

# GEOTEKNİK & JEOFİZİK SAHA ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARININ GEOMEKANSAL VERİ YÖNTEMLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

## EVALUATION OF GEOTECHNICAL & GEOPHYSICAL SITE INVESTIGATION STUDIES USING GEOSPATIAL DATA METHODS

Tahir YILDIZ<sup>1</sup>, Ersin DAĞ<sup>2</sup>, Aziz Gökhan ÇAKAN<sup>3</sup>, Özden AFACAN<sup>4</sup>

### ÖZET

Geomekansal verilerin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı programlar kullanılarak saha karakterizasyon çalışmalarının değerlendirilmesinde kullanılması son yıllarda yaygınlık kazanmıştır. Bu yöntem, özellikle geoteknik ve jeofizik yöntem sonuçlarının birbiriyle ilişkilendirilmesi, etüt çalışmalarının yürütüldüğü zemin ve kaya tabakalarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin derinlik bazlı ortaya konması hususlarında faydalı bilgiler sunmaktadır. Zemin etüt çalışmalarından elde edilen nokta bazlı dataların görselleştirilmesi sayesinde, proje sahası genelinde anomalilerin tespiti, inşaat ve tasarım safhasında karşılaşılabilecek majör risklerin lokasyon bazlı olarak belirlenmesinde faydalıdır. Geomekansal veri analizinin görselleştirilmesinin, heyelan analizlerinde, karstik boşluk tespitinde, yüzeysel ve derin ölçekte zemin & kaya tabakalarının mukavemet özelliklerinin açıklanmasında yaygın uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında geomekansal veri yöntemleri kullanılarak zemin tabakalarının derinliğe bağlı mekanik özelliklerinin görselleştirilmesi, elektrik rezistivite & korozyon sınıf tanımlamaları, ısı rezistivite ve iletkenlik özelliklerinin açıklanması, sismik kırılma deney sonuçlarından hareketle kazılabilirlik özelliklerinin lokasyon ve derinlik bazlı görselleştirilmesi gibi çalışmalardan örnekler sunulması hedeflenmiştir. Ortaya konulan örneklerden hareketle, geomekansal veri modelleme yönteminin saha karakterizasyon çalışmalarında farklı uygulama alanları bulabileceğine dair ileri safhalara yönelik öneri ve tavsiyeler sıralanmıştır.

*Anahtar Kelimeler: CBS, geomekansal, modelleme, zemin etüt, jeofizik*

### ABSTRACT

The use of geospatial data in the interpretation of site characterization studies through Geographic Information System (GIS)-based software has become increasingly prevalent in recent years. This approach is particularly beneficial in presenting and visualizing the results of geotechnical and geophysical test results by physical and mechanical properties of soil

<sup>1</sup> Yer Bilimleri Departmanı Direktör Yardımcısı, Assystem, [tyildiz@assystem.com](mailto:tyildiz@assystem.com) (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Jeofizik Yüksek Mühendisi, Assystem, [edag@assystem.com](mailto:edag@assystem.com)

<sup>3</sup> Yer Bilimleri Departmanı Direktör Yardımcısı, Assystem, [agcakan@assystem.com](mailto:agcakan@assystem.com)

<sup>4</sup> Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Departman Müdürü, Assystem, [oafacan@assystem.com](mailto:oafacan@assystem.com)

