4. Ulusal
Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu

14 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

GGM4

KARASU ALÜVYONLARINDA SPT TABANLI SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE SIVILAŞMA SONRASI OTURMALARIN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

COMPARATIVE EVALUATION OF SPT-BASED LIQUEFACTION POTENTIAL AND POST-LIQUEFACTION SETTLEMENTS IN KARASU ALLUVIAL SOILS

Fatih YİĞİT[1], Prof. Dr. Sami ARSOY[2]

ÖZET

Karasu ilçe merkezindeki alüvyon zeminlerin deprem etkisi altındaki sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma sonrası oturma davranışı, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri kullanılarak incelenmiştir. Ham SPT darbe sayıları, ilgili düzeltmeler uygulanarak Idriss ve Boulanger (2008), NCEER (1997)–Tokimatsu ve Seed (1987) ve Çetin vd. (2004–2018) yaklaşımları ile değerlendirilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli belirlenen zemin tabakaları için ayrıca sıvılaşma sonrası oturma analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sıvılaşma potansiyelinin özellikle 1,5–6,0 m derinlik aralığındaki gevşek kumlu birimlerde yoğunlaştığını göstermiştir. Yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda, Idriss ve Boulanger (2008) yaklaşımı genel olarak daha yüksek oturma değerleri verirken, Çetin vd. (2004–2018) yaklaşımı daha düşük değerler üretmiş, Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemi ise iki yaklaşım arasında sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, üç yaklaşımın da saha genelindeki sıvılaşma eğilimleri bakımından birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Oturma açısından 5 cm değeri sınır olarak dikkate alındığında, bu değeri aşan profil sayısı Idriss ve Boulanger yönteminde 17, Tokimatsu ve Seed yönteminde 11 ve Çetin vd. yönteminde 8 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, SPT verilerine dayalı analizlerin doğruluğunun artırılması amacıyla değerlendirmelerin CPT/CPTu verileri ile desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Karasu, Sıvılaşma, Sıvılaşma Sonrası Oturma*

ABSTRACT

The liquefaction potential and post-liquefaction settlement behavior of the alluvial soils in the central district of Karasu were investigated using Standard Penetration Test (SPT) data. The raw SPT blow counts were corrected and evaluated using the approaches proposed by Idriss and Boulanger (2008), NCEER (1997)–Tokimatsu and Seed (1987), and Çetin et al. (2004–2018). Post-liquefaction settlement analyses were also performed for soil layers

[1] İnşaat Mühendisi, Kocaeli Üniversitesi, fthyigit54@gmail.com
[2] Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, sarsoy@kocaeli.edu.tr (Sorumlu yazar)

identified as susceptible to liquefaction. The results indicate that the liquefaction potential is concentrated particularly in loose sandy units within the 1.5–6.0 m depth range. Comparison of the methods showed that the Idriss and Boulanger (2008) approach generally yielded higher settlement values, whereas the Çetin et al. (2004–2018) approach produced lower values, with the Tokimatsu and Seed (1987) method yielding intermediate results. Nevertheless, the three approaches showed consistent results in terms of the overall liquefaction trends across the study area. Considering 5 cm as the limit value for settlement, the number of profiles exceeding this value was determined as 17 for the Idriss and Boulanger method, 11 for the Tokimatsu and Seed method, and 8 for the Çetin et al. method. Based on these results, it is recommended that SPT-based assessments be supported by CPT/CPTu data to improve the reliability of the analyses.

Keywords: *Karasu, Liquefaction, Post-Liquefaction Settlement*

1. GİRİŞ

Sakarya ili Karasu ilçesi, alüvyon zemin tabakaları üzerinde yer alması, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın bulunması ve büyük deprem üretme potansiyeline sahip Kuzey Anadolu Fayı'na yakın konumu nedeniyle deprem sırasında sıvılaşma açısından risk taşıyan yerleşim alanlarından biridir. Bu nedenle, bölgedeki sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi ve olası etkilerinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Karasu ilçesinin alüvyon zeminler üzerinde yer alan merkezi mahalleleri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada, parsel bazında hazırlanan zemin ve temel etüt raporlarında yer alan sondaj verileri kullanılarak zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiş, ayrıca olası sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek oturma miktarları farklı yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmada, Karasu ilçesi merkezi mahallelerinde sıvılaşma potansiyelini ortaya koymak ve olası sıvılaşma sonrası oturma miktarlarını değerlendirmek amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışmada, Karasu ilçesi merkezi mahallelerine ait parsel bazında hazırlanan zemin ve temel etüt raporlarından elde edilen SPT verileri kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan sondaj noktalarının konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan Idriss ve Boulanger (2008), NCEER (1997) ve Çetin vd. (2004) yaklaşımları uygulanmıştır. Her bir yöntemde, ilgili yaklaşıma özgü düzeltmeler ve hesap adımları dikkate alınarak sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir.

