



**JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI
KOCAELİ ŞUBESİ**

**JEOFİZİKTE
HASARSIZ YAPI İNCELEME
ÇALIŞTAY KİTAPÇIĞI**

İZMİT TİCARET ODASI KONFERANS SALONU

15 EKİM 2015

Editörler Ertan PEKŞEN - Metin AŞCI

Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ

Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ

Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Doç Dr. Ünal DİKMEN

Yrd.Doç.Dr. Osman UYANIK

Yrd.Doç.Dr. Ertan PEKŞEN

Arş.Gör. İsmail KAPLANVURAL





ARE JEOTEKNİK

MÜH. MÜŞ. İNŞ. TAAH. VE TİC. LTD. ŞTİ.

ARE JEOTEKNİK Müh. Müş. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti.:

konularında uzman kadrosunun deneyim ve referansları, alet ekipman ve uzman akademisyen danışmanları ile hizmet vermektedir.

HİZMETLERİMİZ

Zemin etüt çalışmaları

İmar planına esas jeolitik-jeoteknik-jeofizik etütleri

Deprem ve fay araştırmaları

Sondaj çalışmaları

Jeofizik araştırmalar

Jeotermal ve genel yeraltı araştırmaları

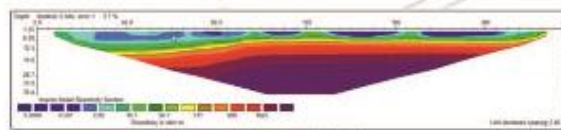
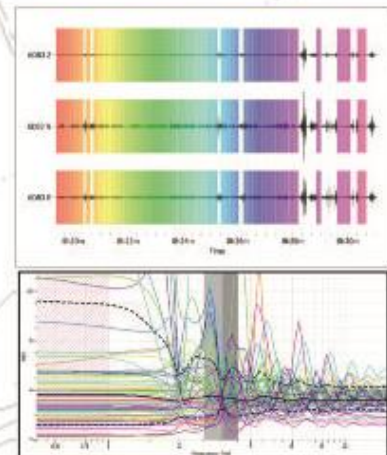
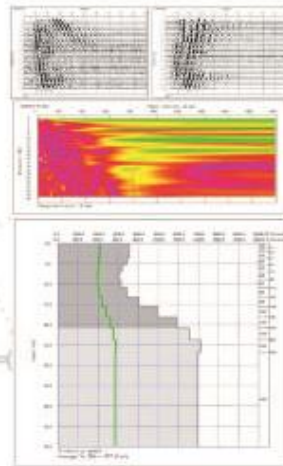
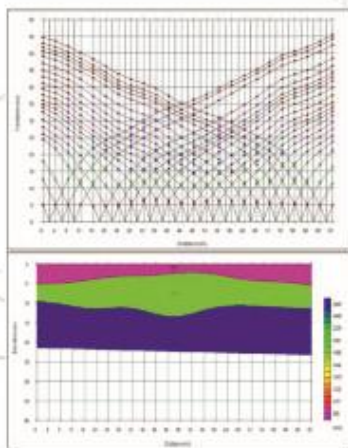
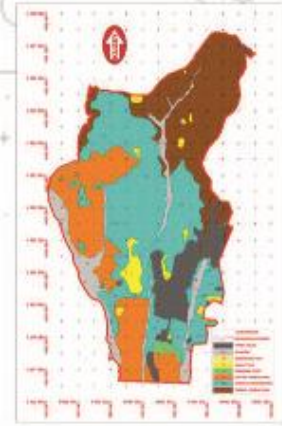
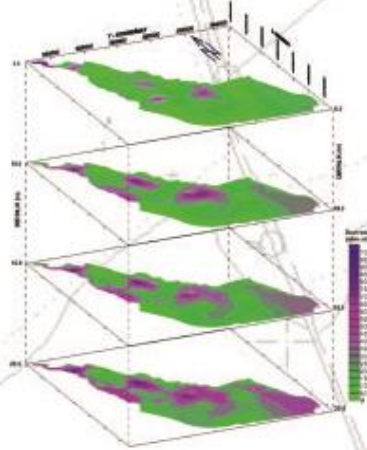
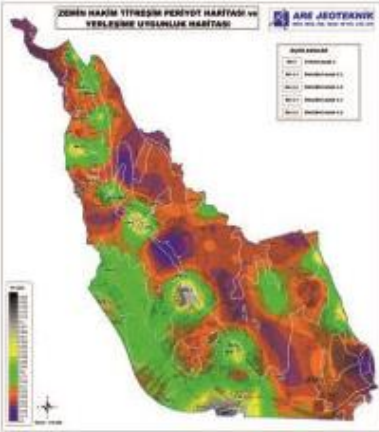
Kanalizasyon ve içme suyu etütleri

Maden aramaları

Yamaç ve şev stabilite etütleri

Mühendislik jeolojisi/jeofiziği harita yapımı

Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvar Hizmetleri



Gökkuşağı Mah. Gökkuşağı Cad. No:61/2 Çankaya / Balgat / ANKARA

Tel: (0312) 475 23 03 - Fax: (0312) 475 18 11

E-mail: are@arejeoteknik.com.tr - Web: www.arejeoteknik.com.tr

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Düzenleme Kurulu Üyeleri

M. Zeki TİĞ

Metin AŞÇI

Ertan PEKŞEN

Nebi CANPOLAT

Mustafa CEVHER

Sibel GÖRGÜLÜ

Arzu ALYÜZ

Kurumu

ABM Mühendislik

Kocaeli Üniversitesi

Kocaeli Üniversitesi

Sismotek Mühendislik

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi

Jeofizik Mühendisi

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
Kentsel Dönüşüm Kapsamında Yapı Sağlamlık Testlerinin Uygulanması ve Bu Testlerde Jeofizik Metotların Yeri (Cengiz KURTULUŞ)	5
Yapı Hasarları İçin Kalıcı Yer Değiştirme ve Eğikliklerin Belirlenmesi (Bahadır AKTUĞ)	39
Tahribatsız Yapı İncelemelerinde Microtremor Yöntemi (Ünal DİKMEN)	46
Betonarme Binaların Ultrasonik Sismik Hızlardan Beton Dayanımının Belirlenmesi (Osman UYANIK)	61
Yer Radarı Çalışmaları ile Yapı Elemanlarının Görüntülenmesi (Ertan PEKŞEN)	70
Yer Radarı Verilerinden Betonun Su İçeriğinin Hesaplanması (Ertan PEKŞEN)	83
Yer Radarı Yöntemi ile Yapıların Boru Tesisatının İç ve Dış Malzemesinin Belirlenmesi (İsmail KAPLANVURAL)	88
Bozuşmuş Kum Taşı Kolonunda Yer Radarı Çalışması (İsmail KAPLANVURAL)	91
Yapı Jeofiziğinde Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler (M. Emin CANDANSAYAR)	96
Sismik Hızlar ile Saptanabilen Zemin ;Parametreleri (Ali KEÇELİ)	105

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

ÖNSÖZ

Zemin araştırmalarında jeofizik yöntemlerin uygulanması günümüzde vazgeçilmez hale gelmiştir. Bunda zemin probleminin daha iyi anlaşılıp çözülmek istenmesi kadar meslektaşlarımızın akademisyenlerimizin çalışmaları da etken olmuştur. Sismoloji, Yer Fiziği ve Uygulamalı Jeofizik diye üç anabilim dalı ile temsil edilen Jeofizik, yakın bir gelecekte zemin araştırmaları veya zemin incelemeleri adı altında yeni bir anabilim dalına ihtiyaç duyacaktır. Başlangıçta jeofizik disiplinin zemin etütleri ile ilgilenmesi, diğer disiplinlerce kendi disiplinlerine ve buna bağlı iş alanlarına saldırı olarak görülmüştür. Ancak zaman içerisinde bunun bir saldırı değil zeminin daha iyi anlaşılması için bir gereklilik olduğu ortaya çıkmıştır. Yani jeofizik disiplini kimsenin elinden işini almamış, kendisini işin içine sokmayı başarmıştır. Önceleri sismik kırılma ile başlayan zemin çalışmaları şimdilerde vazgeçilmez hale gelen yüzey dalgalarının çok kanallı analizine kadar gelmiş dayanmıştır. Bu konuma gelebilmek için emek harcayan başta Jeofizik Mühendisleri Odası, Üniversiteler ve Serbest Jeofizik şirket çalışanları sonsuz bir teşekkürü hak etmiştir.

Zemin araştırmalarında olduğu gibi, günümüzde de mühendislik yapılarında hasarsız inceleme adı altında jeofizik disiplininin katkı koyabileceği yeni bir araştırma ve iş kolu ortaya çıkmıştır. Bu durum inşaat mühendisliği disiplinine ait bir araştırma ve iş koluna saldırı değildir. Unutulmamalıdır ki jeofizik disiplini ölçü almaktan ibaret değildir. Jeofizik, aldığı ölçüleri veri-işlemeden geçirerek yorumlayan bir disiplindir.

Düzenlenen bu çalıştayda, mühendislik yapılarında hasarsız inceleme adı altında yeni gelişen jeofizik uygulamaların tanıtımı amaçlanmıştır. Değerli akademisyenlerce yapılan bu çalışmaların meslektaşlarımıza, öğrencilerimize ve konuyla ilgili diğer mühendisliklere ulaştırmak amacıyla da bir çalıştay kitapçığı oluşturduk. Bu kitapçık içeriğinde, Cengiz Kurtuluş (Kentsel dönüşüm kapsamında yapı sağlamlık testlerinin uygulanması ve bu testlerde jeofizik metotların yeri), Bahadır Aktuğ (Yapı hasarları için kalıcı yer değiştirme ve eğikliklerin belirlenmesi), Ünal Dikmen (Tahribatsız Yapı İncelemelerinde Microtremor Yöntemi), Osman Uyanık (Betonarme binaların ultrasonik sismik hızlardan beton dayanımının belirlenmesi), Ertan Pekşen (Yer radarı çalışmaları ile yapı elemanlarının görüntülenmesi, yer radarı verilerinden betonun su içeriğinin hesaplanması) ve İsmail Kaplanvural (Yer radarı yöntemi ile yapıların boru tesisatının iç ve dış malzemesinin belirlenmesi, Bozuşmuş kumtaşı kolonunda yer radarı çalışması) konularında yazarların makalelerini bulacaksınız. Yine bu çalıştay kitapçığında, ülkemizde zemin araştırmalarında ön ayak olmuş, sismik hızlardan zemin parametrelerinin belirlenebileceğini göstermiş, üretmiş olduğu bağıntılar dünyaca kabul görmüş, pozitif anlamda Science Citation Index makalelere konu olmuş, Sayın Ali Keçeli'nin bu konudaki ayrıntılı makalesi "Sismik Hızlar ile Saptanabilen Zemin Parametreleri" "Çağrılı Makale" olarak koymayı uygun bulduk. Hocamıza jeofiziğe yaptığı katkılardan dolayı böyle teşekkür etmek istedik.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Bu çalıştayın düzenlenmesi için katkı veren başta Kocaeli Büyükşehir Belediyesi olmak üzere, Kocaeli Ticaret Odası'na, ABM, Sismotek ve Arel Jeoteknik firmalarına teşekkür ederiz.

Jeofizik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi

IX. Yönetim Kurulu Adına

Metin AŞÇI

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

KENTSEL DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA YAPI SAĞLAMLIK TESTLERİNİN UYGULANMASI VE BU TESTLERDE JEOFİZİK METOTLARIN YERİ

Kurtuluş, C.

Mail Adresi: Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Jeofizik Müh. Böl., Umuttepe, 41380, Kocaeli

E-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Kentsel Dönüşüm, Jeofizik Metotlar

ÖZET Depremlerde binaların yıkılması zemin koşullarından, zeminin dinamik ve statik özelliklerinden, binanın beton kalitesi ve yapım koşullarından kaynaklanmaktadır. Zamanla dayanımı azalmış binaların depremlere karşı güçlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için büyük finansmana ihtiyaç vardır. Bunu sağlamak amacıyla devlet 16.5.2012 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Kentsel Dönüşüm Yasası olarak bilinen 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'u yürürlüğe koymuştur. Binaların risk raporu lisanslandırılmış kuruluşlarca "Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar" çerçevesinde gerekli test ve değerlendirmeler yapıldıktan sonra hazırlanır. Bu testler karot alımı dışında hasarsız jeofizik yöntemleri olup, inşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir.

GİRİŞ

Türkiye önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almakta ve bu nedenle çok sayıda aktif faya sahip bulunmaktadır. Nüfusumuzun yarısına yakın kısmı I.Derece deprem bölgesinde yaşamaktadır. 1999 Kocaeli ve Düzce; 2003 Bingöl depremlerinde büyük can ve mal kayıpları olmuştur. Bu tarihlerden sonra mevcut yapıların deprem risklerinin belirlenmesi çalışmaları hız verilmiştir. Bu amaç için 06.03.2007 tarihinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik çıkartılmıştır. Bu Yönetmeliğe göre yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır. Deprem yönetmeliğinin amacı yapıların hasar görmesinden çok can kaybını önlemektir. Büyük bir depremde yapılarda büyük miktarda çeşitli hasarlar oluşabilir, fakat yapı yıkılmadığı müddetçe, amaca ulaşmış olur. Binaların depreme dayanıklı olup olmadığı dışarıdan gözlemlenemez veya sadece bina projesi incelenerek belirlenemez. Sadece zemin etüdü, beton kalitesi testleri de yeterli değildir. Taşıyıcı elemanların içlerindeki çelik donatı sayı, çap ve konumlarının tespiti, yapı elemanları içerisinde kırık ve boşlukların belirlenmesi, gibi birçok faktörler de bina sağlamlığı üzerinde büyük rol oynar. Bu çalışmaları 29/6/2001 tarihli ve 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanuna göre Bakanlıktan izin belgesi almış yapı denetimi kuruluşları ile laboratuvar kuruluşları, 27/1/1954 tarihli ve 6235 sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kanunu uyarınca, inşaat, jeoloji ve jeofizik mühendisleri odalarına büro tescilini yaptırmış kurum ve kuruluşlar yerine getirir. Bu firmalar binaların deprem yönetmeliğine göre yapılıp yapılmadığını, binada doğru malzemeler kullanılıp kullanılmadığını inceler, yapılarda kolon kesme, taşıyıcı duvarların yıkılması gibi bir tahribat olup olmadığına bakar, beton ve donatı testleri yapar, donatıların korozyon durumunu inceleyerek sağlamlığına karar verir. Bu çalışmalar yapılırken tahribatsız Jeofizik yöntemlerden sismik (ultrasonic puls hız yöntemi, sismik kırılma ve yansıma yöntemleri, elektrik (özdirenç) ve elektromanyetik (ferroscan) yöntemleri ile Schmidt çekici yöntemi büyük ölçüde kullanılmaktadır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

I. Kentsel dönüşüm kapsamında Riskli Yapı Tespit İşlemleri

Az gelişmiş ülkelerde insan sağlığı ve güvenliği her zaman ekonomiden sonra gelmektedir. Gölcük ve Van depremlerinde ortaya çıkan felaketleri yaşayan toplum, önceleri bina sağlamlığını gerçekleştirmek için çaba sarf etmiş, sonraları acılar unutulmaya başlarken bu çabalar yerini ertelemeye terk etmiştir. Bilindiği gibi bu ertelemelerin ana nedeni ekonomik nedenlerdir. Bunu fark eden yöneticiler bu dönüşümleri hem yapı maliklerini ve hem de inşaat şirketlerini teşvik etmek için 16.5.2012 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Kentsel Dönüşüm Yasası olarak bilinen 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'u yürürlüğe koymuşlardır. Kentsel dönüşüm yasının amacı; başta deprem olmak üzere, sel, heyelan, kaya düşmesi, çığ vb. afet riski altında bulunan bölgelerin ve risk dışında kalan, ekonomik ömürlerini tamamlamış, eski ve hasarlı binaların tasfiyesi ve yerine, sağlıklı, güvenli, standartlara uygun yaşam alanlarının oluşturulması ve olası afetlerde can ve mal kayıplarının önlenmesidir. Bu konu kanunda da aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı; 16/5/2012 tarihli ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun uyarınca, riskli yapılar ile riskli alan ve rezerv yapı alanlarının tespitine, riskli yapıların yıktırılmasına, yapılacak planlamaya, dönüştürmeye tabi tutulacak taşınmazların değerinin tespitine, hak sahibi olacaklarla yapılacak anlaşmaya ve yapılacak yardımlara, yeniden yapılacak yapılara ve 6306 sayılı Kanun kapsamındaki diğer uygulamalara ilişkin usûl ve esasları belirlemektir.

Türkiye'de uygun inşaat standartları 2007 yılında çıkartılan Deprem Yönetmeliği ile yeniden düzenlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre bu tarihten önce yapılan tüm binalar risk grubu altına girmiştir.

II. Riskli Yapı Tanımı

Riskli Yapı, 6306 sayılı Kanun'da "Riskli alan içinde veya dışında olup ekonomik ömrünü tamamlamış olan ya da yıkılma veya ağır hasar görme riski taşıdığı ilmi ve teknik verilere dayanılarak tespit edilen yapı" olarak tanımlanmıştır. Bir binanın riskli yapı olup olmadığına ilişkin tespiti ise şu şekildedir [1].

- Riskli yapı tespiti için öncelikli olarak kat malikleri veya kanuni temsilcilerinden en az birinin [*kat mülkiyetine konu tek bir dairenin paylı mülkiyet ya da elbirliği ile mülkiyete konu olması halinde tüm paydaşların oybirliği gerekir*] (1). 29/6/2001 tarihli ve 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanuna göre Bakanlıktan izin belgesi almış yapı denetimi kuruluşları ile laboratuvar kuruluşları, 27/1/1954 tarihli ve 6235 sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kanunu uyarınca, inşaat, jeoloji ve jeofizik mühendisleri odalarına büro tescilini yaptırmış kurum ve kuruluşlardan birine başvurması gerekir. Bu başvuru sırasındaki masraflar yapı maliklerine aittir. Maliklerce yapılacak riskli yapı tespiti talebi, tapu belgesinin ve kimlik belgesinin fotokopisi ile yapılır. 23/6/1965 tarihli ve 634 sayılı Kat Mülkiyeti Kanunu uyarınca kat irtifakı veya kat mülkiyeti kurulmadığı için arsa paylı tapu var ise, arsa üzerinde fiilen bulunan yapının riskli yapı tespiti, yapının sahibi olan arsa payı sahibince yaptırılır. Arsa üzerindeki yapının başkasına ait olması ve bunun da tapu kütüğünde belirtilmiş olması halinde, riskli yapı tespiti lehine şerh olan tarafça yaptırılır.
- Bu kuruluşlarca "Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar" çerçevesinde gerekli test ve değerlendirmeler yapıldıktan sonra risk raporu hazırlanır ve riskli yapı tespitine ilişkin raporların bir örneği, **tespit tarihinden itibaren en geç 10 gün içinde (Değişik:RG-**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

25/7/2014-29071) tespiti yapan lisanslandırılmış kurum, tarafından tespite konu olan yapının bulunduğu ildeki Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Müdürlüğüne gönderilir. Raporlar Bakanlıkça belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde Müdürlükçe incelenir ve herhangi bir eksiklik tespit edilmesi halinde gerekli düzeltmeler yapılmak üzere raporu düzenleyen kurum veya kuruluşa iade edilir. Yapılan incelemede raporlarda herhangi bir eksiklik yok ise, riskli yapılar, Müdürlükçe en geç on iş günü içinde, tapu kütüğünün beyanlar hanesinde belirtilmek üzere, ilgili tapu müdürlüğüne bildirir. Müdürlükçe veya riskli yapı tespitine karşı yapılan itirazı inceleyen teknik heyetçe, riskli yapı tespit raporunda tespit edilen eksikliklerin tamamının, raporu düzenleyen kurum veya kuruluşa bildirildiği tarihten itibaren otuz gün içinde düzeltilmesi ve raporun Müdürlüğe sunulması zorunludur.

- Raporda herhangi bir eksiklik bulunmadığı takdirde yapının “riskli yapı” olduğu tespit tarihinden itibaren **en geç 10 işgünü içerisinde** Bakanlık veya İdare tarafından yapının tescil edilmiş olduğu ilgili tapu müdürlüğüne bildirilir.
- Bu karar doğrultusunda Tapu Müdürlüğüne ilgili kütüğe “riskli yapı” ibaresi işlenir ve durum diğer hak sahiplerine tebliğ edilir. Riskli yapı tespiti raporuna ilişkin tebligatlar Tapu Müdürlüğü tarafından yapılır ve Yapı Maliklerine yapılan bu tebliğde “açıkça bir itirazları bulunmakta ise 15 gün içinde, riskli yapı tespitine karar veren Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Müdürlüğüne bir dilekçe ile itiraz edilmesi gerektiği, aksi halde tebliğ tarihinden itibaren idare tarafından 60 günden az olmamak üzere belirlenecek süre içinde yapının yıktırılacağı” bilgisi verilir.
- Riskli yapı tespitine karşı malikler veya kanunî temsilcilerince on beş gün içinde riskli yapının bulunduğu yerdeki Müdürlüğe verilecek bir dilekçe ile itiraz edilebilir. bu durumda Bakanlıkça atanan 7 kişilik teknik heyet tarafından rapor tekrar incelenir ve teknik heyetçe verilen karar gerekçeli olarak İdare’ye ve itiraz edene bildirilir.
- Teknik Heyetin itirazı haklı bulması halinde rapor tespiti yapan lisanslı kuruluşa geri gönderilir ve raporu alan lisanslı kuruluş tebliğ tarihinden itibaren 30 gün içinde gerekli düzeltmeleri yaparak yeni raporu Kentsel Dönüşüm Müdürlüğüne sunar ve Tapu Kütüğüne işlenen “riskli yapı” ibaresi kaldırılır.
- Karara itiraz olmaması ya da itirazın yerinde bulunmaması halinde ise riskli yapı kararı kesinleşir. [İtirazı reddedilen ilgilinin 6306 sayılı kanunun kapsamında bu kararın kendisine **tebliğ edildiği tarihten itibaren 30 gün içerisinde** idari yargıda iptal davası açabilir. Bunun yanı sıra geri dönülmez sonuçlar doğmaması adını idare mahkemesinden yürütmenin durdurulmasına karar verilmesi istenir.
- Yapının riskli olduğunun kesinleşmesinden itibaren Müdürlük İdare’den tebligatların yapılmasını ve yapıların yıktırılması ister. Burada idareden kasıt belediyeler, il özel idareleri, büyük şehir belediyeleri ve ilçe belediyeleridir.
- Belediye veya İl Özel İdaresi tarafından riskli olarak tespit edilen taşınmazın maliklerine tebligat gönderilerek 6306 sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği Değişik md.8.2.a uyarınca altmış günden az olmamak üzere süre verilerek riskli yapıların yıktırılması yapı maliklerinden istenilir. Maliklere yapılacak tebligatta, riskli yapıyı kiracı veya sınırlı ayni hak sahibi kullananlara tahliye için malik tarafından bildirim yapılması gerektiği belirtilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

- Yapı maliklerinden biri veya birkaçının veya bunların vekillerinin müracaatı üzerine, yıkılacak yapının tahliye edildiğine ve elektrik, su ve doğalgaz hizmetlerinin kapatıldığına dair ilgili kurum ve kuruluşlardan alınmış belgelerin sunulmasına ve yıkım sorumlusu olarak statik fenni mesulün belirlenmesine istinaden, maliklerin muvafakati aranmaksızın altı iş günü içerisinde düzenlenir. [Riskli yapıların tespiti, tahliyesi ve yıktırma iş ve işlemlerini engelleyenler hakkında, işlenen fiil ve hâlin durumuna göre 26/9/2004 tarihli ve 5237 sayılı Türk Ceza Kanununun ilgili hükümleri uyarınca Cumhuriyet başsavcılığına suç duyurusunda bulunulur.[2].
- Verilen yıkım süresi içerisinde riskli yapıların yıktırılıp yıktırılmadığı mahallinde kontrol edilir ve riskli yapılar, malikleri tarafından yıktırılmamış ise, yapının idarî makamlarca yıktırılacağı belirtilerek otuz günden az olmak üzere ek süre verilerek tebligatta bulunulur.
- Eğer yine verilen süreler içinde riskli yapıların maliklerince yıktırılmaması hâlinde, riskli yapılara elektrik, su ve doğal gaz verilmemesi ve verilen hizmetlerin durdurulması ilgili kurum ve kuruluşlardan istenilir ve maliklere verilen süreler içinde riskli yapıların yıktırılmadığı mülki amire bildirilir [3].
- Maliklerce yıktırılmayan riskli yapıların tahliyesi ve yıktırma işlemleri, yıktırma masrafı öncelikle dönüşüm projeleri özel hesabından karşılanmak üzere, mahalli idarelerin de iştiraki ile mülkî amirler tarafından yapılır veya yaptırılır.
- Riskli yapıların tespiti, tahliyesi ve yıktırma iş ve işlemlerini engelleyenler hakkında İdarece veya Müdürlükçe tutanak tutulur ve bunlar hakkında, 26/9/2004 tarihli ve 5237 sayılı Türk Ceza Kanununun ilgili hükümleri uyarınca Cumhuriyet Başsavcılığına suç duyurusunda bulunulur. Riskli yapıların tespiti, bu yapıların tahliyesi ve yıktırılması iş ve işlemlerine dair görevlerinin gereklerini yerine getirmeyen kamu görevlileri hakkında ise, tabi oldukları ceza ve disiplin hükümleri uygulanır.
- 6306 sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği (5) (Değişik:RG-25/7/2014-29071) uyarınca riskli yapının yıktırılması yerine güçlendirilmesinin istenilmesi durumunda riskli yapının yıktırılması için ikinci fıkra uyarınca maliklere verilen süreler içerisinde; maliklerce, güçlendirmenin teknik olarak mümkün olduğunun tespit ettirilmesi, Kat Mülkiyeti Kanununun 19 uncu maddesinin ikinci fıkrasında belirtilen şekilde güçlendirme kararı alınması, güçlendirme projesinin hazırlanması ve imar mevzuatı çerçevesinde ruhsat alınması gerekir. Güçlendirme işi, yapılacak güçlendirmenin mahiyetine göre ruhsatı veren idare tarafından belirlenecek süre içerisinde tamamlandıktan sonra tapu kaydındaki riskli yapı belirtmesinin kaldırılması için Müdürlüğe başvurulur.

III. Riskli Yapı Tespiti için Yapılacak Çalışmalar.

Riskli yapılar gözlemsel olarak değil, 02.07.2013 tarih ve 28695 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar” hükümleri kapsamında yapılacak çalışmalara göre tespit edilir. Bu sıra şöyle özetlenebilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

III.1. Röleve ve Bilgi Düzeyi

Riskli binaların tespiti için hesaplar, mevcut bina taşıyıcı sistem özellikleri dikkate alınarak yapılır. Binanın mevcut taşıyıcı sistem özellikleri sadece kritik kat rölevesi ile belirlenebilir. Kritik kat, rijitliği diğer katlara oranla çok küçük olan (betonarme çevre perdeleri bulunmayan) veya yanal ötelenmesi zemin tarafından tutulmamış en alt bina katıdır. Röleve kritik kat için saha çalışması ile belirlenen bina geometrisi; kolon, perde, kiriş boyutları ile bu elemanların katta yerleşimini, eksen açıklıklarını; kapı ve pencere boşluğu olmayan dolgu duvar yerleşimini içerir. Binanın kat adedi ve kat yükseklikleri rölevede belirtilir. Kritik kattaki kısa kolonlar ve binadaki konsollar rölevede işlenir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin eki Esaslarda [DBYBHY] Bölüm 2.3'te tanımlanan B3 türü düzensizliğe sahip olan binaların kritik kat için yapılan röleve çalışması, bu düzensizliği hesap modeline yansıtacak şekilde, diğer katlar için de yapılır.

III. 2. Betonarme Binalarda Donatı Tespiti ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Mevcut donatı düzenini belirlemek için kritik katta 6 adetten az olmamak üzere perde ve kolonların en az % 20'sinde boyuna donatı türü, miktarı ve düzeni belirlenecektir. Bu işlem, seçilen perde ve kolonların en az yarısında kabuk betonu sıyrılarak yapılacaktır. Diğer yarısında donatı tahmini tahribatsız yöntemler kullanılarak ve elde edilen sonuçlara benzetilerek yapılabilir. Ayrıca, kabuk betonu sıyrılan perde ve kolonlarda enine donatı türü, çapı ile kolonların orta ve sarılma bölgelerinde enine donatı aralıkları ve detayları belirlenecektir. Bu çalışmalar aşağıda belirtilen tahribatsız yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir.

III.2.1. Beton kalitesinin belirlenmesi

III.2.1.1. Ultrasonik Puls Hızı Yöntemi

Bu yöntem beton içinde P dalgalarının (sıkıştırma dalgaları) yayılım hızlarının bulunması esasına dayanır. Bozuk yapılar sismik dalga yayılımını etkilemektedir. Sismik yöntem yapılar yerinde uygulanabildiği gibi, onlardan alınan örnekler üzerine de uygulanabilir. Uygulamalarda Rayleigh dalgaları, P dalgaları veya S dalgaları oluşturularak bunların vericiden alıcıya gelmesi için geçen seyahat zamanları tespit edilir. Farklı materyallerin yoğunluk, P dalga hızı ve empedansları ($\rho.V$) Tablo 1. de sismik hız ve dinamik elastisite modülü deneysel ilişkisi Tablo 2. de verilmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 1. Farklı materyallerin özellikleri [4].

Materyal	Yoğunluk (kg/m ³)	P dalga hızı (m/s)	Sismik empedans kg/(m ² .s)
Hava	1.205	343	0.413
Beton	2300	3000-4500	6.9-10.4x10 ⁶
Granit	2750	5500-6100	15.1-16.8x10 ⁶
Kireçtaşı	2690	2800-5000	7.5-18.8x10 ⁶
Mermer	2650	3700-6900	9.8-18.3x10 ⁶
Kuvars	2620	5600-6100	14.7-16.0x10 ⁶
Toprak	1400-2150	200-2000	0.28-4.3x10 ⁶
Çelik	7850	5940	46.6x10 ⁶
Su	1000	1480	1.48x10 ⁶

Tablo 2. Sismik hız ve dinamik elastisite modülü deneysel ilişkisi [4].

Puls hızı (km/s)	Elastisite modülü	
	Dynamic (MN/m ²)	Static (MN/m ²)
3.6	24000	13000
3.8	26000	15000
4.0	29000	18000
4.2	32000	22000
4.4	36000	27000
4.6	42000	34000
4.8	49000	43000
5.0	58000	52000

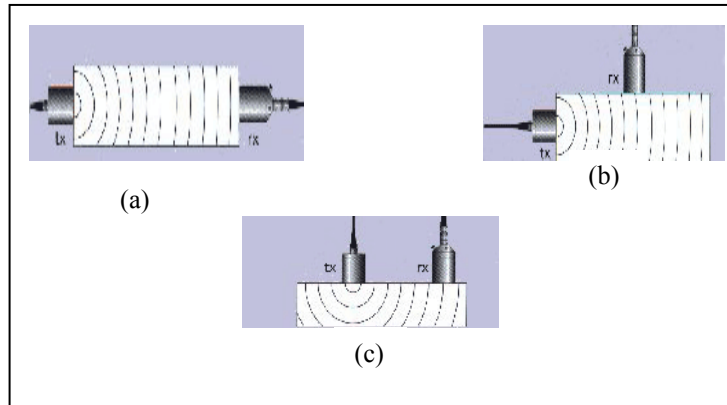
Bu yöntemde hız ölçümleri için ultrasonik puls test cihazı kullanılır Şekil 3.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 3. Ultrasonik puls test cihazı.

Betonun içinden ultrasonik dalgalar geçirilerek betonun kalitesi ve dayanımı bulunur ve beton içinde olası kırık ve boşluk tespiti yapılır. Deney yapılacak kolon, kiriş veya duvar kararlaştırıldıktan sonra bunların içinde donatıların yeri tespit edilir. Ultrason cihazının vericisi (Tx) ve alıcısı (Rx) beton içinde donatı bulunmayan kesimde beton kütleinin ya ön yada arka yüzeyinde aynı doğrultuda karşı karşıya getirilerek ölçü alınır (düz-doğrudan ölçüm)(Şekil 4a) veya Şekil 4b. de görüldüğü gibi ölçü doğrultusunun bir yanına verici (Tx) yerleştirilir, alıcı ise 1 veya 2 cm aralıklarla doğrultu boyunca kaydırılarak ölçüler alınır (dikey ölçüm). Bunların dışında ayrıca Şekil 4c. de görüldüğü gibi verici ve alıcı aralarındaki açıklık sabit tutularak kaydırılır ve ölçüler alınır (kaydırmalı ölçüm).



Şekil 4. Ultrason yöntemi ile beton örneği üzerinde ölçü alma yöntemleri a) düz-doğrudan ölçüm, b) dikey ölçüm, c) kaydırmalı ölçüm [5].

Burada en kullanışlı ölçüm yöntemi eksen doğrultulu yöntemdir. Kaydırmalı ölçümlerde sıva 1.tabaka ve beton, 2.tabaka olarak kendini göstereceğinden 2.tabakanın (betonun) hızı dikkate alınmalıdır. Beton kütle içindeki P dalgalarının hızı malzemenin elastik özellikleri ile yoğunluğuna bağlıdır.

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-\sigma)}} \quad (1)$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Burada

E: Dinamik elastik modülü

σ : Dinamik Poisson oranı

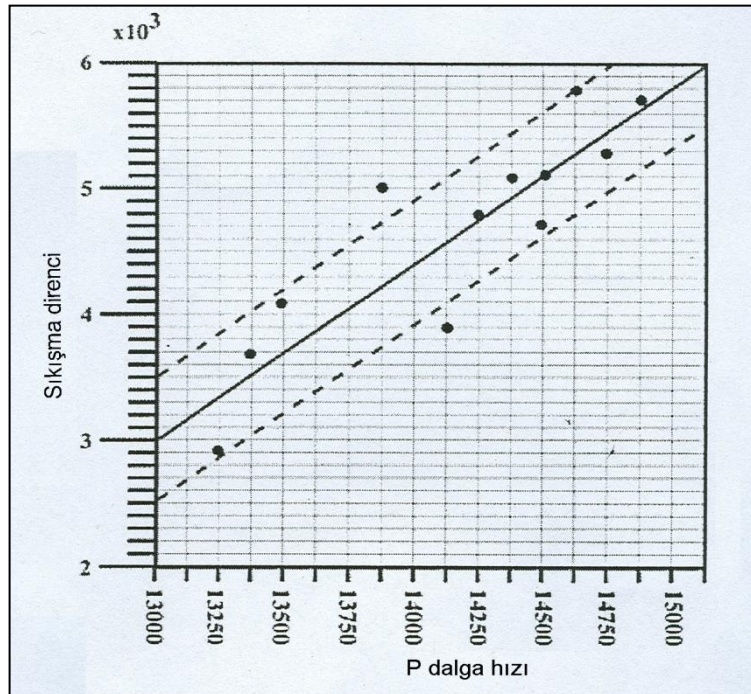
ρ : Yoğunluk

olup, V ise beton içindeki P dalga hızını göstermektedir. Puls hızından saptanan dinamik elastik parametreler Tablo 3. te verilmektedir.

Tablo 3. Puls hızından saptanan dinamik elastik parametreler [6].

Poisson oranı (gözeneklilik oranı)	$\sigma = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2V_P^2 - 2V_S^2}$
Kayma (Shear) modülü (kayma, makaslama direnci, sıkılık)	$G = \frac{1}{100}dV_S^2 \text{ kg/cm}^2, G = dV_S^2 \text{ kPa}$
Elastisite (çimentolaşma, katılık,sertlik)	$E = G \left(\frac{3V_P^2 - 4V_S^2}{V_P^2 - V_S^2} \right) \text{ kPa}$

Betondaki hız sıkışma direnci ile ilgilidir. Pulsun frekansı 20-250 kHz ve dalga boyu 1.6-20 cm arasındadır. P dalga hızı ile sıkışma direnci arasındaki ilişki Şekil 5. de verilmektedir.



Şekil.5. Boyuna dalga hızı ve sıkışma direnci arasındaki ilişki.

Betonun V_P hızı 3000-5000 m/s arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu 2.4 gr/cm³ tür. P dalgalarının hızı deney objesinin boyutlarından bağımsızdır. Deney objesinin en küçük

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

boyutu ultrasonik titreşimlerin dalga boyundan daha fazla olmalıdır. Titreşimlerin dalga boyu dalgaların hızının titreşim frekansına bölünmesiyle bulunur. Örnek olarak 50 kHz lik bir frekans ve 3000 m/s dalga hızı için dalga boyu $3000/50000=0.06m$ olarak bulunur. Deney objesinin boyu bundan küçük olamaz.

Dalga hızı

$$V = L/T \quad (2)$$

Bağıntısından hesaplanır. Burada

V: Dalga hızı (m/s)

L: Transducerler arasındaki mesafe (m)

T: Dalganın transducerler arasındaki mesafeyi kat etmesi için geçen zaman (sn)

K çarpanı (3) bağıntısından bulunur.

$$K = \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} \quad (3)$$

Burada,

K: Yerinde betonun sıkıştırılma çarpanı olup, sıkıştırılmış yerlerde $K=0.025$, olağan sıkıştırılmış yerlerde $K=0.015$ ve iyi sıkıştırılmış yerlerde ise $K=0.005$ değerini almaktadır.

σ : Dinamik Poisson oranını belirtmektedir.

Ultrasonik puls hızı tekniğini etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir.

1. Betonun iç yapısının kompleks oluşu
2. Dayanıma etki eden etmenlerin puls hızına farklı şekillerde etki edebilmesi
3. Betonun dayanımının geçmişi ile ilgili olması
4. Puls hızının agrega özellikleri tarafından kontrol edilişi
5. Beton yapısındaki önemli değişikliklere karşı puls hızının duyarlılığının düşük olması
6. Puls hızı ile beton dayanımı arasında teorik bir gelişimin kurulamamış olması

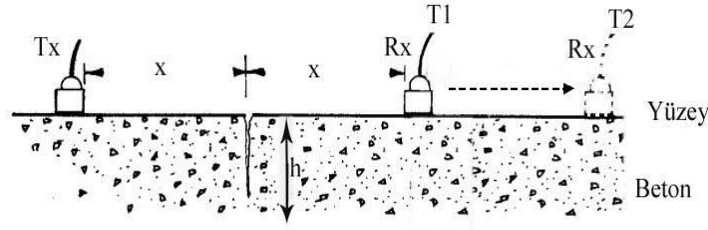
Yukarıda sayılan etmenlere rağmen beton dayanımının puls testi ile saptanması oldukça pratik ve kolaydır. P dalga hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki Tablo 4. de verilmektedir.

Ultrasonic test metodu ile yüzeyde gözlenen bir kırığın derinliği kırığın her iki tarafına yerleştirilen transducerler arasında pulsların geçiş zamanı ölçülerek belirlenebilir. Şekil 6 te gösterildiği gibi alıcı ve verici transducerler kırığın her iki tarafına eşit mesafelerde (x) yerleştirilir ve pulsların geçiş zamanı ölçülür (T_1). Sonra alıcı transducer kırıktan ($2x$) kadar uzağa yerleştirilerek pulsların geçiş zamanı ölçülür (T_2).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 4. P dalga hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki.

Beton kalite sınıflaması	P dalga hızı (m/s)
Mükemmel	>4500
İyi-çok iyi	3650-4500
Orta	3050-3650
Zayıf	2000-3050
Çok zayıf	0-2000



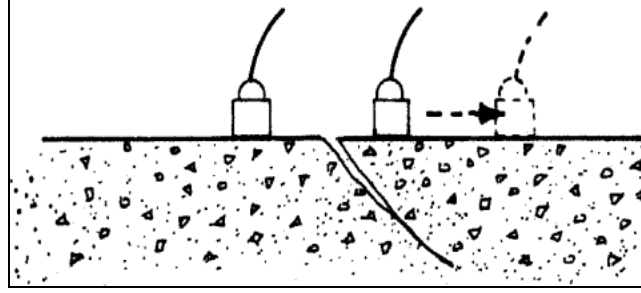
Şekil 6. Beton yüzeyinde gözlenen dikey bir kırığın tespiti [7].

Kırığın derinliği (h), (4) bağıntısı ile saptanır.

$$h = x \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \quad (4)$$

Bu bağıntı kırık düzleminin yüzeye dik olması ve kırık çevresindeki betonun oldukça tekdüze olması kabulü ile elde edilmiştir. Bu çalışma yapılırken kırık düzleminin beton yüzeyine dik olup olmadığının kontrolü yapılmalıdır. Bunun için transducerler kırığın iki tarafına yakın yerleştirilir. Bunlardan biri Şekil.7 da gösterildiği gibi ilerletilerek pulsların geçiş zamanları ölçülür. Eğer ilerleme ile pulsların geçiş zamanları azalıyorsa kırık düzlemi eğiminin ilerleme yönüne doğru olduğu anlaşılır. Bu metot ancak kırığın içinin kuru olup (suyla dolu olmadığı) zaman geçerlidir

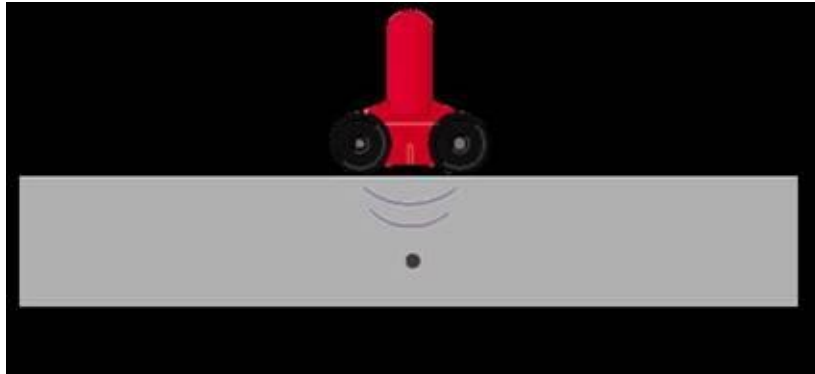
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 7. Kırık düzleminin eğim yönünün belirlenmesi.

III.2.1.2. Ferroskan analizi

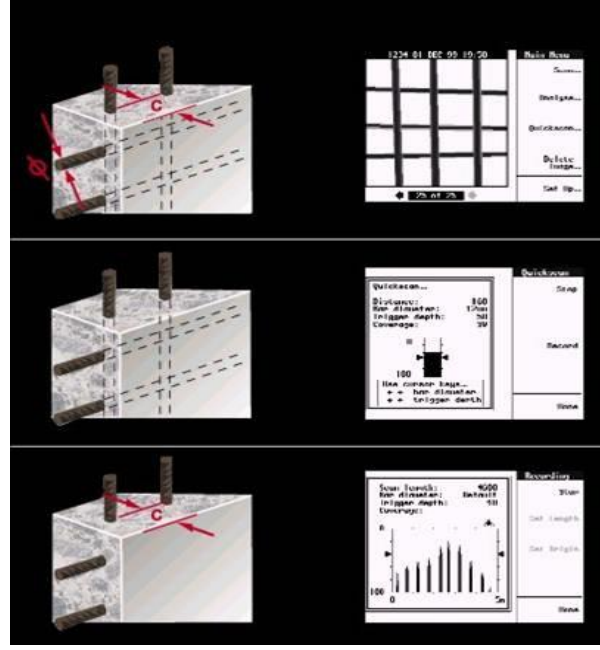
Ferroskan cihazının oluşturduğu elektromanyetik dalga alanı betonun içerisine nüfuz eder ve manyetik özelliği bulunan çelik donatı çubukları manyetik alan akış çizgilerinde bir yoğunlaşma meydana getirir. Bu prensipten faydalanarak donatı çubuklarının yerleri tespit edilir (Şekil 8).



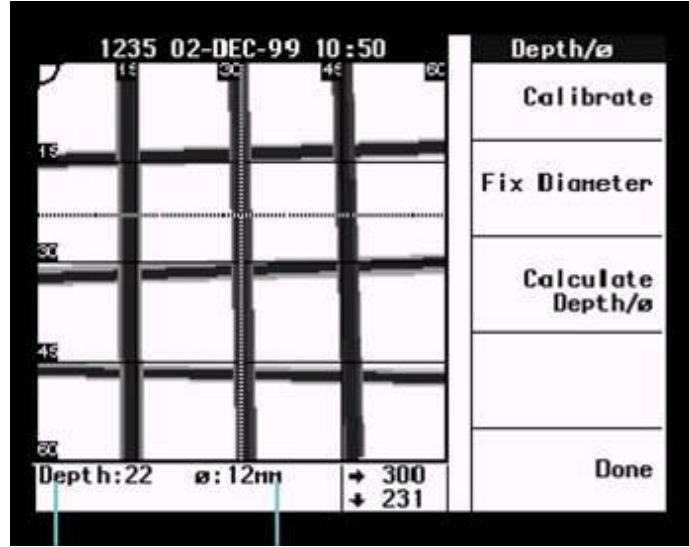
Şekil 8. Beton içindeki çelik donatının ferroskan cihazı ile tespit prensibi

Ferroskan cihazı ile beton içindeki donatıların yerleri, paspayı kalınlığı ve donatı çubuklarının çapı bulunur ve kaydedilir (Şekil 9, 10).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 9. Ferroskan cihazı tarama çeşitleri [8].

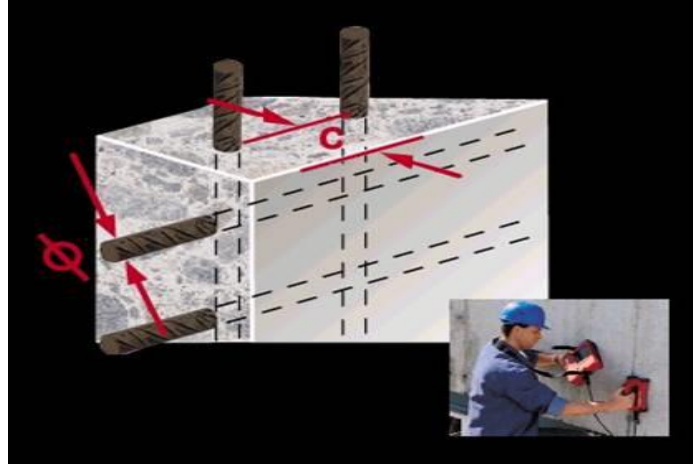


Şekil 10. Ferroskan cihazı veri çıktısı

Ferroskan Aletinin Kullanıldığı Alanlar

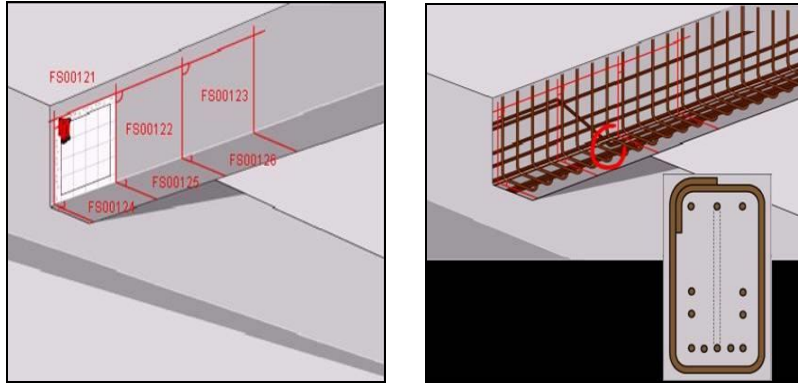
1. Donatıların projelerde belirtilen sayı, çap ve yerlerinde olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır (Şekil 11).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 11. Donatı yerleri, çap ve paspayı kalınlığı [9].

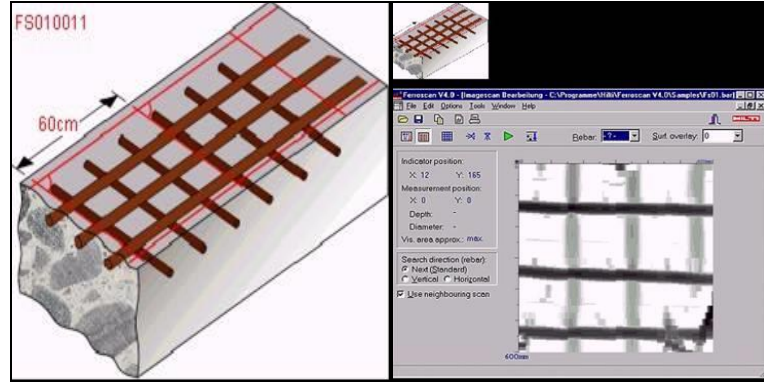
2. Projesi bulunmayan mevcut binaların betonarme elemanlarının kontrolü için yapılır.
3. Hasarlı ve hasarsız yapıların güçlendirilmesi projesinde, güçlendirme işleminden önce taşıyıcı betonarme elemanların donatılarının tespiti için yapılır (Şekil 12).



