

UYGULAMALI ZEMİN BİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

CİLT: 16, SAYI: 2

ARALIK 2017

VOL16, NO: 2 DECEMBER 2017

KAZIK GRUP DAVRANIŞININ 2D VE 3D OLARAK ARAŞTIRILMASI

Researching of Two and Three-Dimensional Analyses of Pile Group

Emre

MAZAK1

SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE 1-B VE 2-B YER RADARI MODELLEMESİ

1-D and 2-D Ground Penetrating Radar Modeling with Finite Difference Method

Kadir Bahadır KARA13

GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL STUDIES FOR ELECTRIC POWER PLANTS PROJECT AT THE SAKARYA RIVER
ZONE, TURKEY

Cengiz KURTULUŞ, Ali BOZKURT, Hasan ENDEŞ, İsmail Talih GÜVEN27



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ





UYGULAMALI YERBİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

| SAHİBİ | |
|---|--|
| Kocaeli Üniversitesi Adına Rektör Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ | CİLT: 16, SAYI: 2 ARALIK 2017 VOL16, NO: 2 DECEMBER 2017 |
| YAYIN KURULU Cengiz KURTULUŞ Fadime SERTÇELİK İbrahim SERTÇELİK Ahmet KARAKAŞ Serpil GERDAN | KAZIK GRUP DAVRANIŞININ 2D VE 3D OLARAK ARAŞTIRILMASI Researching of Two and Three-Dimensional Analyses of Pile Group Emre MAZAK1 |
| DANIŞMA KURULU Aysan GÜRER Emin CANDANSAYAR Erkan TOPAL Feysi GÜRER Günay BEYHAN Ivan GİNOV İbrahim KARA Murat UTKUCU Nilgün SAYIL Nuri DOLMAZ Sefer ÖLÇEN U. Emin ULUGERGERLİ | SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE 1-B VE 2-B YER RADARI MODELLEMESİ 1-D and 2-D Ground Penetrating Radar Modeling with Finite Difference Method Kadir Bahadır KARA13 |
| EDİTÖR Cengiz KURTULUŞ | GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL STUDIES FOR ELECTRIC POWER PLANTS PROJECT AT THE SAKARYA RIVERZONE, TURKEY Cengiz KURTULUŞ, Ali BOZKURT, Hasan ENDEŞ, İsmail Talih GÜVEN27 |
| İLETİŞİM ADRESİ Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü 41380 İZMİT / KOCAELİ Tel: 0.262 303 31 04 Tel: 0.542 217 19 69 e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr | |
| YILDA İKİ KEZ YAYIMLANIR Published two issues a year | |

KAZIK GRUP DAVRANIŞININ 2D VE 3D OLARAK ARAŞTIRILMASI

Researching of Two and Three-Dimensional Analyses of Pile Group

Emre MAZAK^{1*}

ÖZET

Bu çalışmada; kazıklı temellerin kullanım yerleri, kazıkların sınıflandırılması, kazıklarda grup etkisi, kazıklarda oturma, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi konularından bahsedilmektedir. Düşey yüklemeye altındaki grup kazıkların davranışlarının çözümü için kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Kohezyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temel, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık net aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Genel eğilim olarak, üç boyutlu (3D) analizlerde oturma miktarı, kazıklar arası net mesafe, kazık çapının 3 katı değerine ulaştıktan sonra dramatik şekilde bir artış gösterirken, iki boyutlu (2D) analizlerde genel olarak sabit kalmaktadır.

ABSTRACT

In this study, using areas of pile foundations, classification of piles, the behavior of pile group, settlement of pile group, finite element method and finite difference method are explained. The methods which are used for solutions of the behavior of vertically loaded piles and piles groups are explained. Piled foundation with different clear pile spacing on a cohesionless soil were modelled by the FLAC 2D and FLAC 3D software packages based on finite difference method. The results of the models made based on different clear pile spacings were compared and interpreted. As a general trend in accordance with the results of analyses, the total amount of settlement increases dramatically after reach threefold clear pile diameter distance whereas twodimensional analyses are basically remain constant and there is not a significant change in the aforementioned quantities.

GİRİŞ

Kazıklı temeller, esas olarak yapı yüklerinin zeminin derin tabakalarına taşıtılması ve/veya zemin tabakalarına sürtünme yoluyla aktarılması amacıyla kullanılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların yapı yüklerini, göçmeden veya aşırı oturmalara yol açmadan taşıyabilecek bir yüzeyel temel teşkiline müsait olmadığı durumlarda kazıklı temel gibi derin temel çeşitleri tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde de göçmeye karşı yeterli güvenliğin bulunduğu; ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir.

Kazıkların yüklerini taşımalarına göre sınıflandırılması için kapsamlı bir çalışma yapılması gerekir. Yapı yükleri taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kere, oturma şartlarının sağlanmadığından dolayı derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık olarak isimlendirilmektedir. Temel sistemi de adını, kullanılan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak bilinmektedir.

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT-KOCELİ
E-mail : emremazak@gmail.com

*İlgili yazar / Corresponding author: emremazak@gmail.com

Gönderim Tarihi: 20.04.2017

Kabul Tarihi: 30.05.2017

Bu çalışmada öncelikle tekil kazıklar ve kazık gruplarında, kazık elemanlarının taşıma gücü ve oturma hesaplarından bahsedilmiş olup, kohezyonsuz zeminlerdeki durumları araştırılmıştır. Kohezyonsuz kabul edilebilecek bir zeminde bulunan kazıklı temel grubu ele alınmış olup, FLAC programı yardımıyla iki ve üç boyutlu analizler yapılarak kazık aralığının oturma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

KAZIK TEMELLER

Kazık temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanıl yüklerin temel zeminin daha derin tabakalarına aktarılmasında kullanılan, çelik, beton veya ahşap malzemeden imal edilmiş olan yapı elemanlarıdır. Diğer bir tanım ile üst yapı yüklerinin bir bölümü ya da tümünü zemin yüzeyinden daha derinlerdeki sağlam tabakalara aktaran derin temel sistemleri olarak nitelendirilebilmektedir.

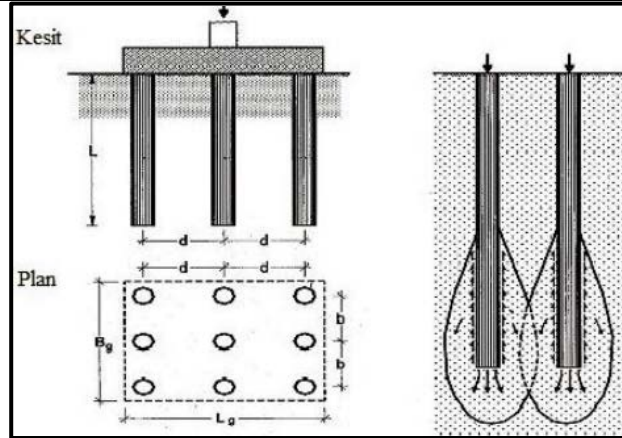
Kazıklı temellerin yapı güvenliği için gerekli oldukları bazı koşullar aşağıda sıralanmaktadır:

- Üstyapıların ağır yüklerini zayıf zemine taşıtabilmek amacıyla kullanılabilir.
- Yüksek sıkışma beklentisine sahip zeminlerde oturma sorunlarını sınırlandırmak amacıyla kullanılabilir.
- Kaldırma ve döndürme kuvvetlerine karşı kullanılabilir.
- Zemin hareketlerini kontrol amacıyla kullanılabilir.
- Temel zemininde gerçekleşecek şişme ve büzölmeye karşı kullanılabilir.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin; rüzgar ve deprem yükü gibi yanıl etkilerini karşılama amacıyla kullanılabilir.
- Su ile temas ettiğinde kabaran veya birden çökme gösteren zeminlerde yer alan üst yapı yüklerinin, aktif zon diye tanımlanacak bölgenin dışına aktarılması amacıyla kullanılabilir (Şen,2006).
- Kuleler, deniz platformları ve yeraltı suyu altındaki radyeler gibi su üstü yapılarında yapı yükünü zemine ulaştırmak amacıyla kullanılabilir.
- Köprü kenar ayaklarının ve orta ayaklarının erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı temel kullanılabilir.
- Kohezyonsuz ya da kohezyonu düşük zeminlerin sıkı hale getirilerek iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Kazıklarda Grup Etkisi

Yapısal yükü zemine aktarmak amacıyla temel altı kazıklar genellikle grup olarak tasarlanır ve kullanılır. Teori ve testler özellikle killi zeminlerde inşa edilen grup sürtünme kazıkların toplam taşıma gücünün, tek kazığın taşıma gücünün toplam kazık adedi ile çarpılmasından elde edilen değerden düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Taşıma gücündeki azalma kazık çapı, boyu ve aralığına bağlı olarak değişmektedir. Uç kazıkları için grup etkisinden ötürü taşıma gücü kaybı söz konusu olmamaktadır. Hem uç hem de sürtünme kazığı olarak çalışan kazıklarda ise taşıma gücü kaybı sadece sürtünme direncinde dikkate alınmaktadır. En ideal çözüm grup kazıklarda taşıma gücü kaybına neden olmayacak şekilde aralık belirlemektir. Uygulamada iki kazık arası minimum mesafe merkezden merkeze, granüler zeminlerde kazık çapının 2,0 katı, kohezyonlu zeminlerde ise 3,0 katı alınmaktadır (Tomlinson, 1977; Brown, 2006).

Diğer yandan grup kazıklarda, her bir kazık için çalışma yükünü azaltmak yerine kazık boyunu arttırarak kazık kapasitesini arttırmak ve azaltma faktörü uygulandığında istenilen kazık kapasitesine ulaşmak genellikle daha ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Leonards, 1962; Das, 2004).

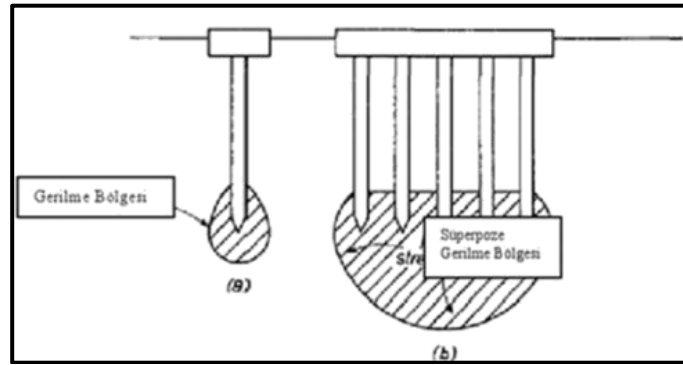


Şekil 1. Kazıklarda grup etkisi (Das, 2007)

Figure 1. Piles group effect (Das, 2007)

Kazık Gruplarının Oturması

Kazık gruplarında birincil oturmalar sonucunda ortaya çıkan oturma değerleri, grubu oluşturan tekil kazıkların oturma değerlerinden fazla olacaktır. Bunun sebebi ise; kazıkların zemine aktardıkları gerilmeleri, kazık gruplarına göre çok daha derin bir alana iletmeleridir (Şekil 2). Burada aktarılan gerilmelerden dolayı süperpozisyon olur ve kazık taşıma kapasitesinde tekil kazıklara göre azalmalar olurken, oturmalarda artışlar olmaktadır (Das, 1999).



Şekil 2. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu

Figure 2. Superposition of stresses in pile groups

FLAC

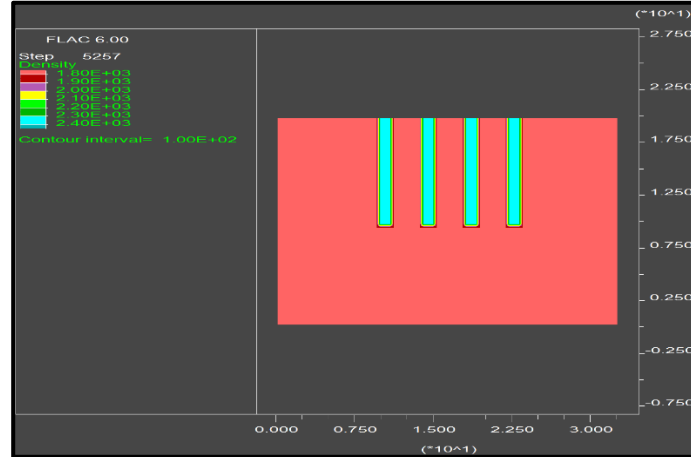
FLAC, mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde kullanılan iki boyutlu sonlu farklar programıdır (<http://www.itascacg.com/software/flac>). Bu program, limitlerine ulaştıklarında plastik akmaya uğrayan toprak, kaya ya da başka malzemelerden oluşmuş yapıların davranışını simüle etmektedir. Malzemeler, modellenecek nesnenin şeklini belirleyecek şekilde bir ağ oluşturan elemanlardan ya da alanlardan oluşmaktadır. Her eleman uygulanan kuvvet ya da sınır şartlarına tepki olarak tanımlanmış lineer ve lineer olmayan gerilme-deformasyon kurallarına göre davranır. Malzemeler akabilir, ağ deforme olabilir ve akan malzeme ile hareket edebilir. Matrisler oluşturulup kullanılmadığı için, büyük iki boyutlu hesaplamalar yüksek hafızalara gereksinim duyulmadan gerçekleştirilebilmektedir. Kesin çözümlerinin, küçük zaman aralığı ve hangi sönümlenmenin kullanılacağı gibi dezavantajları, göçme modunu değiştirmeden otomatik

eylemsizlik ve otomatik sönümlenme kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. İlk başta geoteknik ve maden mühendisleri için geliştirilmiş olmasına rağmen, FLAC mekanikteki karışık problemleri de çözebilecek geniş olanaklar sunmaktadır. Programın içine gömülmüş temel modeller lineer olmayan, tersinemez davranışlarının modellenmesini mümkün kılmaktadır.

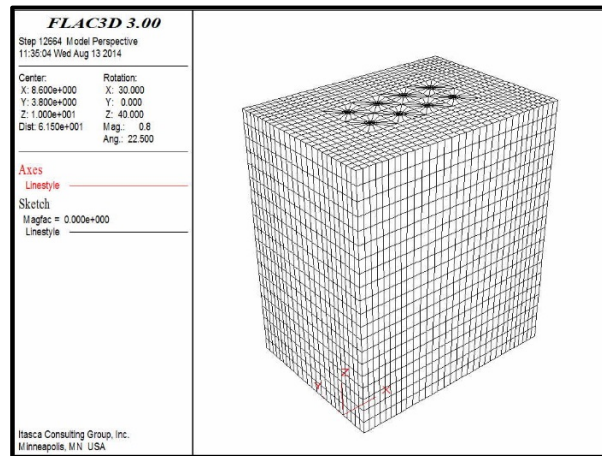
YAPILAN PARAMETRİK ÇALIŞMA: MODELLEME ve ANALİZLER

Çalışmamızda kazık ve zemin özellikleri tanımlandıktan sonra, önce iki boyutlu, daha sonra üç boyutlu olarak 4 ve 8 kazıktan oluşan sonlu farklar ağı oluşturulmuştur. Hesap aşamasında FLAC 2D ve FLAC 3D programları kullanılmış, temel sistemini oluşturan elemanların imalatı ve yüklerin etkinleştirilmesi gerçeğe uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılacak model, kohezyonsuz bir zemine oturan yapıyı temsil edecek olup, düşey yük altında kazık oturma davranışına göre FLAC programı yardımıyla iki boyutlu (Şekil 3) ve üç boyutlu (Şekil 4) olarak araştırılmıştır.



Şekil 3. FLAC 2D Model – 8 kazık kesiti
Figure 3. FLAC 2D Model – 8 pile section



Şekil 4. FLAC 3D Model – 8 kazık kesiti
Figure 4. FLAC 3D Model – 8 pile section

Üstyapıdan gelen yükler yayılı yük olarak modellenmiş olup, 2 m x 4 m² lik bir alanda yapıya etkileyen yükün yaklaşık 1,5 katı mertebesinde bir gerilme (tabanda 500 kPa) etkidiği varsayılmıştır. Analiz edilecek sistemin sınır şartlarından etkilenmemesi için sonlu eleman ağının oluşturulacağı geometrinin x, y ve z eksenlerinde yeterince büyük bir alanda yer alması gerekmektedir. Bu bağlamda 3 boyutlu da 60m x 60m x 60m boyutlarında 2 boyutlu da ise x, y eksenlerinde 60m x 60m boyutunda oluşturulacak bir geometride sınır şartlarından etkilenme durumunun gerçekleşmeyeceği yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir.

