



Çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesinde jeomorfolojik bir yaklaşım

A geomorphological approach to the identification of multi-temporal landslide activity

Tolga Görüm^{a*} Hakan A. Nefeslioğlu^b

^a İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul.

^b Hacettepe Üniversitesi, Polatlı Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara.

MAKALE BİLGİ

Geliş/Received: 08.07.2015
Kabul/Accepted: 26.07.2015

Anahtar Kelimeler:
Heyelan
Heyelan aktivitesi
Uzaktan algılama
Jeomorfoloji
Firuzköy-İstanbul

Keywords:
Landslide
Landslide activity
Remote sensing
Geomorphology
Firuzköy-Istanbul

*Sorumlu yazar/Corresponding author
(T. Görüm)
tolga.gorum@istanbul.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.17211/tcd.19041>

ÖZ / ABSTRACT

Heyelan aktivitesinin bir sonucu olarak gelişen çatlaklar, yamaç hareketlerinin anlaşılmasında ve sonra gelişebilecek ikincil hareketlerin tahmin edilmesinde önemli bir belirteçdir. Heyelan hareketlerinin farklı yöntemlerle izlenmesi ve uzun dönem aktivitelerinin takibinde jeoteknik, jeofizik ve jeodezik olarak bir çok yöntemden faydalanılmaktadır. Buna karşın bu yöntemler heyelan aktivitesinin ortaya konulmasında belirli kısıtlamalara sahiptir. Heyelanın jeomorfolojik bir süreç olmasına karşın bu izleme teknikleri ölçümlerin planlama ve değerlendirme aşamasında jeomorfolojik bilgi ve yorumlamalardan nadiren faydalanır. Bu çalışmanın amacı, derin ve karmaşık kaymaların çok zamanlı aktivitelerinin mekânsal olarak haritalanmasına yönelik yeni bir yaklaşım ortaya koymaktır. Çalışmada test alan olarak seçilen Firuzköy (İstanbul) heyelanına ait zamansal aktivite ve derecesi 1996 ve 2006 yılları arasındaki periyoda ait hava fotoğraları ve IKONOS uydu görüntü verileriyle değerlendirilmiştir. Farklı dönemler için oluşturulan çatlak haritalarının karşılık geldikleri jeomorfolojik birimlerdeki yoğunlukları hesaplanmıştır. Daha sonra bu yoğunluklar sınıflandırılarak her bir dönem için aktivite dereceleri tanımlanmıştır. Jeomorfolojik açıdan heyelan aktivitesinin derecelendirildiği çalışmada, fayda/maliyet açısından değerlendirildiğinde önerilen yaklaşımın jeoteknik, jeofizik ve jeodezik izleme yöntemleri gibi diğer yöntemlerle birlikte veya alternatif bir yöntem olarak kullanılabilceği ortaya konulmuştur.

The cracks that develop as a result of the landslide activity are one of the important indicators for understanding the slope movements and predicting the possible secondary landslide movements. A range of methods from geotechnical, geophysical to geodesy are utilized for monitoring and long term tracking of the landslide activities. However, each of these methods has its own limitations to reveal the landslide activities. Although landslides are geomorphological processes, these monitoring approaches rarely make use of the geomorphological information and interpretations in the planning and analyzing of the measurements. The aim of this study is to present a new approach for spatial mapping of the multi-temporal activities of the deep seated and complex slides. In the study, the temporal activity and degree for the test area of Firuzköy (İstanbul) landslide were analyzed using the remote sensing data from 1996 to 2006. After establishing the map of cracks for different periods, the corresponding intensities in the geomorphological units were calculated. Next, the activity degrees for each period were identified by classifying these intensities. In conclusion, in terms of cost-benefit analysis, the proposed method was found to be either a stand-alone alternative or complementary to the existing geotechnical, geophysical to geodesy methods for assessing the landslide activity in terms of geomorphology.

1. Giriş

Heyelanlar dünyada ve ülkemizde belirgin beşeri, ekonomik ve çevresel kayıplara neden olan jeomorfolojik tehlikelerden biridir. Genel olarak deprem, aşırı yağış gibi doğal veya antropojenik faktörler tarafından tetiklenen heyelanların mekânsal ve zamansal olarak tahmin edilmesi güçtür. Jeomorfolojik bakımdan belirli bir alanda gelişen heyelan, aşınım ve birikim süreçlerine ilişkin koşulların var olan dengesini bozarak yeni yamaç şartları oluşturur. Bu yeni yamaç şartları heyelanın duraylı hale geçmesi ile jeomorfolojik bakımdan yeni denge koşullarına kavuşur veya heyelanın tekrardan aktivite kazanması ile yamaca

ilişkin jeomorfolojik sistemin düzeni bozulur. Heyelanın yeniden aktif hale geçmesi, yaygın olarak; hidrolojik bilançodaki artış veya yerel taban koşullarındaki değişiklikler nedeniyle heyelanın topoğrafyanın oyulması veya antropojenik aktivitelerle sağlanır. Bunun yanı sıra ana heyelan kütesinin bütünü veya belirli bir kısmı aktivite kazanabilirken, heyelan gövdesi içerisindeki ikincil heyelanlar ile de bu aktivite sağlanabilir veya sürdürülebilir. Aktivitenin tanımlanması ve dönemsel olarak izlenmesi, özellikle heyelanın etki alanı içerisindeki insan ve insana ait yapılara verebileceği zararların önlenmesi ve azaltılması bakımın-

dan önemlidir.

Bir heyelanın aktivite durumu dörde ayrılmaktadır (WP/WLI, 1993). Bunlardan birincisini, halen hareketini sürdüren heyelanlar için kullanılan aktif durum oluşturur. İkinci durumu ise askıda veya beklemede tanımı ifade eder. Askıdaki heyelanın tanımı Varnes (1978) tarafından günümüzde hareket etmeyen fakat bir yıllık mevsimlik döngüde - ki bu mevsimlik döngü ile kast edilen; heyelanın bulunduğu alandaki en yağışlı mevsimden sonraki en yağışlı mevsime kadar olan süre zarfıdır - hareket ettiği bilinen heyelanlar olarak tanımlanmıştır. Üçüncü durumu, artık hareketin gözlenmediği aktif olmayan durum ifade ederken, bunlar arasındaki yeniden bir hareketlenmeyi, ara bir durum olarak reaktivasyon veya yeniden aktifleşme ifade eder (WP/WLI, 1993). Günümüzde, belirli bir heyelana ait zamansal aktivite ve bu aktivitenin düzeyi, genel olarak, arazi temelli jeodezik, jeoteknik ve jeofizik yöntemlerle izlenir (örn. Mikelsen, 1996; Angeli vd., 2000; Gili vd., 2000; Supper ve Römer, 2003). Bu yöntemlerin en büyük kısıtları noktasal veya belirli bir çizgisel hat boyunca bilgi vermeleridir. Bunun yanı sıra son on yıllık dönemde radar görüntülerinden elde edilen interferogramlardan oluşturulan deformasyon desenleri alansal bilgi vermesine karşılık, bakış yönü, yerinin engebeliliği ve değişken arazi örtüsü nedeniyle dağlık ve şehir alanlarındaki heyelana bağlı deformasyonları tespit etmede belirgin sınırlamalara sahiptir. Öte yandan, mevcut tekniklerle özellikle derin aktif heyelanlara ait çok zamanlı aktivitenin tanımlanması ve değerlendirilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Aletsel

ölçümlere dayanan izleme teknikleri içerisinde gözlem noktalarının sayısı ve dağılımı ve alınacak ölçümlerin gözlem aralığı ve sıklığı, söz konusu kütle için tanımlanan çok zamanlı aktivitenin kestirimini doğrudan etkilemektedir. Heyelanın büyüklüğüne ve izlemenin yapılacağı toplam süreye bağlı olarak çok maliyetli olabilen heyelan izleme teknikleri ayrıca, ölçümlerin planlama ve değerlendirme aşamasında nadiren detay jeomorfolojik haritalama ve yorumlamalardan faydalanır.

Bu çalışmada, özellikle derin ve karmaşık (birden fazla heyelan tipini içeren) kaymaların çok zamanlı morfolojik değişimlerinin ve aktivitelerinin mekânsal olarak haritalanmasına yönelik yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu yeni yaklaşımın uygulandığı test alanı olarak İstanbul ili, Avcılar ilçesi sınırları içerisinde olan Firuzköy heyelan sahası seçilmiştir (Şekil 1). Çalışmada, gerisindeki yoğun nüfuslu alanı tehdit eden Firuzköy heyelanına ait zamansal aktivite ve derecesi 1996 ve 2006 yılları arasındaki periyoda ait uzaktan algılama verileriyle değerlendirilmiştir.

