

Zemin Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Mesafenin Tersine ve Kriging  
Yöntemleriyle Kestirimi

Beril BAYRAKTAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2007

Estimation of Soil Properties by Using Inverse Distance Weighting and Kriging  
Methods in Geographical Information System

Beril BAYRAKTAR

**MASTER OF SCIENCE DISSERTATION**

Department of Mining Engineering

July 2007

Zemin Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Mesafenin Tersine ve Kriging  
Yöntemleriyle Kestirimi

Beril BAYRAKTAR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Açık İşletme Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mahmut YAVUZ

Temmuz 2007

Beril BAYRAKTAR'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Zemin Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Mesafenin Tersine ve Kriging Yöntemleriyle Kestirimi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mahmut YAVUZ (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Adnan KONUK

Üye : Prof. Dr. Can AYDAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Derviş Volkan OKUR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Melih İPHAR

<p>Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve .....sayılı kararıyla onaylanmıştır.</p> <p>Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU</p> <p>Enstitü Müdürü</p>
--

## ÖZET

Birçok mühendislik dalının ilgilendiği Zemin Mekaniği, son dönemlerde önemi gittikçe artan bir bilim dalı olmuştur. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde farklı deney yöntemleri bulunmasına rağmen Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) kolay, ucuz ve yerinde çabuk sonuçlar vermesi nedeniyle en fazla tercih edilen deney yöntemlerinden bir tanesidir.

Bu çalışma kapsamında, SPT değerlerinin tahmin edilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir sayısal arazi modelleme yöntemiyle jeoistatistik tabanlı bir modelleme yönteminin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu karşılaştırmayı yapmak için seçilen yöntemler son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan Mesafenin Tersine (MT) ve Kriging yöntemleridir. Tahmin haritaları oluşturulurken, MT tahminleri ile oluşturulan SPT haritaları için MapInfo programı ve Kriging tahminleri ile oluşturulan SPT haritaları için de Surfer programı kullanılmıştır.

Tahminleri yapmak için öncelikle Eskişehir il sınırları içerisinde yapılan bazı sondaj verilerinden gerçek SPT değerleri elde edilmiştir. Daha sonra, gerçek veriler kullanılarak söz konusu alanda MT yöntemiyle tahminler yapılmış ve CBS tabanında SPT tahmin haritaları hazırlanmıştır. Aynı işlem, Kriging yöntemi uygulanarak tekrarlanmış ve jeoistatistik tabanında SPT tahmin haritaları oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra SPT gerçek verileri dikkate alınarak, MT ve Kriging yöntemlerinden tahmin edilen SPT verileri Hadamard çarpım matrisine göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda ise MT yönteminin SPT tahminlerinde genel olarak Kriging yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** CBS, Hadamard, Kriging, MapInfo, MT, SPT, Surfer, Tahmin yöntemleri.

## SUMMARY

The importance of soil mechanics which many engineering disciplines are interested in is becoming a popular science in the recent days. Although there are some different test methods in determining the properties of soil in charge, Standard Penetration Test (SPT) is one of the most preferred tests because of its easy, cheap and fast application in situ.

In the scope of this study, it is aimed to compare a Geographical Information System (GIS) based digital terrain modeling method to a geostatistical method for estimating the SPT values. Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods, which are commonly used in recent days, are chosen in order to make this comparison. MapInfo software is used in order to obtain the digital SPT maps related to the estimations of SPT with IDW method and Surfer software is used for the maps related to estimations with Kriging during the mapping process.

First of all, real SPT values are obtained from the drill holes bored at the Eskişehir region for mapping of the estimated SPT values. After then, the SPT values are estimated by using IDW method and the real SPT values obtained from the mentioned region and the estimated SPT values are mapped in GIS. The same process is also applied for Kriging method and estimated SPT values are also mapped by using geostatistics. Furthermore, estimated SPT values obtained from IDW and Kriging methods are compared to each other and the real SPT values by using Hadamard multiplication. Consequently, it is observed that IDW method leads to better results than Kriging method for estimating the SPT values.

**Keywords:** Estimation methods, GIS, Hadamard, IDW, Kriging, MapInfo, SPT, Surfer.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmamın her aşamasında değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mahmut YAVUZ'a ve yardımcı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. D. Volkan OKUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma olanağı sunan Maden Mühendisliği Bölümü Açık İşletme Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Adnan KONUK'a katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Coğrafi Bilgi Sistemini öğrenmemde önemli bilgi ve katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Can AYDAY'a teşekkür ederim.

Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı MapInfo programının kullanılmasında bana destek olan kıymetli hocam Sayın Arş. Gör. Dr. Ahmet ORHAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Jeoistatistik analizlerin yapılmasında ve bu analizler için gerekli Surfer programının kullanılmasında yardımları ve destekleri için hocam Sayın Arş. Gör. Dr. Hakan AK'a da teşekkür ederim.

Yüksek Lisans Tez çalışmamda göstermiş oldukları sabır ve anlayış, tez çalışmam boyunca vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı sevgili annem Birsen BAYRAKTAR'a, çok değerli babam Cezmi BAYRAKTAR'a ve şu anda yurt dışında olsa da tüm sevgisini ve desteğini benden esirgemeyen kardeşim Gonca Başak BAYRAKTAR'a en içten sevgilerimle sonsuz teşekkürler ederim.

Çalışmamda kullandığım SPT verilerinin sağlanmasında yardımcı olan Sayın Merih ve Selahattin KILIÇ'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>BÖLÜM 1 GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2 COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN TEMEL ESASLARI</b> .....	<b>3</b>
2.1 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS/GIS) Nedir .....	3
2.1.1 Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri .....	4
2.1.1.1 Donanım (hardware) .....	4
2.1.1.2 Yazılım (software) .....	5
2.1.1.3 Veri (data) .....	5
2.1.1.4 İnsanlar .....	5
2.1.1.5 Yöntemler .....	6
2.1.2 Coğrafi bilgi sisteminin çalışma yöntemi .....	6
2.1.3 Coğrafik referanslar .....	6
2.1.3.1 Vektörel veri modelleri .....	7
2.1.3.2 Raster (hücreli) veri modelleri .....	8
2.1.4 Coğrafi bilgi sisteminin uygulama alanları .....	8
2.2 Mesafenin Ters Yöntemi .....	10
2.3 CBS İle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	11
<b>BÖLÜM 3 JEOİSTATİSTİK</b> .....	<b>15</b>
3.1 Jeoistatistiğin Anlamı .....	15
3.2 Jeoistatistiksel Kavramlar .....	16
3.2.1 Bölgeselleşmiş değişkenler .....	16
3.2.1.1 Lokalizasyon .....	16



## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.2 Devamlılık .....	17
3.2.1.3 Anizotropi .....	17
3.2.1.4 Geçişler .....	17
3.3 Variogramlar .....	18
3.3.1 Deneysel bir variogramda kullanılan ifadelerin tanımları .....	19
3.3.1.1 Etki alanı ( $a_r$ ) .....	19
3.3.1.2 Sill .....	19
3.3.1.3 Nugget (külçe) değeri .....	19
3.3.2 Matematiksel variogram modelleri .....	20
3.3.2.1 Küresel model .....	20
3.3.2.2 Ekspansiyel (üssel) model .....	21
3.3.2.3 Lineer model .....	22
3.3.2.4 Parabolik model .....	22
3.3.2.5 Gaussian model .....	23
3.3.2.6 Hole effect model .....	24
3.3.2.7 De Wijsian model .....	24
3.4 Kriging tahmin yöntemi .....	24
3.4.1 Ordinary Kriging yöntemi .....	27
3.4.2 Simple Kriging yöntemi .....	28
3.5 Jeostatistik İle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	28
<b>BÖLÜM 4 ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN TANIMLANMASI .....</b>	<b>31</b>
4.1 Kaba daneli (Kohezyonsuz) zeminler .....	32
4.2 İnce daneli (Kohezyonlu) zeminler .....	32
4.3 Organik zeminler : .....	32
4.4 Zeminlerin Sınıflandırılması .....	33
4.4.1 Dane çapına göre sınıflandırma .....	34
4.5 Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi .....	35
<b>BÖLÜM 5 İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>37</b>

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1	Coğrafik Konumu ve Yüzey Şekilleri ..... 37
5.2	İklim ve Bitki Örtüsü ..... 37
5.3	Bölgenin Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri..... 38
5.3.1	Stratigrafi ..... 39
5.3.1.1	Karkın formasyonu ..... 39
5.3.1.2	Ofiyolitler ..... 40
5.3.1.3	Mamuca formasyonu ..... 41
5.3.1.4	Porsuk formasyonu ..... 42
5.3.1.5	Ilıca formasyonu ..... 43
5.3.1.6	Akçay formasyonu ..... 44
5.3.1.7	Alüvyon ..... 45
5.3.2	Yapısal jeoloji ..... 45
5.3.3	Hidrojeoloji ..... 47
<b>BÖLÜM 6 ÇALIŞMA YÖNTEMİ..... 48</b>	
6.1	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ..... 48
6.1.1	SPT Korelasyonları..... 51
6.1.1.1	Drenajsız kohezyon- SPT N ilişkisi..... 51
6.1.1.2	Aşırı konsolidasyon oranı ..... 51
6.1.1.3	Düzeltilmemiş SPT N değeri ile kumlarda relatif sıkılık arasındaki ilişki ..... 51
6.1.2	SPT N değerinin düzeltilmesi ..... 52
6.2	SPT Verilerinin CBS İle Analizi ..... 55
6.3	SPT Verilerinin Jeostatistik İle Analizi ..... 67
6.4	Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması..... 79
6.4.1	Hadamard çarpımı..... 79
6.4.2	Çalışmada yapılan örnek karşılaştırma ..... 81
<b>BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 87</b>	
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ ..... 89</b>	

**İÇİNDEKİLER (devam ediyor)**

**Sayfa**

**EKLER DİZİNİ ..... 97**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. CBS'nin çalışma adımları.....	6
2.2. Vektörel veri modeli örneği.....	7
2.3. Raster veri modeli.....	8
2.4. Hareketli ortalama tekniği kullanılarak tahmin edilen enterpole edilmiş bir yüzey.	11
2.5. Bir tarama yarıçapı.....	11
3.1. Belirli bir uzaklık aralığındaki numuneleri kullanarak yapılan variogram hesaplamasının şematik görünüşü.....	18
3.2. Küresel tip bir variogram.....	19
3.3. Küresel model.....	20
3.4. Eksponansiyel (üssel) model.....	21
3.5. Lineer model.....	22
3.6. Parabolik model.....	23
3.7. Gaussian model.....	23
3.8. Hole effect model.....	24
5.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	38
5.2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	40
6.1. Kullanılan şahmerdan tipleri.....	53
6.2. İnceleme alanındaki sondaj noktaları.....	56
6.3. 1-2 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	57
6.4. 2-3 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	58
6.5. 3-4 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	59
6.6. 4-5 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	60
6.7. 5-6 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	61
6.8. 6-7 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	62
6.9. 7-8 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	63
6.10. 8-9 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	64
6.11. 9-10 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	65
6.12. 10-11 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.13. 1-2 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	68
6.14. 1-2 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	68
6.15. 2-3 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	69
6.16. 2-3 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	69
6.17. 3-4 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	70
6.18. 3-4 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	70
6.19. 4-5 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	71
6.20. 4-5 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	71
6.21. 5-6 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	72
6.22. 5-6 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	72
6.23. 6-7 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	73
6.24. 6-7 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	73
6.25. 7-8 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	74
6.26. 7-8 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	74
6.27. 8-9 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	75
6.28. 8-9 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	75
6.29. 9-10 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli. ....	76
6.30. 9-10 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	76
6.31. 10-11 metre SPT verileri ile belirlenen variogram modeli. ....	77
6.32. 10-11 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası. ....	77

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1. Kaba ve ince daneli zeminlerin karakteristikleri. ....	33
4.2. MIT sistemi. ....	35
6.1. Bazı ülkelerdeki SPT deneyi ile ilgili veriler. ....	53
6.2. Diğer düzeltme faktörleri. ....	54
6.3. Variogram parametreleri. ....	78
6.4. 1-9 m SPT verilerinin istatistik analizi. ....	78
6.5. 9-17 m SPT verilerinin istatistik analizi. ....	79
6.6. CL-CH zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri. ....	81
6.7. CH zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri. ....	81
6.8. ML zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri. ....	81
6.9. Hadamard çarpım sonuçları. ....	86

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
ASTM	American Society of Testing Materials
$a_r$	Etki alanı
B	Batı
$C_1$	Sill
$C_0$	Nugget
$C_N$	SPT örtü düzeltmesi
$C_u$	Kumun üniformluk katsayısı
$c_u$	Drenajsız kayma mukavemeti
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
D	Doğu
$D_r$	Göreceli sıklık
DSİ	Devlet Su İşleri Kurumu
G	Çakıl
G	Güney
GB	Güney batı
GD	Güney doğu
GIS	Geographical Information System
H	Yüksek plastisite
h	Etki mesafesi ya da tarama yarıçapı
IDW	Inverse Distance Weighting
K	Kuzey
KB	Kuzey batı
KD	Kuzey doğu
L	Düşük plastisite
M	Silt
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MT	Mesafenin Ters Yöntemi

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)**

MTA	Maden Tetkik ve Arama Kurumu
N	SPT değeri
O	Organik madde
P	Kötü derecelendirilmiş dane dağılımı
$q_u$	Serbest basınç mukavemeti
S	Kum
SCI	Hadamard çarpım sonucu
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
UA	Uzaktan Algılama
W	İyi derecelendirilmiş dane dağılımı
$\Phi$	Kayma mukavemeti açısı
$\sigma'_o$	Düşey efektif gerilme
$\gamma$	Variogram fonksiyonu



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Teknolojinin sınır tanımadığı, bilgisayarların ve uydu izleme sistemlerinin her alanda kullanıldığı günümüzde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bilim ve teknolojinin birçok alanında uygulanmaktadır. CBS ana mantığını kullanan yazılımların kullanılmasıyla birçok farklı disiplindeki uygulamalarda karşılaşılan problemlerin çözülmesi daha kolay bir hal almıştır. Zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan arazi çalışmalarının elde edilen veriler ışığında bölgesel bir yapıya kavuşturulması amacıyla CBS kullanılması günümüzde karşılaşılan uygulamalardan bir tanesidir.

Jeoistatistik, maden mühendisleri tarafından geliştirilen ve bölgesel verilerden hareket ederek örneklenmemiş alanlarda tahmin yapılması amacıyla günümüzde çok kullanılan bir tekniktir. Maden ve jeoloji alanlarında öncelikle kullanılmasına rağmen, günümüzde birçok farklı disiplinde jeoistatistiğin uygulamaları görülmektedir. Yeraltındaki yapısal değişimler ile zemin özelliklerinin değişimleri incelendiğinde her ikisinin de düzensizlikler göstermesi, jeoistatistiksel yöntemlerin zemin özelliklerinin kestirilmesinde çok iyi sonuçlar vereceğini göstermektedir.

Bu çalışmada CBS ve jeoistatistik yöntemlerinin bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla bir veritabanı oluşturulmuş ve veritabanında hem CBS hem de jeoistatistik yöntemle tahminler yapılmış ve tahminlerin doğrulukları karşılaştırılmıştır.

Veritabanı oluşturmak için ise; inşaat, jeoloji, jeofizik ve maden mühendisliği çalışma alanları içerisine giren disiplinler arası bir bilim dalı olan zemin mekaniği seçilmiştir. Zemin tabakalarının özelliklerinin belirlenmesi her türlü inşaat ve maden projelendirme çalışmalarında son derece büyük önem taşımaktadır. Zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli deneyler ve arazi gözlemleri yapılmakta ve bunun sonucunda farklı bir çok veri toplanabilmektedir. Bu nedenle hem arazi hem de laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. Bütün dünyada arazide en yaygın kullanılan deneylerden bir tanesi Standart Penetrasyon deneyi (SPT) dir. SPT deneyi zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan basit, çabuk sonuç veren ve elde edilen sonuçlarla dolaylı olarak zemin özellikleri hakkında kısa zamanda uygulamacıya fikir

veren bir deneydir.

Çalışmada, Eskişehir ili merkezinde yapılan zemin sondajlarından alınan SPT verileri kullanarak, hem CBS tabanlı analiz yapan bir yazılım hem de Jeostatistiksel esaslara göre çalışan diğer bir yazılım kullanılarak farklı derinlikler için SPT değerlerini gösteren bölgesel haritalar oluşturulmuştur. Her iki yöntemde de oluşturulan haritalar analiz edilerek, zemin özelliklerinin belirlenmesinde hangi yöntemin daha etkin sonuçlar verdiği araştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, CBS'nin temel esaslarından söz edilerek uygulama alanları ile yapılan çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Üçüncü bölümde, jeostatistik ve temel kavramlarının açıklandığı konu ile ilgili kısa ve öz bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, zemin özellikleri ve bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar kısaca sunulmuştur. Beşinci bölümde inceleme alanının özellikleri ve altıncı bölümde de çalışmada kullanılan (uygulanan) yöntem açıklanmıştır. Son olarak, çalışmanın sonundaki yedinci bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmiştir ve tartışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN TEMEL ESASLARI

Bu bölümde CBS, temel esasları, uygulama alanları ve geçmişte yapılmış çalışmalar ele alınmıştır.

#### 2.1 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS/GIS) Nedir

CBS, İngilizce Geographical Information System (GIS) ifadesinin Türkçe'ye çevrilmiş hali olup, yeryüzünün herhangi bir özelliği ile ilgili çalışmanın bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi esasına dayanır.

Coğrafi Bilgi Sistemi, her ölçekteki doğal ortamın insan, zaman özellikleri ve ilişkilerine ait bilgi toplama, bunları bilgisayar ortamında depolama, saklama, işleme ve kullanıcıya yüksek performanslı analiz yapma olanağı sunan bir bilgisayar sistemidir (Turoğlu, 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemleri için farklı tanımlamalar yapılmaktadır. Bunlardan bazı örnekler aşağıdaki gibidir (Gülersoy ve Yiğiter, 1994):

- Veritabanı; uzayda noktalar, çizgiler ve alanlar olarak tanımlanabilen mekânsal dağıtılmış nitelikleri, aktiviteleri veya olayları içeren özel bir bilgi sistemidir. Bir CBS, sorgulamalar ve analizler için bu noktalar, çizgiler ve alanlar ile ilgili verileri işler (Dueker, 1979).
- Profesyoneller için coğrafi verilerin depolanması, elde edilmesi, işlenmesi ve görüntülenmesi için üstün kapasiteli, otomatikleştirilmiş işlevler kümesidir (Ozemoy vd., 1981).
- Gerçek dünyada mekânsal veriyi toplamak, depolamak, istendiğinde elde etmek, değiştirmek ve görüntülemek için güçlü araç kümesidir (Burrough, 1986).
- Genel bilgileri, harita görüntülenmesine izin veren bir çeşit idari bilgi sistem (Devine ve Field, 1986).
- Dünya'ya bağlı mekânsal verileri elde etmek, depolamak, kontrol etmek, işlemek, analiz etmek ve görüntülemek için bir sistem (Doe, 1987).

- Pek çok verisi mekansal endeksli olan ve veritabanı içindeki mekansal niteliklerle ilgili sorgulamaları cevaplamak için bir işlem kümesi işletilen bir veritabanı sistemidir (Smith vd., 1987).
- Problem-çözüm ortamında mekânsal bağlantılı veriyi bütünleştirmeyi içeren karar verme destek sistemi (Cowen, 1988).
- Mekânsal ve mekânsal olmayan veriyi depolayan, analiz eden ve görüntüleyen bilgi sistemi (Parker, 1988).
- Coğrafyaya bağlı verileri depolamak ve işlemek için el ile veya bilgisayar yardımıyla yapılan işlemler kümesi (Aronof, 1989).
- Teknolojiyi veritabanı ile bütünleştiren, uzmanlığı ve zaman içinde süregelen mali desteği veren organizasyonel yapıyı yansıtan kurumsal bir varlıktır (Carter, 1989).
- İleri düzeyde coğrafi modelde yetenekli bir sistem (Kashkariov, vd., 1989).

Bu sistem, doğal ortamın fiziksel özellikleri (jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri, iklim, bitki örtüsü, toprak vb.), coğrafyanın insan ve insanla ilgili yaklaşımları, mevcut araziden faydalanma, düzenleme ve planlama, işletim-yönetim faaliyetleri, zaman içindeki değişimler ve değişikliklerin takibi ve tespiti, güncelleştirme, karşılaştırma, çakıştırma, temin edilen bilgilerin (metin, grafik ve görüntü gibi) saklanması, analiz edilmesi ve sayısal ifadeler ile somut sonuçlara ulaşılmasını içerir. Bunlar, Coğrafi Bilgi Sisteminin önemli yeteneklerindedir.

### **2.1.1 Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri**

CBS'nin beş temel bileşeni vardır. Bu özellikler önceliklerine göre aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

#### **2.1.1.1 Donanım (hardware)**

CBS'nin işlemini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlı yan ürünlerin bütünü donanım olarak adlandırılır. Bütün sistem içerisinde en önemli araç bilgisayardır ancak tek başına yeterli değildir. Ayrıca yan donanımlara da ihtiyaç vardır. Bunlar; yazıcı (printer), çizici (plotter), tarayıcı (scanner), sayısallaştırıcı (digitizer), veri kayıt üniteleri

(data collector) gibi donanımlardır.

### **2.1.1.2 Yazılım (software)**

Coğrafik bilgileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek üzere, yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalarıdır. CBS yöntemini kullanan pek çok yazılım vardır. Bunlar meslek gruplarına ve bilim dallarına göre farklılık gösterirler. En popüler CBS yazılımları olarak Arc/Info, Geomedia, MapInfo, SmallWorld, Genesis, Idrisi, Grass vb. verilebilir.

### **2.1.1.3 Veri (data)**

CBS'nin önemli bileşenlerinden bir tanesi veridir. Grafik yapıdaki coğrafik veriler ile tanımlayıcı nitelikteki Çizelge verileri gerekli kaynaklardan alınabilir. CBS konumsal veriyi diğer veri kaynaklarıyla birleştirebilir. Böylece birçok kurum ve kuruluşa ait veriler organize edilerek konumsal veriler bütünleştirilebilmektedir.

Ancak elde edilmesi en zor bileşendir. Veri kaynaklarının dağılımı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. CBS'ye yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %50'den fazlası veri toplamak için gerekmektedir.

### **2.1.1.4 İnsanlar**

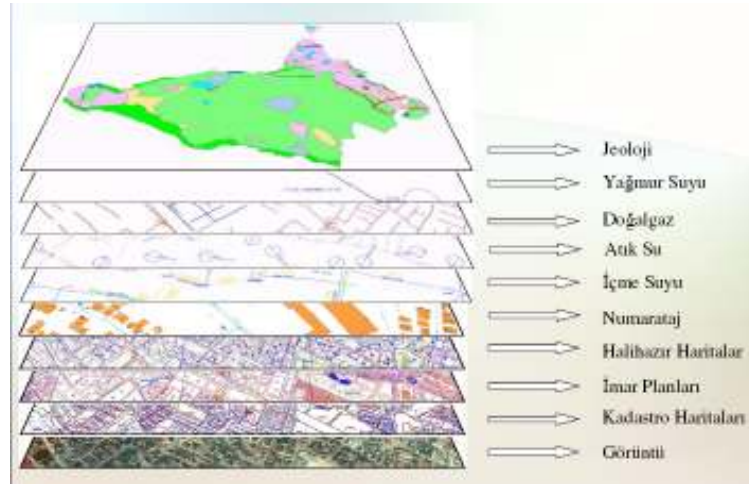
CBS teknolojisi insanlar olmadan sınırlı bir yapıda olurdu. CBS kullanıcıları, sistemleri tasarlayan ve koruyan uzman teknisyenlerden, günlük işlerindeki performanslarını artırmak için bu sistemleri kullanan kişilerden oluşan geniş bir kitledir. CBS'nin gelişmesi ancak kullanıcıların ona sahip çıkmasıyla, yeteneklerini artırmaya yönelik çalışmalarda bulunmasıyla ve değişik disiplinlere yine CBS'nin avantajlarını tanıtmalarıyla mümkün olabilecektir.

### 2.1.1.5 Yöntemler

CBS, iyi tasarlanmış plan ve iş kurallarına göre işler. Bu işlevler her kuruma özgü model ve uygulamalar şeklinde olmaktadır. Konuma dayalı verilerin elde edilerek taleplere göre üretilmesi ve sunulması mutlaka belli standartlar çerçevesinde gerçekleşir. Genellikle standartların tespiti şeklinde olan bu uygulamalar bir bakıma kurumun yapısal organizasyonu ile doğrudan ilgilidir. Bu amaçla yasal düzenlemelere gidilerek gerekli yönetmelikler hazırlanarak ilkeler tespit edilir.

### 2.1.2 Coğrafi bilgi sisteminin çalışma yöntemi

CBS yeryüzüne ait bilgileri, coğrafik anlamda birbiriyle ilişkilendirilmiş tematik (konulu) harita katmanları gibi kabul ederek saklar. Bu yaklaşım, konumsal bilgilerin değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir ve Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. CBS'nin çalışma adımları.

### 2.1.3 Coğrafi referanslar

Coğrafi bilgiler, enlem-boylam şeklindeki coğrafi koordinat ya da ulusal koordinatlar ile tanımlanan referans bilgileri içerirler. Bu coğrafi referanslar nesnelerin koordinatı bilinen bir pozisyona yerleştirilmelerine imkân sağlar. Böylece

ticari bölgeler, araziler, orman alanları, yeryüzü kabuk hareketleri ve yüzey şekillerinin analizleri konuma bağlı olarak belirlenir.

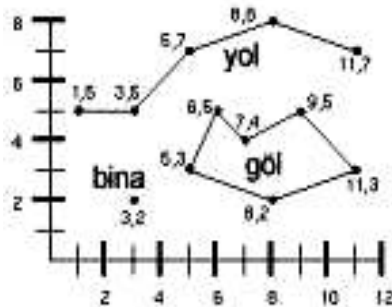
Coğrafik referans konumu belirlerken, koordinat bilgisi seçilecek veri modeline bağlı olarak ifade edilir. CBS’de iki farklı konumsal veri modeli vardır. Bunlar;

- Vektörel (vector) veri modelleri,
- Hüresel (raster) veri modelleridir.

### 2.1.3.1 Vektörel veri modelleri

Vektörel veri modelinde, nokta, çizgi ve poligonlar (x,y) koordinat değerleriyle kodlanarak saklanır. Nokta özelliği gösteren bir ağaç tek bir (x,y) koordinatı ile tanımlanır. Ancak çizgi özelliği gösteren bir yol veya akarsu ve birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde saklanır. Poligon özelliğine sahip coğrafik varlıklar, örnek olarak imar adası, bina, orman alanı, parsel veya göl kapalı şekiller olarak, başlangıç ve bitişinde aynı koordinat olan (x,y) dizi koordinatlar ile depolanır.

Vektörel model coğrafik varlıkların kesin konumlarını tanımlamada önemli faydaları olan bir modeldir. Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafik varlıkların, örneğin toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde kullanımı daha az olan bir modeldir. Şekil 2.2’de vektörel veri modeli görülmektedir.

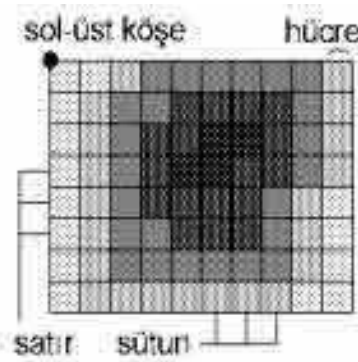


Şekil 2.2. Vektörel veri modeli örneği (KTU internet sayfası, 2007).

### 2.1.3.2 Raster (hücresel) veri modelleri

Hücresel (raster) veri modeli süreklilik özelliğine sahip coğrafik varlıkların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Raster görüntü, birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Hücrelerin her biri piksel (pixel) olarak adlandırılır ve piksel mantığı ile çalışır. Raster modeller fotoğraf görüntüsü özelliğine sahiptir. Fotoğraf ya da haritaların taranması ile elde edilirler. Raster veri modeli Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Vektör ve raster veri modelleri CBS uygulama biçimine göre belirlenerek kullanılır. Ancak günümüzde her iki model aynı zamanda kullanılabilir. Bu tür kullanım şekli CBS'de hibrid (melez) veri modeli olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. Raster veri modeli (KTU internet sayfası, 2007).

### 2.1.4 Coğrafi bilgi sisteminin uygulama alanları

CBS konusu ve kapsamı itibarı ile çalışma alanı yeryüzünün bir parçasını temsil eden doğal ortam, zaman değişkeni ve insan konularından biri veya tümünü içeren bilim dalları ve meslek grupları tarafından amaçları doğrultusunda kullanılabilir. Bu özelliklerinden dolayı CBS geniş bir kullanım alanına sahiptir. Uygulama alanının bu kadar geniş perspektifte olması, aynı prensip ve yöntemi kullanarak hazırlanmış bilgisayar programlarının üretilmesine ve gereksinimler doğrultusunda kullanılabilmesine fırsat vermektedir.

CBS'nin uygulama alanları aşağıdaki gibidir:



- **Çevre Yönetimi:** Çevre düzeni planları, Çevre Koruma alanları, ÇED raporu hazırlama, göller, göletler, sulak alanların tespiti, çevresel izleme, hava ve gürültü kirliliği, kıyı yönetimi, meteoroloji, hidroloji.
- **Doğal Kaynak Yönetimi:** Arazi yapısı, su kaynakları, akarsular, hava analizleri, yabani hayat, yeraltı ve yerüstü doğal kaynak yönetimi, madenler, petrol kaynakları.
- **Mülkiyet-İdari Yönetim:** Tapu-Kadastro, vergilendirme, seçmen tespiti, nüfus, kentler, beldeler, kıyı sınırları, idari sınırlar, tapu bilgileri, mücavir alan dışında kalan alanlar, uygulama imar planları.
- **Bayındırlık Hizmetleri:** İmar faaliyetleri, otoyollar, devlet yolları, demir yolları ön etütleri, deprem zonları, afet yönetimi, bina hasar tespitleri, binaların cinslerine göre dağılımları, bölgesel kalkınma dağılımı.
- **Eğitim:** Araştırma-inceleme, eğitim kurumlarının kapasiteleri ve bölgesel dağılımları, okuma-yazma oranları, öğrenci ve öğretmen sayıları, planlama.
- **Sağlık Yönetimi:** Sağlık-coğrafya ilişkisi, sağlık birimlerinin dağılımı, personel yönetimi, hastane vb birimlerin kapasiteleri, bölgesel hastalık analizleri, sağlık tarama faaliyetleri, ambulans hizmetleri.
- **Belediye Faaliyetleri:** Kentsel faaliyetler, imar, emlak vergisi toplama, imar düzenlemeleri, çevre, park bahçeler, fen işleri, su-kanalizasyon-doğalgaz tesis işleri, TV kablolama, uygulama imar planları, nazım imar planları, halihazır haritalar, altyapı, ulaştırma planı toplu taşımacılık, belediye yolları ve tesisleri.
- **Ulaşım Planlaması:** Kara, hava, deniz ulaşım ağları, doğal gaz boru hatları, iletişim istasyonları, yer seçimi, enerji nakil hatları, ulaşım haritaları.
- **Turizm:** Turizm bölgeleri alanları ve merkezleri, turizm amaçlı uygulama imar planları, turizm tesisleri, kapasiteleri, arkeoloji çalışmaları.
- **Orman ve Tarım:** Eğim-Bakı hesapları, orman amenajman haritaları, orman sınırlar, peyzaj planlaması, milli parklar, orman kadastro, arazi örtüsü, toprak haritaları.
- **Ticaret ve Sanayi:** Sanayi alanları, organize sanayi bölgeleri, serbest bölgeler, bankacılık, pazarlama, sigorta, risk yönetimi, abone, adres yönetimi.
- **Savunma ve Güvenlik:** Askeri tesisler, tatbikat ve atış alanları, yasak bölgeler, sivil savunma, emniyet, suç analizleri, suç haritaları, araç takibi, trafik sistemleri, acil

durum.

