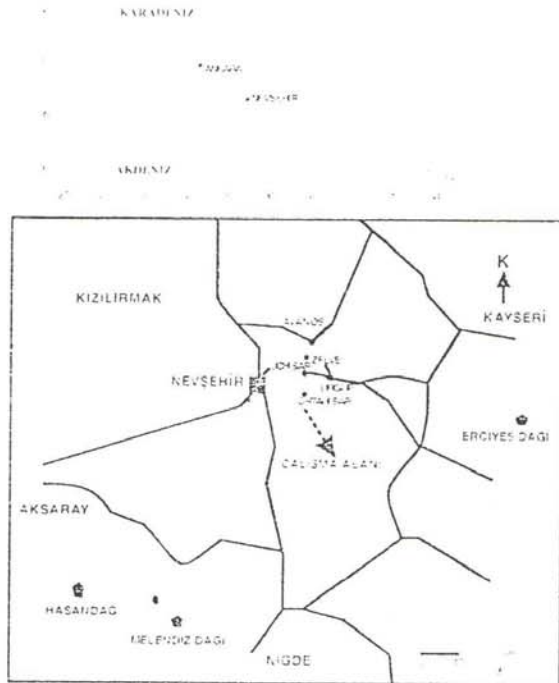


1. GİRİŞ

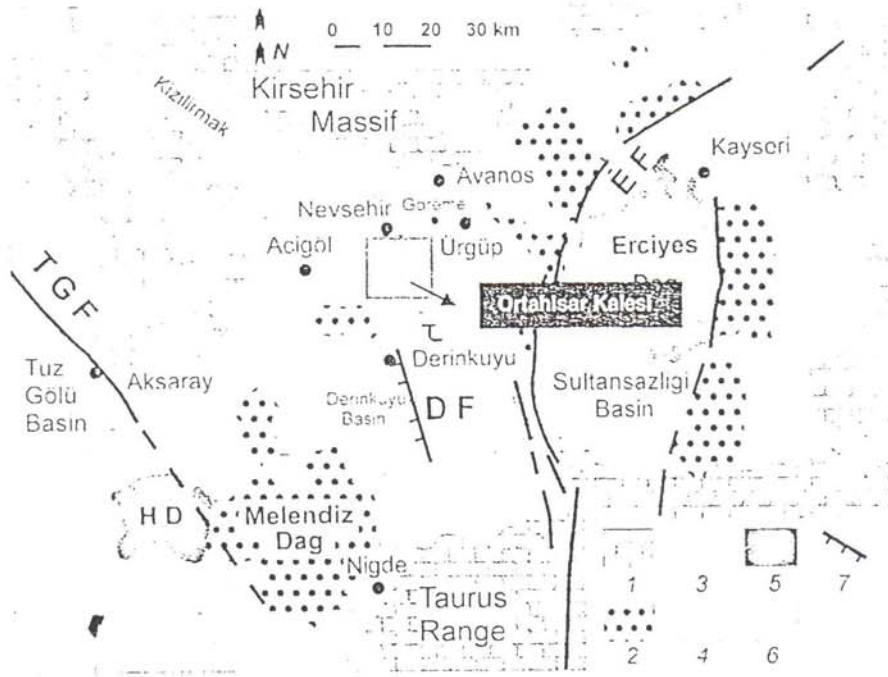
Kapadokya bölgesi, sahip olduğu doğal güzellikler ve tarihi yapısıyla Türkiye'nin en önemli turistik merkezlerinden biridir (Ulusay ve diğ., 2006). Bu özellikleri nedeniyle bölgenin yıllık turist kapasitesi yaklaşık 2 milyon civarındadır (Nevşehir Valiliği, 2007). Bölgedeki en önemli doğal yapılardan biri ignimbiritlerin erozyonu sonucu oluşan peri bacalarıdır. Ortahisar Kalesi, İshak Kalesi ve Karataş Tepesi gibi ignimbiritten oluşan tepeler, aşınmaya daha dayanıklı olmaları nedeniyle birer kalıntı tepe gibi görünmektedir (Doyuran, 1976). Ortahisar Kalesi, bölgedeki insan-doğa birleşiminin en çarpıcı örneklerinden birini oluşturmaktadır. Kale içerisinde oluşturulan mağaralar eski zamanlarda beri sadece yaşam alanı olarak değil, aynı zamanda savunma amaçlı da kullanılmıştır. Ayrıca Kale, lokasyon olarak da tarihi yerleşim bölgesinin merkezinde yer almaktadır. Ortahisar Kalesindeki kaya düşme tehlikesi üzerine ilk ayrıntılı tanımlamalar Doyuran (1976) tarafından yapılmıştır. Doyuran (1976)'a göre: Ortahisar Kalesinde başlıca sorunlara yol açan oluşumlar doğal ve yapay olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Doğal etkiler; rastgele veya sistematik gelişen eklemeler, yapay etkiler ise, kale içindeki aşırı oyulmalar (mağaralar) olarak tanımlanmıştır. Kalenin bulunduğu yerin tarihi dokuya sahip bir yerleşim alanı olduğu düşünülürse, kaya düşme tehlikesi çok daha önemli bir durum arz etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, Kalenin iki boyutlu kaya düşme analizleri ile kaya düşme tehlikesinin araştırılmasıdır. Bu amaçla ayrıntılı arazi çalışmaları yapılarak; ayrılmış ve askıda duran blokların konumları, yerleri ve boyutları belirlenmiş, süreksizlik hat etütleri yapılmış, morfolojik ve topografik özellikler tanımlanmış ve düşmüş blokların yerleri tesbit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, 1/100 ölçekli planlar kullanılarak kesitler hazırlanmış ve bir seri kaya düşmesi analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında, kaya düşme analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, potansiyel düşme tehlikesi gösteren blokların katededebilecekleri en uzak mesafe, hız ve enerji haritaları üretilmiş ve yorumlanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

