

TBDY (2018)'E GÖRE SPT TABANLI SIVILAŞMA RİSK HARİTALARININ CBS İLE OLUŞTURULMASI: BURSA İLİ YILDIRIM İLÇESİ MİLLET MAHALLESİ ÖRNEĞİ

SPT BASED GENERATING LIQUEFACTION RISK MAPS VIA GSI WITH RESPECT TO TBDY-2018: A CASE STUDY IN MİLLET NEIGHBORHOOD, YILDIRIM DISTRICT, BURSA PROVINCE

Onur GÜRBÜZ¹, Ahmet Talha GEZGİN²

ÖZET

Bu çalışma, Bursa ilinde yer alan Yıldırım ilçesinin Millet mahallesindeki sıvılaşma potansiyelini sunmayı amaçlamaktadır. Sıvılaşma analizleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) göz önüne alınarak yapılmıştır. Varsayımsal deprem senaryosu olarak standart tasarım deprem yer hareketi (DD2), tasarım deprem büyüklüğü olarak ise $M_w=7,5$ seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Millet mahallesinde açılmış olan toplam 30 adet kuyuda gerçekleştirilen SPT sonuçları ile bu kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçlarından yararlanılmıştır. Farklı sondaj kuyuları için yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında, Ters Mesafe Ağırlık Enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılarak birlikte değerlendirilmiş ve önerilen risk haritası oluşturulmuştur. Sonuçlar Bursa ilinin Millet mahallesi bölgesinin yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Sıvılaşma Risk Haritası, TBDY (2018), SPT ile Sıvılaşma Analizi

ABSTRACT

This study aims to investigate the liquefaction potential in Millet neighborhood of Yıldırım district in Bursa province, which is located in the first degree earthquake hazard zone according to the earthquake zones map of Turkey. The liquefaction analyses were performed in accordance with the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018). Standard design earthquake ground motion (DD2) was chosen as the hypothetical earthquake scenario and $M_w=7.5$ as the design earthquake magnitude. Within the purpose of this study, the SPT results of 30 boreholes drilled in Millet neighborhood and the results of laboratory tests performed on the samples taken from these boreholes were used. The liquefaction potential analyses for different boreholes were evaluated together using Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW) method in Geographic Information Systems (GIS) environment and the proposed risk map was created. The results show that Millet neighborhood of Bursa province has a high liquefaction potential.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Liquefaction risk mapping, TBDY (2018), Liquefaction analysis using SPT

1. GİRİŞ

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, onurgurbuz65@gmail.com

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, ahmettalhagezgin@uludag.edu.tr (Sorumlu yazar)

TBDY (2018)'de sıvılaşma yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanmıştır. Son yıllarda, birçok bölge zemin sıvılaşması nedeniyle ciddi hasarlara maruz kalmıştır (Seed ve Idriss, 1967; Çetin vd., 2002; Tosun vd., 2011). Sıvılaşma sebebiyle sığ temel kullanılarak inşa edilen binalarda batma, yan dönme, çökme gibi durumlar ortaya çıkarken, yer altındaki yapılarda yüzeye çıkma ve şevlerde yenilme tarzı problemler yaşanabilmektedir. Bursa şehri konum ve zemin yapısı nedeniyle sıvılaşma kaynaklı bu çeşit problemlerin gözlemlenebileceği başlıca yerlerden biri olarak bilinmektedir. Şehir ilk kuruluş zamanlarında Uludağ eteklerine konumlanmış olsa da zaman içerisinde kalın alüvyon tabakası barındıran Bursa ovası üzerinde yerleşim göstermiştir (Tabban, 2000). Bursa ovasını oluşturan alüvyon katmanı yüksek seviyede zemin büyütmesine, sıvılaşma potansiyeline ve deprem kaynaklı oturma potansiyellerine sahiptir (Akyol vd., 2002; Başarı, 2003). Bu nedenlerden ötürü Bursa ilinin özellikle Bursa ovasında gelişim göstermiş bölgelerinde sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır.

