



Geographic information system approach in evaluating the geotechnical properties of soils: A case study of Oymağaç in Kayseri

Mehmet Cemal Acar^{1*}, Dilek Kaya²

¹Department of Construction of Vocational College of Technical Sciences, Kayseri University, 38280, Kayseri, Türkiye

²Department of Construction of Vocational College of Gümüşhane, Gümüşhane University, 29100, Gümüşhane, Türkiye

Highlights:

- Gis-based maps reduce the time and cost of preliminary research for large-scale projects.
- The result of this work simplifies the planning process of existing spaces for a given project
- It can be used as a tool for risk management in earthquakes and allows quick measures to be taken.

Keywords:

- Kayseri
- Soil Properties
- GIS
- SPT
- Shear Wave Velocity

Article Info:

Research Article

Received: 02.06.2021

Accepted: 14.05.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.946963

Acknowledgement:

This article is adapted from the Master thesis of the second author under the first (corresponding) author's advisement

Correspondence:

Author: Mehmet Cemal Acar
e-mail: acar@kayseri.edu.tr
phone: +90 533 381 3541

Graphical/Tabular Abstract

Using archived GIS data while making urban development and settlement plans plays a vital role in minimizing the loss of life and property in a possible earthquake. In addition, soil improvement works are required on soils with weak bearing capacity, which causes severe economic losses in urban development. This research is aimed to analyze the basic soil properties of a pilot area opened for a new settlement in Kayseri-Türkiye in a GIS environment. The safe bearing capacity values of the 3m deep foundations covering most of the structures ranged from 49.05 kPa to 192.28 kPa (Figure A).

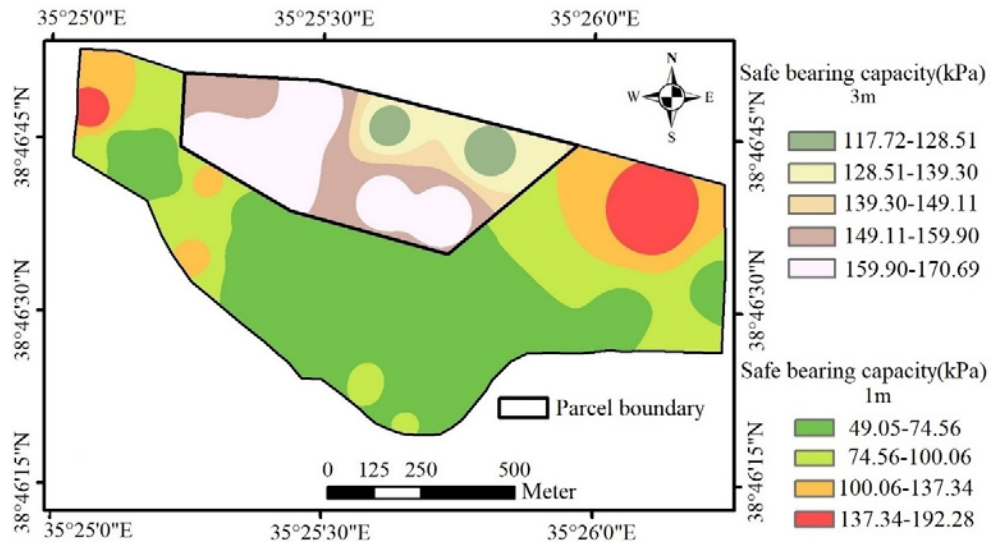


Figure A. The safe bearing capacity values at 3m deep

Purpose: This research aims to analyze the soil properties affecting the foundations of the buildings to be built in a local area in Kayseri by a geographic information system (GIS) environment. It is intended to determine the soil bearing capacity limitations and liquefaction potential with geotechnical maps that can be used as an essential tool in urban development planning in this region opened for new constructions.

Theory and Methods: Geotechnical data of drilling points are stored and converted to raster data sources in the ArcMAP 10.4.1 program by utilizing the features of the GIS. This article uses Spatial Analysis and Inverse Distance Weigh modules for data analysis and interpolation methods.

Results: After the criteria weighting processes were completed in the ArcMAP (V:10.4.1) program, it was determined that the levels of the criteria obtained coincide with the frequency of use of similar measurements in the literature. Thematic urban geotechnical maps were created to show essential soil properties such as bearing capacity and soil liquefaction for different depths.

Conclusion: This research aims to analyze the basic soil properties of a pilot area opened for a new settlement in Kayseri in a GIS environment. Developed GIS-based thematic geotechnical maps will reduce the time and cost required for building preliminary design proposals. In addition, it can be used as a tool for risk management in earthquakes and will enable rapid measures to be taken according to the risk level.



Zeminlerin geoteknik özelliklerinin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemi yaklaşımı: Kayseri Oymaağaç örneği

Mehmet Cemal Acar^{1*}, Dilek Kaya²

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Kayseri Üniversitesi, 38280, Kayseri, Türkiye

²Gümüşhane Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, 29100, Gümüşhane, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Gis tabanlı haritalar, büyük ölçekli projelerin ön araştırması için zaman ve maliyeti azaltır
- Bu çalışmanın sonucu, belirli bir proje için mevcut alanların planlama sürecini basitleştirir
- Depremlerde risk yönetimi aracı olarak kullanılabilir ve hızlı önlem alınmasını sağlar

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.06.2021

Kabul: 14.05.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.946963

Anahtar Kelimeler:

Kayseri,
zemin özellikleri,
CBS,
SPT,
Vs

ÖZ

Türkiye'nin dokuzuncu büyük şehri olan Kayseri'de, yerleşime açılmış ve yapılaşmaya devam eden bölgeler nüfus artışına paralel hızla genişlemektedir. Temel taşıma gücü zayıf zeminlerde ve güvenli bir inşaatı uygun olmayan bölgelerde zemin iyileştirilmesi zorunlu olarak yapılmaktadır ve bu olay kentsel gelişmede ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu çalışma, araştırma alanının yeraltı koşullarını kapsamlı bir şekilde anlamak, binaların temelini etkileyen parametreler dikkate alınarak yapılaşmaya açılan bölgelerin önceden belirlenmesini sağlamak ve görselleştirme teknolojisiyle bilgilendirici geoteknik model oluşturmak için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı bir yaklaşım önermektedir. Örnek bir uygulama için, Kayseri Oymaağaç mevkiinde ArcGIS veritabanı ile jeolojik ve geoteknik veriler birleştirilmiştir. Yeni yerleşime açılan bu bir milyon beşyüzbin metrekare bölgenin zemin özellikleri CBS ortamında analiz edilmiştir. Arazide toplamda 60 adet sondaj kuyularında ölçülen SPT-N değerlerinin derinlikle değişimi, zemin türleri, yeraltı su seviyeleri, Vs değerleri kullanılarak veriler birleştirilmiş ve ilgili haritalar çıkarılmıştır. Daha sonra, olası bir depremde zeminin sıvılaşma haritaları ve temellerin taşıma kapasitesini gösteren görsel haritalar oluşturulmuştur. Bu çalışma, mühendisler, devlet kurumları ve afet yönetimi gibi karar vericilere yeterli ve güvenilir arazi kullanım senaryolarını ve bölgedeki olası farklı zemin özelliklerini gösterecek, kentsel planlamada doğru ve hızlı karar vermede katkı sağlayacaktır. Bunun yanında, acil durumlarda risk yönetimi için bir araç olarak da kullanılabilir.

Geographic information system approach in evaluating the geotechnical properties of soils: A case study of Oymaağaç in Kayseri

HIGHLIGHTS

- Gis-based maps reduce the time and cost for preliminary research of large-scale projects
- The result of this work simplifies the planning process of existing spaces for a given project
- It can be used as a tool for risk management in earthquakes and allows quick measures to be taken

Article Info

Research Article

Received: 02.06.2021

Accepted: 14.05.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.946963

Keywords:

Kayseri,
soil properties,
GIS,
SPT,
Vs

ABSTRACT

Kayseri, the ninth biggest city in Turkey, the regions opened to the ongoing construction of residential areas are expanding rapidly parallel to population growth. Soil improvement works are carried out in areas with the poor bearing capacity of foundations and in regions that are not suitable for safe construction. This event causes severe economic losses in urban development. This study proposes a (Geographic Information System) GIS-based approach to comprehensively understand the research area's underground conditions, predetermine the zones opened for construction by considering the parameters affecting the foundation of the buildings, and create an informative geotechnical model with visualization technology. For an exemplary application, a database was created with ArcGIS in the Kayseri Oymaağaç location, and geological and geotechnical data were combined. The soil properties of this one million five hundred thousand square meter area opened for new settlement were analyzed in a GIS environment. The variation of SPT-N values measured in 60 boreholes in the field with depth, soil types, groundwater levels, and Vs data were used to combine the data, and related maps were drawn. Then, maps of the liquefaction of the soil in a possible earthquake and visual maps showing the bearing capacity of the foundations were created. This study will offer the best and most reliable land-use scenarios and in situ soil properties to decision-makers such as engineers, government agencies and disaster management. It will contribute to making accurate and fast decisions in urban planning. In addition, it will also be able to use as a tool for risk management in emergencies.