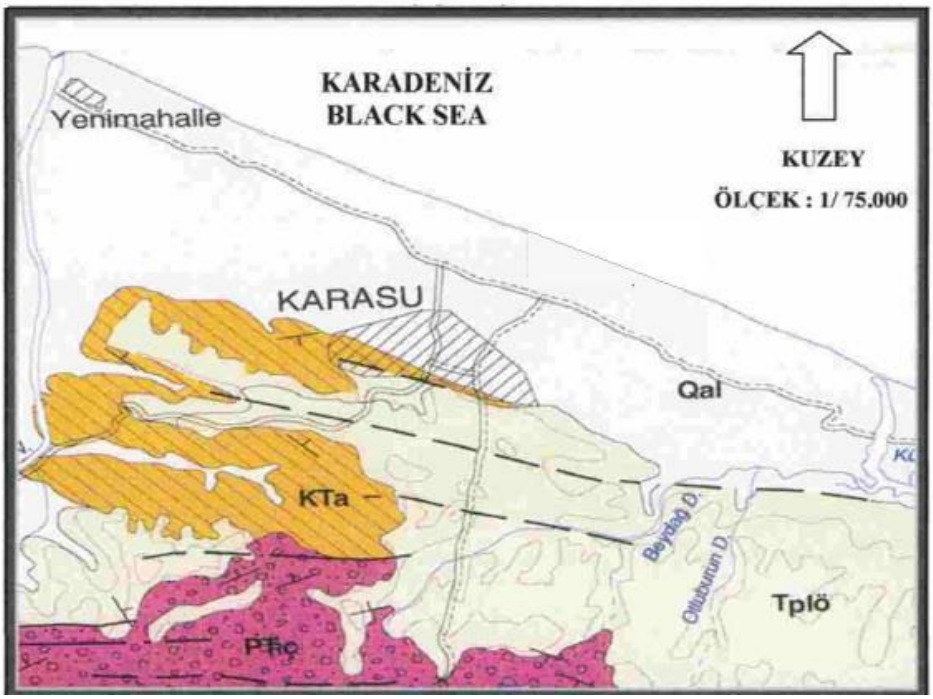
Sıvılaşma potansiyeli belirlenen zemin tabakaları için sıvılaşma sonrası oturma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Idriss ve Boulanger (2008) ile Çetin vd. (2004–2018) yaklaşımlarında yer alan oturma hesap yöntemleri kullanılmış, NCEER (1997) yaklaşımına göre belirlenen sıvılaşma potansiyeli için oturma analizleri Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Sondaj noktalarının harita üzerinde gösterimi

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Depremselliği

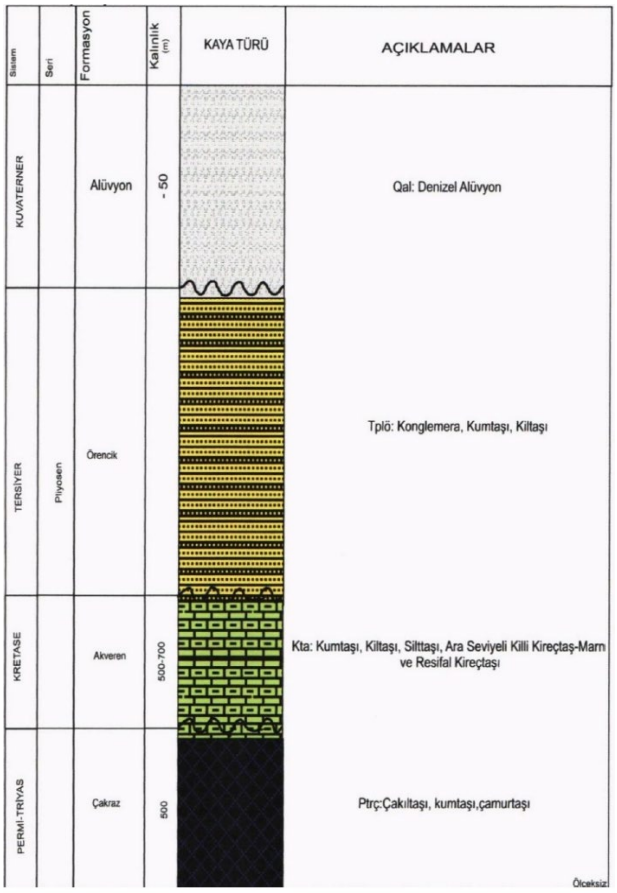
İnceleme alanında jeolojik birimler, litolojik ve mineralojik özellikleri dikkate alınarak dört ana grupta değerlendirilmektedir. Bölgenin jeolojik yapısı genel olarak kuzeyden güneye doğru farklılaşan birimlerin dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Karasu'nun kuzey kesiminde, kıyı boyunca ve ilçe merkezine uzanan geniş alanlarda alüvyonlar (Qal) yayılım göstermektedir.



