Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
18. Ulusal Konferansı

29-30 Eylül 2022
Erciyes Üniversitesi, Kayseri

Kayseri'de bir yerleşim bölgesi için sıvılaşma potansiyelinin CBS tabanlı değerlendirilmesi

GIS-BASED ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL FOR A RESIDENTIAL AREA IN KAYSERİ.

Dilek Kaya[1], Mehmet Cemal ACAR[2]

ÖZET

Yeni yerleşimlerin belirlenmesinde zemin etüdünün önemi ülkemizde depremler nedeniyle yer kaynaklı hasarların meydana gelmesi ile daha iyi anlaşılmıştır. Bilgisayar destekli uygulamalar tüm bilim dallarında olduğu gibi jeoteknik alanında da önemli bir yere sahiptir. Özellikle verilerin tamamen dijital ortamda incelenebilmesi ve değerlendirme sürecindeki uygunluğu da küçümsenmemelidir. Bu çalışmada Kayseri ili sanayi bölgesi incelenmiş ve 60 sondaj noktasında sıvılaşma analizi yapılmış ve coğrafi bilgi sistemi yardımıyla değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Kayseri Oymaağaç Mahallesi mobilya üreticisi sanayi sitesi sınırlarını kapsamaktadır. Bu limitler sayısallaştırılarak, buradaki yerel zemin koşullarının belirlenmesi için sondaj ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak sayısal formatta bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veritabanı için TBDY-2018 dikkate alınarak SPT bazında sıvılaşma analizi yapılmıştır. Haritalar, CBS yazılımı ArcMap'te (V:10.4.1) konumsal analiz yöntemlerinden IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda arazi jeoteknik açıdan değerlendirilmiş ve sıvılaşma potansiyelini gösteren tematik haritalar oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Coğrafi Bilgi Sistemi(CBS), Sıvılaşma, SPT, ArcGIS*

ABSTRACT

The importance of soil exploration for determining new settlements was better understood with the occurrence of ground-based damages due to the earthquakes in our country. Computer-aided applications have an important place in the field of geotechnical as well as in all areas of science. In particular, the opportunity to examine the data entirely in a digital environment and its convenience in the evaluation process is not to be underestimated. In this study, the industrial zone in Kayseri province was examined, and

[1] Öğr. Gör. Dilek Kaya, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, 29100, Gümüşhane-Türkiye, E-Posta:dilek.ozdemir@ gumushane.edu.tr (Sorumlu Yazar)
[2] Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cemal ACAR, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Kayseri Üniversitesi, 38280, Kayseri-Türkiye, E-Posta: acarc@kayseri.edu.tr

liquefaction analysis was performed on 60 drilling points and evaluated with the help of a geographic information system. The study area covers the borders of Kayseri Oymaağaç Mahallesi furniture manufacturer's industrial site. These limits have been digitized, and a database has been created in digital format using the data obtained from drilling and laboratory studies to determine the local ground conditions here. For the database, liquefaction analysis based on SPT was made, considering TBDY-2018. Maps were generated using the IDW interpolation method, one of the spatial analysis methods, in the GIS software ArcMap (V:10.4.1). As a result of the study, the land was evaluated from a geotechnical point of view, and thematic maps showing the liquefaction potential were created.
Keywords: *Geographical Information System (GIS), Liquefaction, SPT, ArcGIS*

1. GİRİŞ

Sıvılaşma, gevşek kum zeminlerine kısa sürede etki eden deprem gibi büyük dinamik gerilmelerin neden olduğu aşırı boşluk suyu basıncının ani artışı nedeniyle zemin mukavemetinin tamamen kaybolması olarak tanımlanmaktadır (Kang ve diğ., 2022). Sıvılaşma değerlendirmeleri tek bir sondaj değerlendirmelerine dayandığı için hedeflenen alanın tamamı için temsil edilebilmesi sorun oluşturmaktadır. Mekansal enterpolasyon ve coğrafi bilgi sistemi bu sorunu bir dereceye kadar çözmede yardımcı olmaktadır.

Zeminlerin sıvılaşma analizlerine bağlı risk haritaları coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak çıkarılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda artmaktadır (Hartono ve diğ., 2022), (Kang ve diğ., 2022), (Calzolari ve diğ.,2021), (Abdullah ve diğ., 2021), (Das ve diğ., 2019).

Hartono ve diğ. (2022), Yogyakarta Uluslararası Havalimanı için sıvılaşma için riskli bölgeleri belirlemek için mekânsal analiz yapılmıştır. SPT ye bağlı yapılan sıvılaşma analiz sonuçları, QGIS yazılımı ile Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntemi kullanılarak 84 adet sondaj verisi değerlendirilmiştir. 84 lokasyondan 64'ünün çeşitli derinliklerde sıvılaşmaya duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kang ve diğ. (2022), Kore'de Incheon çalışma alanında 125 sondaj verileri kullanılarak mekânsal enterpolasyon yöntemlerinden kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle sıvılaşma için jeoteknik bilgi veri tabanı oluşturulmuştur.

