

İzmit Körfezi ve Çevresinde Bina Yoğunluk ve Sıvılaşma Yayılımının Mekânsal Analizi

Arzu Erener^{1,*}, Metin Aşçı², Gül Gülsoy³, Aydın Üstün⁴, Muhammed Ali Güvenaltın⁴,
Erman Şentürk¹, Sefa Yalvaç⁵, Fatma Canaslan Çomut⁶, T. Serkan Irmak²,
Haluk Konak¹, Pakize Küreç Nehbit¹, Efdal Kaya⁷, Burak Kotan¹, Selin Öye¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41000, Kocaeli.

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 41000, Kocaeli.

³Kocaeli Derince Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, 41900, Derince, Kocaeli.

⁴Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara.

⁵Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane.

⁶Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 20000, Denizli.

⁷İskenderun Teknik Üniversitesi, Harita ve Kadastro, İskenderun, 31200, Hatay.

Özet

2017 yılı Aralık ayından itibaren KOÜ Harita Mühendisliği Bölümü'nün yürütücülüğü ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin desteği ile "Çok Bandlı InSAR ve GNSS Tekniği ile Doğu Marmara (İzmit Körfezi) Düşey Yönlü Yer Değiştirmelerin İzlenmesi, Zemin Çökmeleri ile Bina Yoğunluğu ve Sıvılaşma İlişkisinin Araştırılması" başlıklı ve 117Y155 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında İzmit körfez bölgesinde risklerin tespiti için çalışmalara başlanmıştır. Bu bağlamda, proje kapsamında yapılan bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfez bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünlük olarak ele alınarak mekânsal dağılımları incelenmiştir. Zemindeki yüke ait bilgi çıkarımı için binaların 3. boyutu dikkate alınarak bina katlarının mekânsal dağılımları mekânsal otokorelasyon çalışmaları ile irdelenmiştir. Mekansal otokorelasyon analizlerinden Lokal Moran's I istatistikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca körfez ve çevresinde görülen sıvılaşma potansiyeli 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12m'den 33-35 m derinlikleri için oluşturulmuştur. Sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre, farklı derinlikler için, sıvılaşma değerleri kategorize edilerek sıvılaşma alanları ve riskli bölgeler tanımlanmıştır. Sonuç olarak sıvılaşma risk alanlarında bulunan bina tespitleri yapılmıştır. Çalışma; ileriye yönelik doğal afetlere karşı sürdürülebilir önlemlerin alınması, yapılaşma hızı ve yoğunluğu için önlem planlarının hazırlanması, Gölçük ve İzmit Körfez çevresinde bina ve zemin sıvılaşmalarının mevcut durumunun belirlenmesi, risk taşıyan alanlarda mühendislik tedbirlerinin alınarak yapı ve can güvenliğinin sağlanması ve afet değerlendirmelerinde altlık oluşturması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Sözcükler

İzmit Körfezi, Sıvılaşma, Bina Kat Yoğunluğu, Mekânsal Otokorelasyon

Spatial Analysis of Building Density and Liquefaction Spread in Izmit Bay and its Surroundings

Abstract

Since December 2017, with the support of Kocaeli Metropolitan Municipality and with the leadership of Kocaeli University Geomatic Department, TÜBİTAK project numbered 117Y155 and titled "Monitoring of Vertical Displacements in East Marmara (Izmit Bay) with Multi-Band InSAR and GNSS Techniques, Investigation of the Relationship Between Ground Collapse and Building Density and Liquefaction" studies have been initiated to determine the risks in the Izmit Bay area. In this context, the spatial distribution of the building density analyzes and the spatial distribution of liquefaction around the gulf region were handled and integrated in the GIS environment within the scope of the project. The spatial distributions of the building floors were examined by spatial autocorrelation studies, taking into account the 3rd dimension of the buildings for the extraction of information about the load on the ground. Among the spatial autocorrelation analysis, Local Moran's I statistics were taken into consideration comparatively. In addition, the liquefaction potential observed around the bay and its surroundings is evaluated for 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m from 33-35 m depths. Liquefaction areas and risky areas are defined by categorizing liquefaction values for different depths according to liquefaction potential thresholds. As a result, buildings in liquefaction risk areas were determined. The study is important in terms of taking sustainable precautions against future natural disasters, preparing precaution plans for the speed and density of construction, determining the current situation of building and ground liquefaction around Gölçük and Izmit Bay, taking engineering measures in risky areas and providing building and life safety and creating a basis for disaster assessments.

Keywords

Izmit Bay, Liquefaction, Building Floor Density, Spatial Autocorrelation

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (262) 3033253, Fax: +90 (262) 3031033

Gönderim Tarihi / Received : 09/06/2021

E-posta: arzu.ereener@kocaeli.edu.tr (Erener A), masci@kocaeli.edu.tr (Aşçı M),
ggulsoy@derince.bel.tr (Gülsoy G), aydinustun@hacettepe.edu.tr (Üstün A),
guvenaltinali@gmail.com (Güvenaltın M.A), erman.senturk@kocaeli.edu.tr (Şentürk E),
sefayalvac@gmail.com (Yalvaç S), Fatma.C.comut@afad.gov.tr (Canaslan Çomut F),
irmakts@kocaeli.edu.tr. (Irmak T.S), hkona@kocaeli.edu.tr (Konak H), pakize.kurec@kocaeli.edu.tr (Küreç Nehbit P),
efdal.kaya@iste.edu.tr (Kaya E), bkotan19@gmail.com (Kotan B), selinoeye@gmail.com (Öye S)

Kabul Tarihi / Accepted : 03/11/2021

1. Giriş

Gevşek, suya doygun durumdaki taneli zeminlerin taşıma kapasitelerini kaybederek, depremin oluşturduğu, deprem dalgalarının etkisiyle sıvı gibi davranış göstermesine zemin sıvılaşması denilmektedir. Sıvılaşma, ilk olarak 1964 yılında meydana gelen Alaska'daki 29 Nisan 1964' de (Mw=9.2) Good Friday ve 16 Haziran 1964' de Japonya'daki Niigata (Ms=7.5 Mw) depremiyle dikkat çekmiştir.