Şekil 2. Karasu ilçesinin jeolojik haritası (Uçar Mühendislik,2018)

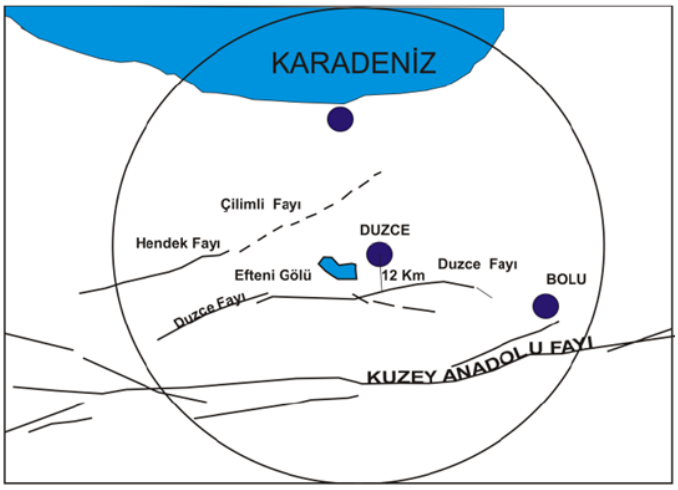
Alüvyonların güneyinde Akveren Formasyonu (KTa) yer alırken, güneydoğu kesimlerde Örencik Formasyonu (Tplö) , Akveren Formasyonu ve Örencik Formasyonunun güneyinde

ise Çakraz Formasyonu (PTrç) yer almaktadır. Çalışma alanının stratigrafik kesiti Şekil 3'de verilmiştir.



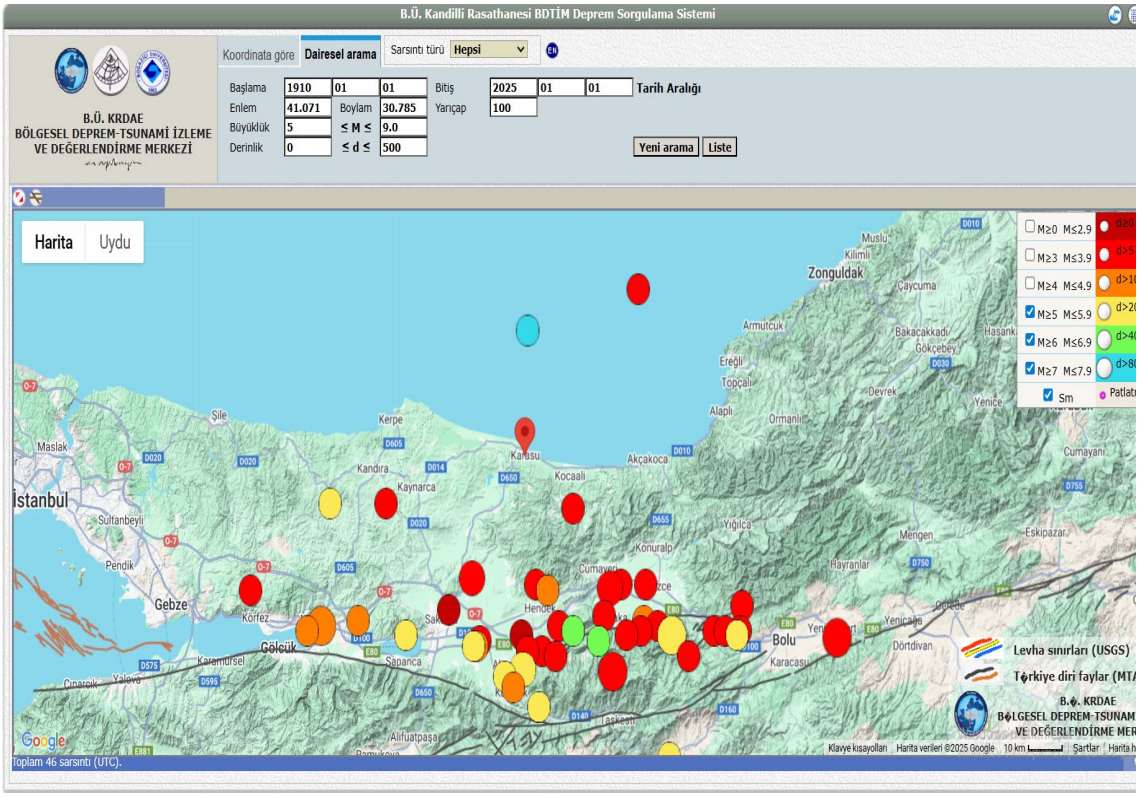
Şekil 3. Çalışma alanının ve çevresinin stratigrafik kesiti (Uçar Mühendislik,2018)

Karasu ilçesi, aktif fayların etkisinde yer almaktadır. Bölgenin depremselliğinde başta Kuzey Anadolu Fayı (KAF) olmak üzere Hendek ve Çilimli fayları önemli rol oynamaktadır. Karasu'yu etkileyebilecek başlıca faylar şematik olarak Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Karasu civarı diri fayların şematik gösterimi (Ateş,2023)

Karasu merkez alınarak 100 km yarıçap içerisinde meydana gelen M≥5.0 büyüklüğündeki depremler ise Şekil 5'te gösterilmiştir.