İnceleme alanı, Orta Anadolu'da, Nevşehir ve Ürgüp arasında yer alan Ortahisar Kalesidir (Şekil 1). Ortahisar kalesi, eski bir yerleşim yerinin merkezindedir. Ürgüp'e yaklaşık 5 km mesafede yer alan ve bölgenin en önemli tarihi yerlerinden ve ilginç yüzey şekillerinden biridir. Ürgüp ve çevresinde, kalın ve geniş yayılım gösteren volkano-sedimenter istifler (Miyosen-Pliyosen) (Şekil 2) temsil edilen Ürgüp formasyonu mostra vermektedir (Temel ve diğ., 1998). Ürgüp formasyonunun en yaşlı birimi olan Kavak üyesi Ortahisar Kalesi ve yakın çevresinde yüzeylenmektedir. Peri bacası oluşumları en iyi şekilde: Ürgüp formasyonunun Kavak, Zelve ve Cemilköy üyelerinde gözlenmektedir (Temel, 1992). Kavak üyesi, Ürgüp formasyonunu oluşturan ilk volkanik ürün olup, volkano-sedimenter istifin temelini oluşturmaktadır. Kavak üyesi, kül ve akıntı ürünlerinin volkanik-kırıntılı malzeme ile ara tabakalanmasından oluşmaktadır (Topal ve Doyuran (1997).



Şekil 1. Yer bulduru haritası



Şekil 2. Kapadokya Bölgesinin genel jeoloji haritası: 1. Temel kayalar, 2. Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik birimler, 3. İgnimbiritler (tüfler) ve güncel karasal birimler, 4. Kuvaterner volkanizması (maar, dom ve lavlar), 5. büyük Kuvaterner volkanları, 6. Kuvaterner alüvyon, 7. Önemli faylar (TGFZ: Tuz Gölü Fay Zonu, EFZ: Ecemiş Fay Zonu, DF: Derinkuyu Fayı) (Temel vd., 1998'den)

Kavak üyesi, en iyi yüzeylendiği yer olan Kavak köyünden adını almıştır (Pasquare, 1968). Bu üye 2600 km²'lik bir alana ve 80 km³'lük hacime sahiptir (Temel ve diğ., 1998). Çalışma alanında yüzeylenen Kavak üyesi kirli beyaz renkte olup, bu bazı yerlerde ise pembe renkli olarak gözlenmektedir. Kale etrafındaki tüflerle karşılaştırıldığında, Kale tuffleri liken kaplaması nedeniyle daha koyu renklidir.

