

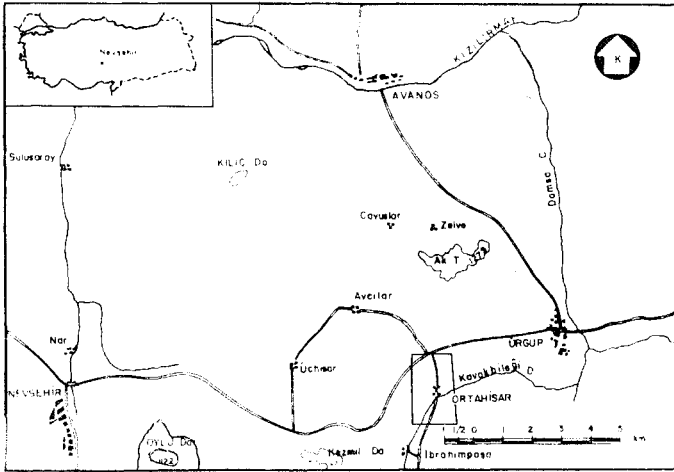
Ortahisar'ın çevresel jeolojik sorunları

Environmental geology problems of Ortahisar

VEDAT DOYURAN *Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*

ÖZ: Çalışmanın amacı, Ortahisar kasabasının çevresel sorunlarına jeolojik bir yaklaşımla eğilmektir. Ortahisar kasabasını simgeleyen kaleden kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış bazı mağaralardaki göçme olasılıkları başlıca sorunları oluşturmaktadır. Yörede, Neojen yaşlı akıntı tüfleri ve sünger taşı akıntıları egemendir. Akıntı tüflerinin kaynaklı kısımlarından oluşan kale, aşırı oyulmalar sonucu, dayanımını yitirerek kaleyi çevreleyen konutları tehdit etmektedir. Bu nedenle, kale çevresinde bir afet alanı saptanmış ve bu alanın düzenlenmesi önerilmiştir. Düşen blokların sıçramasını önlemek amacı ile afet alanının sünger taşı akıntıları ile örtülmesi gerekmektedir. Mağara göçmelerinin en önemli nedenleri olarak yağış sularının sızarak mağara tabanlarında küçük göletler oluşturmasını, sel sularını ve yeni inşa edilen konutlardan doğan yüklemeleri görmekteyiz. Bunun için mağaraların akaçlanması, çatlakların kapatılarak sızıntıların önlenmesi, sel sularının yönlendirilmesi ve bazı mağara tavanlarının desteklenmesi gerekmektedir.

ABSTRACT: The study aims to give a geological approach to the environmental problems of the Ortahisar town. The major problems encountered include the rockfalls from the castle, which symbolizes the town, and the possible failure of the roofs of the caves dwelled for accomodation purposes. The dominating- rock types of the area include the ash-flow tuffs and the pumice flows of Neogene age. The castle, which is made of the welded portions of ash-flow tuffs, had almost lost most of its strength due to excessive dwellings and now acts as a potential hazard for the buildings that surround it. For this reason, a fallout area is established around the castle and the levelling of this area is proposed. In order to avoid the jump of the falling blocks, the fallout area must be covered with a blanket of pumice flows. The major causes of cave failure include the seepage of rain water and the accumulation of small ponds on the floors of the caves, the runoff, and the surcharge load exerted by the newly built houses on top of the caves. It is thus necessary to drain the caves, to seal the fractures to prevent seepage of rain water, to collect and canalize the runoff, and to support the roofs of some caves.



Şekil 1: Buldum haritası.
Figure 1: location map.

GİRİŞ

Orta Anadolu Neojen volkanizmasının bazı piroklastik ürünleri, ilginç morfolojik şekillerin oluşumuna olanak sağlamıştır. Halk arasında "peri bacaları" olarak adlandırılan bu oluşumların en tipik örneklerini Nevşehir-Ürgüp-Avanos üçgeni içinde görmekteyiz (şekil 1). Peri bacaları, tarihsel Bizans kiliseleri ve yapay mağaraları ile bu yöre çok sayıda yerli ve yabancı turistin ilgisini çekmektedir. Bu yörenin önemli turizm merkezlerinden biri de, Nevşehir'in 15 km doğusunda yer alan Ortahisar'dır. Kasabayı simgeleyen ve "Ortahisar Kalesi" olarak anılan doğal anıtın yanı sıra, vadi yamaçlarında açılmış mağaralar, burada ilk yerleşmiş olan halka uzun yıllar konut teşkil etmiştir.

