

**SIVILAŞMA VE ŞEV STABİLİTESİ HASSASLIĞI VE POTANSİYELİ  
HARİTALARI: İSTANBUL ÖRNEĞİ**  
**LIQUEFACTION AND SLOPE FAILURE SUSCEPTIBILITY AND OPPORTUNITY MAPS:  
ISTANBUL CASE**

**Bilge SİYAHİ<sup>1</sup>, Mustafa ERDİK<sup>2</sup>, Karın ŞEŞETİYAN<sup>3</sup>, Mine B. DEMİRCİOĞLU<sup>3</sup>, Hakan AKMAN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doç.Dr., Boğaziçi Üni., Kandilli Rasat. ve Deprem Araş.Enst., Deprem Müh. Böl., İstanbul.

<sup>2</sup>Prof.Dr., Boğaziçi Üni., Kandilli Rasat. ve Deprem Araş.Enst., Deprem Müh. Böl., İstanbul.

<sup>3</sup>Araş.Gör., Boğaziçi Üni., Kandilli Rasat. ve Deprem Araş.Enst., Deprem Müh. Böl., İstanbul.

**ÖZ**

Çalışmada İstanbul ve çevresi için sıvılaşma hassaslığı (susceptibility) olan bölgeler belirlenmiş, gene bu bölgede olabilecek senaryo deprem büyüklüğüne göre sıvılaşma imkanı (opportunity) çeşitli dönüşüm süreleri için belirlenmiştir. Belli bir alanda yer göçmeleri olabilirliği sıvılaşma hassaslığına sahip bölgenin depremselliğinin ve yer göçmeleri üretecek deprem hareketinin meydana gelme oranının bir fonksiyonudur. Bu yüzden hassaslık ve imkan haritaları birlikte değerlendirilerek sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturulmuştur. Şev stabilitesi içinde öncelikle daha önce şev kaymalarının meydana geldiği bölgeler belirlenmiştir. Heyelan hassaslığı olan bölgelerdeki mevcut formasyonların geoteknik özellikleri değerlendirilerek olası depremde harekete geçebilecek kritik ivmeler hesaplanmış ve haritalanmıştır. Bu kritik ivmeler senaryo depremi için üretilen pik yer ivmeleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sıvılaşma hassaslığı, sıvılaşma potansiyeli, şev stabilitesi, kritik ivme.

**ABSTRACT**

In this study, regions likely to liquefy and regions in which liquefaction opportunity with respect to probable earthquake properties and different return periods have been determined and mapped in Istanbul and surroundings. Opportunity for ground failure in a given area is a function of the seismicity of the area and the rate of occurrences of earthquake ground motion of sufficient intensity to produce ground failure in susceptible media. Therefore liquefaction potential maps have been developed by evaluating together liquefaction susceptibility and opportunity maps. For slope stability studies, regions occurred landsliding have been reached. Critical accelerations can be triggered during probable earthquake have been calculated by taking into account geotechnical properties available geologic formations placed in these regions. These critical accelerations have been compared with peak ground accelerations obtained from scenario earthquake.

**Keywords:** Liquefaction susceptibility, liquefaction potential, landslide opportunity, critical acceleration.

## GİRİŞ

Sıvılaşma ve şev kaymalarının neden olduğu zemin göçmelerinin deprem sırasında ve sonrasında oluşan hasar açısından etkilerini yaşanan depremler bize göstermiştir. Geoteknik tehlikeler olarak bilinen sıvılaşma, şev kaymaları (heyelanlar) ve zemin büyütmelerini deprem bölgelerinde tanımlamak ve hesaba katmak gerekir. Genellikle bu tür tehlikeler gelişigüzel meydana gelmezler çoğunlukla belli jeolojik birimler potansiyel tehlike olarak tanımlanır ve belli sarsıntı şiddetleri ise bu mekanizmayı tetikleyici rol oynarlar. Dolayısıyla hem sıvılaşma hem de şev kaymaları açısından hassaslığı olan zeminlerin ve daha önce vuku bulan zemin göçmelerinin bulunduğu bölgeler önem taşımaktadır. 8