Şekil 12. Bir kirişte donatı tespiti [10].

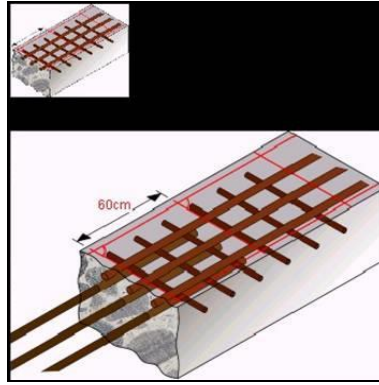
4. Betonarme bir yapı elemanına sonradan donatı ilave edilip edilmediğinin kontrolü için yapılır (Şekil 13).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



(a)

(b)



(c)

Şekil 13. (a) Beton taşıyıcı içindeki donatılar, (b) donatıların tespiti, (c) donatılara donatı eklenmesi (ankraj yapılması) [11].

Burada ferroskan taramasının yapılmasının amacı, taşıyıcı elemandaki mevcut donatıların sayı ve yerlerinin belirlenerek, beton elemanın delinmesi sırasında donatılara zarar verilmesini önlemektir.

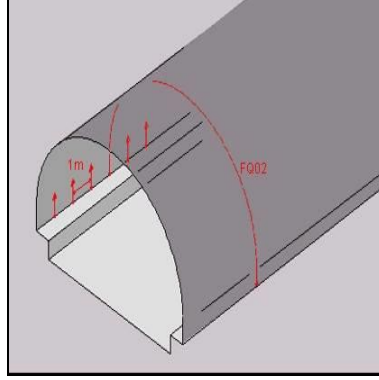
5. Betonarme elemanları üzerinde yapılan işlemler sırasında (örneğin karot numunesi alma durumunda) kesici aletlerin donatıyı kesmemesi için donatı açıklıklarının belirlenmesinde ferroskan çalışması yapılır (Şekil 14). Donatının kesilmesi hem yapı elemanına hem de kesici uca zarar verir.



Şekil 14. Taşıyıcı bir elemanda donatının kesilmesi.

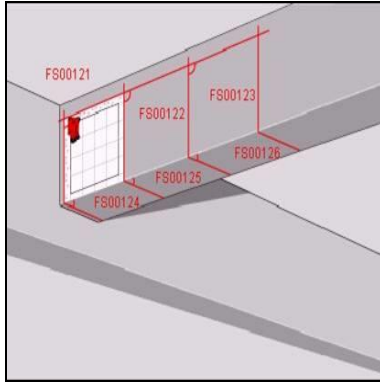
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

6. Paspayı kalınlığı, beton kaplama derinliğinin kontrolünde ferrosan taraması etkilidir (Şekil 15)

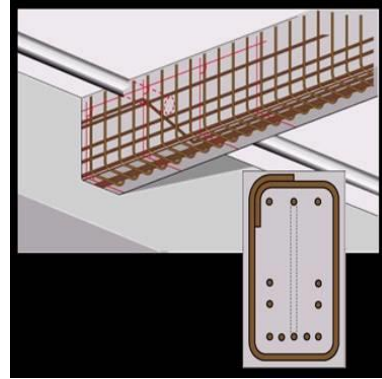


Şekil 15. Bir tünelin beton astar kalınlığının kontrolü [12].

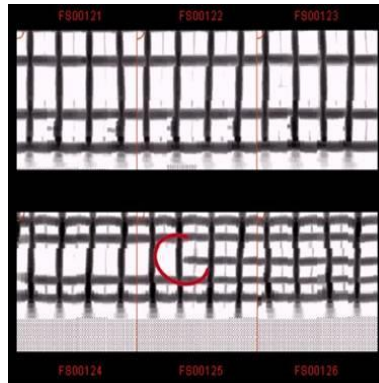
7. Betonarme bir kirişe delik açma durumunda yer tayini için ferrosan taraması yapılır (Şekil 16).



(a)



(b)



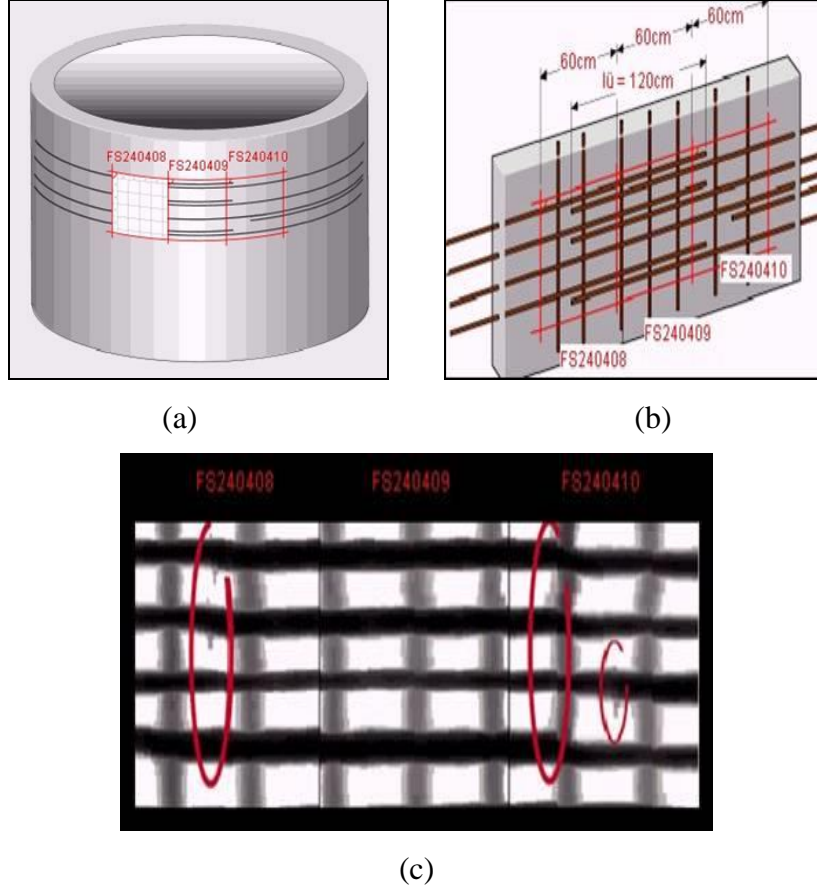
(c)

- Şekil 16. (a) Bir kirişte donatı taraması, (b) donatıların yerlerinin belirlenmesi, (c) delik delinecek yerin kararlaştırılması [13].

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Kiriş içlerinden boru geçirilmesi durumunda donatıların zarar görmemesi için donatıların enine ve boyuna konumları belirlenir ve delik bu donatılar arasındaki alandan delinir.

8. Belirli bir çaptaki silonun yatay donatılarındaki bindirme boylarının uygun bir şekilde yapılıp yapılmadığını kontrol etmek için ferroskan taramasından faydalanılır (Şekil 17).

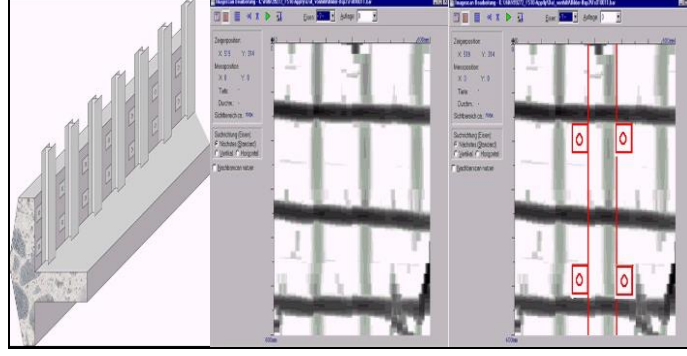


Şekil 17. (a) Donatıları belirlenecek silo, (b) kontrol edilecek değerler, (c) ferroskan verisi (bindirmenin olduğu yerde donatı çapı normal donatı çapının iki katı olarak okunur) [14].

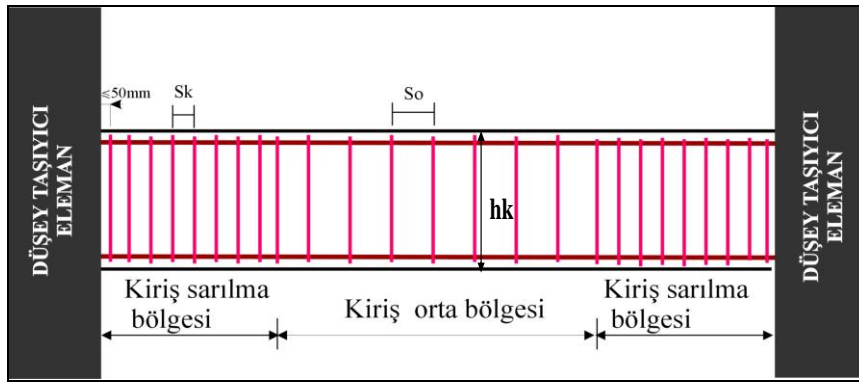
Betonarme elemanlara bir başka elemanın montajı işleminde donatılara zarar vermemesi için ferroskan taraması yapılır (Şekil 18).

9. Etriye sargı bölgesi ve etriye aralığı tayini için ferroskan çalışması yapılır (Şekil 19). Etriye aralıklarının yeterli sıklıkta sarılması gerekmektedir. 27 Haziran 1998 Adana Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde en büyük hasarlar yeterli sıklıkta etriye kullanılmayan binalarda görülmüştür (Şekil 20, 21, 22).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 18. Bir ses bariyerinin montajı (çelik dübel yerleştirilecek yerler ferroskan verisi üzerinde işaretlenip delinmektedir).

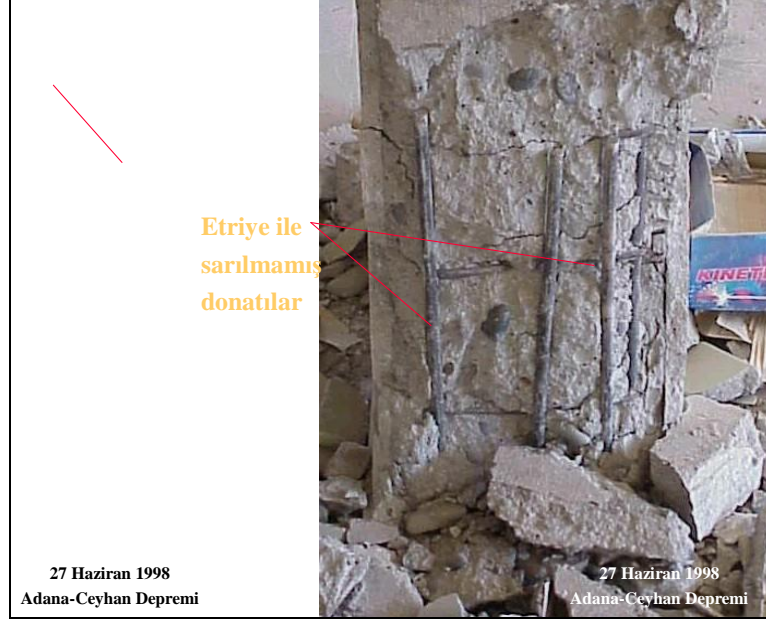


Şekil 19. Kiriş etriye sargı bölgesi ve etriye aralıkları.



Şekil 20. Yeterli sıklıkta etriye kullanılmamış ve yetersiz işçilik nedeniyle oluşan kolon hasarları.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 21. Yeterli sıklıkta etriye kullanılmamış ve yetersiz işçilik nedeniyle oluşan kolon hasarı.



Şekil 22. Kirişte kesme kuvvetini karşılayacak sıklıkta etriye bulunmaması nedeniyle oluşan kesme kırıklıkları.

III.2.1.3. Schmidt Çekici

Bu test Schmidt çekici kullanılarak (Şekil 23) yerinde yapıya hasar vermeden yapılan klasik bir beton testidir. Bu test sadece betonun yüzey sertlik testi olduğundan sıvanın kaldırılarak doğrudan beton üzerine Schmidt çekici ile test yapmayı gerektirir. Schmidt çekici testinde bazı sınırlandırmalar mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [15].

İndeks testlerden elde edilen verilerin normal dağılım gösterdikleri kabul edilir

1. Kayaçların içsel özellikleri ihmal edilir
2. Genellikle istatistiksel değerlendirmeler için yeterli veri sayısına ulaşamaz
3. Örnek boyut etkisi ihmal edilir
4. Farklı litolojik birimlerin verileri bir arada değerlendirilir

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Bununla beraber bu sınırlandırmalara rağmen indeks testlerinin sonuçları mühendislik deneyimine dayalı yorumlar ile birleştirilerek zaman, tasarım ve fizibilite çalışmaları için pratik ön veriler sağlanabilir. Schmidt çekici ile bir alandan en az 10 okuma yapılır. Sonra bu okumaların ortalaması alınır. Sıkışma dayanımı K, aşağıdaki bağıntı ile verilir.

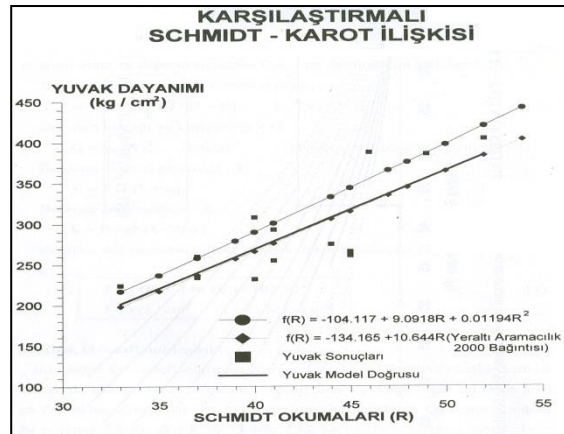
$$K = a.N.b \quad (5)$$

Burada a ve b çimento özelliğine bağlı sabitler olup, N Rebound indeksidir. Hata derecesi \pm %30 civarındadır.



Şekil 23. Schmidt çekici.

Schmidt okumaları ile karot ilişkisi Şekil 24. de verilmektedir.



Şekil 24. Schmidt çekici ile karot deneyi karşılaştırması ve bulunan bağıntılar [16]. Burada yuvak: karot, f: beton dayanımı, R: yüzey sertlik okuması.

Schmidt çekicinde ortalama okuma değeri P ise beton dayanımı aşağıda verilen deneysel bağıntı ile bulunabilir [16].

$$f = -213.76 + 17.918R - 0.215R^2 + 0.00438R^3 \quad (6)$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Bu bağıntıda $90 \text{ kgf/cm}^2 < f < 1100 \text{ kgf/cm}^2$ arasında geçerlidir (Ercan, 2003). $f = 20 \text{ cm}$ küp dayanımı (kgf/cm^2) dir. $f_{20} = 0.96 f_{15}$.

Beton yaşlandıkça beton yüzeyinde CaCO_3 çökelleri arttığından R değeri büyük okunur. Böyle durumda R değeri 0.9 ile çarpılarak düzeltilir.

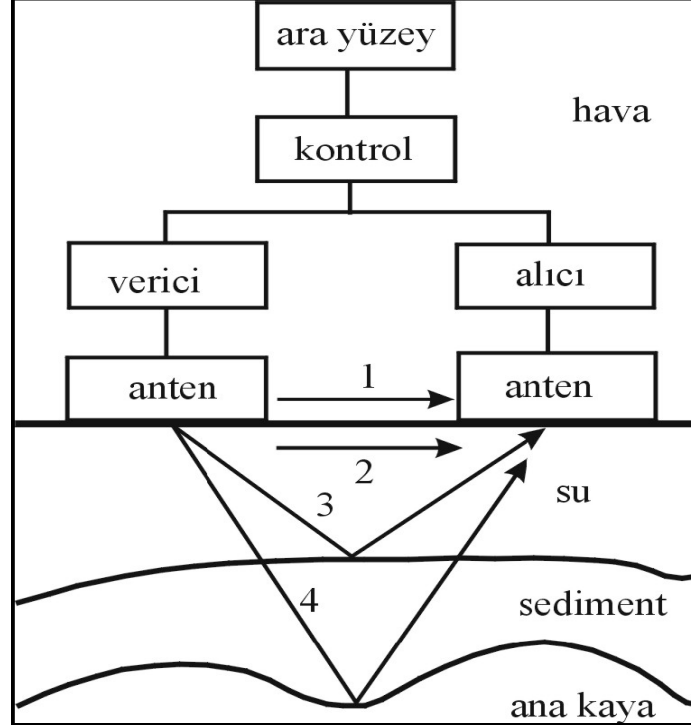
III.2.1.4. Yer Radarı (GPR)

Yer radarı (Ground Penetrating Radar veya kısaca GPR) frekansı 1-1000 MHz arasında değişen radyo dalgalarını yer yüzünden yere uygulayarak yer altındaki yapı ve özellikleri görüntüleyen bir jeofizik yöntemdir. Son yıllarda metalik olmayan yapıların hasarsız bir şekilde test edilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. GPR yöntemi, 1960 lı yılların ortalarından sonra elektronik alanında olağanüstü gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan sığ derinlikleri araştırma yöntemlerinin en yenilerinden biridir. Yöntemde kaynak olarak yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılmakta olup, düşük maliyeti, hızlı kullanımı ve tahribatsız bir yöntem olması nedeniyle jeoteknik ve jeolojik araştırmalarda, baraj, hava alanı ve yerleşim alanları zemin etütleriyle yeraltı su tablasının belirlenmesi, süreksizlik tespiti, yüzeyel ayrışma derinliğinin tayini çalışmalarında yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Yer Radarı Çalışma Prensibi

Yer radarı yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaları verici antenler kullanarak yeraltına gönderir. Yeraltına giden bu dalgaların bir kısmı karşılaştıkları cisimlerden veya farklı yapıdaki jeolojik birimlerin ara yüzeylerinden yansıyarak alıcı antene gelir ve işlem ünitesine iletilir, dalgaların diğer kısmı ise daha derinlere iner (Şekil 25). Verici antenden çıkan elektromanyetik dalgaların yer içindeki ilerleme hızı, ortamın dielektrik sabitine ve manyetik süseptibilitesine; dalganın nüfuz derinliği ise dalganın frekansına ve ilerlediği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır. Yer radarı profillerinin yorum kalitesinin artırılabilmesi için sondaj logları, laboratuvar deneyleri ve jeolojik bilgilerden yararlanır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 25. GPR'ın blok diyagramı; 1) Hava Dalgası, 2) Direkt yer dalgası, 3 ve 4) Yansımalar [17].

Yer Radarının Uygulama Alanları

- Yüzeğe yakın kesimlerde yer alan gevşek zonun tespiti,
- Otoyol, havaalanı, baraj, demiryolu, su kanalı, santral, yerleşim alanı zeminlerinin incelenmesi,
- Tünel çalışmaları için Jeolojik ve Jeoteknik araştırmalarda,
- Tarihi binalar için özel zemin araştırmaları,
- Ana kaya derinliğinin saptanması,
- Zemindeki yanal ve düşey süreksizliklerin saptanması,
- Boşlukların saptanması,
- Su tablasının belirlenmesi,

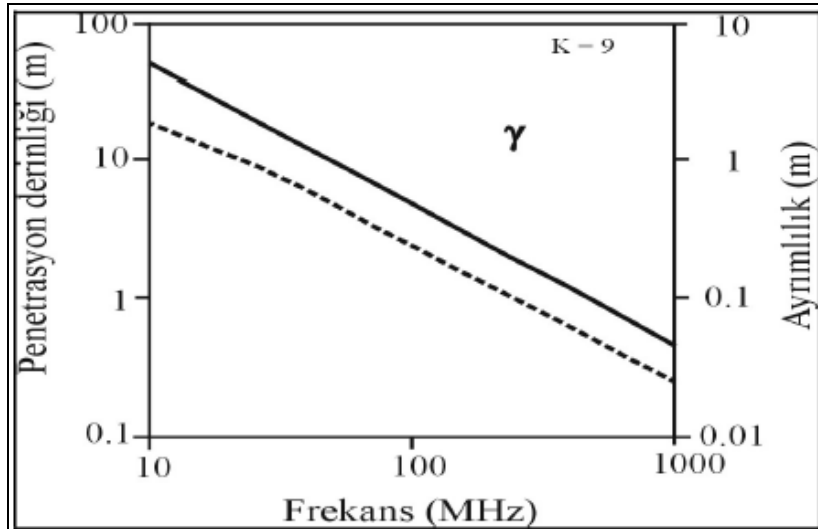
GPR çalışma performansına etki eden diğer bir etmen de kullanılan anten frekansıdır. Uygulamalarda kullanılan anten frekansları 25 MHz ile 1000 MHz arasında değişmektedir. Bu frekans uygulama derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Antenin fiziksel boyutu iletilen dalgaların frekansını etkiler [18]. GPR dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü kullanılan anten frekansına bağlıdır (Tablo 5) [19].

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 5. GPR parametreleri (dielektrik sabit, elektrik iletkenliği ve anten frekansı) arasındaki ilişki [19].

GPR Parametreleri	Dielektrik Sabit		Elektrik İletkenlik		Anten Frekansı	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayıma Hızı	Yüksek	Düşük				
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga Boyu	Uzun	Kısa			Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek			Düşük	Yüksek

Yüksek frekanslı elektromagnetik dalgalar düşük frekanslı elektromanyetik dalgalara göre daha fazla detay ve yüksek ayrımlılık elde edilmesine imkân sağlar, fakat yüksek frekanslar çok hızlı emildiği için penetrasyon derinlikleri düşük frekanslar kadar mükemmel değildir. Kısacası, frekans ile ayırım arasında doğru orantı; frekans ile derinlik arasında ters orantı vardır. Şekil 26 de frekans, ayrımlılık ve derinlik arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 26. Frekans, ayrımlılık ve derinlik arasındaki ilişki [17].

Anten frekansı seçimi yapılırken bilinmesi gereken koşullar vardır [19].

Bunlar;

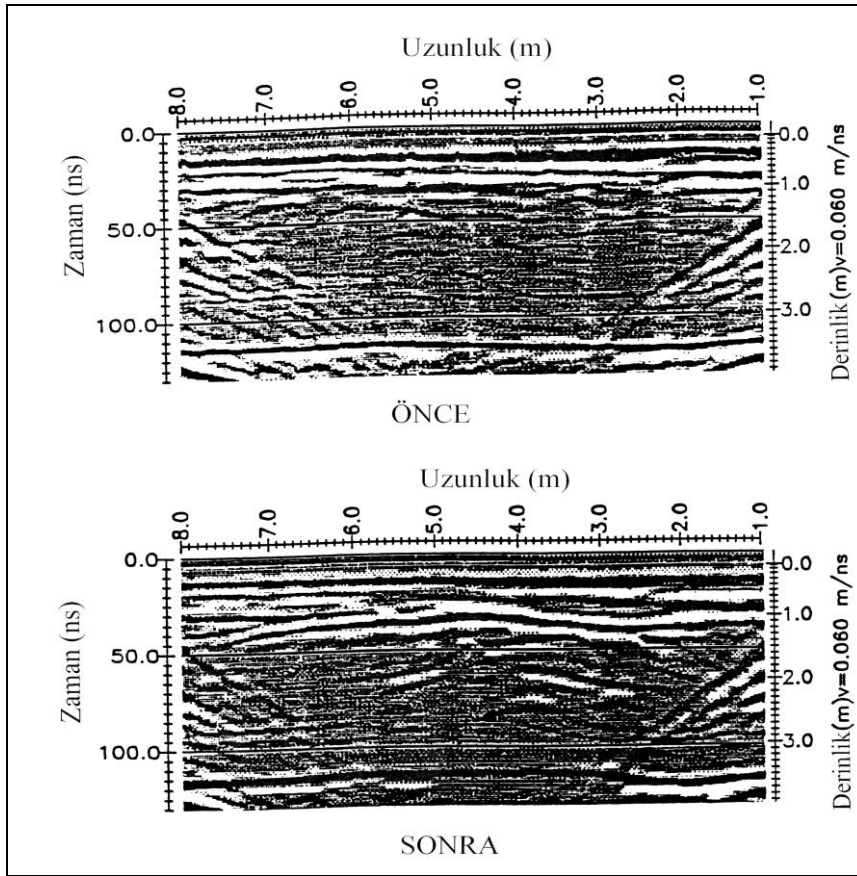
- 1) Hedef araştırmanın boyutu, derinliği, materyal türü,
- 2) Hedefin gömülü olduğu zemin ve kayanın özellikleri,
- 3) GPR penetrasyonunu etkileyen nem ve kil içeriği,
- 4) Alanın yüzey engebeleri ve bitki örtüsüdür.

Bir formasyonun iletkenliğinin bulunması oldukça zordur. İletkenlik su miktarına bağlı olduğu kadar matrisin içindeki yük akışına da bağlıdır. Kuvars kumları gibi temiz iri taneli materyallerde yük akışı zayıf, ince taneli topraklarda ise fazladır. Sonuç olarak killerin elektrik iletimi fazla olduğu için GPR çalışmaları için önemli yer tutar. Topraktaki organik

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

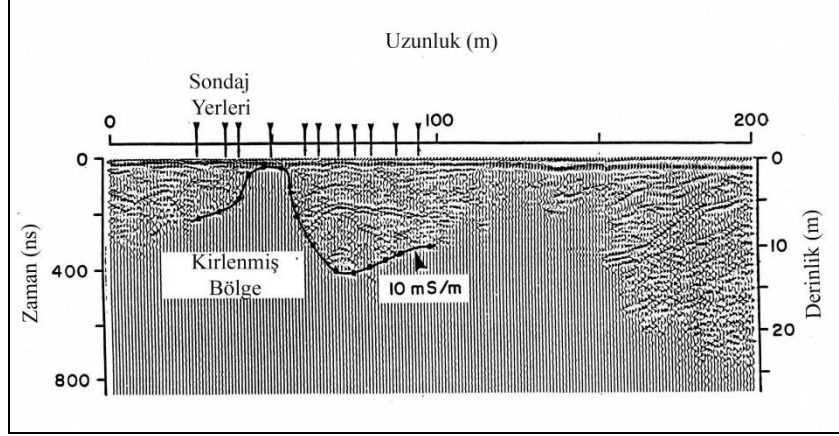
kirlenmeler elektrik özellikleri daha karmaşık bir hale koyar. Şekil 27 de kirlenmemiş ve kirlenmiş bir ortamın GPR görüntüsü verilmektedir. Kirlenmiş durumda kuvvetli yansımalar ortaya çıkmıştır.

Organik kirleticilerin belirlenmesinde radar kullanımı inorganik materyallerin genellikle iyonik olmasından ve çevrenin elektrik iletkenliğinden çok fazla değişim göstermesinden dolayı oldukça başarılı netice vermektedir. Şekil 28 de radar sinyallerinin yüksek sönümüne neden olan inorganik kirlenmeyi göstermektedir. Şekil 29 ve Şekil 30 da çeşitli araştırmacıların yapmış oldukları GPR sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 27. a) Temiz bir ortamın GPR görüntüsü. b) Aynı ortamın çeşitli solüsyonlarla kirlenmiş halinin GPR görüntüsü.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 28. Radar sinyali sönümünde boşluk suyu iletkenliğindeki etkinin gösterimi



Şekil 29. Üç tane yer altı depolama tankının (YDT) 400 MHz anten ile GPR görüntüsü (solda) ve YDT'nin yeryüzüne çıkarılmış görüntüsü (sağda). [20].

III.2.1.5. Elektriksel Rezistivite (Özdirenç) Ölçümleri

Betonun elektriksel rezistivitesi beton içinde bulunan demir çubukların korozyonunu göstermek ve ilerlemesini belirlemek için ana parametredir. Beton rezistivitesi başlıca boşluk iletkenliğine, hacim ve çimento tipine, sıcaklık ve neme bağlıdır. Yüksek elektriksel rezistiviteye sahip beton içindeki korozyon işlemi, içinde anot ve katot arasındaki elektrik akımı hızla geçen düşük rezistiviteli betona göre daha yavaş olacaktır.

Elektriksel rezistivitenin belirlenmesi için AC ve DC ölçümleri yapılır. Bu ölçümlerde yüzey ve beton içine çakılan elektrotlarla uygulanır.

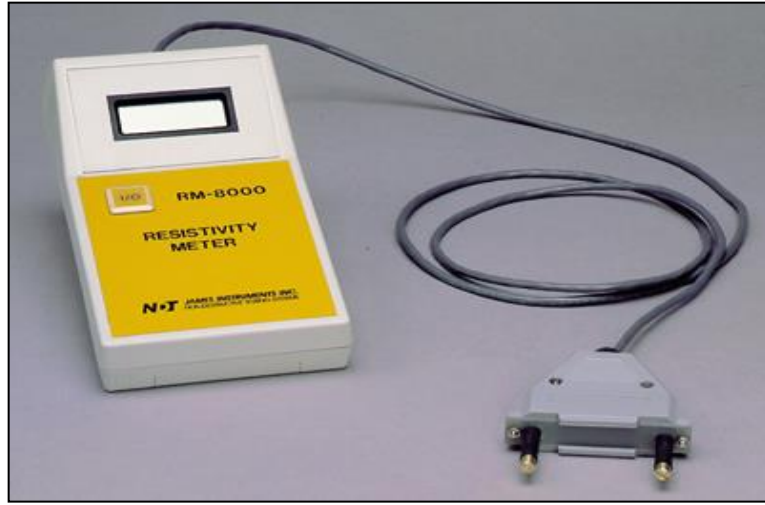
DC ölçümlerinde betona çakılan iki elektrot arasında sabit elektrik alanı uygulanır ve sonuçlanan akım küçük bir direnç üzerinde voltaj düşümü olarak ölçülür (Şekil 30). Bu sistemin hassaslığı dört elektrot sistemine göre biraz daha düşüktür.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

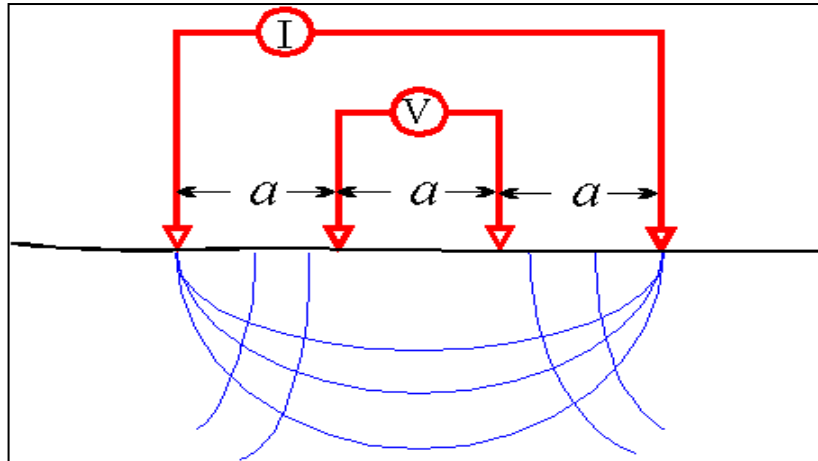
AC ölçümlerinde en çok kullanılan elektrot dizilimi Wenner dizilimi olup, elektrik akımı dıştaki elektrotlar arasından verilir ve içteki elektrotlar arasındaki potansiyel farkı ölçülür (Şekil 31).

Wenner Elektrot Dizilimi Kullanılarak Beton Rezistivite Ölçümleri

Elektriksel rezistivite beton içindeki boşluklardaki nem oranının, boşluk sistemi dağılımının ve büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Rezistivite beton kalitesi, çimento miktarı, su/çimento oranı, kür ve içine konan katkıları tarafından kuvvetle etkilenmektedir. Kayaçların rezistivitesini ölçmek için modifiye edilmiştir. Beton rezistivite cihazlarında elektrotlar beton yüzeyine jel veya nemlendirici sürülerek bastırılır ve elektriksel kontak sağlanır.



Şekil 30. İki elektrotlu rezistivite algılayıcısı.



Şekil 31. Wenner elektrot dizilimi.

İki elektrotlu rezistivite cihazında bir elektrot betona çakılır ve diğer elektrot yüzeyde betona bastırılır. Elektrot civarındaki alanda beton rezistivitesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\text{Rezistivite} = 2.R.D(\text{ohm.cm})$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Burada: R alıcı elektrot ile inşaat çubuğu ağı arasındaki pulstan “İ.R” düşümü ile bulunan rezistans ve D ise alıcı elektrodun çapıdır.

Rezistivite ölçümlerinin korozyona göre yorumu deneysel olup, Tablo 6. de verilmiştir.

Tablo 6. Rezistiviteye göre korozyon riski.

Rezistivite (Ohm.cm)	Korozyon Riski
20.000 den büyük	İhmal edilir
10.000-20.000	Düşük
5.000-10.000	Yüksek
5.000 den küçük	Çok yüksek

Elektrokimyasal Potansiyel Ölçümleri

Standart bir elektroda göre çeliğin elektrokimyasal potansiyelinin ölçümü çeliğin korozyon riskinin belirtisini verir.

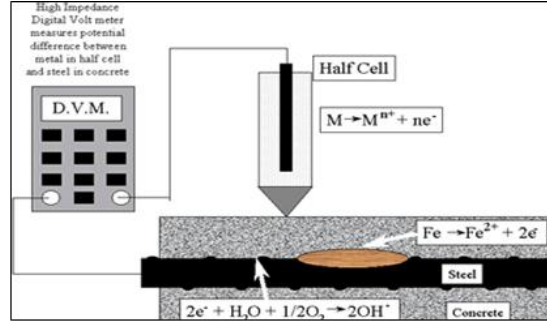
Gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrot, civa/civa oksit (Hg/HgO) ve bazen standart calomen (sülümen) elektrot (SCE) beton içindeki çelik için bir referans elektrot olarak kullanılabilir. Yüksek empedanslı bir sayısal voltmetre basit bir düzen ile veriyi toplamak için kullanılır.

Yorumlama oldukça güvenlidir. ASTM C-876 standardında eğer potansiyel -350 mV dan daha negatif ise yüksek korozyon riski olduğu belirtilmiştir. Eğer potansiyel -200 mV dan daha az negatifse düşük korozyon riski bulunmaktadır. Bu değerler arasında ise orta derecede risk vardır. Bu yorumlama karbonatlaşmış veya içine klorlu elementler girmiş betonlara uygulanmaz. Okumalar ayrıca nem miktarı ile de etkilenmektedir.

Çok yüksek negatif potansiyeller denizel bölgelerde su seviyesinin altında okunur. Bununla beraber oksijen azlığı korozyon oranını yavaşlatmaktadır.

Bağlantı potansiyelleri (function potentials) beton içindeki kimyasal konsantrasyonlardaki değişiklik ile yaratılabilir. Bu etki klor değişimine maruz kalan beton diliminde çok fazladır. Bağlantı potansiyelleri karbonatlaşmış yapılarda kararsız değişiklikler olarak açıklanabilir. PH değişiminden, karbonatlaşmış betonun nemli ve kuru kısımlarından erimiş iyon konsantrasyonlarının hızlı değişim göstermesinden ve kalsiyum karbonat tarafından boşlukların daraltılması nedeniyle karbonatlaşmış yüzeyde potansiyel değişir (Şekil 32).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

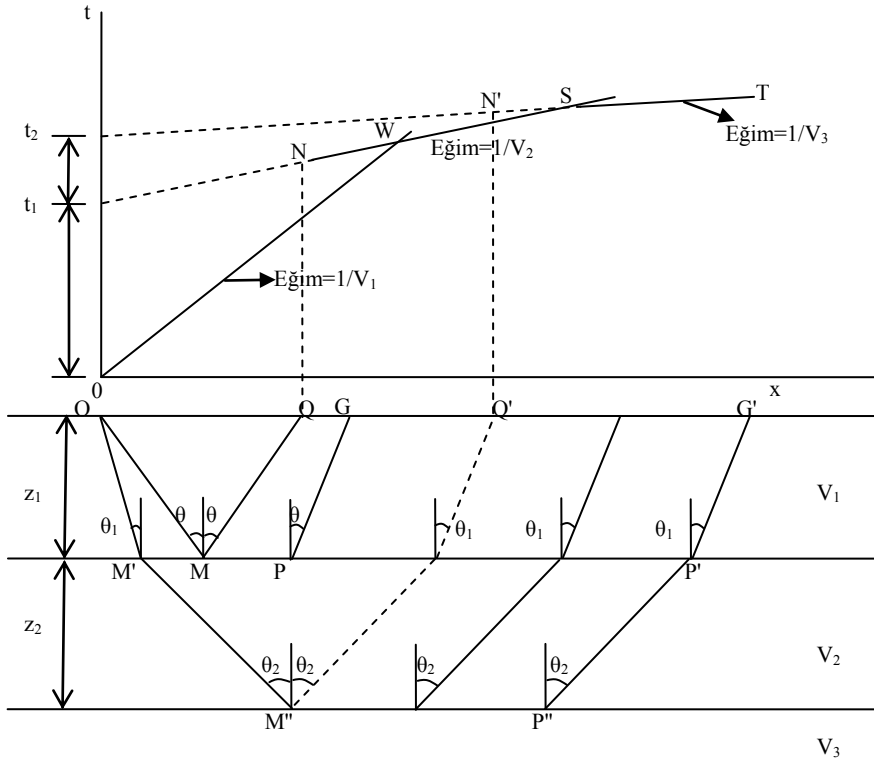


Şekil 32. Beton içinde bağlantı potansiyeli oluşumu.

II.2.1.6. Sismik Kırılma Yöntemi

Beton duvar, kiriş ve kolonlarda sıva kalınlığı tespiti, beton içindeki çatlak, kırık, boşluk ve nitelik değişimi sismik kırılma yönteminin bu yapı elemanlarının yüzeylerine uygulanması ile belirlenebilmektedir.

Şekil 33.' de üç tane birbiri üzerinde paralel uzanan V_1 , V_2 ve V_3 hızlarına sahip tabakalar ve onların zaman-uzaklık eğrileri gösterilmektedir. $V_3 > V_2 > V_1$ ve θ_1 ' in yukarıdaki refraktör için kritik açıdan küçük olması durumunda θ_2 aşağıdaki refraktör için kritik açı olmaktadır. Burada OMPG kırılma izine WS doğrusu karşılık gelir.



Şekil 33. İki kırıcı yüzey için dalga izleri ve seyahat zaman eğrileri.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Kırılma izi OM'M''P''P'G' için Snell Yasası aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_2}{V_2} = \frac{1}{V_3} \quad (7)$$

Seyahat zamanı eğrisi ST için,

$$t = \frac{OM+G'P'}{V_1} + \frac{M'M''+P'P''}{V_2} + \frac{M''P''}{V_3}$$

$$t = \frac{2Z_1}{V_1 \cos\theta_1} + \frac{2Z_2}{V_2 \cos\theta_2} + \frac{x - 2Z_1 \tan\theta_1 - 2Z_2 \tan\theta_2}{V_3}$$

$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2Z_2}{V_2 \cos\theta_2} \left(1 - \frac{V_2}{V_3} \sin\theta_2\right) + \frac{2Z_1}{V_1 \cos\theta_1} \left(1 - \frac{V_1}{V_3} \sin\theta_1\right) \quad (8)$$

$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2Z_2}{V_2} \cos\theta_2 + \frac{2Z_1}{V_1} \cos\theta_1 \quad (9)$$

$$t = \frac{x}{V_3} + t_2 + t_1 \quad (10)$$

Böylece ikinci tabakanın tabanından olan kırılma eğrisinin, eğimi $1/V_3$ olan, bir doğru olduğu görülmektedir. Bu doğrunun t eksenini kesme zamanı kırılma yüzeyinin üzerindeki her bir tabakanın $\frac{2Z_i}{V_i} \cos\theta_i$ terimlerinin toplamına eşittir. O halde iki tabakalı durum n tabaka için genelleştirilirse,

$$t = \frac{x}{V_n} + \sum_i \frac{2Z_i}{V_i} \cos\theta_i \quad (11)$$

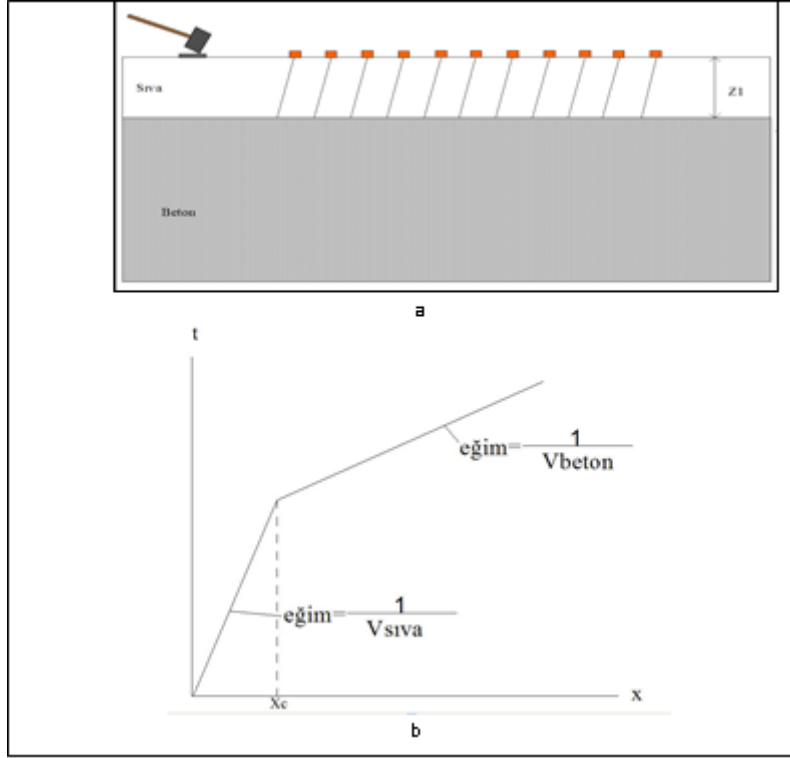
elde edilir. Burada $\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{V_i}{V_n}\right)$, dir. Bu denklem her bir serinin kalınlık ve

hızlarını bulmak için kullanılır [6].

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Betonun Sıva Kalınlığının Bulunması

Beton sıvası kalınlığının tespiti için jeofonlar (alıcılar) sıva üzerine bir doğrultu boyunca belirli bir jeofon aralığı ile tespit edilir ve belirlenen bir ofsette (1. alıcı noktasına olan uzaklık) metal bir levha üzerinde çekiçle vurularak ses dalgası üretilir (Şekil 34a). Bu çalışmadan elde edilen sismik kırılma zaman-uzaklık eğrileri Şekil 34b de verilmektedir.



Şekil 34. a) Sıva kalınlığı tespiti için jeofon düzeneği, b) Elde edilen zaman uzaklık eğrisi.

Birinci kolun eğiminden sıvanın hızı ($V_{sıva}$) ve ikinci kolun eğiminden betonun hızı (V_{beton}) bulunur.

$$Z = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_{beton} - V_{sıva}}{V_{beton} + V_{sıva}}} \quad (13)$$

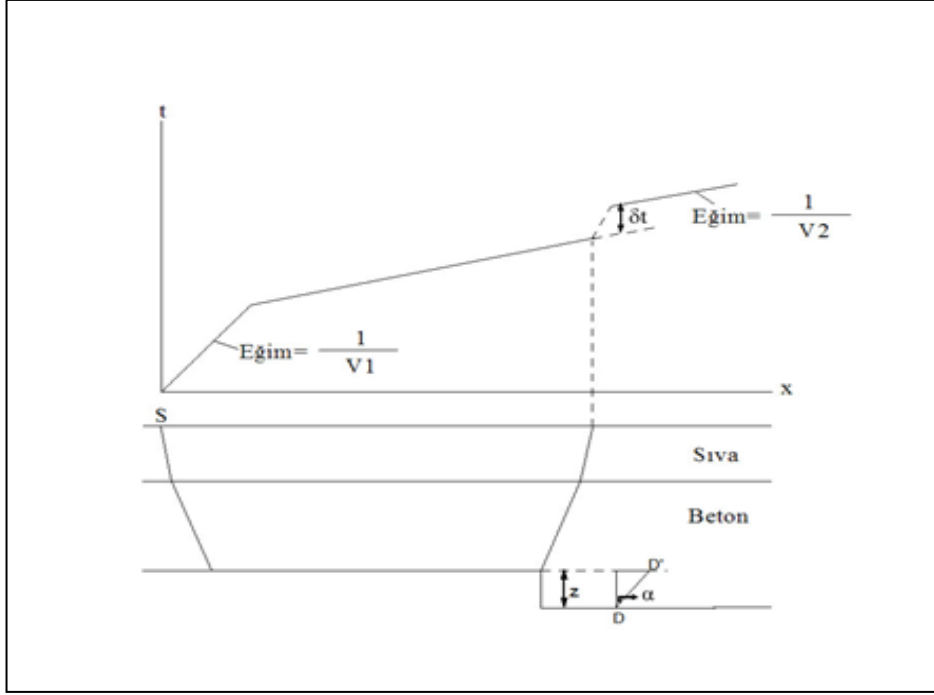
bağantisından sıvanın kalınlığı elde edilir.

Beton İçinde Sıva Arkasında bulunan Bir Kırığın Yer ve Atımının Bulunması

Sıva yüzeyinde gözlenemeyen fakat sıva altında atım yapan olası bir kırığın bulunması için jeofonlar düşey ve yatay yönlerde bir doğrultu boyunca yerleştirilip, belirli bir ofsetten çekiçle

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

vurularak ses dalgası üretilir. Kırık doğrultusuna dik geçen profilde elde edilecek zaman-uzaklık eğrisi Şekil 35 de belirtilen şekilde elde edilir.



Şekil 35. Sıva altındaki fayın yer ve atımının hesaplanması. V_1 : Sıvanın hızı, V_2 : Betonun hızı, z : Atım, δt : İki kol arasındaki düşey zaman.

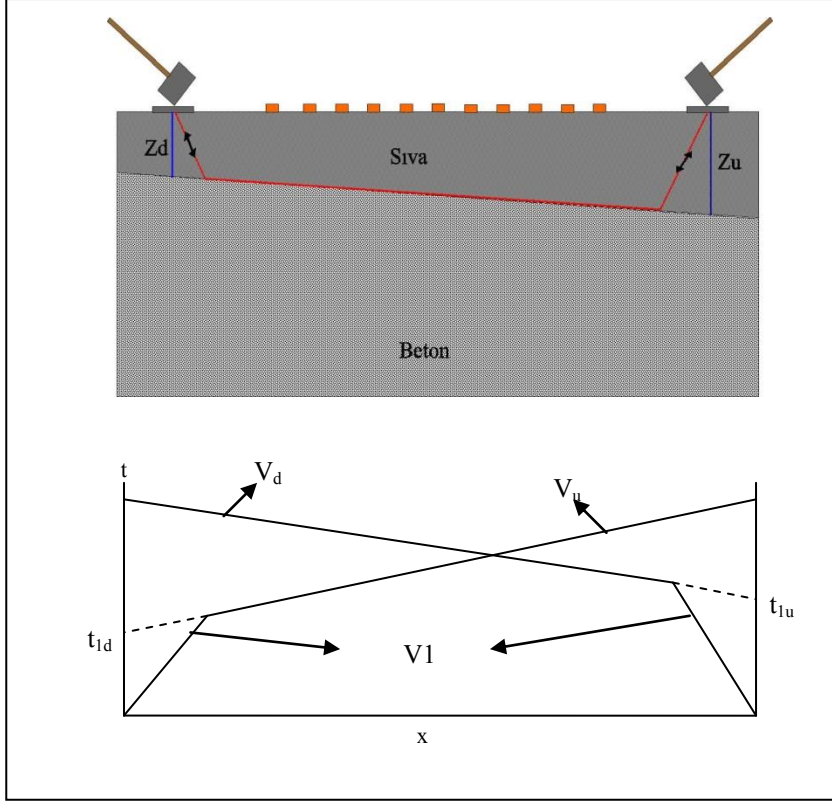
Kollardan elde edilen V_1 ve V_2 hızları ile δt değeri

$$DD' = \frac{V_1 \delta t}{1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}} \quad (14)$$

bağntısında kullanılarak atım bulunur [6].

Sıva altındaki betonun eğim ve kalınlıklarının tespiti için karşılıklı atışlı sismik kırılma çalışması yapılır. Bu çalışmada Şekil 36a da görüldüğü gibi jeofonlar beton yüzeyine belirlenen jeofon aralıklarında tespit edilir. İlk ve son jeofondan belirli uzaklıklarda (ofsetlerde) ses dalgası üretilerek kırılma verisi alınır. Bu verilerin zaman uzaklık eğrileri çizilir (Şekil 36b).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 36. a) Sıva üzerine jeofonların tespiti ve karşılıklı atış. b) Karşılıklı atıştan elde edilen zaman uzaklık eğrisi. V_1 : Sıva içindeki sismik hızı, V_d , V_u ise beton içindeki sismik hızları göstermektedir. Beton homojen ise $V_d=V_u$ olur.