Yıllardır doğa ile iç içe yaşayan bir kısım Ortahisarlılar artık doğadan kopma hazırlıkları içindedirler. Uzun yıllar yerleşilmiş olan mağaralar ve aşırı oyulma sonucu gücünü yitiren kale artık doğal güçlere boyun eğmek durumundadır. Özellikle atmosferik olaylar ve yer çekiminin etkin olduğu bu doğal güçler, bazı mağaralarda göçmelere ve kalede ise kaya düşme olasılıklarına yol açmaktadır.

Çalışmanın amacı, bir kısım Ortahisarlıların yaşantısını tehdit eden kaya düşmesi ve mağaralardaki göçme sorunlarına jeolojik bir yaklaşımla eğilmek, afet alanının kesin sınırlarını belirlemek ve bu sorunları önleyici tedbirleri saptamaktır.

Ortahisar kasabasının sorunları, daha önce değindiğimiz üçgen içinde yer alan bazı yerleşme merkezleri ile ortak özellik taşımaktadır. Bu nedenle, buradan elde edeceğimiz bazı sonuçlar diğer yöreler için de geçerli olabilir.

YÖNTEM

Sorunların kökenine inebilmek amacı ile, ilk olarak, araştırma alanının jeolojisi incelenmiştir. Bu amaçla, Ortahisar ve yakın dolaylarının 1:5000 ölçekli jeolojik haritası yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında, aynı kayaç birimi içindeki farklı oluşumlar ayırtlanmış ve morfolojik oluşumların nedenleri açıklık kazanmıştır.

Araştırmanın ikinci aşamasında, Ortahisar kalesi ve yapay mağaralardaki sorunlar ele alınmıştır. Kalede görülen çatlaklar incelenmiş, gerek kale içinde ve gerekse vadi yamaçlarında açılmış mağaraların duvar ve tavan kalınlıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Kaya düşme olasılıkları incelenerek, kale çevresinde bir afet alanı ve bu alanın sınırları saptanmıştır. Bu alanın, güvenlik koşulları göz önüne alınarak, en aza indirilme olasılıkları araştırılmıştır.

