

ANADOLU OTOYOLU ASARSUYU GEÇİŞİNDE ZAYIF KAYAÇLARDA YAMAÇ DURAYSIZLIĞI SORUNLARI

SLOPE STABILITY PROBLEMS OF THE WEAK ROCKS IN THE ASARSUYU PASSING OF THE ANATOLIAN MOTORWAY

Süleyman DALGIÇ

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
34850 Avcılar, İstanbul

Özet: Anadolu Otoyolun Asarsuyu geçişi, Kuzey Anadolu Fay Zonu tarafından çok sık aralıklı süreksizlik sistemleri tarafından kesilmiş ve farklı derecede ayrışmaya uğramış, birbirleriyle girik amfibolit, metagranit ve metadiyoritten oluşan çok zayıf - zayıf bir kayaç kütleli içerisinde geçmektedir. Vadi içerisindeki, duraysızlıkların süreksizliklerden ziyade, kayacın jeomekanik özelliklerinin denetiminde geliştiği ve kayma düzlemlerinin de dairesel yüzeyler boyunca geliştiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Otoyol, fay, zayıf kayaç, duraysızlık

Abstract: Asarsuyu passing of the Anatolian Motorway is cut by several discontinuity systems in the North Anatolian Fault Zone. It extends through very poor to poor rock mass consisting of amphibolite, metagranite, and metadiorite that are altered to varying degrees. It was observed that instabilities in the valley were developed along circular slip surfaces under the control of geomechanical properties rather than along discontinuities.

Key words: Motorway, fault, weak rock, instabilities

GİRİŞ

Asarsuyu vadisi geçişi ve bu vadinin bitimindeki Bolu tüneli geçişi Anadolu otoyolunun en sorunlu kesimlerini oluşturmaktadır. Bu çalışma ise yapımına devam edilen Asarsuyu vadisindeki yaklaşık 7 km uzunluğundaki Anadolu otoyolunun kuzey ve güney yamaçlardaki doğal yamaç duraysızlıklarını, bunların mekanizmasını, kaya kütleli ve zemin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır (Şekil 1).

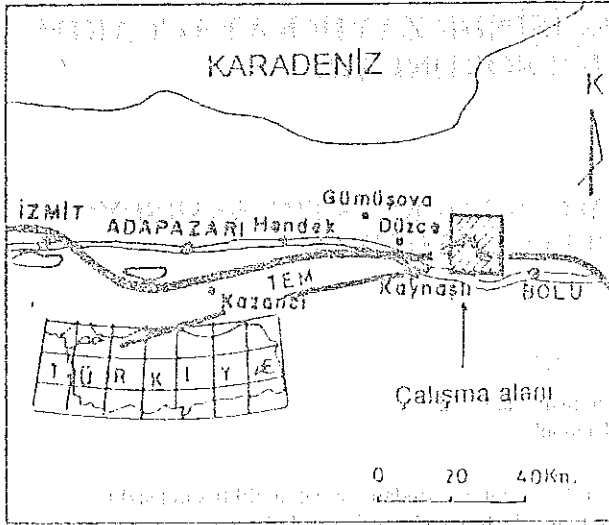
Asarsuyu vadisindeki kütle hareketleri araştırma sondajları, araştırma çukurları, jeofizik çalışmaları ile arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından yararlanılarak incelenmiştir. Çalışmada önce, Asarsuyu vadisinin jeomorfolojisi, jeolojisi, litolojik birimlerin mühendislik özellikleri, yeraltısuyu koşulları ve deprenselliği araştırılmıştır. Çalışmanın sonraki aşamasında vadi içerisinde belirlenen yamaç hareketleri, kuzey yamaçlarda Kom heyelanı, Kilise heyelanı, Lokman heyelanı ve güney yamaçlarda Zekidağ akmaları olarak adlandırılarak incelenmiştir. Kom heyelanında kayaç kütleleri Bieniawski (1989)'nin RMR sistemine göre sınıflandırılmış, Hoek-Brown (1995) kriterinden yararlanılarak dayanım parametreleri elde edilmiştir. Kom heyelanında geriye dönük analizlerde Bishop (1955) yöntemi kullanılarak Hoek-Brown eşitliği ile belirlenmiş kohezyon ile içsel sürtünme açısı değerleri karşılaştırılmıştır. Kuzey yamaçlardaki kütle hareketlerinin bulunduğu alanlarda inklinometre

ölçümleri de yapılarak yamaç duraylılıkları kontrol altına alınmıştır.

Asarsuyu vadisine komşu bölgelerdeki diğer kütle hareketleri bu çalışmanın yaklaşık 15 km doğusundaki Yumrukaya heyelanları ile (Dalgıç vd., 1995) batısındaki Bülbül deresi ve Bakacak heyelanlarıdır. Bülbül deresi heyelanı 4-5 km uzunluğunda, 2-3 km genişliğinde, bölgedeki en büyük heyelanlardan biridir. Bakacak heyelanı ise 4-5 km uzunluğunda ve 1.5 km genişliğindedir. Bakacak heyelanı O -1 (E 5) karayolunun geçtiği kesimlerde ve sınırlarında daha küçük aktif heyelan özelliğindedir. Bu heyelanın topuk kesimi, otoyol için uzunluğu 2600 metre olan viyadük ayaklarının inşa edilmesi bakımından önem taşımaktadır.

ASARSUYU VADİSİNİN JEOMORFOLOJİSİ

Kuzey Anadolu Fay Zonu sistemine bağlı olarak B-D doğrultulu oluşmuş Asarsuyu vadisinin uzunluğu yaklaşık 7 km'dir. Otoyol ekseninin geçeceği ilk 3 km de topoğrafya doğrultu atımlı faylarla şekillenmiş sırtın eteklerinden geçmektedir. Otoyol güzergahı bu kesimden sonra Kom deresini kesmektedir. Kom deresinden sonra güzergah, Kom heyelanı ile şekillenmiş tabla şekilli yamacın eteklerinden geçer. Güzergah bu kesimden sonra, Asarsuyu vadisi nehir yatağına paralel, yaklaşık 700 m kotlarında yayvan bir topoğrafya üzerinde ilerleyerek Bolu tünelinin Asarsuyu girişine ulaşır. Vadi yamaçları çoğunlukla %30'dan (15°) fazla eğime sahiptir.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

Asarsuyu vadisindeki morfolojik değişimler yapının ve daha az olarak litolojinin denetiminde gelişmiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu ile şekillenen Asarsuyu vadisi ve bu vadiye ulaşan yan kolların dik açılı ilişkileri, vadi girişlerindeki dönüşler, kütle hareketleri, üçgen yüzlü tepeler çok genç bir morfolojiyi yansıtmaktadır. Asarsuyu

