

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAPI JEOFİZİĞİNDE YER RADARI UYGULAMALARI VE AYRIK  
DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİYLE YORUMLAMA**

**SERAY BOZKURT**

**KOCAELİ 2019**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI JEOFİZİĞİNDE YER RADARI UYGULAMALARI VE AYRIK  
DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİYLE YORUMLAMA

SERAY BOZKURT

Prof.Dr. Bülent ORUÇ  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi  
Dr.Öğr. Üyesi Ertan PEKŞEN  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi  
Dr.Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER  
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



.....  
Ertan Pekşen  
.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2019

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında radar kesitlerinin yapı jeofiziği bağlamında yorumlanmasında yeni bir veri işlem tekniği olarak iki boyutlu dalgacık dönüşümü kullanılarak, yapısal sorunların ne ölçüde görüntülenebildiği araştırılıp, dalgacık dönüşümü ile yeni bir bakış açısı sunmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın konusunun belirlenmesinde ve hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek çalışmamla yakından ilgilenen, eleştirileriyle yol gösteren, saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Bülent ORUÇ' a, analizleri yapmamda destek olan Arş. Gör. İsmail KAPLANVURAL' a ve tezimin başından sonuna kadar deneyimlerini ve desteğini benden esirgemeyen, tezimi okuyup gereken düzeltmeleri yapmamda yardımcı olan değerli eşim Dr. Öğr. Üyesi Vakkas BOZKURT' a ve sevgisiyle beni motive eden canım kızım İlke Eva' ya teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bize hem anne hem baba olan koca yürekli dedem ve anneme gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Haziran - 2019

Seray BOZKURT

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ.....	1
1. KENTLERDE AFET TEHLİKE VE RİSKLERİNİ OLUŞTURAN TEMEL NEDENLER .....	2
2. YAPILARIN TAHRİBATSIZ YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ .....	4
2.1. Ultrasonik Dalga Hızı Yöntemi.....	5
2.2 Elektrik Özdirenç Yöntemi .....	8
2.3. Doğal Gerilim Yöntemi .....	9
2.4. Elektromanyetik Yöntemler.....	11
2.4.1. Donatı ölçer (Kovermetre ) .....	11
2.4.2. Yer radarı yöntemi .....	12
3. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNÜN KURAMSAL İLKELERİ .....	18
4. YER RADARI LABORATUVAR UYGULAMASI VE DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ANALİZLERİ.....	21
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	40
KAYNAKLAR .....	41
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	43

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1.	Ultrasonik dalga hızı yönteminde beton üzerinde verici ve alıcıların farklı şekillerde konumlandırılması .....	5
Şekil 2. 2.	Homojen ortamda ultrasonik dalga yayılımı ve zaman uzaklık grafiği .....	6
Şekil 2. 3.	Beton içerisinde yapısal unsur olması durumunda ultrasonik dalganın kırılması ve zaman-uzaklık grafiği .....	6
Şekil 2. 4.	Porozite ve kum içeriğinin P ve S dalga hızlarına etkisi .....	7
Şekil 2. 5.	Elektrik özdirenç yönteminin yapı jeofiziği uygulamasında akım kaynağı ve elektrotlar.....	8
Şekil 2. 6.	Doğal gerilim yönteminde yapı üzerinde açık devre potansiyel ölçümü tekniği .....	10
Şekil 2. 7.	SP Yönteminde yüzey potansiyel ölçüm tekniği ve ekipmanlar.....	10
Şekil 2. 8.	Donatı ölçer yönteminde ölçüm tekniği ve ekipmanları. a) Betonun homojen olması durumunda akım çizgileri b) Beton içerisinde akım kuvvetlendirici çubuk olması durumunda akım çizgileri.....	11
Şekil 2. 9.	a) Bir alternatif akım kaynağından verici bobin yardımıyla manyetik alan üretilmesi. b) Manyetik alanın yapı içerisine penetrasyonu ve iletken çubuk tarafından üretilen ikincil manyetik alan ve Eddy akımları .....	12
Şekil 2. 10.	Yer radarı yönteminde EM dalganın yansıma prensibi .....	14
Şekil 2. 11.	Örnek Radargram veya Radar kesiti ve kesit içinden çıkarılan radar izi .....	15
Şekil 2. 12.	Yer radarı yönteminde ölçüm tekniğinde anten, araştırılan yapı üzerinde ölçü profili boyunca kaydırılarak farklı lokasyonlardan tabakalardan yansıyan dalgaları alıcı kaydeder .....	17
Şekil 3. 1.	Basamak fonksiyonu biçiminde Haar dalgacığı .....	19
Şekil 3. 2.	İki boyutlu DWT işlem aşamalarının şematik gösterimi. a) Giriş verisinin ayrık dalgacık dönüşümünün 1. Seviye ayrışımında verinin H1, V1 ve D1 seviyelerinde ayrıştırılması ve yaklaşık katsayılar. b) Yaklaşık katsayıların ayrık dalgacık dönüşümünde 2. S Seviye bileşen ayrışımının konumları. c) Ayrık dalgacık dönüşümünün J. seviyeden J+1 seviyesine kadar olan işlem aşamaları.....	20
Şekil 4. 1.	Yer radarı uygulamalarında kullanılan Zond-e cihazı ve 2 GHz merkez frekanslı ve korumalı anteni .....	21
Şekil 4. 2.	Yer radarı laboratuvar uygulamalarında kullanılan C-30 standardında beton blok model. a) Blok boyutları ve demir çubuğun konumu ve parametreleri. b) Beton üzerinde yer radarı uygulamasında kullanılan anten ve ölçü profili.....	23
Şekil 4. 3.	Model beton blok üzerinde alınan radargram kesiti ve işlenmesi. a) Ham veri. b) Background etkisi giderilmiş veri. c) Alçak geçişli süzgeçlenen ve kazanç verilen kesit.....	25
Şekil 4. 4.	Şekil 4.3c' de ki işlenmiş radar kesitinin 1. seviye ayrık dalgacık dönüşüm sonuçları. a) Yaklaşık katsayıların (A) görünümü. b) Yatay (H) bileşen katsayılarının görünümü. c) Düşey bileşen (V) katsayılarının görünümü. d) Köşegen (D) bileşen katsayıları .....	26

Şekil 4. 5.	Bir yapı jeofiziği uygulaması olarak yer radarı yönteminin KOÜ uygulamalı jeofizik laboratuvarının zemininde ölçü alımı için değerlendirilecek olan ölçü profillerinin doğrultuları.....	27
Şekil 4. 6.	a) 1 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 1 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	30
Şekil 4. 7.	Şekil 4.6b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	30
Şekil 4. 8.	a) 2 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 2 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	31
Şekil 4. 9.	Şekil 4.8b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	31
Şekil 4. 10.	a) 3 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 3 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	32
Şekil 4. 11.	Şekil 4.10b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	32
Şekil 4. 12.	a) 4 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 4 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	33
Şekil 4. 13.	Şekil 4.12b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	33
Şekil 4.14.	a) 5 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 5 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	34
Şekil 4. 15.	Şekil 4.14b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	34
Şekil 4.16.	a) 6 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 6 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	35
Şekil 4. 17.	Şekil 4.16b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	35
Şekil 4. 18.	a) 7 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 7 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	36
Şekil 4.19.	Şekil 4.18b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	36
Şekil 4.20.	a) 8 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 8 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	37
Şekil 4. 21.	Şekil 4.20b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	37
Şekil 4. 22.	a) 9 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 9 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	38
Şekil 4. 23.	Şekil 4.22b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	38
Şekil 4. 24.	a) 10 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 10 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti .....	39
Şekil 4. 25.	Şekil 4.24b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü.....	39

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Beton kalitesi- $V_p$ hızı ilişkisi .....	7
Tablo 2.2. Beton sağlamlığı - $V_p/V_s$ - Poisson oranı ilişkileri.....	7
Tablo 2.3. Özdirenç ile korozyon ilişkisini gösteren deneysel çizelge .....	9
Tablo 2.4. Uluslararası Beton komitesi tarafından beton rezistivite değerlerine tavsiye edilen olası korozyon oranları.....	9
Tablo 2.5. Farklı malzemelerin 1GHz lik elektromanyetik dalga etkisindeki dielektrik sabitleri. ....	13
Tablo 2.6. Çeşitli materyallerin yaklaşık elektromanyetik özellikleri .....	16
Tablo 4.1. C-30 standardına göre model beton blok yapımında kullanılan malzeme oranları. ....	22

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$V_p$	: P Dalga Hızı
$V_s$	: S Dalga Hızı
$\rho$	: Poisson Oranı
$h$	: Kalınlık
$\Psi$	: Ana Dalgacık
$t$	: Seyahat Zamanı
$c$	: Boşlukta Yayılma Hızı
$A$	: Yaklaşık Katsayılar
$H$	: Yatay Bileşen Ayrışımı
$V$	: Düşey Bileşen Ayrışımı
$D$	: Köşegen Bileşen Ayrışımı
$\epsilon_r$	: Rölatif Geçirgenlik

### Kısaltmalar

EM	: Elektromanyetik Dalga
----	-------------------------



## YAPI JEOFİZİĞİNDE YER RADARI UYGULAMALARI VE AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİYLE YORUMLAMA

### ÖZET

Yer radarı yöntemi (GPR) arazi uygulamalarından başka, yapılar içerisinde de kullanılmaktadır. Bu durumda yöntem bir yapı jeofiziği tekniği olarak yapısal elamanların görüntülenmesinde uygulanabilmektedir. Bu çalışmada laboratuvar ortamında, içinde tek bir demir çubuk bulunan model beton blok ve yapı tabanında radar kesitleri alınmıştır. Radar kesitlerinin yapı jeofiziği bağlamında yorumlanmasında yeni bir veri işlem tekniği olarak dalgacık dönüşümü tekniği kullanılmıştır. Radar kesitleri iki boyutlu veri setleri biçiminde elde edildiğinden, kesitlere iki boyutlu ayrik dalgacık dönüşümü uygulanarak veri içerisinde yer alan yatay, düşey, köşegen ve yaklaşık bileşenlerine ayrılmıştır. Bileşenlerin karakteristik değişimlerinden yapı içerisinde uzanan demir donatıların derinlik ve konumlarına yönelik bilgiler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrik Dalgacık Dönüşümü, Radargram, Veri İşlem, Yer Radarı.

## **GROUND PENETRATING RADAR APPLICATIONS IN CONSTRUCTION AND INTERPRETATION WITH DISCRETE WAVELET TRANSFORM**

### **ABSTRACT**

The Ground Penetrating Radar (GPR) method is commonly used in buildings besides land surveys. In this case, the GPR method in construction can be applied to image the elements in the structures. In this study, in the laboratory environment, GPR sections were acquired from model concrete block with a single iron rod and structure base. A new data processing technique as a discrete wavelet transform was used to interpret the radar sections in terms of construction geophysics. As the radar sections are obtained in the form of two-dimensional data sets, two-dimensional discrete wavelet transform is applied to the sections and divided into horizontal, vertical, diagonal and approximate components. The results from characteristics of components were obtained the depth and horizontal location of the iron reinforcements within the structure.

**Keywords:** Discrete Wavelet Transform, Radargram, Data Processing, Ground Penetrating Radar.

## GİRİŞ

Jeofizikte gözlemsel veriler fiziksel büyüklüklerin yer içindeki dağılımını bulmak amacıyla toplanır, işlenir ve yorumlanır. Jeofizik veriler uzaklığa veya zamana bağlı olarak toplanır. Örneğin yerçekimi (gravite), manyetik, elektrik alan ölçümleri yeryüzü yatay düzleminde uzaklığın fonksiyonu olarak ölçülen verilerdir. Petrol ve su kuyularında alınan kuyu logu ölçümleri (elektrik, sonik, radyoaktif) ise düşey yönlü veya derinliğin fonksiyonu olarak ölçülen verilerdir. Jeofizik gözlem verileri içinde bir çok olay gizlidir. İlk ölçülen veriler henüz işlenmediği için kaba veya ham veriler olarak tanımlanır. Bu nedenle doğrudan yorumlanamazlar. Verilerin karakteristik değişimlerinin incelenmesi ve dalga sayısı veya çeşitli dönüşümlerle (Fourier ve Dalgacık) frekans içeriğinin belirlenmesi, harmonik bileşenlerine ayrılması ve çeşitli istatistiksel analizlerin uygulanması, süzgeçleme ve yorumlama hazırlama işlemlerinin tümüne kısaca veri işlem adı verilir. Jeofizik verilerin içinde istenmeyen etkiler olarak tanımlanan gürültüler bulunabilmektedir. Aranılan sinyalin yığılması ve anomali kaynaklarının görüntülenmesi jeofizik veri işlem ve yorumlamanın temel işlem adımlarıdır. Bu tez çalışmasında yapı jeofiziği uygulaması olarak etkin bir hasarsız yöntem olan yer radarı yönteminin beton blok ve yapı tabanında uzanan demir donatının yerlerinin görüntülenmesindeki etkinliği araştırılmıştır. Demir donatılardan kaynaklanan sinyallerin yığılması ve böylece etkin bir yorumlamanın yapılabilmesi için işlenmiş kesitlere iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır.

## 1. KENTLERDE AFET TEHLİKE VE RİSKLERİNİ OLUŞTURAN TEMEL NEDENLER

Doğal tehlikeleri ortaya çıkaran faktörler çoğunlukla engellenmesi mümkün olmayan durumları göstermektedir. Örneğin, deprem tehlikesini ortaya çıkaran faktör bir bölgede sismik aktivitelerin olmasıdır. Fay hatlarının geçtiği yerlerde belirli periyodlarda sismik hareketler sonucu enerji açığa çıkması ve fayların hareketlenmesi ile depremler oluşmaktadır. Ülkemizde de fay hatlarının yaygın bir şekilde bulunması ve onların aktif hareketleri sonucunda yıkım ve kayıplar sıklıkla meydana gelmekte ve yerleşimlerin bulunduğu bu büyük coğrafyada deprem tehlikesi varlığını her zaman sürdürmektedir. Depremlerin yerleşimlerde hasar meydana getirmesi ise sadece fay hatlarının yakınlığı ve mekanizmaları ile ilişkili değil, aynı zamanda yerleşim yerlerinde bulunan binaların dayanıklı olup olmaması ile de ilgilidir. Yapıların fiziksel dayanıklılığı deprem tehlikesi karşısında ortaya çıkabilecek olası kayıpları belirlemektedir.

Özellikle ülkenin 1950'lerden sonra yaşadığı hızlı kentleşme kentlerde kontrolsüz, mühendislik hizmeti almamış, denetimsiz yapı stoğunun artmasında önemli rol oynamış ve kentlerin afetler karşısında hasar görebilirliğini arttırmıştır. 1950'lerden sonra ortaya çıkan apartmanlaşma modeli benimsenmiştir. Bu model ile kentsel alanlar hızla "apartman kentlere" dönüşmeye başlamıştır. Betonarme yapım sisteminin ağırlıkla uygulandığı bu model sonucunda denetimsiz ve güvensiz bir yapı stoğu ortaya çıkmıştır. İmar, yapı üretimi, şehircilik ve çevre konularında uyulması gerekli mevzuat ise genelde yapı üretim sürecinin gerisinde kalmış, yeterli düzenlemeler oluşturulamamıştır. Kentleşme yaklaşımında benimsenen apartmanlaşma ve parsel bazında çok katlı konut üretim modeli gerek yasalar gerekse yöneticiler tarafında doğru ve zamanında güvenli kentleşme yaklaşımına dönüştürülemediği için başarılı olmayan sonuçlar doğurmuştur (Balamir 2007). Ülkemizde kentsel alanlarda depremin yol açtığı hasarlar gerek üst yapıda gerekse de alt yapıda ciddi hasarlara neden olmaktadır. Deprem büyüklüğünün yanı sıra depreme dayanıksız yapı stoğunun kullanılması hasarların meydana gelmesinde önemli bir etken olmaktadır. Ülkemizde plansız kentleşme, kötü yapı stoklarının kullanımı ve doğru mühendislik

hizmetlerinin yapılmadığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra yapı denetimi gibi önemli bir konuda detaylı ve doğru çalışmaların yapılmadığı ve önlemlerin alınmadığı da bilinen bir gerçektir. Özellikle 17 Ağustos depreminden sonra güçlendirildiği düşünülen orta hasarlı binaların yeni bir depreme nasıl tepki göstereceği önemli bir sorundur. Kötü inşa edilmiş binalarla ilgili olarak imar affı ve rant elde etme gibi konuların önemli zararlar verebileceği de kaçınılmaz bir gerçektir. Yoğun kentleşmenin olduğu bölgelerde de betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarında ve donatılarında ortaya çıkabilecek hasarlar, konunun sorunun afet boyutuna ulaşacağını ortaya koymaktadır.

Ülkemizde kentsel alanlarda deprem kaynaklı risklerin gerek fiziksel, gerek ekonomik, gerekse insan kaybı açısından değerlendirilmesi, tespiti ve riskleri azaltacak yaklaşımların ortaya konması bu anlamda önemli görünmektedir. Konut üretim sürecinin işleyiş biçimi ve bu süreçte rol alan faktörler aynı zamanda konut yapılarının deprem tehlikesi karşısında dayanıklı olmasından da sorumlu faktörlerdir. Yapı üretim sürecinin denetlenmesi önemli bir risk azaltıcı faaliyet olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla deprem risklerini azaltma faaliyetlerinin başında yapı denetim sistemi gelmektedir. Kentsel alanlarda depremden kaynaklanan risklerin tek yapı ölçeğinde değil daha bütüncül ve büyük ölçekte belirlenmesi ve değerlendirilmesi temel hedef olmalıdır. Bir yapının taşıyıcı sistemini deprem karşısında dayanıklı olacak şekilde tasarlanmasının yanında, bu yapının çevresindeki diğer yapılarla birlikte bir risk oluşturmaması da sağlanmalıdır ve tasarım buna göre gerçekleştirilmelidir.

## 2. YAPILARIN TAHRİBATSIZ YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Binaların kolon ve kirişlerden alınan karot numuneleri üzerinde basınç deneyleri ile yapı dayanımları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte karot numunesi alınarak yapılan testler sonucunda mevcut yapı tahrip olmaktadır. Dahası karot alınarak yapılan testlerde yalnızca karot numunenin alındığı yer incelenmekte ve karotun tüm özelliği binanın özelliği gibi sunulmaktadır. Bu nedenle binaya zarar vermeden ve bütünsel uygulamayla jeofizik yöntemler kullanılarak binanın fiziksel özellikleri ayrıntılı olarak bulunabilir. Bu durumda yapı jeofiziği adı verilen çeşitli yöntemlerle bina dayanımı ve inşaat kalitesi tahribatsız ve betona zarar vermeden belirlenebilir. Böylece yapının sorunlu ve sorunsuz kısımları görüntülenebilir.

