de birçok kaya kütle sınıflandırma sistemi dikkate almamaktadır. Bu nedenle, Hack (1998) tarafından geliştirilen Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi (SSPC); olasılıksal olarak şev duraylılığını değerlendiren bir sistemdir. SSPC özellikle üç konuda diğer sınıflama sistemlerine üstünlük sağlamaktadır: (1) Yüzeyleşmiş, referans ve şev kaya kütleliğini tanımlamak için “üç adım sınıflama sistemi”ni sunar. (2) Tek bir puan vermek yerine farklı yenilme mekanizmalarının

meydana gelme olasılığını belirterek duraylılık değerlendirmesi yapar. (3) Arazide veri toplamak için basit işlemler uygular. SSPC sistemi, kaya kütlelerinin makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesinde, yamaçların duraysızlığının değerlendirilmesinde ve kaya kütlelerinde açılan veya açılacak olan kazı şevlerindeki yenilme olasılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Hack, 1998; Lindsay vd., 2001; Hack vd., 2003). Lindsay vd. (2001) kaya kütle dayanımı, içsel sürtünme açısı, kaya kütlelerinin kohezyonu gibi tasarım parametrelerine ek olarak, SSPC sisteminin, şevlerin duraylı kalabileceği en büyük şev yüksekliğini ve kinematik analizleri içerdiğini belirtmiştir. SSPC sistemi üç adım yaklaşımı (Yüzeylenmiş Kaya Kütleli (ERM), Referans Kaya Kütleli (RRM) ve Şev Kaya Kütleli (SRM)) ile geçmişteki ve gelecekteki ayrışmaları, kazı yönteminden kaynaklanan

örselenmeyi ve farklı yenilme mekanizmaları için olasılık değerlendirmesini içermektedir (Şekil 1). SSPC, kesme kutusu testi gibi ölçümü oldukça zor deneyler gerektirmemektedir (Hack, 2002; Hack vd., 2003). SSPC sisteminde duraylılık iki farklı koşul için olasılıksal olarak analiz edilir. Birincisi yönelime bağlı duraylılık analizi olup süreksizliklerin ve şevin yönelimi ile ilgilidir. İkincisi ise kaya kütlelerinin dayanımına, içsel sürtünme açısına ve kohezyonuna bağlı olarak gelişen yönelimden bağımsız duraylılık analizidir (şev ve süreksizliklerin yöneliminden bağımsız olarak gelişmektedir) (Hack, 1998).

Bu çalışmada, seçilmiş iki karayolu şevine SSPC sistemi uygulanmıştır. Söz konusu şevler, önce kinematik analizlerle, daha sonra ise literatürde oldukça yaygın kullanıma sahip olan SMR kaya kütle sınıflama sistemi ile değerlendirilmiştir.



Şekil 1. SSPC sisteminde üç adım yaklaşımının akım şeması (Hack vd., 2003).

Figure 1. Flow diagram of the three-step concept of the SSPC system (Hack et al., 2003).

ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

İnceleme alanı Orta Karadeniz Bölümü'nde Ordu ili Ünye ilçesine bağlı Saraycık köyü sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Ünye ilçesine yaklaşık 20 km uzaklıktaki köyde, tipik Karadeniz iklimi görülmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü, Karadeniz'in güneydoğu sahili boyunca, yaklaşık 500 km uzunluğa ve 100 km genişliğe sahip bir dağ zincirinden oluşmaktadır ve jeolojik açıdan, Doğu Karadeniz kuzey ve Doğu Karadeniz güney olmak üzere iki zona ayrılmaktadır (Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Doğu Karadeniz'in



Şekil 2. İnceleme alanı ve çevresine ait yerbuldurular haritası.

Figure 2. The location map of the study area.

kuzey zonunda Kretase öncesi jeolojik yapının büyük bir kısmını örten Geç Kretase–Eosen yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalar hakim olmakla birlikte Kretase öncesi kayaların da yaygın olarak yüzeylendiği Doğu Karadeniz’in güney zonunda, aynı zaman periyodunda, silisli tortul kayalar yaygın olarak yüzeylenmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997). Çalışma sahasındaki şevler andezitlerden oluşmaktadır. Bu kayaların makroskopik incelemelerinde, ana mineralin plajiyoklas olduğu ve bunlara yer yer amfibol ve piroksen minerallerinin eşlik ettiği gözlenmiştir.

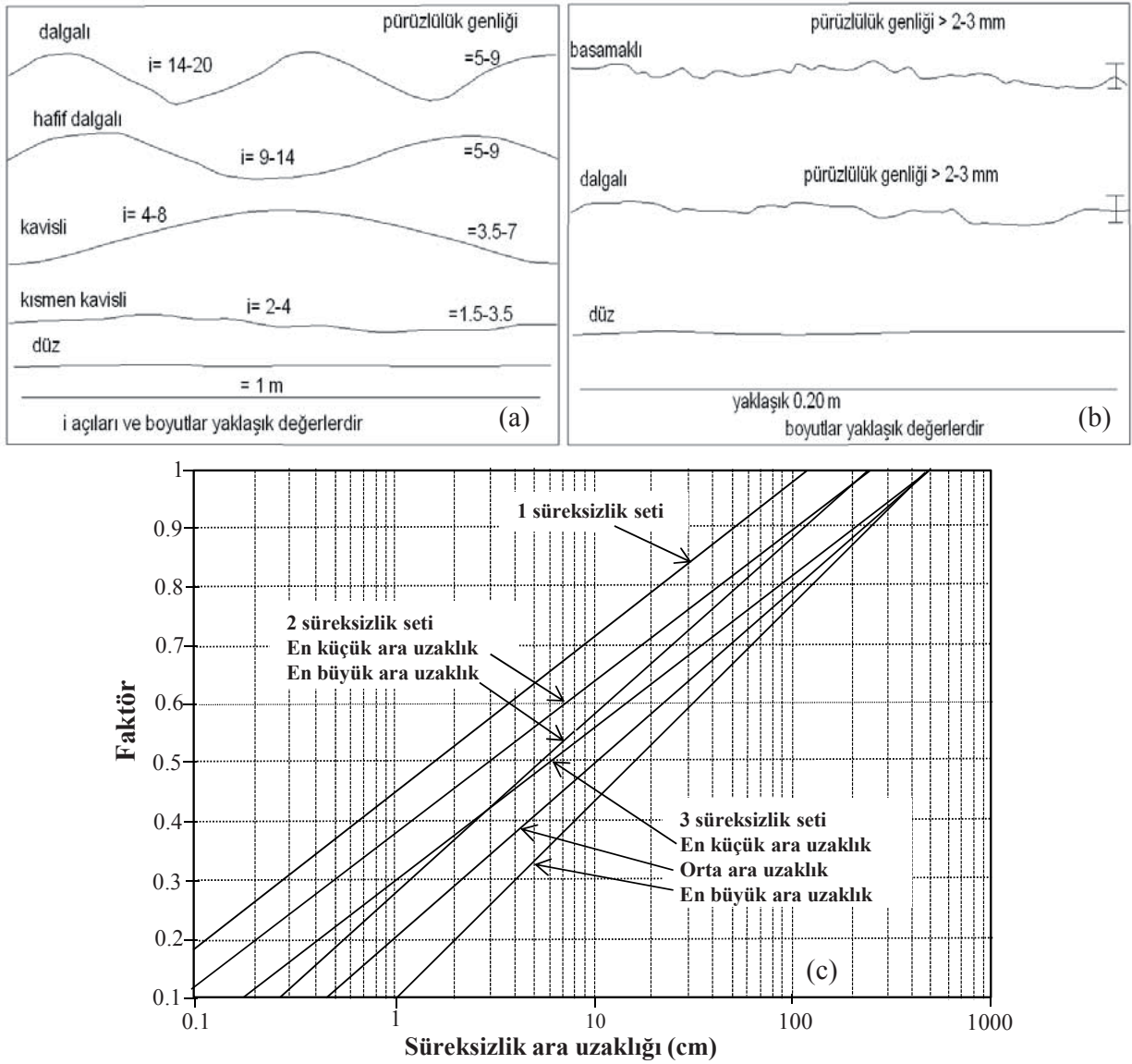
Çalışma alanında yüzeylenen kaya kütlelerinin mühendislik ve jeoteknik özellikleri laboratuvar deneyleri ve arazi ölçümleri/gözlemleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmada, arazide gözlemsel olarak duraysızlık gelişmesi durumunda en çok etkilenecek olan iki adet kaya şevi seçilmiştir (Şekil 3a ve 3b). Büyük (Şekil 4a) ve küçük ölçekli pürüzlülük ölçümleri (Barton pürüzlülük tarağı ile) (Şekil 4b), dolgu malzemesi ve karstik koşulların değerlendirilmesi SSPC sistemine göre yapılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 3. Şev-1 (a) ve şev-2'nin (b) görünümü.