1. Giriş (Introduction)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), grafik ve öznitelik gibi mekânsal kökenli bilgilerin bilgisayar ortamına girilip toplanması, saklanması, analiz edilmesi, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktı alınması için oluşturulmuş sistemlerdir [1]. CBS, diğer tüm bilgi sistemleri gibi temel olarak karar verme işlemini kolaylaştırarak bu süreci kısaltır. Bununla beraber öznitelik bilgilerinin konum bilgileriyle birlikte kullanılır olması diğer bilgi sistemlerinden farkını ortaya koymaktadır [2]. Ülkelerin, yerleşim alanlarına ait jeoteknik verilerin arşivlenmesi son derece önemli ve gereklidir. Günümüzde şehirlerin jeolojik çevresinin planlanmasında ve haritalanmasında CBS den faydalanılmakta ve buna yönelik oldukça farklı çalışmalar yapılmaktadır [3-5]. Sartirana vd., kentsel yeraltı altyapıları olan özel otoparklar, kamuya açık otoparklar ve metro hatları ve istasyonları için CBS veritabanı oluşturarak Milano metropol alanında yeraltı suyu yönetimini başarıyla ve verimli olarak yürütmüşlerdir [3]. Ilic vd., kentsel ölçekte sismik azaltma politikalarını desteklemek için CBS kullanmışlardır [4]. Lizbon'da, özellikle Alvalade bölgesinde kentsel ölçekte karma yığma betonarme binalar sınıfının sismik kırılabilirliğini Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile değerlendirmişler. Böylece eski yığma bina stok özellikleri, koruma durumları, sismik kırılabilirlik, hasar ve kayıp ile ilgili verilerin yönetilmesine izin veren faydalı haritalar oluşturmuşlardır. Güvel ve Yurtal çalışmalarında, Seyhan Baraj rezervuarında katı madde birikiminin araştırılmasında CBS kullanılmış ve katı madde birikiminin rezervuar işletmesine etkileri konusunda önemli sonuçlar elde edilmiştir [5]. CBS nin farklı bir kullanımına örnek olarak, tehlikeli maddelerin taşımacılığıyla ilgili CBS tabanlı bir model ile ArcGIS yazılımı kullanılarak akaryakıt dağıtım ağları oluşturulması sağlanmıştır [6]. Bir diğer çalışmada, geoistatistik analiz ve CBS kullanılarak, karşılaştırılabilir konut memnuniyeti haritası oluşturulmuştur [7].

Zeminlerin sıvılaşma risk haritalarının CBS ile çıkarılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda artmaktadır [8-10]. Das vd., yaşanan büyük depremler dolaylı sıvılaşma gözlemlenen Agartala (Hindistan)'da Standart Penetrasyon Test (SPT) yapılan 97 sondaj noktasından alınan verilerle sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Sonuçlar CBS tabanlı QCBS adlı bir yazılımla harita olarak sunulmuştur. Sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ölçeğine göre, kent merkezinde yüksek ve orta, kuzey kısmının orta ila sıvılaşmaz ve güney kısmının sıvılaşmaz potansiyelle sahip olduğu sonucuna varılmıştır [8]. Calzolaria vd., 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 kombinasyonu tutarlı olan farklı dağılım desenleriyle çok başarılı haritalar oluşturmuşlardır [9]. Najı vd., çalışmalarında, ortalama kayma dalgası hızı veya ortalama SPT-N değerleri kullanılarak, sismik saha sınıflandırılması, saha tepkisi ve zemin yapısını gösteren haritalar üretilmiştir. Bu haritalar gelecekteki deprem ve sıvılaşma gibi sismik olaylar için olası konumları tahmin etmek için etkin bir şekilde kullanılabilir [10]. Bir başka çalışmada, esas olarak Suudi Arabistan Krallığı'ndaki Cidde Şehri için SPT ile ilişkili 214 sondaj deliğinden elde edilen veriler kullanılmış ve sıvılaşma potansiyeli haritaları geliştirilerek, bölgenin sıvılaşma değerlendirilmesi yapılmıştır [11]. Sharifi vd., jeolojik tehlikelerin değerlendirilmesi için yüzeysel jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerinin ölçülmesini sağlayan Utah (GeoDU) isminde CBS jeoteknik veritabanı geliştirmişlerdir. Veritabanı, benzer çökme ortamı ve yaşta oluşan yüzeysel jeolojik birimlerin müteakip sıvılaşmalarını değerlendirmek ve ön jeoteknik saha araştırmaları yapmak için kullanılmıştır [12]. Cabalar vd., yaptıkları çalışmada, Kahramanmaraş ilinde 238 sondaj kuyusundan alınan SPT ve zemin fiziksel özellikleri verileri kullanılarak CBS tabanlı haritalar çıkarılmış ve sıvılaşma potansiyeli analizleri başarıyla yapılmıştır [13]. Walker vd., CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme ile Kanada, Vancouver'daki sıvılaşma ve deprem müdahale planlaması için

konumların önceliklendirilmesi sağlanarak haritalar yapılmıştır [14]. Kim vd., Güney Kore'de batı kıyısında yer alan Incheon ve Bucheon bölgelerindeki yaklaşık 7500 mevcut sondaj kaydı toplanmış ve CBS tabanlı jeoteknik bilgi sisteminin optimizasyonu ile CBS veri tabanında arşivlenerek sismik tehlikeyi gösteren işe yarar sismik haritalar oluşturulmuştur [15]. Okur, çalışmasında, sıvılaşma tehlikesi olasılığının değerlendirilmesi için jeolojik ve jeoteknik veriler toplanmış ve 3D yapısal model ile 30 m derinliğe kadar toplam 467 sondaj kuyusu analiz edilmiştir. CBS'ye dayalı sıvılaşma tehlike haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca alüvyon oluşumunun amplifikasyonunu değerlendirmek için farklı yerlerde mikrotremör ölçümleri yapılmıştır. Zemin tabakaları ile ana kaya ve zemin yüzeyindeki tepki spektrumları arasında amplifikasyon spektrumu elde edilerek, amplifikasyon faktörü üzerinde tematik bir harita üretilmiştir. Bu tür görsel modellerin, mühendislerin ve tasarımcıların, özellikle ulaşım, altyapı ve arazi kullanımı gibi muhtemel deprem tehlikelerine karşı şehirlerin gelecekteki gelişiminin tüm yönleri hakkında yardımcı olacağı düşünülmüştür [16]. Zeminlerin özelliklerinin CBS ile haritalanması ve jeoteknik mühendisliğinde kullanılmasına yönelik de çalışmalar vardır [17-19]. Yan vd., coğrafi bilgi sisteminde kullanılan enterpolasyon tekniklerinden Ordinary Kriging (OK) ve Empirical Bayesian Kriging (EBK) yöntemleri kullanılarak zeminin fiziksel özelliklerinin (zemin yoğunluğu, toprak geçirgenlik, kılcal geçirgenlik) mekânsal dağılımları karşılaştırılmalı olarak analiz etmişlerdir. EBK'nın OK'den daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır [17]. Sarı, Naip barajı civarındaki zeminlerin özellikleri için geoistatistik değerlendirme yapmıştır. Zemin özelliklerini ArcGIS/ArcMAP (V:10.4.1) yazılımı kullanarak haritalandırmıştır. Elde edilen haritalar ile arazinin kullanımı ile fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir [18]. Santos vd., çalışmalarında coğrafi bilgi sistemini, SPT değerlendirmesinde planlama ve karar verme aracı olarak kullanmışlardır. 507 ve 537 sondaj logundan oluşan iki vaka çalışması üzerinde SPT raporlarından veritabanı oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modeli ile Topografik kabartma sonucu eğitim ve hidrografik haritalar, SPT ve dayalı jeolojik ve jeoteknik veri tabanından zemin türü, yeraltı su seviyesi ve temel tipi (yüzeysel-derin) haritaları oluşturmuşlardır [19]. Adam vd., çalışma alanı olan Hassan Umman Kampüsü'nde (Nijerya) ArcGIS (V:10.2.1) programı ile doğal komşuluk enterpolasyon yöntemi kullanılarak jeoteknik verilerin analizi ve haritalandırılması sunulmuştur [20]. Ahmad vd., Pakistan'ın kuzeyindeki Hindukush bölgesinde seçilmiş 103 noktadan 20 cm derinlikte toplanılan örneklerden zemin özelliklerinin mekânsal analiz haritaları çeşitli enterpolasyon yöntemleriyle oluşturulmuştur [21]. Literatürde, Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting) IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri tercih edilmekte ve modellerin oluşturulmasında başarıyla kullanılmaktadır [19,20,28]. Kentlerde gelişim ve yerleşim planları yapılırken arşivlenen CBS verilerden faydalanılması olası bir deprem halinde can ve mal kaybının en aza indirilmesinde önemli bir rol oynar. Arşivlenen veriler yardımıyla ülkelerin deprem ve benzeri afetler neticesinde karşı karşıya kalabilecekleri riskler ortaya çıkarılabilir. Az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde şehirleşmelerde zemin özellikleri genellikle dikkate alınmamaktadır. Bu sebepten ötürü de tektonik hareketler nedeniyle ciddi can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Ayrıca, taşıma gücü zayıf olan zeminlerde zemin iyileştirilme çalışmaları zorunlu olarak yapıldığından, kentsel gelişimde ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu sorunların önceden belirlenmesi ve çözümü için, CBS sisteminin faydalanılabilir. Bu araştırmada Kayseri'de yeni yerleşime açılan pilot bir bölgenin temel zemin özelliklerinin CBS ortamında analizi edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, Kayseri Oymaağaç mevkiinde ArcGIS ile jeolojik ve jeoteknik veriler toplanmıştır. CBS analizi için SPT ve laboratuvar verilerini içeren derinliği 15 m ve 25 m aralığında toplamda 1071 m uzunluğunda 60 sondaj noktası ele alınmıştır. Bina uygunluğunu değerlendirmek için sondaj kuyularında ölçülen SPT-N değerleri, zemin türleri, yeraltı su seviyeleri, Vs değerleri kullanılarak veriler ArcGIS/ArcMAP ile birleştirilmiştir. Ardından Kayseri

Oymaağaç bölgesinin olası bir depremde zeminin sıvılaşma potansiyeli haritaları ve temel parametre olan zemin taşıma kapasitesini gösteren haritalar oluşturulmuştur. Homojen ve izotrop yapıda olmayan, tabaka kalınlıkları ve özellikleri çok değişken olan karmaşık jeolojik yapıya sahip bu bölgedeki zeminin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde ve zemin taşıma kapasitesinin hesaplanmasında arazi ve laboratuvar veri setinden faydalanılmıştır. Bu veri noktalarını kullanarak geoteknik özelliklerin oluşturulmasında CBS'deki mekânsal analiz için IDW ve OK yöntemleri ve sınıflandırma haritası oluşturulurken yakınlık analizi olan Thiesen Poligon yönteminin matematiksel ilkeleri kullanılmış, elde edilen gerçek verilerle güvenilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, sondaj kuyularına ait gerçek değerler ile OK ve enterpolasyon yöntemi sonucunda bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Kentsel gelişim planlamasında önemli bir araç olarak kullanılabilir CBS tabanlı geoteknik haritalar ile yapılaşmaya açılan bölgede zemin taşıma gücü sınırlamaları ve sıvılaşma potansiyeli irdelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Bu çalışma sonucunda, lokal olarak zemin özelliklerinin CBS ile haritalanması ve sonrasında ülke genelinde benzer CBS haritalarının oluşturulması ile etkili ve yararlı bir afet öngörü sistemi elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Yerleşim alanlarının temel zemin bilgilerinin elde edilip depolanması ve güncellenmesi neticesinde zeminin mikrobölgeleme haritaları yapılabilecektir. Bu ve benzeri çalışmalar sonucunda, bilgi edinme süresinin kısalması, insan gücü ve maliyet bakımından ciddi kazanımlar elde edilmesi sağlanacaktır.