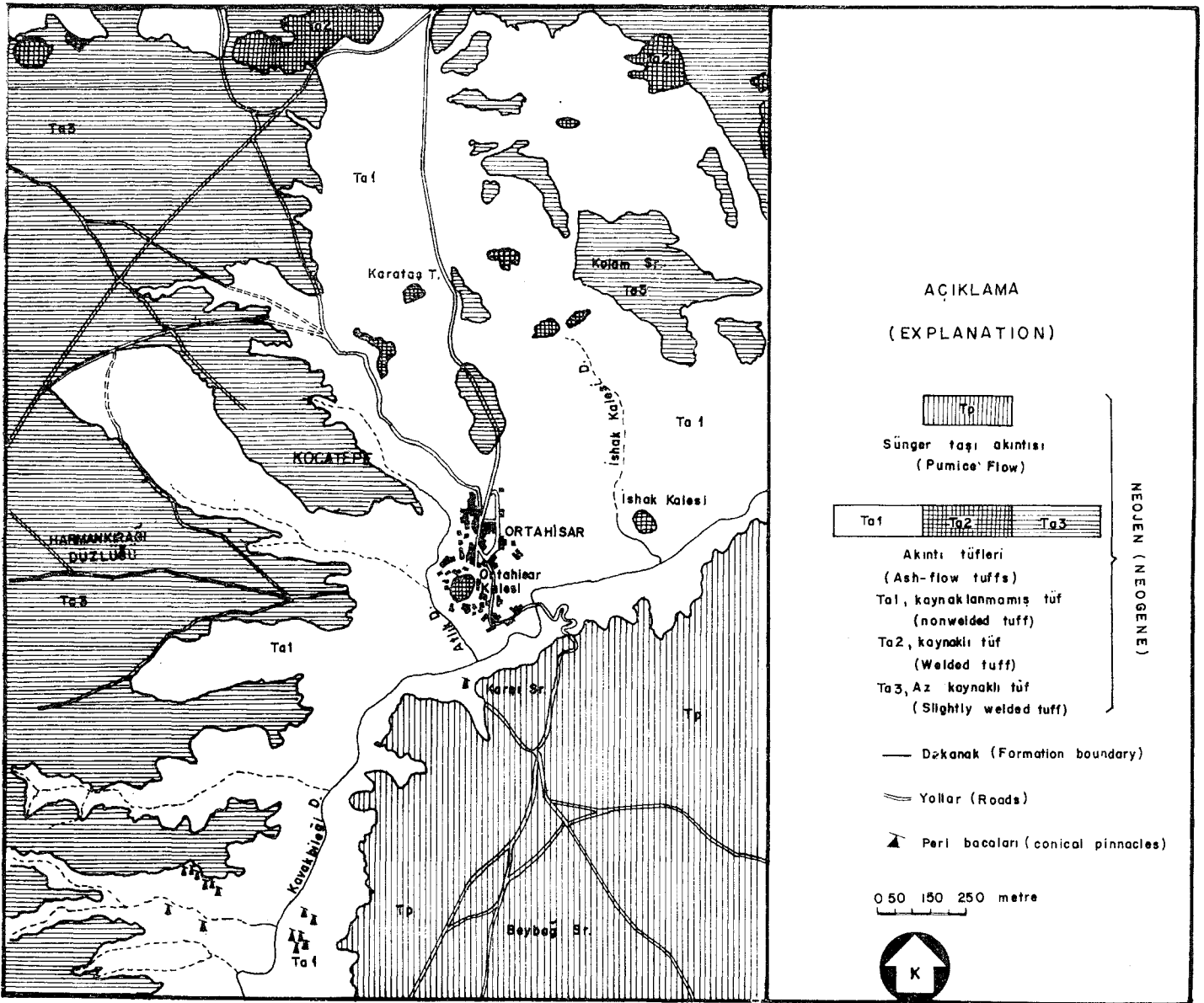
JEOLÖJİK DURUM

Orta Anadolu Neojen volkanizması bir çok yer bilimcinin ilgisini çekmektedir. Özellikle Erciyes Dağı ve Hasan Dağı gibi önemli volkan konileri 1840 lardan beri yer bilimciler için morfolojik, jeolojik ve petrografik araştırmalara konu olmuştur.

Kayseri ve Nevşehir dolaylarında 1:25 000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde ilk ayrıntılı jeolojik çalışmalar Pasquare (1968) tarafından yapılmıştır. Kayseri, Nevşehir ve Niğde yörelerinde yaygın yüzlekler veren volkanitler ve sedimanlar Pasquare (1968) tarafından Ürgüp Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon, yine aynı araştırmacı tarafından, yine aynı araştırmacı tarafından, onsekiz birime ayrılmış ve her birim ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ürgüp Formasyonu'nun alt düzeylerinde görülen Kavak üyesi, Orta Anadolu Neojen volkanizmasının ilk ignimbitik (kaynaklı tüf) aktivitesini belirlemektedir. Kavak üyesi, araştırma alanımızın en yaygın birimini oluşturmaktadır.

Nevşehir-Ürgüp-Avanos üçgeni (şekil 1) içinde yaygın olarak gördüğümüz peri bacaları, Kavak üyesini simgelemektedir. Kavak üyesini oluşturan kaynaklı tüfler Pasquare (1968) tarafından lahar (volkanik çamur akıntısı) olarak tanımlanmıştır. Ancak, 1:5000 ölçekli jeolojik harita alımı sırasında elde edilen veriler ve alınan kayaç örneklerinden yapılan ince kesitler bunların lahar olmayıp tipik akıntı tüfleri (ash-flow tuffs) olduğunu kanıtlamaktadır.

Akıntı tüfü sözcüğü, tamamen ve/veya kısmen kaynaklanmış kül akıntılarını içeren geniş kapsamlı bir sözcüktür. Burada, volkan küllerinin akma olayı lahar gibi sulu bir ortamda olmayıp, yüksek sıcaklıkdaki gaz ve piroklastiklerin



Şekil 2: Ortahisar ve çevresinin jeolojik haritası.

Figure 2: Geological map of Ortahisar and it's vicinity.

oluşturduğu turbülant bir ortamda gerçekleşmektedir. Bu yayılma mekanizması, ilk kez Reynolds (1954) tarafından benimsenmiştir.