Figure 3. The views of the slope-1 (a) and the slope-2 (b).

Karaman



Şekil 4. Büyük ölçekli (a) ve küçük ölçekli (b) pürüzlülük profilleri ve SPA parametresi için faktör hesabı (c).

Figure 4. Large-scale (a) and small-scale (b) roughness profiles and factor computation (c) for the SPA parameter.

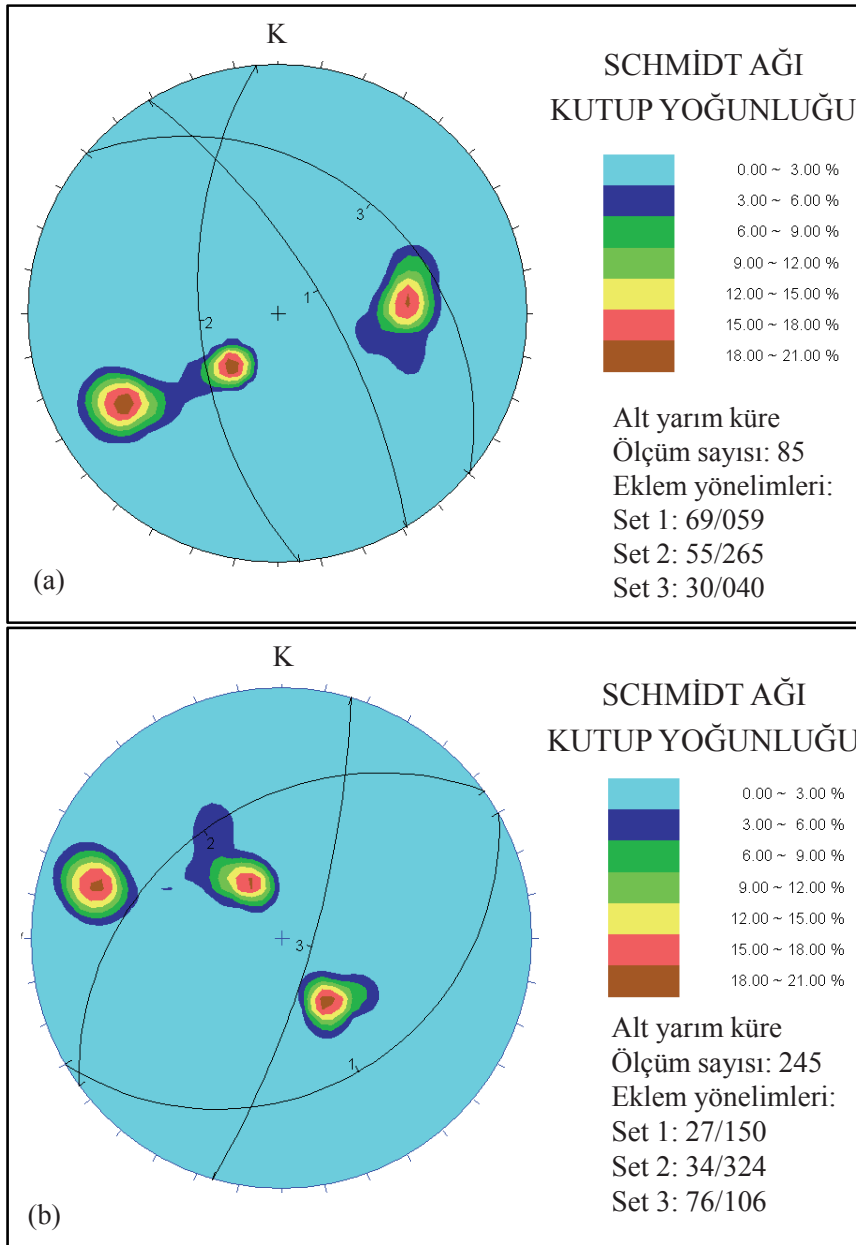
Andezitlerde karstik boşluk olmadığından karstik puanlama değeri olarak 1.00 alınmıştır. Şevlere ait kayaçların süreksizlik parametreleri kaya yüzlekleri üzerinde ISRM (International Society for Rock Mechanics) tarafından önerilen

“Hat Etüdü Yöntemi” kullanılarak belirlenmiştir (ISRM, 1981). Toplam 330 adet süreksizlik ölçümü yapılmış, hem kinematik analizler hem de ana eklem setlerinin ortalama yönelimini belirlemek için DIPS 5.0 (Rocscience, 1999)

Çizelge 1. TC hesaplamasında kullanılan puanlamalar.

Table 1. Points used in the computation of the discontinuity condition factor (TC).

Büyük ölçekli pürüzlülük (R1)	Dalgalı		1.00	
	Hafif dalgalı		0.95	
	Kavisli		0.85	
	Hafif kavisli		0.80	
	Düz		0.75	
Küçük ölçekli pürüzlülük (Rs)	Pürüzlü basamaklı		0.95	
	Düz basamaklı		0.90	
	Kaygan basamaklı		0.85	
	Pürüzlü dalgalı		0.80	
	Düz dalgalı		0.75	
	Kaygan dalgalı		0.70	
	Pürüzlü düzlemsel		0.65	
	Düz düzlemsel		0.60	
	Kaygan düzlemsel		0.55	
Dolgu Malzemesi (Im)	Çimentolu/çimentolu dolgu		1.07	
	Dolgu yok/yüzey boyanmış		1.00	
	Yumuşamayan ve makaslanmamış	İri	0.95	
		Orta	0.90	
		İnce	0.85	
	Yumuşak veya makaslanmış	İri	0.75	
		Orta	0.65	
		İnce	0.55	
	Dolgu kalınlığı < pürüzlülük			0.42
		Dolgu kalınlığı > pürüzlülük		0.17
Malzeme akıcı				0.05
Karstik boşluk (Kc)		Yok		1.00
	Var		0.92	



Şekil 5. Şev-1 (a) ve şev-2'deki (b) süreksizliklerin kontur diyagramları.