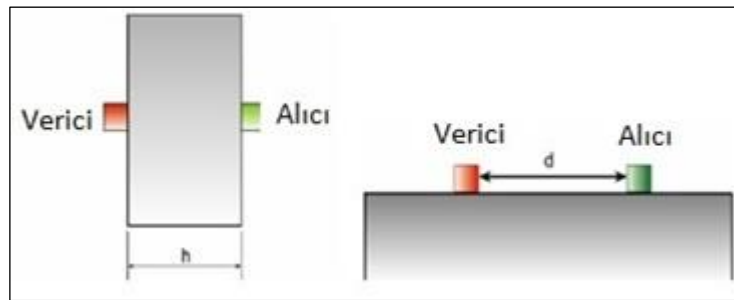
Eski ve yeni mühendislik yapılarının ve kaya özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Tahribatsız yöntemler, adından da anlaşılacağı gibi yapılarda tahribata neden olmadan yapının görünmeyen kısımlarında meydana gelebilecek olan yapısal sorunları görüntüleyen ve çözüme katkıda bulunan yöntemlerdir. Böylece yapıların ve malzemelerin sağlamlık ve kalite kontrolleri yapılabilmektedir. Kentsel dönüşüm çalışmaları, depreme dayanıklı yapı tasarımı, depreme maruz kalan yapıların güçlendirilmesi ve tarihi yapıların restorasyonu gibi çalışmalar, yapılarda jeofizik uygulamalarına olan ilgiyi arttırmıştır.

Hasar gören veya hasar görme potansiyeli olan mühendislik yapılarının taşıyıcı elemanları ve donatılarıyla ilgili mühendislik analizlerinin etkin bir şekilde yapılabilmesi onarım ve güçlendirme işlemleri açısından oldukça önemlidir. En doğru onarım ve güçlendirme çözümünü önerebilmek için yapılarda jeofizik uygulamaları gereklidir. Böylece yapısal hasarların, kusurların ve varsa metal donatılardaki korozyonların görüntülenmesi oldukça önem kazanmaktadır. Bu açıdan yapı jeofiziği uygulamaları inşaat mühendislerinin optimum güçlendirme tasarımlarında önemli katkılar sağlar.

## 2.1. Ultrasonik Dalga Hızı Yöntemi

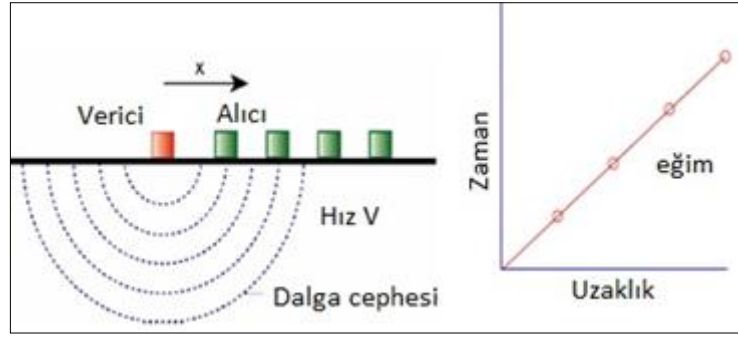
Beton kalitesinin belirlenmesinde sismik hızlar kullanılabilir. Binanın dayanımı ve yapısal elemanlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak karot numunelerinin alınması durumunda yapıya zarar verilmektedir. Özellikle beton kalitesini ve dayanım özelliklerini belirleyebilmek için ultrasonik dalga hızı uygulamaları yapılabilir. Böylece beton içerisinde seyahat eden ultrasonik dalgaların alıcılara geliş zamanlarına göre beton içerisinde olabilecek boşluk ve kırık sistemleri kestirilebilir. Bu yöntem esasında P dalgalarının beton içindeki yayılma hızlarının bulunmasına dayanır. Betonda izlenen çatlak ve boşluklar sismik dalga yayılımını etkilemektedir.

Ultrasonik Pulse yöntemleri katı ortamlarda sismik dalgaların yayılım hızlarını ölçererek, betonun Young modülünü hesaplar. Son zamanlarda yaygın olarak beton kütlesi içindeki boşlukların, kusurların ve süreksizliklerin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Ultrasonik dalgacık yöntemleri, beton içinden geçen P dalgalarının seyahat zamanlarının ölçümüne dayanır. Bu amaçla 20 -150 kHz'lik frekanslara sahip P dalgaları kullanılır. Başlangıçtan, dalgacığın kaydedildiği ana kadar geçen seyahat zamanı elektronik olarak ölçülür. Alıcılar arasındaki yol seyahat zamanına bölündüğünde, dalga yayılımının beton içindeki ortalama hızı hesaplanır. Beton yüzeyi ve alıcılar arasında iyi bağlantı, ölçümlerin güvenilirliği için önemlidir. Alıcılar beton yüzeyinin her iki yanında karşılıklı olarak yerleştirilebilir veya aynı yüzey üzerinde yer alabilir (Şekil 2.1).



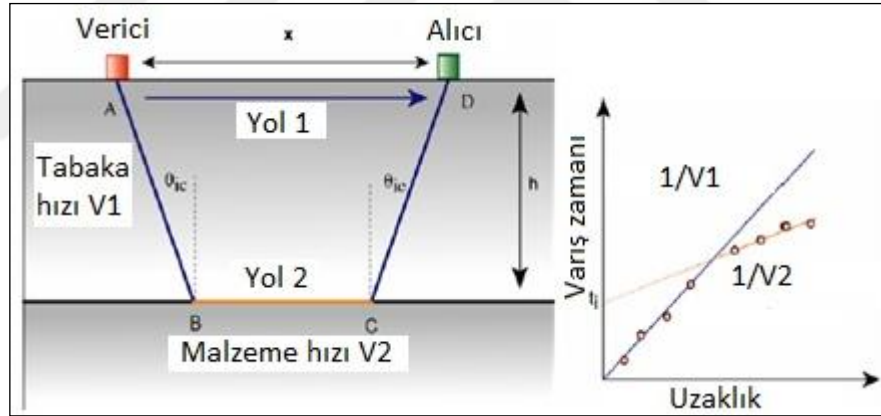
Şekil 2. 1. Ultrasonik dalga hızı yönteminde beton üzerinde verici ve alıcıların farklı şekillerde konumlandırılması

Betonun homojenliğini belirlemek için en etkili yol beton yüzeyi boyunca bir dizi alıcılar yerleştirmektir. Daha sonra vericiden dalgacık gönderilir ve Huygens ilkesine göre bir cephe üzerindeki her bir nokta, ikinci bir küresel dalga için bir nokta kaynak gibi davranır. Eğer cisim üniform ise zaman-uzaklık grafiği tam bir düz çizgi olur; aksi durumda grafikte düz çizgiden sapma görülür.



Şekil 2. 2. Homojen ortamda ultrasonik dalga yayılımı ve zaman uzaklık grafiği

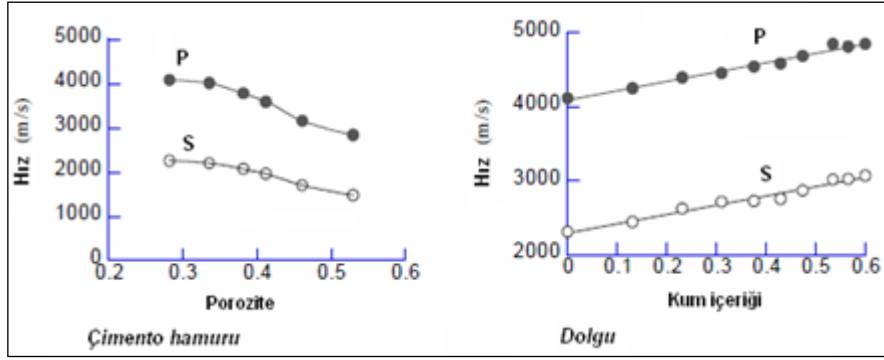
Beton, ateş gibi çevresel etkilere maruz kaldığında iç kısmında tabakalı bir yapı oluştuğunu farzedelim. Beton içindeki tabakanın dalga hızları  $V_1$  ve  $V_2$ , tabaka kalınlığı  $h$  olsun. Beton yüzeyine yerleştirilip, dalgacık gönderildiğinde doğrudan gelen dalganın zaman uzaklık grafiği düz bir çizgi olacaktır. Ancak uzaklık (veya zaman) arttıkça ara yüzey sınırından kırılıp gelen dalgalar alıcılara ulaştıklarında, zaman-uzaklık grafiklerinde eğim değişimi gözlenir (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3. Beton içerisinde yapısal unsur olması durumunda ultrasonik dalganın kırılması ve zaman-uzaklık grafiği

Beton içi dalga hızlarını nemlilik, karışım ve mikro çatlaklar etkiler. Nemlilik beton içindeki dalga hızları nemliliğin az olduğu kesimlerde artış gösterir. Beton içinde karışım olarak kullanılan kayalarda, çimento hamuruna göre daha hızlıdır. Tüm betonun hızı üzerinde bu kayaların etkisi bulunur; böylece bunlar betonun elastik modülü üzerinde de etkili olurlar. Betona uygulanan basınç betonun direnci %50'den daha fazla aşıldığında mikro çatlaklar oluşur. Mikro çatlaklar betonun elastik modülünü düşürür; dalga hızı da azalır.





Şekil 2. 4. Porozite ve kum içeriğinin P ve S dalga hızlarına etkisi

Ultrasonik pulse hızı yöntemi ile beton içerisindeki kırığın varlığı ve derinliği bulunabilir. Ultrason cihazında çoğu defa 6 adet alıcı sensör yaklaşık 3 cm aralıklarla dizilerek uygulama yapılır. Alıcılardaki ilk geliş zamanlarına göre zaman-uzaklık grafiği çizilerek beton içerisindeki ara yüzey sınırının derinliği hesaplanır.

Tablo 2.1.' de beton kalitesi, sağlamlığı,  $V_p$  hızları ve Poisson oranları arasındaki ilişkiler görülmektedir. Tablo 2.2' de ise beton sağlamlığı -  $V_p/V_s$  - Poisson oranı ilişkileri yer almaktadır.

Tablo 2.1. Beton kalitesi- $V_p$  hızı ilişkisi

Beton Kalitesi	$V_p$ (m/s)
Mükemmel	>4500
İyi – Çok iyi	3650 - 4500
Orta	3050 - 3650
Zayıf	2000 – 3050
Çok zayıf	0 – 2000

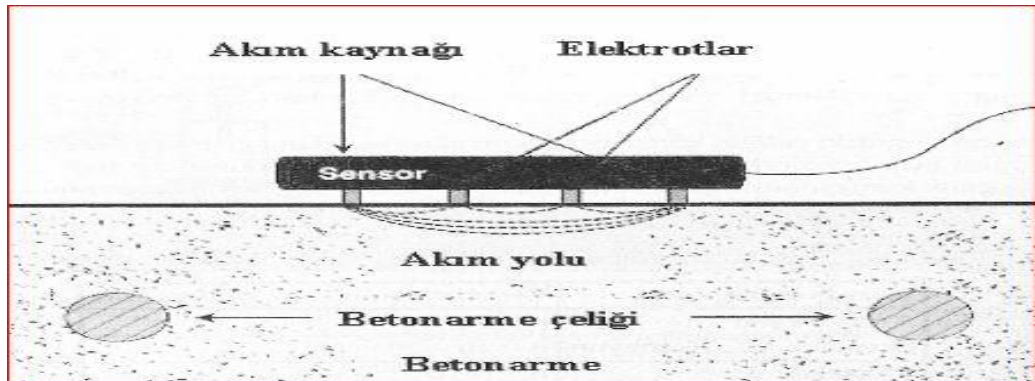
Tablo 2.2. Beton sağlamlığı -  $V_p/V_s$  - Poisson oranı ilişkileri

Beton sağlamlığı	$V_p/V_s$	Poisson oranı
Gevşek, çatlaklı, yaş beton	2,49-1,87	0,3-0,4
Katı beton	1,87-1,71	0,2-0,29
Çok katı beton	1,71-1,5	0,1-0,19
Oldukça katı beton	1,5-1,41	0-0,09

## 2.2 Elektrik Özdirenç Yöntemi

Beton içindeki heterojen bölgelerdeki elektrik akım dağılımının karakteristik değişimlerinden ölçülen rezistivite haritalarından bu tür bölgelerin yerleri saptanabilir. Bu haritalar farklı elektrod dizilimleri kullanılarak oluşturulabilir. Beton içindeki donatı çubukların lokasyonu ve korozyon durumu beton yüzeyinde yapılacak olan elektrik özdirenç ölçümleriyle belirlenebilir (Şekil 2.5). Beton içinde elektrik akımının akışı elektrolitik özelliktedir. Bu durumda beton içindeki iyonik aktivite, betonun elektrik özdirencinde düşmeye neden olur. Buna göre çimentonun su oranı yüksekse ve betonun suya doygunluğu da yüksek olacağından, boşluklardaki yüksek tuz çözeltisi betonun elektrik özdirencini düşürecektir.

Bu yöntemde yere iki noktadan doğru akım uygulanır ve diğer iki nokta arasında bu akımdan dolayı oluşan gerilim farkı ölçülür. Beton içinde elektrik akımının akışı elektrolitik özelliktedir. Bu durumda beton içindeki iyonik aktivite, betonun elektrik özdirencinde düşmeye neden olur. Buna göre çimentonun su oranı yüksekse ve betonun suya doygunluğu da yüksek olacağından, boşluklardaki yüksek tuz çözeltisi betonun elektrik özdirencini düşürecektir. Korozyonun ilerleme derecesinin bulunmasını amaçlayan çalışmalarda Wenner elektrot dizilimi kullanılarak doğru akım özdirenç yöntemi uygulanması en verimli sonucu verir (Kurtuluş, 2007). Wenner Dizilimi iki akım ve iki potansiyel elektrotunun kullanıldığı, elektrotlar arası mesafenin “a” olarak sabit aralıklarla alındığı simetrik bir dizilim türüdür. Wenner diziliminde ortalama araştırma derinliği elektrotlar arası mesafe kadardır.



Şekil 2. 5. Elektrik özdirenç yönteminin yapı jeofiziği uygulamasında akım kaynağı ve elektrotlar

Tablo 2.3. Özdirençin korozyon ile ilişkisini gösteren deneysel çizelge (Kurtuluş C., 2007)

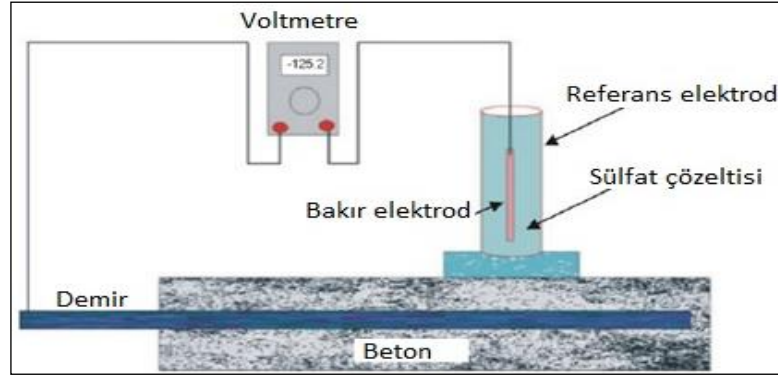
Özdirenç (ohm-cm)	Korozyonun Derecesi
5000'den az	Çok yüksek
5000 – 10000	Yüksek
10000 – 20000	Orta / Az
20000'den büyük	İhmal edilebilir

Tablo 2.4. Uluslararası Beton komitesi tarafından beton rezistivite değerlerine tavsiye edilen olası korozyon oranları

Beton Rezistivitesi ( $\Omega.m$ )	Korozyon Oranı
>200	İhmal edilebilir
100-200	düşük
50-100	yüksek
<50	Çok yüksek

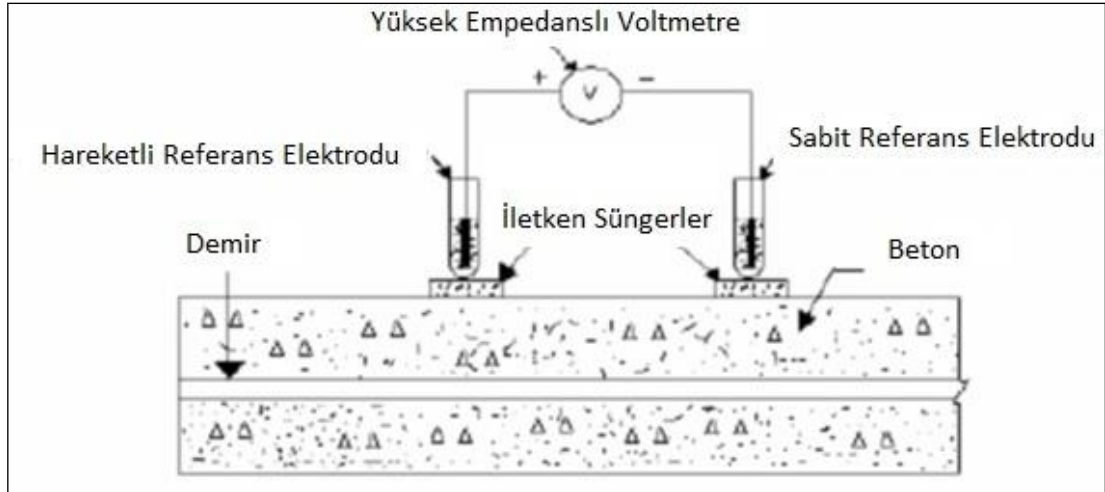
### 2.3. Doğal Gerilim Yöntemi

Betonun doğal gerilim alanını ölçer. Bu yöntemin de amacı beton içerisindeki korozyon (kimyasal aşınma) durumunu ortaya çıkarmaktır. Doğal gerilim yönteminde 2 adet polarize olmayan potansiyel elektrod, 1 adet gerilim ölçer ve bağlantı kablosu kullanılır. Bu yöntemde yapı zeminine yerleştirilen potansiyel elektrotlar arasında gelişen doğal potansiyel fark ölçülmektedir. Şekil 2.6' da görülen açık devre potansiyel ölçümünde (Ha-Won Song, 2007/4) kablonun bir ucu donatı çubuğuna ve diğer ucu elektroda bağlanır. Elektrod beton üzerinde gezdirilerek her defasında elektrik potansiyel ölçülerek, ölçüm değeri elektrodun bulunduğu noktaya atanır.



