



YER RADARI VERİLERİNDE YANAL YANSIMALARIN GÖÇ VE TERSİNE GÖÇ İŞLEMİ İLE ATILMASI

İsmail KAPLANVURAL*

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü, İzmit, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yer Radarı, Yanal Yansıma, Göç, Test Modeli, Tersine Göç.</i>	<p>Bu çalışmada yer radarı verilerinden yanal yansımaların arındırılması için yeni bir yöntem önerilmektedir. Uygulanan yöntem birkaç adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlar göç, yanal yansıma genliklerin toplandığı yerlerin sıfırlanarak veriden atılması ve son olarak tersine göç işlemleridir. Bu çalışmada da önerilen işlem dizisi laboratuvarında bir kum havuzu içerisinde gömülü bir boru üzerinde toplanan yer radarı profilinde gösterilmiştir. Gömülü borunun oluşturduğu yansımanın haricinde kum havuzu ve kum havuzunun iki yan tarafındaki hava sınırının oluşturduğu yansımalar da gözlemlenmiştir. Yanal yansımalar, önce göç, işlemi ile gerçek yansıma yerlerine taşınmış, taşınan yerlerin genlikleri sıfırlanarak veriden atılmış ve en son tersine göç işlemi ile veri yanal yansımalarından arındırılmış haline dönüştürülmüştür. Bu sayede yanal yansımalar veriden arındırılarak gömülü borunun oluşturduğu yansıma daha iyi görüntülenmiştir. Ayrıca, yanal yansımalar içeren bir modelleme verisine de benzer adımlar uygulanmış ve yanal yansımalar veriden arındırılmıştır. Önerilen yöntemin muhtemel yanal yansımaların verilerden arındırılması adına duvarlara veya ağaçlara yakın olan yerlerdeki yer radarı profilleri ile bina içinde yapı unsurlarının tespit edilmesine yönelik yer radarı uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.</p>

ELIMINATING THE SIDE REFLECTION ON GPR DATA BY MIGRATION AND DEMIGRATION

Keywords	Abstract
<i>Ground-penetrating Radar, Side Reflection, Migration, Test Model, Demigration.</i>	<p>In this study, a new method is suggested to eliminate side reflections. The suggested method is consisted of couple of steps. These steps are: migration, muting the collected amplitudes of side reflections after migration and demigration. In order to achieve that on a ground-penetrating radar (GPR) profile, an experimental laboratory model was built. The model was filled with dry sand with a buried pipe to obtain reflection on GPR profile. Side reflections from both sides were also observed on the radargram, which are caused by the boundary of experimental model and air interference. The side reflections were removed from the radargram by suggested steps accordingly. These are; moving side reflections to real reflection locations by migration, muting the amplitudes of side reflections at real locations, and demigration of data to obtain it without side reflections. The reflection of pipe was seen clearer after side reflection is eliminated. Also, same procedure was applied to a modeled data to eliminate side reflections. The suggested method can be applied to radargrams to eliminate side reflections such GPR surveys, when data is collected near trees or walls. Additionally, the suggested method can be helpful to eliminate side reflections on non-destructive testing applications in buildings.</p>

Alıntı / Cite

Kaplanvural, İ., (2023). Yer Radarı Verilerinde Yanal Yansımaların Göç ve Tersine Göç İşlemi ile Atılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 160-169.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Kaplanvural, 0000-0003-2898-4657

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

14.03.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: kaplanvural@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-31-25

Revizyon Tarihi / Revision Date	25.08.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

ELIMINATING THE SIDE REFLECTION ON GPR DATA BY MIGRATION AND DEMIGRATION

İsmail Kaplanvural[†]

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü, İzmit, Kocaeli 41001

Highlights

- A new method presents eliminating side reflections on GPR data.
- GPR data collected from experimental laboratory model to eliminate side reflections.
- A forward GPR data model supports applicability of method.
- The method can be helpful to eliminate side reflections for non-destructive testing applications.

Purpose and Scope

The aim of this study is to present a new approach to eliminate side reflections on GPR data.