Bir bölgedeki sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden (dinamik basit kesme ve dinamik üç eksenli basınç deneyleri) ve/veya arazide yapılan deneylerden (Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), Kayma dalga hızının (V_s) saptanması) yararlanılmaktadır. TBDY (2018)'de zemin sıvılaşması potansiyelinin değerlendirilmesi için laboratuvar deneylerinin (zemin tabakalarındaki dane çapı dağılımı, su muhtevası ve Atterberg limit değerlerinin belirlenmesini içeren) ve SPT sonuçlarının kullanılması önerilmektedir.

Bit bölgeye ait sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilebilmesi için sondaj kuyu noktalarında sayısallaştırılan sıvılaşma potansiyeli seviyelerinden faydalanılarak bölgeye ait sıvılaşma risk haritalarının ortaya çıkarılmasıdır. Risk haritalarının oluşturulması için en çok tercih edilen yöntemlerden biri de Coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknikleridir (Abdullah ve Abd El Aal, 2021; Boumpoulis vd., 2021). CBS analiz edilen sıvılaşma potansiyellerini depolayabilen ve bir harita üzerinde görselleştirerek söz konusu riskin inceleme alanında konuma göre değişimini ortaya koyabilen bir tekniktir.

Bu çalışmada, Yıldırım ilçe belediyesi arşivindeki Millet mahallesine ait arazi ve laboratuvar deney sonuçlarını içeren geoteknik etüt raporları incelenmiş olup bu raporlardan temin edilen 30 sondaj kuyusundan elde edilen sonuçlar kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, inceleme alanındaki yeraltı su seviyesi ve farklı derinlikler için SPT-N değerlerinin dağılımı elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sıvılaşma analizlerinde varsayımsal deprem senaryosu olarak, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının (AFAD) Türkiye Deprem Haritaları dikkate alınarak 475 yıl boyunca, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD2 deprem yer hareketi ($M_w=7,5$) seçilmiştir. Sondajların yapıldığı lokasyonlarda, zemin profilinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde TBDY (2018)'nde belirtilen yöntem esas alınmıştır. Bu çalışmada, bölgenin risk haritaları oluşturulurken sondaj kuyusunun olmadığı noktalarda ilgili değişken değerini bulmak için Ters Mesafe Ağırlık Enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılmıştır.

2. İNCELEME ALANININ COĞRAFİ KONUMU, JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİĞİ

İnceleme alanı olarak belirlenen Bursa İli Yıldırım ilçesi Millet mahallesi, ortalama 340 ha'lık bir alanı temsil etmektedir. 2019 verilerine göre 44.879 insan yaşamaktadır. Bursa, Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara bölümünde, 40 derece kuzey paraleli, 29 derece doğu meridyeninin kesiştiği yerde yer alır. Doğuda Bilecik, Adapazarı, kuzeyde İzmit, Yalova, İstanbul ve Marmara Denizi, güneyde Eskişehir, Kütahya, batıda Balıkesir illeriyle çevrilidir.

İnceleme alanı olan Millet mahallesinin de bulunduğu Bursa Ovasının doğu kısımlarında alüvyon katmanı 140 m ile 200 m arasında değişmekte olup, ince tanecikli kil, silt, kum ve çakıl tipi zeminleri içermektedir (Tabban, 2000; Akyol vd., 2002; Başarı, 2003).

Türkiye aktif fay haritası incelendiğinde, Bursa ili Yıldırım ilçesinin Kuzey Anadolu Fayının etkisi altında olduğu görülmektedir. Bursa ve çevresi, Türkiye'nin belli başlı fay zonlarından biri olan sağ yönlü, doğrudan atımlı Kuzey Anadolu Fayı'nın Batı Anadolu'ya doğru uzandığı kollarından birisinin üzerindedir. Bursa yöresini etkileyecek olan depremler Kuzey Anadolu Fayı'nın Geyve-Yıldırım arasındaki bölümünden, Uluabat Fayı'ndan ve Bursa Fayı'ndan beklenmelidir (Şekil 1).