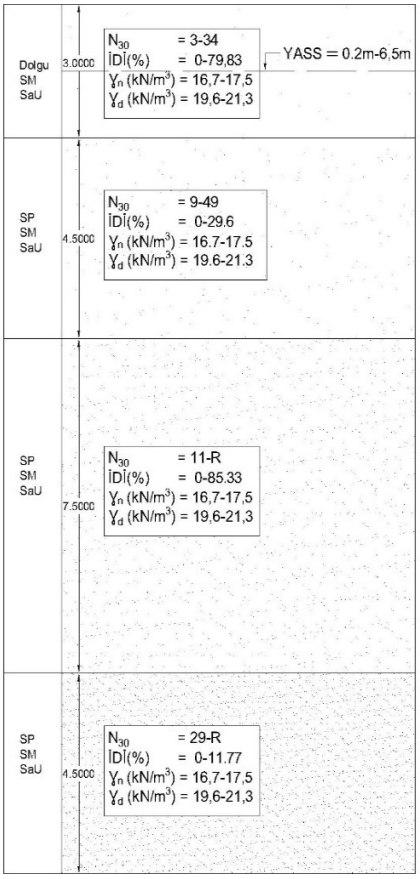
Şekil 5. Karasu ve civarında meydana gelmiş magnitüdü 5.00 ve daha büyük olan depremlerin dağılımı (URL-1)

2.2. Veri Seti ve Arazi Araştırmaları

Çalışmada kullanılan saha verileri, Karasu merkez mahallelerindeki parsel bazlı zemin etüt raporları ile 1/1000 Ölçekli Karasu Sahil Kesimi İlave Revizyon İmar Planına Esas Jeolojik-Geoteknik Etüt Raporundan Uçar Zemin Mühendislik firmasından temin edilmiştir. Çalışma alanını temsil edecek şekilde seçilen raporlardan; sondajlara ait mahalle, ada/parsel, koordinat, sondaj numarası, yer altı su seviyesi (YASS) ve SPT ham verileri ile laboratuvar deneylerinden elde edilen ince dane içeriği, zemin cinsi, doğal birim hacim ağırlık ve doygun birim hacim ağırlık değerleri alınarak veri seti oluşturulmuştur. Analizler, ham veriler üzerinde ilgili yöntemlere özgü düzeltmeler uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Toplam 104 sondaja ait veriler değerlendirilmiş ve çalışma alanının genel zemin koşullarını göstermek amacıyla idealize bir zemin profili Şekil 6'da oluşturulmuştur. Profil, tek bir sondajı değil, Karasu merkez mahallelerinde gözlenen genel tabakalaşma ve zemin davranışını temsil etmektedir. Sondajlardaki tabaka sürekliliği, zemin sınıfları ve SPT sonuçları birlikte değerlendirilerek profil; 0–3 m arası gevşek, 3–7,5 m arası orta sıkı, daha derin seviyelerde ise sıkı ve çok sıkı zeminler şeklinde tanımlanmıştır. Her tabaka için verilen SPT N_{30}, ince dane içeriği, doğal birim hacim ağırlık ve doygun birim hacim ağırlık değerleri, 104 sondajdan elde edilen minimum–maksimum aralıkları temsil etmektedir. Bazı sondajlarda kumlu ve siltli kumlu birimler içerisinde yerel ince dane geçişleri ve kil bantları gözlenmiştir. Bu seviyeler süreklilik ve kalınlıklarının sınırlı olması

nedeniyle ayrı bir tabaka olarak tanımlanmamış, ince dane içerikleri ilgili tabakaların parametre aralıklarına dahil edilmiştir.



Şekil 6. Çalışma alanını temsil eden idealize zemin profil kesiti

104 sondajda ölçülen YASS değerleri yaklaşık 0,2–6,5 m arasında değişmektedir. Bu değişimin, genel olarak düz topoğrafyadaki yerel kot farklılıklarıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle kesitte verilen YASS aralığı, mevsimsel değişimden ziyade sondaj noktalarındaki kot farklılıklarını temsil etmektedir. Temsili profil genel zemin koşullarını göstermek amacıyla kullanılmış, sıvılaşma analizleri ise her sondaj için kendi arazi ve zemin parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

SPT deneyleri, sondaj kuyularında genellikle 1,5 m aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde standart numune alıcı kullanılmış, tij uzunluğu yaklaşık 1,5 m ve şahmerdanın otomatik düşülü olduğu, enerji oranının ise yaklaşık %60 (ER≈0,60) olduğu raporlanmıştır. Analizlerde buna karşılık CE=1 kabul edilmiştir. Sondaj delgi çapı 200 mm olarak alınmış ve delgi çapı ile diğer saha koşullarının ham SPT N değerleri üzerindeki etkileri, ilgili yöntemlere ait düzeltmelerle analizlere dahil edilmiştir.

