

BÜYÜKÇEKMECE İLE KÜÇÜKÇEKMECE ARASINDAKİ HEYELANLARIN OLUŞUMASINDA HAZIRLAYICI VE TETİKLEYİCİ PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

The Evaluation of Preparative and Triggering Parameters on Occurrence of Landslides in the Büyükçekmece-Küçükçekmece

Süleyman DALGIÇ¹ Mehmet TURGUT¹ İbrahim KUŞKU¹

ÖZET

Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki heyelanların oluşmasında hazırlayıcı parametreler olarak başlıca, genç faylara ait veriler bulunmaktadır. Buzul dönemindeki vadilerin derine aşındırma işlemi de bu fay zonlarını takip ederek heyelanların oluşmasına neden olmuş olmalıdır. Ayrıca, heyelanların oluşmasında diğer hazırlayıcı parametreler geçirimsiz özellikte fisürlü kil ile ara seviyelerde geçirimli kum düzeylerinin bulunması ve heyelanların topuk kısımlarının aşındırılması olayları etken olduğu belirlenmiştir.

Heyelanları hazırlayan bu ortamlarda ise tetikleyici parametreler depremler, yağışlar ve aşırı yüklemeler olmuştur. İnceleme alanı için 14 Aralık 557 depremi, 10 Temmuz 1894 ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ile kitle hareketi ilişkisi bulunmakta ve inceleme alanı zemin büyütmesinden dolayı bölgedeki her depremden etkilenmektedir. Bölgenin yıllık yağış ortalaması 850 mm. üstünde olduğu durumda heyelan ve akma olaylarında artış gözlenmektedir. Avrupa'nın en hızlı büyüyen kenti İstanbul da heyelanlar üzerinde yapılan yüksek katlı yapıların hızla artması ile bölgenin aşırı yüklenmesi heyelanları tetikleyici diğer parametre olmuştur. Özellikle eski heyelanların aşırı yüklenmesi sonucu, günümüzde Avcılar Balaban, Çukurlar, Pekmez ve Yakuplu heyelanları tekrar aktif hale gelmiştir. Bu nedenle eski heyelanların olduğu alanlar, uygun mühendislik çözüm yöntemleri uygulanmadan yeni yerleşim yerleri olarak kullanılmamalıdır.

Günümüzde heyelanlı alanlarda onlarca yapı ya yıkılmış ya da yıkılma noktasına gelmiştir. Bu nedenle heyelanlı alanlarda ana kayma düzleminin saptanması buna göre önlem alınarak yapılaşmaya gidilmesi gerekmektedir. Diğer durumda ana kayma düzleminin üzerinde kalan heyelan önlemleri ile fore kazık uygulamaları olsa bile ortamın stabilitesine etkisi bulunmamaktadır.

Anahtar kelimeler: Kuzey Anadolu fay zonu, deprem, heyelan, fisürlü kil, yağış, aşırı yükleme

ABSTRACT

Data on young faults exist as preparative parameter for the landslides between Büyükçekmece and Küçükçekmece. Also, the vertical erosion process during the glacial epoch should have been effective in the occurrence of the landslides. Furthermore, the existence of impermeable fissured clay with permeable sand interlayers and the erosion processes on the heel of the slopes are determined as other effective preparative parameters.

The triggering effects in these environments preparing the landslides are the earthquakes, rains and overloads. In the investigation area there is a relation between the earthquakes of 14 December 557, 10 July 1894 and 17 August 1999 and mas movements due to the soil amplification, the investigation area is affected from every earthquake. When the average annual rainfall in the region is more than 850 mm. There is an increase in the number of landslides and creeps. In Istanbul, the fastest growing city of

¹ İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İstanbul
e-mail: dalgic@istanbul.edu.tr

Europe, overloading of the region which is the result of the rapid increase in high rise buildings on the landslide areas, is another parameter in triggering landslides. Especially due to the overloading of paleo-landslides nowadays, the Avcılar Balaban, Pekmez and Yakuplu landslides are activated. For this reason the areas with paleo-landslides should not be used unless appropriate engineering applications area conducted.

Tens of buildings are presently collapsed or nearly collapsed in the study area. For this reason in landslide prone areas, settlements should be build after determining the slide depth and the application of appropriate prevention techniques. Otherwise, the landslide preventions over the main slide surface are carried out will be ineffective even together with bored-pile applications.

Keywords: North Anatolian Fault Zone, earthquake, landslide, fissured clay, rain, overloading

GİRİŞ

İnceleme alanının doğusunda Küçükçekmece gölü, batısında Büyükçekmece gölü, güneyinde Marmara denizi ve kuzeyinde TEM otoyolu bulunmaktadır (Şekil 1). Bu alanda, yerleşime uygun olmayan ya da ayrıntılı jeoteknik etüd gerektiren heyelanlı alanlar bulunmaktadır. Bu heyelanlı alanlar üzerinde son yıllarda hızlı bir yapılaşma söz konusudur. Bu çalışmanın ana amacı da bu heyelanları hazırlayan ve tetikleyecek parametreler incelenmiştir. Bu çalışmanın daha batısında da, bu çalışmanın dışındaki batı bölgelerinde kalan Silivri (Değirmenköy-Çantaköy) heyelanları bulunmaktadır.

“Bu günkü olaylar, geçmişin anahtarıdır” prensibinden hareketle, günümüzde olduğu gibi geçmişte de İstanbul’un Büyükçekmece-Küçükçekmece bölgesi deprem, sel ve heyelanlardan yoğun ölçüde etkilenmiş bir bölgedir. Bu bölgedeki heyelanları oluşturan hazırlayıcı parametreler olarak fisürlü kil ve kum düzeylerin varlığı, Kuzey Anadolu Fayının inceleme alanındaki etkileri, buzul dönemindeki derin vadi oluşumları yeraltı suyu ve heyelanların topuk kısmının aşınması parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma alanında heyelanları tetikleyici parametre olarak başlıca depremsellik, yağış ve aşırı yükleme etkileri incelenmiştir.

Araştırma da, kütle hareketlerinin arazi gözlemleri öncesinde belirlenmesi amacıyla topografik haritalar incelenmiş, heyelanların bulunduğu alanlarda sayısal yükseklik modelleri oluşturularak bunların varlığı 3 boyutlu olarak belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada önceki çalışmalar, saha gözlemleri, sondaj ve sismik verilerinden yararlanılmıştır.

BÖLGESEL JEOLJİ

İncelenen bölgenin temelinde batı da Paleozoik yaşlı Metamorfik birimler, doğusunda ise Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu olarak bilinen kumtaşı, silttaşı ve kiltası ardalanması bulunmaktadır (Şekil 2). İnceleme alanında bu iki birimin dokanağı Eosen veya daha genç birimlerle kaplı olduğu için görülmemektedir (Dalgıç, 1988). Bu birimlerin üzerinde ise Eosen yaşlı kireçtaşı, marn ve kiltasından oluşan Kırklareli formasyonu gelmektedir. Kırklareli formasyonu üzerine inceleme alanındaki, heyelanların görüldüğü başlıca fisürlü kil, alt seviyelerde kiltasından oluşan Oligosen yaşlı, Gürpınar formasyonu bulunmaktadır. Gürpınar formasyonu arasında yer yer silttaşı, kum, kumtaşı ve tuf ara tabakaları veya mercikleri bulunmaktadır (Şekil 3). Gürpınar formasyonun bölgedeki kalınlığı 700 metreden fazladır.