## 2.2 Mesafenin Ters Yöntemi

İngilizce olarak Inverse Distance Weighting olarak bilinen MT, yakındaki bir bilinen noktanın değerini ve uzaklığını kullanarak bilinmeyen noktalardaki değerleri tahmin eder (MT bilinen bir noktanın enterpole edilmiş değere katkısını azaltır). Yerel bir yöntemdir ve kesindir. Doğrusal olabilir veya olmayabilir. Örneklenmiş bir veri değerinin ağırlığı (etkisi) tahmin edilen değerden uzaklığıyla ters orantılıdır. Bir başka deyişle, her bir örnek noktasının ağırlığı uzaklıkla ters orantıdır.

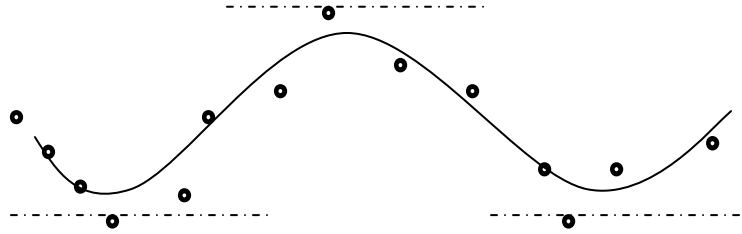
Noktadan uzaklaştıkça, ağırlıktaki azalma örneklenmemiş yerleşimi tanımlamaktadır. Enterpole edilmiş yüzeyi üs değerine (n yüzeyin şeklini etkiler) ve örnekleme noktalarının sayısına bağlıdır. Daha büyük n değerleri, daha yakın noktaların etkili olduğu anlamına gelir ve çok sayıda örnekleme noktası daha düzgün bir yüzeyle sonuçlanır.

Model aşağıdaki gibidir.

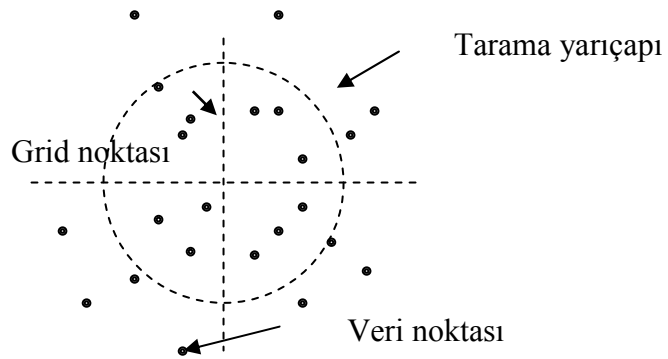
$$\hat{z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-n}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-n}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$z(x_i)$  bilinen bir noktadaki değerdir,  $d_{ij}$  bilinen noktaya uzaklık ve  $z(x_0)$  bilinmeyen noktanın değeridir. N ise kullanıcı tarafından seçilen üs değeridir. Bütün noktaların içinden istenilen bazıları veya hepsi kullanılabilir ve istenilen sayıda nokta alınabilir (tipik olarak 3 veya daha fazla).

MT algoritması, genellikle yüksek oranda değişken verilere uygulanan, hareketli ortalama bir enterpolasyon tahmin yöntemidir. Kesin veri türleri için, toplama yerine dönmek ve alandaki genel eğilime uygun ancak istatistiksel olarak orijinal okumadan farklı bir değeri kaydetmek mümkündür. Bu şekildeki veri türlerine zemin kimyasal sonuçları, çevresel gözlem verileri ve müşteri davranış gözlemleri örnek verilebilir. Yerel eğilimleri tahmin etmek için, yakındaki veri noktalarının hareketli ortalamalarına bakmak yerel yüksek ve düşük verilerin değerlendirilmesine tercih edilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Hareketli ortalama tekniği kullanılarak tahmin edilen enterpole edilmiş bir yüzey.



Şekil 2.5. Bir tarama yarıçapı.

MT yöntemi, kullanıcı tarafından tanımlanan tarama yarıçapında yer alan çevredeki veri noktalarını inceleyerek her bir grid noktası için bir değer hesaplar. O grid noktasının değeri bütün noktaların toplam ağırlıklarının ortalamasıyla hesaplanır. Grid noktasından giderek uzaklaşan veri noktaları, hesaplanan değeri grid noktasına daha yakındaki noktaların verilerinden daha fazladır (Şekil 2.5).

### 2.3 CBS İle İlgili Yapılan Çalışmalar

CBS ile ilgili çok çeşitli alanlarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. CBS'nin bir önceki bölümde bahsedilen uygulama alanları ile ilgili söz konusu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Alparslan vd. (2006), Coğrafi Bilgi Sistemleri CBS'lerinin mekansal veri analizi ve kullanımı kolaylaştıran özelliklerini kullanarak Büyükçekmece ve Küçükçekmece

Gölleri arasındaki bölge hakkındaki geçirimsizlik durumu, jeoloji, zeminlerin sıvılaşmaya yatkınlığı, yeraltı suları, faylar, hidroloji ve eski heyelan alanları gibi çeşitli bilgiler ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojisi ile elde edilen arazi örtüsü, bitki indisi ve yüzey sıcaklığı gibi bilgileri elde etmişlerdir. Bundan sonra, bu bilgiler karşılaştırılarak heyelan duyarlılık analizinde kullanılmış ve bu alandaki yüksek, orta ve az duyarlı heyelan bölgeleri belirlenmiştir.

Baysal ve Tecim (2006) tarafından CBS, Katı Atık Yönetimi alanında katı atık depolama sahası uygunluk analizinin yapılmasında kullanılmıştır. Tehlikeli bir atık türü olan Tıbbi Atık depolama alanlarının belirlenmesinde CBS tabanlı çok ölçütlü karar yöntemlerini uygulamışlardır.

Demirci vd. (2006) ise İstanbul Küçükçekmece su havzasının 1963–2005 yılları arasındaki arazi kullanım değişimlerini UA ve CBS kullanarak analiz etmişlerdir. Bu kullanım değişimleri ve su örneklerinin karşılaştırılması yardımıyla da Küçükçekmece Gölü su havzasının su kalitesini belirlemeye çalışmışlardır.

Karabulut vd. (2006), Kahramanmaraş şehri ve çevresinin zamansal arazi kullanım değişimlerini UA ve CBS kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada da değişik zamanlarda elde edilen hava fotoğrafları, Landsat görüntüleri kullanılarak Kahramanmaraş şehrinin zamana bağlı olarak ne kadar geliştiği belirlenmiştir.

Kargı ve Sarı (2006), Denizli bölgesinde bir alanda maden araması için alanın Landsat uydu görüntülerini işleyerek MapInfo programıyla alanın haritasını çizmişlerdir. Bu yöntemle demir oksit ve kil anomalilerini belirlemişlerdir.

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 literatüre sunulmuştur.

Bunun dışında, CBS Geoteknik alanında SPT haritası, SPT-N haritası, taşıma gücü haritası, sıvılaşma haritası ve deprem hasar haritası çıkarmada da kullanılmaktadır (Sert vd., 2006; Karavul vd., 2006a; Koca ve Kıncal, 2003). Arazi yamaç eğimi ve jeolojik veri katmanlarının CBS ve MapInfo programı yardımıyla haritalarının oluşturulduğu çalışmalara da Kıncal'ın (2006) İzmir yöresinde yaptığı çalışma da örnek verilebilir.

Ayrıca, zemin haritaları oluşturulurken veri analizinin haritaların hata kaybını azalttığı ve işlemin önemini vurgulayan çalışmalar da bulunmaktadır (Karavul vd., 2006b). Buna bağlı, CBS hata kaynakları (Kavramsal, mantıksal, istatistiksel ve coğrafi hatalar) incelenip bunların azaltılması ve CBS'ten daha hassas sonuçlar elde edilmesi için gereken önlemler araştırılmıştır. Ayrıca, jeostatistiksel ve CBS kullanılarak toprak özelliklerini gösteren haritalar da hazırlanmaktadır (Akbaş ve Yıldız, 2004). Eskişehir'de sivilaşma potansiyeli, şişme potansiyeli, yeraltı su seviyesi, şev akış hassasiyeti gibi zemin özelliklerinin incelendiği bir çalışma da Kolat v.d. (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir.

CBS'nin ilginç bir uygulama alanı da Günay Ergün ve Saraç (2006) tarafından yapılan Sağlık coğrafyasıdır. Bu alanda CBS ile mekânsal analiz modelleri ve yöntemleri sağlık hizmetlerinin mekânsal durumu ile ilgili yenilikler getirmektedir. Bunlara ek olarak, UA ve CBS kullanılarak arkeolojik sahaların analizleri yapılabilmektedir (Turoğlu, 2006). Turoğlu (2006), Urartu uygarlığının refah merkezi olan Yoncatepe Sarayı/Kalesi ve çevresinin günümüz arazi özelliklerini UA ve CBS yardımıyla belirlemiş ve bölgenin Urartu dönemi kullanım haritasını bu verileri kullanarak hazırlamıştır. Bu da CBS'nin ilginç kullanım alanlarından bir tanesidir. Bir başka alan ise CBS kullanılması ile gürültü kirliliğinin belirlenmesidir (Kumbur, 2006). Gürültü ölçümü yapılarak CBS yardımıyla Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü sayısal haritasına ölçümler girilerek gürültü haritası oluşturulmuştur.

Buna ek olarak, Ayeni et al., (2004) Nijerya' da turizm endüstrisi için Multimedia CBS veritabanı oluşturmuşlardır. Hindistan'daki deprem riski azaltma kapsamında hasar haritaları oluşturmak için CBS'lerinden yararlanılmıştır (Anand, 2000). Çevresel acil eylem planlarının uygulanması için de CBS veritabanından yararlanılmaktadır (Spearin, 2004). CBS'nin şehir planlamasında kullanımı ile ilgili örnek uluslararası çalışmalar da yapılmaktadır (Haala et. al, 1998). CBS'nin ve deprem hasar haritalarının arazi kullanımı, planlanması ve ayarlanması konusunda kullanıldığı bir çalışma da Marks (1992) tarafından Seattle ile ilgili olarak yapılmıştır. Bunun yanında, zemin haritaları oluşturulmasında CBS bulanık mantıkla birlikte uygulanmıştır (Zhu vd., 2001).

Bu çalışmaların dışında sivilaşma (Ündül ve Gürpınar, 2003; Çetin ve Unutmaz,

2004) ve sivilaşma etkilerinin azaltılmasında bir takım zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar da yapılmıştır.

## BÖLÜM 3

### JEOİSTATİSTİK

Bu bölümde jeostatistiğin anlamı, jeostatistiksel kavramlar, jeostatistikte kullanılan matematiksel modeller ve kriging tahmin yöntemi anlatılmıştır.

#### 3.1 Jeostatistiğin Anlamı

Jeostatistik kelimesi, “Jeo” ve “İstatistik” kelimelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş olsa da, istatistiğin jeolojiye uygulanması değildir. Jeostatistik kavramı 1960’lı yıllarda G. Matheron bölgeselleşmiş değişkenler teorisi üzerine yaptığı teorik çalışmaların jeoloji ve madencilik ile ilgili problemlerin çözümünde kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Bu teori, 1951’de Daniel Krige’nin Güney Afrika altın madenlerinde yaptığı ampirik çalışmalarda elde ettiği sonuçlarla onaylanmıştır. Bu nedenle de, “Kriging” terimi D. Krige’nin onuruna jeostatistiğe girmiştir (Yüksek, 1995; Ak, 1998).

1963 yılında Matheron tarafından sunulan klasik Jeostatistik madencilik sektöründe cevher zonlarının araştırılması amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, Jeostatistik yeraltı suyunun modellenmesi, yağmur akışının izlenmesi, atmosferdeki kirliliğin araştırılması, ağır metallerin araştırılması, zemin davranışları ve özelliklerinin araştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Sonuç olarak jeostatistik, belirlenen doğa olayının değişiminin araştırılması ve örneklendirilmemiş bölgelerin tahmininin yapılması için bir tekniktir.

Klasik istatistikte, temel olarak bir gruptan alınan bütün örnekler her zaman rasgele ve birbirlerinden bağımsızdırlar. Oysa jeostatistikte örnekler birbirleriyle uzaysal bir korelasyona sahiptirler. Bu korelasyonun fonksiyonu kısaca “Variogram” olarak adlandırılır (Ak, 1998).

Ayrıca, Jeostatistik rezerv hesaplamada kullanılan Variogram, Blok Varyansı, Tahmin Varyansı, Kriging bileşenlerinin toplamıdır. Bir başka deyişle jeostatistik bir rezerv hesaplama metodu değildir. Variogram, maden yatağından alınan örnekler

arasındaki ilişkiyi ve dağılımlarını belirlemeye yarayan yapısal analizdir. Blok varyansı ve Kriging işlemi ile bilinmeyen noktalardaki değerleri bulmak için bilinen noktalarının ağırlık katsayıları hesaplanır. Tahmin varyansı, hesaplama sonucu elde edilen değerlerin hata oranını belirleyen bir işlemdir. Tüm bu işlemlerin sistematik olarak yapılması gerekir.

## **3.2 Jeostatistiksel Kavramlar**

### **3.2.1 Bölgeselleşmiş değişkenler**

Belirli bir yapıya sahip maden yatağının, belirli bir yerinden, belirli bir miktarda ve hacimde alınan örneğe “bölgeselleşmiş değişken” adı verilir. Bu nedenden ötürü, bölgeselleşmiş değişken, rasgele örneklenmiş bir değişken olmayıp sürekli bir fonksiyona sahip değildir.

Metharon’un geliştirdiği bölgeselleşmiş değişkenler teorisinde farklı hacimleri olan bölgeselleşmiş değişkenlerin yapısal karakteristikleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmaktadır (Ak, 1998). Örneğin, karot örneklerinin karakteristiğini belirlemeye çalışır. Bu teoriye göre bölgeselleşmiş değişkenlerin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

#### **3.2.1.1 Lokalizasyon**

Bir maden yatağındaki değişimler belirli bir geometrik alan (veya üç boyutlu hacim) sınırları içinde oluşur. Bunun yanında, maden yatağının herhangi bir noktasındaki değişken değeri, en azından o noktadan alınacak örneğin şekli, boyutları ve doğrultusuyla açıklanır. Bunlardan herhangi birinde yapılan değişiklikle, yeni bir bölgeselleşmiş değişken elde edilir. Örneğin; aynı yerden 10 kilogramlık karot örneği ve 10 tonluk patlatma ile parçalanmış örnek alındığında, her iki örnek de aynı yerden alınmasına rağmen, iki ayrı bölgeselleşmiş değişkendir. Genel olarak, patlatma ve karot örneklerinin ortalamalarının birbirinden farklı olması ve aynı zamanda patlatma örnekleri hacminin daha büyük olması nedeniyle, örnek alınan yerin ortalama değişken



değeri patlatma örneklerini daha iyi temsil eder.

### **3.2.1.2 Devamlılık**

Bazı maden yataklarından alınan örnekler arasında belirli bir boyut (uzaklık) civarında veya sürekli olarak “devamlılık”, yani örnekler arası bir ilişki gözlenir. Bazılarında ise böyle bir ilişki gözlenmez.

Maden yataklarındaki mineralizasyonun üç boyutlu varyasyonları, cevher oluşumunun jeolojisine ve alınan örneklerin cinsine göre çok farklı olmaktadır. Örneğin, sedimanter kökenli cevherler, hidrotermal kökenli cevherlerden genellikle çok daha iyi devamlılık gösterirler. Birçok maden yatağında, karmaşık varyasyonlara rağmen, belirli bir devamlılık görülmektedir. Bununla birlikte, bazı cevherlerde (nabit altın) ise belirli bir devamlılık görülmez ve maden yatağındaki cevher dağılımı rassaldır. Belirli oranlarda da olsa devamlılık gözlenen maden yataklarının değerlendirilmesinin kolay olmasına karşılık, rassal değişkenlerin değerlendirilmesi ise çok güçtür.

### **3.2.1.3 Anizotropi**

Bir maden yatağından alınan örneğin etki alanı bütün yönlerde aynı uzanımı göstermez. Bir yönde tedrici ve küçük tenör değişikliklerine karşılık, diğer bir yönde daha hızlı ve düzensiz değişiklikler görülür. Buna karşılık, sedimanter ve stokwork tipi cevher yataklarında tüm yönlerde ortak anizotropi görülebilir.

### **3.2.1.4 Gecişler**

Maden yatağından alınan bazı örnekler arasında devamlılık gözlenirken bazıları arasında ise gözlenmeyebilir. Bu olay, geçişler halinde devam eder. Özellikle sülfütlü yataklarda geçişler çok sık gözlenir.

### 3.3 Variogramlar

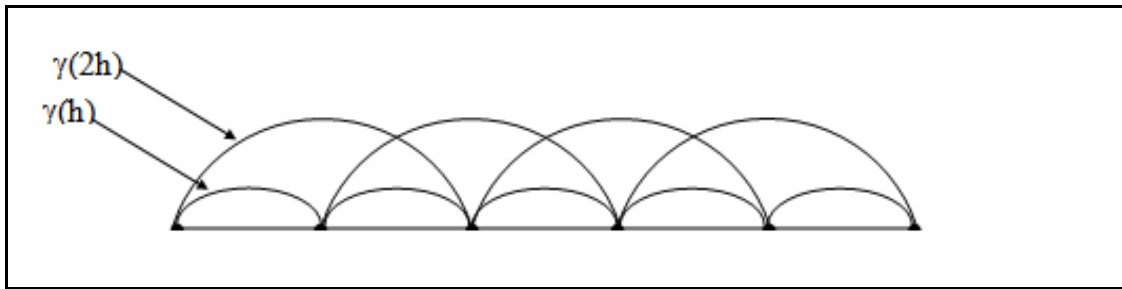
Variogram, bir cevher yatağından alınan örnekler arasındaki uzaysal korelasyonu belirlemek için kullanılır. En büyük özelliği ise, maden yatağını değerlendirirken, cevherleşmenin sürekliliği, etki mesafesi ve yönü gibi jeolojik değişkenleri bir fonksiyon şeklinde ifade etmesidir.

Variogram belirli aralıktaki numune değerlerinin ortalama farklarının karesini gösteren bir grafikdir. Bu grafik aşağıdaki gibi çizilir:

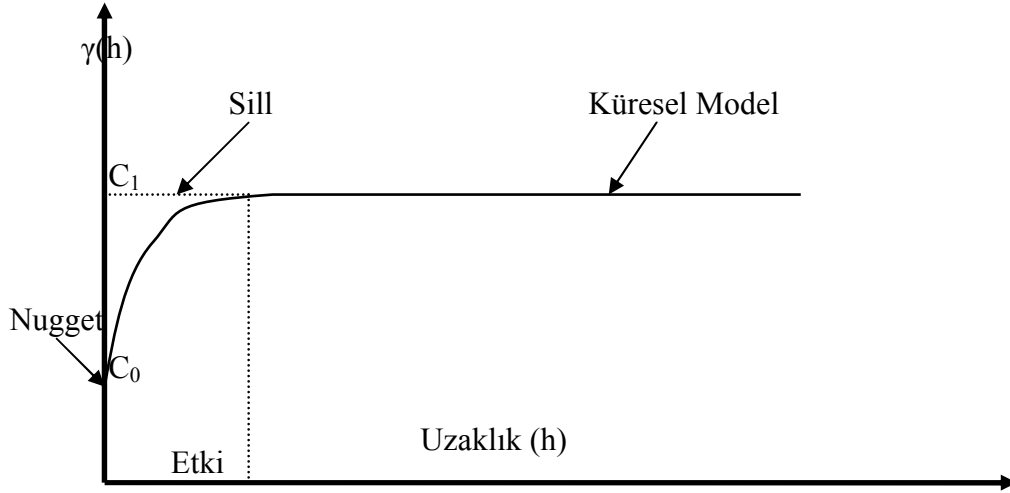
Herhangi bir  $x$  noktasındaki değer (tenör, kalınlık vb.)  $Z(x)$  ve bu noktadan  $h$  mesafedeki değer  $Z(x+h)$  ise, bu iki nokta arasındaki fark  $(Z(x)-Z(x+h))$  şeklinde ifade edilir. Variogram analizi için, farklı "h" mesafeleri için noktalar arasındaki farkların, karelerinin ortalaması alınır Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanır.

$$\gamma(2h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Eşitliğin sol tarafındaki "2" den dolayı, grafiksel gösterim Semi-Variogram olarak adlandırılır. Hesaplamalardan sonra elde edilen ortalama değerler yatay eksenini "h", dikey eksenini " $\gamma(h)$ " olan bir grafikte gösterilir. Şekil 3.1, farklı "h" mesafelerinin nasıl göz önüne alındığını gösterirken Şekil 3.2, bir variogramı ve onun parametrelerini göstermektedir.



Şekil 3.1. Belirli bir uzaklık aralığındaki numuneleri kullanarak yapılan variogram hesaplamasının şematik görünüşü (Ak, 1998).



Şekil 3.2. Küresel tip bir variogram (Ak, 1998).

### 3.3.1 Deneysel bir variogramda kullanılan ifadelerin tanımları

#### 3.3.1.1 Etki alanı ( $a_r$ )

Bu alan içinde kalan ve belirtilen bir sondaj noktasında belirli bir uzaklıkta bulunan diğer sondaj noktalarının değerleri o sondaj noktasının değerlerini etkilemektedir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların etkisi yoktur.

#### 3.3.1.2 Sill

$(C_1+C_0)$  variogram fonksiyonun belirli bir dönüm noktasına ulaştığı noktadır. Pratikte sill, variogramı hesaplamak için kullanılan tüm numunelerin varyansına eşittir.

#### 3.3.1.3 Nugget (külçe) değeri

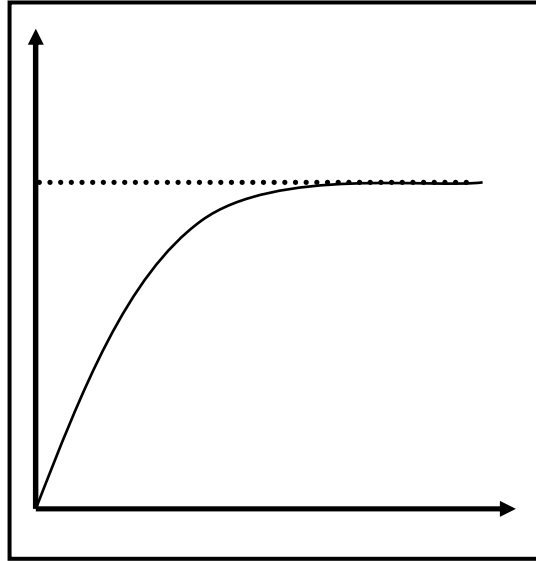
$(C_0)$ ,  $h=0$  m. uzaklıkta variogramın aldığı değerdir. Cevher yatağının bölgesel homojenliğini ifade eder. Yüksek değerdeki nugget değeri mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığını (cevherin, cepler veya adeseler halinde

yoğunlaştığını) veya kötü numune değerlendirilmesi yapıldığını belirtir. Teorik olarak sıfır olması gerekir.

### 3.3.2 Matematiksel variogram modelleri

#### 3.3.2.1 Küresel model

Eldeki verilerin kullanılması ile oluşturulan grafiksel gösterimin, Jeostatistiğin daha sonraki aşamalarında kullanılabilmesi için bir matematiksel fonksiyon olarak gösterilmesi gerekir. Bu matematiksel fonksiyonlara, matematiksel variogram modelleri denir. Bu amaç için değişik değişik matematiksel variogram modeller geliştirilmiş olup bunlardan “Küresel model” Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Küresel model.

Matematiksel variogram modellerinden en yaygın olarak kullanılanı Küresel Model’dir. Bu modelin denklemi ise aşağıdaki gibidir:

$$\bar{\gamma} = C_1 \left( \frac{3h}{2a_r} - \frac{h^3}{2a_r^3} \right) + C_0 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\bar{\gamma} = C_1 + C_0 \dots\dots\dots (3.3)$$

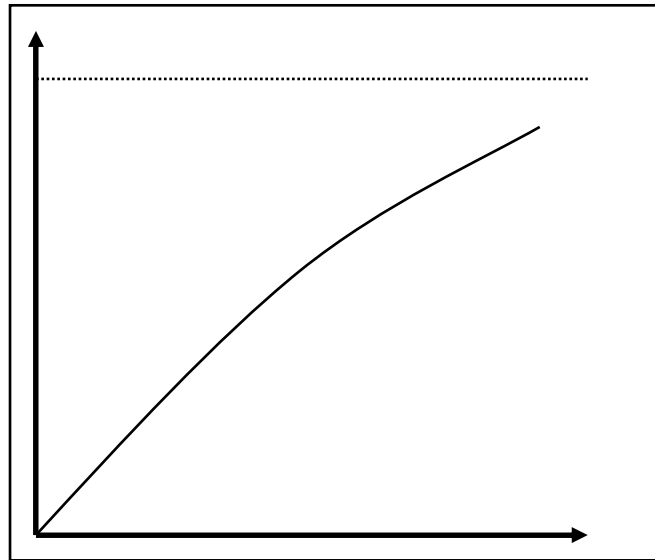
Burada,  $C_1$  sill değerini,  $C_0$  nugget etkisini,  $a_r$  etki mesafesini,  $h$  ise, variogram mesafesini gstermektedir.

### 3.3.2.2 Eksponansiyel (üssel) model

Bu model için çizilen variogram bir etki mesafesine sahip değildir, fakat eğri asimptotik olarak sill değerine ulaşır. Model Şekil 34'te görölmektedir. Bu model için birçok matematiksel fonksiyon geliştirilmiş ve bunlardan Rendu tarafından geliştirilen fonksiyonlar aşağıdaki gibidir (Yüksek, 1995):

$$\bar{\gamma}_1(h) = 1 - \exp(-h / 40) \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\bar{\gamma}_2(h) = 1 - \exp(-h / 600) \dots\dots\dots (3.5)$$



Şekil 3.4. Eksponansiyel (üssel) model.

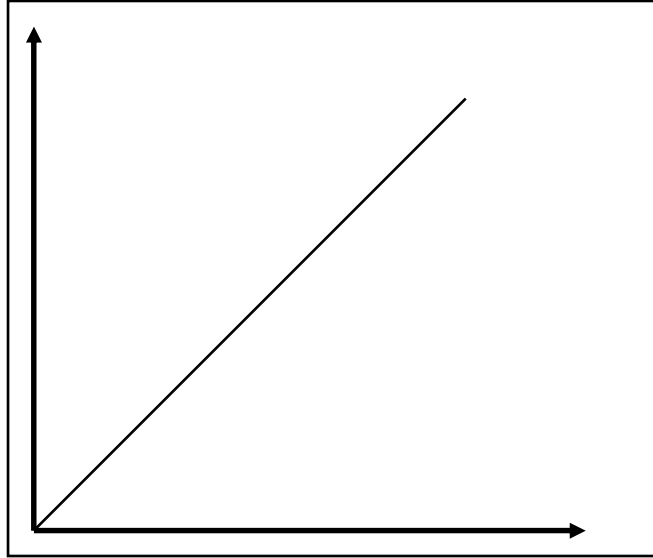
### 3.3.2.3 Lineer model

Variogram değışkeni uzaklıkla doğru orantılıdır. Bu model Şekil 3.5'te gösterilmiştir ve matematiksel fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\bar{\gamma}(h) = ah \dots\dots\dots (3.6)$$

veya

$$\bar{\gamma}(h) = akh \dots\dots\dots (3.7)$$



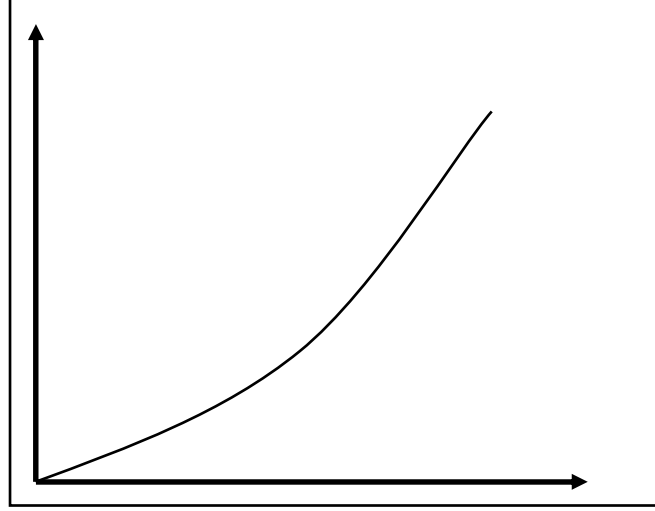
Şekil 3.5. Lineer model.

### 3.3.2.4 Parabolik model

Bu modelin grafiği lineer bir eğilim gösterir ve örnek değerlerinde süreklilik hakimdir (Şekil 3.6). Genel denklemini,

$$\bar{\gamma}(h) = C_0 + (d^2 / 2)h^2 \dots\dots\dots (3.8)$$

şeklindedir (d: kalınlık).

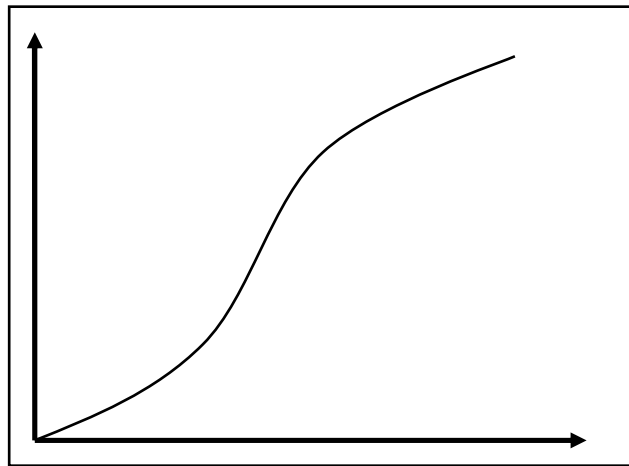


Şekil 3.6. Parabolik model.

### 3.3.2.5 Gaussian model

Kısa mesafeler için parabolik model gibi davranış gösterirken çok uzak mesafelerde düz özellik gösterir. Şekil 3.7’te bu model verilmiştir. Denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\bar{\gamma}(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-h^2 / a^2)] \dots\dots\dots (3.9)$$

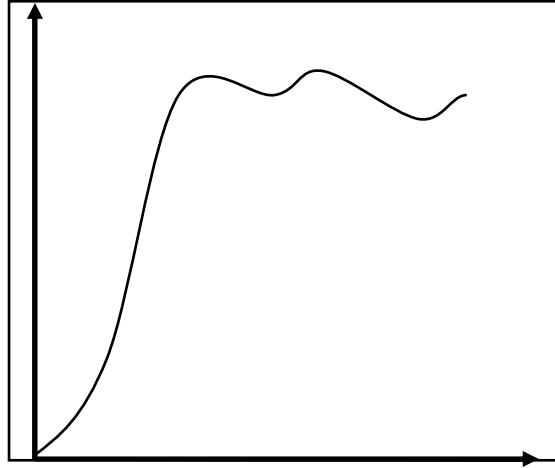


Şekil 3.7. Gaussian model.

### 3.3.2.6 Hole effect model

Mineralleşmede periyodikliğin bir göstergesi ya da örnek aralıklarını yansıtan bir modeldir ve Şekil 3.8’te görülmektedir. Bu modelin fonksiyonlarından bir tanesi aşağıdaki gibidir:

$$\bar{\gamma}(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-h/a)\text{Cos}(2\pi h/b)] \dots\dots\dots (3.10)$$



Şekil 3.8. Hole effect model.

### 3.3.2.7 De Wijsian model

Yukarıda verilen matematiksel modellerden başka ilk olarak geliştirilen model de De Wijsian Modeli’dir (Yüksek, 1995). Bu modelin matematiksel denklemi şu şekildedir:

$$\bar{\gamma}(h) = C_0 + 3\alpha \ln(h) \dots\dots\dots (3.11)$$

Burada  $\alpha$  bir sabittir.