Figure 5. Contour diagrams of discontinuities in the slope-1 (a) and the slope-2 (b).

bilgisayar programı kullanılmıştır. Süreksizlik düzlemlerinden alınan çatlak ölçümleri kontur diyagramları üzerinde değerlendirilmiş ve kontur diyagramı analizi sonucunda kaya kütlelerinde

gelişen süreksizliklerin her iki şev için de üç eklem takımından oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 5a ve 5b).

Şevlerde süreksizlik makaslama deneylerine yönelik süreksizlik içeren 10 adet örnek eğim yönleri işaretlenerek toplanmıştır. Süreksizlik makaslama deneyi için kalıplara sığmayan örnekler laboratuvarında taş kesme makinasında boyutları (50 mm x 50 mm) olacak şekilde ISRM (2007) tarafından önerildiği şekilde hazırlanarak kalıplara konulmuş ve deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 6a ve 6b).



Şekil 6. Süreksizlik içeren örnekler (a) ve süreksizlik makaslama deneyi için kalıp hazırlama (b).

Figure 6. Samples containing discontinuities (a) and mold making for the shear strength test (b).

Araziden laboratuvar ortamına getirilen blok örneklerden NX çapında (54.7 mm) karot örnekleri alınmıştır. Örneklerin alt ve üst kısımları karot kesme makinasında düzeltildikten sonra, tek eksenli basınç deneyi, beş (şev-1) ve üç adet örnek üzerinde (şev-2), yükleme hızı 0.5–1.0 MPa/s arasında olacak şekilde 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres ile gerçekleştirilmiştir. Süreksizlik makaslama (içsel sürtünme açısı, f) ve tek eksenli basınç dayanım (UCS) deneyi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deney sonuçları.

Table 2. Results of the tests.

Şevler	Parametreler	Ortalama	Standart sapma	En düşük	En yüksek
Şev-1	UCS (MPa)	125	15.9	109.9	144.4
	f (°)	33	1.7	31.4	34.7
Şev-2	UCS (MPa)	74	10.6	64.4	85.5
	f (°)	27	1.0	26.1	28.0

ŞEV DURAYLILIĞI DEĞERLENDİRMESİ

Kinematik analizler

İlk olarak Hoek ve Bray (1981) tarafından tanımlanan, Goodman (1989) tarafından geliştirilen ve Wyllie ve Mah (2004) tarafından yeniden düzenlenen kinematik analiz yöntemi, kaya şevlerinin düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmelerinin araştırılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem kayma düzleminin, makaslama dayanım parametrelerinden sadece içsel sürtünme açısını (f) dikkate almakta, kohezyonu dikkate almamaktadır. Bu çalışmada her iki karayolu şevi için projeksiyon teknikleri kullanılarak kinematik analizler gerçekleştirilmiş ve olası yenilme türleri belirlenmiştir. Her bir şevde üç adet ana eklem seti (J_1 , J_2 ve J_3) bulunmakta olup, Çizelge 3’te kinematik

Karaman

analizler sonucu bulunan baskın süreksizlik setlerinin yönelimi yer almaktadır.

Çizelge 3. Kinematik analizler sonucu belirlenen baskın süreksizlik yönelimleri.

Table 3. The orientations of the major discontinuities based on the kinematic analysis.

Şev No	Süreksizlik yönelimleri (eğim yönü/eğim açısı)			Şevin yönelimi (eğim yönü/eğim açısı)	Süreksizlik makaslama f (°)
	J ₁	J ₂	J ₃		
1	059/69	265/55	040/30	152/69	33
2	150/27	324/34	106/76	204/80	27

SSPC: yönelime bağlı duraylılık analizi

Süreksizlik yönelimine bağlı şev duraylılığını değerlendirmek için kullanılan SSPC sisteminde, sadece kayma ve devrilme tipi kütle hareketleri analiz edilebilmektedir. SSPC sisteminin en önemli eksikliği, kama tipi kayma analizi yapmamasıdır (Lindsay vd., 2001). Kayma kriterinde süreksizlik durum değeri (TC) ve süreksizliğin yamaç eğimi yönündeki görünür eğimi (AP) arasında bir ilişki dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada TC, Hack vd. (2003) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik yardımı ile elde edilmiştir:

$$TC = R_1 * R_s * I_m * K_c \quad (1)$$

Burada; R₁ ve R_s sırasıyla süreksizlik düzlemlerinin büyük ve küçük ölçekli pürüzlülük

puanlarını ifade etmektedir. I_m, süreksizliklerdeki dolgu malzemesi puanını, K_c ise süreksizlikler boyunca gelişen erime boşluklarının puanını ifade etmektedir. TC bu dört faktörün çarpımı ile elde edilmektedir. Bir süreksizlik için durum faktörü olan TC'nin hesaplamasında kullanılan süreksizlik setlerinin özellikleri Çizelge 4'te yer almaktadır. Aşağıda kayma (Eşitlik 2) ve devrilmenin (Eşitlik 3) oluşabileceği ön sınır koşullarını ifade eden eşitlikler verilmiştir. Söz konusu eşitliklerdeki durum geçerli olduğunda kayma ve/veya devrilme oluşabilmektedir (Hack vd., 2003).

$$TC < 0.0113 * AP \quad (2)$$

$$TC < 0.0087 * (-90^\circ - AP + \text{eğim}_{\text{süreksizlik}}) \quad (3)$$

$$AP = \arctan(\cos \delta * \tan \text{eğim}_{\text{süreksizlik}}) \quad (4)$$

Burada; $\delta = \text{eğim yönü}_{\text{şev}} - \text{eğim yönü}_{\text{süreksizlik}}$ eğer $AP > 0 \Rightarrow AP$; Süreksizlik düzleminin görünür eğim açısının şevin eğim yönünde olduğunu, eğer $AP < 0 \Rightarrow |AP|$; Süreksizlik düzleminin görünür eğim açısının şevin eğim yönüne zıt yönde olduğunu gösteren bir değerdir.

Yönelime bağlı duraylılık analizinde kayma ve devrilme yenilmesinin değerlendirilmesinde

Çizelge 4. TC hesaplamasında kullanılan eklem setlerinin SSPC sistemine göre puanları.

Table 4. Rates of the joint sets used in the computation of the discontinuity condition factor (TC) using the SSPC system.

Şev No	J ₁					J ₂					J ₃				
	Rl	Rs	Im	Kc	TC	Rl	Rs	Im	Kc	TC	Rl	Rs	Im	Kc	TC
1	0.80	0.75	1.00	1.00	0.60	0.80	0.80	1.00	1.00	0.64	0.85	0.80	1.00	1.00	0.68
2	0.95	0.80	0.75	1.00	0.57	0.85	0.80	1.00	1.00	0.68	0.85	0.80	1.00	1.00	0.68

Rl: Büyük ölçekli pürüzlülük; Rs: Küçük ölçekli pürüzlülük; Im: Dolgu malzemesi; Kc: Karstik durum

dikkate alınan, şev eğimi ve AP arasındaki ilişkiye dayanan ek koşullar Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5'e göre şev ve AP arasındaki ilişki uygun ise analizi yapılan süreksizlik seti % 100 duraylı anlamına gelmektedir. Örneğin AP ile şev eğimi arasında, koşul 4'teki gibi bir ilişki varsa bu süreksizlik seti için kayma grafiği,

Süreksizliklerin yönelimine bağlı olmayan duraysızlık analizi için öncelikle süreksizliklerin durumu (CD), süreksizlik ara uzaklığı parametresi (SPA), şevin duraylı olarak kalabileceği en büyük şev yüksekliği ($H_{maksimum}$) ve kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (ϕ'_m) bulunmuştur. Süreksizliklerin yönelimine bağlı

Çizelge 5. Yönelime bağımlı duraylılık analizinde kayma ve devrilme tipi yenilme türleri için dikkate alınan ek koşullar (Hack, 1998; Hack vd., 2003).