Kavak üyesini oluşturan akıntı tüfleri, kaynaklanma derecelerine göre üç kısma ayrılmıştır. Kaynaklanmamış akıntı tüfleri, çalışma alanındaki engebeli topografyayı oluşturmaları nedeniyle kolaylıkla ayırtlanmaktadır. Örneğin, Kavak-bileği Deresi ve kollarının oluşturduğu vadi yamaçları ile Ortahisar kasabasının kuzey ve kuzeydoğusundaki engebeli alanlar (şekil 2). Bu tüfler kolaylıkla işlenebilmekte ve konut amacı ile açılan mağaralar ile narenciye ürünleri için açılan soğuk hava depoları bunlar içinde yer almaktadır. Az kaynaklı kısımlar ise, çalışma alanındaki düzlükleri oluşturmak-tadır. Örneğin, Kolam sırtı, Kocatepe, Harmankırağı düzlükleri gibi (şekil 2). Aşınmaya daha dayanıklı olmaları nede-niyle, kaynaklı tüfler, birer kalıntı tepe görünümündelerdir.

örneğin, Ortahisar kalesi, İshak kalesi, Karataş Tepe gibi (şekil 2). Kavak üyesinin kaynaklanmamış ve çok az kaynaklanma gösteren kısımları için Fenner (1948) tarafından önerilen "sillar" sözcüğünü kullanabiliriz.

Ortahisar dolaylarında görülen akıntı tüflerinin en tipik özelliği, volkan külünden oluşmuş bir çimento içinde fazlaca sünger taşı ve az sayıda volkanit parçalarının bulunmasıdır. Volkanitler genellikle lapilli boyutunda olup kayacın %5 kadarını oluşturmaktadır. Sünger taşı ise lapilli ve blok boyutlarındadır.

Kötü boyulanmalı ve 10-20 m'lik birimler şeklinde izlenen akıntı tüfleri arasında yer yer 2-3 m kalınlıkta kül çökeltileri bulunmaktadır. Yatay ve yataya yakın bir tabakalanma gösteren bu kül çökeltileri, gerçekte masif olan akıntı tüflerinin de tabakalı olduğu kanısını uyarmaktadır.



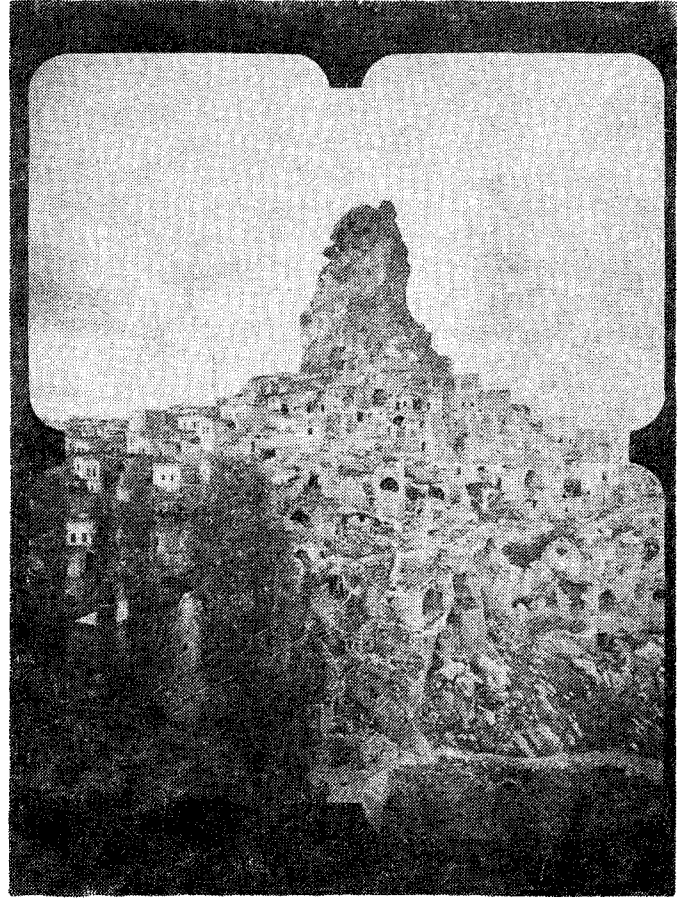
Şekil 3: Ortahisar kalesindeki düşey atımlı fay.
Figure 3: A normal fault in the Ortahisar castle.