## 3.4 Kriging Tahmin Yöntemi

Kriging yöntemi, bir bloğun değişken değerini (tenör, kalınlık, kalori, kül, su vb.), bloğun kendi içindeki ve çevredeki örnek değerleri setinin lineer kombinasyonu olarak



tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Yöntemin amacı, blok çevresindeki ve içindeki örnek değerlerinin bloğa atanmasıyla, blok değerinin tahminindeki hataların varyansını en küçüklemektir. Bu nedenle de, Kriging yöntemiyle blok içindeki ve çevredeki örnek değerlerinin blok değerine etkisini açıklayan ağırlık katsayıları bulunur. Bu ağırlık katsayıları, tahmin varyansını en küçükleyen getiren bir kombinasyonu içerir.

Değişken değeri tahmin edilmeye çalışılan v hacimli bir bloğun değeri:

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n w_i Z(S_i) \dots\dots\dots (3.12)$$

burada;

$Z_v^*$ : v hacimli bloğun merkezine atanan tahmini değişken değeri,

$Z(S_i)$ :  $S_i$  örneğinin gerçek değişken değeri,

$W_i$ :  $Z(S_i)$  değerli  $S_i$  örneğinin ağırlık katsayısıdır.

Tahmin varyansını en küçükleyen katsayıların toplamı;

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \text{ dir } \dots\dots\dots (3.13)$$

Tahminlerin varyansı semi-variogram fonksiyonlarıyla da ilişkili olarak şu şekilde hesaplanır.

$$\sigma_e^2 = 2 \sum_{i=1}^n W_i \cdot \bar{\gamma}(S_i, v) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i W_j \cdot \bar{\gamma}(S_i, S_j) - \bar{\gamma}(v, v) \dots\dots\dots (3.14)$$

Burada;

$\sigma_e^2$ : Tahmin varyansı,

$\bar{\gamma}(S_i, v)$ : v hacimli blok merkezi ile  $S_i$  örnekler arası ortalama semi-variogram,

$\bar{\gamma}(S_i, S_j)$ :  $S_i$  örneğindeki bir nokta ile  $S_j$  örneğindeki diğer bir nokta çifti arasındaki ortalama semi-variogram,

$\bar{\gamma}(v, v)$ : v hacimli blok içindeki mümkün tüm noktalar arası ortalama semi-variogramdır.

Tahmin varyansının boyutu, semi-variogramla gösterilen mineralizasyonun karakteristiğine, değişken değeri tahmin edilen bloğun şekline ve boyutlarına, kullanılan

toplam örnek sayısına, blok içindeki ve çevredeki birbirleriyle ilgili örneklerin göreceli pozisyonuna, her bir örneğe atanan ağırlığa ve kullanılan tahmin yöntemine bağlı olarak değişir (Ak, 1998).

Tahmin varyansı, ağırlıklara göre diferansiyelinin alınmasıyla enküçüklenir ve diferansiyel sıfıra eşittir.

$$\frac{\delta \sigma_e^2}{\delta W_i} = 0 \quad i=1, 2, 3, \dots, n. \quad (3.15)$$

bu, n eşitlik ve n bilinmeyen ( $W_1, W_2, \dots, W_n$ ) sağlar. Burada bulunan ağırlıklar toplamı,

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1. \quad (3.16)$$

ile sınırlandırmak için, diğer bir bilinmeyen olarak Lagrangian çarpanı ( $\lambda$ ), eşitlik sistemini dengeleyici bir unsur olarak işlemlere dahil edilir.

Bu durumda;

$$\sigma_e^2 - \lambda \cdot \left( \sum_{i=1}^n W_i - 1 \right). \quad (3.17)$$

eşitliğinin diferansiyeli alındığında, n+1 eşitlik ve n+1 bilinmeyen ortaya çıkar ve  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ile sağlanır.

Diferansiyelin alınması ve eşitliklerin düzenlenmesinden sonra, aşağıdaki eşitlik sistemi ile yazılabilir.

$$\sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^n W_j \cdot \bar{\gamma}(S_i, S_j) + \lambda = \bar{\gamma}(S_i, v). \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad i=1, 2, 3, \dots, n. \quad (3.19)$$

Burada;

$\bar{\gamma}(S_i, S_j)$  :  $S_i$  ve  $S_j$  örnekleri arası ortalama semi-variogram,

$W_j$  : bilinmeyen ağırlıklar,

$\lambda$  : Lagrangian çarpanı,

$\bar{\gamma}(S_i, v)$  : v hacimli bir blok merkezi ile  $S_i$  örnekleri arası ortalama semi-variogramdır.

Bu eşitliğin çözümü, en iyi lineer eğilimsiz tahminciyi veren ağırlıklar setini üretir. Bu ağırlıklara ve Lagrangian çarpanına bağlı olarak Kriging varyansı;

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \bar{\gamma}(S_i, v) + \lambda - \bar{\gamma}(v, v) \dots\dots\dots (3.20)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu Kriging varyansı enküçükleyen tahmin varyansını göstermektedir.

### 3.4.1 Ordinary Kriging yöntemi

Ordinary Kriging yöntemi, veri değerlerinin lineer kombinasyonu ile bir panonun tenörünün tahminini kapsar (Ak, 1998).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Z(S_i) \dots\dots\dots (3.21)$$

Burada;

$Z^*$  : tahmin edilen pano tenörü,

$n$  : örneklerin sayısı,

$Z(S_i)$  :  $S_i$ 'inci örneğin tenör değeri,

$W_i$  :  $S_i$ 'inci örneğin ağırlık katsayısıdır.

Ağırlık katsayılarının değeri iki şart yapılarak belirlenir. Birincisi, ağırlık katsayıları toplamı 1'e eşittir ( $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ ). İkincisi ise, ağırlık katsayıları tahmin varyansını enküçükler.

Tahmin varyansını enküçükleyen ağırlık katsayıları ( $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ), aşağıdaki Kriging sisteminin çözülmesiyle bulunur.

$$\sum_{i=1}^n W_i \cdot \bar{\gamma}(S_i, S_j) - \lambda = \bar{\gamma}(S_i, v) \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad i=1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (3.23)$$

Burada;

$\bar{\gamma}(S_i, S_j)$  : herhangi bir  $S_i$  ve  $S_j$  noktaları arasındaki ortalama kovaryans,

$\bar{\gamma}(S_i, v)$  : herhangi bir  $S_i$  ve tahmin edilen  $v$  bloğu arasındaki ortalama kovaryans,  
 $\lambda$  : ağırlık katsayılarının toplamının 1'e eşit olması için sisteme yerleştirilen Lagrangian çarpanıdır.

Kriging varyansı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\sigma_k^2 = \bar{\gamma}(v, v) + \lambda - \sum_{i=1}^n \bar{\gamma}(S_i, v) \dots \dots \dots (3.24)$$

Burada;  $\bar{\gamma}(v, v)$  : tahmin edilen blok içindeki herhangi iki nokta arasındaki ortalama kovaryansdır.

### 3.4.2 Simple Kriging yöntemi

Maden yatağı ortalamasının bilindiğinin varsayıldığı durumda Kriging tahmincisi aşağıdaki durumda olur (Ak, 1998).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n W_i \cdot [Z(S_i) - M] + M \dots \dots \dots (3.25)$$

$$Z^* = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Z(S_i) + M \left( 1 - \sum_{i=1}^n W_i \right) \dots \dots \dots (3.26)$$

Burada;  $M$ , maden yatağının ortalamasıdır.

Tahmin edilen blok için enküçükleyen tahmin varyansını veren ağırlıklar ( $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ), aşağıdaki Kriging sisteminin çözümü ile elde edilir.

$$\sum_{i=1}^n W_i \cdot (S_i, S_j) = \bar{\gamma}(S_i, v) \quad i=1, 2, 3, \dots, n \dots \dots \dots (3.27)$$

Tahmin varyansı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{ks}^2 = \bar{\gamma}(v, v) - \sum_{i=1}^n W_i \cdot \bar{\gamma}(S_i, v) \dots \dots \dots (3.28)$$

### 3.5 Jeostatistik İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Jeostatistik modeller çoğunlukla madencilik ve ormancılık alanında kullanılmaktadır. Ancak; zemin mekaniği, jeoloji, hidrojeoloji çevre gibi alanlarda da

yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, bunlarla ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır. Söz konusu çalışmalara aşağıdaki örnekler verilebilir.

Öncelikle madencilik alanı değerlendirildiğinde, Watson vd.'nin (2001) Pittsburgh kömür madenlerinden alınmış örneklerdeki sülfür içeriğinin ölçümlerini kullanarak kömür sülfür içeriğini tahmin eden bir jeostatistik model geliştirdikleri görülmüştür. Bununla beraber, jeostatistik modelinin hassasiyetini belirlemek için modelde, başka 53 madenden elde edilen sülfür içeriği verileri kullanılmıştır. Sonuçlara göre jeostatistik model kullanılarak tahmin edilen sülfür içerikleri, araziden elde edilen ölçümlerle çok yakın çıkmıştır.

Bunun yanında, Etibank 100. Yıl Gümüş Madeni İşletmesi'nde, basmaklarda tenör kontrolü için arama sondajlarının yeterliliğinin belirlenmesinde jeostatistik yöntemlerin araştırıldığı bir çalışma da Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir (Ak, 1998).

Bir başka çalışmada ise, bir maden bölgesindeki As ve Zn kirliliğinin, zemin risk değerlendirme haritalarının oluşturulmasında jeostatistik kullanılmıştır (Komnitsas ve Modis, 2006). Bununla beraber, boksit cevheri yataklarının modellenmesinde de jeostatistik kullanılmaktadır (Diko, vd., 2001). Madencilik alanında bir başka çalışmada ise bir granit yatağının feldspat içeriği ve kalitesini araştırmak için jeostatistik modelleme kullanılmıştır (Taboada, vd., 2002).

Hidrojeolojide ise, sığ yeraltı sularının yanak akışının modellenmesinde kullanılmaktadır (Fairley ve Nicholson, 2006). Ayrıca, sığ denizlerdeki kum dağılımı özellikleri jeostatistik modellerle tahmin edilebilmektedir (Verfailliea, vd., 2006).

Zemin ve jeoloji alanlarında yapılan çalışmalara göz atılırsa, CBS tabanlı veri katmanlarına dayanan dijital zemin haritalarının oluşturulmasında jeostatistik modellemenin, sinir ağları, bulanık mantık, doğrusal modeller ve regresyon analizi ile birlikte kullanılabilirliği görülmektedir (McBratney, vd. 2003). Ayrıca, zeminden örnek alınan alanların variogramının tahmin edilmesi için optimize edildiği çalışmalara da rastlanmaktadır (Lark, 2002). Zeminlerin bazı özelliklerinin dağılımına göre haritalarının oluşturulmasında kullanıldığı da bilinmektedir (Duffere, 2007). Zemin batma direncinin uzaysal değişiminin elde edilmesinde, değişik zemin nem koşullarında jeostatistiğin kullanıldığı çalışmalar da vardır (Utset ve Cid, 2001; Veronese Ju'nior,

vd., 2006). En son olarak, zeminden alınan örneklerin SPT değerlerine göre sıvılaşma özelliklerinin tahmininde kullanılmaktadır (Dawson ve Baise, 2005).

## BÖLÜM 4

### ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN TANIMLANMASI

Zemin; yerküre kabuğunun dış kısmını oluşturan, daneli, boşluklu, boşlukları su ve/veya su'dan oluşan üç fazlı bir malzemedir. Diğer bir ifadeyle, muhtelif boyuttaki ve şekildeki mineral danelerinin toplamıdır. Mineral, belirli bir kristal şekle sahip, kimyasal formülle ifade edilen, homojen ve genellikle katı olan maddedir. Zemin denilince herhangi bir çimentolaşma ile birbirine yapışmamış daneler akla gelmelidir (Uzuner, 2001).

Zemin, kayaçların fiziksel parçalanması (Mekanik Ayrışma) ve kimyasal ayrışma ile olur. Milyonlarca yıldan beri kayalar zeminlere, zeminler de kayalara dönüşmektedir. Bu olaylar, halen de devam edip gitmektedir. Kayaların fiziksel parçalanması ile kayalar, boyut olarak daha küçük kısımlara ayrılır. Fakat kayanın kimyasal bileşimi değişmez. Kayaların parçalanmasına neden olan etmenler çok değişiktir. Bunlar sıcaklık farkları (gece-gündüz), bitki ve ağaç kökleri, akarsular, rüzgâr ve buzullardır.

Kayaların kimyasal ayrışması ile kayaların kimyasal bileşimi değişir, yeni maddeler meydana gelir. Kayaların kimyasal ayrışmasında birçok etmen rol oynar. Havadaki oksijeni ve karbondioksiti eritecek olan yağmur suyu, yüzey toprağındaki asitleri de alarak, kayalarda kimyasal reaksiyona yol açar. Bu kimyasal reaksiyonlar sonucunda, özellikle killer oluşur. Bitki ve hayvanların yaşamları sonucu yüzey toprağında oluşan bakteriler, çeşitli asitler (karbonik asit, nitrik asit vb.) salgılayarak, kayaların kimyasal ayrışmasına yol açar.

Zeminler, yerinde oluşmuş ve taşınmış zeminler olmak üzere, iki ana gruba ayrılırlar. Yerinde oluşmuş zeminler, ana kayanın parçalanması ve ayrışması ile ana kayanın üzerinde oluşur. Taşınmış zeminler, parçalanma ve ayrışma sonucu oluşan tanelerin, akarsu, buzul, rüzgâr, dalga, kıyı akıntısı, yer çekimi vb. ile taşınarak, biriktirilmesi ile oluşan zeminlerdir.

Bir zemin, aralarındaki boşluklar su ve hava ile doldurulmuş, katı danelerden oluşan üç fazlı bir bütün olarak tanımlanabilir;

- Danelerden oluşan katı faz,
- Sudan oluşan sıvı faz,
- Gaz ile su buharından oluşan hava fazı.

Daneler arası boşluklar; kısmen su ve kısmen de hava ile dolu olabildiği (yaş veya ıslak zemin, kısmen doygun zemin vb.) gibi, suya tam doygun zeminlerde tamamen su, kuru zeminlerde tamamen hava ile doludurlar. Zaman içerisinde danelerin doğurduğu kuvvetler, zeminin özelliğine geniş biçimde etkir. Bu şekilde bütün zeminler üç ana grupta toplanabilir.

- Kaba daneli (kohezyonsuz) zeminler,
- İnce daneli (kohezyonlu) zeminler,
- Organik zeminler.

#### **4.1 Kaba Daneli (Kohezyonsuz) Zeminler**

Kaba daneli zeminler büyüklük bakımından taştan çakıl ve kuma kadar değişen kaya parçalarından meydana gelmiştir. Bu tip zeminlere ayrık daneli zeminler de denir. Zemin içerisindeki daneler parmakla hissedilebilir ve gözle ayırt edilebilir.

#### **4.2 İnce Daneli (Kohezyonlu) Zeminler**

İnce daneli zeminler, genellikle kil ve silt diye tanınan malzemelerdir. Bu zeminlerde daneler arası kohezyon kuvvetleri rol oynar.

Killer özellikle ıslak iken plastisitesi olan zeminlerdir. Silt, ince kum ile kil arasında kalan bir zemin cinsi olup, farklı özellikler gösterir. Volkanik oluşum ve kimyasal ayrışım silti meydana getiren etkenlerdir.

#### **4.3 Organik Zeminler**

Organik zeminler içerisinde az veya çok miktarda çürümüş bitki bulunan ve kayaların atmosferik etki ile ayrışması sonucu meydana gelmiş olan taşınmış bir zemindir. Çizelge 4.1'de kaba ve ince daneli zeminlerin karakteristikleri gösterilmiştir.



Çizelge 4.1. Kaba ve ince daneli zeminlerin karakteristikleri.

<b>Kaba (Kum)</b>	<b>İnce (Kil)</b>
- Boşluk oranı düşüktür.	- Boşluk oranı yüksektir.
- Temiz olduğu zaman ihmal edilecek kadar az kohezyon vardır.	- Su muhtevasına bağlı kohezyon vardır.
- İçsel sürtünme yüksektir.	- İçsel sürtünme düşüktür.
- Plastik değildir.	- Plastiktir.
- Çok az sıkışabilir.	- Çok sıkışır.
- Suya karşı geçirgendir.	- Pratikte geçirimsizdir.

#### 4.4 Zeminlerin Sınıflandırılması

Zemin içinde danelerin meydana getirdiği kuvvetler (büyük danelerde ağırlık, küçük danelerde yüzeysel ve moleküler kuvvetler) zeminin özelliğine geniş şekilde etkir. Böylece bütün zeminler başlıca iki ana grupta toplanabilir;

- Sadece danelerin ağırlıklarının rol oynadığı zeminler,
- Yüzeysel veya daneler arası kuvvetlerin rol oynadığı zeminler.

Bu iki ana grubu ayıran dane boyutu 0.001–0.002 mm'dir. Bu değerlerden daha büyük boyutlara sahip danelerin teşkil ettiği malzemelere Kohezyonsuz Zeminler veya Ayrık Daneli Zeminler denir.

Kollodial boyuttan daha küçük boyutlara sahip malzemelerde ise daneler arası adezyon kuvvetleri rol oynar. Böyle zeminlere Kohezyonlu Zeminler denir. Bu tip malzemeler kurutulunca sert bir yapı elde edilir. Kurutulunca elde edilen bu gevrek malzeme kırılabilir. Islak halde toz hale getirilemez. Bu tip malzemelerin davranışı çok farklı olabilir ve davranışı anlayabilmek için kil taneciklerinin yüzeysel kimyasını incelemek gerekir.

Zemin, hem temel vb. altına taşıyıcı bir ortamdır (temel zemini), hem de toprak yapıların (toprak baraj, dolgu, set vb.) oluşturulmasında kullanılan bir malzemedir. Ayrıca filtre olarak kullanılmakta, enjeksiyona tabi tutulmakta, beton için agrega olarak vb. işlerde kullanılmaktadır. Zeminin kullanıldığı tüm bu işler için uygunluğunun belirlenmesi söz konusudur. Sınıflandırmada zeminler bazı özellikler (dane çapı vb.) açısından gruplandırılarak adlandırılır. Zemin sınıfı (cinsi, türü) tek başına zeminin

özelliklerini belirlemede yeterli değildir. Örneğin aynı cins zemin, gevşek ve sıkı durumlarda farklı özellikler (taşıma gücü, oturma, geçirimsizlik vb.) sergiler. Ayrıca geoteknik alanda yapılan çalışmalar, araştırmalar, zeminin sınıfı belirtilerek yayınlanmaktadır. Zeminin sınıfı belirtilmezse, bilgilerin birikimi veya geleceğe aktarılması olanaksız olur.

Tabiiatta zeminler çok geniş dane boyutlarına sahip olduğundan, bir sınıflandırma yapmak gerekirse önce dane boyutlarını ayıran bir dizilim gerekir. Kohezyonlu zeminlerin sınıflandırılması için ise bunların kohezyon mertebelerinin tayini gerekir. Ayrık daneli ve kohezyonlu zeminleri tarif etmek için mühendislikte kullanılan isimler aynı zamanda halk arasında da eskiden beri kullanılan kelimelerdir. Ayrık daneli (kohezyonsuz) zeminler için kaya, çakıl, kum ve kohezyonlu zeminler için silt, kil ve turba kelimeleri kullanılır.

Zemin mekaniği çalışmalarında hangi isimden, hangi tip bir zeminden kastedildiğinin anlaşılabilmesi için zeminlerin bir sınıflandırma sistemine uygulanması gerekir.

Zeminlerin sınıflandırılması için var olan sistemler pek çoktur. Bunlar;

- Dane Çapına Göre Sınıflandırma (MIT),
- Üçgen Sınıflandırma,
- Amerikan Karayolları Sınıflandırması,
- Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi.

En yaygın olarak kullanılan zemin sınıflandırma sistemi ise dane çapına göre sınıflandırma ve birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemidir.

#### **4.4.1 Dane çapına göre sınıflandırma**

Bu sınıflandırmada, belli çap aralıkları arasında kalan zemin gruplarına belli adlar verilir. Dane çapını esas alan sınıflandırma sistemleri içinde en çok benimsenen Massachusetts Institute of Technology (MIT) sistemidir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. MIT sistemi.

Zemin Cinsi	D çapı (mm)
Taş (Blok)	200 – 60
Çakıl	60 – 2
İri çakıl	60 – 20
Orta çakıl	20 – 6
İnce çakıl	6 – 2
Kum	2 – 0.06
İri kum	2 – 0.6
Orta kum	0.6 – 0.2
İnce kum	0.2 – 0.06
Silt	0.06 – 0.002
İri silt	0.06 – 0.02
Orta silt	0.02 – 0.006
İnce silt	0.006 – 0.002
Kil	< 0.002

#### 4.5 Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

Zeminler için kullanılan sınıflandırma sistemleri arasında en yaygını “Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (Unified Soil Classification System)’dir.

Sınıflama sonucu proje için gerekli sayısal değerler elde edilemez, fakat toprakların nitelikleri hakkında bilgi edinilir. Bu sisteme göre hazırlanmış etüt raporları şu faydaları sağlar;

- İnşaatın planlanmasında mevcut zemin miktarı,
- Arazi deneyleri yapılacaksa bunların miktarı ve yeri,
- Mevcut zemin tabakalarının kabaca, mukavemeti ve diğer mühendislik özellikleri tahmin edilir.

Birleştirilmiş zemin sınıflanmasında başlıca 5 grup zemin tipi vardır ve bunlar aşağıdaki sembollerle gösterilir.

- **Çakıl:** 4" elek gözeneklerinden daha büyük boyutlara sahip malzemedir. (>4,76 mm) sembolü (G)'dir.
- **Kum:** 200" elek (0,074 mm) ile 4" elek arasında kalan kısımdır. Sembolü (S)'dir.
- **Silt:** Boyutu 200" elekten küçük olan malzemelerdir. Plastisitesi düşüktür. Sembolü (M)'dir.

- **Kil:** Boyutu 200" elekten küçüktür. Plastisitesi yüksektir. Sembolü (C)'dir.
- **Turba:** Ayrılmış organik madde artıklarının teşkil ettiği zemin tipidir. Sembolü (Pt)'dir.

Malzeme tiplerini gösteren semboller hiçbir zaman yalnız kullanılmazlar. Bunların yanına durumunu veya ikinci derecede ihtiva ettiği diğer malzemeyi gösteren ikinci bir sembol gelir. İkinci derece ihtiva ettiği malzemeye göre kullanılan semboller;

- **GC:** Killi çakıl.
- **GM:** Siltli çakıl.
- **GW:** İyi derecelenmiş çakıl.
- **GP:** Kötü derecelenmiş çakıl.
- **SC:** Killi kum.
- **SM:** Siltli kum
- **SW:** İyi derecelenmiş kum.
- **SP:** Kötü derecelenmiş kum.
- **ML:** Düşük plastisiteli silt.
- **CL:** Düşük plastisiteli kil.
- **OL:** Düşük plastisiteli organik kil.
- **MH:** Yüksek plastisiteli silt.
- **CH:** Yüksek plastisiteli kil.
- **OH:** Yüksek plastisiteli organik kil.
- **PT:** Turba ve organik toprak'tır.

Malzeme içinde bariz diğer bir malzeme yoksa zemin konsistans veya dane dağılımına göre ikinci bir sembol alır. Bu özellikler;

- **W:** İyi derecelendirilmiş dane dağılımı.
- **P:** Kötü derecelendirilmiş dane dağılımı.
- **L:** Düşük plastisiteli (CC<50).
- **H:** Yüksek plastisiteli (CC>50).
- **O:** Organik madde

ihativa eden ince daneli malzemedir.

## BÖLÜM 5

### İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanının genel özellikleri, coğrafik konumu ve yüzey şekilleri, iklim ve bitki örtüsü olmak üzere iki alt başlık altında ele alınacaktır.

#### 5.1 Coğrafik Konumu Ve Yüzey Şekilleri

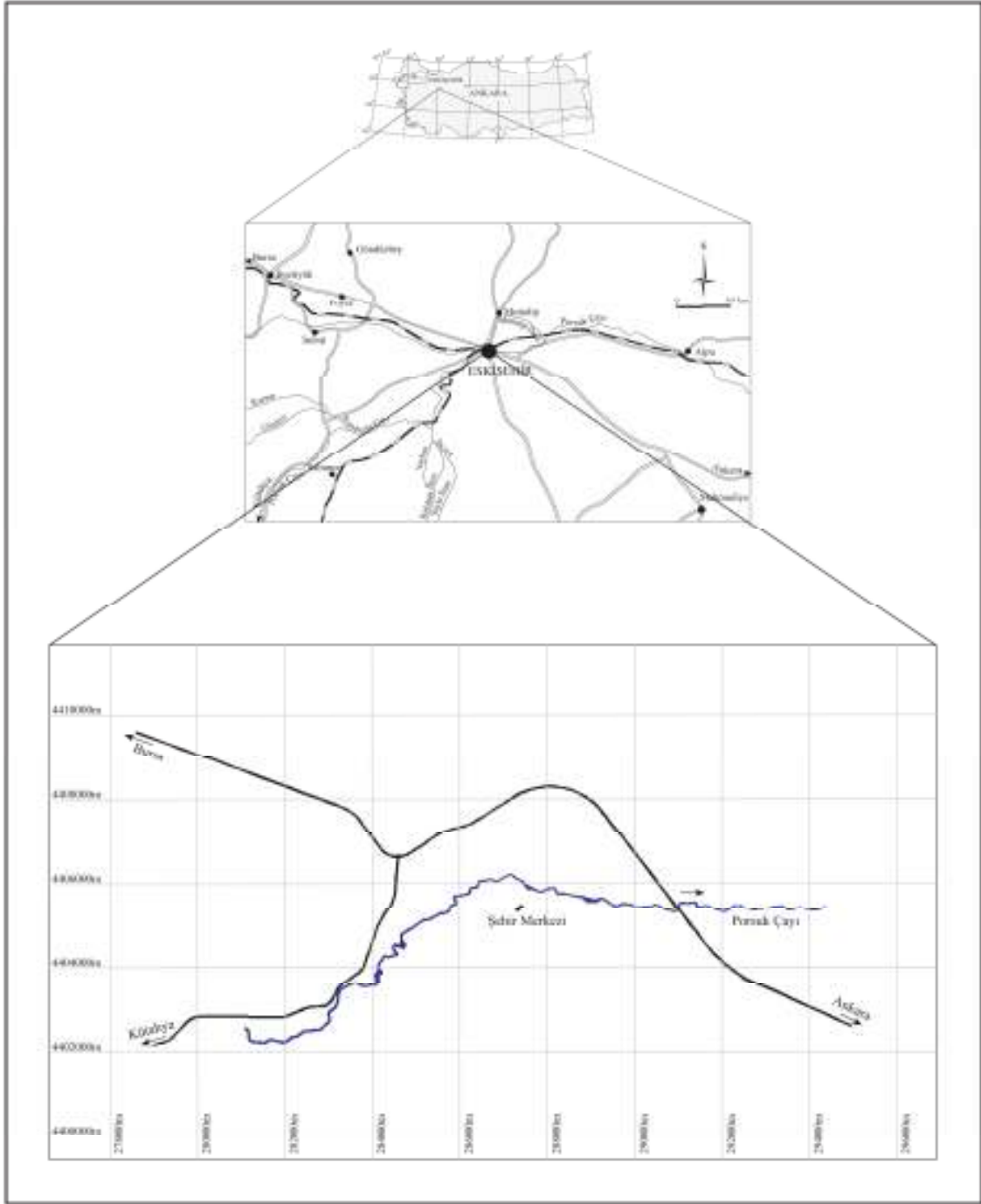
Eskişehir havzası, Orta Anadolu bölgesinin kuzeybatı kesiminde 39°31' - 39°56' kuzey enlemleri ile 30°17' - 30°45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ulaşım yönünden karayolu ve demiryollarının kesişim noktasında bulunmakta olup, Ankara-Bursa, Ankara-Kütahya, Afyon-Kütahya, Afyon-Bursa karayolları ile Ankara-İzmir, Ankara-İstanbul ve İstanbul-Afyon demiryolları Eskişehir'den geçmektedir.

İnceleme alanının en önemli akarsuyu Porsuk Çayıdır. Porsuk Çayı Şekil 5.1'de görüldüğü gibi inceleme alanının güneybatısından girerek doğudan çıkmaktadır (Orhan, 2005).

#### 5.2 İklim Ve Bitki Örtüsü

Eskişehir havzası ve çevresinde İç Anadolu karasal iklimi hüküm sürmekte olup, yazları sıcak ve kurak, kışları sert, uzun ve yağışlı geçmektedir.

Eskişehir ve yöresi kuzeyden Karadeniz, kuzeybatıdan Marmara, batı ve güneybatıdan ise Ege Bölgesi ile komşu bulunmaktadır. Coğrafyası, iklimi ve bitki örtüsü ile Karadeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgesi olmak üzere üç bölgenin özelliklerini göstermektedir. İlin kuzeyi Karadeniz ve Marmara Bölgeleri iklimlerinin etkisi altındadır. Eskişehir şehir merkezinde ise, yarı kurak çok soğuk bir karasal iklim etkili olmaktadır. Şekil 5.1'de inceleme alanının yer bulduru haritası gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası (Orhan, 2005).

### 5.3 Bölgenin Jeolojik Ve Hidrojeolojik Özellikleri

Bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, stratigrafi, yapısal jeoloji ve

hidrojeoloji alt başlıkları altında alınmıştır.

### **5.3.1 Stratigrafi**

Eskişehir ovası ile ilgili Gözler vd. (1996) bölgenin jeolojik özelliklerini belirlemeye yönelik geniş kapsamlı bir çalışma yapmışlardır.

İnceleme alanı sınırları içerisinde yaşları Jura öncesi ile Holosen arasında değişen birimler yer almaktadır. En altta Jura öncesi oluşmuş metamorfik-ofiyolitik-metadetritik tektonik birliği yer almaktadır. Bunların üzerinde Jura-Kretesa- Eosen-Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar yer almaktadır. Bölgedeki en genç birimleri ise Pleyistosen yaşlı, önceki araştırmacılar tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan Akçay Formasyonu (gevşek tutturulmuş kil, silt, kum ve çakıl) ile güncel alüvyon (kil, silt, kum ve çakıl) oluşturmaktadır. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası EK 1 ile verilmiş olup stratigrafik kesit ise Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

#### **5.3.1.1 Karkın formasyonu**

Gri, açık gri, siyah, yeşil, haki yeşil metakonglomera, metakumtaşı ve fillitlerden oluşan Alt Karbonifer-Üst Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları ve kristalize kireçtaşı blokları ihtiva eden metadetritikler, yeşil, açık yeşil, morumsu pembe renklerde, spilit-diyabaz-bazalt ve bunların hafif metamorfizmaya uğramış eşdeğerleri bulunmaktadır. Bunların üzerinde ise Orta-Üst Triyas yaşlı veren yarı kristalize ve kristalize kireçtaşı yer almaktadır.

Üst Sistem	Sistem/Devir	Seri	Formasyon	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
MESOZOYİK	TERSİYER	Kuvaterner	Pleyistosen Villafrans		10-25 m		Alüvyon
				Akçay Formasyonu	10-120 m		Gri, açık gri renkli çapraz tabakalı çakıl, kum, kil ve çamur
				İlica Formasyonu	50-400 m		Kireçtaşı Marn - Kil Bazalt - Andezit Tuf - Tüfit Aglomera Konglomera - Kumtaşı
				Porsuk Formasyonu	50-600 m		Kireçtaşı Jips - Marn - Kil Tuf - Tüfit, Bazalt Konglomera - Kumtaşı
				Mamuca Formasyonu	20-400 m		Kireçtaşı Kil - Marn Konglomera - Kumtaşı
TRİYAS	ORTA - ÜST TRİYAS		TEKTONİK BİRİMLER			Ofiyolit	

Şekil 5.2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Orhan, 2005).

### 5.3.1.2 Ofiyolitler

İnceleme alanının hemen batısında gözlenen ofiyolitler, yaklaşık D-B istikametinde bir uzanım şeklinde görülmektedirler. Genel olarak ofiyolitlerin yaşlandırılmasında iki



yaştan bahsedilir, bunlardan biri oluşum yaşı, diğeri ise yerleşim yaşıdır. Birbirleriyle ekaylı yapı sunan tektonik birliğin üzerine Jura'nın transgressif olarak geldiğini, ofiyolit napı altındaki metamorfik birimlerden elde edilen yaş bulgusunda Orta-Üst Triyas olduğunu ve bu verilere göre ofiyolit yerleşim yaşının Triyas sonu Erken Jura öncesi olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca oluşum yaşını ise yoruma dayalı olarak Karakaya denizinin açılmaya başladığı zamanla, yani Triyas olabileceğini ifade etmektedirler. (Orhan, 2005).

