



## Ankara Kalesi ve civarındaki kaya şevleri için potansiyel duraysızlık haritası

*Potential instability map for rock slopes at Ankara Castle and vicinity*

**Murat ERCANOĞLU, Hüsnü AKSOY**

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA

### ÖZ

Ankara'nın Altındağ ilçesi sınırları içinde yer alan Ankara Kalesi ve civarındaki kaya şevlerinde yoğun bir yerleşim gelişmiştir. Bölgede düşey soğuma çatlaklarının geliştiği andezitler dik topoğrafik yükseltileri oluşturmaktadırlar. Kaya türü ve yerleşim özellikleri nedeniyle, bu alanda meydana gelmiş olan duraysızlıklar, zaman zaman hasara ve maddi kayıplara neden olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bölgedeki olası şev duraysızlıklarının kinematik analizlerle belirlenmesi ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yardımıyla bölgenin potansiyel duraysızlık haritasının hazırlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, doğal kaya şevleriyle ilgili gözlem ve ölçümlerin yanı sıra, süreksizlik hat etütleri ve örnekleme çalışmaları yapılmış ve üç adet egemen süreksizlik seti belirlenmiştir. Kinematik analizlerde kullanılan sürtünme açısı, süreksizlik yüzeyleri üzerinde laboratuvarında doğrudan makaslama deneyleri yapılarak tayin edilmiştir. İnceleme alanında gözlenen kama tipi bir duraysızlığın geriye dönük analizi ile bu değerler karşılaştırılmış ve değerlendirmeler sonucunda kinematik analizlerde sürtünme açısı 30° olarak belirlenmiştir. Kinematik analizlerin sayısal ortamda yapılmasına olanak sağlayan ve DIKA (Digital Kinematic Analysis) adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve bu program aracılığıyla; düzlemsel kayma, kama ve devrilme türü duraysızlıklar değerlendirilerek, inceleme alanı için potansiyel duraysızlık haritası oluşturulmuştur. Buna göre; bölgede alansal olarak % 28 devrilme, % 15 kama, % 10 düzlemsel kayma türünde duraysızlık potansiyelinin varlığı belirlenmiştir. Yüksek ve dik topoğrafya nedeniyle, olası duraysızlıkların gelişmesinden sonra, kaya düşmelerinin meydana gelmesi de olasıdır.

**Anahtar kelimeler:** Altındağ (Ankara), andezit, CBS, kinematik analiz, potansiyel duraysızlık haritası.

### ABSTRACT

*There is a dense population at the rock slopes of Ankara Castle and its vicinity, located at Altındağ town of Ankara. The rock type in the study area is vertically jointed andesite which forms steep topographical features. Due to the features of rock type and the site vicinity, instabilities sometimes cause casualties and damages. The aim of the present study is to investigate the probable modes of instabilities using kinematic analysis technique and to construct potential instability map of the study area with the aid of GIS (Geographical Information Systems). For this purpose, observations and measurements on natural rock slopes are carried out in conjunction with scanline surveys and sampling during the field studies and three major discontinuity sets are determined in the study area. Friction angle used in the kinematic analysis is obtained from laboratory direct shear tests carried out on the discontinuity surfaces. Test results are confirmed by limit equilibrium back analysis of a wedge type failure in the study area, and is accepted as 30° for the kinematic analysis. In order to perform the kinematic analysis in digital format, a computer program called DIKA (Digital Kinematic Analysis), is developed. Planar, wedge and toppling type of failures are assessed using this program, and potential instability map of the study area is then constructed. Based on the results from the produced instability map, 28 % of the study area is considered as potentially susceptible to toppling failure, while the areas potentially susceptible to wedge and planar failures are found as 15 % and 10 %, respectively. It is considered that potential instabilities can be transformed into rock falls after failures have occurred due to the presence of high and steep topographical features.*

**Key words:** Altındağ (Ankara), andesite, GIS, kinematic analysis, potential instability map.

## GİRİŞ

Ülkemizde büyük kentlerin karşı karşıya bulunduğu sorunların başlıcalarından biri, çarpık kentleşmedir. Özellikle 1950'li yıllardan başlayarak, 1980'li yıllarda ivme kazanan kentleşme, nüfus artışı ve göç hareketlerinin de etkisiyle, plansız ve çarpık kentlerin gelişmesine neden olmuştur. Bu gelişmeye koşturucu olarak, kentleşme süreci kapsamında, planlı yerleşimin gereklerinden biri olan ve bir bölge yerleşime açılmadan önce yapılması gereken yerleşim alanlarının jeo-mühendislik özelliklerinin belirlenmesi hususu gözardı edilmiştir. Dolayısıyla, jeolojik açıdan uygun olmayan alanlarda gelişen kentsel yerleşim, insan yaşamını ilgilendiren önemli risk unsurlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Ankara, başkent olmasına karşın, plansız ve çarpık kentleşme sorununu en çok yaşayan kentlerimizden biri olarak değerlendirilmekte ve özellikle kentin kuzeydoğu kesimi bu sorunun yoğun olarak yaşandığı semtleri içermektedir. İnceleme alanı olarak seçilen ve tarihi Ankara Kalesi'nin de içinde bulunduğu Ankara'nın Altındağ ilçesinde yoğun bir yerleşim gelişmiştir. Bu durum; kentsel dokunun bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca bölgede, düşey soğuma çatlaklarının bulunduğu andezitler içinde süreksizlik denetimli duraysızlıklara da rastlanılmaktadır (Ulusay, 1975; Kasapoğlu, 1980; Karacan, 1984; Karacan ve Kasapoğlu, 1986; Ercanoğlu, 1997; Gökçeoğlu vd., 2000). Bölgede yer alan eski taş ocakları içinde ve yakın çevresinde inşa edilmiş gecekondularda; kayan, düşen ve/veya devrilen kaya blokları, geçmişte can ve mal kayıplarına neden olmuştur (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996). Bu nedenlerden ötürü inceleme alanı, daha önceden farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bazı çalışmalara konu olmuştur. Bunlardan Gökçeoğlu vd. (2000)'nin yapmış oldukları çalışmada; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlık potansiyeli, olasılık yaklaşımı kullanılarak, ilgili duraysızlık türleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, Zambak (1977) tarafından önerilen yöntem esas alınarak, ana eklem setlerinin yanı sıra, varolan diğer süreksizliklerin konumları da gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Ancak, söz konusu çalışmada yapılan değerlendirmeler, olası duraysızlık türleri için ayrı ayrı gerçekleştirildiğinden ötürü, inceleme alanının tümünü yansıtacak şekilde bir potansiyel duray-

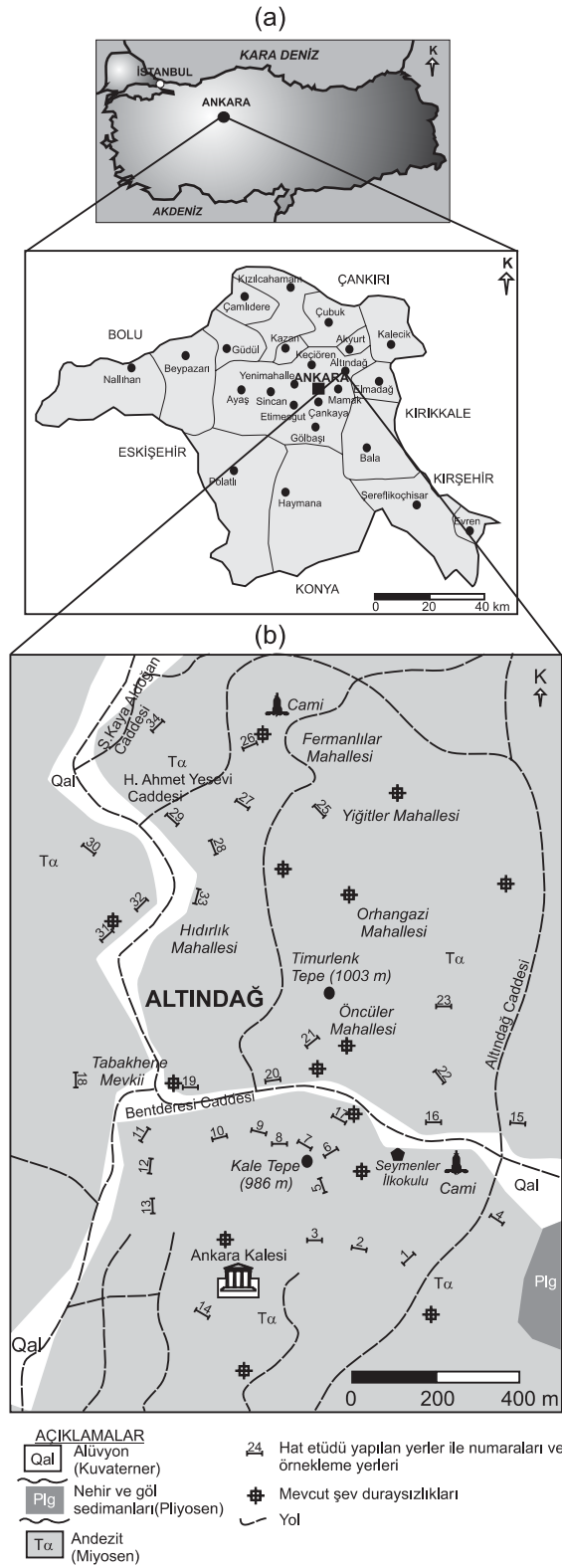
sızlık değerlendirmesine olanak sağlamamaktadır. Kumsar vd. (2000) ise, inceleme alanındaki kama türü bir duraysızlığın da değerlendirmeye alındığı çalışmalarında, statik ve dinamik koşullarda kama türü duraysızlıklar için yeni bir limit denge analiz yöntemi önermişlerdir. Söz konusu kama türü duraysızlık, önerilen bu yöntemle değerlendirilmiş ve mevcut haliyle yenilmiş olan şev için güvenlik katsayısı 0.73 olarak hesaplanmıştır. Bu durum da, önerilen limit denge analiz yönteminin uygulanabilirliğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada ise, inceleme alanındaki olası kama şev duraysızlıklarının kinematik analizlerle belirlenip, kritik duraysızlık modellerine ilişkin yorumlamalar esas alınarak ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri)'den de yararlanılarak, alanın potansiyel duraysızlık haritasının hazırlanması amaçlanmıştır. Diğer bir deyişle, kinematik analiz ilkeleri ve temel CBS teknikleri kullanılarak, öncelikle her bir duraysızlık türü için potansiyel duraysızlığın gelişebileceği alanların belirlenmesi, daha sonra bunların arasında en kritik olan duraysızlık modelinin seçilmesiyle, ilgili duraysızlık modellerinin tümünün yansıtıldığı bir yöntem izlenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda ilk aşamada, yerleşimin ve topoğrafyanın izin verdiği ölçüde hat etütleri yapılmış, kinematik ve geriye dönük analizlerde esas alınacak jeomekanik parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak, örnek alımı ve şev geometrisi ile ilgili ölçümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, inceleme alanının 1/5000 ölçekli topoğrafik haritasından SAM (Sayısal Arazi Modeli) oluşturulmuş; deneysel veriler, kinematik analiz sonuçları ve çalışmanın amacına uygun olarak geliştirilen bir bilgisayar programı (DIKA, Digital Kinematic Analysis) kullanılarak, potansiyel duraysızlık haritası hazırlanmıştır. En son aşamada ise, hazırlanan potansiyel duraysızlık haritası, bölgede daha önce meydana gelmiş duraysızlıklarla karşılaştırılarak, haritanın performansı sınanmıştır.