2. Veri ve yöntem

Aktivite analizleri için 1996 ve 2006 yılları arasındaki periyoda ilişkin uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılmıştır. Bu yüksek çözünürlüklü görüntüler orta düzeyde çözünürlüğe sahip 1965 yılına ait CORONA uydu görüntüsü ve 1982 hava fotoğrafları ile de karşılaştırılarak jeomorfolojik yo-

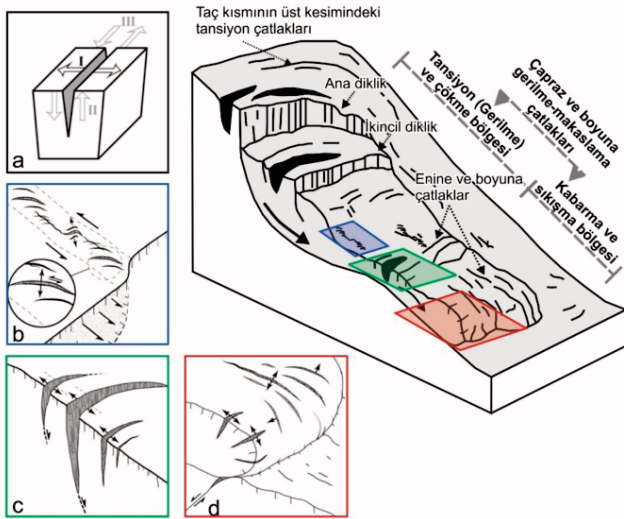


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

rumlar açısından desteklenmiştir. Söz konusu bu orta düzeyde çözünürlüğe sahip görüntüler aktivite analizlerinde kullanılmamıştır. Uzaktan algılama verilerinden 1996 yılına ilişkin görüntüler 1: 5000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşurken diğer veri setleri çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden oluşmaktadır. Kullanılan uydu görüntülerindeki bulutluluk oranı çalışma sahası için ortalama olarak %0,3'ün altında bir değere sahiptir. Uzaktan algılama ve SYM verilerinin yanı sıra 2005 ve 2006 yıllarında iki farklı yağışlı dönem sonrası arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bu çalışmaların sonucunda elde ettiğimiz veriler kullanılmıştır. Bu veriler; heyelan jeomorfolojisinin ve heyelanın yeniden hareketlenmesine bağlı oluşan enine ve radyal çatlakların detaylı haritalanması ve bunların yersel doğrulanmasına ilişkindir.

Yöntemsel bakımdan çalışmada uzman görüşüne bağlı doğru haritalama kullanılmıştır. Jeomorfolojik harita görünür bandın temel alındığı uzaktan algılama görüntülerinden, heyelana ilişkin tanımsal elemanları (renk, ton doku, şekil vb.) dikkate alacak şekilde hazırlanmıştır (Görüm vd., 2011). Jeomorfolojik bakımdan haritalama, amaç doğrultusunda heyelana ilişkin morfolojik üniteleri içerecek şekilde oluşturulmuştur. Her bir dönem için oluşturulan jeomorfoloji haritalarının yanı sıra aynı dönem içerisinde gelişen heyelanın hareket miktarına ve yönüne bağlı olarak yoğunluğu ve yönelimi değişkenlik gösteren radyal ve enine çatlaklar haritalanmıştır. Bu çatlak sistemlerine ait gösterim Şekil 2'de verilmiştir. Çatlak sistemleri; heyelanın değişik kısımlarında oluşan gerilme, sıkışma ve makaslama yapılarının bir sonucu olarak, heyelanın farklı kesimlerinde gelişebilmektedirler. Bu yönüyle çatlakların doğrultusu ve yoğunluğu heyelanın kinematiki konusunda önemli bilgi taşır.



Şekil 2. Yüzey çatlaklarının türleri ve bir heyelan kütlesi içerisindeki tipik oluşumu. (a) Kırık ilerlemesinin tipleri: I. tip (açılma), II. tip (kayma) ve III. tip (yırtılma). (b) Tansiyon gerilmesi sonucu ve I. tipin egemen olduğu çatlak gelişimi. (c) Makaslama gerilmesi sonucu ve I. tipin egemen olduğu çatlak gelişimi. (d) Sıkışmaya ile yanal genişleme sonucu ve I. tipin egemen olduğu çatlak gelişimi (Sowers ve Royster, 1978; Stumpf vd., 2013'den değiştirilerek).

Figure 2. Generic types of surface cracks and their typical spatial occurrence within a landslide mass. (a) Modes of fracture propagation: mode I (opening), mode II (sliding) and mode III (tearing). (b) Cracks developing predominately in mode I and resulting from tensile stress. (c) Cracks developing predominately in mode I and resulting from shear stress. (d) Cracks developing predominantly in mode I resulting from compressive stress and lateral expansion (modified after Sowers and Royster, 1978; Stumpf et al., 2013).

Çalışmada heyelan morfolojisinde meydana gelen mekânsal değişimler ile heyelanın hareketine bağlı gelişen çatlak sistemlerinin yoğunluğu, heyelanın aktivite indeksinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Aktiviteye ilişkin indeks için çalışma kapsamında geliştirdiğimiz işlem basamakları izlenmiştir (Şekil 3). Yaklaşımında zamana bağlı aktivite derecesinin belirlenmesi ve söz konusu değişim iki eksende değerlendirilmiştir. Bu eksenlerden ilki (Basamaklar), temel alınan döneme ait uzaktan algılama görüntüsünden ana heyelan kütlesine ilişkin sınırın belirlenmesi ve takip eden dönemdeki ikincil heyelanların tanımlanması oluşturmaktadır (Şekil 3). Daha sonra heyelanın jeomorfolojik birimleri tanımlanarak her birim içerisindeki enine ve boyuna çatlaklar belirlenmiştir. Belirlenen çatlakların uzunluğu mekânsal bakımdan buldukları heyelan ünitesinin planimetrik toplam alanına bölünerek her bir ünitenin çatlak yoğunluğu hesaplanmıştır. Daha sonra bu yoğunluklar tüm dönemlerdeki heyelanlı alanlar temel alınarak en düşük ve en yüksek aktiviteye sahip değerler için nicel (ing. quantile) sınıflama yöntemi kullanılmış ve oluşturulan sınıflar dört ana gruba ayrılarak aktivite dereceleri tanımlanmıştır. Buna göre;

$$A_d = \frac{L}{A} \quad (1)$$

A_d aktivite derecesini [m-1], L çatlak uzunluğunu [m] ve A içinde geliştiği heyelan ünitesinin alanını [m²] ifade eder. İkinci eksenimiz olan zamanda ise, her bir ünitenin zamana bağlı değişikliği gözetilmiştir. Bu bakımdan, dikkate alınan ilksel dönemden sonraki zaman diliminde gelişmiş ikincil heyelanlar ve çatlaklar da haritalanarak aktive farklılığının zamana bağlı değişimi ortaya konulmuştur. Ancak buradaki her bir dönem arasında iki yıldan fazla bir süre bulunmamasına dikkat edilmiştir.

Çalışmada aktivite indeks değerleri; çok aktif, aktif, orta düzeyde aktif ve aktif değil olarak dört ana sınıfa ayrılmıştır. Bu indeks değerleri aktivite dereceleri olarak sınıflandırılmıştır. Nicel sınıflama yöntemi kullanılarak tanımlanan aktivite indeksinde; üç dönem için hesaplanan yoğunluk değerleri toplam heyelan ünite yoğunluklarının sınıf sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir. Buna göre;

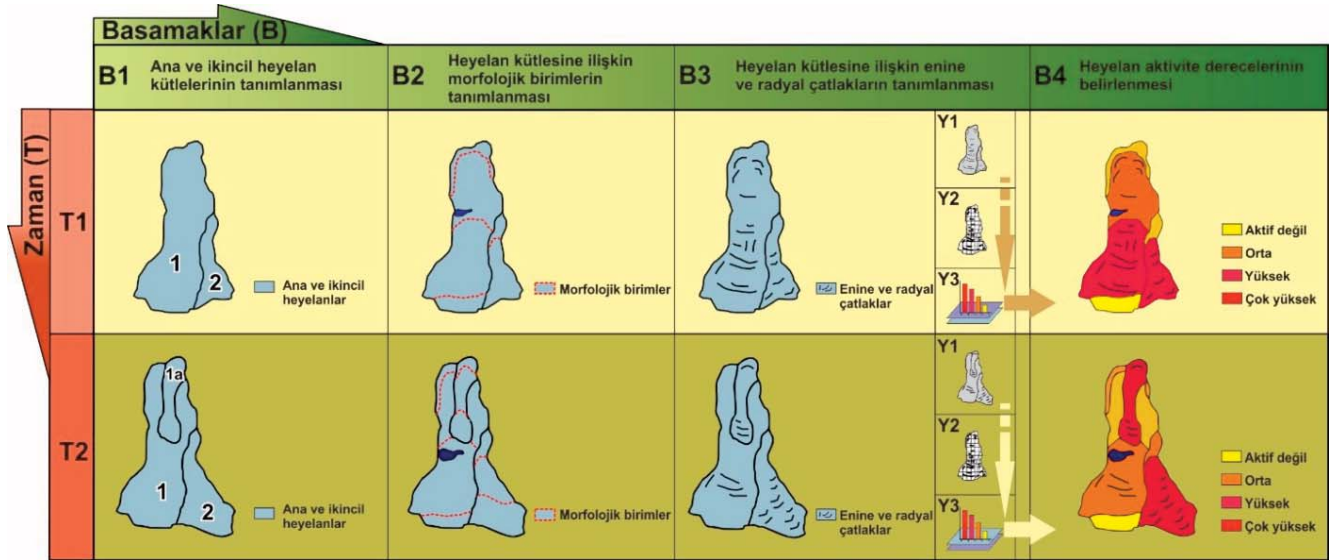
$$O_i = \frac{\sum o}{S_n} \quad (2)$$

nicel sınıflama yönteminde her bir sınıfa düşen gözlem sayısı (O_i), toplam gözlemlerin ($\sum o$) sınıf sayısına (S_n) bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu adım Şekil 3'de Y1 – Y3 alt işlem basamağı olarak ifade edilmiştir.