Ofiyolitler kendi arasında melanaj ve ultramafikler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. İnceleme alanının batısında bulunan yükseltilerde, içerisinde yer yer serpantinleşmiş seviyeler içeren gabro olarak gözlenirken, inceleme alanının güneybatı kesimlerinde ise yoğun altere olmuş, yer yer serpantinleşmiş ve içerisinde kireçtaşı budinaj yapısı içeren bir şekilde de gözlenebilmektedir.

Melanaj, düzenli bir istif göstermeyen, değişik litolojik birimleri içeren bir özellikte gözlenebilmektedir. Herhangi bir matriksten yoksun, değişik kökenlerdeki kayaçların bir araya gelmesinden oluşmuştur. Birim radyolaritler, kristalize kireçtaşı ve mermerler, diyabazlar, serpantinler, metamorfikler, peridotitler ve gabro bloklarının karışımından oluşmaktadır. Birim çalışma alanının dışında gözlenmektedir.

Ultramafikler, yeşil, koyu yeşil renkli kromit bantları ve kromit taneleri ihtiva eden dunit, parlak piroksen mineralleri içeren harzburjit, piroksenit bantlı görünüşte gabrolar ile izotopik gabrolardan oluşmuş, yer yer serpantinleşmiş kısımların görüldüğü okyanus kabuğu malzemesini teşkil eden ultramafik toplulukların bir kaçını bir arada görmek mümkündür. Birim inceleme alanının doğusunda Alpu yolu ile Ankara yolu arasında kalan bir alanda gözlenebilmektedir. Yer yer tektonik hatlara karşılık gelen bölgelerde lisvenitleşmenin de gözlemlendiği görülmektedir.

### **5.3.1.3 Mamuca formasyonu**

Mor, kırmızı, şarabi, gri boz renklerde konglomera ve kumtaşlarıyla başlayan birim üzerine yeşil renkli killer gelmektedir. Üst seviyelere doğru sarı, sarımsı boz renklerde zengin bir bentonik foraminifer topluluğuna sahip kil arakatlı, killi kumlu kireçtaşlarıyla son bulmaktadır (Gözler vd., 1996). Formasyon üç üyeden oluşmaktadır.

Bunlar; Konglomera-Kumtaşı Üyesi, Kil-Marn Üyesi ve Kireçtaşı Üyesidir. İnceleme alanı sınırları ve yakın çevresinde sadece konglomera-kumtaşı üyesine rastlandığı için sadece bundan bahsedilecektir.

Konglomera-Kumtaşı Üyesi, kalın tabakalı, kırmızı, mor, şarabi, sarımsı boz, gri ve açık gri renklerde, çoğunlukla kırmızı mor renklerin hakim olduğu, kendisinden daha yaşlı birimlerin çakıl boyutundan blok boyutuna kadar değişen tanelerini içeren konglomera ile başlamaktadır. Konglomeranın çakılları çoğunlukla şist, mermer, radyolarit, çört, gabro, diyabaz, serpantinitle granodiyorit ve kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Birim kumtaşları ile ardalanmalı olarak görülür ve her iki birimin de çimentosu çoğunlukla kırmızı renkli kilden oluşmaktadır. Konglomeraların tane boyları çok değişik büyüklüklerde olup, boylanma çoğunlukla kötüdür. Buna karşın kumtaşlarında boylanma iyidir. İnceleme alanının güneyinde Karacaşehir yakınlarında gözlenen birim güneye doğru eğimlidir. Kumtaşları ile ardalanmalı olarak görülen birim içerisinde, yer yer daha ince taneli kil, silt gibi seviyelerde gözlenmektedir. Çimentolanma zaman zaman oldukça iyi olmasına karşın, az çimentolanmış durumlar da gözlenmektedir. Çimentolanmanın iyi olması durumunda yüksek dayanıma sahip olan birim kötü olması durumunda düşük dayanım özelliği sergilemektedir.

#### **5.3.1.4 Porsuk formasyonu**

Porsuk formasyonu, konglomera, kumtaşı, bazalt akıntıları, tuf, tüfit, marn, kil, jipsli marn ve kil, jips ve kireçtaşlarından oluşan yaklaşık doğu-batı doğrultulu uzanan, Porsuk Çayı boyunca yayılım gösteren bir birimdir. İnceleme alanı sınırları ve yakın çevresi içinde konglomera-kumtaşı, marn ve killer ile kireçtaşlarına rastlandığından sadece bu kaya birimlerinden bahsedilmektedir.

Konglomera-kumtaşı, kırmızımsı kahverenginde, boz sarımsı, boz, gri, yeşilimsi gri renklerde görülmektedir. Çoğunlukla üzerine geldikleri kayaların cinsi ve rengi ile ilgili olarak değişen renkler almaktadır. Eosen konglomeralarına yakın yerlerde çökelen birimler genellikle kırmızımsı kahverengi, granit ve karbonatlı kayalara yakın yerlerde çökelen birimlerde renk genellikle boz ve sarımsı boz renkte kumtaşlarıyla ardalanmalı olarak ve ultramafik ve mavi şistlere yakın yerlerde de gri ve yeşilimsi gri renkte

görülmektedir.

Marn ve killer, genellikle yeşil, sarı, boz, yer yer alacalı renklerde, hiç jips ihtiva etmeyen bu birimler havzanın en derin kısmında yer almaktadır. Marn ve killer arasında yer yer çok ince bantlar halinde kireçtaşları görülmektedir. Porsuk Formasyonunun en kalın birimi olup, kalınlığı 150 m ye kadar ulaşmaktadır. İnceleme alanının doğu, güneydoğu, batı ve güneybatısında gözlenmektedir.

Kireçtaşı, beyaz, gri, sarımsı bej renklerde batıda silisifiye olmuş ve yer yer silis arabantlı, doğuda poroziteli killi ve tüflü kireçtaşları şeklinde görülmektedir. Bol çatlaklı, yer yer erime boşluklarına sahip birim, inceleme alanının batısı ve güneyinde bulunan yükseltilerde gözlenmektedir.

### **5.3.1.5 Ilıca formasyonu**

Yeşil, gri, alacalı, kırmızımsı kiremit renginde, karasal ve bölgesel konglomera ve kumtaşı ile başlayan birimi, siyah, koyu gri, yeşilimsi renklerde iri ve orta boyda volkanik kayaç parçası ve piroklastiklerden oluşan aglomera takip etmektedir. Bunun üzerinde beyaz sarımsı, boz, pembe renklerde, çoğunlukla silisifiye olmuş tüf ve tüfitler; yeşil, kirlili beyaz, açık beyaz, kiremit kırmızı renklerde marn ve killer bulunmaktadır. En üst seviyelerinde ise beyaz, sarımsı, boz renkli, yüksek poroziteli, killi kumlu tüflü kireçtaşları bulunmaktadır. Bütün bu karasal ve gölsel birimler andezitik ve bazaltik volkanizma ile kesilir durumda görülmektedir (Gözler vd., 1996).

Konglomera-kumtaşı, çoğunlukla kırmızımsı kiremit renginde ofiyolit, metamorfik ve mermer çakıllarının çoğunluğunu oluşturduğu çamurtaşı, kilttaşları ve FeO çimentoyla tutturulmuş karasal konglomeralar ile gölsel çökellerin tabanında yer alan yeşil, alacalı, gri renklerde çimentosu kalker ve dolomit olan gölsel konglomeralar görülmektedir. Gölsel çökellerin tabanını oluşturan konglomeraların çimentosu iki farklı bileşimde karşımıza çıkmaktadır.

Tüf-tüfit, beyaz, sarımsı boz, pembe renklerde, çoğunlukla silisifiye olmuş, aralarında jel halinde silis akıntıları, silisleşmiş ağaç parçaları içeren birim kil ve marnlar ile yanal geçişli, killi ve tüflü kireçtaşlarıyla düşey geçişli olarak görülmektedir. Yer yer 3–5 cm kalınlıklara varan tüfit seviyeleri de gözlenmektedir. Bol çatlaklı bir

yapı sunarken, ince tabakalı ve masif bir yapı sunmaktadır. İnceleme alanının güney ve güneybatı bölümlerinde masif olarak gözlenen birimde taş ocağı işletmeciliği vasıtasıyla doğal yapı taşı imalatı yapılmaktadır. İnceleme alanının hemen güneyinde bulunan yamaçlarda tuf-tüfit ardalanmalı olarak daha güneyde bulunan bölgelerde ise tabakalı ve masif olarak da gözlenebilmektedir.

Kireçtaşı, beyaz, sarımsı boz renkli, yüksek poroziteli, killi-kumlu kireçtaşları görsel fasiyesin en üst seviyelerini oluşturmaktadır ve bazik-andezitik volkanizma ürünleri tarafından kesilmektedir.

Bazalt, koyu yeşil, siyah, kahverenginde intergranüler-porfirik dokulu, yer yer amigdoidal doku gösteren, genelde akma dokusu görülen ve dik şevler oluşturan bazaltlar ile tamamen amigdoidal doku gösteren görsel çökeller arasında akıntılar halinde iki tür bazalt görülmektedir. Bunlardan birisi görsel çökellerle eş yaşlı, diğeri ise Pliyosen yaşlı çökelleri kesen ve onların üstüne akmış bazaltik lav şeklinde görülmektedir. Her ikisinin de mineralojik bileşiminin yaklaşık aynı olduğu Gözler vd.(1996) tarafından belirtilmektedir. Bazen masif yapı sunarken bazen de bol gaz boşluklu bir yapı sunmaktadır. Birim tuf-tüfit seviyelerinin hemen üzerinde yer almaktadır. Bazaltların alttaki birimlerle temas yüzeyi 1–1.5 m lik bir pişme zonu gözlenmektedir ve birim genel olarak inceleme alanının güneyinde ve batısında bulunan yükseltilerde gözlenebilmektedir.

### **5.3.1.6 Akçay formasyonu**

Birim daha yaşlı formasyonlara ait kil, silt, kum ve çakılların gevşek tutturulmasıyla oluşmaktadır. Gözler vd. (1984-1985) inceleme alanı sınırları içinde bulunan Kuvaterner'e ait birimleri eski alüvyon ve yeni alüvyon olarak ikiye ayırmışlardır, buna karşın Gözler vd. (1996) birimin kumlu ve killi seviyelerinde rastladıkları omurgalı fosiline göre Gözler vd.'nin (1984-1985) eski alüvyon diye tanımladıkları birimin Villafransiyen yaşında olduğunu ifade etmişlerdir. Daha sonra, bulmuş oldukları bu yaşa dayanarak, birime Akçay Formasyonu adını vermişlerdir. (Gözler vd., 1996).

Karasal fasiyeste oluşan birimin kum ve çakılları içinde yer yer çapraz tabakalanma

ve laminalara rastlanmaktadır ve havzanın batı kısmında, havza çevresindeki yükseltilerde teraslar şeklinde görülmektedir. Birim içerisinde kil, silt gibi daha ince taneli seviyelere de rastlanmaktadır. Ayrıca yer yer organik maddece zengin seviyeler de gözlenmektedir. Formasyon; alttaki birimler üzerine uyumsuz olarak gelmekte olup, kalınlığı 40-100 m arasında değişmektedir. Birim inceleme alanının kuzeybatı ve güneybatısında gözlenmekte olup, kum ocağı olarak işletilmektedir.

### **5.3.1.7 Alüvyon**

Bölgede alüvyon, İnönü ovasından gelen Sarısu deresi ile Porsuk Çayı ve yan kollarının getirip ovada biriktirdiği malzemedir oluşmaktadır. Birim, Eskişehir havzasında geniş bir alan kaplamaktadır ve kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Meşelik mevkiindeki killer yüksek plastisite özelliğinde olup, çoğunlukla kırmızı renkte gözlenmektedir. Bu yüksek plastisiteli kil seviyesi Tosun vd. (2001) tarafından Meşelik Kili olarak adlandırılmıştır. Ovanın diğer kesimlerinde bulunan killer daha çok sarı ve bej renkte gözlenmektedirler. D.S.İ'den (2001a ve 2001b) alınan bilgilere göre, birimin kalınlığının 10–25 m arasında değiştiği belirtilmektedir.

### **5.3.2 Yapısal jeoloji**

Bölgenin yapısal jeolojik evrimi Şengör vd. (1985), Barka vd. (1995), Gözler vd. (1996), Altunel ve Barka (1998) çalışmaları temel alınarak özetlenmiştir.

İnceleme alanında Triyas sonunda kapanan bir okyanusta (kuzeye dalan) gelişen olayların neticeleri Sivrihisar'ın kuzeybatısında bulunan bölgelerde ekaylı yapılar ve bindirmeler oluşmuştur. Ancak Triyas sonunda oluşumunu tamamlamış bu ekaylı sistem, daha sonraki yapısal hareketlerden de etkilenmiştir. Bu dönemdeki hakim olan K-G istikametindeki sıkışmalar neticesinde D-B yönlü fay sistemleri gelişmiştir. Üst Kretase ve sonrasında inceleme alanının dışında gelişen yine K-G yönlü sıkışmalar bölgeyi etkilemiş ve de özellikle Jura-Üst Kretase birimlerinde doğrultu atımlı fayların oluşmasına sebep olmuştur.

Diğer taraftan Neojen'de gelişen tektonik olaylar (K-G yönlü gerilmeler)

neticesinde de İnönü-Eskişehir-Sivrihisar doğrultusunda normal faylar oluşmuştur. Eskişehir'den geçen bu fay sistemi Eskişehir fay zonu olarak adlandırılmıştır. Altunel ve Barka (1998) bu fay zonunu inceleyerek, fayın normal bileşeni yanında sağ yönlü doğrultulu bileşenine de sahip olduğunu belirtmektedirler.

Gözler vd.'nin (1996) yapmış oldukları incelemeler neticesinde bölgede 3 türlü fay sisteminin bulunduğuna işaret etmektedirler. Bunlar, aşağıdaki gibidir.

Bindirme fayları, Triyas sonunda kıtasal kabuk üzerine ilerleyen jeosenkline malzeme ile okyanusal kabuk malzemesinin birkaç kez tekrarlanması sonucu oluşan bu faylar D-B, KD-GB ve KB-GD istikametinde olup, eğimleri K-KB ve KD olduğu belirtilmektedir. Özellikle Paleosen'de görülen ve güneye kıvrımlı yapılar gösteren eski tektonik hatlar, Paleosen sonrası sıkışmalardan ve Miyosen sonrası oluşan düşey faylardan etkilenmişlerdir.

Normal faylar, inceleme alanı sınırları içinde halen aktivitesini koruyan Eosen ve Pleyistosen sonrası oluşmuş faylardır. Bu faylar genellikle D-B doğrultulu olup, eğimleri de kuzey ve güneye doğrudur. D-B yönde gelişen sıkışmalara bağlı olarak kuzey ve güney yönlü gerilmelere yol açması sonucu oluşmuştur. İnceleme alanı sınırları içinde Eskişehir'in güneyinden geçen ve havzayı oluşturan birbirine paralel sayılabilecek normal faylar mevcuttur. Bu fayların güney blokları yükselmiş, kuzey blokları düşmüştür. Ayrıca Eskişehir'in güneyinde mermerlerin ve ofiyolitik kayaların yüzeylendiği bölgelerde güneyden kuzeye inen basamak şeklinde normal fayların bulunduğu görülmektedir. Ayrıca, Eskişehir'in kuzeyinden geçen ve yine güneyindeki faylar gibi aynı özelliklere sahip, metamorfik ve ofiyolitik kayalar üzerinde normal fay sistemi de bulunmaktadır.

Doğrultu atımlı faylar, inceleme alanı ve çevresinde metamorfik, ofiyolitik ve Jura'ya ait kayalarda doğrultu atımlı fayların çok etkili olduğu görülmektedir. Gözler vd. (1996), Kaymaz'ın hemen kuzeyinden, özellikle granit-mermer kontakından geçen sağ yönlü doğrultu atımlı fayın Eskişehir-Kaymaz-Tuz Gölü uzantısının devam ettiğini ve yaşının Miyosen sonrası olduğunu belirtmektedirler.

Tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, çalışma alanı ve çevresinde gözlenen faylar içinde sadece Eskişehir'in güneyinden geçen, Eskişehir fay zonunun aktif olduğu görüşü araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir.

### 5.3.3 Hidrojeoloji

İnceleme alanı sınırları içinde bulunan en önemli akarsu Eskişehir'in güneybatısından gelerek il merkezini batı-doğu yönünde kateden Porsuk Çayı'dır. Sarısu Çayı ise İnönü'yü batı-doğu doğrultusunda katettikten sonra Eskişehir il merkezinin kuzeybatısında Porsuk Çayı ile birleşmektedir.

İnceleme alanı sınırları içerisinde doğuda Hava Hastanesi ve batıda Deliklitaş mahallesi ile sınırlanan alanda debileri 0.3–5 lt/s (Esen vd., 1975) arasında değişen sıcak su kaynakları bulunmaktadır.

Eskişehir Ovası'nda akifer sistemini oluşturan birimler Kuvatrener yaşlı olup, Akçay Formasyonu ve güncel alüvyondur. Ova içerisinde gerek resmi, gerekse özel kuruluşlar tarafından açılan çok sayıdaki sondajlar aracılığıyla bu birimlerden su alınmaktadır ve birimler genel olarak verimli akifer olarak tanımlanmaktadır. (Esen vd., 1975 ve Kaçaroğlu, 1991).

Eskişehir Ovası'nda yeraltı suyu seviyesi bölgenin en yağışlı dönemi olan Nisan-Mayıs aylarına genel olarak 0.5–7.5 m arasında değişmekte olup, bazı lokasyonlarda 20–30 m derinliklerde de bulunabilmektedir. Yağışın en az olduğu Temmuz- Ağustos aylarında ise, yeraltı suyu seviyesi 2–13 m arasında değişmektedir. Ova genelinde Nisan-Mayıs ve Temmuz- Ağustos aylarında yeraltı suyu seviyesi değişimi 0.1–1.5 m arasında olmasına karşın, Eskişehir il merkezinin bulunduğu kesimlerde yeraltı suyu seviyesindeki değişim 0.1–0.5 m arasında bulunmaktadır (Esen vd., 1975 ve Kaçaroğlu, 1991).

## BÖLÜM 6

### ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, SPT deneyi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ayrıca, SPT verilerinin MT ve Kringing yöntemleriyle analizleri ve en son olarak da Hadamard çarpımı yardımıyla her iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun için, ilgili bölgede daha önce yapılmış sondaj verileri ve SPT değerleri kullanılarak bir veritabanı oluşturulmuştur. Daha sonra, bu veriler kullanılarak CBS tabanlı MapInfo 8.0 ve Jeostatistiksel analiz yapan Surfer 8.0 programları yardımıyla SPT haritaları çizilmiştir. Haritalarda koordinatları bilinen 12 nokta seçilmiş ve bu noktalarda her iki yöntemle tahmin edilen SPT değerleriyle gerçek SPT değerleri Hadamard çarpımı yöntemi ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir ve yorumlanmıştır.

#### 6.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi 1927’li yıllarda geliştirilmiş bir arazi deneyi olup arazide en çok kullanılan ve en eski deneylerden bir tanesidir. İlk defa ABD’de kullanılmaya başlanan deney oldukça kapsamlı şekilde Kuzey ve güney Amerika, Büyük Britanya ve Japonya başta olmak üzere dünyanın neredeyse her yerinde kullanılmaktadır. Klasik temel tasarımının % 80’i bu deney yöntemi kullanılarak yapılmaktadır.

Kuzey Amerika’da SPT, zemin incelemelerinin anahtar taşı olmuş ve olmaya da devam etmektedir (Horn, 1979). Mori (1979)’a göre Japonya’da ön inceleme aşamasında sondajların % 90’dan fazlası SPT deneyi ile birlikte yapılmaktadır. Bu deney Türkiye’de ve birçok ülkede en çok tercih edilen deneylerden biridir (Durgunoğlu ve Toğrol, 1974). Bu yöntem ASTM D 1586 numarası ile 1958 yılında standartlaştırılmış ve günümüze kadar çeşitli değişimlerden geçerek gelmiştir. Bu deney, yumuşak killer ve gevşek kumlardan, çok sert killer ve sıkı kumlara kadar çeşitli zemin türlerinde uygulanabilmektedir. Deneyin yapılışı şu şekildedir:

SPT, dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63.5 kg ağırlığındaki bir tokmağın serbest



düşürülerek standart bir numune alıcının zemine 45 cm sokulması şeklinde uygulanır. Numune kaşığının zemine son 30 cm'lik girmesine karşı gelen toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tarif edilir.

Sondaj sırasında istenilen derinliğe gelindiğinde kesici uç çıkarılır ve tijin ucuna SPT numune alma kaşığı takılır. Tijin üzeri 15 cm aralıklarla işaretlenir. Sondaj kuyusu tabanının mümkün olduğunca temiz olması gereklidir. Daha sonra SPT kaşığı örselenmemiş zemine 15 cm çakılır. İkinci 15 cm için de aynı şekilde ağırlığın düşmesi ve SPT kaşığının zemine girmesi için vuruş sayısı sayılır. Son 15 cm için de aynı şekilde tekrarlanır. Son 30 cm için vuruş sayısı SPT N darbe sayısı olarak alınır. Bazı durumlarda (sert kil, sıkı kum, çakıl ve kaya gibi zeminler) SPT kaşığı ilerlemeyebilir. Bu gibi durumlarda eğer 15 cm giriş için 50 vuruş üzerine çıkmışsa deney durdurulur ve SPT N sayısı 50 olarak kaydedilir. Ya da arka arkaya 10 vuruş sonrası hiçbir ilerleme yoksa aynı şekilde deney durdurulur.

SPT-N değeri, ayırık daneli zeminler üzerinde inşa edilen yapıların taşıma gücü ve oturmasının hesabında, ayırık daneli zeminlerin önemli fiziksel ve mühendislik özellikleri olan göreceli sıkılık ( $D_r$ ) ve kayma mukavemeti açısının ( $\Phi$ ) hesaplanmasında ve ayrıca ayırık daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. İnce daneli zeminlerde ise SPT önemli mühendislik parametreleri olan serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ), drenajsız kayma mukavemetinin ( $c_u$ ) belirlenmesinde ayrıca yapılan dolguların kontrolünde kullanılmaktadır. Ancak ince daneli zeminler için bulunan sonuçlar, ayırık daneli zeminlerdeki kadar güvenilir olmamaktadır (Sivrikaya ve Toğrol, 2003).

Deneyin ASTM tarafından standartlaştırılmasından sonra bile yan yana iki kuyuda aynı derinlikte yapılan deney sonuçlarının aynı N sayısını vermediği görülmüştür. Bunun sebepleri araştırıldığında örtü basıncı, tij uzunluğu, sondaj tipi vb nedenlerden kaynaklandığı görülmüştür.

Deney sonucuna etki eden birçok faktör olabilmektedir. Bunlara örnek olarak aşınmış SPT kaşığı gösterilebilir. SPT kaşığının her deney öncesi boyutları ve durumunun kontrol edilmesi ASTM 1586 standarda konulmuştur. Ayrıca deney sırasındaki enerji de deney sonuçlarına etkimektedir. Başlangıç enerji değeri:

$$E_{in} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 \dots\dots\dots(6.1)$$

$$v = (2gh)^{1/2} \dots\dots\dots(6.2)$$

(6.1) denklemini (6.2) içinde yerine konulursa

$$E_{in} = \frac{1}{2} \frac{W}{g} (2gh) = Wh \dots\dots\dots(6.3)$$

W: Çekicinin ağırlığı, “h” düşü yüksekliğidir. 63.5 kg standart bir şahmerdan ve h=762 mm düşü yüksekliğinde teorik enerji değeri

$$E_{in}=63.5 \times 9.807 \times 0.762=474.5 \text{ J olarak bulunmaktadır.}$$

Bu değer sistemde hiçbir kayıp olmazsa ortaya çıkan enerji miktarıdır. Ancak kayıplardan ötürü bu enerji değeri diğer bir deyişle gerçek enerji değeri  $E_a$  teorik enerjisinin %30–%80 arasında değiştiğini göstermektedir. Bu farklılıklar aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır:

- Farklı üreticilerin farklı cihazlar imal etmesi.
- Şahmerdanların farklı donanımlarda olması, ayrıca şahmerdanın örse çarptığı yerde numune alıcıya iletilen enerji üzerinde etkisi vardır.
- Çekicinin otomatik sistemle mi yoksa manuel mi çalıştığı da önemlidir. Otomatik olanlarda h yüksekliğinin  $\pm 25$  mm değiştiği gözlenmiştir. Manuel olanlarda ise çekme halatının çapı ve durumu, halatın sarıldığı makaranın çapı ve durumu (paslı, temiz ya da 125–200 mm çaplar arasında değişebilmekte).
- Halatın makaranın etrafına kaç keredede sarıldığı; 1,5;2;3 vb gibi. Genelde 2 kez sarılmadır.
- Operatörün çekici bıraktığı serbest düşü yüksekliği; Yapılan çalışmalarda bu yüksekliğin normalden 50 mm daha yüksek olduğu görülmüştür (810 mm). Ayrıca ağırlığı bırakma hızı (genelde 40–50 vuruş/dakika) da önemlidir.
- Numune alıcının (SPT kaşığı) içinde kaplama kullanıp kullanılmadığı. Kapsama kullanılmazsa vuruş sayısı N sürtünmeden dolayı artmakta. Genelde kaplama kullanılmamaktadır.
- Örtü basıncı. Aynı yoğunluğa sahip zeminlerde eğer örtü basıncı (jeolojik yük) az ise (zemin yüzeyine yakın yerlerde) N değeri daha az çıkmaktadır. Aşırı büyük çaplardaki sondaj çukurları da (150–200 mm) N sayısını azaltabilmektedir. Zemin

tabakalarında çimentolanma varsa yine N sayıları yüksek çıkmaktadır.

➤ Sondaj tijinin uzunluğu.

### 6.1.1 SPT Korelasyonları

Literatürde SPT N darbe sayısı ve zeminlerin mühendislik özellikleri arasında bir çok korelasyon bulunmaktadır. Bunlardan bazıları burada verilmiştir.

#### 6.1.1.1 Drenajsız kohezyon- SPT N ilişkisi

Yapılan çalışmalarda killerin drenajsız kohezyon  $c_u$  değeri ile N arasında

$$c_u \text{ (kPa)} = K \times N \dots\dots\dots (6.4)$$

şeklinde ilişki olduğu gözlenmiştir. Burada  $K = \text{sabit} = 3.5 - 6.5 \text{ kN/m}^2$ , N düzeltilmemiş SPT değeri. Başka bir araştırmada ise bu ilişki

$$c_u \text{ (kPa)} = 29 \times N^{0.72} \text{ olarak verilmiştir.}$$

Drenajsız kohezyon  $c_u$  ve SPT N değeri ile korelasyonların yaklaşık sonuçlar verdiği unutulmamalıdır.

#### 6.1.1.2 Aşırı konsolidasyon oranı

Doğal kil tabakalarının aşırı konsolidasyon oranı ile düzeltilmemiş SPT N değeri arasında

$$AKO = 0.193 \left( \frac{N}{\sigma'_o} \right)^{0.689} \dots\dots\dots (6.5)$$

İlişki gözlenmiştir.  $\sigma'_o$ , burada düşey efektif gerilmedir ( $\text{MN/m}^2$ ).

#### 6.1.1.3 Düzeltilmemiş SPT N değeri ile kumlarda relatif sıklık arasındaki ilişki

Zeminin gevşek veya sıkı olması sadece porozite ile ifade edilemez. Çünkü, zemin danelerinin şeklinin ve üniformluklarının porozite üzerinde büyük etkisi vardır. Bu bilgi ancak zeminin porozitesinin en gevşek ve en sıkı durumlarındaki porozitesi ile

karşılaştırılması ile elde edilebilir. Bu da göreceli sıkılık ( $D_r$ ) ile ifade edilir ve aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$D_r(\%)=11.7+0.76 \times (222 \times N + 1600 - 53 \times \sigma'_o - 50 C_u^2)^{0.5} \dots\dots\dots (6.6)$$

$C_u$ =Kumun uniformluk katsayısıdır.

Kaba daneli zeminlerde kayma mukavemeti açısı  $\phi$ , % 60 yada % 70 enerji değeri için düzeltilmiş SPT N sayısı ile

$$\phi(\text{derece})=27.1+0.3 \times N_{60}-0.00054 \times N_{60}^2 \dots\dots\dots (6.7)$$

şeklindedir.

Bir diğer basit ilişki

$$\phi=(20 \times N_{60})^{0.5}+20 \dots\dots\dots (6.8)$$

şeklindedir.

Yukarıda verilen bağıntılar kullanılacak ise şunlara dikkat edilmelidir.

Korelasyonlar yaklaşık sonuç vermektedir. Zemin heterojen bir yapıda olduğundan N değerleri çok farklılık gösterebilmektedir. Büyük taş blokları ve çakıl içeriğine sahip zeminlerde elde edilen N değerleri güvensizdir. Ancak her ne kadar yaklaşık da doğru yaklaşımlarda bulunulursa SPT N sayıları kullanılarak zemin özellikleri hakkında önemli bilgiler elde etmek mümkündür.

### 6.1.2 SPT N değerinin düzeltilmesi

SPT, basit ve ucuz bir deneydir. Basit olmasının yanında deneyi yapan sondörün deneyimi ve kullanılan ekipman (sondaj metotları, tij tipleri, sondaj kuyusu ebatları ve stabilizasyonu, numune alıcı tipi, vuruş sıklığı,tokmak tipi ve düşürülmesine bağlı enerji, deney prosedürü) gibi bir çok faktörün etkisindedir (Sağlamer, 1979; Nixon, 1982; Coduto, 1994). Bu nedenle SPT'den elde edilen sonuçlar (SPT-N) bu faktörler tarafından etkilendiğinden, SPT-N değerleri üzerinde düzeltmeler yapılmalıdır.

SPT N darbe sayısı standartlaştırmak için belirli bir enerji seviyesine göre düzeltme yapılmaktadır. Çizelge 6.1'de SPT deneyi ile ilgili bazı veriler verilmektedir.

Bu düzeltmeler ile deney sırasındaki değişimler en azından giderilmiş olmaktadır. Düzeltmeler genellikle %60 ya da %70 enerji seviyesine göre yapılmaktadır. Buna göre

$$N_{60}=N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \dots\dots\dots (6.9)$$

N arazide elde edilmiş N darbe değeri (son 30 cm giriş için),

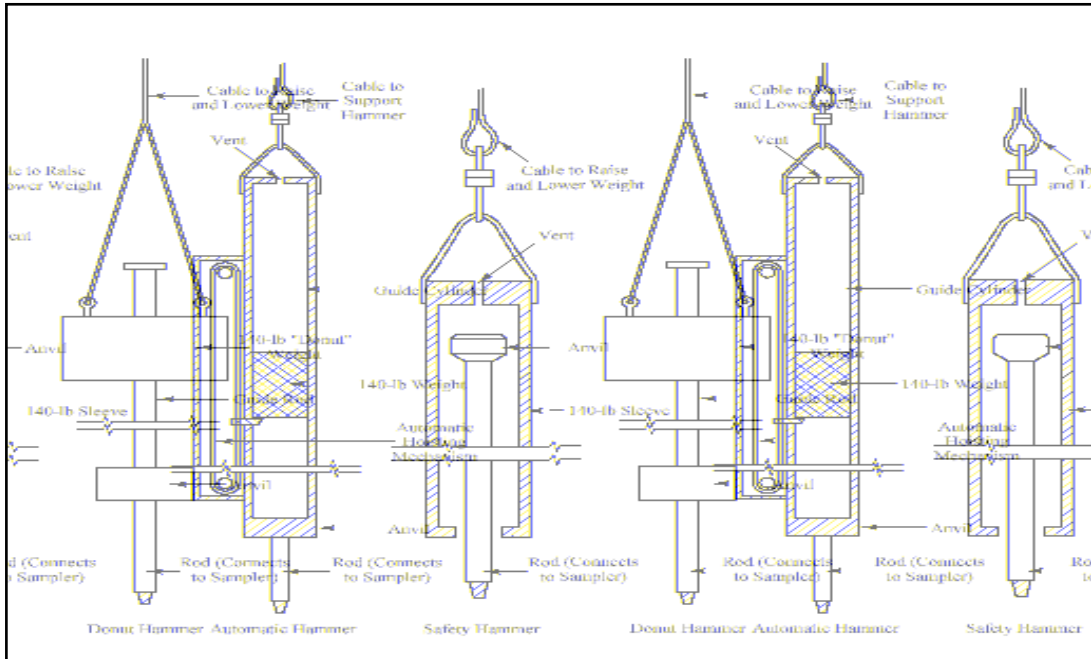
$\eta_1$ =Şahmerdan enerji oranı,  $\eta_2$ =Kuyu çapı,  $\eta_3$ =Numune alıcı,  $\eta_4$ =Tij uzunluğu.