Kapadokya bölgesine en yakın aktif fay, Ecemiş fay sistemidir. Bu fay sisteminin çalışma alanına yaklaşık uzaklığı 20 km'dir. Ecemiş fay zonu KD-GB yönlü doğrultu atımlı bir fay sistemidir. Türkiye'nin diğer bölgeleriyle karşılaştırıldığında, Kapadokya bölgesi, depremsellik açısından, daha düşük aktiviteye sahip bir bölgedir (Ulusay ve diğ., 2006). Bölgedeki en büyük deprem, 1940 yılında, çalışma alanının kuzeydoğusunda kalan Erciyes dağı civarında ve 5.2 büyüklüğünde meydana gelmiştir (Aydın ve Ulusay, 2003). Türkiye'nin Deprem Tehlike

Zon Haritası'na göre, çalışma alanı orta derecedeki tehlike zonu içerisinde yer almaktadır.

Çalışma bölgesinin doğal güzellikleri, tarihsel yapısının önemi kadar ilgi çekicidir. Genel olarak bakıldığında, Kapadokya bölgesine oluşan peri bacalarının ve ilginç yüzey şekilleri bölgedeki erozyon sonucu oluşmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen erozyon, su veya rüzgar, ya da her ikisinin birden etkisiyle oluşmakta ve bölgede yarıntı/yüzey erozyonu şeklinde gözlenmektedir. Yarıntı erozyonu ilerledikçe peri bacası morfolojileri oluşmaktadır.

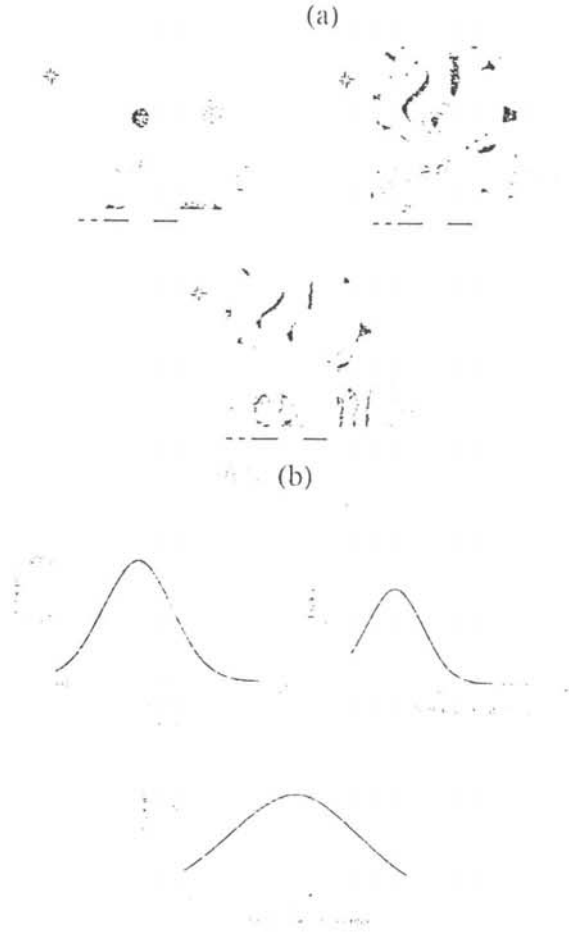
İnceleme alanındaki topografik yükseklik 1250 m'ye kadar çıkmakta ve yamaç eğimleri ise yaklaşık 75°'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 3). Bölgedeki yamaç yönelimleri ise genellikle KD/D ve GB/B yönündedir (Şekil 4).