Bu iki depremde sıvılaşmadan dolayı yapılarda meydana gelen ani oturmalar, yanal yayılmalar, ötelenmeler, devrilmeler, taşıma gücü kayıpları oluşmuştur. Sıvılaşma ilk kez 1965'de Arthur Cassanroid tarafından bu depremlerden sonra ortaya konulmuştur. Bu depremlerden sonra geçen 50 yıl içinde çok sayıda araştırmacı tarafından sıvılaşma konusu incelenmiştir. *Seed ve Idriss (1971)* çalışmalarında 1964 yılındaki Alaska ve Niigata depreminden sonra Standart Penetrasyon Test (SPT) değerine bağlı basit bir ampirik yöntemle dayalı sıvılaşma direnci hesabı geliştirmiştir. *Iwasaki vd. (1982)* çalışmasında zemin sıvılaşması için basit kategori ve indeks geliştirmiştir. Potansiyel indeks PL yardımıyla sıvılaşma analizi değerlendirilmesi yapılmıştır. *Seed vd. (1985)* tarafından enerji oranları baz alınarak SPT ile sıvılaşma ilişkisi incelenmiştir. 1971 yılında yapılan çalışma revize edilerek, sıvılaşma ilişkisini gösteren eğri iyileştirilmiştir. *Ulusay vd. (2000)* son depremlerde Türkiye'de gözlemlenen sıvılaşma ve Ege Bölgesi sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. *Youd vd. (2001)*, *Seed ve Idriss (1971)* yılında SPT değerine bağlı basit sıvılaşma hesabını iyileştirmiş ve uygulamaya sunmuşlardır. *Sönmez (2003)* sıvılaşma potansiyeli olan alanların sıvılaşma duyarlılık haritalarının hazırlanması amacı ile Bursa'nın İnegöl İlçesinde sıvılaşma değerlendirmesi yaparak sıvılaşma indekslerine ait kategorilerin eksiklerinin giderilmesine yönelik araştırma yapmıştır. *Çetin vd. (2004)* çalışmalarında zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini incelemiş; mevcut yükler altında zeminlerin sıvılaşma potansiyelini araştırmışlardır. *Saygılı vd. (2007)* tarafından 1999 Kocaeli ve Tayvan Depremi verileri kullanılarak Genel Regresyon Sinir Ağları (GRNN) modeli ile çalışma alanlarında sıvılaşmanın olup olmadığının anlaşılması için model çalışması yapmışlardır. *Idriss ve Boulanger (2006, 2008)* çalışmalarında sıvılaşma potansiyelini güvenlik faktörüne göre değerlendirmişlerdir.

17 Ağustos 1999 depreminin sonucu, zemin sıvılaşma potansiyelinin binalarda ne kadar büyük ölçüde hasar meydana getirebileceğini göstermiştir (*Barka 1999; İÜ 1999; Demirtaş 1999; Demirtaş 2000; Efe 2000; Yüksel vd. 2000; ODTU 2000; Efe ve Demirci 2001; Aşçı vd. 2003; Bray vd. 2004; Erdik vd. 2004; Karakaş 2005; Anastasopoulos ve Gazetas 2007; Aşçı vd. 2007; Aydan vd. 2008; Ulusay vd. 2008; Demirtaş vd. 2008*). Yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu, sıkışmamış gevşek durumdaki kumlu-siltli zemin yapılarının, sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizi'nin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek ve hem de zemin koşulları yapılaşma için son derece elverişsizdir. Buna rağmen, 2000'li yıllardan itibaren yeni kurulan organize sanayi bölgeleri ile birlikte; bölgenin nüfus, yapılaşma ve kat yoğunluğunda hızlı bir artış yaşanmıştır. Dayanaksız ve sıvılaşma potansiyeli yüksek alüvyal sahalar üzerinde yapılaşmanın ve kat yoğunluğunun zamanla artması da, zemin deformasyon olasılığını güçlendiren unsurlardan biri olarak görülmektedir. Bu nedenle, aktif fay zonunda bulunan, sağlam olmayan alüvyal zemin üzerine kontrolsüz yapılaşmış bu gibi bölgelerin yüzey ve bina deformasyonlarının izlenmesi ve risk bölgelerinin tespiti, erken uyarı imkânlarının geliştirilebilmesi, can ve mal kaybının önlenmesi veya etkilerinin azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. *Bray vd. (2017)* tarafından 17 Ağustos 1999 depreminde binaların sıvılaşma ve zemin yumuşamasına bağlı olarak oturmuş, yanal ötelenmiş, dönmüş ve sonuç olarak yıkıldığı tespit edilmiştir. *Arel ve Önalp (2012)* Adapazarı 1999 Marmara depreminde sıvılaşmaya bağlı hasarın büyük olduğu Sakarya nehri tarafından yaklaşık 7000 yıldır taşınarak çökelen düşük plastisiteli veya plastik olmayan ince taneli zeminlerin, tıpkı kumlu zeminlerde olduğu gibi, yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur ve bu tür zeminlerin sıvılaşmaya bağlı oturmalara sebep olduğunu tespit etmiştir. *Erken vd. (2004)* tarafından depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları konusu çalışılmıştır. *Erken vd. (2004)* bu çalışmalarında, öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durmuşlardır. *Bray ve Dashti (2014)* tarafından sığ temelli binaların sıvılaşmadan kaynaklanan hareketlerini tahmin etmek için öneriler yapılmıştır. *Ishihara ve Yoshimine (1992)*, sığ temelli bir yapıyı destekleyen toprakların sıvılaşması, önemli bina yerleşimi ve hasarı oluşturabileceği için sıvılaşma sonrası, tek boyutlu (1D) konsolidasyon oturmasını tahmin etmek için ampirik prosedürleri incelemiştir.

Binalar yer deformasyonundan kaynaklı hareketlere duyarlıdır. Bu nedenle sıvılaşmadan kaynaklı zemin davranışının ve üzerinde bulunan yapı bloklarının mekânsal olarak haritalanması ve gözlemlenmesi bina riskinin önceden tahmini için gereklidir. Bu bağlamda TÜBİTAK tarafından desteklenen bu çalışma kapsamında, bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfüz bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünlük olarak ele alınıp mekânsal dağılımları incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Yeri

Türkiye, tektonik açıdan aktif bir bölgede yer almaktadır. Deprem riski yüksek bölgelerden biri olan İzmit Körfezinde en önemli tektonik yapıyı Kuzey Anadolu Fay Sistemi tanımlar.

İzmit Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu üzerinde yer almaktadır ve bu yapı bir seri basenlerden oluşmaktadır. İzmit Körfezi'ne boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmuştur. Doğu Marmara Körfezi kıyı bölgesi yüzey çökelti dağılımında, bölgenin kuzeyinde kıyıları dar bant halinde kum ve çakıllı kum ile kaplıdır.

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümünde meydana gelen Marmara depremi Yalova Değirmendere, Gölcük, Karamürsel, İzmit ve Adapazarı başta olmak üzere İstanbul, Bolu ve Düzce'de de etkili olmuştur. 7.5 Mw büyüklüğünde gerçekleşen Kocaeli/Gölcük merkezli deprem ile resmi raporlara göre, 17.118 kişi ölmüş, 50.000 kişi yaralanmıştır (USGS 2005).