3. Çalışma alanının genel jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri

3.1. Jeoloji

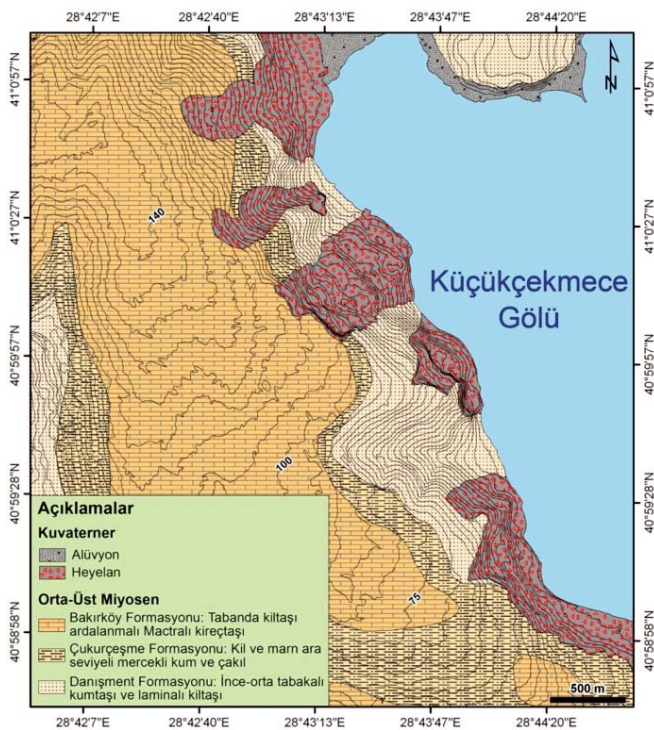
Çalışma alanı jeolojik bakımdan Oligo-Miyosen yaşlı litolojik birimler ile Kuaterner yaşlı örtü birimlerinden oluşur. Stratigrafik olarak, Oligosen yaşlı Çukurçeşme formasyonu çalışma alanındaki en yaşlı birimdir ve alanın doğu kesimlerinde yaygın olarak yüzeylenir (Şekil 4). Bu formasyonda egemen litoloji; aşırı pekişmiş, yeşil ve grimsi yüksek plastisiteye sahip killerdir (İnce vd. 2008; Yıldırım ve Savaşkan, 2003). Stratigrafik seri üstte doğru Miyosen yaşlı, litolojik olarak siyah koyu gri, organik içeriikli ve şişme özelliğine sahip plastitesi yüksek killerden oluşmaktadır (Duman vd., 2004). Kalınlığı genel olarak 10 m'den az



Şekil 3. Çok zamanlı heyelan aktivitesinin tanımlanma aşamalarına ilişkin gösterim.

Figure 3. Illustration regarding to determination phases of the multi-temporal landslide activity.

olan bu birim eğimli arazilerde ciddi stabilite problemlerine neden olabilmektedir (Yıldırım ve Savaşkan, 2003). Bu birimin üst kesiminde ise Bakırköy formasyonu yer alır. Üst Miyosen yaşlı bu formasyon görsel ortamda çökelmiştir. Hâkim litoloji; kirli beyaz, yatay katmanlı ve genellikle yeşil kil aratabakalı ve orta-yüksek dayanımlı, Mactra'lı kireçtaşları ile zayıf dayanıma sahip marnlardır (Yıldırım ve Savaşkan, 2003; Duman vd., 2004) (Şekil 4). Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller ve heyelana bağlı gelişmiş molozlar sahada jeolojik bakımdan en genç birimleri oluşturmaktadır.



Şekil 4. Çalışma alanının jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2003; Duman vd., 2004'ten derlenmiştir).

Figure 4. Geology map of the study area (compiled from published maps by Yıldırım and Savaşkan, 2003; Duman et al., 2004).

3.2. Jeomorfoloji

Bölgenin jeomorfolojisi Trakya – Kocaeli peneprenin (Pamir, 1938) daha merkezi kesimlerini oluşturan bir aşınım düzlüğü

ve bunun her iki yanında, ortalama topoğrafik eğimi 12° olan yamaçlarla temsil edilmektedir (Şekil 5). Günümüzde, çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan bu aşınım yüzeyinin üzeri yoğun bir yerleşim alanı tarafından işgal edilmiştir. Bu aşınım yüzeyinin doğuya devamında yer alan yamaçlar heyelanlar tarafından kontrol edilmektedir. Çalışma alanındaki heyelanlar Arpat'a (1999) göre daha farklı morfolojik koşullarda gelişmiş paleo-heyelanların tekrardan aktif hale geçmesiyle genç morfolojilerini korumuşlardır.

İstanbul'da, özellikle Küçükçekmece ve Büyükçekmece gölleri arasında kalan kesimdeki heyelanların gelişimi Kuvaterner dönemindeki ortam değişimleri ile yakından ilgilidir. Kuvaterner'de bölgede etkin olan aşınım (Yılmaz vd. 2010) ve özellikle Marmara Denizi'nde tektonik aktiviteler ve deniz seviyesinin günümüz düzeyinden yaklaşık 110 metre kadar düşük olması bu alandaki akarsuların derine kazma oranını yükseltmiş dolayısıyla yamaç yüksekliklerini arttırmıştır (Arpat, 1999). Artan bu yamaç yüksekliği stabilite problemlerine sebep olmuştur. Takip eden dönemlerde deniz düzeyinin tekrar yükselmesi ile bu vadiler çökeller ile boğulmuştur. Bu boğulma gölün kuzey kıyılarında 45m, denize yakın kısımlarında ise 100m kalınlığında çökeller biriktirmiştir (Arpat, 1999; Yıldırım ve Savaşkan, 2003). Deniz seviyesi yükselmeleri bu alanda yalnızca alüvyal boğulmalara değil yeraltı su seviyesine de etki etmiştir. Bu seviye değişimleri ve ani yağışlar bugün bu bölgedeki heyelanların en büyük hazırlayıcı ve tetikleyicisidir. Bunun yanı sıra bölgedeki yoğun nüfus artışı ve yanlış arazi kullanımları sonucu zarar görülebilirlik oranı giderek yükselmektedir.

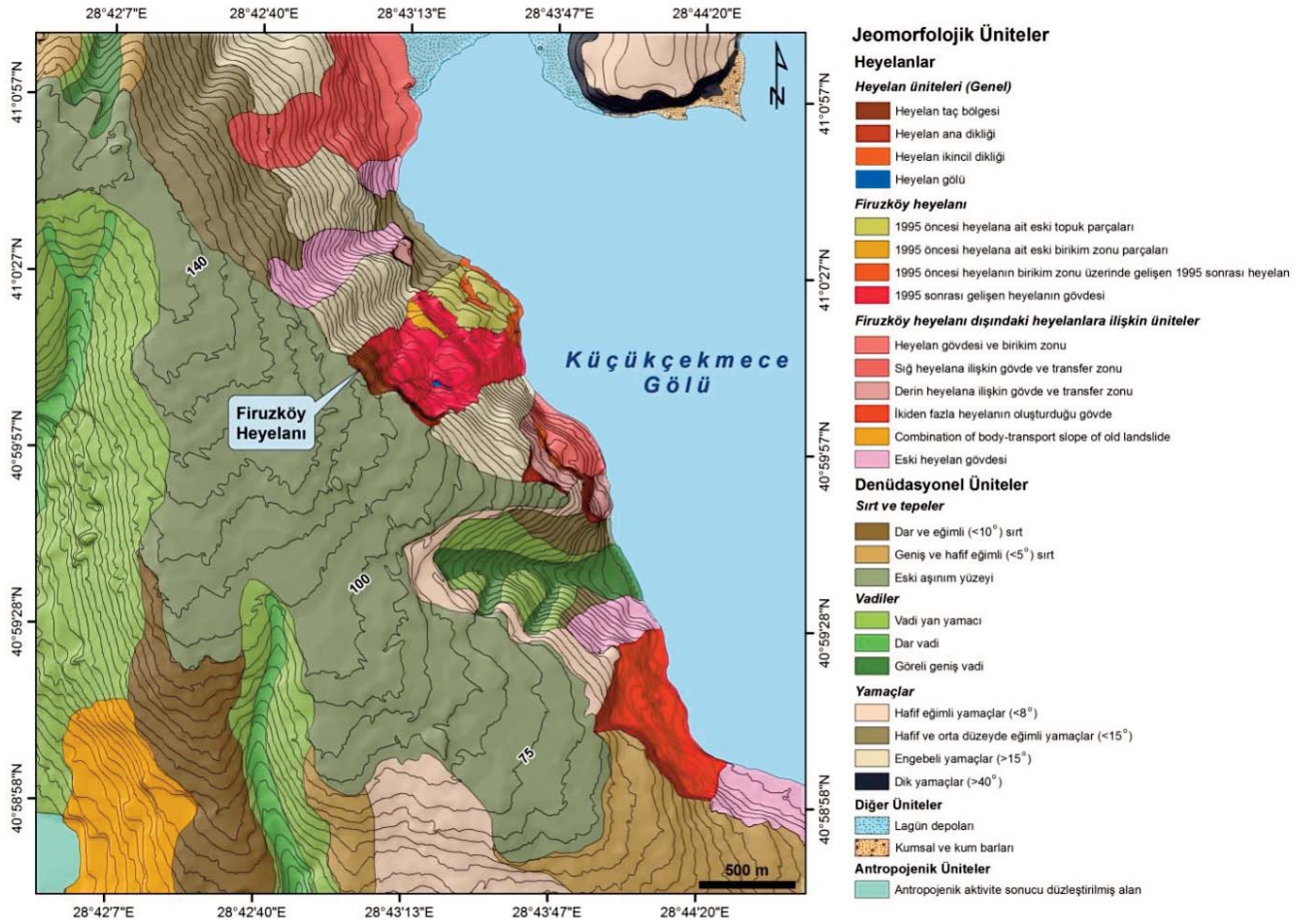
Firuzköy heyelanı Küçükçekmece Gölü'nün batı kıyısındaki heyelanlar içerisindeki alansal bakımdan en büyüğü olmasının yanı sıra jeomorfolojik bakımdan en karmaşığdır (Görüm vd., 2008). Toplam olarak 0,45 km²'lik bir alanı etkileyen bu heyelan birden fazla tipte heyelan barındırmaktadır (Şekil 6). Düzlemsel bir kayma biçiminde olan heyelanın morfolojisi farklı dönemlerde gelişen ikincil kayma ve akmlar içermektedir (Şekil 5). İçerisinde farklı dönemlere ait çatlak sistemleri barındıran heyelanda bu çatlakların ortalama uzunlukları 25 m, derinlikleri ise 10-80 cm arasında değişmektedir. Gerisinde yaklaşık yüksekliği 10 m olan sarp bir dikliğe sahip olan heyelan göl kıyı şeridini yaklaşık olarak 240 m kuzeydoğuya ötelemiştir. Güncel

olarak, heyelan içerisinde farklı dönemlerdeki hareketlere bağlı olarak alansal bakımdan giderek küçülen iki adet heyelan gölü yer almaktadır. Bunlardan güneybatıda yer alanın derinliği 1,25 m civarındayken kuzeydoğuda yer alan ve nispeten daha küçük olan gölün derinliği 0,50 m'dir.