Kavakbileği Deresinin güneyindeki Beybağ sırtında yüzlek veren yatay birim %95 dolayında sünger taşı ve %3-4 dolayında volkanit parçacıklarından oluşmuştur. Sünger taşı akıntısı olarak adlandırdığımız bu birim, bağlayıcı çimentosu olmayışı nedeniyle son derece gevşek olup geçirimsizliği de çok fazladır. Sünger taşı akıntısının görünür kalınlığı 40 m' den fazladır ve akıntı tüflerini örtmektedir.

YAPISAL JEOLJİ

Akıntı tüfleri, içerdikleri kül çökelleri nedeniyle, yatay birimler şeklinde görülmektedir. Çalışma alanında kolaylıkla izlenebilen kül çökelleri genellikle yatay ve yataya yakın tabakalarına göstermektedir. Bu nedenle, Kavak üyesinin önemli tektonik hareketlere hedef olmadığı kabul edilebilir.

Akıntı tüfleri yer yer eklem ve çatlaklarla katedilmişlerdir. Ancak, bu eklem ve çatlaklar tektonik kökenli olmayıp volkan küllerinin soğumaları sırasında oluşmuştur. Bazı çatlaklarda 0,10 - 1,5 m dolaylarında düşey atımlar görülmektedir. Bu gibi çatlaklarda sürtünme deformasyonlarının görülmeşi, çatlakların sıkı ve süresiz oluşu ve düşey atımların yalnız mevcut çatlaklar boyunca görülmeleri nedeniyle,



Şekil 4: Ortahisar Kalesinin genel görünümü.
Figure 4: Ortahisar Castle in general view.

hareketi oluşturan güçlerin tektonik kökenli olmayıp gravite sonucu oluştuğunu kanıtlamaktadır. Bu şekilde oluşmuş bir fay Ortahisar kalesinde de görülmektedir (şekil 3). Bu faylar, süresiz oluşları nedeniyle, Jeolojik haritada gösterilememiştir.

MORFOLOJİK DURUM

Ortahisar dolaylarında, morfolojik şekillerin kayca türleri ile çok yakın ilişkisi olduğu görülmektedir. Genellikle az kaynaklı tüflerin oluşturduğu düzlükler, kaynaklı tüflerin oluşturduğu kalıntı tepelikler ve sularlarda görülen engebeli morfoloji bu görüşü kanıtlamaktadır.

Kavak üyesini simgeleyen peri bacaları genellikle Kavakbileği deresi ve kollarının oluşturduğu vadi içlerinde görülmektedir. Peri bacalarının oluşumunda litojinin yanı sıra eklem ve çatlakların da etken olduğu görülmektedir.

ORTAHİSAR KALESİ VE SORUNLARI

Ortahisar kasabasını simgeleyen yaklaşık 60 m yükseklikteki kale, akıntı tüflerinde görülen farklı aşınmanın doğal bir sonucudur (şekil 4). Kale için büyük ölçekte bir peri bacasıdır denilebilir.

Ortahisar kalesinde başlıca sorunlara yol açan oluşumları doğal ve yapay olmak üzere iki kısımda ele alabiliriz. Doğal

oluşumlar olarak çatlaklar ve eklem sistemlerini; yapay oluşumlar olarak da kale içindeki aşırı oymaları (mağaralar) görmekteyiz.

Kaleyi oluşturan kaynaklı tüfler yer yer çatlaklarla kesilmiştir. Çatlak genişlikleri birkaç milimetreden bir kaç santimetreye kadardır. Kayacın heterojen oluşu nedeniyle, çatlaklar boyunca pürüzlü yüzeyler oluşmuştur. Çatlakların genişlemesi, büyük bir olasılıkla, buralara sızan yağış sularının donarak buz kamaları oluşturması ile gerçekleşmektedir. Bugün için Ortahisar kalesinden kaya düşme sorunu sadece eğimli ve geniş çatlaklarla sınırlanmış bloklar için söz konusudur.

Kalenin alt kısımlarında görülen kolonlu eklem sistemi önemli sorun yaratmamaktadır. Buradan düşebilecek bloklar fazla hız kazanmadan kolaylıkla kontrol edilebilir.