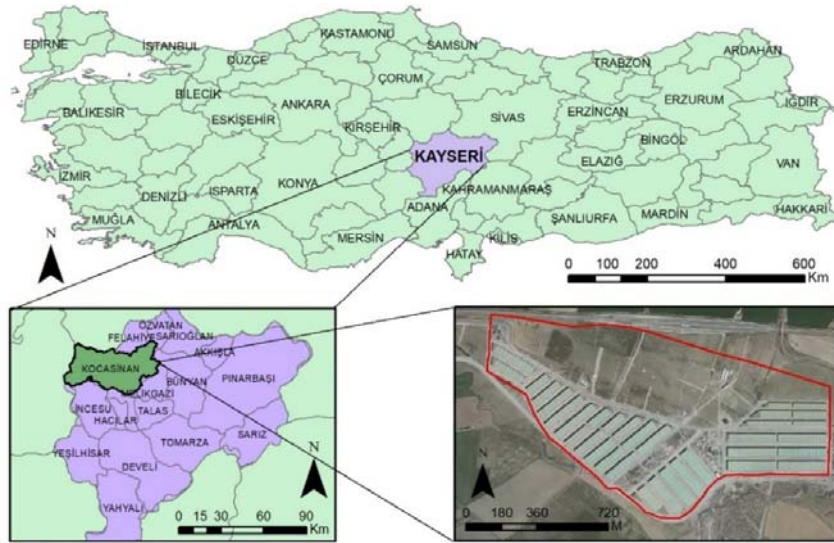
2. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri (Geological Features of the Study Area)

Yol ve bina inşaatlarının yoğun ve sürekli olduğu çalışma alanının topografyası bu inşaatların gereği olarak yapılan yarma ve dolgularla, hemen her gün değişmekle beraber, bölgenin genel topografyası, ana çizgileri ile belirlenebilir niteliktedir. Bölgenin topografik açıdan en belirgin özelliği, deniz düzeyinden ortalama yüksekliği 1050 m olan bir havzası oluşudur. Bunların başlıcaları çalışma alanının bir kısmını oluşturan Sarımsaklı Ovası'dır. Kayseri Ovası (Sarımsaklı Ovası) Kayseri il merkezinin kuzeydoğusundaki Sarımsaklı Köyünden başlar, güneybatıda İncesu ilçe merkezinden 2 km kuzeyine kadar ortalama 10 km genişliğinde ve 35 km uzunluğunda KD-GB istikametinde uzanır [22]. Çalışma alanında, Kayseri ili Kocasinan ilçesi Oymaağaç Mahallesi sınırları içerisinde kalan 800'ün üzerinde büyük imalathane ve fabrikalardan oluşan Mobilyacılar sanayi sitesi, Avrupa ve Türkiye'nin en büyük karma projesi olan 120.000 m² alana sahip alışveriş merkezi, cami ve çeşitli büyüklükte idari binaları içeren yapılar inşa edilmesi planlanmıştır (Şekil 1). Daha öncesinde boş mera

olarak kullanılmakta olan arazinin 1.500.000 m² lik toplam alanın 900.000 m²'sinde sanayi işletmeleri kurulması planlanmıştır. İnceleme alanının genel olarak, siltli kum (SM) ve düşük plastisiteli siltli kil (CL, ML) zemin tabakaları bulunmaktadır.

3. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)

Şevlerin, kazıların ve temellerin tasarımını araştıran geoteknik mühendisleri, zeminlerin farklı koşullar altındaki davranışını, arazi ve laboratuvar deney verilerinden elde etmektedir. Bu oldukça zor ve maliyetli analizler sonucunda, çalışma alanındaki zemin türleri ve katman değişimleri belirlenmektedir. Bu çalışmada, CBS ve Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) kullanılarak zemin özelliklerinin analizi ve haritalanma yöntemi denenmiştir. İlk olarak, bu çalışmada, arazide 60 sondaj çukuru açılmış ve belirli aralıklarla ince cidarlı paslanmaz (UnDisturbed) UD tüpleriyle örselenmemiş ve SPT kaşığıyla örselenmiş zemin numuneleri alınmış ve her konum için SPT testleri sondaj kuyusu boyunca yapılmıştır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nden çalışma alanını da içine alan Kocasinan ilçesine ait 1/25000'lik altlık ortofoto (üzerine harita kenar bilgileri, gridler, eş yükseklik eğrileri, yer ve mevki isimleri ve benzeri bilgilerin olduğu) görüntüleri ve mahalle ile parcel sınırlarını gösteren haritalar elde edilmiştir. Bu altlıklar ArcMAP 10.4.1 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış, çalışma alanı sınırları çizilerek elde edilen geoteknik etüt raporundaki sondaj noktaları ilgili koordinatları esas alınarak bu sınırlar içerisine yerleştirilmiştir. Sondaj noktalarına ait geoteknik veriler (yeraltı su seviyesi, Standart Penetrasyon değerleri, zemin sınıfları, kayma dalga hızı, taşıma gücü, sıvılaşma) ArcMAP programında depolanmıştır. Coğrafi bilgi sisteminin özelliklerinden yararlanarak noktasal veri kaynakları raster veri (mekânsal verilerin hücresel kareler olarak ifade edilmesi) kaynaklarına dönüştürülmüştür. CBS analizi için derinliği 15 m ve 25 m aralığında toplamda 1071 m olan 60 adet sondaj noktası ele alınmıştır. Çalışmada veriler, programa girdi öncesi Excel'de düzenlenerek kullanılabilir hale getirilmiştir. Şekil 2'de yer alan sondaj noktalarına ait veriler Excel tablosunda sondaj kuyu isimleri, yeraltı su seviyesi değerleri, 3-4,5-6-7,5-9-10,5-12-13,5 ve 15m derinlikteki standart Penetrasyon vuruş sayıları, hesaplama tablosuyla elde edilen N60, N1,60 ve düzeltilmemiş SPT-N değerleri ile kayma dalga hızı değerleri ve taşıma gücü değerleri veri seti olarak oluşturulmuştur. Böylece, Kayseri için, kentsel kalkınmaya katkıda bulunabilecek, CBS tabanlı zemin özellikleri, taşıma gücü ve sıvılaşma bilgilerini içeren geoteknik haritalar elde edilmeye çalışılmıştır. Güvenli bir kentsel genişlemenin ilk adımı olarak elde edilen bu Geoteknik haritalar, herhangi bir bina projesi çalışmasının



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Study area location map)

başlangıcında fizibilite maliyetini düşürülmesi ve deprem gibi afetler ve acil durumlarda, afet ve risk yönetimine katkı sağlaması amacıyla bir araç olarak kullanılabilir. Bu sayede kentsel planlama basitleştirilir ve daha az maliyetli olur. Geoteknik haritalar, bir inşaat projesindeki sondaj veya örnekleme sayısını da azaltabilir ancak olması gereken geoteknik araştırma ve sondajın yerini alamaz.

3.1. Verilerin Toplanması (Data Collection)

CBS, depolama, erişim, analiz ve görüntüleme için çeşitli kaynaklardan mekânsal verileri ilişkilendirir ve birleştirir. Bu makalede, CBS'nin Mekânsal Analiz (Spatial Analysis, SA) modülü ve enterpolasyon olarak IDW yöntemi kullanılmıştır. Yeni yerleşime açılacak olan bu bir milyon beşyüzbin metrekare Kayseri Oyumağaç bölgesi çalışma alanından (Şekil 2) elde edilen verilerin analizlerini gerçekleştirmek için ArcMAP 10.4.1 kullanılmıştır. Çalışma alanı içindeki sondaj alınan zemin örnekleri çeşitli laboratuvar testlerine tabi tutulmuştur. CBS ortamında depolanan arazi ve laboratuvar test sonuçları CBS kullanılarak analiz edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışmada, bölge sistemine rehberlik edecek, tüm zemine ait geoteknik bilgileri içeren konumsal bilgileri dijital yapıya kavuşturan bir veri tabanı tasarımı yapılmıştır. CBS kullanılarak coğrafi konumu olan tüm geoteknik veriler toplanmış ve depolanmıştır. Böylece yeni gelecek verilerle güncelleştirilmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve yeni seçenekler üretilmesi çok kısa bir sürede yapabilecektir. Coğrafi Bilgi Sisteminin kullanıldığı ArcMAP (V:10.4.1) yazılım programı kullanılarak düzensiz üçgen ağırları modeli ile nokta etrafında alan katmanları oluşturulmuştur. Bu programın seçilme nedeni, devlet kurumları ile akademik çalışmalarda kullanılıyor olması, web tabanlı uygulamaya ve sorgulanmaya izin vermesi ve gerekli veri tabanlarının güncellenebilir olmasıdır. Bu çalışmada ArcMAP (V:10.4.1) programı ile Thiesen Poligon Yöntemi kullanılmış, oluşturulan veri tabanında sondaj numarası, sondaj derinliği, yeraltı su seviyesi, zemin sınıfları, SPT-N60 değerleri, Vs değerleri ile çeşitli derinliklerde temellerin taşıma gücü ve sıvılaşma duyarlılık analizleri yapılmıştır. Kullanılan OK ve enterpolasyon yöntemleriyle noktasal olarak oluşturulmuş veri tabanından tüm ölçütlere ait temin edilen verilere dönüştürme ve yeni veri üretme işlemleri uygulanmış, aynı

koordinatlara ve projeksiyon sistemine sahip raster haritalar üretilmiştir. Ölçüt ağırlıklandırma işlemlerinin tamamlanması sonrası, elde edilen ölçütlerin ağırlıklandırma seviyeleri, literatürdeki benzer veya aynı isimli ölçütlerin kullanılma sıklığı ile büyük oranda örtüştüğü belirlenmiştir.