Şekil 2. 6. Doğal gerilim yönteminde yapı üzerinde açık devre potansiyel ölçümü tekniği

Yüzey potansiyeli ölçümünde ise beton yüzeyi üzerinde potansiyel elektrodlerden biri sabit, diğeri hareketlidir. İki elektrod arasındaki potansiyel fark ölçülür. Ölçülen değer hareketli elektrodun bulunduğu noktaya atanır. Anodik ve katodik bölgeler arasındaki fark ne kadar fazlaysa, korozyon olasılığı o kadar fazladır. Negatif potansiyel üreten alan, korozyon oluşumunun mümkün olduğu bölgeyi gösterir. ASTM (American Society for Testing and Materials) standardına göre -350 mV dan küçük değerler % 90 ihtimalle korozyon bölgelerini gösterir. -200 mV dan büyük değerler ise % 90 ihtimalle korozyonun aktif olmadığını gösterir (W. Ed Wightman & Frank Jalinoos, 2003).

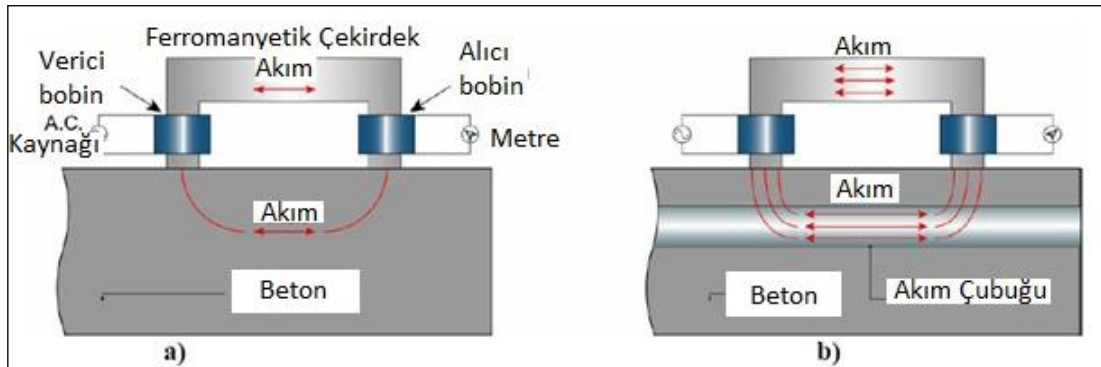


Şekil 2. 7. SP Yönteminde yüzey potansiyel ölçüm tekniği ve ekipmanlar

## 2.4. Elektromanyetik Yöntemler

### 2.4.1. Donatı ölçer (Kovermetre )

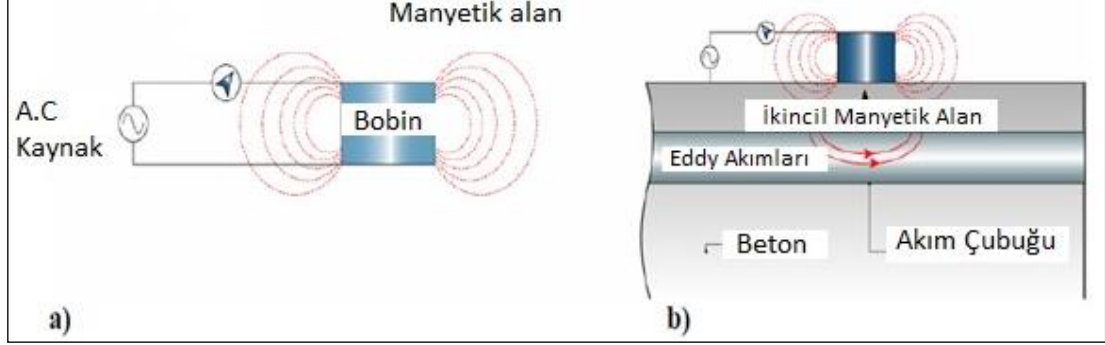
Donatı ölçer yönteminde alıcı ve verici bobin kullanılmaktadır. Verici bobin yardımıyla oluşturulan elektromanyetik alan donatıyı indüklediğinde ikincil bir manyetik alan meydana gelir. Bu alanın büyüklüğü alıcı bobin yardımıyla kaydedilir. İndüklemeyle oluşan manyetik alanın şiddetini donatının yoğunluğu ve derinliği etkilediğinden donatıyla ilgili bilgiler elde edilebilir. Buna göre donatı ölçer yöntemiyle donatı çubuklarının konumları, sayıları ve bağlantı yerleri etriyenin yapılıp yapılmadığı ve projeye uygun olup olmadığı ortaya çıkarılır. Bu yöntemde iki ölçü tekniği kullanılmaktadır. Birinci teknikte manyetik akı üreten bir verici bobin kullanılır. Akı beton içerisinde seyahat eder ve devre ferromanyetik bir çekirdek tarafından kapanır (Şekil 2.8a). Beton, manyetik akıyı iyi bir şekilde iletmez; yani yalıtkanlığı yüksektir. Eğer dedektör, donatı yakınında bir konuma hareket ettirilirse, donatının iletkenliği yüksek olduğu için, alıcı bobin manyetik akıdaki yüksek değerleri algılar (Şekil 2.8b). Alıcı bobindeki ölçülen şiddet beton kalınlığına da duyarlı olduğundan, uygun bir kalibrasyonla, donatıya kadar olan beton kalınlığı yaklaşık olarak kestirilebilir.



Şekil 2. 8. Donatı ölçer yönteminde ölçüm tekniği ve ekipmanları. a) Betonun homojen olması durumunda akım çizgileri b) Beton içerisinde akım kuvvetlendirici çubuk olması durumunda akım çizgileri

İkinci teknikte beton yüzeyini tarayarak metal donatının yerini bulmaktır. Bu amaçla, bir alternatif akım kaynağı üreten elektrikselsel bir bobine ihtiyaç duyulur. Akım dedektörü metal donatının bulunmadığı yerden geçerken, akım göstergesi aynı değerde kalır. Bununla birlikte, metal donatının bulunduğu yere yakın bir konuma geldiğinde, gösterge, akımda azalmayı işaret eder ve minimum değerine ulaştığında dedektörün metal donatının hemen üstünde olduğu anlaşılır. Çünkü bobin tarafından indüklenen manyetik alan metal donatı içerisinde Eddy (veya fuko) akımları

meydana gelir, bu akımlar ise uygulanan alana zıt doğrultuda ikincil bir alan indükler. Bu durumda zıt alan doğrultularından dolayı, göstergeden ideal koşullarda sıfır değerinin okunması beklenir; ancak pratikte minimum değeri gözlenir.



Şekil 2. 9. a) Bir alternatif akım kaynağından verici bobin yardımıyla manyetik alan üretilmesi. b) Manyetik alının yapı içerisine penetrasyonu ve iletken çubuk tarafından üretilen ikincil manyetik alan ve Eddy akımları (Carino,1997)

#### 2.4.2. Yer radarı yöntemi

Yer radarı yöntemi yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yansımaya özelliklerine göre çözüm üreten bir yöntemdir. Bu yöntemde verici ve alıcı antenler ve bir kayıt ünitesi bulunmaktadır. Verici anten yardımıyla sığ derinliklere yüksek frekanslı elektromanyetik (EM) dalga gönderilerek bu dalganın herhangi bir anomali kaynağı veya ara yüzey sınırından yansımaya ve saçılmaya uğrayıp uğramadığı gözlenir. Kaynaktan yansıyan ve saçılan EM dalgaları yüzeydeki alıcı anten yardımıyla kaydedilir. Elektromanyetik dalgaların gidiş geliş zamanlarının fonksiyonu olarak dalgalar kaydedildiğinde çok sayıda radar izleri elde edilmiş olur. Gömülü kaynakların fiziksel özelliklerine bağlı olarak Elektromanyetik dalgaların yansımaya özellikleri değişmektedir. Tablo 2.5' te çeşitli malzemelerin 1 GHz' lik elektromanyetik dalgaya karşı dielektrik sabitinin sayısal büyüklükleri yer almaktadır. Yöntem kolay uygulanabilir ve çok hızlı olması bakımından avantajlara sahiptir. Ayrıca cm düzeyinde yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesinde de etkilidir. Bu açılarından yapı jeofiziği bağlamında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

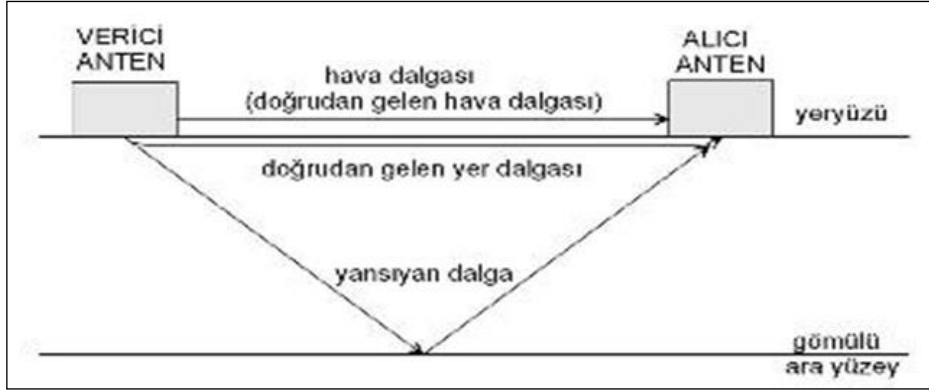
Tablo 2.5. Farklı malzemelerin 1 GHz' lik elektromanyetik dalga etkisindeki dielektrik sabitleri

Malzeme	Dielektrik sabiti
Hava	1
Kuru Duvar	3-5
Nemli Duvar	5-26
Kuru Beton	5-8
Nemli Beton	8-16
Asfalt	3-5
Granit	5-7
Bazalt	8
PVC	3
Su	81
Buz	4-8

Yer radarı yöntemi yapı denetim sektöründe de kullanılmaktadır. Yapı denetimi deyince ilk akla gelen bina donatı sayısının, demir çaplarının ve donatı sıklıklarının belirlenmesi, demir donatılarda hasar görmüş yerlerin belirlenmesi, donatı kesmeden karot alınacak yerlerin, kırık ve çatlakların belirlenmesinde etkilidir. Yer radarı yöntemi köprü, baraj ve tünellerin onarım ve denetimlerinde de uygulanabildiği gibi tarihi yapıların restorasyonu gibi konularda da kullanılabilir. Bu türden yapıların görünmeyen kırık ve çatlak sistemlerinin araştırılmasından başka onarımda kullanılacak olan aynı kaya tipinin belirlenmesi açısından petrografik özelliklerinde ortaya konması gerekir.

Bu yöntemde veri toplama uygun frekansta seçilen anten düzeneğine göre, ölçüm profilleri üzerinde belli aralıklarla yapılır. Ölçü tekniğinde ya alıcı ve verici antenler ayrı ayrı olmak üzere ya da ikisinin de bir arada bulunduğu tek bir anten düzeneği kullanılmaktadır (Şekil 2.10). Elektromanyetik dalga yapı içerisinde gönderildiğinde farklı dielektrik sabitine sahip iki ortamı ayıran bir ara yüzey sınırından yansıdığından bu türden sıra dışı veriler kaydedilir. Bu sebeple aslında yöntem, sismik yansıma tekniğine benzemektedir ancak kaynak akustik değil EM enerjidir, akustik empedans yerine dielektrik sabitleri ölçülmektedir. Kısaca yöntem, yüksek frekanstaki EM dalgaların yer ya da yapı içinde yayılımı sırasında farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerle karşılaştıklarında, enerjilerinin bir kısmının geriye yansıyıp yüzeydeki alıcı antenden kaydedilmesi ve bu seyahat boyunca geçen sürenin ölçülmesi ilkesine dayanır. Yöntemin araştırma derinliği çalışma amacına

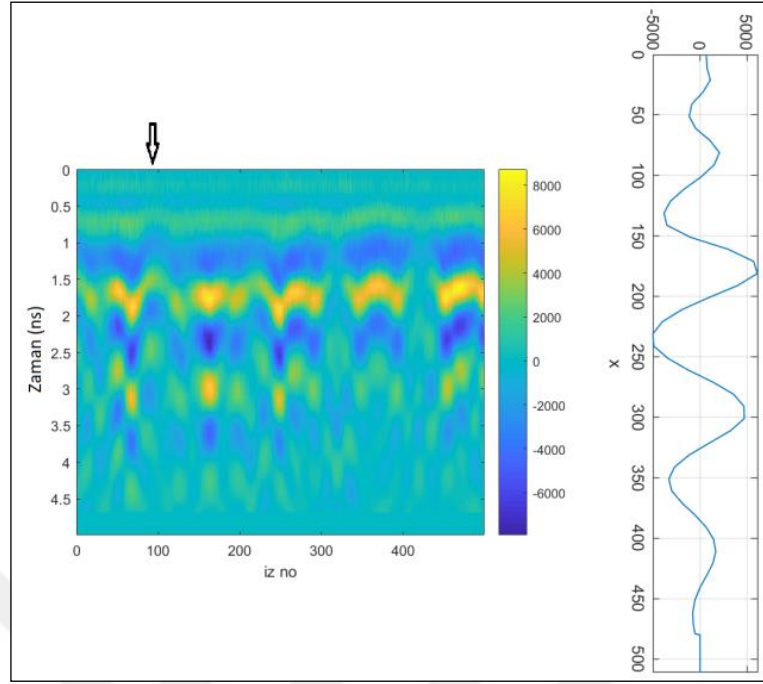
uygun seçilen farklı frekanslı antenlere göre değişmektedir. Antenin merkez frekansı arttıkça araştırma derinliği azalır, aksi durumda artar.



Şekil 2. 10. Yer radarı yönteminde EM dalganın yansıma prensibi

Her bir ölçüm noktasında bir radar izi elde edilir. Ölçüm aralıkları 0.005-1.0m arasında değişebilmektedir. Bir profil boyunca tüm ölçüm noktalarındaki radar izleri profil üzerindeki konumları ile sıralandıklarında yatay eksen (x doğrultusu) profil başlangıç noktasına göre uzaklık, düşey eksen nanosaniye (ns) mertebesinde kayıt zamanı olan iki boyutlu radar kesitini oluştururlar. Bu kesit daha çok "radargram" veya "radagram" adı ile tanımlanır. Radargram veya radar kesitlerinin çok sayıda radar izinden meydana gelmektedir. Kesitlerin renklendirilmesi ve faydalı sinyallerin genliklerinin yükseltilmesi gibi işlemler kesitlerin yorumunu kolaylaştırabilir. Şekil 2.11' de örnek bir radar kesiti (sol) ve bu kesitten çıkarılmış (alınmış) (sağ) "iz" görülmektedir.





Şekil 2. 11. Örnek Radargram veya Radar kesiti ve kesit içinden çıkarılan radar izi

Bir yer radarı izi, farklı elektromanyetik özelliklere sahip malzemeler arasındaki ara yüzey sınırlarından yansıtılan elektromanyetik enerjinin genlik kayıdır. Böyle bir kayıt gidiş geliş zamanının bir fonksiyonu olarak elde edilir. gidiş geliş zamanlarını derinliğe dönüştürmek için elektromanyetik dalganın yayılma hızını kestirmek gereklidir. Malzeme içinden geçen dalganın yayılım hızı Balanis (1989) tarafından;

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

olarak verilmiştir. Burada  $c$ , boşlukta yayılma hızı ( $3 \times 10^8$  m/s),  $V_m$ , malzeme içerisindeki yayılma hızı ve  $\epsilon_r$ , rölatif geçirgenliktir. Tablo 2.6' da çeşitli malzemelerin rölatif geçirgenlikleri ve radar yayılım hızları görülmektedir.

Tablo 2.6. Çeşitli materyallerin yaklaşık elektromanyetik özellikleri

Materyal	Bağıl Geçirgenlik,K	Puls Hızları, m/Ns	İletkenlik, mS/m
Hava	1	0,3	0
Saf su	81	0,033	0,10-30
Deniz suyu	70	0,033	400
Kum(kuru)	4-6	0,15-0,12	0,0001-1
Kum(doymuş)	25	0,055	0,1-1
Silt(doymuş)	10	0,095	1-10
Kil(doymuş)	8-12	0,106-0,087	100-1000
Saf buz	4	0,15	0,1-10
Granit	5	0,134	0,000010,000001
Kireçtaşı(kuru)	7-9	0,113-0,1	
Dolomit	6-8	0,122-0,106	
Kuvars	4	0,15	
Kömür	4-5	0,15-0,134	
Beton	5-10	0,134-0,095	
Asfalt	3-5	0,173-0,134	
PVC	3	0,173	

Eğer rölatif geçirgenlik bilinmiyorsa derinliği bilinen bir yansıtıcıdan hareketle hız,

$$V_m = \frac{2D}{t} \quad (2.2)$$

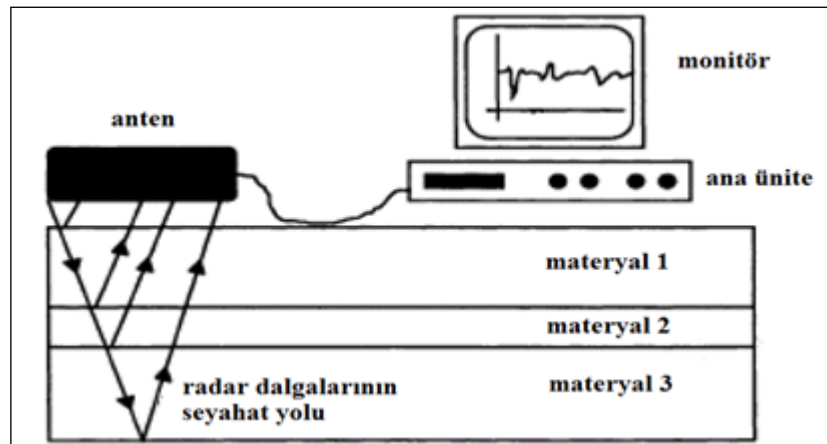
eşitliğinden hesaplanabilir. Burada D, yansıtıcı sınırın ortalama derinliği ve t ise EM dalganın gidiş geliş seyahat zamanıdır.

EM dalganın nüfus derinliği, elektrik iletkenliği, dielektrik sabiti veya manyetik özelliklere bağlı olarak radar sinyalinin sönüme uğramasıyla belirlenir. İletkenlik temelde malzemenin su içeriğine ve çözelti içindeki serbest iyonların konsantrasyonuna bağlıdır. EM dalganın sönüme uğraması veya soğurulması derindeki heterojenliğe bağlı olarak, enerjinin istenmeyen durumlarda saçılmalarıyla da ilişkili olabilir. Eğer heterojenliğin büyüklüğü EM enerjinin dalga boyuna göre yüksekse bu durumda saçılmalar önemli olabilir (Olhoeft, 1984).