17 Ağustos 1999 depremi delta alanında önemli çökmelere neden olmuştur. Ford Otosan yerleşkesinin güneyinden geçen Kavaklı fayı boyunca 2.35 metreye varan düşey atımlar meydana gelmiştir. Ayrıca Gölcük doğu sahilinde çökmeler oluşmuştur. Bu normal faylanmalar alansal bir çökme üretmiş ve Kavaklı sahili yer yer sular altında kalarak, kıyı çizgisinde geniş bir alanda değişimler olmuştur. Deprem öncesi ve sonrası batimetrik ölçümler kıyı yakınlarının 2-6 metre arasında çöktüğünü göstermektedir. Denize yakın alanlar ve kıyıya yakın yapılar su altında kalmıştır (İTÜ 1999; Barka 2001; Özer vd. 2005; URL1 2016; Aşçı vd. 2007; Gürsu 2008). Deprem sonucu konutlarda meydana gelen hasar ve yerleşim birimlerine göre hasar durumu AFAD tarafından hazırlanan raporda sunulmuştur (Özmen 2000). Depremi takiben İTÜ, Boğaziçi, Kocaeli Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, ODTÜ, Kandilli Rasathanesi ve TÜBİTAK ve AFAD'ın yaptıkları çalışmaya göre özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir (İÜ 1999; Efe ve Demirci 2001).

Bölgenin, İstanbul, Adapazarı, Gebze, Bursa gibi önemli sanayi merkezlerine yakınlığı, Gebze TEM Otoyolu ve E-5 Karayolu'nun geçtiği kara, deniz ve demiryolunun kesiştiği önemli bir kavşak alanında bulunması, kurulan organize sanayi bölgeleri ve yeni açılan sanayi alanları ile birlikte deprem sonrası nüfus hızla artmaya başlamıştır. Nüfus artışı yapılaşma ve bina yoğunluğuna da yansımıştır. Yapılaşma yoğunluğunun arttığı intersismik dönemde, alüvyal alanlardaki çökme hareketlerinin devam ettiği ve deprem anında sıvılaşma potansiyeli ile birleşerek yıkıcı sonuçlar doğurabildiği görülmüştür. Bu kapsamda sıvılaşma alanlarının mekânsal tespiti ve bina yoğunluk alanlarının sıvılaşma alanları ile entegre değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Şekil 1 İzmit körfezi, körfeze dökülen nehir ağlarını ve körfez çevresi yapı dağılımını göstermektedir. Çalışmada sıvılaşma çalışmalarının alansal dağılım gösterdiği bölgeler ele alınmıştır. Bu kapsamda daha çok körfezin kuzey doğu ve doğu uç bölgelerine odaklanılmıştır. Kocaeli iline ait il-ilçe sınırları haritası (.shp) ve polygon veri türünde bina verileri (.shp) analizler kapsamında ele alınmış olup, binalara ait veri tabanında 2012 yıllarında kayıtlarının yapıldığı tahmin edilen bina kat değerleri kullanılmıştır. Sıvılaşma analizi çalışmalarında, inceleme alanında yer alan 1287 farklı sondaj kuyusuna ait veriler elde edilmiş ve farklı derinlikler için incelemeler yapılmıştır. İnceleme derinliği 0-35 m arası seçilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı İzmit Körfezi, bina ve nehir ağı dağılımı

2.2. Uygulama

Bina yoğunluğu kentsel planlama ve arazi yönetimi için oldukça önemli bir kavram olup, bir alandaki bina konsantrasyonu (miktarı) olarak tanımlanmaktadır. İnşa edildiği arazi alanında kullanılan taban alanı miktarı ölçüsüdür. Geleneksel ölçüm ve teknikleri zaman alıcı ve pahalı olduğu için kentsel dağılım, bina yoğunluğu gibi bilimsel çalışmalar haritalama ve görüntüleme CBS ve uzaktan algılama alanına yönelmiştir (Yang ve Liu 2005; Haack ve Rafter 2006; Xiao 2006; Pan vd. 2008; Jat 2008).

Çalışma kapsamında bina verileri zemin üstü kat değerlerine ait mekânsal otokorelasyon (SA) analizleri değerlendirilerek verilerin mekânsal deseninin başka bir deyişle mekânsal dağılımının (kümelenme, rastlantısal, dağınık) analizi amaçlanmıştır. Coğrafyanın birinci yasasına göre "her şey diğer her şeyle ilişkilidir, ancak yakın şeyler uzak şeylerden daha ilişkilidir" (Tobler 1970). Birbirine yakın olan alanlar birbirine benziyorsa, SA'nın pozitif olduğu söylenebilir. Negatif SA, benzer olmayan komşu alanlar için geçerlidir ve rastgele desenler SA göstermez (Mitra 2009). SA teknikleri global ve lokal olmak üzere ikiye ayrılır.

Global SA tekniklerinde seçilen örneklemin dağılımına ait tek bir endeks değeri ve tek bir z- istatistik değeri hesaplanır. Moran I endeksi (Moran's I index) ve Geary'nin C oranı (Geary's C ratio) global SA tekniklerindedir. Lokal SA tekniklerinde veriler arasında benzer değişken değerlere sahip olan noktaların oluşturduğu kümelerin konumlarının tespit edilmesi amacıyla noktaların dağılımına ait genel bir değerlendirme yerine nokta verilerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi tercih edilir. Bu teknikte örnekleme seçilen her nokta için ayrı ayrı endeks değeri ve z-istatistik değerleri hesaplanır. Getis-Ord G* lokal istatistiği ve Anselin lokal Moran'ın I istatistiği (Getis ve Ord 1992; Moran 1948) lokal SA tekniklerindedir.

Bina nokta verilerine ait değişken değerlerinin (zemin üstündeki kat sayıları) incelenmesi hedeflendiği için bu çalışmada Anselin Lokal Moran'ın I İstatistiği (Cluster and Outlier Analizi) kullanılmıştır. Anselin lokal Moran'ın I istatistiği Formül 1 kullanılarak hesaplanır:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

Yukarıda ki formülde; n örneklemdaki nokta sayısı, $w_{i,j}$, i noktası ve j noktası arasındaki yakınlık ilişkisini veren mekânsal ağırlık değeri, x_i , i noktasındaki değişken değeri, \bar{x} , değişkene ait ortalama değeridir.

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (2)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

Bu denklemde; I_i , i noktası için hesaplanan Anselin lokal Moran'ın I istatistik değeri, $E(I_i)$, i noktası için beklenen Anselin lokal Moran'ın I istatistik değeri, $V(I_i)$, i noktası için Anselin lokal Moran'ın I istatistiği varyans değeridir.