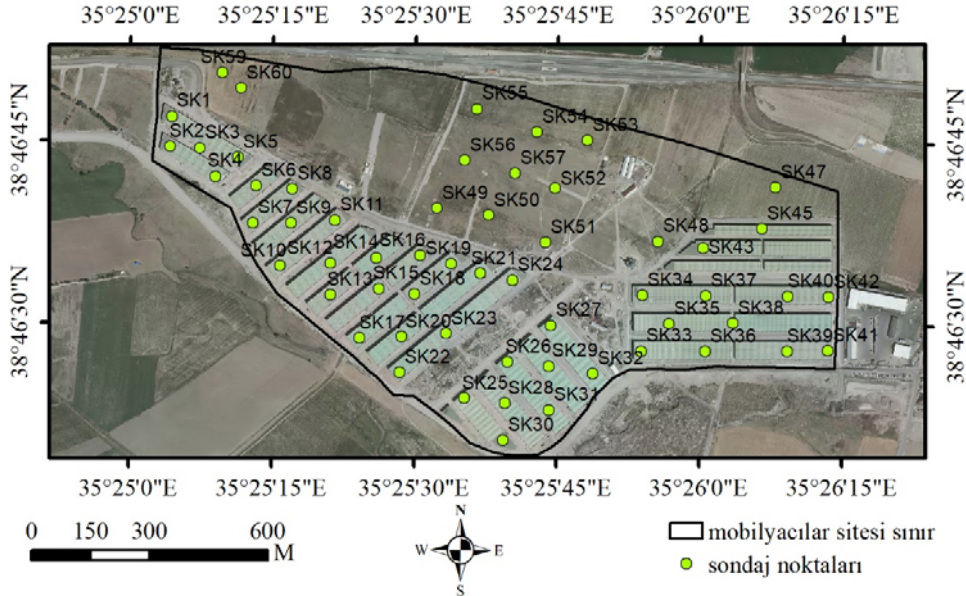
4.1. SPT'ye Dayalı Haritaların Oluşturulması (Creating Maps Based on SPT)

SPT-N haritalarının oluşturulmasında 3 m, 4,5 m, 6 m, 7,5 m ve 9 m'de derinliklerde N_{60} değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Bu haritalar ile zeminin Tablo 1'de verilen literatürdeki sıklık-gevşeklik ya da Tablo 2'de verilen sertlik-yumuşaklık durumları hakkında yorum yapılabilir. CBS ile SPT-N haritalarının oluşturulmasında, SPT-N değerlerine göre her bir alt kriteri için de etki değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde Tablo 2'de verilen literatür bilgileri kullanılmıştır. Buna göre, 3-4 arası 'yumuşak' kıvam yeşil, 4-8 arası 'orta katı' kıvam açık yeşil, 8-15 arası 'katı' kıvam turuncu ve 15-19 arası 'çok katı' kıvam kırmızı olmak üzere renklendirilerek dört sınıfa ayrılmıştır. SPT-N duyarlık haritaları oluşturulmuş ve bölgelerin kolaylıkla SPT-N değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Elde edilen SPT-N haritaları ile yüzey istenilen derinliklerde modellenerek zeminin N_{60} değerleri hem yüzeyel hem de derinliğe bağlı olarak bulunmuştur. Şekil 3'de 3m derinlikteki SPT-N vuruş sayısı doğuda 8-15 aralığında katı ve batıda 4-8 aralığında orta-katı kıvamda, 4,5 m'de güneyde çok katı, 6 m'de büyük oranda katı, kuzey bölge orta-katı, güney, güney-doğu ve kuzey-batı da çok katı, 7,5 m'de 2-20 aralığında katı bir alan olduğu bulunmuştur. (Şekil 3). Arazideki SPT-N ara değerlerinin ulunmasında "Ordinary Kriging" (OK) yönteminin enterpolasyon yöntemine göre daha başarılı olmuştur.

Tablo 1. SPT-N ile kumların sıklığı arasındaki ilişki (Terzaghi ve Peck, 1967) [23]

(Relationship between SPT-N and relative density of sands)

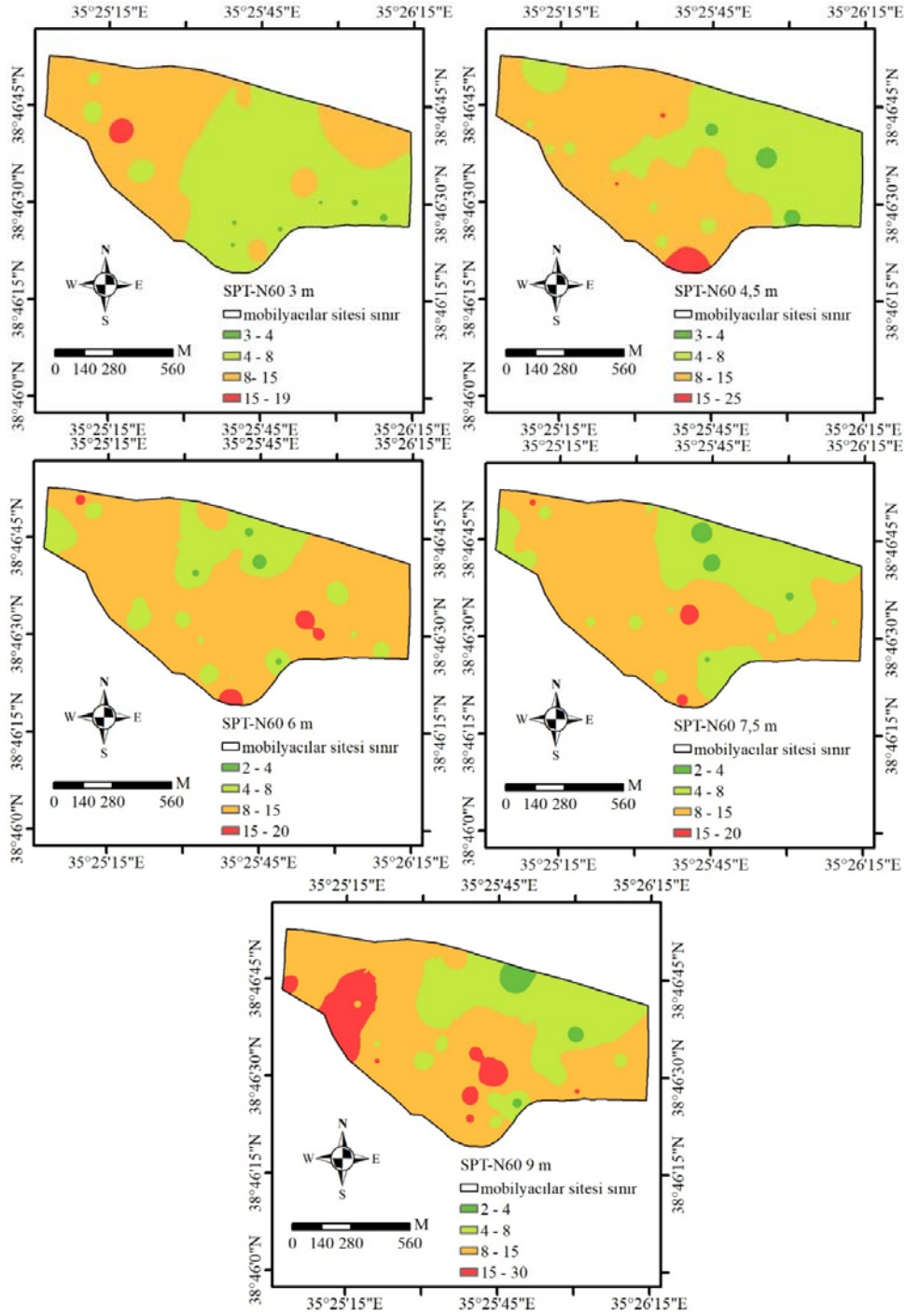
SPT-N	Rölatif Sıklık, D_r	Sıklık Durumu
0-4	0-0,15	Çok gevşek
4-10	0,15-0,35	Gevşek
10-30	0,35-0,65	Orta sıkı
30-50	0,65-0,85	Sıkı
>50	0,85-1	Çok sıkı



Şekil 2. Çalışma alanı sondaj noktaları dağılımı (borehole distribution in field)

Tablo 2. SPT-N'e göre ince taneli zeminlerin kıvamı ile Cu arasındaki ilişki (Sivrikaya ve Toğrol 2007) [24]
(The relationship between the consistency of fine-grained soils and Cu according to SPT-N)

SPT-N	Zeminin Kıvamı (soil consistency)	Drenajsız Kayma Mukavemeti C_u (kPa) (Undrained Shear Strength)		
		Tschebotarioff (1973)	Parcher ve Means (1968)	Terzaghi ve Peck (1967)
<2	Çok yumuşak	15	<12	<12,5
2-4	Yumuşak	15-30	2-25	12,5-25
4-8	Orta Katı	30-60	25-50	25-50
8-15	Katı	60-120	50-100	50-100
15-30	Çok Katı	120	100-200	100-200
>30	Sert	>225	>200	>200