Uzaktan bakıldığında sağlam bir görünüme sahip olan kale, içinde açılmış mağaralar nedeniyle zayıf bir yapıya sahiptir. Mağaraların duvar ve tavan kalınlıkları genellikle 25 cm'den az olup, bazı yerlerde, özellikle pencere amacı ile açılmış kısımlarda, bu kalınlık 10 cm'ye kadar inmektedir. Bu nedenle, kalede görülen çatlaklar daha da etkin olabilmektedir. Bugün, dış duvarların yıkılmış olması nedeniyle bazı mağaraların açığa çıktığı görülmektedir. Ortahisar kasabasının yaşlıları tarafından burada son yarım yüzyıldan beri hiç bir kaya düşmesinin görülmediği kesinlikle belirtilmiştir. Ancak bunlar kişisel görüşler olup, kalenin geleceği hakkında kesin yargıya varabilmesi için yeterli değildir.

Ortahisar kalesinde bugün için en önemli sorun olarak kaya düşme olasılıkları görülmektedir. Böyle bir olasılık daha çok kalenin üst kısımlarında vardır. Bu durumdan özellikle kaleyi çevreleyen evlerin etkileneceği doğaldır. Ancak, 50-60 m yüksekten düşecek kaya parçaları bu düşüş sırasında büyük bir hız kazanacak ve çarpmayı izleyen sıçramalar sonucu daha geniş bir alan **etkilenebilmektedir**.

ATLIK BERESİ SORUNLARI

Atlık Deresinin vadi yamaçlarında çok sayıda mağaralar açılmıştır. Bugün bu mağaraların pek çoğu yerleşilmiş olup sadece kalenin güneybatısındakiler boşaltılmıştır. Bu kısımlarda, Atlık Deresi vadi yamaçlarının daha dik olduğunu görmekteyiz.

Vadi boyunca çok sayıda mağara incelenmiş ve göçme olaylarının, terk edilen mağaralarda daha yoğun olduğu görülmüştür. Sillar olarak tanımlanan kaynaklanmamış tüflerde açılan bu mağaralardaki göçmelerin nedenleri şu şekilde açıklanabilir:

a. Boşaltılan mağaralar genellikle vadi yamaçlarının daha dik olduğu yerlerde görülmektedir. Sel suları buralarda daha etkin olmakta ve büyük zarara yol açmaktadır.

b. Mağaraların yerleşilmemiş olması nedeniyle, çatlaklar boyunca sızan yağış suları mağara tabanlarında birikmekte ve zamanla kayacın bağlayıcı maddesini gevşeterek göçmelere yol açmaktadır.

c. Mağaraların tavan ve duvarlarındaki sıvaların düşmesi sonucu açığa çıkan ana kayaç, neme doğrudan hedef olmaktadır. Bu ise, sularla, kimyasal ayrışmayı hızlandırmaktadır.

d. Mevcut mağaralar üzerinde inşa edilen konutlar yeni yüklemelere yol açmaktadır.

e. Boşaltılan mağaralardan konut inşası amacı ile yapı taşı temini yoluna gidilmesi, bu mağaraların göçme **hızını** artırmaktadır.

Boşaltılan mağaralardaki göçmeler, bu mağaralar üzerinde inşa edilmiş konutları ve henüz boşaltılmamış diğer mağaraları da etkilediği için, bu sorun önemini korumaktadır.

ÖNLEYİCİ TEDBİRLER

Ortahisar Kalesi

Kaya düşmelerini önlemek amacı ile bugüne dek bir çok yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin, kayaları gergi çubukları ile tutma; tel ağlar ile kaplama, çemberlerle koruma gibi. Ancak, bu yöntemler Ortahisar kalesi için geçerli olamamaktadır. Bugün için düşme olasılığı gösteren blokların gergi çubukları ile tutturulması olanaksızdır. Çünkü kale aşırı derecede oyulmuştur ve mağara duvarları bu amaç için yeterli kalınlıkta değildir. Kalenin tel ağlar ile korunması özellikle estetik ve işlev yönünden sakıncalıdır. Daha önce Ortahisar kasabasının turizm yönünden önemi belirtilmişti. Özellikle kale, çok sayıda turist tarafından gezilmektedir. Ayrıca kale Ortahisar ve dolaylarının görkemli bir görünümünü sağlamaktadır. Kalenin çemberlerle korunması ise yeterli çözümü getiremez. Çünkü bir taş düşmesi bile beklenmedik bir olaya yol açabilir. Bu nedenlerle, kaya düşmelerini önlemek yerine, düşen kayaların etkin olabileceği alanı en aza indirmeye yöntemi **daha** güvenceli çözüm getirecektir.