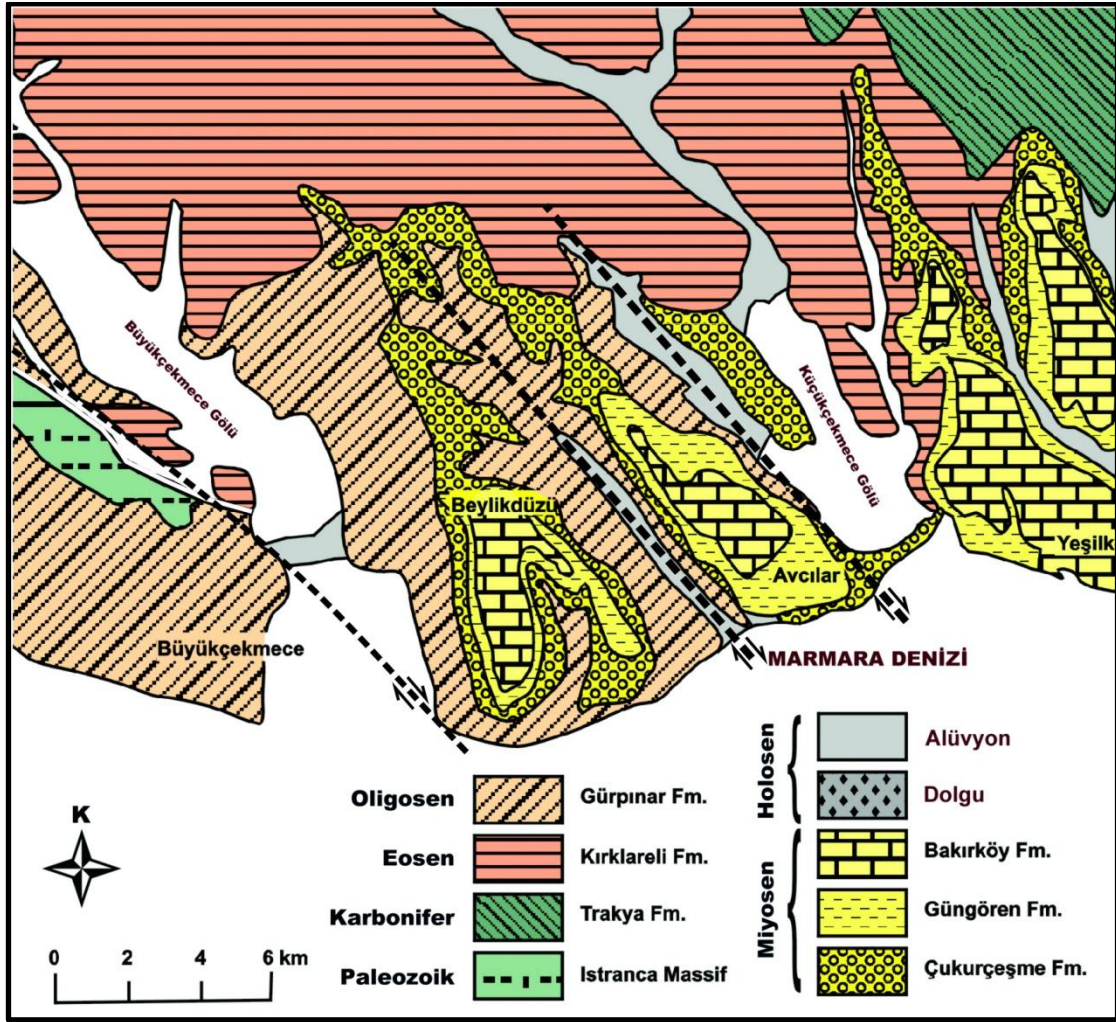
Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the investigation area.

Gürpınar formasyonunun daha üstünde Miyosen yaşlı çökel birimleri bulunmaktadır. Miyosen yaşlı ilk birim Çukurçeşme formasyonudur. Bu formasyon, az tutturulmuş veya tutturulmamış çakıllı kum tabakaları ile arada kil tabakaları veya mercerlerinden oluşmakta ve birimin kalınlığı 20-30 m. arasında değişmektedir. Bu birimin üstündeki Güngören formasyonu 20-25 metre kalınlığında, yeşilimsi gri, açık kahverengi, ince kum mercerleri bulunan kil tabakalarından oluşur. Miyosen istifinde ayırt edilen en üst birim ise başlıca, beyaz, ince-orta tabakalı, arada yeşilimsi gri kil tabakaları bulunan 10-15 metre kalınlığında marn ve kireçtaşından oluşan Bakırköy formasyonudur. Tüm bu birimlerin üzerinde de alüvyon çökelleri ve yer yer de dolgu bulunmaktadır (Arıç, 1955; Yalçınlar, 1976; Arpat, 1999) .

Gürpınar formasyonuna ait çökeller güney doğuya veya kuzey doğuya, 15° - 20° eğimli olarak bulunmaktadır. Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonlara ait litolojiler az eğimli veya yataya yakın konumdadır. Heyelanlı alanlarda bazı durumlarda yamaç içerisine doğru eğimli tabakalar bulunmaktadır. Tabakaların yamaç içerisine doğru eğimli olması yamaç stabilitesi açısından dönel kayma olayından dolayı olumlu bir yaklaşım olarak yorumlanmamalıdır.

HEYELANLARIN JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında saptanan heyelanlar başlıca KB –GD doğrultulu yamaçlarda gelişmiştir. Heyelan morfolojisinin taç kısımları çoğunlukla ayırt edilebilirken, topuk kısımları akarsular veya deniz tarafından aşındırıldığı için çoğu yerde gözlenmemektedir. Heyelanların büyük bir kısmının ay biçiminde gelişmiş ayna ile önünde içe doğru eğimli çukurluk, bazı heyelanlardaki kabarmış topuk gibi morfolojik özellikler heyelanların genç olduklarını göstermektedir (Ercan, 1990). Genellikle inceleme alanı içerisinde gözlenen heyelanlar, etkinlik dağılımına göre, en az üç veya dört defa gerileyerek ilerleyen heyelanlardır (Dalgıç, 2003; Dalgıç 2005). Bölgedeki heyelanların taç kısmı 3-25 metre yüksekliğinde ve 70° - 90° eğimde aynalar geliştirmişlerdir. Heyelanların taç kısımlarında genellikle aşınmaya karşın dayanımlı olan Çukurçeşme formasyonuna ait çakıllı ve kumlu düzeyler bulunmaktadır. Çakıllı düzeylerin yoğunlukta olduğu kesimlerde aynalar dike yakın konumdadır.



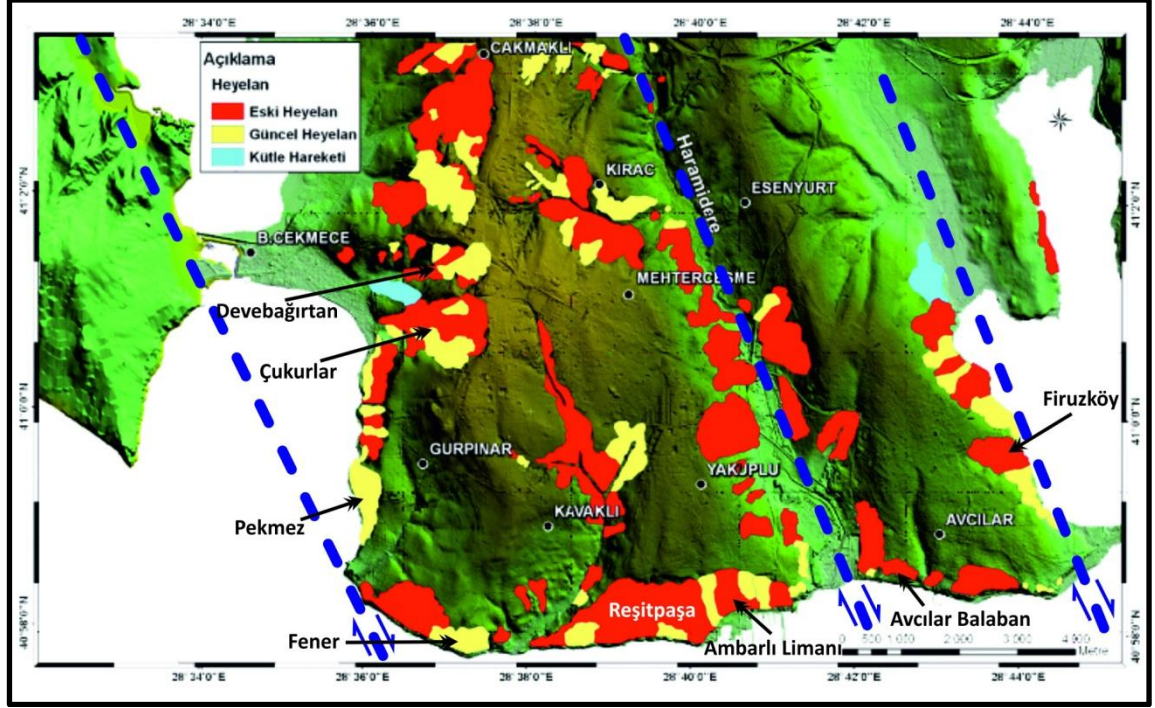
Şekil 2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Arıç, 1955; Yalçınlar, 1976; Oktay ve Eren, 1999; Dalgıç, 2004).

Figure 2. Geological map of investigation area (Arıç, 1955; Yalçınlar, 1976; Oktay ve Eren, 1999; Dalgıç, 2004).