Calzolaria v.d. (2021), çalışmalarında zemin türlerinin mekânsal dağılımını ve sıvılaşma özelliklerini tahmin etmek için CBS kullanarak (1:50.000 ölçekli) zemin türlerini gösteren haritalar çıkarılmıştır. Zemin grupları arasında gözlemlenen ilişkilerle ve arazi özelliklerinin ve ana malzemelerin kombinasyonuyla tutarlı olan farklı dağılım desenleriyle çok başarılı haritalar oluşturmuşlardır. Bir başka çalışmada, esas olarak Suudi Arabistan Krallığı'ndaki Cidde Şehri için SPT ile ilişkili 214 sondaj kuyusundan elde edilen veriler kullanılmış ve sıvılaşma potansiyeli haritaları geliştirilerek, bölgenin sıvılaşma değerlendirilmesi yapılmıştır (Abdullah ve diğ., 2021).

Das v.d. (2019), yaşanan büyük depremlerden dolayı sıvılaşma gözlemlenen Agartala (Hindistan)'da Standart Penetrasyon Test (SPT) yapılan 97 sondaj noktasından alınan

verilerle sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Sonuçlar CBS tabanlı QGIS adlı bir yazılımla harita olarak sunulmuştur. Sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ölçeğine göre, kentin merkezi yüksek ve orta, kuzey kısmının orta ila sıvılaşmaz ve güney kısmının sıvılaşmaz potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Sönmezer, Çeliker ve Kılınç (2012), sondaj çalışmalarında arazi ve laboratuar deneyleri yapılmış Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin zemin parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler ile yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma haritaları CBS'de sunulmuştur.

Şen ve Akyol (2006) CBS platformunda sıvılaşma potansiyel indeksi dağılımını incelemişlerdir. Bunun için Denizli ili Gümüşler Belediyesi çevresindeki alanı örnek olarak ele almışlar ve bu alandaki zeminlerin SPT değerlerini hesaplayarak sıvılaşma riskini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, MapInfo ve MapBasic yazılımları kullanılarak CBS ortamında eş sıvılaşma eğrileri oluşturularak literatürde sunulmuştur.

Çetin ve ark. (2004) tarafından Bursa'da gerçekleştirilen çalışmada olasılıksal sismik risk analizi yapılmıştır. Bu amaçla pik yer ivmesi ve spektral ivme haritaları oluşturulmuş, aynı zamanda SPT verilerinden yararlanılarak sismik sıvılaşma analizi yapılarak sıvılaşma riski taşıyan bölgelerin haritaları oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda maksimum zemin ivmesi 0.36-0.38 g arasında, zemin için spektral ivme dağılımı 0.7-0.75, sıvılaşma şiddet indeksi dağılımı da 0-0.35 olarak belirlenmiştir.

Holzer ve diğ. (2002), Alameda, Oakland, Piedmont ve California bölgeleri için sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) kullanılarak sıvılşma tehlike haritaları oluşturulmuştur. Çalışma da 133 adet koni penetrasyon testi sondajından hesaplamalar yapılmıştır. M7.08 büyüklüğündeki bir deprem için, haritalar, yapay dolgu ile kaplı alanın %72'sinin ve Holosen alüvyon yelpazesinin altında kalan alanın %6'sının sıvılaşmaya uğrayacağını tahmin edilmiştir. Tahminler, benzer yatakların kaynağa yakın yer hareketine maruz kaldığı son deneyimlerle tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