Kaya düşmelerinde, salt etki alanının (bu alan, kalenin eteğinden başlayıp en uzağa düşebilecek kaya parçalarını da içeren alan olarak tanımlanabilir) genişliğini değil, aynı zamanda yere düştükten sonra sıçrayan parçaların kazandığı açılma hızı azaltma yöntemleri de göz önüne alınmalıdır. Normal olarak, serbest düşme gösteren bir kaya parçasının düşüş sırasında fazlaca dönme kaydetmediği saptanmıştır (Ritchie, 1963). Ancak, düşen blok yere çarptıktan sonra sıçrayacak ve özellikle çarpma yüzeyi eğimli ise, blok büyük bir dönme hızı kazanacaktır. Eğer aynı blok çarpışma kuvvetini kısmen azaltabilecek bir yüzeye çarparsa, sıçrama uzaklığı ve bloğun kazanacağı açılma dönüşünde önemli bir azalma beklenebilir.

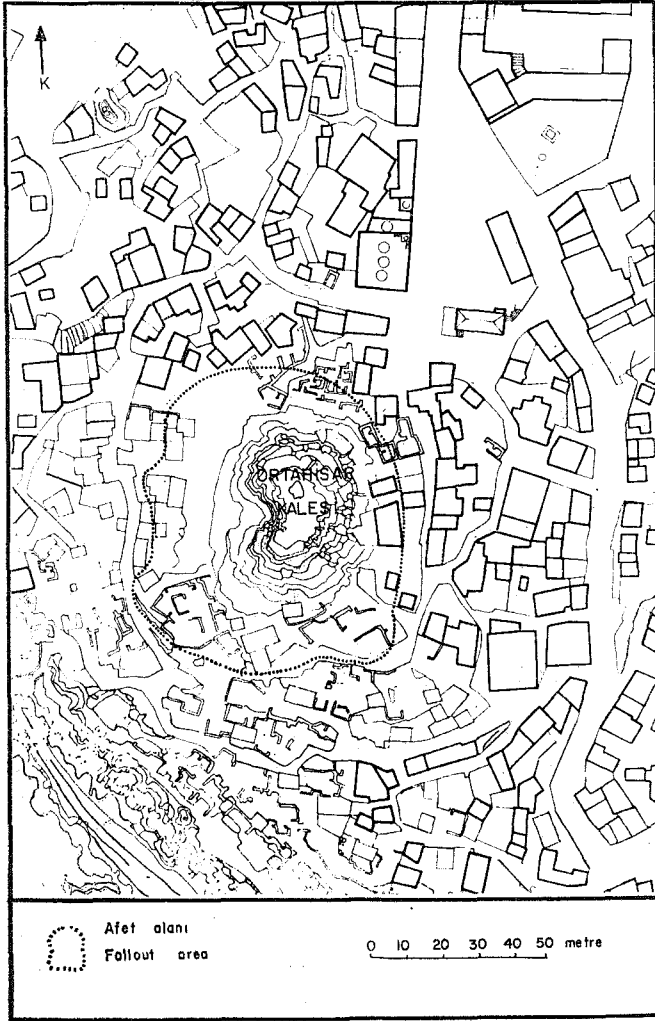
Ortahisar kalesinde, ilk olarak, düşme olasılığı fazla olan blokların gerekli güvenlik önlemleri alınarak düşürülmesi gerekmektedir. İleride sorun oluşturabilecek blokları belirli bir alanda tutmak ve bu alan dışında kalan konutları korumak gerekir. Bu amaçla, şekil 5'deki topoğrafik haritada afet alanı belirlenmiştir. Bu alan, yerinde yapılan incelemeler sonucu saptanmıştır.