Design/methodology/approach

The removal of side reflections on GPR data is consisted of couple of steps. These steps are: migration, muting the collected amplitudes of side reflections after migration and demigration. In order to achieve that on a ground-penetrating radar (GPR) profile, an experimental laboratory model was built. Additionally, a forward modeling GPR data is presented to support applicability of the method.

Findings

The reflection of pipe is seen clearer after removal of side reflections on GPR data. Additionally, same effect is observed forward modelled GPR data, which supports the usability of the method. The suggested method can be applied to radargrams to eliminate side reflections for GPR data, when data is collected near trees or walls. Additionally, the suggested method can be helpful to eliminate side reflections on non-destructive testing applications in buildings.

Originality

The paper is presented to eliminate side reflections on GPR data with following steps: migration, muting and demigration. This approach was not yet addressed in the literature. The novelty of this study is to present a new method to eliminate side reflections.

[†] Corresponding author: kaplanvural@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-3125

1. Giriş (Introduction)

Yer radarı yöntemi yer altınının sığ kesimini incelemek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Tahribatsız inceleme olanağı da sağlayan yer radarı yöntemi incelenen yapı ile ilgili özelliklerin belirlenmesine de olanak sağlamaktadır (Kaplanvural 2021). Son yıllarda yer altındaki yapısal unsurların belirlenmesinde yer radarı yönteminin kullanılması giderek artmaktadır (Prego vd., 2017). Başta mühendislik (Kadioğlu, 2018), arkeoloji (Kadioğlu, 2010; Balkaya vd., 2018) ve çevre (Özkap ve Pekşen, 2021) uygulamaları olmak üzere yeraltının görüntülenmesinde yer radarı yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Yer radarı verilerinin değerlendirilmesi amaca yönelik olarak veri işlem aşamaları ile yapılmaktadır (Benedetto vd., 2017; Plattner, 2020). Ayrıca düz (Özkap vd., 2020) ve ters çözüm (Kaplanvural vd., 2020) yöntemleri de yer radarı verilerinin değerlendirilmesinde veri işlem aşamasına katkı sağlamaktadır. Yer radarı verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan veri işlem yöntemleri, sismik yansıma verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan işlemlerle çok benzerdir (Ciampoli vd., 2019). Yer altındaki yapının şekli ve geometrisini veri işlem yöntemlerinden biri olan göç (migrasyon) yöntemi ile belirlemek mümkündür (Smitha vd., 2016; Özdemir vd., 2014). Göç, alıcı anten tarafından zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilen elektromanyetik dalgaların yansıma noktalarına taşınması işlemidir (Yılmaz, 2001). Yer altı yapısı karmaşık olmasa bile tespit edilmesi istenen gömülü yapının şekli ile ilgili yorum yapabilmek için göç işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Göç işlemi gerçekleştirilebilmek için yer altında ilerleyen elektromanyetik dalganın hız bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır (Zhou vd., 2005).

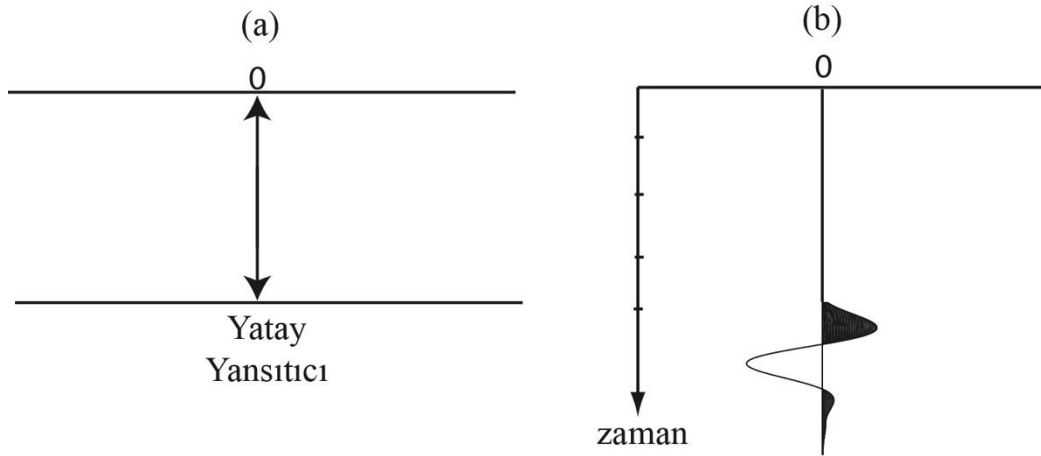
Yer radarı profillerinde aranan objenin oluşturduğu yansımalar haricinde cihaz kaynaklı düşük frekanslı gürültülere, çevredeki elektromanyetik kökenli gürültülere (cep telefonu sinyali vb.) ve yanal yansımalara rastlanılabilmektedir. Yer radarı verilerinde sıklıkla rastlanan, istenmeyen ve gürültü olarak nitelendirilen yanal yansımalar, dalganın ilerlediği ortamda meydana gelen ani dielektrik özelliklerindeki değişimlerinden kaynaklanmaz. Ölçüm hattının başında ve sonunda var olan objelerden (duvar yapısı vb.) ya da ortam sınırlarından (boşluk vb.) kaynaklanmaktadır. Yanal yansımaların radargramlardaki görüntüsü profillerin başlangıç ya da bitiş noktalarından profilin iç kısımlarına doğru uzanan sabit eğimli genliklerden oluşmaktadır. Yanal yansımaların radargramlardan atılması genellikle eğim filtresi (dip filter) ile yapılmaktadır (Zhang vd., 2019). Fakat, radargramlarda yer altındaki bir objenin saçılma hiperbolü oluşturduğunda ve yanal yansımanın birlikte gözlemlendiği durumlarda eğim filtresi kullanmak sakıncalıdır. Hem yansıtıcıdan hem de yanal yansımayı oluşturan objeden yansıyan dalga yeraltında aynı hızda ilerlediğinden radargramda ki objenin oluşturduğu saçılma hiperbolünün kollarının eğimi ile yanal yansımanın eğimi aynı olarak gözlenecektir. Bu durumda eğim filtresi uygulandığında yanal yansıma ile birlikte saçılma hiperbolünün eğimle aynı yönde olan kolu da istenmeden veriden atacaktır (Zhang vd., 2019).

Bu çalışmada yanal yansımaların radargramlardan atılması işlemi için eğim filtresi dışında göç ve tersine göç işlemleri önerilmektedir. Bu amaçla oluşturulan bir test modeli üzerinde alınan yer radarı profilinde oluşan yanal yansımalar göç işlemi ile önce gerçek yerlerine taşınmıştır. Sonrasında gerçek yerlerine taşınan yanal yansımaların genliklerinin sıfırlanarak veriden atılmıştır. Daha sonra ise tersine göç uygulanarak yer radarı profili yanal yansımadan arındırılmış bir şekilde görüntülenmiştir. Önerilen yöntem ile eğim filtresi uygulanması durumunda veriden istenmeyen şekilde atılan yansıma hiperbolünün yarısının atılması önlenecektir.

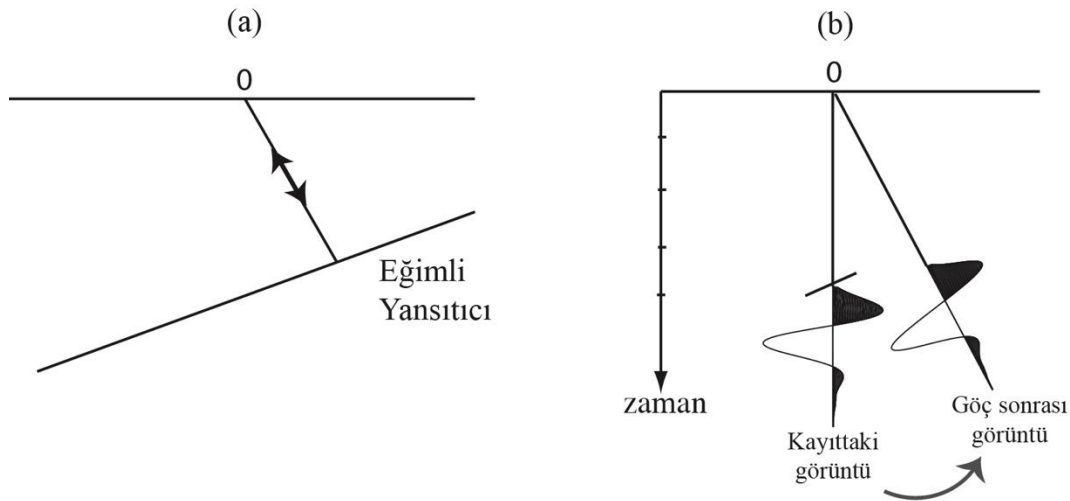
2. Yöntem (Method)