Table 5. Additional conditions considered for the modes of sliding and toppling failures in orientation-dependent stability analysis (Hack, 1998; Hack et al., 2003).

Koşul	Duraylılık değerlendirmesi	Kayma	Devrilme
1	AP > 84° veya AP < -84°	% 100	% 100
2	Şev eğimi+5° < AP < 84°	% 100	% 100
3	Şev eğimi-5° < AP < Şev eğimi+5°	% 100	% 100
4	0° < AP < (şev eğimi-5°)	Kayma grafiği kullan	% 100
5	AP < 0° ve -90° -AP+şev eğimi<0°	% 100	% 100
6	AP < 0° ve -90° -AP+şev eğimi>0°	% 100	Devrilme grafiği kullan

koşul 6'daki gibi bir ilişki varsa, devrilme grafiği kullanılmaktadır.

SSPC: yönelimden bağımsız duraylılık analizi

Hack (1998) arazide duraysız olarak değerlendirilen bazı şevlerin, yönelime bağlı duraylılık analizleri değerlendirmesinde duraylı çıktığını ifade etmiştir. Bu şevler için, şev yüksekliği ve şev açısını da dikkate alan yönelimden bağımsız duraylılık analizlerinin uygun olduğu ortaya çıkmaktadır (Lindsay vd., 2001; Hack vd., 2003). Bu çalışmada daha önceden açılmış mevcut karayolu şevleri kullanıldığı için Yüzeylenmiş Kaya Kütleleri (ERM) ve Şev Kaya Kütleleri (SRM) özellikleri aynı olmakta ve kazı yönteminden kaynaklanan örselenme ile gelecek ayrışma etkisi için herhangi bir dönüştürme işlemine gerek kalmamaktadır.

olmayan duraysızlık analizi için ($H_{maksimum}/H_{şev}$) oranı ile (ϕ'_m/β_s) oranı karşılaştırılmaktadır. Burada; β_s , şev eğimini göstermektedir. Kaya kütleleri içindeki süreksizliklerin durumu (CD) üç süreksizlik seti için süreksizlik seti durumunun ağırlıklı ortalamasına bağlı olarak bulunmaktadır (Eşitlik 5).

$$CD = \frac{\frac{TC_1}{DS_1} + \frac{TC_2}{DS_2} + \frac{TC_3}{DS_3}}{\frac{1}{DS_1} + \frac{1}{DS_2} + \frac{1}{DS_3}} \quad (5)$$

Burada; $TC_{1,2,3}$ süreksizlik durumunu ve $DS_{1,2,3}$ 1. 2. ve 3. süreksizlik setlerinin ortalama ara uzaklığını (m) ifade etmektedir. Eşitlik 6, 7 ve 8 sırasıyla kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısını (ϕ'_m) ve kohezyonu (c'_m) ile şevlerin duraylı kalabileceği en büyük şev yüksekliğinin hesabını

Karaman

göstermektedir. SPA parametresi Hack vd. (2003) tarafından önerilen Şekil 4c'deki grafiğe göre hesaplanmaktadır. Faktörler hesaplandıktan sonra SSPC sisteminde belirtildiği üzere birbirleriyle çarpılarak SPA parametresi hesaplanır. Çizelge 6'da yönelimden bağımsız duraylılık analizinde kullanılan parametreler yer almaktadır. Ayrıca bu çalışmada yer verilemeyen SSPC sistemi ile ilgili ayrıntılı bilgilere literatürden ulaşılabilir (Hack vd., 2003; Karaman, 2011).

yapmadan bulunan temel RMR puanıdır. F1 faktörü şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi arasındaki paralellik ilişkisini, F2 faktörü süreksizlik yüzeyinin eğim açısını, F3 faktörü ise şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğim açısı arasındaki ilişkiyi gösterir. F4 faktörü ise şevin kazı yöntemine bağlı olarak örselenme durumunu gösteren parametredir. Örneğin bu çalışmadaki şevler mekanik kazı ile oluşturulduğundan F4 puanı 0 olmaktadır (Çizelge 7). SMR puanına göre kaya kütlelerine

Çizelge 6. SSPC yönelimden bağımsız duraylılık analizinde kullanılan parametreler.

Table 6. The parameters used in the orientation-independent SSPC analysis.

Şev No	UCS (MPa)	SPA	CD	ϕ'_m (deg.)	c'_m (Pa)	DS ₁ (m)	DS ₂ (m)	DS ₃ (m)	H _{şev} (metre)	H _{maks.} (metre)
1	125	0.238	0.63	46.26	20861	0.175	0.255	0.338	12	27.72
2	74	0.184	0.61	31.00	14435	0.073	0.19	0.334	5	5.67

$$\phi'_m = 0.2417 * UCS + 52.12 * SPA + 5.779 * CD \quad (6)$$

$$c'_m = 94.27 * UCS + 28629 * SPA + 3593 * CD \quad (7)$$

$$H_{maksimum} = 1.6 \times 10^{-4} c'_m \frac{\sin(\beta_S) \cos(\phi'_m)}{1 - \cos(\beta_S - \phi'_m)} \quad (8)$$

Şev Kütle Puanlaması (SMR)

SMR (Slope Mass Rating), kaya şevlerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir kaya kütle sınıflandırma sistemidir (Romana, 1985; 1993; Romana vd., 2003). SMR temel kaya kütle oranından (RMR), kazı yöntemi, şev ve süreksizliklerin konumu arasındaki geometrik ilişkiden yararlanarak aşağıdaki eşitlikle elde edilir.

$$SMR = RMR_b + (F_1 F_2 F_3) + F_4 \quad (9)$$

Burada; RMR_b, Bieniawski (1989) RMR sınıflamasından herhangi bir düzeltme

yönelik duraylılık tanımlaması Çizelge 8'de yer almaktadır. SMR ile ilgili ayrıntılı çizelgelere ve grafiklere bu çalışmada yer verilememiş olup, farklı kaynaklardan ayrıntılı bilgilere ulaşmak mümkündür (Romana, 1985; Calcaterra vd., 1998; Romana vd., 2003; Tomas vd., 2012).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kinematik, SSPC yönelime bağlı duraylılık, SSPC yönelimden bağımsız duraylılık ve SMR analizleri çalışma sahasındaki iki adet yol şevine uygulanmıştır. Kaya şevlerindeki meydana gelebilecek düzlemsel, kama ve devrilme tipi yenilmeleri değerlendirmek için kinematik analizler yapılmıştır (Şekil 7). Şekil 7a, 7b ve 7c şev-1 için, şekil 7d, 7e ve 7f ise şev-2 için sırasıyla düzlemsel, kama tipi kayma ve devrilme