Anselin lokal Moran'ın I istatistiği z-istatistik değeri tüm noktalar için:

$$z_{ii} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

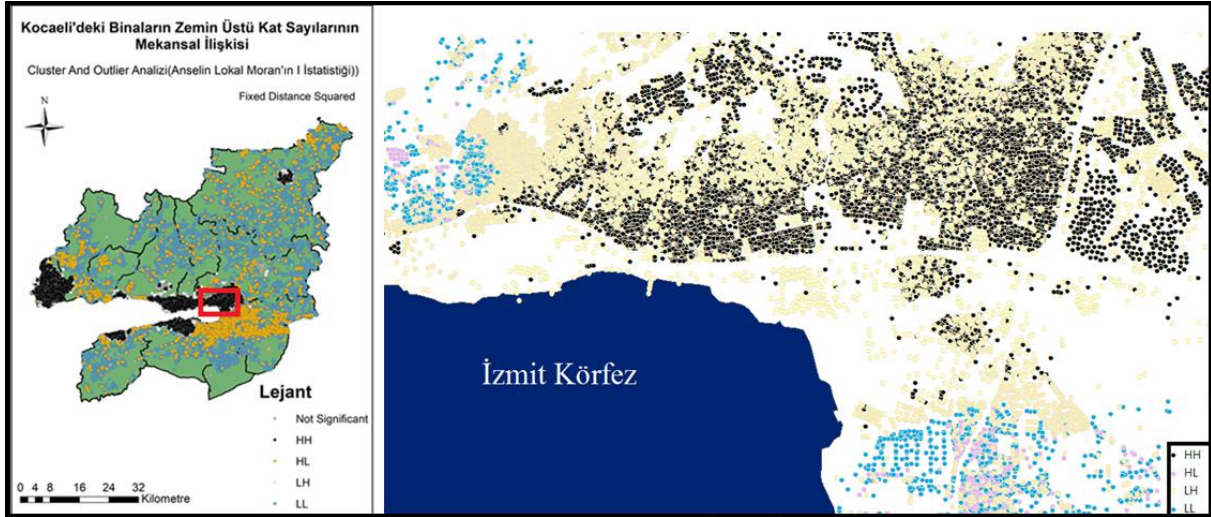
şeklinde hesaplanır. Verilerin değerlendirme sonuçları istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları hipotez testi ile sınanır.

Sıfır Hipotezi (H0), incelenen noktaya ait değişken değerleri ile bu noktaya yakın noktaların değişken değerleri arasında herhangi bir ilişki yoktur. Alternatif Hipotez (HA), incelenen noktaya ait değişken değerleri ile bu noktaya yakın noktaların değişken değerleri arasında bir ilişki vardır şeklindedir. Sıfır hipotezinin reddedildiği durumda mekânsal dağılımın rastlantısal olmadığı kabul edilir; reddedilmediği durumda ise mekânsal dağılımın rastlantısal olduğu sonucuna ulaşılır. Sıfır hipotezinin belirlenen güven düzeyinde reddedilmesi yani alternatif hipotezinin kabul edilmesi için; $|z_i| \geq z_\alpha$, koşulunu sağlaması gerekir (z_α normal dağılım için α güven düzeyindeki eşik değeridir).

Binalara ait veri tabanında 2012 yıllarında kayıtlarının yapıldığı tahmin edilen bina kat değerleri kullanılmıştır. Mekânsal analizlere başlamadan önce poligon veri türünde bulunan bina verisi nokta verisine dönüştürülmüştür. Nokta verileri ve Kocaeli il-ilçe sınırları haritası birlikte açılarak zemin üstü kat değerleri için çıktı haritaları oluşturulmuştur.

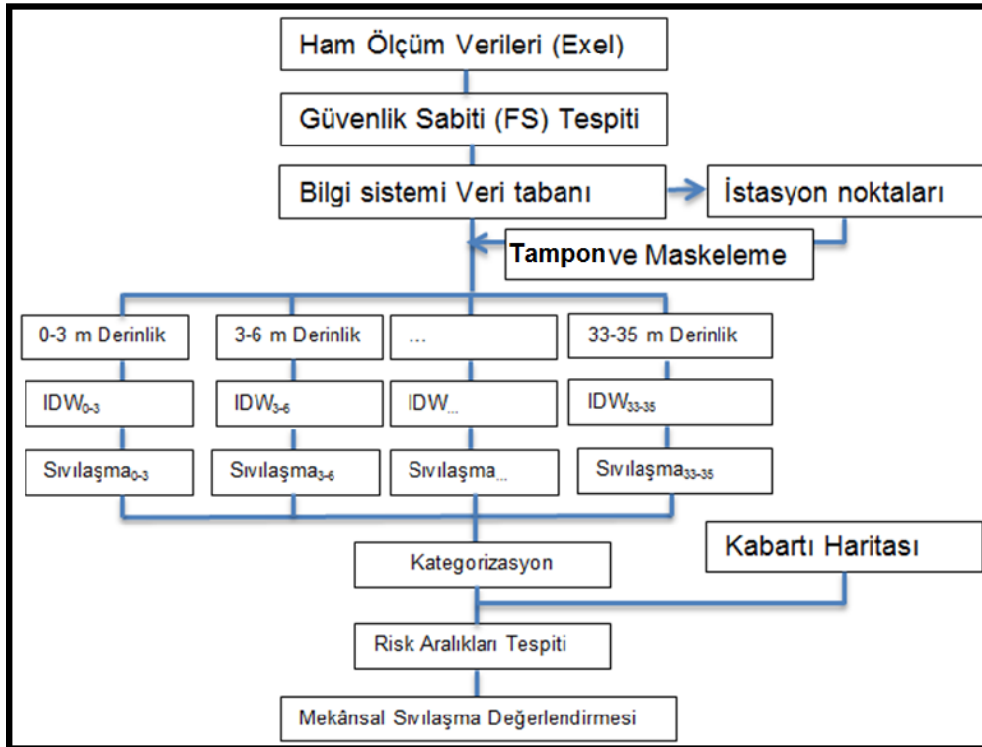
Analizde kullanılan Anselin Lokal Moran's I İstatistiği sonucunda hesaplanan z-istatistik değerlerine göre HH, HL, LH, LL noktaları tespit edilmiştir. HH, istatistiksel olarak anlamlı yüksek değer kümelerini, LL düşük değer kümelerini, HL yüksek bir değer için öncelikle düşük değerlerle çevrili olduğu aykırı değeri, LH düşük değer için yüksek değerlerle çevrili olduğu aykırı değeri tanımlamaktadır.

Şekil 2'ye göre HH değerleri incelendiğinde Darıca, Körfez (doğu kesmi), Derince ve İzmit (Kuzey) ilçeleri için körfez kıyıları, Gölcük kuzey doğu kesiminde yüksek katlı binaların kümelendiği görülmektedir. LL değerleri ise az katlı bina kümelerini göstermekte, daha çok kıyı kesiminden uzak yüksek bölgelerde bu kümeleşmelerin yaygın olduğu izlenmiştir. HL değerleri yüksek bir binanın az katlı binalarla çevrili olduğu aykırı yapıları sunmaktadır. Başiskele körfez kuzey kesimi ve Kartepe kuzey batı kesimlerinde bu kümelenelemelere rastlanmaktadır.