**Şekil 3.** SPT-N60 a dayalı 3, 4,5, 6, 7,5 ve 9 m'deki değişimler (Changes in SPT_N60 with depth 3, 4.5, 6, 7.5 and 9m)

4.2. Vs'ye Dayalı Haritaların Oluşturulması (Creating Maps Based on Vs)

Çalışmada eldeki SPT-N değerleri ile Şekil 4'te verilen SPT-N/Vs bağıntıları kullanılarak aynı derinliklerde Vs (Kayma dalgası hızı) değerleri hesaplanmıştır. Vs'yi tahmin etmede düşey efektif gerilme düzeltilmesi yapılmış SPT-N değerleri uygun olmadığından ham SPT değerlerinin kullanılması gerekmektedir (Sykora ve Koester, 1988) [25]. Bu çalışmada kayma dalgası hızı düzeltilmemiş N değerinden Maheswari vd. (2010) [26] önerdiği denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır

$$V_s = 95,64N^{0,301} \quad (1)$$

CBS ile SPT-N haritalarının oluşturulmasında, SPT-N değerlerine göre her bir alt kriteri için de etki değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde Tablo 3'te verilen kumlu zeminlerin sıklığı hakkında literatür bilgileri kullanılmıştır (Tablo 3). Buna göre, Vs değerinin 200 m/s altında çok gevşek ve bu değer üstünde olması durumunda gevşek olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Üst yapının temelini oturacağı 3 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızları 172 m/s ile 312 m/s arasında dağılım gösterir (Şekil 5). Bu değerler zeminin çok gevşek ve gevşek olduğunu göstermektedir. Yeşil olarak gösterilen kuzey bölgede 'çok gevşek' diğer bölgelerinde ise 200-275 m/s. aralığında

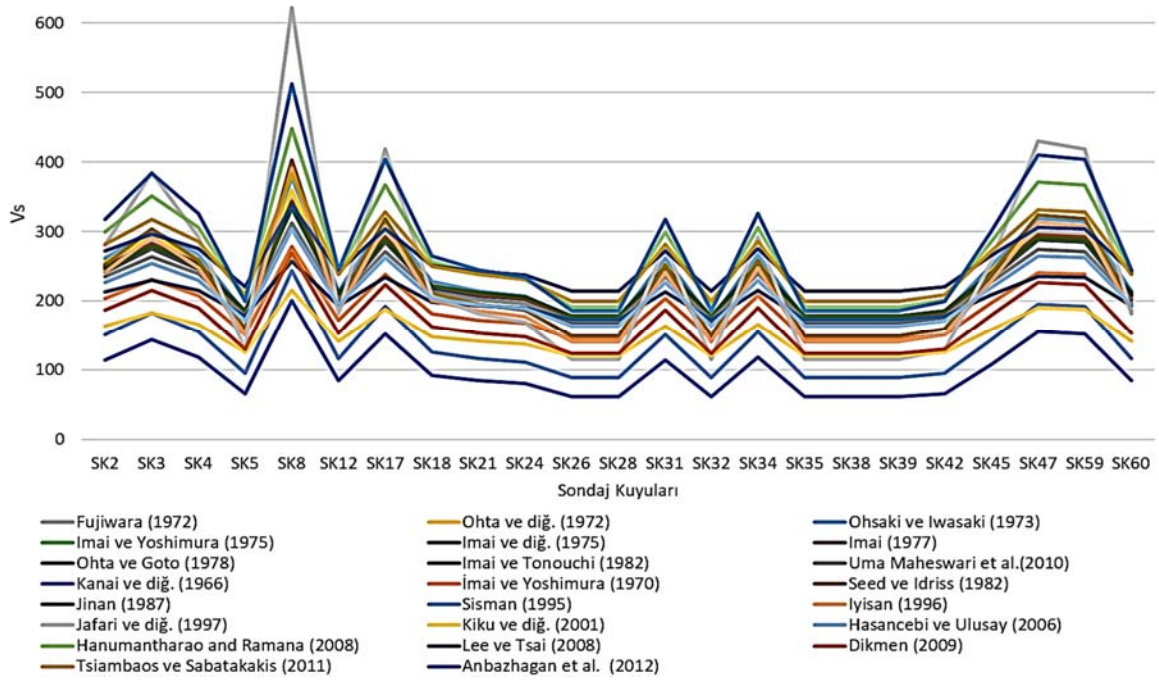
'gevşek' olarak yoğunlaşmıştır (Şekil 5). Elde edilen Vs kayma dalga hızının derinlikle değişim haritaları CBS kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 5).

4.3. Yer Altı Su Seviyesine Dayalı Haritaların Oluşturulması (Creating Maps Based on Groundwater Level)

Arazide açılan sondajlarda ortalama 1,5-2,1 m aralığında yeraltı suyu seviyesi ölçülmüştür. Sondajlardan yeraltı suyu derinlik ölçümlerini temsil eden noktasal değerlerden CBS ile enterpolasyon yöntemi kullanılarak tüm çalışma sahası için raster biçiminde bir yeraltı suyu derinlik haritası elde edilmiştir (Şekil 6). Ayrıca veri zarflama yöntemiyle sayısallaştırılan zemin türlerinin dağılımını gösteren zemin haritası enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuştur

4.4. Sıvılaşma Haritalarının Oluşturulması (Generating Liquefaction Maps)

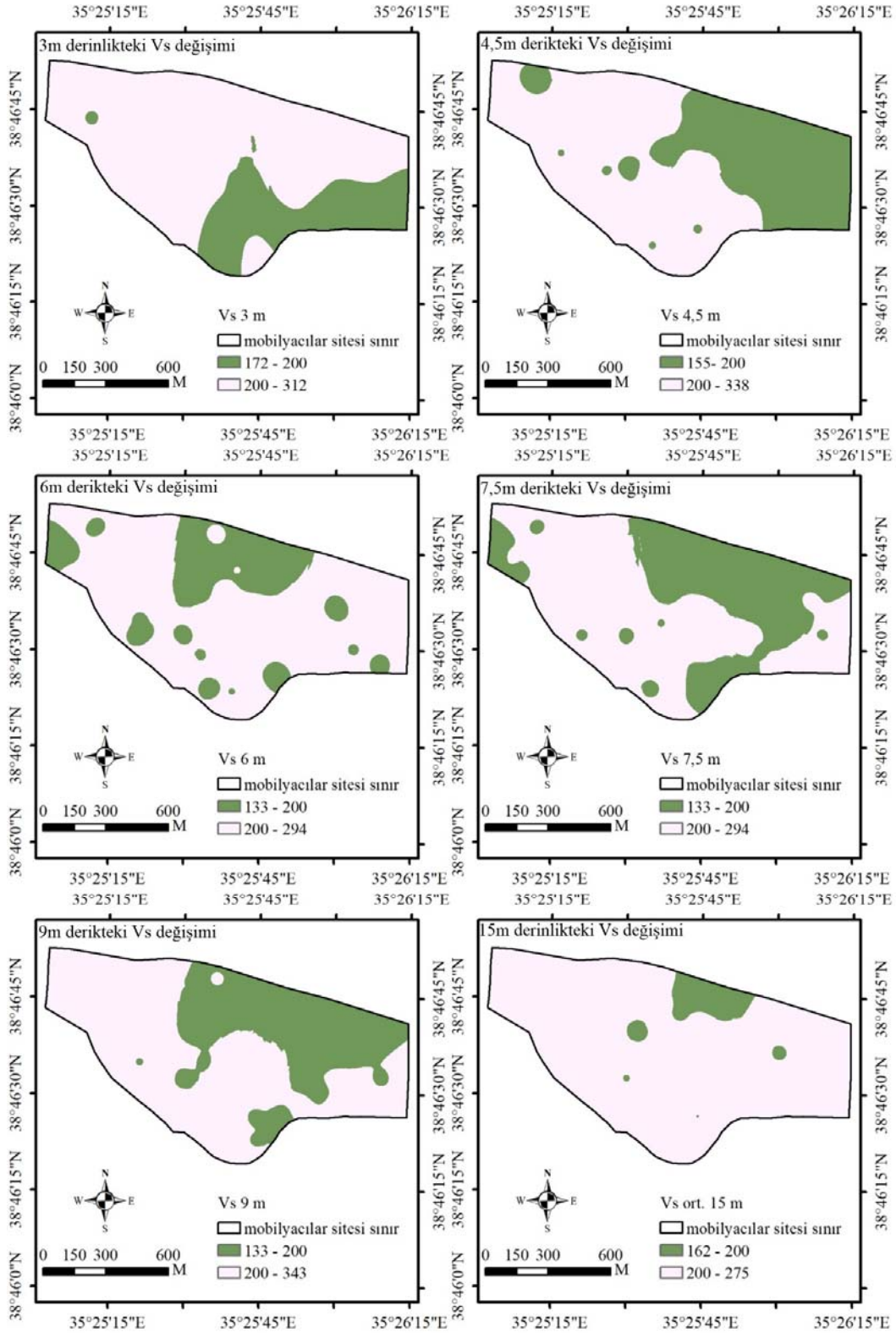
Sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde çalışma alanında 60 sondaj noktasına ait SPT darbe sayıları kullanılmıştır. Çalışma alanında, yüzeyden itibaren 9 m derinliğe kadar sıvılaşma olasılığının dağılımını ve derinlikle değişimini görebilmek amacıyla 3 m, 4,5m, 6m, 7,5m ve 9m derinlikleri için sıvılaşma analizleri yapılmış ve haritalar oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 4. SPT_N -Vs korelasyonlarının değişim grafiği (Change of Vs correlations depending on SPT-N value)

Tablo 3. Vs Kayma dalga hızına göre zeminin göreceli sıklığı [27] (Relative Density of soils according to shear wave velocity, Vs)

Vs(m/s)	Zemin Sıklığı (Relative Density)
>750	Çok sıkı ya da ana kaya
500-750	Sıkı
350-500	Orta sıkı
200-350	Gevşek
<200	Çok gevşek



Şekil 5. Kayma dalga hızının derinlikle değişim haritaları (Maps of shear wave velocity with depth)

Bu analizlerde N1(60) değerlerinin 30'dan büyük olması sıvılaşmaz olarak sınıflandırılmıştır. IDW yöntemi ile SPT değerleri tahmin haritaları 10 m kareli boyutlu olarak üretilmiş, hesaplamalara göre sıvılaşma riski bulunan bölgeler tespit edilmiştir. 2018 yılında

yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esas alınarak SPT sonuçlarına bağlı basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirilmesi yapılmıştır. 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 büyüklüğüne bağlı olarak, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması bu bölgede sıvılaşma riski olduğu bulunmuştur. Bölge yerleşime açılmadan önce sıvılaşma problemin olduğu yerlerde iyileştirme alanları belirlenmiştir (Şekil 7).