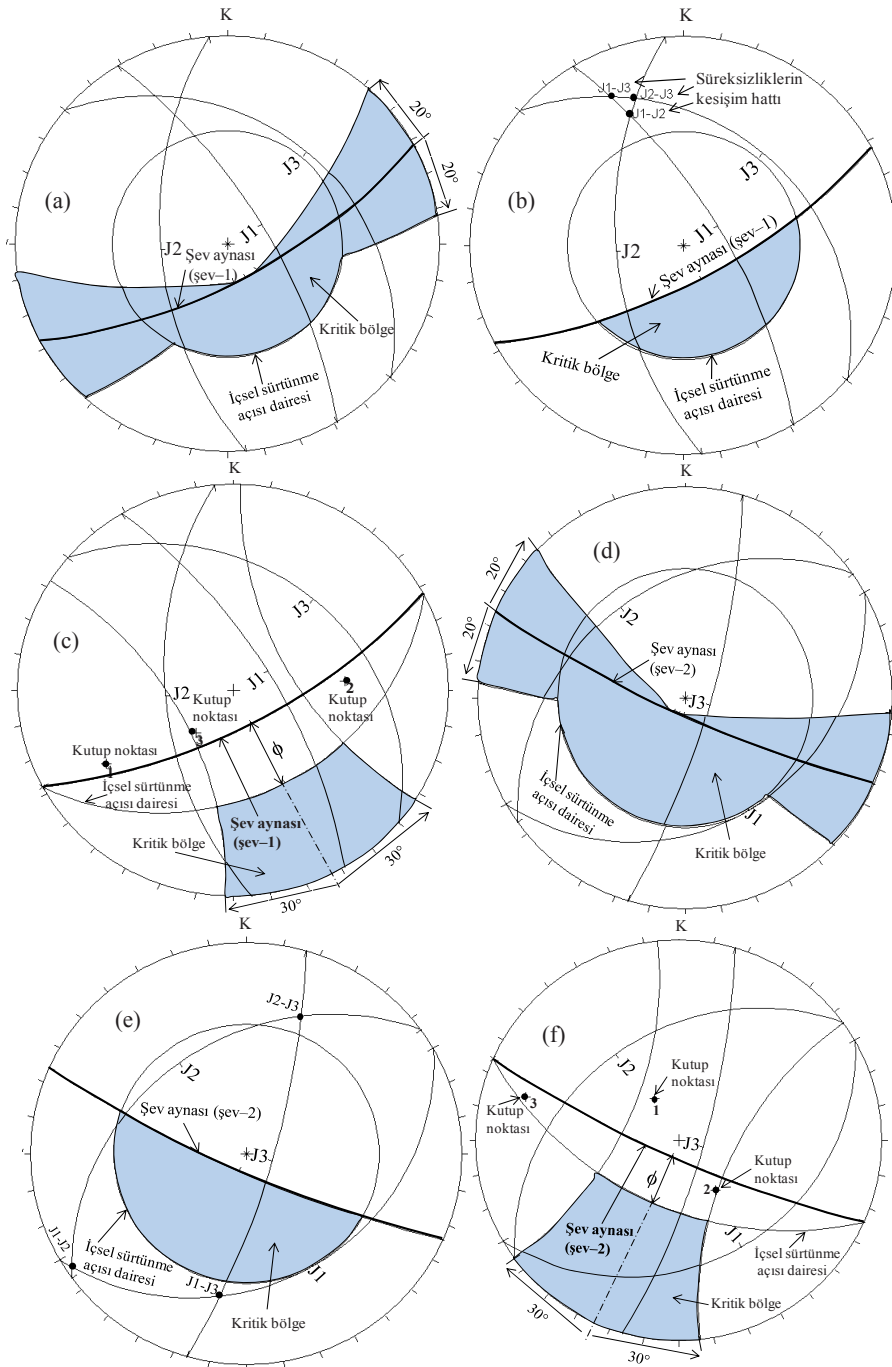
Çizelge 7. SMR sisteminde süreksizlik için düzeltme faktörleri (Romana, 1985).

Table 7. Adjustment factors for discontinuity in SMR system (Romana, 1985).

Süreksizlikler için düzeltme faktörleri (F1, F2, F3 ve F4)	α_j = Süreksizlik yüzeyinin eğim yönü açısı		β_j = Süreksizlik yüzeyinin eğim açısı		
	α_s = Şevin eğim yönü açısı		β_s = Şevin eğim açısı		
	Çok uygun	Uygun	Zayıf	Uygun değil	Hiç uygun değil
Düzlemsel kayma için $ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
Devrilme için $ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
F1 değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
$ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
Düzlemsel kayma, F2 değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
Devrilme, F2 değeri	1				
	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
Düzlemsel kayma için $(\beta_j - \beta_s)$	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<(-10°)
Devrilme için $(\beta_j + \beta_s)$	<110°	110°-120°	>120°	-	-
F3 değeri	0	-6	-25	-50	-60
Kazı metodu için düzeltme puanı	Doğal şev	Ön çatlatma	Tarama patlatması	Mekanik kazı	Kötü patlatma
F4 değeri	+15	+10	+8	0	-8

türü yenilme analizlerini göstermektedir. Çalışma sahasındaki şevlerin kinematik olarak düzlemsel, kama ve devrilme türü yenilmelere karşı duraylı oldukları anlaşılmaktadır.

Yönelime bağlı SSPC analizine göre, her iki şev için ön koşullara (Eşitlik 2 ve 3) bağlı olarak gelişebilecek herhangi bir duraysızlık olasılığının (düzlemsel ve devrilme)



Açıklama: J_1 , J_2 ve J_3 şevlere ait eklem setlerini, J_1 - J_2 süreksizliklerin kesişim noktasını, 1, 2 ve 3 sırasıyla J_1 , J_2 ve J_3 'e ait kutup noktalarını göstermektedir.

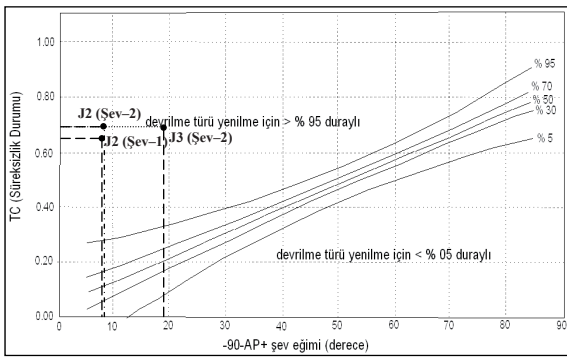
Şekil 7. Şevlerin kinematik analizleri.

Figure 7. Kinematic analyses of the slopes.

Çizelge 8. SMR puanına göre kaya kütle tanımlaması (Romana vd., 2003).

Table 8. Rock mass description based on the SMR Value (Romana et al., 2003).

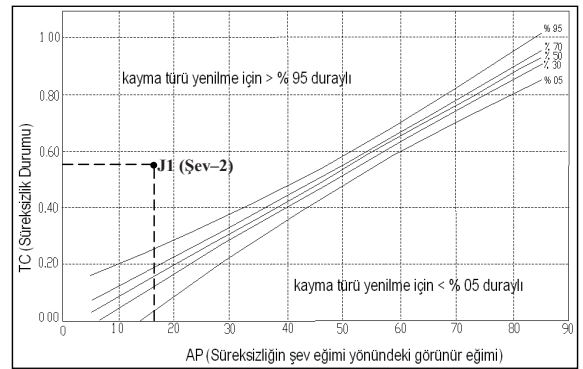
Sınıf	SMR	Tanımlama	Duraylılık	Yenilmeler
1	81-100	Çok iyi	Tamamen duraylı	Yok
2	61-80	İyi	Duraylı	Bazı bloklarda
3	41-60	Normal	Kısmen duraylı	Bazı eklemelerde veya birçok kama
4	21-40	Kötü	Duraysız	Düzlemsel veya büyük kama
5	0-20	Çok kötü	Tamamen duraysız	Büyük düzlemsel veya zemin gibi



Şekil 8. Şev 1 (J_2) ve şev 2 (J_2 ve J_3) için devrilme analizi.