HEYELANLARIN SINIFLANDIRILMASI

Duman vd., (2004) tarafından inceleme alanındaki heyelanlar, duraylılık koşulları ve etkinlikleri değerlendirilerek güncel (aktif) ve eski (aktif olmayan) kütle hareketleri olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Aktif Heyelan Alanları, deprensellik, aşırı yağış, heyelanın taç kısmının aşırı yüklenmesi gibi heyelanları tetikleyici parametreler etkili olduğu zaman aktivite kazanmaktadırlar. Bu alanlar halen hareket halinde veya heyelan hareketinin canlılık belirteçlerini göstermektedir (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6). Bazı durumlarda eski (aktif olmayan) heyelan alanları bir süre sonra doğal ve/veya yapay etmenlerle aktif (güncel) hale gelebilmektedir. Örneğin, eski heyelanlar olan Ambarlı Balaban, Yakuplu, Çukurlar heyelanı, Fener (Onbeşevler) heyelanları aşırı yüklenme, deprem ve aşırı yağışlarla tekrar harekete geçmiş ve günümüzde aktivite kazanmışlardır. Benzer şekilde aktif bir heyelan alanı, kaymaya neden olan etmenlerin değişmesi, ya da heyelan önleme çalışmalarının yapılması durumunda durağan hale gelebilmekte veya potansiyel bir heyelana dönüşebilmektedir. Bölgedeki doğal (jeomorfolojik, jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, sismik) ve yapay (insan

girişimleri) faktörler bir araya geldiğinde bu süreçler ve geçişler hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Yüzer vd., 2007).



Şekil 3. Heyelan yoğunluk haritası (Duman vd., 2004'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 3. Landslide density map (Modified from Duman et al., 2004).



Şekil 4. Aktif Firuzköy heyelanının genel görüntüsü (topuktan taca doğru bakış).
Figure 4. A general view from heel to scarp of the active Firuzköy Landslide.



Şekil 5. Aktif Avcılar Balaban heyelanından etkilenen yapılardaki deformasyonlar.
Figure 5. The Deformations of the structures affected by the active Avcılar Balaban Landslide.



Şekil 6. Kısmen Aktif Pekmez heyelanının taç kısmından bir görünüm.
Figure 6. A view of scarp of the partially active Pekmez Landslide.

İnceleme alandaki heyelanların bir kısmı ise eski (aktif olmayan) heyelanlardır. Bu alanlar da eski heyelan izleri bulunmakta, fakat canlılık belirteçleri gözlenmemektedir (Şekil 7). Bu alanlar Haramiderenin doğu yamaçları, Kıraç'ın batı alanları, Devebağirtan heyelan alanlarında gözlenmektedir. Ayrıca, yer yer aktif özellikteki heyelan alanlarına yakın alanlarda da eski (aktif olmayan) heyelan alanları bulunmaktadır.



Şekil 7. Kıracağı'nın batısında aktif olmayan (eski) heyelanlı alanlar üzerine yapılan yüksek katlı yapılar.

Figure 7. Multi storey buildings on inactive (paleo) landslide in west of Kıracağı.

Hazırlayıcı Faktörler

Topoğrafik Faktörler

İnceleme alanı 0 ile 200 m kot yüksekliğinde, ortalama 60-130 m kotundadır. Bölgesel eğim yapı trendi ile uyumlu olarak KB-GD doğrultuludur. İnceleme alanındaki heyelanların genel olarak aktif olanları batıya ve doğuya bakan yamaçlarda gelişmiştir. Daha az oranda heyelan olayları güney, kuzey batı ve güney doğuya eğimli yamaçlarda bulunmaktadır. İnceleme alanında gelişen heyelanlar içbükey yamaçlarda yoğunluk kazanmıştır. İnceleme alanında eğimler 0° ile 90° arasında, ortalama eğim derecesi ise 0° ile 20° arasında değişmektedir. Heyelan açısından yaklaşık 15° den daha yüksek eğimler risklidir. Gürpınar formasyonunda eğimin azaldığı killi kesimlerde geçirimsiz özellikten dolayı genellikle dentritik tip drenaj ağı gelişmiştir.

Dik yamaçlar genellikle sırtları oluşturan Çukurçeşme formasyonuna ait çakıllı kum düzeyleri heyelan aynalarına tekabül etmektedir. Eğimli yamaçlar Gürpınar formasyonu kısımlarını içermektedir. Topoğrafik olarak yüksek kotlarda yüzeylenen Bakırköy formasyonu az eğimli yamaç oluşumuna neden olmaktadır. Heyelanların saha içindeki genel dağılımı ile eğim derecesi kıyaslandığında, heyelandan etkilenen sahaların dik ve eğimli yamaçlarda yer aldığı açıkça görülmektedir. Dik yamaçlar, genellikle Gürpınar formasyonundaki derin kayma yüzeyli aktif ve eski heyelanlı alanları yansıtmaktadır.

Litoloji

Heyelanların oluştuğu Gürpınar formasyonunun ilk 15 m—20 m'si aşırı konsolide, yüksek plastisiteli, yer yer fisürlü, katı-sert kil, alt kesimleri kiltaşından oluşmaktadır. Bu istif içerisinde yer yer silt, kum, kumtaşı ve tuf mercekleri bulunmaktadır. Bu birimlerin üstünde ise Çukurçeşme formasyonuna ait kum ve çakıllı kum düzeyleri ile Bakırköy formasyonuna ait kireçtaşı, marn ve

kiltaşları düzeyleri bulunmaktadır. Bakırköy ve Çukurçeşme formasyonu birimleri kısmen Gürpınar formasyonuna ait killere göre jeoteknik dayanımı yüksek birimlerdir. Bu nedenle bu birimler aşınmaya karşı doğada korunurken, yamaçlardaki Gürpınar formasyonuna ait kil düzeyleri aşınmaya uğrayarak dikleşen vadi yamaçları stabilitesini sağlayamamışlar ve heyelanlar oluşmuştur.

Fay Zonu Etkileri

İnceleme alanındaki faylar Küçükçekmece fayı, Haramidere fayı ve Büyükçekmece fayı olarak adlandırılmıştır (Şekil 8). Bu faylara ait veriler aşağıda verilmiştir.

Küçükçekmece fayı, Küçükçekmece gölünün oluşumu ile ilgili bir faydır. Bu fayın kara tarafındaki devamında İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsü arazisinin göle bakan yamaçlarında çizgisel yapı izlenmekte, KB'ya devamında alüvyon birimleri içerisinde kalmaktadır. Haramidere fayının belirteçleri, bina temelleri için açılan temel kazılarında gözlenmektedir. Diğer bir fay ise Büyükçekmece gölünü oluşturan Büyükçekmece fayıdır. Bu fayın inceleme alanının güney batısından başlayarak KB yönüne doğru Büyükçekmece gölünün içinden geçerek karaya çıkmakta ve Çatalca'ya doğru uzanmaktadır. Bu fayın Çatalca'ya doğru olan devamında Paleozoik yaşlı metamorfik birimler ile Oligosen'e ait birimler yan yana gelmektedir. Bu fayın diğer verisi, Büyükçekmece yerleşim yerinde yapılan su sondajında alüvyon kalınlığı 100 metreye ulaşmış ve sondajda yoğun olarak gaz çıkışı izlenmiştir.