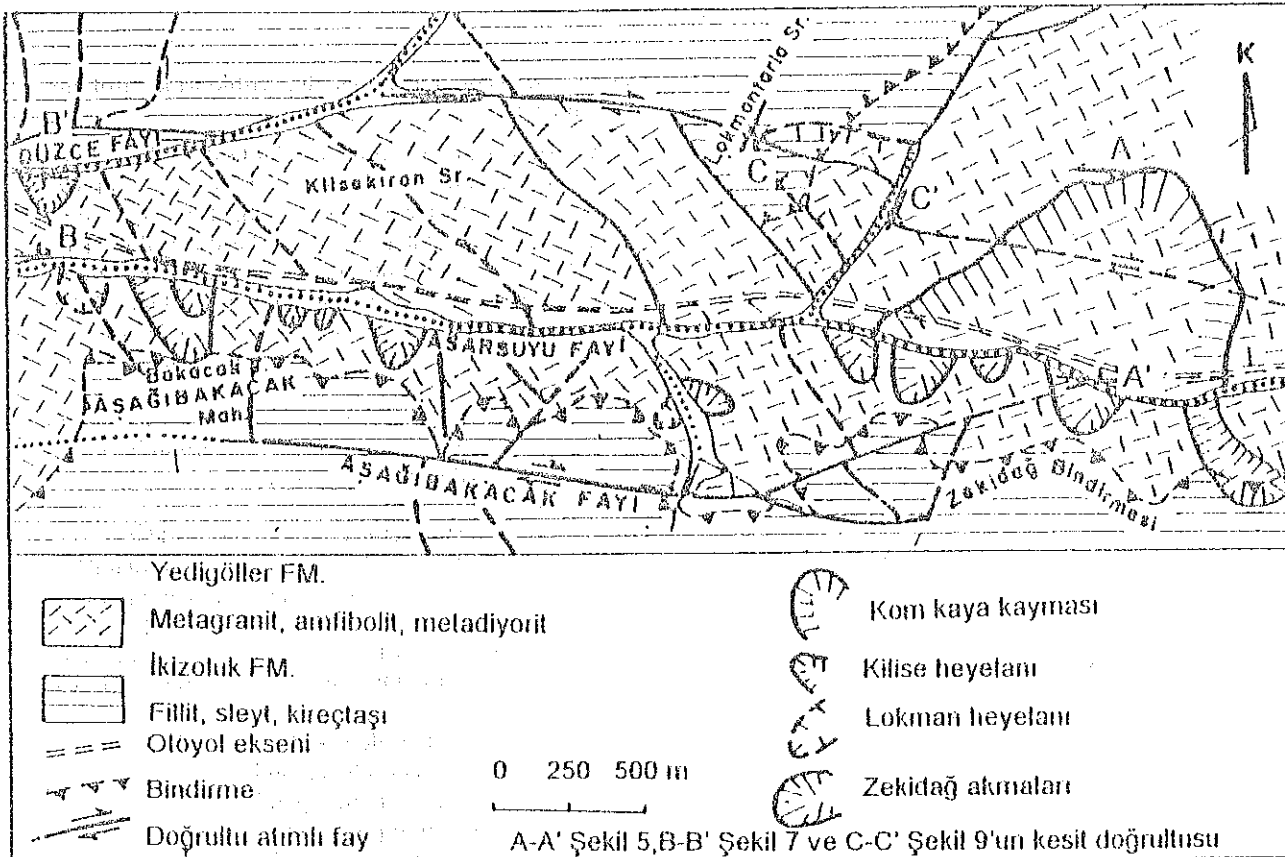
vadisine ulaşan küçük vadilerin oluşumu da yapısal unsurlar boyunca zayıf kayaların dayanımsız ve çabuk aşınabilen zonlarında gelişmiş olmalıdır.

JEOLJİK KONUM

Batı Pontid kuşağı içerisinde yer alan Asarsuyu geçişinin temelini birbirleriyle sahada ayırtlanamayacak kadar girik amfibolit, metagranit, metadiyoritten oluşan, Prekambriyen yaşlı Yedigöller formasyonu oluşturur (Şekil 2). Bu birimlerin üzerinde tektonik dokanakla güney ve kuzey yamaçlarda fillit, sleyt ve kireçtaşıdan oluşan İkizoluk formasyonu yer almaktadır. Bu birimlerin de üzerinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı siltli kum, kumlu silt, çakıllı kum, kumlu çakıldan oluşan Asarsuyu formasyonu bulunmaktadır. Vadi tabanında ise eski-güncel alüvyon çökelleri, alüvyon konisi çökelleri ve kolüvyon çökelleri yer alır (Dalgıç, 1994a).

Otoyol güzergahını etkileyen tektonik olaylar paleo-tektonik dönemde oluşan bindirme düzlemleri ile neotektonik dönemde oluşan Kuzey Anadolu Fay Zonu sistemidir. Vadi içerisindeki en önemli tektonik yapı ise Kuzey Anadolu Fay Zonu sistemi içerisinde oluşan Asarsuyu fayıdır (Dalgıç, vd., 1996a).

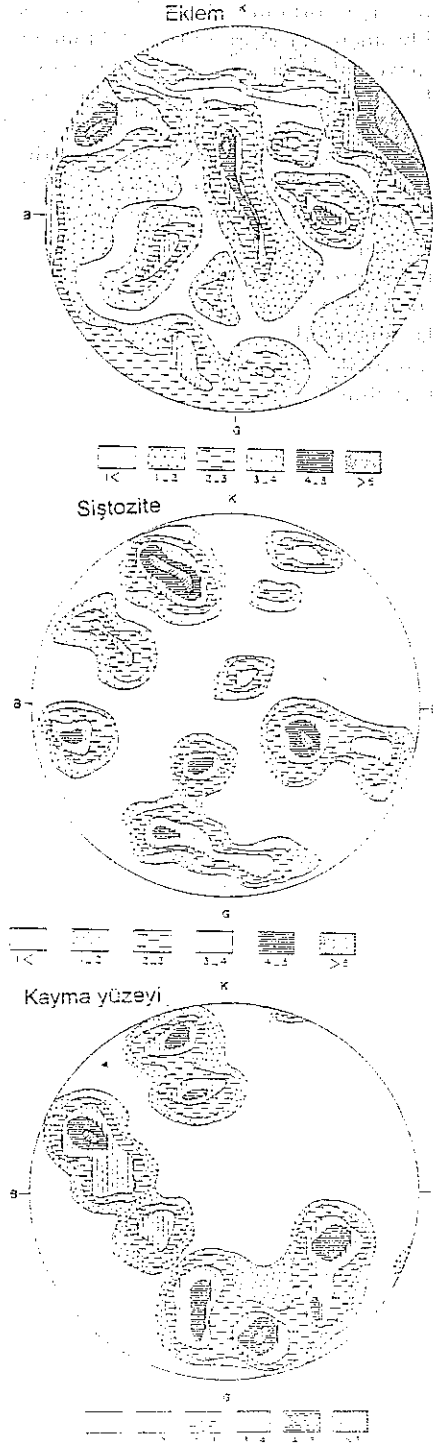
Asarsuyu fayı, vadinin oluşumunu sağlamış doğrultu atımlı sağ yönlü ana faylardan biridir (Şekil 2). Bu fay, Yedigöller formasyonunu etkilemiş ve güncel Ku-



Şekil 2. Asarsuyu vadisinin jeoloji haritası.
Figure 2. Geological map of the Asarsuyu valley.

vaterner çökelleri tarafından örtülmüştür. İnceleme alanı içerisinde alınan eklem, şistozite ve kayma yüzeyi ile ilgili ölçüler, eşit alan stereografik projeksiyonunda belirgin bir yoğunlaşma yerine, dağınık bir dağılım göstermektedir (Şekil 3). Saha gözlemlerinde de bu yönde veriler elde edilmiştir. Bu durum duraysızlıklar üzerinde

süreksizliklerin belirgin bir denetiminin olmadığını göstergesi olarak yorumlanmıştır. Çalışma alanı yakınındaki Mengen yöresinde de Gökçeoğlu ve Aksoy (1995) tarafından yapılan kinematik analizlerde, bölgedeki kayma kütlelerinde süreksizliklerle denetlenen duraysızlık sorununun olmadığını tespit etmişlerdir.