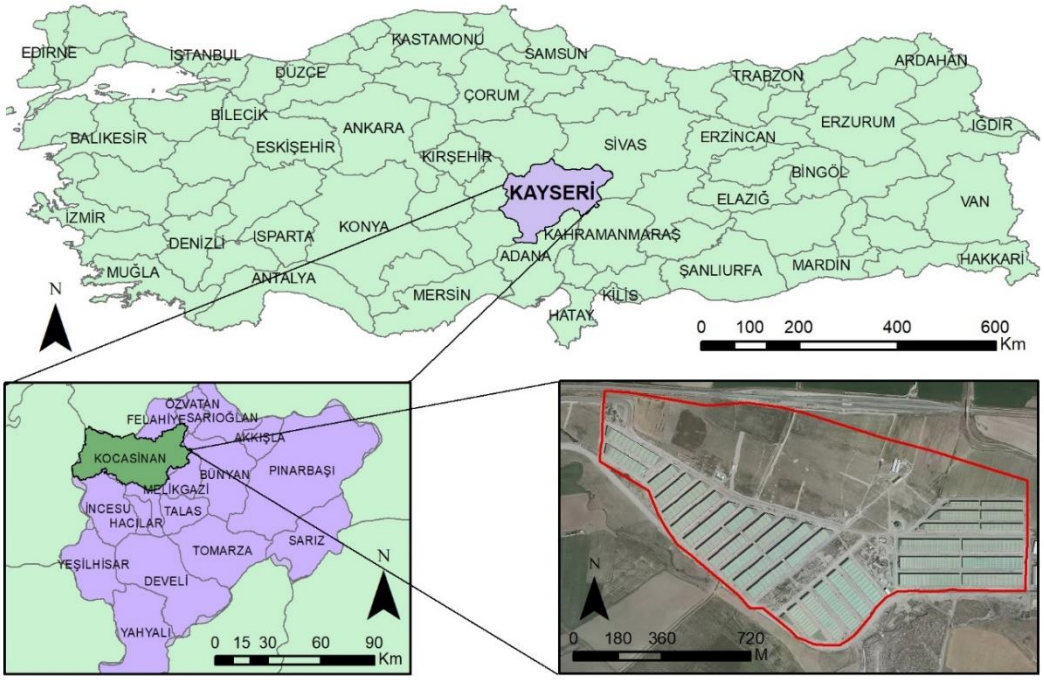
Sıvılaşma direnci hesabında tasarım deprem büyüklüğü 6 alınmıştır. Zeminde oluşan kayma gerilmesi (τ deprem) kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına (S_{DS}) bağlı olup bu değer Türkiye Deprem Tehlike haritasında koordinatlara bağlı elde edilmiştir. Güvenlik sayısı 1.1'in altında çıkan sonuçlar sıvılaşma varlığını ortaya koymaktadır. Bu bölge genel olarak ince taneli gevşek kum ve siltlerden oluşmaktadır. Deprem büyüklüğü bağlı olarak, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması bazı yerlerde sıvılaşma riski olduğu ve. bölgenin yerleşime açılmadan önce olası sıvılaşma özelliği gösteren yerlerde iyileştirme alanları belirlenmiştir.

Bu çalışmada toplamda 60 adet sondaj noktası değerlendirilmiştir. Sıvılaşma için ilgili parametreler ArcMAP programında veritabanı oluşturularak kaydedilmiştir. Çalışma alanının tarihi deprem kayıtlarına bakıldığında 1900-2022 yılları arasında maksimum 5-6

büyüklüğündeki deprem kayıtlarına rastlanılmaktadır. Bu nedenle bölge için maksimum olan 6 büyüklüğündeki bir deprem senaryosu kullanılarak bölgenin yatayda ve düşeyde sıvılaşabilir bölgeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