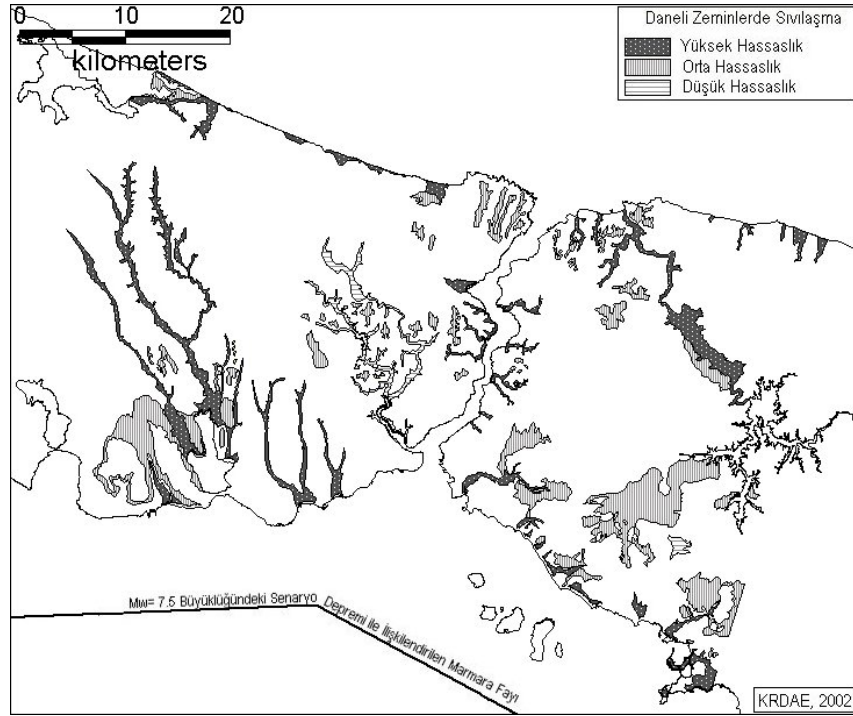
## İSTANBUL VE ÇEVRESİ

İstanbul önemli topoğrafik yapılarla karakterize edilir. İstanbul'u ikiye ayıran Avrupa ve Asya kıtalarını ikiye ayıran nehir görünümündeki Boğaz, boğazın Avrupa tarafında doğal bir liman olan Haliç, Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri veya lagunalar, Boğaz'a, Haliç'e ve aynı zamanda Marmara denizine doğru büyüklü ve küçüklü drenaj havzalarının yer aldığı çok yüksek olmayan inişli çıkışlı tepeler yer almaktadır. İki ana nehir Haliç'e doğru akar. Haliç'in batısında Marmara denizi kıyısı boyunca genellikle kıyıya dik kuzeyden güneye doğru yer alan sığ vadili plato vardır. İstanbul'un Avrupa tarafı kıyısı boyunca oldukça dik yamaçlar vardır. Asya tarafında ise daha geniş yelpazede topoğrafik profillere rastlamak mümkündür. Boğaz'ın doğusunda arazi birden tepelik ve dağlık görüntü alır. Marmara denizinin doğu kıyıları daha az diktir ve keskin dar vadilerle kesilir. Bu alanlarda ortalama % 20 eğim vardır

### İstanbul'un Jeolojisi

İstanbul ve çevresinde genellikle Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır. Bu formasyonların üst kesimleri, Karbonifer yaşlı ve Trakya formasyonu olarak adlandırılan kumtaşı (grovak), silttaşı ve kil taşlarından oluşmakta, bu kırıntılı sedimentleri andezit ve diyabaz daykları kesmektedir. Boğazın doğu taraftaki daha eski aşınmış vadilerde ise tersiyer yaşta çakıl, kum ve siltlerden oluşan marn ve düz yerleşmiş kireçtaşları yer alır. Boğazın batı tarafında ise Tersiyer kireçtaşları ve çakıllar (Sarıyer, Karaburun-Çukurçeşme, Ceylan formasyonları) vardır. Küçükçekmece, Haliç, Marmara denizi kıyılarında yüksek olan yerler Devoniyen şistler, mikalı kumtaşı ve grovaklar içerir. Bu kayalar jeolojik anlamda uyumsuz olarak güneye doğru eğimlenen Eosen karstik kireçtaşları ve marnlar ile kaplanır. Neojen yaşlı çökeller Eosen yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelişen karasal-gölsel oluşumları meydana getirmişlerdir. Bunlar alttan üstte doğru aşırı konsolide kil (Gürpınar formasyonu), çakıllı siltli kum (Çukurçeşme formasyonu), bataklı ortam ürünü organik kil (Güngören formasyonu), marn-kireçtaşları (Bakırköy formasyonu) ve çakıllı kumlu killer (Samandıra formasyonu) olarak sayılabilir. İstanbul'da özellikle Gürpınar ve Güngören formasyonlarının yaygın olarak yüzeylendiği kesimlerdeki yamaçlar ve şevler potansiyel heyelan alanlarını oluşturmaktadır (Yıldırım,1999). Kuaterner Kuşdili formasyonu (deniz kuaterneri) aşırı konsolide kil, kum ve çamur içerir. Bu deposit Küçükçekmece gölünden başlar Haliç'e doğru devam eder. Bu depositler ve doğal dolgular gevşek ve çok gevşek, siltli kabuklu kum ve koyu gri kil ve çamurdan oluşur. Nehir çökelleri olarak oluşan alüvyonlar çakıl, kum ve kil içerirler. Alibeyköy ve Kağıthane nehirleri çok miktarda erozyon nedeniyle aşınan zeminleri Haliç'e taşımaktadır. Alüvyon zeminlere daha çok dere vadilerinde rastlanır. Asya tarafının güney kısmının büyük bir bölümünde yapay dolgular yer almaktadır. Bu yapay dolgular silt, kil, kaya karışımlarından oluşmaktadır (Şekil 1).