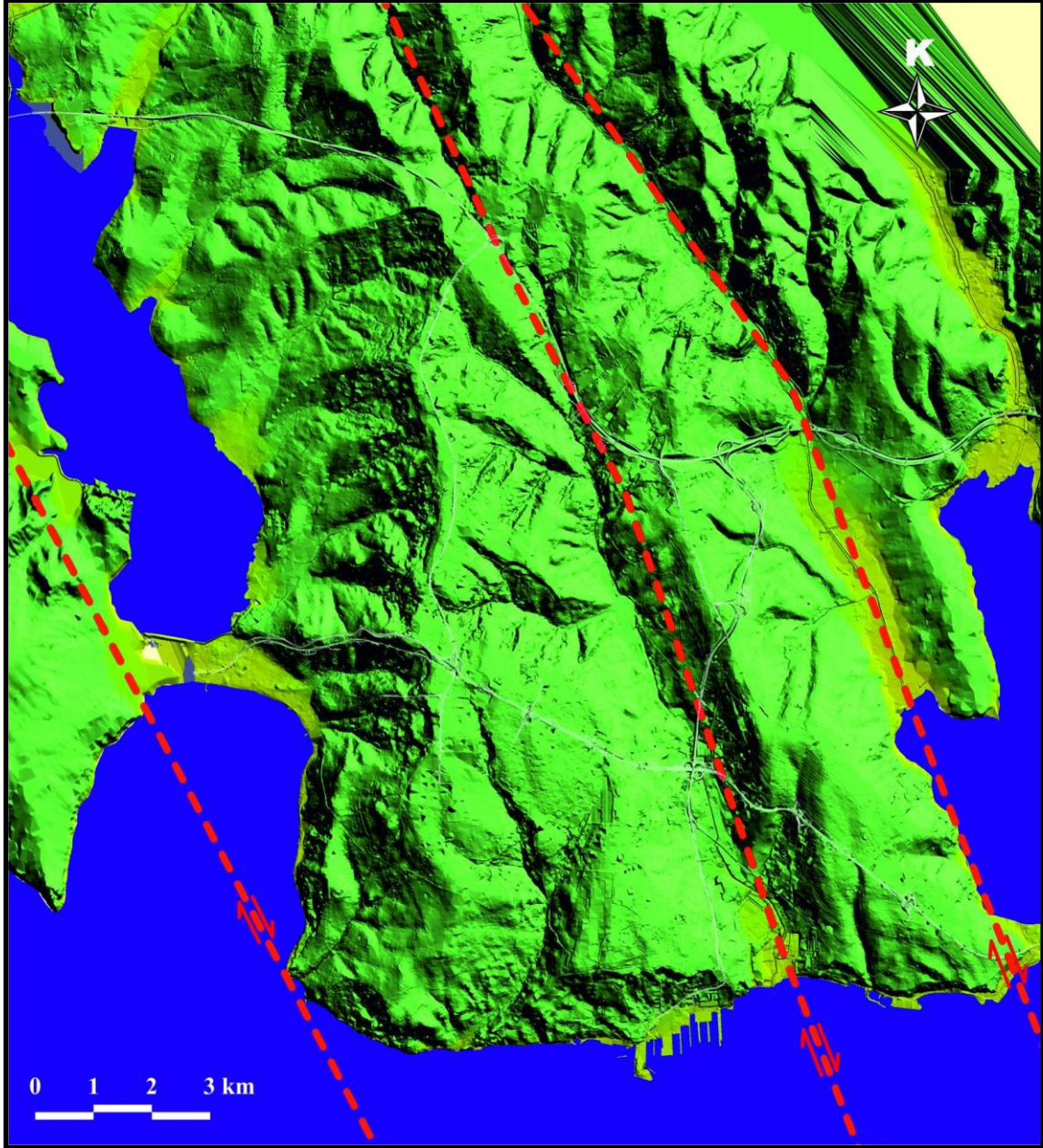
Bölgede yapılan su sondajlarında da bu fayların verilerini görmek mümkündür. Su sondajlarında Kırklareli formasyonu Küçükçekmece fayının doğusundaki Yeşilköy dolayında yüzeyden 250-300 m dolayında kesilirken, Küçükçekmece fayı ile Haramidere fayı arasında kalan kesimde Kırklareli formasyonu 700 metreden daha derindedir. Bu kesimden batıya doğru, tekrar Kırklareli formasyonu Haramidere fayı ile Büyükçekmece fayı arasında yüzeyden 300-350 m derinliğe ulaşmaktadır. Büyükçekmece fayının daha batısında ise Kırklareli formasyonu yüzeyde mostra vermektedir.

Haramidere ve Kıraç dolayında açılan derin kuyularda sıcak su ile karşılaşmaktadır. Bu kuyularda yaklaşık 450 metreden sonra sıcaklığı 37° olan jeotermal sular bulunmaktadır. İstanbul'un diğer bölgelerinde görülmeyen bu yüksek jeotermal gradyan, Göller arası bölgede etkin genç tektonizmanın sonucu olarak yorumlanmıştır (Gözübol, 2009).

İnceleme alanındaki karada gözlenen genç faylara ilişkin verilerin denizdeki devamları deniz içi sismik ölçülerde tespit edilmiştir (Gökaşan vd., 2002; Gökaşan vd., 2003b; Gökaşan, 2003; Ergintav vd., 2009), (Şekil 9 ve Şekil 10). Bu yazarların yaptığı sismik araştırmalarda yüksek eğimli tabakalanmaların varlığı ve bunların sağ-yanal atımlı faylarla biçilmesi belirlenmiştir. Öte yandan, derin sismik kesitlerde Küçükçekmece'nin doğusunda ve Büyükçekmece'nin batısında kıta sahanlığı altında bulunan tabakaların bu tür bir deformasyona uğramadıkları gözlenmektedir (Ergintav vd., 2009). Bu verilerde Küçükçekmece ile Büyükçekmece arasında genç fayların olduğunu göstermektedir.

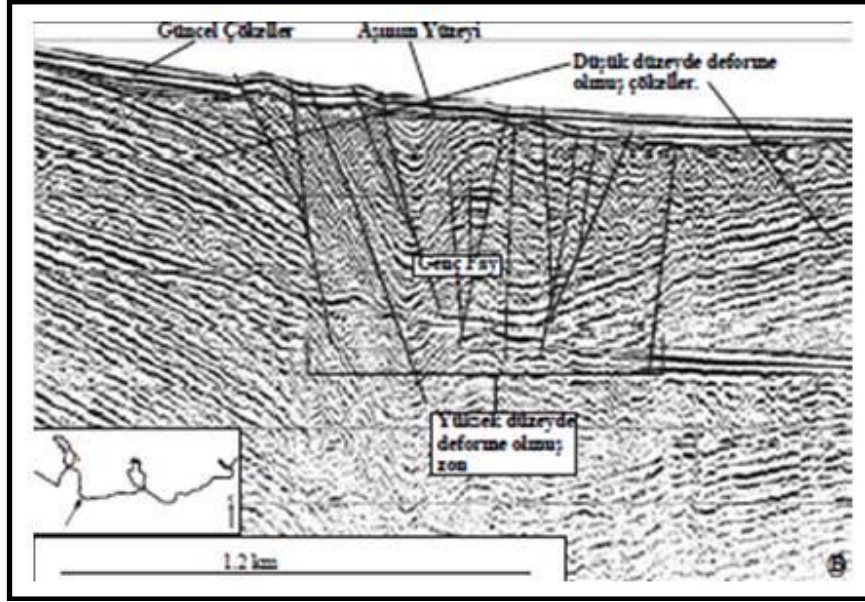
Karadaki aktif fayların doğrudan belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri, aktivitesi araştırılan faya ait mikro deprem etkinlikleri verileridir. İnceleme alanında B.Ü. Kandilli Deprem Merkezi verileri, Büyükçekmece ve Küçükçekmece civarında yoğun bir sismolojik aktivite verisi göstermektedir (Şekil 11). Fakat bu alanlarda delme patlatma yöntemi ile işletilen çok sayıda taş ocakları bulunmaktadır. Dolayısıyla bu alandaki sismik aktivitenin taş ocağı işletmesi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, Taymaz vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, bu alanda odak derinliği 5-15 km arasında olan depremlerin varlığı bölgedeki mikrosismik aktivitenin bir bölümünün tektonik kökenli olabileceğine işaret etmektedir. Tektonik kökenli deprem episantırları

yaklaşık KB-GD çizgiselliklerin üzerinde bulunmaktadır. Bu veri de inceleme alanında genç fayların olabileceğini, dolayısıyla bölgedeki heyelan olaylarında bu etkinin de değerlendirmeye alınmasının gerektiğini göstermektedir.



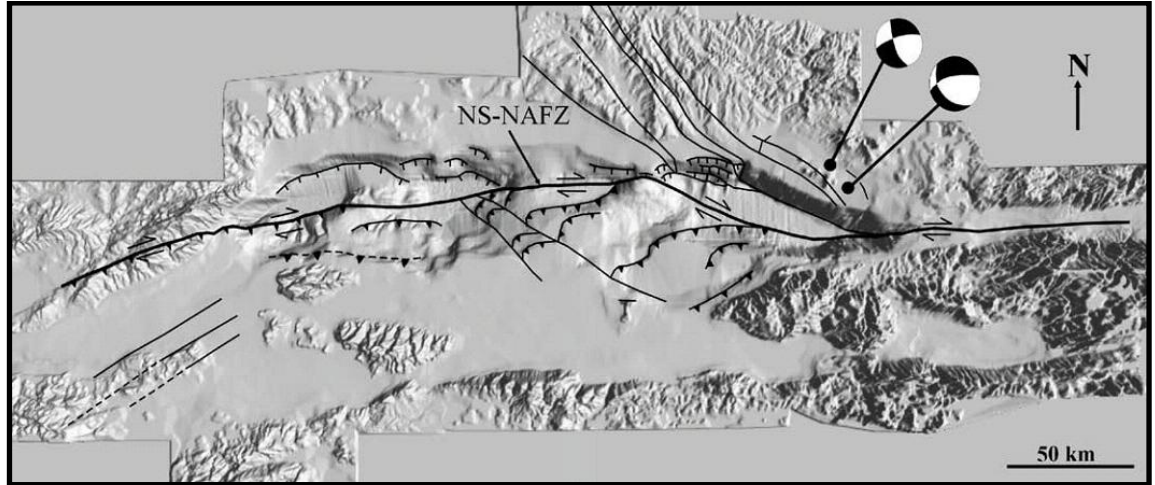
Şekil 8. Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki olası fayların konumları.