Z_d ve Z_u kalınlıkları ve eğim aşağıdaki bağıntıların kullanılması ile tespit edilir.

$$t_{1d} = \frac{2Z_d}{V_1} \cos\theta \quad (15)$$

$$t_{1u} = \frac{2Z_u}{V_1} \cos\theta \quad (16)$$

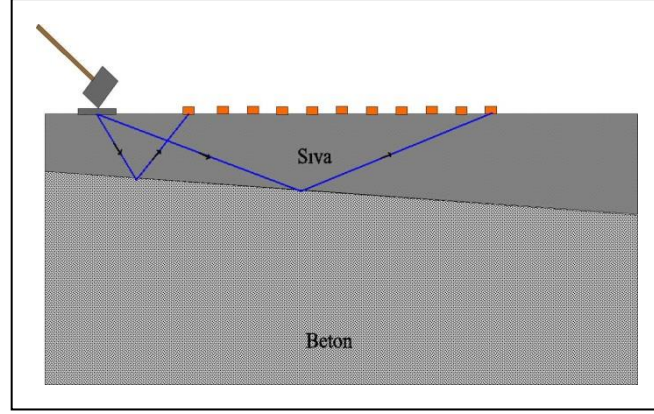
$$\theta = \frac{1}{2} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_d} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_u} \right) \right\} \quad (17)$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_d} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_u} \right) \right\} \quad (18)$$

Sismik Yansıma Çalışması

Jeofonlar belirlenen aralıkla sıva üzerine tespit edilir ve belirlenen bir ofsetten sismik dalgalar üretilir (Şekil 37).

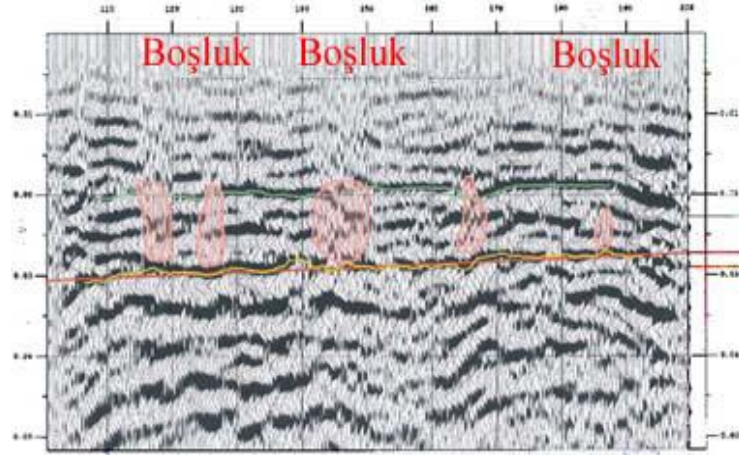
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 37. Sismik yansıma çalışması

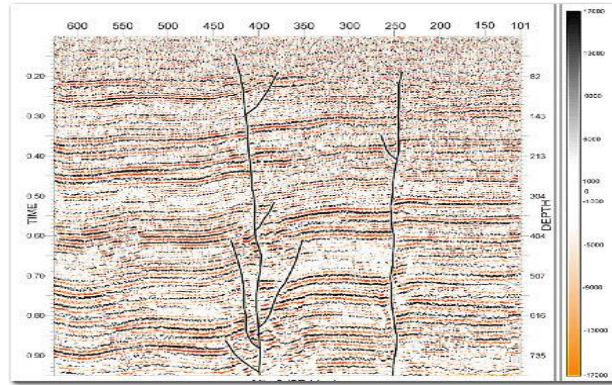
Sismik Yansıma Çalışması İle Boşluk Tespiti

Sismik yansıma çalışması yapılarak beton içindeki boşluklar görüntülenebilir (Şekil 38).



Şekil 38. Beton içindeki boşlukların sismik yansıma çalışmasıyla görüntülenmesi [21].

Sismik yansıma çalışması neticesinde beton içinden alınan kesitte olası çatlaklar, kırıklar ve ezilme yerleri çok iyi bir şekilde görülür (Şekil 39).



Şekil 39. Beton içindeki çatlakların görüntülenmesi [22].

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

SONUÇLAR

Kentsel dönüşüm projeleri, hayatımızı etkileyen çok önemli bir hareket olup, öncelikle büyük kentlerimiz olmak üzere acil ihtiyaçtır. Kentsel dönüşüm sonucunda plansız gelişen kent bölgeleri belli bir düzen içerisinde kontrol altına alınacak sorunlu olarak görülen bölgeler yeniden düzenlenerek kente farklı bir hava getirilecektir. Çeşitli nedenlerden dolayı zaman içinde eskimiş ve yıpranmış yapılar, güçlendirilecek ve depremlere karşı daha güvenli hale getirilecektir. Bu çalışmalar 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun kapsamında yerine getirilecektir. Kanunun amacı; afet riski altındaki alanlar ile bu alanlar dışındaki riskli yapıların bulunduğu arsa ve arazilerde, fen ve sanat norm ve standartlarına uygun, sağlıklı ve güvenli yaşama çevrelerini teşkil etmek üzere iyileştirme, tasfiye ve yenilemelere dair usul ve esasları belirlemektir. Binaların risk raporu lisanslandırılmış kuruluşlarca “Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar” çerçevesinde gerekli test ve değerlendirmeler yapıldıktan sonra hazırlanır. Bu lisanslı kuruluşlar bina sağlamlığı için çeşitli çalışmalar yapar. Bu çalışmalarda kullanılan test yöntemleri büyük çoğunlukla jeofizik yöntemler olup, binalara hasarsız olarak uygulanmaktadır. Bu nedenle jeofizik disiplini kentsel dönüşümde önemli bir rol oynamakta ve yapı sağlamlık testlerinin hızlı, hasarsız ve ekonomik olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- (1) Oğuzman, K.S., Özer ve Oktay-Özdemir, Saibe., 2014. Eşya Hukuku. İstanbul, Filiz Kitabevi. S. 315-344.
- (2) Yanlı D., 2015. 6306 Sayılı Kanun Işığında Kentsel Dönüşüm Uygulamalarına Genel Bakış
- (3) T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Riskli Yapılar Mevzuat Sunumu.
- (4) (<http://www.cnsfarnell.com/index.asp?pgid=26>)
- (5) (<http://www.geneq.com/catalog/en/punditplus.html>).
- (6) Kurtuluş, C., 2002. Sismik Arama, Teori ve uygulama, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 5.
- (7) (<http://www.cnsfarnell.com/index.asp?pgid=24>)
- (8) (www.netwares.net/ucs/scans.html).
- (9) (www.netwares.net/ucs/scans.html).
- (10) (<http://www.hilti.co.uk/data/editorials/-12208/PS200brochure.pdf>).
- (11) (<http://www.hilti.co.uk/data/editorials/-12208/PS200brochure.pdf>).
- (12) (<http://www.hilti.co.uk/data/editorials/-12208/PS200brochure.pdf>).
- (13) (<http://www.hilti.co.uk/data/editorials/-12208/PS200brochure.pdf>).
- (14) (<http://www.hilti.co.uk/data/editorials/-12208/PS200brochure.pdf>).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

- (15) Grasso P., Xu S. & Mahtab A., 1990. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. 6th Int. IAEG Congress. Balkema, Rotterdam.
- (16) Ercan, A., 2003. Yapı İnceleme Yöntemleri, Birsen Yayınevi.
- (17) Last, W. M. ve Smol, P. (Ed.). (2001). Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Chemical Techniques. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- (18) Griffin, S. ve Pipet, T. (2002). Ground Penetrating Radar. Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89
- (19) Takahashi, T. (2004). Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. Rock Mechanics and Mining Science, 41, 885-914.
- (20) (http://jeofizik.ankara.edu.tr/download/notlar/JEM207/JEM207_Ders09.pdf)
- (21) (http://www.baygeo.com/html/the_microvib.html).
- (22) (http://www.baygeo.com/html/high-resolution_shear_wave.html).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YAPI HASARLARI İÇİN KALICI YERDEĞİŞTİRME VE EĞİKLİKLERİN BELİRLENMESİ

Bahadır Aktuğ

Mail Adresi: Ankara Üniversitesi 50. Yıl Kampüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, Ankara.

E-mail: aktug@ankara.edu.tr

Anahtar Kelimeler: GNSS, Yerdeğiştirme, Kalman Filtresi

ÖZET

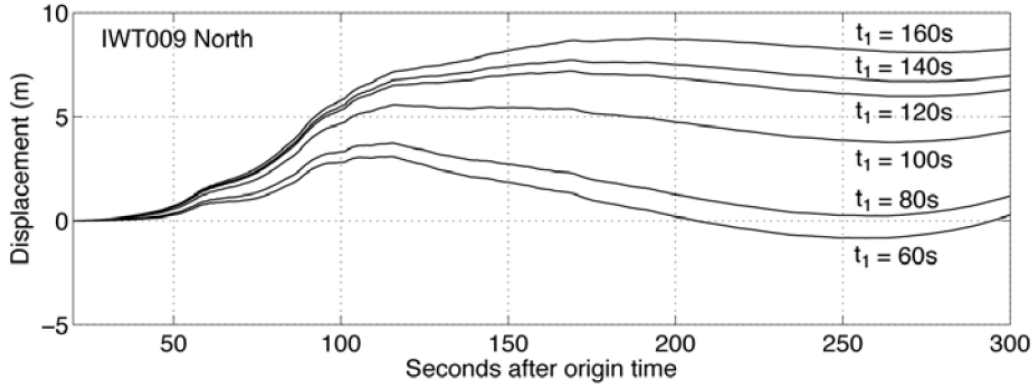
Günümüzde deprem gözlemleri, sismometrelerden elde edilen hız ve ivme dalga formlarıyla yapılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek duyarlılıklı genişbant sismik yerdeğiştirmelerin ve eğikliklerin (tilt) yapı sağlığı ve izlenmesi açısından önemli kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle, yüksek ve çok sayıda insanı barındıran çok katlı binaların orta ve büyük ölçekteki depremlerden sonra kullanılabilir olup olmadığının kısa sürede belirlenmesine ihtiyaç vardır. Genel olarak, sismometrelerden elde edilen hız verileri ile ivmeölçerlerden elde edilen ivme verilerinin zamana göre sırasıyla birinci ve ikinci integrasyonu ile yerdeğiştirmeler elde edilmektedir. Ancak, ivmeölçerler inersiyal bir sistemde ölçüm yapmakta ve ivmeölçerlerin zamana bağlı hatalarının giderilmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu amaçla kullanılan düzeltme teknikleri (baz düzeltmesi, yüksek geçirgenli filtreler vs.) her kaynak-hedef ilişkisi hatta her kanal için ayrı ayrı yapılmak durumundadır ve kullanılan düzeltme teknikleri kullanıcı seçimine bağlı olduğundan objektif olmamaktadır. Özellikle, sismometre ve ivmeölçerlerden düşük frekanslı yerdeğiştirmelerin yüksek duyarlılıklı olarak elde edilmesinde önemli sorunlar bulunmaktadır. Buna karşın GPS yüksek frekanslarda duyarlılığı görece olarak düşük olan ama alçak frekanslarda ivmeölçerlere göre daha yüksek duyarlılık sağlayan bir ölçme sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, GPS, inersiyal bir sistemde ölçüm yapan ivmeölçerler ile elde edilmesi mümkün olmayan statik yerdeğiştirmelerin, yer merkezli sabit bir sistemde doğrudan hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, GNSS ve sismometre verilerinin birlikte kullanımı ile gerçek zamanlı hasarsız yapı inceleme amacıyla yüksek duyarlılıklı kalıcı yerdeğiştirme ve eğikliklerin hesaplanması açıklanacaktır.

GİRİŞ

Sismometre verilerindeki düşük frekanslı driftlerin giderilmesi için kullanılan yöntemler genel olarak “baz düzeltmesi” olarak adlandırılmaktadır. En basit ve yaygın baz düzeltmesi yöntemi, verilere yüksek geçirgenli filtre uygulamaktır (Graizer, 2006). Bu yöntem orta ve yüksek frekanslı sinyalleri filtrelemekle birlikte düşük frekanslı (statik ofset dâhil) sinyalleri tamamen kaldırmaktadır. İvme kayıtlarındaki uzun dalga boylu hatalarının giderilmesi için önerilen diğer bir yöntem ise ivme kayıtlarının integrasyonu ile elde edilecek hız kayıtlarına eğri geçirmektir (Boore and Bommer, 2005). Baz düzeltme yöntemleri arasında en güvenilir olanlarından biri ise, Iwan ve diğ. (1985) tarafından ilk hali önerilen daha sonra Boore (1999, 2001) tarafından geliştirilen Boore-Iwan (BI) düzeltme yöntemidir. Bu yöntemde, ivme kayıtlarının integrali alınarak bulunacak hız zaman serilerine, sarsıntı başlangıcındaki hız değeri sıfır olacak şekilde kısıt uygulayarak parçalı doğrusal bir fonksiyon geçirilmekte ve elde edilen hız trendlerinin tekrar türevi alınarak ivme kayıtlarından çıkarılmaktadır. Statik ofset dahil yerdeğiştirme dalga formları bu yöntemle elde edilebilmekle birlikte, yöntemde hangi zaman aralıklarında nasıl ve kaç parametrelili bir fonksiyon kullanılması gerektiği gibi

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

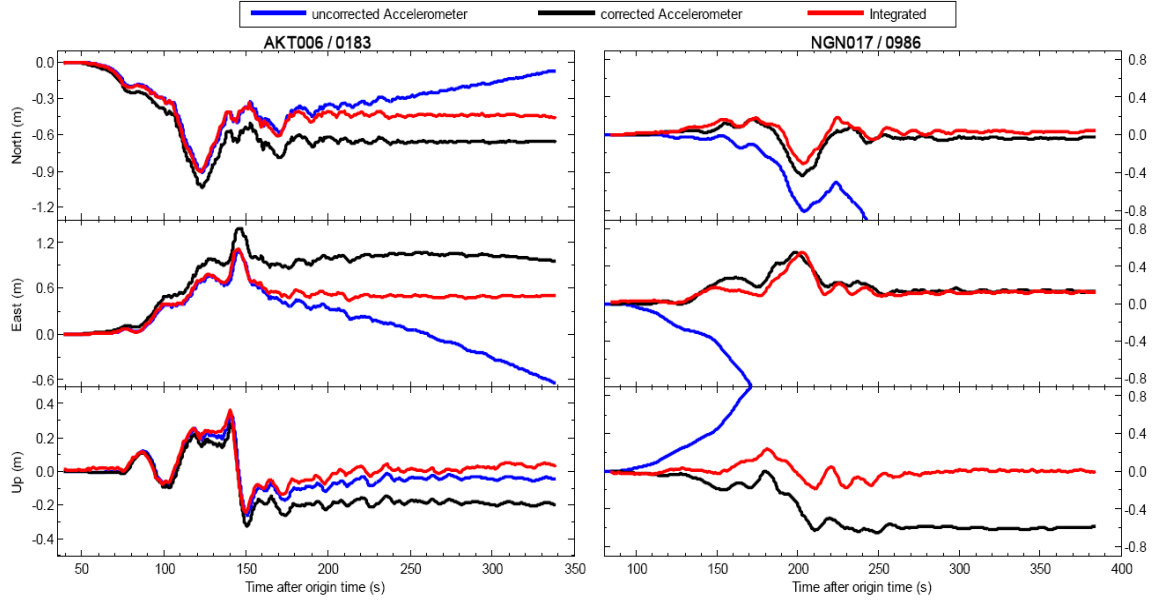
önemli tercihler kullanıcıdan kullanıcıya değişmekte, görsel olarak inceleyerek yapılabilmekte ve otomatik olarak yapılmasında pratik sorunlar bulunmaktadır (Bock ve diğ., 2012). İvme kayıtlarından yerdeğiştirme elde edilmesinde farklı zaman aralığı seçiminin sonuçlara etkisi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İvme kayıtlarının düzeltilmesinde, Boore-Iwan (BI) yönteminde farklı düzeltme (zaman aralıkları) seçenekleri kullanılması durumunda elde edilen yerdeğiştirme dalga formları (Bock et al., 2011).

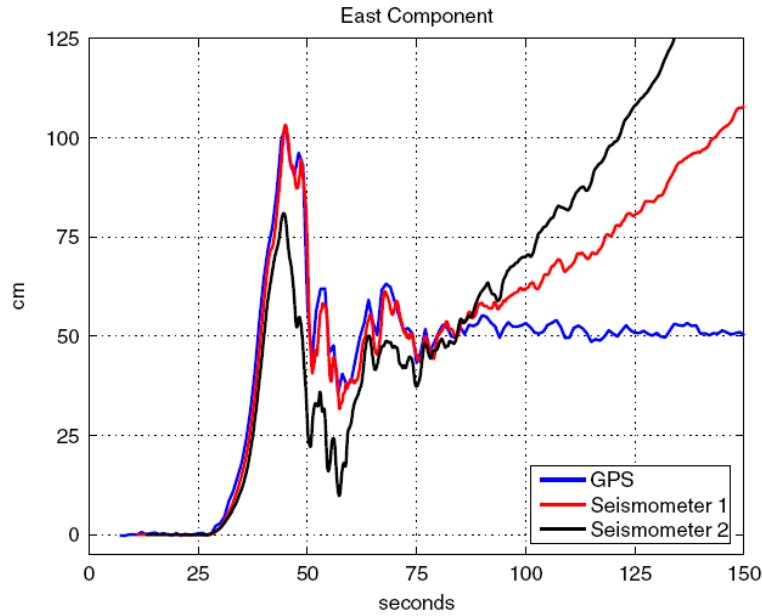
Bu amaçla kullanılan düzeltme teknikleri (baz düzeltmesi, yüksek geçirgenli filtreler vs.) her kaynak-hedef ilişkisi hatta her kanal için ayrı ayrı yapılmak durumundadır ve kullanılan düzeltme teknikleri seçime bağlı olduğundan objektif olmamaktadır. Şekil 1’de, Ayrıca, hız ve ivmelerin yerdeğiştirmeye dönüştürülmesinde kullanılan nümerik integrasyon sırasında duyarlık kaybı söz konusudur (Bock ve diğ., 2011). Sismometreler ile GPS’in birlikte kullanımı ile her iki sistemin kuvvetli yanları birleştirilmesi ve de kalıcı yerdeğiştirme ve eğikliklerin yüksek duyarlıkları belirlenmesi olanaklı hale gelmektedir. Tokachi-oki depremi örneğinde, sismometre ve GPS’in bağımsız ve birlikte kullanımı ile elde edilen yerdeğiştirmeler Şekil 2’de gösterilmektedir. Görüleceği üzere, sismometreye dayalı yerdeğiştirmeler çok kısa bir zamandan (100-150 saniye) sonra drift etkisiyle kabul edilebilir sınırların çok dışında sonuç vermektedir. Yukarıda açıklanan yöntemler ile düzeltilmiş dahi olsalar ivme kayıtları ile elde edilen yerdeğiştirmeler, yapı inceleme gibi yüksek duyarlık gerektiren uygulamalar için yeterli duyarlılığı sağlamamaktadır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 2. 2011 Tokachi-oki depreminde Japonya’da aynı yerde konuşlu AKT006 (sismik) ve 0183 (GPS) ile NGN017 (sismik) ve 0986 (GPS) istasyon çiftlerinin karşılaştırılması. Kırmızı dalga formu GPS ile düzeltilmiş ivme kayıtlarını göstermektedir (Li ve diğ., 2013).

Söz konusu problemin herhangi bir yerdeki sismometre ile ilişkili olmadığı, aynı yerde konuşlu birden fazla sismometre ile elde edilen yerdeğiştirmelerin birbiriyle dahi uyumlu olmayabileceği Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. 2011 Tokachi-oki depreminde Japonya’da Knet KiKnet sismik istasyonlarındaki sismik ölçümlerle elde edilen yerdeğiştirmeler ile aynı yerde konuşlu GPS istasyonundaki yerdeğiştirmeler (Miyazaki ve diğ., 2004).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

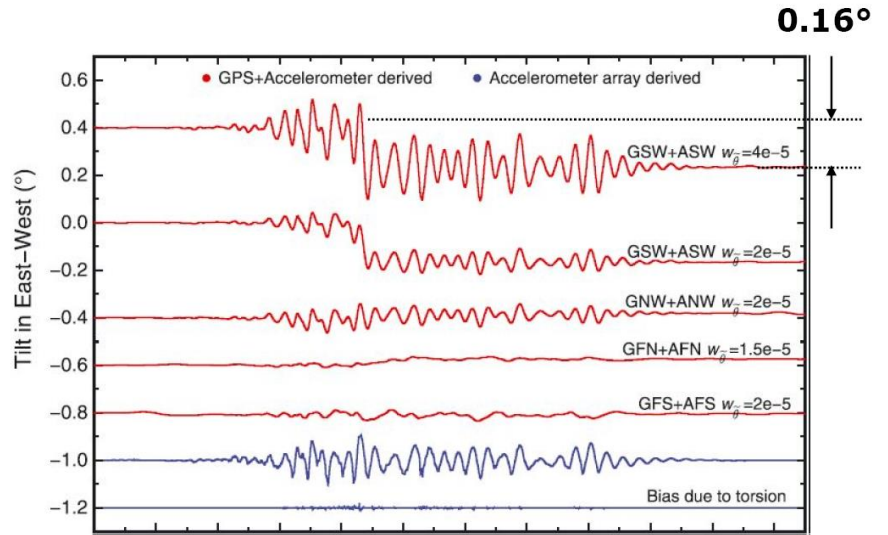
Diğer yandan Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) ve sismometreler tarihsel süreç içinde tamamen farklı amaçlarla ve birbirlerinden bağımsız olarak gelişmiş ve çok farklı ölçüm altyapısına sahiptirler. Bu nedenle, söz konusu iki sistemin birlikte kullanımı için her iki sistemin güçlü yanlarının korunarak optimal birleştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla kullanılacak optimal bir birleştirme ve analiz yöntemi sonraki bölümde açıklanmaktadır. Her iki gözlem sisteminin, yapı inceleme amacıyla kullanımında, öncelikle bir binanın giriş ve en üst katlarında GNSS ve sismometrelerin kurulmasına ihtiyaç vardır. A.B.D.’de yapılan çalışmalarda herhangi bir binanın, herhangi bir nedenle 1° ’nin eğilmesi kullanılamaz olarak işaretlenmesine neden olmaktadır. Söz konusu duyarlılığın gerçek zamanlı olarak güvenilir şekilde belirlenmesi, her iki sistemin birlikte kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışmalar, 0.20° ’lik eğikliklerin yüksek güvenilirlikte gerçek zamanlı olarak belirlenebildiğini göstermektedir. Bir binada her iki sistemin birlikte kullanılması ve elde edilen sonuçlarla ilgili bir örnek Şekil 4’de verilmektedir.

TEORİ ve YÖNTEM

Sürekli bir fiziksel sistem çoğu zaman diferansiyel denklem sistemleri şeklinde ifade edilir (Schwarz ve diğ., 1989; Geld, 1974). Buna bağlı olarak parametrelerin farklı epoklardaki değerleri arasındaki ilişkiler de diferansiyel denklem sistemleri şeklinde elde edilir. Hareket denklemlerinin diferansiyel denklem sistemi olarak ifade edilmesinin bir faydası da, sürekli olan denklem sisteminin kesikli olarak ifade edilebilmesi, dolayısıyla modellenmesini olanaklı hale getirmesidir (Aktuğ, 2005). Genel olarak navigasyon ve jeodezik uygulamalarda, sistem girdisi bulunmamakta, farklı epoklardaki durum vektörleri arasındaki ilişki sadece geçiş matrisi ile sağlanmaktadır (Aktuğ, 2005).



Şekil 4. Bina üzerinde ve çevresindeki GNSS/İvmeölçerler ile kalıcı yerdeğiştirme ve eğikliklerin ölçülmesi (Bock ve diğ., 2013).



Bu çalışmada, deprem öncesi ve deprem sırasındaki verilerin filtrelenebilmesi için ivme

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

verilerinin sistem girdisi olarak verilmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, aşağıda açıklanan eşitlikler, (Aktuğ, 2005)'de verilen genel jeodezik modellerden farklı olarak sistem girdisini de içermektedir. Parametrelerin farklı epoklardaki değerleri ve parametrelerin zamana bağlı değişimleri arasındaki ilişkiler;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Fx + Hu \\ x_{t,t+\Delta t} &= \Phi x_t + Gu, \\ \dot{\Phi} &= F\Phi\end{aligned}\quad (1)$$

biçiminde yazılabilir (Maybeck, 1970; Merminod, 1989; Aktuğ, 2005). Burada Φ ve G , sırasıyla parametrelerin farklı epoklardaki değerleri arasında ilişki kuran geçiş matrisi ve farklı epoklardaki sistem girdisi, F ve H ise, sürekli bir sistemde sırasıyla, parametreler ile parametrelerin zamana bağlı değişimleri arasındaki ilişkiyi ve sistem girdisini ifade eden fonksiyondur. Öngörülen modelden olan sapmaları gürültü (zamana bağlı olarak değişen rasgele gözlem hataları) olarak yazarsak, (1)'de verilen eşitlik;

$$\dot{x} = Fx + Gu + Bs \quad (2)$$

şekline dönüşür. Burada, u sistem girdisi, G , sistem girdisinin katsayılar matrisi, s kaynak gürültü (driving noise), B ise kaynak gürültünün sisteme nasıl gireceğini belirleyen, diğer bir ifade ile kaynak gürültüyü sistem gürültüsüne dönüştüren matristir (Merminod, 1989; Lewis ve diğ., 2008).

Kinematik modelin oluşturulması için geçiş matrisinin (Φ), F yardımıyla bulunması gerekmektedir. Bu amaçla (1) eşitliği ve

$$\ddot{\Phi} = F\dot{\Phi} = F^2\Phi, \quad \ddot{\Phi} = F\ddot{\Phi} = F^3\Phi, \dots \quad (3)$$

şeklinde diferansiyel olarak ifade edilebilir ve t ile $t + \Delta t$ arasında integrali alınarak;

$$\Phi_{t,t+\Delta t} = e^{F\Delta t} = I + F\Delta t + \frac{1}{2!}F^2\Delta t^2 + \frac{1}{3!}F^3\Delta t^3 + \dots \quad (4)$$

eşitliği elde edilir (Liebelt, 1974). Bu şekilde elde edilen geçiş matrisi kullanılarak, sistem gürültüsünün kovaryans matrisi,

$$Q_{ee} = \int_t^{t+\Delta t} \Phi(t, t + \Delta t) G C_s G^T \Phi^T(t, t + \Delta t) dt \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir (Lewis ve diğ., 2008; Strang ve Borre, 1997). Burada, C_s sürekli sistemdeki gürültünün kovaryans matrisidir.

SONUÇLAR

Deprem gözlemi genel olarak kuvvetli (ivme ölçer) ve zayıf yer hareketi ölçerler (hız ölçer) ile yüksek örnekleme aralıklı (100-200 Hz) dalga formları kullanılarak yapılmaktadır. Buna karşın, kalıcı yerdeğiştirme ve eğikliklerin belirlenmesinde yüksek duyarlılık yerdeğiştirmeye dayalı dalga formlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Hız ve ivme dalga

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

boylarından yerdeğiştirmelerin elde edilmesinde önemli sorunlar mevcuttur. Özellikle, hız ve ivme dalga formlarındaki uzun dalga boylu hatalar (drift vb.) yüksek duyarlıklı yerdeğiştirmelerin elde edilmesine izin vermemektedir. Diğer yandan, GPS ile tek başına yüksek duyarlıklı sonsuz dalga boyu (DC)'na kadar yerdeğiştirme dalga formları belirlenebilmekle birlikte, örnekleme aralığı sismometrelere göre oldukça düşüktür (≤ 50 Hz) ve küçük genlikli yerdeğiştirmelere sismometreler kadar duyarlı değildir.

Sismometre ve GPS verilerinin birlikte analizi ile her iki sistemin kuvvetli yanları birleştirilmesi kalıcı yerdeğiştirme ve eğikliklerin yüksek duyarlıklı belirlenmesine olanak tanımaktadır. Özellikle, insanların yoğun yaşadığı çok katlı binalardaki üç boyuttaki kalıcı yerdeğiştirmeler ve eğikliklerin kısa sürede belirlenmesi ve kullanılabilirliğinin araştırılması için söz konusu sistemlerin tek başına kullanılması yeterli olmamaktadır.

Görelilik olarak yüksek frekanslara duyarlı sismometreler (hem kuvvetli hem de zayıf yer hareketi ölçerler) ile örnekleme aralığı sismometrelere göre 5-100 kat daha az olan ancak uzun dalga boylarında daha duyarlı sonuç veren GPS verilerinin optimal birleştirilme yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B. (2005). Uyarlamalı Filtrelerle Gerçek Zamanlı Navigasyon, *HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi*, 92, 29-37.
- Bock, Y., D. Melgar, and B. W. Crowell (2011), Real-time strong-motion broadband displacements from collocated GPS and accelerometers, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 101, 2904–2925.
- Bock, Y., Jackson, M., Moore, A. (2013). Improved Warnings for Natural Hazards: A Prototype System for Southern California, *AGU Meeting*, December 2013, San Francisco.
- Boore, D. M. and J. J. Bommer (2005). Processing of strong-motion accelerograms: Needs, options and consequences, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 93-115
- Gelb, A. (1974). Applied Optimal Estimation, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1974.
- Graizer, V. M. (2006). Tilts in Strong Ground Motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96(6), 2090-2102.
- Iwan, W. D., M. A. Mooser and C. Y. Peng (1985). Some observations on strong motion earthquake measurements using a digital accelerograph, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1225-1246.
- Lewis, F. L., L. Xie, and D. Poppa (2008). Optimal and Robust Estimation with an Introduction to Stochastic Control Theory, Second Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, 523 pp.
- Li, X., Zhang, X., Guo, B. (2013): Application of Collocated GPS and Seismic Sensors to Earthquake Monitoring and Early Warning, *Sensors*, 13, 11, p. 14261-14276.
- Maybeck, P. S. (1970). Stochastic Models, Estimation and Control, First Ed., Volume 1, Academic Press, New York, 423 pp.
- Maybeck, P. S. (1970). Stochastic Models, Estimation and Control, First Ed., Volume 1, Academic Press, New York, 423 pp.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Miyazaki S, Larson K, Choi K, Hikima K, Koketsu K, Bodin P, Haase J, Emore G, Yamagiwa A (2004) Modeling the rupture process of the 2003 Tokachi-Oki earthquake using 1-Hz GPS data, *Geophys. Res. Lett.*, 31(21):L21603.

Schwarz, K.P., Lachapelle, G. (1990). Kinematic Systems in Geodesy, Surveying, and Remote Sensing, Symposium No.107, International Association of Geodesy.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

TAHRİBATSIZ YAPI İNCELEMESİNDE DOĞAL TİTREŞİM YÖNTEMİ

Ünal Dikmen

Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, Ankara

Ankara Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (ADAUM), Ahlatlıbel, Ankara

dikmen@eng.ankara.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Mikrotremor, Nakamura Transfer Fonksiyonu, Yapısal Zayıflık

ÖZET

Yapının fiziksel niceliklerinden ikisi, doğal salınım periyodu ve titreşim genliğini büyütme katsayısıdır. Bu çalışmada anılan bu iki niceliğin elde edilmesiyle hesaplanabilecek "zayıflık indisi" gerek yer gerekse yapı için hesaplanması gösterilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde çok katlı yapılaşma hızla artmakla birlikte yapı sürecindeki önemli oranda kalite ve kontrol denetimindeki yetersizlikte bulunmaktadır. Diğer yandan, yapı sağlığı izleme konusu tüm dünyada hızla gelişmektedir. Yapı sağlığının izlenmesi, gerek doğal gerekse zorlanmış yer titreşimlerinde yapı davranışının sürekli gözlenmesine, yapının fiziksel niceliklerindeki değişimlerin tespitine dayanır. Geçmiş depremler göstermiştir ki, deprem esnasında yapıda oluşan hasarın temel sebepleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar;

1) Zemin koşulların (sıvılaşma, zayıf taşıma gücü vb.) neden olduğu yapısal hasar (Şekil 1).



Yer sıvılaşması

Şekil 1. Zemin koşullarının sebep olduğu hasarlar.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

2. Üst yapı yetersizliğinin (kolon mafsallaşması, zayıf kat, kısa kolon, yetersiz donatı, beton kalitesizliği vb.) neden olduğu yapısal hasar (Şekil 2).



Kolon mafsallaşması



Kısa kolon



Zayıf kat



Yetersiz donatı

Şekil 2. Üst yapı yetersizliklerinin neden olduğu yapı hasarları.

3. Hem üst yapı hem de zemin koşullarının neden olduğu yapısal hasarlar (Şekil 3).



Şekil 3. Hem zemin hem de üst yapı yetersizliğinin sebep olduğu yapı hasarları.

Doğal titreşimlerin ölçüldüğü ve yorumlandığı Mikrotremor yöntemi zemin takasının doğal titreşim periyodu ve titreşim genlik büyütme katsayısının elde edilmesine yönelik olarak yaygın kullanılmaktadır. Yer için elde edilen bu iki fiziksel niceliğin yapı içinde aynı yöntem ile hesaplanması söz konusudur. Yapı katları için hesaplanacak doğal titreşim frekans ve titreşim genlik büyütme katsayısı kullanılarak her bir yapı katının deprem esnasında davranışını da gösterecek olan Zayıflık indisi elde edilebilir. Bu çalışmada da yapı katlarına ait zayıflık indisi değerleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

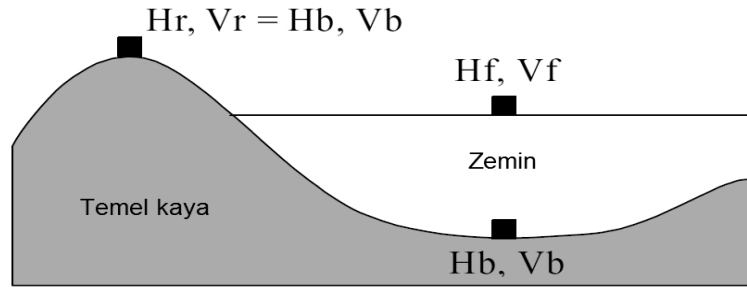
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

MİKROTREMOR YÖNTEMİ VE QUASI TRANSFER FONKSİYONU (QTF)

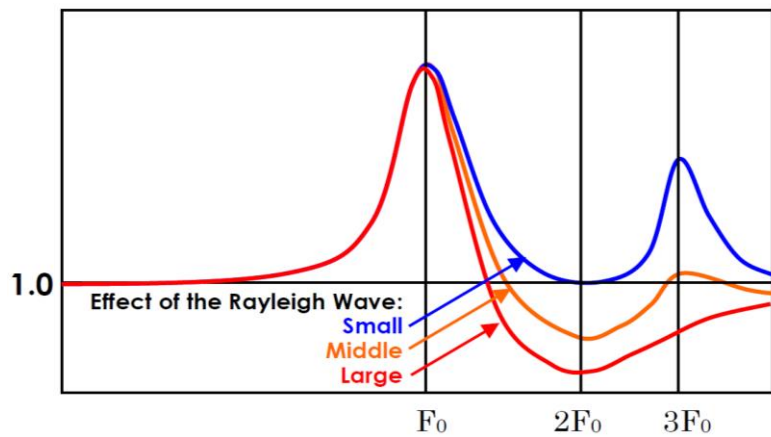
Quasi Transfer Fonksiyonu:

$$QTF(f) = H(f)/V(f) \quad (1)$$

ile verilir (Nakamura,1983,1989,1997,2000,2008). Yer baskın (rezonans) titreşim frekansı, F_0 ve bu frekansa karşılık gelen genlik çarpanı, A_0 değerleri elde edilir. Eşitlik (1)'in yazılmasında Şekil 4' de verilen yer modeli gözönüne alınır. Bu yöntemde ve Nakamura (2008)'e göre, F_0 frekansındaki ilk en yüksek genlikli doruk, makaslama (S) dalgasınınca oluşturulur. F_0 frekansı civarında Rayleigh dalgasına ait enerji yoktur bu nedenle, bu frekans civarındaki dispersiyon eğrileride durağansızdır. Rayleigh dalgaları F_0 frekans civarında başlayarak ilk doruk noktalarını $2F_0$ frekans civarında gerçekleştirir. Gerek mikrotremor ölçümlerinden gerekse kuvvetli yer hareketi ölçümlerinden yerin baskın titreşim frekansı ve genlik çarpanı belirlenebilir (Nakamura, 2008). Mikrotremor ölçümleri üzerinde Rayleigh dalgası etkisi yok veya çok az ise bu durumda temel kip (mode) yanında ikinci, üçüncü kipler de elde edilebilir (Şekil 5).



Şekil 4. Nakamura (HV) modeli.



Şekil 5. HV yönteminde spektrumu oluşturan fazların etkileri.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Sözü edilen yöntemde, F_0 rezonans frekansı ile QTF arasındaki ilişki,

$$F_0 = V_s/4H \quad (2)$$

ile tanımlanır. V_s : zemin tabakası makaslama dalga hızı (m/s), H : yüzeyden olan derinlik (metre). F_0 rezonans frekansındaki genlik çarpanı A_0 empedans ile ilişkilendirilir. Empedans, Z ve tersi admittans, $1/Z$ (iletebilme yeteneği) olmak üzere

$$1/Z = A_0 = \rho_s V_s / \rho_B V_B \quad (3)$$

ρ , yoğunluk (kg/m^3), V_B temelkaya makaslama dalgası hızı (m/s). Bu durumda, yüzeyden olan derinlik H (metre):

$$H = (\rho_B / \rho_s) (V_B / 4F_0 A_0) \quad (4)$$

zemin kalınlığına ilişkin yaklaşım yapılabilir. Günümüze kadar yapılan uygulamalar, Eşitlik (4)'ün yeterli yaklaşıklıkla doğru sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

YÖNTEM İLE YER(K_G) VE YAPI (K_{Bi}) ZAYIFLIK İNDİSİN BELİRLENMESİ

Sismik Zayıflık İndisi, zemin dinamik özelliklerine dayalı ve çalışılan noktaya özgü skaler bir büyüklüktür. İncelenen noktanın kuvvetli yer hareketine karşı zayıf yada direçli kalma durumu hakkında bilgi verir.

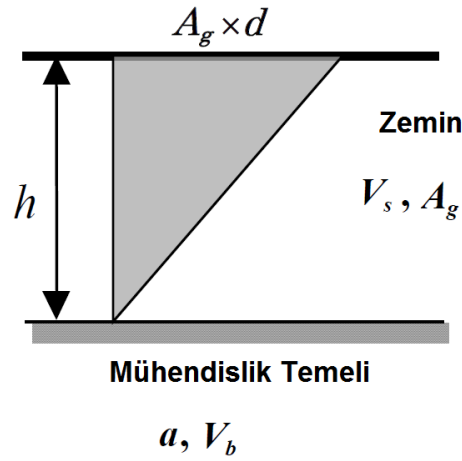
Yer Zayıflık İndisi (K_g)'nin Belirlenmesi

Yer deformasyonu yaklaşık 10^{-3} mertebesinde iken doğrusal olmayan davranış göstermekte ve plastik duruma geçmektedir. $\gamma > 10^{-2}$ için heyelan veya göçme gibi büyük deformasyonlu olaylar gözlenmektedir (Tablo 1). Yer için zayıflık indisinin hesaplanmasında Nakamura (2000) Şekil 6' da verilen yer modelini gözönüne almıştır. K 'nin elde edilmesinde makaslama deformasyonu γ gözönünde bulundurulur. Yüzeydeki ortalama makaslama deformasyonu, γ için:

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 1. Zemin hasarlarında oluşan makaslama deformasyon boyutu ve zemin davranışı (Ishihara,1978) .

Deformasyon Boyutu, γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Olay	Salınım, Titreşim		Kırılma, Oturma		Heyelan, Zemin sıkılaştırma, Sıvılaşma	
Dinamik Özellik	Elastik		Elastik-Plastik		Göçme	
					Yineleme etkisi, Yükleme hızı etkisi	



Şekil 6. Zayıflık Indisi, K_g için Nakamura (2000) Modeli.

$$\gamma = A_0 d / h \quad (5)$$

Burada, A_0 : zemin tabakasının sismik genlik büyütme çarpanı, h : zemin tabakasının kalınlığı, d : mühendislik temelindeki sismik yerdeğiştirme, V_b : mühendislik temelindeki S-dalgası hızı ve V_s : zemin tabakasının S-dalgası hızıdır. Mühendislik Temeli üzerinde yer alan zemin birimin baskın titreşim frekansı, F_0 için (Nakamura, 2000):

$$F_0 = V_b / (4A_0 h) \quad (6)$$

Temelkayada deprem nedeniyle oluşacak a ivmesi için:

$$a = w^2 d = (2\pi F_0)^2 d \quad (7)$$

Temelkayadaki yerdeğiştirme, d :

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$d=a/(2\pi F_o)^2 \quad (8)$$

F_o ve d makaslama deformasyonu, γ ifadesinde yazılırsa

$$\gamma = \frac{A_o \left(\frac{a}{4\pi^2 F_o^2} \right)}{\frac{V_b}{4A_o F_o}} = \frac{A_o^2}{F_o} \frac{1}{(\pi^2 V_b)} a = \alpha K_g a, \quad \alpha = \frac{1}{\pi^2 V_b}, \quad K_g = \frac{A_o^2}{F_o} \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da α temelkayanın makaslama dalgası hızına bağlı olmasından ötürü geniş alanlarda hemen hemen aynıdır. Bu durumda K_g değeri çalışılan noktaya özgü kalır ve noktanın “**Sismik Zayıflık İndisi**” olarak adlandırılır. K_g değeri çalışılan alandaki zayıf noktaların tespit edilmesinde oldukça yararlı bilgi sunar. Eğer, yapıya uygulanan efektif yük, statik yükün belirli bir yüzdesi, örneğin %e’si olarak düşünülürse, efektif makaslama deformasyonu, γ_e ,

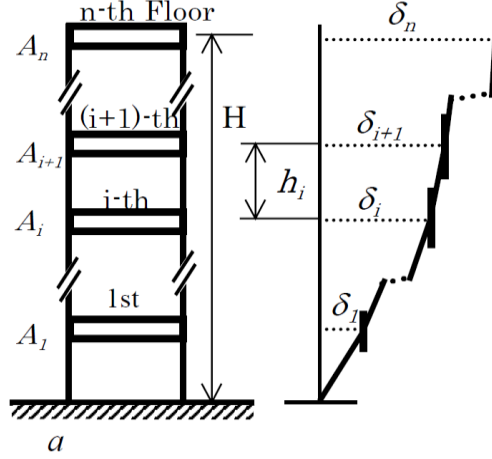
$$\gamma_e = e. \alpha. K_g. a \quad (10)$$

Örneğin temelkaya V_s değeri 600 m/s ise, $\alpha=1.69 \times 10^{-6}$ (sn/cm) olacaktır. Uygulanan efektif yük, için statik yükün %70 şeklinde düşünülürse, $\gamma_e = 0.7 \times 1.69 \times 10^{-6} K_g a$ olacaktır.

Yapı Zayıflık İndisi (K_{bi})’nin Belirlenmesi

Depreme karşı yapıların zayıflık indisi, Sapma (drift) açısından elde edilebilir. δ_i , i.katın düşeyden itibaren yerdeğiştirmesi, i.katın baskın salınım frekansı, F_i ve i.katın genlik çarpanı A_i ’den yararlanarak belirlenebilir. Bunun için Şekil 7’deki gibi bir n-katlı yapı modeli gözönüne alınırsa,

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 7. n-katlı yapı modeli.

$$\delta_i = A_i \alpha / w_i^2 \quad (11)$$

Burada $\alpha = ea$, e: deprem ivmesinin yapıya etki yüzdesi ve a: deprem ivme kaydı. $w_i = 2\pi F_i$. i.kat'ın sapma açısı, γ_i :

$$\begin{aligned} \gamma_i &= (\delta_{i+1} - \delta_i) / h_i \\ &= \Delta A_i \alpha / w_i^2 / h_i \\ \gamma_i &= e K_{bi} a \end{aligned} \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de, $K_{bi} = \Delta A_i / w_i^2 / h_i \times 10^4$, $\Delta A_i = i$. ve i+1.katlar arası genlik çarpan farkı, h_i : i.katın yüksekliğidir (metre). ifadesine göre, her bir katın sapma açısı γ_i , zayıflık indisi K_{bi} ile yüzeyde kayıt edilen yer ivmesinin en büyük değeri **a** (PGA) ve etki oranı **e**'nin çarpılmasıyla belirlenebilir. Tüm yapı için ortalama zayıflık indisi avK_b için,

$$avK_b = A / w_i^2 / H \times 10^4 \quad (13)$$

yazılabilir. Eşitlik (13)'de A: en üst kattaki genlik değeri, H: yapı yüksekliğidir (metre). avK_b değeri K_{bi} yerine kullanılırsa, yapının deprem esnasındaki ortalama sapma açısı $av\gamma$ hesaplanmış olur.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YÖNTEMİN UYGULAMASI

Uygulama yapılan Ankara Üniversitesi Tandoğan Kampüsü F-Blok Binası, 12 Kasım 1999 Düzce depreminde ($M_w = 7.2$) hasar görmüş, binada belirgin çatlaklar oluşmuştur. Şekil 8'de ölçüm yapılan bina ve kullanılan algılayıcı ve bileşenleri sunulmuştur. Tüm ölçümlerde 100 Hz örnekleme oranı ile ortalama 20 dakikalık kayıtlar alınmıştır. Şekil 9'da Bina bahçesinde alınan kayıt ve hesaplanan etkin titreşim frekansı (F) ile genlik büyütme katsayısı (A) verilmiştir. Şekil 10 a-1, her bir katta alınan ölçüm kaydı ve değerlendirme sonuçlarını gösterir. Tablo 2'de tüm sonuçlar bir arada sunulmuştur.

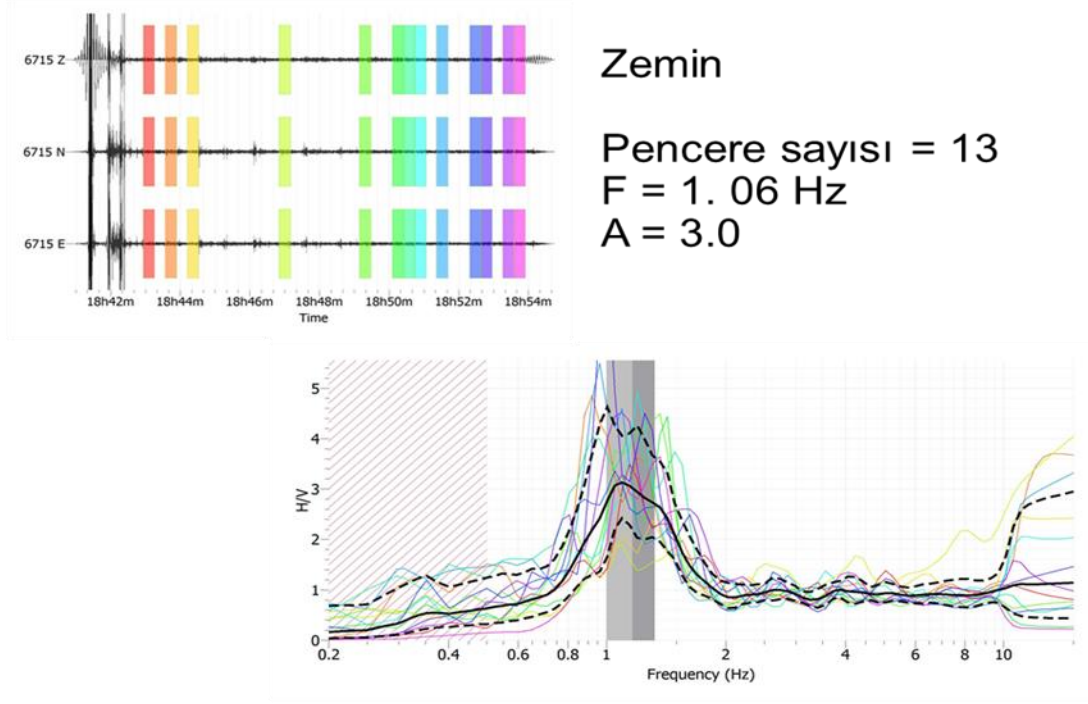


Pencere Uzunluğu = 20 s
Süzgeç: 0.2 Hz – 10 Hz band geçiş
Ortalama Kayıt Uzunluğu = 20 dak.