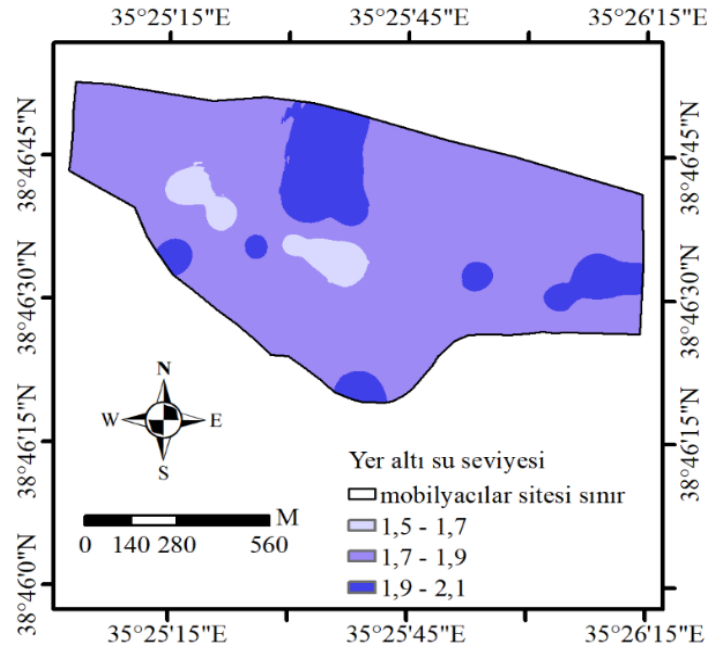
4.5. Temellerin Taşıma Gücüne Haritaları (Maps of Bearing Capacity of Foundations)

Bu çalışmanın taşıma gücü veri setinde 1m ve 3m derinliklerdeki yüzeyel temeller için hesaplanan taşıma gücü değeri konuma bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, tek katlı fabrika binaları için 1m derinliğinde temellerin taşıma gücü değerleri kPa olarak (192,28-137,34), (137,34-100,06), (100,06-74,56) ve (74,56-49,05) olmak üzere 4 gruba ve üç katlı AVM binası için 3m derinlikte temellerin taşıma gücü değerleri kPa olarak (170,69-159,90), (159,90-149,11), (149,11-139,30) ve (128,51-117,72) olmak üzere beş gruba ayrılmıştır. Bütün kriterlere ait oluşturulan haritalar CBS'nin SA

modülü altında yer alan raster hesaplama modülü kullanılarak çakıştırılmış ve çalışma alanı için taşıma gücü açısından zayıf ve güçlü alanlar belirlenmiştir. (Tablo 4) AVM nin bulunduğu, temellerin emniyetli taşıma gücü haritası Şekil 8'de (Kuzeyde sınırlandırılmış bölge) incelendiğinde parselin kuzeyinde değerlerin çoğunlukla 117,72-170,69 kPa (1,2-1,74 kgf/cm²) aralığında olduğu bulunmuştur. Bu bölgede (Şekil 8'de AVM parsel sınırı dışındaki bölge) temellerin emniyetli taşıma gücü değerlendirilmesinde az kumlu siltli-kil 'den oluşan birimden alınan UD numuneleri üzerinde yapılan UU drenajsız üç eksenli basınç deneyleri ile drenajsız kayma mukavemetleri dikkate alınmıştır. Hesap için temel tipi müttemadi olup 50 cm x 180 cm ve 70 cm x 150 cm temel boyutuna göre Terzaghi taşıma gücü hesap yapılmıştır [23].

4.6. Zemin Sınıflandırma Haritalarının Oluşturulması (Generating Soil Classification Maps)

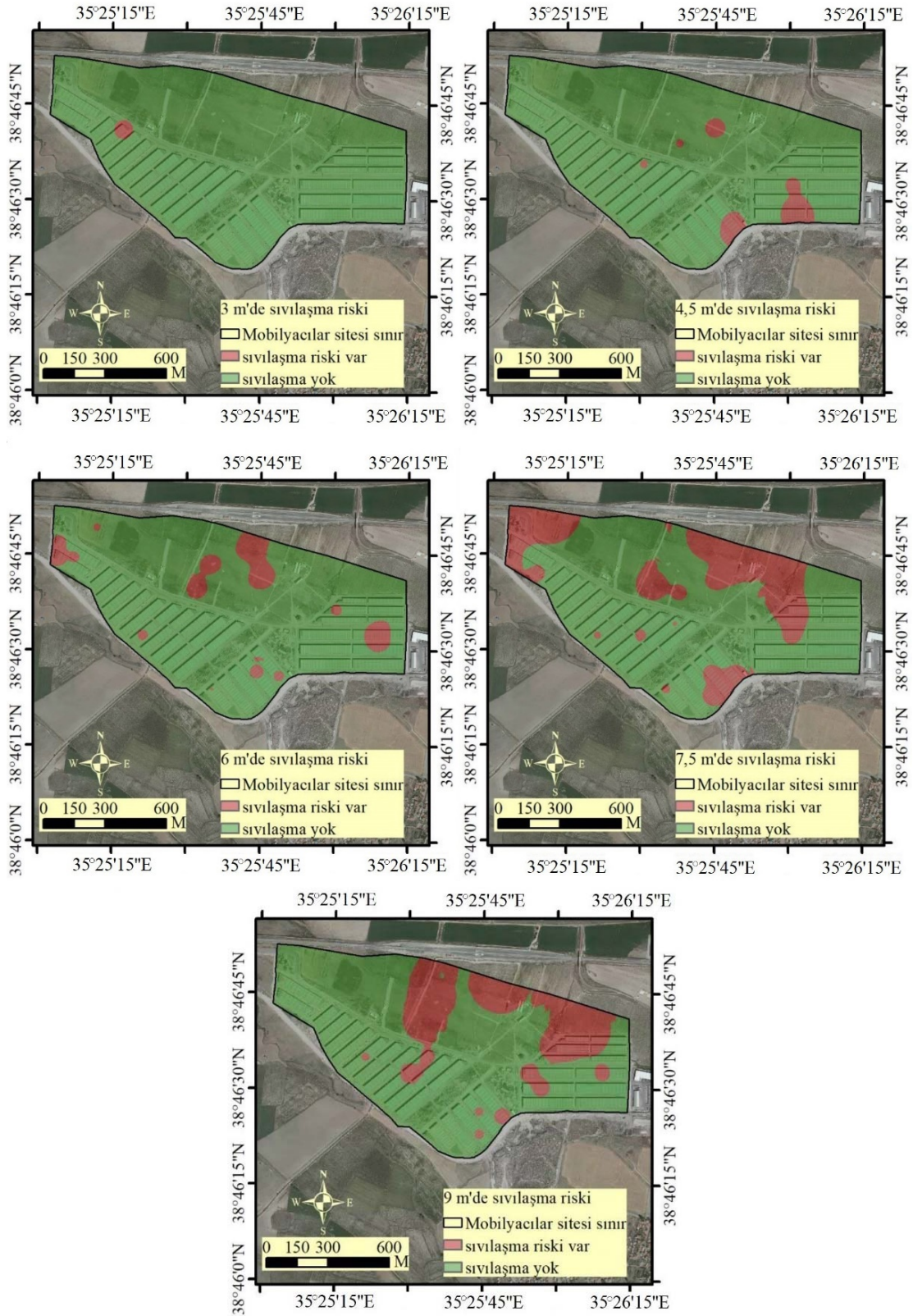
Zemin sınıflandırma çalışmasında CBS yazılımı olan ArcMAP programının Thiesen Poligon Yönteminden yararlanılmış düzensiz üçgen ağları modeli ile nokta etrafında alan katmanları oluşturulmuştur.