Şekil 2: Bina zemin üstü katları Anselin Lokal Moran's I dağılımları

Sıvılaşma analizi çalışmalarında, inceleme alanında yer alan sondaj kuyusuna ait veriler elde edilmiş ve farklı derinlikler için ölçümler tamamlanmıştır. Ölçümler 0 m ile 35 m derinlikleri aralığında yapılmıştır. Yapılan çalışmaya ait akış şeması verilmiştir (Şekil 3). Buna göre önce excel ortamında elde edilen ölçüm değerleri bilgi sistemine atılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanında 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m, ..., 30-33 m, 33-35 m derinlik alanları için sıvılaşma ölçümleri düzenlenmiş ve ölçüm noktaları koordinat bilgilerine göre mekansal olarak CBS ortamına aktarılmıştır. Daha sonra ölçülen her bir derinlik aralığı için istasyon ölçüm noktaları etrafında maskeleyme için tampon alanı belirlenmiştir. Bu alanın dışında enterpolasyon yapılarak sıvılaşma alanları mekansal olarak haritalanmıştır. Enterpolasyon için ters ağırlık mesafe (IDW) yöntemi kullanılmıştır. IDW tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalara göre daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayanır. Yani, tahmini yapılacak bilinmeyen nokta, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Enterpolasyon için kullanılan örneklem noktalarının, bilinmeyen noktada önem ve etkisi, mesafenin artması ile azalır (Shepard 1968; Lu ve Wong 2008).



Şekil 3: Sıvılaşma çalışması akış şeması

Tablo 1: Sıvılaşma potansiyeli risk aralıkları (Sönmez 2003)

GF (FS) ¹	SP (LP) ²
$FS \geq 1.2$	Sıvılaşma Riski Yok
$1.2 > FS \geq 1.0$	Düşük Sıvılaşma Riski
$1.0 > FS \geq 0.95$	Orta Sıvılaşma Riski
$0.95 > FS \geq 0.85$	Yüksek Sıvılaşma Riski
> 0.85	Çok Yüksek Sıvılaşma Riski

¹ GF (FS):Güvenlik Faktörü (Factor of safety)

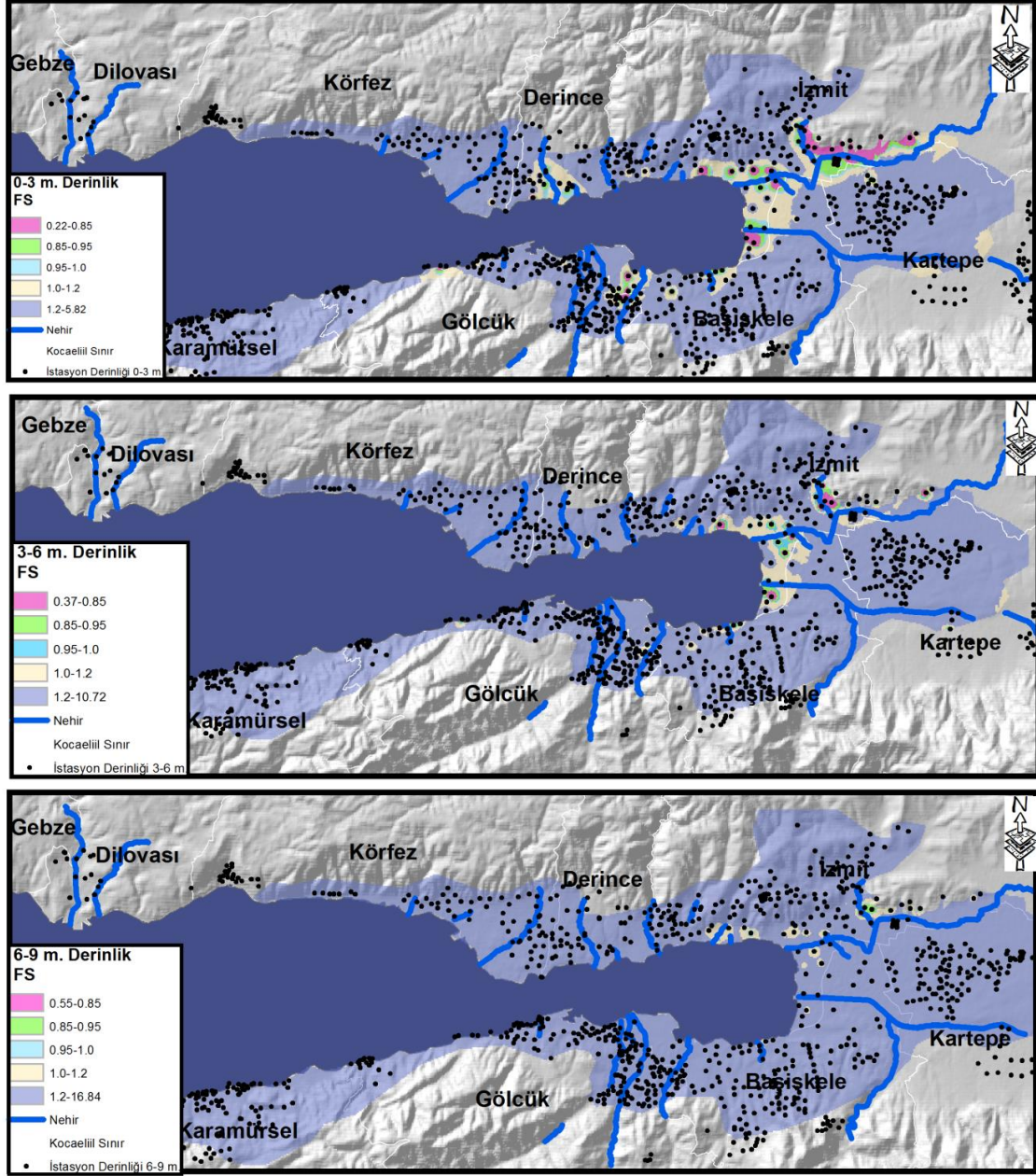
² SP (LP): Sıvılaşma Potansiyeli (Liquefaction potential)

Çalışma sonunda 13 farklı derinlik alanı için geçerli sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Güvenlik Faktörü (FS) değerleri Shuvankar vd. (2018) ve Sönmez (2003)'e göre tanımlanan sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre kategorize edilerek sıvılaşma alanları tanımlanmıştır. Sıvılaşma potansiyel eşik değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre değer aralıkları sıvılaşma potansiyeline ve güvenlik faktörüne göre 5 farklı kategoriye ayrılmıştır. Her derinlik aralığı için kullanılan istasyon kuyuları dağılımları 2.5 boyutlu topoğrafya üzerine oturtularak risk haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).

Çalışma sonunda elde edilen sıvılaşma haritaları değerlendirildiğinde 9 m'ye kadar olan derinlik bölgelerinde sıvılaşmaların gözlemlendiği, fakat 9 m'den büyük derinlikler için sıvılaşma alanlarının bulunmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle gözlemlenen sıvılaşma alanları farklı derinlikler için Şekil 4'de sunulmuştur. İnceleme alanındaki bina temellerinin oturduğu zeminlerde meydana gelen basınç soğanları dikkate alınarak sıvılaşma analizleri bu derinliklere göre yapılmıştır. Basınç soğanı derinliği temel tipi ve kat adedine göre değişmektedir. Bu derinlikler dışında zemin üzerine gelen yükleri güvenle taşıyabilmektedir. Bu derinliklerin içinde kalan bölgelerde ise zemin emniyet gerilmesi aşılacağından temel zemini üzerindeki binalar için risk taşıyacaktır (Ardıç 2006). İnceleme alanındaki zeminlerin gözenekliği yüksek olduğundan bina yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda bölgesel anlamda da zemin yenilmeleri oluşabilecektir.