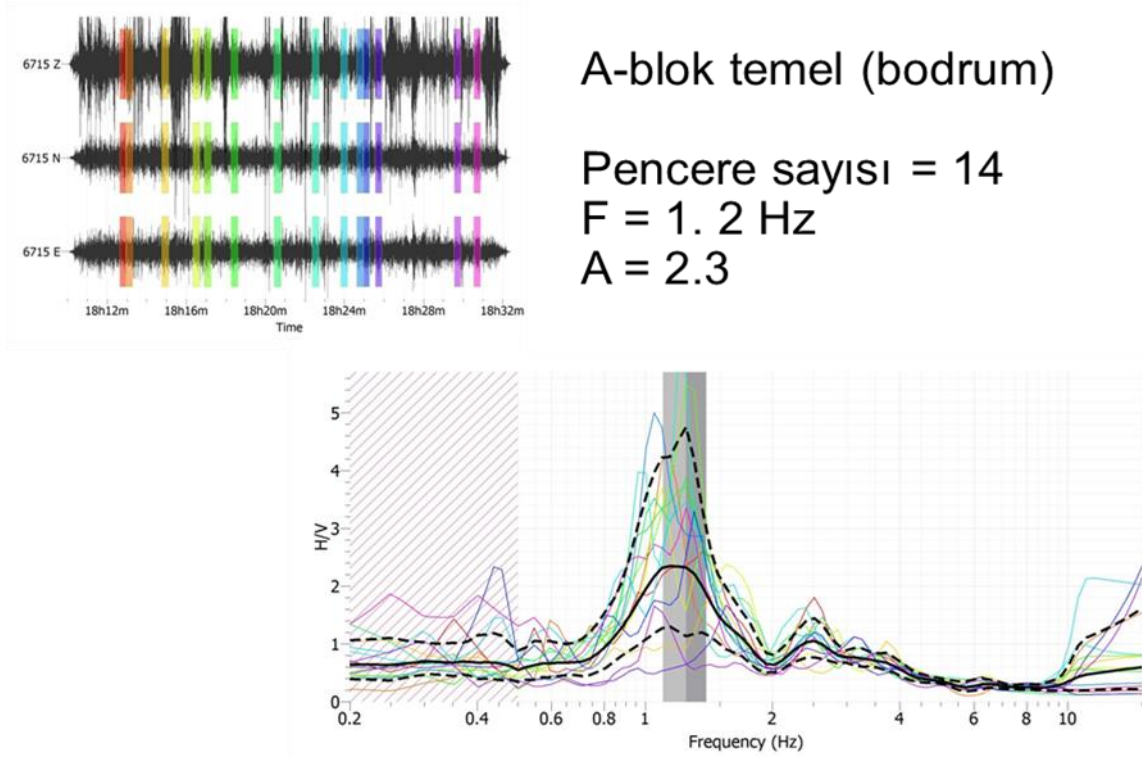


Şekil 8. Ölçüm yapılan bina, her bir katın A ve B ile belirtilen konumlarında ölçümler yapılmıştır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

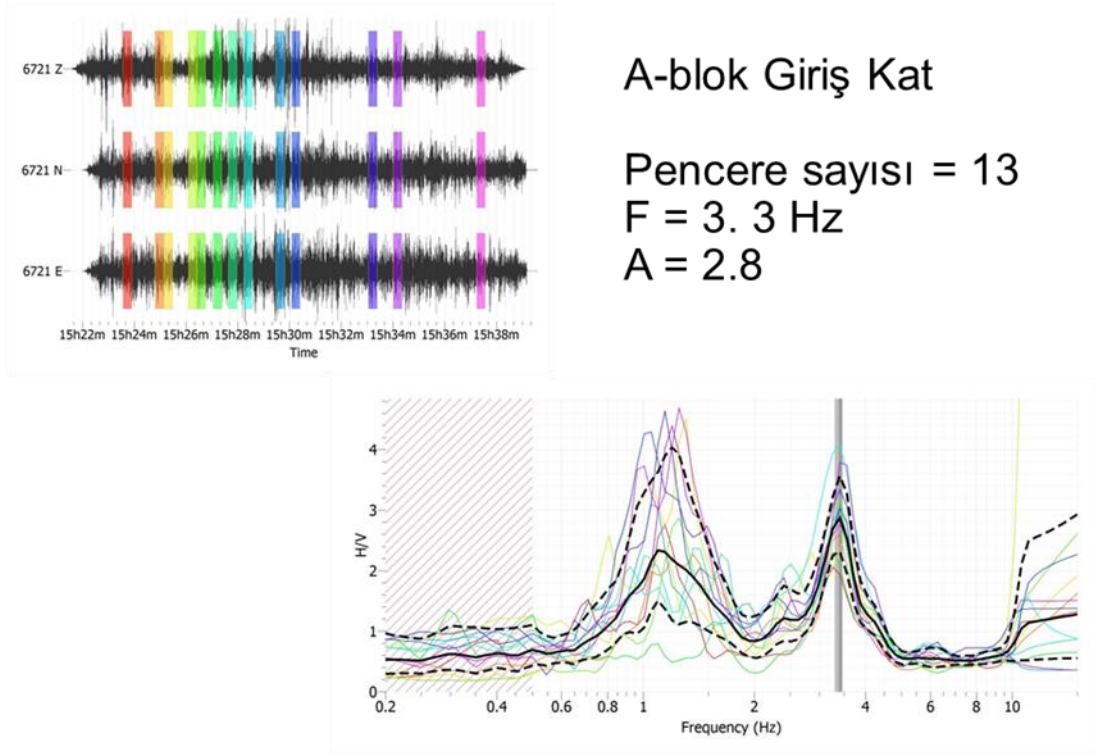


Şekil 9. Bina bahcesi zemini ölçüm sonucu.

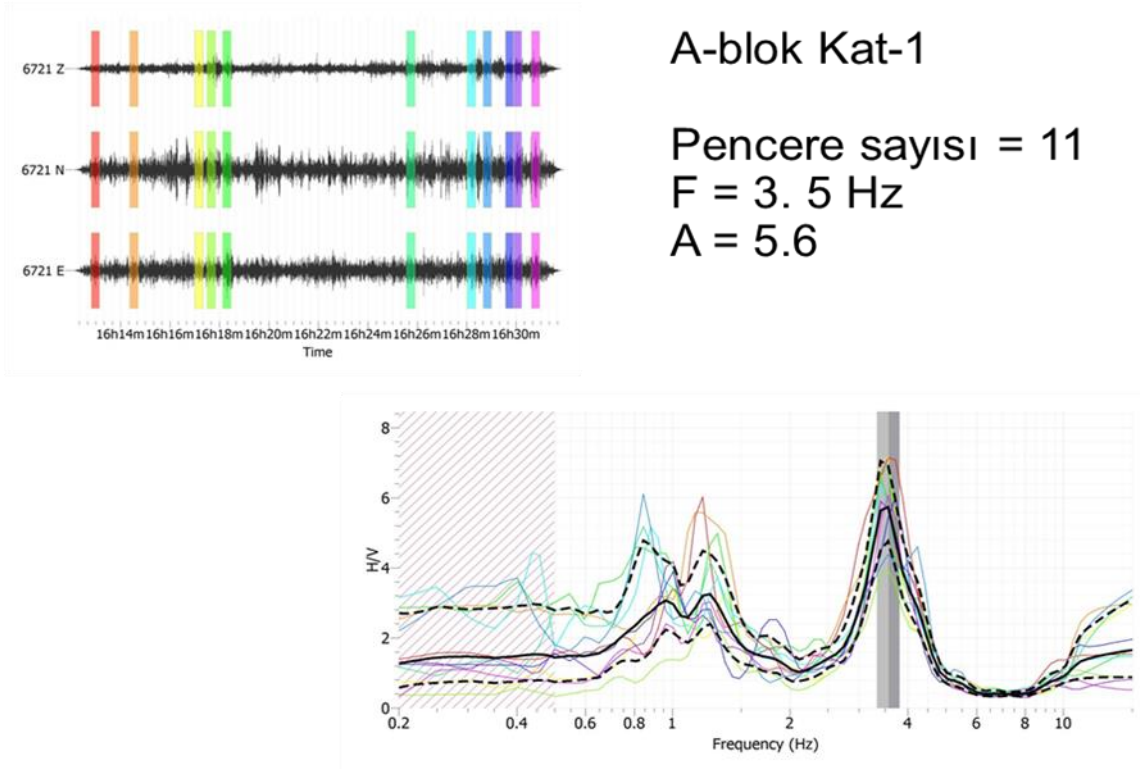


Şekil 10a. A-konumu bina temeli ölçüm sonucu.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

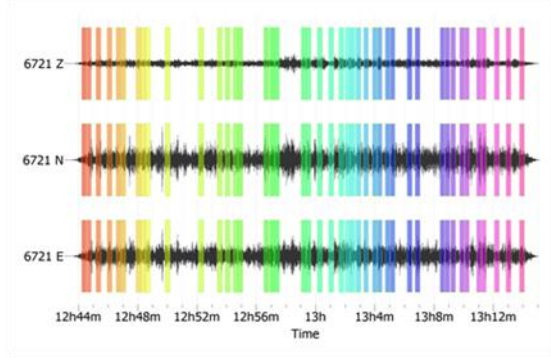


Şekil 10b. A-konumu bina girişi ölçüm sonucu.



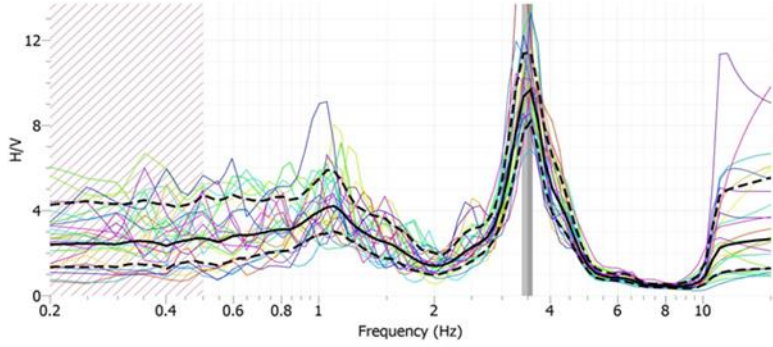
Şekil 10c. A-konumu bina kat-1 ölçüm sonucu.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

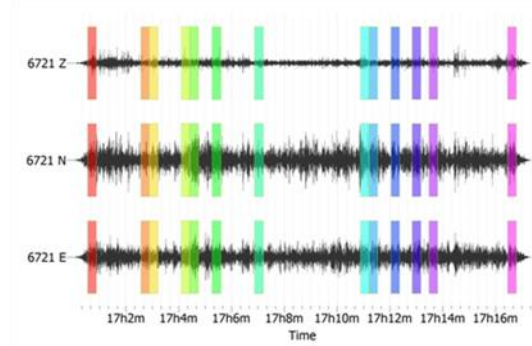


A-blok Kat-2

Pencere sayısı = 42
 $F = 3.7$ Hz
 $A = 9.6$

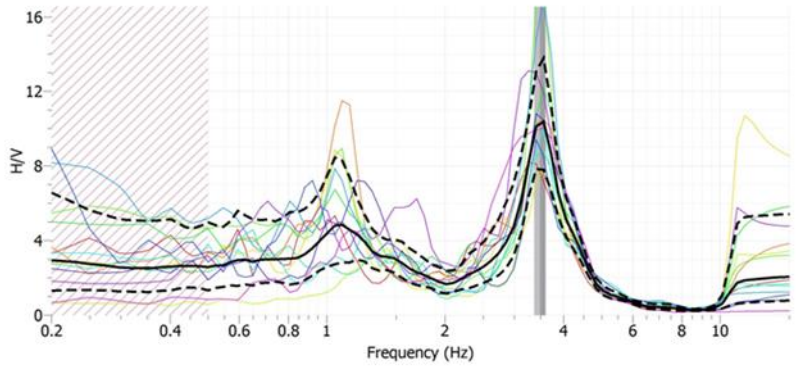


Şekil 10d. A-konumu bina Kat-2 ölçüm sonucu.



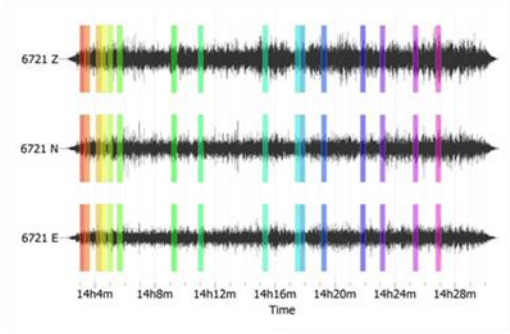
A-blok Kat-3

Pencere sayısı = 13
 $F = 3.4$ Hz
 $A = 10.2$



Şekil 10e. A-konumu bina Kat-3 ölçüm sonucu.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

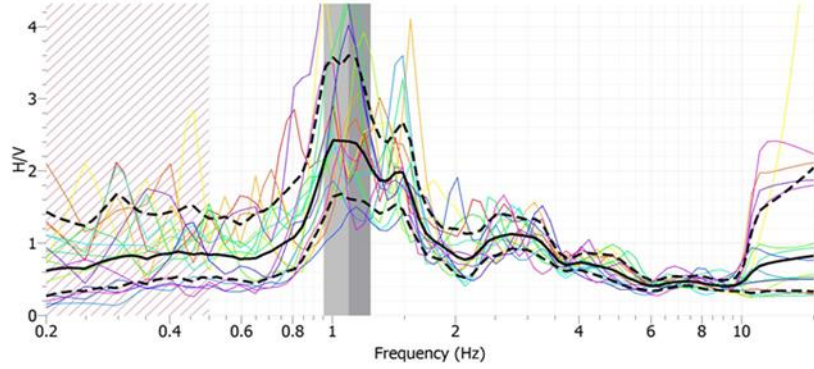


B-blok temel (Bodrum)

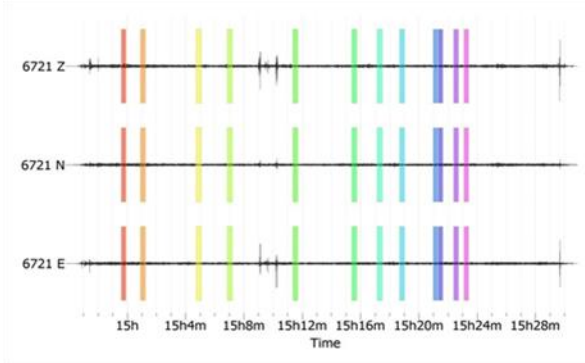
Pencere sayısı = 16

$F = 1.1\text{Hz}$

$A = 2.4$



Şekil 10f. B-konumu bina temeli ölçüm sonucu.

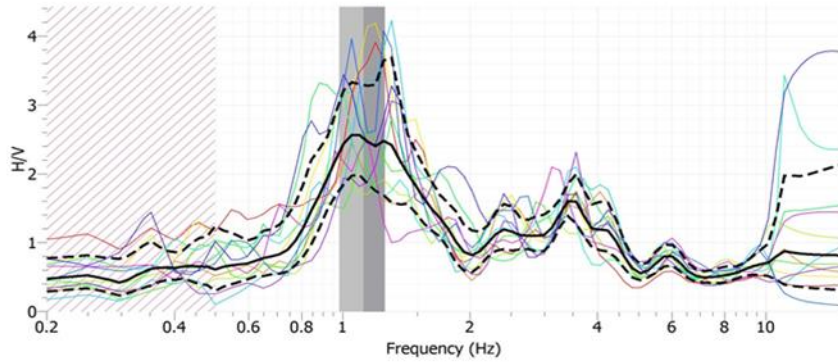


B-blok Giriş Kat

Pencere sayısı = 12

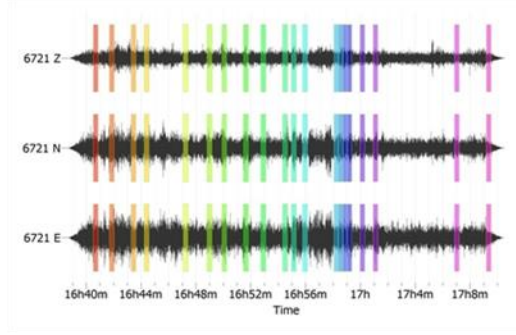
$F = 1.2\text{Hz}$

$A = 2.5$



Şekil 10g. B-konumu bina girişi ölçüm sonucu.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

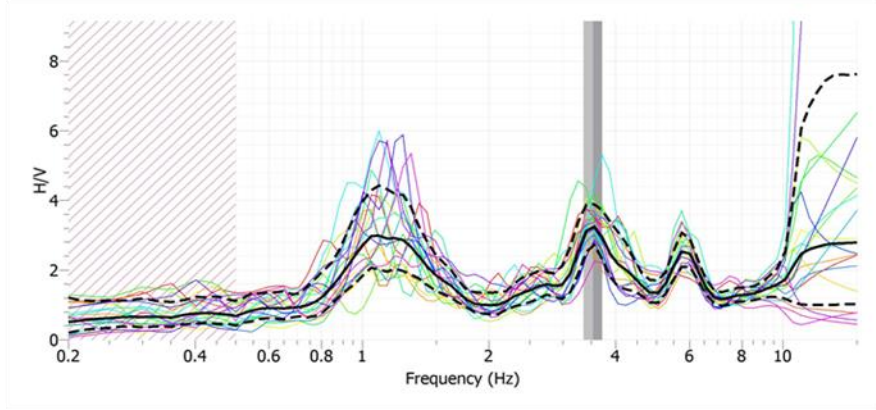


B-blok 1. Kat

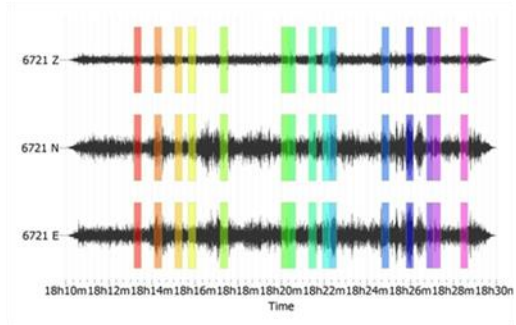
Pencere sayısı = 20

$F = 3.5\text{Hz}$

$A = 3.2$



Şekil 10h. B-konumu bina Kat-1ölçüm sonucu.

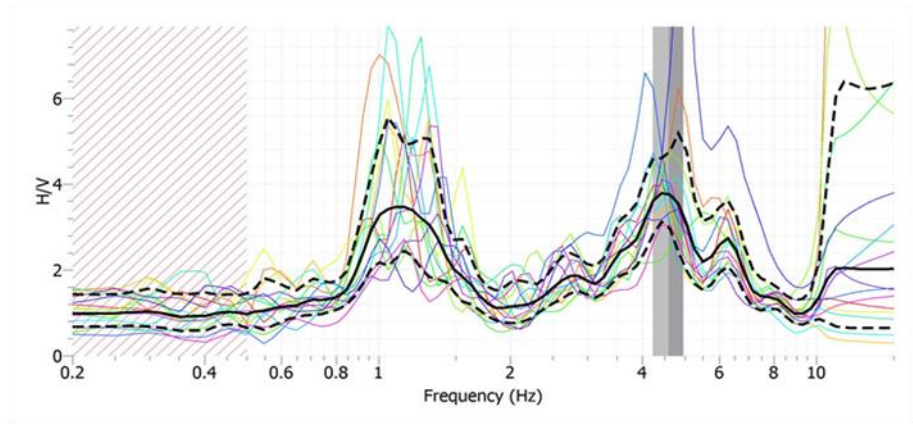


B-blok 2. Kat

Pencere sayısı = 15

$F = 4.6\text{Hz}$

$A = 3.8$



Şekil 10i. B-konumu bina Kat-2 ölçüm sonucu.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 2. Ölçü alınan bina katlarında hesaplanan etkin frekans, sismik genlik büyütme çarpanı, ve Zayıflık İndisi.

A	F _i (Hz)	A _i	K _{bi} x 10 ⁴	B	F _i (Hz)	A _i	K _{bi} x10 ⁴
Zemin	1.06	3.0	8.5				
Temel	1.2	2.3	-	Temel	1.1	2.4	-
Giriş	3.3	2.8	3.6	Giriş	1.2	2.5	5.5
1.Kat	3.5	5.6	18.1	1.Kat	3.5	3.2	4.5
2.Kat	3.7	9.6	23.1	2.Kat	4.6	3.8	2.3
3.Kat	3.4	10.2	46.6				

Gerek zemin gerekse yapı zayıflık indis değeri arttıkça hasar görme derecesi artmaktadır. Bir standart olmamakla birlikte, Zayıflık indisine göre hasar görülebilirlik derecesi için:

$K_g \leq 3$, Düşük

$3 < K_g \leq 5$, Orta

$5 < K_g \leq 10$, yüksek

$K_g > 10$ çok yüksek

olarak sınıflandırılabilir.

SONUÇLAR

Yer araştırmalarında yaygın olarak kullanılan mikrotremor yöntemi, yapıların doğal salınım periyotlarının ve genlik büyütme davranışlarının belirlenmesinde de kullanıldığı gibi yer ve yapıların zayıflık indislerinin hesaplanmasında da kullanılabilir. Özellikle düzgün şekilli (örneğin kare, daire gibi) olmayan yapılarda farklı doğrultularda farklı frekans davranışları ve genlik büyütme göstermesi, yapının deprem gibi kuvvetli yer hareketinde görece olarak daha kolay hasar görebileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Nakamura, Y., and Saito, A., 1983, Estimations of Amplification Characteristics of Surface Ground and PGA using Strong Motion Records (in Japanese), Proc. 17th JSCE Earthquake Eng. Symp., 25-28

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 30(1), 25-33.

Nakamura, Y., 1997, Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor, World Congress on Railway Research in Florence, Italy.

Nakamura, Y., 2000, Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications: 12th World Conference on Earthquake and Engineering, Proceedings, 2656-2664.

Nakamura, Y., 2008, On The H/V Spectrum, The 14th World Conference On Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

BETONARME BİNALARIN ULTRASONİK SİSMİK HIZLARDAN BETON DAYANIMININ BELİRLENMESİ

Osman Uyanık

Mail Adresi: Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bl. Çünür/Isparta

E-mail: osmanuyanik@sdu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Beton, sismik hızlar, dayanım, ilişkilendirme

ÖZET Bu çalışmada beton dayanımının dolaylı olarak sismik hızlardan belirlenmesi amaçlanmıştır. Bilindiği üzere beton dayanımı betonarme yapının uygun yerlerinden karot alınıp ve bu karotların tek eksenli basınç deneyi sonuçları ile hasarlı bir biçimde belirlenmektedir. Sismik hızlardan ise beton dayanımı hasarsız olarak elde edilmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde beton dayanımına dolaylı olarak sismik P dalga hızından yaklaşımlar güvenilir bir biçimde verilmektedir. P dalgası ile S dalgasının birlikte kullanılarak beton dayanımına yaklaşım yapılabileceği de gösterilmiştir. P ve S dalga hızlarının birlikte kullanılarak sadece beton dayanımı değil aynı zamanda elastik parametreler ve Poisson oran gibi değerlere direkt ulaşılmaktadır. Bu amaçla yapılmış olan Uyanık, 2012 ve Uyanık vd., 2013 çalışmalarının bir derlemesi sunulmaya çalışılmıştır.

GİRİŞ

Kentsel dönüşüm projeleri kapsamında yapılar incelemeye alınmaya başlamıştır. Dönüşüm projeleri geniş çaplı olup sadece yapı incelemelerinden ibaret değildir. Yapılar incelemeye başlanmadan önce yapılaşmanın olduğu bölgenin zemin araştırmaları yapılmalıdır. Çünkü yapı ne kadar dayanıklı olursa olsun zeminden kaynaklanan problemlerde (Sıvılaşma, Taşıma Gücü Kaybı, Heyelan gibi) yapı hasar alacaktır. Bu nedenle yapı incelemeleri zemin araştırmalarından başlamalı, bölgelerin yerleşime uygunluk haritaları üretilmelidir. Yerleşime uygunluk haritalarının üretilmesi amacıyla bölgelerin eğim haritası, yükseklik haritası, heyelan ve sıvılaşma tehlikesi haritaları, anakaya derinlik haritası, yer altı suyu seviyeleri haritası, ivme haritası, deprem tehlike haritası, zemin sınıflaması haritası yapılmış olması gerekmektedir. Tüm bu haritalar birlikte değerlendirildikten sonra afet riski yüksek bölgeler belirlenir ve bu bölgelere yapılaşma izni verilmez (Uyanık vd., 2013).

Betonarme yapılar iskelet olarak demir donatı ve betondan meydana gelmektedir. Bu yapı elemanlarının denetlenmeleri depreme karşı dayanıklılığı açısından önemlidir. Bu yüzden bu yapı elemanlarının kontrolü farklı disiplinleri bir araya getirmektedir. Bilindiği üzere yapı İnşaat mühendisliği tarafından dizayn edilir. Ancak yapı dizayn edilmeden yapı hesaplarında kullanılacak olan zemine ait parametreler Jeofizik Mühendisleri tarafından belirlenerek İnşaat Mühendislerine verilir. Bu zemin parametreleri ve İnşaat Mühendisliği için gerekli diğer parametreler kullanılarak yapı, deprem ve zemine uygun olarak dizayn edilmiş olur. Burada olduğu gibi inşaat yapılırken, bittikten sonra ya da yıllar sonra yapı kontrolü için gerekli alt parametreler Jeofizik Mühendisleri tarafından belirlenerek İnşaat Mühendislerine verilir. Böylece yapı denetlenmesi bu şekilde (İnşaat ve Jeofizik Mühendisleri birlikte) daha doğru olacaktır. Bilindiği üzere Jeofizik yöntemler, bütün yapılarda beton ve donatıya zarar vermeden bu malzemelerin elastik ve fiziksel özelliklerini belirleyerek kalitesini tespit etme açısından yapı inceleme yöntemleri arasında büyük önem taşımaktadır (Uyanık 2012).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Beton kalitesinin belirlenmesinde jeofizik yöntemler dışında klasik yöntemlerde uygulanmaktadır (Karot alımı, Schmidt Çekici gibi). Beton kalitesini direkt olarak belirleyebilmek için betondan karot alınarak laboratuarda basınç testleri yapılır. Standartlara göre alınması gereken karot sayısı 9-10 adettir. Bu da betondaki tahribatı artırmaktadır. Bu açıdan beton tahribatını azaltmak, zaman ve maddi açıdan ekonomik sonuçlar elde etmek için binalarda, köprülerde, tünellerde, her çeşit mühendislik yapılarında yapılara hiçbir zarar vermeden matematik ve fiziksel esaslara dayanan Jeofizik Mühendisliğinde yoğun kullanılan yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden; sismik ultrasonik yöntem ile beton çatlaklığı, gözenekliliği, nemliliği, homojenliği, elastik parametreleri ve Poisson oranını belirleyerek betonun kalitesi ortaya konulur. (Uyanık 2012).

Birçok araştırmacı (örnek: Pessiki ve Carino, 1988; Arıoğlu vd. 1994; Kheder 1999; Uyanık vd. 2011) tahribatsız yöntemlerden ultrasonik puls hızı tekniğini kullanıp P dalgalarının hızından beton kalitesini belirlemişlerdir. Arıoğlu vd., 1994 de beton kalitesini P dalga hızından en fazla %5 hata ile belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Uyanık vd. (2011) de sismik ultrasonik puls hızı tekniğini kullanarak P dalgalarını ölçmüş ve hesapladıkları P dalga hızıyla beton kalitesini belirlemişler ve ek olarak beton üzerindeki sıvanın etkisini ortaya koyan deneysel bir ilişki sunmuşlardır. Bu tip çalışmalarda betonun özelliklerine bağlı olarak P dalga hızlarının dağılımı geniş aralıklar içerebilir. Bunun nedeni betonun ana bileşeni olan agreganın farklı türleri, boyutu ve yüzdesi hızda farklılıklar yaratır. Agreganın yanı sıra betonda kullanılan çimentonun yüzdesi, tipi de hızda azda olsa farklılık oluşturur. Bunlara ek olarak betonun nemliliği ya da kuru olması P dalga hızında değişiklik oluşturacaktır. Ayrıca beton içerisinde olabilecek boşluk ya da kırıklıklardan P dalga hızı etkilenecektir. Bu ilişkilerdeki dağınıklığı kontrol edecek üçüncü bir parametreye ihtiyaç olduğu açıktır. Bu parametre betonun mukavemetine, agrega türüne, çimento özellikleri gibi birçok özelliğe bağlı olan kayma (S) dalga hızı olabilir. Ayrıca basınç ve kayma dalga hızlarının birlikte kullanılması ile betonun gözeneklerinin kuru ya da suya doygun olması yorumlanır ve betonun elastik özellikleri ve Poisson oranı gibi parametreler doğrudan bulunur (Uyanık vd. 2013).

BETON KALİTESİNİ BELİRLEMEDE SİSMİK ULTRASONİK YÖNTEM

Yapı incelemelerinde en önemli durum yapı iskeletini oluşturan elemanların (beton ve donatı) kalitesinin belirlenmesidir. Beton kalitesi klasik olarak yerinde karot alımı ve laboratuarda basınç yöntemleri ile belirlenebildiği gibi jeofizik yöntemlerle yerinde yapıya hasar vermeksizin daha hızlı belirlenebilmektedir. Beton kalitesinin belirlenmesinde sismik hızlar kullanılmaktadır. Bu hızlar yerinde ve laboratuvar da belirlenebilir. Eğer yapıdan karot alınmışsa ister karot üzerinde ister karotun alındığı yerde sismik çalışmalar yapılabilir. Dolayısıyla az karotlu ya da karot almadan beton kalitesi belirlenir. Beton kalitesi belirlemek için yerinde Sismik Ultrasonik ve Sismik tomografi çalışmaları yapılabilir (Uyanık 2012).

Sismik Ultrasonik Çalışmalar: Yapılardaki betonların mekanik özelliklerini yerinde ve laboratuarda belirleyebilmek için Sismik Ultrasonik yöntemde puls hızı tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik elastik dalga yayılma teorisine dayanmaktadır. Laboratuarda boyuna ve enine dalga hızlarını belirlemek için bu sismik elastik dalgaların numunenin

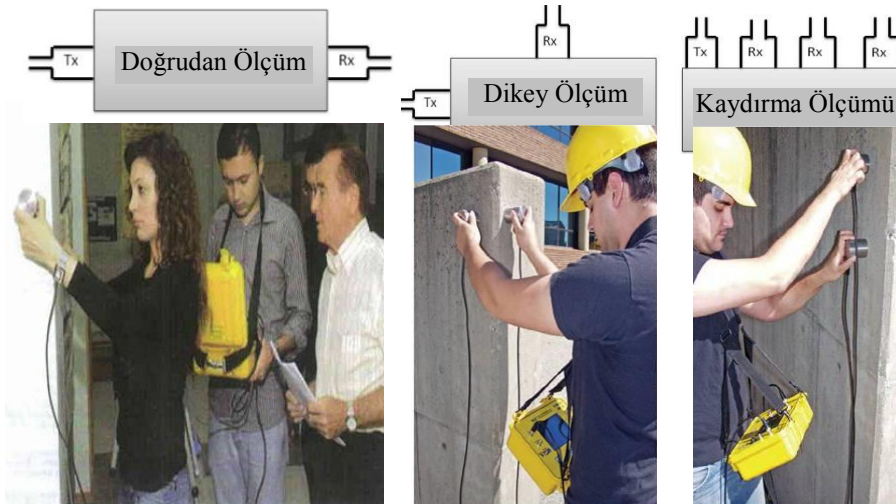
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

içinden geçtiği süreler ölçülerek bilinen numune boyundan sismik dalgaların hızları belirlenebilir. Yerinde ise sismik hızlar alıcı-verici arasındaki uzaklık ve elastik dalgaların geçtiği süreler ölçülerek belirlenir (Uyanık 2012).

Ultrasonik cihazı ile ölçüme başlamadan önce cihazın sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı transducer (dönüştürücü) tarafından elektrik pulsunun alınışı ile bunun bir sismik pulsa çevrilmesi işlemi birkaç mikrosaniye sürer ve bu gecikme giderilmelidir. Bu yüzden sıfır ayarı yapılır. Ancak P ve S dalgaları için ayrı sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı bittikten sonra P ya da S dalga seçeneklerinden gerekli ayarlar yapılarak P ya da S dalga hızı ölçümüne geçilebilir. Ultrasonik enerji hava boşluğu tarafından gecikmeye uğrar. Bu yüzden numune ile alıcı verici problemler arasında çok iyi bir iletimin sağlanması gereklidir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılmalıdır. Ancak S dalga hızı ölçümünde bu gibi maddeler kullanılmamalıdır. Numune yüzeyinin pürüzsüz ve düzgün olması da ölçümü etkileyen önemli faktörlerden biridir (Uyanık 1991; Uyanık 1999; Uyanık ve Çathoğlu, 2010). Ultrasonik sismik cihaz da bir verici (Tx) ve bir alıcı (Rx) problemler vardır. Numunenin bir tarafından dalga gönderilirken diğer bir taraftan dalga geliş zamanı kaydedilir ve Tx ile Rx arasındaki uzaklığın (L) zamana (t) oranından hız (V) belirlenir (Uyanık 2012).

Bu yöntem ile numune üzerinde ve yerinde bina, köprü, yol malzemeleri gibi her türlü yapıda ölçümler yapılabilir. Bu ölçümlerin yapıldığı betonların, mekanik özelliklerini belirlemenin yanı sıra beton içerisindeki kırık, boşluk ve bozuşma durumu da belirlenebilir. Bu yöntemin en önemli özelliklerinden biride yapıya hiçbir zarar vermeden hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktır. Ancak yerinde yapılan beton ölçümlerinde donatı üzerinde ölçü alınıp alınmadığını belirlenmesi beton kalitesinin yorumlanmasında önemlidir (Uyanık, 2012).

Ölçüm Teknikleri: Alıcı ve vericinin konumlarına göre doğrudan, dikey ve kaydırma ölçüm teknikleri şekil 1 de sunulmuştur.



Şekil 1. Ultrasonik yöntem ile ölçüm teknikleri.

Bu teknikler ile kolon ve kirişler üzerinde ölçüm yapılabildiği gibi alınan numuneler üzerinde de ölçümler yapılabilir. Fakat betona ve donatıya zarar vermemek açısından yöntemin direkt

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

kolon ve kirişler üzerinde uygulanması daha doğrudur. Yapıdan karot alınmış ve karotlar üzerinde basınç deneyi yapılmadan önce ultrasonik yöntem ile P ve S dalga hızları belirlenir ve sonra basınç değeri elde edilirse hızlar ile basınç değerleri karşılaştırılır ve değerlerin doğruluğu farklı yöntemlerle kontrol edilmiş olur.

Birçok araştırmacı beton dayanımını bulmak için sismik ultrasonik yöntem ile basınç dalga hızı belirleyerek beton dayanımına deneysel yaklaşımlar yapmışlardır. Çoğunlukla bu yaklaşımlar üssel ve eksponansiyel ilişkiler olarak sunulmuştur. Bu ilişkiler aşağıdaki eşitlikler ile ve katsayıları da Tablo 1 de verilmiştir. Bu ilişkilerin eğrileri Şekil 2 de sunulmuştur (Uyanık, 2012).

$$f_c = a V_p^b \quad f_c = A \exp(B V_p)$$

Bu ilişkilere benzer olarak Uyanık vd. 2011 de 28 günlük silindirik ve kübik beton numunelerin P dalga hızları belirlendikten sonra laboratuarda kırma işlemleri yapılmış ve MPa cinsinden beton dayanımları belirlemişlerdir (Şekil 2 de kırmızı renkli eğri). Uyanık vd. 2011 de P dalga hızı ile dayanım arasında aşağıdaki üssel deneysel ilişkiyi önermişlerdir.

$$f_c = 2.6 V_p^{1.8}$$

Bu ilişkilerden farklı olarak Knaze ve Beno (1994) de sismik ultrasonik yöntemle belirlenen P dalga hızı ile beton dayanımı arasında 3. ve 2. dereceden bir polinom ile aşağıdaki ilişkileri vermiştir.

$$f_c = -9.81 - 7.16V_p - 0.926V_p^2 + 1.371V_p^3$$

$$f_c = -267.5 + 112.7V_p - 10.13V_p^2$$

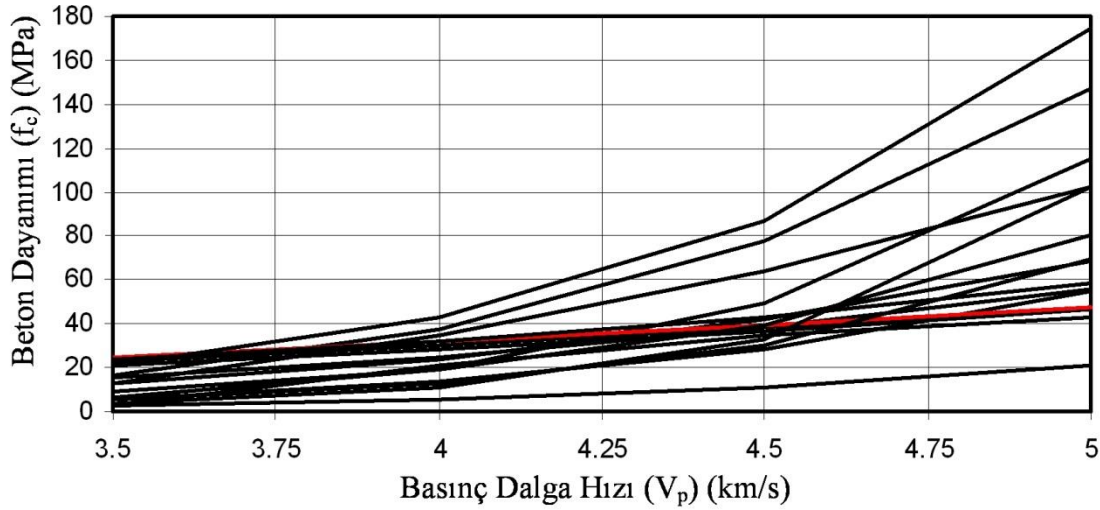
bağıntılarda f_c basınç dayanımı (MPa), V_p ise boyuna dalga hızı (km/sn)' dir.

Tablo 1. Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları (Uyanık, 2012)

$f_c = aV_p^b$	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
a	0.00834	1.745	1.304	0.000241	0.171	0.0022	0.036	2.6
b	6.074	2.057	2.222	8.1272	3.593	6.289	4.696	1.8
$f_c = A \exp(BV_p)$	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]		
A	0.0141	0.0012	0.06	2.901	0.15833	0.0316		
B	0.0017	0.00227	0.00144	0.0006	0.0014	0.0013		
[1]: Pessiki ve Carino 1988	[2]: Kheder 1999	[3]: Ferreira veCastro 1999						
[4]: Pascale vd. 2000	[5]: Biondi ve Candigliota, 2008	[6]: Yoo ve Ryu 2008						
[7]: Machado vd. 2009	[8]: Uyanık vd. 2011	[9]: Klieger 1957						
[10]: Elvery ve Ibrahim 1976	[11]: Ravindraiah vd. 1988	[12]: D'Ambrisi vd. 2008						
[13]: Chang ve Lien 2008	[14]: Atici 2011							

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Birçok araştırmacı tarafından önerilen basınç dalga hızından beton dayanımı ilişkilerinin dağılımı geniş bir aralık içermektedir (Şekil 2). Bunun nedeni betonun ana bileşeni olan agreganın farklı türleri, boyutu ve yüzdesi hızda farklılıklar yaratır. Agreganın yanı sıra betonda kullanılan çimentonun yüzdesi, tipi de hızda azda olsa farklılık oluşturur. Bunlara ek olarak betonun nemliliği ya da kuru olması P dalga hızında değişiklik oluşturacaktır. Ayrıca beton içerisinde olabilecek boşluk ya da kırıklıklardan P dalga hızı etkilenenektir. Şekil 2 de sunulan ilişkilerin geniş bir aralıktaki dağılımı yukarıda belirtilen betonu oluşturan elemanların özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2 den görüleceği üzere basınç dalga hızı 3.5 km/s de beton dayanımının alt ve üst sınırları 3-25 MPa iken basınç dalga hızı 5 km/s de beton dayanımının alt ve üst sınırları 20-170 MPa dır. Bu ilişkilerdeki dağınıklığı kontrol edecek üçüncü bir parametreye ihtiyaç olduğu açıktır. Bu parametre betonun mukavemetine, agrega türüne, çimento özellikleri gibi birçok özelliğe bağlı olan kayma (S) dalga hızı olabilir. Ayrıca basınç ve kayma dalga hızlarının birlikte kullanılması ile betonun gözeneklerinin kuru ya da suya doymun olması yorumlanır ve betonun elastik özellikleri ve Poisson oranı gibi parametreler doğrudan bulunur (Uyanık, 2012).

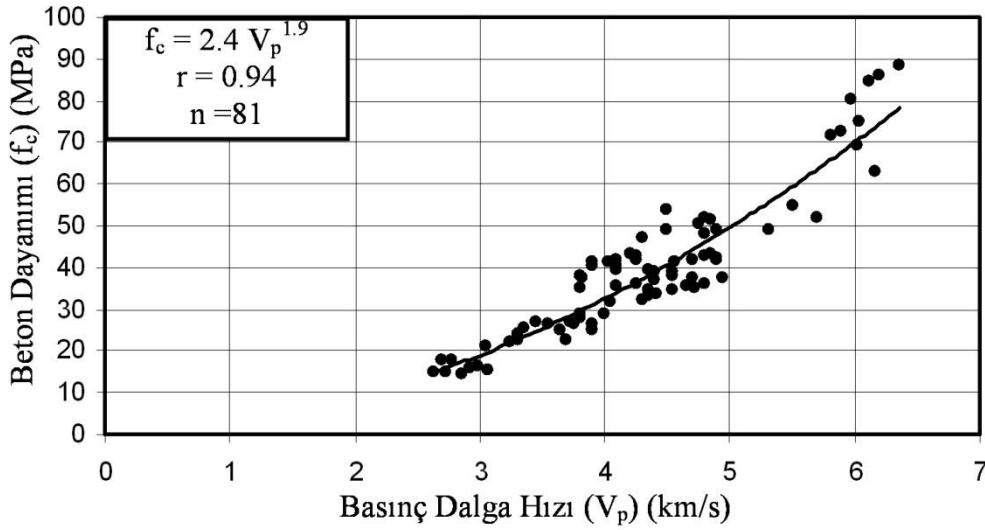


Şekil 2. Farklı araştırmacılara ait P dalga hızından beton dayanım ilişkileri.

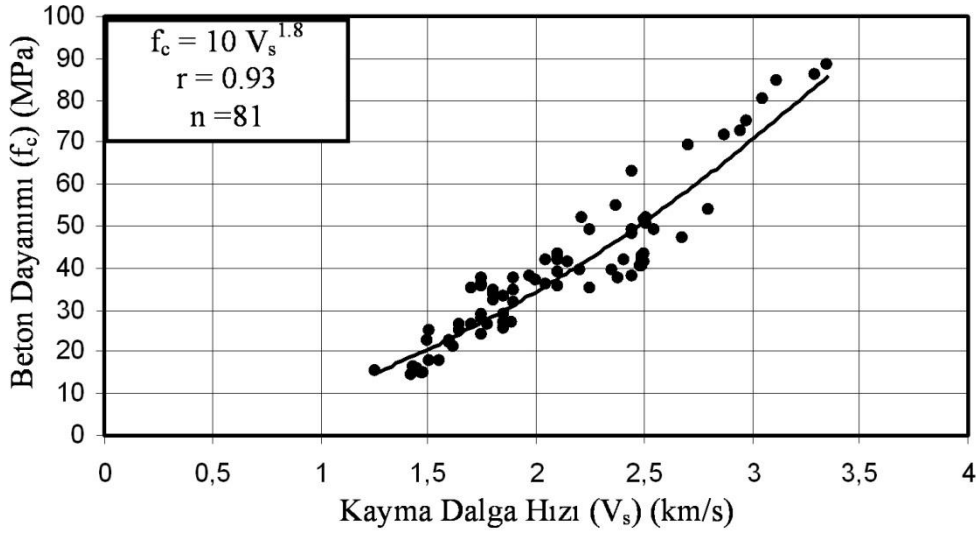
Tablo 1 ve Şekil 2 de sunulan ilişkiler arasında kırmızı renkle belirtilen Uyanık vd. (2011) ilişkisidir. Bu ilişki, diğer ilişkiler ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak ortalama bir eğri oluşturmaktadır (Uyanık, 2012). Ancak beton dayanımının P dalga hızı ile ilişkisinde bir saçılma olduğu literatür ilişkilerinden (Şekil 2) anlaşılmaktadır.

Bu amaçla Uyanık vd., (2013) de laboratuvar koşullarında hazırlanan ve yapılardan alınan beton örnekleri üzerinde basınç dayanımı belirlenmeden önce ultrasonik basınç ve kayma dalga hızları belirlemişlerdir. Bu örneklerin yoğunlukları 2,2-2,6 gr/cm³ arasında değişmektedir. Betonun basınç dayanımı ile basınç (P) dalga hızı ve kayma dalga (S) hızı arasında deneysel ilişkiler Şekil 3, 4 de sunulmuştur. Bu şekiller irdelendiğinde betonun basınç dayanımının basınç dalga hız ile %94 ve kayma dalga hız ile %93 ilişkili olduğu görülür. Şekil 4 de bulunan değerler Şekil 3 deki değerlere göre daha saçılmış bir haldedir. Bunun nedeni betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine S dalga hızının daha hassas olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden beton dayanımı hem basınç dalga hızı hem de kayma dalga hızı kullanılarak belirlenmesi daha doğru sonuçlar doğuracaktır. Bu amaçla şekil 5 oluşturulmuştur (Uyanık vd., 2013).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 3. Beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişki (uyanık vd. 2013).



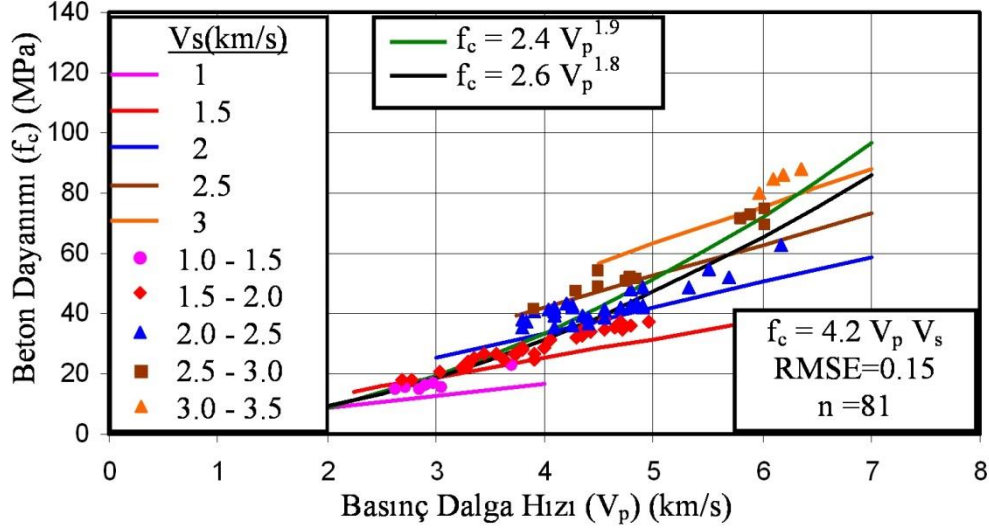
Şekil 4. Beton dayanımı ile kayma dalga hızı arasındaki ilişki (Uyanık vd., 2013).

Uyanık vd., 2013 de Şekil 5 oluştururlarken kayma dalga hızına bağlı sınıflama yapmışlardır. Kayma dalga hızı 1.0-1.5 km/s arasındaki değerleri pembe (daire), 1.5-2 km/s arasındaki değerler kırmızı (baklava) renkle, 2-2.5 km/s arasındaki değerler mavi (üçgen) renkle, 2.5-3 km/s arasındaki değerlerde kahve (kare) renkle ve 3.0-3.5 km/s arasındaki değerlerde turuncu (üçgen) renkle gösterilmiştir. Bu farklı renklerdeki değerlerin sınırlarını göstermek üzere $V_s=1.0$ km/s olan pembe renkli eğri, $V_s=1.5$ km/s olan kırmızı eğri, $V_s=2$ km/s olan mavi eğri, $V_s=2.5$ km/s olan kahve eğri ve $V_s=3$ km/s olan turuncu renkli eğriler görülür. Ayrıca siyah renkli eğri Uyanık vd., 2011 de beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterirken yeşil renkli eğri bu çalışmada elde edilen beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu iki eğriye bakıldığında farklı olmadığı sadece basınç dalga hızının büyük değerlerinde az farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum veri sınırları değiştikçe ve daha fazla veri kullanıldıkça deneysel ilişkilerin katsayılarında değişiklik olacaktır. Beton dayanımı belirlemek için hem basınç hem de kayma dalga hızları ölçüldüyse

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

aşağıdaki çok parametrelili ilişkinin kullanılması daha doğru olacaktır. Ancak kayma dalgalarının ölçümü hassas yapılmalıdır (Uyanık vd., 2013).

$$f_c = 4,2 V_p V_s$$



Şekil 5. Beton dayanımı ile basınç ve kayma dalga hızları arasındaki ilişki (Uyanık vd., 2013).