Şekil 3. Yedigöller formasyonundaki süreksizliklerin kontur diyagramındaki dağılımı.
Figure 3. Distribution of discontinuities in the Yedigöller formation.

YERALTISUYU KOŞULLARI

Asarsuyu vadisi kuzey yamaçlardaki kütle hareketlerinin bulunduğu alanlarda araştırma sondajlarının bazılarına piezometre boruları yerleştirilerek değişik tarihlerde yeraltısu düzeyleri ölçülmüştür. Özellikle Kom heyelanındaki araştırma sondajlarının büyük bir kısmında yeraltısu ölçülmemiştir. Ayrıca, aynı kayaç ortamı içerisinde şev stabilite analizleri için, 14 basınçlı su testi yapılarak yeraltısu koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan basınçlı su testlerinde de kayaç kütlelerinin geçirirlik katsayısının (5×10^{-6} m/s ile 3×10^{-8} m/s) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kazısı yapılmakta olan Bolu otoyol tüneline 150 - 200 m'lik örtü yükü altında yaklaşık 700 m aynı birim içerisinde ilerleme yapılmış (Dalgiç, 1996 b) ve bu tür kayaçlarda yeraltısu ile karşılaşılmasıdır. Yine, Asarsuyu vadisinin yamaçlarının oldukça yüksek eğime sahip olması nedeniyle yeraltısu besleyemeden yüzey drenajıyla sahayı terk etmesi ve vadinin kuzey yamaçlarının sınırlı beslenme alanına sahip olması yeraltısu potansiyelini sınırlamıştır. Ancak, yüzeydeki çok ayrılmış - ayrılmış kesimlerde fay ve eklem sistemlerinde yağışlı dönemlerde vadinin kuzey ve güney yamaçlarından Asarsuyu deresine doğru sızıntı (0.1-0.5 lt/s) şeklinde sular bulunmaktadır. Bu sular güney yamaçlarda yoğunluk kazanmakta ve yaz aylarında kurumakta veya debileri azalmaktadır. Bütün bu özellikler itibarıyla kuzey yamaçlardaki kütle hareketlerinde yeraltısuyunun etkisinin olmadığı, güney yamaçlardaki kütle hareketlerinin oluşmasında yeraltısuyunun etkisinin olduğu dikkate alınmıştır.

DEPREMSELLİK

Türkiye'de depremlere bağlı gözlenen kütle hareketlerinde, heyelanlar birinci sırada yer almaktadır. Oluş sayısına göre ikinci önemli kütle hareketleri kaya düşmeleridir. Ayrıca, magnitudü 6'dan büyük olan depremlerde kütle hareketlerinin oluş sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir (Yüksel ve Dalgiç, 1995). Keefer (1984) ise magnitudü 4'den büyük olan depremlerin kütle hareketi oluşturabileceğini belirtmiştir. Aynı yazar magnitudü 7.5 olan depremlerin episantrından 300 km'lik bir alan içerisinde de şev duraysızlıklarına neden olabileceğini saptamıştır.

Asarsuyu vadisinde faylardan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü 7.0 dolayında tahmin edilmektedir (Dalgiç, 1994). Bu durumda bölgede depremlerin, esasen kritik durumdaki yamaçlarda, oluşan yatay ve düşey yer ivmeleri sebebiyle bir çok yer kayması oluşturmuş olabileceği ve oluşturmaya devam edeceği düşünülmektedir. Nitekim, 1957 Abant depremi bölgede birçok heyelanı tetiklemiştir (Ambraseys, 1988).

DURAYSIZLIK TÜRLERİ

Asarsuyu vadisinde belirlenen duraysızlık türleri kuzey yamaçlarda Kom heyelanı, Kilise heyelanı, Lok-

man heyelanı ve güney yamaçlarda Zekidağ akmaları olarak adlandırılarak incelenmiştir.