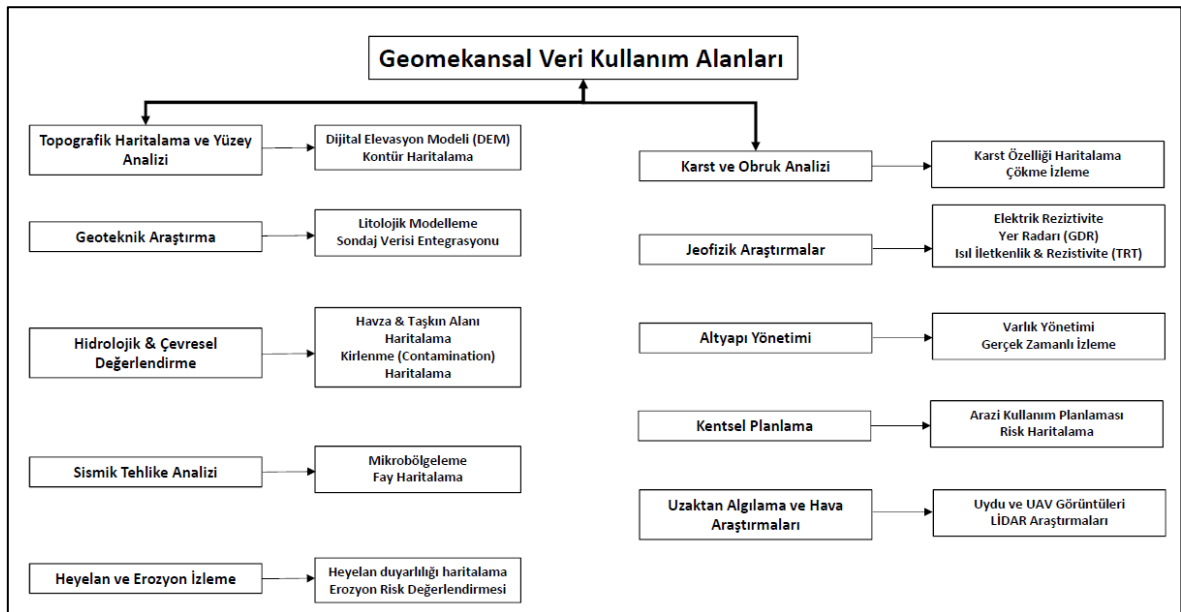


and rock layers varying with depth. Visualizing point-based data obtained from soil investigations facilitates the detection of anomalies across the project site and the identification of major risks for further construction and design phases. The visualization of geospatial data analysis finds widespread applications in landslide analysis, karst cavity detection, and the explanation of strength properties of soil and rock layers at both surface and deeper levels. Within the scope of this study, examples are provided on the use of geospatial data methods to visualize the mechanical properties of soil layers as a function of depth, electrical resistivity and corrosion classification, thermal resistivity and conductivity characteristics, and the visualization of excavatability properties based on location and depth derived from seismic refraction test results. Based on the presented examples, recommendations and suggestions are outlined for the potential application of geospatial data modeling methods in site characterization studies

*Keywords: GIS, geospatial, modelling, site investigation, geophysical*

## 1. GİRİŞ

Geomekansal veri yöntemleri, geoteknik ve jeofizik saha araştırmaları sonucunda toplanan verilerin proje sahaları bazında görselleştirilmesi noktasında tasarımcılara oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır. Veri modellemesinin nokta bazlı ve derinlikle değişir nitelikte sonuçlar ortaya koyması, farklı mekanik ve fiziksel karakterlere sahip litolojik birimlerin mühendislik davranışının anlaşılmasına ışık tutmaktadır. Geomekansal veri modelleme sonuçlarının coğrafi bilgi sistemi tabanlı programlarla birlikte değerlendirilmesi sonucunda, analize tabi tutulan verinin tipine göre faydalı çıktılar ortaya konmaktadır. Geomekansal veri yöntemlerinin temel kullanım alanları Şekil 1'de özetlenmektedir.



Şekil 1. Geomekansal veri kullanım alanları



## 2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Geomekansal veri analiz metotlarının geoteknik ve jeofizik saha karakterizasyon çalışmalarına adaptasyonu aşağıdaki başlıklar altında ele alınabilir.

### 2.1 Mekansal Trend Analizleri:

#### Fiziksel parametreler:

Su muhtevası, birim hacim ağırlık, Atterberg limitleri, ince dane içeriği, yer altı su seviyesi gibi parametrelerin sondaj lokasyonu bazında görselleştirilerek proje sahalarının fiziksel açıdan genel davranışının tariflenmesi bu çalışma grubu altında yer almaktadır. (Abdulraheem ve diğ. 2019,)

#### Mekanik parametreler:

Standard penetrasyon testi (SPT), konik penetrasyon testi (CPT) gibi deneylerden elde edilen verilerin, deney lokasyonu ve derinlik bazında 2-3 boyutlu modellenmesi bu çalışma grubu altında yer almaktadır.

#### Dinamik parametreler:

Sismik kırılma ve MASW deneyinden elde edilen basınç & kayma dalgası hızlarının nokta ve derinlik bazlı 2-3 boyutlu modeller kullanılarak görselleştirilmesi bu başlık altında değerlendirilebilir. Kayma dalga hızlarının noktasal bazda modellenmesi, proje sahalarının zemin sınıflarının belirlenmesinde destekleyici veriler sunmaktadır (Civelekler ve Pekkan (2022).

#### Jeofizik parametreler:

Kuyu içi (P-S Logging, cross-hole) ya da yüzey jeofiziği (Elektrik rezistivite tomografi) yöntemlerle elde edilen rezistivite, kayma dalgası hızı, kayma modülü gibi parametrelerin nokta ve derinlik bazlı 2-3 boyutlu modeller kullanılarak görselleştirilmesi bu başlık altında değerlendirilir.

#### Termal parametreler:

Termal iletkenlik veya rezistivite parametrelerinin noktasal ve derinlik bazlı 2-3 boyutlu modeller kullanılarak görselleştirilmesi bu başlık altında değerlendirilir. Veri entegrasyonu sahada ya da laboratuvarında yapılan termal iletkenlik deney sonuçları kullanılarak yapılabilir.

### 2.2 Çapraz Doğrulama (Cross-Validation) Analizleri

#### Topoğrafya & Geoteknik Araştırmalar:

Topografik çalışmalardan elde edilen dijital yükseklik datasının sondajlardan elde edilen litolojik parametelerle birlikte değerlendirilmesine dayanır. Heyelan risk çalışmaları, kaya elevasyonlarının arazi yükseklik verisiyle entegrasyonu bu kategoriye örnektir (Sassa ve diğ. (2005)).