0-3 m derinlik için elde edilen güvenlik katsayısı değerleri 0.25 ile 6.14 aralığında değişim göstermektedir. Etki alanı diğer derinliklere göre daha yaygın ve büyüktür. İzmit ilçesinde; Körfez kıyı kuzey doğu uç Körfez, Karabaş ve Kozluk Kemalpaşa mahallelerinde ayrıca Alikahya Cumhuriyet, Alikahya Fatih ve Alikahya Atatürk mahallelerinde yüksek riskli ve riskli bölgeler gözlenmiştir (Şekil 4). Körfez kıyı doğu bölgesinde Sanayi mahallesinde, ayrıca Gölcük ilçesi güney bölgede Sahil, Sepetlipınar ve Yazlıkyeni mahallelerinde riskli alanlar tespit edilmiştir. 3-6 m ve 6-9 m derinlik için güvenlik katsayısı değerleri sırası ile 0.37 ile 10.72 ve 0.55-16.84 aralığında değişmektedir. 3-6 m derinlik için Körfez kıyı kuzey doğu uç bölgesinde, Körfez ve Kozluk Kemalpaşa mahallelerinde ayrıca daha kuzey iç kesimlerde ise Alikahya Cumhuriyet mahallesinde riskli alanlar gözlenmiştir. 6-9 m derinlikte ise kuzey iç kesimlerde Alikahya Cumhuriyet mahallesinde riskli alanlar gözlenmiştir.

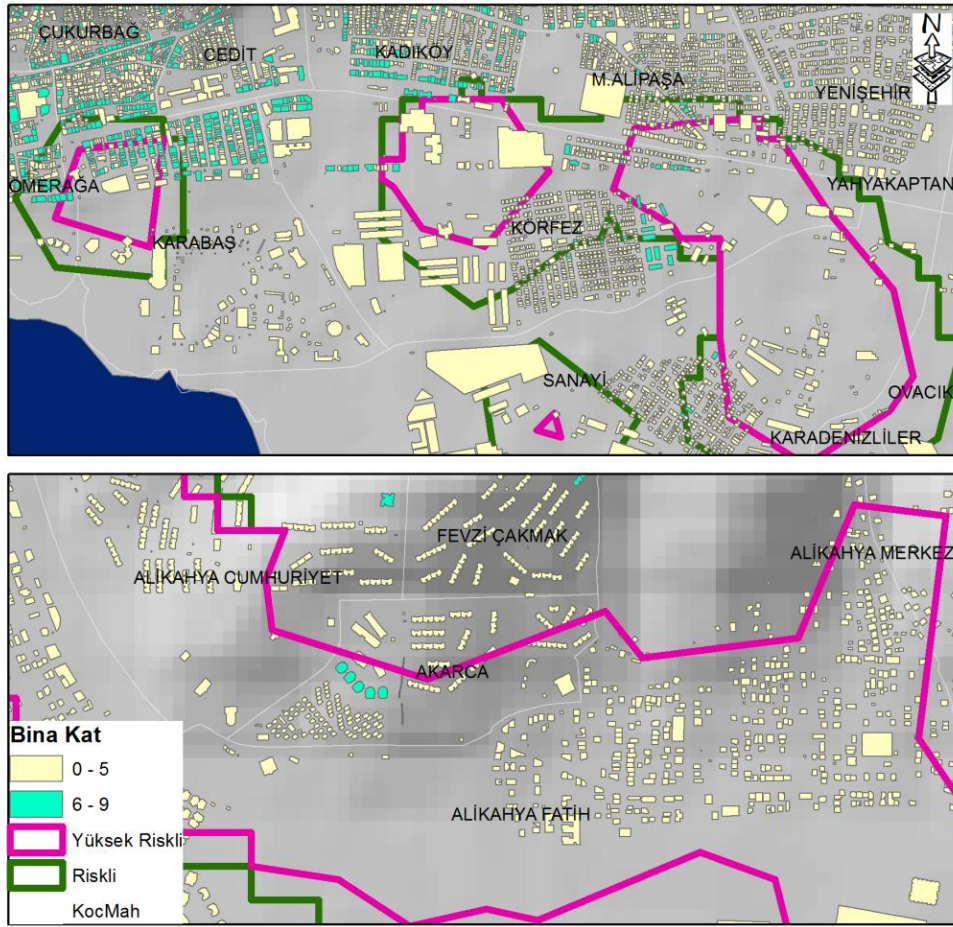
Sıvılaşma alanları daha yaygın olarak 0-3 m derinliklerde gözlemlendiği için, bu derinlik için oluşturulan risk haritası bina envanteri ile örtüştürülmüştür. Bina envanterinde bulunan 115574 bina, değerlendirme alanına düşmektedir. Sıvılaşma riski çok yüksek (0.20-0.85), yüksek (0.85-0.95), orta (0.95-1), düşük (1-1.2) ve risksiz (1.2 ve üstü) bölgeler için bina sorgulamaları yapılmış ve risk altında bulunan alanlardaki binalar ve kat oranları tespit edilmiştir. Yapılan sorgulamalardan elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 4: 0-3, 3-6 ve 6-9 m derinlikler alanlarında sıvılaşma riski haritaları (AsterGDEM verisinden üretilen kabartı harita üzerine bindirilmiştir)

Tablo 2: Sıvılaşma risk aralıkları ve bina örtüşmeleri

Sıvılaşma Risk aralığı 0-3 m	Alan (hm ²)	Toplam bina sayısı	Kat aralığı	5 kat ve altı bina sayısı	6 kat ve üstü bina sayısı
0.20-0.85 (Yüksek Riskli)	74.73	2836 (%2.43)	1-17	2698	138
0.85-0.95 (Riskli)	106.54	2161 (%1.76)	1-11	2006	155
0.95-1 (Orta Riskli)	89.03	1704 (%1.30)	1-11	1551	153
1-1.2 (Düşük Riskli)	407.53	12784 (%10.54)	1-15	12061	723
1.2 ve üstü (Risksiz)	1915.31	98049 (%83.97)	1-15	95455	2594



Şekil 5: Sıvılaşma riski bulunan alanlar ile bina kat dağılımları

0-3 m derinlik için, çok yüksek sıvılaşma riskine sahip alanlar ile bina envanteri örtüştürüldüğünde %4.19 bina yüksek riskli ve riskli bölge içine düşmektedir. 2836 (%2.43) binanın çok yüksek sıvılaşma riski bulunan alana girdiği gözlenmiştir (Tablo 2). Bu binalar mesken, kamu, işyeri türündedir. Kat yüksekliği 1 ile 17 arasında değişmektedir. Yaklaşık 138 bina 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Riskli alanlara düşen 2161 (%1.76) bina bulunmakta olup, yaklaşık 155'i, 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Bu bölgede kat yükseklikleri 1 ile 11 arasında değişmektedir. Orta riskli bölge içine 1704 bina düşmektedir. Bu binalar 1 ile 11 kat arasında değişim göstermekte olup, 723'ü 6 kat ve üstü yüksekliğe sahiptir. Çalışma alanı içine düşen binaların %94.51'i ise düşük riskli ve risksiz alanlardadır. Yüksek riskli ve riskli sıvılaşma alanı içine düşen binalar ve kat dağılımları Körfez bölgesi ve Alikahya bölgesi için Şekil 5'de sunulmuştur. Bu alanlar için ağırlıklı olarak 5 kat ve altı binaların alanda dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca riskli alanlarda bina yoğunluğunun genelde düşük seyrettiği, işyeri türünde büyük yapılar yanında, mesken tanımlanan orta ve küçük yapılaşmaların dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir.