Şekil 3. Bölgenin sayısal arazi modeli

3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmalarının ilk aşamasında, askıda duran veya ayrılmış oldukları gözlenen serbest bloklar belirlenmiş ve ölçekli planlar üzerine konumları işaretlenmiştir. Erişilebilir olan blokların boyutları yerinde belirlenmiş, diğerlerinin boyutları ise kalenin dört cephesinin de ayrıntılandırıldığı ölçekli planlar üzerinden hesaplanmıştır. Daha sonraki aşamada, kalenin K, G, D ve B cephelerinde ayrı ayrı süreksizlik hat ettüleri yapılmış, ayrıca düşme tehlikesi bulunan blokları kontrol eden süreksizlikler belirlenmiştir (Şekil 5) süreksizlik hat ettülerine göre; Ortahisar kalesindeki blokları kontrol eden için dört ana süreksizlik seti bulunmaktadır. Eğim-eğim yönlerine göre süreksizlik setleri sırasıyla; 76/078, 76/310, 85/025, 53/153 olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Süreksizlikler, oldukça yüksek devamlılığa (>20 m). 0.1 mm'den >10 cm'ye kadar açıklığa (çok sıkıdan, oldukça geniş açıklığa kadar) sahiptir. Süreksizliklerde herhangi bir su akışına rastlanmamıştır (ISRM, 1981). Bazı bölümleri likenle kaplı olan kalede düşük dereceden orta dereceye kadar bozunma belirlenmiştir. Süreksizlik yüzeyleri ondülasyonlu pürüzlü - basamaklıdır ve bu yüzeyler dolgu malzemesi içermemektedir. Süreksizlik aralıkları değişken olup, ortalama



Şekil 4. (a) İnceleme alanının yükseklik, yamaç eğimi ve yamaç yönelimi haritaları, (b) sayısal arazi modelinden üretilen parametrelerin histogramları

aralık değeri 2.81 m olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

Arazi çalışmalarının son aşamasında, düşmüş olan blokların yerleri belirlenmiş ve katettikleri mesafeler ölçülmüştür. Ayrıca kalenin dört cephesinden laboratuvar deneyleri için ayrı ayrı blok örnekler alınmış ve erişilebilir noktalarda Schmidt sertlik çekici deneyleri yapılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında ayrıca, kaya düşme analizlerinde girdi parametresi olarak kullanılacak olan morfolojik ve yüzey özellikleri belirlenmiştir. Analizlerde topografik yüzeyler toprak ve bitki kaplı olarak tanımlanmıştır.

Ortahisar Kalesi
(Doğu Cephesi)



Şekil 5. Düşme tehlikesi bulunan blokların ve düşmüş bloğun konumları ve ağırlıkları (Doğu Cephesi)

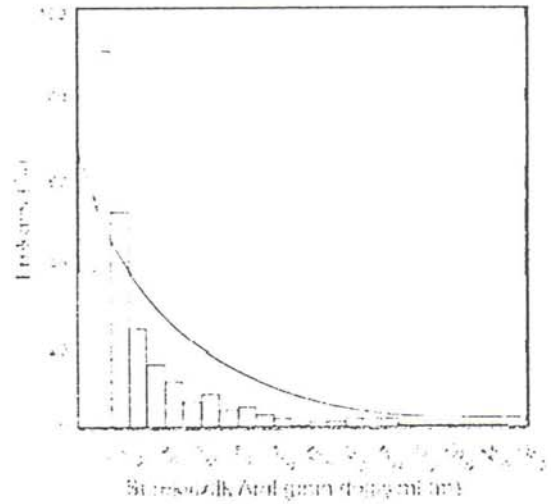
alınmış örnekler üzerinde her biri için dokuz adet deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Ana süreksizlik setlerinin kontur diyagramı

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Ortahisar Kalesi ignimbiritlerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyler ISRM (1981)'e göre yapılmış olup, kalenin dört cephesinden de



Şekil 7. Süreksizlik aralığı dağılım histogramı

Çizelge 1. Örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine ilişkin sonuçlar

Özellikler	Ortalama	Standart Sapma
Birim hacim ağırlık (kN/m^3) ıslak	16.36	± 0.1
Birim hacim ağırlık (kN/m^3) kuru	14.35	± 0.13
Disk makaslama (MPa)	4.7	± 0.4
Porozite (%) (Suda doyurma ile)	20.39	± 0.31
Sonik Hız (m/s) ıslak	2680.52	± 30.88
Sonik Hız (m/s) kuru	2854.47	± 45.06
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) (kuru)	17.3	± 2.18
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) (ıslak)	14.5	± 2.01
Schmidt çekici deneyi (geri sıçrama N deę.)	36	± 4.1

5. KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Ortahisar Kalesinde meydana gelen kaya düşmelerinin mekanizmasının ve düşme potansiyeli olan blokları kontrol eden süreksizliklerin belirlenmesinin ardından, kaya düşmesi analizlerinde kullanılmak üzere serbest blokların boyutları ve konumları ölçekli planlar üzerinden belirlenmiştir ve arazi gözlemleri ile denştirilmiştir. Kalede, süreksizlik yönelimleri ve aralıklarına bağlı olarak, çeşitli boyut ve ağırlıkta 9 adet serbest blok belirlenmiştir. Blokların hesaplanan ağırlıkları 3.2 ton ile 38 ton arasında değişmektedir. Her bir blok için belirlenen ağırlık, blok hacmi ve birim hacim ağırlık değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Kaya düşme analizleri, serbest blokların düşmeleri halinde gidebilecekleri en uzak mesafe, sıçrama yüksekliği, toplam kinetik enerji ve yanıl hızlarını belirlemeye yönelik gerçekleştirilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9). Ayrıca analizler, düşme tehlikesi olan blokların önlerinde herhangi bir engel olmadan ve etraftaki evlere çarparak düşmeleri koşulları için ayrı ayrı yapılmıştır. Bunun yanı sıra, kaya düşmesi analizlerinde arazi çalışmaları sırasında belirlenen düşmüş blokların konumları, boyutları ve durma mesafeleri de dikkate alınmıştır.

Kaya düşme analizlerinde girdi parametresi olan geri verme katsayısı arazide gerçekleştirilen düşme deneyleriyle belirlenebilmekle birlikte (Topal ve diğ.,

2006). Ortahisar kalesi etrafındaki yerleşimin çok yakın olması ve kale etrafında ziyaret amaçlı turist sayısının yoğunluğu nedeniyle, bu çalışma kapsamında tehlikeli olabileceği düşünülerek arazide düşme deneyleri yapılamamıştır. Bu nedenle, Ulusay ve diğ. (2006) tarafından, aynı bölgede kaya düşme analizlerinin de yapılmış olduğu çalışmada belirlenen geri verme katsayısı değeri kullanılmıştır. Buna göre geri verme katsayısı değerleri 0.74 ile 0.57 olarak kullanılmıştır. Ayrıca profil pürüzlülüğü 2 olarak alınmıştır. Analizlerinde kullanılan girdi parametreleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Kaya düşme analizlerinden elde edilen verilere göre; en uzak yatay durma mesafesi yaklaşık 133 m, sıçrama yüksekliği 25 m, en büyük kinetik enerji 38180 kJ ve en yüksek hız 29 m/s olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Yapılan bütün analizler, Rocfall V.4 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya düşme analizleri, kale cephelerinin tümünde belirlenen serbest bloklar için ayrı ayrı yapılmıştır. Düşme potansiyeli bulunan bloklardan bazıları her iki cephede birden gözlenmekle birlikte, bu bloklar sadece tek bir cephede değerlendirilmiştir.



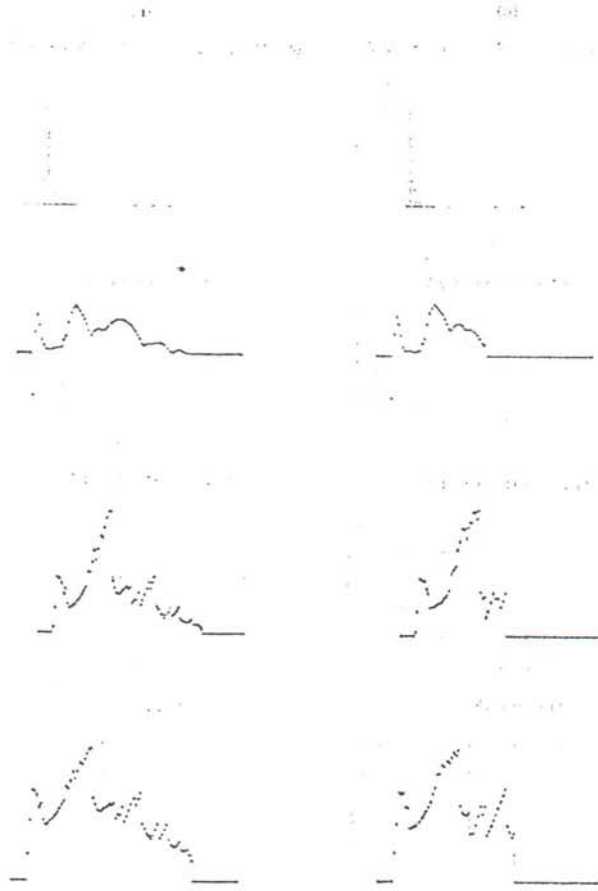
Şekil 8. Ortahisar Kalesi'nin kuzey cephesindeki 6. bloğun düşmesi durumunda (a) bloğun önünde hiçbir engel olmadığı durum, (b) çevredeki evlere çarpması durumu

Değerlendirmeler ve analizler kalenin batı (B), güney (G), doğu (D) ve kuzey (K) cepheleri için Bu analizler, kale cephelerinin tümünde belirlenen serbest bloklar için ayrı ayrı yapılmıştır (Bkz. Tablo 3).

Arazide belirlenmiş serbest blokların düşmeleri halinde katedebilecekleri en uzak mesafeler dikkate alınarak, kale çevresinde kaya düşmesi riski taşıyan alanlar için bir zon haritası oluşturulmuştur (Şekil 10).

Çizelge 2. Kaya düşme analizlerinde kullanılan girdi parametreleri

Parametreler	Değer
Kaya düşürme sayısı	1000
En düşük hız kesme değeri (m/s)	0.1
Normal geri verme katsayısı	0.57 ± 0.07
Teğetsel geri verme katsayısı	0.74 ± 0.07
İçsel sürtünme açısı (Φ)	35°
Profil pürüzlülüğü	2
İlk hız (m/s)	1 ± 0.5

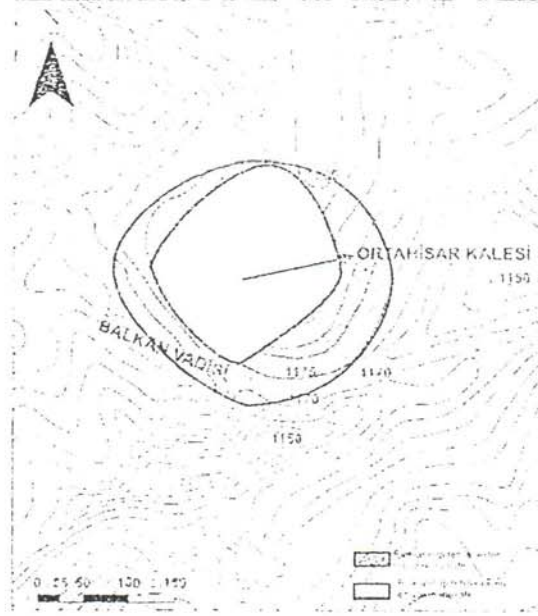


Şekil 9. Ortahisar Kalesi'nin kuzey cephesindeki 6. bloğun düşmesi durumunda kat edeceği mesafe, sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerjisi, yanıl hızı (a) bloğun önünde hiçbir engel olmadığı durum, (b) çevredeki evlere çarpması durumu

Çizelge 3. Kaya düşmesi analiz sonuçlarına göre elde edilen kat edeceği mesafe, sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerjisi, yanıl hız değerleri (K: kuzey, G: güney, D:doğu, Batı: batı,)

Ortahisar Kalesi	Blok No.	Düşen Kayanın Ağırlığı (kg)	Yatay Durma Mesafesi (m)	Sıçrama (m)	Kinetik Enerji (kJ)	Yanal Hız (m/s)
D	1	38000	133.75	22.34	12137.132	25.17
D	2	9500	72.68	14.34	1476.008	17.62
G	3	5000	47.57	25.13	1343.405	23.18
G	4	3200	60.87	22.73	861.458	23.15
G	5	7000	103.43	11.70	1722.726	21.31
K	6	7500	80.5	15.42	2170.333	23.85
K	7	8000	81.33	23.21	3505.998	29.22
B	8	5000	70.62	8.56	803.540	17.92
B	9	9200	100.62	17.84	38180.775	28.81

Bu zon haritasına göre: düşme tehlikesi bulunan blokların, yerleşim yerlerine ve turistik amaçlı geziler nedeniyle günün her saati insan yoğunluğunun olduğu bölgelere kadar ulaşabileceğini göstermektedir



Şekil 10. Kaya düşmelerini oluşturabilecek serbest blokların düşmeleri halinde gidebilecekleri en uzak mesafe ve en yakın mesafeler için tehlike zonları

6. SONUÇLAR VE YORUM

Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelere göre, düşme tehlikesine sahip blokların düşmeleri halinde 47 m ile 133 m arasında bir yatay mesafe katedecekleri sonucuna ulaşılmıştır. Blokların düşme sırasında kazandıkları hız ve boyutları da dikkate alındığında, son derece tehlikeli bir enerjiye ulaşabilecekleri sonucuna varılmıştır. Analizler sonucunda kaya düşme tehlikesi haritası üretilmiştir. Bu haritaya göre (Şekil 10) özellikle Balkan vadisi kenarındaki yerleşim yerleri ile eğimin daha az olduğu doğu/güneydoğu kesimlerde bulunan yerleşim ve turistik amaçlı dinlenme yerleri tehlikeli bölgenin sınırları içerisinde kalmaktadır. Balkan vadisinin bulunduğu batı/güneybatı kesimlerde, düşen ya da düşme potansiyeli bulunan bloklar, özellikle burada bulunan evlere çarparak ve dik yamaçtan en fazla vadi tabanına ulaşarak daha kısa mesafelerde

durmaktadır. Ancak, doğu/güneydoğu kesimlerde eğim batı kesimlerdekine oranla daha az olmasına rağmen, blok boyutları ve blokların önünde engellerin daha az olması nedeniyle, bu kesimlerde durma mesafeleri eğime düşüklüğüne rağmen daha fazladır.

Gerek Ortahisar kalesinin çevresindeki tarihi yapı, gerekse turizm potansiyeli düşünüldüğünde, kaya düşmeleri bu bölgedeki en önemli sorunlardan biridir. Tehlike zonu içerisinde kalan yerleşim yerleri her ne kadar boşaltılmış olsa da, tarihsel değerleri açısından çok önemli unsurlardır ve korunmaları bölgenin turizm potansiyeli açısından büyük önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra, kaya düşmeleri, kale çevresini ziyaret eden ve hatta güvenlik önlemleri nedeniyle ziyarete kapatılmış olmasına rağmen, halen kaleye kontrolsüz biçimde çıkan turistler için de ciddi bir tehlike oluşturmaktadır.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Y.Mimar Faruk Sağcan ve Ortahisar Belediyesi Fen Memuru Lokman Atılğan'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Aydan O., Ulusay R., 2003, Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. Eng Geol. Vol. 69, 245-272.

Doyuran V., 1976, Environmental geology problems of Ortahisar (in Turkish). TJK Bülteni, Vol. 19, 83-88

ISRM 1981, Rock characterization, testing and monitoring: suggested methods. International Society for rock mechanics. In: Brown ET (ed) Pergamon Press, Oxford, 211 p.

Pasquare G., 1968, Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. Memorie, serie. 8, Vol. 9, Fasc. 3, Roma, 57-201.

Ulusay R., Gökçeoğlu C., Topal T., Sönmez H., Tuncay E., Ergüler Z. A., Kasıncı

Yazar Özgeçmişi

M.Celal Tunusluoğlu 15 Haziran 1972 Ankara doğumludur. 1994-1998 yılları arasında Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimi gören yazar, 1998 yılında gene aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı ve 1999 yılında da Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2001 yılında aynı bölümde doktora eğitimine başlayan yazarın doktora tez konusu "Barla-Beşparmak-Kapı Dağlarının Kuzey Yamaçlarındaki Moloz Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin ve Moloz Akma Mekanizmasının Araştırılması"dır. Yazar halen Hacettepe Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

2006, Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey. Environ. Geol. Vol. 50, 473-494.

Temel A., 1992, Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik petrokimyasal özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 208 s. (yayımlanmamış).

Temel A., Gundogdu MN., Gourgauud A., Le Pennee J.L., 1998, Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia-Turkey), petrology and geochemistry, J Volcanol Geotherm Resour Vol. 85, 447-471.

Topal T., Dooyuran V., 1997, Analyses of deterioration of the Cappadocian tuf, Turkey. Env. Geol., Vol. 34 (1), 5-20.

Topal T., Akin M., Ozden A.U., 2006, Assessment of rock fall hazard around Afyon Caste, Turkey. Environ Geol., 10.1007/s00254-006-0633-2.