## İNCELEME ALANININ KONUMU VE JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı, Ankara metropolitan alanındaki Altındağ ilçesinde yer almakta olup, tarihi Ankara Kalesi'nin kuzey yamaçlarından başlayarak kuzeye doğru yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanındaki to-



Şekil 1. İnceleme alanının (a) yer bulduru ve (b) jeoloji haritaları.

Figure 1. (a) Location and (b) geological maps of the investigated area.

poğrafik yükseklik değerleri 824 m ile 1003 m arasında değişmekte olup, Timurlenk Tepe (1003 m) ve güneydeki Kale Tepe (986 m), bu alandaki başlıca yükseltileri oluşturmaktadır ve aralarında, doğu-batı doğrultusunda dar bir şerit halinde uzanan Bentderesi Vadi'si bulunmaktadır (bkz. Şekil 1). İnceleme alanı, son derece dik bir topoğrafya sergilemekte ve yamaç eğimleri özellikle yüksek kesimlerde 90°'ye kadar çıkmaktadır.

İnceleme alanındaki en yaşlı jeolojik birim Miyosen yaşlı andezitlerdir (Chaput, 1931) (bkz. Şekil 1). Bu birim, inceleme alanının çok büyük bir kesimini kapsamakta ve çoğunlukla dik topoğrafik yükseltileri oluşturmaktadır (Şekil 2). Ankara bölgesindeki andezitler, Kasapoğlu (1980) tarafından renklerine göre mavimsi gri, pembe ve siyahımsı mor olmak üzere üç grupta incelenmiş olup, bu durum bölgede en az üç farklı volkanik akma fazının varlığı ile açıklanmıştır. İnceleme alanındaki andezitler; yapılan bu sınıflamada, pembemsi kızıldan beyazımsı sarı renge doğru bir geçiş göstermeleri nedeniyle, Payamlıtepe andezitleri grubunda yer almaktadırlar. Beyazımsı sarı gibi renkler, bozunmaya uğramış andezit kaya kütlelerini temsil etmektedir. Saha gözlemleri sonucunda bozunma ürünlerinin, çoğunlukla feldispatların bozunması sonucu oluşan kil-silt tane boyutundaki malzeme olduğu saptanmıştır (Ercanoğlu, 1997). Bozunma derinliği, yer yer 1.5-2 m'ye kadar ulaşmaktadır. Genel olarak porfiritik yapı gösteren andezitlerdeki fenokristaller plajiyoklaz ve/veya kuvars mineralleri olup, boyutları 1-5 mm arasında de-



Şekil 2. İnceleme alanındaki andezitlerde doğal yamaçlardan ve yerleşimden bir görünüm.

Figure 2. A view from natural slopes and settlement at the andesites in the investigated area.

görmektedir (Kasapoğlu, 1980). İnceleme alanındaki andezitlerin en belirgin özelliklerinden biri de, düşey yönde gelişmiş soğuma çatlaklarıdır. İnceleme alanında yapı taşı üretimi için açılmış eski taş ocaklarında ve Ankara Kaleşi'nin kuzey yamaçlarında, söz konusu soğuma çatlakları çok belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

Ankara bölgesindeki jeolojik birimlerin özelliklerine ilişkin yapılmış çalışmaların çoğunda (örneğin; Bailey ve McCallien, 1950; Chaput, 1931; Dağar vd., 1963; Erol, 1961; Kasapoğlu, 1980), andezitlerin özellikle yüksek topoğrafyalarda aglomeralarla dokanak halinde bulunduğu vurgulanmış olsa da, inceleme alanı içinde bu dokanak ilişkisi gözlenmemiştir. Andezitlerin üzerinde uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı akarsu ve göl çökelleri bulunmaktadır (bkz. Şekil 1). Genelde değişik kalınlıklarda kil, kum ve çakıllı düzeyler içeren bu birim grimsi sarıdan kahverengiye değişen, az pekişmiş sedimanlardır. Bu birimin üzerinde ise, uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı çakıllı, kumlu, killi alüvyal çökeller bulunmaktadır (bkz. Şekil 1). Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı bu birimler, inceleme alanında son derece az bir yayılım göstermekte olup, bu çalışmada değerlendirilmeye alınmamışlardır.

### SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİ

Kaya kütleleri, kayaç malzemesinin yanı sıra, süreksizlik sistemlerini de içermekte ve mühendislik uygulamaları açısından süreksizliklerin kaya kütleleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, inceleme alanındaki süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak, 34 farklı yerde (bkz. Şekil 1) ve ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler

esas alınarak toplam uzunluğu 606 m olan hat etüdü çalışması yapılmıştır. Bölgede yoğun gecekonduların yerleşiminin ve son derece dik bir topoğrafyanın varlığı gözönünde bulundurulduğunda, tüm inceleme alanını temsil edebilecek nitelik ve nicelikte hat etüdü yapılamamakla birlikte, mümkün olan tüm kesimlerde hat etüdü gerçekleştirilmiş ve toplam 1794 eklem ölçümü alınmıştır. Süreksizlik yüzeylerinin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Egemen süreksizlik setleri, kontur diyagramları hazırlanarak belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, inceleme alanında 74/220, 76/312 ve 79/026 konumlu 3 eklem seti saptanmıştır (Şekil 3).

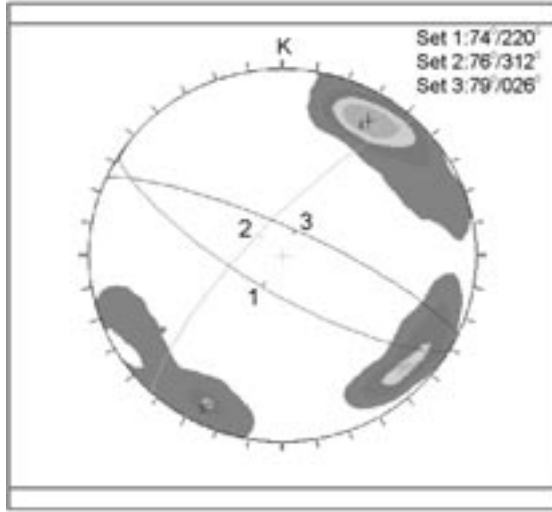
### SÜREKSİZLİKLERİN MAKASLAMA DAYANIMI

Süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımı parametreleri, deformasyon kontrollü zemin makaslama cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Buradaki temel gerekçe; gerek yerinde, gerekse laboratuvar kaya makaslama deneylerinde kullanılacak nitelikte örnek alınamaması ve süreksizlik yüzeylerinin örnekleme aşamasında zarar görme olasılığı nedeniyle, daha yüksek dayanım değerlerinin elde edilmesini önlemektir. Eklem yüzeyleri üzerinde doğrudan makaslama deneyleri için hat etütlerinin yapıldığı kesimlerdeki 36 farklı yerden örnek alınmış ve saha koşullarını temsil edecek normal gerilme değişim aralığı (25-105 kPa) seçilerek, deneyler sırasında normal yükler buna göre uygulanmıştır. Eklemlerin her iki yüzeyini de içeren örnekler, (60x60x20) mm boyutlarında kesilerek, artık ve doruk makaslama yenilme zarfları, doğrusal ve geometrik regresyon teknikleri esas alınarak değerlendirilmiştir (Şekil 4). Bu değerlendirmeler sonucunda, istatistiksel açıdan en yüksek

Çizelge 1. İnceleme alanındaki eklemlerin genel özellikleri.