Şekil 2 de sunulan ilişkiler arasında kırmızı renkle belirtilen Uyanık vd. (2011) ilişkisi diğer ilişkiler ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak ortalama bir eğri oluşturmaktadır. Bu ilişki ve Uyanık vd., (2013) de belirlediği yukarıda gösterilen hem P hem de S dalga hızına bağlı ilişkiler kullanılarak aşağıdaki sınıflama tablosu oluşturulmuştur. Bu tablo oluşturulurken Whitehurst (1951) sınıflaması göz önünde tutulmuştur.

Tablo 2. Basınç ve Kayma dalga hızlarına bağlı beton kalite sınıflaması (Uyanık vd., 2013).

	Whitehurst, 1951	Uyanık vd. 2011	Uyanık vd., 2013	
Beton Kalitesi	V _p (m/s)	V _p (m/s)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Çok iyi	>4500	>4565	>4400	>2200
İyi	3650-4500	3515-4565	3450-4400	1750-2200
Orta	3050-3650	2930-3515	2900-3450	1500-1750
Zayıf	2000-3050	2110-2930	2150-2900	1150-1500
Çok zayıf	<2000	<2110	<2150	<1150

SONUÇLAR

Betonun dayanımı karot almak dışında ultrasonik yöntem ile yapıya hasar vermeden hem P hem de S dalga hızı kullanılarak çok daha hassas belirlenebilir. Ayrıca P ve S dalga hızı belirlenmiş bir betonun elastik parametreleri ve Poisson oranı da kabul yapılmadan hesaplanır ve betonun gözeneklerinin kuru ya da suya doygun olması yorumlanır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Klasik yapı inceleme yöntemlerinde kolon ve kirişlerden karot alınarak beton testi yapılırken sadece örneğin alındığı yer incelenmiş olur. Jeofizik yöntemler ile yapı incelemelerinde kolon ve kirişlerin tomografik görüntüsü elde edilir yapının tamamı incelenir ve yapıya hasar vermeden dayanımı ortaya konulur.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu E., Odbay O., Alper H., Arıoğlu B., (1994), Birleşik yıkıntısız yöntemle beton dayanımının kestirilmesi için yeni formül ve uygulama sonuçları. **Beton Prefabrikasyon**, 29, 5-11.
- Atici U., (2011), Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network. **Expert Syst. Appl.**, 38, 9609-9618.
- Biondi S, Candigliota E., (2008), In situ test for seismic assessment of RC structures. In:14th world conf on earthquake engineering, Beijing, China.
- Chang CW, Lien HS., (2008), Nondestructive measurement of concrete strength at early ages.
- D'Ambrisi A, Cristofaro MT, De Stefano M., (2008), Predictive models for evaluating concrete compressive strength in existing buildings. In: 14th world conf on earthquake eng. Beijing, China.
- Elvery RH, Ibrahim LAM., (1976), Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages. **Mag Concr Res**, 181-190.
- Ferreira AP, Castro PF., (1999), Application of NDT to concrete strength estimation. NDTISS'99, Torres.
- Kheder GF., (1999), A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing. **Mater Struct**, 32(6), 410-417.
- Klieger P., (1957), Long time study of cement performance in concrete: chapter 10, Progress report on strength and elastic properties of concrete In: **ACI J Proc** 54, 481-504.
- Knaze P, Beno P., (1994), The Use of Combined Non-Destructive Testing Methodsto Determine the Compressive Strength of Concrete, **Materials and Structures**, 207-210.
- Machado MD, Shehata LCD, Shehata IAEM., (2009), Correlation curves to characterize concrete used in Rio de Janeiro by means of nondestructive tests. **Ibracon Struct Mater J.**, 2(2), 100-123.
- Pascale G, Di Leo A, Carli R., (2000), Evaluation of actual compressive strength concrete by NDT. In: 15th world conference on non-destructive testing, 10p, Roma.
- Pessiki SP, Carino NJ., (1988), Setting time and strength of concrete using the impact-echo method. **ACI Mater J.**, 85(5), 389-390.
- Ravindrajah SR, Loo YH, Tam CT., (1988), Strength evaluating of recycled-aggregate concrete by in situ tests. **Mater Struct** 21, 289-295.
- Uyanık O., (1991), Kaya Mekaniği ve Jeofizik Laboratuar Parametrelerinin İlişkilendirme Açısından Önemi, Dokuz Eylül Üniv. Müh.-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İzmir.
- Uyanık O., (1999), Kayaçlarda Sismik Hızlar ve Kayma Direncinin İncelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 63-70, Ankara.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

- Uyanık O., (2012), Sismik Hızlardan Beton Dayanımının Belirlenmesi. TMMOB JFMO **Jeofizik Bülteni** 25-30.
- Uyanık O., Çatlıoğlu, B. (2010). Determination of density from seismic velocities, the 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey 23 – 26 November Ankara / Turkey
- Uyanık O., Kaptan, K., Gülay, FG., Tezcan, S., (2011), Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. **Yapı Dünyası** 184, 55-58.
- Uyanık O. Şenli G. ve Çatlıoğlu B., (2013), Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, **SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi** 5(2),156-165.
- Whitehurst EA., (1951), Soniscope Test Concrete Structures. **Journal of American Concrete Institute, Proceeding**, 47, 443-444
- Yoo JK, Ryu DW. (2008), A study of the evaluation of strength development property of concrete at early ages. In: 3rd ACF International conference- ACF/VCA.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YER RADARI ÇALIŞMALARINI İLE YAPI ELEMANLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ

Pekşen, E.¹, Kaplanvural, İ.²

Mail Adresi: Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl. Umuttepe 41380 Kocaeli

E-mail: 1-ertanpekşen@kocaeli.edu.tr; 2-kaplanvural@kocaeli.edu.tr

Anahtar Kelimeler: yer radarı, yer altı görüntülemesi, donatı, veri işlem, yapı elemanları

ÖZET Yer radarı yöntemi ile yapı elemanlarının geometrisi ortaya konulmuş ve paspayı hesaplanmıştır. İlk örnek olarak, bir inşaatta donatının, beton dökülmeden önce fotoğrafı çekilmiştir. Beton döküldükten iki hafta sonra yer radarı ile kolon üzerinde ölçüler alınmış, donatıların geometrileri ve paspayı hesaplanmıştır. İkinci örnekte ise bir binanın tabanında alınan yer radarı ölçüleri yorumlanmış ve donatıların geometrisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yer radarının donatıların geometrisinin çıkarılması ve paspayı hesaplanmasında kullanımı gösterilmiştir.

GİRİŞ

Yer radarı (Ground Penetrating Radar) yöntemi yer altının görüntülenmesinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Yöntem hakkında temel bilgiler Annan'ın (2004, 2005, 2009) yayınlarından elde edilebilir. Bu çalışmada donatıların bulunması hakkında sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilecektir. Yüzeiden yapılan ölçüler ile yer radarı verileri yorumlanarak donatılar görüntülenebilir. Bu işlemi yaparken yer radarı ölçümlerinin yapıldığı anten frekansının uygun seçilmesi gerekmektedir. Yer radarı anten frekans seçimi doğrudan yöntemin ayırım gücü ile ilgili olduğundan önemlidir. Eğer anten frekansı küçük seçilirse ayırım gücü azalacağından bazı donatıları görmek mümkün olmayacaktır. Yöntemin başarılı olabilmesi için elektromanyetik dalgaların (EM) ortama (betona) nüfuz etmesi gerekir. EM dalgaları etkileyen temel parametreler şunlardır: malzemenin dielektrik sabiti, iletkenliği ve manyetik geçirgenliğidir. Bu parametreler malzemelerde farklılık gösterdiğinden yapılan yer radarı ölçülerinde anomali (belirti) gözlenmektedir.

YER RADARI YÖNTEMİ

Yer radarı yöntemi alıcı ve verici antenler kullanılarak çoğunlukla yüzeiden veri toplanarak uygulanır. Verici anten çok kısa süreli EM dalgalar üretir, bu dalgalar yer içine nüfuz eder ve bir kısmı yansiyarak alıcı anten kullanılarak ölçülebilir (Daniels, 2004). Kısacası, yöntem EM dalgaların yansıtıcı yüzeide gidiş-geliş zamanını kayıt etmek esasına dayanır. Jeofizikte sismik yöntemle benzerlik gösterir. Yer radarı yönteminde elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak yer altındaki cisimlerin derinlikleri ve geometrisi santimetre mertebesine kadar hassas bir şekilde tespit edilebilir. Bu üstün özelliğinden dolayı yer radarı yöntemi son yıllarda sığ çalışmalarda en çok tercih edilen yöntemlerden birisi olmuştur.

Yer radarı yönteminin temeli elektromanyetik teoriye dayanır (Annan, 2009; Balanis, 1993; Daniels, 2004). Klasik elektromanyetik yöntem ise Maxwell denklemleri olarak bilinen Amper, Faraday ve Gauss yasalarından oluşur. Genel olarak Maxwell denklemlerinden elde edilen EM dalga denklemlerinin sayısal çözümlerinden yer altında bulunan herhangi bir model için sentetik veriler hesap edilebilir. Bu çalışmada kullanılan sentetik modeller 2B sonlu farklar yöntemine göre hesaplanan Irving ve Knight (2006) tarafından geliştirilen yazılım ile gerçekleştirilmiştir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

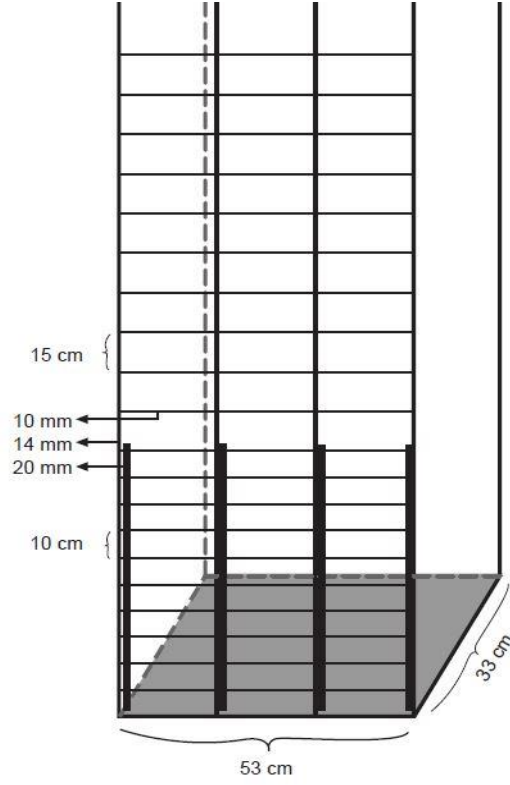
Örnek 1:

Bu çalışmada Kocaeli Üniversitesi Umutepe yerleşkesi yakınında bir yurt binasının yapımı esnasında kolon içi donatı aralığı, geometrisi ve paspayı belirlenmesi amacıyla 2013 yılında ölçülerden alınmıştır (Şekil 1). İnşaatin yapım aşamasında, çalışma alanına gidilip kolon iskelet halindeyken (beton dökülmeden önce) fotoğrafı çekilmiştir. Kolonda düşey ve yatay yönde ölçüler alınmıştır. Veriler Prism programı kullanılarak yorumlanmıştır ve görselleştirilmiştir. Kolonun basitleştirilmiş çizimi, donatıların kalınlıkları ve geometrisi Şekil 2 de verilmiştir. Kolonun beton dökülmeden öncesi ve sonrası karşılaştırmalı olarak görülmektedir (Şekil 3a ve b). Düşey ve yatay profillere veri işlem aşamaları uygulandıktan sonra Şekil 5 ve 6 da sırasıyla düşey ve yatay profiller birlikte görülmektedir. Etriyelerin ve donatıların yerleri yüzeyden yapılan yer radarı verileri ile görüntülenebilmektedir. Ayrıca profillerden paspayının yaklaşık 4 cm olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 1. Kolon üzerinde yer radarı ile ölçü alınması (Aydın vd., 2013).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 2. Donatı geometrisinin basitleştirilmiş bir çizimi (Aydın vd., 2013).



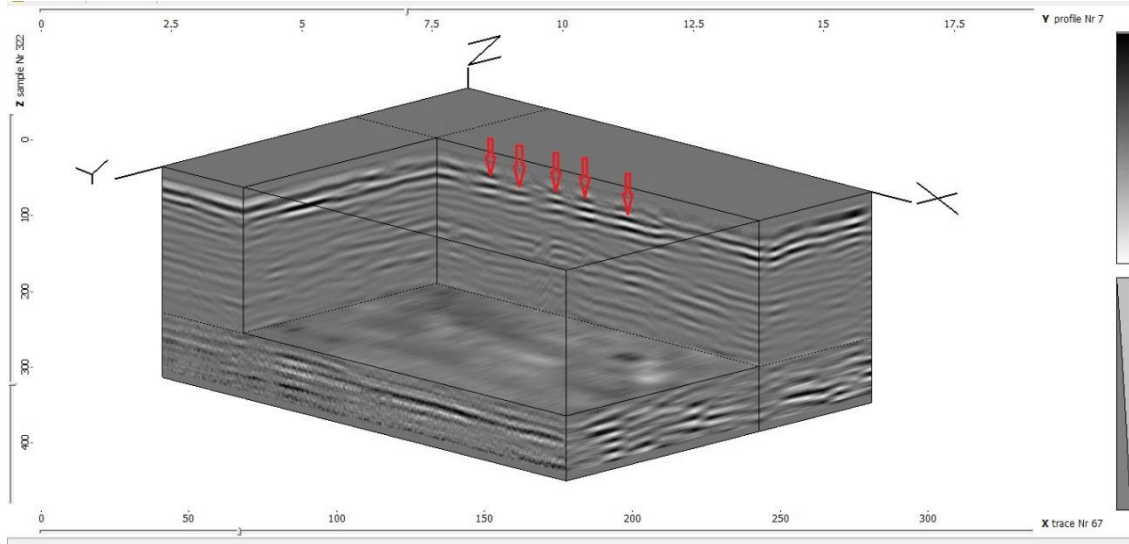
a



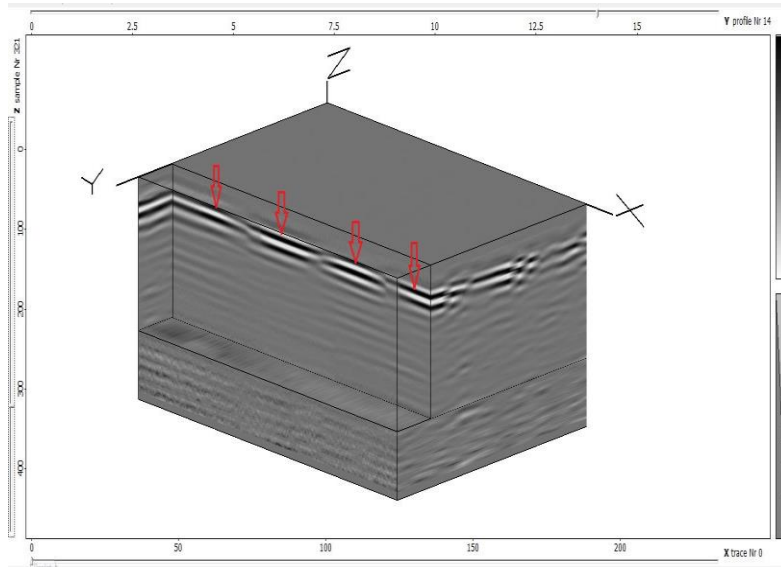
b

Şekil 3a,b. Uygulama alanının beton dökülmeden önceki (a) ve sonraki (b) fotoğrafları (Aydın vd., 2013).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 5. Düşey profillerin birlikte yorumlanmasından etriyelerin yerleri tespit edilmiş ve oklarla gösterilmiştir (Aydın vd., 2013).



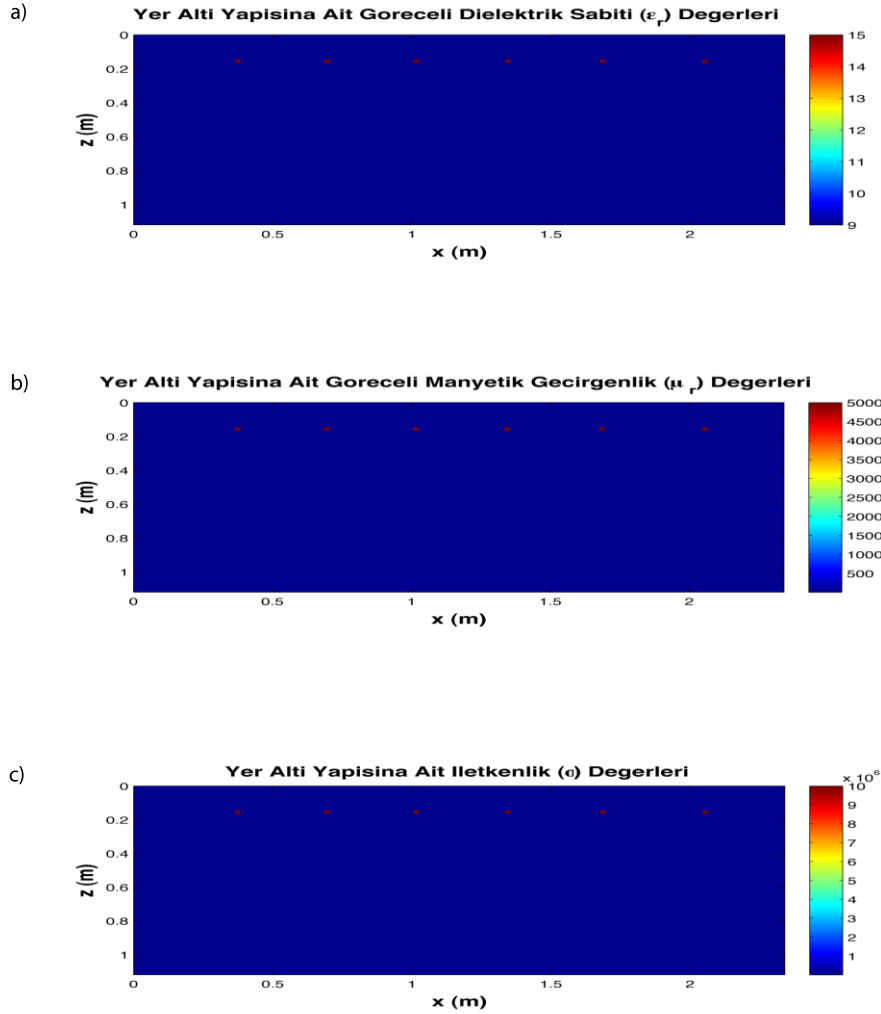
Şekil 6. Yatay profiller birlikte yorumlandığında kolondaki düşey donatıların yerleri belirlenebilmektedir. Oklar donatıların yerlerini göstermektedir (Aydın vd., 2013).

Örnek 2:

Bu örnekte beton içinde donatı geometrisinin görüntülenmesi sayısal ve gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Model parametrelerinden göreceli dielektrik sabiti beton için $\epsilon_b = 9$ olarak alınmıştır. Bu değer kaydedilen radargramda betonun hızının 10 cm/ns olarak çıkmasından dolayı elektromanyetik dalganın malzeme içindeki hız formülünün hesaplanmıştır. Demirin dielektrik sabiti $\epsilon_b = 15$ olarak alınmıştır (Weast R. C., 1978). Betonun manyetik geçirgenliği $\mu_b = 1$, demirin göreceli manyetik geçirgenliği $\mu_b = 5000$ olarak alınmıştır (Balanis, 1989). Beton kum ve su katılarak oluşturulan bir madde olduğundan yaklaşık olarak bu iki maddenin ortak iletkenliği olan $\sigma_b = 0,01$ mS/m betonun iletkenliği olarak alınmıştır (Schön, 1998;

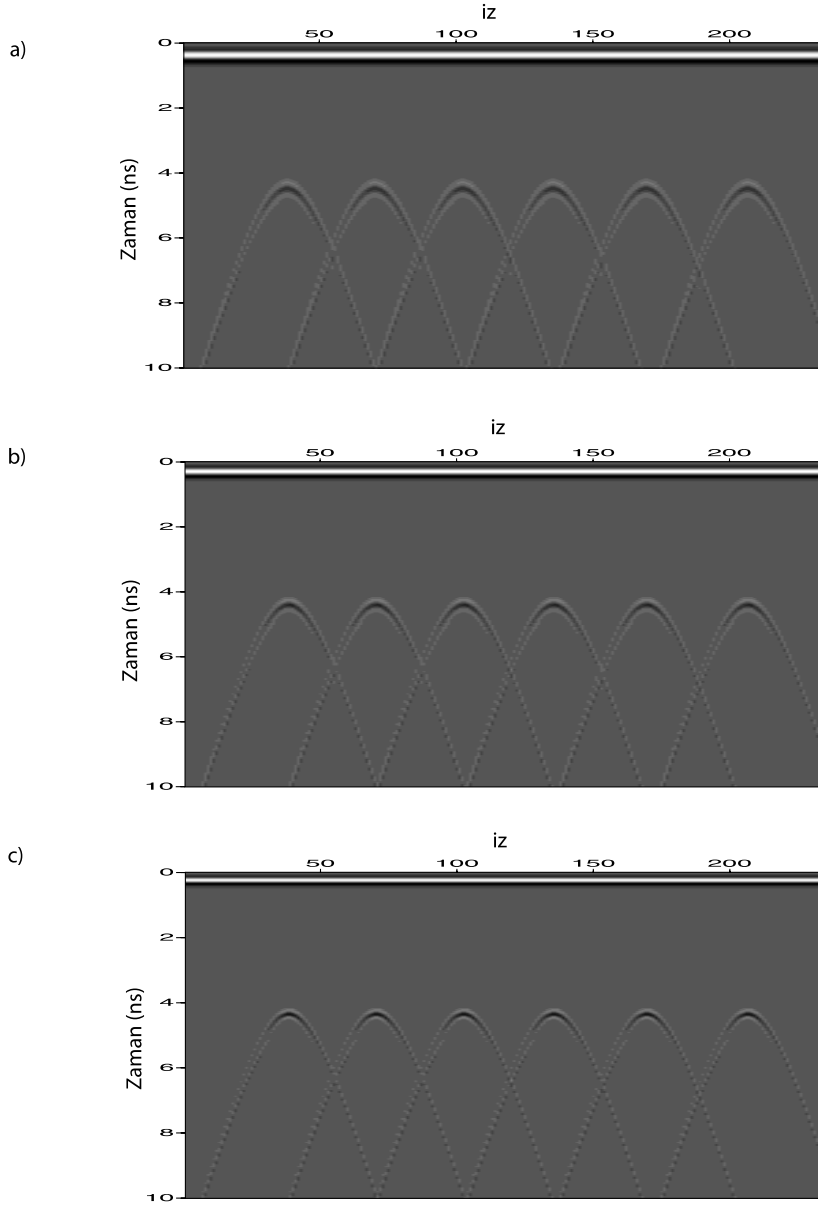
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Daniels 1996). Demirin iletkenliği çok yüksek bir değer olan $\sigma_b = 10000000$ mS/m olarak alınmıştır. Bu modele zaman ortamında iki boyutlu sonlu farklar yöntemi uygulanmış ve uygulama sonucunda üç farklı frekanstaki antenler içinde teorik radargramlar hesaplanmıştır. Yeraltı modeli Şekil 7 de gösterilmektedir. Model ağında $\Delta x = 0,002$ m, $\Delta z = 0,002$ m ve $\Delta t = 0,01$ ns olarak üç anten içinde aynı seçilmiştir. Her 0,01 m’de bir iz kaydedilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Beton içinde bulundan demir için a) dielektrik sabiti, b) manyetik geçirgenlik, c) iletkenlik değerlerini gösteren yer altı modeli (Kaplanvural, 2011).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

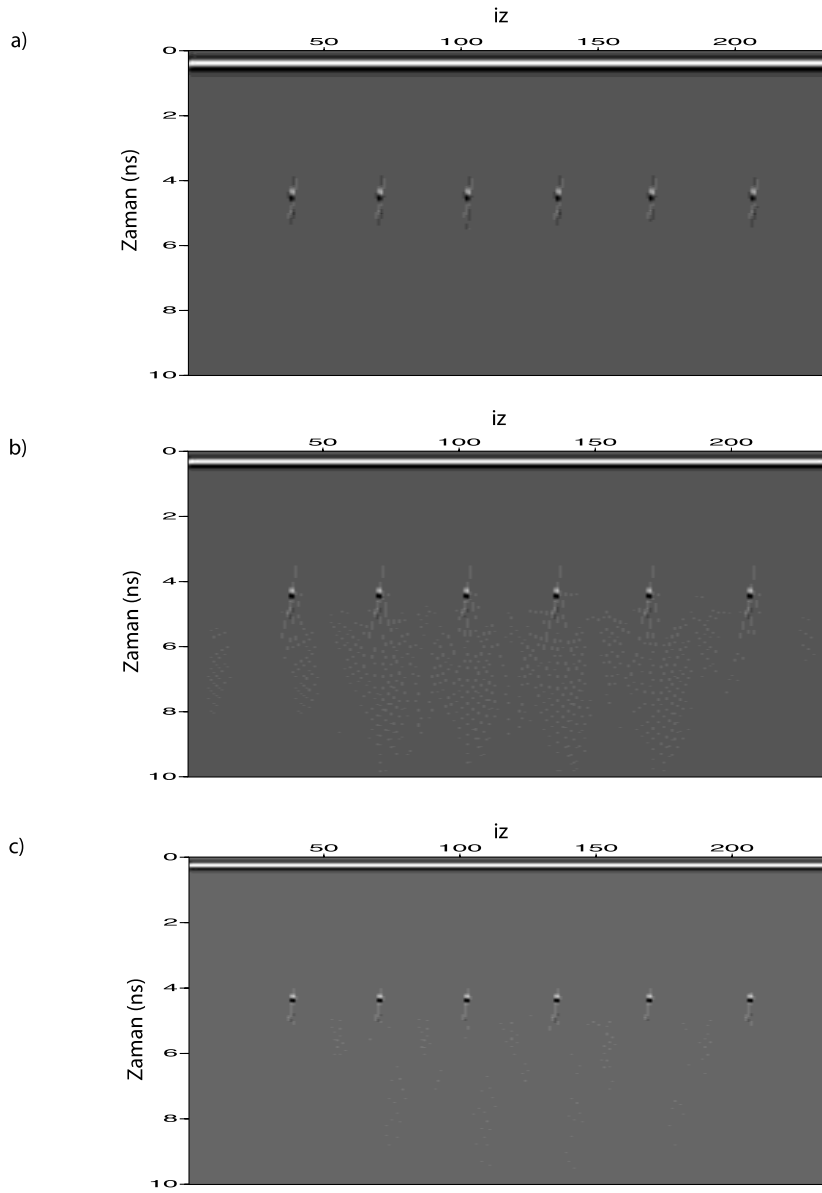


Şekil 8. Şekil 7’deki yer altı modelinden hesaplanan a) 1.6 GHz, b) 2.0 GHz, c) 2.6 GHz için teorik radargramlar (Kaplanvural, 2011).

Burada üç farklı frekanstaki antenler için karşılaştırma yapıldığında, 1,6 GHz’ lik anten için hesaplanan teorik radargramda görülen anomalinin dalga boyunun en büyük, 2,6 GHz’ lik anten için hesaplanan teorik radargramda görülen anomalinin dalga boyunun en küçük olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu radargramlara göç uygulanarak yeraltı modeline dönüş yapılmış ve modellenmiştir. Göç işlemi için betonun hızı 10 cm/ns girilmiştir (Şekil 9). Şekil 10 da ölçü alınan odanın fotoğrafı görülmektedir.

Şekil 11’de ise üç farklı frekanstaki antenler ile aynı profil üzerinde kaydedilen radargramlar görülmektedir. 1,6 GHz frekansındaki anten ile aynı profil üzerinde kaydedilen radargram ve göç uygulanmış hali, hesaplanan teorik radargram ve onun göç uygulanmış hali ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda migrasyon uygulanmış gerçek ve teorik radargramların gerçek yeraltı yapısına benzer olduğu gözlenmektedir (Şekil 12).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 9 a) 1,6 GHz, b) 2,0 GHz, c) 2,6 GHz 'lık antenler için hesaplanmış teorik radargramların göç uygulanmış hali.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 10. Çalışmada kullanılan verilerin toplandığı odanın fotoğrafı (Pekşen ve Kaplanvural, 2012).

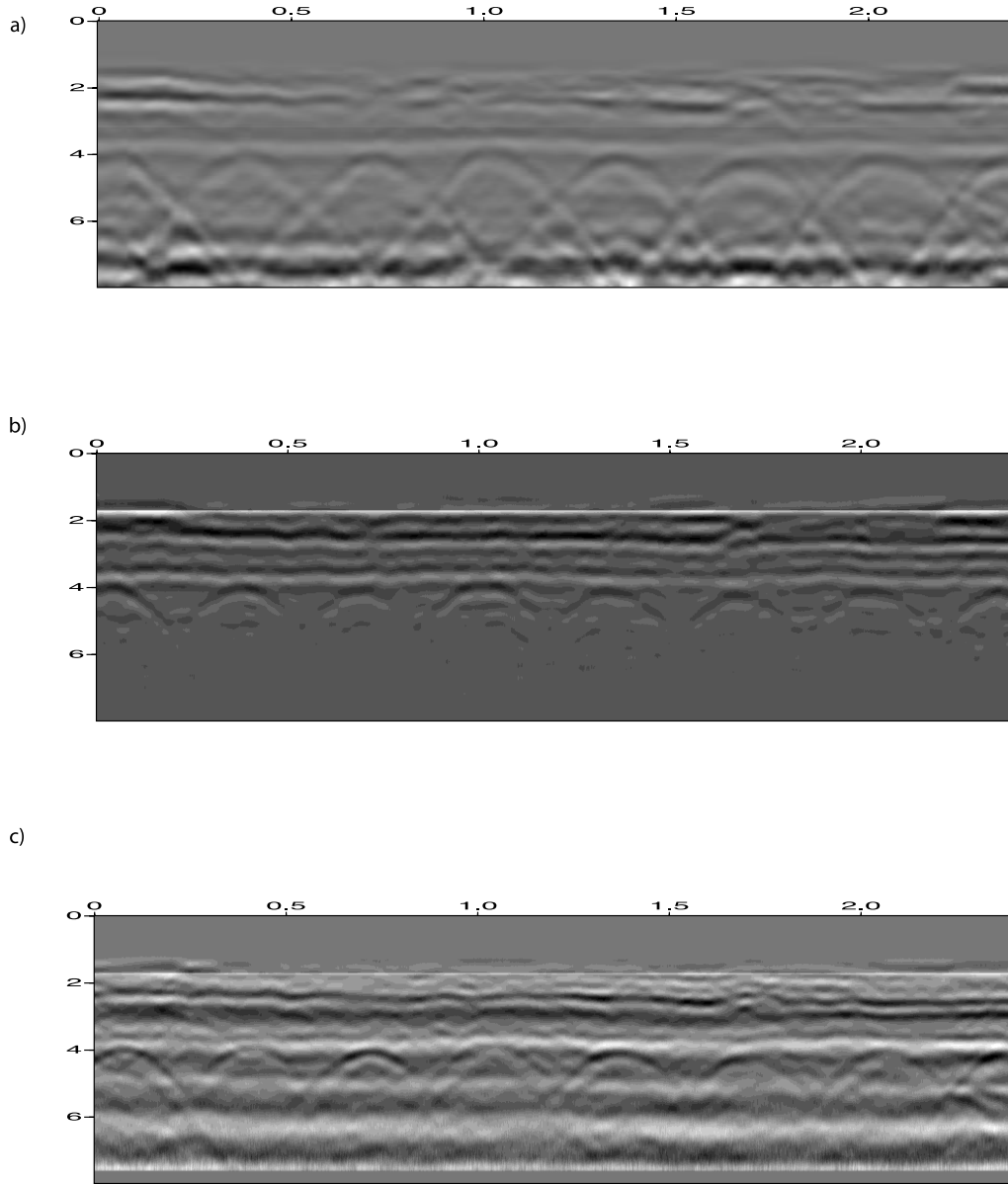
SONUÇLAR

Yer radarı yöntemi 2 farklı binada uygulanmıştır. İlk örnekte, yurt binası inşaatındaki bir kolon beton dökümü öncesi ve sonrası karşılaştırılarak yer radarı yöntemi ile test edilmiştir. Yurt binasındaki donatılar görüntülenmiş ve paspayı hesaplanmıştır. İkinci örnekte ise ölçüler oda tabanında alınarak sadece donatı geometrisi ortaya konulmuştur. Sonuç olarak yöntem donatıların görüntülenmesi ve paspayı hesabında başarılı bir şekilde kullanılabilir.

TEŞEKKÜR ve KATKI BELİRTME

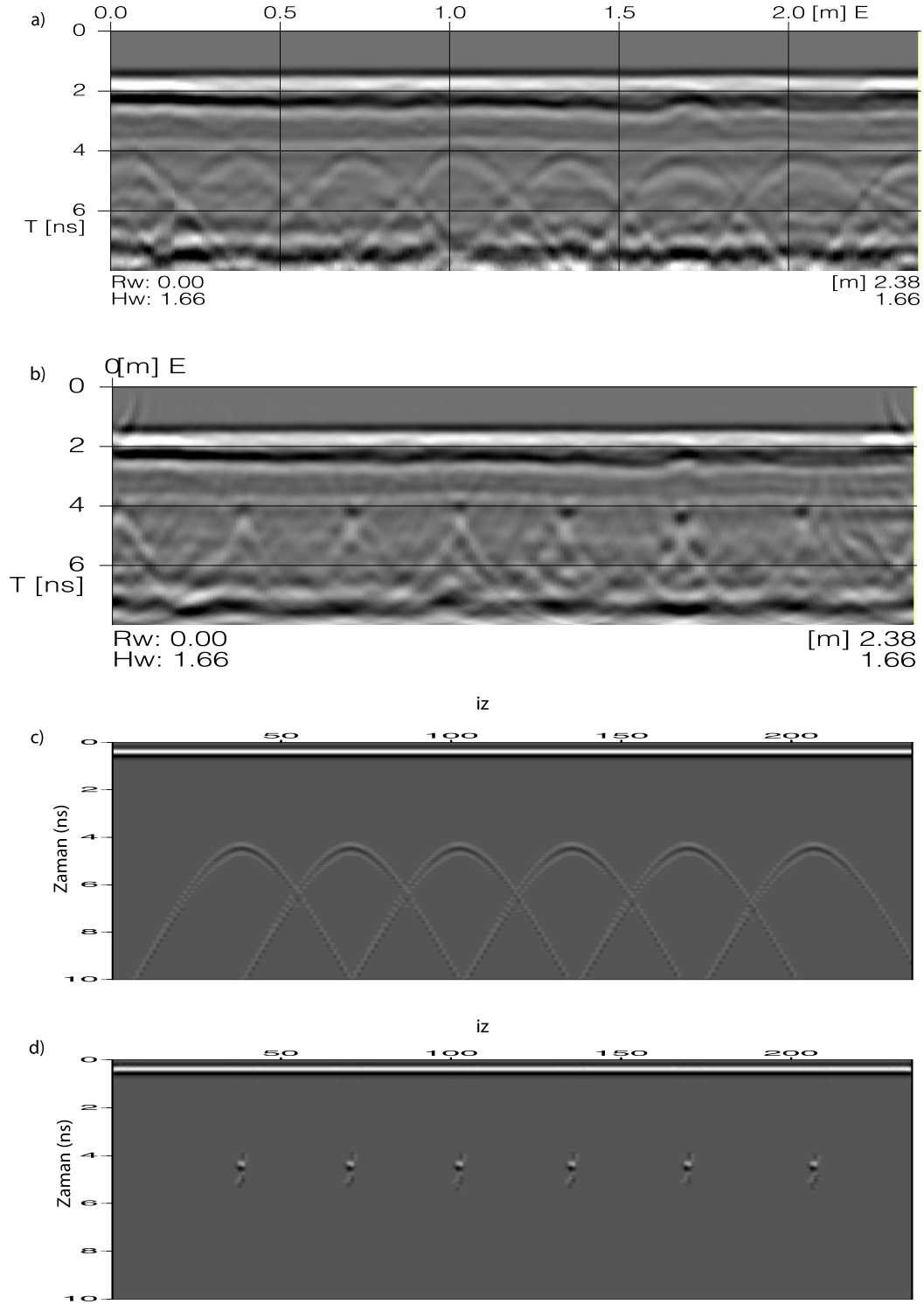
Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde öğrencilik yıllarında bu çalışmaya yaptıkları katkılarından dolayı Muhammet Aydın, Dorukhan Bayrak, Alican Demirbaş ve Erhan Polat'a çok teşekkür ederiz.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



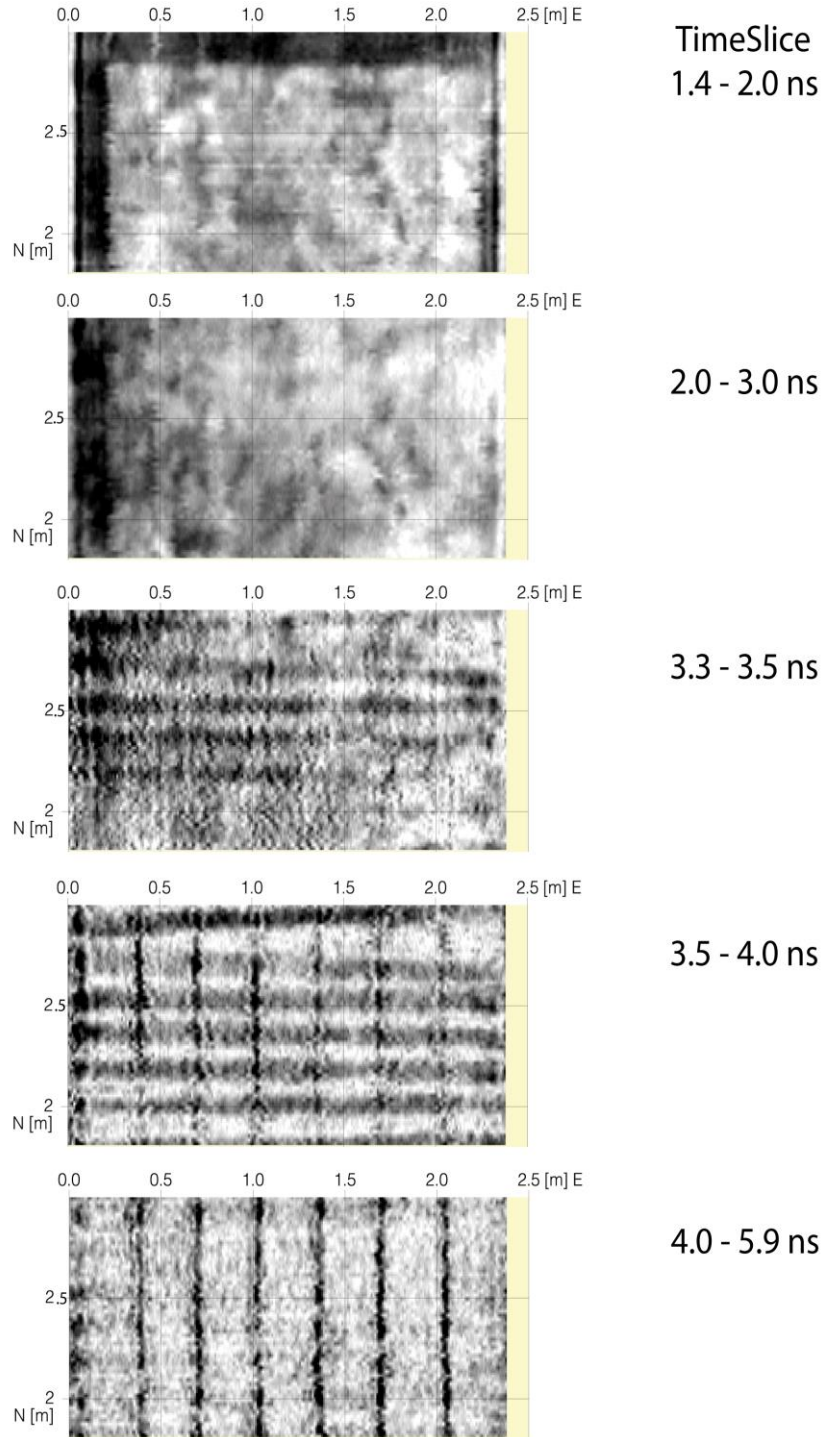
Şekil 11. a) 1,6 GHz, b) 2,0 GHz, c) 2,6 GHz 'lik antenler ile aynı profil üzerinde kaydedilmiş radargramlar.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



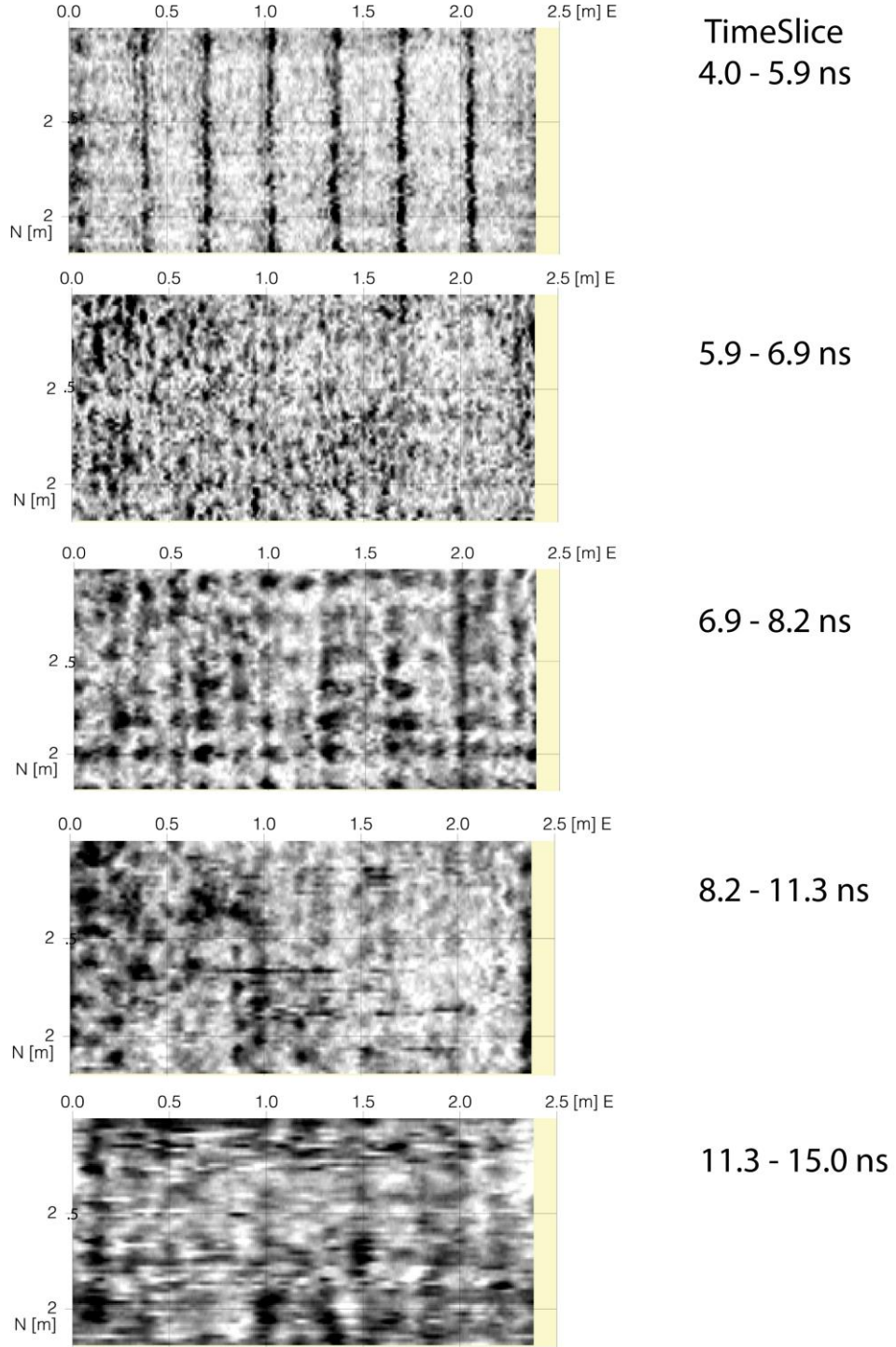
Şekil 12. a) 1,6 GHz'lik anten ile ölçüm sonucu kaydedilen radargram, b) göç uygulanmış hali, c) 1,6 GHz'lik anten için hesaplanan teorik radargram, d) göç uygulanmış hali.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 13. Yer radarı verilerinin zaman seviye haritaları. Donatılar 3,3-3,5 ns zaman aralığında yavaş yavaş görünmeye başlamıştır. Daha sonra netleşmiş ve 3,5-5,9 ns zaman seviyesinde görüntülenebilmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 14. Yer radarı verilerinin zaman seviye haritaları. Donatılar 4,0-5,9 net görünen donatılar. Daha sonra görüntülenememektedir. Bunun nedeni bu seviye sinyalin donatının daha alt derinlerinden gelmesinden kaynaklanmaktadır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

KAYNAKLAR

Annan, A.P., 2004, Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications **Sensors and Softwares Inc.**

Annan, A.P., 2005, Ground Penetrating Radar, Near Surface Geophysics Part 1: Concept and Fundamentals, Butler, D.K.(Ed.), Investigations in Geophysics No.13, **SEG Foundation.**

Annan, A.P., 2009, Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar, In Ground Penetrating Radar: Theory and Applications”, Jol, H.M.(Ed.), **Elsevier.**

Aydın, M., Bayrak, D., Demirbaş, A., Polat, E., 2013, GPR ile Yapı Elemanlarının İncelenmesi, 6. Dönem Projesi, Kocaeli Üniversitesi, Jeofizik Müh. Bölümü.

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

Daniels, D., 2004, Ground Penetrating Radar, 2nd Edition, **IEEE.**

Irving, J.D., Knight, R., 2006, Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2D using MATLAB, **Computers & Geosciences** 32, pp:1247–1258.

Kaplanvural, İ, 2011, Yer Radarı Verilerinin Modellenmesi ve Yorumlanması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Müh. Böl., Yüksek Lisans Tezi.

Pekşen, E. ve Kaplanvural, İ., 2012, Yer Radarı Verilerinin Toplanması, Modellenmesi ve Yorumlanması, JFMO Kocaeli Şube Meslek içi Eğitim ve Belgelendirme Kursu, Kocaeli.

Schön, J., 1998, Physical Properties of Rocks Fundamentals and Principle of Petrophysics, Bd. 18, **Pergamon.**

Weast, R.C., 1978, Handbook of Chemistry and Physics, 59th Edition, **CRC Press .**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YER RADARI VERİLERİNDEN BETONUN SU İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI

Pekşen, E.¹, Kaplanvural, İ.²

Mail Adresi: Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., Umuttepe 41380 Kocaeli

E-mail: 1-ertanpeksen@kocaeli.edu.tr; 2-kaplanvural@kocaeli.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Yer Radar, Su İçeriği

ÖZET Yer radarı ile beton üzerinden ölçü alınarak betonun su içeriğinin hesaplanması incelenecektir. Önceki yıllarda yapılan bazı çalışmalar ile farklı zemin, toprak türleri ile su içeriği ve dielektrik sabiti arasında bağıntılar geliştirilmiştir. Bu ampirik bağıntılar farklı ortamlar için geliştirildiğinden, ortam değiştiğinde yeni bir bağıntının türetilmesi gerekmektedir. C-30 tipi beton için yapılan bu çalışma, farklı beton sınıfları için geliştirilebilir.