3. Sonuç

Binalar yer deformasyonundan kaynaklı hareketlere duyarlıdır. Bu nedenle sıvılaşmadan kaynaklı zemin davranışının ve üzerinde bulunan yapı bloklarının mekânsal olarak haritalanması ve gözlemlenmesi bina riskinin önceden tahmini için gereklidir. Bu bağlamda TÜBİTAK tarafından desteklenen bu çalışma kapsamında, bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfez bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünleşik olarak ele alınarak mekânsal dağılımları incelenmiştir. Binanın zemine uyguladığı yük, bina yoğunluk haritalamaları ile alansal değişimler olarak tanımlanabilir. Zemindeki yüke ait bilgi çıkarımı için binaların 3. boyutu dikkate alınarak bina katlarının mekânsal dağılımları mekânsal korelasyon çalışmaları ile irdelenmiştir. Mekansal korelasyon analizlerinden Lokal Moran's I istatistikleri dikkate alınmıştır. Anselin Lokal Moran'ın I İstatistiği sonucunda HH değerleri incelendiğinde Darıca, Körfez (doğu kesmi), Derince ve İzmit (Kuzey) ilçeleri için körfezin kuzey kıyıları, Gölcük kuzey doğu kesiminde yüksek katlı binaların kümelendiği görülmektedir. LL değerleri ise az katlı bina kümelerini göstermekte olup, daha çok kıyı kesiminden yüksek olan bölgelerde bu kümeleşmelerin yaygın olduğu izlenmiştir. Ayrıca körfez ve çevresinde görülen sıvılaşma potansiyeli 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m' den 33-35 m derinlikleri için oluşturulmuştur. Sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre, farklı derinlikler için, sıvılaşma değerleri kategorize edilerek sıvılaşma alanları ve riskli bölgeler tanımlanmıştır. 0-3 m derinlikli alanlarda ise çalışma odağı olan körfez kıyı alanlarında sıvılaşma riski gözlemlendiği için bu risk alanları dikkate alınarak yapılaşma ve sıvılaşma dağılımı örtüştürülerek değerlendirilmiştir. 0-3 m derinlik için, çok yüksek sıvılaşma riskli alanlar ile bina envanteri örtüştürüldüğünde % 4.19 bina yüksek riskli ve riskli bölge içine düşmektedir. 2836 (%2.43) binanın çok yüksek sıvılaşma riski bulunan alana girdiği gözlenmiştir. Bu binalar mesken, kamu, işyeri türündedir. Kat yüksekliği 1 ile 17 arasında değişmektedir. Yaklaşık 138 bina 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Riskli alanlara düşen 2161 (%1.76) bina bulunmakta olup, yaklaşık 155'i, 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Bu bölgede kat yükseklikleri 1 ile 11 arasında değişmektedir. Orta riskli bölge içine 1704 bina düşmektedir. Bu binalar 1 ile 11 kat arasında değişim göstermekte olup, 723'ü 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Çalışma alanı içine düşen binaların %94.51'i ise düşük riskli ve risksiz alanlara düşmektedir. Bu çalışma kapsamında binanın zemine verdiği yük değerlendirilirken, mevcut veri tabanında bulunan bina kat adedi dikkate alınmıştır yalnız, bina kat adedi yanında bina temel tipi de dikkate alınmalıdır. Gelecek çalışmalarda bina temel tipi veri tabanı da dikkate alınarak, zeminde oluşacak yük değeri incelemesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca 0-3 m ve 3-6 m derinliklerdeki sıvılaşma alanları gelecek çalışmalarda entegre olarak bir arada değerlendirilerek 0-6 m de yüksek sıvılaşma riske sahip alanların tespiti ve bu alanlardaki bina tiplerine ve katlarına göre risklerin belirlenmesi planlanmaktadır. Sonuç olarak, binalar ne kadar sağlam ne kadar kaliteli malzemelerle yapılsın; zeminlerin gözenekliği yüksek olan bir alanda, zemin yenilmeleri oluşabilecek, deprem riski yüksek alanlar için yapılar insanlar için büyük risk oluşturabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma 177155 nolu "Çok Bandlı InSAR ve GNSS Tekniği ile Doğu Marmara (İzmit Körfezi) Düşey Yönlü Yer Değiştirmelerin İzlenmesi, Zemin Çökmeleri ile Bina Yoğunluğu ve Sıvılaşma İlişkisinin Araştırılması" başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. Proje 2017 yılı Aralık ayından itibaren başlamış olup, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ile işbirliği yapılmış ve KOÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülmektedir.