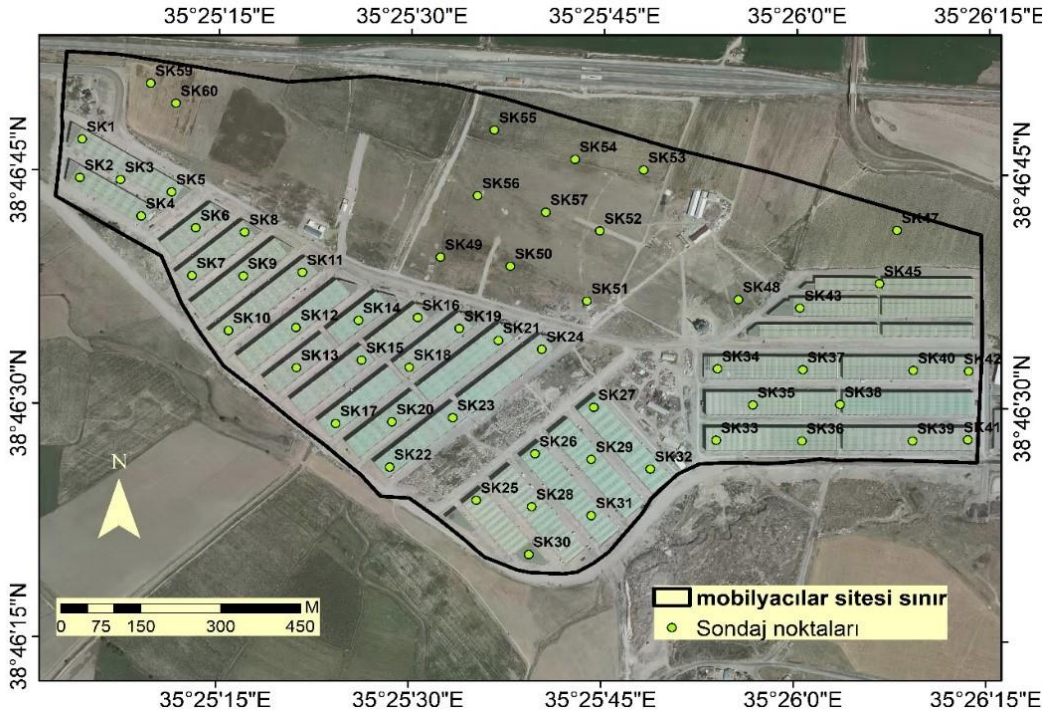
2. İNCELEME ALANI

Çalışma alanı Kayseri ili Kocasinan ilçesi Oymaağaç Mahallesi sınırları içerisinde kalan Mobilyacılar sanayi sitesini kapsamaktadır (Şekil.1) Daha öncesinde boş mera olarak kullanılmakta olan arazinin 1.500.000 m2 lik toplam alanın 800.000 m^2'sinde sanayi işletmeleri kurulmuştur ve eğimi etüt alanı içerisinde 5-10 derecedir. Türkiye deprem haritaları interaktif web uygulaması (Şekil.4) incelendiğinde çalışma alanının yaklaşık 1,5-2 km uzaklığındaki kuzey batısında uzanan diri fay hattı görülmektedir.



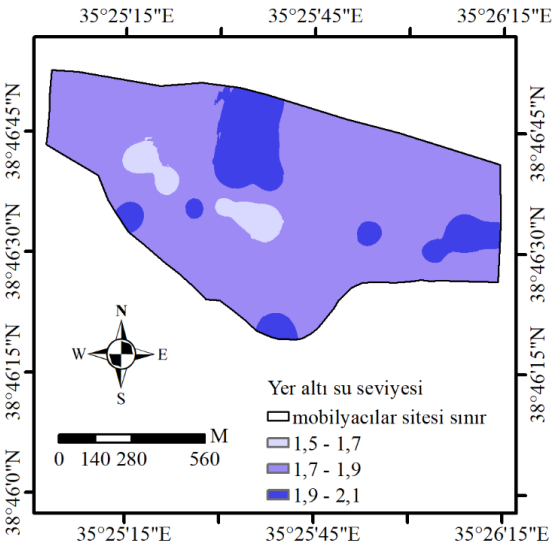
Şekil 1.Çalışma alanı lokasyon haritası

Çalışma alanı sınırları içinde Şekil.2' de yerleri gösterilmiş olan toplamda 60 adet sondaj değerleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Sondaj derinlikleri 15 m ile 24.5 m arasında değişmektedir.

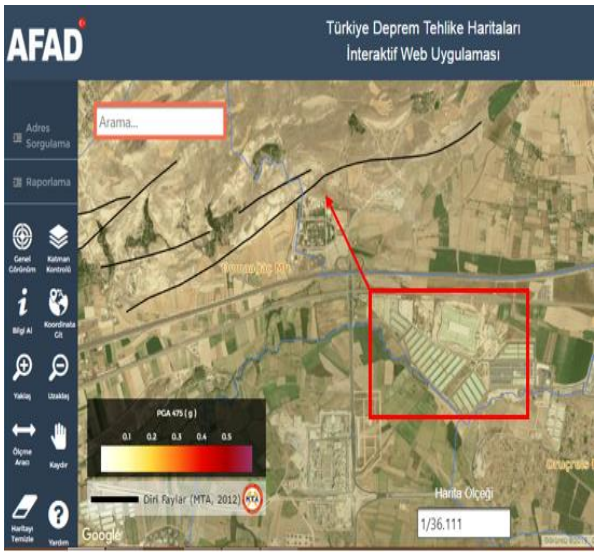


Şekil 2. Sondaj Noktaları

Yapılan sondaj çalışmaları sonunda yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu görülmüştür. Değer aralığı 1,5 ile 2,1 m arasında değişmektedir (Şekil.3).