Çizelge 6.1. Bazı ülkelerdeki SPT deneyi ile ilgili veriler.

Ülke	Halka (Enerji seviyesi)	Emniyetli (Enerji seviyesi)
	Makara	Otomatik
ABD	45	-
Japonya	67	78
İngiltere	-	-
	Makara	Otomatik
	70-80	80-100
	-	-
	50	60

Şahmerdan enerji oranı  $\eta_1$ , örneğin %60 enerji seviyesi için ABD Halka-Makaralı tip şahmerdan kullanılacaksa  $\eta_1=45/60=0.75$  olarak hesaplanır.

Yaygın olarak kullanılan şahmerdan (tokmak) tipleri Şekil 6.1 ile verilmiştir.



Şekil 6.1. Kullanılan şahmerdan tipleri.

SPT N sayısı için ayrıca efektif gerilme ya da örtü düzeltmesi de uygulanabilir. Uniform zeminlerde derinlik arttıkça elde edilecek N değerleri sığ derinliklere göre

daha büyük çıkacaktır. Bu nedenle, örtü düzeltmesi ile ölçülmüş N değerlerinin 100 kPa'lık düşey efektif gerilmeye göre düzeltilmiş olacaktır. Burada  $N_{60}$ , teorik serbest düşme, standart tokmağın standart yükseklikten serbest düşmesi halinde ortaya çıkan enerjinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı;  $N_{1.60}$  teorik serbest düşme enerjisinin % 60 ve efektif düşey basıncının 100 kPa değerine göre düzeltilmiş vuruş sayısıdır.

Diğer düzeltme faktörleri de aşağıdaki Çizelge 6.2'deki gibidir.

Çizelge 6.2. Diğer düzeltme faktörleri.

Faktör	Cihaz Değişkenleri	Değer
$\eta_2$ (Kuyu çapı)	65–115 mm	1.00
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
$\eta_3$ (Numune alıcı)	Standart numune alıcı	1.00
	Kaplamasız numune alıcı	1.20
$\eta_4$ (Tij uzunluğu)	3–4 m	0.75
	4–6 m	0.85
	6–10 m	0.95
	>10 m	1.00

Buna göre

$$N'_{60}=(N_1)_{60}=C_N \times N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad (6.10)$$

$$C_N=\text{örtü düzeltmesi}=(95.76/\sigma_o')^{0.5} \quad (6.11)$$

$N'_{60}=(N_1)_{60}$ =% 60 enerji düzeyi ve örtü düzeltmesi yapılmış SPT darbe değeri

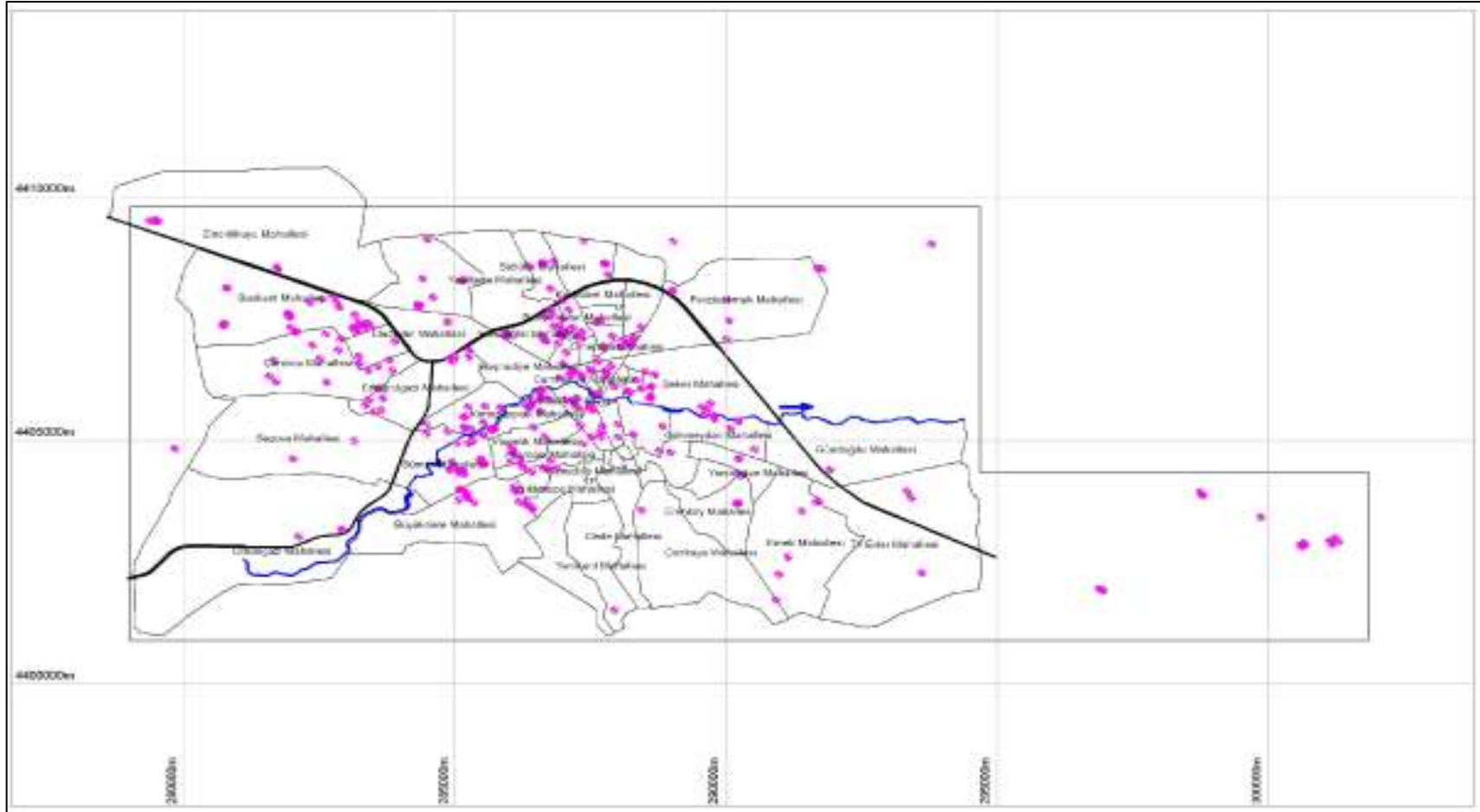
SPT N sonuçlarının değişimine etki eden başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Sondaj yöntemi,
- Sondaj kuyu tabanı temizliği,
- Sondaj kuyusunun çapı,
- Şahmerdan tipi,
- Halatın makara etrafında dolanma sayısı,
- Sondaj çamuru,
- Kılavuz kullanılmaması,
- Şahmerdan ağırlığı,

- Şahmerdan düşüş frekansı,
- Numune alıcının fazla çakılması,
- Halat ve kılavuzlardaki sürtünme,
- Ağırlığın aksenal düşmemesi,
- Denetim.

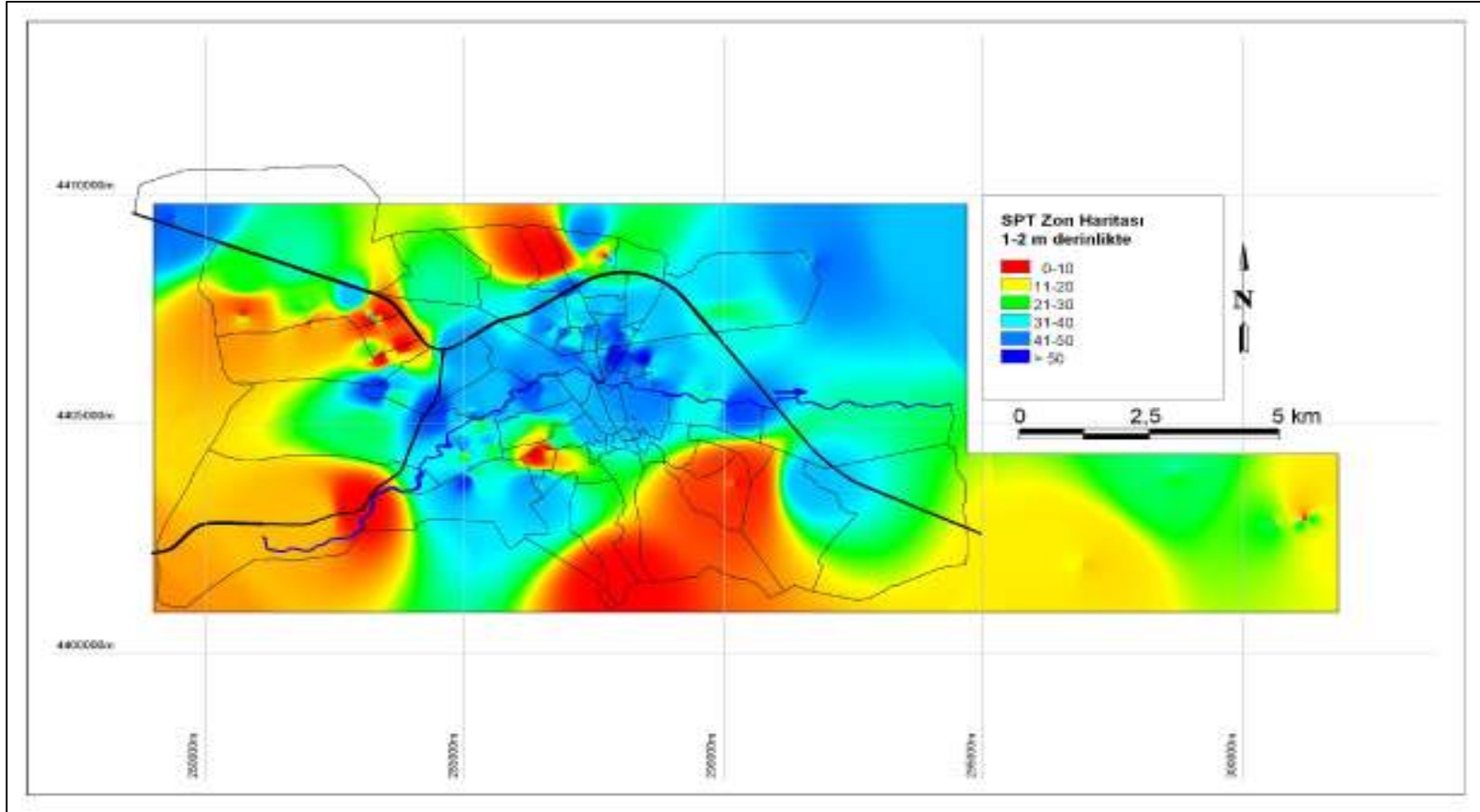
## 6.2 SPT Verilerinin CBS İle Analizi

Öncelikle, CBS analizi için gerekli olan SPT verilerinin belirlenmesinde, Eskişehir il sınırları içerisinde 164.2 km<sup>2</sup>'lik bir alanda 17 metre derinliğe kadar yapılan ve bir sondaj firmasından temin edilen 209 adet sondaj verisi incelenmiştir. Bu verilerden, her sondajda ortalama olarak iki adet ve toplamda 1859 adet düzeltilmemiş SPT değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden, 10-11 metre derinliğe kadar olan SPT verileri kullanılarak CBS tabanlı MapInfo 8.0 programı yardımıyla tematik (konulu) haritalar oluşturulmuştur. Haritalar oluşturulurken karşılaştırılması düşünülen yöntemlerden biri olan MT yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, haritalar hazırlanırken herhangi bir karelej yapılmamıştır. Şekil 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12'de CBS tabanlı MapInfo 8.0 programı yardımıyla MT tahmin yöntemiyle SPT verileri kullanılarak çizilen tahmin haritaları gösterilmiştir.

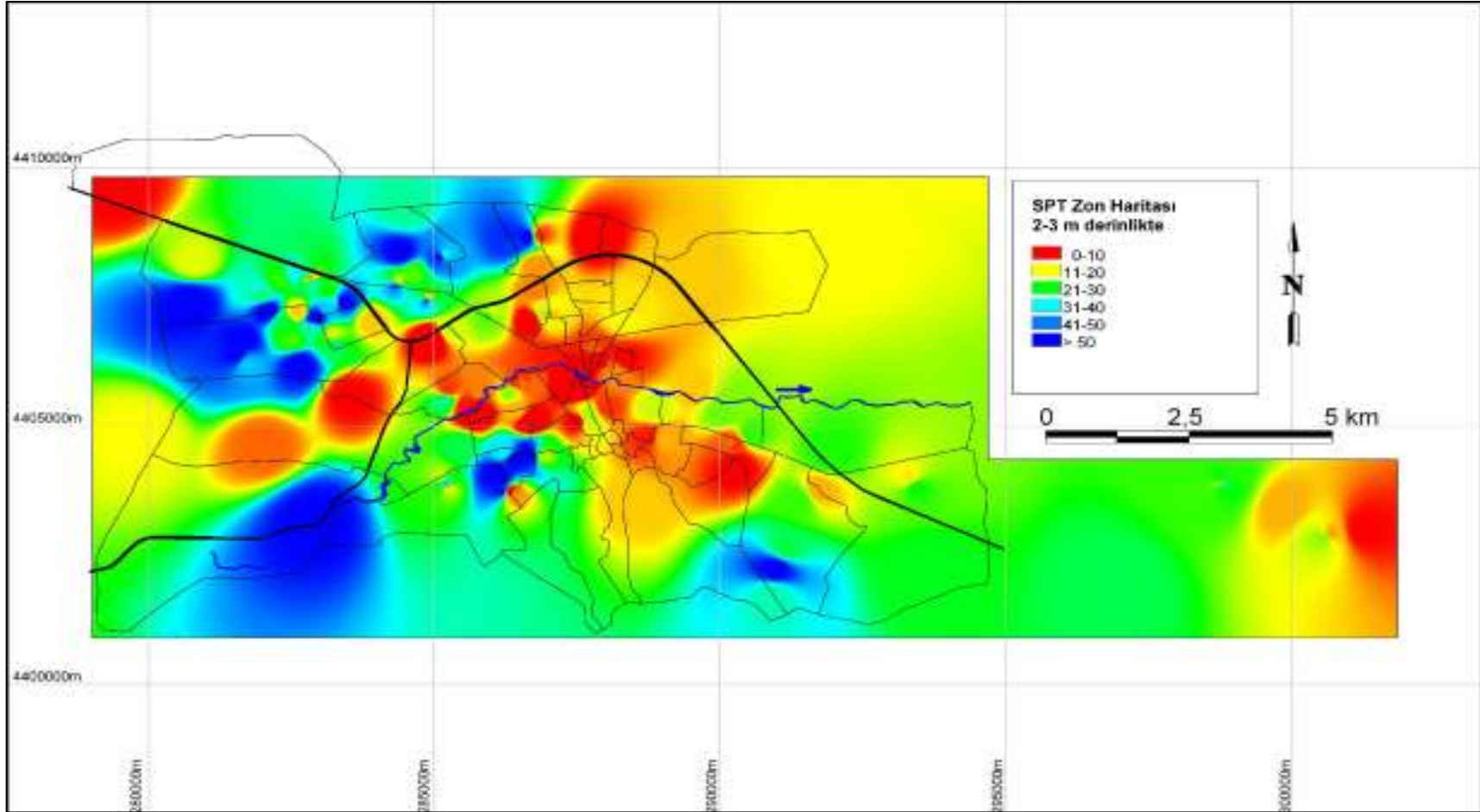


Şekil 6.2. İnceleme alanındaki sondaj noktaları.

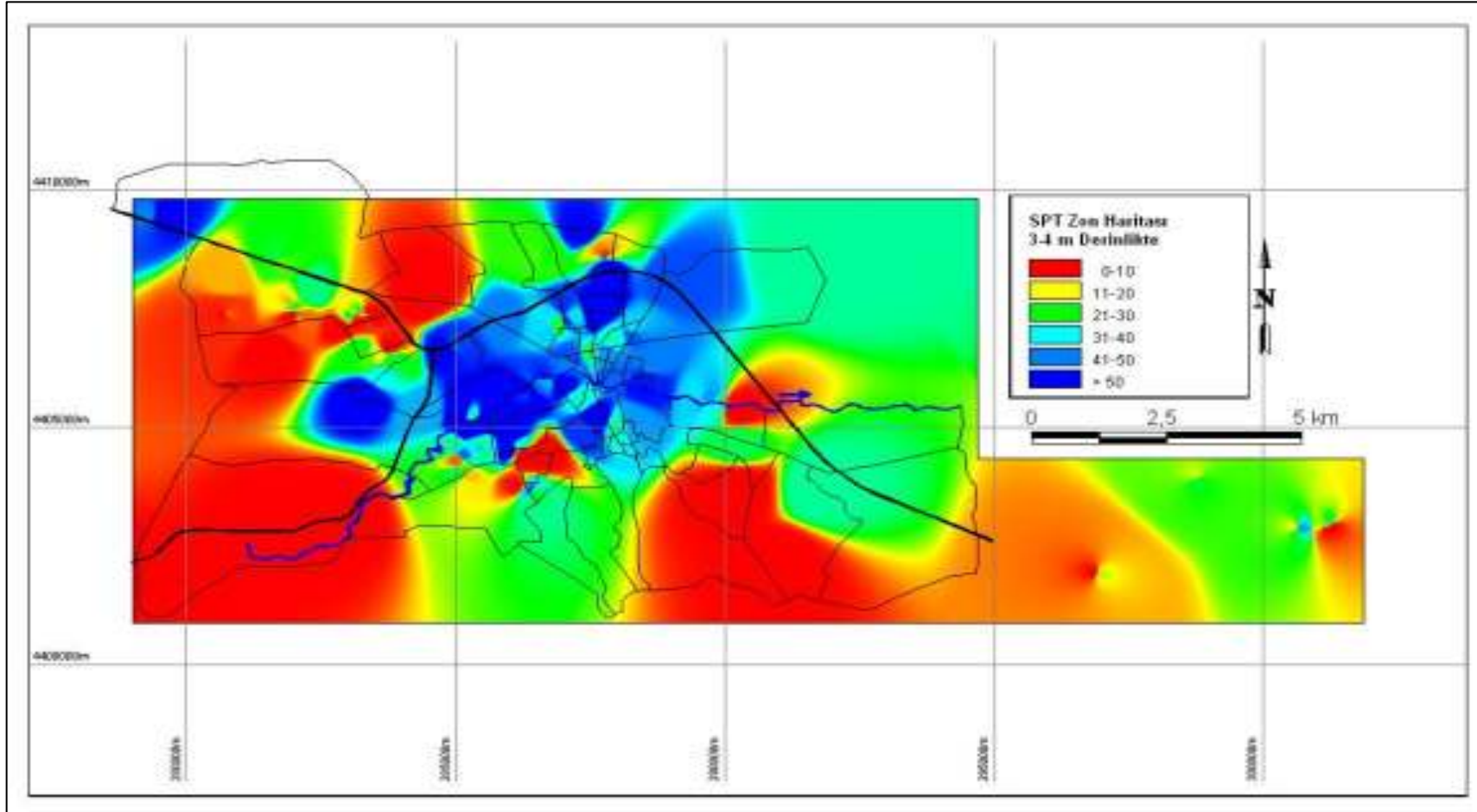




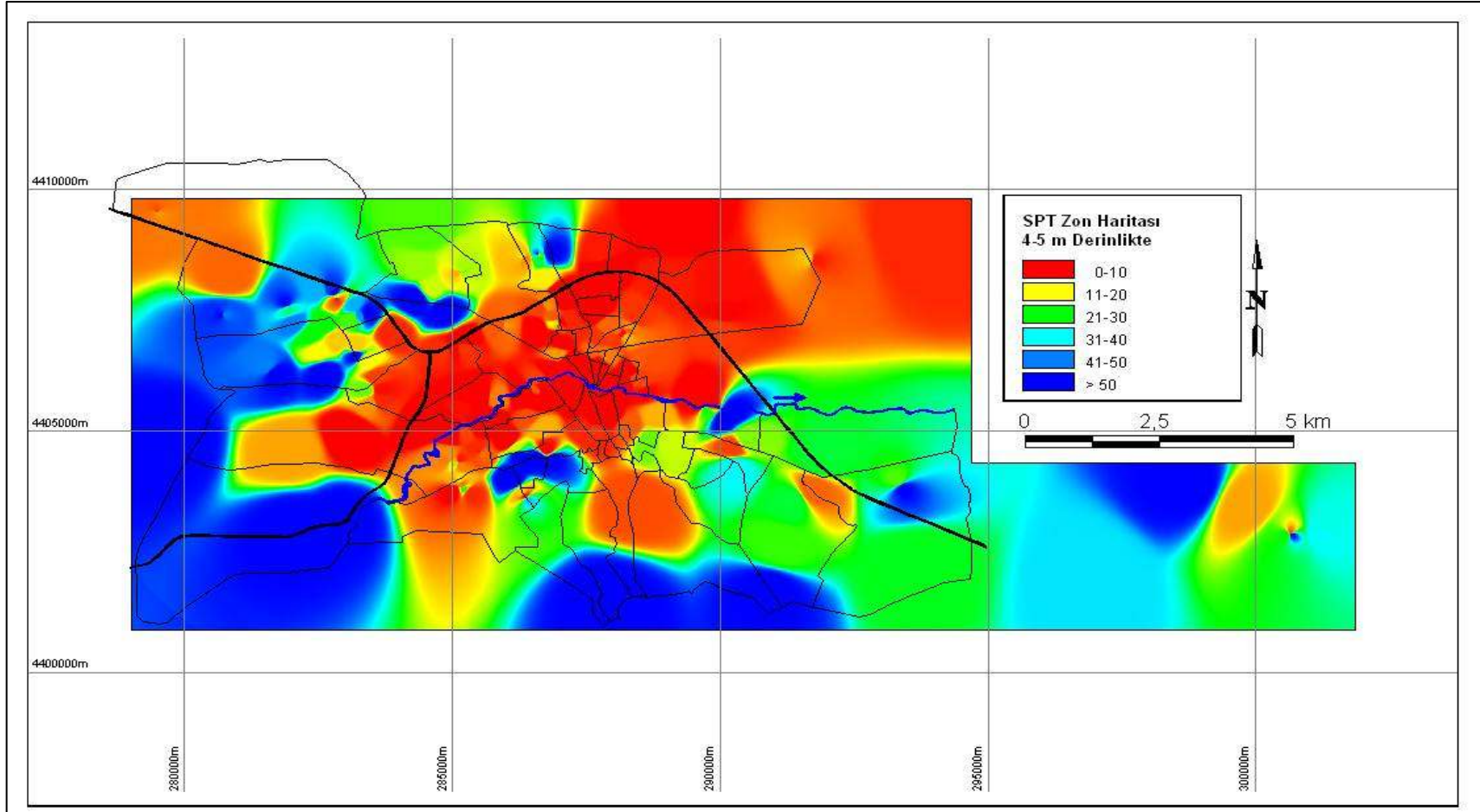
Şekil 6.3. 1-2 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



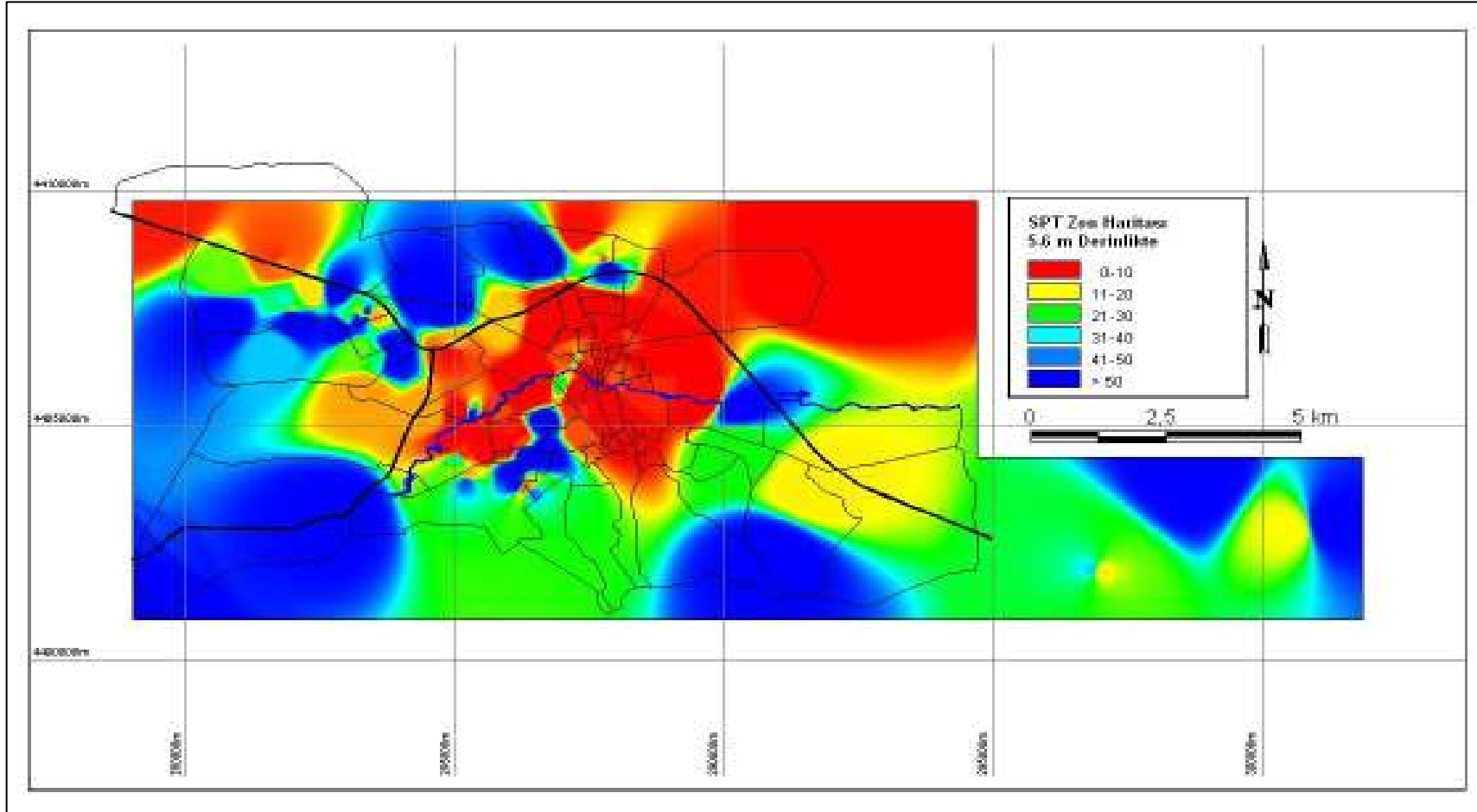
Şekil 6.4. 2-3 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



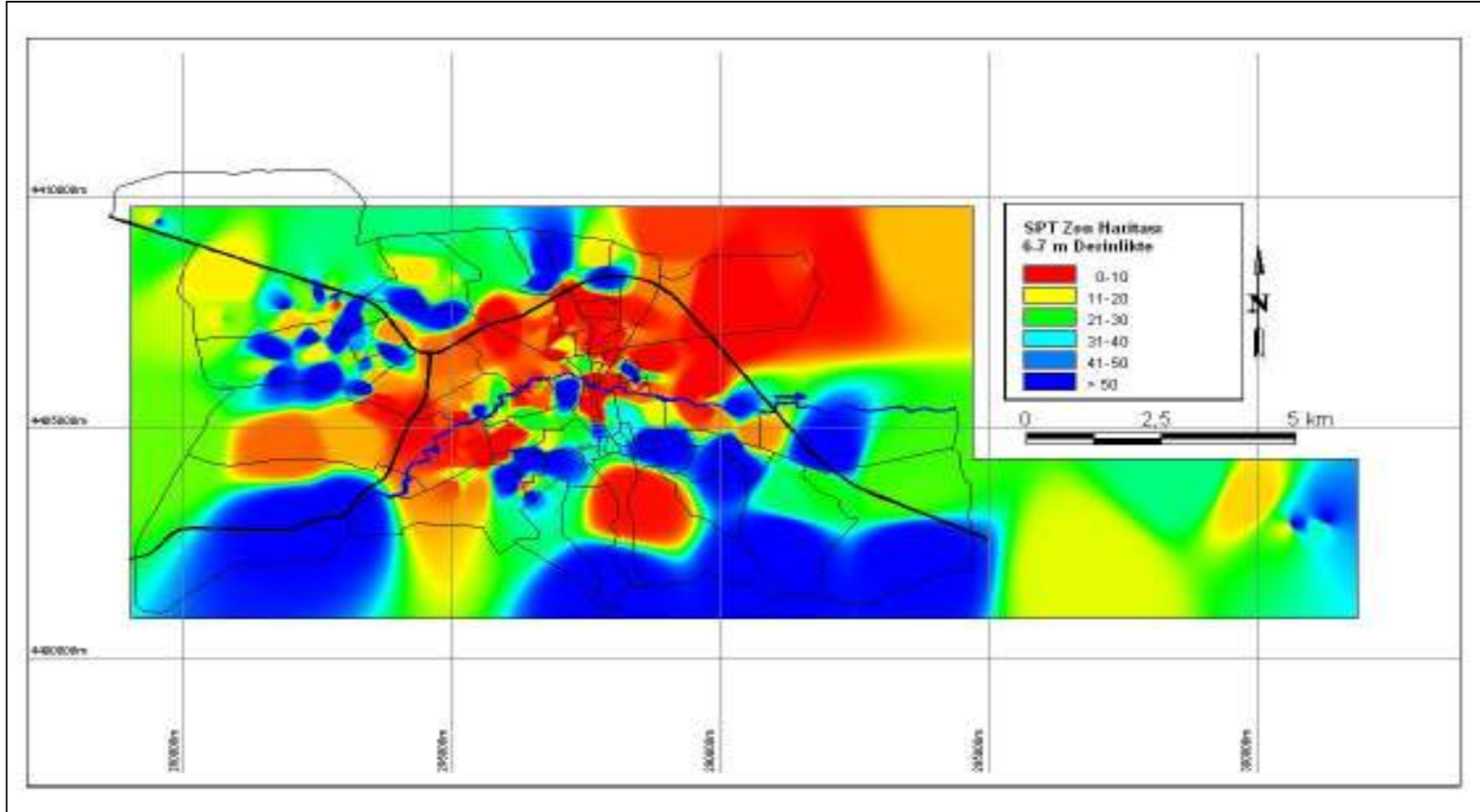
Şekil 6.5. 3-4 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