### Jeofizik & Geoteknik Araştırmalar:

Düşey elektrik rezistivite araştırmasından elde edilen rezistivite değerlerinin, rezistivite değerlerinde anomali yaratan ince dane içeriği, su muhtevası, yeraltı su seviyesi gibi fiziksel zemin özellikleri ve litolojik koşulların birlikte değerlendirilmesine dayanan araştırmalar bu kategoride değerlendirilir. Kuyu içi jeofizik deney sonuçlarından elde edilen kayma modülü ( $G_{max}$ ) değerlerinin, konik penetrasyon deneyi ile (CPT) ölçülen uç direnci ( $q_c$ ) ve efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) parametreleri kullanılarak elde edilen kayma modülü değerleriyle kıyaslaması buna örnek olarak verilebilir (Rix ve Stokoe, (1991), Mayne ve Rix (1993)).

## 3. İNTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Yer bilimleri çalışmalarında geomekansal data entegrasyonunun yukarıda özetlenen çalışma alanlarında, CBS tabanlı uygulamaların interpolasyon olanakları da ölçümlerin bütünlüğü sonuçlar vermesi açısından büyük avantaj sağlamaktadır. interpolasyon yönteminin seçimi ve sonuçların gerçekçiliğinde, saha özelinde toplanan mevcut veri setinin detaylı olmasının payı büyüktür.

Uygun interpolasyon yönteminin seçiminde, elde edilmek istenen modelin 2 ya da 3 boyutlu olması, proje sahasının büyüklüğü, proje sahasına oranla ölçümleme sıklığı, ölçümlenen değerlerinin sahanın genelinde 2 ve 3 boyutlu olarak homojen&heterojen bir yapıda olması kritik rol oynamaktadır. Pratikte, saha genelini temsil edecek yatay ve düşey aralıkta, grid şablonuna sahip bir veri setinden, 2 boyutlu ve gerçekçi geomekansal veri analizleri yapılabilmektedir. Başlıca interpolasyon yöntemleri Kriging, doğal komşu (Natural Neighbor) , ters mesafe ağırlıklı interpolasyon (Inverse Distance Weighting (IDW)) olarak sıralanabilir. Çalışma kapsamında en çok başvurulan ve kullanımı en yaygın olan Kriging metodu ayrı bir başlık altında detaylandırılmıştır.

### 3.1 Kriging Metodu

Kriging interpolasyon yöntemi, modelde kullanılacak verilerin mesafe bazlı korelasyonuna dayanır. Bu şekilde her ölçüm noktasında ortalama ağırlıklar hesaplanarak interpolasyon değerleri elde edilir. Bu yöntem geoteknik ve jeofizik deneylerden elde edilen parametrelerin iki boyutlu mekansal değişimini ortaya koymakta etkin bir yoldur. (Olinic ve diğ. (2024)).

## 4. GEOMEKANSAL VERİ ANALİZ SONUÇLARINA AİT ÖRNEKLER

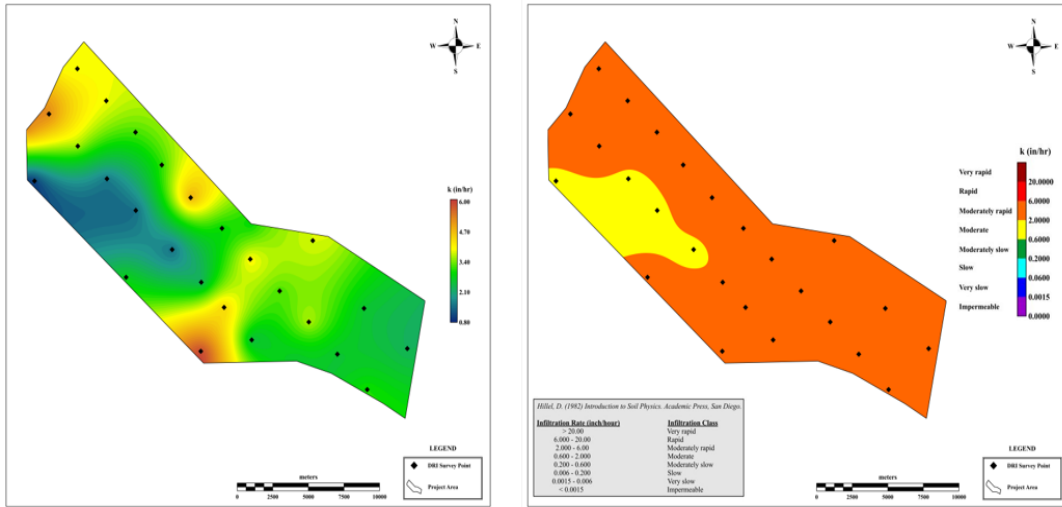
Bu başlık altında jeofizik ve geoteknik yöntemlerle yürütülen saha karakterizasyon çalışmalarının, Bölüm 2 ve Bölüm 3'te tariflenen analiz ve interpolasyon yöntemleri kullanılarak geomekansal veri analizleriyle görselleştirilmesinden örnekler sunulacaktır.