GİRİŞ

Jeofizik yöntemler kullanılarak yapıların hasarsız bir şekilde incelenmesinin yanında, yer radarı yöntemi ile yüzeyden yapılan ölçülerle beton su içeriği hesaplanabilir. Yöntem ilk önce Topp vd. (1980) tarafından farklı toprak tiplerine uygulanmıştır. Topp vd. (1980) çalışmalarında yer radarı yerine Time-Domain Reflectometry (TDR) cihazını kullanarak toprak çeşitlerinin dielektrik sabiti değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak su içeriği ve dielektrik sabiti arasında ampirik bir bağıntıyı geliştirdiler. Daha sonra benzer çalışmalar yapıldı ve farklı ampirik bağıntılar geliştirildi (örneğin, Nadler vd., 1991; Roth vd., 1992; Jacobsen ve Schjonning, 1993). Bu çalışmada benzer bir çalışma C-30 beton sınıfı için yapılmıştır.

AMPIRİK BAĞINTININ GELİŞTİRİLMESİ

Topp vd. (1980) çalışmalarında topladıkları verileri üçüncü dereceden polinoma çakıştırarak aşağıdaki ampirik formülü

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \varepsilon_b - 12,3 \times 10^{-4} \varepsilon_b^2 + 15 \times 10^{-6} \varepsilon_b^3 \quad (1)$$

elde etmişlerdir. Burada θ su içeriği, ε_b ise dielektrik sabitidir. Benzer düşünce ile yer radarı verileri için zamana bağlı olarak C-30 beton tipinde ölçüler alınmış ve yaklaşık 4 aylık zaman içinde alınan veriye üçüncü dereceden polinom çakıştırılarak su içeriğinin (*water content*, su muhtevası) hesaplanması için

$$\theta = 1,6 \times 10^{-2} + 0,01 \times 10^{-2} \varepsilon_b^2 + 15 \times 10^{-6} \varepsilon_b^3 \quad (2)$$

ampirik bir bağıntı geliştirilmiştir. (1) denkleminde olduğu gibi burada da θ su içeriğini, ε_b ise verilerden hesaplanan dielektrik sabitini göstermektedir. EM dalga hızı yer radarı verilerinden hiperbol çakıştırması veya hız analizi ile hesaplanabilir. EM dalga hızı ile dielektrik sabiti arasındaki $v = 30/\sqrt{\varepsilon_b}$ (cm/ns) formülünden dielektrik sabiti hesaplanabilir. Dolayısıyla dielektrik sabiti (2) bağıntısında yerine yazılarak su muhtevası hesap edilebilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Şekil 1. de verileri topladığımız model ve kullanılan anten görünmektedir. Bu model üzerinde yaklaşık olarak 4 ay veri toplanmıştır. Beton döküldükten hemen sonra her gün ölçü alınmış, zamanla haftada bir ölçü alınmaya başlanmıştır. Ölçüler durarak ve cihazın desteklediği en yüksek hassasiyette alınmaya çalışılmıştır. Ölçüler aynı profil üzerinde durarak ve 5 kez yinelenmiştir. Radargramlardan hesaplanan hız değerinin ortalaması alınmıştır. Betonun reçetesindeki bilgiye göre Su/Çimento oranı 0.54 olarak verilmiştir. Beton döküldükten üç gün sonra ölçü alınmaya başlanmıştır.



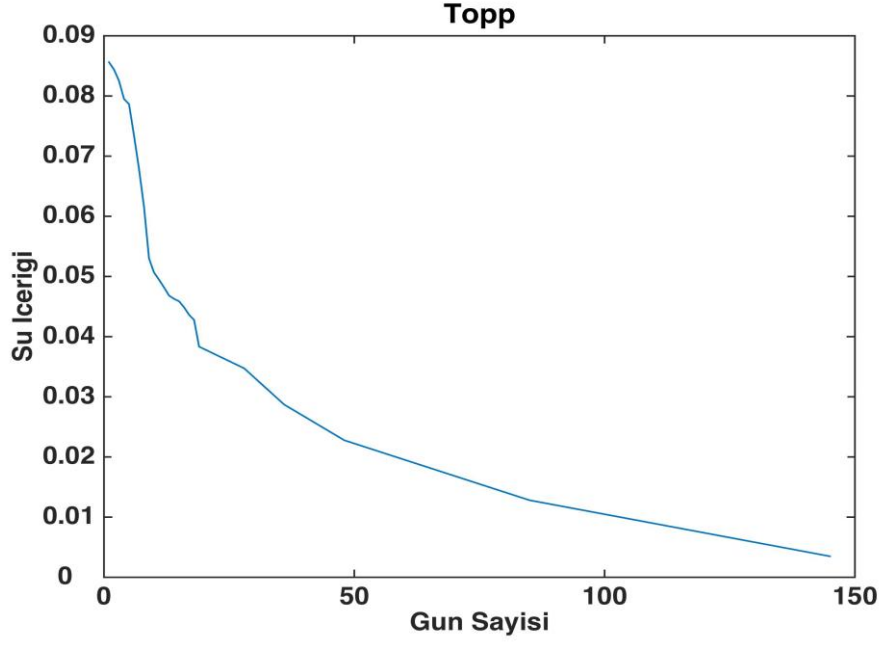
Şekil 1. Deney modeli (C-30 betonu) ve 2 GHz lik yer radarı anteninin fotoğrafı (Kaplanvural vd., 2015)

Geliştirdiğimiz bağıntı ve diğer yazarların bağıntılarına göre beton üzerinde alınan verilerden hesaplanan su içerikleri sırasıyla Şekil 2, 3, 4 ve 5 te verilmiştir.

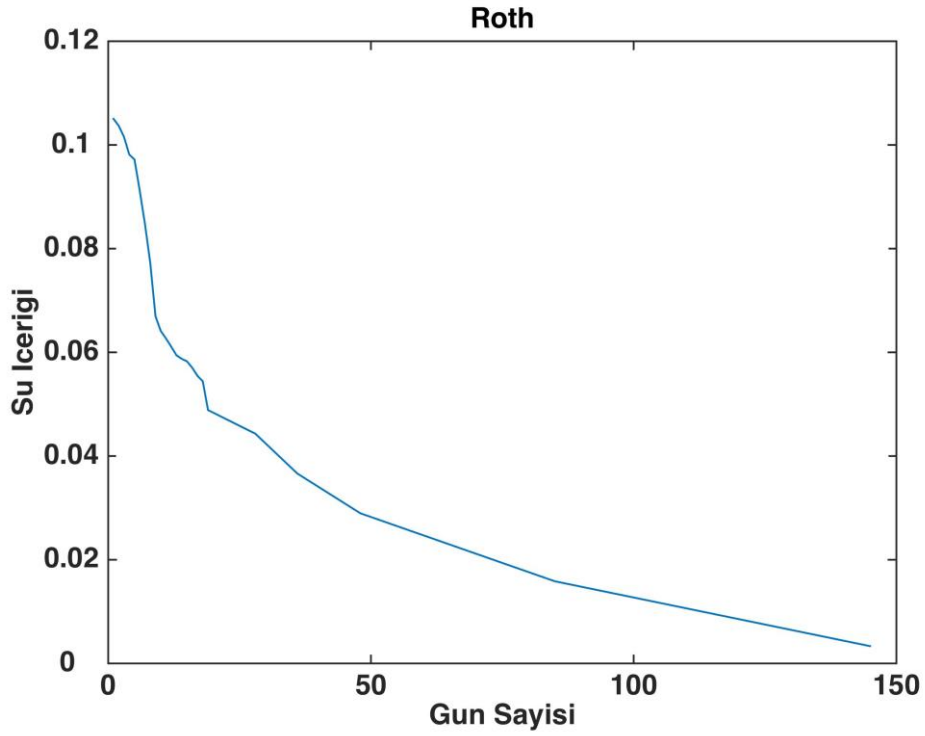
SONUÇLAR

Bu çalışmada yer radarı ile 2 GHz lik anten ile C-30 betonda zamana bağlı olarak ölçüler alınmıştır. Beton atıldıktan 3 gün sonra ölçüler alınmaya başlanmıştır. Zamanla beton kurumuş ve su içeriği azalmıştır. Burada sunulan yöntem beton tipleri için geliştirilebilir. Daha sonra geliştirilen ampirik bağıntı ile beton su muhtevası in situ olarak tek bir radar profilinden hesaplanan EM dalga hızı kullanılarak hesaplanabilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

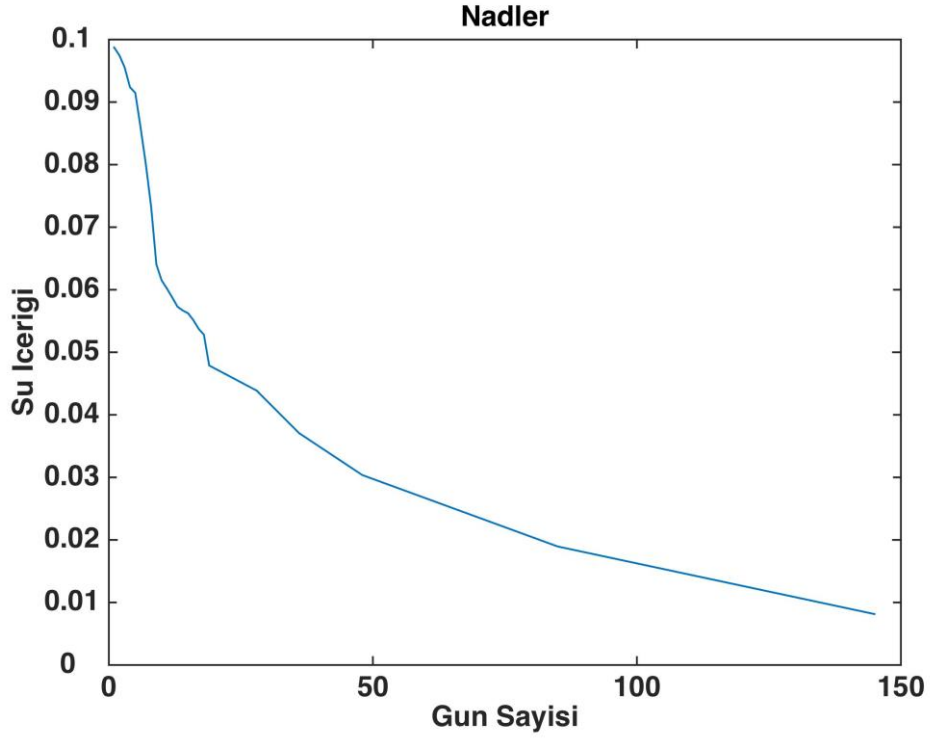


Şekil 2. Topp vd. (1980) de geliştirdikleri ampirik bağıntıya göre su içeriğinin zamana bağıli değişimi.

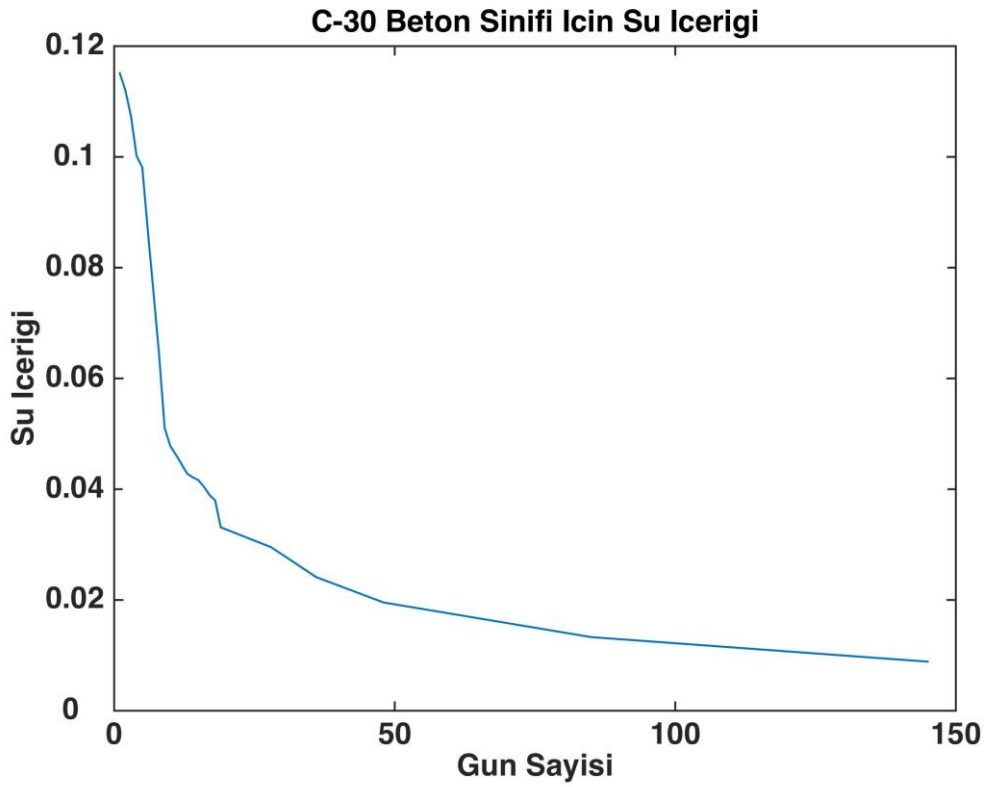


Şekil 3. Roth vd. (1992) de geliştirdikleri ampirik bağıntıya göre su içeriğinin zamana bağıli değişimi.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 4. Natler vd. (1991) de geliştirdikleri ampirik bağıntıya göre su içeriğinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5. Bu çalışmada geliştirilen (2) bağıntısına göre hesaplanan su içeriği değişimi.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan modelin hazırlanması ve veri toplanmasında yardımlarından dolayı Görkem E. Erdem ve Emirhan Mısırlı'ya çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Jacobsen, O.H., Schjønning, P., 1993, A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurements including effects of bulk density and texture. **J. of Hydrol.**, 245, 48-58.

Kaplanvural, İ., Pekşen, E., Mısırlı, E., Erdem, G. E., 2015, Yer Radarı Yöntemi ile C-30 Beton Sınıfına Ait Numunenin Su İçeriğinin İzlenmesi, Kocaeli 2015, 5th International Earthquake Symposium.

Nadler, A., Dasberg, S., Lapid, I., 1991, Time domain reflectometry measurements of soil water content and electrical conductivity of layered soil columns. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 55, 938-943.

Roth, C.H., Malicki, M.A., Plagge, R., 1992, Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. **J. of Soil Sci.**, 43, 1-13.

Topp, G.C, Davis, J.L., Annan, A.P., 1980, Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, **Water Resources Res.**, 16, 574-582.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YER RADARI YÖNTEMİ İLE YAPILARIN BORU TESİSATININ İÇ VE DIŞ MALZEMESİNİN BELİRLENMESİ

Kaplanvural, İ.¹, Pekşen, E.²

Mail Adresi: Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, A Blok, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Kampüsü, 41380, İzmit, Kocaeli,

E-mail: 1-kaplanvural@kocaeli.edu.tr, 2-ertanpeksen@kocaeli.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Yapı jeofiziği, yer radarı, tesisat boruları, deneysel model, modelleme

ÖZET Yer radarı yöntemi son yıllarda yapı araştırmalarında sıklıkla uygulanan bir metot haline geldi. Bu sayede beton içindeki nesnelere tahribatsız incelenmesi sağlandı. Yer radarı ölçümleri sonucu beton içinde gözlemlenebilecek muhtemel anomaliler yapının iskeletini oluşturmada kullanılan çelik ya da demir, tesisatlar için kullanılan borular ve beton içindeki boşluklardan kaynaklanabilir. Buna rağmen kaydedilen anomalilerin çoğu direkt olarak nesnenin türü ile ilgili bilgi içermez. Boruların yerlerinin belirlenmesinin yanı sıra borunun malzemesinin türünün ve içinde su olup olmadığının bilinmesi de bazı araştırmalar için önemlidir. Söz konusu malzemenin türü olduğunda, betonun içindeki borular farklı polaritelerde ve özelliklerde hiperboller oluşturacaktır. Fakat bu hiperbollerin açısının aynı olduğu gözlemlenecektir. Bu çalışmanın amacı, boruların iç ve dış malzemelerinin yer radarı sinyalleri ve modelleme ile belirlenmesidir. Buradan yola çıkılarak, oluşturulan deneysel model ile farklı malzemedeki yapılmış boruların, farklı yarıçaplarda ve farklı malzeme ile dolu olduğu durumlar yer radarı yöntemi ile araştırılmıştır. Aynı zamanda modelleme çalışmaları da yapılarak sonuçlar desteklenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma yer radarı yöntemi ile boruların iç ve dış malzemesinin belirlenmesi için yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacaktır.

GİRİŞ

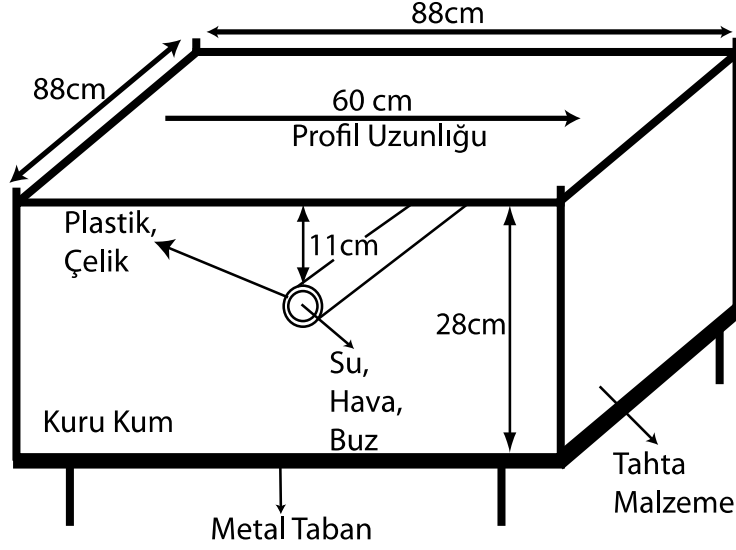
Daha önceki araştırmalar yer radarı yönteminin gömülü borular üzerinde başarılı uygulamalarını ortaya koymuştur. Beton içindeki donatıların ve boruların tespiti çoğunlukla kolay olmamaktadır. Farklı malzemeler aynı anomalileri oluşturabilir (Domenico vd., 2013). İnşaat mühendisliğinde donatıların ve beton içindeki çeşitli malzemelerin tespiti zordur (He vd., 2009). Tesisat borularının tespiti için yer radarı uygulamaları sıklıkla yapılmaktadır. Bu uygulamalar yapılarındaki tesisat boruları ile tarımda kullanılan drenaj boruları için yapılmıştır (Allred ve Redman, 2010; Allred, 2013). Bu çalışmada yapılarındaki tesisat borularının derinlik ve yerinden çok malzemenin türünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bir test alanı oluşturularak farklı çapta, farklı malzemedeki yapılmış ve farklı iç malzemeye sahip borular gömülerek ölçüler alınmıştır. Ayrıca çıkan sonuçları desteklemek adına iki boyutta sonlu farklar yöntemi uygulanarak sayısal modelleme yapılmıştır. Yeni yapılarındaki tesisat boruları çoğunlukla plastiktir. Eski yapılarındaki tesisat boru malzemesi olarak çelik kullanılmaktadır. Bu tesisatlar su iletimi için kullanılmaktadır. Burada oluşması beklenen problemlerden en önemlisi su kesilmesi ya da tesisatın herhangi bir yerinde çatlak oluşması sonucu borunun içine hava dolmasıdır. Diğer bir durumda ise tesisat borusu içindeki su donabilir ve su kesikliği yaşanabilir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak yer radarı sinyallerinin bu gibi problemlerin tespitinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

DENEYSEL MODELİN HAZIRLANMASI VE VERİ TOPLANMASI

Deneysel model herhangi bir çivi kullanmadan tahtaların yapıştırılması ile hazırlanmıştır. Bunun sebebi çivilerin oluşturacağı kuvvetli yer radarı sinyali yansımalarını engellemektir. Modelin içi elenmiş kuru kum ile doldurulmuştur. Deneysel modelin boyutları Şekil.1’de gösterilmektedir. Her bir boru ölçü alınmadan önce aynı derinliğe teker teker gömülmüştür. Kumun üzeri her seferinde düzlenmiş ve her noktada aynı yüksekliğe getirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel Model (Kaplanvural vd., 2013).

Çalışmada farklı dış çapa sahip altı plastik boru, bir adet çelik boru ve bir adette çelik donatı gömülmüş ve ölçüler alınmıştır (Tablo.1). Boruların içi su, hava ve buz dolu şekilde ölçüler tekrarlanmıştır (Şekil 2). Bu sayede havanın, suyun ve buzun radargramları nasıl etkilendiği ortaya konulması amaçlanmıştır. Her ölçüm gömülen borulara dik ve profil uzunluğu 60 cm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Veri toplanması GSSI firmasının SIR-20 ekipmanı ile sağlanmıştır. Anten olarak 2 GHz’lik merkez frekansa sahip korumalı anten kullanılmıştır. Kayıt süresi 3 nanosaniye tutulmuştur. Kuru kumun EM dalga hızı ise 17cm/ns olarak hesaplanmıştır.

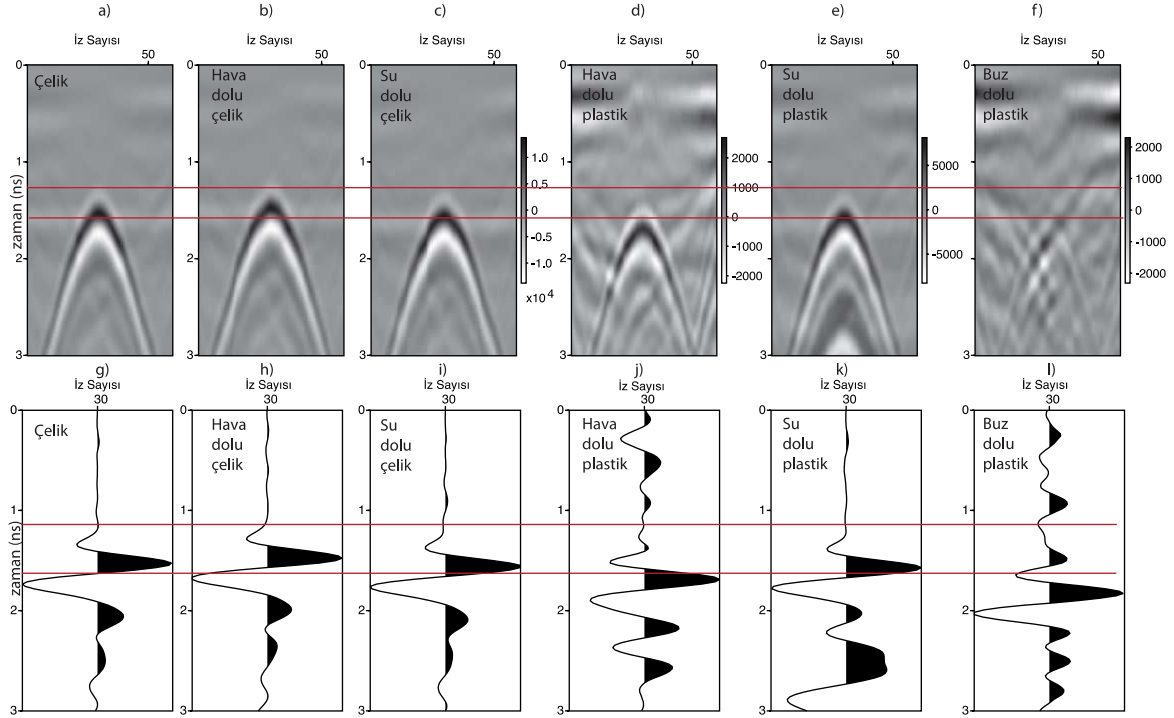
SAYISAL MODELLEME

Modellemenin verilerin yorumlanmasındaki etkisi büyüktür. Bu çalışmada da iki boyutta sonlu farklar (FDTD) yöntemi ile yer altı yapıları modellenmiş ve ölçülen veriler ile karşılaştırılarak yansımalar daha iyi değerlendirilmiştir. Modelleme çalışması Irving ve Knight (2006) kodu kullanılarak yapılmıştır. Modelleme çalışması TE moduna göre yapılmıştır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 1. Boruların Boyutları

Boru	İç Çap	Kalınlık	Toplam Çap
Plastik	19.5mm	1mm	21.5mm
Plastik	19.5mm	2mm	23.5mm
Plastik	19.5mm	3mm	25.5mm
Plastik	19.5mm	4mm	27.5mm
Plastik	19.5mm	6mm	31.5mm
Plastik	19.5mm	8mm	35.5mm
Çelik Boru	19.5mm	3mm	25.5mm
Çelik Donatı	-	-	25.5mm



Şekil 2. Deneysel modelde ölçülen verilerin karşılaştırılması. a) çelik donatı, b) hava dolu çelik, c) su dolu çelik, d) hava dolu plastik, e) su dolu plastik, f) buz dolu plastik, g) çelik donatı gömülü yer altı yapısının merkez izi, h) hava dolu çelik boru gömülü yer altı yapısının merkez izi, i) su dolu çelik boru gömülü yer altı yapısının merkez izi, j) hava dolu plastik boru gömülü yer altı yapısının merkez izi, k) su dolu plastik boru gömülü yer altı yapısının merkez izi, l) buz dolu plastik boru gömülü yer altı yapısının merkez izi (Kaplanvural vd., 2013).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

SONUÇLAR

Bu çalışmadan çıkan önemli sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Eğer su dolu borular üzerinde ölçü alınıyor ise, radargramda tekrarlı yansımaların gözlemlenmesi ya da gözlemlenmemesi beklenir. Eğer tekrarlı yansıma gözlenir ise boru plastik, gözlemlenmez ise çeliktir.
- 2) Eğer boruda kuvvetli bir su sızıntısı, boru içindeki herhangi bir sebepte oluşabilecek tıkanıklık ya da lokal bir donma var ise, boş olan (hava dolu) kısımda herhangi bir ikincil yansıma gözlemlenmeyecektir. Bu sayede problemin tam olarak nereden kaynaklandığı bulunacaktır.
- 3) Boru içindeki suyun donması durumunda plastik borular üzerinde alınan ölçülerde donmuş kısımlardaki yansıma genlikleri su dolu olan kısımlara göre çok düşük olacaktır. Ayrıca su dolu olan (donmamış) kısımlarda tekrarlı yansımalar gözlemlenecektir.
- 4) Çelik borunun içindeki malzemenin tahmini radar sinyalinden yapılamamaktadır. Hava, su ve buz dolu çelik boru ya da çelik donatı radargramda aynı yansımayı göstermektedir. Çelik EM dalga için ayna gibi davranıp kuvvetli yansımalar oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma borunun iç ve dış malzemesinin de yer radarı sinyali yardımı ile yorumlanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma ile yapı jeofiziği çalışmalarında sıkça kullanılan yer radarı yöntemi ile boruların tespitine farklı bir bakış açısı sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Verilerin düzenlenmesi ve işlenmesi aşamasında kullanılan veri işlem programı DT_Plot8'i sağlayan Dr. Harald Stümpel'e ve değerli düşünce ve katkıları ile çalışmaya yön veren Prof. Dr. Wolfgang Rabbel'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Allred, B. J., 2013, A GPR Agricultural Drainage Pipe Detection Case Study: Effects of Antenna Orientation Relative to Drainage Pipe Directional Trend, **Journal of Environmental and Engineering Geophysics**, Vol.18, Issue.1 pp:55-69.
- Allred, B. J., Redman, J. D., 2010, Location of Agricultural Drainage Pipes and Assessment of Agricultural Drainage Pipe Conditions Using Ground Penetrating Radar, **Journal of Environmental and Engineering Geophysics**, Vol.15, Issue.3 pp:119-134.
- Domenico, D. D, Campo, A., and Teramo, A., 2013, FDTD modeling in high-resolution 2D and 3D GPR surveys on a reinforced concrete in a double wall of hollow bricks, **Near Surface Geophysics**, 11. Doi:10.3997/1873-0604.2012047.
- Irving, J.D., Knight, R., 2006, Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2-D using MATLAB, **Computers & Geosciences** 32, pp:1247–1258.
- X.-Q. He, Z. Q. Zhu, Q. Y. Liu, and G. Y. Lu, 2009 “Review of GPR rebar detection,” in Proceedings of the Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS '09), 23-27 March, pp. 804–813, Beijing, China.
- Kaplanvural I., Pekşen E., Erkul E., Wunderlich T., 2013 Yer Radarı Yöntemi ile Yapıların Boru Tesisatının İç ve Dış Malzemesinin Belirlenmesi, 20. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, 25-27 Kasım 2013.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

BOZUŞMUŞ KUMTAŞI KOLONUNDA YER RADARI ÇALIŞMASI

Kaplanvural, İ.¹, Pekşen, E.²,

Mail Adresi: Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, A Blok, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Kampüsü, 41380, İzmit, Kocaeli

E-mail: 1-kaplanvural@kocaeli.edu.tr, 2-ertanpeksen@kocaeli.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Yer radarı, bozuşma, modelleme, termografi

ÖZET Almanya'nın Enkenbach-Alsenborn bölgesinde bulunan bir kilisenin kolonlarına yer radarı yöntem, uygulanmıştır. Uygulamanın amacı kolonlardaki bozuşma bölgelerinin saptanmasıdır. Çalışmada bozuşma bölgesine bağlı yer radarı anomalileri tespit edilmiştir. Tespit edilen anomalilerden yola çıkarak 2-B sonlu farklar yöntemi ile modelleme çalışmaları yapılmıştır. Modelleme çalışmaları sonucunda bozuşma bölgelerinin fiziksel özellikleri de tespit edilmiştir. Yer radarı yönteminden elde edilen sonuçlar uygulanan bir diğer yöntem olan termografi ölçümleri ile karşılaştırılmış ve bozuşma bölgesinin yer radarı anomalilerine etkisi araştırılmıştır.

GİRİŞ

Tarihi binaların yer radarı yöntemi ile tahribatsız incelenmesi son zamanlarda oldukça artmaktadır (Nuzzo vd., 2010; Orlando ve Slob, 2009; Leucci vd., 2007). Almanya'nın Kaiserslautern bölgesinin 10 km kuzey doğusunda bulunan Enkenbach-Alsenborg bölgesindeki kilise kolonlarındaki muhtemel bozuşma bölgelerinin tespiti için yer radarı yöntemi uygulanmıştır. Kilise 1272 yılında inşa edilmiş olup, inşa malzemesi kumtaştır. Bu kum taşının porozitesi %12 olup, dayanımı ise 40-45 N/mm² olarak ölçülmüştür. Yer radarı yöntemine ek olarak termografi ölçümleri de yapılmıştır. Yer radarı anomalilerinden yola çıkılarak yorumlamayı kolaylaştırmak amacı ile 2B sonlu farklar yöntemi ile modelleme çalışması da yapılmıştır.

ÖLÇÜMLER

Yer radarı ölçümleri için GSSI firmasına ait SIR-20 cihazı ve 1.6 GHz'lik kapalı anten kullanılmıştır. Kolonlar üzerinde dikey profiller ölçülmüş olup, profil uzunlukları 2m'dir. Kolon üzerinde profiller arası mesafe ise 5cm'dir. Profiller içindeki izler arası mesafe ise 1cm'dir. Elde edilen radargramlarda kolonun alt kısmında EM dalganın sönmüldüğü görülmektedir. Aynı zamanda kolonun içinde bir çatlak bölgesi tespit edilmiştir (Şekil.1).

2B SONLU FARKLAR İLE MODELLEME

EM dalganın kolon içinde yayınımlarını incelemek amacı ile 2B sonlu farklar yöntemi ile modelleme çalışması yapılmıştır (Irving, 2006). Farklı etken parametreler (dielektrik sabiti, iletkenlik, manyetik geçirgenlik) kolonun içi ve dışı için seçilip radargramdaki yansımalar anlaşılmasına çalışılmıştır. Burada ilgilenilen bozuşma bölgesi için girilen model parametreleri ve hesaplanan radargram Şekil 2'de verilmektedir. Burada, kolon çapı üst kısmına doğru azalan bir yapı olduğundan radargramda eğimli bir kum taşı olarak girilmiş ve hava tabakası da kumtaşı tabakasının altında seçilerek modelleme çalışması yapılmıştır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

SONUÇLAR

Yer radarı yöntemi tarihi bir yapının kolonunda bozuşma bölgesinin tespit edilmesi için başarı ile uygulanmıştır. Kolonun arka tarafından gelen yansımadaki yüksek soğrulma kolonun üst taraflarına doğru azalmakta olup, kolonun alt tarafında tuz içeriğinin fazla olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yüksek soğrulmanın gözlemlendiği ve gözlemlenmediği yerlerden seçilen iki noktada yapılan termografi ölçümlerinde de farklı ısınma ve soğuma değerleri yer radarı yöntemi ile elde edilen sonuçlara katkı sağlamaktadır.

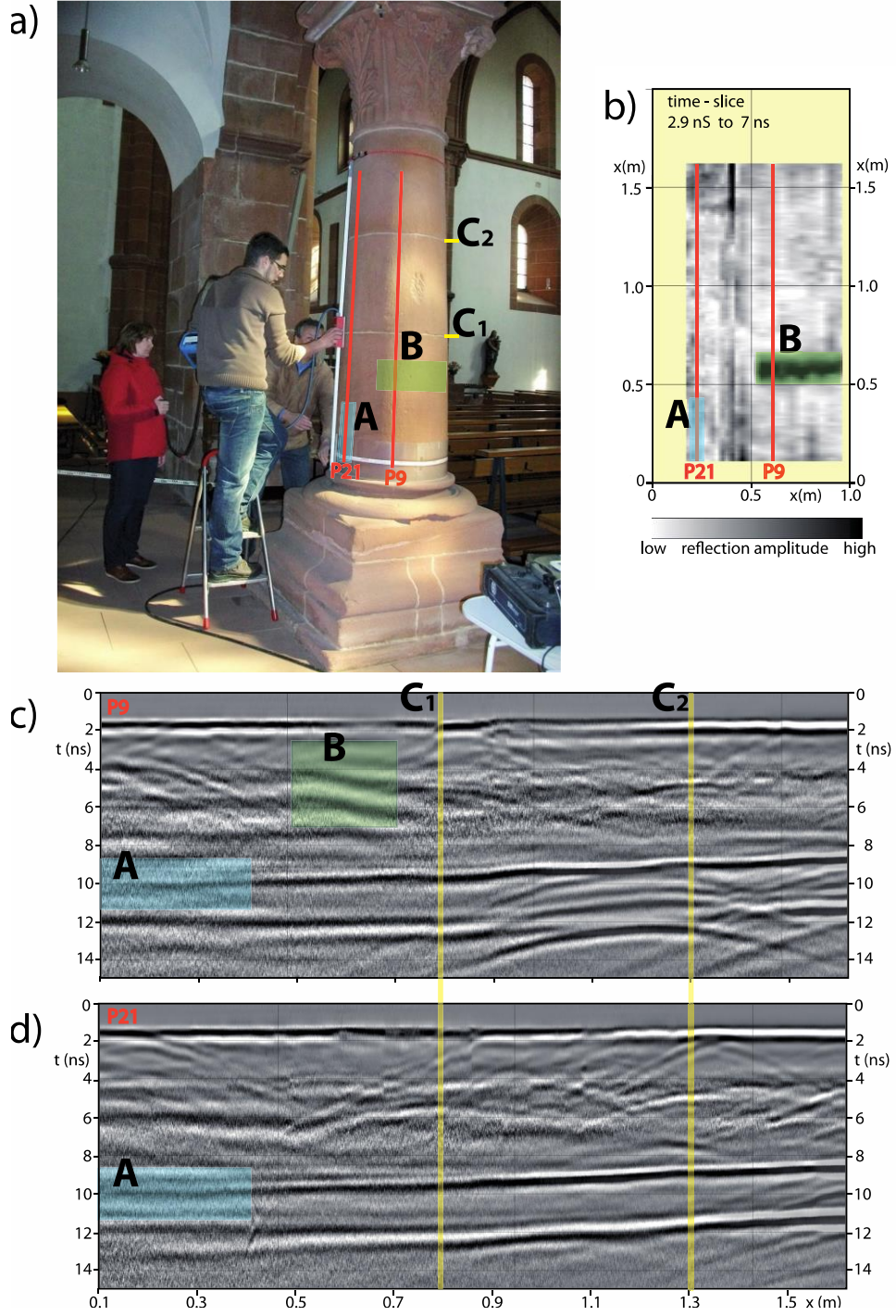
TEŞEKKÜR

Bu çalışmada veri işlem programını bize sağladığı için Dr. Harald Stümpel'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

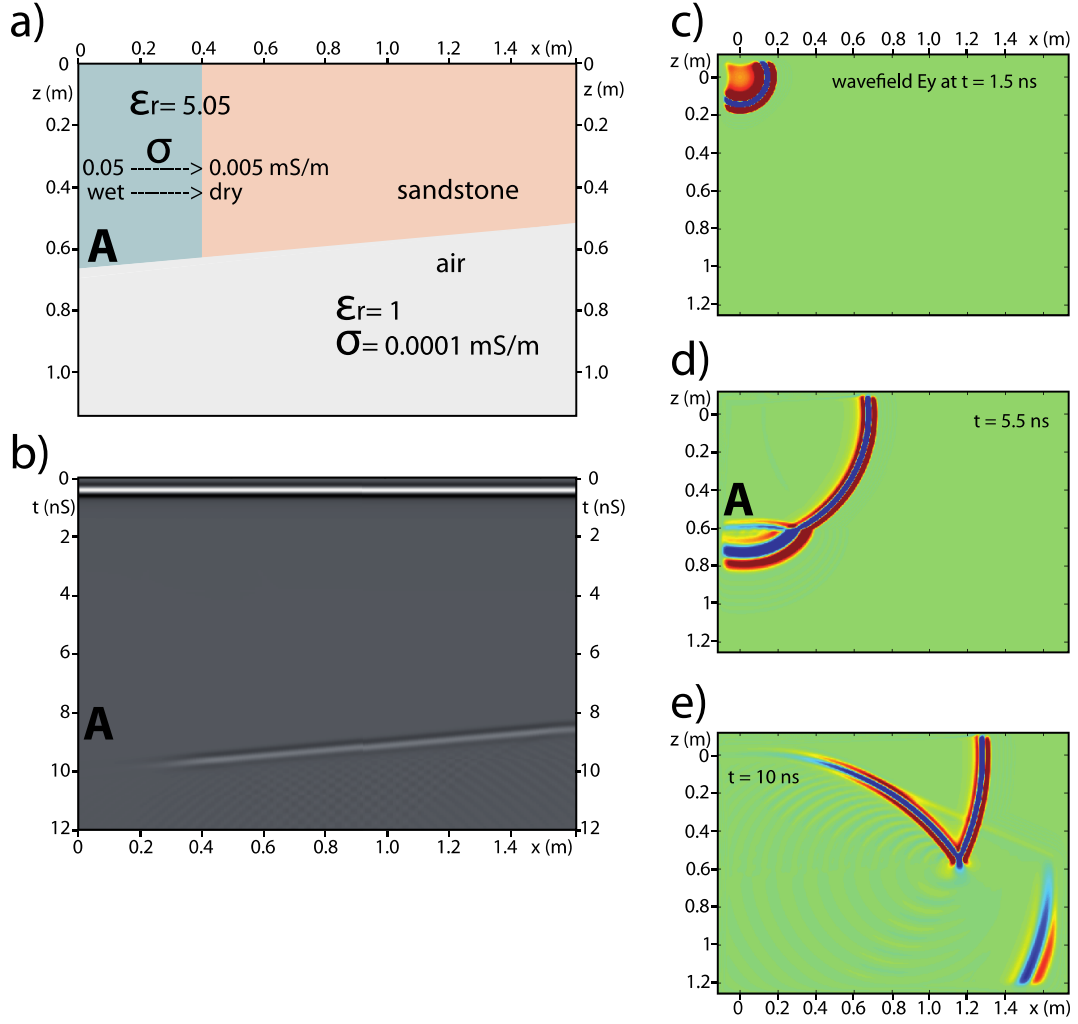
- Nuzzo L, Calia A, Liberatore D, Masini N, Rizzo E 2010, Integration of ground-penetrating radar, ultrasonic tests and infrared termography for the analysis of a precious medieval rose window, **Advances in Geosciences**, 24, 69–82.
- Orlando L and Slob E 2009, Using multicomponent GPR to monitor cracks in a historical building, **Journal of Applied Geophysics**, 67, 327–334.
- Leucci G, Cataldo R, De Nunzio G 2007, Assessment of fractures in some columns inside the crypt of the Cattedrale di Otranto using integrated geophysical methods, **Journal of Archaeological Science**, 34, 222-232.
- Irving JD, Knight, R 2006, Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2-D using MATLAB, **Computers & Geosciences**, 32, 1247–1258.
- Kaplanvural I, Pekşen E, Erkul E 2014 Bozuşmuş Kumtaşı Kolonunda Yer Radarı Çalışması, 5. Yer Elektrik Çalıştayı, 26-28 Mayıs, 2014.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 1. a) Kilise kolonu ve ölçümler , b) 2.9 – 7ns arasındaki zaman dilimi, b) P9 ve P21 profillerine ait radargramlar (Kaplanvural vd., 2014).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 2. a) 2B Sonlu Farklar ile modelleme için giriş modeli, b) Modelleme sonucu, c,d,e) 1.5, 5.5 ve 10ns'de elektromanyetik dalganın model içindeki davranışı (Kaplanvural vd., 2014).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

YAPI JEOFİZİĞİNDE ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER

M. Emin Candansayar

Adresi: Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Modelleme Grubu, Gölbaşı 50. Yıl Yerleşkesi, H-Blok, Ankara- Türkiye

E-mail: candansayar@ankara.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Yapı Jeofiziği, Doğru Akım, Özdirenç, Yapı-Radarı

ÖZET

Bu çalışmada, tahribatsız yapı testlerinde kullanılan Jeofizik yöntemlerden elektrik ve elektromanyetik yöntemler anlatılacaktır. Uygulamalı Jeofizik çalışmalarında en çok kullanılan elektrik yöntemlerden Doğru Akım Özdirenç ve elektromanyetik yöntemlerden Yapı Radarı yöntemlerinin dayandığı fizik temel kuralları ile bu iki yöntemin yapı jeofiziği çalışmalarında ne amaçla kullanıldıkları açıklanmıştır. Ayrıca tahribatsız yapı incelemelerinde bu iki yöntem ile ilgili uygulama örnekleri verilmiştir. Yine bu iki yöntemin yapı incelemelerinde nasıl uygulanacağı konusundaki uluslararası standartlar tanıtılmıştır.

GİRİŞ

Jeofizik, fizik parametreleri (özdirenç, hız, yoğunluk, manyetik duyarlılık, dielektrik geçirgenlik vb.) kullanarak yer içini, gezegenleri veya mühendislik yapılarını inceleyen bir bilim dalıdır. Jeofizik Mühendisleri, belirli fizik kurallarına göre tasarlanmış elektronik aletler kullanarak havadan, yeryüzünden veya kuyular içinden veri toplarlar, bunları sayısal matematik kurallara göre yazılan bilgisayar programları ile değerlendirirler. Sonuçta araştırılan yerin, yapının veya nesnenin özdirenç, hız, dielektrik geçirgenlik vb. fizik parametrelerine bağlı modelleri (tomografisi/görüntüsü) elde ederler. Elde ettikleri bu fizik parametrelerine bağlı modelleri yorumlarlar. Kısacası, Jeofizik Mühendisleri “yer-nesne veya yapıların” doktorlarıdır.

Bina, köprü, fabrika vb. mühendislik yapılarının sağlamlığı veya projeye uygun imal edildiğini, bu yapılara zarar vermeden jeofizik yöntemlerle araştırılabilir. Bu tür araştırmalara “Yapı Jeofiziği” araştırmaları denmektedir (Candansayar, 2013).

Yapı Jeofiziği’ nin, en önemli avantajları şunlardır (Candansayar, 2013):

- Yapı Jeofiziği araştırmaları çok hızlıdır. Sonuç hemen verilir.
- İncelenen mühendislik yapısından örnek (karot) almaya gerek yoktur. Dolayısıyla yapıya zarar vermeden sağlamlığı incelenebilir
- Karotlar alınarak yapılan incelemelerde, sadece karot numunenin alındığı yer incelenmiş olur. Karotun özelliği tüm binanın özelliği gibi yorum yapılır. Yapı Jeofiziği çalışmalarında ise yapının tamamı “cm” hassasiyetinde incelenebilir. Yani yapının bir tomografi görüntüsü elde edilmiş olur. Yapının hangi bölümleri sorunlu, hangi bölümleri sorunlu değil belirlenebilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Mühendislik yapılarının tahribatsız incelemelerinde, uygulamalı jeofizik yöntemlerinden sismik (ultrasonik hız ölçümü, P-dalgı hızı ölçümü), elektrik, elektromanyetik yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Doğru Akım Özdirenç (kısaca Özdirenç veya DAÖ) (Direct Current Resistivity) ve Yer Radarı (Ground Penetrating Radar-GPR) yöntemlerinin, mühendislik yapılarında tahribatsız inceleme yöntemi olarak nasıl kullanıldıkları açıklanacaktır. Ayrıca bu yöntemlerin tahribatsız yapı incelemelerinde nasıl uygulanması gerektiğini açıklayan uluslararası standartlar (American Standart for Test and Materials-ASTM) açıklanacaktır.

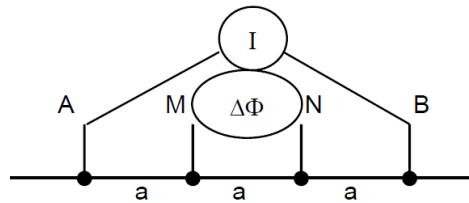
TEORİ

Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

Jeofizik Mühendisliği uygulamalarında en fazla kullanılan ve Özdirenç yöntemi olarak da bilinen “Doğru Akım Özdirenç (DAÖ)” yönteminin, yerindeki yapıların incelenmesine yönelik ilk uygulamaları 1916’ da Schlumberger ve 1918 yılında Wenner tarafından yapılmıştır (Rust, 1938). Yöntemde temel olarak iki noktadan elektrodlar yardımı ile yere akım uygulanır ve diğer iki nokta arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen gerilim farkı değeri elektrod mesafesinin artmasına bağlı olarak azalır. Bu değerin normalize edilmesi ve ölçülen büyüklüğün yerici özdirenç yapısına bağlı değişimini elde etmek için Ohm kanunu kullanılarak aşağıdaki gibi görünür özdirenç (apparent resistivity) tanımı yapılır

$$\rho_a = K \frac{\Delta\phi}{I}, \quad K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)}. \quad (2)$$

Burada K geometrik faktör (metre), $\Delta\phi$ gerilim farkı (mV), I ise yere uygulanan akım (Amper) ve ρ_a ise görünür özdirenci (Ohm.m) ifade etmektedir. Akım ve gerilim elektrodlarının farklı konumlarına göre önerilen birçok elektrod dizilimi vardır. Yapı jeofiziği uygulamalarında en çok Wenner elektrod dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimde dışta akım elektrodları (A ve B) ve içte gerilim elektrodları (M ve N) bir doğru boyunca dizilir ve ardışık elektrodlar arasındaki mesafe eşittir (Şekil 1).



Şekil 1. Wenner elektrod dizilimi.

Görünür özdirenç homojen ve izotrop ortam için ortamın özdirencine eşittir. Ancak gerçek yerici veya yapıların (beton) özdirenç değeri x, y ve z yönüne doğru farklılık gösterir. Bu nedenle günümüzde çok boyutlu (2B, 3B, 4B) ters çözüm algoritmaları ile ölçülen görünür özdirençlerden yerici özdirenç değişimini gösteren modeller (tomografisi, görüntüsü) elde edilir. Bu özdirenç modelleri ile yerinde farklı jeolojik yapı sınırları, arkeolojik nesnelerin derinlik ve boyutları görüntülenebilmektedir. Ancak yapı jeofiziği çalışmalarında sabit bir

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

elektrod aralığı ile Wenner elektrod dizilimi ile ölçüler alınmaktadır. Bu çalışılan yüzey boyunca belirli bir derinliğe kadar bilgi verebilmektedir. Dolayısıyla betonun daha iç bölümlerindeki bozulmalar tespit edilemeyecektir.

Yapı Jeofiziğinde Özdirenç Yöntemi Uygulamaları

Yukarıda da bahsedildiği gibi yapı jeofiziği çalışmalarında Wenner elektrod dizilimi için ölçülen verilerden elde edilen Görünür Özdirenç verileri, özdirenç olarak kabul edilerek yorum yapılmaktadır. Bu görünür özdirenç değerleri kullanılarak betonun nemlilik ve korozyonunun belirlenmesi, bölgesel katodik koruma yerlerinin belirlenmesi, beton kalitesinin incelenmesi ve beton ıslah çalışmalarının başarısının araştırılması için kullanılmaktadır.