Figure 8. The locations of probable faults between Buyukcekmece and Kucukcekmece.



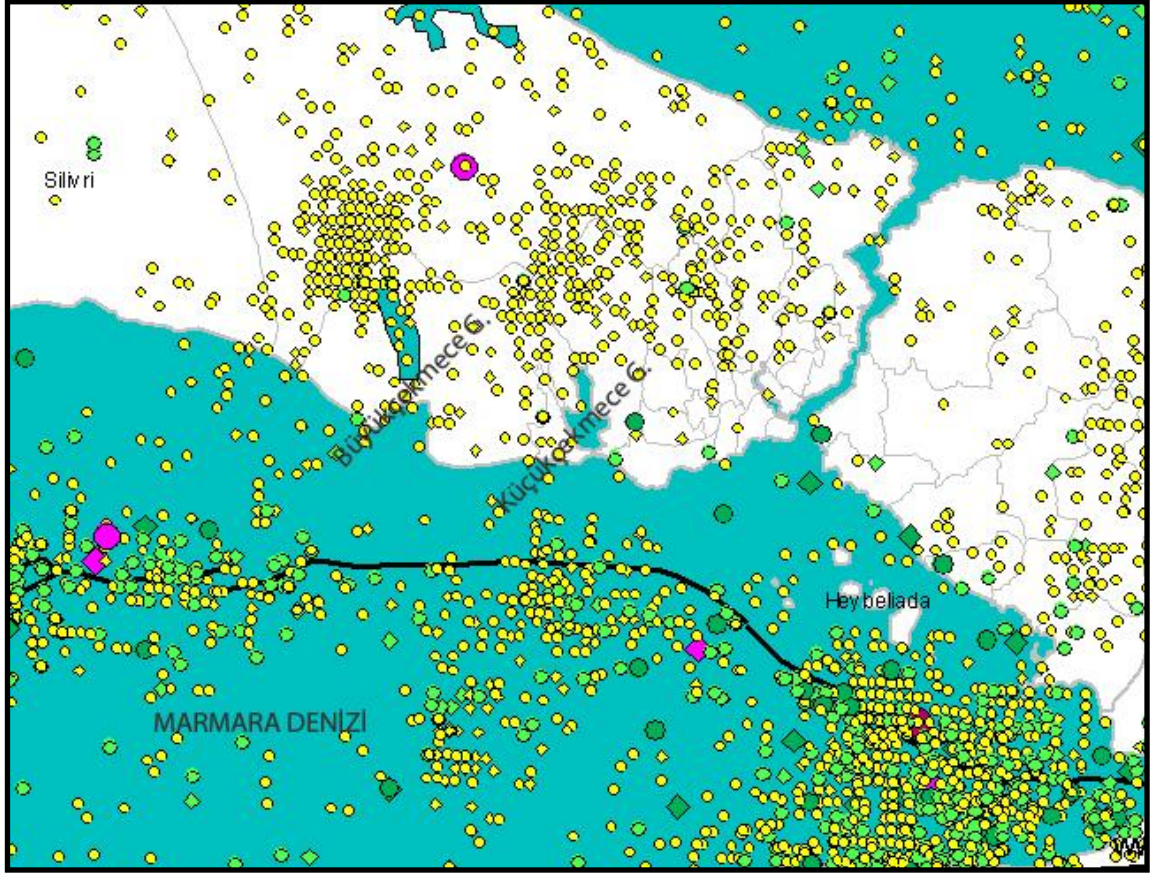
Şekil 9. Büyükçekmece şelfi üzerinden alınan örnek sismik kesit (Gökaşan vd., 2002;Gökaşan, 2003a).

Figure 9. The reference seismic section the from the Büyükçekmece shelf (Gökaşan et al., 2002; Gökaşan, 2003a).



Şekil 10. Marmara denizindeki aktif faylar (Gökaşan vd., 2003b).

Figure 10. Active faults in the Marmara Sea (Gökaşan et al., 2003b).



Şekil 11. Marmara denizi ve kuzeyi 1900 yılından 2010 yılına kadar 2’den büyük depremlerin episantırları (veriler B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi kayıtları kullanılarak Sayısal Grafik San. ve Tic. Ltd. Şti.’nden alınmıştır, Kuzey Anadolu fay modeli, Le Picon vd., 2001).

Figure 11. Epicenter of earthquakes with magnitudes over two between 1900 and 2010 in the Marmara Sea and is norther (B.U. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute data used by Sayısal Grafik San. ve Tic. Ltd. Şti., North Anatolian Fault model, Le Picon et al., 2001).

İnceleme alanında Kuzey Anadolu Fay Zonunun yükselimine bağlı olarak Marmara sahil boyunca yükseklikleri 20 metreye çıkan dik falezler bulunmaktadır. Bu falezler üzerinde üstünde seyrek olarak korunmuş Pleistosen deniz taraçaları yer almaktadır (Sakınç ve Yaltrak, 1997). İzotopoik yaş tayinlerine göre bu deniz taraçalarının yaşı 40 bin ile 260 bin sene arasında değişmektedir (Paluska vd., 1989). Pleistosen deniz taraçalarının bugünkü deniz seviyesinden 4 ile 40 m arasında yüksekliklerde bulunmaları, Marmara kuzey sahilinin aktif olarak yükseldiğini göstermektedir (Okay ve Okay, 2002).

İnceleme alanında, saha verileri, sondaj verileri, deniz içi sismik ölçümler, jeotermal gradyan ve mikro deprem verileri KB-GD doğrultulu fayların olabileceğini göstermektedir. Bu faylar topoğrafyada dik yamaçların oluşmasına, kayalarda ve zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısının düşmesine, yeraltı suyu dolaşımını kolaylaştırmasına imkan sağlayarak, Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki heyelanların oluşmasında hazırlayıcı faktör olarak değerlendirilmiştir. Benzer bir yorumlama modeli ise Ergintav vd., (2009) tarafından açıklanmıştır. Bu yazarlar, bölgedeki heyelanların jeokimyasal olarak aktif olabilecek faylara bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. İnceleme alanında Marmara denizine bakan yüzeylerdeki heyelanların gelişmesinde

ise Kuzey Anadolu Fay Zonunun bu alandaki yükselmeye neden olması ile dikleşen yamaçlarda gelişen heyelanlar olarak yorumlanmıştır.

Holosen Dönemindeki Deniz Seviyesindeki Alçalmalar

Marmara Denizi İstanbul Boğazı girişinde yer alan sismik profil ve karotlarda yapılan ayrıntılı stratigrafik ve kronolojik çalışmalar Son Buzul Maksimum döneminden günümüze deniz seviyesi değişimlerini ortaya çıkarmaya yardımcı olmuştur (Stanley and Blanpied, 1980;Smith et al., 1995 ; Eriş ve Çağatay, 2008). Bu dönem süresince Marmara Denizi'nde çökelen birimler -105 m su derinliğine kadar yüzeyleyen uyumsuz yüzey üzerinde çökelmiştir. Sismik profillerde ayırtılan en yaşlı çökel birim Holosen (Günümüzden 12 bin yıl öncesi) öncesinde Marmara Denizi'nde başlayan transgresyon sonucunda vadi dolgusu fasiyesinde gelişmiştir (Stanley and Blanpied, 1980;Smith et al., 1995 ; Eriş ve Çağatay, 2008). Daha sonraki dönemde deniz seviyesinin yükselmesi ile oluşan bu vadiler su ile boğulmuştur. Bu su ile boğulma sonucu önceleri Küçükçekmece, Büyükçekmece ve Haliç gelişmiş ve sonraki dönem de Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerinin denize yakın kesimleri haliç çökelleri ile doldurulmuş göl özelliği kazanmışlardır (Arpat, 1999).

Bölgedeki heyelanlar, Pleyistosen'de etkili olmaya başlayan buzul dönemlerinde vadilerin derine kazma aşamasındaki genişlemeler ve vadiler derinleştikçe dikleşen vadi yamaçları stabilitesini koruyamamış ve heyelanlar meydana gelmiştir (Arpat, 1999). İncelemede alanında litoloji, genç faylar, Kuzey Anadolu Fayına bağlı kuzey bloğun yükselmesi ve buzul dönemindeki vadilerin derine oyulması olayları birbirlerini tamamlar niteliktedir. Bir başka değişle genç fayların oluşturduğu zayıflık düzlemleri, boyunca gelişen akarsu sistemi buzul dönemindeki vadilerin derine oyulmasına yardımcı unsurlar olmuştur. Sonraki aşamada denizin yükselmesi ile dere yataklarının derine oyma işlemi tamamlanmış ve heyelanlar stabil hale gelmiştir. Bu heyelanların bir kısmı da Marmara denizinin içerisinde tespit edilmiştir (Yılmaz vd., 2010).