4. Bulgular

4.1. Heyelan aktivite indeksi ve aktivite dereceleri

Çalışma alanına ait her bir dönem için hesaplanan yoğunluk değerlerinin en yüksek olduğu dönem 2006 yılı olarak saptanmış-



Şekil 5. Çalışma alanının jeomorfoloji haritası.

Figure 5. Geomorphology map of the study area.



Şekil 6. Firuzköy heyelanının havadan yatık görüntüsü.

Figure 6. Oblique aerial view of the Firuzköy landslide.

tır (Tablo 1). 2003 ve 2005 yılları düşük çatlak sayısı ve uzunluğunun gözlemlendiği dönemlerdir. Firuzköy heyelanına ait 2003'de 67, 2005'te 64 ve 2006 yılında 59 adet morfolojik ünite ayrılmıştır. Farklı alansal büyüklükte olan bu üniteler için içerisinde bulunan çatlak sayısına ve bu çatlakların ilgili alana bölümünden hesaplanan yoğunluk değerlerine göre en düşük aktivite 2005 yılında en yüksek ise 2006 yılında gözlenmektedir. Tüm morfolojik üniteler (190 adet) için hesaplanan aktivite indeksi değerleri 0 – 0.156 arasında değişmektedir. Nicel sınıflama yöntemine göre dört ana sınıfa ayırdığımız aktivite değerleri için belirlenen eşik değerleri çok aktif, aktif, orta düzeyde aktif ve aktif değil sınıfları için sırasıyla; 0.0, 0.0191, 0.0470 ve 0.1562'dir. Yıllara göre değişiklik gösteren bu değerlerin tanımsal istatistik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllara göre aktivite indeks değerleri.
Table 1. Activity index values over the years.

Yıl	Toplam alan [m ²]	Toplam çatlak sayısı	Toplam çatlak uzunluğu [m]	Aktivite indeks değeri
2003	435755	96	2450	0.0056
2005	435895	48	1425	0.0033
2006	451002	417	15206	0.0337

Tablo 2. Aktivite indeks değerlerinin her bir yıl için tanımsal istatistik değerleri.
Table 2. Descriptive statistics of the activity index values for each year.

Yıl	Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama
2003	Çatlak uzunluğu [m]	5.00	60.10	25.42
	Heyelan ünitesinin alanı [m ²]	17.52	50604.42	6808.68
	Aktivite indeks değeri	0.000	0.055	0.005
2005	Çatlak uzunluğu [m]	10.89	60.62	29.70
	Heyelan ünitesinin alanı [m ²]	10.02	50438.65	6505.90
	Aktivite indeks değeri	0.000	0.025	0.002
2006	Çatlak uzunluğu [m]	6.00	100.38	33.20
	Heyelan ünitesinin alanı [m ²]	190.34	55730.36	7435.62
	Aktivite indeks değeri	0.000	0.156	0.033

4.2. Yıllara bağlı heyelan aktivitesi

Çalışma alanına ait en eski uydu görüntü kayıtları 1965'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri tarafından soğuk savaş döneminde büyük önem arz eden CORONA casus uydusuna aittir. Bu uydu görüntüsü sahada temel alınan en eski ve yüksek çözünürlüklü (~1m) görüntü olan 1996 orto-fotoğraf görüntüleri ile karşılaştırılarak yorumlamalar açısından değerlendirilmiştir. Farklı yıllar için yapılan analizlerde 1996 görüntüsünden heyelana ait değişen jeomorfolojik ünitelerin belirlenmesinde faydalanılmıştır. 1996 görüntüsü çatlak yoğunluğunu temel alan aktivite sınıflandırması açısından değerlendirilmemiştir. Bu bakımdan aktivite açısından 2003, 2005 ve 2006 yıllarına ait çok yüksek çözünürlüklü görüntüler değerlendirilmiştir. Bu kısımda aktivitenin zamansal değişimi yıllar arasındaki karşılaştırma yapılarak kronolojik bir sırada ele alınmıştır.

4.2.1. 1996 yılına ait heyelan alanlarının değerlendirilmesi

1996 yılına ait yüksek çözünürlüklü görüntülerden üretilen heyelanın morfolojik üniteleri 1965 ve 1982 yıllarına ait udu görüntüsü ve hava fotoğrafları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır (Şekil 7). Bu yorumlar sonucunda 1965'li yıllarda da gözlenen

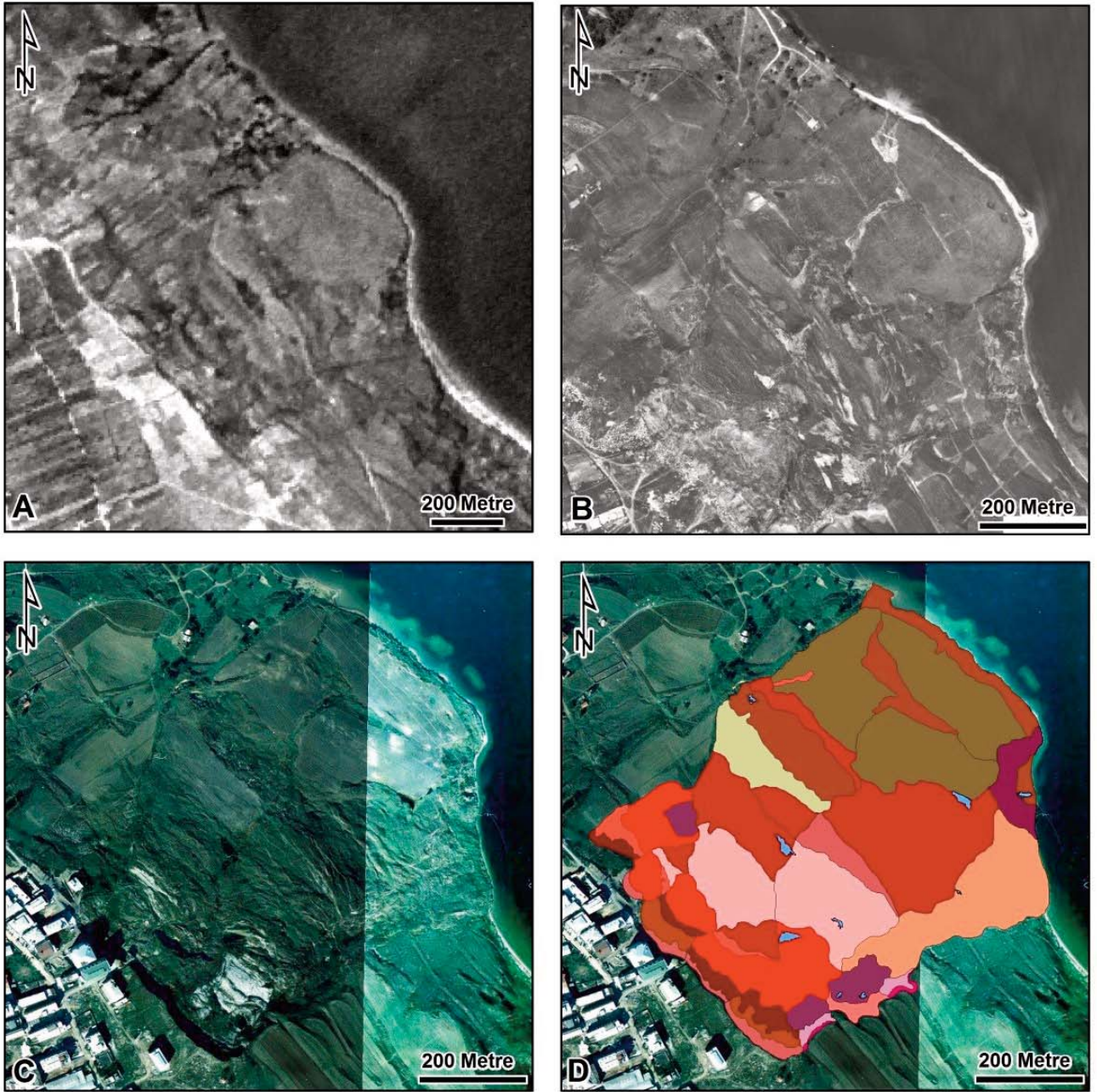
heyelanın değişik kesimlerinde ikincil heyelanların geliştiği ve özellikle ana bir düzlemsel kayma olarak başlayan heyelanın sonraki dönemde (1982) iki farklı harekete dönüştüğü gözlenmektedir (Şekil 7a ve b). Taç bölgesinde 1996 yılına kıyasla (Şekil 7c) yerleşimin daha az bulunduğu kesimlerde heyelanın malzeme içeriğinin günümüzdeki haline göre da yüksek olduğu görülmektedir. 1982 yılına ait görüntülerde orta ve topuk kesiminde yer alan heyelan göllerin sığ kanallarla Küçükçekmece Gölü'ne malzeme taşıdığı ve bunları izleyen dönemde (1996) heyelanın tekrardan hareketlenmesi sonucu bu göllerin ortadan kalktığı tespit edilmiştir. 1996 yılına ait görüntülerden üretilen heyelan alanlarına bakıldığında, heyelanın özellikle batı ve kuzeybatı kesimlerinin yeni heyelanlarla büyüdüğü ve bu alanın heyelan kanat kısmına doğru genişlediği haritalanmıştır. Buradaki büyümenin yanı sıra Firuzköy heyelanının doğu kesiminde yer alan ve ana kütle üzerinde toprak akması tipinde yeni heyelanlar gelişmiştir. 1982 görüntüleri ile karşılaştırıldığında yeni heyelanların yalnızca kanat kısımlarda değil heyelanın kaynak alanında da geliştiği ve burada özellikle eski heyelan dikliğini de içerecek şekilde ikincil heyelanlar ve bu heyelanlara ait diklikler oluşturmuşlardır (Şekil 7d). 1982 yılı ile karşılaştırıldığında alansal olarak heyelanın yaklaşık %30 oranında büyüdüğü ortaya koyulmuştur.