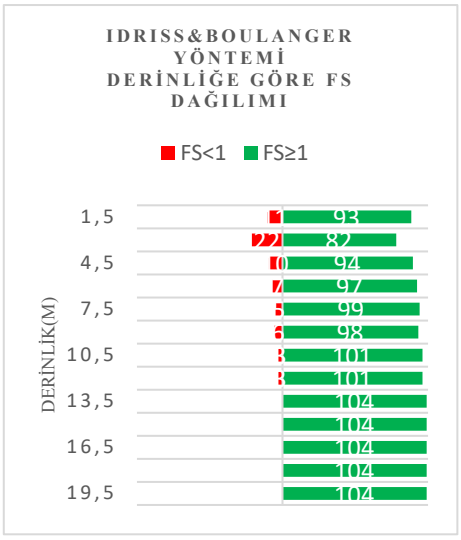
AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak Kabakoz, Yeni, İncilli, Yalı ve Aziziye mahallelerindeki seçilmiş sondaj noktaları için PGA değerleri belirlenmiştir. Bu değerler 0,286–0,298 g arasında değişmiş ve güvenli tarafta kalmak amacıyla tüm analizlerde PGA=0,30 g kabul edilmiştir. Sıvılaşma analizlerinde deprem büyüklüğü çalışma alanına etkiyen geçmiş depremler göz önüne alınarak M_w 7.5 alınmıştır. Birim hacim ağırlığı ve doygun birim hacim ağırlığı verisi bulunmayan numunelerde ise mevcut verilerin ortalamaları esas alınarak uygun değerler kullanılmıştır.

3. BULGULAR

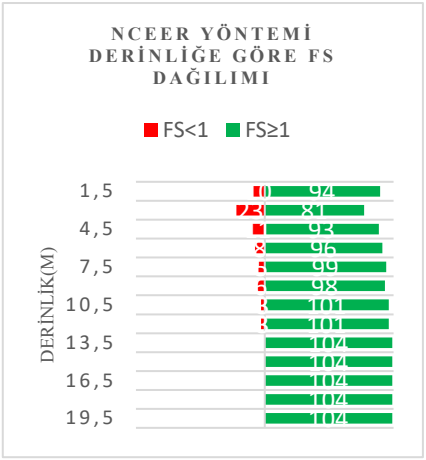
Parsel bazında elde edilen SPT verileri kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, çalışma alanındaki sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma sonrası oturma miktarları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma sonrası oturmalar olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmiştir.

3.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi

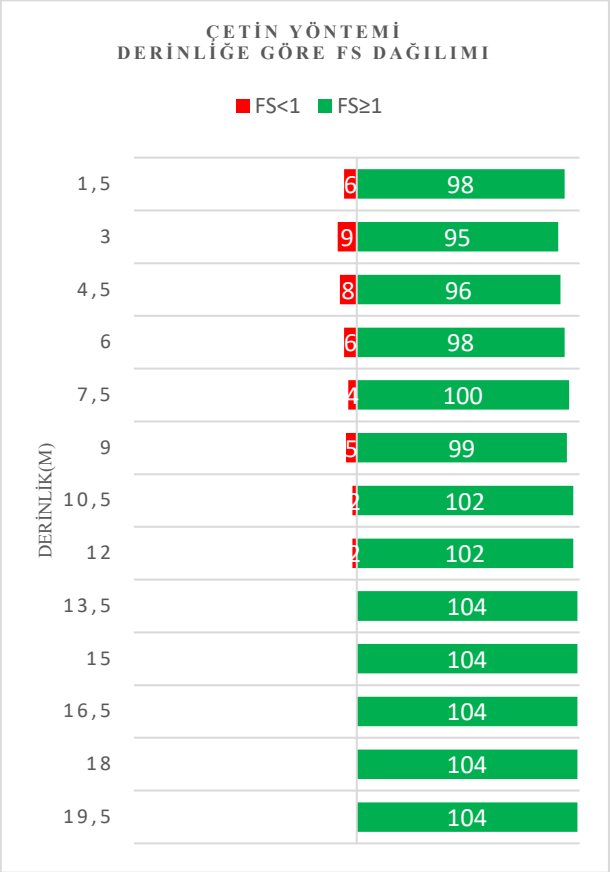
Üç farklı yönteme göre gerçekleştirilen sıvılaşma analizleri sonucunda, sıvılaşma potansiyelinin büyük oranda 1,5–6,0 m derinlik aralığında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Özellikle 3.0 m derinlikte FS<1 olan zemin tabakalarının sayısının en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Derinliğin artmasıyla birlikte FS≥1 olan tabaka sayısı artmış, 9,0 m ve daha derin seviyelerde ise sıvılaşma potansiyelinin büyük ölçüde ortadan kalktığı belirlenmiştir. Üç yöntemin benzer bir dağılım sergilemesine karşın, Idriss ve Boulanger (2008) yaklaşımı daha fazla sayıda kritik tabaka belirlerken, Çetin vd. (2004) yöntemi daha yüksek güvenlik katsayıları vermiştir. Derinliğe göre güvenlik katsayısı dağılımları Şekil 7-9'da sunulmuştur.