Yeraltısu

Heyelanların olduğu bölgede, Bakırköy formasyonu yarı geçimli, Çukurçeşme formasyonu geçirimli akifer özelliğindedir. Gürpınar formasyonuna ait fisürlü killer ve siltli kil düzeyleri yarı geçimli, geçirimsiz, çakıllı ve kumlu düzeyleri ise geçirimli özelliktedir. Gürpınar formasyonuna ait geçirimli özellikteki kum ve çakıl düzeyleri üst kotlarındaki Bakırköy ve Çukurçeşme formasyonundan, fay ve heyelan düzlemleri boyunca olan sızmalar sonucu beslenmektedir. Bu durumda, Gürpınar formasyonu içinde yer alan kum düzeyleri boyunca etkin olan yeraltı suyu hareketi, geçirimsiz nitelikli fisürlü kil seviyeleri üzerinde hidrostatik basınç oluşturmakta ve kontak zonu boyunca genel dengenin bozulmasına neden olmaktadır (Zarif, 1996). Ayrıca, Gürpınar formasyonu içerisindeki heyelanların, yamaçlarda ve yüksek eğimli yerlerdeki, aşırı konsolide olmuş fisürlü killi seviyelerin suyla kayma mukavemetlerinde zamanla meydana gelen azalmalar dolayısıyla meydana gelmiş olduğu Tezcan vd., (1977) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla heyelanlı alanlarda drenaj çalışmaları, heyelan stabilitesi açısından önemli olmaktadır (Dalğıç, 2000).

Heyelanları oluşturan bir diğer parametre kaynaklarıdır. Kaynakların debileri 0.5 lt/sn kadar ulaşmaktadır. Çoğu heyelanların ayna kısımlarında Çukurçeşme formasyonuna ait çakıllı kumlu kesimleri ile Gürpınar formasyonuna ait kil dokanağından çıkmaktadır. Bu kaynaklar kontrol altına alınmadığı durumda, heyelanlı alanlara doğru akararak güncel heyelan hareketlerini oluşturmaktadırlar.

Heyelanların Topuk Kısmının Aşındırılması

Akarsulara ve deniz kıyısına yakınlık, heyelan olaylarını arttırıcı bir faktördür. Akarsuyun ve deniz kıyısındaki dalgaların duraylılık üzerinde hem yamaç topuğunu erozyona uğratması, hem de yamacı oluşturan malzemenin akarsu veya deniz seviyesinde suya doyurması şeklinde iki olumsuz etkisi söz konusudur. İnceleme alanında önceden kaymış şu an duraylılık kazanmış heyelanların topuk kısımları Haramidere, Kavaklı dere ve Küçükçekmece ve Büyükçekmece gölleri ile güneyde Marmara denizi ile aşındırılmaktadır. Aşındırma olayında özellikle zeminin kil düzeyleri kumlu düzeylere göre daha kolay aşınmaktadır. Bu aşındırmalar sonucu ise bazı pasif heyelanların topuk kısımları aktivite kazanmakta ve akma olaylarına sebebiyet vermektedir. Bu hareketler ise geriye doğru ilerleyerek yeni hareketlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Tetikleyici Parametreler

Bu kısımda, çalışma alanındaki heyelanları tetikleyici unsurlar olarak depremsellik, yağış ve aşırı yükleme olayları incelenmiştir.

Depremsellik

Türkiye de kitle hareketi oluşturan, 38 deprem verisine göre en fazla görülen hareket türü 24 tane ile heyelanlardır. Oluş sayısına ikinci sırada 15 tane ile kaya düşmeleridir. Türkiye de $M_w=6.0$ magnitüdü depremlerde kütle hareketlerinin oluş sayılarında belirgin bir artış görülmektedir. Deprem şiddeti bakımından ise VIII ve IX şiddetindeki depremler en fazla kütle hareketlerine neden olmuştur (Yüksel ve Dalgıç, 1995). Bu değer, Keefer, (1984) çalışmasına göre deprem kitle hareketi etkinliği 4 büyüklüğünden sonra oluşmaktadır. Bruce vd., 2004 çalışmasına göre ise heyelan oluşturan minimum deprem büyüklüğü $M=4.3\pm 0.4$. değerindedir.

İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay zonuna yaklaşık 10 km uzaklıkta ve 1. Derece deprem bölgesi sınırları içerisinde kalmaktadır. İnceleme alanında heyelan oluşturan üç deprem verisi bulunmaktadır. Heyelan oluşturan ilk deprem verisi 14 Aralık 557 depremi ile ilişkilidir. Bu depremde Küçükçekmece Gölü'nün batı kesiminde büyük yapısal hasarlar olduğu bilinmektedir. Bu yöreler şu anda, Avcıların doğusu ve Firuzköy'ün doğusunu kaplayan geniş bir saha tariflenmektedir (Ambraseys, 2002).

Heyelan oluşturan ikinci deprem verisi 9 şiddetinde 10 Temmuz 1894 depremidir. Bu depremde Avcılar İlçesinin Ambarlı Köyünden doğuya doğru, sahile paralel olarak yaklaşık 3 km. uzunluğunda ve 8 cm. genişliğinde bir yarığın gerçekleştiği ifade edilir. Bu depremde yaşanan olay, depremin tetiklediği bir heyelan olayıdır (Özti, 1994).

Heyelan oluşturan üçüncü veri ise 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremidir. Bu deprem İzmit yakınlarında meydana gelmiş ve magnitüd değeri $M_w=7.4$ olarak saptanmıştır. Bu deprem çalışma alanında zemin büyütmesine neden olarak can ve mal kayıplarına yol açmış ve deprem sonrasında bölgede, içme suyu olarak kullanılan bazı kaynak suları kurumuş, bazı yer yerlerde yeni kaynaklar oluşmuş ve depremle birlikte oluşan yeni gerilme çatlak boylarının 2-25 cm arasında olduğu ölçülmüştür. Zemin büyütmesine heyelanları hazırlayıcı parametrelerde bahis edilen karadaki genç fay verileri, bu alanının havza sınırlarına yakın bir alanda olması, bu alandaki Gürpınar formasyonun özellikle Haramidere dolayında 700 metreden kalın olması ve Çukurçeşme formasyonun çakıllı kum düzeylerinin suya doygun olması gibi parametreler etkili olmuştur (Dalgıç, 2004). Zemin büyütmesi olayı ise heyelan olaylarının niçin bu bölgede yoğun olarak geliştiğini gösteren diğer bir parametre olmuştur.

Bu veriler geçmişte ve gelecekte inceleme alanının Kuzey Anadolu Fay zonunun ürettiği depremlerden ve depremler sonucunda heyelanlarından etkilendiğini göstermektedir. Ancak, bölgede güvenlik katsayısı 1'e yakın heyelanlı alanlarda 17 Ağustos 1999 depreminde çok önemli bir stabilite sorunu gözlenmemiştir (Önalp ve Arel, 2004). Bu olayda, deprem episantrının inceleme alanından 100 km uzaklıkta olması ile ivme değerinin düşmesi ve deprem zamanı yaz sonundaki kurak dönemine geldiği için zeminde boşluk suyu basınçları oluşmaması ile açıklanabilir. Bu durum inceleme alanında depremle birlikte tetikleyici parametre olarak yağış parametresinin de etkili olduğunu göstermektedir.

Yağışlar

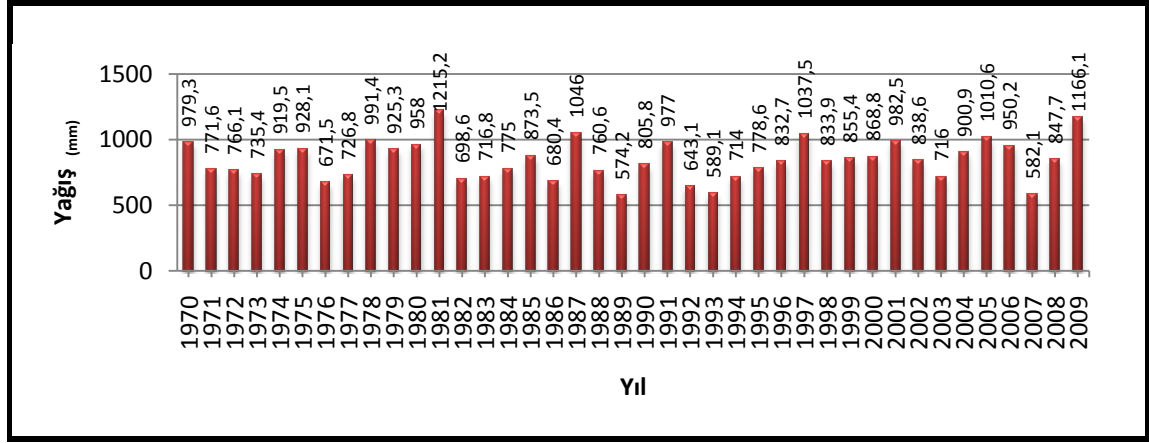
Yağışlar heyelanları tetikleyen önemli unsurlardan birisidir. İstanbul'un iklimi, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren ılıman iklime sahiptir. İstanbul'un yazları sıcak ve nemli; kışları soğuk, yağışlı ve bazen karlıdır. İnceleme alanı için en yakın istasyon Florya meteoroloji istasyonudur. Bu istasyonun ölçtüğü uç değerlere göre; en düşük sıcaklık : -10,0 °C, en yüksek sıcaklık 38,5 °C, en çok yağış: 76,5 kg/m², yıllık toplam yağış ortalaması 618,0 kg/m² değerindedir (<http://istanbul.meteor.gov.tr/>). İnceleme alanı ve çevresinde Eylül ayının yağış ortalaması 35 kg/m²'dir. Ancak, 07 ve 08 Eylül 2009 tarihlerinde bölgeye düşen yağış miktarı 220 kg/m² olmuştur.