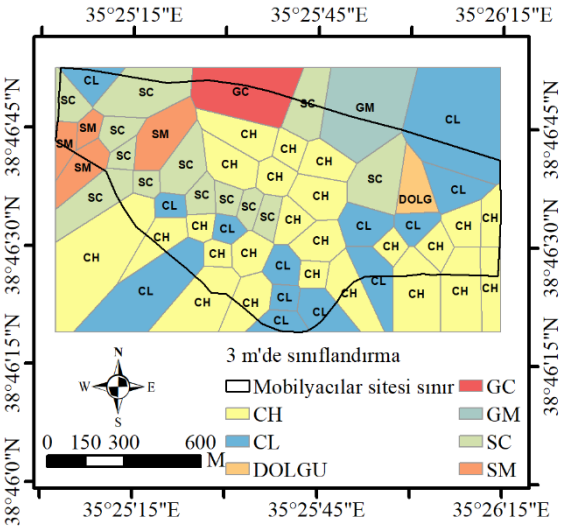


Şekil 3.Yeraltı suyu değişimin

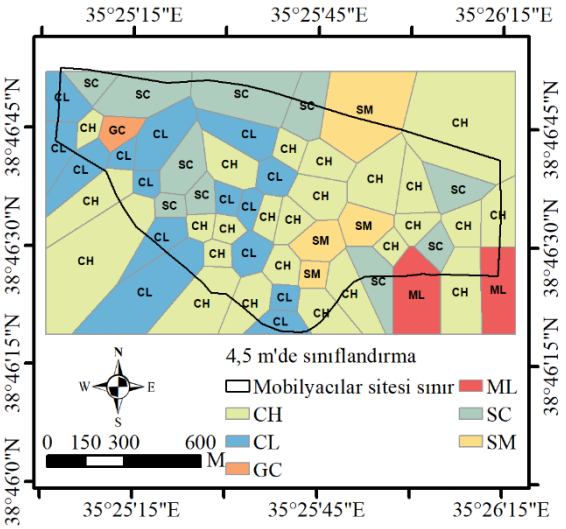


Şekil 4. Çalışma alanı aktif faya yakınlık haritası

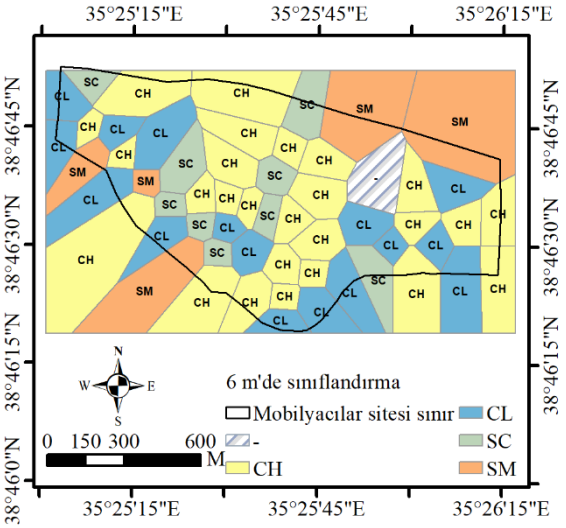
Zemin sınıflandırma çalışmasında CBS yazılımı olan ArcMAP programının Thiesen Poligon Yönteminden yararlanılmış düzensiz üçgen ağları modeli ile nokta etrafında alan katmanları oluşturulmuştur. İnceleme alanının genel olarak temel zemini, siltli kum (SM) ve düşük plastisiteli siltli kil (CL, ML) bantlarından oluşmaktadır (Şekil.5).


35°25'15"E
35°25'45"E
35°26'15"E
38°46'45"N
38°46'30"N
38°46'15"N
38°46'0"N
3 m'de sınıflandırma
Mobilyacılar sitesi sınır
CH
CL
DOLGU
GC
GM
SC
SM
0 150 300 600
M

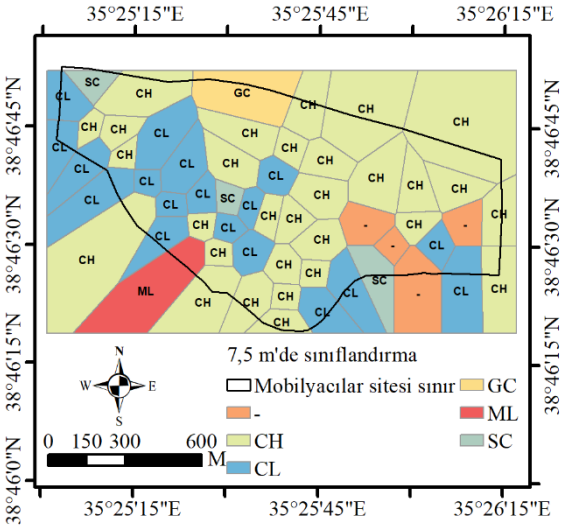
(a)


35°25'15"E
35°25'45"E
35°26'15"E
38°46'45"N
38°46'30"N
38°46'15"N
38°46'0"N
4,5 m'de sınıflandırma
Mobilyacılar sitesi sınır
CH
CL
GC
ML
SC
SM
0 150 300 600
M

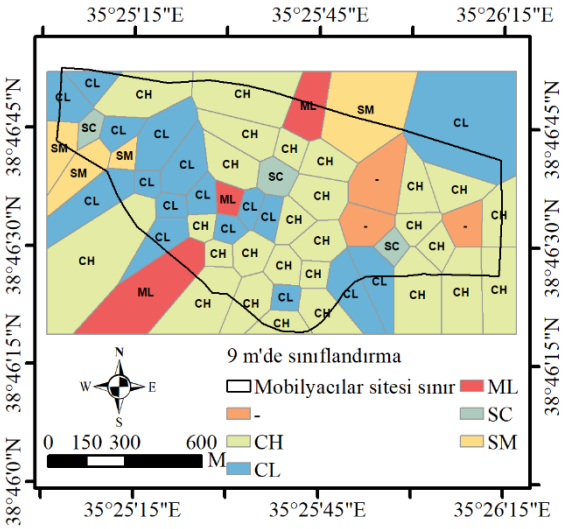
(b)