Şekil 7. Idriss ve Boulanger (2008) yöntemi derinliğe göre FS dağılımı



Şekil 8. NCEER (1997) yöntemi derinliğe göre FS dağılımı



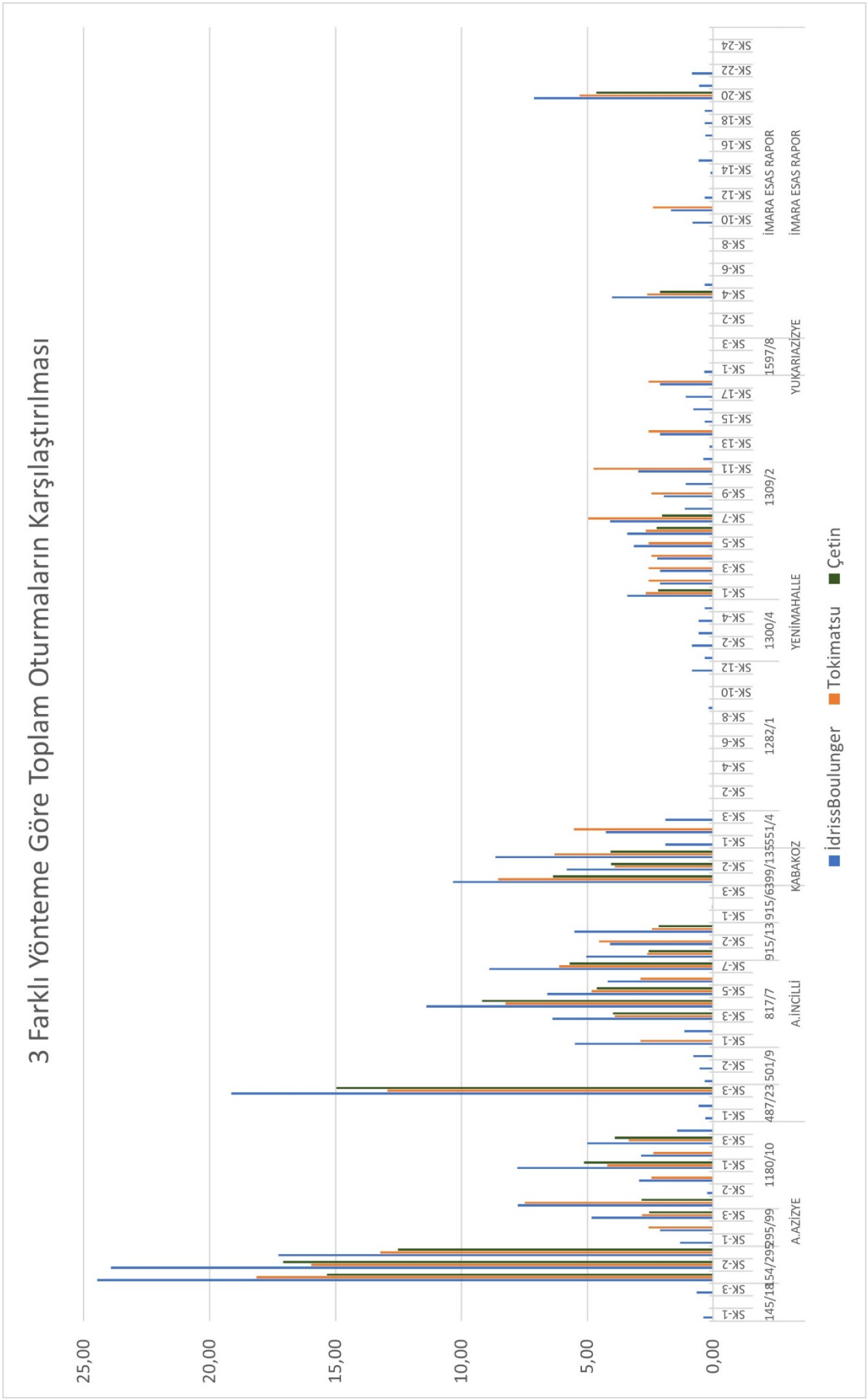
Şekil 9. Çetin vd. (2004) yöntemi derinliğe göre FS dağılımı

3.2. Sıvılaşma Sonrası Oturmaların Değerlendirilmesi

Sıvılaşma potansiyeli belirlenen zemin tabakaları için toplam oturma değerleri üç farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, Idriss ve Boulanger (2008) yönteminin genel olarak daha yüksek oturma değerleri ürettiğini, Çetin vd. (2004–2018) yönteminin ise daha düşük oturma değerleri verdiğini göstermektedir. Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemi ise iki yaklaşım arasında sonuçlar vermiştir. Yöntemlere göre toplam oturma değerlerinin sondaj ve mahalleler bazında karşılaştırması Şekil 10'de, sıvılaşma sonrası oturma değerlerinin sınıflandırılması ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Üç farklı yönteme göre profillerin toplam oturmalarının karşılaştırılması