Table 1. General characteristics of the joints in the investigated area.

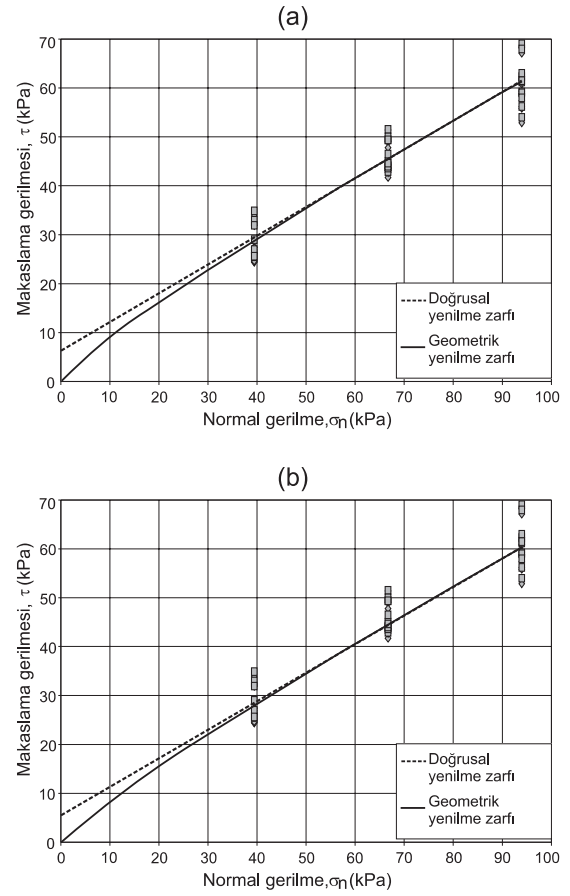
SÜREKSİZLİK ÖZELLİĞİ	AÇIKLAMA
Türü	Eklem
Aralık	En küçük: 30 mm, en yüksek: 1450 mm, ortalama: 342.3 mm.
Devamlılık	Çoğunlukla yüksek (>10 m) ve orta (3-10 m) devamlılık, yer yer düşük (1-2 m) ve çok düşük (0.31-0.91 m) devamlılık.
Açıklık	Genelde orta-geniş (2.5-10 mm) ve çok geniş (10-100 mm).
Dolgu	Dolgu malzemesi çoğunlukla kil-silt boyu malzeme, yer yer dolgunsuz.
Dalgallılık/Pürüzlülük	Düz-az pürüzlü.
Bozunma derecesi	Yüksek kesimlerde 2. derece, alt kotlarda 3.-4. derece arası geçişli.
Su durumu	Yüksek kesimler kuru, alt kotlar yer yer nemli.



Şekil 3. İnceleme alanında andezitlerdeki başlıca eklem setleri.  
Figure 3. Major joint sets of the andesites in the investigated area.

korelasyon katsayısını ( $r$ ) veren ilişkinin, doğrusal ilişkiden elde edilen artık makaslama dayanım parametreleri olduğu belirlenmiştir ( $c=5.2$  kPa;  $\phi=30^\circ$ ) (Çizelge 2). Ayrıca, sahada beklenen normal gerilme değişim aralığında, artık değerler için çizilmiş doğrusal ve geometrik yenilme zarflarının hemen hemen üstüste çakışması da (bkz. Şekil 4), bu bulguyu desteklemektedir.

Eklem yüzeylerinin laboratuvarında tayin edilen makaslama dayanımı, Tabakhane Mevkii' inde meydana gelmiş kama türü bir duraysızlık (Şekil 5a) üzerinde yapılan geriye dönük şev duraylılığı analizinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Geriye dönük analizlerde, Hoek vd. (1973) tarafından kama türü duraysızlıklar için önerilen limit denge analiz yöntemi (Şekil 5b) kullanılmıştır. Bu analizin yapılabilmesi için, eklem yüzeyleri ile şev aynasının konumları, kama geometrisi ve stereonet üzerinden belirlenen diğer pa-



Şekil 4. Eklem yüzeyleri üzerinde yapılan doğrudan makaslama deneyi sonuçları: (a) doruk makaslama dayanımı ve (b) artık makaslama dayanımı.

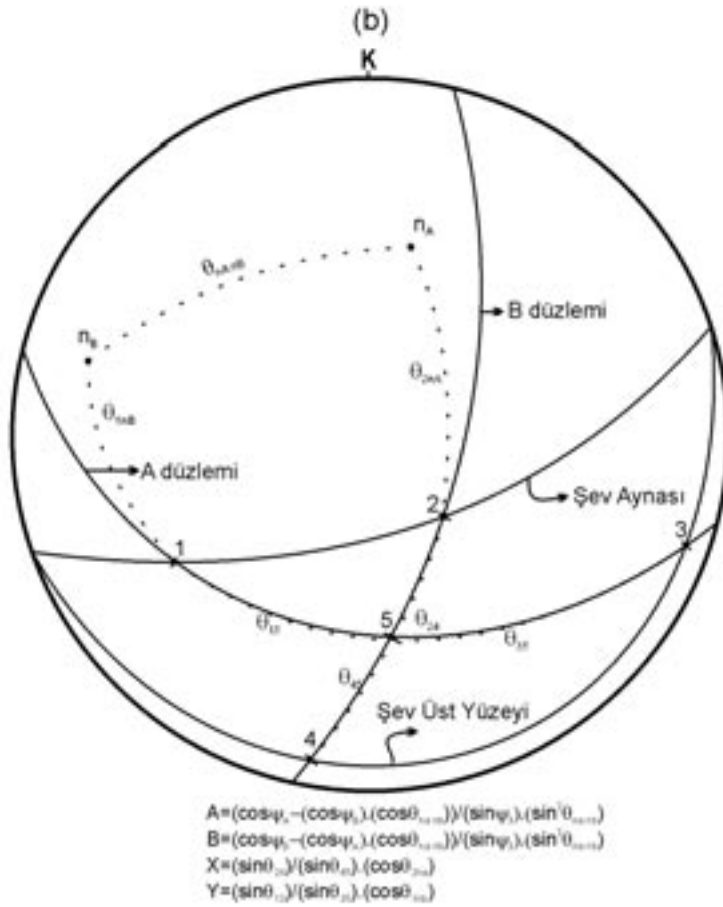
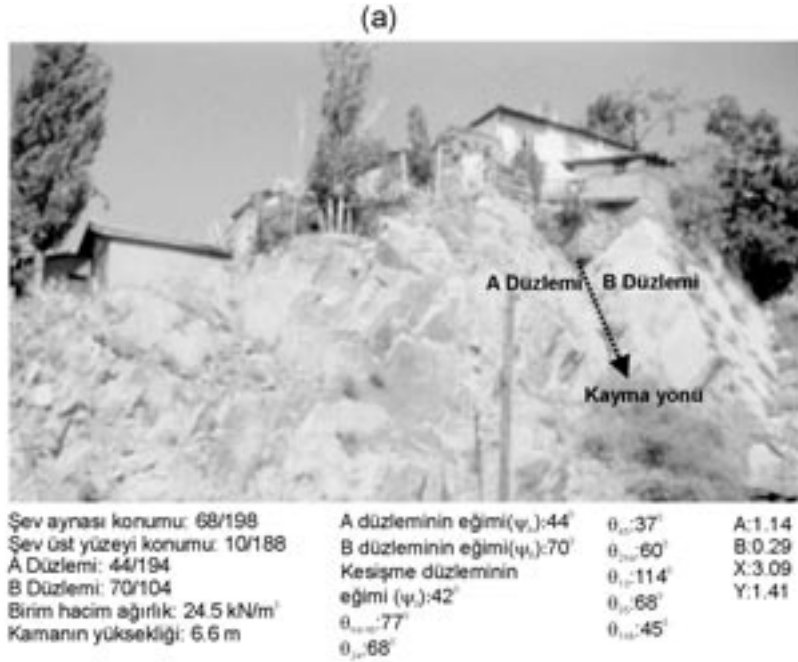
Figure 4. Direct shear test results obtained from the joint surfaces: (a) peak shear strength, and (b) residual shear strength.

rametreler kullanılarak, limit denge koşulunu ( $F=1$ ) sağlayan  $c$  ve  $\phi$  değerleri hesaplanmış ve laboratuvarında elde edilen artık ve doruk makaslama dayanımı değişim aralıklarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Ayrıca, bu hesaplamaların yapı-

Çizelge 2. Andezitlerdeki eklemlerin makaslama dayanımı.  
Table 2. Shear strength of the joints in andesites.