#### 4.1. Mekansal Trend (Spatial Trend) Analiz Örnekleri

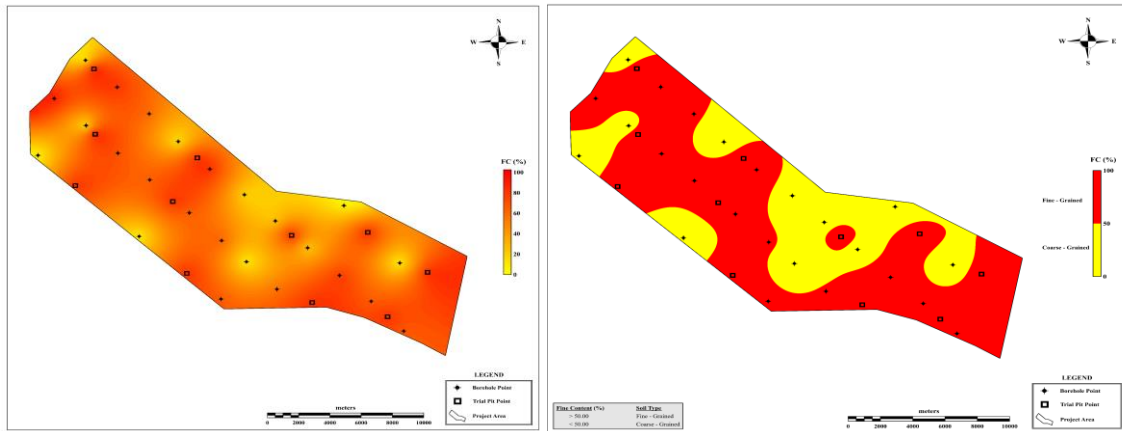
##### Fiziksel Özellikler: Filtrasyon & Dane Çapı Dağılımı

Mekansal trend analizlerinin zeminlerin fiziksel özelliklerinin görselleştirilmesinde kullanımına örnek olarak, dane çapı dağılımı ve filtrasyon sınıflama örnekleri sunulmuştur. Bir yenilenebilir enerji sahasının saha karakterizasyon çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen DRI (Double Ring infiltration) test sonuçları, Hillel (1982) tarafından önerilen filtrasyon sınıflarına göre gruplanmıştır ve nokta bazlı görselleştirme oluşturulmuştur (Şekil 2). 2 boyutlu geomekansal veri modellemesinde Kriging interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu doneler proje sahalarının hidrolojik analizlerinde faydalı bir veri seti olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2. Arazi filtrasyon değerlerinin geomekansal modellenmesi ve saha sınıflaması.

Yine aynı bölgede, zemin tabakalarının fiziksel özelliklerinin tariflenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, türbin temellerinin teşkil edileceği seviyelerde yapılan dane çapı dağılımı sonuçları noktasal bazlı veriye dayalı görselleştirilmiştir (Şekil 3). Bu görselle, mühendislik davranışının ince ya da kaba daneli tabakalar tarafından kontrol edildiği bölgelerin öncül tespiti ortaya konmuştur.