Yer radarı sinyallerine ortamın iletkenliği, yoğunluğu ve içerdiği su miktarı belirler (Griffin, 2002; Jol, 2003). İletkenliğin yüksek olduğu ortamlarda elektromanyetik dalgaların enerjisi soğurulmaya uğrar. Bu durumda yöntemin etkin derinliği azalır. Elektromanyetik dalgaların yayılma hızı ile ortamın dielektrik sabiti arasında ters orantı bulunmaktadır. Bu özellik, anomali kaynaklarının görüntülenmesinde önemlidir. Çünkü, elektromanyetik dalgaların hızı dielektrik sabitinin aniden azaldığı ortamlarda artış göstermektedir. Böylece kaynak görüntülenmesine yönelik bilgi elde edilmiş olmaktadır. Dielektrik sabitin arttığı ortamlarda dalga hızı azalmakta ve enerji kaybına uğramaktadır.

Bir yer radarı kayıt düzeneğinde daha önce bahsedildiği gibi verici alıcı antenler kayıt ünitesi bulunmaktadır. Ölçülen büyüklükler, zamana bağlı olarak elde edilen ve alıcı antene ulaşan elektromanyetik dalga genlikleridir. Bunlar radar izleridir. Kontrol ünitesiyle gönderilecek sinyalin frekansı ve şekli belirlenmektedir. Kayıt ünitesiyle ise alıcı antenden gelen sinyaller kaydedilmektedir. Bir monitör yardımıyla bu sinyallerin grafiksel olarak görüntülenmesi sağlanmaktadır.

Yer radarı uygulamalarında kullanılan antenlerin merkez frekansları 10-3000 MHz. arasında değişir. Bu antenler tipik olarak 2-3 oktav bant genişliğinde sinyaller üretir. Genel olarak düşük frekanslı antenlerde penetrasyon derinliği artarken, yüksek frekanslı antenlerde daha sığ derinliklerden bilgi alınır.



Şekil 2. 12. Yer radarı yönteminde ölçüm tekniğinde anten, araştırılan yapı üzerinde ölçü profili boyunca kaydırılarak farklı lokasyonlardan tabakalardan yansıyan dalgaları alıcı kaydeder (Kurt, 2009)

### 3. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNÜN KURAMSAL İLKELERİ

Temelde dalgacık dönüşümüyle bir sinyal farklı ölçeklerde farklı frekans içeriklerine ayrılarak analiz edilmektedir. Düşük frekanslar (büyük dalga boyları) yüksek ölçeklerde analiz edilirken, yüksek frekanslar (küçük dalga boyları) düşük ölçekler kullanılarak analiz edilir. Böylece sinyalin yerel ve bölgesel özelliklerinin tümü belirlenerek yorumlanabilir. Dalgacık dönüşümünde “dalgacıklar” olarak tanımlanan temel fonksiyonlar, tek bir fonksiyon olarak ana dalgacığın (mother wavelet) ölçekleme (scaling) ve öteleme (translation) teriminden türetilir (Daubechies, 1992).

Mallat (1989) Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT) veya çok çözünürlüklü analiz olarak bilinen etkin bir algoritma geliştirmiştir. Bu dönüşümle verinin farklı ölçeklerdeki frekans içerikleri belirlenebilir. Her bir dalgacık ( $\psi_{a,b}$ ), ana dalgacığın ( $\psi$ ) ölçekleme (a) ve ötelemelerine (b) göre,

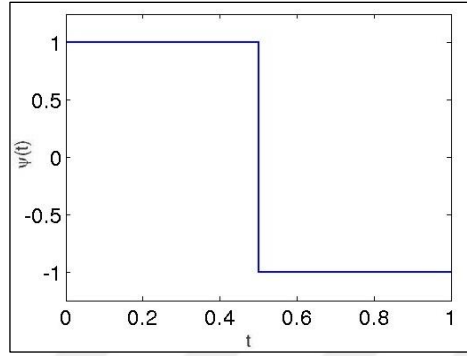
$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (3.1)$$

eşitliği ile tanımlanır.  $\psi_{a,b}$  dalgacık seti orthogonal temelde bir yuvarlatma operatörü gibi davranır. Dalgacık dönüşümü, (3.1) bağıntısındaki dalgacıkları tanımlamak için kullanılır: Buna göre bir  $f(x)$  fonksiyonunun dalgacık dönüşümü,

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (3.2)$$

olarak verilir (Mallat, 1989). Bu bağıntı dalgacık setleri yardımıyla  $f(x)$  fonksiyonunun dalgacık ayrışımı olarak bilinir. Böylece bir ana dalgacık seçimiyle birlikte  $\psi_{a,b}$  olarak verilen tüm dalgacık katsayılarına göre  $f(x)$  fonksiyonunun dalgacık ayrışımı yapılmış olur. Dalgacık dönüşümünün en önemli özelliği değişken çözünürlükte olmasıdır. Bu nedenle fonksiyonu analiz eden ana dalgacığın seçimi önemli olmaktadır. Dalgacık ailesi olarak tanımlanan grup içerisinde çok sayıda ana dalgacık bulunmaktadır. Bunlar Daubechies dalgacıkları, Biortogonal dalgacıklar, Coiflet dalgacıkları, Symlet dalgacıkları, Morlet dalgacığı, Meksika şapkası dalgacığı, Meyer dalgacığı ve Haar dalgacığıdır. Şekil 3.1’ de görülen haar dalgacığı dalgacık ailesi içerisinde bilinen en eski ve basit ortonormal (dik) dalgacık türüdür.

Basamak fonksiyonuna benzer. Simetrik özelliğindedir. Analiz ettiği sinyali ortogonal (dik) bileşenlerine ayırır. Daubechies dalgacık grubunun birinci tür dalgacığına (db1) benzer. Haar dalgacığının genişliği ve genliği 1 birim olarak alınmaktadır. Fonksiyon analizinde (ayrışım işleminde) haar dalgacığının farklı ölçek ve konumlarına göre çözüm yapılmaktadır.

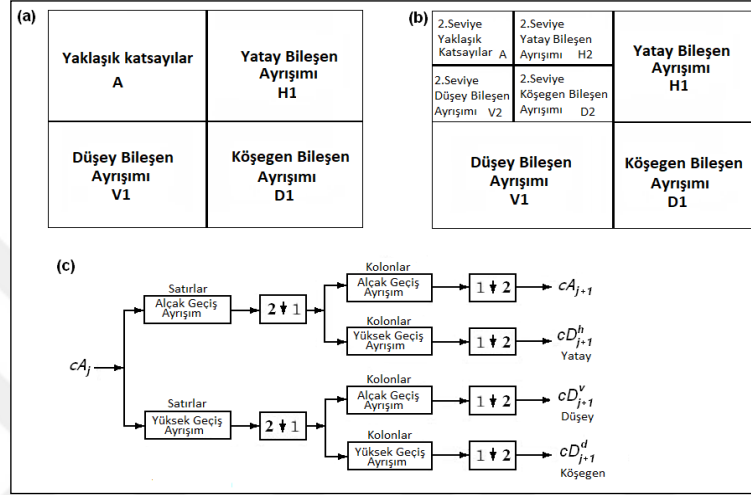


Şekil 3. 1. Basamak fonksiyonu biçiminde Haar dalgacığı

Dalgacık dönüşümüyle aynı zamanda  $f(x)$  fonksiyonun dalgacık ortamındaki karşılığı  $w(a, b)$  olmaktadır. Bu bağıntıda  $a$  ve  $b$  ayrık değerler olarak tanımlanırsa, bu dönüşüm ayrık dalgacık dönüşümü olarak, aksi durumda sürekli dalgacık dönüşümü olarak adlandırılır. Burada  $a$  parametresinin büyük değerler alması durumunda veri sıkıştırılır veya küçük frekanslara ayrılır. Küçük değerler alması durumunda veri yüksek frekanslara ayrıştırılır.  $b$  öteleme parametresi ise dalgacığın farklı konumlara ötelenmesini sağlar.

İki boyutlu DWT, iki boyutlu verinin art arda yatay (sıra) ve düşey (sütun) hatları boyunca bir boyutlu uygulanarak gerçekleştirilir. Bununla birlikte bir boyutlu dalgacık dönüşümü belli bir seviyede gerçekleştirilir. 1. seviye dalgacık dönüşümünde giriş verisi 4 bileşene bölünebilir. Bunlar; yaklaşık katsayılar(A), yatay bileşen katsayıları(H), düşey bileşen katsayıları(V) ve köşegen bileşen katsayıları(D) şeklindedir. Bu durumda giriş verisi her bir bileşenin veri sayısı, giriş verisinin yarısı kadar olmaktadır. H ve D katsayıları giriş verisi içerisinde yer alan detay bilgileri içerir. 2. seviye dalgacık dönüşümü uygulandığında birinci seviyenin yaklaşık parçası (A) Şekil 3.1b' de görüldüğü gibi yeniden 4 bileşene ayrılır. Bu durumda 2. seviye H ve D bileşenleri elde edilmiş olur. Bu seviyede bileşenlerin veri sayısı orijinal verinin 1/4 i oranında azalmış olacaktır. Bu işlem istenilen yüksek seviyelere kadar sürdürülebilir. Şekil 3.1c' de  $J+1$  seviyesine kadar şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre iki boyutlu DWT dönüşümü  $J+1$  seviyesine kadar

yürütülebilir. J. seviyede elde edilen yaklaşık katsayıların dalgacık ayrışimleri. Bir matris olarak yaklaşık katsayıların satırlarına alçak ve yüksek geçiş ayrışimleri ayrı ayrı uygulanır. Satırların alçak geçiş süzgeç verilerinin kolonlarına ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiş süzgeçleme yapılır. Aynı şekilde yüksek geçiş uygulanan satırlardan elde edilen kolonlarada ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiş ayrışimleri yapılarak verinin içinde yer alan H ve D bileşenleri görüntülenir.



Şekil 3. 2. İki boyutlu DWT işlem aşamalarının şematik gösterimi. a) Giriş verisinin ayrık dalgacık dönüşümünün 1. Seviye ayrışımında verinin H1, V1 ve D1 seviyelerinde ayrıştırılması ve yaklaşık katsayılar. b) Yaklaşık katsayıların ayrık dalgacık dönüşümüyle 2. S Seviye bileşen ayrışımalarının konumları. c) Ayrık dalgacık dönüşümünün J. seviyeden J+1 seviyesine kadar olan işlem aşamaları

#### 4. YER RADARI LABORATUVAR UYGULAMASI VE DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ANALİZLERİ

Bu çalışmada kullanılan yer radarı cihazı Radsys firmasına ait Zond-e cihazıdır. Bu cihazla model beton blok ve yapı altı hasır donatının konumlarının belirlenmesi amacıyla ölçüler alınmıştır. Ölçü alımında aynı firmaya ait 2GHz merkez frekansa sahip ve korumalı anten kullanılmıştır. Ölçü alımında ve verilerin işlenmesinde Prism 2.59 programı kullanılmıştır.



Şekil 4. 1. Yer radarı uygulamalarında kullanılan Zond-e cihazı ve 2 GHz merkez frekanslı ve korumalı anteni

Şekil 4.2' de görülen model beton Kaplanvural vd.(2018) tarafından hazırlanmıştır. Beton bloğun boyutları 45x45x30 cm. dir. 10 mm çapındaki demir çubuk betonun yüzeyinden 10 cm derinlikte yer almaktadır. Demir çubuğun çapıyla ilgili özel bir seçim olmamakla birlikte inşaat mühendisliği uygulamalarında standart olarak 10 mm çapı dikkate alınmaktadır.

Demir çubuğun derinliği, doğrudan gelen dalgalar ve saçılmalardan kaçınmak

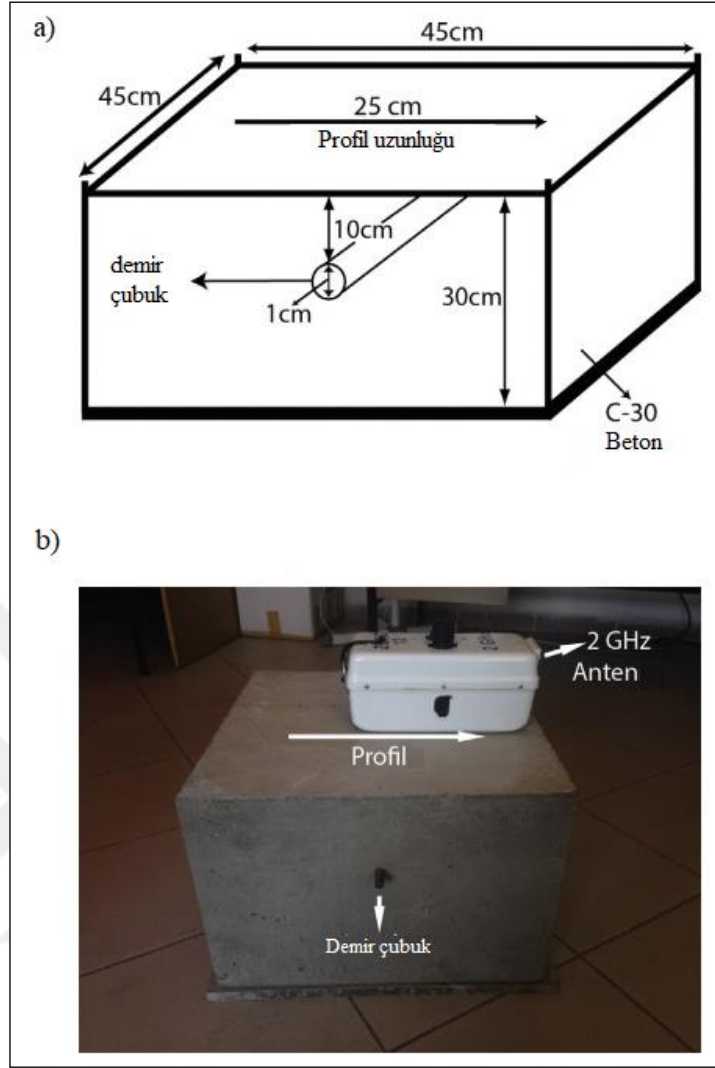
amacıyla ve istenen yansımaları alacak şekilde belirlenmiştir. Ölçüm profili demir çubuğa dik olarak alınmıştır. Beton tasarlanırken su çimento oranı 0,48 olarak alınmıştır (Kaplanvural vd.,2018). Beton blok C-30 standartlarına göre, tablo 4.1' de verilen çeşitli karışımlardan elde edilmiştir. Oda sıcaklığında 18-22 C arasında tutulmuştur (İ. Kaplanvural, 2018).

Blok üzerinde yer radarı verileri toplanırken verici ve alıcı üzerindeki antenler arasındaki uzaklık 7 cm olarak alınmıştır. Profil uzunluğu demir çubuktan kaynaklanan EM yansımalarının gözlenebilmesi için 25 cm olarak seçilmiştir. Ölçü profilinde 26 adet yer radarı izi elde edilmiştir. Tek bir yer radarı izi 512 adet örnek veriden oluşmaktadır. Ölçümler sırasında çözünürlüğü arttırmak için her bir iz 512 kez üst üste yığılarak toplanmıştır (Kaplanvural vd.,2018). Ölçü profilinden alınan radargram kesitinde çok sığ yansımaları gidermek amacıyla 'background' etkileri gidermiştir. Daha sonra veriye alçak geçişli süzgeçleme ve kazanç işlemleri uygulanmıştır.

Tablo.4.1. C-30 standardına göre model beton blok yapımında kullanılan malzeme oranları

Malzeme	% içerik
Chips I (5-12 mm)	20,2151
Chips II (12-12 mm)	23,4409
Kum	10,7527
Kaya tozu	23,0108
Su	7,3118
Portland çimentosu	15,0538
Admixture	0,1957



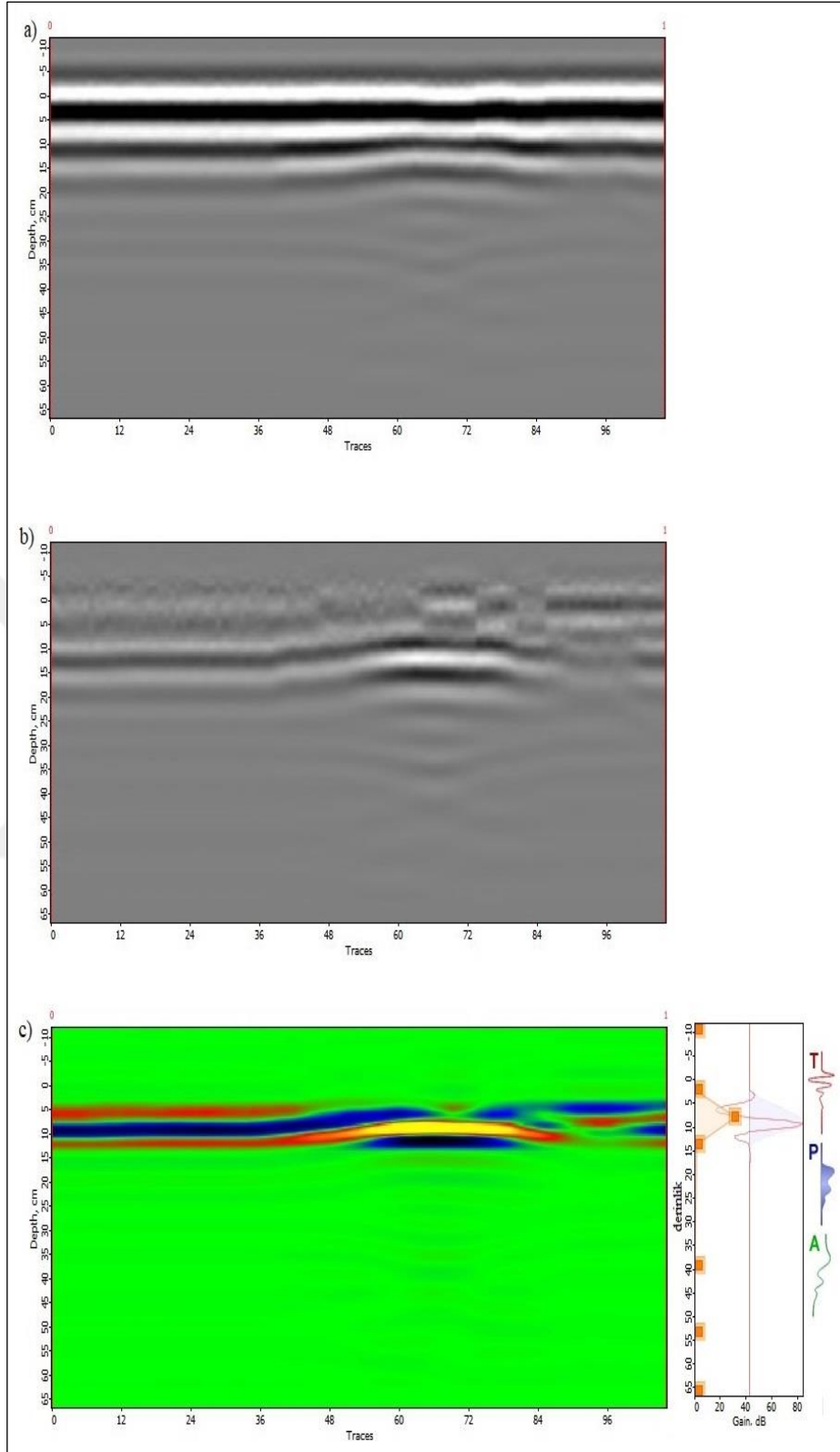


Şekil 4. 2. Yer radarı laboratuvar uygulamalarında kullanılan C-30 standardında beton blok model. a) Blok boyutları ve demir çubuğun konumu ve parametreleri. b) Beton üzerinde yer radarı uygulamasında kullanılan anten ve ölçü profili (İ. Kaplanvural, 2018)