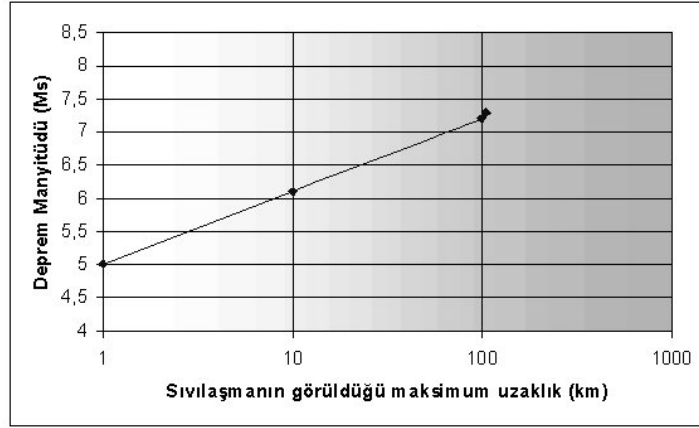
Şekil 2. İstanbul ve çevresinde sıvılaşma hassaslığı olan çökel zeminler

### Sıvılaşma İmkkanı

Sıvılaşma imkanı ya da daha genel zemin göçmeleri imkanı sismik tehlike hesaplarına benzer yöntemlerle yapılır. Bir bölgede sıvılaşma imkanı o bölgenin depremselliğinin ve sıvılaşmaya hassas zeminlerde sıvılaşmaya neden olabilecek depremlerin tekrarlanma oranının bir fonksiyonudur. Belli bir süre içinde bu imkanın oluşması olasılık terimlerine uyarlanabilir. Bu tür haritaları üretmek için öncelikle deprem manyitüdü ve deprem kaynağının sıvılaşmanın olduğu en uzak mesafeye olan uzaklık ilişkisi olmak üzere deprem oluşma frekansı ve lokasyonlarının değerlendirilmesi gerekir. Youd ve Perkins (1978), geçmiş 57 depremi inceleyerek oluşturdukları deprem manyitüdü ve sıvılaşmaların görüldüğü en uzak mesafe (km) arasındaki ilişki Şekil 3’de verilmiştir. İstanbul şehri için tarihsel deprem kayıtları 2000 yıllık bir geçmişi kapsamaktadır. Bu kayıtlar incelendiğinde kentin 50 yılda bir orta şiddette ( $I_0=VII-VIII$ ), 300 yılda bir ise yüksek şiddette ( $I_0=VIII-IX$ ) bir depreme maruz kaldığı görülmektedir (Erdik ve diğ., 1985). Bu tarihi veriler ve aletsel deprem katalogları gözönüne alınarak Marmara denizinin içinden geçen ve İstanbul şehrini etkileyecek olan Marmara Fay Zonu için farklı dönüşüm sürelerine karşılık gelen deprem büyüklükleri Gutenberg-Richter ilişkisinden bulunmuştur. Gutenberg-Richter deprem büyüklüğü ve oluşum frekansı arasındaki ilişkiyi,

$$\log N=a-bM \quad (1)$$

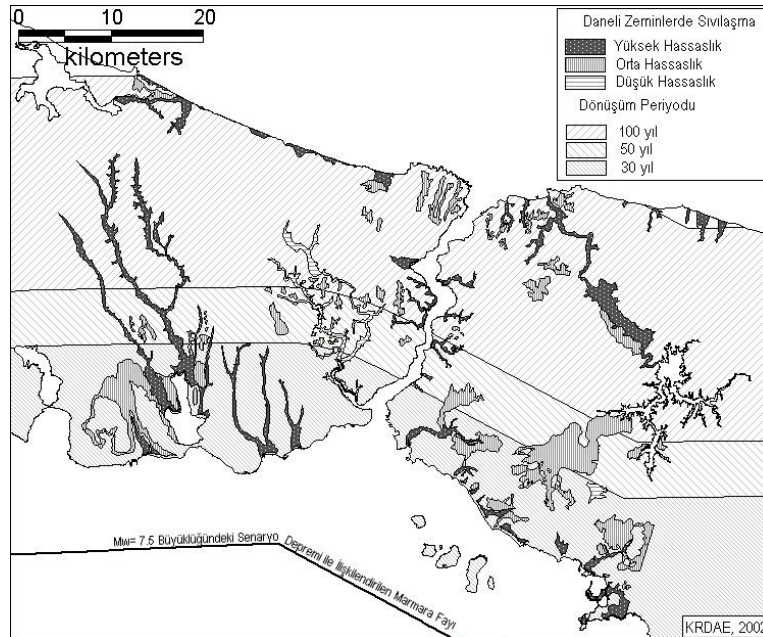
şeklinde vermişlerdir. Burada N; depremin oluşum frekansı, M;deprem manyitüdü, a ve b, bölgenin depremselliğini veren katsayılardır. Çalışmada İstanbul’u etkileyebilecek farklı dönüşüm sürelerindeki deprem büyüklükleri 30, 50 ve 100 yıl olarak göz önüne alınmış, bu dönüşüm sürelerine karşılık gelen deprem büyüklükleri yukarıda verilen ilişkide  $a=5.0$  ve  $b=1.0$  katsayıları kullanılarak bulunmuştur. Buna göre deprem büyüklükleri ve buna karşılık gelen sıvılaşmaların görüldüğü en uzak mesafeler Youd ve Perkins (1978) ilişkisi ile hesaplanmış ve Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sıvılaşmaların görüldüğü en uzak mesafeye karşı deprem manyitüdü (Youd&Perkins,1978)