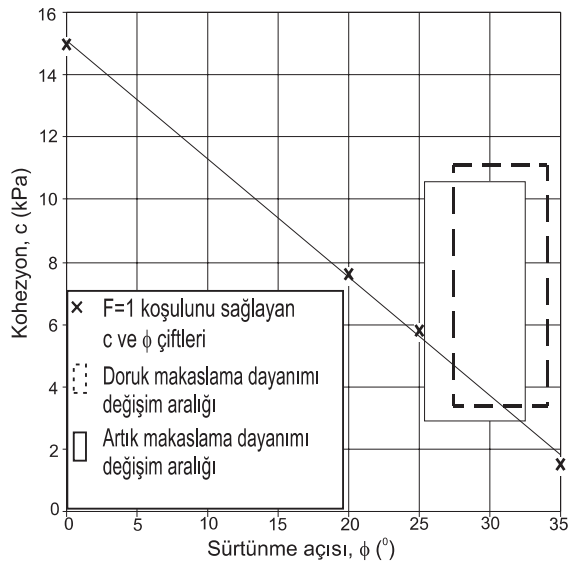
İlişki türü	Makaslama dayanımı	
	Doruk	Artık
Geometrik	$\tau=1.2145\sigma_n^{0.8636}$ ( $r=0.93$ )	$\tau=1.0852\sigma_n^{0.8844}$ ( $r=0.94$ )
Doğrusal	$\tau=6.3+\sigma_n\tan32$ ( $r=0.91$ )	$\tau=5.2+\sigma_n\tan30$ ( $r=0.96$ )

$r$ : Korelasyon katsayısı;  $\tau$ :Makaslama dayanımı;  $\sigma_n$ : Normal gerilme.



Şekil 5. Geriye dönük analizi yapılan şevin: (a) genel görünümü ve analizlerde kullanılan parametreler ve (b) kama geometrisiyle ilgili parametrelerin stereonet üzerinden belirlenmesi.

Figure 5. (a) A general view and parameters used in the analyses and (b) determination of the parameters related to the wedge geometry from the stereonet for the back analyzed slope.



Şekil 6. Kama türü duraysızlığa uğramış şev için yapılan geriye dönük analiz sonuçları.

Figure 6. Back analysis results of the slope where wedge type failure occurred.

labilmesi için gerekli olan birim hacim ağırlık değeri, bu şeve ait beş adet kaya örneği üzerinde yapılan birim hacim ağırlık tayinleri ile  $24.5 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, artık ve doruk makaslama dayanımı değişimi aralıkları arasında önemli bir farklılığın olmadığı, bununla birlikte, eklemlerin sürtünme açısının  $27^\circ$  ile  $32^\circ$  arasında bir değer alınabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu değerler, Gökçeoğlu vd. (2000)'nin aynı bölgede yaptıkları çalışma ile karşılaştırılmıştır. Gökçeoğlu vd. (2000), sürtünme açısının belirlenmesi için, Barton (1973)'ün doruk değerleri esas alan görgül yenilme ölçütü kullanmış olup, sürtünme açısını  $30^\circ$  olarak belirlemişlerdir. Bu durum, geriye dönük analizden elde edilen bulgularla ( $27^\circ \leq \phi \leq 32^\circ$ ) uyum göstermektedir. Ayrıca Kumsar vd. (2000)'nin kama türü duraysızlıklar için, geriye dönük analizi yapılan bu duraysızlığı da kapsayan çalışmalarında güvenlik katsayısı, kuru-statik koşullarda  $\phi=30^\circ$  alınarak  $F=0.73$  olarak hesaplanmıştır. Mevcut haliyle yenilmiş olan bu şev için hesaplanan güvenlik katsayısı ile kullanılan sürtünme açısı değerlerinin herhangi bir uyumsuzluğa (örn.:  $F$  değerinin 1'den büyük hesaplanması gibi) neden olmaması ve inceleme alanında daha önceden yapılan deneysel çalışmaların sonuçları dikkate alı-

arak, kinematik analizlerde kullanılmak üzere  $\phi=30^\circ$  olarak kabul edilmiştir.

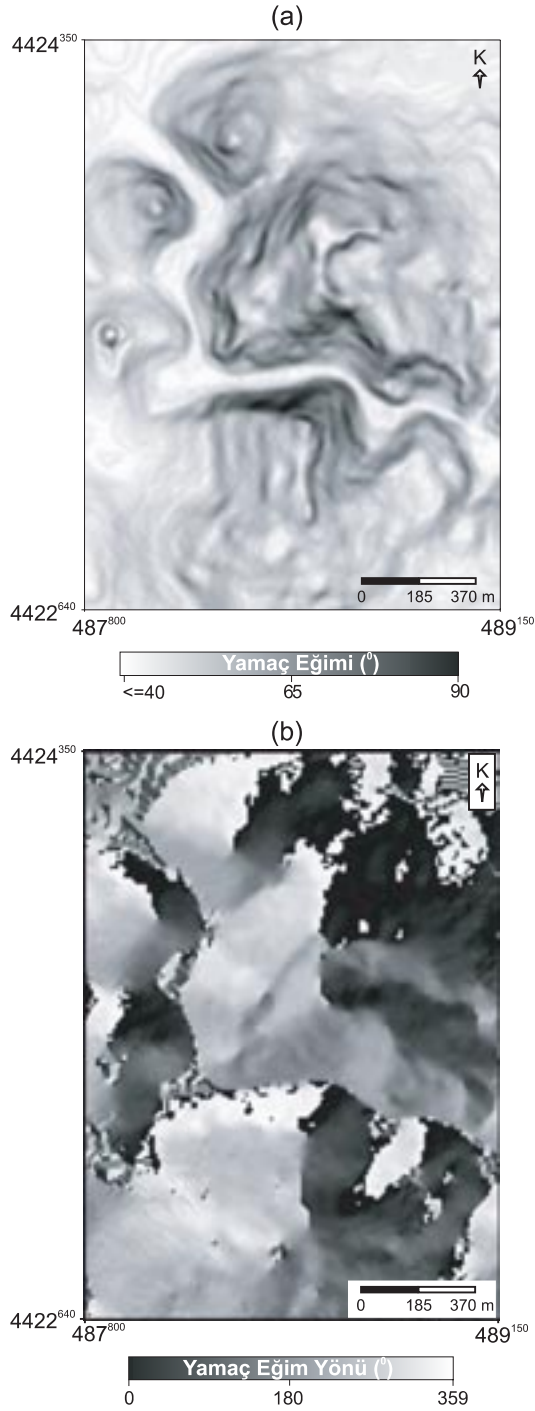
## KİNEMATİK ANALİZLER

Kaya şevlerinde yerçekimi etkisi altında herhangi bir duraysızlığın gelişebilmesi, ancak kaya kütesinin duraysızlığa neden olabilecek yönelimlerde süreksizlik içermesi ile olasıdır (Hoek ve Bray, 1981). Kaya kütlelerinde oluşabilecek duraysızlıkların değerlendirilmesinde kullanılan yöntem ise, kinematik analiz tekniğidir. Kaya şevlerinin kinematik analizinde; şev yönelimi, süreksizlik(lerin) yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında, sayısal arazi modeli yardımıyla inceleme alanındaki yamaçların eğim (Şekil 7a) ve eğim yönü (Şekil 7b) haritaları hazırlanmıştır. Gerek kinematik analizler, gerekse CBS işlemlerinin yapılabilmesine olanak sağlayan söz konusu sayısal arazi modeli, 150 sütun ve 190 kolondan oluşmakta ve boyutu  $9 \times 9 \text{ m}$  olan toplam 28500 piksel içermektedir.

Saha çalışmaları sırasında, eklemlerin devamlılığının ISRM (1981)'e göre çoğunlukla yüksek ve orta devamlılıkta (bkz. Çizelge 1) değerlendirilmiş olması ve eklemlere ait kutupların stereonet üzerindeki dağılımından (bkz. Şekil 3), inceleme alanındaki andezitlerde dairesel türde bir duraysızlığın gelişmesi mümkün görülmemiş ve duraysızlık modelleri olarak, düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar kinematik açıdan incelenmiştir.

Kinematik analizlerin sayısal ortamda yapılabilmesi için, yamaç eğim ve eğim yönü haritaları, IDRISI (Eastman, 1992) bilgisayar programı kullanılarak "\*.dat" uzantılı veri dosyalarına dönüştürülüp, CBS dosyaları oluşturulmuştur. Daha sonra,  $\phi$  ve eklem yönelimleri kullanılarak, ilgili duraysızlık modelleri için sayısal ortamda kinematik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için, çalışmanın amacına uygun olarak Q-Basic programlama dili ile yazılan, iş akış şeması Şekil 8'de sunulan ve DIKA (Digital Kinematic Analysis) adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. DIKA, üç farklı modülden oluşmakta ve söz konusu modüller düzlemsel kayma (PLA\_F), kama (WEDGE\_F) ve



Şekil 7. (a) İnceleme alanının eğim ve (b) eğim yönü haritaları.