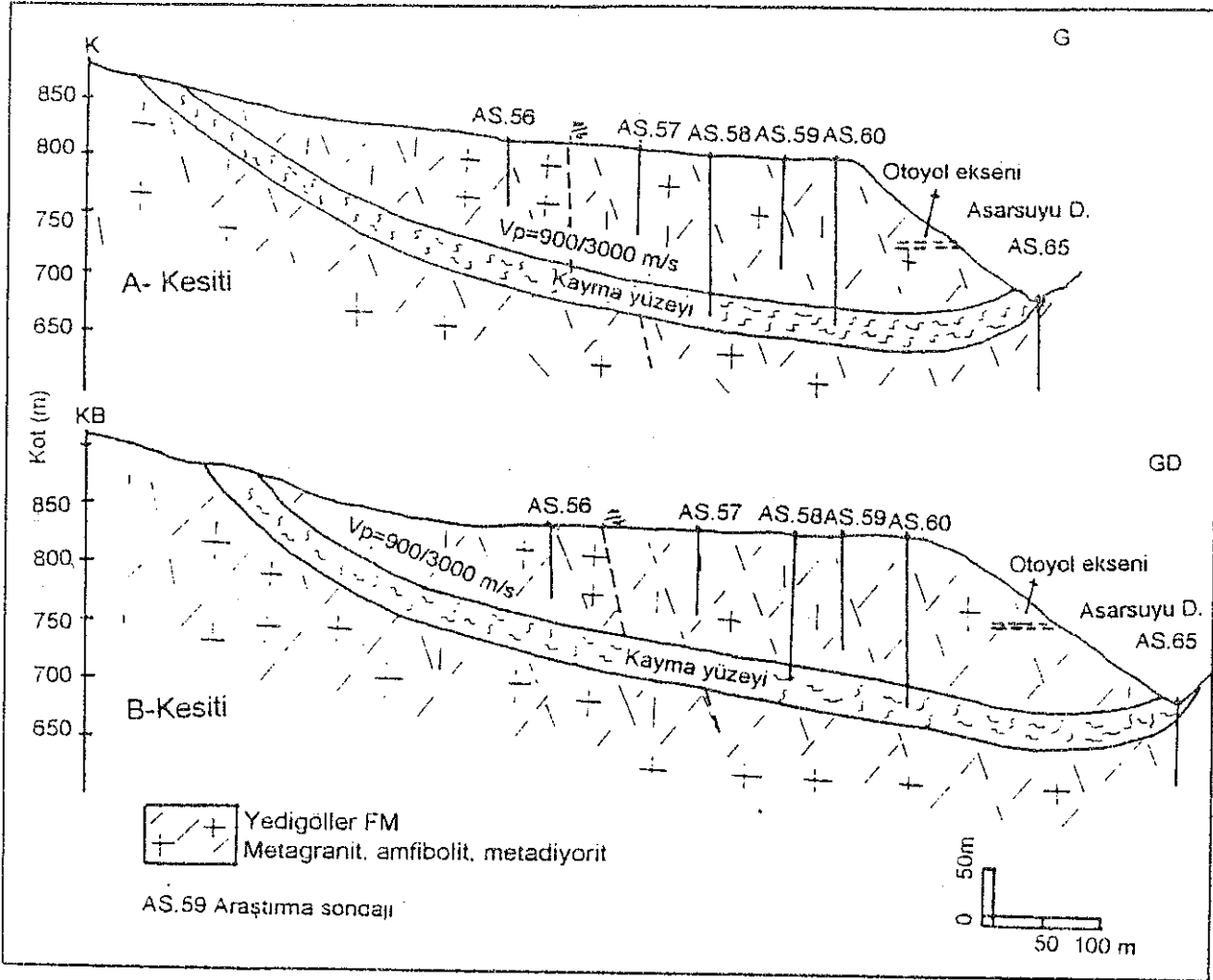
Kom heyelanı

Otoyol eksenini etkileyen en önemli derecedeki kütle hareketi, önceden kayarak şimdi duraylı konumda bulunan dairesel Kom heyelanıdır. Kom heyelanı bölgedeki genç tektonizmaya bağlı olarak oluşan yüksek eğimli yamaçdaki zayıf - çok zayıf kayaçların kayması sonucu oluşmuştur (Şekil 4 ve 5). Heyelan hareketi Yedigöller formasyonuna ait birbirleriyle girik metagranit, amfibolit, metadiyorit birimleri içerisinde olmuştur. Hareketin boyutları 1200 m x 750 m x 130 m ve hareketin kayma yönü kuzeyden güneye doğrudur.



Şekil 4. Kom heyelanından bir görünüm.
Figure 4. A view from the Kom landslide.

Bu alanda iki araştırma sondajı (AS-58, AS-60) heyelanın kayma düzlemini araştırmaya yönelik olarak yapılmıştır. Araştırma sondajlarından AS-58 136 m ve AS-60 145 m derinliktedir. Her iki kuyudan elde edilen karotlara göre ilk 3-4 m. de az plastik- plastik kahve renkli kumlu kilden oluşan yamaç molozlarından sonra ayrılmış, orta sert, son derece kırıklı, kayma yüzeyli amfibolit, metadiyorit, metagranit litolojileri bulunmaktadır. Bu düzeylerin P dalga hızları 900 ile 3000 m/s dolayında ölçülmüştür. Heyelanın kayma düzlemine AS-58 araştırma sondajında 110 m de girilmiş ve kuyu sonu 136 m'ye kadar devam etmiştir. AS-60 araştırma sondajında ise kayma düzlemine 116.5 m de ulaşılmış ve bu kuyu da kayma düzlemi içerisinde bitirilmiştir. Kayma düzleminin alt sınırı ise heyelanın geometrik şekline göre sondaj verilerinden yaklaşık 10-15 m daha altıdır. Kayma düzlemindeki litolojilerde son derece ayrılmış, yumuşak-az sert, ezik amfibolit, amfibolgnays, metagranit, metadiyorit parçaları zemin özelliğinde kumlu siltli killi birimler içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 5. Kom heyelanında araştırma sondajlarına göre belirlenen kayma yüzeyinin konumu.
Figure 5. Position of a slip surface detected from the explanatory drillings within the Kom landslide.

Kom heyelanının kesin yaşı belirlenememiştir. Buna rağmen kaymanın yaşı ile ilgili bir yorum yapılmıştır: Kom heyelanının oluşması ile vadi kapanarak arkasında, Asarsuyu formasyonun çökeldiği bir göl ortamı oluşturmuş olmalıdır. Asarsuyu formasyonunun gölsel özellikler göstermesi ve heyelanın batısında bu tür çökellerinin bulunmaması bu görüşü destekler niteliktedir. Bu amaçla, Asarsuyu formasyonundan alınan örnekler üzerinde palinolojik yaş araştırmaları yapılmıştır (Kleberger, 1992). Bu araştırmaların sonucuna göre Asarsuyu formasyonun en az 20000 yıl önce çökeldiği tesbit edilmiştir. Bu durumda Kom heyelanının yaşı bu saptanan yaş konağından daha eski olmalıdır. Bölgesel ölçekteki çalışmalar ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun yaşı ile ilgili araştırmalar ise (Barka, 1992), Kom heyelanının alt yaşının Pliyosen'e kadar inebileceğini belirtmektedir.

Kom heyelanının bulunduğu alanda, yaklaşık B-D doğrultulu olası bir fay bulunmaktadır. Bölgenin çok ormanlık olması ve fayın doğu ucunun Pliyo-Kuvaterner

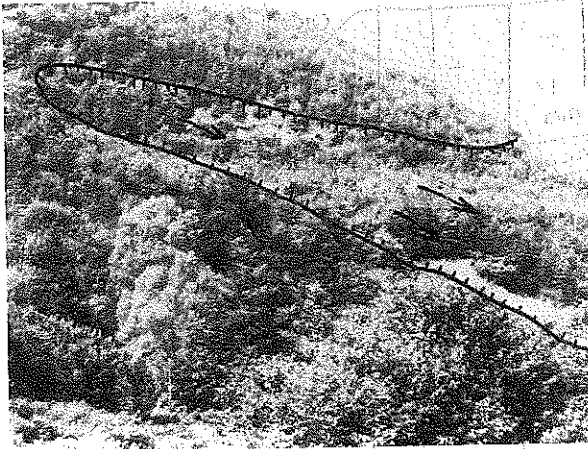
yaşlı çökel birimleri tarafından örtülmesi, bu faya ait yeterli yüzey ve yeraltı verilerinin elde edilmesini engellemiştir. Bu nedenle olası fayın, heyelana etkisi bu çalışmada incelenememiştir.

Kom heyelanında yapılan arazi gözlemleri ve AS-59 no'lu araştırma sondajında yapılan periyodik inklinometre okumaları, Kom heyelanında herhangi bir hareketin gelişmediğini göstermektedir. Bu durum ise Kom heyelanında yamaç duraylılığının oluştuğunu göstermektedir. Ancak, bu alanda otoyol güzergahı için planlanan yarma çalışmalarından tekrar duraylılık sorunlarına yol açmak için vaz geçilmiş ve güzergah vadi tabanına yakın bir alana kaydırılmıştır (Dalgıç, 1994 b).

Kilise heyelanı

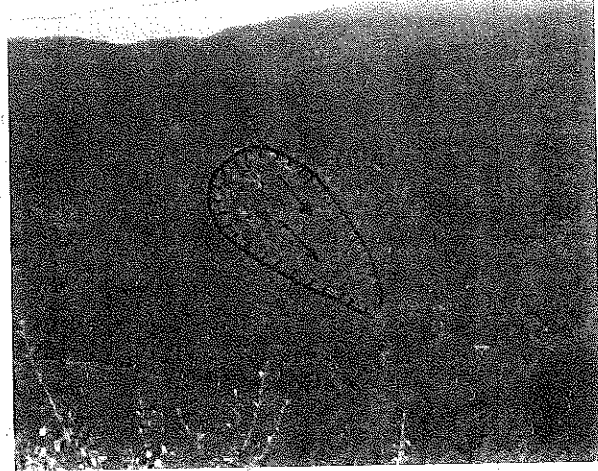
Kilise heyelanı, yaklaşık 40x30x15 m boyutlarında ve kayma düzlemi AS 2 no'lu araştırma sondajında yüzeyden ortalama 17 m derinlikte ve dairesel özelliktedir.