### Sıvılaşma Potansiyeli

Sıvılaşma hassalığı ve bölgenin sıvılaşma imkanı haritaları oluşturulduktan sonra her ikisinin birleştirilmesi ile oluşturulan harita sıvılaşma potansiyeli haritasıdır. Bu haritalar yalnızca sıvılaşabilecek çökellerin nerelerde olduğunu göstermez aynı zamanda sıvılaşmaya neden olabilecek depremlerin ne kadar sıklıkta olacağını da belirtir. Bu harita bize sıvılaşmanın nerelerde yüksek potansiyelde olabileceğini gösterir. Örneğin, en koyu doku ile tanımlanan bölgede gösterilen en kısa dönüşüm süresine sahip deprem büyüklüğünün oluşturduğu bölgede bulunan yüksek sıvılaşma hassaslığına sahip zeminler sıvılaşma açısından en tehlikeli bölgelerdir (Şekil 4). Küçükçekmece gölüne akan nehir yataklarındaki çökeller ve Karadeniz kıyılarındaki kum zeminler aynı yüksek sıvılaşma hassaslığına sahip olmalarına rağmen, mevcut deprem kaynağına mesafeye ve deprem oluşum frekansına bağlı olarak değerlendirildiğinde sıvılaşma potansiyelleri farklı olmaktadır. Sıvılaşma mikro ölçekte içsel ve dışsal nedenlerin bir araya gelmesi ile meydana gelen bir süreç olduğundan, makro ölçekte de bu etkenleri yansıtan çözüm, sıvılaşma potansiyeli çalışmalarına karşılık gelmektedir.



Şekil 4. İstanbul ve çevresindeki formasyonların sıvılaşma potansiyeli

Tablo 1. Depremler Sırasında Sıvılaşabilecek Çökel Depositlerinin Tahmini Hassaslıkları, Youd ve Hoose (1977)