Figure 7. (a) Slope and (b) dip direction maps of the investigated area.

devrilme (TOPPLE\_F) türü duraysızlıkların gelişebileceği alanları, programın girdi parametreleri olan  $\phi$ , eklem yönelimleri, kritik eğim ve eğim

yönü değerlerini esas alarak hesaplamaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken;  $\phi$  ile eklem ve şev yönelimleri her bir piksel için karşılaştırılmakta ve her duraysızlık türünün gelişebileceği şev yönelimleri, CBS dosyaları halinde (out.dat) saklanmaktadır (bkz. Şekil 8). Daha sonra bu dosyalar, yine IDRISI bilgisayar programı kullanılarak görüntü dosyaları haline dönüştürülebilmektedir.

Bir kaya şevinde, yukarıda belirtilen üç duraysızlık türünün gelişebilmesi için gereken koşullar (Şekil 9a, b, c) esas alınarak, inceleme alanının potansiyel duraysızlık haritasının hazırlanması amacıyla, egemen olan üç süreksizlik seti için:

- (a) 1, 2 ve 3 nolu süreksizlikler boyunca düzlemsel kaymanın,
- (b)  $I_{1,2}$ ,  $I_{2,3}$  ve  $I_{1,3}$  süreksizlik kesişme hatları boyunca kama türü duraysızlığın,
- (c) 1, 2 ve 3 nolu süreksizlikler boyunca devrilme türü duraysızlığın

gelişebileceği şev yönelimleri, aşağıda her bir duraysızlık türü için ayrı ayrı belirlenmiştir.

### Düzlemsel Kayma

Bir kaya şevinde, kinematik anlamda düzlemsel kaymanın gelişebilmesi için gerekli koşullar, Şekil 9 a'da gösterilmiştir. Bu koşullar göz önüne alınarak, inceleme alanında belirlenen üç eklem seti için düzlemsel kaymanın gelişebileceği şev yönelimleri DIKA programının PLA\_F modülü ile belirlenmiş ve Çizelge 3a'da verilmiştir. Her bir eklem seti için düzlemsel kayma koşullarını sağlayan alanlar ayrı ayrı belirlenerek (Şekil 10a-c), CBS dosyaları üstüste çakıştırılmış (toplanmış) ve inceleme alanı için düzlemsel kayma potansiyelini gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 10d). Bu işlemler sonucunda, 1 ve 2 no.lu süreksizlik setleri boyunca, kinematik anlamda, düzlemsel kaymanın gelişemeyeceği, sadece 3 no.lu süreksizlik seti boyunca olası olduğu belirlenmiştir.

### Kama Türü Duraysızlık

Kama türü duraysızlığın kinematik anlamda gelişebilmesi için Şekil 9b'de belirtilen koşulların sağlanması gerekir. Bu nedenle, dalım yönü ve dalım açısı bilinen bir kesişme hattı boyunca,



Çizelge 3. İnceleme alanında farklı duraysızlık türlerinin gelişebileceği olası şev yönelimleri.  
Table 3. Possible slope orientations for different modes of instability in the investigated area.

(a) Düzlemsel kayma				
Eklem seti No.	Eklem yönelimi	Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimleri		
		Eğim	Eğim yönü	
1	74/220	>74	200-240	
2	76/312	>76	292-332	
3	79/026	>79	006-046	

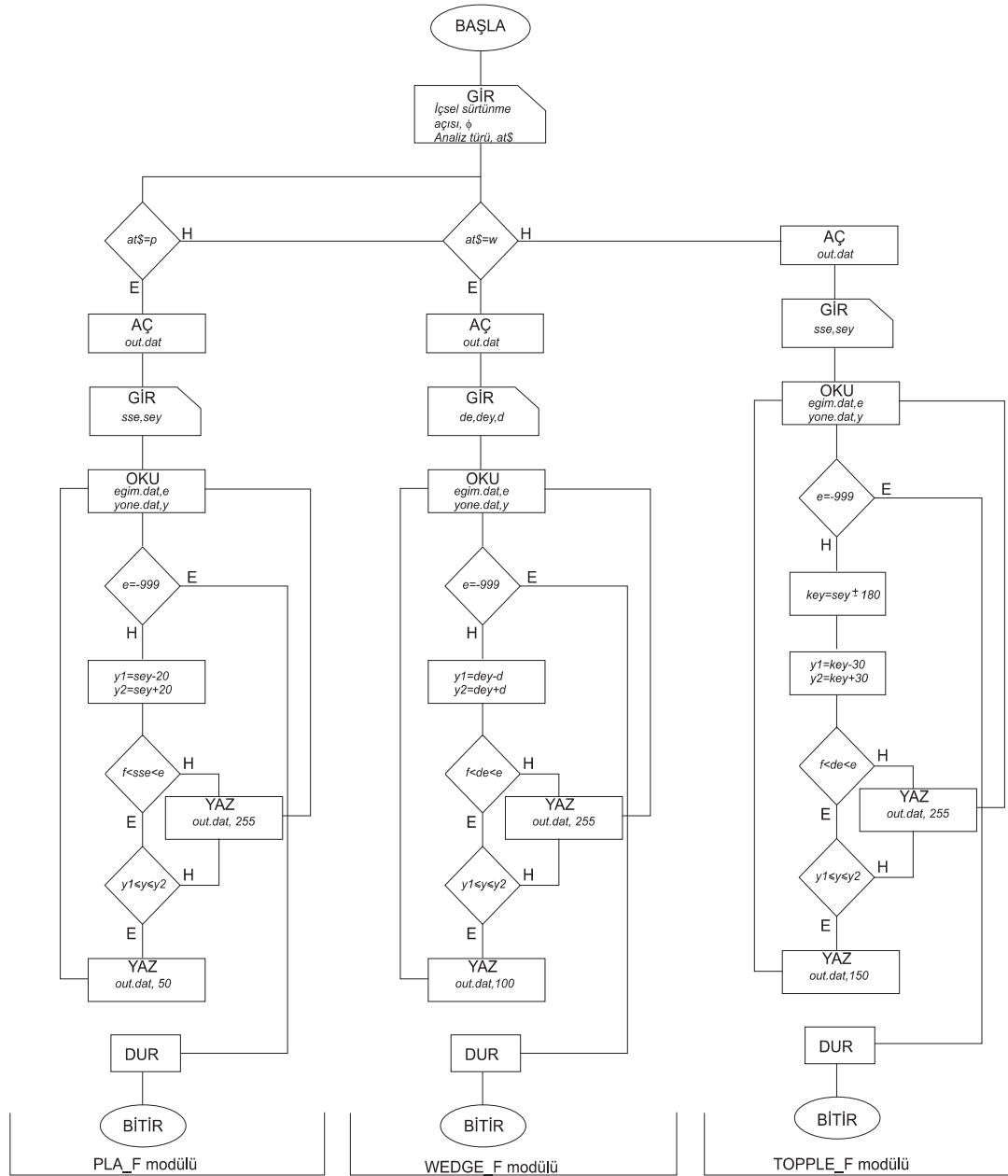
(b) Kama türü duraysızlık				
Kesişme hattı	Kesişme hattının dalım açısı	Kesişme hattının dalım yönü	Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimleri	
			Eğim	Eğim yönü
I <sub>1,2</sub>	69	262	87.5 (85-90)	178-346
			82.5 (80-85)	192-332
			77.5 (75-80)	211-313
			72.5 (70-75)	233-291
I <sub>1,3</sub> I <sub>2,3</sub>	27 74	302 340	–	–
			87.5 (85-90)	258-061
			82.5 (80-85)	277-043
			77.5 (75-80)	300-020

(c) Devrilme türü duraysızlık				
Eklem seti No.	Eklem yönelimi	Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimleri		
		Eğim	Eğim yönü	
1	74/220	>45.5	010-070	
2	76/312	>43.5	102-162	
3	79/026	>40.5	176-236	