35°25'15"E
35°25'45"E
35°26'15"E
38°46'45"N
38°46'30"N
38°46'15"N
38°46'0"N
6 m'de sınıflandırma
Mobilyacılar sitesi sınır
-
CH
CL
SC
SM
0 150 300 600
M

(c)


35°25'15"E
35°25'45"E
35°26'15"E
38°46'45"N
38°46'30"N
38°46'15"N
38°46'0"N
7,5 m'de sınıflandırma
Mobilyacılar sitesi sınır
-
CH
CL
GC
ML
SC
0 150 300 600
M

(d)



(d)

Şekil 5. 3 m, 4.5 m, 6 m, 7.5 m ve 9 m deki zemin sınıfları

3. SIVILAŞMA ANALİZİ

Bu çalışmada sıvılaşma analizi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri baz alınarak yapılmıştır. 1/1/2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında sondaj sırasında yapılan standart penetrasyon deneyinde SPT-N değerlerine; örtü basıncı (CN), enerji oranı (CE), sondaj kuyusu çapı (CB), tij boyu (CR) ve numune alıcı türü (CS) düzeltmeleri yapılmıştır. 100 kPa'lık ve %45 enerji verimliliği için $N_{1,60}$ değerleri hesaplanmıştır.

Ayrıca ince dane oranının sıvılaşma direncine etkisini de göz önünde bulundurarak %5'ten fazla olduğu durumlarda $N_{1,60}$ değerleri kullanılarak eşdeğer temiz kum düzeltmesi için, ince dane oranına bağlı olan α ve β değerleri alınarak $N_{1,60f}$ hesaplaması yapılmıştır (Denk.(1), (2), (3), (4)).

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

$$\alpha = 0 \;\; ; \;\; \beta = 1.0 \qquad (\text{İDO} \leq \%5) \qquad (2)$$

$$\alpha = \exp[1{,}76 - (190/\text{İDO}^2)] \;\; ; \;\; \beta = 0{,}99 + \text{İDO}^{1{,}5}/1000 \qquad (\%5 < \text{İDO} < \%35) \qquad (3)$$

$$\alpha = 5.0 \;\; ; \;\; \beta = 1{,}2 \qquad (\text{İDO} \geq \%35) \qquad (4)$$

Denk. (5)'de verilen sıvılaşma direnci τ_R, moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının ($CRR_{M7.5}$), tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) ve efektif düşey gerilme (σ'_{vo}) ile çarpılması ile hesaplanmıştır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5}\, C_M\, \sigma'_{vo} \qquad (5)$$

Çevrimsel dayanım oranı denk. (6)'da verilen bağıntı ile hesaplanmıştır (Youd vd., 2001).

$$\mathrm{CRR}_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{(10N_{1,60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (6)$$

Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) Denk. (7)'deki bağıntı ile verilmiştir (Seed ve Idriss, 1971). Çalışmada tasarım deprem büyüklüğü 6 alınmıştır.

$$\mathrm{C_M} = \frac{10^{2,24}}{M_W^{2,56}} \quad (7)$$

Zeminde oluşan kayma gerilmesi τ deprem'de (Denk.8) hesaplanarak sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı belirlenmiştir.

$$\tau \text{ deprem} = 0.65\ \sigma vo\ (0.4SDS)\ rd \quad (8)$$

Gerilme azaltma katsayısı, rd incelenen derinliğe (z) bağlı olarak Denk.(9) ve (10)'daki bağıntı ile elde edilecektir(Liao ve Whitman, 1986).

$$rd = 1 - 0{,}00765z \qquad z < 9{,}15m \quad (9)$$

$$rd = 1{,}174 - 0{,}0267z \qquad 9{,}15m < z < 23m \quad (10)$$

TBDY'nde güvenlik sayısının (FS) hesabı Denk. (7) ile bulunmuştur. Genellikle 1,1'in altında olması durumu, zeminin sıvılaşma varlığını işaret etmekte olup bu değer oluşturulan haritalar için aynen kullanılmıştır.