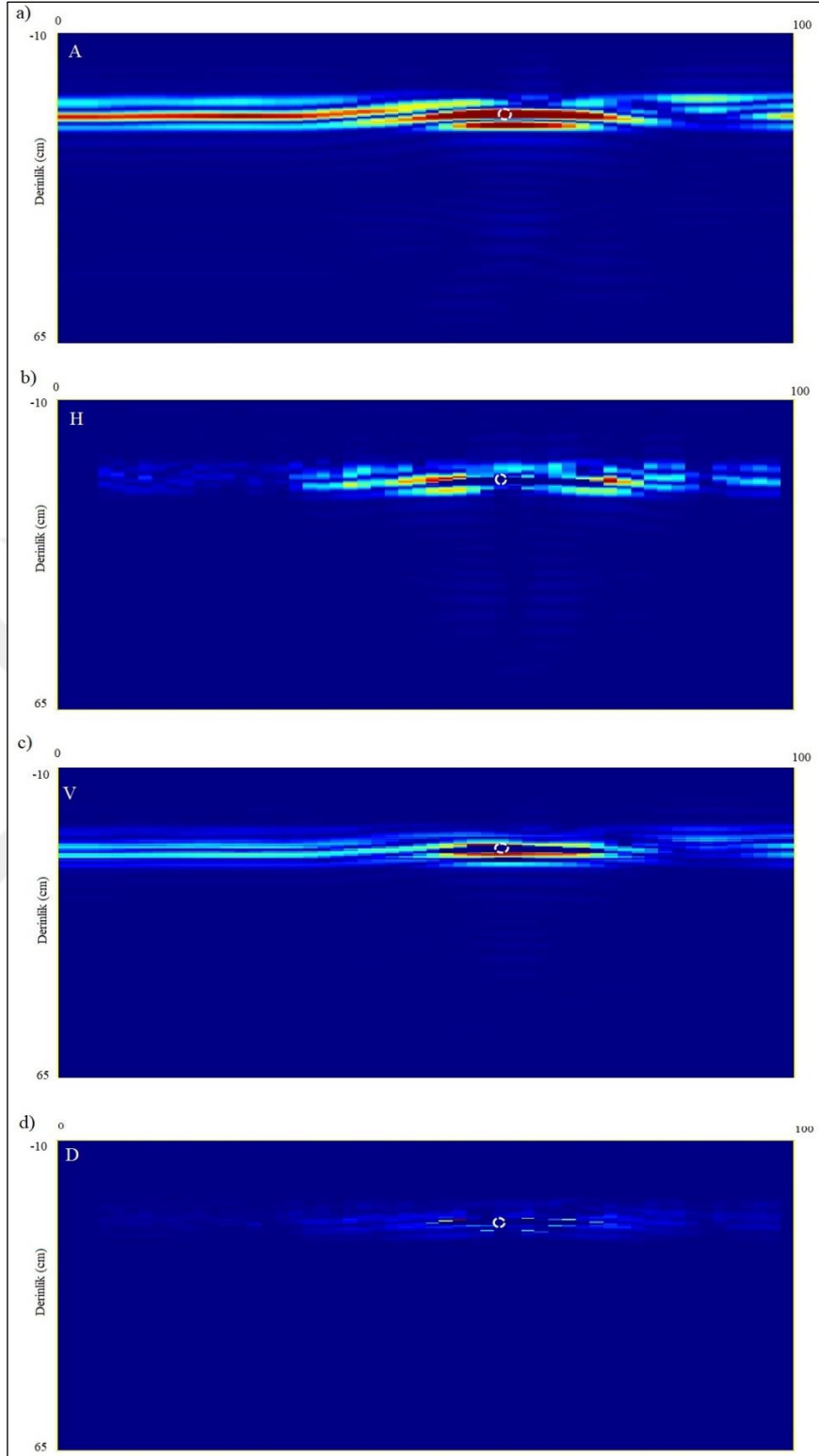
Şekil 4.3'te model beton blok üzerinde tek profilden alınan radar kesiti ve işlem aşamaları görülmektedir. Şekil 4.3a' da ham veri olarak elde edilen radar kesitinde demir çubuğun derindeki konumunu yansıtan hiperbol zayıfta olsa gözlenmektedir. Bununla birlikte demir çubuğun üzerindeki ortamın güçlü yansımalarından 'background' etkisi ortaya çıkmaktadır. Prism2 yazılımı kullanılarak söz konusu etki kesit üzerinden kaldırıldıktan sonra hiperbol' ün görünürlüğü daha fazla yükseltilmiştir. Bununla birlikte demir çubuğun üzerinde ve altındaki küçük frekanslı yansımalar gözleendiğinden bunların alçak geçişli süzgeçleme işlemiyle veriden atılması sağlanmıştır. Bu amaçla pencere boyu 10 olan bir süzgeç operatörü tüm kesit boyunca uygulanmıştır. Şekil 4.3c' de alçak geçişli süzgeçlenen veriye aynı

zamanda faydalı sinyali yığacak şekilde ve hala veri içerisinde kalan istenmeyen bileşenleri baskılamak amacıyla hiperbol'ün olduğu bölgeye yaklaşık 40 dB lik kazanç uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda demir çubuğun anomalisini yansıtacak şekilde hiperbol eğrisi belirgin hale getirilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte görüntülemeyi ve dolayısıyla yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla hiperbol'ün zirvesinin net bir şekilde ortaya çıkarılması, demir çubuğun derindeki konumunun belirlenmesi açısından yararlı olacaktır. Bu amaçla tez çalışmasının konusu olarak şekil 4.3c' de ki işlenmiş verinin tüm izlere ait veri seti çıkarılarak iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümüne tabii tutulmuştur.



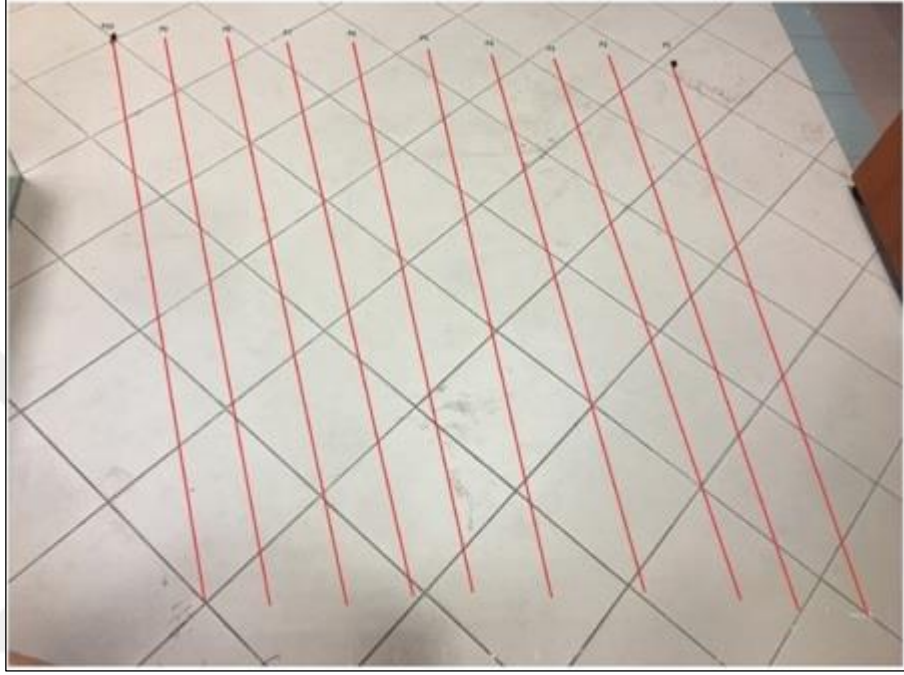


Şekil 4. 3. Model beton blok üzerinde alınan radargram kesiti ve işlenmesi. a) Ham veri. b) Background etkisi giderilmiş veri. c) Alçak geçişli süzgeçlenen ve kazanç verilen kesit



Şekil 4. 4. Şekil 4.3c' de ki işlenmiş radar kesitinin 1. seviye ayrık dalgacık dönüşüm sonuçları. a) Yaklaşık katsayıların (A) görünümü. b) Yatay (H) bileşen katsayılarının görünümü. c) Düşey bileşen (V) katsayılarının görünümü. d) Köşegen (D) bileşen katsayıları

Ölçüler uygulamalı jeofizik laboratuvarı içinde hasır beton üzerinde 2x2m 'lik alanda birbirlerine paralel profiller şeklinde alınmıştır. Profil aralıkları 10 cm'dir. Böylece yapı jeofiziği bağlamında hasır beton içindeki donatıların yerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Radar kesiti içerisinde yer alan her bir ölçü verisi için 512 olarak belirlenmiştir. Kayıt süresi ise 5 ns olarak seçilmiştir.



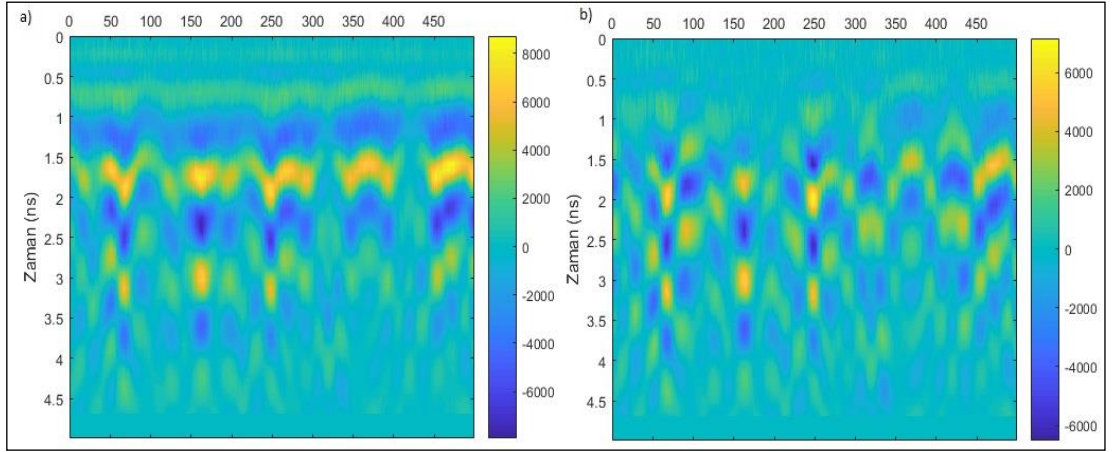
Şekil 4. 5. Bir yapı jeofiziği uygulaması olarak yer radarı yönteminin KOÜ uygulamalı jeofizik laboratuvarının zemininde ölçü alımı için değerlendirilecek olan ölçü profillerinin doğrultuları

Bilindiği gibi yapı içerisinde demir donatılar önemli yapı elemanlarıdır. Bu yapı elemanlarının görüntülenmesi derinliklerinin ve dağılımlarının ortaya çıkarılması özellikle yapı denetim aşamasında önemli olmaktadır. Son yıllarda bu türden yapı elemanlarının görüntülenmesi yapı jeofiziği bağlamında yer radarı yöntemiyle etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Böylece donatıların istenen şartlara uygun bir şekilde yapıya yapılmadığı radar kesitleri içerisinde gözlenebilir. Şekil 4.5' te görüldüğü gibi yöntemin etkinliği seramik kaplı bir zemin üzerinde çeşitli profiller seçilerek, her bir profilin radar kesitlerinde bu türden donatıların konum ve derinliklerinin ne ölçüde başarıyla görüntülenebileceği araştırılmıştır. Şekil 4.6a' da görülen radar kesitinde sıg derinliklerde sıva ve yalıtım malzemesinden kaynaklanan tabakalı bir görüntü elde edilmiştir. Bu tür görüntüler tüm profillerde (Şekil 4.8a, Şekil 4.10a, Şekil 4.12a, Şekil 4.14a, Şekil 4.16a, Şekil 4.18a, Şekil 4.20a, Şekil 4.22a ve Şekil 4.24a) gözlenmekte aynı zamanda donatıların yerlerine yönelik olarak hiperbollerin genliğine olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda bu etkiyi tüm radar kesiti

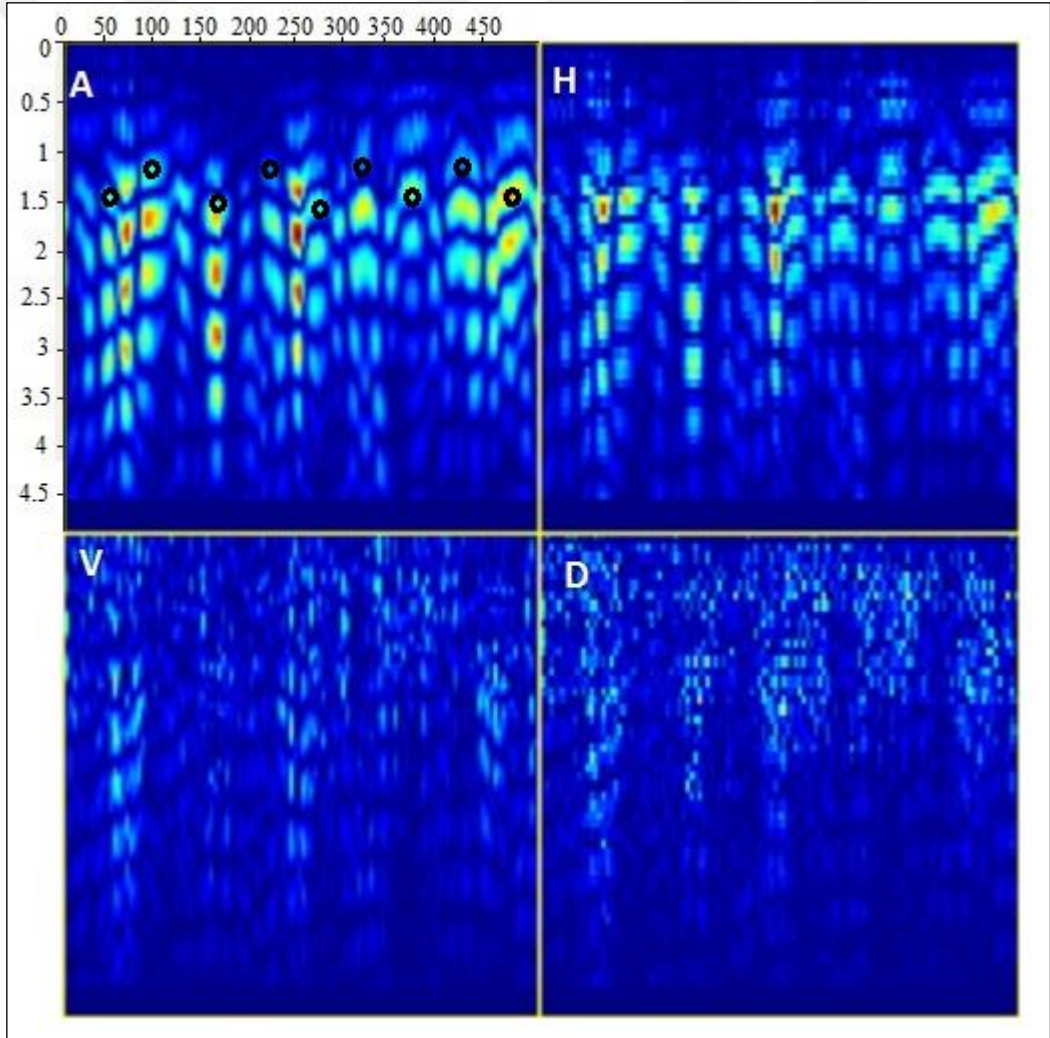
üzerinden kaldırmak için Prism2 programı kullanılarak çok sığ ortamın derinlik etkisi giderilmiştir (Background removal). Tüm radar kesitleri üzerinde yapılan veri işlem tekniğiyle birlikte hiperbollerin daha belirgin olması amaçlanmıştır. Bu şekilde elde edilen tüm profillerin radar kesitlerinde (Şekil 4.8b, Şekil 4.10b, Şekil 4.12b, Şekil 4.14b, Şekil 4.16b, Şekil 4.18b, Şekil 4.20b, Şekil 4.22b ve Şekil 4.24b) görece olarak bu amaca ulaşıldığı söylenebilir. Özellikle çok sayıda hiperbollerin elde edilmiş olması donatının geometrik yapısının hasır biçiminde ve sıkça örüldüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte örüntünün sığ ve birbirine yakın olarak yapılmış olması radar kesitlerinin yorumunda zorluklar ortaya çıkartmıştır. Yöntemin dayandığı fiziksel parametreler; bağıl dielektrik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik ve bağıl manyetik geçirgenlik olduğundan yapı içerisinde bu fiziksel parametrelerin dağılımına bağlı olarak nispeten karmaşık radar kesitleri ile karşılaşmıştır. Bu nedenle donatıların geometrik yapısının daha ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılması ve yorumun kolaylaştırılabilmesi için iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümleri uygulanmıştır. Literatürde pek rastlanmayan bu türden veri işleme tekniğinin uygulanabilirliği tüm profiller üzerinde test edilmiştir.