şevin eğimine bağlı olarak, duraysızlığa neden olabilecek şev eğim yönü aralığının belirlenmesi için Şekil 11'de izlenen yaklaşım önerilmiştir (Ercanoğlu, 1997). Burada öncelikle, stereonet üzerinde eklemelerin büyük daireleri çizilerek, bunların kesim noktaları belirlenmektedir (Şekil 11a). Daha sonra, dalım yönünün eğim yönü kabul eden ve açısız değeri şev açısına eşit olan büyük daire çizilmektedir (Şekil 11b). En son aşamada ise, merkezi stereonetin merkezi olan ve süreksizliklerin kesim noktalarından geçen daire çizilerek, bu dairenin büyük daireyi kestiği nokta ile dalım yönü arasındaki açı (d) belirlenmektedir (Şekil 11c). Belirlenen "d" açısı, incelenen şev açısı için kama türü duraysızlığın gelişebileceği şev eğim yönünün, dalım yönünden itibaren en büyük sapmasını ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, dalım yönünden itibaren  $\pm d$  açısı aralığındaki şev eğim yönleri, kama türü duraysızlığın gelişebileceği kesimlere karşılık gelmektedir. Söz konusu şev eğim yönlerini sağlayan eğim açıları da Şekil 11 d ve 11e' de

izlenen yaklaşım (Ercanoğlu, 1997) ile belirlenmiştir. Duraysızlığın gelişmesine olanak sağlayan şev eğim yönü, dalım yönü ve dalım açısına bağlı olarak, şev açısının bir fonksiyonu olarak değişecektir. Bu nedenle, dalım açısından itibaren beşer derecelik şev açısı artışları gözönünde bulundurularak, ilgili eğim yönlerini temsil eden şev eğim değerleri de bu yaklaşımla hesaplanmış ve Çizelge 3b'de sunulmuştur. Buna göre; 1 ve 3 no.lu eklem setlerinin kesişme hattı (I<sub>1,3</sub>) boyunca kama türü duraysızlığın gelişmesi, dalımın sürtünme açısından düşük olması nedeniyle olası değildir. I<sub>1,2</sub> ve I<sub>2,3</sub> nolu kesişme hatlarının dalım açılarından, sürtünme açısından büyük olmaları nedeniyle, bu eklem setlerinin kesişme hatları boyunca kama türü duraysızlıkların gelişmesi kinematik anlamda olasıdır. Yukarıda belirtilen koşullar esas alınarak, belirlenen üç eklem setinin kesişme hatları boyunca kama türü duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimleri, DIKA programının WEDGE\_F modülü ile ayırtlanmıştır (Şekil 12a-c). Daha sonra,

**AÇIKLAMALAR:**

p: Programın düzlemsel kayma modülünü çalıştırır.  
w: Programın kama türü duraysızlık modülünü çalıştırır.  
t: Programın devrilme türü duraysızlık modülünü çalıştırır.  
out.dat: Analiz sonuçlarının yazıldığı dosya.  
sse: Süreksizlik seti eğim açısı.  
sey: Süreksizlik seti eğim yönü açısı.

**AÇIKLAMALAR (devam ediyor):**

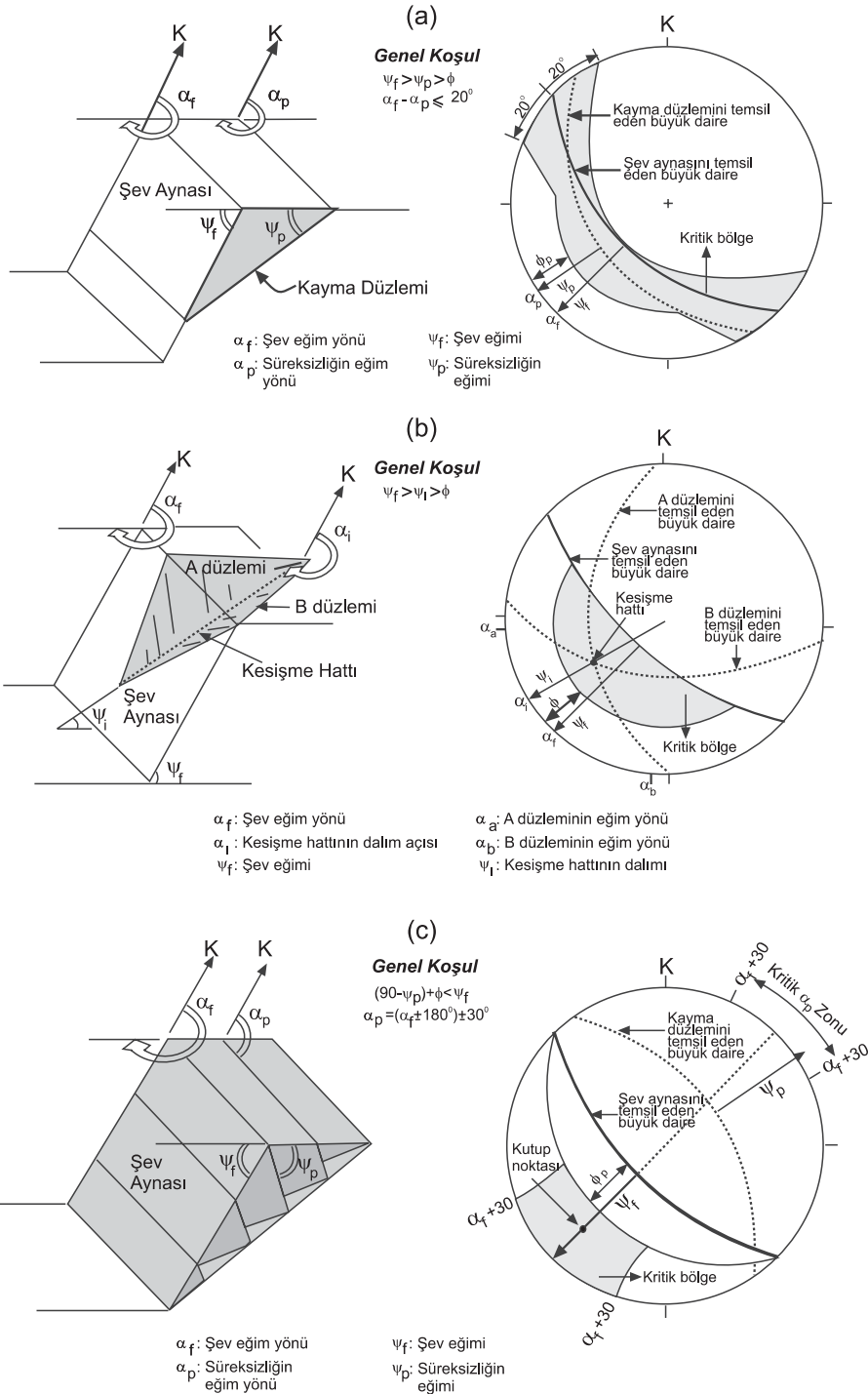
de: Süreksizlik setlerinin kesişme düzlemi dalım açısı değeri.  
dey: Süreksizlik setlerinin kesişme düzlemi dalım yönü açısı değeri.  
y1, y2: Herhangi bir duraysızlığın gelişmesi için kritik yamaç eğim yönleri.  
key: Devrilme türü duraysızlık için kritik yamaç eğim yönleri.  
d: Sapma açısı.

Şekil 8. DIKA bilgisayar programının iş akış şeması ve modülleri.  
Figure 8. Flow chart and modules of the DIKA computer program.

ayrılan bu alanlara ilişkin CBS dosyaları üstüste çakıştırılarak, inceleme alanının kama türü duraysızlık potansiyelini gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 12d).

**Devrilme Türü Duraysızlık**

Bir kaya şevinde bir süreksizlik boyunca, Şekil 9c' deki koşulların sağlanması halinde, kinema-

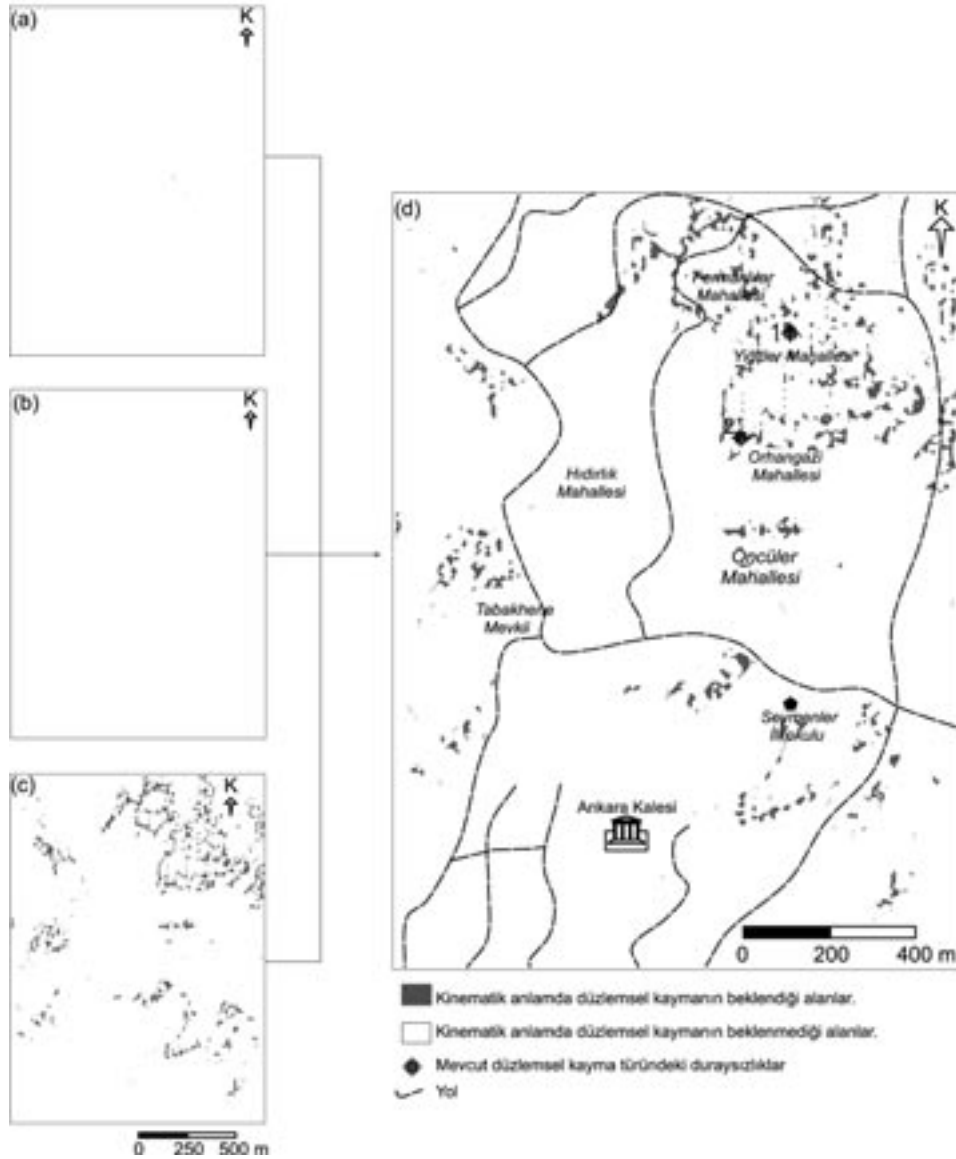


Şekil 9. Kaya şevlerinde süreksizlik denetimli duraysızlıkların gelişebilmesi için gereken kinematik koşullar: (a) düzlemsel kayma, (b) kama türü ve (c) devrilme türü duraysızlık (Norrish ve Wyllie, 1996'dan).