Figure 8. Toppling failure analysis for slope-1 (J_2) and slope-2 (J_2 and J_3).

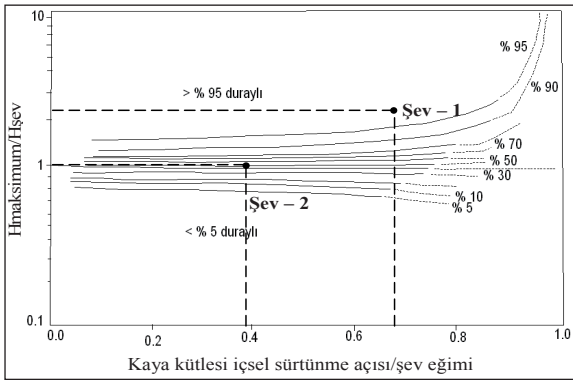
olmadığı anlaşılmaktadır. Çizelge 5'teki AP ile şev eğimi arasındaki ilişkiye dayanan ek koşullara bakıldığında, şev-1'e ait süreksizlik takımlarından J_1 ve J_3 'ün kayma ve devrilmeye karşı % 100 duraylı olduğu ortaya çıkmıştır. Şev-1'in 2. süreksizlik takımı (J_2) için " $AP < 0^\circ$ ve $-90 - AP + \text{şev eğimi} > 0^\circ$ " kuralına göre devrilme grafiği kullanılmıştır (Şekil 8). Grafiğe göre; şev-1'in 2. süreksizlik takımının devrilme türü yenilmeye karşı $> \% 95$ duraylı olduğu görülmüştür. Şev-2'nin 1. süreksizlik takımı (J_1) için " $0^\circ < AP < (\text{şev eğimi} - 5^\circ)$ " kuralına göre (Çizelge 5) kayma grafiği kullanılmıştır (Şekil 9). Şev-2'nin 1. süreksizlik takımının kayma yenilmesine karşı $> \% 95$ duraylı olduğu



Şekil 9. Şev 2'nin 1. eklem takımı (J_1) için kayma yenilmesi analizi.

Figure 9. Sliding failure analysis for the first discontinuity set (J_1) of slope-2.

görülmüştür. Şev-2'nin 2. ve 3. süreksizlik setleri için ek koşullardaki " $AP < 0^\circ$ ve $-90 - AP + \text{şev eğimi} > 0^\circ$ " kural geçerli olmuş ve devrilme türü yenilmenin olup olmadığına bakılmıştır (Şekil 8). Her iki süreksizlik takımının da devrilme yenilmesine karşı $> \% 95$ duraylı olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut şev açılarında yönelime bağlı duraylılık analizine göre her iki şevin de düzlemsel kayma ve devrilmeye karşı duraylı olduğu ortaya çıkmıştır. Şev-1'in 90° olması durumunda bile SSPC yönelime bağımlı duraylılık analizine göre ek koşullar dikkate alınarak J_1 ve J_3 eklem takımının devrilme türü için $> \% 95$ duraylı olduğu anlaşılmıştır. 90° için,



Şekil 10. SSPC sisteminde yönelimden bağımsız duraylılık için olasılık grafiği.

Figure 10. Probability graph for the SSPC orientation-independent stability analysis.

Şev-2’de meydana gelebilecek düzlemsel kayma ve devrilme türü yenilmelere karşı duraylılık olasılığı mevcut durumdakinin (80°) aynıdır. Bu nedenle, şevlerin düzlemsel kayma ve devrilme türü yenilmeye karşı duraylı oldukları anlaşılmaktadır. Şev-2’nin 1. süreksizlik takımı hariç diğer süreksizlik takımlarına

En büyük şev yüksekliğinin mevcut şev yüksekliğine oranı ile kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısının şev eğimine oranı arasındaki ilişkiye dayanan SSPC yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre şevler değerlendirilmiştir (Şekil 10). Bunun için öncelikle şevlerin duraylı kalabileceği yükseklikler şev 1 ve şev 2 için sırasıyla 27.72 ve 5.67 metre olarak hesaplanmıştır. Şev 2’nin duraylı kalabileceği maksimum yüksekliğinin düşük olmasının, tek eksenli basınç dayanımının şev 2’ye göre düşük olmasından (kohezyon ve içsel sürtünme açısını düşürmekte) ve şev eğiminin de oldukça yüksek açıda (80°) olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. En büyük şev yüksekliğinin mevcut yüksekliğe oranları şev 1 için 2.31 ve şev 2 için 1.13 olarak bulunmuştur. İçsel sürtünme açısının şev eğimine oranı ise şev 1 ve şev 2 için sırasıyla 0.67 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Şev-1, yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre

Çizelge 9. Ek koşullara göre yönelime bağlı duraylılık değerlendirmesi.

Table 9. Assessment of orientation-dependent stability analyses according to additional conditions.

Şev No	J_1				J_2				J_3				Duraylılık tanımı
	TC	AP	Ky %	Dv %	TC	AP	Ky %	Dv %	TC	AP	Ky%	Dv %	
1	0.60	-7.76	100	100	0.64	-29.16	100	> 95	0.68	-12.20	100	100	Duraylı
2	0.57	16.67	> 95	100	0.68	-18.64	100	> 95	0.68	-29.17	100	>95	Duraylı

Ky: Kayma; Dv: Devrilme

ait süreksizliklerin görünür eğimlerinin şev içine doğru olmaları (AP değerlerinin eksi işaretli olmaları) şevlerde düzlemsel kaymanın oluşumunu engellemiştir. Şevlere ait süreksizlik setleri (J_1-J_3) için düzlemsel kayma ve devrilme olasılıkları Çizelge 9’da yer almaktadır.

mevcut şev açısında duraylıdır (> % 95). Ancak Şev-1’in eğim açısının 90° olması durumunda duraylı kalabileceği maksimum yükseklik (Eşitlik 8) 8.32 metreye düşmekte, dolayısıyla yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı % 5’e inmektedir. Söz konusu şevde, eğimin daha dik

olduğu noktalarda kısmi şev yenilmelerinin olduğu Şekil 3a'dan gözlenmektedir. Şev-1'in eğim açısının 75° olması durumunda (en büyük şev yüksekliği 18.09 metre) yönelimden bağımsız duraylılık olasılığının yaklaşık % 92'ye inmesine karşın şev duraylı kalmaktadır. Bu nedenle şev-1 için güvenli şev açısı 75° olarak düşünülmüştür. Şev-2 mevcut durumda yaklaşık % 60 duraylılık olasılığına sahip olup, SSPC tanımlamasına göre kısmen duraylı sınıfta yer almaktadır. Ayrıca SSPC sistemine göre; duraysız şevler için duraysız kaya kütlesi ağırlığı "ton" mertebesinde ise "büyük problemlili duraysız"lık, "kg" mertebesinde ise "küçük problemlili duraysız"lık söz konusudur. Yapılan gözlemler sonucunda şev-2 için yalnızca küçük ölçekli yönelimden bağımsız duraysızlık gelişebileceği, bunda küçük çapta kaya düşmeleri (küçük problemlili duraysız) şeklinde gelişebileceği sonucuna varılmıştır. Bu olumsuzlukların giderilmesi açısından şev-2'nin yönelimden bağımsız duraylılık olasılığını artırmak için ($> \% 90$) şev eğiminin 70° 'ye indirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu durumda şevin duraylı kalabileceği en büyük yükseklik 8.35 metreye çıkmaktadır. Genel olarak şevler değerlendirildiğinde, şev-1'in yeni açılması (yaklaşık 5 yıl önce) ve dolayısıyla taze yüzeylere sahip olması tek eksenli basınç dayanım değerlerini ve süreksizlik özelliklerini etkilemiştir. Şev-2'nin ise yaklaşık 35-40 yıllık olması şev yüzeyinde orta derecede ayrışmanın gözlenmesini açıklamış olup, tek eksenli basınç dayanımı aynı litolojiye sahip şev-1'den daha düşük çıkmıştır. Andezitlerde ayrışmanın önemli olduğu düşünüldüğünde (kil minerallerine dönüşme), SSPC yönelimden bağımsız duraylılık önem kazanmaktadır.