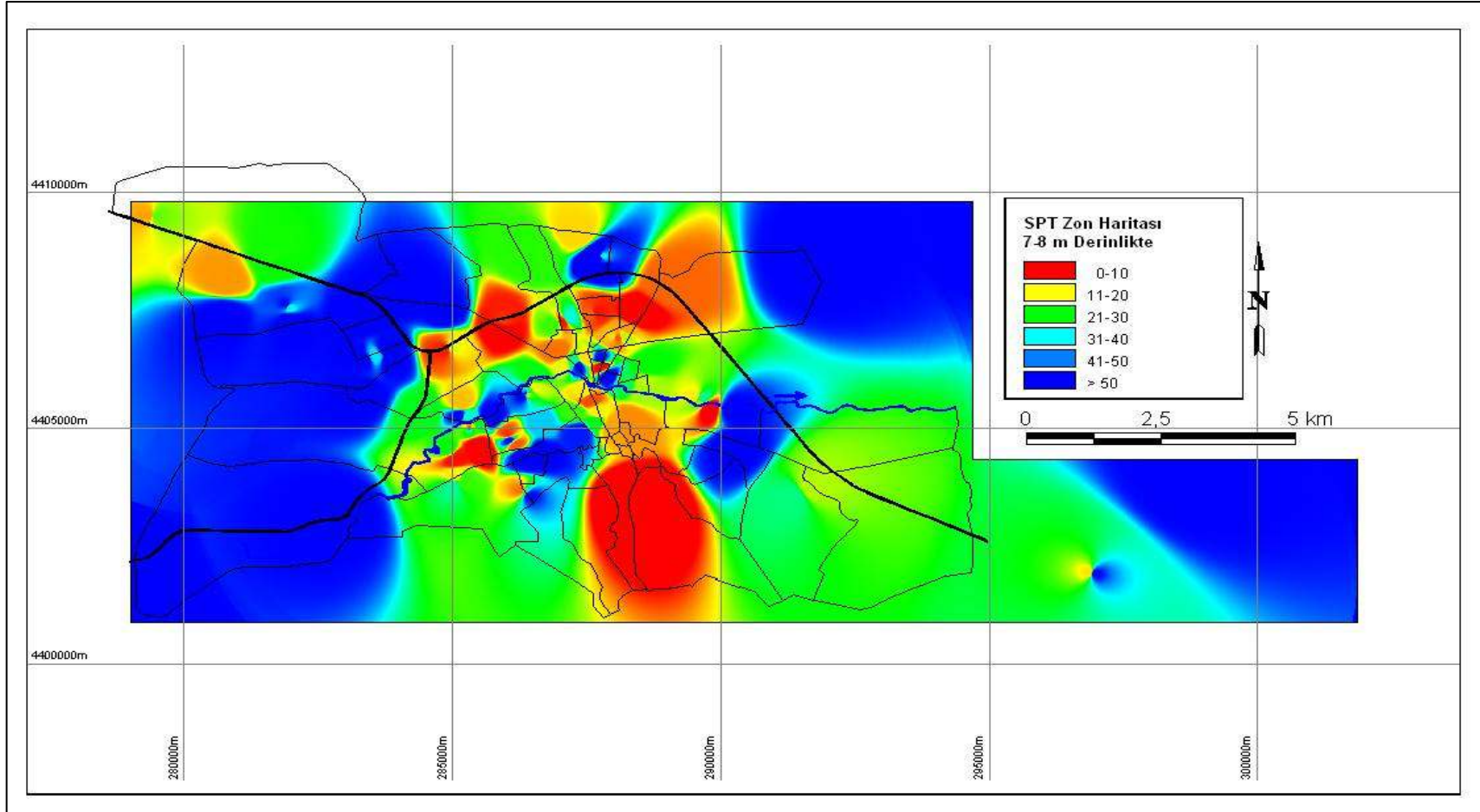
Şekil 6.6. 4-5 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



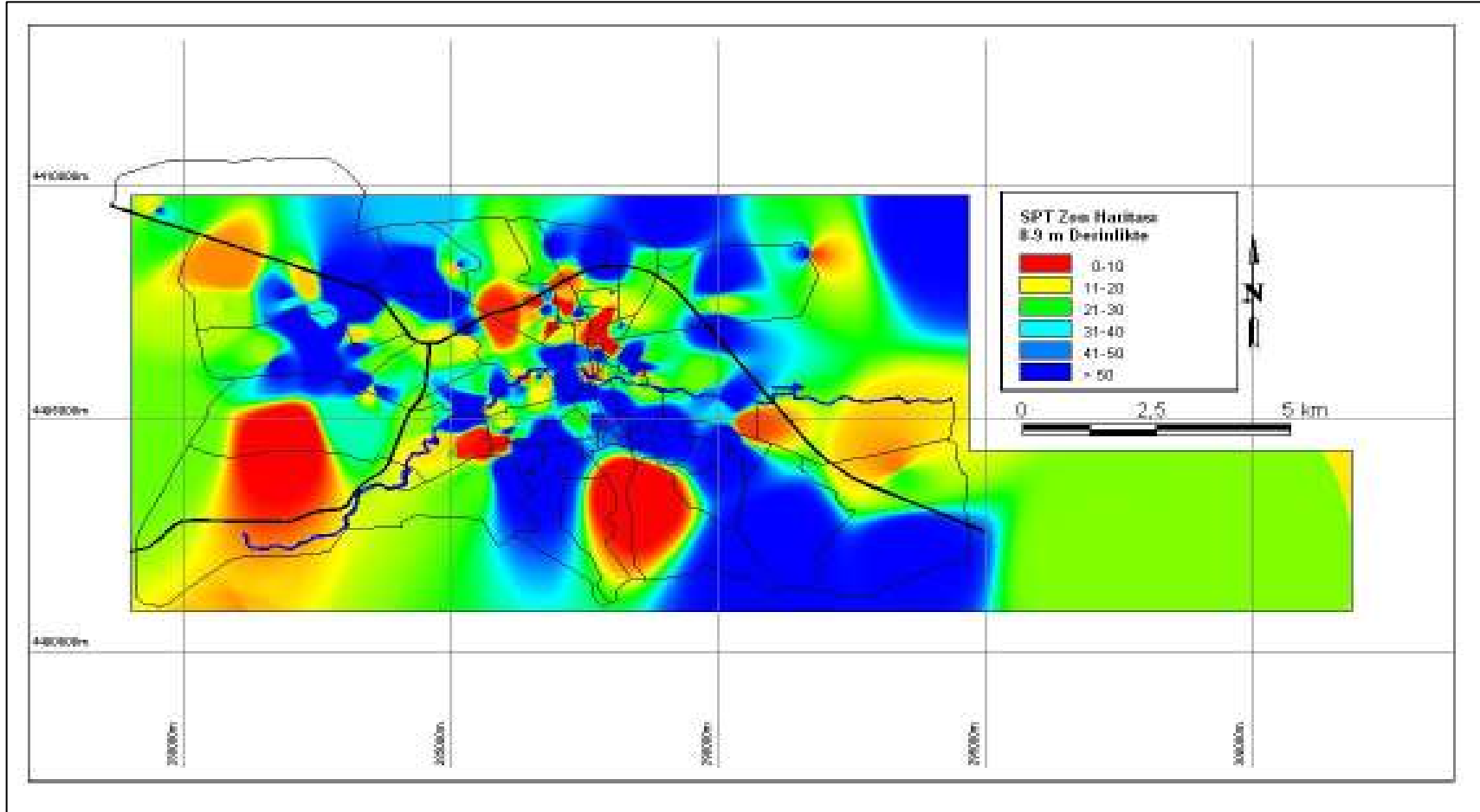
Şekil 6.7. 5-6 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



Şekil 6.8. 6-7 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.

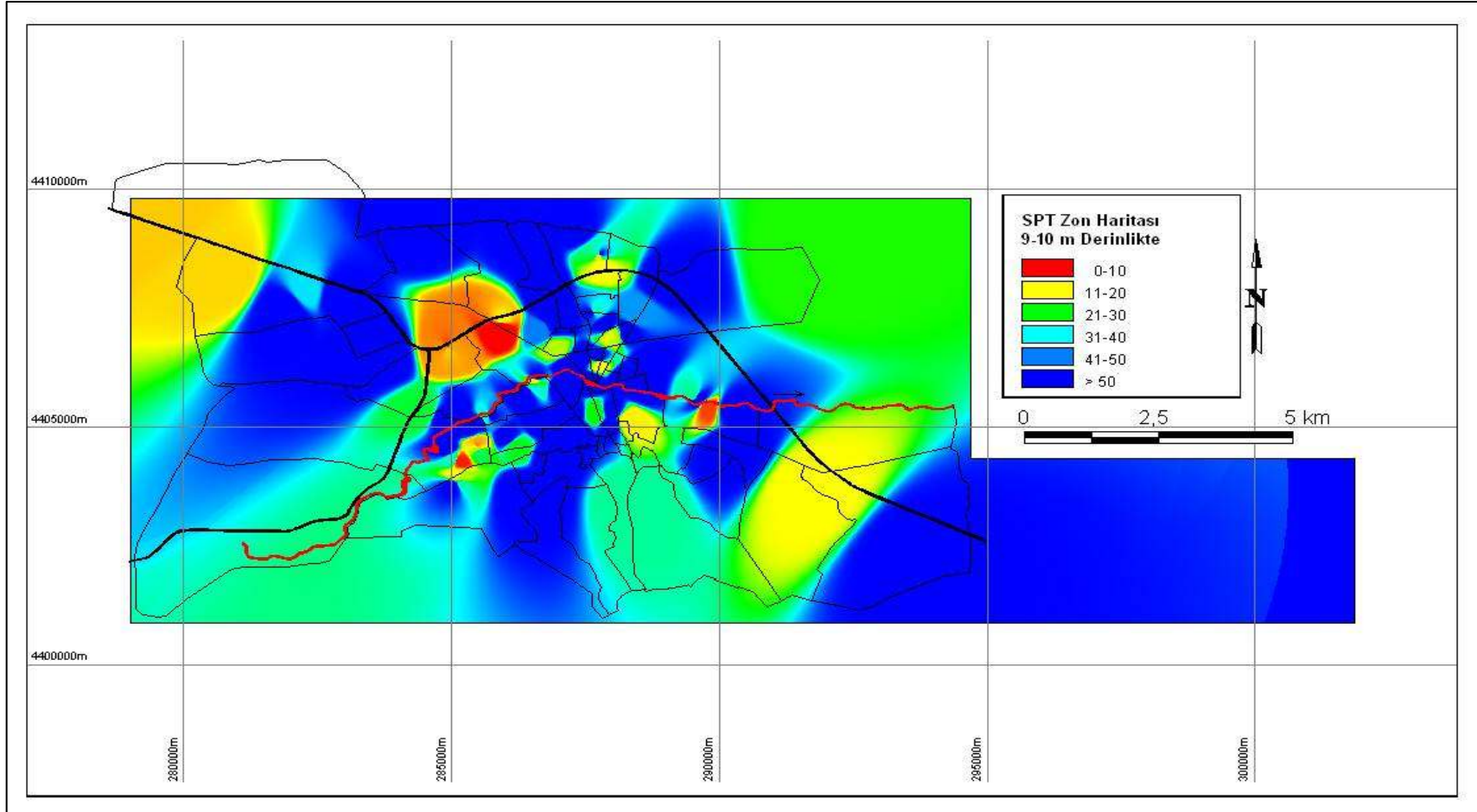


Şekil 6.9. 7-8 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.

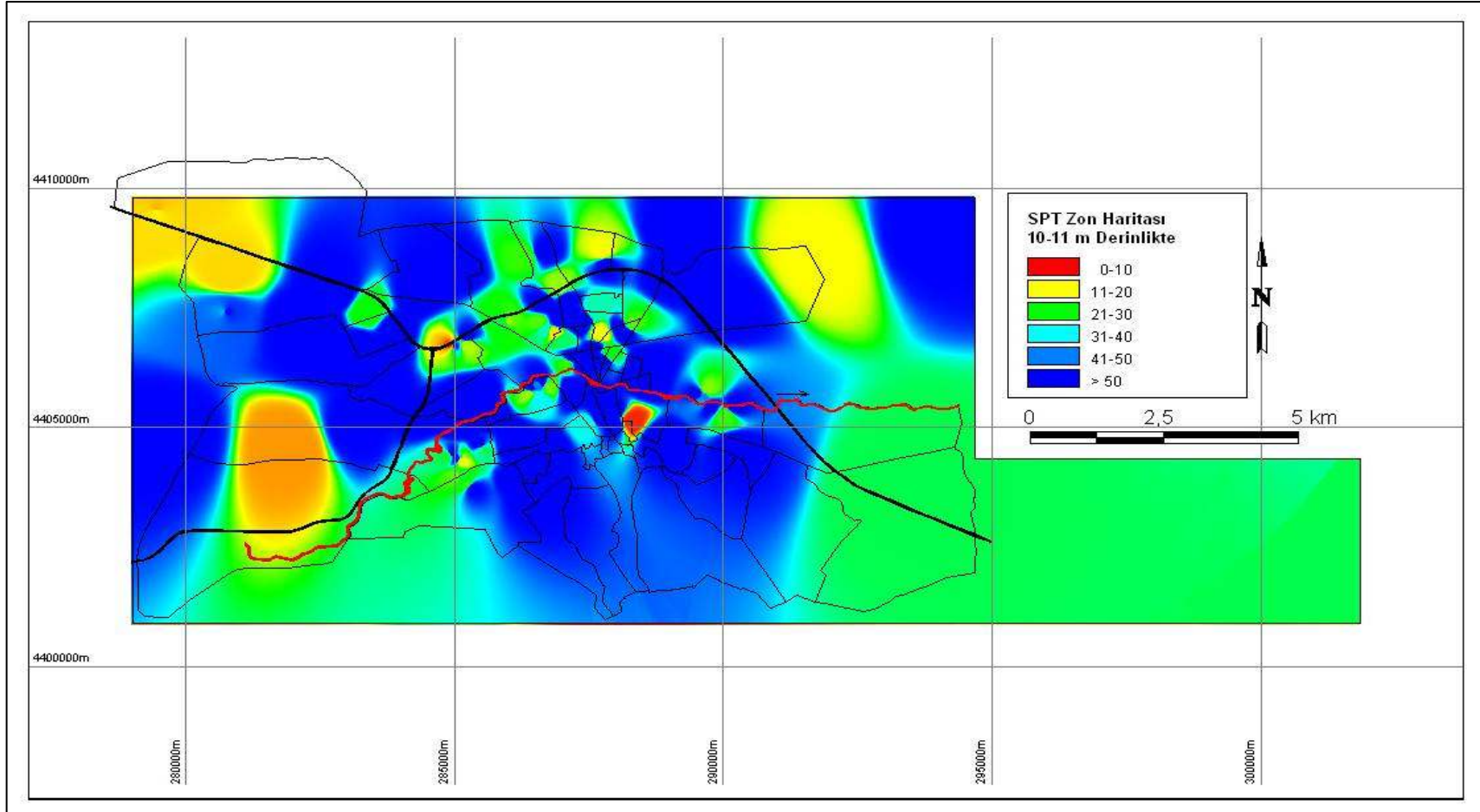


Şekil 6.10. 8-9 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.





Şekil 6.11. 9-10 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.



Şekil 6.12. 10-11 metre SPT verileri kullanılarak hazırlanan CBS tahmin haritası.

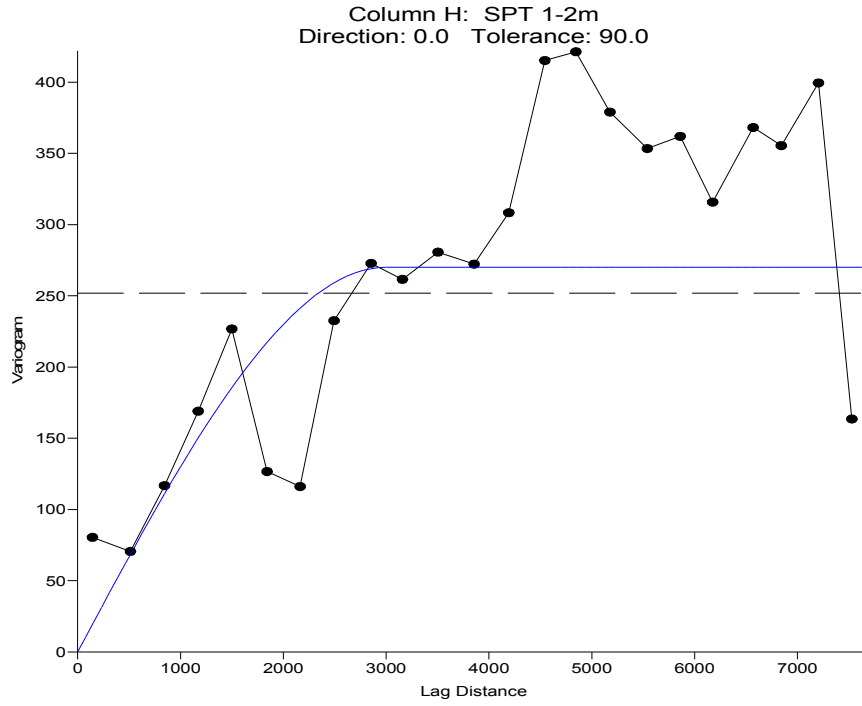
### 6.3 SPT Verilerinin Jeostatistik İle Analizi

Klasik istatistik yöntemleriyle çözümü oldukça zor olan madencilik ve jeoloji problemlerinin çözümünde kullanılan jeostatistik, bu çalışmada Eskişehir havzasında bir çok noktadaki sondajlardan alınan ve zemin ile ilgili bir parametre olan SPT değerlerinin havzadaki dağılımının araştırılmasında kullanılmıştır. Jeostatistiksel yöntemlerden Kriging tahmin yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda havzanın SPT haritası çıkarılmıştır.

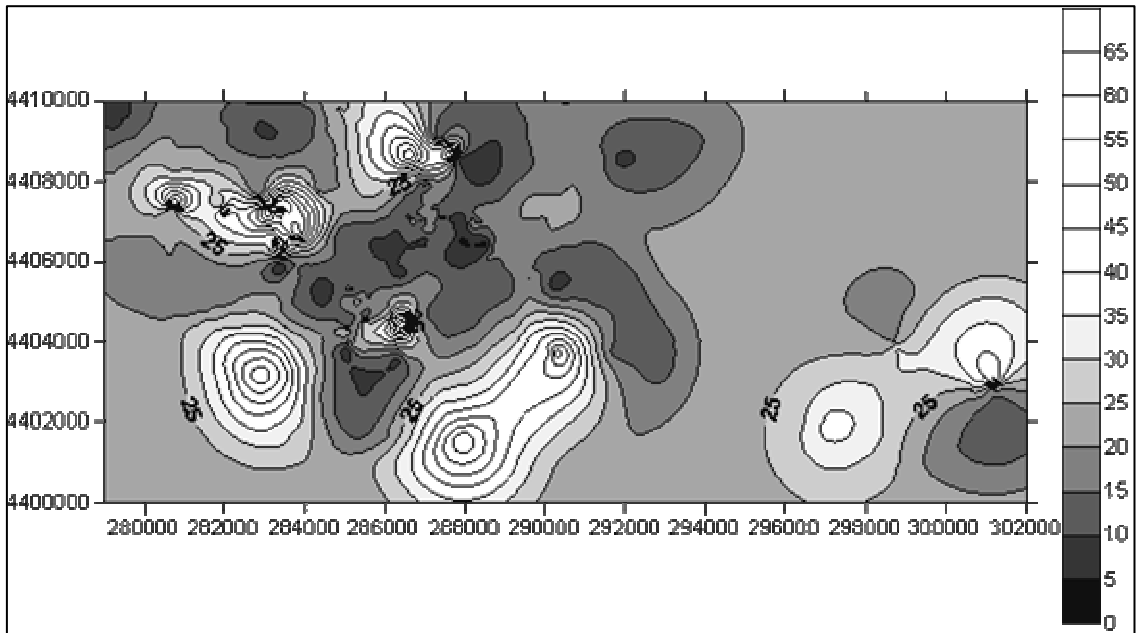
Eskişehir havzasında yaklaşık 209 sondajdan alınan SPT verileri, genellikle her bir noktada 1-11 metre derinlik aralığında, her bir metrede alınmış SPT verilerini kapsamaktadır. Bu çalışmada jeostatistiksel yöntemler, her metreye karşılık gelen SPT değerleri kullanılarak ayrı ayrı yapılmıştır. Böylece; derinlikle birlikte SPT değerlerini havzadaki değişimi ve dağılımı, tahmin haritalarından görülebilecektir. SPT değerleri kullanılarak yapılan jeostatistiksel yöntemin uygulanmasında izlenen aşamalar aşağıdaki şekildedir:

- Her sondajın farklı kotlarından alınan SPT değerleri kullanılarak her biri için ayrı ayrı deneysel variogramlar oluşturulmuştur.
- Daha sonra deneysel variogramlara uygun teorik modeller belirlenmiştir.
- Elde edilen variogram model parametrelerden faydalanılarak, jeostatistiksel tahmin yöntemlerinden Kriging tahmin yöntemi ile Eskişehir havzasını içine alan bölgede 3×3 metre aralıklarla noktasal SPT değeri tahminleri yapılmıştır.

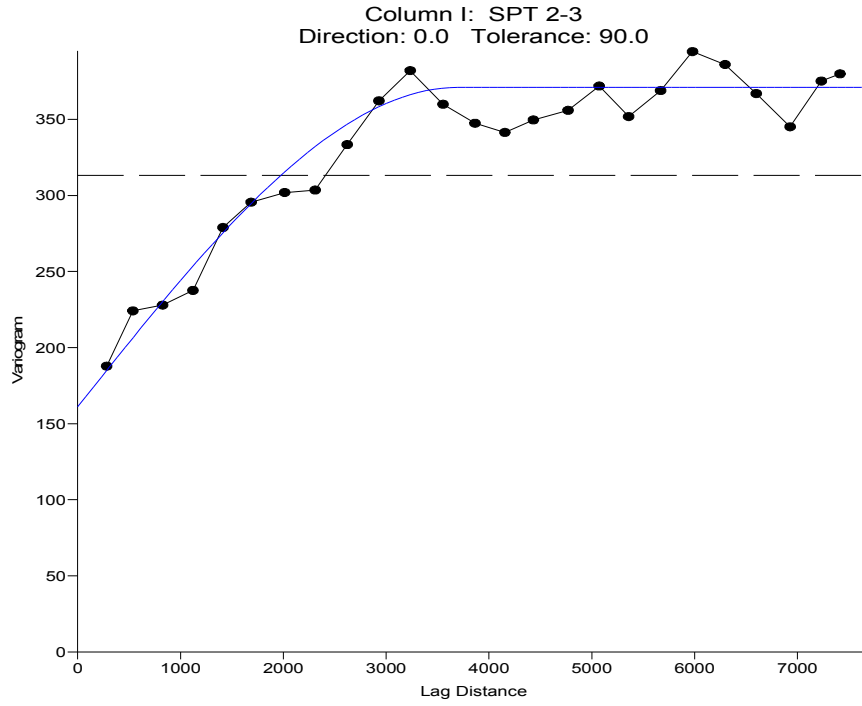
Jeostatistiksel yöntemlerin uygulanmasında Surfer 8.0 programı kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her sondajdan alınan her bir metredeki veriler kullanılarak Surfer programı aracılığıyla oluşturulmuş olan deneysel variogramlar ve bu variogramlara uygun belirlenmiş olan teorik modeller gösterilmektedir (Şekil 6.13-Şekil 6.32). Ayrıca modellerle ait Surfer programı yardımıyla çizilmiş haritalar da verilmiştir.



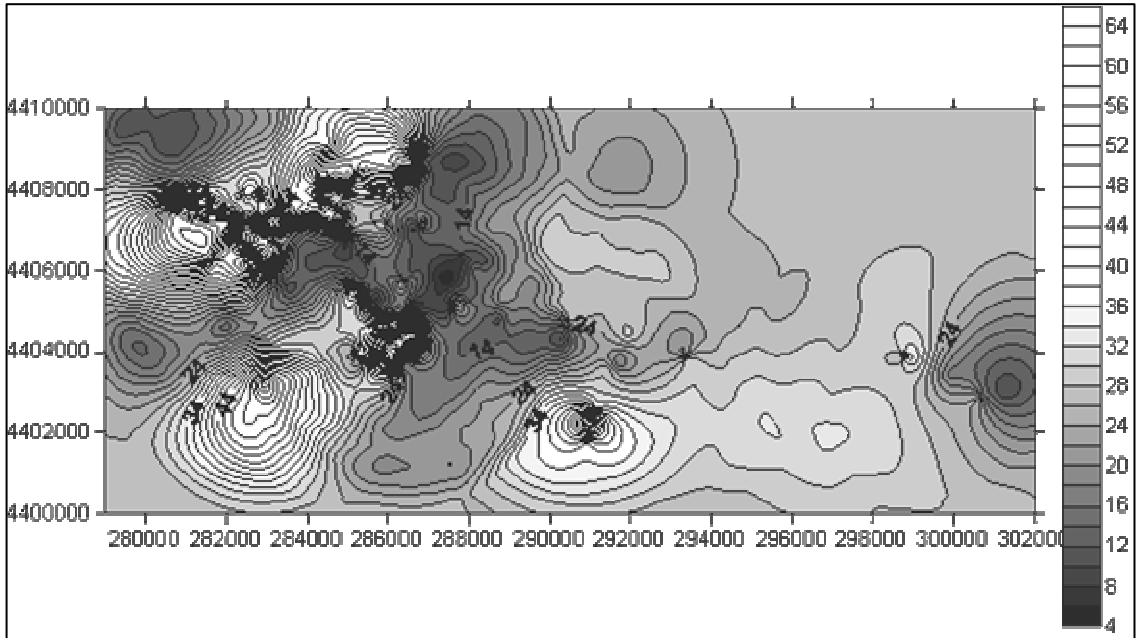
Şekil 6.13. 1-2 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



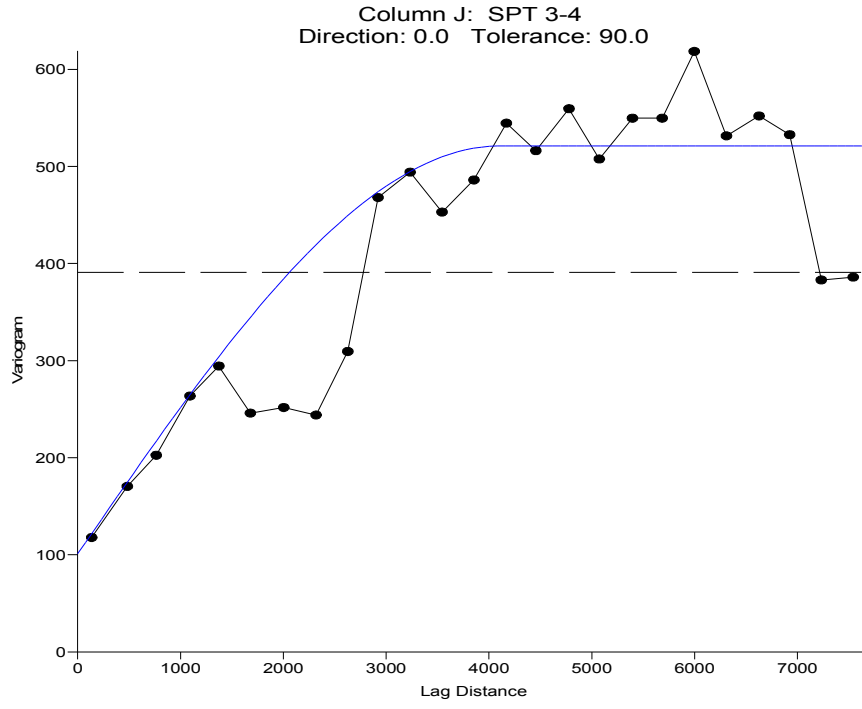
Şekil 6.14. 1-2 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



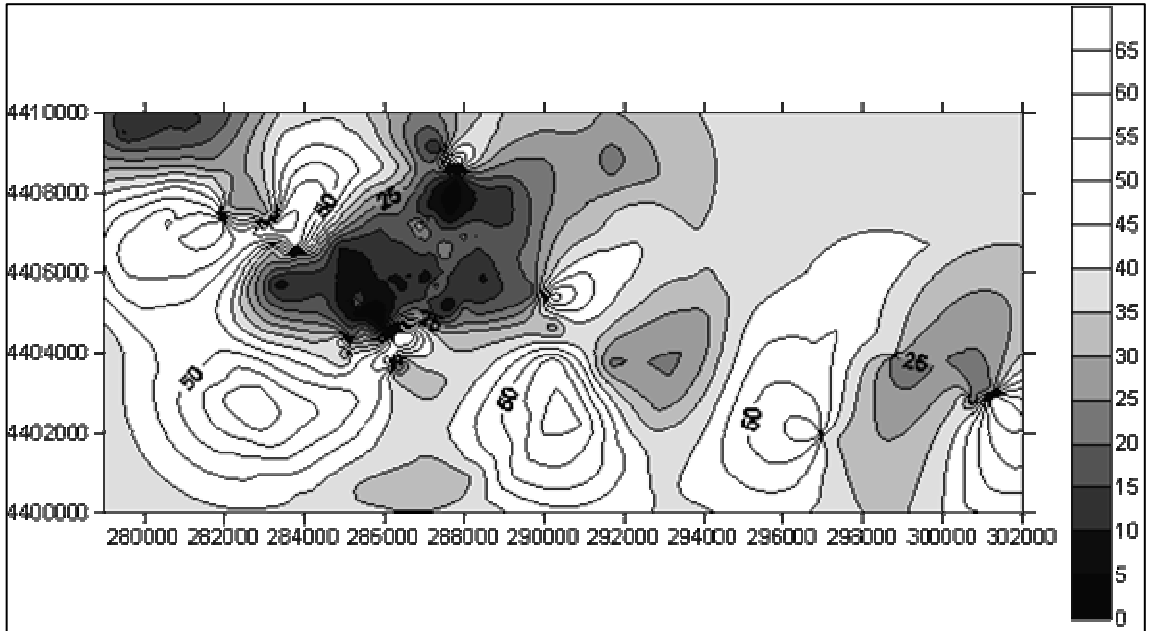
Şekil 6.15. 2-3 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



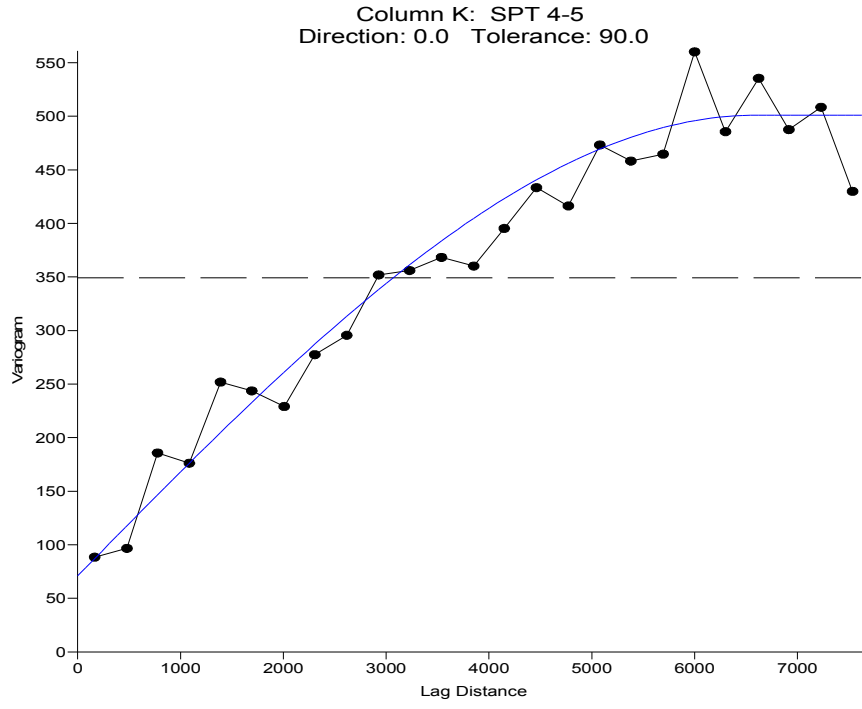
Şekil 6.16. 2-3 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