Heyelanın oluşum mekanizması Düzce fayının zayıflık zonları ile ilişkilidir (Şekil 6 ve 7). Kilise heyelanı Yedigöller formasyonuna ait birbirleriyle girik çok zayıf, zayıf amfibolit, metagranit ve metadiyoritler içerisinde izlenmektedir.

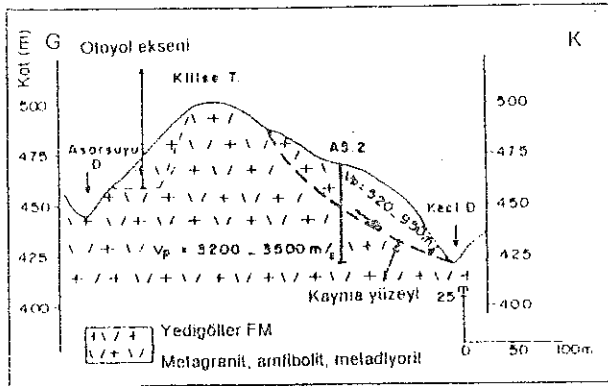


Şekil 6. Sığ derinlikteki Kilise heyelanı.
Figure 6. Kilise landslide occurring at shallow depths.

otoyolun dolgu alanı içerisinde kalmaktadır. Ayrıca, AS-40 no'lu araştırma sondajında yapılan periyodik inklinometre okumaları, Lokman heyelanında herhangi bir hareketin gelişmediğini göstermektedir.



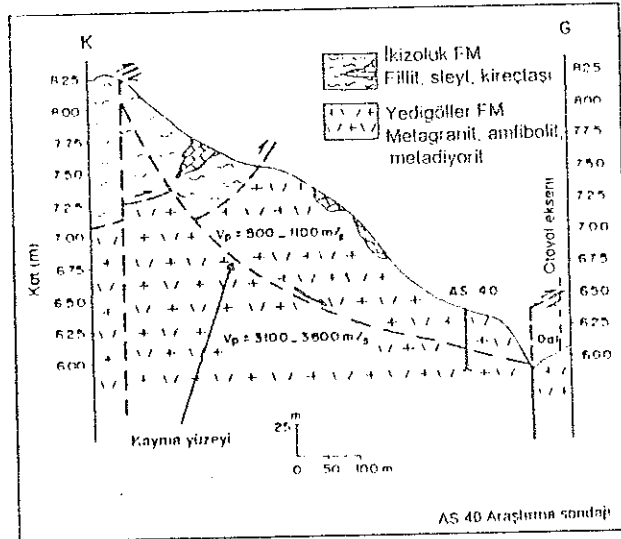
Şekil 8. Lokman heyelanının görüntüsü.
Figure 8. A view from the Lokman landslide.



Şekil 7. Kilise heyelanına ait kayma yüzeyinin konumu.
Figure 7. Position of a slip surface from the Kilise landslide.

Lokman heyelanı

Lokman heyelanı yaklaşık 150x100x30 m boyutlarında ve kayma düzlemi AS-40 sondajında yüzeyden 30.70 m derinlikte ve dairesel özelliktedir. Heyelanın oluşmasında Düzce fayının kollarının etkisi bulunmaktadır (Şekil 8 ve 9). Duraysız kütle içerisinde Yedigöller ve İkizoluk formasyonuna ait litolojiler bulunmaktadır. Heyelanın topuk kısmındaki malzeme kalınlığının az oluşu Kom deresiyle ilgilidir. Çünkü dere heyelanının topuk kısmındaki malzemeyi halen güncel olarak taşımaya devam etmektedir. Lokman heyelanının topuk kısmı ise

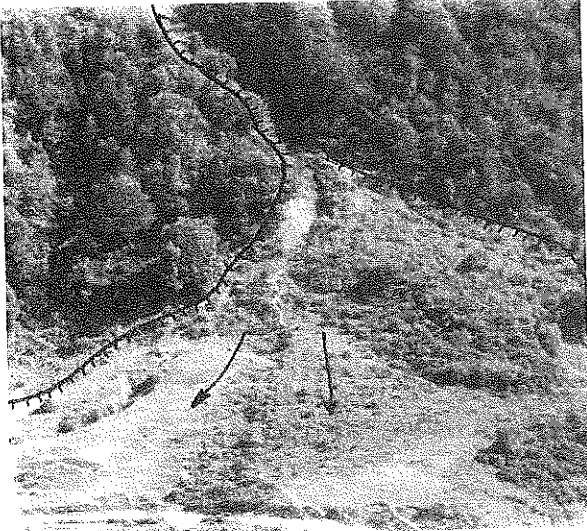


Şekil 9. Lokman heyelanında kayma yüzeyinin konumu.
Figure 9. Position of a slip surface from the Lokman landslide.

Zekidağ akmaları

Asarsuyu vadisinin yüksek eğimli, güney yamaçlarında kolüvyal hareketlere bağlı olarak sığ derinliklerde, yaklaşık 20 aktif akma hareketi saptanmıştır. Bu hareketlerin yönü kuzeyden güneye doğru olup, akmalar İkizoluk formasyonu ile Yedigöller formasyonu'nun ayrılmış kaya birimleri içerisinde olmaktadır (Şekil 10 ve 11). Akma hareketlerinin geliştiği yükseltiler 700 m kotundadır. Akma düzlemi derinlikleri 10-15 m kadardır. Akma olaylarını Zekidağ bindirmesi, Asarsuyu fayı ve

yan kollarında gelişen ezik kayalar oluşturmaktadır. Ayrıca, Zekidağ akmalarmın güney yamaçlarda gelişmiş olması bu alandaki parçalanmış ve ezik kayaların suya doygunluğu bakımından göreceli olarak diğer yamaçlara göre fazla olduğunu göstermektedir. Ezik kaya zonu içerisinde, ayrışma olayları, dik topoğrafya yüzeyi, sıcaklık-nem, hava koşulları çakıldan blok boyutuna kadar parçalarını siltli kil hamur içerisinde taşıyan kolüvyal zeminin oluşumunu sağlamıştır.



Şekil 10. Birbiri üzerine değişik zamanlarda gelişen Zekidağ akmaları.
Figure 10. Zekidağ flows developing onto each other in different times.

DURAYSIZLIKLARIN MEKANİZMASI

Asarsuyu vadisi kütle hareketlerindeki Yedigöller ve İkizoluk formasyonuna ait litolojiler tektonik etkilerle çok parçalanmış, ayrışmanın da etkisiyle giderek daha zayıflamıştır. Bu durum, Kom heyelanı, KİLİSE ve Lokman heyelanı ile Zekidağ akmalarmında belirgin eklem sistemleri içeren sağlam kaya kütlelerinde karşılaşılan süreksizlik denetimli duraysızlık modellerinden farklı bir mekanizmanın gelişmesine yol açmıştır. Başlıca Asarsuyu Fayı ve diğer faylardan dolayı gelişen parçalanma ve ayrışma sonucunda zayıflamış kayalar kütleleri dairesel yüzeyler boyunca yenilmektedir. Bu tür yenilmelerde kaymalar, kaya parçalarının kısmen birbirleri üzerinde döndüğü ve kısmen de ayrılmış kaya kütleleri içerisinde dayanımın en zayıf olduğu noktalar boyunca gelişmektedir.