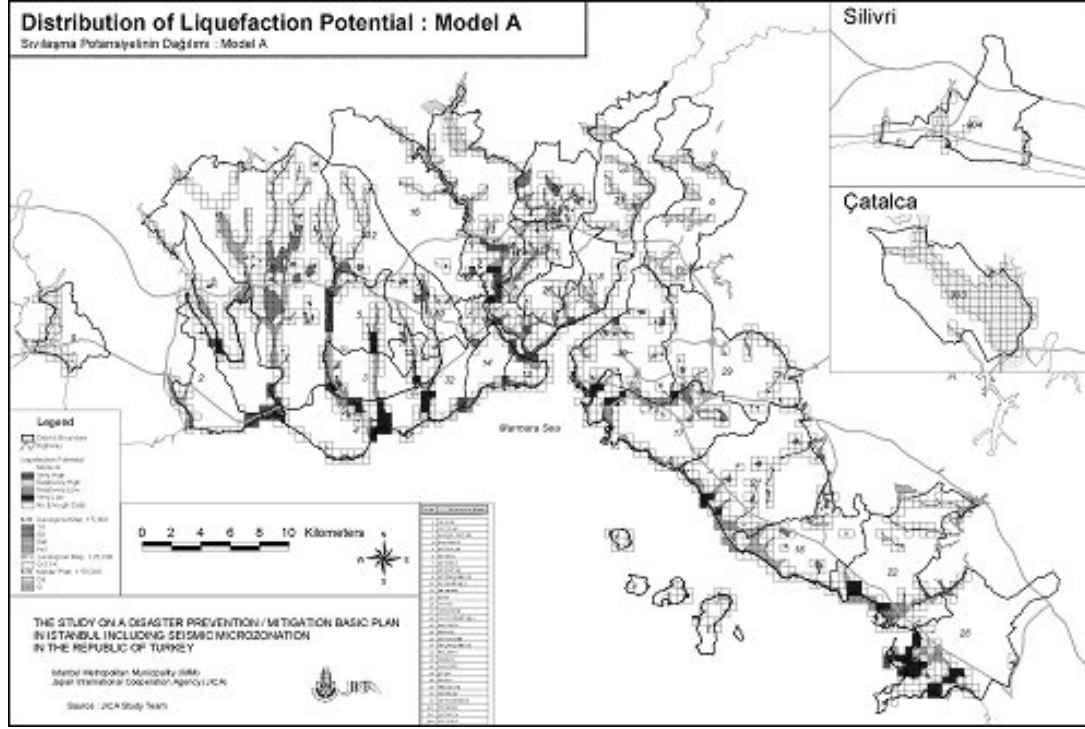
		Çökellerin hassaslıkları	doğun (depositin yaşı ile)	olduklarında	sıvılaşma
Zemin tipi	Zemin depositindeki kohezyonsuz çökelin genel dağılımı	< 500 yıl	Holosen	Playstosen	Playstosen öncesi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>(a) Kıtasal deposit</b>					
Nehir yatağı	Bölgesel değişken	Çok yüksek	Yüksek	Düşük	Çok düşük
Sel ovaları	Bölgesel değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Alüvyon ova ve yelpazesi	Yaygın	Orta	Düşük	Düşük	Çok düşük
Deniz taraçası ve ovası	Yaygın	-	Düşük		Çok düşük
Delta ve delta yelpazesi	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Gölsel Kolüvyon	Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Talus	Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Kum tepcikleri	Yaygın	Yüksek	Düşük	Düşük	Çok düşük
Lös	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Buzul etkisi	Değişken	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Bilinmiyor
Tüf	Değişken	Düşük	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
Tepra	Seyrek	Düşük	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
Yerinde oluşan zemin	Yaygın	Yüksek	Yüksek	?	?
Sebka	Seyrek	Düşük	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
	Bölgesel değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
<b>(b) Kıyasal bölge</b>					
Delta	Yaygın	Çok yüksek	Yüksek	Düşük	Çok düşük
Esturin	Bölgesel değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Kumsal	Yaygın	Orta	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
Yüksek dalga enerjisi					
Kumsal düşük dalga enerjisi	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
Gölsel Sahil	Bölgesel değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
	Bölgesel değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük
<b>(c) Suni</b>					
Sıkıştırılmamış dolgu	Değişken	Çok yüksek	-	-	-
Sıkıştırılmış dolgu	Değişken	Düşük	-	-	-

Tablo 2 30, 50, 100 ve 200 yılda bir olacak deprem büyüklükleri ve sıvılaşma oluşma mesafeleri

Deprem dönüşüm süresi (yıl)	Deprem manyitudü, M	Sıvılaşmaların görüldüğü en uzak mesafe, R (km)
30	6.5	22
50	6.7	28
100	7.1	51
200	7.3	85

Tablo 2’de verilen mesafeler deprem kaynağından, bu çalışmada senaryo depremi ile ilişkilendirilen Marmara fayından olan mesafelerdir. İstanbul deprem senaryosu için ele alınan fay İstanbul kıyılarına boydan boya paralel uzanan fay olarak alınmıştır. Sıvılaşma imkanı sıvılaşma hassaslığı ile birlikte değerlendirildiğinde mevcut formasyonların sıvılaşma potansiyeli bulunur.

İstanbul için sıvılaşma potansiyelini değerlendirme açısından İBB-JICA (2002) tarafından hazırlanan İstanbul'un Deprem Riskine yönelik çalışmadan söz etmek yerinde olur. Bu çalışmada İstanbul'da suni dolgular ve Kuaterner döneme ait zeminlerin bulunduğu yerler tespit edildikten sonra bu bölgelerdeki formasyonların tipik zemin profilleri ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Burada 500x500 m lik karelerde oluşturulan zemin modellerinde geoteknik bilgiler ve deprem bilgileri  $F_L$  (Japanese Design Specification of Highway Bridge, 1986) oluşturulmuş,  $P_L$  (Iwasaki, 1982) yöntemleri ile sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Elde edilen sıvılaşma potansiyeli haritası Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Sıvılaşma Potansiyeli Haritası (İBB-JICA, 2002)

### HEYELAN VE ŞEV KAYMALARI

Depremler çoğu zaman heyelanları başlatabilirler. Bu tür zemin göçmeleri; kaya ve zemin düşmelerinden moloz akmalarına ve yanal yayılmaya kadar genişleyen bir yelpazede yer alır. Heyelanların ve şev kaymalarının dağılımı ve nedenleri depremin büyüklüğünden, şevin dikliğine, şev malzemesinin mukavemet, suya doygunluk ve bitki durumuna göre değişmektedir. Genellikle zayıf çimentolanmış, aşınmış ve kırıklı kayalar, gevşek kumlar, çakıllar ve hassas killer deprem nedeniyle kaymaya hassas zeminlerdir. Daha önce depremler sırasında kayan şevler ve oluşan heyelanlar bir sonraki deprem sırasında kayabilecek potansiyel bölgeleri oluştururlar.