Modeldeki kazık aralığı değişimleri ve kazık boyu değişimlerinin parametreleri Çizelge 1’de verilmektedir. Aynı zamanda malzeme parametreleri belirlenmiş zeminde herhangi bir kazık uygulaması yapılmaksızın FLAC programı yardımıyla elde edilen değerler irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan kazık aralığı ve kazık boyu değişimlerinin parametreleri

Table 1. Parameters of pile spacing and pile length used in analyzes

| Kazıklar arası net mesafe (m) | Kazık çapı, D (m) | Kazık boyu, L (m) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| 1,0 | 0,8 | 10 |
| 2,4 | 0,8 | 10 |
| 2,4 | 0,8 | 15 |
| 4,0 | 0,8 | 10 |

Malzeme Özellikleri

Kazıklı temellerin yük-oturma davranışını belirleyen önemli parametreler arasında kazık grup alanı, kazık aralığı ve kazık boyu gibi geometrik özellikler yer almaktadır. Birçok araştırmacı bu parametreler için optimum değerler önermektedir.

Sistem modellenmesinde kullanılan kazık malzeme parametreleri Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Analizlerde kullanılan kazık parametreleri

Table 2. Parameters of pile used in analyzes

| Kazık Parametreleri | Birim | Büyükük |
|-----------------------------------|--------------------|----------|
| Kazık çapı, D | m | 0,8 |
| Kazık boyu, L ₁ | m | 10 |
| Kazık boyu, L ₂ | m | 15 |
| Elastisite modülü, E _k | MPa | 30000 |
| Yayılı yük, P | kPa | 500 |
| Yoğunluk, d | gr/cm ³ | 2,4 |
| Kayma modülü | kPa | 6,20E+07 |

Sistem modellenmesinde kullanılan zeminin malzeme parametreleri Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Analizlerde kullanılan zeminin malzeme parametreleri**Table 3.** Parameters of soil material used in analyzes

| Zemin Parametreleri | Birim | Büyükölük |
|--|--------------------|-----------|
| Kuru birim hacim ağırlığı, γ_d | gr/cm ³ | 1,80 |
| Doygun birim hacim ağırlık, γ_{sat} | gr/cm ³ | 1,85 |
| Elastisite modülü, E_z | MPa | 18000 |
| Yeraltı su seviyesi, YASS | m | 0 |
| İçsel sürtünme açısı, ϕ' | - | 32 |
| Kohezyon, c | kPa | 5 |
| Kayma modülü | kPa | 1,80E+07 |

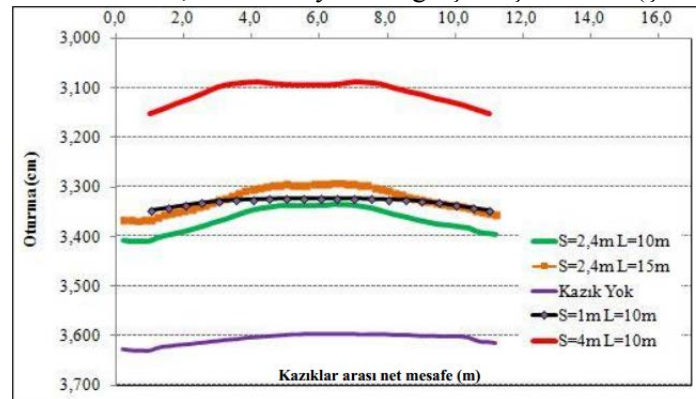
Temel sisteminin davranışını gerçeğe uygun olarak modellemek için, kazık-zemin etkileşiminin doğru olarak modellenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Yer değıştirmenin küçük olduğu durumlarda, diğer bir ifadeyle elastik sınır içinde kalması halinde, kazığın zeminle birlikte hareket ettiği varsayımı gerçeğe uygun sonuçların elde edilmesi için yeterli bir yaklaşım olurken, yer değıştirmenin büyük olduğu durumlarda kazığın zemine göre rölatif yer değıştirmesini inceleyebilmek için daha gelişmiş modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Engin, 2007).

Düşey Yükleme Altındaki Grup Kazıkların Analizi

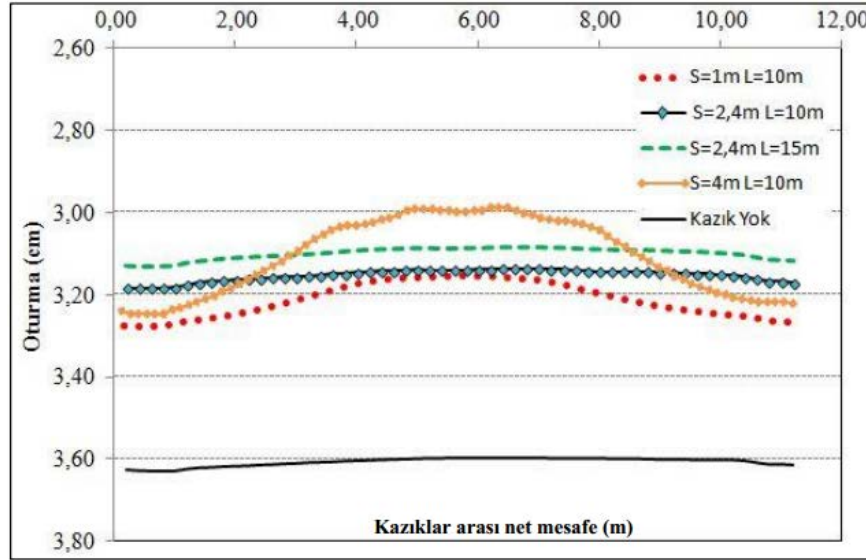
İki boyutlu (2D) analizler

Kazıklı temellerin, FLAC-2D programında oluşturulan sistem modellemesinde, 4 kazık ve 8 kazık uygulamaları ele alınarak malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

4 kazık uygulaması için, 2şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=2,4$ m kazık net aralığı ve $L=10$ m kazık uzunluğu çözümlüne bağlı olmak üzere 3,34 cm düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=4$ m kazık net aralığı ve $L=10$ m kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde 3,09 cm seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 5).

**Şekil 5.** FLAC 2D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması**Figure 5.** FLAC 2D – Comparison of 4 pile applications

8 kazık uygulaması için, 4şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=1\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $3,17\text{ cm}$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=4\text{m}$ kazık net aralığı ve $44 L=10\text{m}$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $3,04\text{ cm}$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 6).

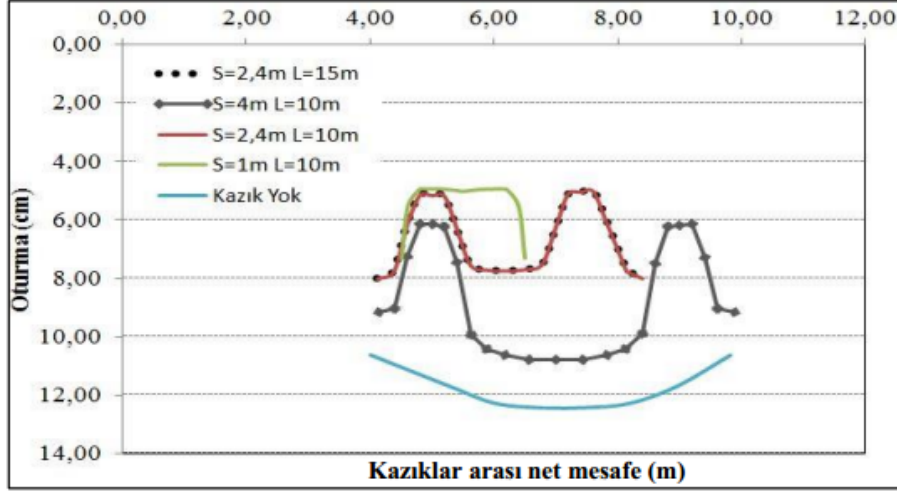


Şekil 6. FLAC 2D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması
Figure 6. FLAC 2D – Comparison of 8 pile applications

Üç boyutlu (3D) analizler

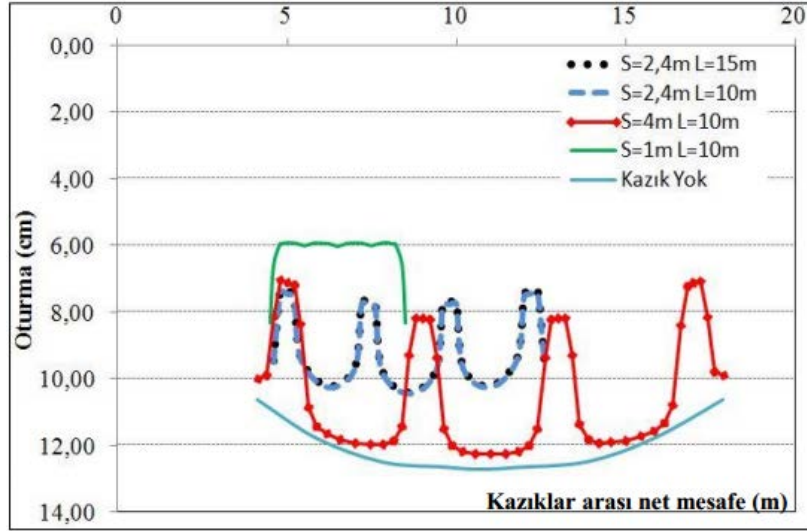
Kazıklı temellerin, FLAC-3D programında oluşturulan sistem modellemesinde, malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

4 kazık uygulaması için, 2şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=4\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $6,17\text{cm}$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=1\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $4,93\text{cm}$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. FLAC 3D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması
Figure 7. FLAC 3D – Comparison of 4 pile applications

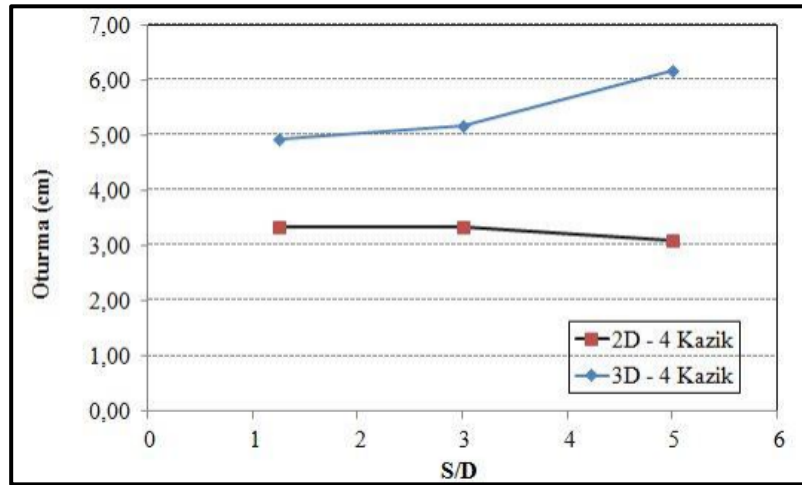
8 kazık uygulaması için, 4erli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=4m$ kazık net aralığı ve $L=10m$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $8,20cm$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=1m$ kazık net aralığı ve $L=10m$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $5,93cm$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. FLAC 3D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması
Figure 8. FLAC 3D – Comparison of 8 pile applications

İki (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerin karşılaştırılması

Kazıkların aks aralıklarına bağlı olarak kumlu bir zeminde inşa edilen kazık sisteminde kazıklar arası mesafenin etkisinin iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. 4 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 9'da verilmiştir.

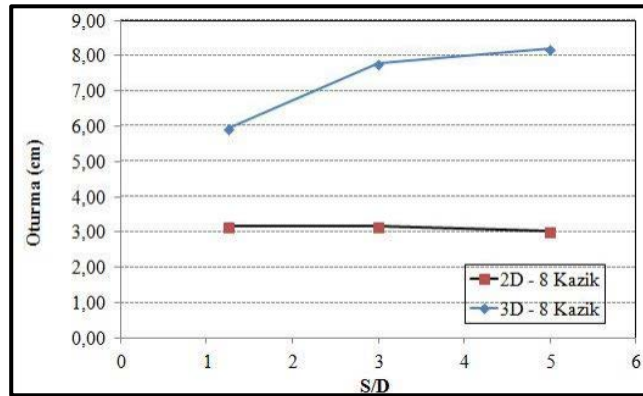


Şekil 9. FLAC 2D ve FLAC 3D – 4 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

Figure 9. FLAC 2D ve FLAC 3D – Comparison of settlement charts based on axle distances for 4 pile application

4 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizde kazık net aralığı (s), 3D aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise $s=3D$ aks mesafesinden sonra, kazıklar arası mesafe arttıkça düşey deplasman değeri dramatik bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 9).

8 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 10'da verilmiştir.

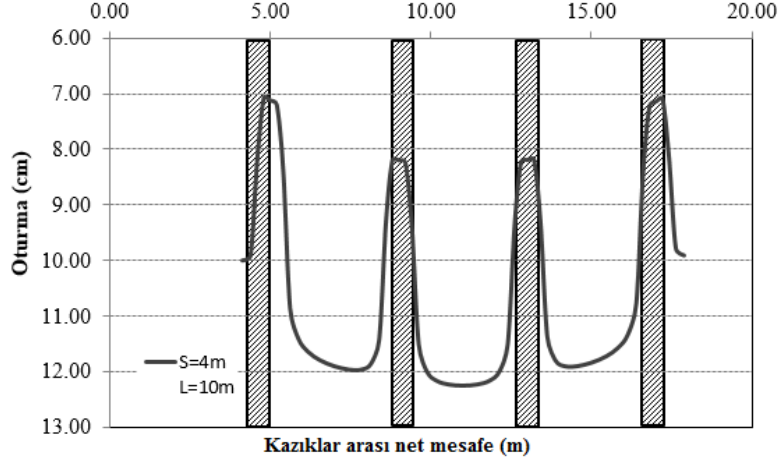


Şekil 10. FLAC 2D & FLAC 3D – 8 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

Figure 10. FLAC 2D ve FLAC 3D – Comparison of settlement charts based on distances for 8 pile application
8 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizlerde kazık net aralığı (s), 3D aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise $s=3D$ aks mesafesine kadar düşey deplasman hızlı bir artış göstermekte, $s=3D$ aks mesafesinden sonra ise ufak artışlar meydana geldiği görülmektedir (Şekil 10).

Köşe kazıkların değerlendirilmesi

Modellemeden elde edilen sonuçlar neticesinde, düzgün yayılı yük altındaki kumlu zeminlerde köşe kazıklar en fazla yükü alırken, merkeze doğru gidildikçe alınan yük miktarı azaldığı görüldü. Elde edilen grafik Şekil 11’de ve program veri tablosu değerleri Çizelge 4’te örnek teşkil etmesi amacıyla verilmiştir.



Şekil 11. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği

Figure 11. FLAC 3D – Settlement charts based on S:4m L:10m for 8 pile application

Çizelge 4. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m program veri tablosu

Table 4. Program data chart based on S:4m L:10m for 8 pile application

| 8 Kazık FLAC 3D S= 4m L= 10m | | | | | |
|------------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| Yatay Aralık (m) | Oturma (cm) | Yatay Aralık (m) | Oturma (cm) | Yatay Aralık (m) | Oturma (cm) |
| 4,13 | 10,00 | 8,80 | 8,20 | 13,40 | 9,27 |
| 4,39 | 9,00 | 9,00 | 8,20 | 13,62 | 11,36 |
| 4,60 | 8,14 | 9,20 | 8,24 | 13,87 | 11,79 |
| 4,80 | 7,08 | 9,40 | 9,37 | 14,18 | 11,89 |
| 5,00 | 7,13 | 9,62 | 11,50 | 14,55 | 11,89 |
| 5,20 | 7,20 | 9,87 | 11,99 | 15,00 | 11,83 |
| 5,40 | 8,37 | 10,18 | 12,15 | 15,45 | 11,71 |
| 5,62 | 10,85 | 10,55 | 12,22 | 15,82 | 11,56 |
| 5,87 | 11,40 | 11,00 | 12,24 | 16,13 | 11,32 |
| 6,18 | 11,64 | 11,45 | 12,22 | 16,39 | 10,76 |
| 6,55 | 11,79 | 11,82 | 12,15 | 16,60 | 8,39 |
| 7,00 | 11,89 | 12,13 | 11,99 | 16,80 | 7,22 |
| 7,45 | 11,95 | 12,39 | 11,50 | 17,00 | 7,15 |
| 7,82 | 11,95 | 12,60 | 9,36 | 17,20 | 7,10 |
| 8,13 | 11,85 | 12,80 | 8,23 | 17,40 | 8,14 |
| 8,39 | 11,43 | 13,00 | 8,19 | 17,62 | 9,78 |
| 8,60 | 9,28 | 13,20 | 8,19 | 17,87 | 9,91 |

SONUÇLAR

Kohezyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temeller, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık net aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Analizlerde kum zemin üzerinde, 800 mm çapında, 10m ve 15m uzunluğunda 8'li kazıklar kullanıldı. Kazık net aralıkları (s); 1m, 2.4m ve 4m değerleri baz alınarak analizler yapıldı.