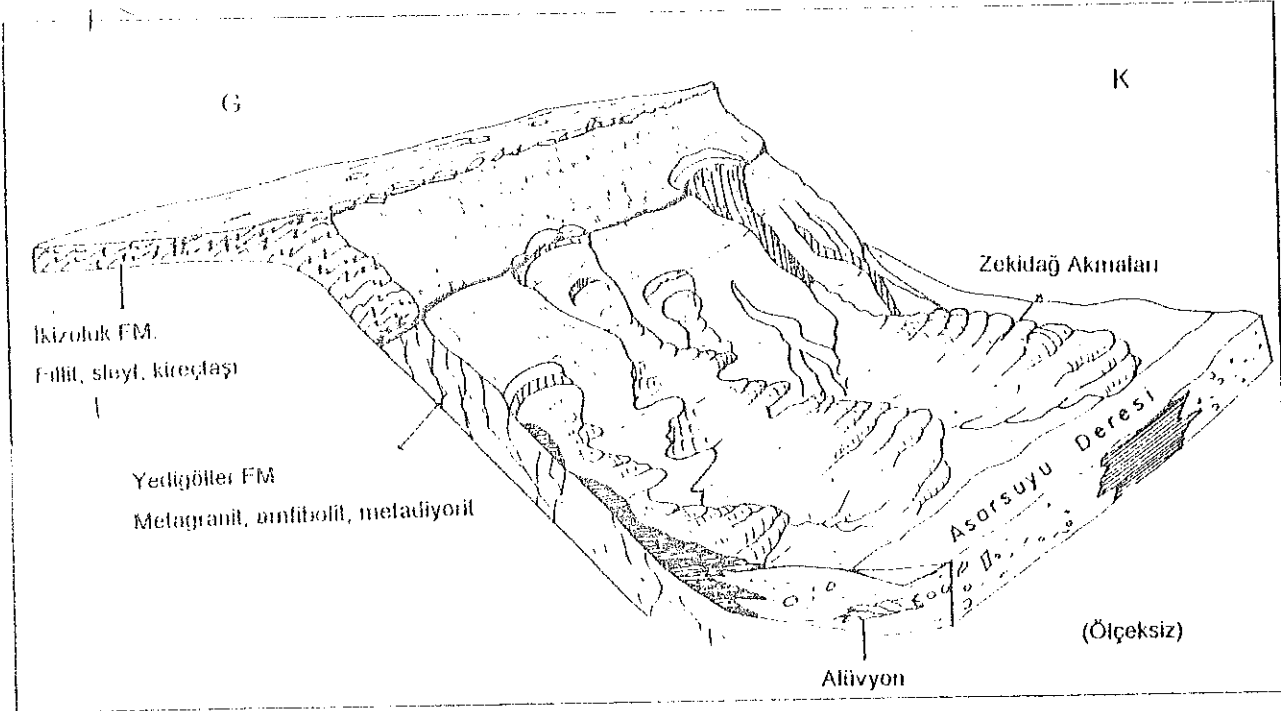
Bölgedeki bazı heyelanların oluşmasında da yukarıda belirtildiği gibi depremler de etkili olmaktadır.

KOM HEYELANININ JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

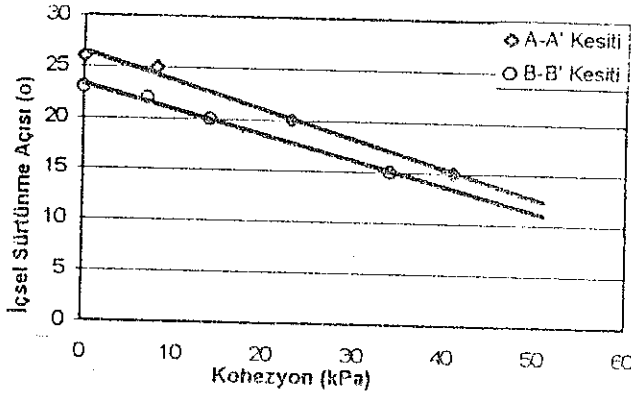
Kom heyelanının RMR kaya kütleleri ve Hoek-Brown çeşitliğinden yararlanılarak makaslama parametreleri saptanmıştır.

Kom heyelanında kaya kütleleri sınıflaması

Doğal yamaçlarda uygulanabilirliği nedeniyle Kom heyelanındaki kütle hareketinde kayma düzlemi ve kayma düzleminin üst ve alt kesimindeki kayalar Bieniawski (1973) tarafından önerilen ve aynı araştırmacı tara-



Şekil 11. Zekidağ akmalarmına ait blok diyagramı (ölçeksiz).
Figure 11. A block diagram for the Zekidağ flows (no scale).



Şekil 12. Geriye dönük duraylılık analizlerinde Kom heyelanı için limit denge koşulunda kohezyon ve içsel sürtünme açısı ilişkileri.

Figure 12. Relationship between internal friction angles and cohesion values in the back analyses at limiting equilibrium condition for Kom landslide.

findan (Bieniawski 1979, 1989) modifiye edilen RMR kaya kütlesi sınıflama sistemine göre değerlendirilmiştir.

Kom heyelanındaki parçalanmış litolojilerde, tek eksenli deneyler için standartlara uygun boyutta karot alınamamıştır. Bu nedenle, sondajlarından elde edilen düzensiz şekilli örnek üzerinde ISRM (1985)'e göre nokta yükleme deneyi yapılmıştır (Çizelge 1). Ancak, elde edilen 0.1-0.9 MPa'lık nokta yük indeksi değerleri Bieniawski (1989) sınıflamasında değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu durumda sınıflamada kayanın tek eksenli sıkışma dayanım değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle Bolu tünel güzergahı üzerinde de aynı formasyona ait litolojilerde yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı parametreleri RMR sınıflamasında değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı değeri süreksizliklere ve petrografik gözlemlere göre kayanın mineral içeriklerine bağlı olarak 5.6 ile 44.8 MPa ile arasında değişmektedir (Dalgıç, 1994), (Çizelge 1).

Kom kaya kaymasında ve vadinin diğer kesimlerinde yapılan araştırma sondajlarında kaya kalite göstergesi (RQD) Deere (1964) sınıflamasına göre çok kötü kaya

(RQD:% 0-10) sınıfını temsil etmektedir. Buna neden olarak özellikle bölgedeki etkin tektonizma sonucu kayaların çok kırıklı bir yapı kazanmış olması ve kütle hareketi etkilerinin olduğu düşünülmektedir.