Bölüm 2' de anlatıldığı üzere iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümünün amacı iki boyutlu veri içerisinde veriyi oluşturan yatay, düşey, köşegen bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerden bulunan ve 'yaklaşık katsayılar' olarak tanımlanan veri setinin ortaya çıkarılmasıdır. Böylece orijinal veri içerisinde var olan ancak gözlenemeyen tüm karakteristik bileşenlerin sayısal olarak elde edilmesi sağlanmaktadır. 'Background' etkisi giderilmiş tüm radar kesitlerine ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlem için ana dalgacık olarak 'Haar dalgacığı' (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.11, Şekil 4.13, Şekil 4.15, Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25' de tüm profillerin ayrı ayrı ayrık dalgacık dönüşüm görüntüleri çizilmiştir. İki boyutlu ayrık dalgacık dönüşüm işlemi Matlab yazılımının 'wavemenu toolbox' ortamında çözülmüştür. Yer radarı yapı jeofiziği anlamında çok sığ derinlikteki donatı üzerinde yapıldığından radar kesitlerinin çok yüksek frekanslı bileşenlere sahip olması doğaldır. Bu özellik tüm ayrıştırılmış dalgacık bileşenleri (H,V ve D) geçerli olmakla birlikte yaklaşık dalgacık katsayıları (A) yorumlanabilir özellikte detay bilgiler sunmaktadır. Bu özellik beton blok model üzerinde yapılan çalışmayla Şekil 4.4a' da görüldüğü gibi kaynak konumu A kesitinin maksimum bölgesi üzerinde yer almaktadır. Buradan hareketle tüm radar kesitlerinin zor gözlenebilen hiperbol zirveleri A dalgacık kesitlerinde yığılarak maksimum bölgeler olarak ortaya çıkarılmıştır. Kolayca izlenebilen ve maksimum bölgeler

olarak ortaya çıkan kesimlerde demir donatıların yerleri kestirilerek küçük daireler biçiminde kesitlere işlenmiştir (Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.11, Şekil 4.13, Şekil 4.15, Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25). Demir donatıların konumlarına dikkat edildiğinde çift sıra hasır biçiminde örüldüğü görülmektedir. Bununla birlikte A kesitleri içerisinde derinlere doğru maksimum bölgeler olmasına karşılık bunlar anomali kaynakları olarak yorumlanmamıştır. Bunun sebebi elektromanyetik dalga vektörünün doğrultusuyla ilişkili olarak polarizasyon etkisinin ortaya çıkmasıdır. Özellikle orijinal radar kesitlerinde derine doğru elektromanyetik dalgaların saçılmalar olmakta ve dalga difüzyonunda soğurulmalar gözlenmektedir. Bu türden kayıt bilgileri kaçınılmaz olarak yansımış olmaktadır. Gözlemsel yorumlamada bu özelliğe dikkat edilmelidir. Dalga saçılması, elektromanyetik dalga yayılımının doğrultusundaki değişim olarak tarif edilebilir. Bu durumda üzerinde çalışılan malzemenin heterojenliğine bağlı olarak elektromanyetik dalgada istenmeyen yansıma, kırılma ve difraksiyon gibi olaylar gerçekleşebilir. Tüm bu bilgilerden hareketle dalgacık dönüşümüyle elde edilen yeni veri setlerinin yorumunda orijinal ve işlenmiş radar kesitlerinin dikkatlice gözlenmesi önemlidir. Ayrık dalgacık dönüşümüyle elde edilen bileşenlerin (H, V ve D) yorumu yüksek frekanslı yığılmalar nedeniyle zor ve karmaşık olmaktadır. Tek bir demir çubuk üzerinde yapılan model çalışmasında her ne kadar H, V ve D bileşen kesitlerinde demir çubuğun konumuna yönelik bilgiler çıkarılmış olsa da, zemin üzerinde profiller boyunca yapılan bu çalışmada çok sayıda donatı örüntüsü için H, V ve D kesitlerinin yorumu yüksek frekanslı yığılmalar nedeniyle zorlaşmaktadır. Ölçüm profilleri içerisinde tüm A kesitleri demir donatının geometrisine yönelik tatmin edici sonuçlar vermiş olsa da özellikle 4-10 no' lu profillerin A kesitlerinde donatı örüntüsü daha belirgin bir şekilde ortaya çıkarılmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.11, Şekil 4.13, Şekil 4.15, Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25).

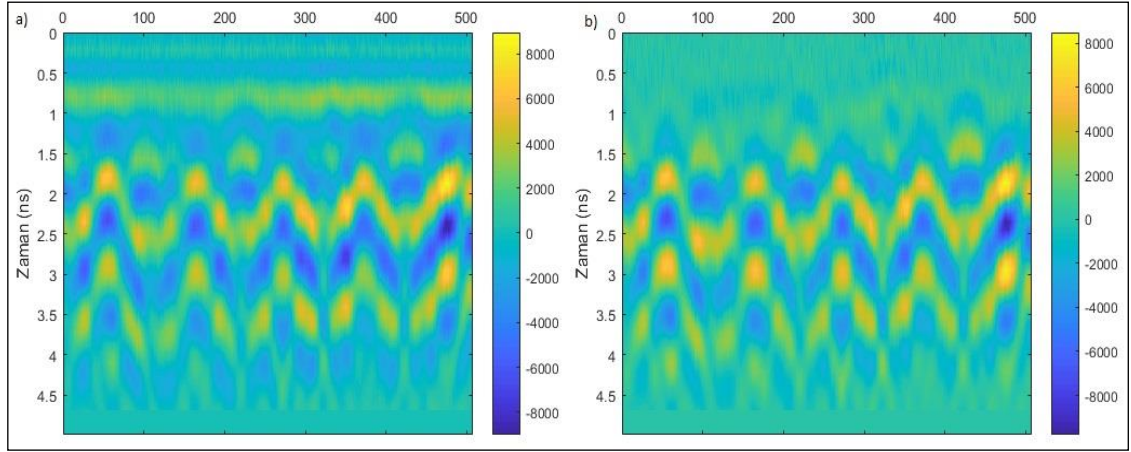


Şekil 4. 6. a) 1 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 1 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti

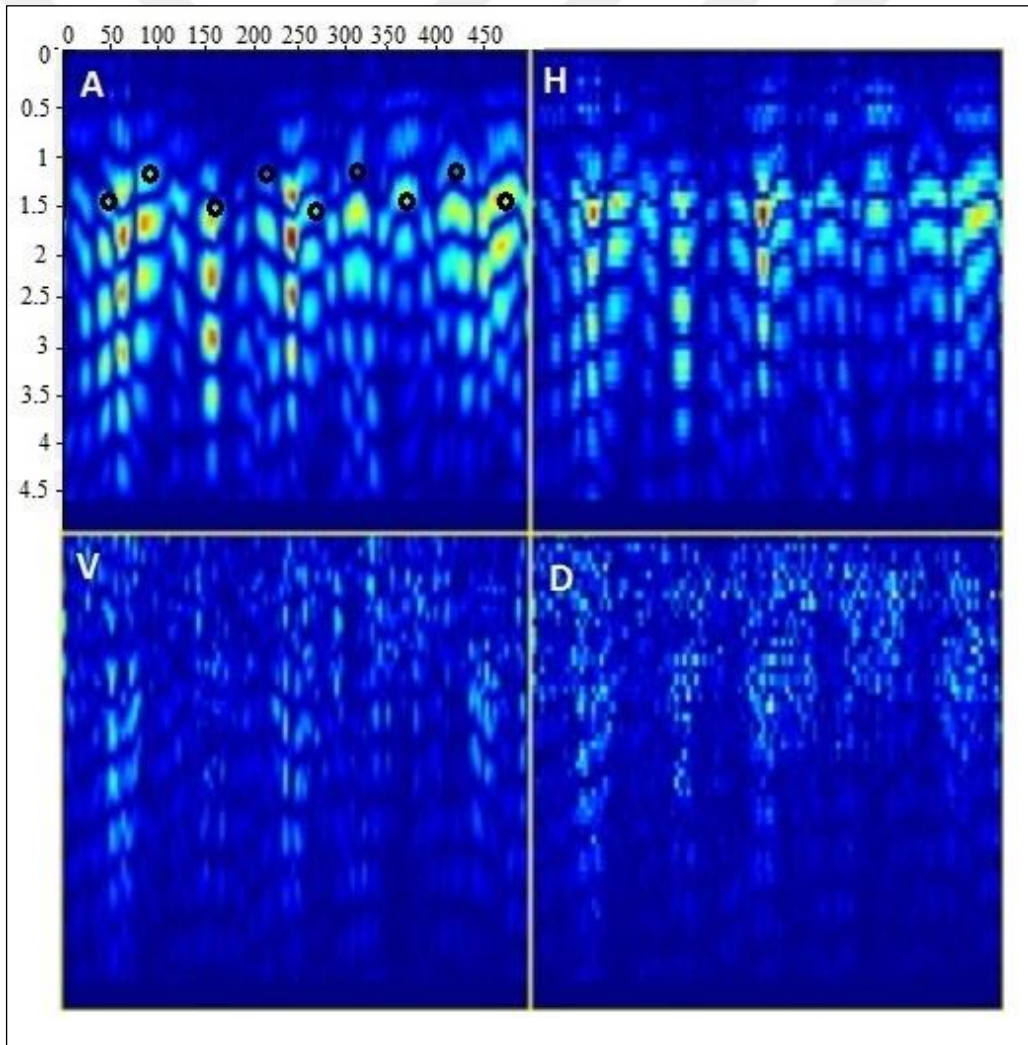


Şekil 4. 7. Şekil 4.6b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü

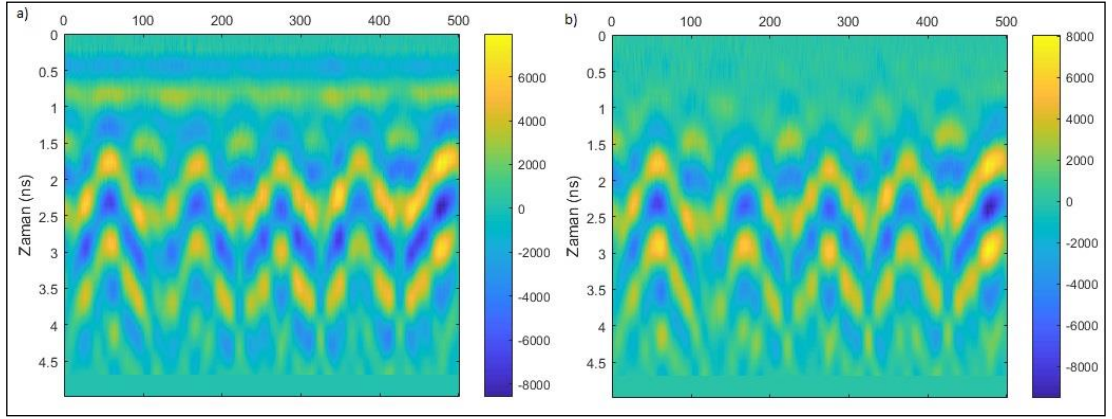




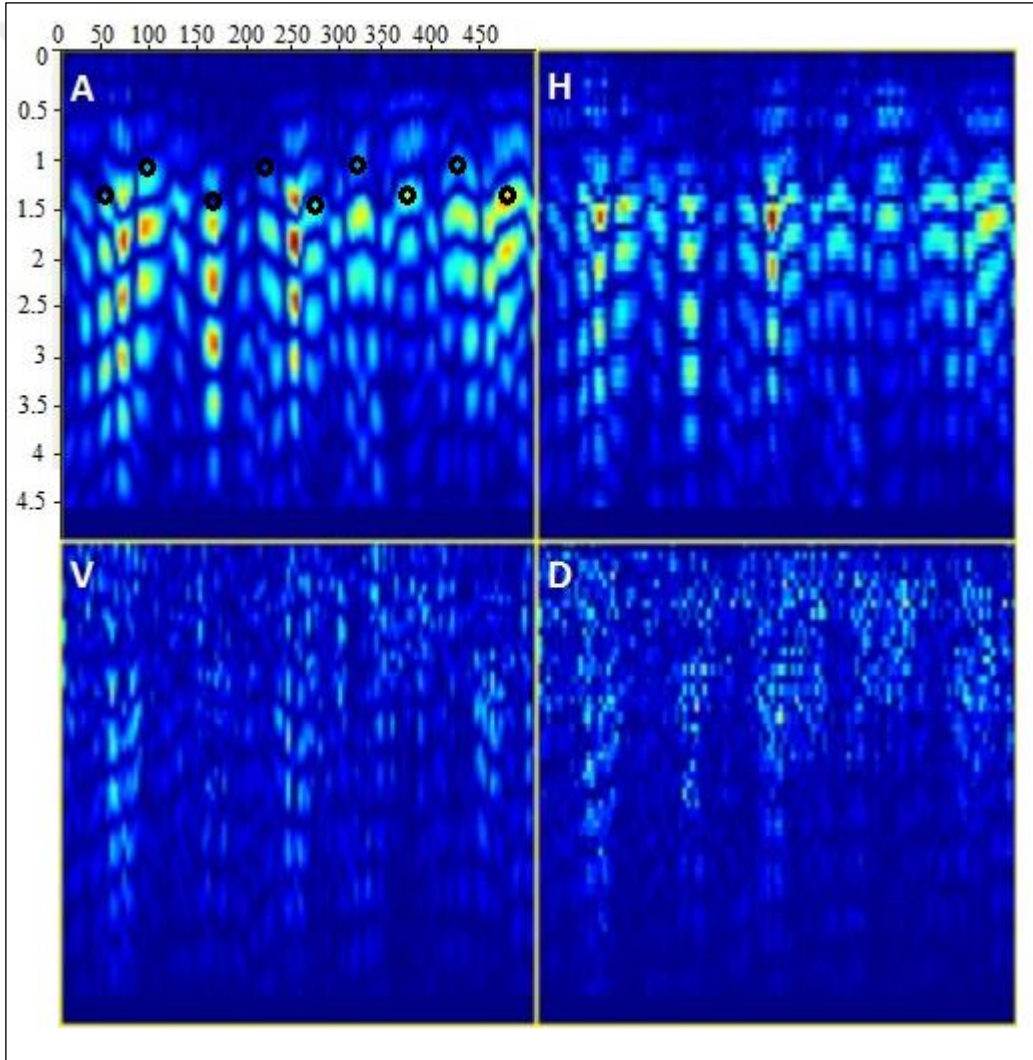
Şekil 4. 8. a) 2 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 2 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



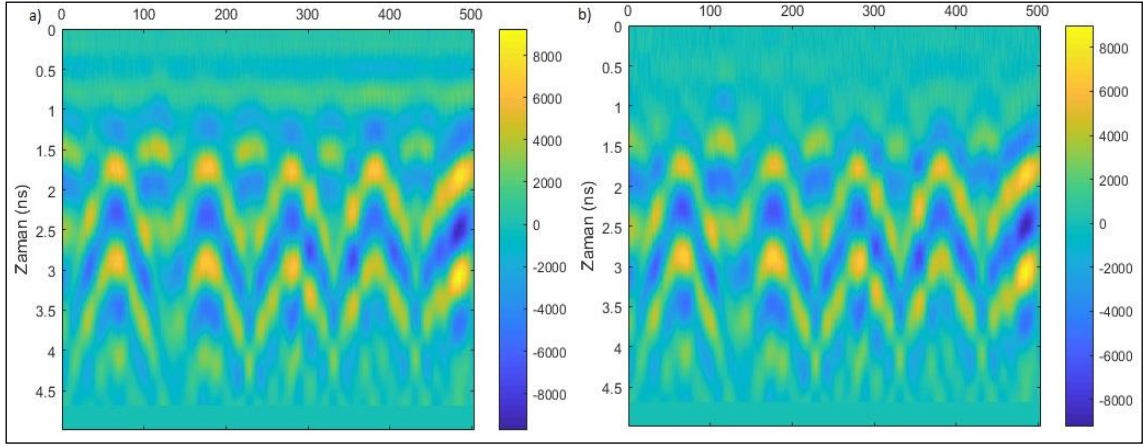
Şekil 4. 9. Şekil 4.8b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



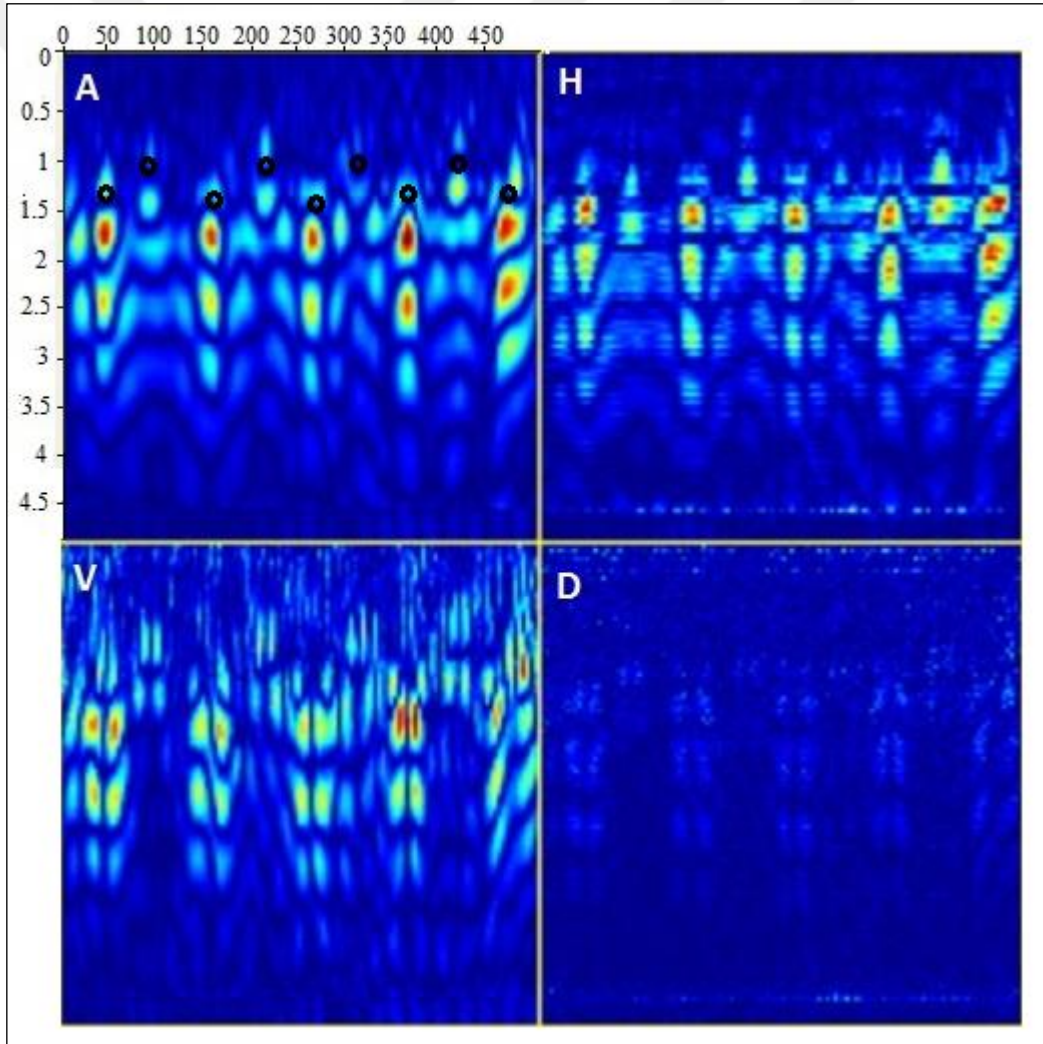
Şekil 4. 10. a) 3 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 3 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