İstanbul'da tarihi depremler sırasında özellikle 1894 depreminde Sirkeci ve Eminönü'nde toprak kaymalarının görüldüğü rapor edilmiştir. Bundan önceki depremler sırasında rapor edilen hasarın nedenleri konusu (hasarın zemin hareketlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı) açık değildir. İstanbul'da özellikle topoğrafik yapıdan gelen zaman zaman deprem etkisi olmadan bile heyelanların yaşandığı bölgeler mevcuttur. Bu bölgeler İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Zemin ve Deprem Müdürlüğü tarafından düzenlenen raporlarda ve haritalarda belirlenmiştir.

### Heyelan Potansiyeli (Kritik ivmeler)

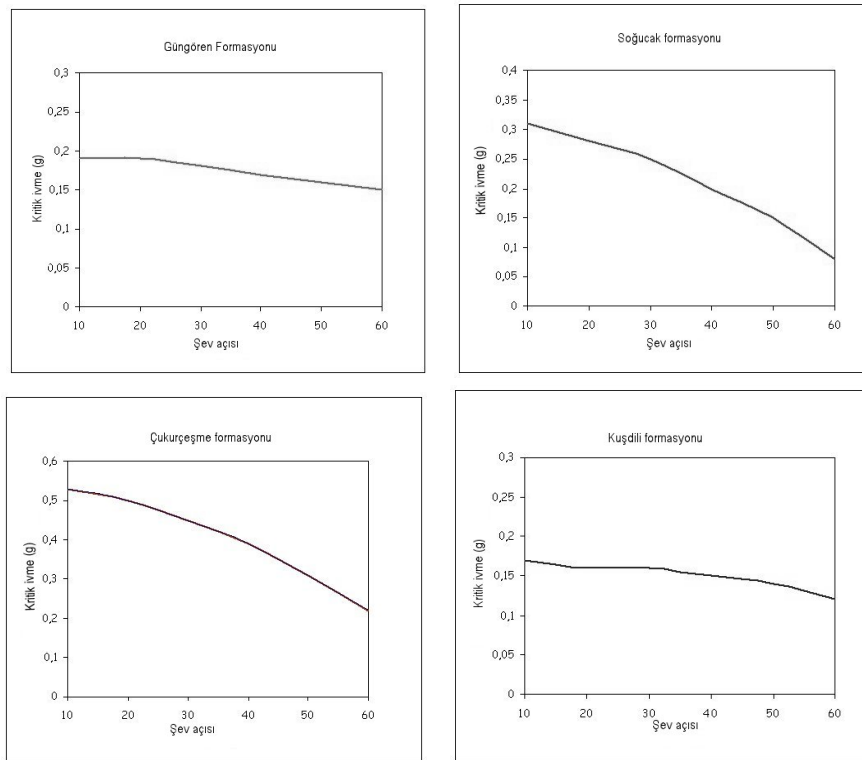
Heyelan potansiyeli zeminde oluşan deprem davranışının bir fonksiyonu olarak

değerlendirilir. Heyelana sebep olan ve direnç gösteren faktörlerin geniş bir yelpazede yer alması heyelan sürecinin de daha geniş aralıkta değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koyar. Bu nedenle heyelan potansiyeli haritalarını hazırlamak oldukça zordur. Bu konuda farklı yaklaşımlar ve yöntemler vardır. Bu çalışmada potansiyeli değerlendiren yöntemler arasında deprem sırasında zemin kütlelerini harekete geçirecek kritik ivmelerin hesaplayan Wilson vd. (1979) yöntemi kullanılmıştır. İstanbul'da bilindiği gibi Avrupa kısmının güney kıyılarında jeolojik ve sismotektonik açıdan kayan ve kaymaya eğilimli bölgeler bulunmaktadır. Bu kıyılarda yer alan jeolojik formasyonlar Bakırköy, Güngören, Gürpınar, Çukurçeşme, Kuşdili, Soğucak, Ceylan ve Haliç depositleridir.