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (4)$$

Burada, α ve β katsayıları ince dane içeriğine göre belirlenmiştir. İnce dane içeriğinin %5 değerinden küçük olduğu durumlarda $\alpha = 0$ ve $\beta = 1$ olarak alınırken, $IDI \geq \%35$ olması durumunda $\alpha = 5,0$ ve $\beta = 1,2$ olarak kabul edilmiştir. IDI değerinin %5 ile %35 arasında bulunduğu bölgelerde ise Eşitlik (5) kullanılarak α ve β katsayıları hesaplanmıştır.

$$\alpha = \exp[1,76 - (190/IDI^2)] ; \beta = 0,99 + IDI^{1,5}/1000 \quad (5)$$

Sonrasında, ince dane içeriği alınarak düzeltilen SPT verileri ($N_{1,60f}$) moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının ($CRR_{M7,5}$) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$CRR_{M7,5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (6)$$

Çevrimsel dayanımın IDI düzeltmesini de içeren SPT verilerinin kullanılarak hesaplanması o noktaya ait sıvılaşma direncinin (τ_R) Eşitlik (7)'de gösterildiği gibi hesaplanması için gerekmiştir.

$$\tau_R = CRR_{M7,5} C_M \sigma'_{v0} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de de görüldüğü üzere, sıvılaşma direncinin belirlenebilmesi için gerekli olan diğer bir değer tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısıdır (C_M) ve Eşitlik (8)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, giriş bölümünde de belirtildiği üzere tasarım depremi (M_w) 7,5 büyüklüğünde alınmıştır.

$$C_M = 10^{2,24} / M_w^{2,56} \quad (8)$$

SPT deneyinin yapıldığı her nokta için sıvılaşma direncinin hesaplanmasının ardından, aynı noktalar için zeminde oluşan kayma gerilmeleri (τ_{deprem}) Eşitlik (9)'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\tau_{deprem} = 0,65 \sigma_{v0} (0,4 S_{DS}) r_d \quad (9)$$

Burada; σ_{v0} sıvılaşma değerlendirmesi yapılan noktadaki toplam düşey gerilme, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, r_d ise ilgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısıdır. Bu çalışma kapsamında S_{DS} değeri ortalama 1,047 olarak alınmıştır. r_d katsayısı ise Eşitlik (10)'da gösterildiği gibi incelenen noktanın derinliğine (z) bağlı olarak seçilmiştir.

$$\begin{aligned} z \leq 9,15 \text{ m} &\rightarrow r_d = 1,0 - 0,00765z \\ 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} &\rightarrow r_d = 1,174 - 0,0267z \\ 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} &\rightarrow r_d = 0,744 - 0,008z \\ z > 30 \text{ m} &\rightarrow r_d = 0,50 \end{aligned} \quad (10)$$

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için gerekli olan iki ana değişkenin (τ_R ve τ_{deprem}) belirlenmesinin ardından, Eşitlik (11) kullanılarak her bir SPT deney verisine karşılık gelen sıvılaşma güvenlik katsayısı hesaplanmıştır.

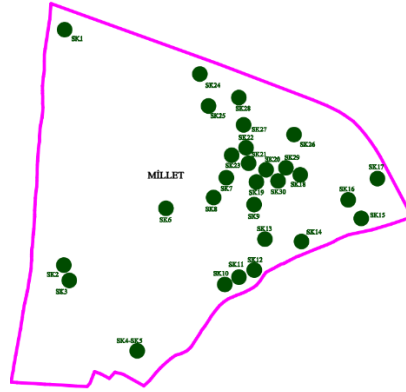
$$\tau_R / \tau_{deprem} \geq 1,10 \quad (11)$$

Eşitlik (11)'de gösterildiği üzere, ilgili bölge ve derinlikte sıvılaşma potansiyelinin olmadığına teyit edilebilmesi için söz konusu güvenlik katsayısının 1,10 değerine eşit veya büyük olması gerekmektedir.