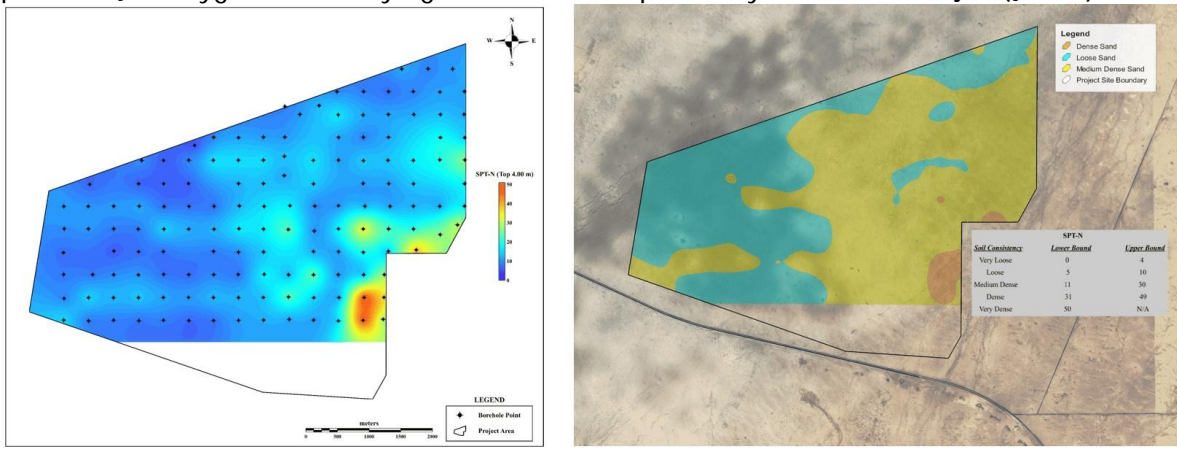


Şekil 3. Dane çapı dağılımına göre bölgesel litolojik sınıflandırma örneği



### Mekanik Özellikler: SPT & Rölatif Sıklık

Bir yenilenebilir enerji sahasında yürütülen zemin etüt çalışmasından elde edilen standart penetrasyon test (SPT) sonuçları, zemin tabakalarının mekanik özelliklerinin tespitinde kullanılacaktır. Proje sahasına solar panellerin taşıyıcı sistemi olarak çakma çelik profil kazıklar teşkil edilecektir. Bu bağlamda, kazık kapasitesi tasarımı, kullanılacak profil tipleri boylarının belirlenmesi zemin tabakalarının mekanik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Tasarıma esas olarak, potansiyel kazık gömme derinliği boyunca ortalama SPT-N değerleri her araştırma noktası için hesaplanmıştır. Bu ortalama SPT-N değerleri lokasyon bazlı mekansal veri analiziyle görselleştirilerek, Peck (1974) tarafından tariflenen rölatif sıklık&SPT ilişkisi bölgelemede kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda, gevşek&yumuşak zemin tabakalarının hakim olduğu bölgeler tahmin edilmiştir. Proje safhasında uygun çakma kazık profili seçimi, uygun soket boyu gibi hususlarda optimizasyon hedeflenmiştir (Şekil 4).



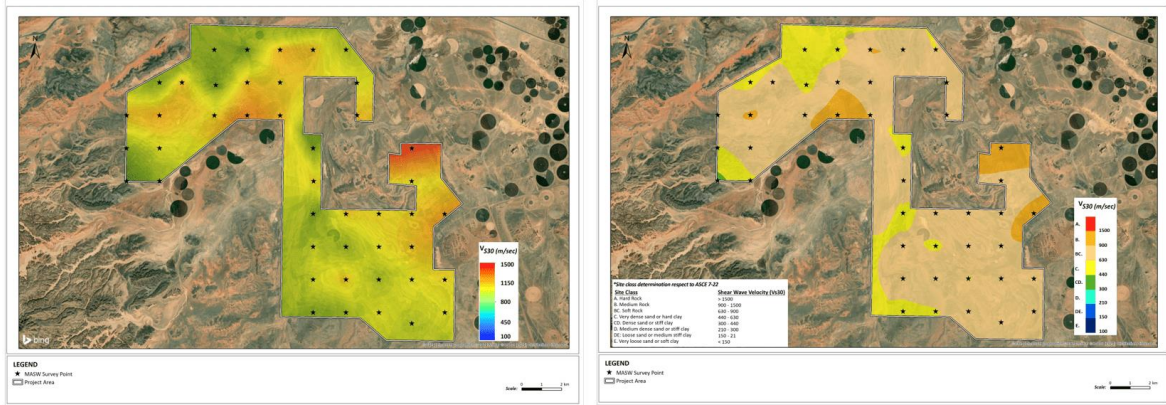
Şekil 4. SPT-N değerleri & Rölatif Sıklık geomekansal modellemesi

### Dinamik Parametreler: Kayma Dalgası Hızı

Proje sahalarında yürütülen jeofizik ve geoteknik zemin etüt çalışmaları sonucunda belirlenen zemin sınıfı, sahaların kullanım amacına ve yer alacak yapı özelliklerine bağlı olarak yapısal tasarımcıların kullandığı önemli bir parametredir. Zemin sınıfı tayininde zeminin litolojik tarifi, mekanik ve fiziksel karakteristiğinin yanında, kuyu içi ya da yüzeysel jeofizik yöntemlerle elde edilen kayma dalgası hızı gibi dinamik özellikleri de önem arz etmektedir. TBDY (2018) zemin sınıfı tayininde kayma dalgası kriteri zorunlu kılınmıştır. ASCE 7-22 standardında, zemin sınıflaması litolojik tariflerden ve fiziksel & mekanik özelliklerinden bağımsız olarak sadece ilk 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ) parametresine göre yapılmaktadır. Geomekansal veri modellemesi, noktasal bazlı MASW deney sonuçlarının görselleştirilmesine imkan sağlayarak, karmaşık litolojik yapıya sahip proje sahalarında zemin sınıfının hassasiyetle belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bir yenilenebilir enerji sahasında yürütülen MASW deneylerinin sonuçları kullanılarak oluşturulan saha sınıfı görseli Şekil 5'te sunulmaktadır. 2 boyutlu geomekansal veri modelleme çalışmasında Kriging interpolasyonu kullanılmıştır.