4.2.2. 2003 yılına ait heyelan alanlarının ve aktivitesinin değerlendirilmesi

Bu döneme ait görüntülerde özellikle heyelanın orta ve doğu kesiminde yeni heyelanların geliştiği haritalanmıştır (Şekil 8a ve b). Yeni gelişen bu heyelanların, özellikle transfer ve birikim alanlarında radyal ve enine çatlakların arttığı görülmektedir (Şekil 8c). 1996 yılı ile karşılaştırıldığında bu dönem öncesinde gelişen kopma bölgesinde ve orta kesimde yer alan ana heyelan gövdelerinde yeni ve yeniden aktif hale geçen heyelanlar gelişmiştir. Bu dönemde dikkati çeken diğer bir jeomorfolojik farklılık 1996 döneminde var olan göllere yenileri eklenmiştir. 1996 yılında alanı 2172 m² olan göl alanları 2920 m² olarak artış göstermiştir. Bu göller özellikle aktivitenin arttığı doğu ve güneydoğu kesimlerde gelişmişlerdir. Bu artış yeni oluşan morfolojik şartlara, özellikle söz konusu kesimlerdeki geriye doğru çarpılma oluşmuş ters eğimlere bağlıdır. Bu döneme ilişkin çok yüksek çözünürlüklü IKONOS görüntülerinden toplam olarak 96 enine ve radyal çatlak haritalanmıştır. Toplam uzunlukları 2450 m olan bu radyal ve enine çatlakların minimum ve maksimum uzunluğu ise 5-60 metreler arasındadır. Yöntem kısmında belirtilen aktivite yoğunluk formülüne göre oluşturulan aktivite derece haritası Şekil 8d'de verilmiştir. Heyelanın aktivitesinin sınırlı bir alanda çok aktif olduğu, buna karşın 1995 öncesi dönemde gelişen toprak akması ve bunun yükseklik olarak üst kesiminde yer alan sığ heyelanların aktif ve orta düzeyde aktif olduğu belirlenmiştir. Bunun dışındaki alanlarda herhangi bir aktivite gözlenmemektedir (Şekil 8d).

4.2.3. 2005 yılına ait heyelan alanlarının ve aktivitesinin değerlendirilmesi

2005 yılına ait IKONOS görüntülerinde heyelan alanlarında herhangi bir değişim gözlenmemektedir (Şekil 9a ve b). Bu dönemde göllerin alanında ve sayısında bir artış söz konusudur. Buna karşın 2003 yılı öncesinde gelişmiş hareketlerin oluşturduğu kütlelerin bu dönemde de aktivitelerinin korunduğu gözlemlenmiştir. Bu dönem için haritalanan radyal ve enine

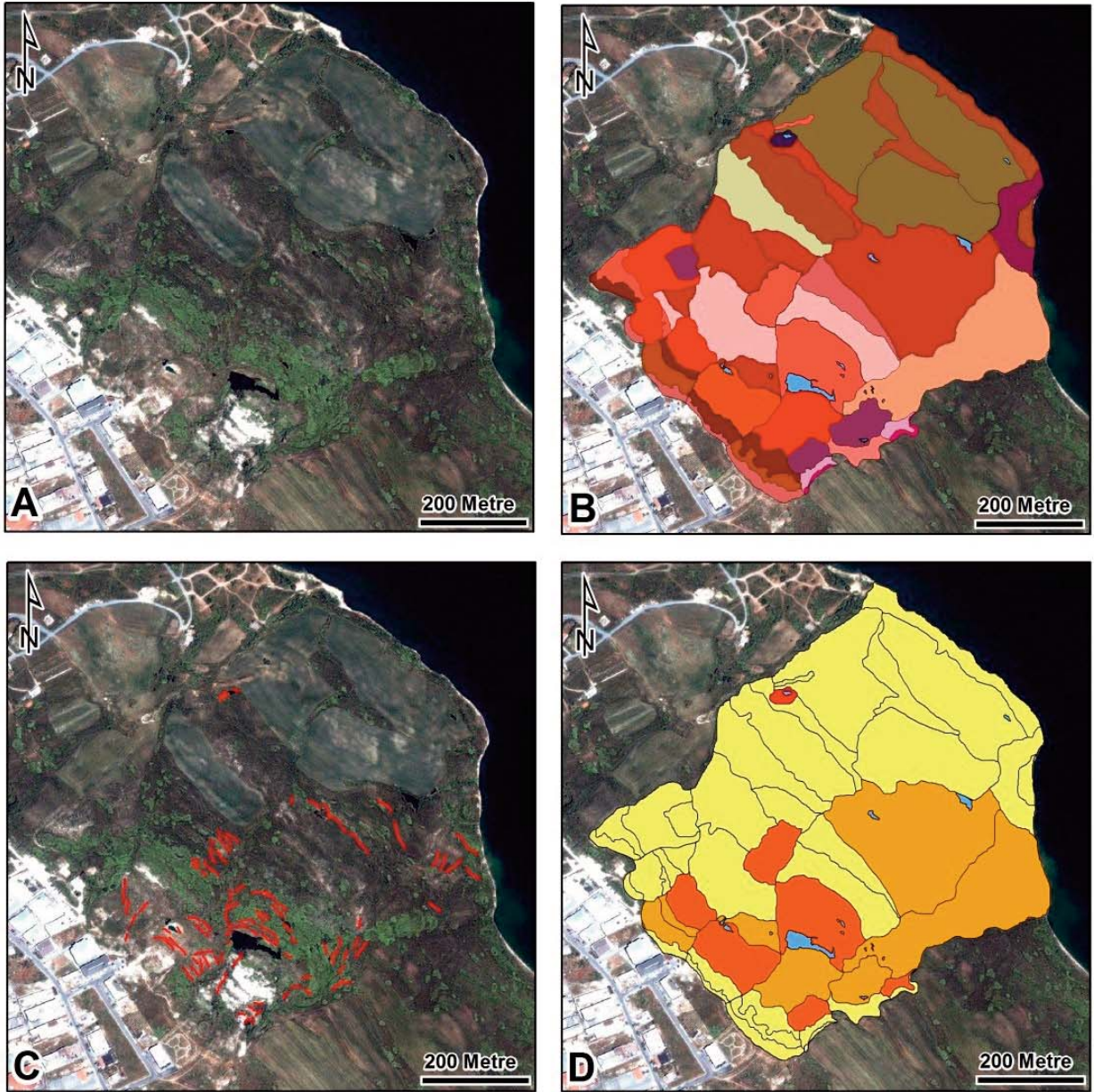


Firuzköy Heyelanının Morfolojik Üniteleri

- | | |
|---|---|
| 1995 öncesi taç bölgesi | 1995 sonrası gelişen heyelana ait boyuna yükselim-deformasyon zonu |
| 1995 öncesi heyelana ait birikim zonu parçaları | 1995 sonrası heyelanın üzerinde gelişen toprak akması |
| 1995 öncesi heyelana ait eski topuk parçaları | 1995 öncesi heyelanın kalıntıları üzerinde gelişen 1995 sonrası heyelana ait birikim zonu |
| 1995 sonrası gelişen ana heyelan aynası | 1995 öncesi heyelan üzerinde gelişen 1995 sonrası ikincil sığ heyelanlar |
| 1995 sonrası heyelan gövdesi | 1995 öncesi heyelanın birikim zonunda gelişen 1995 sonrası heyelana ait üst ana ayna |
| 1995 sonrası ikincil ayna | Heyelan Gölü |
| 1995 sonrası üst ana diklik | |
| 1995 sonrası sağ kanat diklikleri | |
| 1995 sonrası gelişen heyelanın sağ kanat ana gövdesi | |
| 1995 sonrası oluşan heyelan ana gövdesindeki ikincil heyelanlar | |
| 1995 sonrası heyelana ait kopma zonu | |
| 1995 sonrası heyelana ait yayılma zonu | |

Şekil 7. Firuzköy heyelanı ünitelerinin çok zamanlı uzaktan algılama görüntülerinden elde edilen yorumu. (a) 1965 yılına ait CORONA uydu görüntüsü, (b) 1982 yılına ait hava-fotosu mozaïği, (c) 1996 yılına ait çok yüksek çözünürlüklü (~1m) ortofotosu, (d) Firuzköy heyelanının 1996 yılındaki jeomorfolojik üniteleri.

Figure 7. Firuzköy landslide units obtained from interpretation of multi-temporal remote sensing images. (a) 1965 CORONA satellite image, (b) 1982 aerial-photo mosaic, (c) 1996 very high resolution (~1m) orthophotos, (d) Geomorphological units of the Firuzköy landslide in 1996.



Firuzköy Heyelanının Morfolojik Üniteleri

- 1995 öncesi taç bölgesi
- 1995 öncesi heyelana ait birikim zonu parçaları
- 1995 öncesi heyelana ait eski topuk parçaları
- 1995 sonrası gelişen ana heyelan aynası
- 1995 sonrası heyelan gövdesi
- 1995 sonrası ikincil ayna
- 1995 sonrası üst ana diklik
- 1995 sonrası sağ kanat diklikleri
- 1995 sonrası gelişen heyelanın sağ kanat ana gövdesi
- 1995 sonrası oluşan heyelan ana gövdesindeki ikincil heyelanlar
- 1995 sonrası heyelana ait kopma zonu
- 1995 sonrası heyelana ait yayılma zonu
- 1995 sonrası gelişen heyelana ait boyuna yükselim-deformasyon zonu
- 1995 sonrası heyelanın üzerinde gelişen toprak akması
- 1995 öncesi heyelanın kalıntıları üzerinde gelişen 1995 sonrası heyelana ait birikim zonu

- 1995 öncesi heyelan üzerinde gelişen 1995 sonrası ikincil sığ heyelanlar
- 1995 öncesi heyelanın birikim zonunda gelişen 1995 sonrası heyelana ait üst ana ayna
- 1995 sonrası heyelan gövdesinde 1996 sonrası tekrardan hareketlenen kesim
- 1995 sonrası heyelana ait kopma zonunda 1996 sonrası gelişen heyelan gövdesi
- 1996 sonrası gelişen heyelan gövdesi
- Heyelan Gölü

Heyelan çatlakları

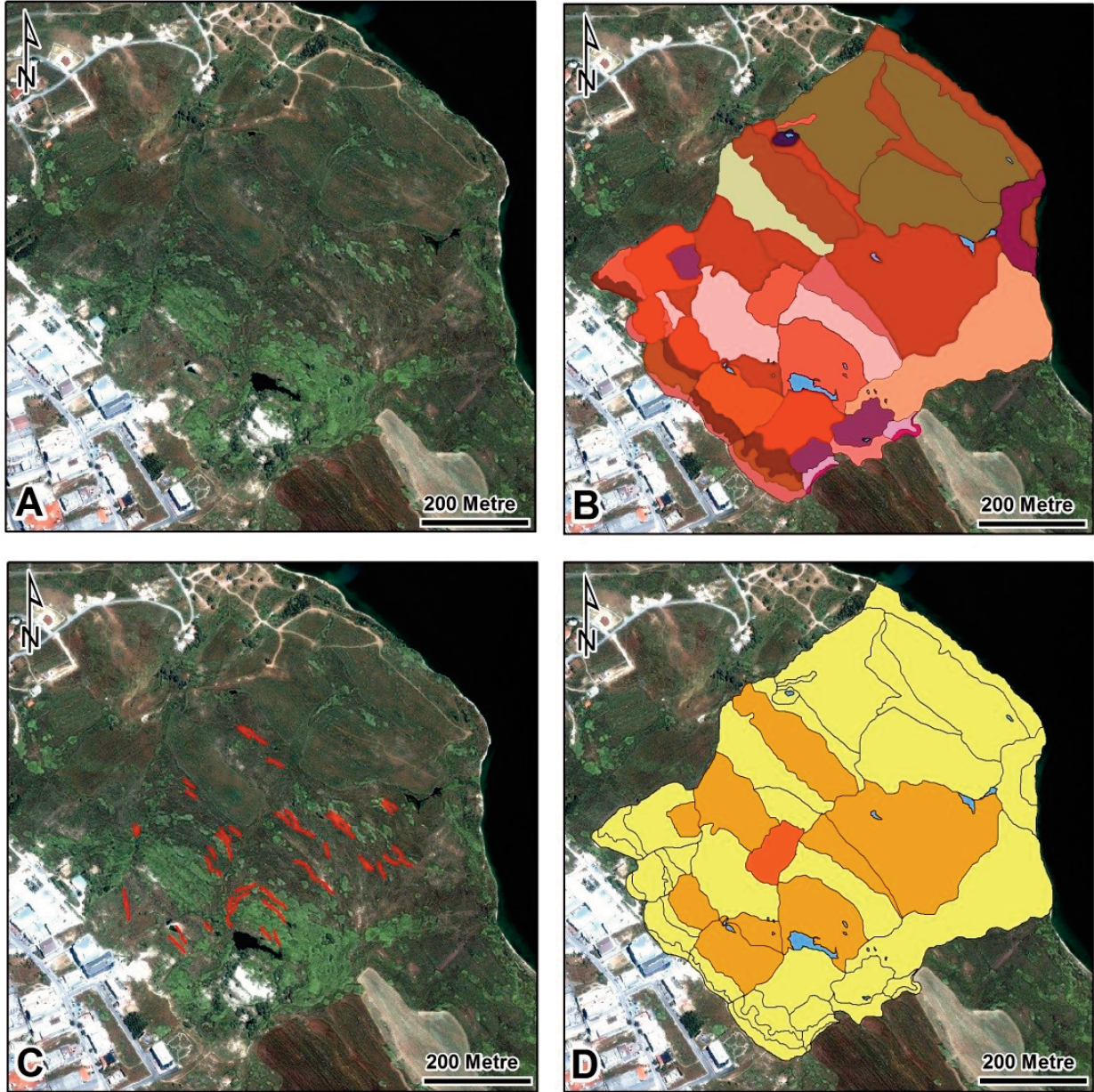
- Radyal ve enine çatlaklar

Aktivite Derecesi

- Çok aktif
- Aktif
- Orta düzeyde aktif
- Aktif değil

Şekil 8. Firuzköy heyelanının 2003 yılındaki jeomorfolojik üniteleri ve aktivite derecesi. (a) 2003 yılına ait IKONOS uydu görüntüsü, (b) Firuzköy heyelanının 2003 yılındaki jeomorfolojik üniteleri, (c) 2003 yılına ait radyal ve enine çatlaklar, (d) Heyelan ünitelerinin 2003 yılındaki aktivite dereceleri.

Figure 8. Geomorphological units and activity degree of the Firuzköy landslide in 2003. (a) 2003 IKONOS satellite image, (b) Geomorphological units of the Firuzköy landslide in 2003, (c) Radial and lateral cracks in 2003, (d) Activity degrees of the landslide units in 2003.



Firuzköy Heyelanının Morfolojik Üniteleri

- 1995 öncesi taç bölgesi
- 1995 öncesi heyelana ait birikim zonu parçaları
- 1995 öncesi heyelana ait eski topuk parçaları
- 1995 sonrası gelişen ana heyelan aynası
- 1995 sonrası heyelan gövdesi
- 1995 sonrası ikincil ayna
- 1995 sonrası üst ana diklik
- 1995 sonrası sağ kanat diklikleri
- 1995 sonrası gelişen heyelanın sağ kanat ana gövdesi
- 1995 sonrası oluşan heyelan ana gövdesindeki ikincil heyelanlar
- 1995 sonrası heyelana ait kopma zonu
- 1995 sonrası heyelana ait yayılma zonu
- 1995 sonrası gelişen heyelana ait boyuna yükselim-deformasyon zonu
- 1995 sonrası heyelanın üzerinde gelişen toprak akması
- 1995 öncesi heyelanın kalıntıları üzerinde gelişen 1995 sonrası heyelana ait birikim zonu

- 1995 öncesi heyelan üzerinde gelişen 1995 sonrası ikincil sığ heyelanlar
- 1995 öncesi heyelanın birikim zonunda gelişen 1995 sonrası heyelana ait üst ana ayna
- 1995 sonrası heyelan gövdesinde 1996 sonrası tekrardan hareketlenen kesim
- 1995 sonrası heyelana ait kopma zonunda 1996 sonrası gelişen heyelan gövdesi
- 1996 sonrası gelişen heyelan gövdesi
- Heyelan Gölü

Heyelan çatlakları

- Radyal ve enine çatlaklar

Aktivite Derecesi

- Çok aktif
- Aktif
- Orta düzeyde aktif
- Aktif değil

Şekil 9. Firuzköy heyelanının 2005 yılındaki jeomorfolojik üniteleri ve aktivite derecesi. (a) 2005 yılına ait IKONOS uydu görüntüsü, (b) Firuzköy heyelanının 2005 yılındaki jeomorfolojik üniteleri, (c) 2005 yılına ait radyal ve enine çatlaklar, (d) Heyelan ünitelerinin 2005 yılındaki aktivite dereceleri.

Figure 9. Geomorphological units and activity degree of the Firuzköy landslide in 2005. (a) 2005 IKONOS satellite image, (b) Geomorphological units of the Firuzköy landslide in 2005, (c) Radial and lateral cracks in 2005, (d) Activity degrees of the landslide units in 2005.

çatlakların (Şekil 9c) bir önceki dönemde geliştiği ve morfolojik olarak halen genç ve yüzey ifadelerinin korunduğu belirlenmiştir. Bu çatlakların toplam uzunlukları 1425 m, minimum ve maksimum uzunlukları ise 10-60 metreler arasındadır. Aktivite bakımından orta kesimlerde yer alan 1995 öncesi ve 1996 sonrası dönemde gelişen yalnızca iki heyelan gövdesinin çok aktif olduğu, bunun dışındaki alanların genel olarak düşük ve aktif olmadığı ortaya konulmuştur (Şekil 9d).