Afet alanı olarak tanımladığımız alan içine düşecek blokların sıçramasını önlemek amacı ile aşağıdaki işler önerilmiştir:

a. Afet alanının içinde kalan konutların boşaltılması ve bu alanın düzlenmesi,

b. Düşen bloğun sıçramasını önleyecek veya en aza indirgeyecek önlemlerin alınması gereklidir. Bunun için, düzleme sonucu açığa çıkan taban kayacın, çarpma sırasında oluşacak şoku kısmen emebilecek bir örtü ile kaplanması yararlıdır. Bunun için Beybağ sırtındaki sünger taşı akıntısından veya kale çevresindeki molozlardan yararlanabiliriz.

c. Çarpma, sonucu sıçrayan parçaların afet alanı dışında kalan konutları etkilememesi için bu alanın dayanma duvarları ile sınırlanması gerekebilir.



Sekil 5: Kale çevresindeki afet alanı.
Figure 5: The fallout area surrounding the castle.

Atlık Deresi Mağara Göçmeleri

Atlık Deresi vadisinin doğu yamacında açılan çok sayıda mağaraların bakımsızlık nedeniyle göçme olasılıklarından söz edilmişti. Bunun sonucu, boşaltılmamış diğer bazı mağaralar üzerinde inşa edilen konutlar da etkilenmektedir.

Mağara göçmelerinin en önemli nedenlerinden biri olarak yağış sularının çatlaklar boyunca sızarak, mağara tabanlarında birikmesini göstermişti. Bu nedenle, mağaraların akçe-laoması ve sızıntıların önlenmesi gerekmektedir. Yerinde ya-

pılan incelemeler sonucu, mağaraların üst üste açılmış ve bir mağara tavanının bir üsttekinin tabanı olduğu saptanmıştır. Boşaltılan mağara tabanlarında açılacak deliklerle mağaraları bağlamak ve sızıntı sularının birikmesini önlemek mümkündür. Kullanılmakta olan mağaralarda ise, çatlakların geçirimsizliği sağlanarak sızıntıların önlenmesi ve mağara duvarlarının sıvanması yeterli görülmektedir.

Sağanak yağışlar sonucu oluşan sel sularının meydana getirdiği zarar ise, bu suların yönlendirilerek önenebilir. Saha çalışmaları sırasında, kısa süreli bir sağanak sonucu oluşan sel sularından çok sayıda konutun etkilendiği görülmüştür. Bu durum, böyle bir önlemin zamanında alınmayışı sonucu oluşmuştur.

Kullanılmayan ve göçme olasılığı görülen bazı mağaraların tavanlarının, çevrede bol olarak bulunan molozlarla desteklenmesi zorunludur. Böyle bir zorunluluk, özellikle üzerlerinde konut inşa edilen mağaralarda görülmektedir.

SONUÇLAR

Ortahisar kasabası ve yatan çevresinde yapılan jeolojik incelemelerden şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Litolojik birimler olarak, farklı kaynaklanma gösteren akıntı tüfleri ve sünger taşı akıntıları görülmektedir.
- Akıntı tüfleri önemli tektonik hareket geçilmemiştir.
- Ortahisar kalesinden kaya düşme olasılığı vardır. Ancak, kaya düşmelerini önlemek olanaksızdır. Bu nedenle, kale çevresinde bir afet alanı saptanmıştır. Bu alan içinde kalan konutların boşaltılması gereklidir. Ayrıca alanın düzlenerek, düşebilecek blokların sıçramasını önlemek için bir örtü ile kaplanması önerilmiştir. Örtü için en uygun geç çevrede bol olarak bulunan sünger taşı akıntılarıdır.
- Mağara göçmelerini önlemek için mağaraların akçe-laoması, çatlakların geçirimsizliği sağlanarak sızıntıların önlenmesi, mağara duvarlarındaki sıvaların korunması ve boşaltılan bazı mağara tavanlarının desteklenmesi önerilmiştir.

Yayıma verildiği tarih: Kasım, 1975

OEĞİNİLEN BELGELER

- Fenner, C.N., 1948, Incandescent tuff flows in southern Peru: Geol. Soc. America Bull., 59, 879-893.
- Pasquara, G., 1968, Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia: Accademia Nazionale Dei Lincei, Roma, Seri VIII, IX, 204 s.
- Reynolds, D.L., 1954, Fluidization as a geological process, and its bearings on the problem of intrusive granites: Am. Jour. Sci., 252, 577-613.
- Ritchie, A.M., 1963, Evaluation of rockfall and its control: Highway Research Record, 17, 13-28.