4. CBS İLE HARİTALANDIRMA

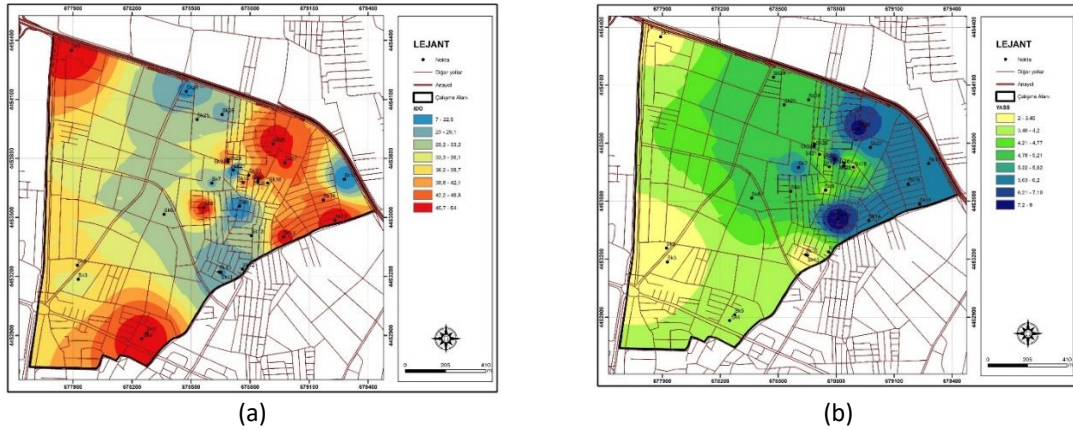
4.1. Arazi Verilerinin CBS Yöntemi ile Haritalandırılması

Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı olarak belirlenen Millet mahallesinde daha önce yapılmış zemin etüt çalışmalarında yer alan ve derinliği 1.5-20.0 m arasında değişen ve lokasyonları Şekil 2'de gösterilen 30 adet sondaj kuyusu ele alınmıştır.



Şekil 2. Millet mahallesinde kullanılan sondajların lokasyonlarının gösterimi.

Bu sondaj kuyularında gerçekleştirilen SPT ve kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden faydalanılarak zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sondaj kuyularının bulunduğu bölgelerde yeraltı suyu, ince tane oranı, su içeriği, zeminlerin plastite özellikleri gibi veriler elde edilmiştir. Deney verilerine göre inceleme alanında düşük plastisiteli kil ve silt zemin türlerinin daha yaygın olduğu, yüksek plastisiteli kil zeminlerin ise daha bölgesel olarak görülmüştür. İri daneli olarak sınıflandırılan zemin tiplerinde ise daha çok killi ve siltli kum katmanların hakim olduğu, çakıl zeminlerin ise iri daneli zemin grubunun küçük bir bölümünü oluşturduğu gözlemlenmiştir. İnceleme alanına ait ince dane oranı ve yeraltı suyu seviyesi dağılımlarını gösteren CBS haritaları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3(a) ince dane oranının %7 (mavi gösterim) ile %64 (kırmızı gösterim) arasında değişim sergilediğini göstermektedir. Şekil 3(b) ise yer altı su seviyesinin 2 m (açık sarı gösterim) ile 9 m (koyu mavi) arasında değiştiğini belirtmektedir.

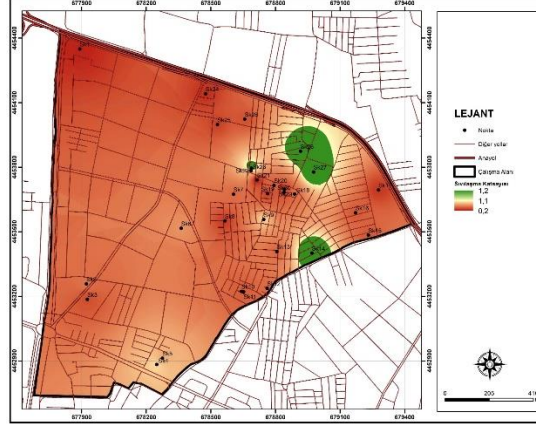


Şekil 3. İnceleme alanına ait (a) ince dane oranı haritası (b) yeraltı suyu seviyesi haritası.