4.2.4. 2006 yılına ait heyelan alanlarının ve aktivitesinin değerlendirilmesi

Bu dönem heyelanın bir çok kesiminin hareketlendiği dönemdir. Asıl heyelan aktivitesinin saha gözlemleri sırasında yapılan sözlü görüşmelerde 2006 Ekim döneminde gerçekleştiği kaydedilmiştir. Bu bakımdan eski yıllarla karşılaştırmak için aynı yıl için iki farklı görüntü çerçevesinde de değerlendirilmiştir. 2006 yılı Haziran ayına ait IKONOS görüntülerinde herhangi bir aktivite izlenmezken 2006 Aralık ayına ait IKONOS görüntülerinde belirgin bir aktivite gözlenmektedir (Şekil 10a - d). Bu dönemde özellikle önceki dönemlerde gelişmiş heyelan gövdeleri ve ikincil heyelan diklikleri üzerinde sekizden fazla yeni hareket oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 10b). Bu hareketlerin çoğu sığ ve orta derinlikte kaymalar ve toprak akmaları şeklinde gelişmiştir. Bunun yanı sıra bazı alanların yeniden hareketlendiği haritalanmıştır. Bu tip alanlar özellikle heyelanın doğu kesiminde yer almaktadır. Heyelanın bu dönemde aktif hale geçmesi radyal ve enine çatlak sayısında ciddi bir artışa neden olmuştur (Şekil 10c). Önceki dönemlere göre % 400 artan çatlak sayısının toplam uzunluğu 15 km olarak haritalanmıştır. Minimum ve maksimum uzunlukları ise 6-100 metreler arasında değişmektedir. Aktivite derecesini genel olarak heyelanın bir çok kesimde yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 10d). Heyelanın aktivitesinin en yüksek olduğu bu dönemde 1996 yılında 0,43 km² olan heyelan alanı büyüterek 0,45 km² olmuştur. Heyelan özellikle batıda ve güneydoğuda, heyelanın taç bölgesine ve kanat kısımlarındaki yeni hareketlerle büyümüştür. Bu özelliğiyle Firuzköy heyelanı hareketin dağılımı bakımından gerileyici ve genişleyici bir karaktere sahiptir. Bu dönemde heyelan içerisinde yer alan göllerin alanlarında ciddi bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüşün ana nedeni yeni kütle hareketlerine bağlı olarak önceki göllerin drene olmasıdır. Günümüzde yeni oluşan topoğrafik şartlara ve 2006 sonrası dönemdeki yağışlara bağlı olarak göllerin alansal olarak tekrardan arttığı saptanmıştır.

5. Tartışma ve sonuçlar

Heyelanların zamansal aktivitesinin bilinmesi gelecekte yeni oluşabilecek heyelana duyarlı alanlar hakkında bilgi verir. Bu bakımdan heyelana ait zamansal aktivitenin anlaşılması gelecekte ilgili çıkarımlarda bulunabilmeyi sağlar. Heyelan aktivitesinin nicel olarak ortaya koyulmasında günümüzde sıkça kullanılan jeodezik, jeoteknik ve jeofizik yöntemler noktasal veya belirli bir çizgisel hat boyunca bilgi vermektedirler. Çok zamanlı aktivitenin tüm kütle için anlaşılması bu yöntemler kapsamında zaman ve maliyet açısından uygun değildir. Buna karşın günümüzde, belirli bir heyelana ait zamansal aktiviteyi ve morfolojik değişiklikleri yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüleriyle etkin bir biçimde ortaya koymak mümkündür. Bu bakımdan heyelanların aktivitesinin gözlenmesi heyelanların değişimi için ve bu değişimden yola çıkılarak ya-

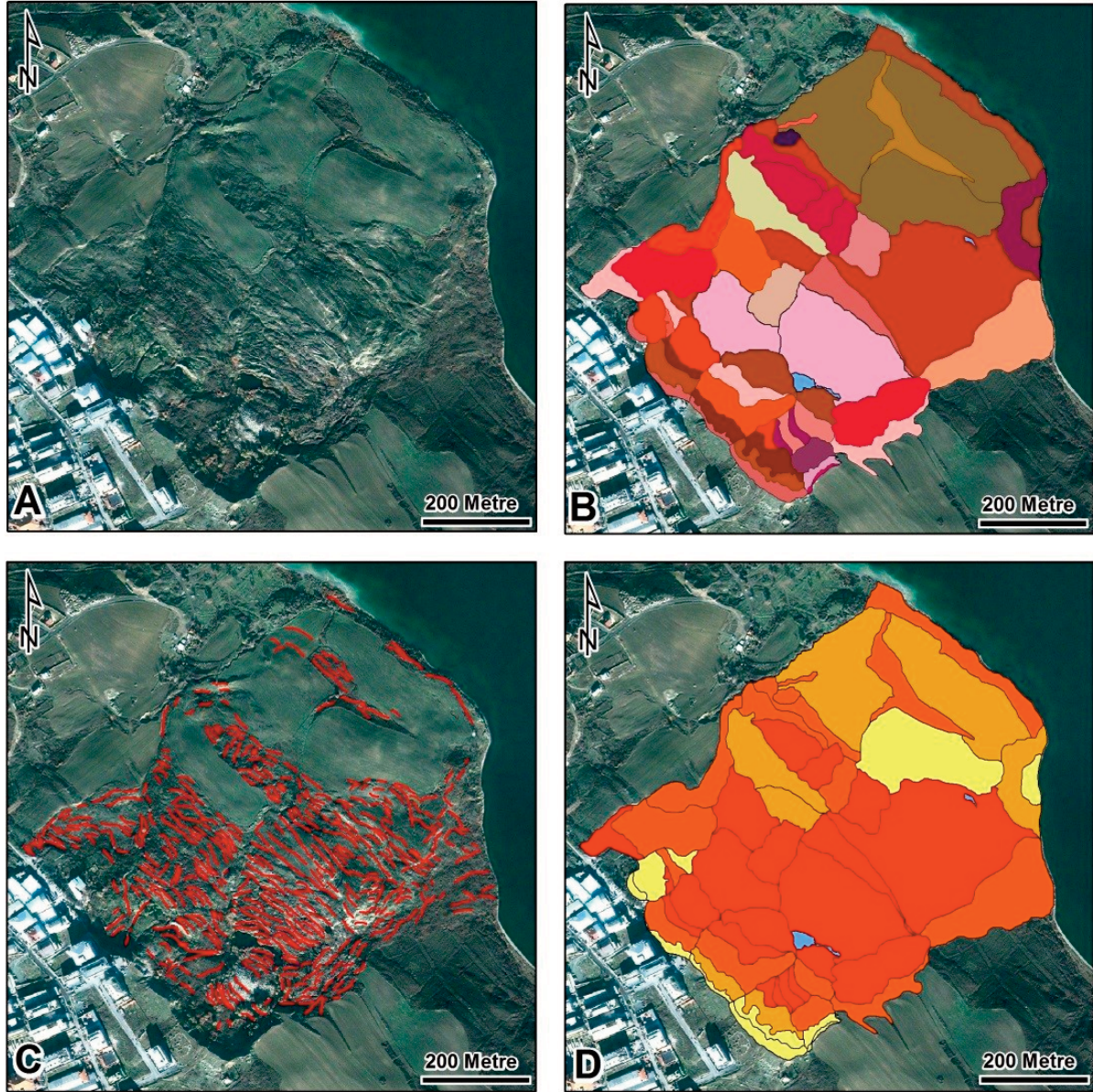
pılacak olan jeomorfoloji temelli risk değerlendirmeleri açısından önemlidir.

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım ile heyelana bağlı hareketler sonucu oluşan çatlak sistemlerinin yoğunluğu kullanarak hesaplanan aktivite derecesinin zamana bağlı değişimi ortaya koyulmuştur. Söz konusu yaklaşım ile Firuzköy kompleks heyelanı örneğinde zamana bağlı aktivite değişimleri çok yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüleri ile belirlenmiştir. 2006 döneminde arazi çalışmaları ile de desteklenen çalışmada heyelanın en aktif olduğu dönem 2006 yılının son altı aylık periyodu olarak belirlenmiştir. Bu dönemde heyelanın değişik kesimlerinde sekizden fazla yeni heyelanın geliştiği ve bu heyelanlara bağlı olarak bir çok gölün drene olarak ortadan kalktığı saptanmıştır. Yıllara bağlı olarak heyelanın gerileyici bir karaktere sahip olduğu ve önceki dönemlerle karşılaştırıldığında alansal bakımdan genişlediği belirlenmiştir.

Çalışmada aktivitenin hesaplanmasında kullandığımız uzman görüşüne dayalı oluşturulan heyelanın jeomorfolojik üniteleri ve çatlak sistemleri günümüzde obje tabanlı sınıflama yöntemleri ile yarı ya da tam otomatik olarak haritalanabilmektedir (Martha vd., 2010 ve 2011; Stumpf ve Kerle, 2011; Stumpf vd., 2013; van Den Eeckhaut vd., 2012). Bu çalışmada önerilen yaklaşım, çatlak sistemleri ve heyelana ait jeomorfolojik ünitelerin daha hızlı ve geniş alanlarda haritalanmasına imkan tanıyan yöntemler ile aktivite derecesinin hem dönemsel hem de zamana bağlı değişiminin anlaşılmasında etkin olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra, çalışmada ortaya koyulan aktivite indeksi heyelan aktivite derecelendirilmesinde veya aktivitenin değerlendirilmesindeki subjektif yaklaşımı ortadan kaldırarak daha objektif bir zemine taşımıştır. Buna karşın çalışmada önerilen yöntem kısıtlayıcı bir özelliğe sahiptir. Bu kısıtlayıcı özellik kütle hareketinin türünden kaynaklanmaktadır. Önerilen yaklaşımda kaya düşmeleri, kaya çığları ve su içeriği yüksek çamur akmaları gibi belirli kütle hareketlerinde çatlak sistemi nadiren geliştiğinden söz konusu yaklaşım bu tip kütlelerin aktivite derecelerinin belirlenmesine uygulanamamaktadır. Buna karşın bu türdeki heyelanlar çok hızlı hareketlerdir. Dolayısıyla çok ani geliştiklerinden uzun dönemde aktivitelerinin izlenmesi ve bu aktivite derecelerinin dolaylı risk çalışmaları için değerlendirilmesi zaten yapılamamaktadır.