Kaynaklar

- Anastasopoulos I., Gazetas G., (2007), *Foundation-structure systems over a rupturing normal fault: Part I. observations after the Kocaeli 1999 earthquake*, Bulletin of Earthquake Engineering, 5, 253-275.
- Ardıç Ö., (2006), *Analysis of Bearing Capacity Using Discrete Element Method*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arel E., Önalp A., (2012), *Geotechnical properties of Adapazı Silt*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 71(4), 709-720.
- Aşçı M., Özçep F., Alpaslan N., Karabulut, S., Yas T., (2003), *Evaluation of liquefaction potential by different approaches in some points of northern part of Gölcük, Turkey*, The 3rd International Conference on Earth Sciences and Electronics, Proceedings, October 23-24, İstanbul, Turkey.
- Aşçı M., Yas T., Çaka D., Erdoğan B., Özçep F., (2007), *Kocaeli-Gölcük Çökme Bölgesi Zemininin Sıvılaşma Potansiyeli*, International Earthquake Symposium, October 22-26, Kocaeli.
- Aşçı M., Özçep F., Erhan A., Yas T., Alpaslan N., (2007), *Liquefaction Potential of İzmit-Saraybahçe Soils*, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, December 07-10, Ankara.
- Aydan Ö., Ulusay R., Atak V.O., (2008), *Evaluation of ground deformations induced by the 1999 Kocaeli earthquake (Turkey) at selected sites on shoreline*, Environ Geol, 54(165), doi:10.1007/s00254-007-0803-x.
- Barka A., (1999) *The 17 August 1999 İzmit Earthquake*, Science, 285, 1858-1859.
- Barka A., (2001), *17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Postsismik Deformasyonun Sentetik Açıklık Radar İnterferometrisi Yöntemi ile İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bray J.D., Sancio R.B., Riemer M.F., Durgunoglu H.T., (2004), *Liquefaction susceptibility of fine-grained soils*, Editör: Doolin, Kammerer, Nogami, Seed, Towhata, Proc. 11th Inter. Conf. On Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Inter. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering 1, Jan. 7–9, Stallion Press, Berkeley, California, USA.
- Bray J.D., Dashti S., (2014), *Liquefaction-Induced Building Movements*, Bulletin of Earthquake Engineering, 12(3), 1129-1156.
- Bray J.D., Macedo J., (2017), *6th Ishihara lecture: Simplified procedure for estimating liquefaction induced building settlement*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 102, 2015-231.
- Çetin K.Ö., Unutmaz B., (2004), *Zemin sıvılaşması ve sismik zemin davranışı*, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), 430-2004/2, 32-37.
- Demirtaş R., (1999), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi; Hasarın Ağır Olmasında Ne Etkili Oldu?'*. Haber Bülteni, http://eski.jmo.org.tr/resimler/ekler/9dfa2df42d9e3d4_ek.pdf?dergi=HABERBULTENI [Erişim 02 Ocak 2020].
- Demirtaş R., (2000), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu*, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 295ss.
- Demirtaş R., Şaffak D., Şahin M., Bulut N., (2008), *Kavaklı Fayı (Gölcük-İzmit) Paleosismisite Araştırmaları*, http://www.academia.edu/8775512/Kavaklı_Fayı_GolcukIzmit_Paleosismisite_Araştırmaları_Yuzey_Faylanması_Tehlike_Zonu_Acısından_Degerlendirme, [Erişim 02 Ocak 2020].
- Efe R., (2000), *Gölcük ve Düzce Depremleri 1999*, Fatih Üniversitesi Yayınları, No.7, İstanbul, 134ss.
- Efe R., Demirci A., (2001), *Gölcük 1999 depreminde zemin ve yerşekli özelliklerinin şiddet ile hasar dağılışına etkisi*, Türk Coğrafya Dergisi, 36, 1-15 .
- Erdik M., Demircioğlu M.B., Sesetyan K., Durukal E., Siyahi B., (2004), *Earthquake Hazard in Marmara Region*, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 24, 605-631.
- Erken A., Özay R., Kaya Z., Ülker M.B.C., Elibol B., (2004), *Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları*, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 431- 2004/3, 20-26.
- Getis A., Ord J.K., (1992), *The analysis of spatial association by Use of distance statistics*, Geographical Analysis, 24, 189–206.
- Gürsu, (2008), *Kocaeli İli Yazlık-Hisareyn-İhsaniye-Yeniköy ve Gölcük sınırları içinde kalan Afete Maruz Bölge'nin Revize İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu*, Sismik Zemin Mühendislik Ltd. Şti., Kocaeli.
- Haack B.N., Rafter A., (2006), *Urban growth analysis and modelling in the Kathmandu valley, Nepal*, Habitat International, 30(4), 1056–1065.
- Idriss I.M., Boulanger R.W., (2006), *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (ICSDEE): Part II 26, 115-130.
- Idriss I.M., Boulanger R.W., (2008), *Soil liquefaction during earthquakes monograph mno-12*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261ss.
- Ishihara K., Yoshimine M., (1992), *Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes*, Soils Found 32(1), 173–188.
- İÜ, (1999), *17 Ağustos 1999 Gölcük (Kocaeli) depremi*, İstanbul Üniversitesi Raporu, <http://avnidincer.8m.com/IURapor.html> [Erişim 02 Ocak 2017].
- Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H, (1982), *Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods*, The 3rd International Conference on Microzonation, Seattle, ss.1310–1330.
- İTÜ, (1999), *İstanbul Teknik Üniversitesi Ön değerlendirme Raporu*, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi, <http://web.archive.org/web/20120611004336/http://www.belgenet.com/deprem/depremitu.html> [Erişim 27 Aralık 2016].
- Jat M.K., Garg P.K., Khare D., (2008), *Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10, 26-43.
- Lu G.Y., Wong D.W., (2008). *An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique*, Computers & Geosciences, 34(9), 1044–1055.
- Mitra D.L., (2009), *Strengthening student voice initiatives in high schools: An examination of the supports needed for school-based youth-adult partnerships*, Youth & Society, 40(3), 311-335.
- Moran P., (1948), *The interpretation of statistical maps*, Journal of the Royal Statistical Society, 10, 243–251.
- Pan X.Z., Zhao Q.G., Chen J., Liang Y., Sun B. (2008), *Analyzing the Variation of Building Density Using High Spatial Resolution Satellite Images: The Example of Shanghai City*, Sensors, 8(4), 2541-2550.
- Saygılı G., Hanna A.M., Ural D., (2007), *Neural network model for liquefaction potential in soil deposits using Turkey and Taiwan earthquake data*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 521-540.
- Özmen B., (2000), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)*, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/DR 010-53, <http://deprem.gazi.edu.tr/posts/download?id=43388>, [Erişim 2 Ocak 2017].
- Seed H.B., Idriss I.M., (1971), *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, 97(9), doi: 10.1061/JSFEAQ.0001662.
- Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R.M., (1985), *Influence of SPT Procedures in Soil Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations*, Journal of Geotechnical Engineering, 111(12), 1425-1445.
- Shepard D., (1968), *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*, Proceedings of the 1968 ACM National Conference, ss.517–524.
- Shuvankar D., Sima G., Kayal J.R., (2018), *Liquefaction Potential of Agartala City in Northeast India Using a GIS Platform*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, (2019)78, 2919–2931
- Sönmez H., (2003), *Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (İnegöl, Turkey)*, Environmental Geology, 44, 862-871.
- Ulusay R., Aydan Ö., Kumsar H., Sönmez H., Tuncay E., (2000), *Türkiye'de Son Depremlerde görülen sıvılaşma olgusu ve Batı Anadolu'da sıvılaşma potansiyeline genel bir bakış*, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 24-27 Mayıs, İzmir, ss.323-336.
- URL-1, (2016), http://www.ym.com.tr/Files/UserFiles/Arge/Deprem_Muhendisligi/6.%20Dogu%20marmara%20depremi.pdf, [Erişim 27 Aralık 2016].

- USGS (2005), *M7.6 - 4 km ESE of Derince, Turkey*, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0009d4z/executive> [Erişim 23 Ekim 2021].
- Xiao J., Shen Y., Ge J., Tateishi R., Tang C., Liang Y., Huang Z., (2006), *Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing*, *Landscape and Urban Planning*, 75, 69-80.
- Yüksel Y., Özmen H., Çevik E., Özgüven O., Çelikoğlu Y., Bostan T., Gürer S., Gökoğlu F., (2000), *Doğu Marmara Depreminin Körfez Bölgesi Deniz Yapıları Üzerindeki Etkileri*, III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 5-7 Ekim, Çanakkale.
- Yang X., Liu Z., (2005), *Use of satellite derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth*, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 524-540.