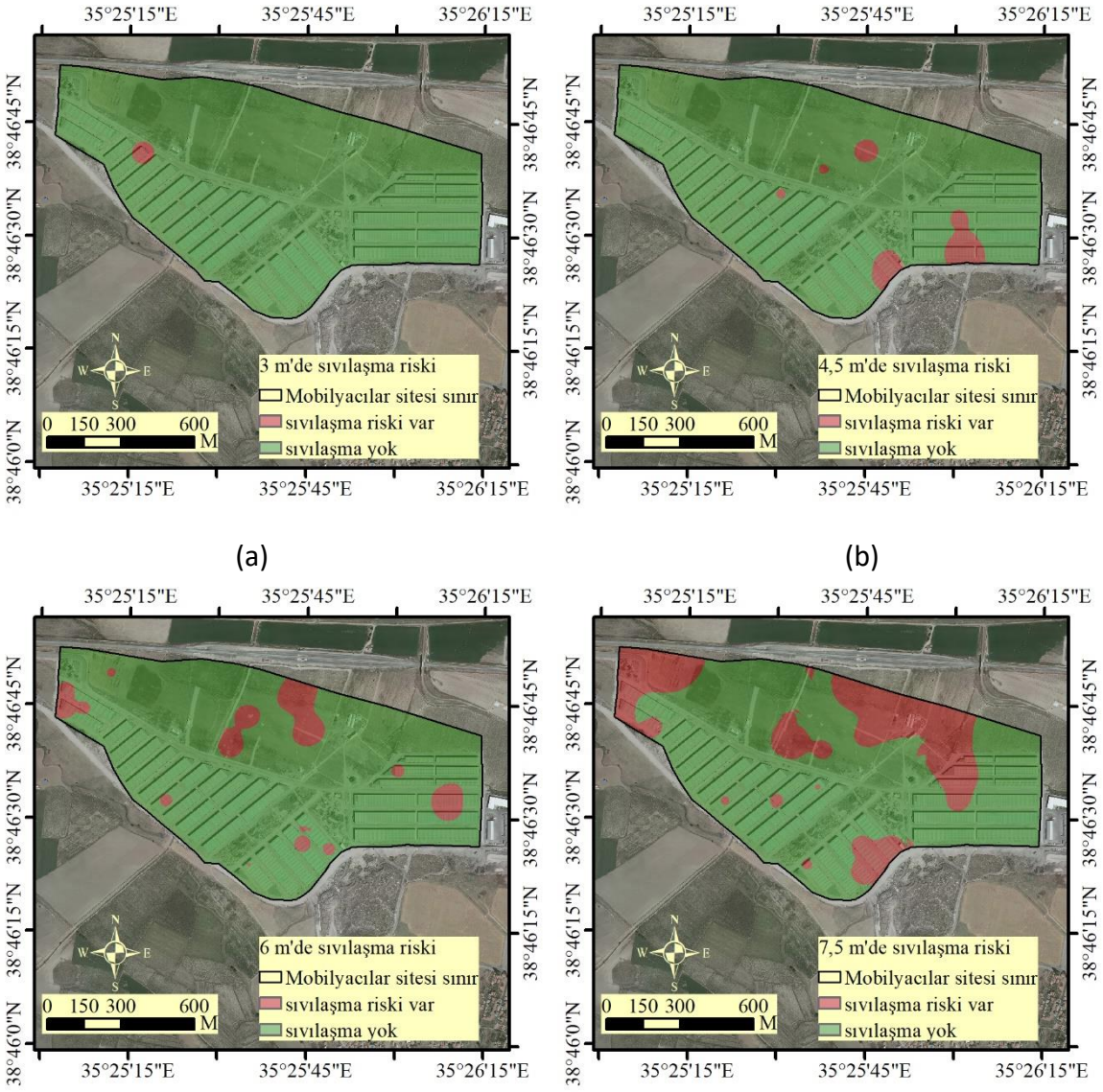
$$FS = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1{,}1 \quad (11)$$