Oturma(cm)	İdriss&Boulunger	Tokimatsu	Çetin
0	26	66	82
0-5	61	27	14
5-10	11	7	4
10-15	2	2	2
15-20	2	2	2
20-25	2	0	0
>25	0	0	0



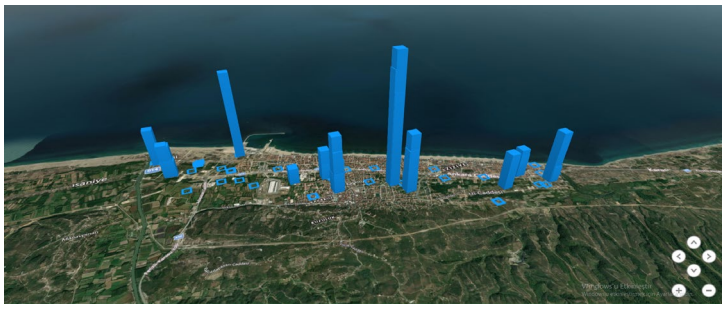
Şekil 10. Üç yönteme göre elde edilen toplam oturma değerlerinin karşılaştırılması

Sıvılaşma sonrası oturma sonuçlarının mekânsal dağılımı, sondaj noktalarının koordinatları ve hesaplanan oturma değerleri kullanılarak Microsoft Excel Power Map aracılığıyla oluşturulmuştur. Haritalarda her sondaj noktası kendi hesaplanan oturma değeri ile gösterilmiş, değerlerin mekânsal olarak daha kolay karşılaştırılabilmesi amacıyla renk ve sütun yüksekliğinden yararlanılmıştır. Çalışmada sondaj noktaları arasındaki değerleri tahmin etmek amacıyla herhangi bir interpolasyon veya grid tabanlı yöntem kullanılmamıştır. Bu nedenle haritalar, yalnızca hesaplanan oturma değerlerinin sondaj noktalarındaki konumsal dağılımını göstermekte olup, sondaj bulunmayan bölgeler için doğrudan bir oturma tahmini ifade etmemektedir.

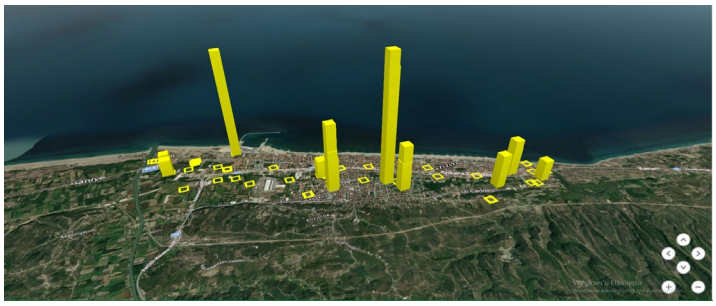
Sıvılaşma sonrası oturma analizlerinden elde edilen sonuçların harita üzerinde sütun grafiği ile gösterimi Şekil 11-13'de sunulmuştur.



Şekil 11. Idriss Boulenger (2008) yöntemine göre oturmaların harita üzerinde gösterimi

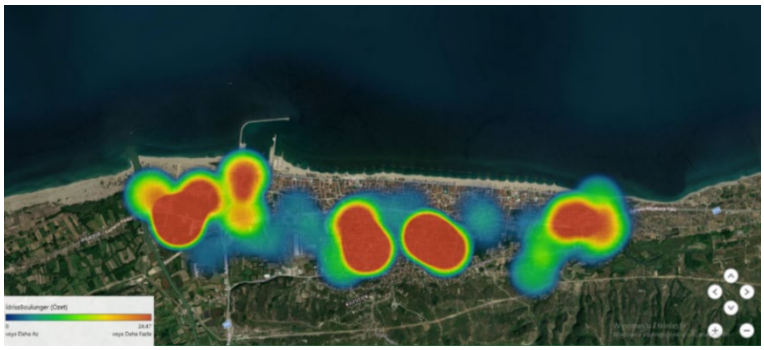


Şekil 12. NCEER-Tokimatsu yöntemine göre oturmaların mekânsal dağılım haritası

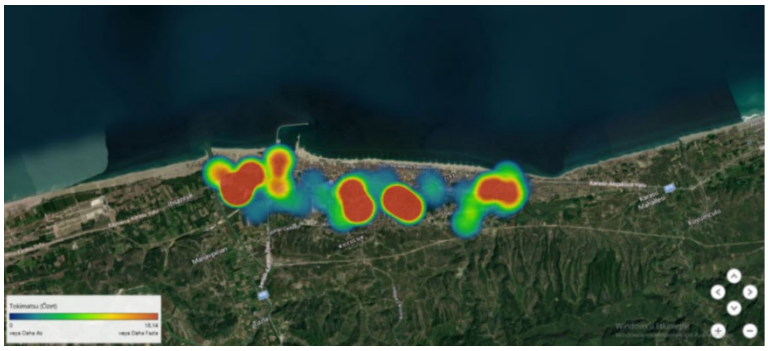


Şekil 13. Çetin (2009) yöntemine göre oturmaların mekânsal dağılım haritası

Sıvılaşma sonrası oturma analizlerinden elde edilen sonuçların mekansal dağılımı Şekil 14-16'da sunulmuştur.