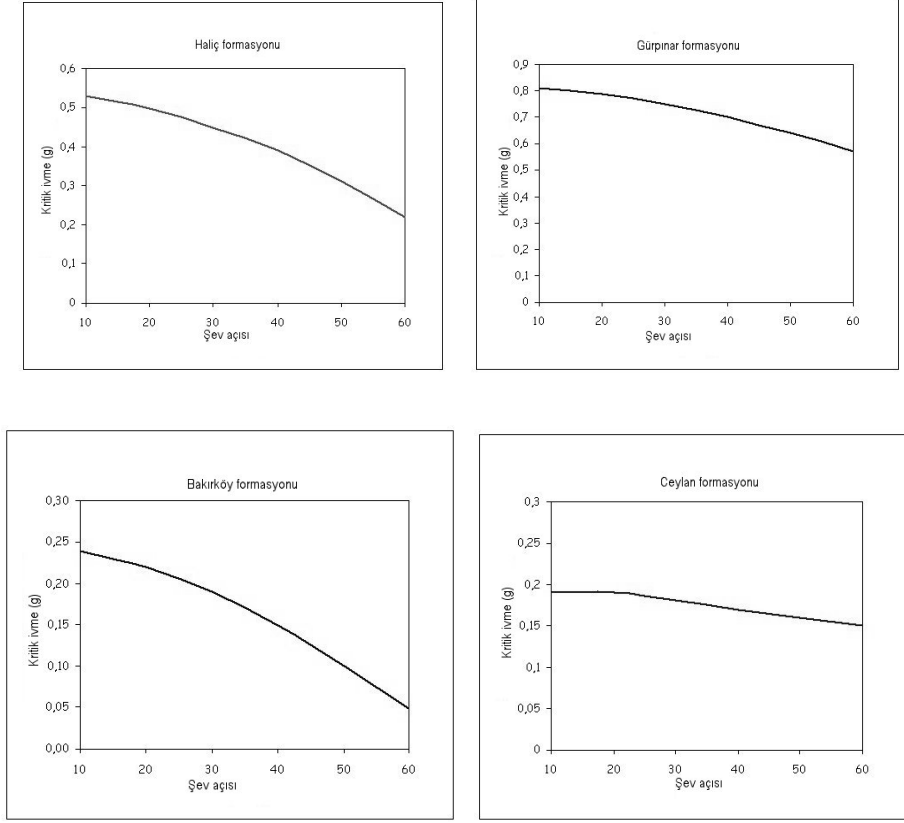
Wilson vd. (1979) yönteminde atalet kuvvetlerine bağlı olarak ince bir tabakanın kaydığı varsayılır. Şev hareketine geçirici ve kaymaya direnç gösteren kuvvetler arasındaki ilişkiyi kaymaya neden olan kritik ivme,

$$a_c = g \left[ \frac{c}{\gamma h} + (\cos\theta \cdot \tan\phi - \sin\theta) \right]$$

olarak hesaplanır. Burada,  $a_c$ , kaymayı başlatan kritik ivme,  $g$ , yerçekimi ivmesi,  $c$ , zeminin kohezyonu,  $\theta$ , şev açısı,  $\phi$ , zeminin kayma mukavemeti açısı,  $\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığıdır. Bu eşitlik ile belli bir şev açısı,  $c$  ve  $\phi$  parametreleri ve yatay ivme için, şev hasargörebilirliği tahmini yapılabilir. Bu çalışmada da kaymaların ve heyelanların çokça görüldüğü İstanbul'un Avrupa yakasının güney kıyılarında yer alan değişik formasyonlar için bu eşitlik ile verilen kritik ivmelerin şev açılarna bağlı değişimleri bulunmuştur. Şekil 5 ve 6'da verilen bu grafiklerde kritik ivmelerin bazılarının şev açılardan oldukça fazla etkilendiği görülmektedir. Grafiklerden de anlaşıldığı gibi değişik formasyonların artan şev açılarında hareketi başlatacak kritik ivme seviyeleri düşmektedir.