Analizlerde farklı kazık aralıkları baz alınarak, kazık gruplarında oluşan deplasmanlar ve her bir kazığın yapmış olduğu düşey deplasmanlar analiz edildi.

Bu çalışmada; kazıklar arası mesafenin kumlu zeminlerde inşa edilen kazıklı temel sistemindeki etkisi incelenmiştir. Mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde kullanılan FLAC sonlu farklar programı yardımıyla, iki (2D) ve üç boyutlu (3D) modellerde analizler yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kazıkların yük-oturma davranışı ve kazıklar arası yük dağılımları farklılıklar göstermektedir. Düzgün yayılı yük altında kumlu zeminlerde köşe kazıklar en fazla yükü alırken, merkeze doğru gidildikçe alınan yük miktarı azalmaktadır.
- Kazık modellemesi için üç boyutlu sonlu farklar yazılımı, parametrelerin tanımlanması, ölçülendirme, ve hesap aşamasında yapısal elemanların alan etkisinin incelenmesi açısından daha gerçekçi ve uygundur.
- Üç boyutlu (3D) analizlerde oturma miktarı, kazıklar arası net mesafe, kazık çapının 3 katı değerine ulaştıktan sonra dramatik şekilde bir artış gösterirken, iki boyutlu (2D) analizlerde genel olarak sabit kalmaktadır.
- Düşey deplasman değerlerinde, üç boyutlu (3D) analizlerin sonuçları, iki boyutlu (2D) analiz sonuçlarına göre daha yüksek değerler vermiştir.

İki boyutlu analizde kullanılan radye, kazık, zemin, yapısal elemanlar ve yükler birim genişlik için tanımlanırken, üç boyutluda kazık çapı, radye uzunluğu gibi üçüncü boyutlar ölçülendirilerek daha gerçekçi bir tanımlama ve hesaplama oluşturulmuştur. Dolayısıyla üç boyutlu analizler (3D), iki boyutlu (2D) analizlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

BROWN K. W., Design and Construction with the 2006 International Building Code, Foundation Engineering Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., California, 2006.

DAS M. B., Principles of Foundation Engineering, 4th ed., Pws – Kent Pub., California, 1999.

DAS M. B., Principles of foundation engineering, 7th Edition, Brooks/Cole, California, 2007.

LEONARDS G. A., Foundation Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1962.

TOMLINSON M. J., Pile Design and Construction Practice, 1st ed., Viewpoint Publ., London, 1977.

ENGİN, H. K., Çekme Kazıklarının Gömülü Kazık Elemanlarıyla Modellenmesi, 2. Geoteknik Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, Adana, 2007.

ŞEN S., Kohezyonsuz Zeminde Ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Gücü Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2006.

<http://www.itascacg.com/software/flac>

SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE 1-B VE 2-B YER RADARI MODELLEMESİ

1-D and 2-D Ground Penetrating Radar Modeling with Finite Difference Method

Kadir Bahadır KARA^{1*}

ÖZET

Bu çalışmada sonlu farklar yöntemi ile Matlab programlama dili kullanılarak bir boyutlu ve iki boyutlu yer radarı modellemesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı yer altında bulunması muhtemel yapıların ve jeolojik yapıların bir boyutlu ve iki boyutlu radargramlar üzerindeki etkilerini incelemektir. Model sınırlarında oluşan yansımaları önlemek ve radargramlarda ayırım gücünü artırmak amacıyla mükemmel uyumlu tabaka (PML) kullanılmıştır. Kaynak dalgacığı olarak Ricker dalgacığı kullanılmıştır. Ayrıca aynı ortamlar için hazırlanan bir boyutlu ve iki boyutlu radargramlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Farklı ortamlar için hazırlanan yer altı modellerinin bir boyutlu ve iki boyutlu radargramlar üzerine etkileri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: GPR, Sonlu Farklar Yöntemi, Modelleme

ABSTRACT

In this study, one dimensional and two dimensional ground penetrating radar modeling has been studied using the Matlab programming language with finite difference method. The purpose of the study is to investigate the effects of possible structures and geological structures on one dimensional and two dimensional radargrams. A perfectly matched layer (PML) was used to prevent reflections at the model boundaries and to increase discrimination power in radargrams. The Ricker wavelet was used as a source wavelet. In addition, one dimensional and two dimensional radargrams prepared for the same medium were compared with each other. The effects of underground models prepared for different media on one dimensional and two dimensional radargrams were revealed.

Keywords: GPR, Finite Difference Method, Modelling

GİRİŞ

Yer radarı yönteminde verici antenden yer içerisine gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların farklı elektriksel özellikteki tabakalardan yansyarak alıcı anten tarafından kayıt edilmesi ve bu kayıt süresinin ölçülmesi temeline dayanmaktadır (van der Kruk vd., 1999). Yer radarı yöntemi sığ olmasına karşın çok hızlı bir yöntem olması nedeniyle birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Ayrıca yer radarı yöntemi ile yer altındaki yapıların fiziksel ve geometrik özellikleri yüksek çözünürlükte hassas şekilde belirlenebilmektedir (Annan, 1992)

¹ *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, KOCAELİ
e-mail:155106028@kocaeli.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: 155106028@kocaeli.edu.tr

Gönderim Tarihi: 10.09.2017

Kabul Tarihi: 27.10.2017

Yer içi çok değişken ve karmaşık bir yapıya sahip olduğundan yer radarı ölçülerinde saçılmalar görülmekte, bu saçılmalar radargramlar üzerinde yorumu zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda yer içindeki olası yapıların bilgisayar ortamında modellenmesi sıklıkla uygulanmaktadır (Cassidy, 2007). Bilgisayar ortamında hazırlanan sentetik radargramlar yer içerisindeki yapının konumu, şekli gibi geometrik parametrelerinin yanı sıra dielektrik sabiti, manyetik geçirgenliği gibi fiziksel parametreler hakkında bilgi sahibi olmamızı da sağlamaktadır.

Bilgisayar ortamında sentetik radargramlar hazırlanırken sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemi gibi çeşitli sayısal yaklaşımlar kullanılabilir. Sonlu farklar yöntemi sayısal türev alma işlemine dayanmaktadır. Sonlu farklar yöntemi uzun yıllardır bilinmesine rağmen Maxwell denklemlerine ilk kez Kane S. Yee (1966) tarafından uygulanmıştır ve zaman ortamında, üç boyutlu ortam için Maxwell denklemlerini sayısal olarak çözmüştür (Yee, 1966). Bir diferansiyel denklemin sonlu farklar yöntemi ile çözümünün yapılabilmesi için, çözüm uzayının daha küçük hücrelere bölünmesi gerekir (Sadiku, 2001). Sonlu farklar yönteminin hücresel yapısından dolayı basit yer altı yapısının yanı sıra karmaşık yer altı modellemesi de yapılabilir (Kurtulmuş ve Drahor, 2008).

Yer radarı yönteminde sonlu farklar yöntemiyle sentetik radargramlar hazırlanırken bilgisayar hafızalarının sınırlı olması nedeniyle problem alanın ve çözüm süresinin sınırlandırılması gerekmektedir. Fakat herhangi bir emici (absorbe) sınır koşulu uygulanmadığında, elektromanyetik dalgalar problem alanın sınırlarına çarparak yansımalar olacaktır. Bu durumda sentetik radargramlarda aslında olmayan yansımalar görülecektir ve bu durum radargramlardaki ayrımı düşürecektir. Bu nedenle çeşitli absorbe edici sınır koşulları geliştirilmiştir. Berenger tarafından geliştirilen mükemmel uyumlu tabaka (PML) sınır koşulunun diğer absorbe edici sınır koşullarına göre daha iyi sonuç verdiği kanıtlanmıştır. PML tabakası belli bir kalınlıkta olup problem alanını çevrelemektedir (Berenger, 1994).

Bir boyutlu ve iki boyutlu ortamlar için, zaman ve frekans ortamında daha önce çalışmalar yapılmıştır (Goodman, 1994; Powers ve Olhoeft, 1994; Mancilla ve Trevino, 1996; Bergmann vd., 1996; Irving ve Knight, 2005).

Bu çalışmada zaman ortamında sonlu farklar yöntemi ile bir boyutlu ve iki boyutlu ortamlar için Matlab programlama dili kullanılarak yer radarı yöntemi için düz çözüm programı geliştirilmiştir. Bir boyutlu ve iki boyutlu yer radarı programları kullanılarak sentetik radargramlar elde edilmiştir. Yer içerisindeki yapıların fiziksel (dielektrik sabiti, manyetik geçirgenliği vb.) ve geometrik (şekil, derinlik vb.) parametrelerinin radargramlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

YER RADARI YÖNTEMİ**Maxwell Denklemleri**

Yer radarı yönteminin temeli elektromanyetik teoriye dayanır. Klasik Maxwell denklemleri dört adet denklemden oluşmaktadır. Bu denklemler Faraday, Amper ve Gauss kanunlarından oluşmaktadır (Sadiku 2001). Gauss kanunu hem elektrik hem de manyetik alanlar için olup, iki adettir. Bu denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\left(\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}\right) \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \left(\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}\right) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (4)$$

Burada; \mathbf{E} , elektrik alan şiddeti (V/m, koyu yazılması vektör olduğunu simgeler), \mathbf{H} , manyetik alan şiddeti (A/m), \mathbf{B} , manyetik akı yoğunluğu (W/m²), \mathbf{D} , elektrik akı yoğunluğu (C/m²), \mathbf{J} , akım yoğunluğu (A/m²), ρ , yük yoğunluğudur (C/m³). Ayrıca bünye denklemleri aşağıdaki bağıntılarla verilir:

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E} \quad (5)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (6)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (7)$$

Bu denklemlerden ortamın manyetik ve elektrik özelliğinin \mathbf{E} ve \mathbf{H} ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Burada; ε , ortamın dielektrik sabitini (Farad/m), σ , ortamın iletkenliğini (Siemens/m), μ ise ortamın manyetik geçirgenliğini (Henry/m) gösterir (Sadiku 2001).

(1-7) denklemleri yardımı ile zaman ortamında elektrik ve manyetik alan dalga denklemleri türetilebilir.

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu \sigma \left(\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\right) + \mu \varepsilon \left(\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}\right) \quad (8)$$

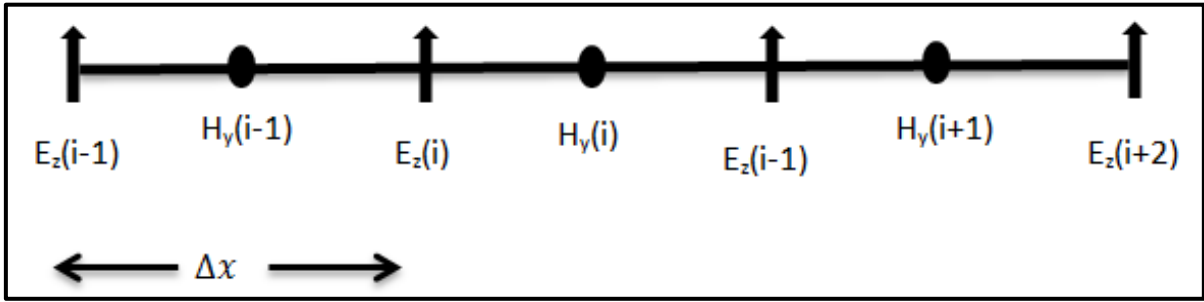
$$\nabla^2 \mathbf{H} = \sigma\mu \left(\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \right) + \varepsilon\mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \right) \quad (9)$$

denklemleri elde edilir. (8) ve (9) denklemleri homojen ve kaynak olmayan bir ortamda elektrik ve manyetik alan davranışlarını tam olarak tanımlar (Balanis, 1989).

Maxwell Denklemlerinin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü

Bir Boyutlu Durum

Bir boyutlu durumda elektrik ve manyetik alanın iki bileşininde bir değişiklik olmadığı kabul edilir. Elektrik ve manyetik alan birbirine bağımlı olarak hesaplanır. Bir boyutlu durumda elektrik ve manyetik alan iki farklı durum için hesaplanabilir. Yazılan bir boyutlu yer radarı programında elektrik alanın \mathbf{E}_z bileşeni, manyetik alanın \mathbf{H}_y bileşeni hesaplanmıştır.



Şekil 1. Bir boyutlu durumda elektrik ve manyetik alanın konumu

Figure 1. The position of electric and magnetic field in one dimensional case

Elektrik alanın \mathbf{E}_z bileşenin sonlu farklara göre yazılması;

$$E_z^{n+1}(i) = C_{eze}(i) \times E_z^n(i) + C_{ezhy}(i) \times \left(H_y^{n+\frac{1}{2}}(i) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i-1) \right) + C_{ezj}(i) \times J_{iz}^{n+\frac{1}{2}}(i) \quad (10)$$

Manyetik alanın \mathbf{H}_y bileşenin sonlu farklara göre yazılması;

$$H_y^{n+1}(i) = C_{hyh}(i) \times H_y^{n-\frac{1}{2}}(i) + C_{hyez}(i) \times \left(E_z^n(i+1) - E_z^n(i) \right) + C_{hym}(i) \times M_{iy}^n(i) \quad (11)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada J terimi kaynak terimidir (Elsherbeni ve Demir 2009). Bağntı (10)'da verilen C_{eze} , C_{ezhy} , C_{ezj} terimleri ile bağıntı (11)'de verilen C_{hyh} , C_{hyez} , C_{hym} terimlerinin açık hali ekte verilmiştir.

İki Boyutlu Durum

İki boyutlu durumda Maxwell denklemlerinin bileşenlerinden bir tanesinin, geometrisinde ve dağılımında değişiklik olmadığı kabul edilir. Bunun sonucunda türev alındığında değişiklik olmayan bileşen kaybolur. İki boyutlu durumda elektrik ve manyetik alanın bileşenlerine göre iki durum bulunmaktadır. Bunlar TE (transverse electric) ve TM (transverse magnetic) modlarıdır. Yazılan iki boyutlu yer radarı programı TM modu için yazılmıştır. TM modu için elektrik alanın \mathbf{E}_z bileşeni, manyetik alanın \mathbf{H}_x ve \mathbf{H}_y bileşenleri için yazılmıştır (Elsherbeni ve Demir 2009).

2 boyutlu ortam için elektrik alanın \mathbf{E}_z bileşeni;

$$\begin{aligned} E_z^{n+1} = & C_{eze}(i, j) \times E_z^n(i, j) + C_{ezhy}(i, j) \times \left(H_y^{n+\frac{1}{2}}(i, j) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i-1, j) \right) \\ & + C_{ezhx}(i, j) \times \left(H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j) - H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j-1) \right) + C_{ezj}(i, j) \times J_{iy}^{n+\frac{1}{2}}(i, j) \end{aligned} \quad (12)$$

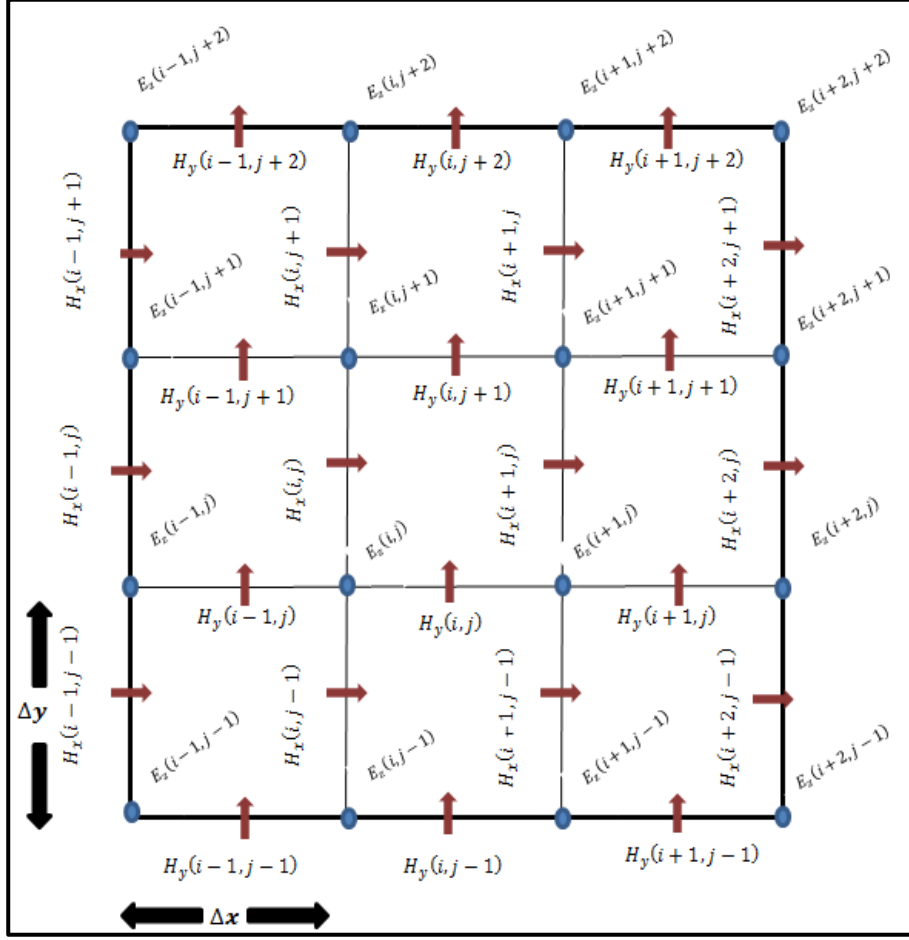
burada J kaynak terimidir. C_{eze} , C_{ezhy} , C_{ezhx} , C_{ezj} terimleri ekte verilmiştir. 2 boyutlu ortam için manyetik alanın \mathbf{H}_x bileşeni;

$$\begin{aligned} H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j) = & C_{hxh}(i, j) \times H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j) + C_{hxez}(i, j) \times \left(E_z^n(i, j+1) - E_z^n(i, j) \right) \\ & + C_{hxm}(i, j) \times M_{ix}^n(i, j) \end{aligned} \quad (13)$$

C_{hxh} , C_{hxez} , C_{hxm} terimlerinin açık şekli ekte verilmiştir. 2 boyutlu ortam için manyetik alanın \mathbf{H}_y bileşeni;

$$\begin{aligned} H_y^{n+\frac{1}{2}}(i, j) = & C_{hyh}(i, j) \times H_y^{n-\frac{1}{2}}(i, j) + C_{hyez}(i, j) \times \left(E_z^n(i, j+1) - E_z^n(i, j) \right) \\ & + C_{hym}(i, j) \times M_{iy}^n(i, j) \end{aligned} \quad (14)$$

C_{hyh} , C_{hyez} ve C_{hym} terimlerinin açık hali ekte verilmiştir.



Şekil 2. İki boyutlu durumda elektrik ve manyetik alanın konumu

Figure 2. The position of electric and magnetic fields in two dimensional case

Stabilite Koşulu ve Sayısal Dippersiyon

Sonlu farklar yönteminde önemli parametrelerden bir diğeri de stabilite koşuludur. Zaman aralıklarının büyük seçilmesi hücre boyutlarını aşacak ve stabilite koşulu sağlanmayacaktır. Eğer zaman aralıkları çok küçük seçilirse yazılan yer radarı programı gereğinden fazla uzun sürecektir. Zaman aralıkları seçilirken konum aralıkları ile ilişkili değildir. Maksimum zaman aralığı 2 boyutlu durum için konum aralıkları ile ilişkili yazılırsa;

$$\Delta t_{max} = \frac{6}{7} \sqrt{\frac{\epsilon_{min} \mu_{min}}{\left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)}} \quad (15)$$

burada Δt zaman aralığı (ns), Δx ve Δy konum aralığı (m), ϵ_{min} ve μ_{min} sırasıyla minimum dielektrik sabiti ve minimum manyetik geçirgenliği göstermektedir (Georgakopoulos vd., 2002). Konum aralıklarının gereğinden fazla büyük seçilmesi radargramlarda çözünürlüğü düşürecek (Kaplanvural, 2011). Konum aralıkları vericiden gönderilen anten frekansı ile ilişkili olmalıdır.

$$\lambda_{min} = \frac{c}{f} \quad (16)$$

burada λ_{min} dalga boyu, c ışık hızını, f anten frekansını göstermektedir. Konum aralıkları $\lambda_{min} / 10$ ile $\lambda_{min} / 100$ arasında seçilmesi yeterli olacaktır.

Mükemmel Uyumlu Tabaka (PML) Sınır Koşulu

PML sınır koşulu diğer absorbe edici sınır koşulları ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlar vermektedir. İlk olarak PML sınır koşulu çok az hücre ile yansımaları zayıflatır (Gedney, 1998). İkinci olarak modellenen yapının özelliklerinden bağımsızdır. Böylece sınıra gelen elektromanyetik dalgalar yansıma olmadan PML bölgesi içerisinde ilerleyerek zayıflar. İletkenlik dağılımının tek düze olduğu bir PML ortamında bir yansıma katsayısı vardır. Bu yansıma katsayısı;

$$R(\phi_0) = e^{-2 \frac{\sigma \cos \phi_0}{\epsilon_0 c} \delta} \quad (17)$$

burada, σ ortamın iletkenliği, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti, üstel fonksiyon düzlem dalganın azalım faktörünü, δ ise PML hücre kalınlığını ifade etmektedir. PML bölgesi tek düze iletkenlik değerine sahip olduğunda büyük ölçüde yansımalar gözlenmektedir. Bu nedenle ortam ile PML sınırı arasında iletkenlik değeri çok küçük değerden başlayıp PML hücresinin sonunda maksimum değerine ulaşmalıdır (Elsherbeni ve Demir, 2009). İletkenlik dağılımı için iki adet matematiksel fonksiyon bulunmaktadır.

$$\sigma_{(\rho)} = \sigma_{max} \left(\frac{\rho}{\delta} \right)^{n_{pml}} \quad (18)$$

burada ρ , PML arayüzü ile hesaplama ortamı arasındaki uzaklık, δ , PML hücre kalınlığı, n_{pml} ise PML hücre sayısıdır. σ_{max} ise PML hücre sonunda ulaşılabilecek maksimum iletkenlik değeridir.

σ_{max} bağıntısı;

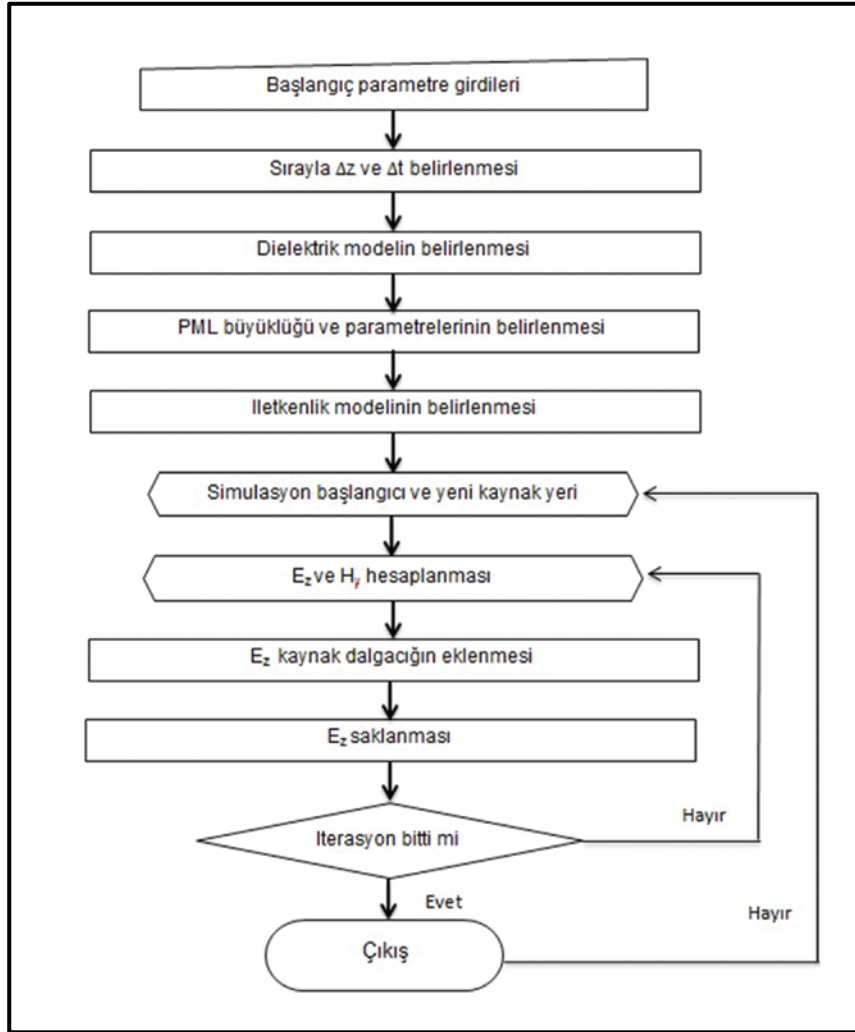
$$\sigma_{max} = - \frac{(n_{pml} + 1) \epsilon_0 c \ln(R(0))}{2 \Delta s N} \quad (19)$$

burada Δs , PML hücresi için tek hücrenin boyutu, N , PML hücre sayısını göstermektedir. $R(0)$ ise 10^{-8} gibi çok küçük bir sayı seçilebilir (Elsherbeni ve Demir, 2009).

DÜZ ÇÖZÜM

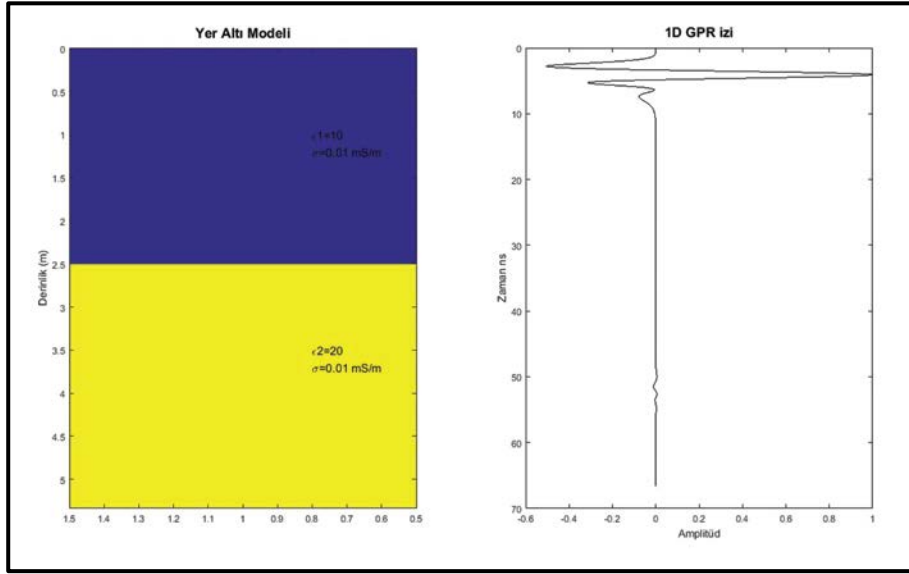
Bir Boyutlu Düz Çözüm

Bir boyutlu iki tabakalı ortam için tabaka kalınlığı 2.5 m seçilmiştir. Her iki tabaka için iletkenlik $\sigma = 0.01 \text{ mS/m}$ olarak alınmıştır. Dielektrik sabiti birinci tabaka için $\epsilon_1 = 10$, ikinci tabaka için $\epsilon_2 = 20$ seçilmiştir. Anten frekansı 300 MHz'dir, $\Delta z = 0.013 \text{ cm}$ seçilmiş ve toplam hücre sayısı 400'dür, ayrıca $\Delta t = 0.04 \text{ ns}$ seçilmiştir. PML hücre sayısı 20 ve kullanılan dalgacık türü Ricker'dir.



Şekil 3. Bir boyutlu yer radarı programının akış şeması

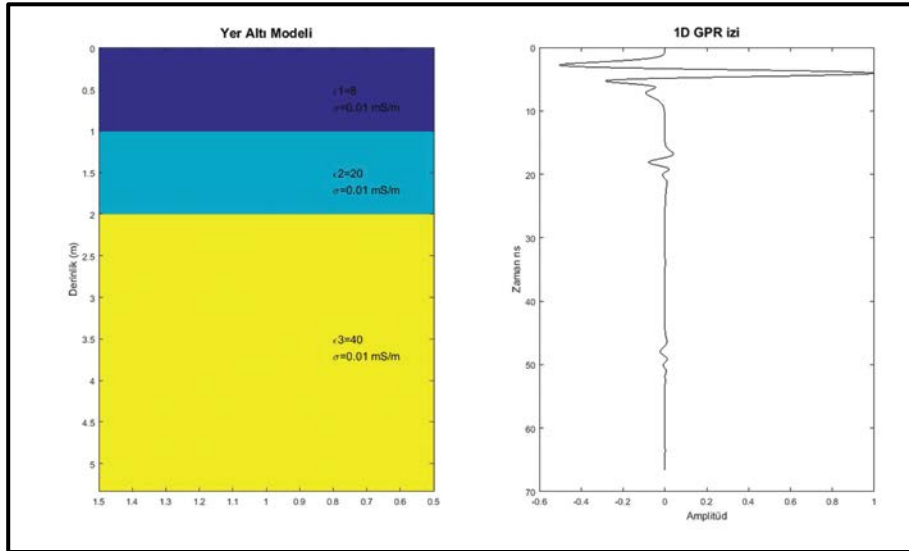
Figure 3. The flowchart of 1D GPR program



Şekil 4. İki tabakalı ortamda yer altı modeli ve sentetik GPR izi

Figure 4. The earth model in two layered media and synthetic GPR trace

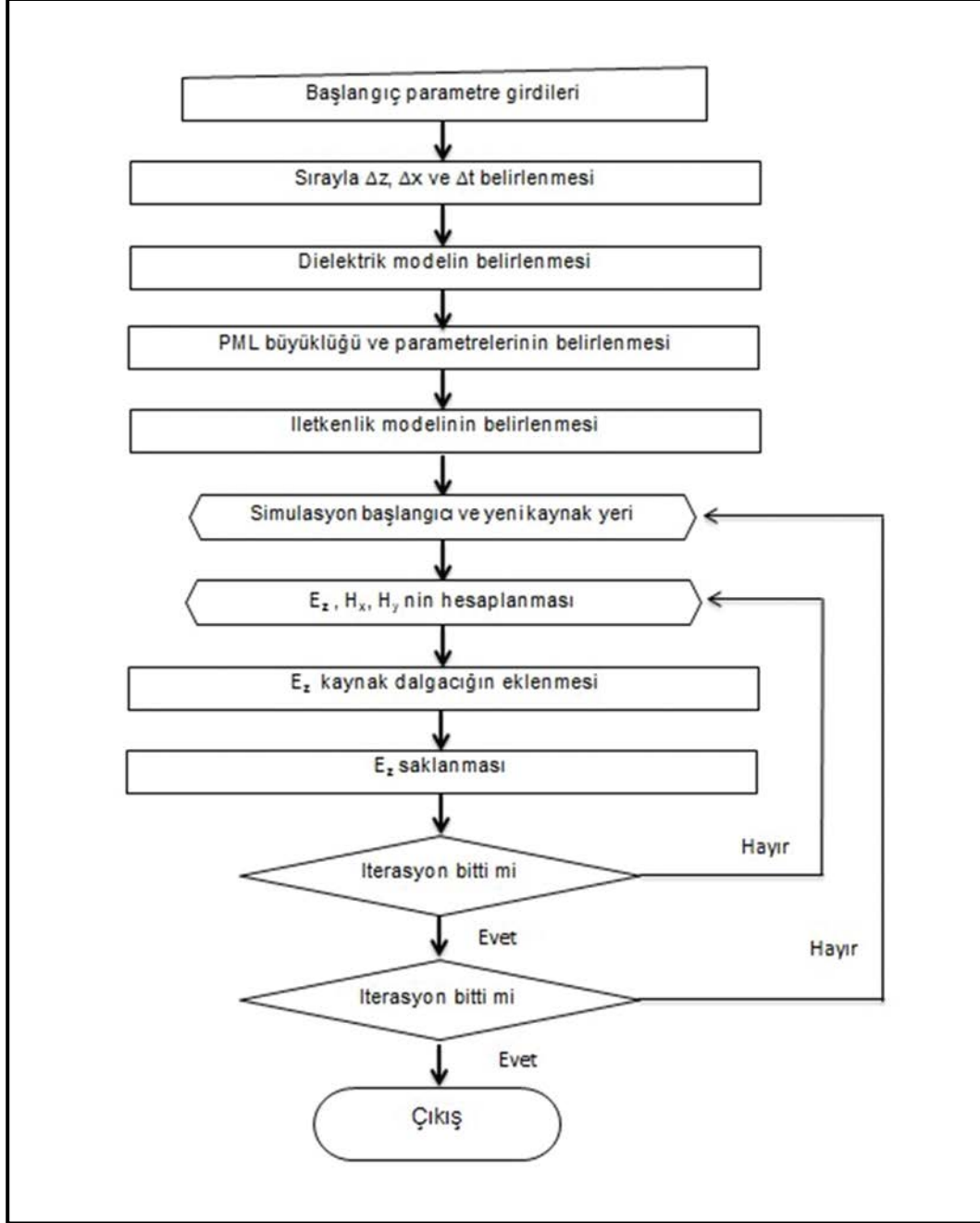
Diğer modelde ortam üç tabakalı olarak seçilmiştir. Birinci tabakanın kalınlığı 1 m ikinci tabakanın kalınlığı 1 m ve üçüncü tabakanın kalınlığı 3.32 m'dir. Bütün tabakaların iletkenlik değeri $\sigma = 0.01 \text{ mS/m}$ seçilmiştir. Dielektrik sabiti birinci tabaka için $\epsilon_1 = 8$, ikinci tabaka için $\epsilon_2 = 20$ ve üçüncü tabaka için $\epsilon_3 = 40$ seçilmiştir. Anten frekansı 300 MHz, Δz ve Δt sırasıyla 0.013 m, 0.04 ns olarak belirlenmiştir. Hücre sayısı 400, PML hücre sayısı 20'dir.



Şekil 5. Üç tabakalı ortamda bir boyutlu yer altı modeli ve sentetik GPR izi

Figure 5. The earth model in three layered media and synthetic GPR trace

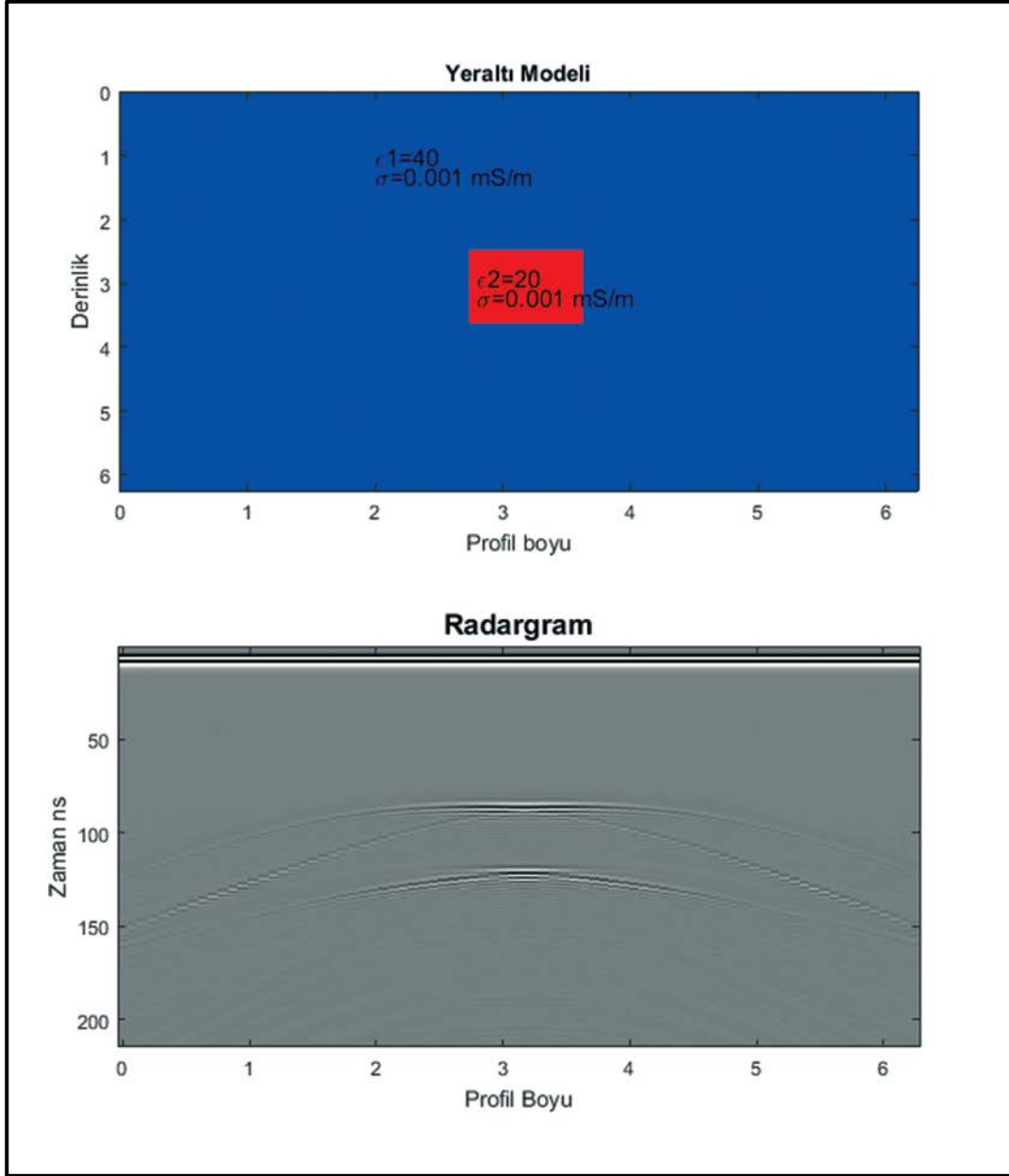
İki Boyutlu Düz Çözüm



Şekil 6. İki boyutlu yer radarı programının akış şeması

Figure 6. The flowchart of 2D GPR program

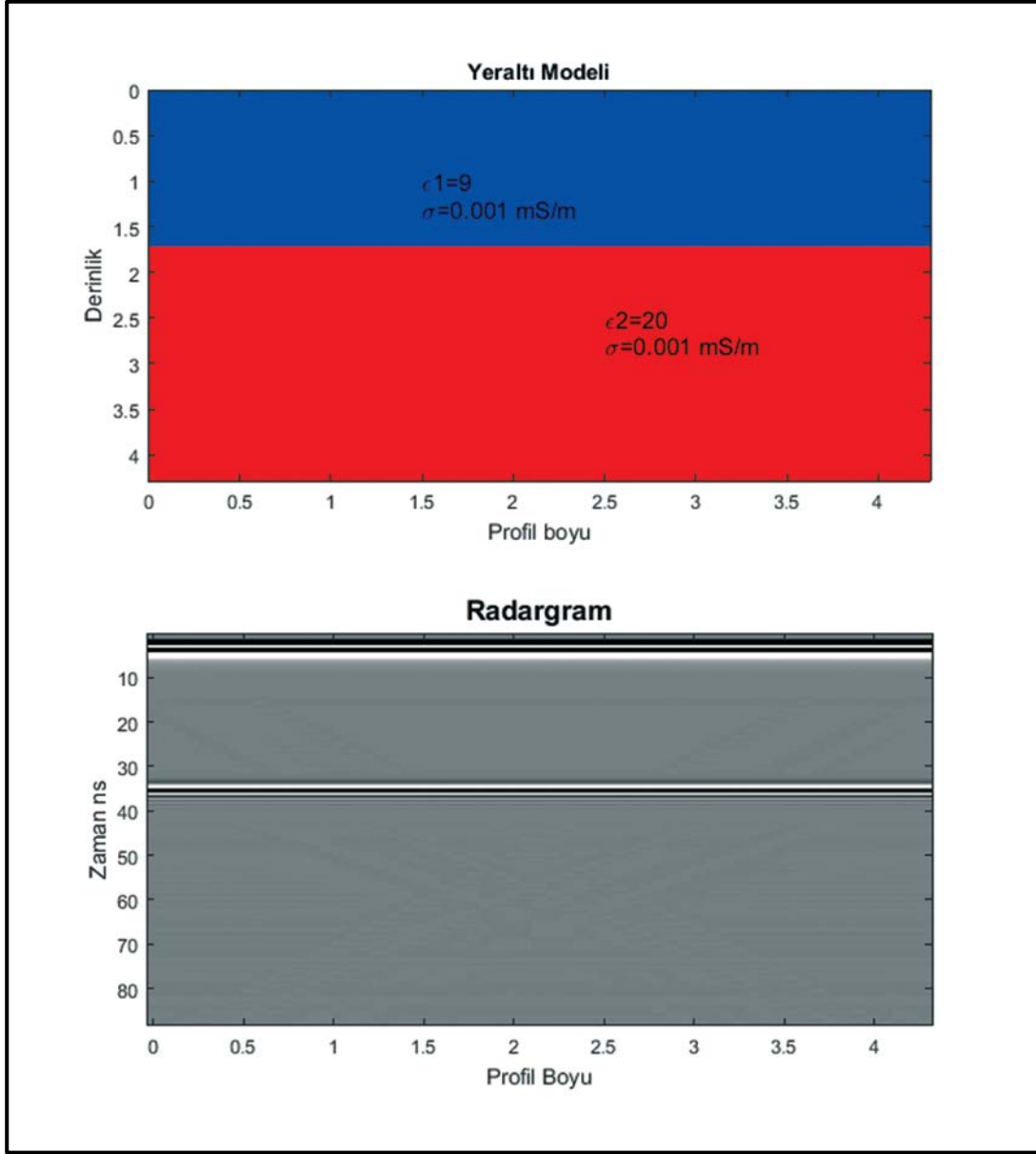
Yer altında kare şeklinde bir yapı olduğu düşünülerek hazırlanan modelde ortamın dielektrik sabiti $\epsilon = 40$, kare şeklindeki yapının dielektrik sabiti $\epsilon = 20$ olarak seçilmiştir. Ortamın iletkenliği ve kare şeklindeki yapının iletkenliği, $\sigma = 0.001 \text{ mS/m}$ seçilmiştir.



Şekil 7. Yer altında kare şeklindeki yapı modeli ve elde edilen radargram

Figure7. Underground square structure model and obtained radargram

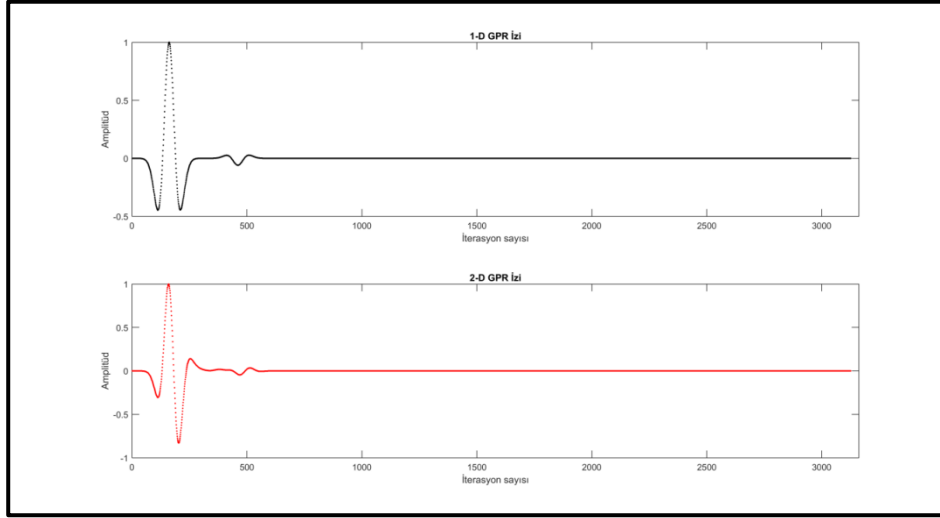
Bu modelde yatay iki tabakalı ortam modellenmiştir. İlk tabakanın dielektrik sabiti $\epsilon = 9$, ikinci tabakanın dielektrik sabiti $\epsilon = 20$ seçilmiştir ayrıca her iki ortam için iletkenlik değeri $\sigma = 0.001 \text{ mS/m}$ seçilmiştir. Tabaka derinliği yaklaşık 1.7 m toplam derinlik ise 4.28 m'dir. Δx ve Δz aralıkları 0.0086 cm, Δt aralığı ise 0.05 ns olarak seçilmiştir. Hücre sayısı x ve z yönünde 500 ve anten frekansı 500 MHz olarak seçilmiştir. PML hücre sayısı 75 seçilmiştir.



Şekil 8. Yatay tabaka modeli ve elde edilen radargram

Figure 8. Horizontal layer model and obtained radargram

Yazılan bir boyutlu ve iki boyutlu program izleri bir birleri ile kıyaslanmıştır. (Şekil 9). Modelde yatay iki tabakalı ortam modellenmiştir, konum aralıkları Δx ve Δz 0.04 m zaman aralığı ise Δt 0.08 ns olarak seçilmiştir. Toplam iterasyon sayısı 3126'dır. Sınır koşulları bütün programlar için 10 hücre seçilmiştir ve anten frekansı 100 MHz'dir.



Şekil 9. Aynı model için bir boyutlu ve iki boyutlu GPR izleri

Figure 9. One-dimensional and two-dimensional GPR traces for the same model

SONUÇLAR

Sonlu farklar yöntemi kullanılarak Matlab programlama dili ile bir boyutlu ve iki boyutlu yer radarı düz çözüm programı yazılmıştır. Programlarda yer altında olası yapıların basit modelleri hazırlanmış ve son olarak program çıktıları birbirileri ile kıyaslanmıştır.

Model sınırlarında PML sınır koşulu uygulanmış ve kaynak dalgacığı olarak Ricker kullanılmıştır. Model çıktılarında herhangi bir saçılma ve sınırlardan güçlü yansımalar olmadığı görülmektedir. Bu da PML sınır koşulunun oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Aynı ortam için çalıştırılan bir boyutlu ve iki boyutlu programların tabaka yansıma izlerinin aynı iterasyonda olduğu görülmektedir. İki boyutlu yer radarı sonuçlarının çıkması çok uzun zaman almaktadır buna karşın bir boyutlu yer radarı sonuçları bir saniye gibi çok kısa sürede hesaplanabilmektedir. Karmaşık olmayan yer altı modelleri için bir boyutlu yer radarı programı kullanılabilir. Bir boyutlu programın kullanılması süreden önemli derece tasarruf sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Annan, A.P., Chua, L.T., 1992. Ground penetrating radar. Geological Survey of Canada (Edited by J.A. Pilon), Ottawa.

Balanis, C.A., 1989. Advanced Engineering Electromagnetics. John Willey&Sons, Toronto.

- Berenger, J.P., 1994. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *Journal of Computational Physics* 114, 185–200.
- Bergmann, T., Robertsson, J.O.A., Holliger, K., 1996. Numerical properties of staggered finite-difference solutions of Maxwell's equations for ground-penetrating radar modeling. *Geophysical Research Letters* 23, 45–48.
- Cassidy, N., 2007. A review of practical numerical modelling methods for the advanced interpretation of ground-penetrating radar in near-surface environments. *Near Surface Geophysics*, 5, 5-21.
- Elsherbeni A.Z., Demir V., 2009. *Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics with MATLAB Simulations*. Scitech Publishing, Danvers.
- Georgakopoulos, S.V., Birtcher, C.R., Balanis, C.A., Renaut, R.A., 2002. Higher order finite-difference schemes for electromagnetic radiation, scattering, and penetration, Part 1: theory. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 44, 134- 142.
- Gedney, S., 1998. The perfectly matched layer absorbing medium. In: Taflove, A. (Ed.), *Advances in Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House, Norwood, MA.
- Goodman, D., 1994. Ground-penetrating radar simulation in engineering and archeology. *Geophysics* 59, 224–232.
- Irving J.D., Knight, R., 2005. Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2-D using MATLAB. *Computers & Geosciences*, 32, 1247-1258.
- Kaplanvural İ., 2011. *Yer Radarı Verilerinin Modellenmesi ve Yorumlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli (yayımlanmamış).
- Kurtulmuş, T,Ö., Drahor M.G., 2008. Yer radarı modellemesinde fiziksel ve geometrik parametre etkilerinin araştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 29 (2), 37-52.
- Mancilla O.L., Trevino E.G., 1996. Synthetic radargrams from electrical conductivity and magnetic permeability variations. *Journal of Applied Geophysics*, 34, 283-290.
- Powers, M.H., Olhoeft, G.R., 1994. Modeling dispersive groundpenetrating radar data. *Proceedings of the 5th International Conference on Ground-Penetrating Radar*, Waterloo, Ontario, pp. 173–183.
- Sadiku M.N.O., 2001 *Numerical Techniques in Electromagnetics*, CRC Press, Florida.
- van der Kruk, J., Slob, E.C., and Fokkema, J.T., 1999. Background of groundpenetrating radar measurements. *Geologie en Mijnbouw*, 77, 177-188.
- Yee K.S., 1966. Numerical solution of initial boundary problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, 14(3), 302 - 307.

EK

Bir boyutlu durumda verilen, (10) bağıntısında C_{eze} , C_{ezhy} , C_{ezj} terimlerinin açık olarak yazılırsa;

$$C_{eze}(i) = \frac{2\varepsilon_z(i) - \Delta t \sigma_z^e(i)}{2\varepsilon_z(i) + \Delta t \sigma_z^e(i)} \quad (10a)$$

$$C_{ezhy}(i) = \frac{2\Delta t}{(2\varepsilon_z(i) + \Delta t \sigma_z^e(i)) \Delta x} \quad (10b)$$

$$C_{ezj}(i) = -\frac{2\Delta t}{2\varepsilon_z(i) + \Delta t \sigma_z^e(i)} \quad (10c)$$

burada, ε_z , dielektrik sabiti, σ_z^e iletkenliği ifade etmektedir. (11) bağıntısındaki C_{hyh} , C_{hyez} ve C_{hym} terimleri ise;

$$C_{hyh}(i) = \frac{2\mu_y(i) - \Delta t \sigma_y^m(i)}{2\mu_y(i) + \Delta t \sigma_y^m(i)} \quad (11a)$$

$$C_{hyez}(i) = \frac{2\Delta t}{(2\mu_y(i) + \Delta t \sigma_y^m(i)) \Delta x} \quad (11b)$$

$$C_{hym}(i) = -\frac{2\Delta t}{2\mu_y(i) + \Delta t \sigma_y^m(i)} \quad (11c)$$

burada, μ_y , manyetik geçirgenlik, σ_y^m iletkenliği ifade etmektedir (Elsherbeni ve Demir 2009). İki boyutlu durumda verilen (12), (13) ve (14) bağıntıları içerisindeki terimler yazılırsa;

$$C_{eze}(i, j) = \frac{2\varepsilon_z(i, j) - \Delta t \sigma_z^e(i, j)}{2\varepsilon_z(i, j) + \Delta t \sigma_z^e(i, j)} \quad (12a)$$

$$C_{ezhy}(i, j) = \frac{2\Delta t}{(2\varepsilon_z(i, j) + \Delta t \sigma_z^e(i, j)) \Delta x} \quad (12b)$$

$$C_{ezhx}(i, j) = -\frac{2\Delta t}{(2\varepsilon_z(i, j) + \Delta t\sigma_z^e(i, j))\Delta y} \quad (12c)$$

$$C_{ezj}(i, j) = -\frac{2\Delta t}{2\varepsilon_z(i, j) + \Delta t\sigma_z^e(i, j)} \quad (12d)$$

(13) bağıntısındaki terimlerin açık halleri yazılırsa;

$$C_{hxh}(i, j) = \frac{2\mu_x(i, j) - \Delta t\sigma_x^m(i, j)}{2\mu_x(i, j) + \Delta t\sigma_x^m(i, j)} \quad (13a)$$

$$C_{hxz}(i, j) = -\frac{2\Delta t}{(2\mu_x(i, j) + \Delta t\sigma_x^m(i, j))\Delta y} \quad (13b)$$

$$C_{hxm}(i, j) = -\frac{2\Delta t}{2\mu_x(i, j) + \Delta t\sigma_x^m(i, j)} \quad (13c)$$

(14) bağıntısındaki terimlerin açık halleri yazılırsa;

$$C_{hyh}(i, j) = \frac{2\mu_y(i, j) - \Delta t\sigma_y^m(i, j)}{2\mu_y(i, j) + \Delta t\sigma_y^m(i, j)} \quad (14a)$$

$$C_{hyz}(i, j) = \frac{2\Delta t}{(2\mu_y(i, j) + \Delta t\sigma_y^m(i, j))\Delta x} \quad (14b)$$

$$C_{hym}(i, j) = -\frac{2\Delta t}{2\mu_y(i, j) + \Delta t\sigma_y^m(i, j)} x, y, z \quad (14c)$$

bağıntıları elde edilir (Elsherbeni ve Demir 2009). Alt indislerde bulunan x, y, z terimleri, elektrik ve manyetik alanın bağlantılı olduğu bileşenini temsil etmektedir.

Geophysical and Geotechnical Studies for Electric Power Plants Project at the Sakarya River Zone, Turkey

Cengiz KURTULUŞ¹, Ali BOZKURT², Hasan ENDEŞ³ and İsmail Talih GÜVEN⁴

ABSTRACT

Geophysical and geotechnical studies were conducted at a proposed hydroelectric power plants facility at a site north of Sakarya river D100(E-5) bridge in Adapazarı town of Sakarya city in Turkey. The study is aimed at evaluating the competence of the near surface formation as foundation materials. Geophysical and geotechnical methods of investigation were adopted. The geophysical investigation involved the Vertical Electrical Sounding (VES) technique using the Schlumberger configuration, seismic refraction and geotechnical investigative methods comprised of boreholes to 40 m depth with Standard Penetrating Testing (SPT) and undisturbed Shelby tube, disturbed Split Spoon soil sampling, triaxial compression and consolidation tests. A total of five Vertical Electrical Soundings (VES) and five seismic refraction profiles from different location within the study area were used for the study. Water content, plasticity, and grain size distribution characteristics are obtained from laboratory testing leading to a classification of soils using the Unified Classification System. The geophysical results revealed three distinct geoelectric sequences which comprises of topsoil, weathered and partially weathered layers. The topsoils composed of clay/silt/sand while the weathered layer composed of silty sand. The partially weathered layer is formed of silty clay. The geotechnical results show that the partly weathered layer has relatively high clay content. Based on the consistency limits of the soils within the area, the soil generally indicate firm plasticity, hence, the soils are expected to exhibit medium swelling potential. There is no evident of geological feature such as fracture/fault within the subsoil in the area.

Introduction

Geophysical methods such as the seismic refraction and electrical resistivity (RC) are used for the site investigation. Geophysical surveys are efficient and cost-effective in providing geotechnical information since they combine high-speed and accuracy in providing subsurface information over large areas (Wang 1979; Seed et al. 1983; Luna and Jadi 2000; Soupios et al. 2005; Momoh et al. 2008; Ozcep et al. 2009; Akin Torinwa OJ et al. 2009; Bozkurt and Kurtulus 2009; Kurtulus et al. 2010). Site characterization is carried out for the construction of hydroelectric power plants in the Sakarya region located in the earthquake-prone areas to determine depth of bedrock, structural mapping and evaluation of subsoil competence. The need to provide information in the subsurface sequence and structure deposition necessary for foundation design needed an integrated geophysical and geotechnical investigations of the area. As a part of investigation, measurements of relevant dynamic parameters both in laboratory and in situ have been made for determination of dynamic deformation and dynamic soil structure analysis.

Description of the Environment of the Investigated Site

The study area is located within Adapazarı town north of D100 (E-5) Bridge (Fig.1). The topography is low lying. The site is located within the climate of Marmara region. The main annual temperature is 14° while the rainfall varies between 38-114mm (General directorate of Meteorology of Turkey). Alluviums composed of clay; sand and silt are the major outcrop that occur within the study area.

¹ Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Geophysics, Kocaeli, Turkey

² ABM Engineering Co., Izmit, Kocaeli, Turkey

³ Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Geophysics, Kocaeli, Turkey

⁴ Kocaeli University, Architectural and Design Faculty, Kocaeli, İzmit

*İlgili yazar / Corresponding author: emremazak@gmail.com

Gönderim Tarihi: 20.04.2017

Kabul Tarihi: 30.05.2017

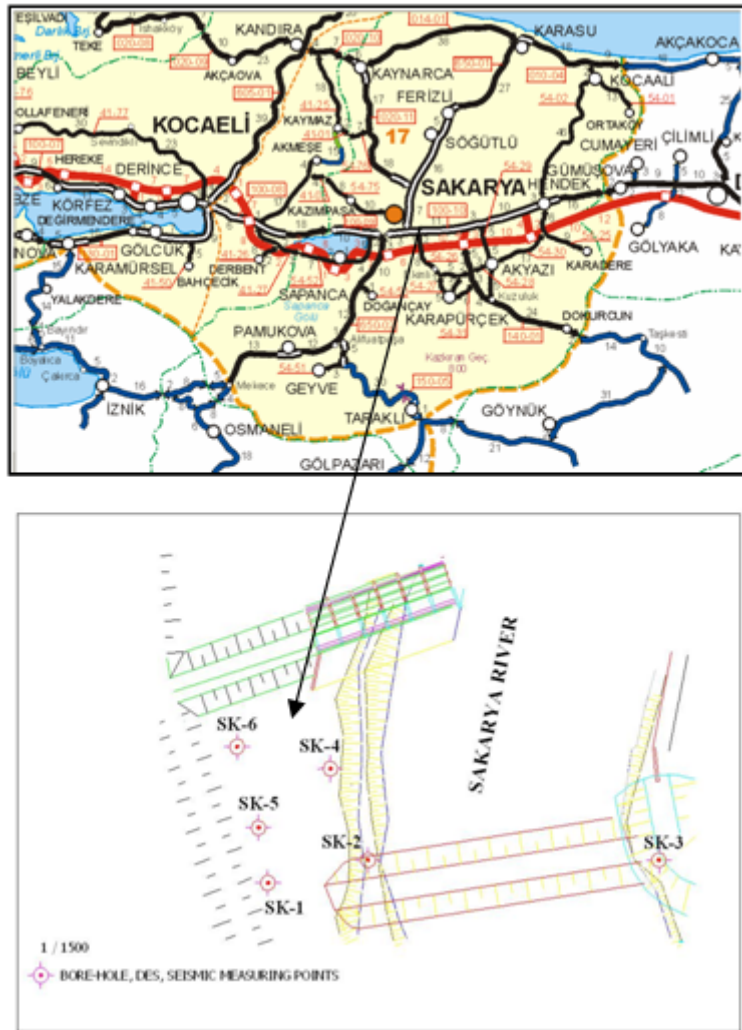


Fig.1: Location map of the investigation area

Methodology

Seismic refraction surveys are performed at five stations in the investigation area. The seismic data were recorded by a 12 channel Geometrics Seismic Enhancement (Smart Seis) recorder with a 8 Hz geophone system. A seismic hammer of 8 kg was used as an energy source. The measurements were conducted using offset and geophone intervals at 2m. The geophone coupling was achieved very well and the surface noises were filtered as much as possible to improve the data quality.

The seismic refraction seismograms were interpreted using GeoSeis computer program. The best fit lines of the first brakes of the signals were determined. The P-and S-wave velocities were computed from the slope of these best fit lines.

A total of five Vertical Electrical Soundings (VES) were conducted at five stations using the Schlumberger configuration. The electrode spacing was opened as much as $(AB/2) 60m$. The apparent resistivity values were plotted against electrode spacing $(AB/2)$ on a bi-logarithmic graph sheet to generate depth sounding curves. Partial curve matching was carried out on the field curves. The interpretation results (layer resistivity and thickness) were fed into computer for 1-D computer assisted

interpretation involving IPI software. The final interpreted results were used for the preparation of geoelectric sections.

A total of 6 drill holes, were drilled at the depth ranges between 38.0m and 40.0m to figure out the subsurface layers and their geotechnical properties.

Undisturbed (UD) and disturbed (SPT) soil samples were collected at every 1.5m of depth in the boreholes (SK-2, SK-4 and SK-5) as shown in Fig. 1. These samples were preserved in polythene bags and transported to the laboratory within a period of 24 hours after collection. These samples were air dried by spreading them out on trays in a worm room for four days. Geotechnical tests including grain size analysis, Atterberg limits, consolidation and triaxial tests were conducted. Pressiometer tests were applied at the boring holes SK-1, SK-3 and SK-6 to figure out the mechanical properties of the soil layers.

RESULTS AND DISCUSSION

Geophysical Results

Seismic results

Reciprocal seismic refraction studies were conducted. Three layers were identified and their P-and S-wave velocities, and thicknesses were determined from the seismic studies. The topsoil deposits clay/silt/sand with the thickness varies between 3,78m and 4,52m, and P-and S- wave velocities 561-644m/s and 204-234m/s respectively were obtained. Below this layer of P- and S- wave velocities 672-776m/s and 256-296 m/s respectively, the stratum is medium-hard consistency silty sand with the thickness of 11.5 – 14.5m underlain by the third layer formed of hard consistency silty clayey sand with P- and S- wave velocities ranged between 842-909m/s and 330-357m/s respectively (Fig 2). The dynamic properties related to these layers are given in Table 1.

Table 1. Dynamic properties of the soils

| Profile No | Layer No | Vp (m/s) | Vs (m/s) | ρ (gr/cm ³) | E (kg/cm ²) | G (kg/cm ²) | σ | h1 (m) | h2 (m) | K (kg/cm ²) | qs (kg/cm ²) | a | To (s) |
|------------|----------|----------|----------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|--------|--------|-------------------------|--------------------------|-----|--------|
| Sis-1 | I | 561 | 204 | 1,71 | 2030 | 713 | 0,42 | 4,09 | 14,45 | 4442 | 0,84 | 3,0 | 0,62 |
| | II | 672 | 256 | 1,73 | 3225 | 1140 | 0,41 | | | 6303 | 1,07 | | |
| | III | 909 | 357 | 1,78 | 6385 | 2265 | 0,41 | | | 11711 | 1,52 | | |
| Sis-2 | I | 618 | 225 | 1,72 | 2477 | 870 | 0,42 | 3,78 | 13,41 | 5419 | 0,93 | 3,0 | 0,62 |
| | II | 753 | 287 | 1,75 | 4093 | 1447 | 0,41 | | | 8001 | 1,21 | | |
| | III | 857 | 336 | 1,77 | 5641 | 2002 | 0,41 | | | 10346 | 1,43 | | |
| Sis-3 | I | 644 | 234 | 1,73 | 2703 | 949 | 0,42 | 4,52 | 13,53 | 5913 | 0,97 | 3,0 | 0,62 |
| | II | 744 | 284 | 1,75 | 3988 | 1409 | 0,41 | | | 7796 | 1,19 | | |
| | III | 872 | 342 | 1,77 | 5849 | 2075 | 0,41 | | | 10728 | 1,46 | | |
| Sis-4 | I | 595 | 216 | 1,72 | 2288 | 804 | 0,42 | 4,16 | 14,41 | 5006 | 0,89 | 3,0 | 0,62 |
| | II | 776 | 296 | 1,76 | 4362 | 1542 | 0,41 | | | 8528 | 1,25 | | |
| | III | 849 | 333 | 1,77 | 5528 | 1962 | 0,41 | | | 10140 | 1,41 | | |
| Sis-5 | I | 565 | 205 | 1,71 | 2057 | 722 | 0,42 | 3,95 | 11,53 | 4500 | 0,84 | 3,0 | 0,63 |
| | II | 738 | 282 | 1,75 | 3927 | 1388 | 0,41 | | | 7676 | 1,18 | | |
| | III | 842 | 330 | 1,77 | 5429 | 1926 | 0,41 | | | 9958 | 1,40 | | |

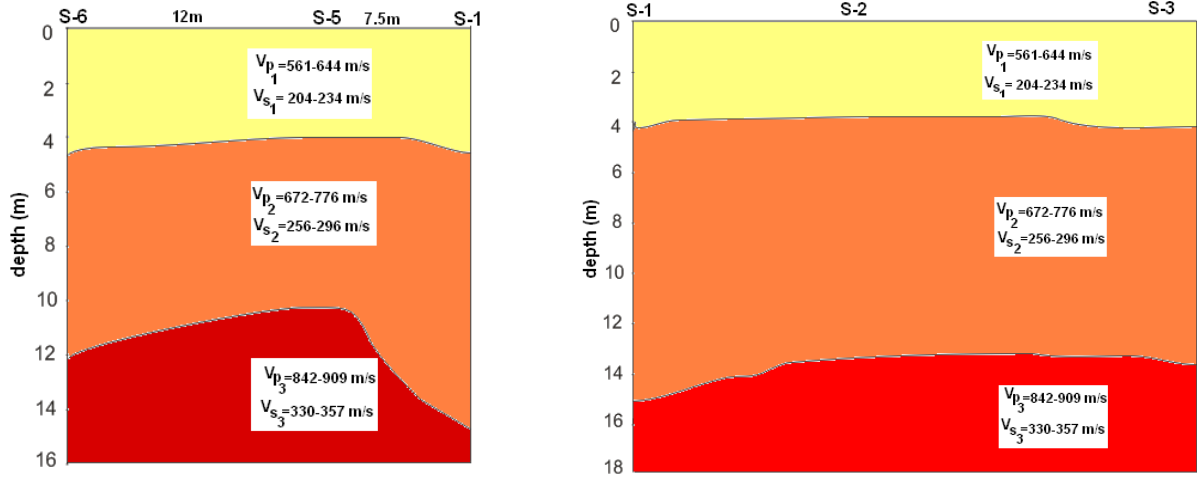


Fig. 2. Seismic cross sections: (a) through SK-6 and SK-1, (b) SK-1 and SK-3

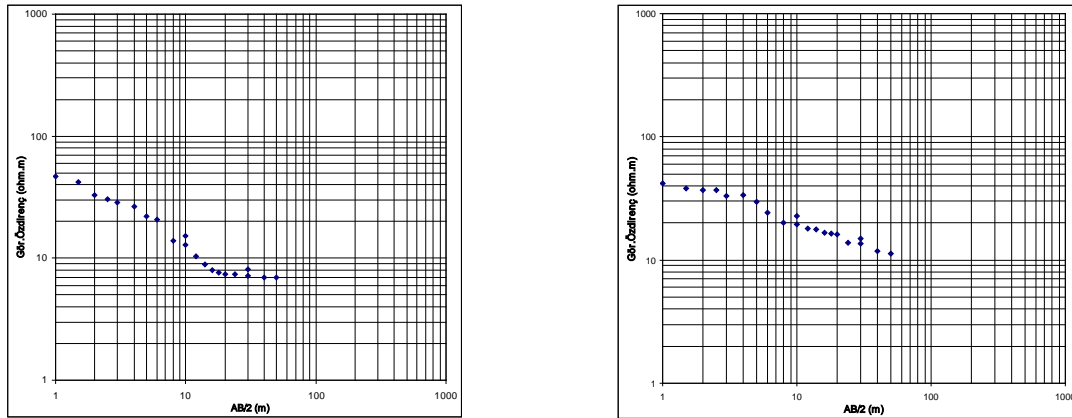


Fig. 3. Resistivity curves (a) for RES-3, (b) for RES-5

Goelectric Parameters

The VES interpretation results were used (Fig. 3) to prepare 2-D goelectric sections illustrated in Fig. 4. The goelectric sections describe maximum of three geologic subsurface layers comprising the topsoil, weathered and partly weathered layer. The topsoil is composed of clay/silt/sand with resistivity values range from 18 to 45 Ω m and thickness of between 0.90-1.51m. The weathered layer consists of silty sand with the resistivity value ranging between 19-52 Ω m and partly weathered layer is composed of silty clayey sand with the resistivity values range from 7 to 12 Ω m.

Where V_p and V_s are the P- and S-wave velocities, ρ : density, E: elasticity modulus, G: Shear modulus, σ : Poisson's ration, h_1 and h_2 : Thicknesses of the first and second layers, K: Bearing coefficient, q_s : Safety bearing capacity, a: Soil magnification, T_0 : Natural soil period.

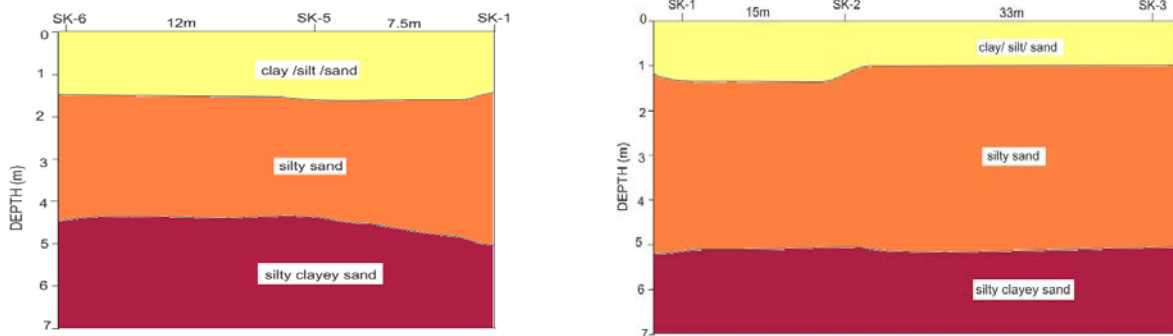


Fig. 4. Geoelectrical cross sections (a) through SK-6 and SK-1, (b) SK-1 and SK-3

Correlation of Seismic refraction and Electrical Resistivity Geoelectrical Sections

Seismic refraction sections and resistivity geoelectrical sections (Figs 2 and 4) were prepared along the same traverses (SK-6- SK-1, and SK-1-SK-3). Comparison of the figures shows that even though the geoelectrical sections look alike, the depth variations for topsoil 2.5-3.0m, for weathered layer 5-6m exist between the seismic refraction and electrical results. This may be due to the fact that two methods respond to different properties of soil.

Geotechnical Results

Index results

Fig. 5 shows the SPT values obtained in bore-hole SK-4 which are very similar to the SPT values of other bore holes. The N_{30} values vary between 23 and 30 indicating that the consistency of the formations ranges from stiff to hard (Peck et al. 1953).

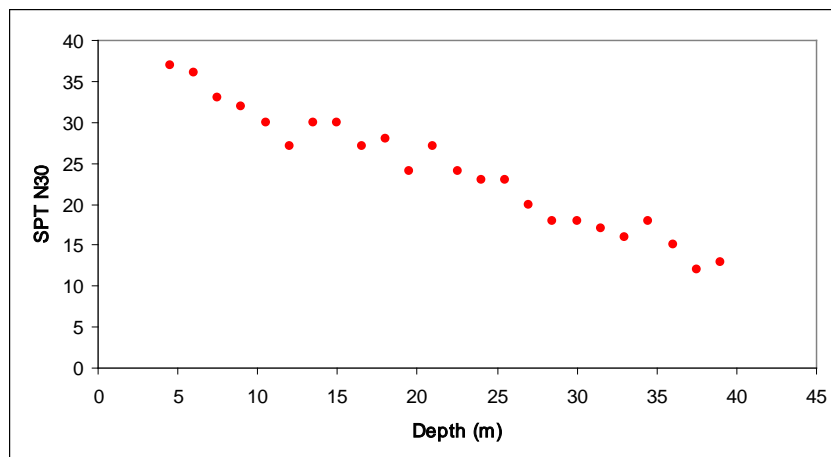


Fig. 5. Variation of SPT N30 values with depth

Table 2 shows the summary of geotechnical results of the SPT and UD samples collected from bore-hole SK-5. The natural water content of tested soil samples varies between 19.65 and 34.0%. This indicates that the natural water content of the soil in this area is of medium at its natural state. From the grading curves (Fig. 6) the soils can be classified as well graded soil. The tested soils have percentage finer (percentage passing 0.075mm) varies between 15.75% and 95.05%. the soils that are largely made up of fine particles are likely to have poor geotechnical properties as foundation materials than soils that are largely made up of coarse particle.

Table 2. Index properties of SPT and UD samples collected in bore-hole SK-5

| Bore-hole No | Sample | Depth (m.) | Water content (%) | Soil class | Atterberg limits | | | Compression index (Cc) | Consistency index (Ic) | Consistency | Compressibility | Swelling | Dry strength | Expansion |
|--------------|--------|-------------|-------------------|------------|------------------|-------|-------|------------------------|------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | | | | LL | PL | PI | | | | | | | |
| | | | | | (%) | (%) | (%) | | | | | | | |
| SK-5 | SPT-1 | 4.50-4.95 | 19.65 | SM | | NP | | | | | | | | |
| SK-5 | SPT-3 | 7.50-7.95 | 21.5 | SM | | NP | | | | | | | | |
| SK-5 | SPT-6 | 12.00-12.45 | 29.76 | CL | 47.50 | 19.62 | 27.88 | 0.43 | 0.64 | stiff | high | medium | Medium-high | Not-very slow |
| SK-5 | UD-1 | 16.00-16.50 | 27.45 | CL | 46.24 | 21.01 | 25.23 | 0.42 | 0.74 | stiff | high | medium | Medium-high | Not-very slow |
| SK-5 | UD-2 | 17.50-18.00 | 34.005 | CH | 53.37 | 19.21 | 34.16 | 0.48 | 0.57 | stiff | high | medium | high-Very high | Slow-not |
| SK-5 | SPT-12 | 21.00-21.45 | 31.07 | CH | 52.04 | 18.72 | 33.32 | 0.47 | 0.63 | stiff | high | medium | high-Very high | Slow-not |
| SK-5 | YSK-5 | 24.00-24.45 | 27.18 | CH | 57.56 | 21.39 | 36.17 | 0.52 | 0.84 | stiff | high | high-Very high | high-Very high | Slow-not |
| SK-5 | UD-3 | 28.00-28.50 | 28.85 | CH | 51.34 | 20.81 | 30.53 | 0.46 | 0.74 | stiff | high | medium | high-Very high | Slow-not |
| SK-5 | UD-4 | 36.50-37.00 | 26.3 | CL | 47.50 | 20.79 | 26.71 | 0.43 | 0.79 | stiff | high | medium | Medium-high | Not-very slow |

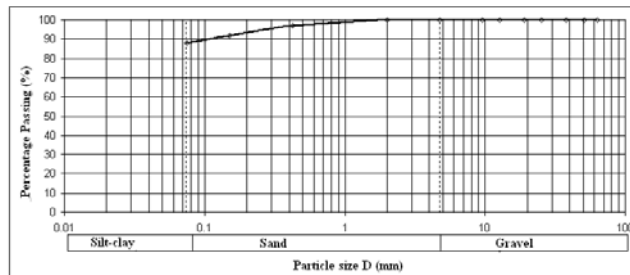


Fig. 6. Typical grain size distribution curve

As shown in Table 2. the liquid limit of the soil samples range from 46.24-57.56%, the plastic limit varies between 19.62-21.39%, and the plasticity index ranges from 26.71-36.17%. The tested soil samples are of hard consistency limits indicating high percentage of clay content in the soil. Generally, soils having high values of liquid and plastic limits are considered poor as foundation materials.

The compressibility index of the soil samples ranges from 0.63-0.84 indicating that the compressibility of the soil is high (Sowers 1979), (Table 2). The plasticity index of the soil samples varies between 25.23-36.17 indicating that the soils are ‘plastic-very plastic’ and have the dry consistency as ‘medium-high’ (Leonards 1972). The range of plasticity index shows that the swelling degree of the soil is ‘medium-high’ (Gibs and Holtz 1956). The dry consistency of the soils ‘medium-high’ for CL-class, ‘high-very high’ for CH-class.

Groundwater and Surface Water

The soils in the investigation area have different groundwater potential depending on their lithologic and fine grained ratio. The groundwater readings were performed within 24 hours after the end of drillings. The groundwater levels of the bore-holes range from 2.0-6.70m as shown in Table 3. The water samples collected from the bore-holes were analyzed to investigate harmfulness in term of concrete and steel. The analysis of the results is given in Table 4.

Table 3. Groundwater levels in the bore-holes

| Bore-hole No | Ground water level (m) | Bore-hole No | Ground water level (m) |
|--------------|------------------------|--------------|------------------------|
| SK-1 | 6,70 | SK-4 | 6,50 |
| SK-2 | 3,00 | SK-5 | 6,50 |
| SK-3 | 2,00 | SK-6 | 6,00 |

Table 4. The results of analysis of water samples collected from the boreholes

| Parameters | SK-1 | SK-4 | SK-5 | SK-6 | Up stream | Down stream | TS 266 Limit values |
|---|------|------|------|------|-----------|-------------|---------------------|
| PH | 7,45 | 7,28 | 7,33 | 7,21 | 7,12 | 7,24 | 6,5-9,2 |
| Dissolved oxygen mg/l. | 9,6 | 9,3 | 9,8 | 8,6 | 1,3 | 1,8 | - |
| Organic matter mgO ₂ /lt. | 3,3 | 3,1 | 2,9 | 2,3 | 3,4 | 3,2 | 3,5 |
| Total hardness CaCO ₃ (mg/l) | 240 | 250 | 230 | 260 | 90 | 80 | 500 |
| Coliform | 38 | 33 | 42 | 36 | 45 | 48 | 50 |

Permeability Test

The soil samples collected from bore-hole SK-2 (23.50-24m), SK-4 (16.0-16.50m) and SK-5 (17.50-18m) were subjected the fixed-level permeability test. The permeability coefficients were determined for these bore-holes as 5.06×10^{-8} cm/s, 6.00×10^{-8} cm/s and 5.92×10^{-8} cm/s respectively and interpreted as 'not permeable-very low permeable'.

Triaxial test results

Triaxial test was conducted on the UD soil samples collected from different depths of the bore-holes (SK-2, SK-4, SK-5) as shown in Table 5. The cohesion of the soil samples was determined between 38.0 and 53.0 kPa and angle of internal friction was obtained between 2° and 4°.

Table 5. Triaxial test results

| Bore- hole No | Sample type | Depth(m) | Cohesion (kPa) | Internal friction angle (Φ) |
|---------------|-------------|-------------|----------------|------------------------------------|
| SK-2 | UD-1 | 14.00-14.50 | 40 | 2 |
| SK-2 | UD-2 | 17.00-17.50 | 43 | 2 |
| SK-2 | UD-3 | 23.50-24.00 | 47 | 3 |
| SK-4 | UD-1 | 12.50-13.00 | 38 | 2 |
| SK-4 | UD-2 | 16.00-16.50 | 44 | 2 |
| SK-5 | UD-2 | 17.50-18.00 | 41 | 3 |
| SK-5 | UD-3 | 28.00-28.50 | 53 | 4 |

Consolidation properties

Consolidation properties of the soils were conducted on 7 undisturbed samples, collected from 12.50m to a depth of 28.50m, using the odometer device based on ASTM (1985) standards. Graphics of pressure (logarithmic) – void ratio were drawn using the data obtained from tests. Consolidation coefficient (C_v), volumetric compression coefficient (M_v) and compression indices (C_c : compression index and C_r : recompression index) were determined from these graphics. Over consolidation ratio

(OCR) was computed dividing preconsolidation pressure (P_c) to initial effective vertical stress (P_o). Preconsolidation pressure and compression indices were graphically determined. The preconsolidation pressure was determined from the laboratory curves by the procedure proposed by Casagrande (Table 6).

Table 6. Consolidation parameters

| Bore-hole No: | Sample | Depth (m) | P_o | P_c | OCR | e_o | C_r | C_c |
|---------------|--------|-------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| SK-4 | UD-1 | 12.5-13.0 | 0.19 | 1.8 | 9.47 | 1.04 | 0.082 | 0.195 |
| SK-4 | UD-2 | 16.0-16.50 | 0.86 | 2.8 | 3.25 | 1.16 | 0.073 | 0.163 |
| SK-5 | UD-2 | 17.50-18.00 | 0.82 | 3.1 | 3.78 | 1.03 | 0.07 | 0.218 |
| SK-2 | UD-3 | 23.5-24.0 | 0.85 | 4.0 | 4.7 | 0.95 | 0.082 | 0.146 |
| SK-5 | UD-3 | 28.0-28.5 | 0.91 | 3.8 | 4.11 | 0.83 | 0.072 | 0.168 |

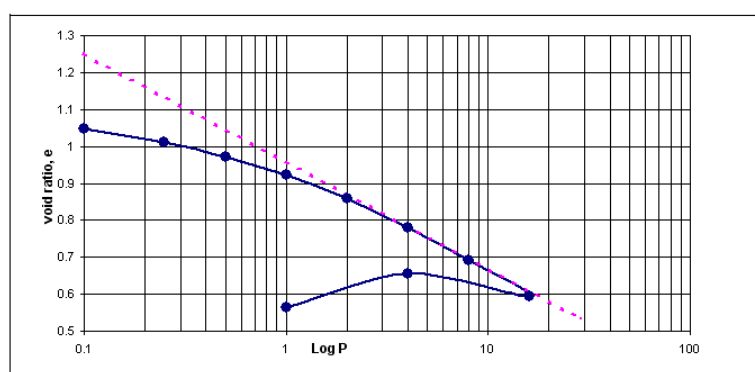


Fig. 7. e-logP graphic of consolidation test for bore-hole SK-2

The coefficients of consolidation (C_v) were obtained from the laboratory tests for various depths. For a pressure interval of 1–4 kg/cm^2 , an average (C_v) value for consolidation settlement time is taken as 0.0089 cm^2/s . The C_v values are within the range of 0.0075-0.02 cm^2/s for the loads 0.1-16 kg/cm^2 and do not show any relationship with depth (Table 7).

Table 7. Consolidation test results for bore-hole SK-2

| Specific gravity $G_s = 2.68$ | Water content $W = 20.99$ | | Final void ratio $e_f = 0.5625$ | | First sample height $H_0 = 20\text{mm}$ | | | Compression index $C_c = 0.29$ | | |
|--|------------------------------|-------|------------------------------------|-------|--|--------|--------|-----------------------------------|--------|-------|
| | 0.1 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 4 | 1 |
| Load (kg/cm^2) | 0.1 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 4 | 1 |
| H_0 (mm) | 20 | 19.28 | 18.95 | 18.58 | 18.1 | 17.5 | 16.77 | 15.95 | 15.01 | 15.59 |
| Last reading | 72 | 105 | 142 | 190 | 250 | 323 | 405 | 499 | 441 | 528 |
| dH (mm) | 0.72 | 0.33 | 0.37 | 0.48 | 0.6 | 0.73 | 0.82 | 0.94 | -0.58 | 0.87 |
| Hf (mm) | 19.28 | 18.95 | 18.58 | 18.1 | 17.5 | 16.77 | 15.95 | 15.01 | 15.59 | 14.72 |
| de | 0.076 | 0.035 | 0.039 | 0.05 | 0.063 | 0.077 | 0.087 | 0.0998 | -0.061 | 0.09 |
| Void ratio (e) | 1.047 | 1.011 | 10.97 | 0.92 | 0.86 | 0.78 | 0.69 | 0.59 | 0.65 | 0.56 |
| Compressibility a_v (cm^2/kg) | 0.23 | 0.16 | 0.1 | 0.063 | 0.087 | 0.0217 | 0.012 | 0.0051 | | |
| Volumetric compression mv (cm^2/kgf) | 0.11 | 0.078 | 0.051 | 0.033 | 0.0387 | 0.012 | 0.0074 | 0.0032 | | |
| Consolidation time T_{90} (min) | 42.15 | 39.01 | 30.737 7.41 | 66.89 | 80.36 | 81.42 | 66.12 | 73.53 | | |
| Cons. Coef. C_v (cm^2/min) | 0.020 | 0.02 | 0.0098 | 0.01 | 0.0086 | 0.0079 | 0.009 | 0.007 | | |

Where H_0 : thickness variation, dH: height at the end of the experiment, de: void ratio variation. The e-LogP graphic of the consolidation test is given in Fig 7. As seen from the graphic that the void ratio (e) is found as $e = 1.25$ for point load 0.1 kg/cm^2 , and $e = 0.534$ for point load 29 kg/cm^2 .

Bearing Capacity

The minimum bearing capacity of the soil was figured out as $q_u=3.68 \text{ kg/cm}^3$ considering $C=40\text{kPa}$, $\Phi=2^\circ$ and $N_c=5.63$, $N_q=1.20$, $N_\gamma =0.01$ and $B=45.0\text{m}$, $D_f= 20.0\text{m}$, $K_1=1.12$ and $K_2=0.46$ in Terzaghi's equation .

$$q = K_1 * c * N_c + C_w * (D_f * (\gamma_1 - 1) * N_q) + C_w * (K_2 * (\gamma_2 - 1) * B * N_\gamma) \quad (1)$$

where

q_u : Bearing capacity

c : Cohesion

N_c, N_q, N_γ : Coefficients of bearing capacity

D_f : Foundation depth

B : Foundation width

γ_n : Unit weight

$K_1 - K_2$: Coefficient related to foundation shape

The net bearing capacity was calculated from the following equation

$$q_{ult} = q_u + (\gamma_n * D_f) = 7.27 \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

and the safety bearing capacity was determined

$$q_{all} = q_{ult} / FS \quad (3)$$

where FS is safety coefficient. Considering $FS=4$

$$q_{all} = 1.82 \text{ kg/cm}^2$$

is obtained. The maximum safety bearing capacity of the soils was determined as 2.01 kg/cm^2 considering $C=47\text{kPa}$, $\Phi=3^\circ$ and $N_c=5.90$, $N_q=1.31$, $N_\gamma =0.03$ and $B=35.0\text{m}$, $D_f= 20.0\text{m}$, $K_1=1.12$ and $K_2=0.46$ in Terzaghi's equation.

Pressiometer test results

Pressiometer test was applied at the depth between 12.0-36.0 m to figure out the mechanical properties of the soils. The elasticity modulus ranges from 89.14 to 36.0 kg/cm^2 and the net limit pressure (PL) varies between 0.5-7.0 kg/cm^2 . The bearing capacity was calculated from the following equation

$$q_{ult} = k * (PL^*)_c \quad (4)$$

where,

$k=1+0.4*(B/L)$, $B=35.0\text{m}$, $L=D_f =20.0\text{m}$, and $(PL^*)_c$ is the geometric mean of (PL^*) values. The Boring log of SK-1 is given in Fig 8., and bearing capacity and the safety bearing capacity determined from the boring log are given in Table 8.

Table 8. Bearing capacity and the safety bearing capacity values determined from pressiometer test conducted in bore-hole SK-1

| Depth | Net limit pressure (PL*) | k | (PL*) _c | Bearing capacity | Safety bearing capacity |
|-------|--------------------------|------|--------------------|------------------|-------------------------|
| (m) | (kPa) | | kPa | (kPa) | (kPa) |
| 12 | 175 | 1.23 | 208 | 256 | 128 |
| 14 | 200 | | | | |
| 28 | 275 | | | | |
| 34 | 200 | | | | |
| 36 | 200 | | | | |

Compaction results determined by Pressiometer tests

The amounts of the compaction of the soils for the load 60 kPa applied to soils for the foundation width $B=35\text{m}$ and depth $L=60\text{m}$ were calculated between 3.9-1.4cm.

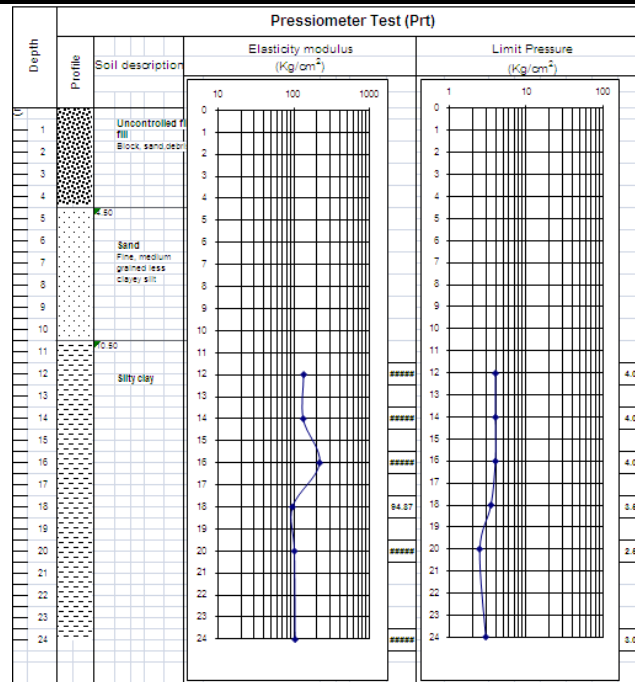


Fig. 8. Boring log of bore-hole SK-1

Bearing Coefficient results

The bearing coefficients in vertical direction were calculated using the SPT N_{30} values determined in bore-holes SK-2, SK-4, and SK-5 with the following equation (Meyerhof 1965)

$$K_s = 0.75 \times N_{30} \quad (\text{mN/m}^3) \quad (5)$$

The calculated vertical bearing coefficient values for bore-hole SK-2 are given in Table 9 as (t/m^3)

Table 9. Calculated vertical bearing coefficients for bore-hole SK-2.

| Depth (m) | SPT N_{30} | Vertical bearing coefficient (t/m^3) |
|-----------|--------------|---|
| 18.00 | 23 | 1692 |
| 19.50 | 23 | 1692 |
| 21.00 | 24 | 1766 |
| 22.50 | 27 | 1987 |
| 24.00 | 24 | 1766 |
| 25.50 | 28 | 2060 |
| 27.00 | 27 | 1987 |
| 28.50 | 30 | 2207 |
| 30.00 | 30 | 2207 |

Engineering Analysis and Evaluations Classification of decomposed soil types

According to 'Regulation about the Structures that will be Built in Disaster Regions, 2007' and Turkish Earthquake Code, the local soil class of the soils were determined as 'Z4', soil group 'D', effective soil acceleration coefficient $A_0=0.40$, building importance factor 'I=1.5' and the spectrum characteristic periods TA and TB as 0.20 and 0.90 (s). Soil dominant vibration period and soil magnification were calculated as 0.62-0.63 (s) and 3.0 respectively.

Results of liquefaction Analysis

Liquefaction occurs in saturated soil composed of uniform grained silt and fine sand. Liquefaction occurs (based on the Chinese criteria) to have the following characteristics (Seed et al. 1983; Wang 1979);

Percent finer than 0.005 mm (5 microns) <15%
Liquid limit < 35 %
Water content > 90% of LL

SM soils are located in the upper levels and CL-CH soils in lower layers. The sand unit with the thickness of 11m will be removed with the foundation excavation that will be 20 m in the investigation area. For that reason liquefaction is not envisaged.

Seismicity of the region

The study area is located in the Marmara region which is an active tectonic zone of Turkey characterized by the transition between the dextral strike-slip regime of the North Anatolian Fault (NAF) and the extension regime of the Aegean Sea. The NAF with a length of 1500 km is the most active component in the tectonic evolution of Anatolia, and is one of the most active and largest strike-slip faults in the world (Ulutaş and Özer 2010). The last destructive earthquakes in NAF and in the vicinity of the site were the 1999 Izmit (Mw 7.4) and the 1999 Duzce (Mw 7.2) earthquakes. The earthquakes caused heavy damage in the region between Adapazarı, Hendek, Akyazı and Arifiye. And also the Kocaeli and Düzce earthquakes highlighted the potential effects of local site conditions on the amplification of ground motions and provided the most extensive earthquake data sets ever recorded in Turkey (Ulutaş et al. 2011).

Ulutaş (2006) assessed the spatial distributions of seismicity and seismic hazard for Marmara region, Northwestern part of Turkey. The earthquake frequency–magnitude relationship is a known way to examine the seismic activity level in any seismogenic area . The frequency–magnitude distribution of earthquakes introduced by Ishimoto and Lida (1939) and Gutenberg and Richter(1944), can be formulated as:

$$\log_{10} N = a - bM \quad (6)$$

where N denotes the exponential distribution of the cumulative number of earthquakes for a single magnitude M, and “a” and “b” are constants describing the activity and slope, respectively. Ulutaş (2006) divided the Marmara region into 9 subregions according to the seismotectonic properties of the areas for the estimation of seismicity parameters. The b value from the Gutenberg–Richter frequency–magnitude distributions was calculated by the classic way and the new alternative method both using the least squares approach. According to the Ulutaş (2006) calculations corresponding to the study area, the a value is found to be equal to 4.26 and b value is found to be equal to 0.57 based on the compiled earthquake catalog by Ulutaş et al. (2003) for the period of 1901-2001. The calculated a and b value show the relation to the tectonics of the area and earthquake activity. The sets of recurrence parameters (a, b-value and Mmax) were estimated for the seismotectonic sources in Marmara region. The recurrence period of 6.0, 6.5 and 7.0 magnitude earthquakes were determined as 47, 66 and 168 years respectively (Ulutaş et al. 2003)

CONCLUSION

The geophysical results revealed three subsurface layers within the investigation area comprising of topsoil, weathered layer and partially weathered layer. The topsoil is thin with the thickness varying 3.78-4.52m and consisted of clay/silt/sand while the weathered layer composed of silty sand with the thickness range from 11.5-14.5 m. The partly weathered layer is formed of silty clayey sand. There is no evident of geological feature such as intensive fault/fracture within the geologic layers. The seismic refraction studies show that the soil layers are of low seismic velocities. The geotechnical results show that the soils are generally of medium natural water content and high clay content as revealed by the percentage passing 0.075mm. SPT N_{30} values varying between 13-32 indicate that the consistency of soils is ranged from 'stiff to hard'. Since the plastic index of the soils within the area are between 26.71-36.1%, the soil can be judged to be 'plastic-very plastic', have dry consistency as 'medium-high', hence, the soils are expected to exhibit 'medium-high' swelling potential.

Deduction from the above is that, the partly weathered layer may be related as relatively good as a foundation material. The foundation of the proposed civil structure can be hosted by this formation. The nature of this layer has to be considered in the design of the foundation.

REFERENCES

- Akintorinwa OJ, Adeusi FA (2009) Integration of geophysical and geotechnical investigation for a proposed lecture room complex at the Federal University of Technology, Akure, SW, Nigeria, *Journal of Applied Science* 2(3), 2009. 241-254
- ASTM, American Society for Testing and Material (1985) *Annual Book of ASTM Standards Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction, V.04.08*, ASTM Publication, 972, 166–194
- Bozkurt A, Kurtulus C (2009) Integrated geological, geophysical and geotechnical exploration for site characterization in Alikahya region, (NW Turkey), *Uygulamali Yerbilimleri Dergisi*, sayı, C8, 1-17
- Gibbs HJ, Holtz WG (1957) *Identification and Classification of Soils An Appraisal, and Statement of Principles ASTM-STP 113 American Soc. for Test and Mat Philadelphia* 3-24, 85-91
- Gutenberg B, Richter CF (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Amer*, 34, 185–188
- Ishimoto, M., Lida, K., 1939. Observations of earthquakes registered with the micro- seismograph constructed recently. *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 17, 443–478.
- Kurtulus C, Bozkurt A, Endes H, Alkan MA (2010) Engineering and physical characteristics of the Akveren formation, NW of Turkey, 14 *ECEE*, 1, 645
- Leonards GA (1962) *Foundation Engineering* Mc. Graw-Hill Book Company 11363 NewYork USA 3-24, 85-91
- Luna, R, Jadi, H (2000) Determination of dynamic soil properties using geophysical methods. *Proceed-ings of the First International Conference on the Ap-plication of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure—Geophysics 2000*. Federal Highway Administration, Saint Louis, MO. Paper No. 3 –1, 15

Meyerhof G (1965) Shallow foundations. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, 91(SM2): 21 – 31

Momoh LO, Akintorinwa O, Olorunfe MO (2008) Geophysical Investigation of Highway Failure - A Case Study from the Basement, Complex Terrain of Southwestern Nigeria, Journal of Applied Sciences Research, 4(6): 637-648

Ozcep F, Guzel M, Kepekci D, Laman M, Bozdog S, Cetin H, Akat A (2009) Geotechnical and Geophysical studies for wind energy systems in earthquake-prone areas: Bahce (Osmaniye, Turkey) case. International Journal of Physical Sciences Vol. 4. (10), 555-561

Peck R, Hanson WE, Thornburn TH (1953) Foundation Engineering: John Wiley & Sons, New York, 410

Seed HB, Idriss IM, Arango I (1983) Evaluation of Liquefaction Potential using Field Performance data. Journal of Geotechnical Eng, ASCE, 109(3); 458-482

Soupios PM, Papazachos CB, Vargemezis G, Fikos I (2005) Application of seismic methods for geotechnical site characterization, International Workshop in Geoenvironment and 1 Geotechnics, September 2005, Milos island, Greece, 1-8

Sowers GF (1979) Intraductory Soil Mechanics and Foundations 4 th. Edition Collier, MacMillian International edition McMillian Publishing Company New York USA

Ulutaş E, Güven IT, Irmak TS, Sertçelik F, Tunç B, Çetinoğlu T, Caka D, Özer MF, Kenar Ö (2003) Doğu Marmara Bölgesi İçin Deneysel En Büyük Yatay İvme Uzaklık Azalım İlişkisi ve İzmit'in Probabilistik Deprem Tehlikesi., Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, Kocaeli. Bildiri Özetleri Kitabı, 133 (In Turkish)

Ulutaş E (2006) Seismic Zonation of Eastern Marmara Region, Seismic Microzonation of Kocaeli Province and İzmit Urban Area, Thesis (PhD), University of Kocaeli, Institute of Science and Technology, Kocaeli (In Turkish)

Ulutaş E, Özer MF (2010) Empirical attenuation relationship of peak ground acceleration for Eastern Marmara region in Turkey. *Arab. J. Sci. Eng.*, **35**, 187-203

Ulutaş E, Coruk O, Karakas A (2011) A Study Of Residuals For Strong Ground Motions In Adapazari Basin, Nw Turkey, By Ground Motion Predictions Equation (GMPEs), *Studia geoph, et geod.*, 55.

Wang W (1979) Some Findings in Soil Liquefaction, Report Water Conservancy and Hydro-electric Power Scientific Research Institute, Beijing, China, 1-17