Şekil 14. Idriss ve Boulanger yöntemine göre oturmaların mekânsal dağılım haritası



Şekil 15. NCEER-Tokimatsu yöntemine göre oturmaların mekânsal dağılım haritası



Şekil 16. Çetin yöntemine göre oturmaların mekânsal dağılım haritası

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Karasu ilçesi merkezi mahallelerinde yer alan alüvyon zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ile olası sıvılaşma sonrası oturma miktarları, Idriss ve Boulanger (2008), NCEER (1997)–Tokimatsu ve Seed (1987) ve Çetin vd. (2004–2018) yaklaşımları kullanılarak değerlendirilmiştir

Analiz sonuçları, sıvılaşma potansiyelinin ağırlıklı olarak 1,5–6,0 m derinlik aralığında yoğunlaştığını, özellikle 3,0 m derinlik civarında daha belirgin olduğunu göstermiştir. Derinliğin artmasıyla birlikte güvenlik katsayılarının yükseldiği ve sıvılaşma potansiyelinin azaldığı belirlenmiştir. Üç yöntemin de sıvılaşma eğiliminin derinliğe bağlı değişimi açısından genel olarak benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sıvılaşma sonrası oturma analizlerinde yöntemler benzer eğilimler ortaya koymakla birlikte, hesaplanan oturma büyüklüklerinde farklılıklar gözlenmiştir. En yüksek oturma

değerleri Idriss ve Boulanger (2008) yöntemiyle, en düşük oturma değerleri ise Çetin vd. (2004–2018) yöntemiyle elde edilmiştir. Skempton ve MacDonald (1956), granüler zeminler üzerinde radye temelli yapılarda maksimum toplam oturma değerinin 40–65 mm aralığında olması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, söz konusu aralık dikkate alınarak sınır değer 5 cm olarak kabul edilmiştir. Buna göre, sıvılaşma sonrası oturma miktarının 5 cm'yi aştığı profil sayısı Idriss ve Boulanger yönteminde 17, Tokimatsu ve Seed yönteminde 11 ve Çetin vd. yönteminde 8 olarak belirlenmiştir. Bu farklılık, kullanılan oturma hesap yönteminin değerlendirme sonuçları üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular, çalışma alanının genelinde sıvılaşma potansiyelinin sınırlı olduğunu, ancak belirli bölgelerde ve özellikle sığ alüvyon tabakalarda sıvılaşma kaynaklı oturmaların mühendislik açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, sıvılaşma potansiyeli bulunan alanlarda yapılaşma öncesinde ayrıntılı zemin araştırmalarının yapılması ve SPT tabanlı değerlendirmelerin güvenilirliğinin artırılması amacıyla CPT/CPTu verileri ile desteklenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ateş, A. (2023). Prusias Ad Hypium Roma Dönemi Antik Su Kemerleri ve Tarihi Depremlerde Yok Oluşları. Gazi Journal of Engineering Sciences, 9(2), 347-359. DOİ:10.30855/GMBD.0705076

Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, *130*(12), 1314-1340.

Çetin, K. Ö., Bilge, H. T., Wu, J., Kammerer, A. M., & Seed, R. B. (2009). Probabilistic model for the assessment of cyclically induced reconsolidation (volumetric) settlements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(3), 387-398.

Çetin, K. O., Seed, R. B., Kayen, R. E., Moss, R. E. S., Bilge, H. T., Ilgaç, M., & Chowdhury, K. (2018). Examination of differences between three SPT-based seismic soil liquefaction triggering relationships. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 113, 75-86.

Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Monograph.

Lee, C. Y. (2007). Earthquake-induced settlements in saturated sandy soils. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(4), 6-13.

SKEMPTON, A. W., & MACDONALD, D. H. (1956). THE ALLOWABLE SETTLEMENTS OF BUILDINGS. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 5(6), 727–768

Tokimatsu, K., & Seed, H. B. (1987). Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking. Journal of Geotechnical Engineering, 113(8), 861-878.

Uçar Mühendislik. (2018). Sakarya ili – Karasu ilçesi, Yenimahalle, Yalı Mahalle ve Aziziye Mahalleleri sınırları içerisinde kalan alanın 1/1000 ölçekli Karasu sahil kesimi ilave revizyon imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu. Sakarya.

URL-1: http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/, (Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2025)

Youd, T. L., & Idriss, I. M. (1997). Proceeding of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils.