



## Yapılarda Yer Radarı Uygulamaları ve Ayırık Dalgacık Dönüşümleriyle Yorumlama

### *Ground Penetrating Radar Applications in Construction and Interpretation with Discrete Wavelet Transform*

Seray BOZKURT<sup>1,\*</sup> , Bülent ORUÇ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0277-2050

<sup>2</sup> Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-6022-985X

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 31/05/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

#### Anahtar Kelimeler

Ayrık Dalgacık Dönüşümü  
Radargram  
Veri İşlem  
Yer Radarı

#### Research Paper

Received Date : 31/05/2019

Accepted Date : 03/12/2019

#### Keywords

Discrete Wavelet Transform  
Radargram  
Data Processing  
Ground Penetrating Radar

#### 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 Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD) tekniği kullanılmıştır. Radar kesitleri iki boyutlu veri setleri biçiminde elde edildiğinden, kesitlere iki boyutlu ayırık 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.

#### 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.

## 1. Giriş

Jeofizikte gözlemsel veriler fiziksel büyüklüklerin yerindeki dağılımını bulmak amacıyla toplanır, işlenir ve yorumlanır. Jeofizik gözlem verileri içinde bir çok olay gizlidir. İlk ölçülen veriler henüz işlenmediği için kaba veya ham veriler olarak tanımlanır. 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 nedenle doğrudan yorumlanamazlar. Verilerin karakteristik değişimlerinin incelenmesi amacıyla dalgacık dönüşümleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Jeofizik çeşitli alanlarında dalgacık dönüşümleri önemli çözümler sunmaktadır.

ADD aynı zamanda veri ayrışımında uygulanan dalgacık tabanlı çok ölçekli analiz olarak da tanımlanır. Kaynak [1-2], ayırık dalgacık dönüşümlerinin gravite ve manyetik anomalilerin işlenmesinde ve bileşenlerine

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): abmseray@gmail.com



ayrılmasında kullanmışlardır. Kaynak [3]'de ayrık dalgacık dönüşümleri kullanılarak gravite verilerinin çeşitli bileşenlere ayrılmasıyla derin jeolojik yapıların yorumlanabileceği gösterilmiştir. Kaynak [4], çok ölçekli dalgacık analizleriyle gözlem verilerinin süzgeçlenebileceğini göstermiştir. Kaynak [5]'de bölgesel ve yerel anomalilerin ayırımında dalgacık dönüşümleri kullanılmıştır. Kaynak [6], ayrık dalgacık dönüşümlerinin fay tipi jeolojik süreksizliklerin izlenmesine yönelik çözümler ürettiğini göstermiştir.

Bu çalışmada yapı jeofiziği uygulaması olarak etkin bir hasarsız yöntem olan yer radarı yönteminin beton blok ve yapı tabanında uzanan demir donatının yerlerinin görüntülenmesindeki etkinliği araştırılmıştır. Ayrıca bilindiği kadarıyla literatürde rastlanmayan radar kesitlerine iki boyutlu ADD uygulanarak yorumlamanın kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Böylece yöntemin demir donatılardan kaynaklanan sinyallerin yığılması ve görüntülenmesindeki etkinliği araştırılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Yer radarı yöntemi yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yansıma 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 arayüzey sınırından yansıma 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 yansıma özellikleri değişmektedir. Tablo 1'de 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.

Bir yer radarı izi, farklı elektromanyetik özelliklere sahip malzemeler arasındaki arayüzey 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 [7] tarafından Denklem 1'de verilmiştir.

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Burada c, boşlukta yayılma hızı ( $3 \times 10^8$  m/s);  $V_m$ , malzeme içerisindeki yayılma hızı ve  $\epsilon_r$ , rölatif geçirgenliktir.

**Tablo 1.** Farklı malzemelerin 1GHz'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

Eğer rölatif geçirgenlik bilinmiyorsa derinliği bilinen bir yansıtıcıdan hareketle hız Denklem 2'den hesaplanabilir:

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

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

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 [8].

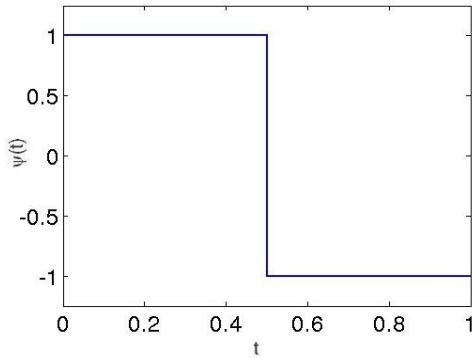
Kaynak [9]'da, ADD veya çok çözünürlüklü analiz olarak bilinen etkin bir algoritma geliştirilmiştir. Bu dönüşümle verinin dalgacık ortamında farklı ölçeklerdeki frekans içerikleri belirlenebilir. Her bir dalgacık ( $\psi_{a,b}$ ), ana dalgacığın ( $\psi$ ) ölçekleme (a) ve ötelemelerine (b) göre Denklem 3'teki gibi tanımlanır.

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (3)$$

$\psi_{a,b}$  dalgacık seti orthogonal temelde bir yuvarlatma operatörü gibi davranır. Dalgacık dönüşümü, Denklem 3'deki dalgacıkları tanımlamak için kullanılır: Buna göre bir  $f(x)$  fonksiyonunun dalgacık dönüşümü Denklem 4'deki gibi verilir [9].

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (4)$$

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 Coiflet dalgacıkları, Symlet dalgacıkları, Morlet dalgacı, Meksika şapkası dalgacı, Meyer dalgacı ve Haar dalgacıdır. Şekil 1'de görülen Haar dalgacı dalgacık ailesi içerisinde bilinen en eski ve basit ortonormal (dik) dalgacık türüdür. Basamak fonksiyonuna benzer. Simetrik özelliktedir. 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 işlemi) haar dalgacığının farklı ölçek ve konumlarına göre çözüm yapılmaktadır.

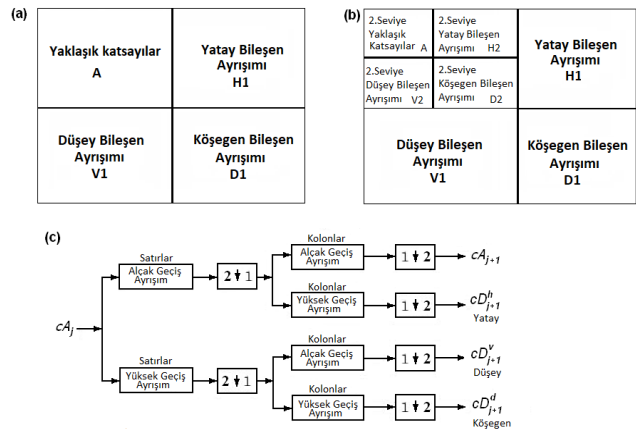


Şekil 1. Basamak fonksiyonu biçiminde Haar dalgacı.

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.

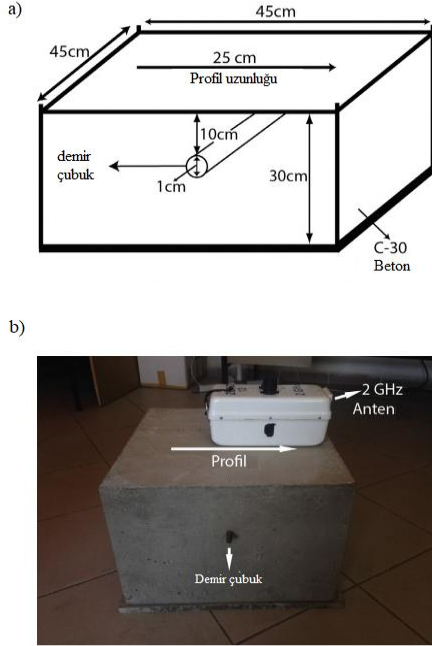
İki boyutlu ADD, iki boyutlu verinin art arda yatay (sıra) ve dikey (sütun) hatları boyunca bir boyutlu uygulanarak gerçekleştirilir. Bununla birlikte bir boyutlu dalgacık dönüşümü belli bir seviyede gerçekleştirilir. 1. seviye dalgacık dönüşümünde giriş verisi 4 bileşene bölünebilir. Bunlar; yaklaşık katsayılar (A), yatay bileşen katsayıları (H), dikey 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 2b'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 2c'de J+1 seviyesine kadar şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre iki boyutlu ADD dönüşümü j+1 seviyesine kadar yürütülebilir. j. seviyede elde edilen yaklaşık katsayıların dalgacık ayrışmaları bir matris olarak yaklaşık katsayıların satırlarına alçak ve yüksek geçiş ayrışmaları 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 kolonlarda ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiş ayrışmaları yapılarak verinin içinde yer alan H ve D bileşenleri görüntülenir.



Şekil 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. Seviye bileşen ayrışmalarının konumları. c) Ayrık dalgacık dönüşümünün J. seviyeden J+1 seviyesine kadar olan işlem aşamaları [6].

### 3. Bulgular ve Tartışma

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 alınırken aynı firmaya ait 2 GHz merkez frekansa sahip ve korumalı anten kullanılmıştır. Ölçü alınırken ve verilerin işlenmesinde Prism 2.59 programı kullanılmıştır. Şekil 3'te görülen model beton [10] tarafından hazırlanmıştır.



**Şekil Hata!** Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Yer radarı laboratuvar uygulamalarında kullanılan C30 standardında beton blok model. a) Blok boyutları ve demir çubuğun konumu ve parametreleri. b) Beton üzerinde yer radarı uygulamasında kullanılan anten ve ölçü profili [10].

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 su çimento oranı 0,48 olarak alınmıştır [4]. Beton blok C-30 standartlarına göre, Tablo 2'de verilen çeşitli karışımlardan elde edilmiştir. Oda sıcaklığında 18-22°C arasında tutulmuştur [10]. 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. Ölçü profilinden alınan radargram kesitinde çok sık yansımaları gidermek için bant geçişli süzgeç kullanılmıştır.

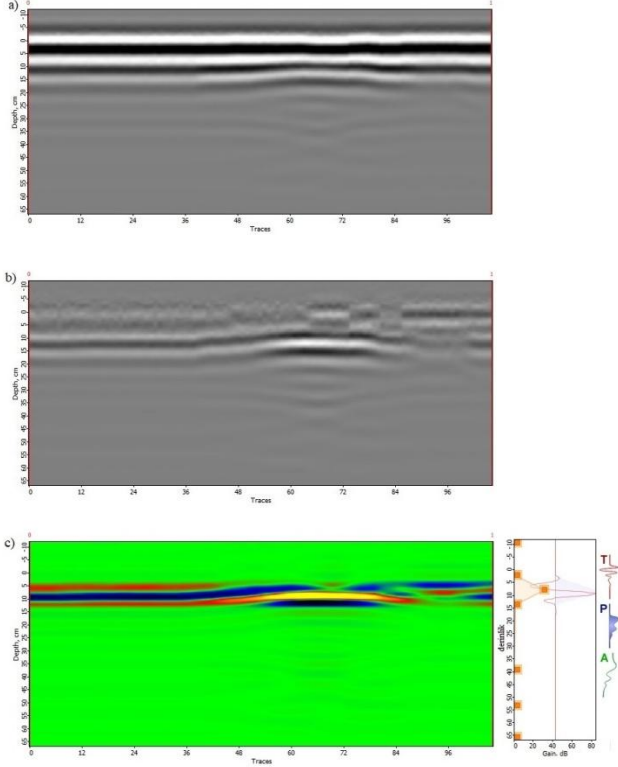
**Tablo 2.** Kompresör çıkış sıcaklığı için ampirik bağıntıların tahmin sonuçları.

Malzeme	% İçerik
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

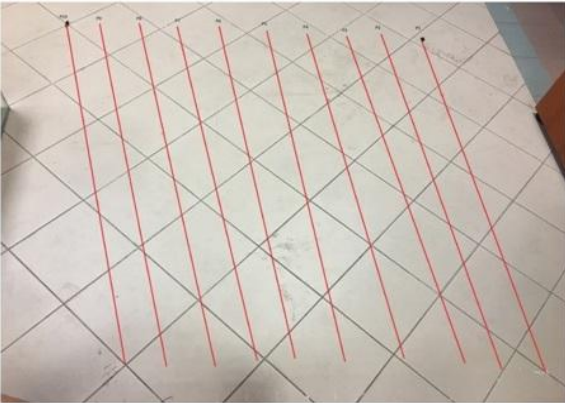
Şekil 4'de model beton blok üzerinde tek profilden alınan radar kesiti ve işlem aşamaları görülmektedir. Şekil 4a'da ham veri olarak elde edilen radar kesitinde demir çubuğun derindeki konumunu yansıtan hiperbol zayıf da olsa gözlenmektedir. Bununla birlikte demir çubuğun üzerindeki ortamın güçlü yansımalarından '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 gözlemlendiğinden bunların alçak geçişli süzgeçleme işlemiyle veriden atılması sağlanmıştır. Bu amaçla pencere boyu 10 olan bir süzgeç operatörü tüm kesit boyunca uygulanarak kesit süzgeçlenmiştir (Şekil 4c). Daha sonra alçak geçişli süzgeçlenen veriye aynı zamanda faydalı sinyali yığacak şekilde ve veri içerisinde olası istenmeyen bileşenleri baskılamak amacıyla hiperbolün olduğu bölgeye yaklaşık 40 dB lik kazanç uygulanmıştır (Şekil 4c). Bu uygulama sonucunda demir çubuğun anomalisini yansıtacak şekilde hiperbol eğrisi belirgin hale getirilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte görüntülemeyi ve dolayısıyla yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla hiperbolün zirvesinin net bir şekilde ortaya çıkarılması, demir çubuğun derindeki konumunun belirlenmesi açısından yararlı olacaktır. Bu amaçla çalışmanın konusu olarak Şekil 4c'deki işlenmiş verinin tüm izlere ait veri seti çıkarılarak iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümüne tabii tutulmuştur.

Ölçüler uygulamalı Kocaeli Üniversitesi Jeofizik mühendisliği bölümünün 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 iz için örnek veri sayısı 512 olarak belirlenmiştir. Kayıt süresi ise 5 ns olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.** 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.



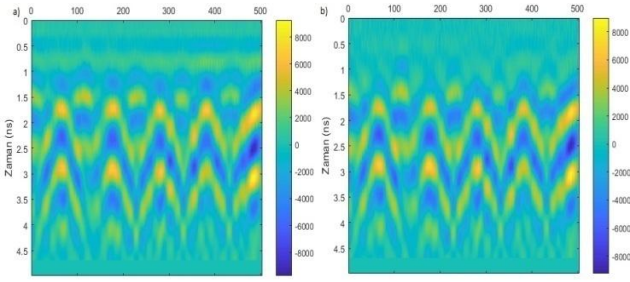
**Şekil 5.** Bir yapı jeofiziği uygulaması olarak yer radarı yönteminin KOÜ uygulamalı jeofizik laboratuvarının zemininde ölçü alımı için değerlendirilecek olan ölçü profillerinin doğrultuları.

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 yapılıp yapılmadığı radar kesitleri içerisinde gözlenebilir. Şekil 5'de 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 6'a da görülen radar kesitinde sığ derinliklerde sıva ve yalıtım malzemesinden kaynaklanan tabakalı bir görüntü elde edilmiştir. Bu tür görüntüler diğer tüm profillerde 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 7b) 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.

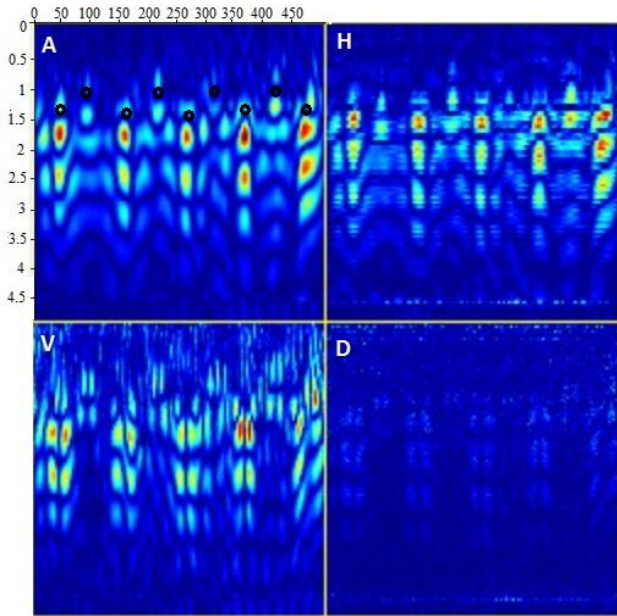
İki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümünün amacı iki boyutlu veri içerisinde veriyi oluşturan yatay, düşey, köşegen bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerden bulunan ve 'yaklaşık katsayılar' olarak tanımlanan veri setinin ortaya çıkarılmasıdır. Böylece orijinal veri içerisinde var olan ancak gözlenemeyen 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 1) kullanılmıştır. Burada tek bir profil üzerinde elde edilen analizlerin sonuçlarına yer verilecektir. Şekil 6'da dördüncü profilin ham ve işlenmiş radar kesiti görülmektedir. Şekil 7'de ise dördüncü profilin ADD ile elde edilen bileşenleri çizilmiştir. İki boyutlu ADD işlemi Matlab yazılımının 'wavemenu toolbox' ortamında yapılmıştır. Yer radarı yapı

jeofiziği anlamında çok sığ derinlikteki donatı üzerinde yapıldığından radar kesitlerinin çok yüksek frekanslı bileşenlere sahip olması doğaldır.



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

Bu özellik tüm ayrıştırılmış dalgacık bileşenleri (H,V ve D) geçerli olmakla birlikte yaklaşık dalgacık katsayıları (A) yorumlanabilir özellikte detay bilgiler sunmaktadır (Şekil 7). Bu özellik beton blok model üzerinde yapılan çalışmayla Şekil 7’de 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 7).



**Şekil 7.** Şekil 6b’deki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H, V ve D) görünümü.

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 saçılmaları olmaktadır ve dalga difüzyonunda soğurulmalar gözlenmektedir. Bu türden kayıt bilgileri kaçınılmaz olarak yansımış olmaktadır. Gözlemsel yorumlamada bu özelliğe dikkat edilmez. 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.

#### 4. Sonuçlar

Yapı jeofiziği uygulamaları yapılarada 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. Çalışmada 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 siva ve yalıtım malzemeleri arasındaki ilişkileri ve kolon içerisindeki gizli kırık ve çatlakların ortaya çıkarması beklenir. Yeni bir veri işlem tekniği olarak iki boyutlu ayırık 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.

### Teşekkür

Veri toplamada ve Prism2 yazılımının kullanılmasında katkılarından ötürü Dr. Öğretim Üyesi Ertan Pekşen ve Dr. Arş. Gör. İsmail Kaplanvural' a teşekkür ederim.

### Kaynaklar

- [1] Hou Z.-Z., Yang W.-C., 1997. Wavelet transform and multi-scale analysis on gravity anomalies of China. Chinese J. Geophys. (in Chinese), **40**, 5–95.
- [2] Li Z.-J., Yang L., Wang Q.-C., 1997. Experiment study of the application of 2-dimensional wavelet transformation in potential data process. Petroleum Geophysical Explorartion, **36**, 70–78.
- [3] Yang W., Shi Z., Hou Z., 2001. Discrete wavelet transform for multiple decomposition of gravity anomalies, Chinese J. Geophysics, **44**, 534–541.
- [4] Oliveira Lyrio J.C.S., Tenorio L., Li Y., 2004. Efficient automatic denoising of gravity gradiometry data. Geophysics, **69**, 772–782.
- [5] Xu Y., Hao T., Li Z., Duan Q., Zhang L., 2009. Regional gravity anomaly separation using wavelet transform and spectrum analysis. J. Geophys. Eng., **6**, 279–287.
- [6] Oruç B., 2014. Structural interpretation of southern part of western Anatolian using analytic signal of the second order gravity gradients and discrete wavelet transform analysis. Journal of Applied Geophysics, **103**, 82-98.
- [7] Constantine A., Balanis P.A., 1998. Folded loop antenna for mobile hand-held units. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **46**(2), 260-266.
- [8] Daubechies I., 1992. Ten lectures on wavelets. SIAM, **61**.
- [9] Mallat S.G., 1989. A theory for multiresoluion signal decomposition: The wavelet representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine, **11**(7), 674-693.
- [10] Kaplanvural İ., Pekşen E., Özkap K., 2018. Volumetric water content estimation of C-30 concrete using GPR. Construction and Building Materials, **166**, 141-146.