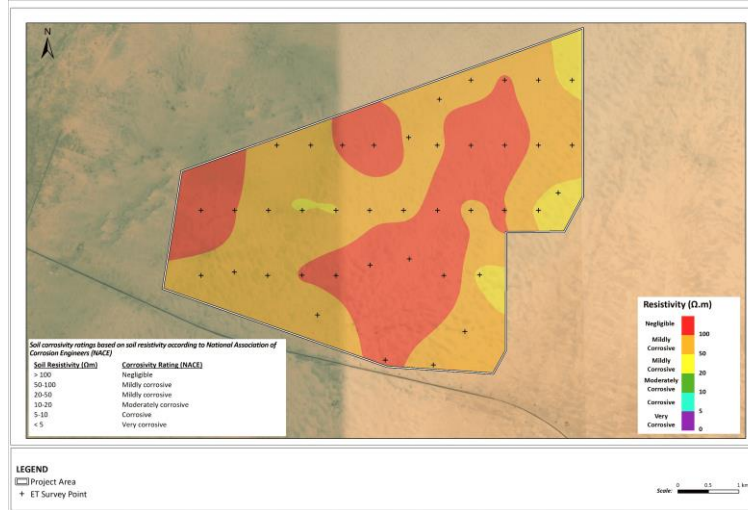




Şekil 5. MASW-V<sub>30</sub>-Zemin sınıfı geomekansal modellemesi

### Jeofizik parametreler-Rezistivite&Korozivite:

Jeofizik araştırmalar kapsamında yapılan Düşey elektrik rezistivite (VES) testleri düşey yönde zemin&kaya tabakalarının rezistivite aralıklarının tespitinde kullanılmaktadır. Rezistivite değerleriyle tabakaların korozyon özellikleri arasında ters ilişki bulunmaktadır (Roberge, 2007). Buradan hareketle rezistivite değerlerinin noktasal bazda derinliğe bağlı görselleştirmesi, gömülü yapıların korozif etkilere karşı korunabilmesi için uygun izolasyon malzemesi seçiminde de fikir verici olmaktadır. Korozif özelliklerin ince dane içeriği, yeraltı suyu, su muhtevası, organik içerik yüzdesi, agresif iyon oranı gibi zemin tabakalarının fiziksel ve kimyasal özellikleriyle de ilişkisi bulunmaktadır (Madun ve diğ., 2023). Dolayısıyla, VES sonuçları geomekansal trend analiziyle modellenebileceği gibi, fiziksel parametrelerle birlikte çapraz doğrulama (cross validation) metoduyla da bir arada görselleştirilebilir. Yenilenebilir bir enerji sahasının rezistivite, korozivite ilişkisinin Kriging interpolasyon metoduyla 2 boyutlu modelleme sonucu Şekil 6'da sunulmaktadır.



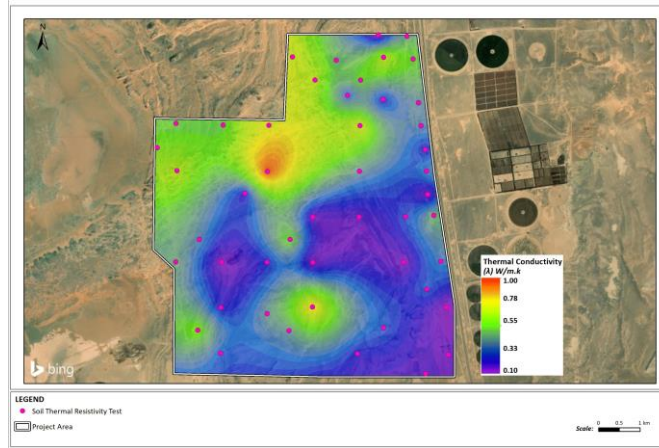
Şekil 6. Düşey elektrik rezistivite (VES) - korozyon ilişkisinin geomekansal modelleme sonuçları

### Termal Parametreler:

Zemin tabakaların termal rezistivite ve iletkenlik karakterlerinin belirlenmesi, özellikle yenilenebilir enerji sahaslarında uygun gömülü altyapı izolasyon malzemesinin seçiminde önemlidir. Saha veya laboratuvar ortamında yürütülen termal rezistivite (TRT) deneylerinden elde edilen sonuçlar, noktasal bazda veri sağladığı için derinliğe bağlı olarak termal iletkenlik karakterlerinin görselleştirilmesinde kullanılabilmektedir. Saha



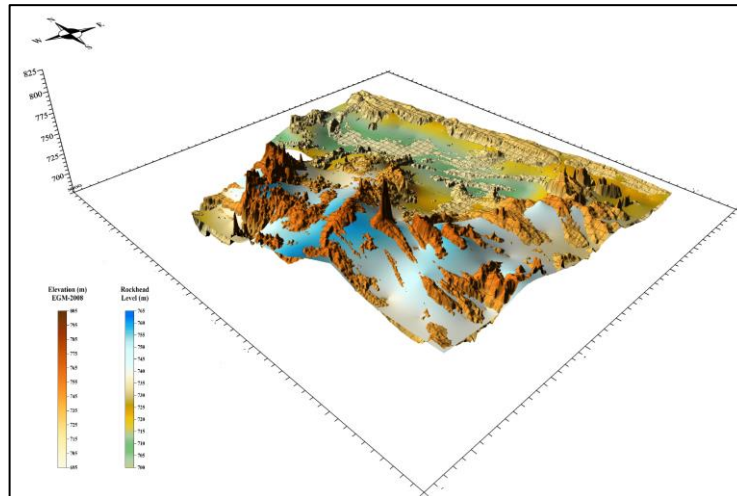
numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar termal iletkenlik testleri, numuneler üzerinde gerçekleştirilebilecek ilave deneylerle su muhtevası gibi bazı fiziksel parametrelerin eldesine de imkan verdiğinden, VES metodunda olduğu gibi çapraz doğrulama yöntemiyle geomekansal veri analizine imkan tanımaktadır (Salomone ve diğ.(1984)). Bir yenilenebilir enerji sahasında saha TRT deneylerinden yola çıkılarak oluşturulan geomekansal veri modeli şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Termal iletkenlik özelliklerinin geomekansal modelleme sonuçları