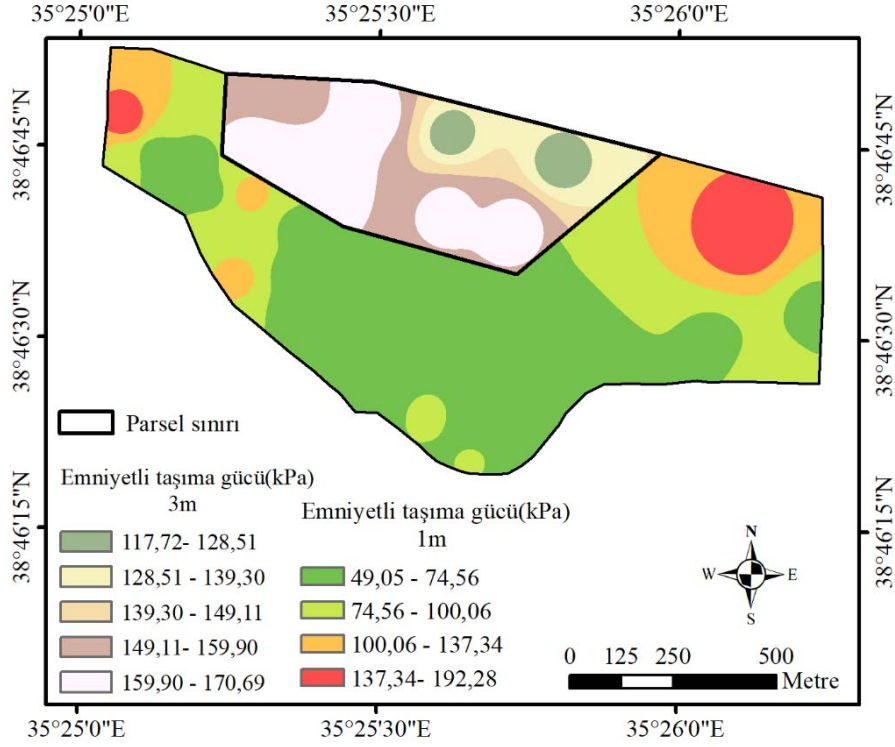
Şekil 6. Yeraltı su seviyesinin değişim haritası (Groundwater level change map)

Tablo 4. Temellerin taşıma kapasitesi hesaplama tablosu (Calculation table for the bearing capacity of the foundations)

Sondaj No	Derinlik (m)	Yass (m)	c (kPa)	ϕ	σ_{em} (kPa)	Sondaj No	Derinlik (m)	Yass (m)	c (kPa)	ϕ	σ_{em} (kPa)
SK1	15	1,8	63,71	7	185,41	SK22	15	1,7	14,61	8	51,99
SK2	15	1,8	31,55	5	91,23	SK23	15	1,8	14,61	8	64,75
SK3	15	1,7	10,27	10	54,94	SK25	15	1,9	34,85	4	87,31
SK4	15	1,8	13,96	7	57,88	SK26	15	1,8	14,61	8	64,75
SK5	15	1,7	16,84	6	63,77	SK28	15	1,9	10,27	10	49,05
SK6	15	1,7	16,59	5	65,73	SK30	15	2	23,03	6	79,46
SK8	15	1,6	50,37	2	120,66	SK31	15	1,8	13,96	7	62,78
SK9	15	1,8	26,59	6	86,33	SK32	15	1,9	10,27	10	49,05
SK10	15	2,1	50,37	2	120,66	SK38	15	1,95	14,61	8	64,75
SK11	15	1,6	14,61	8	63,77	SK39	15	1,85	24,08	5	80,44
SK12	15	1,7	16,59	5	60,82	SK42	15	1,95	16,59	5	61,80
SK13	15	1,8	20,73	5	66,71	SK45	20,45	1,9	83,58	2	192,28
SK18	15	1,9	13,98	8	58,86						



Şekil 7. Sıvılaşma derinlikle değişim haritaları (Liquefaction change maps with depth)



Şekil 8. Temellerin taşıma gücü değerinin değişim haritası (Map of the bearing capacity of foundations aecip)

CBS ile zemin sınıfları haritaların oluşturulmasında, zeminler CH, CL, SM, GC, GM, SC ve Dolgu olmak üzere renklendirilerek yedi sınıfa ayrılmıştır (Şekil 9). Çalışma alanında 3 m, 4,5 m, 6 m, 7,5 m ve 9 m’de birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre girilen zemin sınıfı verileri doğrultusunda zemin sınıflandırma haritaları elde edilmiştir. Haritalar mekânsal ve derinlik boyunca incelendiğinde düşük plastisiteli kilin (CL) yoğunlukta olduğu bulunmuştur.

Ayrıca çalışma alanının kuzey-batı ve orta bölgesinde killi ve siltli kum (SC-SM) tabakalarının olduğu ve 6m’den sonra yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH-CL) olduğu bulunmuştur (Şekil 9).

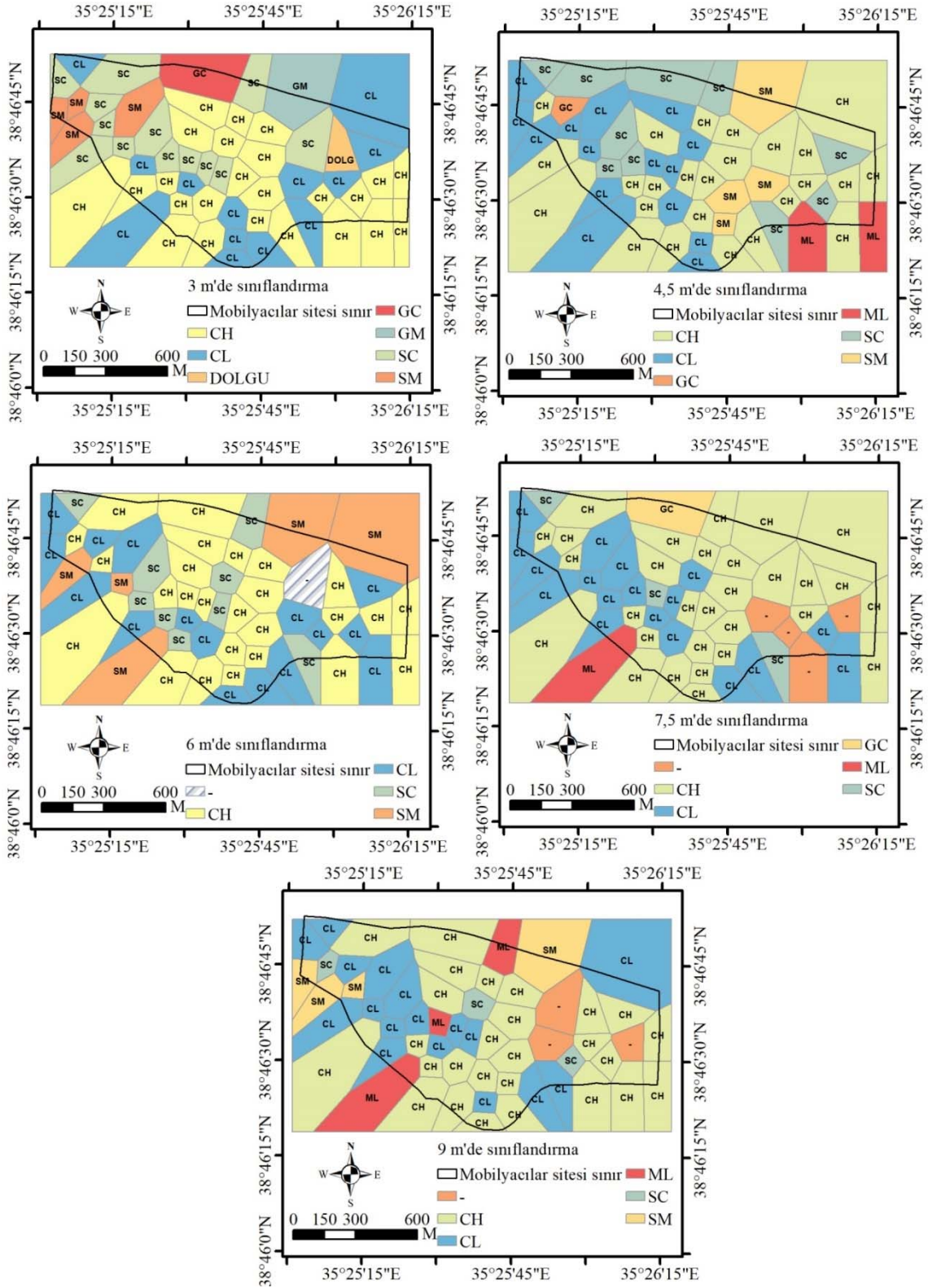
4.7. SPT_N değerlerinin CBS ile tahmini (Estimation of SPT_N values with GIS)

Coğrafi bilgi sistemi kapsamında oluşturulmuş SPT-N60 haritalarında kullanılan enterpolasyon yönteminde tahmin analizi yapılmıştır. Buna göre örnek olarak SK3, SK12 ve SK47 sondaj kuyuları rastgele seçilmiştir. 3 m’den başlayan ve 15 m ye kadar 1,5 m aralıklarla oluşturulmuş gerçek SPT_N değerleri, bu sondaj noktaları için, Kriging enterpolasyon yöntemi uygulanarak tekrar hesaplanmış ve sonuçlar grafik olarak sunulmuştur. CBS’de çoğu veri şekillendirme, doğrusal enterpolasyon, IDW veya OK yönteminin matematiksel ilkelerini kullanarak gerçekleştirilir. Kriging doğrusal enterpolasyon yönteminden çok daha doğru ve yumuşak eğriler vermiştir. Sondaj kuyularına ait gerçek değerler ve Kriging enterpolasyon yöntemi sonucundaki değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerler grafikte Şekil 10’da gösterilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde bazı değerlerin birbirinden uzaklaştığı diğer derinliklerde çok büyük farklılıkların olmadığı görülmüştür. Grafikte değerlerin birbirinden uzaklaşmasının sebebi sondaj noktalarında farklı derinliklerden numuneler alınmasıyla bu yerlerde SPT değerlerinin olmayışı ve bu

yüzden her derinlikte veri tabanı olarak girilen nokta sayısının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