Betondaki elektrokimyasal olaylardan dolayı oluşan korozyonun belirlenmesinde özdirenç yöntemi önemli rol oynamakta. Beton üzerinde Wenner dizilimi ile ölçülen görünür özdirenç değerinin korozyonla ilişkisi ampirik olarak Tablo-1 ' de verilmiştir (Wikipedia [1]).

Tablo 1. Görünür özdirenç ve korozyon ilişkisi

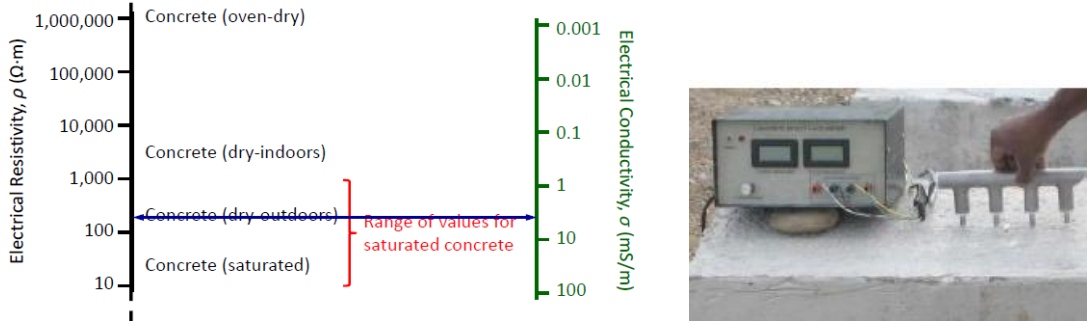
Görünür Özdirenç Aralığı – ρ_a (Ohm.m)	Korozyon Olasılığı
$\rho_a \geq 120$	Düşük korozyon riski
$80 \geq \rho_a \leq 120$	Korozyon olma olasılığı var
$\rho \leq 80$	Korozyon olma olasılığı yüksek

Bu tablodaki değerler, klorit dağılımı ve elektrik özdirencin, betondaki karışım malzemesie ve yaşına bağlı değişmektedir. Betonun özdirenci aşağıdaki nedenlerden dolayı düşebilir (Wikipedia [1]):

- Betondaki su içeriğinin artması
- Beton boşluk oranı (porozite) sinin artması
- Isının artması
- Klorit miktarının artması
- Karbonizasyon derinliğinin azalması.

Beton özdirencinin azalması durumunda, betondaki korozyon oranı artmaktadır. Beton özdirencinin artması ise, betonun kuru ve karbonlaşmış olmasını, dolayısıyla korozyon riskinin azalmasını gösterir. Şekil 2' de bir beton numune üzerinde yapılan özdirenç ölçümü vardır. Bu ölçüm sonucu elde edilen özdirenç (tersi iletkenlik) ile betonun korozyona uğraması ilişkisi görülmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 2. Beton üzerinde Wenner dizilimi ile öz direnç ölçüsü ve bunun beton saturasyonu ilişkisini gösteren grafik (Whiting and Nagi, 2003).

Yer Radarı

Elektromanyetik yöntemlerden biri olan Yer radarı (Ground Penetrating Radar GPR) yöntemi, sığ araştırmalarda en yaygın kullanılan jeofizik yöntemlerden birisidir. Yöntem, ilk olarak hava, deniz veya yeryüzündeki nesnelere bulunması için geliştirilmiştir. Jeofizik yöntem olarak, yeraltındaki jeolojik sınırların, kırık, boşluk, gömülü nesnelere belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yöntemde, bir kaynak verici aracılığı ile 1-15.000 MHz frekans aralığında seçilen bir merkezi frekanslı radyo dalgaları yeraltına gönderilir. Bu elektromanyetik sinyal, yeraltında dalga şeklinde yayılarak farklı dielektrik özellikteki birimlerden yansırarak, yeryüzünde alıcı tarafından geliş zamanı ve sinyal genliği zamanın fonksiyonu şeklinde ölçülür.

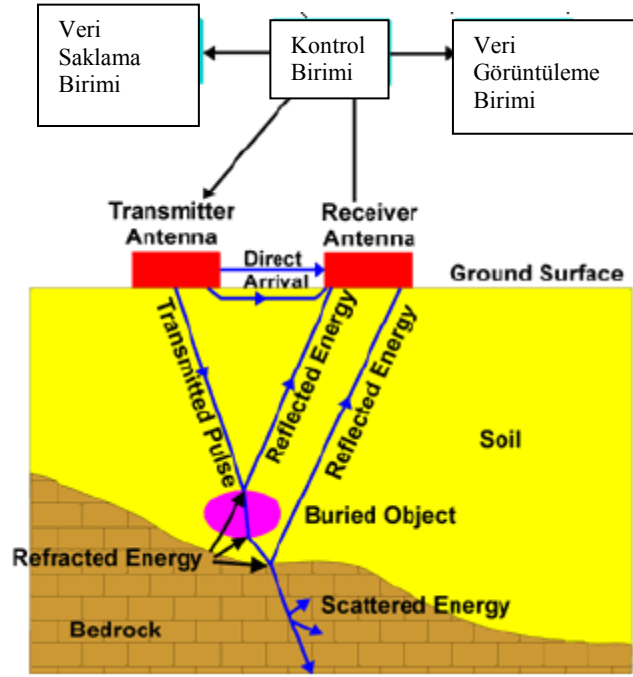
Şekil 3' de, bir temel bir yer radarı ölçü düzeneği görülmektedir. Bu sistemde alıcı ve verici antenler, kontrol, veri görüntüleme ve veri saklama birimleri bulunmaktadır. Radar sistemleri genelde tek bir merkezi frekansa göre sinyal üretip ölçü alınacak şekilde üretilirler. Araştırma derinliği, kullanılan ölçü sisteminin, ölçü alabildiği merkezi frekansa göre çalışır. Örneğin 100 MHz. merkezi frekans ile çalışan radar sisteminin en büyük araştırma derinliği 30 metredir. Ancak araştırma derinliği ortamdaki farklı dielektrik özellikteki birimlerin boyutlarına da bağlıdır.

Son yıllarda yöntem, Yapı Jeofiziği uygulamaları olarak yapıların hasarsız (tahribatsız) testi içinde kullanılmaktadır. Betonarme yapılar için özel tasarlanmış 1.5-2.0 GHz frekansında ölçü alınabilen sistemler geliştirilmiştir (Şekil 4). Yer radarı sistemi, betonarme yapı üzerinde alınan ölçülerle beton içindeki;

- demir örgülerin (rebar),
- Plastik ve Metal kablo borularının (kanallarının) (conduits)
- germe kablolarının (post-tension cables)
- beton plaka kalınlığının (slab)
- 0.5 cm' den küçük boşlukların

yerlerini ve derinliklerini bulmada kullanılır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 3. Bir yer radarı ölçü sisteminin şematik gösterimi (Daniels vd. 1995' den alınmıştır) için Yer Radarı yansıma kesiti (radargram).



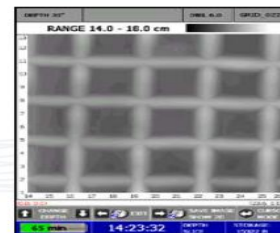
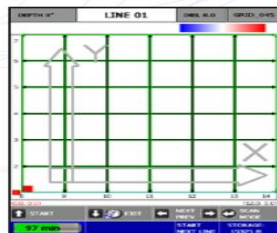
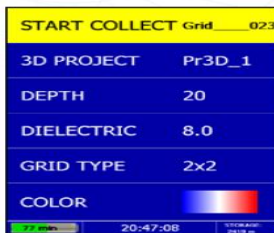
Şekil 4. Yapı Jeofiziği'nde kullanılan 1.6 GHz frekansında ölçü alabilen yer radarı sistemi (GSSI, www.geophysical.com)

Tahribatsız yapı incelemelerinde, yer radarı uygulaması şu üç aşamada gerçekleştirilir [2]:

a- Veri toplama ayarlarının yapılması

b- x-y gridleri boyunca veri toplama

c- Veri işlem ve yorum



JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

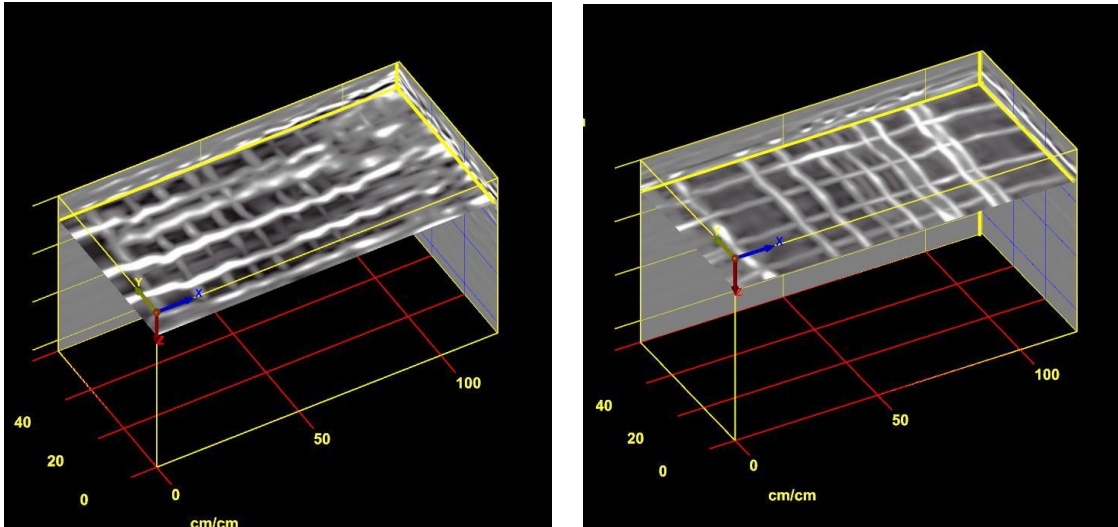
Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler Konusunda Uluslararası Standartlar

Yapı İncelemesinde Yer Radarı Uygulaması

Kabası bitmiş bina içerisinde, sütun ve perde duvarlarda demir donatı sağlamlığı Yer Radarı yöntemi ile incelenmiştir (Şekil 5). İncelemede kolon ve perde duvarlardaki demir donatıların mevcut durumu görüntülenmiştir. Veriler GSSI marka, "StructureScan Mini" model 1600 MHz merkezi frekanslı kapalı anten ile toplanmıştır. Tüm veri işlem adımları uygulandıktan sonra yoruma uygun radargram xy-kesitleri Şekil 6' da sunulmuştur.



Şekil 5. Kolon ve perde duvarda radar ölçüsü alınırken çekilen fotoğraf.



Şekil 6. Radar verilerinin veri işlem sonrası farklı derinlik seviyeleri için xy-kesitleri.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

ASTM standartları

“Amerikan Test ve Materyal Birliği” (American Society for Testing and Materials -ASTM) olarak bilinen ‘ASTM International’, uluslararası konsensus sağlanmış standartları geliştiren ve dağıtan global olarak tanınan kar amacı gütmeyen bir birliktir. Bu topluluğun 12,000' den fazla geliştirdiği standartlar dünya genelinde kullanılmaktadır. Bu birliğin yayımladığı standartlar dünyanın gelişmiş ülkelerinde kullanılmaktadır.

ASTM' nin orijinalini 1997 de yayımladığı ve 1 Temmuz 2008' de revize ettiği "ASTM D6087: Yer Radarı Yöntemi ile Asfalt Kaplı Beton Köprü Gövdesi Döşemelerinin İncelenmesi için Standart Test Yöntemi", yer radarının yapı sağlamlığı çalışmalarındaki uygulama standartlarını vermektedir. Yer Radarı yönteminde, ölçülen veriler başlangıç zamanına taşınma, Dewow, band geçişli süzgeç vb. birçok veri işlem aşamalarından geçirilir. Bu veri işlem aşamalarını bu konuda eğitim almış Jeofizik Mühendisleri yapar.

Yine elektrik yöntemlerin tahribatsız yapı incelemeleri onuşunda tanımlanmış standartlar vardır. Betonun elektrik öz direncini ölçme ve bunun beton kloritleşmesi ilişkisi konusunda birçok uluslararası standart test yöntemi vardır (ASTM C1202-10, ASTM C 1760 ve AASHTO TP 95 (2011)) .Tahribatsız yapı incelemeleri için geliştirilmiş ASTM standartları (C1202-10, C1760, E494, D6760, D6787, D4788, D4428, C1383, C597) incelendiğinde, bu standartlar içerisinde jeofizik çalışmaların zorunlu olarak yapılması gerektiği görülmektedir.

SONUÇLAR

Deprem kuşağı üzerinde olan ülkemizde, özellikle deprem sonrası hasar gören yapıların hızlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bunu yapabilmek içinde, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi "yapı jeofiziği çalışmaları" yapılması zorunludur. Jeofizik elektrik ve elektromanyetik yöntemler beton kalitesi, korozyonu ve beton içindeki donatıların mevcut durumu, hasar durumu, projeye uygun imal edilmesi vb. konularda önemli bilgiler vermektedir. Bu konudaki çalışmaların nasıl yapılması gerektiği konusunda uluslararası standartlar bulunmaktadır. Jeofizik yöntemlerdeki veri toplama ve veri işlem konusundaki gelişmelerine paralel olarak bu standartlarında yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu konuda uzman olan Jeofizik Mühendisleri önemli katkıda bulunabilir. Diğer taraftan, Jeofizik Mühendisleri bu standartlara göre yapı üzerinde çalışmalı ve yapıların projeye uygunluğunun tespiti ve deprem sonrası hasar durum tespiti konularında İnşaat Mühendisleri ile birlikte çalışmalıdırlar.

TEŞEKKÜR

Tahribatsız yapı incelemeleri kapsamında Yapı Jeofiziği uygulamaları son yıllarda dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda araştırmalar yapmama aracı olan TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odasına sonsuz teşekkürler.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

KAYNAKLAR

Rust, Jr W. M., 1938, A Historical Review Of Electrical Prospecting Methods, **Geophysics**, 3, No:1, 1-6.

Daniels, J. J., Roger, R., and Mark, V. 1995, Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants, **Journal of Applied Geophysics** 33, 195-207.

Web kaynakları

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_measurement_of_concrete#Standards

[2] www.geophysical.com

ASTM C 1760 Bulk Conductivity of Concrete

ASTM C1202 (2010). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken, PA.

AASHTO TP 95 (2011), "Standard Test Method for Surface Resistivity of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration." American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., U.S.A

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME
ÇALIŞTAYI**

ÇAĞRILI MAKALE

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

SİSMİK HIZLAR İLE SAPTANABİLEN ZEMİN PARAMETRELERİ

Keçeli A.¹

Mail Adresi: Salacak Mah. Bestekar Selahattin Pınar Sok., Deniz Apt., No:130/8. Üsküdar, İstanbul

E-mail: 1-keceliali_jfz@yahoo.com.tr

Anahtar Kelimeler: Sismik sıvılaşma analizi, Kohezyon ve IP, empedans ve faz spektrumu, zemin taşıma gücü.

ÖZET Sismik hızların, elastisite modüllerinin ve zeminlerin yapısal özelliklerinin saptanması mühendislik projelerinin tasarımında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, sismik kayma dalga empedansı ile yer basıncı ifade edilerek zeminlerin nihai taşıma kapasitesi tanımlanmıştır. Bu bağlamda, kayma dalgası hızına bağlı yoğunluk tanımı yapılmıştır. Güvenlik faktörü ile $[V_p/V_s]$ hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak, $[V_p/V_s]$ 'nin güvenlik faktörü ve yer altı suyu indirgeme faktörü olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri standart tablo verileri ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Tekil temel (somel) için müsaade edilebilir taşıma kapasitesi Meyerhof'un SPT(N) tanımına benzer olarak tanımlanabileceği gösterilmiştir. Tekil temel için elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri Brown tarafından verilenler ile uyum içinde olmuştur. Ayrıca, Boussinesq denkleminden zemin oturması ve yatak katsayısı saptanabilmektedir. Yük-oturma eğrisi zemin mekaniğine benzer değişim göstermiştir. Sismik hızlarla yapısal jeoloji ve diğer özellikler aydınlatılırken, müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, zemin oturması ve yatak katsayısı değerleri hakkında daha çabuk ve ucuz olarak güvenilir ön bilgi elde etmek mümkün olmaktadır.

GİRİŞ

Zeminlerin sismik hızlarını saptamak, sismik hızdan zemin sınıflaması yapmak ve jeolojik yapısal özelliklerini aydınlatmak mühendislik projelerinin tasarımlarında yeterli olmamaktadır. Bir mühendislik yapısının zeminle ilgili tasarımında önde gelen ana faktörlerden biri zeminin taşıma kapasitesi, diğeri ani veya elastik ve zamanla zemin oturması dolayısıyla yatak katsayısıdır. Zemine yük konsun veya konmasının zeminin zamanla oturması, yani konsolidasyon oturması oluşur. Konsolidasyon oturması laboratuvar deneyleriyle saptanabilmektedir. Ani oturma değerini saptamak için doğrudan bir laboratuvar tekniği henüz yoktur. Zemin deformasyonlarının incelenmesinde kayma direnci veya makaslanma direnci ve elastisite modülü çok önemlidir. Zeminin jeolojik yapısı karmaşık olmasından dolayı, zemin mekaniği ilkelerine göre, gerçeğe uygun deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle yaklaşık olmasına rağmen ani oturmalar için genellikle elastisite teorisi kullanılmakta ve makul sonuçlar elde edilmektedir (Terzaghi 1967, Uzun 1992).

Birçok araştırmacı zeminlerin çeşitli parametreleri ile sismik hızlar arasında deneysel ilişkiler kurmaya çalışmışlardır; (Hardin ve diğerleri. 1968), (Hardin ve diğerleri. 1972), (Imai ve diğerleri. 1976), (Ohkubo ve diğerleri. 1976), (Tatham 1982), (Philips ve diğerleri. 1989), (Jongmans 1992), (Othman 2005) _ve diğerleri.

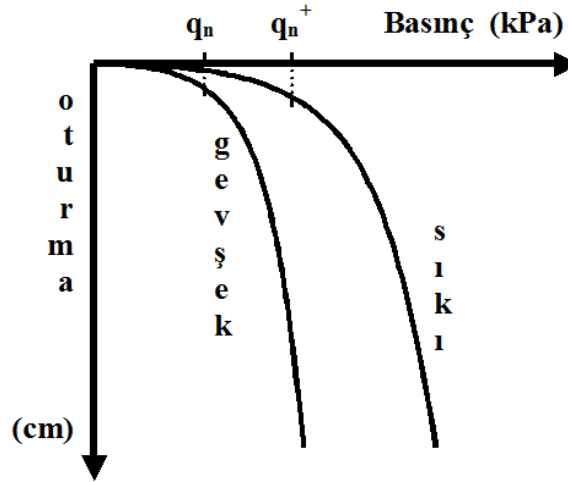
Bazı yazarlar sismik hızlarla Standart Penetrasyon Test (SPT) N- vuruş sayısı arasında zemin taşıma kapasitesi saptamak için deneysel bağıntılar geliştirmişlerdir; (Imai ve diğerleri. 1972), (Fujiwara 1972), (Imai 1975), (Parry 1977), (Sternberg ve diğerleri. 1990).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Kuramsal bir yaklaşımla ilk kez (Keçeli, 1990 ve 2000) tarafından sismik hızlarla zeminlerin müsaade edilebilir taşıma kapasitelerinin ve ani oturmalarının elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmada, Meyerhof'un SPT(N) bağıntısına benzer olarak tekil temel şekil faktörü içeren müsaade edilebilir taşıma kapasitesinin tanımlanabileceği gösterilmiştir. Örnek olarak elde edilen tekil temel şekil faktörü içeren müsaade edilebilir taşıma kapasitesinin literatürde verilen değerler ile uyumu olduğu araştırılmıştır. Ayrıca, Keçeli (2010) da değinilen müsaade edilebilir taşıma gücü ve onun sebep olabileceği deformasyon veya zemin oturması, dolayısıyla yatak katsayısı ile sismik hızlar arasındaki kuramsal bağıntılar daha açık olarak ifade edilmiştir. Ve zemin mekaniğindeki yük-oturma eğrisine benzer eğrinin sismik hızlar ile elde edilebileceği gösterilmiştir.

ZEMİN TAŞIMA KAPASİTESİ

Zeminin bir noktasına bir basınç uygulandığında veya bir yük konduğunda zemin yüzeyinde deformasyon yani oturma oluşur. Birim alandaki ortalama yük ile oturma arasındaki ilişki, zemin özelliğine bağlı olarak, Şekil 1 deki yük-oturma eğrisi ile ifade edilir. Yük miktarı arttıkça oturma miktarı da artar. Ancak, sınır veya son (nihai = q_n) taşıma kapasitesine varıldıktan sonra oturma miktarı hızla artar ve göçme durumuna ulaşılır. Zeminin birim alanının göçme olmadan taşıyabileceği yük değerine son taşıma kapasitesi (ultimate bearing capacity), q_{son} , denir.



Şekil 1. Zeminin birim alanı için yük-oturma eğrisi, (Terzaghi, 1967) den adapte edilmiştir.

Zemin mekaniğinde bir çok yarı deneysel taşıma kapasitesi tanımı olmakla beraber, en yaygın kullanılmakta olan Terzaghi taşıma kapasitesi bağıntısı:

$$q_{son} = cN_c + \gamma d_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (1)$$

ifadesi ile verilir. Burada c = Kohezyon, γ = birim ağırlık, d_f = Temel derinliği, B = Temel genişliği, N_c , N_q , N_γ = Taşıma kapasitesi faktörleridir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Zemin mekaniğinde yük konan zeminde göçme olmaması için emin taşıma kapasitesi, q_e , elde etme işlevinde son taşıma kapasitesi bir güvenlik katsayısına (F_S) bölünür.

$$q_e = \frac{q_{son}}{F_S} \quad (2)$$

(F_S) emniyet faktörü yapının önemine ve özellikle zeminden zemine bağlı olarak en sağlam zeminden en gevşek zemine göre sırasıyla $F_S=1.5-5$ arasında değişmektedir (Venkatramaiah, 1993), Çinicioğlu (2005).

Temelin taban seviyesi üzerindeki hafriyatı yapılan toprağın ağırlığı, q_{df} , dikkate alınması gerektiğinde emin taşıma kapasitesi, q_e

$$q_e = \frac{q_{son} - \gamma d_f}{F_S} + \gamma d_f = \frac{q_{net}}{F_S} + \gamma d_f \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır.

Ayrıca, zeminde göçme ve oturma olmaması için maksimum taşıma kapasitesi olarak Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesi, q_a , tanımlanır.

$$q_a \leq q_e \quad (4)$$

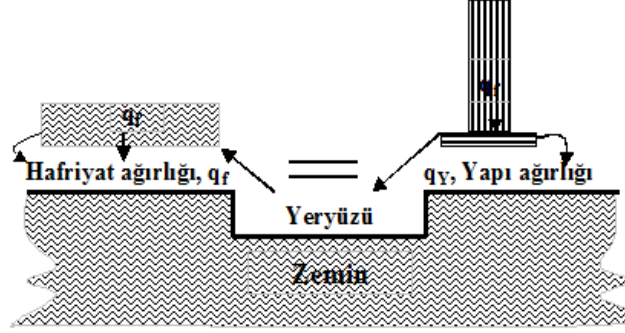
kabul edilir.

Terzaghi (1967) zemin mekaniği taşıma kapasitesi hesaplamalarında, Şekil 2 deki gibi, temelin taban seviyesi üzerindeki hafriyatı yapılan toprağın ağırlığı yerine ilave bir eşdeğer basınç veya yük bulunduğu yerine koyma işlevinin hesaplamaları basitleştirdiğini, hatanın küçük ve emniyetli tarafta olduğunu ifade etmiştir. Terzaghi, hafriyat basınç yükünü zeminin birim alanlı d_f derinlikli zemin kolonu yükü, q_{df} , için

$$q_{df} = \gamma d_f = \rho \cdot g \cdot d_f \quad (5)$$

şeklinde tanımlamıştır. Burada $\gamma (= \rho \cdot g)$ kN/m^3 zeminin birim ağırlığıdır, ρ : Kg/m^3 yoğunluk, $g (=9,807 \text{ m/s}^2$ veya $\cong 10 \text{ m/s}^2)$ yerçekim ivmesi ve d_f : temel derinliğidir.

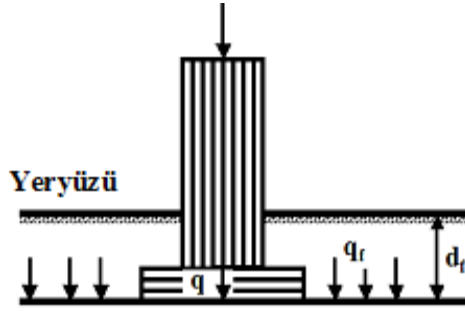
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 2. En fazla hafriyat ağırlığı kadar bina ağırlığı koymak gerekir.

Şekil 3 deki kolonun zeminde deformasyon oluşmayacak q_{df} eşdeğer yük basıncı, eşdeğer yük için zeminin taşıyabileceği son yük miktarı anlamındadır.

Sismik Hızlar ile Zemin Taşıma Kapasitesi Saptanması



Şekil 3. Temel hafriyatı derinliği, d_f .

Hafriyat ağırlığı yerine eşdeğer yük konmasıyla zeminde herhangi bir deformasyon oluşmayacağından q_{df} eşdeğer yük basıncı, eşdeğer yük için aynı zamanda zeminin taşıyabileceği son yük miktarı anlamındadır. Zeminin taşıyabileceği son yük miktarı ise, bilindiği gibi, zeminin son taşıma kapasitesini, q_{son} , ifade eder. Buna göre; eşdeğer yük için taşıma kapasitesi ifadesi, q_{son}

$$q_{son} = q_{df} = \rho g d_f \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. q_{son} değişken dönüşümü ile sismik hız cinsinden

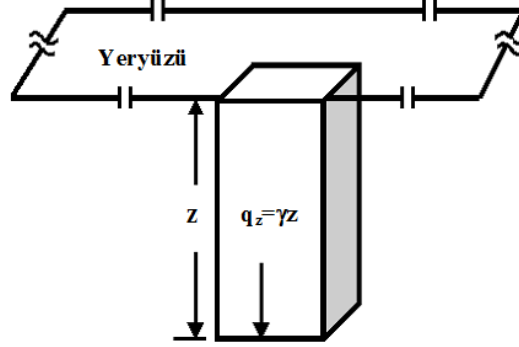
$$q_{son} = g \rho V_S T \quad (7)$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

yazılabilir. (7) ifadesinde g yerçekim ivmesi ve T zamanı dışındaki ρ yoğunluk ve V_s sismik hız herhangi bir kayacın özelliğine göre değişen değerlerdir. T zamanının tüm zemin türleri için sabit bir değeri saptanabilirse, q_f basınç veya eşdeğer yük için taşıma kapasitesinin zemin özelliğine göre değişimi sadece ρ yoğunluk ve V_s sismik hıza bağlı olarak saptanabilir. Bu da, zeminlerin son taşıma kapasitelerinin ρ ve V_s e bağlı olarak genelleştirilerek saptanabileceğini ifade eder. (7) ifadesi Şekil 4 deki birim alanlı zemin kolonu olarak genelleştirilirse genel bir yer basıncı ifadesi

$$q_z = \gamma z = g \rho z = g \rho V_s T = q_{son} \quad (8)$$

yazılabilir. Zeminlerin taşıma kapasiteleri birim alanlı sıvı kolonunun kaldırma kuvvetine benzetilebilir.



Şekil 4. Birim alan kesitli, z derinlikli zemin sütunu.

Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesi, q_a , Building Code'larda ve yayınlanmış tablolarda en sert ve masif genç kayalar için 10 MPa olarak verilir (Bowles, 1984; Wyllie, 1992). Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesi, q_a , (2) ifadesine

$$q_a = \frac{q_{son}}{1.5} = 10 \quad MPa \quad (9)$$

benzer şekilde yazılabilir. En sert ve masif genç kayaların en yüksek sıkışma dalga hızı V_p ve kayma dalga hızı V_s , yaklaşık olarak sırasıyla 6000 m/s; ve 4000 m/s, birim ağırlığı da 35 kN/m³ bu değerler de veya bu değerlere yakındır. Bu değerler (9) eşitliğinde yerine konursa,

$$q_a = \frac{q_{son}}{F_s} = \frac{\gamma V_s T}{F_s} = \frac{35(4000)T}{1.5} = 10 \quad MPa \quad (10)$$

(10) eşitliğinin sayısal sadeleştirilmesinden, T zaman miktarı $T = 0.1$ saniye olarak elde edilir. O zaman, $T = 0.1$ saniye ve $g = 10 \text{ m/s}^2$ sayısal değerleri (7) eşitliğinde yerine konursa son taşıma kapasitesi

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$q_{\text{son}} = g \rho V_s T = 10. \rho V_s .0.1 = \rho V_s \quad (\text{kPa}) \quad (11)$$

elde edilir. Burada, bilindiği gibi, $Z_s = \rho V_s$ enine dalga hızı sismik empedansıdır.

Jeoteknik alanında zemin taşıma gücü, kohezyon direnci ve içsel sürtünme açısı direnci olarak zeminin litolojik özelliğini yansıtan temel iki direnç faktörüne sahiptir. Yapı temel şekil faktörüne bağlı olmaksızın zemin kayma direncine veya sadece zemin özelliğine bağlı taşıma gücü, (q), direnç ifadesi (Çinicioğlu, 2005):

$$q = \text{Kohezyon direnci} + \text{İçsel sürtünme direnci}$$

ile ifade edilebilir. Keza jeofizikte; zeminlerin genel sismik empedans direnç ($Z(i\omega)$) ifadesi kompleks ifade olup, genel olarak, reel bileşen ve sanal bileşen olmak üzere temel iki faktöre sahiptir:

$$Z(\omega) = \text{Sanal bileşen } Z(\omega) + \text{Reel bileşen } Z(\omega)$$

Kayaçların Kohezyonlu ortamlar ile sismik empedans ortamlarının sanal (imajiner) bileşenlerinin içerdikleri yüklü iyon etkilerinin azalıp çoğalmaları yönünden karşılıklı birçok benzerlikler mevcuttur. Keza, kayaçların içsel sürtünme ve sismik empedansın reel bileşenin karşılıklı azalıp çoğalmaları yönünden de birçok benzerlikler mevcuttur. Karşılıklı ortaya konan temel ilkelerde sanal bileşenin kohezyon direncini ve reel bileşenin içsel sürtünme (açısı) direncini, iki faktör olarak, temsil etmesi sismik kayma dalgası empedans ifadesinin zemin taşıma gücü ile kuramsal (teorik) olarak doğrudan eşdeğer ilişkili olduğunu göstermektedir. Esasen, empedans ifadesi kuramsal bir ifadedir. Empedansın birimi ($\text{kg/m}^2\text{s}$) olup dalga hareketi basıncın hıza oranı, (Nm^{-3}s), olarak da tanımlanır. (11) ifadesi nitelik bakımından taşıma kapasitesi, nicelik ve formal bakımdan enine dalga sismik empedansıdır. (11) eşitliğinin sonucuna göre; zeminlerin taşıma kapasitelerinin sismik kayma dalgası empedansları ile ifade edilebileceğini göstermektedir. Bu durumda, Sismik yöntemde zemin taşıma kapasitesini sismik empedans ile incelemek jeofizik mühendisliğinin elektromanyetik yöntemlerde kayaçların özelliklerini elektromanyetik empedans veya elektrik özdirenç ile incelenmesine paralel olmaktadır.

(11) ifadesinden müsaade edilebilir taşıma kapasitesi

$$q_a = \frac{\rho V_s}{F_s} \quad (\text{kPa}) \quad (12)$$

olarak yazılabilir. Veya birim dönüşümü ile

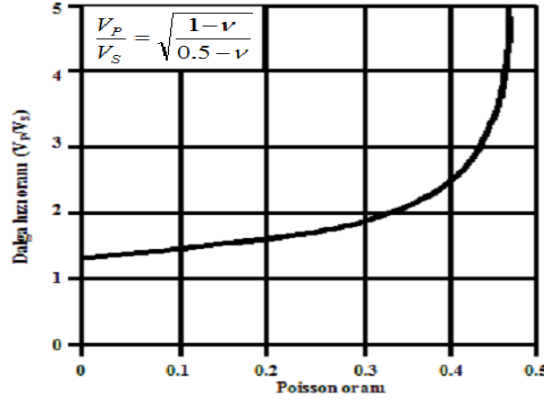
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$q_{son} = \frac{1}{100} \rho V_s \text{ kg/cm}^2 \quad q_a = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s}{F_s} \text{ kg/cm}^2 \quad (13)$$

olarak yazılabilir.

F_s ile Birlikte [V_p/V_s] Oranının Güvenlik Faktörü Olarak Kullanılması

Elastik özelliklerden Poisson oranı inşaat yapı malzemelerinin gözeneklilik oranını ve gözenek içindeki sıvı doygunluğunu yansıtan ve yaygın olarak beton incelemelerinde kullanılan bir elastisite modülüdür. Poisson oranının değerleri (0-0.5) gibi oldukça küçük ve dar bir aralıkta değişir. Poisson oranı $[V_p/V_s] = [(0.5 - \nu)/(1 - \nu)]^{1/2}$ sismik hız oranıyla daha geniş olan 1-8 aralığı arasında kontrol edildiğinden $[V_p/V_s]$ oranı aşağıda sözü edilen zemin özelliklerini çeşitli amaçlar için saptanmasında kullanılan önemli bir faktör olmuştur.



Şekil 5. Poisson oranı (n) ve Hız oranı (V_p/V_s) ilişkisi.

Şekil 5 de görüldüğü gibi, sıkışma dalga hızı, V_p, yeraltı gözenek sıvısına doygunluğuna ve kayma dalga hızı, V_s, yeraltının katılığına ve sıkılığına duyarlı olması sebebiyle V_p/V_s oranı son yıllarda deprem, yer kabuğu, zemin sıvılaşmasında ön bilgi, zemin büyütmesi, hidrokarbon rezervuarlarının ve akiferlerin incelemelerinde laboratuvar ve arazi uygulamalarıyla kullanılan önemli bir faktör olmuştur. Söz konusu uygulamalardan bazıları şunlardır: Tatham (1982) V_p/V_s oranının yer altı suyu doygunluğuna ve kırıklılığına duyarlılığını, Prakla-seismos (1986) katmanların V_p/V_s oranlarını ve hidrokarbon rezervuarlarının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ilk gösterenlerdir. Wang (2001) V_p/V_s oranın litolojik gösterge olarak kullanılacağını ve direkt rezervuar saptamalarında da başarıyla kullanılabileceğini belirtmektedir. Daha sonraları Ishihara vd. (2004) deneysel sıvılaşma incelemelerinde gözenek basıncı katsayısı ile V_p /V_s oranı arasındaki ilişkinin deprem anındaki gibi olduğunu, Hamada (2004) V_p/V_s oranı kullanarak rezervuar incelemelerinin başarıyla yapılabileceğini, Carvalho vd. (2008) olası bir depremde lokal etkilerini mikrobölgelemede zemin davranışı büyütmesinin belirlenmesinde ve sınıflamasında V_p/V_s oranlarının önemli bir parametre olduğu uygulama örnekleri ile göstermişlerdir. Bu konularda diğer başlıca çalışmalar Fu vd. (2006), Moreno vd. (2003), Hicks (2006) olarak belirtilebilir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Sismik sıkışma dalga hızının, V_p , kayma dalgası hızına, V_s , oranı, (V_p/V_s) , da, Güvenlik sayısı, F_s , gibi, yer altı suyuna doymun olmayan çok sıkı, sert ortamlarda 1.5 ile yer altı suyuna doymun gevşek ortamlarda genelde 8 arasında değişmektedir. Güvenlik sayısı, F_s , ve (V_p/V_s) oranı arasındaki zemin türüne bağlı benzerlik tablo 1. de görülmektedir.

Tablo 1. Zemin türüne göre V_p/V_s ve (F_s) değişimi.

Zemin türü	(V_p / V_s)	Güvenlik sayısı(F_s)
Kaya ortamlarda	1.45 - 2	1.5
Çok sıkı sert ortamlarda	1.5 – 2	1.5-2
Sıkı katı ortamlarda	2 – 3	2
Orta sıkı bozuşmuş ortamlarda	3 - 4	3
Gevşek yumuşak ortamlarda	4 - 6	3-4
Gevşek yer altı suyuna doymun	5 - 8	4-5

Tablo 1 de $V_p / V_s > F_s$ veya $V_p / V_s \approx 1.5 F_s$ olduğu görülmektedir. Tablo 1 deki güvenlik sayısı değerleri ile V_p / V_s hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak güvenlik faktörü yaklaşık olarak sismik hız oranı cinsinden

$$F_s \approx \frac{V_p}{V_s} \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, q_a , sismik yöntemde (12-13) eşitliğinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_a = \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kPa}) \quad (15)$$

$$q_a = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (16)$$

Bu durumda, $G = \rho V_s^2$ kayma modülü tanımı ile, 15 eşitliği

$$q_a = \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{G}{V_p} = \frac{\text{Makaslanma deformasyonu}}{\text{Boyuna deformasyon}} \quad \text{kPa} \quad (17)$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade ile, sismik hızlardan elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi ifadesinin zemindeki bir yükün sebep olacağı bilinen makaslanma deformasyon türünü içerdiği görülmektedir.

V_p / V_s oranı yer altı suyu içeren gözenekli gevşek zeminlerde artar. Çünkü, zeminin yer altı suyu doygunluğu arttıkça, V_s den ziyade, aşağıda yoğunluk bölümünde açıklandığı gibi, V_p hızı önemli miktarda etkilenir. Pratikte, güvenlik katsayısı taneli zeminler için genel olarak 3 değerinde kullanılır. Yer altı suyu seviyesi temel seviyesinde olduğu zaman taşıma kapasitesi değeri %50 azaltılır. Buna karşın, suya doygun taneli zeminlerde $[V_p / V_s]$ hız oranı 6 mertebesinde elde edilir. Bu nedenle, V_p / V_s oranı güvenlik faktörü olarak kullanılması halinde zemin mekaniğinde olduğu gibi suya doygun zeminlerdeki müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerinde herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek kalmamaktadır. Dolayısı ile, F_s ile birlikte ayrıca (V_p / V_s) oranı güvenlik sayısına eşdeğer olarak kullanılması halinde kişisel tercihe bağlı olmadığından daha sağlıklı olmaktadır. Nitekim, Pişen (2009) farklı yöntemlerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin karşılaştırılmasında “Kullanılan güvenlik sayılarının zeminlerin heterojen olduğunu bildiğimiz halde her tür zemin için 3 kullanılması yerine, $F_s = V_p / V_s$ oranından elde edilerek kullanılmasının ilgili zemin için daha doğru değerler verebileceği sonucuna varılmıştır.”denilmektedir.

F_s kullanılırken, aynı zamanda, ayrıca V_p / V_s oranının kullanılmasının diğer bir yararı, V_s hızının elde edilmesinin titizlik gerektirmesinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi elde edilen verinin sağlıklı olması birinci derecede önem taşır. Polaritesi kontrol edilmemiş sadece tektarafli V_s ölçülmüş olsa V_s ölçülerine V_p dalgasının karışıp karışmadığının farkına varılamaz. Bu nedenle sadece V_s hızını kullanarak işlem yapmak hatalı sonuç verebilir. V_p / V_s oran değeri Tablo 1 deki zemin türüne uygun olup olmadığının kontrolünü sağlar.

Zeminlerin Yoğunluk Tanımı

Kayaçların yoğunluklarının sismik hızlardan elde edilmesinde kaya zeminlerde V_p hızı ile kaya zeminler için yoğunlukları arasında deneysel ilişkiyi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\rho = 1.6 + 0.2 (V_p \text{ (km/s)}) \quad (18)$$

Gardner vd. (1974) ve Lankston (1990) V_p hızı ile taneli zeminler için yoğunlukları arasında deneysel ilişkiyi aşağıdaki gibi vermişlerdir.

$$\rho = 0.31 (V_p^{0.25} \text{ (m/s)}) \quad (19)$$

Halbuki; gevşek taneli zeminlerin birim ağırlıkları $\gamma_0 = 12 \text{ kN/m}^3$ na kadar değişebildiğinden (19) tanımı tüm zemin yoğunluklarını temsil etmemektedir. Ayrıca, suya doygun taneli

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

zeminlerde $V_P = 500$ m/s iken yer altı suyu $V_P = 1500$ m/s etkisiyle suya doymun aynı taneli zeminlerde $V_P = 1300$ m/s daha yüksek olabilmektedir. Bu bakımdan taneli gevşek zeminlerde V_P hızından ve daha önemlisi kaya ortamlar için yapılan tanımdan yoğunluk saptamak sağlıklı olmamaktadır. Bu nedenle, V_S kayma dalgası hızı suya duyarsız olduğundan ve sadece katı ortamın hızını yansıttığından taneli zeminlerin yoğunluklarının saptanmasında V_S hızının kullanılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca, burada taşıma kapasitesi saptanmasında V_S hızı esas alındığından zemin yoğunluğunun V_S hızından saptanması gerekmektedir.

Lankston (1990) nın taneli zeminler için yaptığı yoğunluk tanımına paralel olarak

$$\rho = aV_S^\alpha \quad (20)$$

genel tanımlaması yapılırsa, burada $\alpha = 0.25$ olup

$$a = \frac{\rho = 3.5}{V_S^{0.25} = 4000^{0.25}} = 0.44 \quad (21)$$

ifadesinin sayısal sadeleştirilmesi yapılarak elde edilen aşağıdaki yoğunluk tanımının kullanılması daha uygun olmaktadır.

$$\rho = 0.44 V_S^{0.25} \quad (22)$$

burada ρ yoğunluk değeri gr/cm^3 ve V_S m/s birimi ile ifade edilmektedir.

Tekil Temeller için Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesinin Saptanması

(11,15 ve 16) bağıntıları ile tanımlanan müsaade edilebilir taşıma kapasitesi birim alanda noktasal bir taşıma kapasitesi olup temel şekil faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde ancak bir mühendislik yapısı için müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, $q_{a,}$ anlamını taşır.

Örneğin d_f temel derinliği, B temel genişliği olmak üzere temel şekil faktörüne bağlı olarak Meyerhof SPT müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, $q_{a,N}$, deneysel tanımını Meyerhof (1956) tekil temeller için aşağıdaki gibi vermiştir.

$$q_{a,N} = 12N k_d \quad B \geq 1.2 \quad (23)$$

$$q_{a,N} = 8N((B+0.305)/B)^2 k_d \quad B > 1.22 \quad (24)$$

Literatürde yukarıdaki koşullarda

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$K_d = 1 + 0.33 \frac{d_f}{B} \leq 1.33 \quad (25)$$

olması önerilir. (24 ve 25) eşitliğinde 12N ve 8N yerine sismik hızlardan elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi q_a konursa, sismik yöntemde de tekil temel şekil faktörüne bağlı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, q_{as} , aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_{aN} = 12N k_d \quad \text{için} \quad q_{as} = q_a k_d \quad B \geq 1.22 \quad (26)$$

$$q_{as} = q_a \left[\frac{B + 0.305}{B} \right]^2 k_d \quad \text{için} \quad q_{as} = q_a \left[\frac{B + 0.305}{B} \right]^2 k_d \quad B > 1.22 \quad (27)$$

SPT de temel şekil faktörü için yapılan uygulama benzer şekilde (26) için de yapılabilir. Örneğin;

$B \leq 1.22$ m. için denk. (26) :

$$B=1 \text{ m.} \quad \text{ve} \quad d_f=0, \quad k_d=1 \quad \text{için} \quad q_{as}=q_a$$

$$B=1.22 \text{ m,} \quad \text{ve} \quad d_f=0 \text{ m,} \quad \text{için} \quad k_d=1.22$$

olur ve tekil temel yeryüzünde ise:

$$q_{as} = (1/k_d)q_a = (1/1.22)q_a = 0.8 q_a \quad (28)$$

olur. Temel alanı genişledikçe gerilim dağılımı nedeniyle birim alana gelen taşıma kapasitesi gerilim değeri azalacağından $B=1$ den $B=1.22$ ye büyümesiyle $q_{as} = 0.8q_a$ olmaktadır. Bu durum zeminin taşıma kapasitesinin azalması anlamında olmayıp tersine zeminin q_a değeri aynı kalıp temelin birim alanına düşen gerilim değerinin $q_{as}=0.8q_a$ oranında azaldığını göstermektedir.

Temel şekil faktörleri $B=1.22$ m ve $d_f=1.22$ m, $K_d=1.33$ için

$$q_{as}=0.75 q_a \quad (29)$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

olur. Bu durumda da d_f derinliğinde hafriyat yükü eksilmesi nedeniyle temel alanındaki gerilim dağılımının birim alandaki gerilim değerinde $q_{as}=0.75 q_a$ oranında azalmaya sebep olmaktadır.

$B \geq 1.22$ m. için

$B=1.23$ m. ve $d_f=0$, $k_d=1$ için $q_{as}=0.5q_a$

$B=1.23$ m. ve $d_f=1.23$ m, $k_d=1.33$ için $q_{as}=0.4q_a$ (30)

$B \geq 1.22$ m. için (27) içindeki açıklamalar benzer şekilde dir.

Yukarıdaki temel şekil faktörünün müsaade edilebilir taşıma kapasitesine etkisine göre, $q_{as} < q_a$ olduğundan emniyetli tarafta kalınması veya $q_{as} = q_a$ sağlayacak ilave yük düzenlemesi yapılabileceği anlaşılmaktadır. Araştırmanın başlangıcında dikkate alınmayan temel şekil faktörü bu şekilde işleme sokulabilir.

UYGULAMA

Müsaade edilebilir taşıma kapasitesi 1990 yılından beri Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yüzlerce inşaat sahalarında ve çeşitli firmalar tarafından uygulandı. Aynı sahalarda Terzaghi yöntemiyle ve sismik hızlarla hesaplandı. Her iki teknikte elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasite değerleri karşılaştırıldı. Burada elde edilen tekniğin sonuçları jeoteknik uygulamalarınınkine çok yakın olmuştur. Böylece, önerilen tekniğin güvenilirliği ve geçerliliği doğrulanmıştır.

Mamafih, burada tüm kayaçları ve onların sismik hızlarını kapsayan sayısal incelemenin sonuçlarının takdimi yeğlenmiştir. Burada önerilen teknikte elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri literatürde çeşitli zeminler için Tablo 2 de verilen değerlerle karşılaştırması yapılmış ve yöntemin sağlığı yönünden değerlendirme yapılmıştır. Örneğin; Tablo 3 literatürde çeşitli zeminler için verilen sismik hızlar kullanarak (15) ve (28) ifadelerinden saptanan tekil temeller için müsaade edilebilir taşıma kapasitelerini göstermektedir, Keçeli (2000). Tablo 2 ve 3 de verilen değerler zeminlerin bütün türünü kapsamaktadır. Keza Tablo 4 (Brown 1992) tarafından tekil temeller için verilen çeşitli zeminlerin müsaade edilebilir taşıma kapasitelerini göstermektedir. Tablo 3 ve 4 de her iki tablonun q_a değerlerinin karşılaştırması yapıldığında değerlerin uyumlu olduğu görülmektedir. Böylece, önerilen tekniğin güvenilirliği ve geçerliliği tüm zemin türleri için sağlanmaktadır.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 2. Temel zemini türlerinin müsaade edilebilir taşıma kapasiteleri.

Açıklama	Yerindeki durumu	q_a (kg/cm ²)
Masif yatak kayacı: Granit, diorit gabbro, basalt, gnays	Sert, sağlam kaya, küçük eklemli	100
Kuartzit, iyi çimentolu konglomera	Sert, sağlam kaya, orta eklemli	60
Foliated bedrock: slate, şhist	Orta sert kaya, küçük eklemli	40
Sedimanter yatak kayacı: şeyl, silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı, dolomit, konglomera	Yumuşak kaya, orta eklemli	20
Zayıf çimentolu sedimanter yatak kayacı: kompak şeyl veya diğer benzeri sağlam kaya	Çok yumuşak kaya	10
Bozuşmuş yatak kayacı	Çok yumuşak kaya, bozuşmuş. Küçük eklemli ve kırıklı	8
Az çimentolu kum veya çakıl	Çok yoğun	10
Çakıl, kum ve çakıl ağırlıklı	Çok yoğun	8
	Yoğun	6
	Orta derecede yoğun	4
	Gevşek	2
	Çok gevşek	Özel durum
Kum ve siltli kum	Yoğun	4
	Orta derecede yoğun	3
	Gevşek	1
	Çok gevşek	Özel durum

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 3. Kayaçların sismik hızlarından saptanan yoğunluk müsaade edilebilir taşıma kapasitesi ve tekil temeller için müsaade edilebilir taşıma kapasitesi.

Zemin türü	V _P m/s	V _S m/s	ρ g/cm ³	q _a kg/cm ²	q _{as} kg/cm ²
Masif derinlik kayacı: Gabro	4500- 6000	2700- 4000	1.3-1.5	52-93	41 - 75
Granit	3300- 5640	2000- 3760	1.4-1.9	35-85	29 - 69
Şist	3200- 5200	1454- 3500	1.4-2	17.8-80	14 - 54
Kireçtaşı	1200- 6190	600-3350	1.5-2	6.6-61	6 - 49
Çamurtaşı	600-1900	300-700	1.7-1.8	2.7-5.8	2 – 4.7
Dilüvial çakıl	900-2200	2500-600	1.75-2.2	1.21-3.6	1 - 3
Çakıl, kuru kum	500-1000	200-300	1.28- 2.26	1.36-1.62	1 – 1.1
Gevşek kum	600-1800	150-500	2.2-3.35	0.56-2.78	0.5 – 2.3
Alüvial çakıl	400-1900	100-430	2.7-3.4	0.35-1.94	0.3 – 1.6
Dilüvial kil	500-1800	100-350	2.9-3.4	0.28-1.29	0.2 - 1
Gevşek alüviyal kil	210-600	70-150	3.2-3.5	0.3-0.56	0.2 – 0.45

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 4. Tekil temeller için literatürde verilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri. (Brown 1992). (Not: (ksf) biriminde verilen q_a değerleri kg/cm^2 ye dönüştürülmüştür.)

Taşıyan Materyel	Yerindeki durumu	Müsaade edilebilir Taşıma Basıncı(kg/cm^2)
Masif kriticalize yatak kayacı ve metamorfik kayaç: granite,diorite, basalt, gneiss, konglomera	Sert sağlam kaya	(160 ksf)x47.88 =7661 kPa =77 kg/cm^2
Metamorfik kaya: sleyt, şist (sert ve küçük kırıklı)	Orta sert	34
Sedimenter kaya; çimentolu hard cemented şeyl, siltaşı, kumtaşı , boşluksuz kireçteşi	Orta sert	19
Bozuşmuş, kırıklı ve killi kaya; Şeyl	Yumuşak kaya	10
Kompak şeyl veya yüksek miktar. killi kaya türleri	Yumuşak kaya	10
İyi dereceli karışımli ince, kaba dereceli toprak karışımli; buzul kili killi çakıl (GW-GC, GC, SC)	Çok sıkı	10
Çakıl, çakıl-kum karışımı (SW, SP, SW, SP)	Çok sıkıdan gevşeye	7
		5
		3
Az çakıllı ince ve iri taneli kum (SW, SP)	Çok sıkıdan gevşeye	4
		3
		1.44
İnce kum, silt veya killi ortam (SW, SM, SC)	Çok sıkıdan gevşeye	3
		3
		1.5
Homojen inorganic kil, kumlu veya siltli kill sandy or silty clay (CL, CH)	Çok sıkı sertten orta gevşek yumuşağa	4
		2
		0.5
İnorganik kil, kumlu veya siltli kill (CL, CH)	Çok sıkı sertten orta gevşek yumuşağa	3
		1.5
		0.5

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Zemin Oturmasının Elde Edilmesi

Zemine herhangi bir yük konduğunda oluşan ani oturma veya elastik oturma kum çakıl ve dolgu malzemesi gibi kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen oturma türüdür. Elastik sıkışma genelde çabuk vuku bulur ve küçüktür. Jeoteknikte zemini elastik ortam olarak kabul ederek elastik teoriye dayanan çözümler kullanılmaktadır.

Zemine konan yükün sebep olabileceği oturma miktarı yük miktarına ve zemin özelliğine bağlı olduğu kadar aynı zamanda yük geriliminin etki alanının dağılım şekline de bağlıdır. Sismik yöntemde zemin oturma miktarı ve yük-oturma eğrisinin değişim şekli aşağıda açıklandığı gibi elde edilebilmektedir.

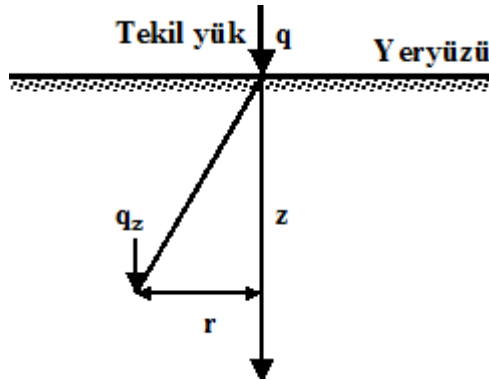
Elastisite teorisinde δ deformasyonu E elastisite modülü ve P gerilimine bağlı olarak aşağıdaki Hook kanunu ile ifade edilir.

$$E(kPa) = G \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} = \frac{\text{boyuna gerilim}}{\text{boyuna deformasyon}} = \frac{P(kPa)}{\delta} \quad (31)$$

(31) ifadesindeki deformasyon δ birimsizdir. Birim boyuttaki birimsiz δ deformasyonu (z) uzunluğunda $\delta_z = \delta z$ kadar boyuna deformasyon uzunluğunda olur. Bu durumda, P yerine zemine konan bir yapı yükü, q, temel şekil faktörünü şimdilik dikkate almadan düşey z derinliği kadar bir zemin mesafesinin düşey yöndeki elastik oturma (deformasyon), δ_z miktarı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

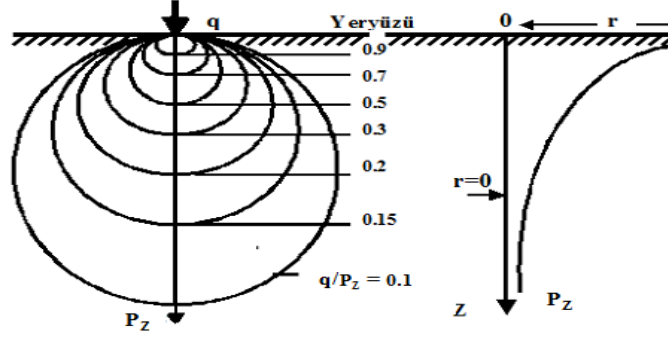
$$\delta_z = \delta z = \frac{q}{E} z = \frac{q_{son}}{E} z \quad (32)$$

(32) ifadesinde zeminde oturma miktarına zemine konan yük miktarı q, zeminin sıklığını yansıtan elastisite modülü E ve zemine konan yükün zemin içindeki gerilim dağılımının z derinliğine bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Düşey gerilim dağılımının derinlikle nasıl değiştiğini bulmak için genellikle üniform bir taban basıncı yayılımı kabulü yapılmaktadır. q tekil yükü altında, elastik ortamda gerilme dağılımı z derinliğinde ve r yatay uzaklıkta bir noktadaki düşey gerilim dağılımı değeri aşağıdaki Boussinesq denkleminde saptanmaktadır. Zemine konan mühendislik yapısı yükünün birim alanda zemin içinde düşey doğrultuda oluşan düşey gerilim dağılımı Boussinesq denkleminde göre zemin mekaniğinde Şekil 6 - 7 deki gibi verilir, (Terzaghi, 1967) ve (Uzuner,1992).



Şekil 6. Zemine konan yükün zemin içinde düşey yönde basınç noktaları (Terzaghi, 1967).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 7. Birim alanda q yükünden dolayı düşey doğrultuda oluşan basınç soğanı ve düşey gerilme dağılımı (Uzuner,1992).

$$q_z = \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \frac{q}{z^2} = I \frac{q}{z^2} \quad (33)$$

Burada q_z : birim alandaki q yükünün derinliğe bağlı gerilim değeri, (I) : düşey noktasal yük için etki faktörü olarak tanımlanır.

$r=0$ için (33) bağıntısı

$$q_z = \frac{3}{2\pi} \frac{q}{z^2} \quad (34)$$

olur. Buradan z derinliği (34) ifadesinden aşağıdaki gibi saptanabilir.

$$z^2 = \frac{3}{2\pi} \frac{q}{q_z} \quad (35)$$

Zemin mekaniğinde zemine konan yükün üçte bir civarında değerini aldığı gerilim değerinin derinliği aktif derinlik olarak kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, ancak aktif derinlik içinde oturma oluşabilmektedir. Bu çalışmada, farklı yükler ve farklı özellikteki zeminlerin oturma miktarlarını saptamak durumunda olduğundan maksimum minimum prensibi uyarınca bir birim q yükü kıstas yük olarak kullanılabilir. Çünkü: birim alan için zemin taşıma kapasitesi birim yükün katları,

$$q_{\text{son}} = nq \quad (n=1, 2, 3, \dots, n)$$

olabileceğinden (35) denkleminde q ilave yüklerin aktif derinliklerini bulabilmek için $q=1$ kPa birim yükün üçte biri olan $q_z=0.333$ kPa değerini kıstas yük değeri olarak kullanmamız uygun olmaktadır. Ayrıca, jeofizik mühendisliği potansiyel alan dağılımında kütle yer içinde, hesaplama kütle üstündeki yeryüzündedir, yani hesaplama yarısonsuz ortamdadır. Bu nedenle hesaplamalarda 2π kullanılır. Burada yük veya kütle yeryüzünde, etki derinliği değerlendirme noktası yer içindedir, yani üç boyutlu ortam içindedir. Bu sebeple, bu çalışmada I etki faktöründeki 2π yerine 4π kullanılması gerekmektedir. Bu durumda ön görülen koşullar altında söz konusu aktif derinlik, zemin taşıma kapasitesi için (35) ifadesinden,

$$z^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{q=1}{0.333}$$

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$z_n^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{n(q=1)}{0.333} = \frac{3}{4\pi} \frac{q_{son}}{0.333} \quad (36)$$

olarak elde edilir.

z aktif derinliğe bağlı oturma miktarları sismik hızlardan saptanan yük, yani zeminin karakteristik empedans değeri ve elastisite modülü kullanarak zemin oturması ve yatak katsayısı aşağıdaki örnekteki gibi saptanabilir.

Sismik hızları $V_p=450$ m/s, $V_s=150$ m/s olan ve bu hızlardan saptanan $E=99609$ kPa elastisite modülü ve zeminine konan $q_{son}=231$ kPa veya $q_a=77$ kPa yükünün oluşturacağı δ zemin birim deformasyonu veya oturma, (32) ifadesine göre;

$$\delta = \frac{q_{son}}{E} = \frac{231}{99608} = 0.0023 \quad (37)$$

olur. Zemine konan yük nedeniyle deformasyon yükün 0.333 değerini aldığı aktif derinliğine kadar etkin olacağı için, (37) deki deformasyonun etkin derinlik değerinin (32) ifadesine göre saptanması gerekir. Bunun için (36) bağıntısından V_p , V_s hızlarından elde edilen zeminin son taşıma kapasitesi olan yüke bağlı etkin derinlik z

$$z_n = 13 \text{ m} \quad (38)$$

olarak elde edilir. Zemine konan zeminin son taşıma kapasitesi olan yükün etkin derinliği $z_n=13$ m itibariyle toplam elastik oturma miktarı

$$\delta_z = \delta z_n = \frac{q_{son}}{E} z_n = \frac{231}{99608} \times 13 = 0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm} \quad (39)$$

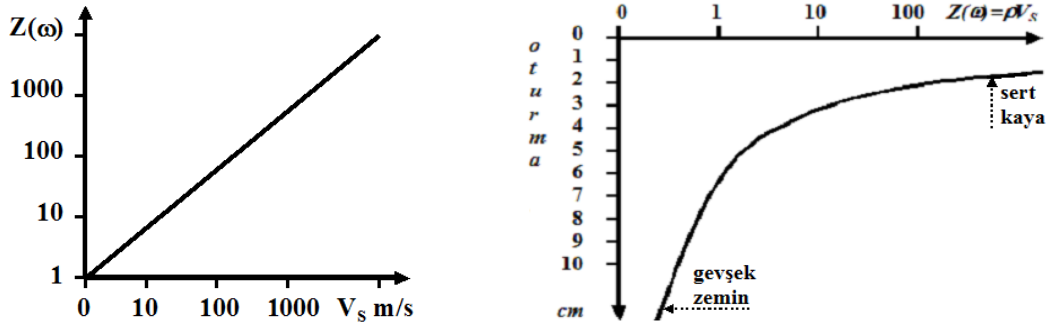
olabileceği elde edilir. Müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, q_a , aynı sismik hıza sahip zemine yük olarak konduğunda zemin oturması

$$\delta_z = \delta z_n = \frac{q_a}{E} z_n = \frac{77}{99608} \times 13 = 0.01 \text{ m} = 1 \text{ cm} \quad (40)$$

olarak elde edilir. Temel mühendisliğinde maksimum oturma toleransları, genel olarak, kil zeminlerde 2.5 cm, kum zeminlerde 2 cm olarak kabul edilir. (40) ifadesine göre; zemine konacak yük miktarı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi miktarında olduğunda zeminde oluşabilecek elastik veya ani oturma miktarı kabul edilebilir mertebe olan 2 cm'nin altında 1 cm olmaktadır.

Kayma dalgası sismik empedansı ile kayma dalgası hızı arasında Şekil 8 de görüldüğü gibi doğrusal (lineer) bir ilişki vardır. Şüphesiz ki, en yüksek sismik dirence sahip sert sıkı masif genç kaymaç deformasyonu en küçük deformasyona sahip kayacı tanımlar. Sismik hızın ve yoğunluğun en küçük değerinde ise; gevşek alüvyon zeminler en büyük deformasyonu tanımlar. Yani, herhangi bir zemin için sahip olduğu sismik direnç aşıldığında kaymaç deformasyonu başlar. Bu kalitatif değerlendirme sayısal olarak Tablo 5 de görülmektedir. Tablo 5 de zeminlerin sıklığını temsil eden E elastisite modülü büyüdükçe deformasyonun küçüleceği ve E elastisite modülü küçüldükçe deformasyonun büyüyeceği sayısal olarak görülmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 8. Zeminlerin sismik kayma empedansı ile kayma dalgası hızı ve oturma miktarlarının değişimini göstermektedir.

Tablo 5. Elastisite modülü ve deformasyon ilişkisi.

$V_S - V_P$	$\frac{V_P}{V_S}$	ρ g/cm ³	E kPa	q kPa	z m	δ_z cm
500-1000	2	2.08	1386741	1040	27	2
300-900	3	1.83	473513	549	20	2.3
200-800	4	1.65	193600	330	15	2.6
140-700	5	1.51	92488	212	12	2.8
100-600	6	1.39	42891	139	10	3.2
100-300	3	1.39	46913	139	10	2.9
100-200	2	139	55600	139	10	2.5

Zemin mekaniğinde zemin veya zemin numunesine uygulanan basınç veya yük artırıldıkça şekil 1. deki yük – oturma eğrisi elde edilir. Sismik yöntemde de şekil 1. deki yük-oturma eğrisi aşağıdaki gibi elde edilebilir. Tablo 6. örnek olarak seçilen sismik hızları $V_P = 900$ m/s, $V_S = 300$ m/s ve yoğunluğu $\rho = 1.83$ g/cm³ olan bir zeminde yük artırıldığında oturma miktarının ne şekilde değiştiğinin sayısal değerlerini göstermektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 6. Yük-oturma ilişkisi sayısal değerleri.

$V_S - V_P$ m/s	ρ g/cm ³	E kPa	q kPa	δ_z cm
300-900	1.83	473513	33	0.034
300-900	1.83	473513	100	0.18
300-900	1.83	473513	150	0.33
300-900	1.83	473513	170	0.4
300-900	1.83	473513	275	0.8
300-900	1.83	473513	331	1.1
300-900	1.83	473513	400	1.4
300-900	1.83	473513	500	2
300-900	1.83	473513	600	2.4
300-900	1.83	473513	700	3.3
300-900	1.83	473513	800	4
300-900	1.83	473513	1000	5.7
300-900	1.83	473513	1300	8.4
300-900	1.83	473513	1600	11.4
300-900	1.83	473513	2000	16

Tablo 7 örnek olarak seçilen sismik hızları $V_P = 400$ m/s, $V_S = 100$ m/s ve yoğunluğu $\rho = 1.39$ g/cm³ olan bir zeminde yük (sismik empedans) artırıldığında oturma miktarının ne şekilde değiştiğinin sayısal değerlerini göstermektedir.

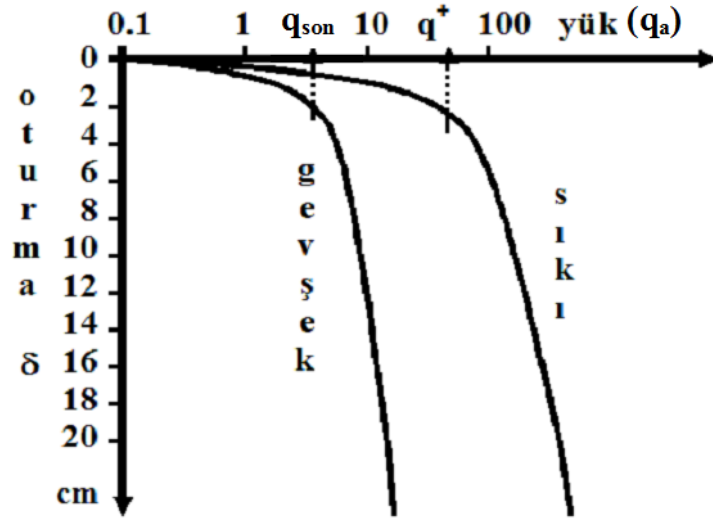
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Tablo 7. Yük-oturma ilişkisi sayısal değerleri.

$V_S - V_P$ m/s	ρ g/cm ³	E kPa	q kPa	δ_z cm
100 -400	1.39	40773	33	0.39
100 -400	1.39	40773	100	2.1
100 -400	1.39	40773	139	3.4
100 -400	1.39	40773	150	3.8
100 -400	1.39	40773	200	5
100 -400	1.39	40773	275	9.5
100-400	1.39	40773	350	14
100-400	1.39	40773	500	23
100-400	1.39	40773	650	34
100-400	1.39	40773	800	47
100-400	1.39	40773	1000	66

Farklı kayaçların sismik empedanslarının (dirençlerinin) da farklı sınır değerleri olduğundan bu bağlamda aşağıdaki yük-oturma şekli içinde benzer olarak çizilebilir. Tablo 6 daki değerlere göre oluşturulan yük-oturma eğrisi Şekil 9 da gösterilmiştir. Şekil 9 yük arttıkça q_{son} değerinin aşıldığını, oturma veya göçmenin başladığını ve oluşacak oturma miktarlarını göstermektedir. Tablo 6 ve ondan oluşturulan Şekil 9 daki artan yüke bağlı oturma değerlerinin zemin mekaniğinde elde edilen Şekil 1 deki yük-oturma eğrisi değişimi ile benzer ve uyumlu olduğu görülmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI



Şekil 9. Sismik hızlar vasıtasıyla elde edilen yük oturma eğrisi.

Şekil 1 ve 9 daki yük-oturma eğrilerinin benzer değişime sahip olmaları sismik dalga yayılmasında oluşan deformasyon miktarlarının Das (1993) belirttiği gibi ($10^{-2} - 10^{-4}$) mertebelerinde çok küçük olmasının zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturmalarının sismik hızlardan saptanmasında önemli olmadığını göstermektedir.

Zemin Yatak Katsayısının Elde Edilmesi

Jeoteknik mühendisliğinde zemine herhangi bir yük konduğunda zeminin elastik deformasyon karakteri analiz yöntemlerinden biri olan yatak katsayısı belirli bir gerilme altında zeminde meydana gelen oturma olarak tanımlar. Yatak katsayısı, k_s , Hook kanunu tanımına benzer şekilde aşağıdaki gibi

$$k_s = \frac{q}{\delta} = \frac{q(kN/m^2)}{\delta(m)} \quad kN/m^3 \quad (41)$$

ifade edilir. Burada δ elastik oturma miktarını temsil etmektedir ve uzunluk birimindedir. Bu nedenle, δ Yatak katsayısı zemin içinde gerilim dağılımına bağlı olduğundan, dolayısıyla k_s aktif derinlik miktarını içermesi gerekir. Bu bağlamda k_s (32) ifadesindeki gibi tanımlanabilir.

$$k_s = k_z = \frac{q_{son}}{\delta_z} \quad (42)$$

k_s değerini saptamak için doğrudan bir laboratuvar tekniği yoktur. Çok sayıda deneysel bağıntılar ve eşdeğer devre gibi yay sistemi kullanan hesap yöntemleri mevcuttur. Nihai oturma değeri laboratuvar yöntemleri ile numuneler üzerinde uygun bir konsolidasyon teorisine göre oturma hesapları yapılır ve yatak katsayısı belirlenir. Yatak katsayıları toplam oturmayı bulmak için kullanılmaz.

Sismik hızlardan elastisite modülü kolaylıkla saptanabildiğinden yatak katsayısı tanımının Hook kanunu ile benzerliğinden yararlanarak zemin elastik oturması saptayıp yatak katsayısı için süratli ve kolay bir şekilde ön bilgi edinmek gibi sismik hızlarla mümkün olabilmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$k_z = \frac{q_{son}}{\delta_z} = \frac{139}{0.034} = 4088 \quad \text{kN/m}^3 \quad (43)$$

(32) ifadesi (42) ifadesinde yerine konursa, yatak katsayısı

$$k_z = \frac{E}{z_n} \quad \text{kN/m}^3 \quad (44)$$

olarak tanımlanabilmektedir. Bowles deneysel bağıntısı

$$k_{Bowles} = 40 \times q_{son} \quad (45)$$

dır. Bowles deneysel bağıntısı ile $q_{son} = 139 \text{ kN/m}^3$ 'na göre yatak kat sayısı

$$k_{Bowles} = 40 \times q_{son} = 40 \times 139 = 5560 \quad \text{kN/m}^3 \quad (46)$$

olarak elde edilir. Bowles taneli zeminlerin yatak katsayılarını aşağıdaki Tablo 7 deki gibi vermiştir.

Tablo 7. Yatak katsayısı deneysel değerleri.

Zemin türü	Yaklaşık k_s T/m ³
Gevşek kum zemin	4800 -16000
Orta sıkı kum zemin	9600 – 80000
Sıkı kum zemin	64000 -128000
Killi sıkı kum zemin	32000 - 80000
Siltli sıkı kum zemin	24000 - 48000
Killi toprak zemin ($q_u < 2 \text{ kg/cm}^2$)	12000-24000
Killi toprak zemin ($q_u = 0.2-0.4 \text{ kg/cm}^2$)	24000-48000
Killi toprak zemin ($q_u > 8 \text{ kg/cm}^3$)	> 48000

Tablo 8 Bowles'ın (46) ifadesindeki deneysel bağıntısından elde edilen yatak katsayıları ile sismik hızlardan elde edilen yatak katsayısı değerlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Tablo 8 değerlerine göre sismik kayma dalgası hızı azaldıkça yani sismik kayma dalgası empedansı veya direnci azaldıkça yatak katsayısının küçüldüğü dolayısıyla oturma miktarının arttığı görülmektedir.

Tablo 8. de Bowles tarafından taneli zeminler için deneysel olarak verilen yatak katsayısı değerlerinin (42) ifadesi kullanılarak taneli zeminlere ait sismik hızlardan elde edilen ve Tablo 7 de koyu renkte yazılan yatak katsayısı değerleri ile taneli zeminler için olan belirli bir aralık içinde uyumlu olduğu görülmektedir.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Yukarıda hesaplanan oturma ve yatak katsayısı miktarları birim alandaki yükün düşey yöndeki basıncına aittir. Mühendislik yapılarının farklı temel şekillerine göre yük dağılımı farklıdır. Bunun sonucu olarak, farklı basınç dağılımı ve oturmaların da farklı olmasına neden olur. Ayrıca yukarıda hesaplanan oturma ve yatak katsayısı homojen ortamda yükün düşey basıncına aittir. Zemin ortamı katmanlı olması ayrıca araştırma konusudur. Mamafih, derinlik arttıkça sıklığın artması ve gerilimin azalması nedeniyle zemin oturmasına derin heterojenite etkileri ihmal edilebilir.

Tablo 8. Bowles yatak katsayıları ile sismik hızlardan elde edilen katsayıların karşılaştırılması.

$V_S - V_P$	$\frac{V_P}{V_S}$	ρ g/cm ³	q_{son} kPa	q_a kPa	E kPa	z_n m	δ_z cm	k_s kN/m ³	k_{Bowles} $=40q_{son}$
4000-6000	1.5	3.5	14000	9333	1232×10^5	100	1.1	1232000	560000
2000-3000	1.5	2.94	5885	3923	25894000	65	1.5	398369	235400
1000-2000	2	2.47	2474	1237	6597333	42	1.6	157079	98960
1000-1500	1.5	2.47	2474	1649	5442800	42	1.9	129590	98960
700-1400	2	2.26	1584	792	2949408	34	1.8	86747	63360
500-1250	2.5	2.1	1040	416	1460952	27	1.9	54109	41600
300-900	3	1.83	549	183	473513	20	2.3	23675	21960
250-1250	5	1.75	437	87	323198	18	2.4	17995	17480
200-800	4	1.65	331	83	194186	15	2.6	12945	13240
100-400	4	1.39	139	35	40773	10	3.4	4077	5560
50-250	5	1.2	60	12	8874	6.6	4.4	1353	2400

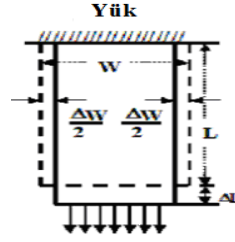
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Düşey Yatak Katsayısı

Düşey doğrultuda yatak katsayısı, k_z , Hook yasasından

$$E(kPa) = \frac{\text{boyuna gerilim}}{\text{deformasyon}} = \frac{P(kPa)}{\delta} \quad (47)$$

yararlanarak zemine konana yükün yönünün düşey olması nedeni ile Şekil 10 da (47) ifadesi kullanarak yük ve elastisite modülü cinsinden



Şekil 10. Düşey yatak katsayısı deformasyon türü.

düşey yatak katsayısı

$$k_z = \frac{q_{\text{düşüseygerilim}}}{\delta_{\text{düşüseydeformasyon}}} = k_z = \frac{q_{\text{son}}}{\delta_z} \text{ kN/m}^3 \quad (48)$$

(48) bağıntısı ile düşey yatak katsayısı

$$k_z = \frac{q_{\text{son}}}{\delta_z} = \frac{q_{\text{son}}}{\frac{q_{\text{son}}}{E} z} = \frac{E}{z} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (49)$$

şeklinde tanımlanabilir. (49) daki düşey yatak katsayısı (Bowles, 1992) deneysel bağıntısı ile uyumlu değerler verdiği Tablo 8 de gösterilmiştir.

Yatay yatak Katsayısı, k_y

Yatay doğrultuda yatak katsayısı, k_y , Şekil 11 den



Şekil 11. Yatay yatak katsayısı deformasyon türü.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$k_y = \frac{q_{yataygerilim}}{\delta_{yataydeformasyon}} = \frac{G}{z} \quad \text{kN/m}^3 \quad (50)$$

şeklinde tanımlanabilir. Yatay yatak katsayısının düşey yatak katsayısına oranının

$$\frac{k_y}{k_z} = \frac{G}{E} = \frac{V_p^2 - V_s^2}{3V_p^2 - 4V_s^2} \cong \left(\frac{1.5}{3} \Leftrightarrow \frac{1}{3} \right) \quad (51)$$

değerlerinde olduğu elde edilmektedir.

Celep (2007) çoklu kazıklı temel halinde, yatay yatak katsayısının, düşey yatak katsayısına bağlı olarak, 2/3 gibi, elde edilebileceğini belirtmektedir. Böylece, mevcut tekniklerle uyumlu sonuçlar veren yerinde ölçü esnasında elde edilebilen taşıma gücü, zemin oturması ve yatak katsayısı da tanımlanabilmektedir.

Tablo 9. Zemin özelliği ile düşey ve yatay yatak katsayı oranının değişimi.

Zemin türü	$\beta =$ (V_p / V_s)	(k_z/k_y) = (E/G)	($k_y=1$)/ k_z = G/E
Kaya ve çok sert	1.45	2.1	$\sim 1.5/3$
Çok sıkı sert	2	2.7	$(1/2.7) \cong 1/3$
Sıkı katı	3	2.8	$(1/2.8) \cong 1/3$
Orta sıkı bozuşmuş	4	2.9	$(1/2.9) \cong 1/3$
Gevşek yumuşak	5	3	1/3
Gevşek yer altı suyuna doygun	7	3	1/3

Önerilen yöntem uygulamaları yurt içinde olduğu gibi yurt dışında da uygulanmaktadır. Emujakporue (2011), Nyakno (2012), Joseph vd., (2013), Ajayi vd., (2014) (V_p/V_s) hız oranı güvenlik katsayısı olarak kullanmıştır. Woude (2014) ve Keçeli (2012) yayınının yeraltını en iyi açıklayan jeoteknikte jeofizik yayını olduğunu belirtmiştir. Khairul vd., (2015) (14) nolu taşıma gücü ve (16) nolu yoğunluk formüllerini kazık temellerin uçlarındaki taşıma gücü saptamasında “Keçeli formülü” adı altında kullanmış ve özellikle hata payının azlığı, güvenli oluşu vurgulanmaktadır. Bu arada maalesef, kimileri Keçeli’nin (1990 ve 2000) yılındaki yayınlarından alıntı yaparak, harfleri değiştirerek ve kaynak göstermeden deneysel bağıntı adı altında, bu yayında da bir kez daha ispatlanan empedansın dolayısıyla Keçeli bağıntılarının kuramsallığını anlayamamışlar ve keza zemin taşıma gücü ve yatak katsayısı katman kalınlığına bağlı olmadığı halde olduğunu ifade ederek yurtiçi ve yurt dışında evirip çevirip

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

temelden alıntılı ve hatalı onlarca yayınlar yapmışlardır. Ne yazık ki, bazı meslektaşlar da Keçeli yayını yerine bu tür yayınları kaynaklarında kullanmışlardır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1-Zeminlerin sınır taşıma kapasiteleri sismik kayma dalgası empedansları ile ifade edilebilmektedir.

2-Uygulamalar sismik hızlardan elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi ile zemin mekaniğinden elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi uyum içinde olduğunu göstermektedir.

3- F_s ile birlikte ayrıca $[V_p/V_s]$ oranı güvenlik faktörü olarak kullanıldığında müsaade edilebilir taşıma kapasitesi makaslanma modülünü içermekte ve suya doymun zeminlerde indirgeme faktörü kullanmaya gerek kalmamaktadır.

4-Zemin etütlerinde kayma dalgası hızına bağlı yoğunluk tanımının kullanılması daha uygun olmaktadır.

5-SPT (N) müsaade edilebilir taşıma kapasitesi tekil temeller için tanımındaki benzer olarak sismik yöntemde de tekil temel şekil faktörüne bağlı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi tanımlanabilmektedir.

6-Boussinesq denklemine göre yatak katsayısı ve ani oturma sismik hızlardan saptanabilmektedir.

7-Zemin mekaniği yük-oturma eğrisi ile sismik hızlardan elde edilen yük-oturma eğrisi değişimi benzer elde edilmektedir.

8-Geliştirilen yöntem alternatif yöntem olarak değil, ancak mevcut yöntemlerin dezavantajlı oldukları mevkilerin ve geniş alanların incelenmesinde birlikte kullanılabilir güvenilir bir yöntemdir.

9-Sismik yöntemle taşıma gücü elde edilmesinin diğer önemli yanı numune koşullarına bağlı olmaması, ölçü ve hesaplamalarda kişisel tercihlerin ortadan kalkmasıdır.

10-Jeoteknikçiler tarafından “Sismik hızlardan elde edilen taşıma gücü ve oturma hesapları düşük-deformasyon ye kısa-sürelili yüklemenin sonucudur ve yalnızca düşük deformasyonlarda geçerlidirler. Bir yapının statik ve/veya dinamik koşullarda oluşturacağı deformasyonların büyüklüğü ve plastik oluşu düşünülürse, planlanan yapının temel tasarımında geoteknik veri olarak kullanılması oldukça sakıncalı olur” denilmekte. Ancak konu ile ilgili literatürde; “Zeminde gerilme dağılışının gerçeğe daha yakın bir hesabı olarak zemini elastik ortam olarak kabul ederek elastik teoriye dayanan çözümler kullanılabilir. Zemin birçok halde bu şartları sağlamasa da elastik çözümler özellikle homojen killer için gerçeğe yakın, uygun değerler vermektedir.” denilmektedir. Keza, bilindiği gibi, oturma ve yatak katsayısı deneysel bağıntıları da E elastisite ve (n) Poisson oranı modülünü içermektedir (Terzaghi,1967), (Uzuner,1992) ve (Özudoğru,1996).

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Deprem ağır hasarlarına daha çok sismik dalga yayılım yollarının etkileri ve yüzey dalgası oluşumları sebep olduğu kanıtlanmıştır. Söz konusu potansiyel ağır hasar mevkilerini belirleyemeyen sığ derinlikli noktasal bilgiler deprem zemin etütlerinde eksik ve sakıncalıdır.

Deformasyonun büyüklüğü deformasyona sebep olan sismik enerjinin büyüklüğüne bağlıdır. Ancak kayaçların deformasyon özelliğini yansıtan sismik hız enerjinin büyüklüğüne bağlı değildir, sabittir.

Bu bakımdan; elde edilen yük-oturma eğrilerinin benzer değişime sahip olmaları sismik dalga yayılmasında oluşan deformasyon miktarlarının ($10^{-2} - 10^{-4}$) mertebelerinde çok küçük olmasının zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturmalarının saptanmasında önemli olmadığını göstermektedir.

Uygulamalarda sismik hızlardan ve zemin mekaniğinden elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri uyum içinde ve yük-oturma eğrilerinin benzer değişime sahip olduğuna göre planlanan yapının temel tasarımında geoteknik veri olarak kullanılması sakıncalı olmaması gerekmektedir.

Sonuç olarak, sismik yöntem yapısal jeolojiyi ve diğer özelliklerini aydınlatmak için kullanılırken, güvenilir zemin emniyetli taşıma kapasitesi, yatak katsayısı ve oturma değerlerini daha çabuk ve daha ucuz olarak elde etmek mümkün olmaktadır. Hiç bir yöntem, yerinin karmaşık yapısı karşısında sınırsız değildir. Bu nedenle, sismik yöntem ön bilgi sağlarken aynı zamanda zemin mekaniği yöntemleri ile birlikte kullanıldığı zaman zemin etüdü raporu hazırlanmasında oto kontrol ile güven artırıcı rol oynar.

EK

Türkiyede taşıma kapasitesi hesaplamalarında c.g.s. birim sistemi kullanıldığından m.k.s. birim dönüştürmesine göre hesaplama örneği verme yararlı olacaktır. Newton $N(kg.m/s^2)$, yer ivmesi $g \cong 10 m/s^2$ veya $1000 cm/s^2$ olarak tanımlanır.

$$\begin{aligned} Pa &= \frac{N}{m^2} = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg \frac{10^2 cm}{s^2}}{10^4 cm^2} \\ kPa &= \frac{k.kg \frac{10^3 cm}{s^2}}{10^4 cm^2} = \frac{10^6 kg \frac{cm}{s^2}}{10^4 cm^2} \\ &= \frac{10^2 kg \frac{cm}{s^2}}{cm^2} \quad \frac{1}{100} kPa = \frac{kg}{cm^2} \end{aligned}$$

Örnek olarak

$V_p = 900 m/s$, $V_s = 300 m/s$ ise; (19) ifadesinden $\rho = 1.83 g/cm^3$ elde edilir.

m.k.s. biriminde:

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

$$q_a = \frac{\gamma V_s(0.1)}{F_s} = \frac{\gamma V_s^2(0.1)}{V_p} = \frac{18.3(300)^2(0.1)}{900} = 183 \quad kPa$$

$$q_{ult} = \rho g V_s 0.1s = \frac{T}{m^3} 10 \frac{m}{s^2} \frac{m}{s} 0.1s = \frac{kg}{m^3} 10 \frac{m}{s^2} \frac{m}{s} 0.1s = \frac{kg}{m^2} \frac{m}{s^2}$$
$$= \frac{10^6 g}{10^4 cm^2} \frac{cm}{s^2} = \frac{100g}{cm^2} \frac{cm}{s^2} \quad kN/m^2$$

$$\frac{kg}{cm^2} = \frac{1}{100} \frac{kN}{m^2} = \frac{1}{100} kPa$$

c.g.s. biriminde: $q_a \Rightarrow \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{1}{100} (183 \quad kPa) = 1.83 \quad (kg/cm^2)$ elde edilir.

KAYNAKLAR

Ajayi j.t., Adepelumi A.A. , Agih C., 2014, Determination of rock elastic parameters using VP/VS relation-ship for escravos area, Niger delta, Nigeria:International Journal of advaced Geosciences, 2(2) 140-149.

Bowles, J. E. (1998), "Foundation Analysis and Design," 6th ed., McGraw-Hill International press.

Braja, M. D.(1993), Principles of soil dynamics: PWS-Kent Publishing Company.

Brown D.W. 1992, Engineering and Design Bearing Capacity of Soils, (Engineer Manual) Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000

Carvalho, J., Dias R., Pinto C., Leote J. and V. L. Mendes (2009), SPT seismic hazard seismic refraction soil classification. and Geotechnical Data Applied to the Soil Microzoning of Western Algarve, Portugal. European Journal of Environmental and Enginnering Geophysics 5, 3-14.

Celep Z., 2007, Yapı Elemanı olarak Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar: TMMOB İMO İstanbul Şubesi Yapı Tasarım Kursları.

Emujakorue O.G., 2011, Determination of the Bearing Capacities Sandstone and Shale Lithologies from Shear wave Velocity in the Niger Delta Sedimentary Basin,Nigerria. Asian Journal of Earth Sciences, ISSN 1819-1886/DOI.

Fu, D., Sullivan E.C. and K. Marfurt (2006), Rock-Property and Seismic-Attribute Analysis of a chert reservoir in Devenian Thirty-one Formation: Geophysics, Vol. 71, No.5.

Gardner, G., Gardner L. and Gregory A., 1974, Formation velocity and density – the diagnostic basic for stratigraphic traps: Geophysics, 39,770-780.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Guliev, E. (2007), Vp/Vs estimation from Multicomponent Seismic Data for Improved Characterization of a Tight sandstone Gas reservoir, Colorado School of Mines , A thesis for the degree of Master of Science (Geophysics) Colorado School of Mine.

Hamada, G. M. (2004), Reservoir Fluids Identification Using Vp/Vs Ratio? Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP, Vol.59,No.6,pp.649-654.

Hardin, B.O. & V.P. Drnevich (1972). Shear Modulus and Damping in Soils. J. Soil Mech. and Found. Div.,ASCE, 98 SM7: 667-692.

Hicks G.J. (2006), Extended Elastic Impedance and Its Relation to AVO Crossplotting and Vp/Vs EAGE 68th Conference, Vienna, Austria.

Imai, T.& M. Yoshimura (1976), The relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocities for Soil Ground in Japan. Urana Research Institute, OYO Corp.

Jongmans, D. (1992), The application of Seismic Methods for Dynamic Characterization of Soils. Bulletin of International Association of Engineering Geology. 46: 63-69.

Joseph Gordian Atat, Idara Okon Akpabio, Nyakno Jimmy George, 2013, Allowable Bearing Capacity for Shallow Foundation in Eket Local Government Area, Akwa Ibom State, Southern Nigeria: International Journal of Geosciences, 4, 1491-1500.

Khairul A. M. N., Mohd R. T., Noor A. O., Nor F. B., Sung-Ho J. M. Nor O., 2015, Determination of Ultimate Pile Bearing Capacity from a Seismic Method of Shear Wave Velocity in Comparison with Conventional Methods. Jurnal Teknologi: (Sciences& Engineering) 99–102.

Keçeli, A. D. (1990), The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method: Jeofizik 4, 83-92. (in Turkish).

Keçeli, A. 2000, The Determination of the Presumptive Bearing Capacity by means of the Seismic Method: JEOFİZİK, Cilt: 14, Sayı: 1-2.(in Turkish).

Keçeli A., 2010, Sismik Yöntem ile Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması: Jeofizik Bülteni. Sayı 63, sayfa 65-76.

Keçeli, A., 2012, Uygulamalı Jeofizik: Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:18, 2. Baskı.

Lankston, R. W. (1990), High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation: in Geotechnical and environmental Geophysics. Soc. Expl. Geophys. Vol., I, 45-73.

Moreno, C., Huffman A., and A. Bertagne (2003), The Vp/Vs Inversion Procedure: A Methodology for Shallow Water Flow (SWF) Prediction from Seismic Analysis of Multicomponent Data. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

Nyakno J. G, 2012, Allowable bearing capacity for shallow foundation in Eket Local Government Area, Akwa Ibom State, Southern Nigeria. International Journal of Geosciences. PP:140-149.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİNDE HASARSIZ YAPI İNCELEME ÇALIŞTAYI

Ohkubo, T. And A. Terasaki (1976), Physical property and seismic wave velocity of rocks, OYO Corporation, Japan.

Othman, A. A. (2005), Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements. J. Geophys. Eng. **2** 126–138.

Özüdoğru K., Tan O. Ve Aksoy İ. H., 1996, Zemin Mekaniği: Birsen Yayın evi.

Phillips, D. E., Han, D. H. & M. D. Zoback (1989), Empirical Relationships among Seismic Velocity, Effect Pressure, Porosity, and Clay Content in Sandstone. Geophysics, 54:(1) 82-89.

Pişen, S. and E. Pekşen (2009), Comparison of Safety Bearing Capacity values Obtained by Different Methods for Shallow Soils: Applied Earth Sciences, No:2, 36-46. (in Turkish)

Powrie, W. (1997), Soil Mechanics: Concepts and Applications. E & FN Spon. London.

Prakla - (1986), Seismos AG. Buchholzer Str. 100 P.O.B. 510530 D-300 Hannover 51.

Sadrekarami, J. and Akbarzad, M., 2009, Comparative Study of Methods of Determination of Coefficient of Subgrade Reaction. EDGE

Sternberg, B. K., Poulton, M. M. & S. J. Thomas (1990), Geophysical investigations in Support of the Arizona SSC project.(In Geotechnical and Environmental Geophysics, S.E.G. V.III:211-228).

Stuempel, H, Kahler S., Meissner R. and B. Milkereit (1984), The use of seismic shear waves and compressional waves for lithological problems of shallow sediments: Geophys. Prospect. **32** 662–75.

Tatham, R.H.(1982), Vp/Vs and Lithology. Geophysics, 47: 336-344.

Terzaghi, K. and R.B. Peck (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd ed., John Wiley & Sons, London.

Uzuner, B.A.(1992), Fundamental Soil Mechanics, Chamber of Civil Engineering, Trabzon/Turkey (in Turkish).

Venkatramaiah, C. (1993), Geotechnical Engineering, John Wiley & Sons.

Vesic, A. S.(1961), Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis," 5th ICSMFE, Vol. 1, pp. 845-850.

Wang, Z. (2001), Fundamentals of Seismic Rock Physics: Geophysics, Vol. 66, No. 2; P. 398–412.

Willkens, R., Simmons G. & L. Caruso (1984), The ratio V_p/V_s as a Discriminant of Composition for Siliceous Limestones. Geophysics, 49(11) 1850-1860.

Wyllie, D. C. (1992), Foundations on Rock. E & FN Spon, London.

Woude T.I.S., 2014, Analysis of 9-component SCPT data to obtain shallow subsoil structure, BSc-Thesis Applied Earth Science, Delft University of Technology.



SİSMOTEK Müşv. İnş. Müh. Taah. Turz. San. Ve Tic. Ltd. Şti.

Kemalpaşa Mahallesi Hürriyet Caddesi Dünder Rorf İş Merkezi No:67 Kat:5/116
İZMİT/KOCAELİ

Tel-Faks: (0262) 332 15 00-3220068 GSM: (0532) 603 23 78

e-mail: sismotek@yahoo.com web: www.sismotek.com.tr

Jeolojik-Jeofizik ve Jeoteknik Hizmetler

- Yerleşim Alanı Zemin Etütleri
- Kentsel Dönüşüm Etütleri
- Bina-Deprem İlişkisi Performans Analizleri, Kenysel Dönüşüm Alanları, Binaları İçin Zemin Etütleri ve Karot Alımı
- Hertürlü Kimyasal Ve Organik Kaçakların, Kirlenmelerin Tespiti
- Karayolu, Demiryolu, Baraj, Santral vb. Projelerin jeolojik, jeofizik ve jeoteknik etütleri
- Zemin Sıvılaşma Analizi, Şev ve Zemin Oturma Hesapları
- ÇED Raporları
- Yeraltı Suyu Aramaları ve Sondajlar
- Heyelan Etütleri
- Maden Etütleri
- Revize İmar Planı Çalışmaları
- Mevzii İmar Planı Çalışmaları
- Elektrik Özdirenç (Rezistivite) Çalışmaları
- Arkeolojik Araştırmalar (Arkeojeofizik, Arkeojeoloji)



Sondajcılık Hizmetleri

- Zemin, Kaya, Maden Sondajları, Su sondajları ve Kuyu Geliştirme
- Enjeksiyon ve Ankraj Çalışmaları
- Katodik Sondaj
- Drenajlara yönelik Point Sonde Çalışmaları
- Zemin Islah Çalışmaları
- Fore Kazıkları
- Dalgıç Motor Montaj, Tamir ve Satışı



ABM

Araştırma Bilgi Merkezi

ABM MÜHENDİSLİKMÜŞAVİRLİK - İNŞAAT - SONDAJ
TİCARET PAZARLAMA LTD. ŞTİ.www.abmjeo.com**JEOFİZİK - JEOLJİK - JEOTEKNİK**

- ZEMİN, KAYA, SU, MADEN SONDAJLARI
- SİSMİK, RESİSTİVİTE, MİKROTREMÖR
- TÜNEL, OTOYOL GÜZERGAHLARI
- YERALTI YAPILARI, BARAJ VE GÖLET ETÜDLERİ
- FORE - MİNİKAZIK - ANKRAJ - JET GROUT

ZEMİN KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI

- ZEMİN DAYANMA DENEYLERİ
- NÜKLEER YÖN. SIKIŞTIRMA TESTİ
- KONSOLIDASYON-SERBEST BASINÇ
- ZEMİN SINFLANDIRILMASI
- ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ
- ZEMİN SIKIŞTIRMA DENEYLERİ
- KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI
- STANDART - MODİFİYE PROKTOR

BETON YAPI MALZEMELERİ LABORATUVARI

- TAZE BETON DENEYLERİ
- BETON ÇELİK ÇUBUK DENEYLERİ
- BETON ÇELİK HASIR DENEYLERİ
- KAROT ALIMI VE BETON DENEYLERİ
- YÜZEY SERTLİĞİ DENEYİ
- ULTRASONİK BETON DENEYLERİ
- DONATILARDA RÖNTGEN ALIMI
- BİTÜM / ASFALT DENEYLERİ
- AGREGA DENEYLERİ

*Referansımız Tüm Türkiye*

MERKEZ : Ömerpaşa Mah.
Ankara Cad. ABM İş. Mh.
No:44/4 KOCAELİ
Tel. : 0.262.331 91 65
Tel. : 0.262.331 32 77
Fax : 0.262.332 44 33

KOCAELİ LAB.:
Sanayi Mah. S. Sirmen
Bulv. Merb Sk.
No: 9/10 KOCAELİ
Tel.: 0.262.335 39 13
Fax: 0.262.335 39 14

ETÜD PROJE.:
Sanayi Mah. S. Sirmen
Bulv. Merb Sk.
No: 6/7/8 KOCAELİ
Tel.: 0.262.335 00 47
Fax: 0.262.335 00 48

GENZE :
Arapoğlu Mah.
Kavak Cd. 1046-1 Sk.
Gebze/KOCAELİ
Tel.: 0.262.642 47 59
Fax: 0.262.642 22 24

İSTANBUL LAB.:
Cumhuriyet Mah.
İlke Sk. No:13/A
Kartal/İSTANBUL
Tel.: 0.216.451 19 61
Fax: 0.216.452 25 18

KADIKÖY :
Ömerpaşa Mah.
Cemil Karakadılar Sk. Birtik İşhanı
No:3 / 2 Kadıköy/İSTANBUL
Tel.&Fax : 0.216.449 29 30

**JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI KOCAELİ ŞUBESİ**

ÖMERAĞA MAHALLESİ CEMİL KARAKADILAR CAD. NO:15/1 İZMİT - KOCAELİ
Tel: +90 262 3217200
www.jeofizik.org.tr