#### 4.2. Çapraz Doğrulama (Cross Validation) Analiz Örnekleri

Çapraz doğrulama, saha karakterizasyon çalışmaları sırasında farklı deney yöntemleriyle elde edilen mühendislik parametrelerinin mertebesel olarak tutarlı olmasıyla açıklanabileceği gibi, farklı nitelikteki parametrelerin birlikte değerlendirilerek analizlere etkisinin anlaşılması amacıyla da yürütülebilir. Farklı veri setlerinin tutarlılığı hem parametre tayininde daha kesin sonuçlar elde edilebileceğini göstermekte, hem de sahada uygulanan deneylerin kalite kontrolü açısından destekleyici veriler sunmaktadır. Topografik çalışmalar sonucunda elde edilen dijital yükseklik modelinin (DEM) sondajlardan elde edilen kaya kotu verisiyle birlikte modellenmesi ise, sahanın jeomorfolojik koşulları ve zemin&kaya tabakalanmasının anlaşılabilmesi noktasında faydalı bilgiler sağlayabilir (şekil 8).

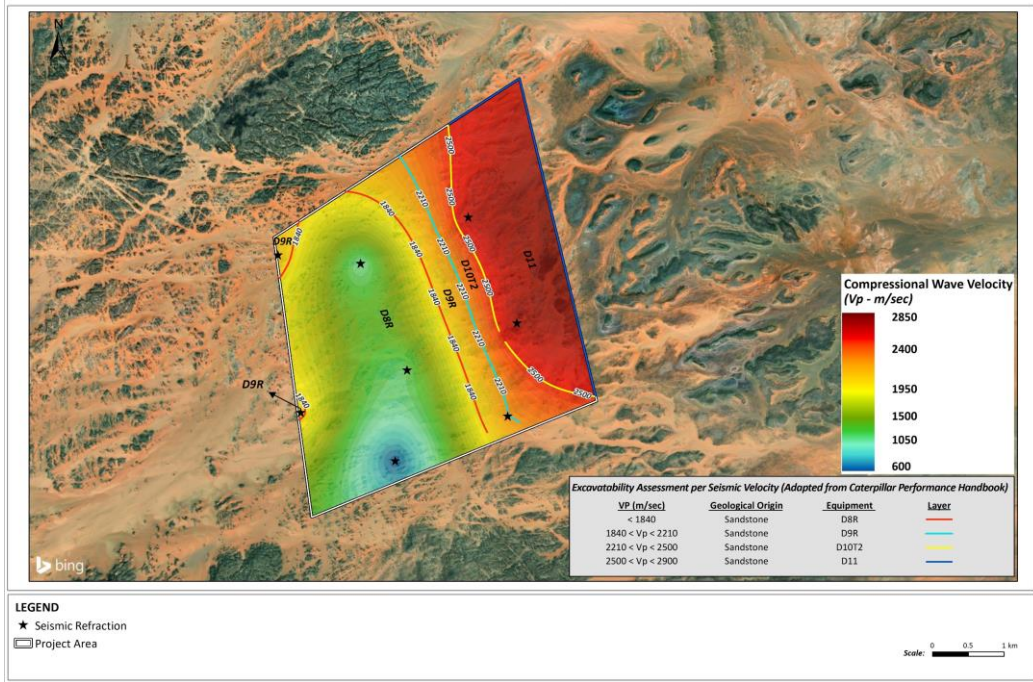


Şekil 8. Dijital yükseklik modeli-kaya kotu çapraz doğrulama geomekansal veri modeli





Çapraz doğrulama bazlı geomekansal veri modellemesinin bir başka örneği Şekil-9'da gösterilmektedir. Bu çalışmadan sismik kırılma değerlerinden elde edilen  $V_p$  değerleri, proje sahasındaki kazı derinliği aralığında hesaplanarak, Caterpillar (2023) tarafından sunulan litolojik birim&ekipman&basınç dalgası hızı abakları ile entegre edilmiştir (Şekil 9). Kriging interpolasyon metoduna göre elde edilen bu modelde, toprak işleri kapsamında yapılacak kazı çalışmaları için uygun ekipmanlar ve kullanım bölgeleri tahmin edilmiştir. Buradan hareketle inşaat safhasında toprak işlerinin optimizasyonu mümkün olabilmektedir.