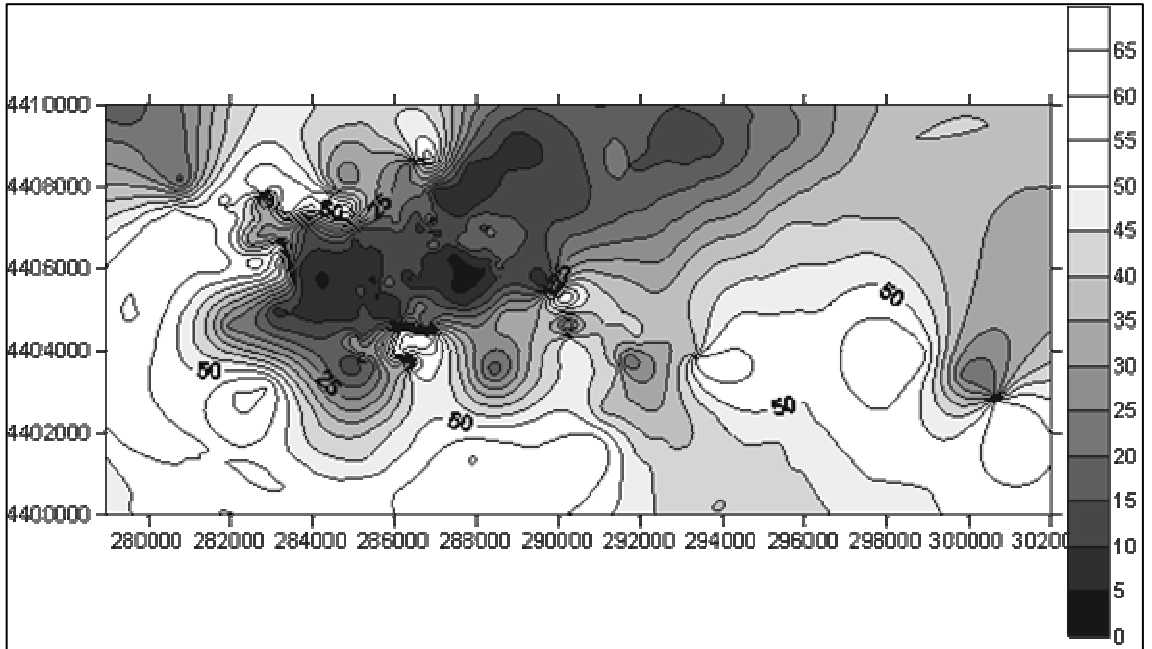
Şekil 6.17. 3-4 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



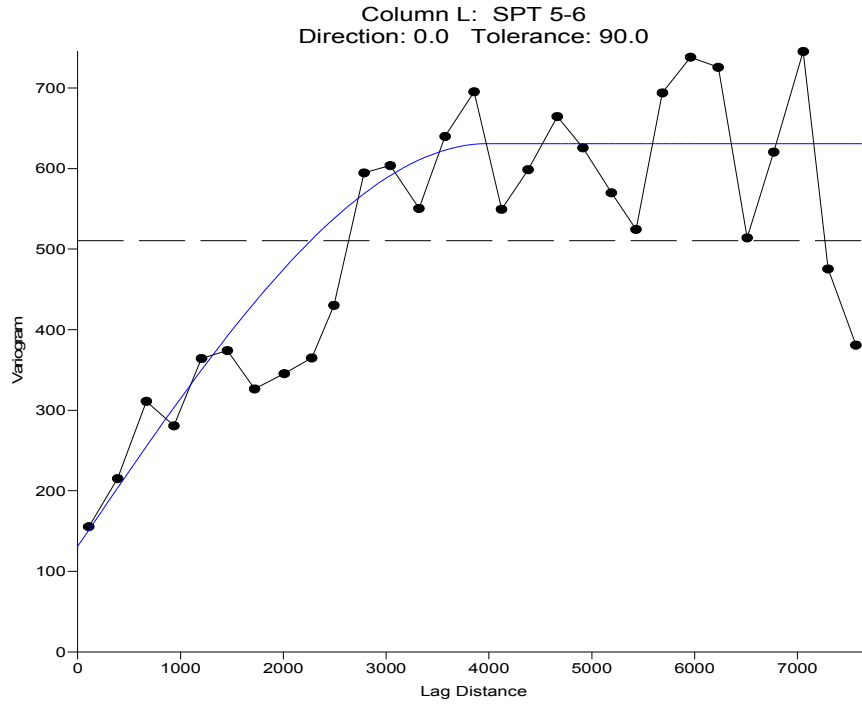
Şekil 6.18. 3-4 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



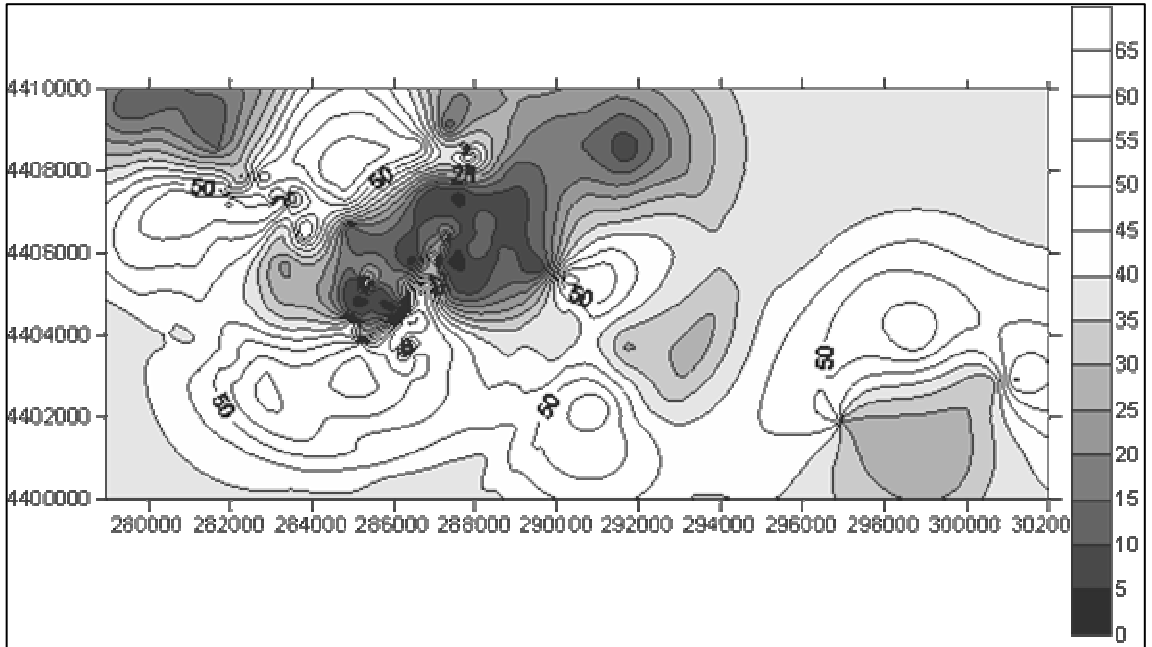
Şekil 6.19. 4-5 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



Şekil 6.20. 4-5 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.

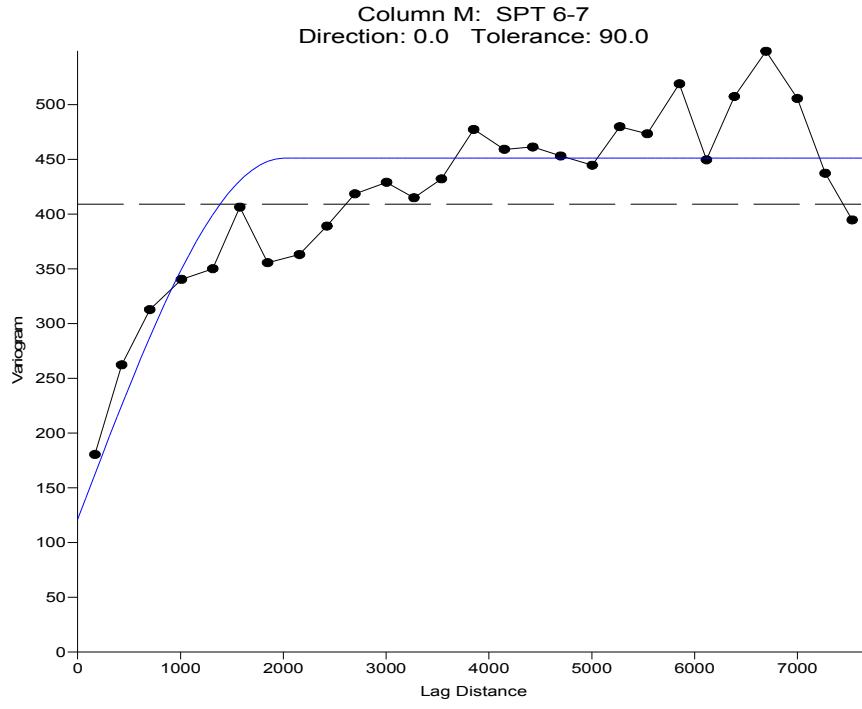


Şekil 6.21. 5-6 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.

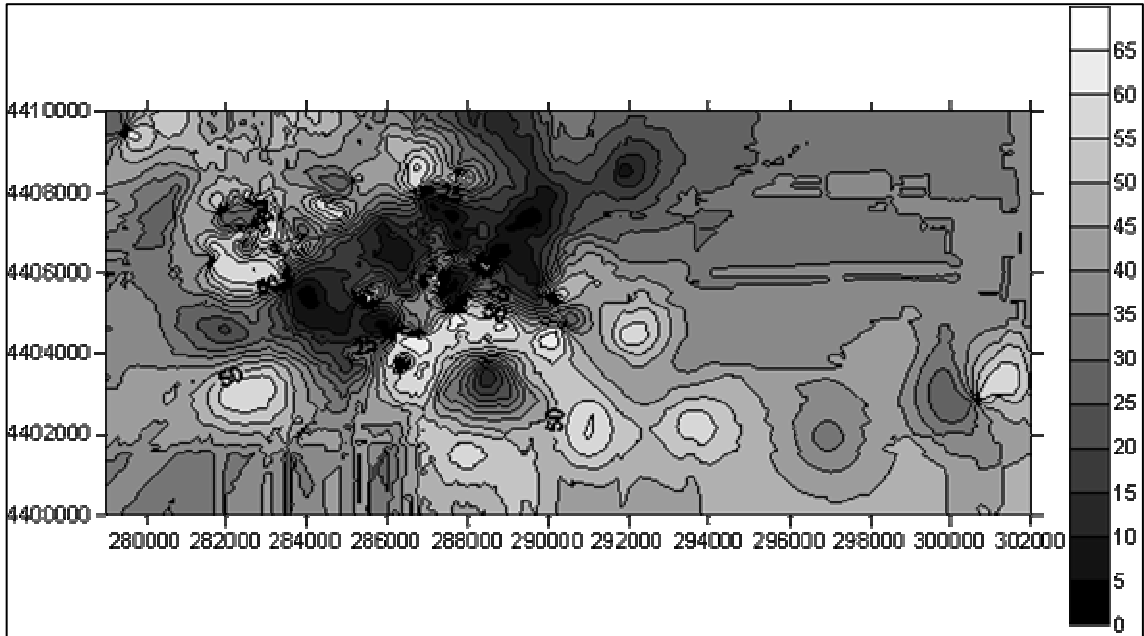


Şekil 6.22. 5-6 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.

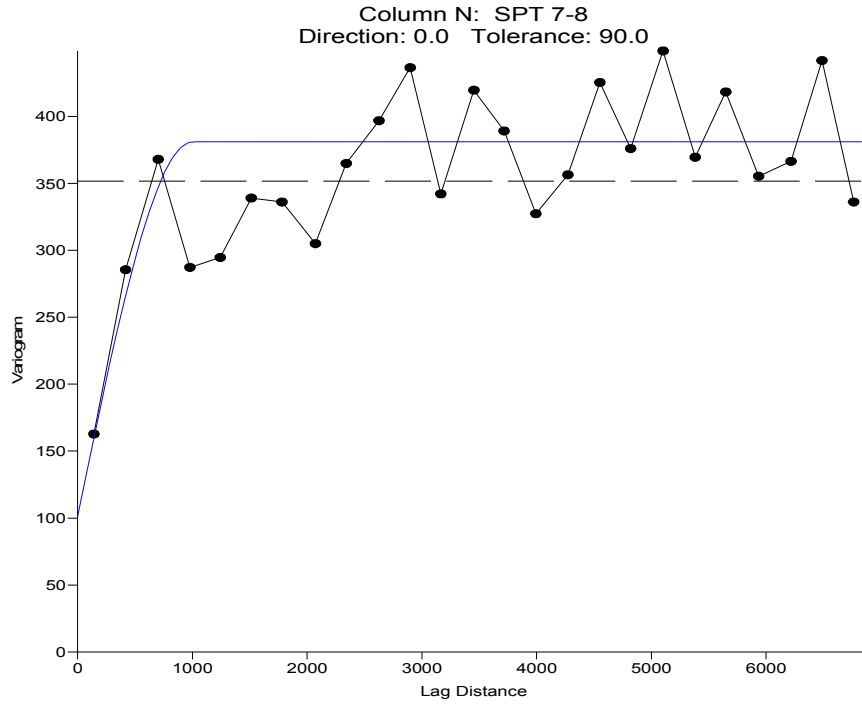




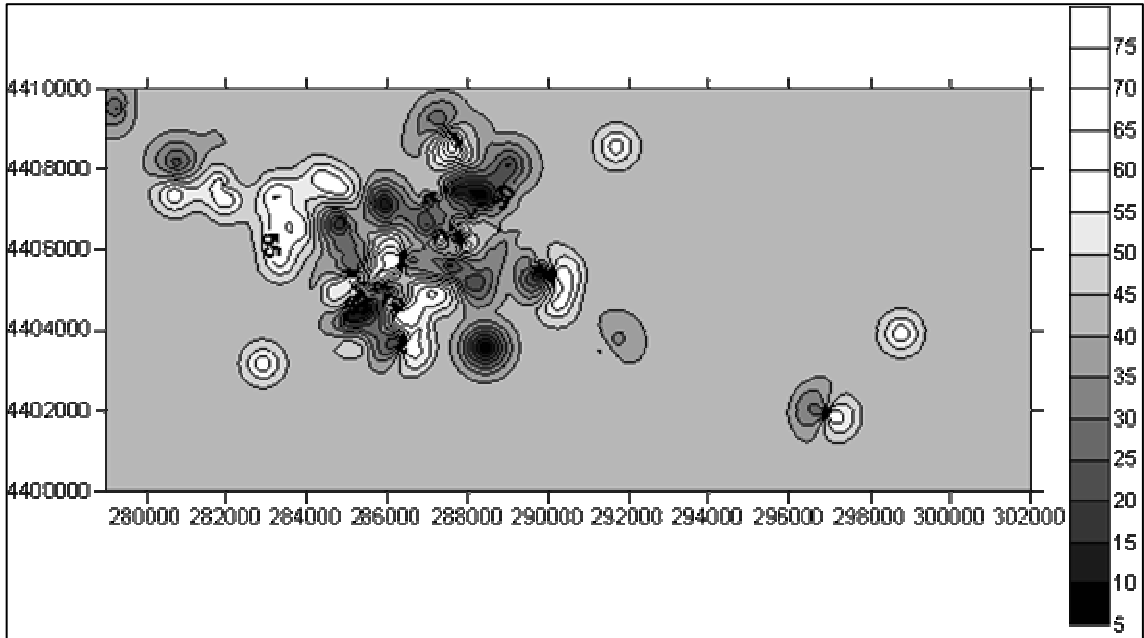
Şekil 6.23. 6-7 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



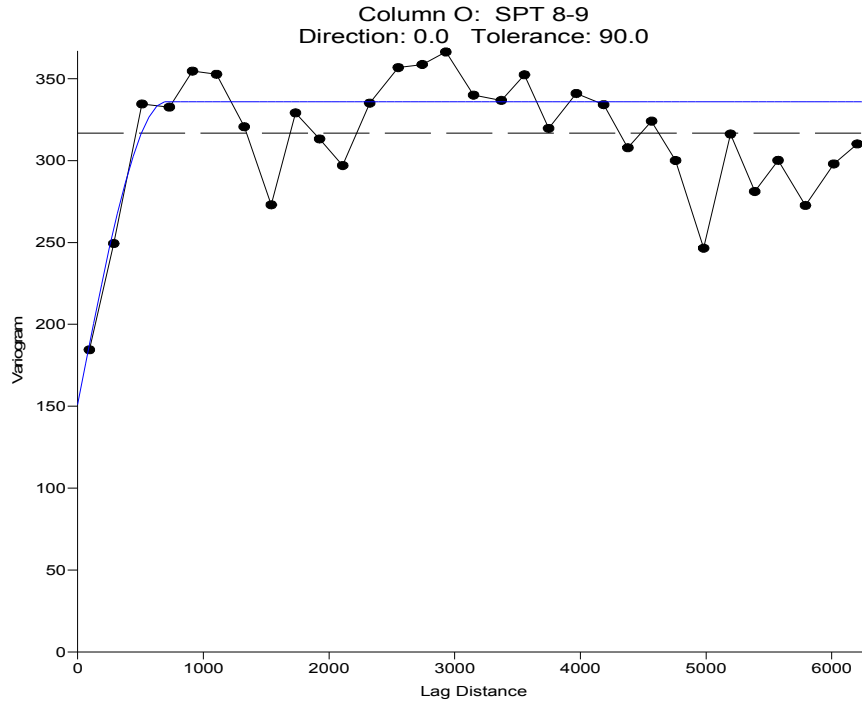
Şekil 6.24. 6-7 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



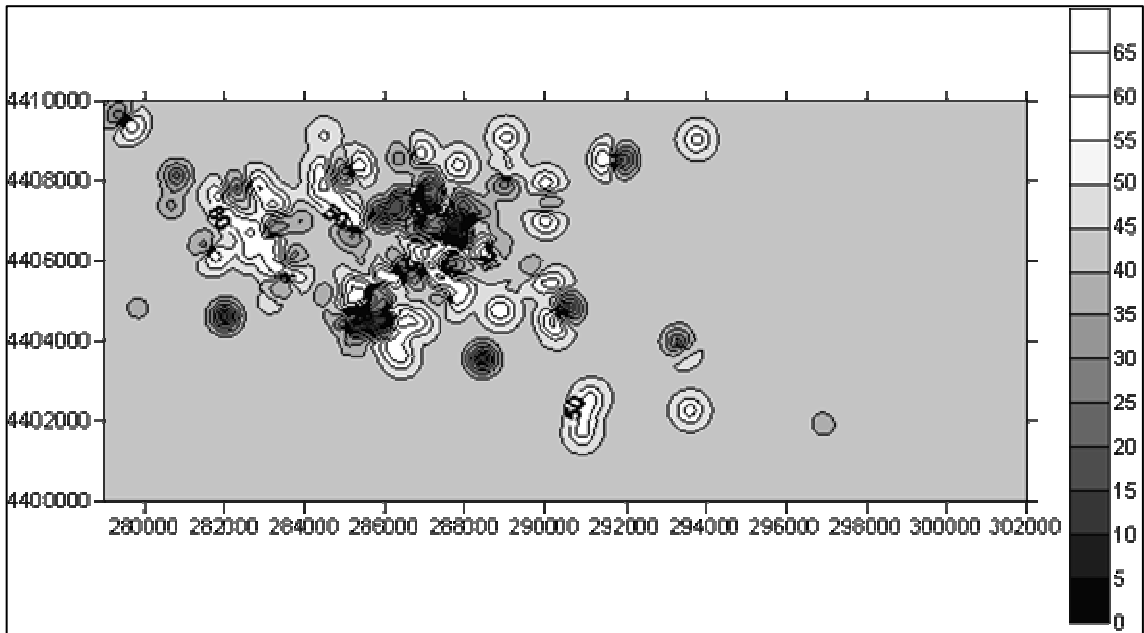
Şekil 6.25. 7-8 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



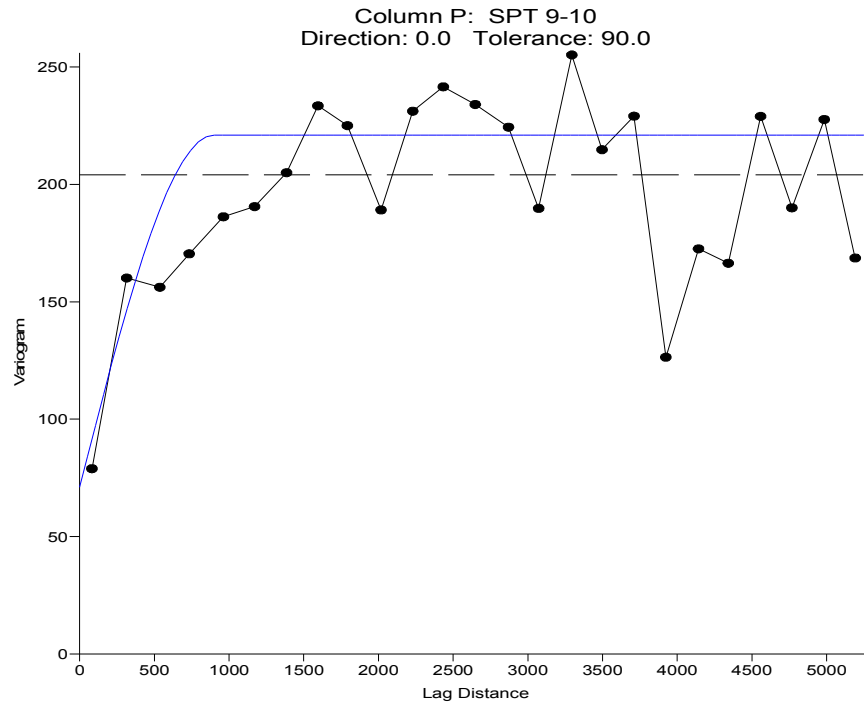
Şekil 6.26. 7-8 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



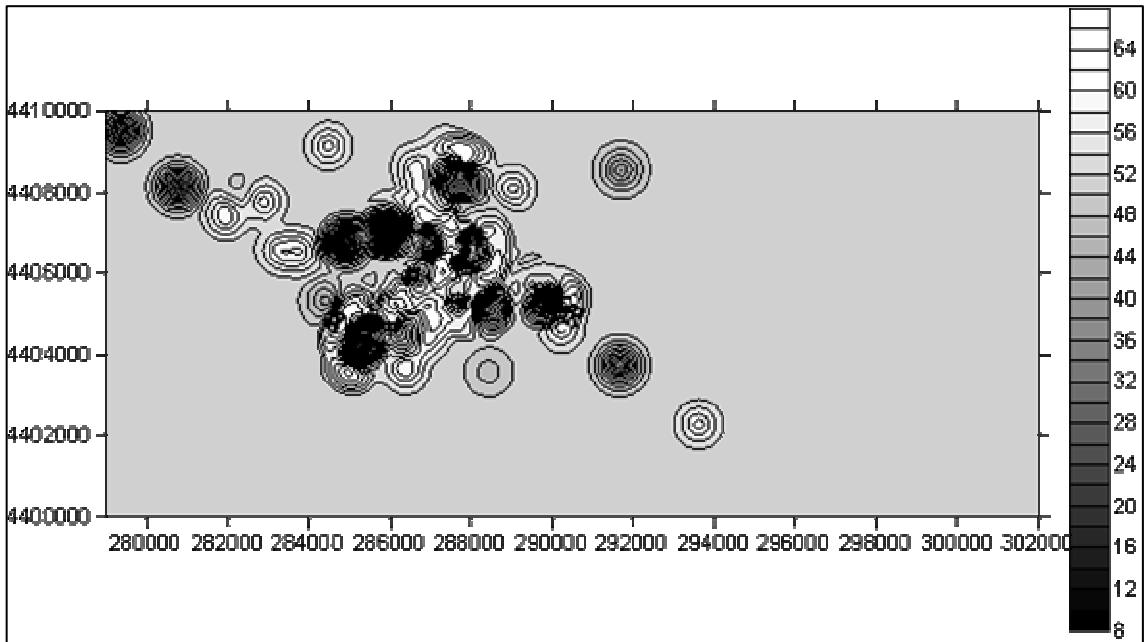
Şekil 6.27. 8-9 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



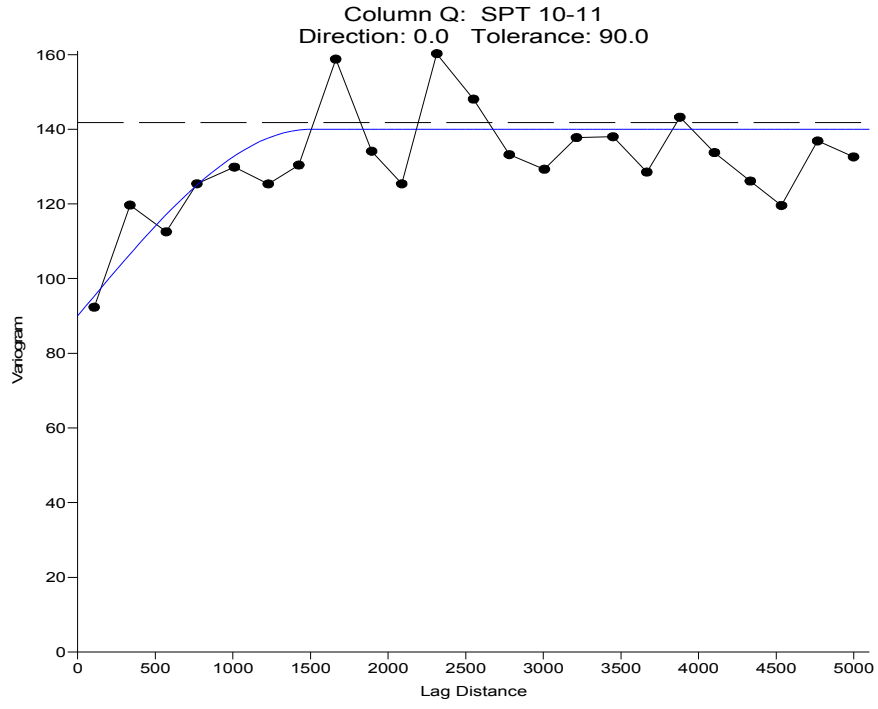
Şekil 6.28. 8-9 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



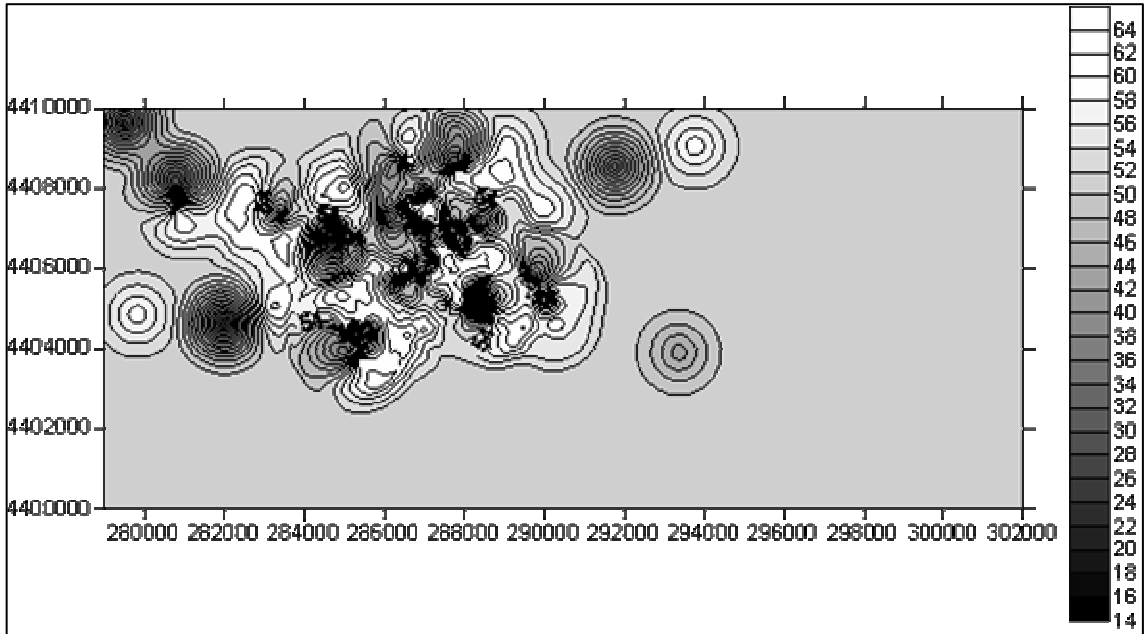
Şekil 6.29. 9-10 metre SPT verileri kullanılarak belirlenen variogram modeli.



Şekil 6.30. 9-10 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.



Şekil 6.31. 10-11 metre SPT verileri ile belirlenen variogram modeli.



Şekil 6.32. 10-11 metreden alınan SPT verileri kullanılarak çizilen SPT tahmin haritası.

Deneysel variogramlara uygun olarak belirlenmiş olan ve Kriging tahminlerinde kullanılacak olan teorik model parametreleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Variogram parametreleri.

SPT sondaj derinliği (m)	Nugget ( $C_0$ )	Sill (C)	Etki mesafesi (m)
1-2	0	270	3000
2-3	160	370	3700
3-4	100	520	4100
4-5	70	500	6600
5-6	130	630	4000
6-7	120	450	2000
7-8	100	380	1000
8-9	150	335	700
9-10	70	220	900
10-11	90	140	1500

Çizelge 6.4'te ve Çizelge 6.5'te istatistiksel analizleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. 1-9 m SPT verilerinin istatistik analizi.

SPT (m)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
<b>Ortalama</b>	21.970	28.293	28.342	24.604	29.676	29.761	41.276	43.318
<b>Varyans</b>	253.100	315.557	393.489	350.860	513.866	410.679	354.408	318.361
<b>Standart sapma</b>	15.909	17.764	19.837	18.731	22.669	20.265	18.826	17.843
<b>En küçük değer</b>	3	4	1	1	1	1	2	2
<b>En büyük değer</b>	60	60	60	60	60	60	78	60
<b>Medyan</b>	17	22	23	17	23	24	41	47
<b>Çarpıklık katsayısı</b>	1.483	0.739	0.536	0.874	0.315	0.433	-0.396	-0.630
<b>Basıklık katsayısı</b>	1.126	-0.752	-1.105	-0.640	-1.620	-1.298	-1.131	-0.886
<b>Örnek sayısı</b>	199.000	133.000	161.000	227.000	142.000	255.000	127.000	211.000

Çizelge 6.5. 9-17 m SPT verilerinin istatistik analizi.

SPT (m)	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
<b>Ortalama</b>	50.818	52.362	56.000	55.889	55.438	60.000	55.000	51.063
<b>Varyans</b>	205.700	142.723	53.576	97.130	115.463	0.000	127.429	113.263
<b>Standart sapma</b>	14.342	11.947	7.320	9.855	10.745	0.000	11.288	10.642
<b>En küçük değer</b>	1	12	35	26	24	60	37	36
<b>En büyük değer</b>	60	60	60	60	60	60	79	60
<b>Medyan</b>	60	60	60	60	60	60	60	60
<b>Çarpıklık katsayısı</b>	-1.380	-1.317	-1.586	-2.216	-2.382	-	0.028	-0.386
<b>Basıklık katsayısı</b>	0.803	0.626	1.202	3.492	4.960	-0	0.000	-1.969
<b>Örnek sayısı</b>	121.000	152.000	34.000	36.000	16.000	14.000	15.000	16.000

#### 6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmanın sonunda, Hadamard Çarpımı kullanılarak CBS MT ve jeostatistik Kriging yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bunun için, 209 sondajdan birbirlerine yakın mesafede, yeraltı su seviyesinin 4 metrenin üzerinde olduğu ve 3 farklı zemin grubunu içeren (CL-CH, CH, ML) sondaj noktaları belirlenmiştir. Bu noktalardan her bir zemin grubu için dörder adet sondaj noktası seçilmiştir. Sonuç olarak, bu özelliklerde 12 adet sondaj noktası seçilerek bu noktalardaki SPT verilerinin, hem MT hem de Kriging yöntemiyle ayrı ayrı hazırlanmış MapInfo ve Surfer tahmin haritaları kullanılarak enterpole edilmiş değerleri okunmuştur. Her bir noktadan her iki yöntemle de okunan değerler o noktanın sondajlardan elde edilmiş gerçek SPT değerleriyle Hadamard Çarpımı yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucu olarak da MT ve Kriging yöntemlerinden hangisinin SPT değerlerini tahmin etmede en iyi sonuçları verdiği incelenmiştir.