Araştırma sondaj verilerine göre süreksizlik aralığı kayma düzlemlerinde < 60 mm'dir. Kayma düzleminin üst kesimlerinde 60-200 mm, kayma düzlemlerinin alt kesimlerinde 200-600 mm arasında değişmektedir. Süreksizliklerin uzunluğu ise araştırma sondajlarında yeteri kadar takip edilememiştir. Ancak saha gözlemlerinde süreksizliklerin uzunluğunun >20 m ile <1 m arasında değiştiği saptanmıştır. Süreksizliklerin açıklığı kayma düzlemlerinde > 5 mm, kayma düzlemlerinin üst kesimlerinde 1-5 mm ve kayma düzlemlerinin alt kesimlerinde 0.1-1.0 mm arasında değişmektedir. Süreksizlik yüzeyleri kayma düzleminde kayma yüzeyli, kayma düzleminin üst kesimlerinde düz-az pürüzlü, kayma düzlemlerinin alt kesimlerinde az pürüzlü ve pürüzlü olarak değişmektedir. Kayma düzlemleri yumuşak kil dolgulu, kayma düzlemlerinin üst kesimleri >5 mm sert kil dolgulu, kayma düzlemlerinin alt kesimleri demiroksit sıvalıdır. Ayrıca karot örneklerinde kayma düzleminde süreksizlikler tamamen ayrılmış, kayma düzleminin üst kesimlerinde çok-orta derece ayrılmış, kayma düzlemlerinin alt kesimlerinde orta-az ayrılmış özelliktedir.

Kom kaya kaymasında herhangi bir serbest veya basınçlı akifer koşulu ile karşılaşmamıştır. Ancak, yağışlardan kaynaklanan ve kayaç kütlesinin içine süzülen suların ayrılmış kütleli bir miktar yumuşatarak malzemenin dayanımını azalttığı düşünülmüştür. Bu nedenle yeraltısuyunun kayma düzleminde nemlenme ve damlama, kayma düzlemlerinin alt ve üst kesimlerinde nemlenme durumu değerlendirmeye alınmıştır.

Süreksizliklerin yönelimi geliş güzel özelliktedir. Bu nedenle kütle hareketlerinde süreksizliklerin yöneliminin etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla RMR sınıflamasında yamaçlar için önerilen düzeltme puanı çok uygun olarak değerlendirmeye alınmıştır.

Kom heyelanının, kayma düzleminde RMR değerleri 17 ile 20 arasında değişmektedir. Kayma düzleminin üst kesimlerinde 30 ile 33, alt kesimlerinde 47 ile 51 arasında değişmektedir. Bu verilere göre Kom heyelanının kayma düzlemi çok zayıf, kayma düzleminin üst kesimleri zayıf, alt kesimleri orta kaya sınıfındadır (Çizelge 2).

Çizelge 1. Yedigöller formasyonuna ait litolojilerin nokta dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı.

Table 1. Uniaxial strength parameters and point strength index of the units belonging to the Yedigöller formation.

Parametre	Değişim		Aritmetik ortalama	Standart sapma (s)
	En küçük	En büyük		
Nok.yükü day.ind. (MPa)	0.3	0.9	0.53	0.20
Tek eksenli sıkışma dayanımı (Mpa)	5.6	44.8	20.4	0.50

Çizelge 2. Kom kaya kaymasındaki kayaçların RMR sınıflama puan değerleri.

Table 2. RMR classification of rocks within the Kom rock slide.

Kaya Kütleli Parametresi	Kayma düzlemi	Kayma düzlemlerinin üst kesimleri	Kayma düzlemlerinin alt kesimleri
Tek eksenli sıkışma dayanımı (Mpa)	2	2	4
RQD	3	3	3
Aralığı (m)	5	8	10
Uzunluğu	0	2	6
Açıklığı	0	1	4
Pürüzlülük	0	1	3-5
Dolgu	0	2-3	4
Ayrışma	0	1-3	3-5
Yeraltısuyu	7-10	10	10
Yönelim düzeltilmesi	0	0	0
Toplam RMR puanı	17-20	30-33	47-51

Kom heyelanında kaya kütleli dayanımı

Kom heyelanında tahmini kaya kütleli ve makaslama dayanımı Hoek-Brown 1980 tarafından önerilen ve en son Hoek vd., (1995) tarafından modifiye edilen eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c (m_b \sigma_3 / (\sigma_c + s))^a \quad (1)$$

Bu bağıntıdaki m_b , s ve a dayanım sabitleri, σ_1 ve σ_3 yenilme anındaki asal etkin gerilmeler, σ_c sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımını göstermektedir. Dayanım sabitlerinin belirlenmesi için ise jeolojik dayanım indeksi değerinden (GSI) yararlanılmıştır. İncelemeye konu olan amfibolit, metagranit ve metadiyorit için, kaya kütleli dayanım parametreleri ve Hoek - Brown yenilme kriterine (amfibolit, metagranit ve metadiyorit için $m_i=17$, alınarak) göre belirlenen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları değerleri (ϕ) Çizelge 3'de sunulmuştur. Kom heyelanın kayma düzlemindeki parçalanmış kayalarda kohezyon $c=0.0$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi = 27.1$ olarak belirlenmiştir.

KOM HEYELANINDA GERİYE DÖNÜK DURAYLILIK ANALİZLERİ

Kom heyelanında elde edilen makaslama parametrelerinin doğruluğunu saptamak amacıyla geriye dönük analizler yapılmıştır. Analizlerde, Sancio, (1981); Tinoco ve Salcedo'nun (1981) önerdiği birden fazla sayıda kayma incelenerek (Şekil 5A ve Şekil 5B) kohezyon

Çizelge 3. Kaya kütleli dayanım parametreleri.

Table 3. Rock mass strength parameters.

Parametre	Kom	kaya	kayması
	Kayma düzlemi	Kayma düzleminin üst kesimi	Kayma düzleminin alt kesimleri
GSI	9	26	44
a	0.6	0.5	0.4
m_b	0.66	1.21	2.30
s	0.00	0.0003	0.0020
σ_c mass (MPa)	0.1	1.2	5.6
Kohezyon (MPa)	0.00	0.3	1.3
İçsel sürtünme açısı	27.1	35.2	41.5

ve içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiyi yansıtan doğruların en az bir noktada kesişmesi koşuluna göre incelenmiştir. Bu amaçla, Kom kayma modeline uygunluğu dikkate alınarak dairesel kaymalar için Bishop (1955) tarafından önerilmiş olan analiz yöntemi kullanılmıştır. Limit denge kavramına göre kayma anında güvenlik katsayısının $F=1$ olacağı gerçeğinden hareketle arazi araştırma sondajları ile belirlenen Şekil 5'teki A ve B kesitlerinden yararlanarak kayma düzlemi geometrisi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri analiz edilmiştir. Bu analizlerde herhangi bir serbest ve basınçlı akifer koşulu dahil edilmemiş ve boşluk suyu basıncı $r_u=0$ alınmıştır. Analizlerde, farklı iki kesitin kohezyon ve içsel sürtünme açı değerleri kohezyon değerinin artmasıyla ve içsel sürtünme açısının azalması ile birbirlerine yaklaşmaktadır (Şekil 12). Analizlerde kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin bir noktada kesişmesi kayma düzlemindeki malzeminin heterojen yapıda olmasından kaynaklanmış olmalıdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Anadolu otoyolu Bolu dağı Asarsuyu vadisinin, iki yamacında birbirleriyle girik, amfibolit, metagranit, metadiyorit'ten oluşan zayıf kayaçlarda duraysızlıklar gelişmektedir.

Vadi içerisindeki duraysızlıklarda, kayacın çok zayıf kesiminin jeomekanik parametreleri duraysızlıkların oluşumunu denetlenmekte ve yenilmeler zeminlerde yaygın olarak görülen dairesel yüzeyler boyunca gelişmektedir.