4.2. Sıvılaşma Potansiyelinin CBS Yöntemi ile Haritalandırılması

TBDY (2018)'nde önerilen ve Bölüm 3.2'de ayrıntılı olarak açıklanan adımlar takip edilerek her SPT verisi alınan bölge ve derinlikte sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler depolanmıştır. Yapılan analizlerde suya doygun, gevşek silt, siltli kum, kum, kumlu silt ve killi kum gibi zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin yoğun olduğu tespit edilmiştir. İnce dane oranı düşük ve SPT-N verilerinin 30 değerinin altında ve plastite indisinin 13'ten küçük olduğu birimlerde sıvılaşma tespit edilmiştir.

Çalışma alanında 30 adet kuyudan elde edilen verilerle 20 metre derinliğe kadar sıvılaşma analizleri yapılmış ve her kuyu için en düşük sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (τ_R/τ_{deprem}) alınarak inceleme alanına ait sıvılaşma risk haritası CBS ortamında IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon) yöntemiyle kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 4'te sunulmuştur. Elde edilen risk haritasında kırmızı bölgeler sıvılaşma potansiyelinin bulunduğu, yeşil bölgeler ise sıvılaşma riskinin olmadığı bölgeleri göstermektedir. Şekil 4'te de görüldüğü üzere, inceleme alanı olarak belirlenen Millet mahallesinin birkaç küçük bölge hariç genelinde sıvılaşma riski bulunmaktadır.



Şekil 4. İnceleme alanına ait sıvılaşma risk haritası.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Bursa ilinin Yıldırım İlçesinde bulunan Millet mahallesinin sıvılaşma risk haritasının TBDY (2018) baz alınarak çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Millet mahallesi sınırları içerisinde bulunan 30 sondaj kuyusunda yapılan SPT verileri ve bu kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Sondaj kuyularında SPT yapılan derinlikler için sıvılaşma potansiyelleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar CBS ortamında IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon) yöntemi kullanılarak risk haritası oluşturulmuştur. CBS yöntemi ile, belirli lokasyonlarda açılan sondaj kuyularından elde edilen veriler kullanılarak tüm inceleme alanına ait sıvılaşma potansiyeli durumu ortaya koyulmuştur. Bu risk haritası sonucunda, Millet mahallesinde yer alan bazı küçük bölgeler haricinde sıvılaşma potansiyeli olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, inceleme alanı olarak seçilen Bursa ilinin Yıldırım ilçesinde bulunan Millet mahallesinin sıvılaşma açısından yüksek seviyede risk içerdiği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar inceleme alanı olarak belirlenen Millet mahallesi bölgesine ait zemin etüt raporlarını kendileriyle paylaşan Bursa Yıldırım Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Zemin Etüt Bürosuna teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Abdullah, G. M., ve Abd El Aal, A. (2021), "Liquefaction Hazards Mapping Along Red Sea Coast, Jeddah City, Kingdom of Saudi Arabia", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 144, 106682.
- Akyol, N., Akıncı, A. ve Eyidoğan, H. (2002), "Site Amplification of S-Waves in Bursa City and its Vicinity, Northwestern Turkey: Comparison of Different Approaches", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 22, 579-587.
- Başarı, E. (2003), "Bursa İl Merkezi Zeminlerinde Dinamik Zemin Davranış Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye.
- Boumpoulis, V., Depountis, N., Pelekis, P., ve Sabatakakis, N. (2021), "SPT and CPT Application for Liquefaction Evaluation in Greece" Arabian Journal of Geosciences, Volume 14, 1-15.
- Cetin, K.O., Seed, R.B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Kayen, R.E. ve Moss, R.E.S. (2004), "SPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential" J Geotech Geoenviron Eng., Vol 130, Issue 12, 1314-1340.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Web Sitesi, <https://www.mta.gov.tr>
- Seed, H.B. ve Idriss, I.M. (1967), "Analysis of Soil Liquefaction: Niigata Earthquake", J Soil Mech Foundation Div Proc ASCE SM3, Vol 93, 83-108.
- Tabban, A. (2000), "Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu", Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savaş, H., ve Türköz, M. (2011), "Soil Liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey", Natural Hazards and Earth System Sciences, Volume 11, Issue 4, 1071-1082.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.