Jeofizik inceleme teknikleri olan sismik ve yer radarı yöntemlerinde göç işlemi ile yer altı görüntüsünün yorumu daha kolay hale getirilebilmektedir. Göç işlemi, gözlem noktalarından toplanan verilerin gerçek noktalarına yani yansıma noktalarına taşınması işlemidir (Kurtuluş, 2002). Göç işlemi sonucunda radargramlar geometrik açıdan daha anlamlı şekiller ifade etmektedir.

Radargramlarda görülen yansıma olayları her zaman düşey yöndeki bir yansıtıcıdan kaynaklanmamaktadır. Bu varsayım ancak yatay yansıtıcı yüzeylerin olması durumunda doğrudur. Yansıtıcı yüzeyin eğimsiz ve yatay olması durumunda veri üzerinde gerçek noktada görüldüğünden göç işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır (Şekil 1). Yansıma noktasının gözlem noktasının tam altında olmaması durumunda ise kayıttaki görüntü yanıltıcı olabilir. Bu durumda mutlaka göç işlemi uygulanarak yansıma gerçek yerine taşınmalıdır (Şekil 2).



Şekil 1. a) Yansıtıcı Yüzeyin Eğimsiz Ve Yatay Olması, b) Kayıt (a) In Case Of When Reflection Surface Is Flat And Horizontal, b) Record).