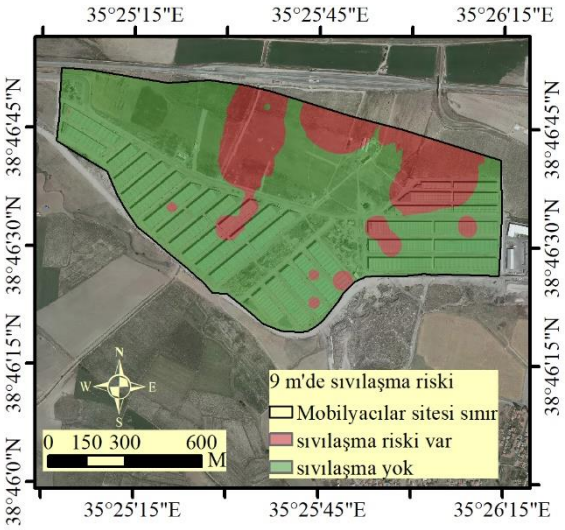
3.1. Mekansal Analiz

Mekansal analiz için Spatial Analysis modülünden IDW (Ters mesafe ağılıklı enterpolasyon yöntemi) kullanılmıştır. Bu yöntemde arama yarıçapı içindeki noktalar ya da istenilen nokta sayısına kadar bir yarıçap oluşturulur ve bu noktaların ortalama mesafe ağırlıklı değerleri hesaplanarak her nokta için veri tahmininde bulunur. IDW yönteminin temelinde yatan matematiksel ifade denklem (12)'de gösterilmiştir. Bu yöntemin doğruluğunu etkileyen en önemli parametre üssel parametre olan p olup d_i iki nokta arasındaki mesafeyi, n ise nokta sayısını ifade etmektedir. p değeri arttıkça ağırlıklandırma, mesafeyle ters orantılı olarak değişmektedir. Bu yüzden, yakın noktalar daha yüksek ağırlığa sahip olarak hesaplamalarda daha büyük etki oluşturmaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989).

$$\lambda \mathrm{i} = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p}} \quad (12)$$

Çalışma alanındaki 3 m, 4.5 m, 6 m, 7.5 m ve 9 m de sıvılaşma güvenlik sayısı referans alınarak sıvılaşma duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar incelendiğinde kırmızıyla renklendirilen bölgelerin sıvılaşma potansiyelinin olduğu gözlemlenmiştir. 4,5 m'den sonra özellikle çalışma alanının kuzey bölgesinde sıvılaşma potansiyeline rastlanılmıştır (Şekil.6(a, b, c, d)).





(e)

Şekil 6. Sıvılaşma derinlikle değişimi

4. SONUÇLAR

Çalışma alanı Kayseri-Oymaağaç Mahallesinin yeni yerleşime açılan 1,5 milyon m^2 'lik alanı seçilmiştir. Bu bölge hem yeraltı su seviyesinin yüksek olması hem de kumlu, siltli zemin sınıflarının yer alması nedeniyle 6 büyüklüğündeki bir deprem senaryosu düşünülerek sıvılaşma analizi yapılmıştır. SPT' ye bağlı yapılan analiz, Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanarak sunulmuştur. Genellikle bölgenin kuzey kesimlerinde sıvılaşma olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuca varılmasında özellikle sondaj çalışmaları sırasında kuzey bölgede yer yer kum bantlarına rastlanılmasının sebep olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında, geoteknik verilerin veri tabanı olarak arşivlenmesi ve oluşabilecek risklere bağlı alınabilecek önlemleri öngörmede gerekli bir yöntem olduğunu göstermektedir.
Küçük ölçekli yapılan bu çalışma, daha büyük alanlarda elde edilen verilerin CBS' de çalışılmasına örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

Abdullah, G. M., and Abd El Aal, A., Liquefaction hazards mapping along Red Sea coast, Jeddah city, Kingdom of Saudi Arabia, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 144, 106682, 2021.

Calzolari, C., Ungaro, F., and Vacca, A., Effectiveness of a soil mapping geomatic approach to predict the spatial distribution of soil types and their properties, Catena, 196, 104818, 2021.

Çetin Ö.K., Yunatıcı A.A., Çağlı S., Gülkokar T., Aktaş R., Altınışık F., Çelik S., Arabacı M.H. ve Çekmeceli M. (2004). Bursa şehri için CBS destekli olasılıksal sismik tehlike analizi ve

sıvılaşma risk haritası oluşturulması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül 2004 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Das, S., Ghosh, S., and Kayal, J. R., Liquefaction potential of Agartala City in Northeast India using a CBS platform, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78(4), 2919-2931, 2019.

Hartono, N., & Fathani, T. F. (2022). The Using of GIS to Delineate the Liquefaction Susceptibility Zones at Yogyakarta International Airport. Civil Engineering Dimension, 24(1), 62-70.

Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., (1989). An Introduction to applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc. New York, 561 pp.

Kang, B. J., Hwang, B. S., Bang, T. W., & Cho, W. J. (2022). Comparison of Liquefaction Assessment Results with regard to Geotechnical Information DB Construction Method for Geostatistical Analyses. Journal of the Korean Geotechnical Society, 38(4), 59-70.

Liao S.S.C., Whitman R.V., (1986), Overburden correction factors for SPT in sand. Journal of Geotechnical Engineering, 112(3): 373-377.

Seed, H.B. and Idriss, I.M., (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction On Potantial. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Philadelphia, 1-104.

Sönmezer, Y. B., Çeliker, M., ve Kılınç, M. Y., (2012). Kırıkkale ili bahçelievler ve fabrikalar mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 4(1): 33-40

Şen, G., ve Akyol, E., (2006). Coğrafi Bilgi Sistemi platformunda sıvılaşma potansiyel indeksi dağılımı: Gümüşler (Denizli) örneği, 311-320. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13-16 Eylül 2006, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 558s.

Youd T.L et al., (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(10): 817-832.