Genel olarak bir heyelan kütlesi üzerinde gözlenen çatlakların derinliği değişkenlik gösterir. Bu heyelanın geliştiği yamacın şekline, hareketin derinliğine, kayan malzemenin türüne, kayma düzleminin şekline ve engebelilik oranına göre farklılık göstermektedir. Çalışmada önerilen yaklaşımda çatlakların uzunlukları dikkate alınmış ve toplam çatlak uzunluğu karşılık geldikleri heyelan ünitesinin alanına bölünerek yoğunluklarına göre derecelendirilmiştir. Burada söz konusu uzunluğun yanı sıra çatlak açıklığı ve derinliği gibi parametreler de aktivite derecelerinin belirlenmesinde kullanılan yoğunluğun hesaplanmasında birer girdi olarak dikkate alınabilir. Bu girdiler her ne kadar ekstra arazi çalışmaları ile ölçüm gerekirse de günümüzde giderek yaygınlaşan insansız hava araçları (İHA) ve hava/yer lazer tarama sistemlerinden (LIDAR) elde edilen görüntüler aracılığıyla da neredeyse haftalık değişimler ortaya konulabilir. Dolayısıyla burada önerilen yaklaşım yaygınlaşan bu teknolojik araçlarla çatlak sistemlerine ait derinlik ve genişlik bilgilerini içeren daha detaylı görüntülerle geliştirilebilir.

Jeomorfolojik açıdan heyelan aktivitesinin derecelendirildiği ve



Firuzköy Heyelanının Morfolojik Üniteleri

	1995 öncesi rotasyonel taç bölgesi		2006 (Haziran) sonrası gelişen ana taç
	1995 öncesi heyelana ait birikim zonu parçaları		2006 (Haziran) sonrası gelişen tali diklik
	1995 öncesi heyelana ait eski topuk parçaları		2006 (Haziran) sonrası gelişen heyelanın ana gövdesi
	1995 sonrası gelişen ana heyelan aynası		1996 öncesinde gelişen heyelanın 2006 (Haziran) sonrası reaktif olan kesimi
	1995 sonrası heyelan gövdesi		2006 (Haziran) sonrası heyelanın üzerinde gelişen toprak akması
	1995 sonrası tali ayna		1995 sonrası gelişen heyelanın ana gövdesinde 2006 (Haziran) sonrası oluşan heyelan
	1995 sonrası üst ana diklik		1995 sonrası gelişen heyelanın ana gövdesinde 2006 (Haziran) sonrası oluşan ikincil heyelanlar
	1995 sonrası sağ yanal diklikler		2006 (Haziran) sonrası heyelana ait yayılma zonu
	1995 sonrası gelişen heyelanın sağ yanal ana gövdesi		2006 (Haziran) sonrası heyelanın gövdesinde oluşan enine sırtlar
	1995 sonrası heyelana ait yayılma zonu		1995 sonrası gelişen heyelanın deformasyon zonunda 2006 (Haziran) sonrası reaktifte olan zon
	1995 sonrası gelişen heyelana ait boyuna yükselim-deformasyon zonu		1995 sonrası gelişen heyelanın kalıntıları üzerinde 2006 (Haziran) sonrası gelişen ikincil heyelanlar
	1995 sonrası heyelanın üzerinde gelişen toprak akması		Heyelan Gölü
	1995 öncesi heyelanın kalıntıları üzerinde gelişen 1995 sonrası heyelana ait birikim zonu		
	1995 öncesi heyelan üzerinde gelişen 1995 sonrası ikincil sığ heyelanlar		
	1995 öncesi heyelanın birikim zonunda gelişen 1995 sonrası heyelana ait üst ana ayna		
	1996 sonrası gelişen heyelanın ana gövdesi		

Heyelan çatlakları

— Radyal ve enine çatlaklar

Aktivite Derecesi

	Çok aktif		Orta düzeyde aktif
	Aktif		Aktif değil

Şekil 10. Firuzköy heyelanının 2006 yılındaki jeomorfolojik üniteleri ve aktivite derecesi. (a) 2006 yılına ait IKONOS uydu görüntüsü, (b) Firuzköy heyelanının 2006 yılındaki jeomorfolojik üniteleri, (c) 2006 yılına ait radyal ve enine çatlaklar, (d) Heyelan ünitelerinin 2006 yılındaki aktivite dereceleri.

Figure 10. Geomorphological units and activity degree of the Firuzköy landslide in 2006. (a) 2006 IKONOS satellite image, (b) Geomorphological units of the Firuzköy landslide in 2006, (c) Radial and lateral cracks in 2006, (d) Activity degrees of the landslide units in 2006.

aktivitenin zamansal değişiminin değerlendirildiği bu çalışmada, fayda/maliyet açısından değerlendirildiğinde önerilen yaklaşımın jeoteknik, jeofizik ve jeodezik izleme yöntemleri gibi diğer yöntemlerle birlikte veya alternatif bir yöntem olarak dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur. Diğer yöntemlerin aksine heyelan kütesinin tamamına ilişkin mekansal aktivite hakkında bilgi sağlanmasına imkan veren yaklaşım aynı zamanda çok-zamanlı görüntülerle kütlelerin zamana bağlı davranışı hakkında da bilgi vermektedir. Bu bilgiler dolaylı olarak heyelan risk değerlendirmelerinde kullanılabileceği gibi kompleks heyelan kütlelerinin kısa dönemli morfolojik gelişimlerinin ve aktivite-lerinin anlaşılmasında da önemli katkılar sağlayabilir.

Katkı Belirtme

Yazarlar heyelana ilişkin havadan fotoğrafların çekilmesi sırasında (Nisan 2007) yardımcı ve büyük katkısı olan ve 19 Mayıs 2013 yılında Adana'da bir gösteri uçuşu sırasında yaşamını yitiren Pilot Murat Öztürk'e minnettar ve müteşekkirdirler.

Kaynakça

- Angeli, M. G., Pasuto, A., ve Silvano, S. (2000). "A critical review of landslide monitoring experiences", *Engineering Geology*, 55(3), 133-147.
- Arpat, E. (1999). "Büyükçekmece ve Küçükçekmece (İstanbul) heyelanlarının genel özellikleri ve yarattıkları başlıca sorunlar", 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, s. 17-23, Ankara.
- Duman, T.Y., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H., ve Gökmenoğlu, O., (2004). "İstanbul metropolü batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Özel Yayınlar Serisi-3, 249s., Ankara
- Duman, T. Y., Can, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H. A., ve Sonmez, H. (2006). "Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey", *Environmental Geology*, 51(2), 241-256.
- Ertek, T. A., ve Erginal, A. E. (2006). "Anthropogenetically triggered landslide factors of the Varyant landslide area at Büyükçekmece, NW Turkey", *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, 50(2), 177-191.
- Gili, J. A., Corominas, J., ve Rius, J. (2000). "Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring", *Engineering Geology*, 55(3), 167-192.
- Göktaşan, E., Ustaömer, T., Gazioğlu, C., Yücel, Z. Y., Öztürk, K., Tur, H., Ecevitoglu, B. And Tok, B. (2003). "Morpho-tectonic evolution of the Marmara Sea inferred from multi-beam bathymetric and seismic data", *Geo-Marine Letters*, 23(1), 19-33.
- Görüm, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Şanlı, F.B., Döker, F., 2008. "Firuzköy heyelanının yakın dönem morfolojik evriminin yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleriyle analizi", Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Çanakkale, Bildiri Özleri Kitabı, s.280. 2008, Çanakkale.
- Görüm, T., Fan, X., Van Westen, C. J., Huang, R. Q., Xu, Q., Tang, C., and Wang, G. (2011). "Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake", *Geomorphology*, 133(3), 152-167.
- İnce, G. Ç., Yildirim, M., Özyaydin, K., and Özener, P. T. (2008). "Seismic microzonation of the historic peninsula of Istanbul", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1), 41-51.
- Martha, T. R., Kerle, N., Jetten, V., Van Westen, C. J., and Kumar, K. V. (2010). "Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods", *Geomorphology*, 116(1), 24-36.
- Martha, T. R., Kerle, N., Van Westen, C. J., Jetten, V., and Kumar, K. V. (2011). "Segment optimization and data-driven thresholding for knowledge-based landslide detection by object-based image analysis", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 49(12), 4928-4943.
- Nefeslioğlu, H. A., Sezer, E., Gökçeoğlu, C., Bozkır, A. S., ve Duman, T. Y. (2010). "Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey", *Mathematical Problems in Engineering*, 2010.
- Pamir, H.N., (1938). "İstanbul Boğazı'nın teşekkülü meselesi", *MTA Bülteni*. 3-4, 61-69.
- Sowers, G.F. and Royster, D.L. (1978). "Field investigation. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides: Analysis and Control*", Transportation Research Board, Special Report, 176. National Academy of Science, Washington, DC, pp. 81-111.
- Stumpf, A., and Kerle, N. (2011). "Object-oriented mapping of landslides using Random Forests", *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2564-2577.
- Stumpf, A., Malet, J. P., Kerle, N., Niethammer, U., and Rothmund, S. (2013). "Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics", *Geomorphology*, 186, 12-27.
- Supper, R., and Römer, A. (2003). "New achievements in developing a high speed geoelectrical monitoring system for landslide monitoring", In 9th EAGE/EEGS Meeting.
- Şen, Ş. (2007). "A fault zone cause of large amplification and damage in Avclar (west of Istanbul) during 1999 Izmit earthquake", *Natural Hazards*, 43(3), 351-363.
- Van Den Eeckhaut, M., Kerle, N., Poesen, J., and Hervás, J. (2012). "Object-oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR data", *Geomorphology*, 173, 30-42.
- Varnes, D.J., (1978). "Slope movement types and processes", In Schuster, R. L. and Krizek, R. J. (Editors), *Landslides, Analysis and Control*, Special Report 176: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp. 11-33.
- WP/WLI (International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Land-slide Inventory), (1993). "A suggested method for describing the activity of a landslide", *Bulletin, International Association of Engineering Geology*, 47:53-57.
- Yıldırım, M., ve Savaşkan, E., (2003). "İstanbul bölgesi Tersiyer çökellerinin stratigrafisine yeni bir yaklaşım ve çökellerin mühendislik özellikleri", İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu (20-21 Aralık 2003) Bildiriler Kitabı, s. 87-102, İstanbul.
- Yılmaz, Y., Göktaşan, E., and Erbay, A. Y. (2010). "Morphotectonic development of the Marmara Region", *Tectonophysics*, 488(1), 51-70.