Asarsuyu vadisindeki kütle hareketleri Kom, Kilise ve Lokman heyelanları ile Zekidağ akmalarıdır. En önemli kütle hareketi ise kuzey yamaçlardaki Kom heyelanıdır. Bu alanda yapılan arazi gözlemleri ve inklinometre okumaları şev duraylılığının oluştuğunu göstermektedir. Ancak, bu alanda otoyol güzergahı için planan yarma çalışmalarından tekrar duraylılık sorunlarına yol

açmamak için vaz geçilmiş ve güzergah vadi tabanına yakın bir alana kaydırılmıştır.

Kom heyelanı kayma düzlemlerinde RMR değerleri çok zayıf (17 ile 20 arasında), kayma düzleminin üst kesimlerine ait RMR değerleri zayıf (30 ile 33), alt kesimleri orta (47 ile 51) kaya kütle sınıfında yer almaktadır. Kom heyelanında, RMR değerlerinden yararlanılarak, Hoek-Brown eşitliğinden makaslama dayanım parametreleri elde edilmiştir. Bu eşitliğe göre, Kom heyelanının kayma düzlemindeki parçalanmış kayalarda kohezyon $c=0.0$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi=27.1$ olarak belirlenmiştir. Kom heyelanında Hoek-Brown eşitliğinden bulunan makaslama parametreleri geriye dönük duraylılık analizleri ile yeterli ölçüde desteklenememiştir. Bu durum kayma düzleminde bulunan heterojen malzeme yapısından kaynaklanmış olmalıdır.

Asarsuyu vadisinde özellikle fay zonlarında ezik kayalar bulunmakta olup, bölgedeki deprem ve diğer etkenler bu alanlarda duraysızlık koşulları oluşturabilecektir. Bu nedenle fay zonlarındaki ezik kayaların dayanım özellikleri ayrıca dikkate alınmalıdır. Ayrıca, Asarsuyu vadisindeki inşaat çalışmalarında doğal yamaçlarda olduğu gibi, dolgu ve yarmalarda bölgenin depremselliği önem kazanmaktadır. Deprem riskinin büyüklüğü ile orantılı deprem etkisinin şev ve dolgularda hesaba katılması, olası bir deprem sırasında veya sonrasında zemin ve kayanın makaslama dayanımındaki değişiminin duraylılık analizlerinde göz önüne alınması gerekmektedir.

SUMMARY

Some instabilities are developed in weak amphibolite, metagranite, and metadiorite rocks on both sides of the Asarsuyu valley in the Bolu mountain part of the Anatolian motorway. Formation of instabilities is controlled by geomechanical parameters of the weakest section of the rock and failures are developed along the circular surfaces that are commonly observed in the soils.

The main mass movements in the Asarsuyu valley are Kom, Kilise and Lokman landslides. Of these, Kom landslide is the biggest and most important mass movement. Field observations and inclinometer measurements performed in this area indicate the presence of a slope stability. However, due to possible instability problems, arising from excavation studies planned for the motorway alignment in this site was cancelled and the route was realigned to the south forming an embankment in the valley base instead of cuttings.

RMR values of the slip plain in the Kom landslide is very poor (17-20), this in upper and lower parts of the slip plain is poor (30-33) and medium (47-51) rock, respectively. Using the RMR values and Hoek-Brown equation, shear strength parameters was determined. Parameter obtained from the Kom landslide was unsupported with back stability analyses of the stability.

Earthquakes and other structures in the region may cause unstable conditions in crushed rocks in the Asarsuyu valley, particularly in the fault zones. Therefore, strength properties of crushed rocks in the fault zones should be taken into consideration. Moreover, seismicity of the region is also important for embankment and excavation works within the Asarsuyu valley, as well as for natural slopes. The consideration of the earthquake risk in slope is particularly important in the embankment design. The stability analyses performed must allow for changes in shear strength of soil and rock during a earthquake.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ambraseys, N., N., 1988**, Engineering seismology. Earthquake engineering and Structural Dynamics, 17, 1-105.
- Barka, A.A., 1992**, The North Anatolian fault zone, Special Issue- Supplement to Volume VI- 164-195, Annales Tectonicae, 99.
- Bieniawski, Z.T., 1973**, Engineering classification of jointed rock masses. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng., 15: 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1979**, The geomechanics classification in rock engineering applications. ISRM Proc. 4 th Int. Congr. Rock Mechanics, Montreux, Balkema, Rotterdam, Vol. 2: 41-48.
- Bieniawski, Z.T., 1989**, Engineering Rock Mass Classification. McGraw Hill, New York, N.Y., 237 pp.
- Bishop, A.W., 1955**, The use of the slip circle in the stability analyses of slopes. Geotechnique, 5,7-17.
- Dalgıç, S., 1994 a**, Anadolu otoyolu Bolu dağı geçişinin mühendislik jeolojisi, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora tezi, 213 s.
- Dalgıç, S., 1994 b**, Anadolu otoyolu Bolu dağı geçişinin mühendislik jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Ankara, Sayı 9, 382-393.
- Dalgıç, S., Şimşek, O., ve Gözübol, A., M., 1995**, Anadolu otoyolu Bolu Yumrukaya geçişinde heyelanların etkisi; İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, 163-170.
- Dalgıç, S., Gözübol, A., M., ve Hasdemir, S., 1996a**, Otoyol inşasında kırmataş ocağı seçimi: Bir vaka analizi. Türkiye 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 333-346.
- Dalgıç, S., ve Gözübol, A. M., 1996b**, Bolu otoyol tüneline sıkışan kayalar, 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 25-33.
- Deere, D., 1964**, Technical description of rock cores for engineering purposes, Rock Mechanics and Eng. Geo., 1, 17-22.

- Gökçeoğlu, C., ve Aksoy, H., 1995**, Mengen (Bolu) yöresi yamaç duraysızlıklarının analitik yöntemler ve görüntü işleme teknikleriyle araştırılması, Yerbilimleri (Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni), 17, 17-33.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1980**, Empirical strength criterion for rock masses. ASCE J. Geotech. Eng. Div., 106:1013-1035.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., ve Bawden, W.F., 1995**, Support of Underground Excavations in Hard Rock, A.A. Balkema, Rotterdam, 215 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985**, Suggested methods for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. 22,(2): 53-60.
- Keefer, D.K., 1984**, Landslides caused by earthquakes, Geological Society of America Bulletin, 95 (4), 406-421.
- Kleberger, j., 1992**, Anadolu Otoyolu Gümüşova - Gerede kısım 2 nihai proje jeolojik raporu, No: 2034. Karayolları Genel Müdürlüğü, 32.
- Sancio, R.T., 1981**, The use of back calculations to obtain shear strength and tensile strength of weathered rocks, Proj. Intl. Symp. On Weak Rock, Tokyo, Japan, 21-24 Sept., 1981, V.2, 647-652.
- Tinoco, F.H. and Salcedo, D.A., 1981**, Analysis of slope failures in weathered phyllite, Proc. Intl. Symp. On weak rock, Tokyo, Japan, 21-24 Sept., V.1, 55-62.
- Yüksel, A., F., ve Dalgıç, S., 1995**, Heyelan tehlikeleri: Arazi kullanımı planlaması için bir rehber ön çalışması. İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adapazarı, 59-70.

Makalenin geliş tarihi: 09.01.1998

Makalenin yayına kabul tarihi: 04.05.1998

Received January 09, 1998

Accepted May 04, 1998