Figure 9. Kinematic conditions for discontinuity controlled rock slope instabilities: (a) planar failure, (b) wedge and (c) toppling failures (after Norrish and Wyllie, 1996).

tik anlamda devrilme türü duraysızlık gelişebilir. Bu koşullar gözönünde bulundurularak, inceleme alanında belirlenen üç eklem seti için devril-

me türü duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimleri DIKA programının TOPPLE\_F modülü ile ayırtlanmış ve Çizelge 3c'de sunulmuştur. Her



Şekil 10. İnceleme alanı için düzlemsel kayma potansiyelinin belirlenmesi: (a) set 1, (b) set 2, (c) set 3 ve (d) tüm inceleme alanı için.

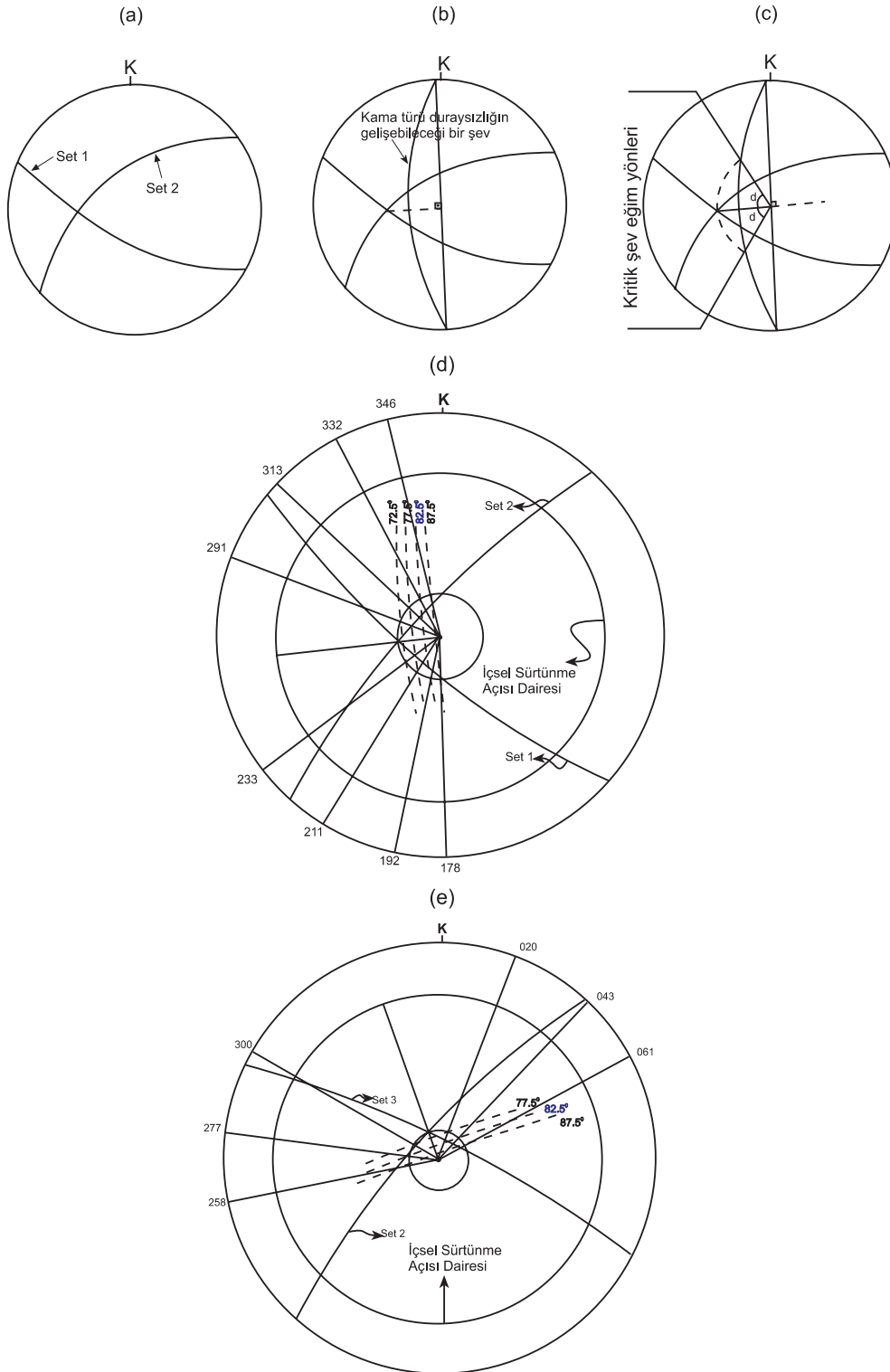
Figure 10. Determination of the planar failure potential for the investigated area. (a) for set 1, (b) set 2, (c) set 3 and (d) the entire investigated area.

bir eklem seti için devrilme türü duraysızlık koşulunu sağlayan alanlar ayrı ayrı belirlenerek (Şekil 13a-c), CBS dosyaları üstüste çakıştırılmış ve inceleme alanının devrilme türü duraysızlık potansiyelini gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 13d).

#### İNCELEME ALANI İÇİN POTANSİYEL DURAYSIZLIK HARİTASI

İnceleme alanının potansiyel duraysızlık haritasının oluşturulması amacıyla, söz konusu alan

için düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklara göre ayrı ayrı hazırlanmış haritalar (bkz. Şekil 10d, 12d ve 13d) üstüste çakıştırılmıştır. Bu çakıştırma işlemi sonucunda, üç duraysızlık türünden herhangi birinin tek başına gelişmesi olası alanların yanı sıra, incelenen duraysızlık türlerinden ikisinin veya üçünün birlikte gelişebileceği alanların varlığı da saptanmıştır. Duraysızlık açısından ortak özellik gösteren bu alanlarda, herhangi bir duraysızlık türünün kinematik anlamda gözlenmesi mümkün olmakla birlikte, bu duraysızlıklardan hangisinin daha kritik oldu-



Şekil 11. Kama türü bir duraysızlık için sapma açısının ve kritik şev eğim yönlerinin belirlenmesine ait aşamalar: (a) süreksizliklerin ve (b) şev büyük dairesinin çizilmesi, (c) "d" açısının belirlenmesi, (d)  $I_{1,2}$  ve (e)  $I_{2,3}$  kesişme hattı boyunca kritik şev eğim yönleri.

Figure 11. Stages of the determination of deviation angle and critical dip directions for a wedge type failure: (a) construction of the discontinuities and (b) great circle for the slope, (c) determination of the "d" angle, (d) critical dip directions for  $I_{1,2}$  and (e)  $I_{2,3}$ .



Şekil 12. İnceleme alanı için kama türü duraysızlık potansiyelinin belirlenmesi: (a)  $I_{1,2}$ , (b)  $I_{1,3}$ , (c)  $I_{2,3}$  ve (d) tüm inceleme alanı için.

Figure 12. Determination of potential of wedge type failure for the investigated area: (a) for  $I_{1,2}$ , (b)  $I_{1,3}$ , (c)  $I_{2,3}$  and (d) the entire investigated area.

ğunun belirlenmesi gereklidir. Birden fazla duraysızlık türünün birlikte gelişebileceği alanlarda, şev eğim yönleri aynı kalmak koşuluyla, her bir duraysızlık türü için kinematik anlamda en güvenli şev açıları belirlenerek, hangi tür duraysızlığın kritik olabileceği sorununun aşılacağı düşünülmüştür. Bu durumda, duraysızlığın gelişmemesi için en düşük şev açısı koşulunu sağlayan duraysızlık türü, söz konusu alanlar için en kritik duraysızlık modelini oluşturacaktır. Bu amaçla, inceleme alanında birden fazla du-

raysızlık türünün gelişebileceği pikseller belirlenmiş ve bu piksellerin eğim ve eğim yönü değerleri, ilgili çıktı dosyalarından (out.dat) elde edilmiştir (Çizelge 4). Bu değerlerle, her bir ortak alan için eğim yönü aynı kalmak koşuluyla, sadece şev açılarının azaltılması yaklaşımından hareketle, birden fazla duraysızlık türünün gelişebileceği alanlardaki en kritik duraysızlık modeli esas alınmıştır. Daha sonra, bu alanlar açısından en kritik duraysızlık türünün renk kodları ilgili piksellere atanarak, inceleme alanının po-



Şekil 13. İnceleme alanı için devrilme türü duraysızlık potansiyelinin belirlenmesi: (a) set 1, (b) set 2, (c) set 3 ve (d) tüm inceleme alanı için.