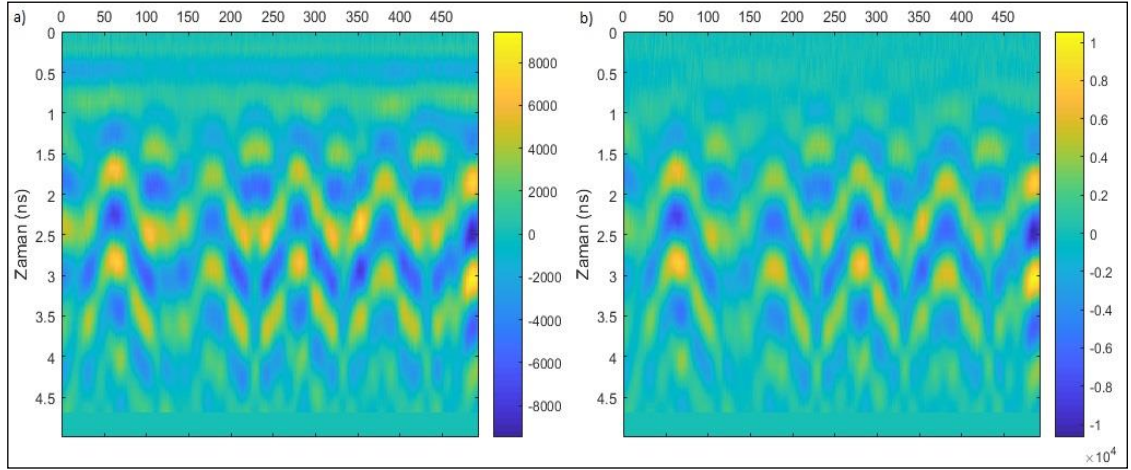
Şekil 4. 11. Şekil 4.10b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



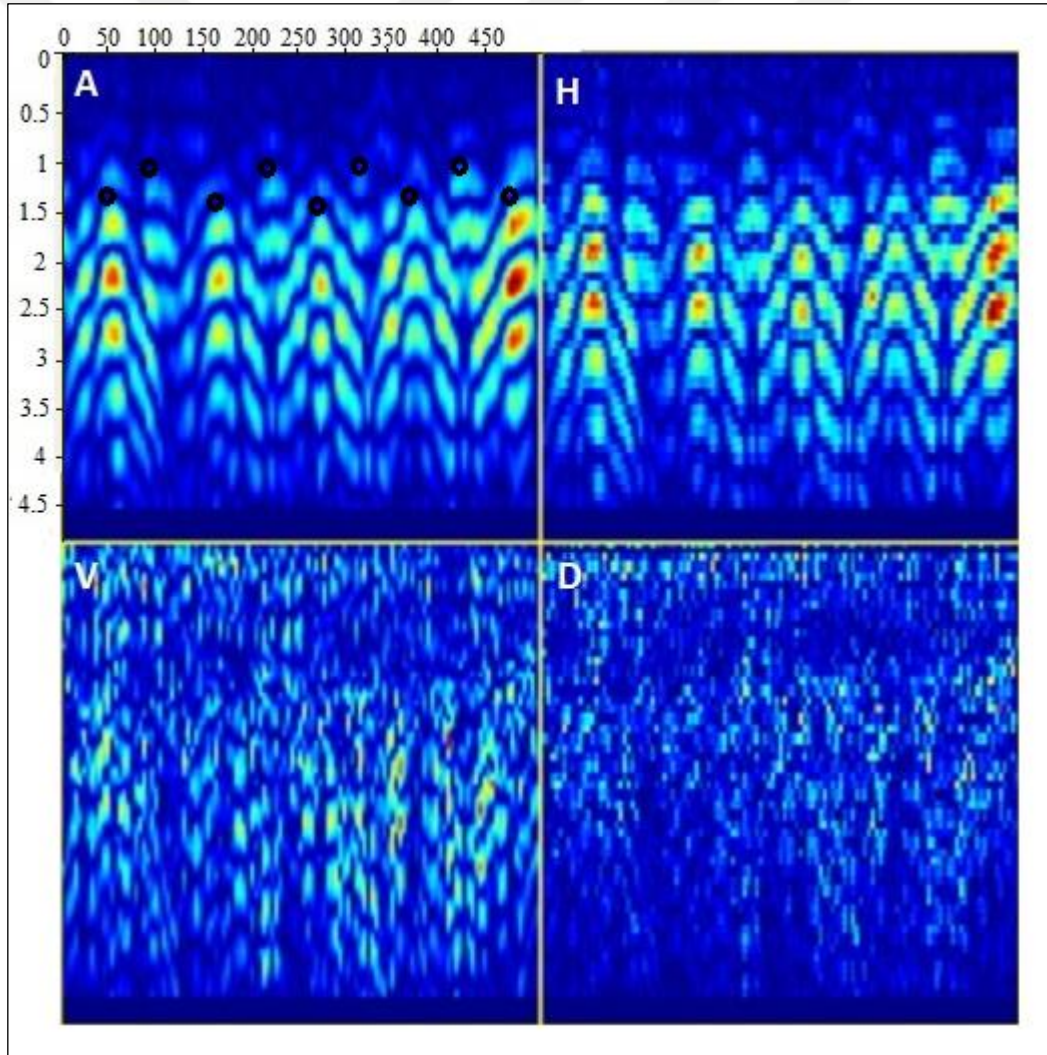
Şekil 4. 12. a) 4 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 4 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



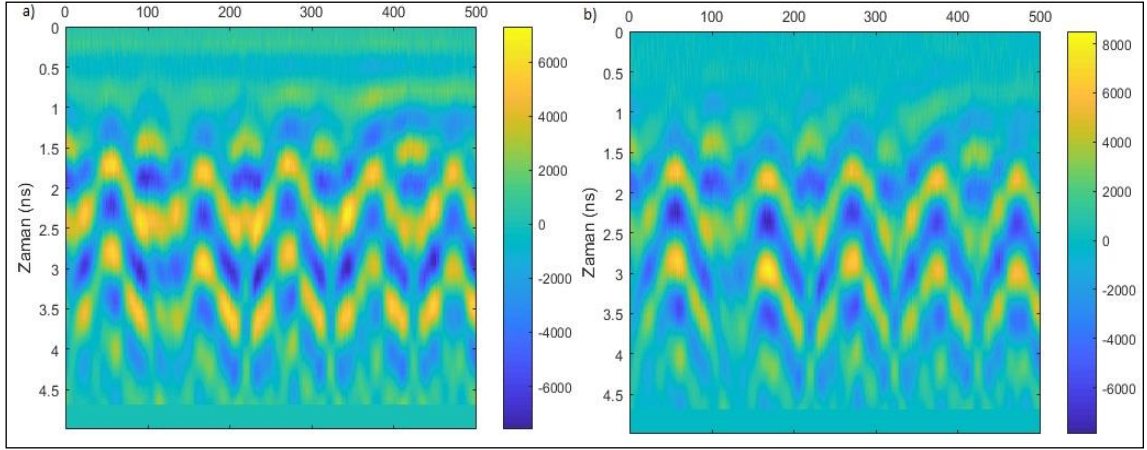
Şekil 4. 13. Şekil 4.12b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



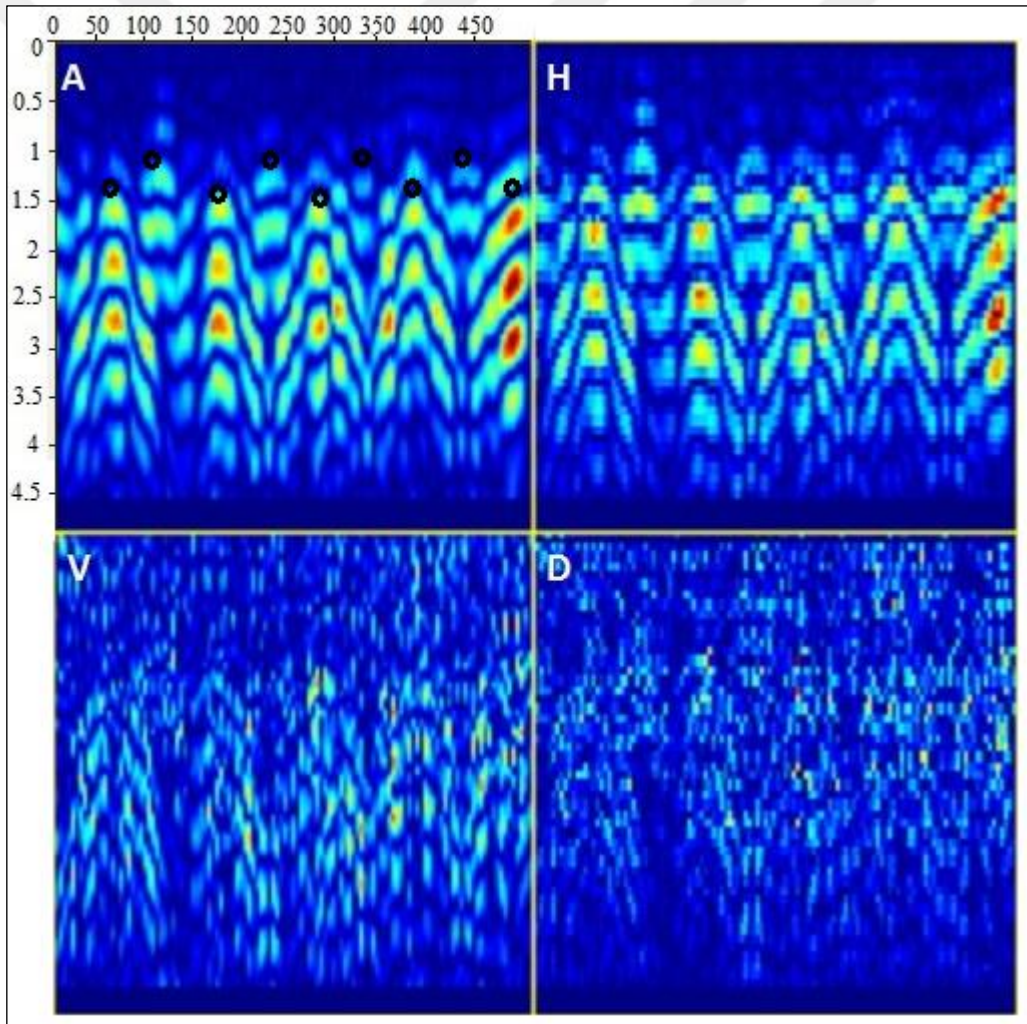
Şekil 4.14. a) 5 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 5 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



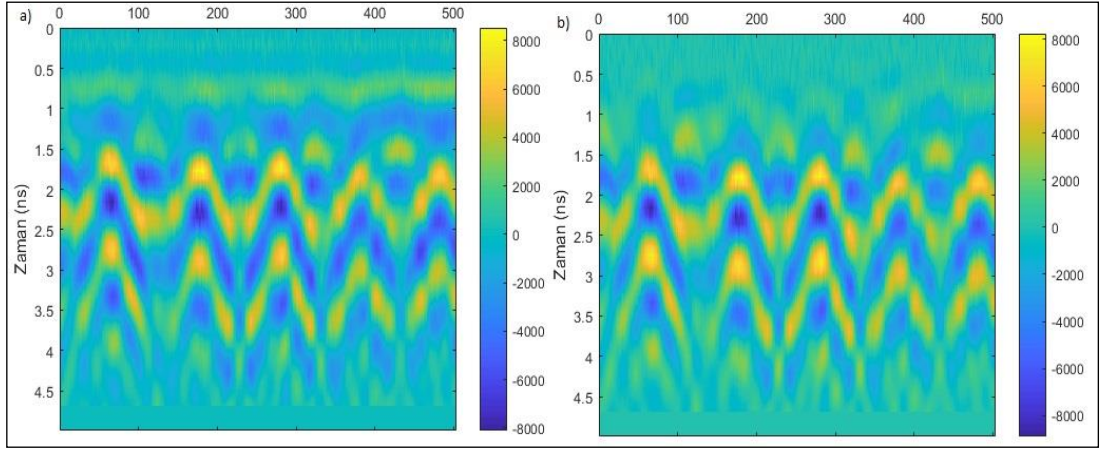
Şekil 4. 15. Şekil 4.14b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



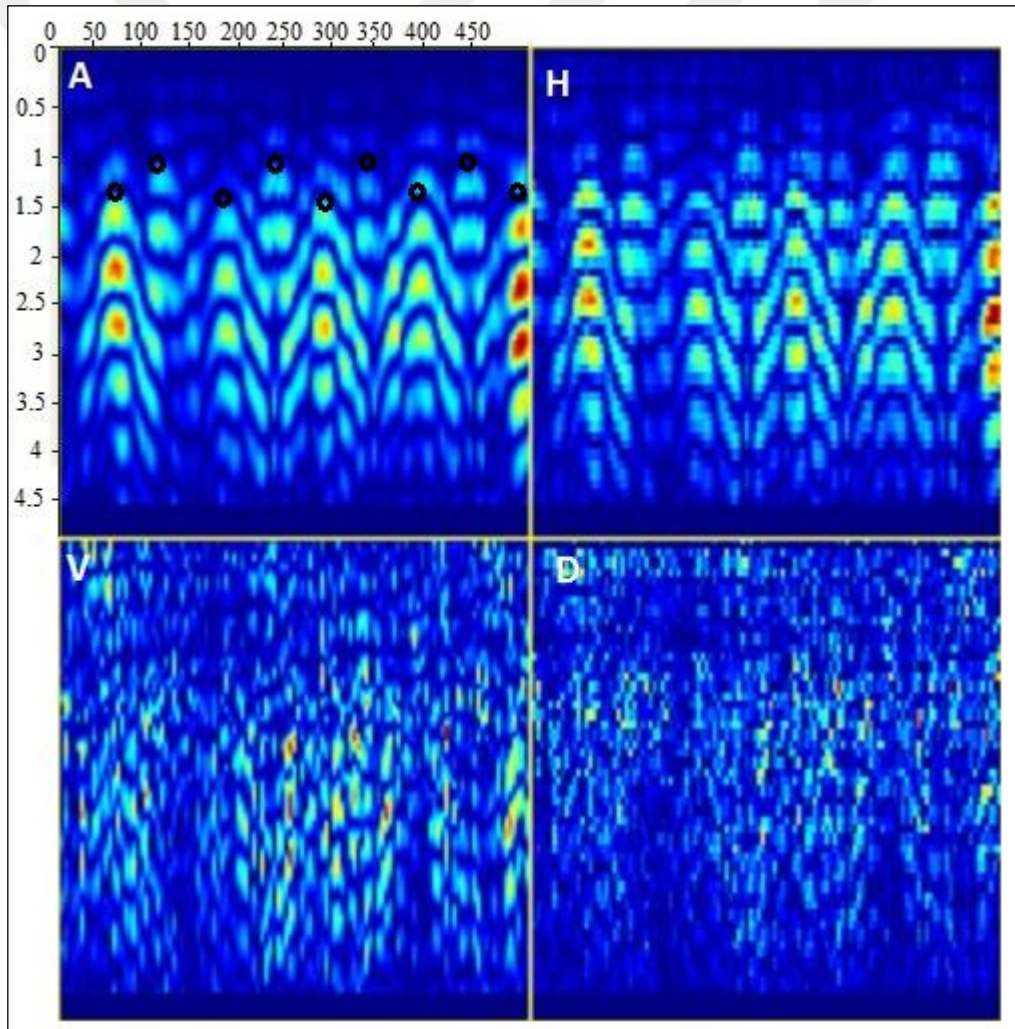
Şekil 4.16. a) 6 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 6 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



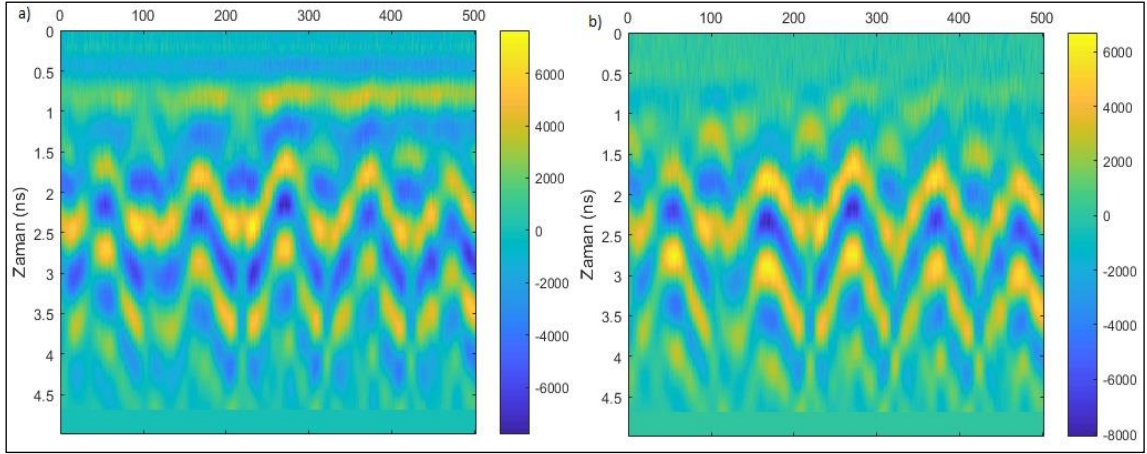
Şekil 4.17. Şekil 4.16b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