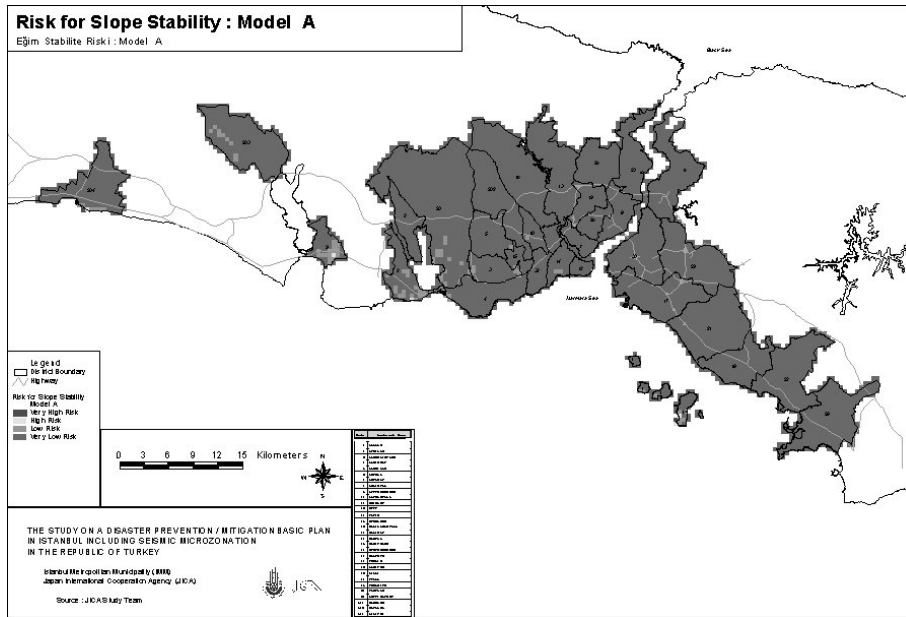


Şekil 5. Değişik formasyonlar için şev açısına karşılık kritik ivme değişimleri



Şekil 6. Değişik formasyonlar için şev açısına karşılık kritik ivme değişimleri

İBB-JICA (2002) çalışmasında İstanbul için heyelan potansiyeli de değerlendirilmiştir. Heyelan potansiyeli için zemin koşulları, topoğrafik koşullar ve deprem özelliklerinin birlikte değerlendirildiği Siyahi ve Ansal (1993) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle belli en büyük yer ivmesini aşan değerlerin olduğu, özellikle İstanbul'un Avrupa kıyılarındaki bölgeler 500x500m boyutlarında incelenmiş ve güvenlik sayılarına göre sınıflandırılmıştır. Her bir bölgede olası şev kaymalarının sayıları heyelan potansiyeli haritasına işlenmiştir. Şekil 6'da İBB-JICA (2002) çalışmasında verilen heyelan potansiyeli haritası görülmektedir.



Şekil 6. Heyelan Potansiyeli Haritası (İBB-JICA, 2002)

## SONUÇLAR

2002 yılında Erdik ve diğerleri (B.Ü.KRDAE, Deprem Mühendisliği ABD) tarafından yapılan bir çalışmada yukarıda verilen formasyonların bulunduğu bölgede,  $M_w=7.5$  büyüklüğünde bir deprem (senaryo depremi) sırasında oluşacak en büyük yer ivmeleri (deterministik) belirlenmiştir. Bu ivme değerleri farklı zemin sınıfları için bulunmuştur (NEHRP, 1997, Zemin Sınıfları). Bu çalışmaya göre D ve C sınıfı zeminlerin bu bölge içinde kalan en büyük yer ivmeleri şu şekilde değişmektedir.

C sınıfı zemin           PGA=0.20g-0.60g

D sınıfı zemin           PGA=0.30g-0.70g

Bu değerler yukarıda grafiklerde verilen kritik ivme değerleri ile karşılaştırıldığında bu büyüklükte bir deprem olduğu takdirde formasyonların şev kaymaları açısından oldukça tehlikeli bölgeler oldukları anlaşılmaktadır.

İstanbul için sıvılaşmaya hassaslığı haritası yerleşimlerin bulunduğu bölgeler hakkında bir ön fikir vermesi açısından önemlidir. Sıvılaşma potansiyeli haritası ise aynı sıvılaşma hassaslığına sahip değişik bölgelerdeki çökel zeminlerin farklı potansiyelde olduğunu ifade etmektedir. Erdik ve diğerlerinin (2002) yaptığı çalışma sonuçları, İBB-JICA (2002) ekibinin yaptığı çalışma ile büyük ölçüde paralellik göstermektedir. İstanbul gibi yoğun yerleşimlerin olduğu bir metropolde hem şev stabilitesi, hem de sıvılaşma açısından haritada tehlikeli olarak belirlenen bölgelerde daha detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Erdik, M., Doyuran, V., Akkaş, P., Gülkan, P. (1985). Assessment of the Earthquake Hazard in Turkey and Neighbouring Regions, *Tectonophysics* 117, 295-344.

*Erdik, M. ve diğerleri, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Bölümü, (2002). Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Areas, Amerikan Kızıllaç ve Türk Kızıllaç Derneği.*

JICA&IMM, (2002). *The Study on A Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey.*

NEHRP (1997). *Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures*, FEMA-303, Prepared by Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Yıldırım, M. (2000). İstanbul Bölgesi Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri, *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 9-23.

Youd, T.L., Hoose, S.N. (1977). Liquefaction Susceptibility and Geologic Setting, *Proc. 6th World Conf. On Earthquake Engng.*, New Delhi, 37-42.

Youd, T.L. Perkins, D.M. (1978). Mapping Liquefaction-Induced Ground Failure Potential, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, GT4, 433-446.

Wilson, R. Eieczorek, G., Harp, E. (1979). Development of Criteria for Regional Mapping of Seismic Slope Stability, *1979 Annual Meeting of the Geological Society of America.*