Bu durum, inceleme alanı ve yakın çevresinin aşırı yağış ve ani sel olaylarına maruz kaldığını göstermekte ve geçmişte de benzer şekilde aşırı yağışların olduğunu düşündürmektedir. İnceleme alanında bu türden yağışlarda Çukurçeşme formasyonunun kumlu çakıl düzeyleri ve Gürpınar formasyonuna ait kumlu kesimlerin ve fisürlü kil düzeyleri yağışlarla beslenerek boşluk suyu basıncı oluşmasına neden olup kayma direncinin kritik seviyelere inmesine neden olmaktadır. Bu olaylarda heyelanların oluşumunu tetikleyen ana unsurlardan birisidir. Nitekim inceleme alanında yoğun yağışlı dönemler içerisinde yaptığımız saha gözlemlerimize göre heyelanlar ve akma artmaktadır. Bu konu ile ilgili en güncel örnekler, 1995 yılı Kırac heyelanı, 2000 yılındaki İSKİ'nin Çakmaklı heyelanlı alandaki su borusunun patlaması, 2004 Ambarlı Balaban heyelanı, 2008 yılı Devebağirtan heyelanı ve 2010 yılındaki Çukurlar heyelanının bazı alanlarının aktivite kazanması hep kış veya bahar aylarına denk gelmiştir.

Genel olarak bölgede yıllık yağış miktarı ortalaması 850 mm üstünde olduğu durumda heyelan ve akma olaylarında bir artış gözlenmektedir. Ancak, yağış miktarının 2007 yılında 582.1 mm 'ye düşmesi ile bölgedeki heyelanlar stabil duruma geçmiş ve bu yılda yapılaşma oranı artmıştır (Şekil 12). Bölgedeki heyelanlar özellikle 2009 da yağış miktarların 1166.1 mm ulaşması sonucu güncel heyelanlar tekrar artmış ve 2007 yılı içindeki kurak dönem içinde yapılan yapıların bir kısmı oturulamaz hale gelmiş ve maliyeti yüksek olan fore kazıklarla stabilite sağlanmaya çalışılmıştır.

Aşırı Yüklemler

İstanbul şehri, Türkiye'nin kuruluşundan bu yana şehirleşme anlamında %300 kadar bir artış göstermiştir. İnceleme alanında villalar, 5-15 katlı yapılar yoğunlukta olmak üzere 20-30 katlı toplu konut alanları son yıllarda hızla artmaktadır. Bölgede heyelan açısından kritik eğim değerine (15-25°) sahip yamaçlarda inşa edilen binalar kaydırıcı kuvvetleri artırarak heyelanlara neden olmaktadır. Günümüzde aktivite kazanan heyelanların bir kısmı eski heyelanların taç kısımlarının yüklenmesi sonucu oluşmaktadır (Dalgıç vd., 2009). Bu türden örnekleri inceleme alanı içerisinde Kırac, Yakuplu, Avcılar Balaban, Fener ve Çukurlar heyelanında gözlemek mümkündür.



Şekil 12. İstanbul'da yağış dağılımı (1970-2009), (<http://istanbul.meteor.gov.tr/>).

Figure 12. The variance of rainfall in Istanbul (1970-2009), (<http://istanbul.meteor.gov.tr/>).

SONUÇLAR

Küçükçekmece gölü ile Büyükçekmece gölü arasında genç tektonizmanın izleri bulunmaktadır. Bölgede alınan deniz içi sismik veriler ve devamında kara morfolojisinde izlenen çizgisellikler, jeotermal enerji potansiyeli, mikro deprem etkinlikler, bu alanda KB-GD doğrultu atımlı genç fayların varlığını işaret etmektedir. Faylar, dolayısıyla oluşmuş zayıflık zonları parçalanmaya neden olmakta ve yamaç duraysızlıklarına karşın daha duyarlı alanlar oluşturmaktadır. Nitekim, inceleme alanında başlıca KB-GD doğrultulu yamaçlarda heyelan olaylarının gelişmesi bölgenin genç tektonik yapısı ile uyumludur. Heyelanları hazırlayıcı diğer unsurlar olarak, bölgenin derin yamaç oluşumuna olanak sağlayan Holosen dönemdeki buzullaşma ile vadilerin daha derine oyulmasıdır. Buzul dönemindeki bu vadiler, Büyükçekmece fayı, Haramidere fayı ve Küçükçekmece fayını takip etmiş olmalıdırlar. Bu süreç içerisinde inceleme alanındaki heyelanların buzul dönemi ilgili yaklaşık yaşının günümüzden 12 bin ile 9 bin yıl olabileceği tahmin edilmektedir. İnceleme alanındaki diğer heyelanları hazırlayıcı parametreler litoloji, yeraltı suyu koşulları ve heyelanların topuk kısmının aşındırılması olmuştur.

Küçükçekmece-Büyükçekmece arasında heyelanları tetikleyici parametreler depremler, yağış ve insan aktiviteleri içerisinde özellikle heyelanların taç kısmına yapılan aşırı yüklemelerdir. Gelecekte olması beklenen İstanbul depremi de, geçmişte olduğu gibi gelecekte de heyelan oluşturacak depremlerde, zeminin kayma direncinde depremin getirdiği zorlamalar ile oluşacak aşırı ötelenmeler, boşluk suyu basınçları ve zemin büyütmesinden kaynaklanacak nedenlerden dolayı etkilenme riski bulunmaktadır. Bu nedenle yapılacak yeni yapılarda mutlaka deprem heyelan ilişkisinin değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Ayrıca, heyelanları tetikleyici en önemli parametrelerden birisi yağışlardır. İnceleme alanı ve çevresinde 07 ve 08 Eylül 2009 tarihlerinde 220 kg/m^2 yağış yağmıştır. Bu durum, inceleme alanı ve yakın çevresinin aşırı yağış ve ani sel olaylarına maruz kaldığını göstermektedir. Diğer bir parametre ise heyelanlı alanlarda yapılan yüksek katlı yapılar ile oluşan aşırı yüklemelerdir. Bu yüklemeler özellikle heyelanların taç kısmına yapıldığı durumda kaydırıcı kuvvetler artmakta ve heyelan diğer koşulların uygun olması ile harekete geçerek binalarda düşeyden sapsmalara neden olarak kullanılmaz hale gelmektedir. Bu duruma örnek olarak günümüzde eski heyelanların aktivite gösterdiği Avcılar Balaban, Yakuplu, Fener (Onbeş evler), Çukurlar ve Pekmez heyelanları gösterilebilir.

İstanbul'un Beylikdüzü, Avcılar, Esenyurt ve Büyükçekmece Belediyesi sınırları içerisinde heyelanlı alanlarda yüksek katlı binalar yapılmaktadır. Bu alanlarda heyelanı önlemek için ana kayma düzlemi üzerinde yapılan fore kazık çalışmalarının, deprem, aşırı yağış ve aşırı yükleme durumlarında heyelanın harekete geçmesi durumunda etkisi bulunmayacaktır. Bu nedenle heyelan riski yüksek alanlarda ana kayma düzleminin belirlenmesi konusunda uzman jeoloji ve jeofizik mühendislerine görev verilmesi gerekmektedir. Diğer durumlarda bölgede heyelan olayından kaynaklanacak can ve mal kayıpları kaçınılmaz olacaktır. Şu ana kadar heyelanlardan kaynaklanan can kaybı yoktur. Ancak, mal kayıplarının yaklaşık 50 milyon dolar civarında olduğu tahmin edilmiştir. Gelecekte, heyelanlı alanlarda yüksek katlı yapılar tekniğine uygun yapılmaz ise can kayıplarının da olması ve mal kayıplarının da çok fazla artış göstermesi beklenmelidir.