Şekil 9. Sismik kırılma-basınç dalgası hızı-kazılabilirlik- çapraz doğrulama geomekansal veri modeli

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, jeofizik& geoteknik saha çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin, mühendislik tasarımlarında etkin bir şekilde kullanılabilmesi noktasında verimli çözümler sağlayan geomekansal veri modelleme yöntemlerinin uygulama alanından örnekler sunmaktır. 2 veya 3 boyutlu yapılabilen modellemelerde, veri setinin kapsamı, seçilecek interpolasyon yöntemi, araştırma sahalarının mekanik ve fiziksel yönden heterojen ya da homojen bir yapıda olması elde edilen sonuçların doğruluk payını etkilemektedir. Geomekansal veri modellemesi, saha çalışmaları sonunda idealize zemin profillerinin ve bu profillerin alansal bazda hangi bölgelerin davranışını kontrol ettiğini görselleştirmektedir. Bu bağlamda zemin etüt çalışmalarının kapsamı, tasarımcıya fiziksel ve mekanik zemin özelliklerini görselleştirme imkanı sağladığı gibi, topografya, geoteknik, jeofizik gibi farklı disiplinlerden elde edilen verilerin birlikte kullanımını da mümkün kılmaktadır.

Geomekansal veri analizleriyle ölçüm parametrelerinin görselleştirmesi, veri setinin saha genelini temsil eder kapsamda olması durumunda faydalı öngörüler sunmaktadır. Ölçümlerin görselleştirmesinin bir adım sonrası, elde edilen ölçümlerden hareketle oturma, taşıma gücü, sıvılaşma potansiyeli gibi mühendislik çalışmalarının görselleştirmesi olacaktır. Ancak bu noktada, interpolasyon yöntemlerinin sahadaki ölçümlerle elde edilen



parametreleri bir seviyede maniple ettiği unutulmamalıdır. Dolayısıyla maniple edilmiş veriler üzerinden korelasyonlar vasıtasıyla yürütülen mühendislik analizlerine ait bulguların, geomekansal veri modellemesiyle görselleştirilmesi dikkatle yaklaşılması gereken bir husustur. Bu bağlamda, analiz çalışmalarının geomekansal veri modelleme yöntemleriyle entegrasyonu, araştırılan sahanın değişken hidrolojik, jeolojik, topografik koşulları gözardı edilmeden dikkatle yürütülmelidir.

Geoteknik mühendisliğinin temel nosyonlarından biri olarak, saha ve laboratuvar deneylerinin standartlara uygun olarak yürütülmesi, parametre tayininde genel kabul görmüş yaklaşımlara başvurulması, elde edilecek sonuçların kesinliği bağlamında önemli bir faktördür.

## KAYNAKLAR

- Abdulraheem, S., Z. Alasadi, and A. Atyah Alhkalidy.(2019) "The Geotechnical Maps for Physical and Engineering Properties by using GIS Foral-Hillacity." Engineering and Applied Sciences 14.8 (2019): 10389-103897.
- ASCE 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, <https://doi.org/10.1061/9780784415788>
- Caterpillar Performance Handbook 49<sup>th</sup> Edition (2023)
- Civelekler, Ebru & Pekkan, Emrah. (2022). "The application of GIS in visualization of geotechnical data (SPT-Soil Properties): a case study in Eskisehir-Tepebaşı, Turkey." International Journal of Engineering and Geosciences. 7. 302-313. 10.26833/ijeg.980611.
- Hillel, D. (1982) Introduction to Soil Physics. Academic Press, San Diego.
- İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye bina deprem yönetmeliği, TBDY-2018, Ankara, 2018
- Madun A, Abu Talib M.K., Wahab N., Md Dan M.F., Abd Malik A.K. (2023) "Interpretation of soil grain size effect on electrical resistivity method", Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 129, 2023, 103324, ISSN 1474-7065, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103324>.
- Mayne, P.W. and Rix, G.J., (1993). "G<sub>max</sub> – q<sub>c</sub> Relationships for Clays". Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol. 16, No. 1, pp. 54–60.
- Olinic, T., Olinic, E., Boçi, I. & Ciocani, I. (2024). "The Role of Spatial Distribution of Geotechnical Soil Parameters in Site Investigation." Studia Geotechnica et Mechanica, 0(0) -. <https://doi.org/10.2478/sgem-2024-0016>
- Peck (1974) Foundation Engineering Handbook.
- Rix, G. J. & K. H. Stokoe (1991). "Correlation of initial tangent modulus and cone penetration resistance". In Calibration chamber testing. New York: Elsevier, pp. 351–362.
- Roberge P.R.(2007), "Corrosion Inspection and Monitoring", John Wiley & Sons Inc. Publication, New Jersey
- Salomone, L. , Yokel, F. and Wechsler, H. (1984), "The influence of soil type and gradation on the thermal resistivity of soils", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, [online], <https://doi.org/10.6028/NBS.IR.84-2935>
- Sassa, Kyoji & Fukuoka, Hiroshi & Wang, Fawu & Wang, Gonghui. (2005). "Landslides: Risk Analysis and Sustainable Disaster Management". 10.1007/3-540-28680-2.