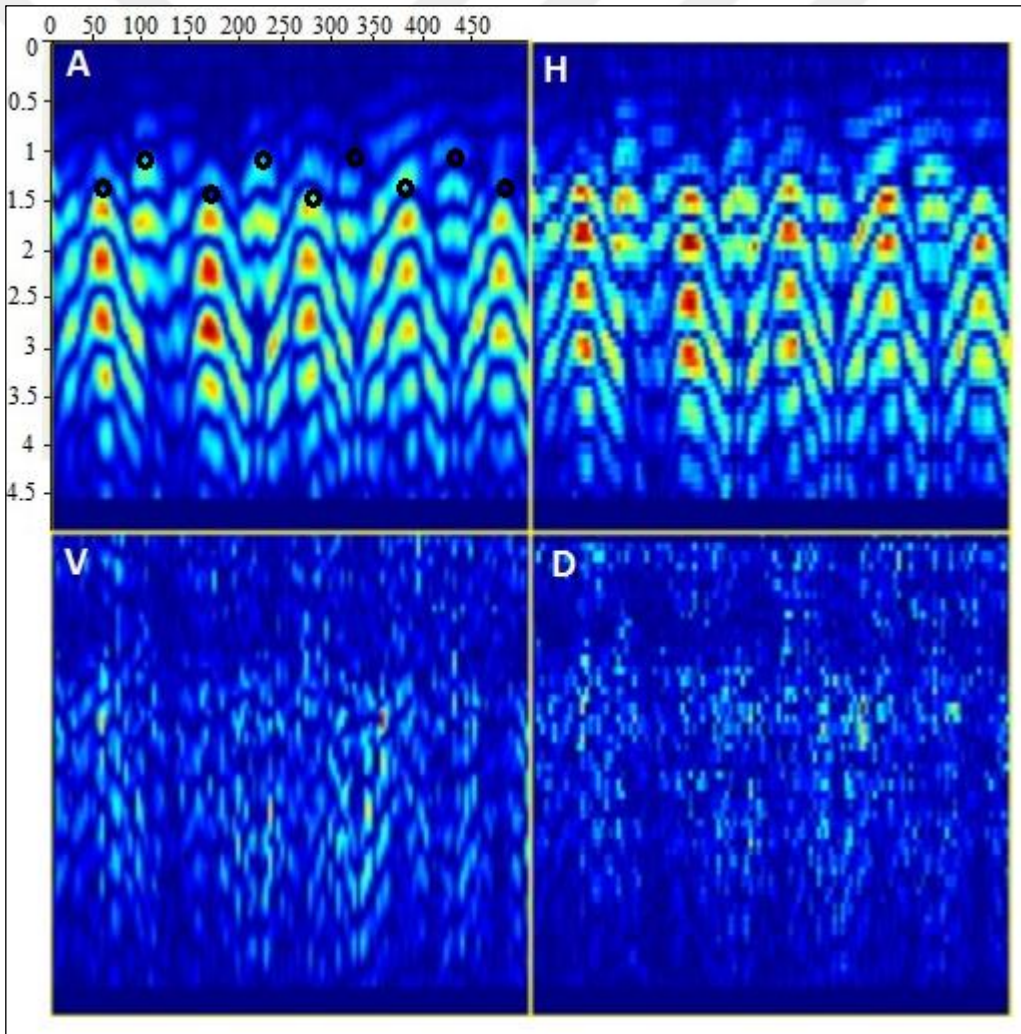
Şekil 4. 18. a) 7 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 7 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



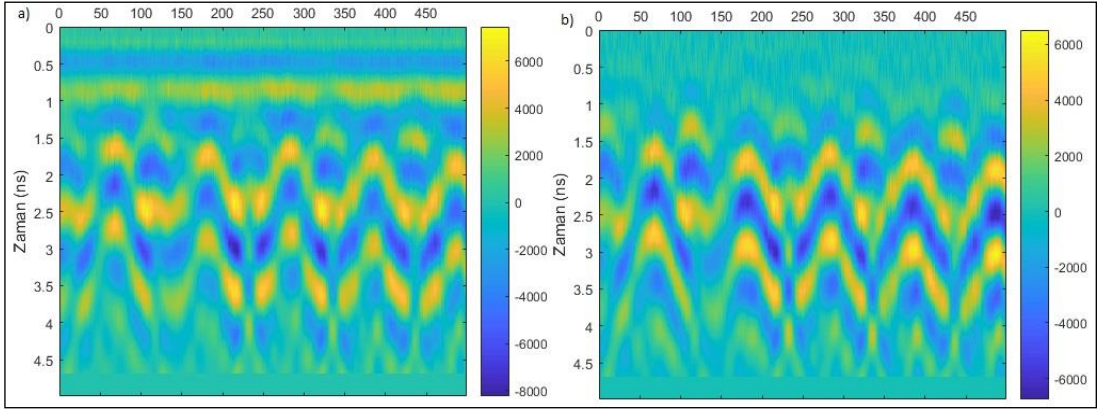
Şekil 4.19. Şekil 4.18b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü



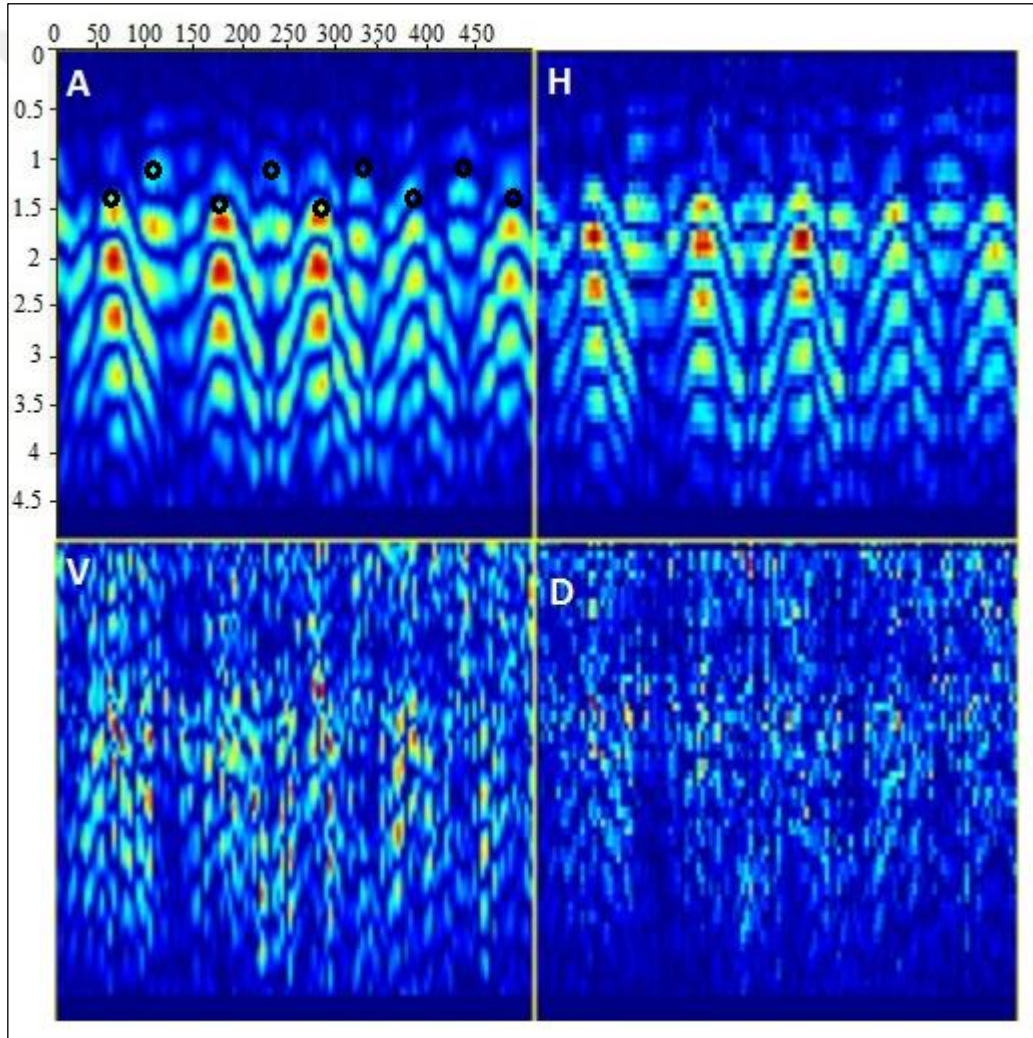
Şekil 4.20. a) 8 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 8 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



Şekil 4. 21. Şekil 4.20b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü

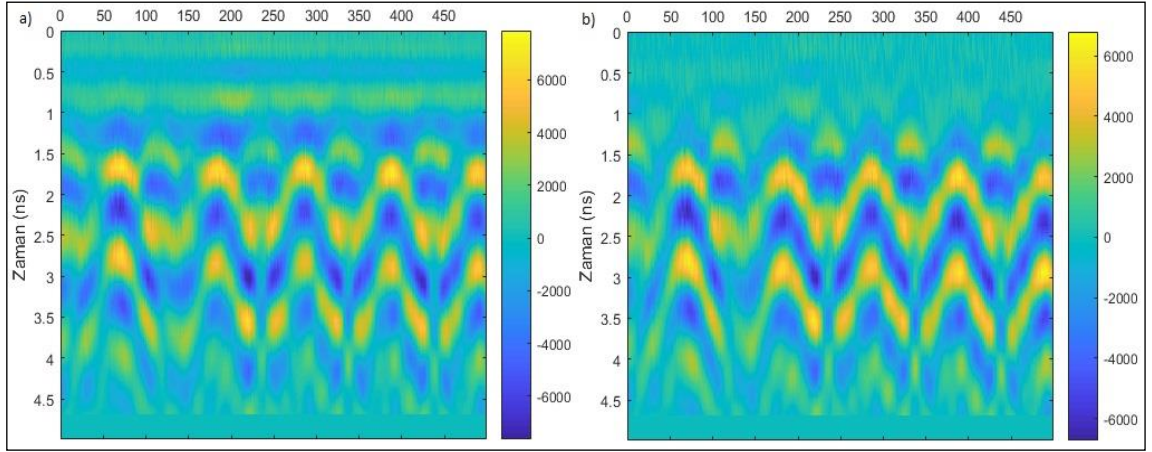


Şekil 4. 22. a) 9 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 9 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti

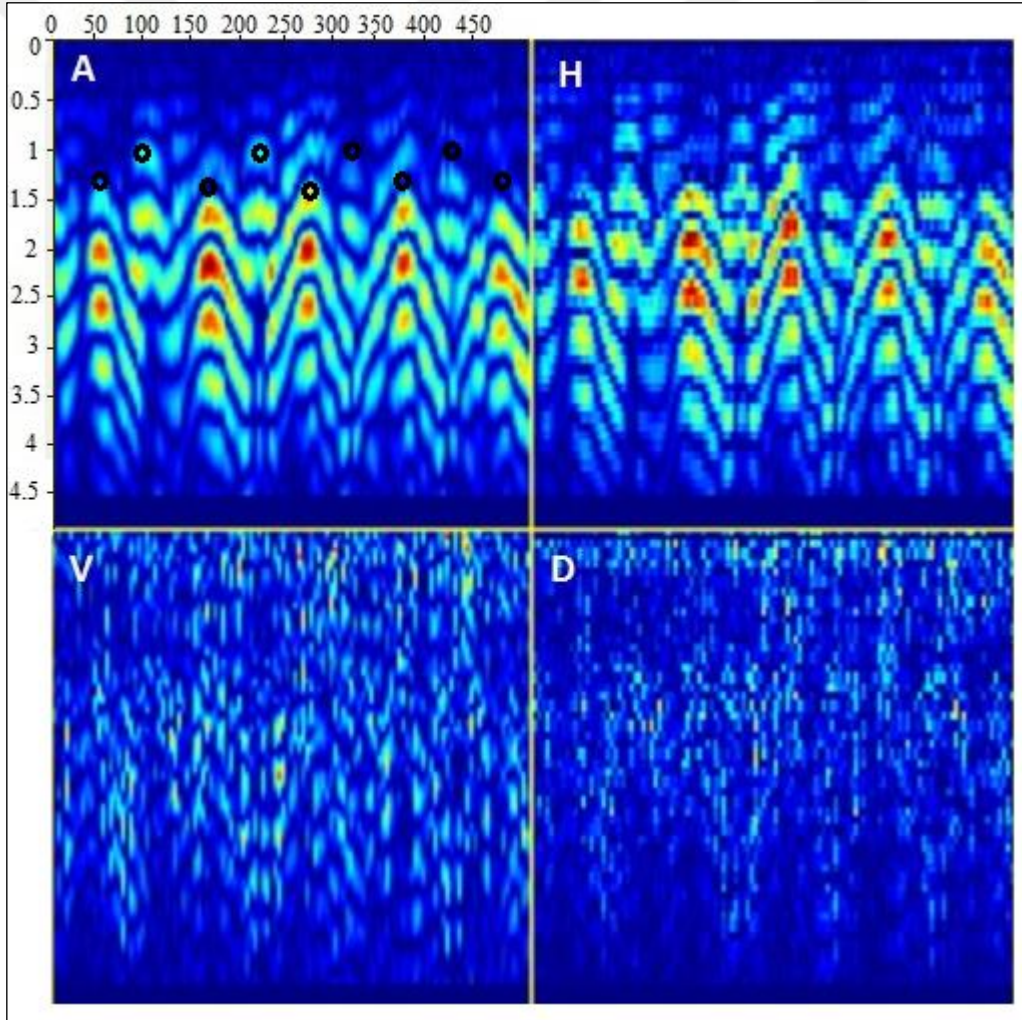


Şekil 4. 23. Şekil 4.22b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü





Şekil 4. 24. a) 10 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 10 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti



Şekil 4. 25. Şekil 4.24b’ de ki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu labayrik dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H,V ve D) görünümü

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı jeofiziği uygulamaları yapılarda tahribata yol açmaksızın yapı içerisinde görünmeyen unsurların fiziksel ve geometrik özelliklerinin ortaya çıkarılmasını sağlar. Bu uygulamalar içerisinde önemli bir yeri olan yer radarı yöntemi elektromanyetik dalgaların yansıma ve saçılmalarına bağlı olarak yapısal problemlerin belirlenmesinde hızlı ve etkin bir çözüm sunar. Bununla birlikte yapıların heterojen özelliğine bağlı olarak ve elektromanyetik dalgaların nüfuz derinliğiyle ilişkili olarak bazı durumlarda radar kesitlerinin yorumu zorlaşabilir. Her ne kadar çeşitli veri işlem teknikleri ile bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılsa da faydalı sinyalin genliğinde istenmeyen türden değişimler ortaya çıkabilir. Yer radarı kesitlerinin en önemli özelliği aranan yapı konumunu işaret eden hiperbollerin dağılımlarıdır. Heterojenliğe bağlı olarak kaynakla ilişkisi olmayan hiperboller de gözlenebilir. Tez çalışmasında ele alınan iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü birçok mühendislik disiplininde farklı amaçlarla uygulama alanı bulmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümlerinin karakteristik özelliği orijinal veri içerisinde gizlenen farklı dalga boylarındaki bileşenleri ortaya çıkarabilmesidir. Bu bileşenlerin değişim karakteristiklerinin yapı içerisinde uzanan demir donatıların yerlerinin bulunmasında etkili olduğu test edilmiştir. Bununla birlikte dalgacık bileşen kesitlerinin dikkatli bir şekilde gözlenerek doğru yorumlanması önemlidir. Bu işlemin dalgacık dönüşümlerinin özellikleri konusunda tecrübeli bir yorumcu tarafından yürütülmesi gerekli olabilir. Uygulayıcıların yalnızca demir donatıların yerlerinin kestiriminde değil aynı zamanda duvar örüntü ile sıva ve yalıtım malzemeleri arasındaki ilişkileri ve kolon içerisindeki gizli kırık ve çatlakların ortaya çıkarması beklenir. Yeni bir veri işlem tekniği olarak iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümlerinin bu türden yapısal sorunları ne ölçüde görüntülenebildiği araştırılmalıdır. Bu durumda jeofizik mühendisleri eski ve yeni binaların yapı denetiminde yapıları tahrip etmeksizin yeni çözümler üretebilir.

## KAYNAKLAR

Annan A.P., *Ground Penetrating Radar Workshop Notes*, Sensors and Software Inc., Canada, 2000.

Daubechies I., *Ten Lectures on Wavelets*, 0-89871-274-2, Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, USA, 1992.

Griffin S., Pippett T., *Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration*, CRLEME Open File Report, **144**, 80-89, Australia, 2002.

Jol H. M., *GPR in Sediments: Advice on Data Collection, Basic Processing and Interpretation, a Good Practice Guide*, Geological Society London Special Publications, 2003, **211**(1):9-27.

Kaplanvural İ., Pekşen E., Özkap K., *Volumetric Water Content Estimation of C-30 Concrete Using GPR*,. *Construction and Building Materials*, 2018, **166**, 141-146.

Konstantinos D.K, Constantine A.B., Panayiotis A.T., Craig R.B., *Folded Loop Antenna for Mobile Hand-held Units*, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **46**, 2, 1998,.

Koçak K., Şaylan L., Eitzinger J., *Nonlinear Prediction of Near-surface Temperature via Univariate and Multivariate Time Series Embedding*, *Ecological Modelling*, 2004, **173**(1), 1-7, 2003.

Kurtuluş C., Başıoğul B., Kaya G.D., Yavaş G., Şahan Ç., *Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemler Kullanılarak İzmit Bölgesi'ndeki Kırmızı Kumtaşı Örneklerinin Mühendislik Parametrelerinin Değerlendirilmesi*, *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, 2007, **1**(2) 10-20.

Mallat G.S., *A Theory for Multiresoluion Signal Decomposition: The Wavelet Representation*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, **11** (7).

Carino N.J., *Nondestructive Test Methods*, Editor: Nawy E.G, *Concrete Construction Engineering Handbook, 2nd ed.*, CRC Press, New York, 21-63, 1997.

Olhoeft G. R., *Application and Limitations of Ground Penetrating Radar*, SEG Technical Program Expanded Abstracts, 54th Annual International Meeting and Exposition of Soc. Expl., 1984, 147-148.

Wightman W.E., Jalinoos F., Sirls P., Hanna K., *Application of Geophysical Methods to Highway Related Problems*, *Federal Highway Administration*, FHWA-IF-04-021, 1-742, 2004.

Won Song H., Saraswathy V., *Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures-A*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2007, **2**, 1-28..

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Bozkurt S.**, Oruç B., *Yapılarda Yer Radar Uygulamaları ve Ayrık Dalgacık Dönüşümleri ile Yorumlama*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2019 (Basım Aşamasında).



## **ÖZGEÇMİŞ**

1991 yılında Kocaeli ilinin Derince ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini, Derince 19 Mayıs Anadolu Lisesinde tamamladı. Daha sonra Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Mezun olduktan sonra Yapı Denetim firmasında 3 yıl boyunca Jeofizik Mühendisi olarak çalışmıştır.