Temel RMR puanı, tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalite göstergesi (% RQD), süreksizlik aralığı, süreksizlik ve yeraltı suyu durumuna bağlı olarak hesaplanmıştır (Çizelge 10). Bieniawski (1989) tarafından önerilen RMR'ye göre kaya sınıflamasında, şev-1 "iyi kaya", şev-2 ise "orta kaya" sınıfına dahil edilmiştir. SMR değerlerinin hesaplanmasında Romana (1985) ve Romana vd., (2003) tarafından önerilen düzeltme faktörleri kullanılarak Eşitlik 9'a göre nihai puanlar hesaplanmıştır (Çizelge 10). Anbalagan vd., (1992) düzlemsel ve kama tipi kaymanın farklı değerlendirilmeleri gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle önerildiği gibi kama tipi kayma analizi için süreksizliklerin ara kesit doğrusunun yönelim ve dalım açısı değerleri kullanılmış ve buna göre düzeltilmiş SMR puanları hesaplanmıştır.

SMR sınıflama sistemine göre; şev-1 incelendiğinde, iki süreksizlik seti için (059/069, J_1 ve 040/30, J_3) düzlemsel kayma tehlikesinin olmadığı (SMR > 60), J_2 'ye (265/55) ait SMR puanının 59 olması nedeniyle düzlemsel kayma tehlikesinin bulunduğu görülmüştür. 059/69 (J_1) ve 265/55 (J_2) yönelimli süreksizlik setleri için "az miktarda ve sıklıkta" devrilme tehlikesinin olduğu ve bütün süreksizlik setlerinin ara kesiti boyunca "bazı bloklarda" kama tipi kayma olasılığının olduğu ortaya çıkmıştır. SMR puanına göre genel bakıldığında, J_2 'nin SMR puanı 59 olduğundan şev-1 için tanımlama "kısmen duraylı" olmaktadır. Şev-2 incelendiğinde; üç süreksizlik seti için de düzlemsel kayma tehlikesinin olduğu, üç süreksizlik seti için yüksek olasılıkla devrilme yenilmesinin oluşabileceği, süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkla kama tipi yenilme tehlikesinin oluşabileceği ortaya çıkmıştır.

Karaman

Çizelge 10. Şevlerin temel RMR ve SMR puanları.

Table 10. The ratings of basic RMR and SMR of slopes.

Şev No	RMR _b	Yenilme türü	SMR (J ₁)	SMR (J ₂)	SMR (J ₃)	Duraylılık (eklem setleri)	Duraylılık (Şev)
Şev-1	68	Düzlemsel	64.25	59	61.7	Kısmen duraylı	
		Devrilme	64.25	64.25	68	Duraylı	Kısmen duraylı
		Kama	64.4	66.65	66.65	Duraylı	
Şev-2	48	Düzlemsel	44.4	41.7	40.5	Duraysız	
		Devrilme	48	47.1	44.25	Kısmen duraylı	Duraysız
		Kama	46.65	44.4	31.2	Duraysız	

Ancak kinematik analizlere göre şev-2’de düzlemsel kayma tehlikesi bulunmamaktadır. Ayrıca SSPC sistemine göre AP eksi (-) değer aldığıında “süreksizlik düzleminin görünür eğim açısı şevin eğim yönüne zıt yönde” anlamına gelmektedir. Bu nedenle şev-2’nin J₂ (324/34) ve J₃ (106/76) eklem setlerine ait AP değerinin eksi değer alması bu iki süreksizlik seti için kayma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, 150/27 (J₁) yönelimli süreksizlik seti için görsel olarak devrilme tehlikesinin söz konusu olmadığı ve SMR analizinde de RMR_b puanını düşürecek bir düzeltmenin olmadığı (Çizelge 10) görülmüştür. Bununla beraber RMR_b puanının düşük olması şevde devrilme yenilmesi oluşacağı izlenimini vermiştir. Ancak, devrilme türü yenilme kütleli özellikte değil süreksizlik-şev yönelimi ile ilişkilidir. Bu anlamda süreksizlik kontrollü bir yenilme türüdür. Şev-2’ye SMR puanına göre genel olarak bakıldığında, şev tanımlaması “duraysız” olup, olası kütleli yenilmenin oluşabileceği varsayılmıştır. SMR sisteminin şevlerin değerlendirilmesinde tutarsız sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Kinematik analizlere göre; şevlerde düzlemsel, kama ve devrilme türünde yenilmenin oluşmayacağı, SSPC yönelime bağımlı duraylılık analizine göre de şevlerde düzlemsel ve devrilme türü yenilmelerin meydana gelmeyeceği sonucu ortaya çıkmıştır. SMR sınıflama sistemine göre, şev-1 “kısmen duraylı” ve şev-2 “duraysız” sınıfına dahil olmuştur. SMR sistemi yalnızca düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmeler üzerinden değerlendirme yapmaktadır. SSPC sistemi yönelimden bağımsız duraylılık analizinde kaya kütlelerinin dayanım parametrelerine (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) göre yenilmeleri dikkate almaktadır. Diğer taraftan, SMR sınıflandırma sisteminin bir miktar tutucu ve güvenli tarafta kalma eğiliminde olduğu bilinmektedir (Romana vd., 2003). Hack vd. (2003) SSPC sisteminin duraylı ve duraysız şevler arasında daha ayırt edici farklar sunduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, SSPC sistemi yönelimden bağımsız duraylılık analizini de içermektedir. Sistem, SMR sınıflamasının dikkate almadığı şevlerin duraylı kalabileceği en büyük şev yüksekliğini içermektedir. SMR