KAYNAKLAR

AMBRASEYS, N., 2002. The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years, B Seismol. Soc. Am., 92, 1,1-18,

ARINÇ, C., 1955. Geology of Haliç-Küçükçekmece lake. İstanbul Technical University, Doctora thesis (In Turkish)

ARPAT, E., 1999. Büyükçekmece ile Küçükçekmece (İstanbul) heyelanlarının genel özellikleri ve yarattıkları başlıca sorunlar, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara,10-12 Mayıs, s.17-23.

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi (2010); <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st0.asp>

BRUCE D. M., DONALD L. T.,GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., 2004. Landslides, earthquakes, and erosion, Earth and Planetary Science Letters 229, 45–59.

DALGIÇ, S., 1988. İstanbul Batısının Yapı Malzemesi Ocaklarının Jeoteknik İncelemesi, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bil. Enstitüsü.

DALGIÇ, S., 2000. Gürpınar (İstanbul) heyelanlarını önlemede drenaj galerileri, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, C.13, S.1-2, ss 39-47.

DALGIÇ, S., 2003. İstanbul İli, Kırcaç Belediyesi, imar planı revizyonuna esas jeolojik-jeoteknik araştırma raporu, İ.Ü. Araştırma ve Yardım Vakfı.

DALGIÇ, S.,2004. Factors Affecting the Greater Damage in the Avcılar Area of Istanbul During the 17 August 1999 Izmit Earthquake, Bulletin of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Bull. Eng. Geol. Env. 63. 221 – 232.

DALGIÇ, S., 2005. İstanbul İli, Büyükçekmece İlçesi, Yerleşime Uygun Olmayan Alanların Jeolojik-Jeoteknik Değerlendirme Raporu, İ.Ü. Araştırma ve Yardım Vakfı.

DALGIÇ, S.,TURGUT, M., KUŞKU, İ., COŞKUN, Ç., COŞGUN, T.,2009. İstanbul'un Avrupa yakasındaki zemin ve kaya koşullarının bina temellerine etkisi, Uygulamalı Yerbilimleri, Kocaeli, Sayı:2, s.47-70.

DUMAN, T.Y., KECCER, M., ATEŞ, S., EMRE, O., GEDİK, İ., KARAKAYA, F., DURMAZ, S., OLGUN, S., ŞAHİN, H., GÖKMENOĞLU, O., 2004. İstanbul metropolü batısındaki

(Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yerbilim verileri, MTA, Özel yayın serisi 3, 249.

ERCAN, A., 1990. "Gürpınar Beldesi Yermühendislik Projesi", Yeraltı Aramacılık Billimsel Arastırma Kurulusu, cilt 1, 2, İstanbul.

ERGİNTAV, S., EDİGER, V., DEMİRBAĞ, E., CANKURTARANLAR, A., DİKBAŞ, A., İNAN, S., SAATÇILAR, R., BAŞ, M., 2009. Büyükçekmece-Küçükçekmece Arası Kıta Sahanlığının Araştırılması ve Karadaki Fay Sistemleri ve Heyelanlarla İlişkilendirilmesi, Aktif Tektonik Arastırma Grubu,13. Çalıştay, ATAG 13, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bildiri Özleri Kitabı, s.30

ERİŞ, K.K., ÇAĞATAY, N., 2008. Marmara Denizi'nde son buzul döneminden günümüze deniz seviyesi değişimleri, İTÜ dergisi/d mühendislik Cilt:7, Sayı:6, 13-23

GÖKAŞAN, E.,GAZİOĞLU, C.,ALPAR, B.,YÜCEL, ZY., ERSOY, Ş., GÜNDOĞDU, O.,YALTIRAK, C., TOK, B., 2002. Evidences of NW extension of the North Anatolian Fault Zone in the Marmara Sea; a new approach to the 17 August 1999 Marmara Sea earthquake. Geo-Marine Lett 21:183-199.

GÖKAŞAN, E., 2003a. İstanbul Boğazı Büyükçekmece arası şelf ve kara alanında genç faylara ait izlerin sığ sismik ve morfolojik veriler yardımıyla incelenmesi, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Kuvaterner Çalıştay IV, s.158-163.

GÖKAŞAN, E., USTAOMER, T., GAZİOĞLU, C., YUCEL, Z.Y., OZTURK, K., TUR, H., ECEVİTOĞLU, B., TOK, B., 2003b. Morpho-tectonic evolution of the Marmara Sea inferredfrommulti-beam bathymetric and seismic data. Geo-Mar. Lett. 23 (1),19–33.

GÖZÜBOL, A.M., 2009. İstanbul Avcılar dolayında jeotermal gradyan, Türkiye'nin jeotermal potansiyeli ve arama yöntemleri sempozyumu bildiri özleri kitabı.

KEEFER, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin 95, 406–421.

LE PICHON, X., ŞENGOR, A.M.C., DEMİRBAĞ, E., RANGIN, C., İMREN, C., ARMIJO, R., GÖRÜR, N., ÇAĞATAY, N., MERCIER DE LEPINAY, B., MEYER, B., SAATÇILAR, R., TOK, B., 2001. The active main Marmara fault, Earth Planet. Sci. Lett., 192, 595-616,

OKAY, N., OKAY, A.I., 2002. Tectonically induced Quaternary drainage diversion in northeastern Aegean, Journal of the Geological Society, London", 159, 393-400.

OKTAY, Y.F., ve EREN, R., 1999. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, Danışman: Tahir Öngür, Editör: Mustafa Alp Dağıstanlı, Atlas Dergisi yayını.

ÖNALP, A., AREL, E., 2004. Yamaç ve şevlerin mühendisliği, geoteknik bilgisi II, Birsen yayınevi, 414 s.

ÖZTİN, F., 1994. 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Arastırma Dairesi, 291 sayfa, Ankara.

PALUSKA, A., POETSCH, S., BARGU, S., 1989. Tectonics, paleoseismic activity and recent deformation mechanism in the Sapanca-Abant region (NW Turkey, North Anatolian Zone), In: J.,

Zschau, O., Ergünay (Eds.), Turkish-German Earthquake Research Project. Earth Research Institute, University of Kiel, West Germany, pp. 18-33. beneath the Sea of Marmara. Geophys. J. Int.153,133–145.

SAKINÇ, M., YALTIRAK, C., 1997. “Güney Trakya sahillerinin denizel pleystosen çökelleri ve paleocoğrafyası”, MTA Dergisi, 119, 43-62.

Sayısal Grafik San. ve Tic. Ltd. Şti. (2010); http://sayisagrafik.com.tr/deprem/tr_frames.htm

SMİTH, A.D., TAYMAZ, T., OKTAY, F., YÜCE, H., ALPAR, B., BAŞARAN H., JACKSON, J.A.,KARA, S., AND ŞİMŞEK, 1995. High-resolution seismic profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): Late Quaternary sedimentation and sea-level changes”, GSA Bulletin, 107, 923-936.

STANLEY, D.J., BLANPIED, C., 1980. Late Quaternary water exchange between the eastern Mediterranean and the Black Sea, 285, 537-541.

TAYMAZ, T., KASAHARA, J., HIRN, A., SATO, T., 2001, Investigations of micro-earthquake activity within the Sea of Marmara and surrounding regions by using ocean bottom seismometers (OBS) and land seismographs: initial results. In: Taymaz T (ed) Symposia on seismotectonics of the north-western Anatolia-Aegean and recent Turkish earthquakes, pp 42-51.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (2010); <http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx>

TEZCAN, S., DURGUNOĞLU, T., vd., 1977. İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü”, Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü, Dahili rapor no: 77-14T. 119s.

YALÇINLAR, İ., 1976. Türkiye jeolojisine giriş, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Enstitüsü yayını.

YILMAZ, Y., GÖKAŞAN, E., ERBAY, A.Y., 2010. Morphotectonic development of the Marmara Region, Tectonophysics , Volume 488, Issues 1-4, pp.51-70

YÜKSEL, F. A. VE DALGIÇ, S., 1995. “Heyelan tehlikeleri: Arazi kullanımı planlaması için bir rehber ön çalışması.”, II. Ulusal Heyelan Sempozyumu, 25-26 Ekim 1995, Sapanca, Bildiri makaleleri kitabı sayfa 59-70.

YÜZER, E., ERİŞ,İ.,BAKIR, A.,AYDOĞAN, S., 2007. İstanbul’un heyelanları, İstanbul’un jeolojisi sempozyumu III, Bildiriler Kitabı.181-203.

ZARİF, H.İ., 1996. Küçükçekmece-Büyükçekmece gölleri arasındaki alanın yamaç stabilitesi, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora tezi, 141 s.