##### 6.4.1 Hadamard çarpımı

Hadamard çarpımının gerçekleştirilebilmesi için gerçek SPT değerleri ve tahmini MT ve Kriging yardımıyla oluşturulan SPT haritalarından okunan tahmini değerler kendi içlerinde ayrı ayrı ele alınarak ağırlıklandırılmış ve iki farklı ikili karşılaştırılma

matrisleri elde edilmiştir. Sonrasında ise tahmini SPT değerlerinden elde edilen ağırlıklandırılmış matrisin transpozese alınmıştır (Felek, vd., 2007).

Gerçek veriler

Ağırlıklandırılmış matris

$$\begin{pmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \\ K1 \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} X1/X1 & X1/Y1 & X1/Z1 & X1/K1 \\ Y1/X1 & Y1/Y1 & Y1/Z1 & Y1/K1 \\ Z1/X1 & Z1/Y1 & Z1/Z1 & Z1/K1 \\ K1/X1 & K1/Y1 & K1/Z1 & K1/K1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6.12)$$

Tahmini veriler

Tahmini veriler için transpoze ikili karşılaştırma matrisi

$$\begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \\ K2 \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} X2/X2 & Y2/X2 & Z2/X2 & K2/X2 \\ X2/Y2 & Y2/Y2 & Z2/Y2 & K2/Y2 \\ X2/Z2 & Y2/Z2 & Z2/Z2 & K2/Z2 \\ X2/K2 & Y2/K2 & Z2/K2 & K2/K2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6.13)$$

Bu işlemden sonra elde edilen iki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerler bire bir çarpılarak yeni bir matris oluşturulmuştur. Bu noktadan sonra yapılan işlem ise tüm değerlerin toplamının alınıp aritmetik ortalamasının bulunması şeklindedir.

Hadamard çarpımı

$$\begin{pmatrix} X1/X1 \times X2/X2 & X1/Y1 \times Y2/X2 & X1/Z1 \times Z2/X2 & X1/K1 \times K2/X2 \\ Y1/X1 \times X2/Y2 & Y1/Y1 \times Y2/Y2 & Y1/Z1 \times Z2/Y2 & Y1/K1 \times K2/Y2 \\ Z1/X1 \times X2/Z2 & Z1/Y1 \times Y2/Z2 & Z1/Z1 \times Z2/Z2 & Z1/K1 \times K2/Z2 \\ K1/X1 \times X2/K2 & K1/Y1 \times Y2/K2 & K1/Z1 \times Z2/K2 & K1/K1 \times K2/K2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6.14)$$

Satır Toplamları

$$\begin{aligned} & X1/X1 \times X2/X2 + X1/Y1 \times Y2/X2 + X1/Z1 \times Z2/X2 + X1/K1 \times K2/X2 \\ & Y1/X1 \times X2/Y2 + Y1/Y1 \times Y2/Y2 + Y1/Z1 \times Z2/Y2 + Y1/K1 \times K2/Y2 \\ & Z1/X1 \times X2/Z2 + Z1/Y1 \times Y2/Z2 + Z1/Z1 \times Z2/Z2 + Z1/K1 \times K2/Z2 \\ & K1/X1 \times X2/K2 + K1/Y1 \times Y2/K2 + K1/Z1 \times Z2/K2 + K1/K1 \times K2/K2 \end{aligned} \dots\dots\dots (6.15)$$

Hadamard çarpımından elde edilen SCI değeri şu şekildedir.

$$\begin{aligned} SCI = & (X1/X1 \times X2/Y2 + X1/Y1 \times Y2/X2 + X1/Z1 \times Z2/X2 + X1/K1 \times K2/X2 + \\ & Y1/X1 \times X2/Y2 + Y1/Y1 \times Y2/Y2 + Y1/Z1 \times Z2/Y2 + Y1/K1 \times K2/Y2 + \\ & Z1/X1 \times X2/Z2 + Z1/Y1 \times Y2/Z2 + Z1/Z1 \times Z2/Z2 + Z1/K1 \times K2/Z2 + \\ & K1/X1 \times X2/K2 + K1/Y1 \times Y2/K2 + K1/Z1 \times Z2/K2 + K1/K1 \times K2/K2) / 16 \end{aligned} \dots\dots\dots (6.16)$$

Hadamard çarpımından elde edilen SCI değerinin 1'e yakın olması tahmini verilerin gerçeği yansıttığının göstergesidir.



#### 6.4.2 Çalışmada yapılan örnek karşılaştırma

Çizelge 6.6, 6.7 ve 6.8’de çalışmada kullanılan analizlerin karşılaştırılması için seçilen değişik zemin gruplarına dahil örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.6. CL-CH zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri.

CL-CH					
2-3 m			4-5m		
Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri	Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri
18	32	19	16	48	14
11	12	16	17	10	14
12	14	12	9	8	9
19	34	19	22	32	38

Çizelge 6.7. CH zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri.

CH					
1-2 m			4-5m		
Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri	Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri
18	39	17	23	29	29
12	38	13	18	30	27
14	14	14	12	12	13
14	10	14	11	8	11

Çizelge 6.8. ML zemin grubu için örnek noktaların gerçek ve tahmin SPT değerleri.

ML					
1-3 m			3-5m		
Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri	Gerçek değer	Surfer değeri	MapInfo değeri
19	16	18	15	11	15
15	12	14	8	19	1
6	11	11	2	10	8
16	13	12	6	12	15

CL-CH zemin grubu için 2-3 m ve 4-5 m derinlikler için Hadamard çarpımları ve hesaplanan SCI değerleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

2-3 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 1,636364 & 1,5 & 0,947368 \\ 0,611111 & 1 & 0,916667 & 0,578947 \\ 0,666667 & 1,090909 & 1 & 0,631579 \\ 1,055556 & 1,727273 & 1,583333 & 1 \end{vmatrix}$$

2-3 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,375 & 0,4375 & 1,0625 \\ 2,666667 & 1 & 1,166667 & 2,833333 \\ 2,285714 & 0,857143 & 1 & 2,428571 \\ 0,941176 & 0,352941 & 0,411765 & 1 \end{vmatrix}$$

2-3 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,842105 & 0,631579 & 1 \\ 1,1875 & 1 & 0,75 & 1,1875 \\ 1,583333 & 1,333333 & 1 & 1,583333 \\ 1 & 0,842105 & 0,631579 & 1 \end{vmatrix}$$

2-3 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,613636 & 0,65625 & 1,006579 & 3,276465 \\ 1,62963 & 1 & 1,069444 & 1,640351 & 5,339425 \\ 1,52381 & 0,935065 & 1 & 1,533835 & 4,992709 \\ 0,993464 & 0,609626 & 0,651961 & 1 & 3,255051 \end{vmatrix}$$

SCI=1,053978

2-3 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

$$\begin{vmatrix} 1 & 1,37799 & 0,947368 & 0,947368 & 4,272727 \\ 0,725694 & 1 & 0,6875 & 0,6875 & 3,100694 \\ 1,055556 & 1,454545 & 1 & 1 & 4,510101 \\ 1,055556 & 1,454545 & 1 & 1 & 4,510101 \end{vmatrix}$$

SCI=1,024601

4-5 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,941176 & 1,777778 & 0,727273 \\ 1,0625 & 1 & 1,888889 & 0,772727 \\ 0,5625 & 0,529412 & 1 & 0,409091 \\ 1,375 & 1,294118 & 2,444444 & 1 \end{vmatrix}$$

4-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,208333 & 0,166667 & 0,666667 \\ 4,8 & 1 & 0,8 & 3,2 \\ 6 & 1,25 & 1 & 4 \\ 1,5 & 0,3125 & 0,25 & 1 \end{vmatrix}$$

4-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0,642857 & 2,714286 \\ 1 & 1 & 0,642857 & 2,714286 \\ 1,555556 & 1,555556 & 1 & 4,222222 \\ 0,368421 & 0,368421 & 0,236842 & 1 \end{vmatrix}$$

4-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,196078 & 0,296296 & 0,484848 & 1,977223 \\ 5,1 & 1 & 1,511111 & 2,472727 & 10,08384 \\ 3,375 & 0,661765 & 1 & 1,636364 & 6,673128 \\ 2,0625 & 0,404412 & 0,611111 & 1 & 4,078023 \end{vmatrix}$$

SCI=1,425763

4-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,941176 & 1,142857 & 1,974026 & 5,05806 \\ 1,0625 & 1 & 1,214286 & 2,097403 & 5,374188 \\ 0,875 & 0,823529 & 1 & 1,727273 & 4,425802 \\ 0,506579 & 0,47678 & 0,578947 & 1 & 2,562307 \end{vmatrix}$$

SCI=1,088772

CH zemin grubu için 1-2 m ve 4-5 m derinlikler için Hadamard çarpımları ve hesaplanan SCI değerleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

1-2 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 1,5 & 1,285714 & 1,285714 \\ 0,666667 & 1 & 0,857143 & 0,857143 \\ 0,777778 & 1,166667 & 1 & 1 \\ 0,777778 & 1,166667 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

1-2 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,974359 & 0,358974 & 0,25641 \\ 1,026316 & 1 & 0,368421 & 0,263158 \\ 2,785714 & 2,714286 & 1 & 0,714286 \\ 3,9 & 3,8 & 1,4 & 1 \end{vmatrix}$$

1-2 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	0,764706	0,823529	0,823529
1,307692	1	1,076923	1,076923
1,214286	0,928571	1	1
1,214286	0,928571	1	1

1-2 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	1,461538	0,461538	0,32967	3,252747
0,684211	1	0,315789	0,225564	2,225564
2,166667	3,166667	1	0,714286	7,047619
3,033333	4,433333	1,4	1	9,866667

SCI=1,399537

1-2 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	1,147059	1,058824	1,058824	4,264706
0,871795	1	0,923077	0,923077	3,717949
0,944444	1,083333	1	1	4,027778
0,944444	1,083333	1	1	4,027778

SCI=1,002388

4-5 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

1	1,277778	1,916667	2,090909
0,782609	1	1,5	1,636364
0,521739	0,666667	1	1,090909
0,478261	0,611111	0,916667	1

4-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	1,034483	0,413793	0,275862
0,966667	1	0,4	0,266667
2,416667	2,5	1	0,666667
3,625	3,75	1,5	1

4-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	0,931034	0,448276	0,37931
1,074074	1	0,481481	0,407407
2,230769	2,076923	1	0,846154
2,636364	2,454545	1,181818	1

4-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	1,321839	0,793103	0,576803	3,691745
0,756522	1	0,6	0,436364	2,792885
1,26087	1,666667	1	0,727273	4,654809
1,733696	2,291667	1,375	1	6,400362

SCI=1,096238

4-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	1,189655	0,859195	0,793103	3,841954
0,84058	1	0,722222	0,666667	3,229469
1,16388	1,384615	1	0,923077	4,471572
1,26087	1,5	1,083333	1	4,844203

SCI=1,0242

ML zemin grubu için 1-3 m ve 3-5 m derinlikler için

1-3 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

1	1,266667	3,166667	1,1875
0,789474	1	2,5	0,9375
0,315789	0,4	1	0,375
0,842105	1,066667	2,666667	1

1-3 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	0,75	0,6875	0,8125
1,333333	1	0,916667	1,083333
1,454545	1,090909	1	1,181818
1,230769	0,923077	0,846154	1

1-3 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	0,777778	0,611111	0,666667
1,285714	1	0,785714	0,857143
1,636364	1,272727	1	1,090909
1,5	1,166667	0,916667	1

1-3 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	0,95	2,177083	0,964844	5,091927
1,052632	1	2,291667	1,015625	5,359923
0,45933	0,436364	1	0,443182	2,338876
1,036437	0,984615	2,25641	1	5,277463

SCI=1,129262

1-3 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	0,985185	1,935185	0,791667	4,712037
1,015038	1	1,964286	0,803571	4,782895
0,516746	0,509091	1	0,409091	2,434928
1,263158	1,244444	2,444444	1	5,952047

SCI=1,117619

3-5 m derinlik için gerçek SPT verilerinin ağırlıklandırılmış matrisi

1	1,875	7,5	2,5
0,533333	1	4	1,333333
0,133333	0,25	1	0,333333
0,4	0,75	3	1

3-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	1,727273	0,909091	1,090909
0,578947	1	0,526316	0,631579
1,1	1,9	1	1,2
0,916667	1,583333	0,833333	1

3-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin transpoze karşılaştırılmalı matrisi

1	0,066667	0,533333	1
15	1	8	15
1,875	0,125	1	1,875
1	0,066667	0,533333	1

3-5 m derinlik için Surfer programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	3,238636	6,818182	2,727273	13,78409
0,308772	1	2,105263	0,842105	4,25614
0,146667	0,475	1	0,4	2,021667
0,366667	1,1875	2,5	1	5,054167

SCI=1,569754

3-5 m derinlik için MapInfo programından tahmin edilen SPT verilerinin Hadamard çarpımı ve SCI değeri

1	0,125	4	2,5	7,625
8	1	32	20	61
0,25	0,03125	1	0,625	1,90625
0,4	0,05	1,6	1	3,05

SCI=4,598828

Çizelge 6.9. Hadamard çarpım sonuçları.

Zemin Grubu	Derinlik (m.)	SCI	
		Surfer	MapInfo
CL-CH	2-3	1.053978	1.024601
	4-5	1.425763	1.088772
CH	1-2	1.399537	1.002388
	4-5	1.096238	1.0242
ML	1-3	1.129262	1.117619
	3-5	1.569754	4.598828

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Birçok mühendislik dalının ilgilendiği Zemin Mekaniği, son dönemlerde önemi gittikçe artan bir bilim dalı olmuştur. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde farklı deney yöntemleri bulunmasına rağmen Standart Penetrasyon Deneyi kolay, ucuz ve çabuk sonuçlar vermesi nedeniyle en fazla tercih edilen deney yöntemlerinden bir tanesidir.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir ili sınırları içerisinde yapılmış olan 209 adet zemin etüdü raporlarından elde edilen SPT değerlerinin kullanılmasıyla SPT haritaları oluşturulmuştur. Haritaların oluşturulmasında CBS ve jeoistatistik tabanlı birer yazılım kullanılmıştır. Her iki yazılım da kendi alanlarında iyi bilinen ve sonuçlarına güvenilen birer yazılımdır. CBS tabanlı yazılım ile yapılan SPT haritalarında Mesafenin Tersiyöntemi, jeoistatistik tabanlı yazılım ile yapılan SPT haritalarında ise Kriging yöntemleri kullanılmıştır.

Jeoistatistiksel bir yöntem olan Kriging yalnızca mesafeyi değil aynı zamanda sondaj noktalarının tahmin noktasına ve birbirlerine göre konumlarını da dikkate almaktadır. Jeostatistiksel yaklaşım, bir noktanın parametre değerlerini tahmin etmek amacıyla kullanılan tüm sondaj noktalarındaki parametre değerlerini rastgele bir fonksiyonun sonuçları olarak kabul eder. Bu yaklaşıma göre herhangi bir nokta üzerindeki parametre değeri rastgele bir değişken olarak kabul edilmekte ve iki nokta arasındaki mesafeye bağlı variogram fonksiyonu kullanılarak modellenmektedir.

MT yönteminde, bir nokta tahmin edilirken o nokta çevresinde bir tarama yarıçapı içine düşen tüm noktalara, tahmin noktasına olan mesafenin tersiyle orantılı bir ağırlık atanır. Bu ağırlık mesafe arttıkça sıfıra yaklaşırken tahmin noktasında 1'e eşit olur. Ayrıca, ağırlıklar mesafelerin tersinin karesiyle orantılı alınarak atanır.

Daha önce yapılan çalışmalarda, sayısal arazi modellemesinde kullanılan kestirim tekniklerinden Mesafenin Tersiyöntemi, Mesafenin Tersinin Karesi ve Kriging yöntemlerinin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür (Ünal ve Turhan, 1993). Bu nedenle haritaların oluşturulmasında Mesafenin tersiyöntemi ve Kriging yöntemlerinin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Her iki yöntem ile oluşturulan haritaların değerlendirilmesi için aynı zemin

grupları içerisinde farklı derinliklerde elde edilen veriler gerçek veriler ile karşılaştırılmış ve Hadamard çarpımı yöntemi ile sonuçlar analiz edilmiştir. CL-CH 2-3 metre, CL-CH 4-5 metre, CH 1-2 metre, CH 4-5 metre ve ML 1-3 metre ve 3-5 metre'de zemin gruplarında yapılan değerlendirmelerde CBS tabanlı MT yöntemine göre yapılan analizler ile elde edilen SCI değerlerinin 1'e daha yakın sonuçlar verdiği dolayısıyla gerçek verileri daha iyi bir şekilde yansıttığı görülmüştür. Jeostatistiksel tabanlı analiz için Kriging yöntemi ile oluşturulan haritalarda ise ML 3-5 metre zemin gruplarında SCI değerinin 1'e daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Her ne kadar, CBS tabanlı analizin Jeostatistiksel analize üstün olarak ortaya çıktığı görülmüş olsa da Jeostatistiksel analiz içerisinde variogramlar oluşturulurken yönsel bir çalışmanın yapılmamış olması sonuçlar üzerinde etkili olmuştur. CBS tabanlı analizde kullanılan yazılım ile verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve değerlendirilmesi açısından bir zorluk bulunmamaktadır. Ancak, Jeostatistiksel analiz yapılırken özellikle variogram modellerinin seçilmesinde kullanıcının bilgi ve tecrübesinin sonuçlar üzerinde etkisi son derece fazla olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında da, CBS tabanlı analizin kullanıcı dostu yada başka bir deyişle uzman olmayan kişilerce bile kolaylıkla yapılabileceği görülmektedir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ak, H., 1998, Etibank 100. Yıl gümüş madeni işletmesinde üretim tenör kontrolünün arama sondajlarıyla yapılabilirliğinin jeostatistiksel analizi, Yüksek Lisans Tezi, OGÜ; Fen Bilimleri Enstitüsü, 88 s.
- Akbaş, F., ve Yıldız, H., 2004, Toprak özelliklerinin haritalanmasında jeostatistiksel tekniklerin kullanımı, Proceedings of the 3<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 571 p.
- Alparslan, E., Yüce, H., Erkan, B., İnan, S., Ergintav, S., Saatçılar, R., 2006, Büyükçekmece ve Küçükçekmece Gölleri arasındaki bölgede heyelan duyarlılığının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile çok kıstaslı analizi, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Altunel, E. ve Barka, A., 1998, Eskişehir Fay Zonu'nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi, TJB, c:41, no:2,s.41-52.
- Anand,S.A., 2000, Recent developments toward earthquake risk reduction, India, Current Science, 79, 9, 1270-1277.
- Ayeni, O.O., Saka, D.N., Ikwemesi, G., 2004, Developing a multimedia database for tourism industry in Nigeria, Proceedings of the XXth ISPRS Congress Commission 2, Ed. Orhan Altan, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, İstanbul, Türkiye, 873 p.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1995, The Isparta Angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. IESCA-1995 Proceedings.
- Baysal, G., ve Tecim, V., 2006, Katı atık depolama sahası uygunluk analizinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar yöntemleri ile uygulaması, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- Boulanger, R.W., Mejia, L.H., Idriss, I.M., 1997, Liquefaction at moss landing during Loma Prieta Earthquake, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123, 5, 453-467.
- Çetin, K.Ö., ve Unutmaz, B., 2004, Zemin sıvılaşması ve sismik zemin davranışı, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 430, 32-37.
- Coduto, D.P., (1994). Foundation Design: Principles and Practice, Prentice-Hall, U.S.A.
- Dawson, K.M., and Baise, L.G., 2005, Three-dimensional liquefaction potential analysis using geostatistical interpolation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 5, 369-381.
- Demirci, A., Mcadams, M.A., Alagha, O., Karakuyu, M., 2006, The relationship between land use change and water quality in Küçükçekmece Lake watershed, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Derinöz, N., 2004, Hakkari Barajı ve HES Projesi zemin sıvılaşma riskinin belirlenmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 431, 33-38.
- Diko, L., Vervoort, A., Vergauwen, I., 2001, Geostatistical modelling of lateritic bauxite orebodies in Surinam: effect of the vertical dimension, Journal of Geochemical Exploration, 73, 3, 131-153.
- Duffere, M., White, J.G., Weisz, R., 2007, Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management, Geoderma, 137, 3-4, 327-339.
- Durgunoğlu, H. T. ve Toğrol, E., (1974). Penetration testing in Turkey: State-of-the art report, ESOPT, 137 p.
- D.S.İ, 2001 a, Eskişehir Odunpazarı Belediyesi jeofizik rezistivite etüt raporu, D.S.İ III, Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- D.S.İ, 2001 b, Eskişehir Tepebaşı Belediyesi jeofizik rezistivite etüt raporu, D.S.İ III, Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).
- Erken, A., Okan, R., Erdem, A., 2003, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Deprem'inde Adapazar'ında yeralan zeminlerin davranışı, Proceedings of the Fifth National Conference on Earthquake Engineering,, Turkish Chamber of Civil Engineering, İstanbul, Türkiye.
- Esen, E., Yakal, M. ve Gökçen, M., 1975, Eskişehir ve İnönü Ovaları hidrojeolojik etüt raporu, D.S.I Jeoteknik Hizmetleri ve YAS Dairesi, 49 s. Eskişehir (yayınlanmamış).
- Fairley, J.P., Nicholson, K.N., 2006, Imaging lateral groundwater flow in the shallow subsurface using stochastic temperature fields, Journal of Hydrology, 321, 1-4, 276-285.
- Felek, S., Yuluğkural, Y., Aladağ, Z., 2007, Mobil iletişim sektöründe Pazar paylaşımının tahmininde AHP ve ANP yöntemlerinin kıyaslaması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 18, 1, 6-22.
- Gözler, M.Z.: Cevher, F., Ergül, E., ve Asutay, H.J., 1996, Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, M.T.A Rapor No:9973, 87 s.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. Ve Küçükayman, A., 1984-1985, Eskişehir civarının jeolojisi ve su kaynakları, M.T.A Dergisi, 103/104, s. 40-54.
- Gülersoy, N.Z., Yiğiter, R., 1994 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin uygulama alanları- planlama ve şehircilikte kullanım, 4. Ulusal Bölge Bilimi, Bölge Planlama Kongresi, K.T.Ü. Mimarlık Bölümü Şehircilik Anabilim Dalı, Bildiriler kitabı, Trabzon 322-336 s.
- Günay Ergün, S., ve Saraç, İ., 2006, Sağlık coğrafyasında CBS'nin kullanımı:Samsun Sağlık Ocakları örneği, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- Haala, N., Brenner, C., Anders, K.H., 1998, "3D urban gis from laser altimeter and 2D map data", Proceedings of ISPRS Commission III Symposium "Object Recognition and Scene Classification from Multispatial and Multisensor Pixels", Columbus, Ohio, U.S.A.
- Horn, H.M., (1979). North American experience in sampling and laboratory dynamic testing, ASTM Geotechnical Testing Journal, 2, 2, 84-97.
- İnternet Sayfası, 2007, <http://www.gislab.ktu.edu.tr/gisnedir/cbs.htm>, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Kaçaroğlu, F., 1991, Eskişehir Ovası yeraltısuyu kirliliği incelemesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 340 s., Ankara.
- Karabulut, M., 2004, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve hata kaynakları, Proceedings of the 3<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 571 p.
- Karabulut, M., Küçükönder, M., Gürbüz, M., Sandal, E.K., 2006, Kahramanmaraş şehri ve çevresinin zamansal değişiminin Uzaktan Algılama ve CBS kullanılarak incelenmesi, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Karavul, C., Kurnaz, T.F., Kıyak, A., 2006a, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak iki farklı yaklaşımla Adapazarı kenti SPT(Standart Penetrasyon Testi) haritalarının oluşturulması, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Karavul, C., Kıyak, A., Kurnaz, T.F., 2006b, Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak hazırlanan zemin haritalarında veri analizinin önemi, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Kargı, H., ve Sarı, N., 2006, Landsat TM görüntüleri alterasyon zonlarının belirlenmesi- Bir maden arama çalışması, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Kıncal, C., 2006, Arazi kullanımına yönelik çalışmalarda Coğrafi Bölge Sistemleri (CBS)'nin kullanılması, Proceedings of the 4th GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Koca, Y., ve Kıncal, C., 2003, Armutalanı (Marmaris-Muğla) Beldesinin yerleşim alanının jeoteknik değerlendirilmesi, D.E.Ü Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 3, 141-169.
- Kolat, Ç., Doyuran, V., Ayday, C., Süzen, L.M., 2006, Preparation of a geotechnical microzonation model using Geographical Information Systems based on Multicriteria Decision Analysis, Engineering Geology, 87, 3-4, 241-255.
- Komnitsas, K., and Modis, K., 2006, Soil risk assessment of As and Zn contamination in a coal mining region using geostatistics, Science of The Total Environment, 371, 1-3, 190-196.
- Kumbur, H., Özer, Z., Avcı, E.D., 2006, Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsü gürültü seviyelerinin CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile analizi, Proceedings of the 4<sup>th</sup> GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Lark, R.M., 2002, Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood, Geoderma, 105, 1-2, 49-80
- Marks, C., 1992, Applications of earthquake hazard maps to land-use planning and regulations in Seattle, Seattle Planning Department, 25 p.
- McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003, On digital soil mapping, Geoderma, 117, 1-2, 3-52.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- McGregor, J. ve Duncan, J. M., (1998). Performance and use of the standard penetration test in geotechnical engineering practice, Report of CGPR, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Mori, H., (1979). Review of Japanese sub-surface investigation techniques, Journal of South East Asian Society Geotechnical Engineering, 10, 219-242.
- Nixon, I.K., (1982). Standard penetration test: state of the art report, Proc.2nd ESOPT, Amsterdam.
- Orhan, A., 2005, Eskişehir İl merkezi güney bölümü temel zemin birimlerinin Jeo-Mühendislik özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin uygulanması, Doktora Tezi, ESOGÜ; Fen Bilimleri Enstitüsü, 125 s.
- Özsoy, B., ve Durgunoğlu, T., 2003, Sıvılaşma etkilerinin yüksek kayma modüllü zemin-çimento karışımı kolonlarla azaltılması, Proceedings of the Fifth National Conference on Earthquake Engineering,, Turkish Chamber of Civil Engineering, İstanbul, Türkiye.
- Sağlamer,A.,(1979). Standart penetrasyon deneyi nedir, ne değildir, zemin mekaniği ve temel mühendisliği, Türk Milli Komitesi Bülteni, 1, 4, 267-271.
- Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E., Faris, A., 2003, Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Keynote Presentation, University of California, Berkeley, Long Beach California, U.S.A, 71 p.
- Sert, S., Özocak, A., Ural, N., 2006, Adapazarı'nda Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Geoteknik amaçlı kullanımı, Proceedings of the 4th GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Sivrikaya, O., ve Toğrol, E., 2003, İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma, İ.T.Ü Dergisi, 2, 6, 59-67.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- Spearin, D., 2004, Innovations in GIS emergency response planning, Public Safety and Emergency Preparedness Canada, 28 p.
- Şen, G., ve Akyol, E., 2006, Coğrafi Bilgi Sistemi platformunda sıvılaşma potansiyel indeksi dağılımı: Gümüşler (Denizli) örneği, Proceedings of the 4th GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape, Turkey as a case study, In strike-slip deformation, basin formation and sedimentation, Soc. of Eco. Paleo and Min. Spec. Publ., 37, pp. 227-26.
- Taboada, J., Vaamonde, A., Saavedra, A., Ordonez, C., 2002, Geostatistical study of the feldspar content and quality of a granite deposit, Engineering Geology, 65, 4, 285-292.
- Tosun, H., Türköz, M., Orhan, A. ve Çamdalı, B., 2001, Meşelik Killerinin geoteknik özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu Raporu No: 1999-15015, Eskişehir.
- Turoğlu, H., 2000, Coğrafi bilgi sistemlerinin temel esasları, Çantay Kitabevi, 246 s.
- Turoğlu, H., 2006, Yoncatepe (Van) arkeolojik sahası ve onun yakın çevresi için CBS ve UA teknolojileri ile Paleo-Landuse analizi, Proceedings of the 4th GIS Days in Türkiye, Ed. Ali Demirci, Mehmet Karakuyu, Michael Andrew Mcadams, Fatih University, İstanbul, Türkiye, 558 p.
- Utset, A., and Cid, G., 2001, Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions, Soil and Tillage Research, 61, 3-4, 193-202.
- Uzuner, B.A., 2001, Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği, Teknik Yayınevi, 411 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- Ünal, A., ve Turhan, H., 1993, Sayısal arazi modellemesinde kullanılan kestirim tekniklerinin karşılaştırılması, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, Türkiye, 712 p.
- Ündül, Ö., ve Gürpınar, O., 2003, Çokal Vadisi'ndeki (Gelibolu) alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 16, 1, 67-80.
- Verfaillie, E., Van Lanckera, V., Van Meirvenne, M., 2006, Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas, Continental Shelf Research, 26, 19, 2454-2468.
- Veronese Junior, V., Carvalho, M.P., Dafonte, J., Freddi, O.S., Vidal Va'zquez, E., Ingaramo, O.E., 2006, Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol, Soil and Tillage Research, 85, 1-2, 166-177.
- Watson, W.D., Ruppert, L.F., Bragg, L.J., Tewalt, S.J., 2001, A geostatistical approach to predicting sulfur content in the Pittsburgh coal bed, International Journal of Coal Geology, 48, 1-2, 1-22.
- Yüksek, S., 1995, Divriği demir yatağının üç boyutlu (3D) jeolojik blok modelinin çıkarılması ve rezerv hesaplamaları, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhu, A.X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D., 2001, Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic, Soil Science Society of America Journal, 65, 5, 1463-1472.



## **EKLER DİZİNİ**

Ek 1. İnceleme alanı bölgesel jeolojisi.

Ek 2. Gerçek ve tahmini SPT değerlerinin analizlerinin karşılaştırılmasında seçilen örnek sondaj noktalarının genel özellikleri.



Belediye	Mahalle - Sk	Pafta	Ada - Parsel	Sondaj No	Numune Cinsi	YASS (m)	Zemin Sınıfı 1-2m	Zemin Sınıfı 2-3m	Zemin Sınıfı 3-4m	Zemin Sınıfı 4-5m	X	Y
Tepebaşı	Tunalı Mh Gaffur Okan Cd	21N-4C	1390-22	SK1	SPT	6	CL-CH	CL-CH	CL-CH	CL-CH	281957	4403568
Odunpazarı	Kızıltoprak Mh Basın Şehitleri Cd	127	413 - 9-10	SK2	SPT	5,2	CL - CH	CL - CH	CL - CH	CL - CH	286404	4405881
Odunpazarı	Osmangazi Mh Kütahya Cd	207	1457-24	SK3	SPT	5	CL - CH	CL-CH	CL-CH	CL-CH	285237	4405689
Odunpazarı	Karacahöyük Mh Yılmazcan Sk	19O-2B	9944-5	SK4	SPT	3	CL-CH	CL-CH	CH	CH	282927	4403953
Odunpazarı	Yıldıztepe Mh Karadağ Sk	19M - 1A	2772 - 1	SK5	SPT	9,7	CH	CH	CH	CH	283160	4403978
Odunpazarı	Aliçetinkaya Caddesi	19M-2D	2076-251	SK6	SPT	5	CH	CH	CH	CH	282069	4403674
Odunpazarı	Vişnelik Mh Çuha Çiçeği SK	20M-4C	2755-3	SK7	SPT	6	CH	CH	CH	CH	284333	4404556
Tepebaşı	Ertuğrulgazi Mh Ertuğrulgazi Cd	20L - 2C	3011 - 8	SK8	SPT	3	CH	CH	CH	CH	286390	4405863
Odunpazarı	Kızıltoprak Mh Barlas-Bakır Sk	20M - 4C	1643 - 352	SK9	SPT	5,2	ML	ML	ML	ML	285065	4404940
Odunpazarı	Vişnelik Mh	20M - 4B	1644 - -	SK10	SPT	3,6	ML	ML	ML	ML	285258	4405253
Tepebaşı	İhsaniye Mh Uluvatan Sk	20N-1A-1D	687-54	SK11	SPT	5,3	ML	ML	ML	ML	286759	4406341
Tepebaşı	Yeni Mh Yenidere Sk	21B-4D	827-54	SK12	SPT	5,1	ML	ML	ML	ML	286582	4406005

EK. 2.