sınıflandırma sisteminin RMR puanına doğrudan bağlı olması ve sadece süreksizlik kontrollü yenilmelerin değerlendirilmesini dikkate alması diğer dezavantajlarından. Oysa süreksizlik kontrollü yenilmeler kaya kütle özelliklerinden daha çok süreksizlik-şev yönelimi ve süreksizlik makaslama dayanımı ile ilişkilidir. Sonuç olarak, maden ocakları, karayolları vb. yerlerdeki şevlerde gelişebilecek olası yenilme türlerinin, kinematik analizler ile araştırılmasının yanı sıra SSPC gibi sistemlerin kullanımının, güvenli şevlerin açılmasına ve emniyetli madencilik faaliyetlerinin yürütülmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, zaman zaman küçük ölçekte kaya düşmelerinin yaşandığı iki adet kaya şevinin duraylılığı kinematik, SSPC ve SMR analizleriyle değerlendirilmiştir. Kinematik analiz sonuçlarına göre; şevlerde düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmelerin oluşmayacağı ortaya çıkmıştır. SSPC yönelime bağlı duraylılık değerlendirmesine göre; şevler kayma ve devrilme yenilmesine karşı duraylı çıkmıştır. SSPC yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre; şev-1 için duraylılık olasılığı > % 95 (tamamen duraylı), ancak şev-2'nin ise kısmen duraylı (% 60) olduğu anlaşılmıştır. Yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre mevcut durumda 69° olan şev-1'in 75°'ye kadar güvenli olduğu bununla beraber şev-2'nin mevcut eğim açısının (80°) 70°'ye düşürülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. SMR analizine göre şev-1 "kısmen duraylı", şev-2 ise "duraysız" sınıfına dahil olmuştur. Kaya şevlerinin değerlendirilmesinde birden fazla yöntemin birlikte ele alınmasının, iş güvenliği ve araç-yaya trafiği açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde arazide bana yardımcı olan babam Musa KARAMAN'a ve ayrıca değerli yorumlarından dolayı hakemlere teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Alejano, L.R., Ferrero, A.M., Oyanguren, P.R., Fernandes, M.I.A., 2011. Comparison of limit-equilibrium, numerical and physical models of wall slope stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48, 16–26.
- Anbalagan, R., Sharma, A., Sanjeev, B., Raghuvanshi, T. K., 1992. Rock Mass Stability Evaluation Using Modified SMR Approach. *Proceedings of the Sixth National Symposium on Rock Mechanics*, Bangalore, India, 258-268.
- Barton, N.R., 1976. Recent experiences with the Q system of tunnel support design. In: Bieniawski ZT (ed) *Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering*, Johannesburg. Balkema, Rotterdam, 107–117.
- Barton, N.R., 1988. Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q-system. In: Kirkaldie L (ed). *Proceedings Symposium on Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, ASTM Special Technical Publication 984, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 59–88.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. Wiley, Chichester. 251 p.
- Bye, A.R., Bell, F.G., 2001. Stability assessment and slope design at Sandsloot open pit, South Africa. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 449–466.
- Calcaterra, D., Gili, J.A., Iovinelli, R., 1998. Shallow landslides in deeply weathered slates of the Sierra de Collcerola (Catalonian Coastal Range, Spain). *Engineering Geology*, 50, 283–298.

- Eberhardt, E.D., 2003. Rock slope stability analysis–utilization of advanced numerical techniques. Earth and Ocean sciences at UBC. 4 p.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S., Özsayar, T., 1979. The main lines of geotectonic development of the Eastern Pontides in Mesozoic era. Proceeding of the 1st Geological Congress of the Middle East (GEOCOME), 555-580.
- Goodman, R.E., 1989. Introduction to rock mechanics. John Wiley&Sons, New York. 478 p.
- Gürocak, Z., Alemdag, S., Zaman, M.M., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapıkaya dam site, Turkey. Engineering Geology, 96, 17–27.
- Hack, R., 1998. Slope stability probability classification. SSPC, 2nd edition. ITC, Enschede, The Netherlands, 258 p.
- Hack, R., 2002. An evaluation of slope stability classification. Eurock, ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, Madeira, Frunchal, Portugal, 1–32.
- Hack, R., Price, D., Rengers, N., 2003. A new approach to rock slope stability–a probability classification (SSPC). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 62, 167–184.
- Haines, A., Terbrugge, P.J., 1991. Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. In: Wittke, W. (editor) Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM. Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam, 887–892.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. 3rd edition. London, Institute of Mining and Metallurgy. 358 p.
- Hoek, E., 1999. Putting numbers to geology - an engineer's viewpoint. Quarterly Journal of Engineering Geology, 32, 1-19.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 p.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods. International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628 p.
- Karaman, K., 2011. Taşönü (Trabzon–Araklı) kalker ocağındaki şevlerin duraylılık açısından incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 123 s (yayımlanmamış)
- Kentli, B., Topal, T., 2004. Assessment of rock slope stability for a segment of the Ankara–Pozanti motorway, Turkey. Engineering Geology, 74, 73–90.
- Kliche, C.A., 1999. Rock slope stability. SME, Littleton, CO.
- Kıncal, C., Koca, M.Y., 2009. A proposed method for drawing the great circle representing dip angle and strike changes. Environmental and Engineering Geoscience, 15, 145–165.
- Koca, M.Y., 1995. Slope stability assessment of the abandoned Andesite quarries in and around the Izmir city centre. Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Science, Izmir, PhD thesis, 430 p (yayımlanmamış).
- Koca, M.Y., Kıncal, C., 2004. Abandoned stone quarries in and around the Izmir city centre and their geo-environmental impacts – Turkey. Engineering Geology, 75, 49–67.
- Kulatilake, P.H.S.W., Wang, L., Tang, H., Liang, Y., 2011. Evaluation of rock slope stability for Yujian River dam site by kinematic and block theory analyses. Computers and Geotechnics, 38, 846–860.

- Laubscher, D.H., 1990. Geomechanics classification system for rating of rock mass in mine design. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 90 (10), 257–273.
- Lindsay, P., Campbell, R.N., Fergusson, D.A., Gillard, G.R., Moore, T.A., 2001. Slope stability probability classification. *Waikato Coal Measures, New Zealand. International Journal of Coal Geology*, 45, 127–145.
- Okay, A. I., Şahintürk Ö., 1997. Geology of Eastern Pontides, in A. G. Robinson, edition, *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region: AAPG Memoir 68*, 291–311.
- Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler’de Kretase, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Dergisi, 2, 66-115.
- Pantalidis, L., 2009. Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 315–325.
- Rocscience, 1999. DIPS 5.0 – Graphical and statistical analysis of orientation data rocscience. Canada. 90 p.
- Romana, M., 1985. New adjustment rating for application of the Bieniawski classification to slopes. *Proceedings International Symposium on Rock Mechanics, Mining Civil Works, ISRM, Zacatecas, Mexico*, 59–63.
- Romana, M., 1991. SMR classification. In: Wittke W (editor) *Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM, Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam*, 955–960.
- Romana, M., 1993. A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. (In *Comprehensive Rock Engineering*. Ed. I. Hudson). Pergamon, 3, 575-600.
- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., 2003. SMR geomechanics classification: application, experience and validation. In: Merwe, J.N. (Ed.), *Proceedings of the 10th Congress of the International Society for Rock Mechanics, ISRM 2003—Technology Roadmap for Rock Mechanics. South African Institute of Mining and Metallurgy*, 1–4.
- Selby, M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Geomorphology*, 23, 31–51.
- Selby, M.J., 1982. *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press, Oxford, 264 p.
- Shuk, T., 1994. Key elements and applications of the natural slope methodology (NSM) with some emphasis on slope stability aspects. *Proceedings 4th South American Congress on Rock Mechanics, Santiago de Chile*, 255–266.
- Tomas, R., Cuenca, A., Cano, M., Barba, J.G., 2012. A graphical approach for slope mass rating (SMR). *Engineering Geology*, 124, 67–76.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E., 2001. Causes, mechanism and environmental impacts of instabilities at Himmetoğlu coal mine and possible remedial measures. *Environmental Geology*, 40 (6), 769–786.
- Wyllie, D.C., Mah, C.W., 2004. *Rock slope engineering civil and mining*. 4th edition. New York, Spon Press 431 p.