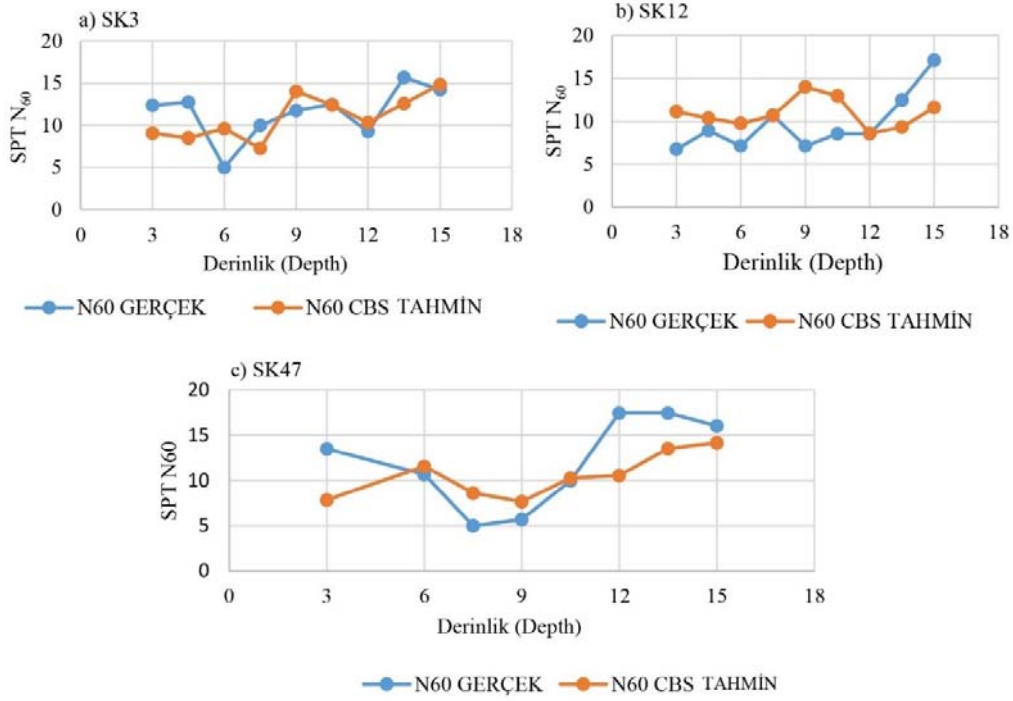
Bu çalışma yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında, geoteknik verilerin veri tabanı olarak arşivlenmesi ve oluşabilecek risklere bağlı alınabilecek önlemleri öngörmektedir. Çalışmada temel zemin özelliklerini içeren noktasal kaynaklı veriler alansal verilere dönüştürülerek haritaların daha kolay anlaşılması sağlayan tematik haritalar oluşturulmuştur. Temel zemin özelliklerine ait SPT-N, yeraltı su seviyesi, temellerin güvenli taşıma gücü, SPT-N değerlerine bağlı Vs haritaları ve sıvılaşma duyarlılık haritaları elde edilmiştir. Mevcut veri noktalarını kullanarak geoteknik özelliklerin oluşturulmasında CBS’deki mekânsal analiz yöntemlerinden IDW ve OK yönteminin ve sınıflandırma haritası oluşturulurken yakınlık analizi olan Thiesen Poligon Yönteminin güvenilir teknikler olduğu ortaya koyulmuştur. Kayseri ili Kocasinan ilçesi Oymaağaç mahallesinde yeni yerleşime açılan 1,5 milyon metrekare bir bölgede uygulanmıştır. Bu çalışma, karar vericilere yeterli ve güvenilir arazi kullanım senaryolarını ve bölgedeki olası çeşitli zemin özelliklerini göstermek amaçlı kullanılabilir. Geliştirilen elektronik veri tabanı ile, zeminin geoteknik özellikleri arasındaki korelasyonlar oluşturulabilir. Örneğin, zeminin kayma dalgası hızı ve taşıma kapasitesi veya zemin türleri ile sıvılaşma arasındaki ilişki gibi korelasyonlar geliştirilebilir. Aynı zamanda, bu sistem içinde, yeni verilerle haritaların güncellenmesi de oldukça kolay olacaktır. Geliştirilen veritabanı, tahmin amacıyla yapay zeka algoritmalarının eğitimini ve testini de kolaylaştırabilir. Bu haritalar, bu bölgede yapılacak temellerin taşıma gücünü veya sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerin belirlenmesini sağlar, sıvılaşabilen veya taşıma gücü zayıf zeminler bu haritalarda görülebilir.



Şekil 9. Zemin sınıfı derinlikle değişim haritaları (Soil Clasification change maps with depth)

Bu çalışma, büyük ölçekli projelerin ön araştırması için gereken süre ve maliyeti azaltacak ve az katlı yapılar için ön temel tasarım önerilerinde bulunarak kullanıma hazır ve geliştirilebilir bir veri tabanı işlevi görecektir.

Bu çalışmanın sonucu, güvenli bir şehir planlamasının ilk aşamasını daha düşük bir maliyetle yapılmasını sağlayacak ve kolaylaştıracaktır. Bunun yanında, depremde risk yönetimi için kullanılabilir ve risklerin düzeyine göre hızlı önlemlerin alınmasını sağlayacaktır.



Şekil 10. a) SK41, b) SK42 ve c) SK43 SPT-N tahmin analizleri (SPT prediction analysis in boreholes)

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu makale, birinci (sorumlu) yazarın danışmanlığında ikinci yazarın Yüksek Lisans tezinden uyarlanmıştır.

Kaynakça (References)

- Aranoff, S., Geographical Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa, Canada, 1989.
- Yomralıoğlu, T., Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Akademi Kitabevi, Trabzon, 2009.
- Sartirana, D., Rotiroti, M., Zanotti, C., Bonomi, T., Fumagalli, L., & De Amicis, M., A 3D Geodatabase for Urban Underground Infrastructures: Implementation and Application to Groundwater Management in Milan Metropolitan Area, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9 (10), 609, 2020.
- Ilic, J. M., Bento, R., ve Cattari, S., 3DCBS representation for supporting seismic mitigation policies at urban scale: The case study of Lisbon, Journal of Cultural Heritage, 45, 265-278, 2020.
- Guvel S.P., Yurtal R., Investigation of sedimentation effects on Seyhan Dam reservoir, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35 (2), 1015-1025, 2020.
- Boyacı A., Gencer C., A bi-objective multi-commodity model for multimodal transportation of hazardous materials: A case study of Turkey, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 (1), 13-26, 2021.
- Bostancı B., Bakır N.Y., Doğan U., Güngör M.K., Research on GIS-aided housing satisfaction using fuzzy decision-making techniques, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (4), 1193-1207, 2017.
- 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.
- 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.
- Naji, D. M., Akin, M. K., and Cabalar, A. F., A Comparative Study on the VS30 and N30 Based Seismic Site Classification in Kahramanmaraş, Türkiye, Advances in Civil Engineering, 2020.
- 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.
- Sharifi-Mood, M., Gillins, D. T., Olsen, M. J., Franke, K. W., and Bartlett, S. F., A Geotechnical Database for Utah (GeoDU) enabling quantification of geotechnical properties of surficial geologic units for geohazard assessments, Earthquake Spectra, 36 (1), 422-451, 2020.
- Cabalar, A. F., Canbolat, A., Akbulut, N., Tercan, S. H., and Isik, H., Soil liquefaction potential in Kahramanmaraş, Turkey. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10 (1), 1822-1838, 2019.
- Walker, B. B., Schuurman, N., Swanlund, D., and Clague, J. J., GIS-based multicriteria evaluation for earthquake response: a case study of expert opinion in Vancouver, Canada. Natural Hazards, 105 (2), 2075-2091, 2021.
- Kim, H.S, Sun, C.G ve Cho, H.I., Site-specific zonation of seismic site effects by optimization of the expert gis-based geotechnical information system for western coastal urban areas in south korea, International Journal of Disaster Risk Science, 10 (1), 117-133, 2019.
- Okur, V., GIS based approach to analyze soil liquefaction and amplification: A case study in Eskisehir, Türkiye. Open Geosciences, 10 (1), 855-865, 2018.
- Yan, P., Peng, H., Yan, L., and Lin, K., Spatial variability of soil physical properties based on GIS and geo-statistical methods in the red beds of the nanxiong basin, china, Polish Journal of Environmental Studies, 28 (4), 2961-2972, 2019.
- Sarı, H., Geostatistical assessments for characteristics of soils around Naip dam, International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM), 7 (02), 213-219, 2019.
- Santos, J. V., Thiesen, S., & Higashi, R., Geological-Geotechnical Database from Standard Penetration Test Investigations Using Geographic Information Systems, In (Ed.), Management of Information Systems, Editor Pomfroyova, M., IntechOpen, 2018.
- Adam, J., Saleh, S., Olowosulu, A. T., Ashara, A. H., & Srividhya, S., Mapping of soil properties using geographical information system (GIS): A case study of Hassan Usman Katsina polytechnic, Open Journal of Civil Engineering, 8 (4), 544-554, 2018.
- Ahmad, M., Muhammad, D., Mussarat, M., Naseer, M., Khan, M. A., Khan, A. A., and Shafi, M. I., Spatial variability pattern and mapping of selected soil properties in hilly areas of hindukush range northern Pakistan, Eurasian Journal of Soil Science, 7 (4), 355-364, 2018.

22. Kılıçdağı, R., Sarıaslan, M., Ak, S., Şanver, S., Akbulut, I., & Nisan, E., Kayseri Kenti'nin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları, MTA Derleme Rapor No:10322, Ankara, 1999.Şekil
23. Terzaghi, K., and Peck, R. B., Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, New York, A.B.D, 664, 1967.
24. Sivrikaya, O., ve Toğrol, E., Türkiye'de SPT-N değeri ile ince daneli zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 18 (89), 4229-4246, 2017.
25. Sykora, D.W., ve Koester, J.P., Correlations Between Dynamic Shear Resistance and Standard Penetration Resistance in Soils, Earthquake Engineering and Soil Dynamics II- Recent Advances in Ground-Motion Evaluation, American Society Of Civil Engineers, 389-404,1988.
26. Maheswari, U.R., Boominathan, A., and Dodagoudar, G.R., Use of surface waves in statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of chennai soils, Geotechnical and Geology Engineering, 28, 119-137, 2010.
27. Uyan, A., Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Ayşebacı mahallesindeki (Karesi/Balıkesir) zeminlerin jeo-mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi, Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2018.
28. Cabalar, A. F., Karabas, B., Mahmutluoglu, B., Yildiz, O., An IDW-based GIS application for assessment of geotechnical characterization in Erzincan, Türkiye, Arabian Journal of Geosciences, 14 (20), 1-14, 2021.