Figure 13. Determination of potential of toppling failure for the investigated area: (a) for set 1, (b) set 2, (c) set 3, and (d) the entire investigated area.

tansiyel duraysızlık haritası oluşturulmuştur (Şekil 14). Buna göre incelenen bölgede alsansal olarak; kinematik anlamda % 28 devrilme, % 15 kama ve % 10 oranında da düzlemsel kayma türü duraysızlık potansiyelinin söz konusu olabileceği belirlenmiştir.

İnceleme alanında daha önceden meydana gelmiş olan duraysızlıkların yerleri ile bu çalışmada esas alınan üç farklı kaya şevi duraysızlık türü için hazırlanan haritalardaki potansiyel duray-

sızlıkların gelişebileceği alanlar karşılaştırılarak (bkz. Şekil 10d, 12d ve 13d), bu haritaların performansları sınıanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, mevcut duraysızlıkların çoğunun potansiyel duraysızlık alanlarının içinde yer aldıkları belirlenmiş ve bu durum, uygulanan yaklaşımın tatmin edici sonuçlar verdiği şeklinde yorumlanmıştır. Bununla birlikte, konumsal olarak 3 adet duraysızlığın (1 ve 2 no.lu kama; 4 no.lu devrilme türü duraysızlıklar; bkz. Şekil 12d ve 13d), kinematik anlamda duraysızlık beklen-

Çizelge 4. İnceleme alanında birden fazla duraysızlığın birlikte gelişebileceği alanların özellikleri ve kritik duraysızlık modelinin seçimi.

Table 4. Properties of the possible unstable areas, where more than one type of instability may be possible, and selection criteria for the critical instability model in the investigated area.

Piksel sayısı	Eğim	Eğim yönü	Duraysızlık türü (*)	Güvenli şev açısı			En kritik duraysızlık türü
				1	2	3	
526	80	226	1, 2, 3	40	72	73	1
396	75	214	1, 3	40	90	73	1
415	80	310	2, 3	90	74	75	2
224	77	300	2, 3	90	72	75	2
129	75	202	1, 3	40	90	73	1
365	80	226	1, 2, 3	40	72	73	1
231	80	322	2, 3	90	74	75	2
345	74	226	1, 2	40	72	90	1
661	84	046	1, 2	45	82	90	1

\* Duraysızlık türü: 1 (devrilme); 2 (kama); 3 (düzlemsel)



Şekil 14. İnceleme alanı için süreksizlik denetimli potansiyel şev duraysızlığı haritası.

Figure 14. Structurally controlled potential slope instability map for the investigated area.

meyen alanlarda bulunduğu belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, bu tür çalışmalarda kinematik analizlerin duraylılık analizlerinde, ön fikir verme açısından son derece yararlı olduğu, ancak duraysızlıkların gelişebileceği alanlarda daha ayrıntılı değerlendirmeler için limit denge analizlerinden de yararlanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, süreksizlik denetimli şev duraysızlıklarının geliştiği Altındağ (Ankara) yerleşim bölgesindeki Ankara Kalesi'nin kuzey yamaçlarında yüzeylenmiş andezitlerde, olası duraysızlık türleri incelenerek, bölgenin potansiyel duraysızlık haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanında; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların kinematik anlamda gelişebilecekleri ortaya konularak, % 28 devrilme, % 15 kama ve % 10 oranında da düzlemsel kayma türünde duraysızlık potansiyelinin varlığı belirlenmiştir. Ancak, bu değerlendirmelerin sadece bir ön fikir verdiği unutulmamalıdır. İnceleme alanında gelecekte yapılması olası kentsel planlama ve gelişim değerlendirmeleri ile mühendislik uygulamaları gibi çalışmalar için ise, potansiyel duraysızlıkların olası olduğu bu alanlarda limit denge analizleri gibi ayrıntılı analizlerle sınanması gereklidir. Ayrıca, inceleme alanında topoğrafyanın çoğu yerde çok dik olması nedeniyle, oluşabilecek duraysızlıklar sonucunda; kayan, devrilen ve/veya askıda kalmış olan blokların, kaya düşmesi davranışı göstermesi de olasıdır.



Hazırlanan potansiyel duraysızlık haritasında, özellikle inceleme alanının Timurlenk Tepe ve yakın civarındaki yerleşim bölgeleri, olası şev duraysızlıklarına karşı herhangi bir önlem alınmamış olması nedeniyle, tehlikeye açıktır. Bu kesimlerin yanı sıra, özellikle ana cadde ve yolların kenarındaki şevler de tehlike arz edebilecek alanlar olarak değerlendirilebilir. Bu tür sorunların beklendiği bölgelerde, yerleşime açılmadan önce bu incelemedekine benzer kapsamda yapılacak çalışmalarla duraysızlık potansiyeline sahip alanların önceden belirlenmesi, yer bilimciler dışında, hem kent planlamacıları, hem de yerel yönetimler açısından büyük önem taşımaktadır. Bu şekilde uygulanacak işlevsel ve güvenli çözümlerle, can ve mal kayıpları en aza indirgenebileceği gibi, ekonomik açıdan da kazanımların sağlanabileceği açıktır.

#### KATKI BELİRTME

Yazarlar, değerli yorum ve görüşlerinden yararlandıkları dergi editörü Prof. Dr. Reşat Ulusay, sayısal ortamda kinematik analizler için yazılan DIKA bilgisayar programındaki katkılarından ötürü Araş. Gör. Özgü Kaşmer'e ve şekil çizimlerinde katkılarını esirgemeyen Dr. Kıvanç Zorlu'ya teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996. Altındağ İlçesi Kayaya Düşmesi Raporları. Rapor No:370/6652/8801, 65 s.
- Bailey, E.B. ve McCallien, W.J., 1950. Ankara melanjı ve Anadolu şariyaji. M.T.A. Enstitüsü Dergisi, 15/40, 12-22.
- Barton, M.R., 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. Engineering Geology, 7, 287-332.
- Chaput, E., 1931. Ankara mıntıkasının 1/135000 mikyasında jeolojik haritasına dair izahat. İstanbul Darülfunun Jeoloji Enstitüsü Neşriyatı, No.7, 46 s.
- Dağar, Z., Öztümer, E., Sirel, E. ve Yazlak, Ö., 1963. Ankara civarında birkaç stratigrafik kesit. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 8 (1-2), 84-95.
- Eastman, J.R., 1992. IDRISI: A grid-based geographic analysis system-User's guide. Version: 4.1., Clark University, Massachusetts, 178 pp.
- Ercanoğlu, M., 1997. Altındağ (Ankara) yerleşim bölgesindeki andezitlerde olası şev duraysız-

lık modellerinin incelenmesi ve duraysızlık haritasının oluşturulması. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 83 s (yayımlanmamış).

- Erol, O., 1961. Ankara bölgesinin tektonik gelişmesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 7(2), 57-85.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., and Ercanoğlu, M., 2000. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey. Engineering Geology, 55, 277-296.
- Hoek, E., and Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. 3rd Edition, Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., London, 358 pp.
- Hoek, E., Bray, J.W., and Boyd, J.M., 1973. The stability of a rock slope containing a wedge resting on two intersecting discontinuities. Quarterly Journal of Engineering Geology, 6(1), 14-25.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, Oxford, 211 pp.
- Karacan, E., 1984. Ankara andezitlerindeki kırık ve çatlakların jeomekanik çözümlemesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Enstitüsü, 123 s (yayımlanmamış).
- Karacan, E. ve Kasapoğlu, K., 1986. Ankara andezitlerinde kırık ve çatlaklar üzerine bir inceleme. Yer Bilimleri, 13, 63-75.
- Kasapoğlu, K.E., 1980. Ankara kenti zeminlerinin jeomühendislik özellikleri. Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 206 s (yayımlanmamış).
- Kumsar, H., Aydan, Ö., and Ulusay, R., 2000. Dynamic and static assessments of rock slopes against wedge failures. Rock Mechanics and Rock Engineering, 33 (1), 31-51.
- Norrish, N.L., and Wyllie, D.C., 1996. Rock slope stability analysis. In: A.K. Turner and R.L. Schuster(eds.), Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., Special Report 247, 673 pp.
- Ulusay, R., 1975. Ankara kenti kuzey-orta bölgesinin jeomühendislik özellikleri. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Enstitüsü, 81 s (yayımlanmamış).
- Zanbak, C., 1977. Statistical interpretation of discontinuity contour diagram. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanic Abstracts, 23 (1), 45-51.