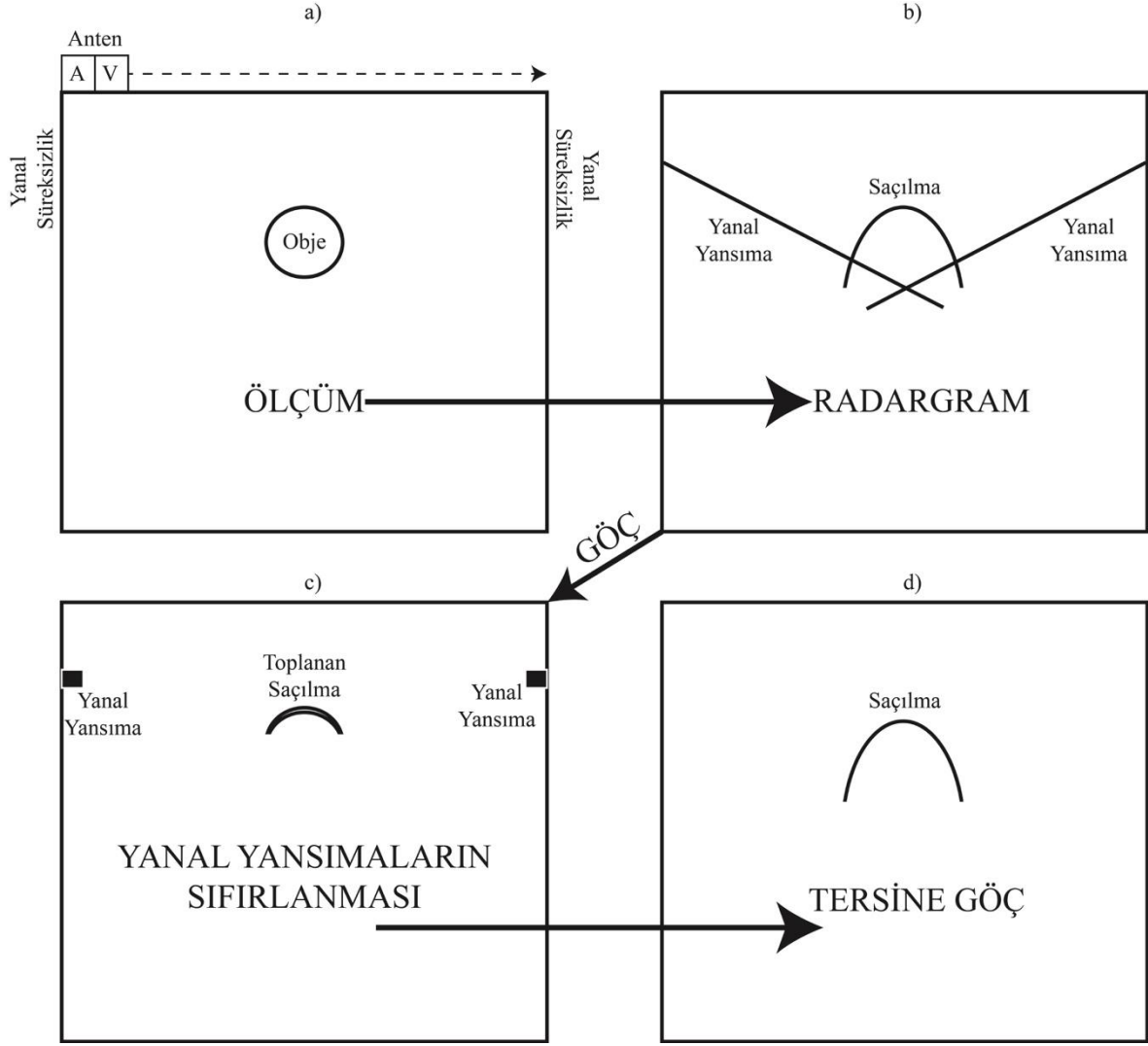


Şekil 2. a) Yansımanın Gözlem Noktasının Tam Altından Gelmemesi Durumu, b) Kayıttaki Görüntü Ve Göç Sonrası Gerçek Yerine Taşınması (a) The Situation Where The Reflection Does Not Arrive From Directly Below The Observation Point, b) The Image In The Record And Its Relocation To Its Actual Place After Migration).

Özdemir vd., (2014) yaptıkları çalışmada yer radarı yönteminde sıklıkla kullanılan göç işlemlerini incelemişlerdir. Göç işlemi, genellikle Kirchhoff yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve Stolt yöntemi ile uygulanabilmektedir (Damcı, 2004). Kirchhoff yöntemi, saçılma-toplama tekniği temel alınarak geliştirilen bir yöntemdir (Schneider, 1978; Moran vd., 2000). Claerbout (1985), dalga denkleminin sonlu farklar yöntemi ile çözülerek elde edilen göç yönteminin fiziksel prensibini tanımlamış ve sismik veriye uygulamıştır. Stolt (1978) ise Fourier dönüşümü ile göç yöntemini geliştirmiştir. Stolt yöntemi derinlikten dalga sayısına ve zamandan frekansa dönüşümü yaparak göç işlemini gerçekleştirmektedir. Stolt yöntemi sabit hız değerine sahip ortamlar için en uygun göç yöntemidir. Gazdag (1978) ise dalga sayılarını faz kayması ile ilişkilendirerek sıfır ofsetli sismik veri için hassas bir göç yöntemi geliştirmiştir.

Yer radarı çalışmalarında ani yanal süreksizliklerin ve yüksek hız değişimlerinin olduğu yerlerde yanal yansımalar gözlemlenmektedir. Bu yanal yansımalar ise araştırılan objelerden kaynaklanan yansımalar ile üst üste binebilmekte ve radargramların yorumunu zorlaştırabilmektedir. Bu sebeple radargrama uygulanacak göç, ardından yanal yansımaların toplandığı yerlerin atılması ve tersine göç işlemleri yanal yansımaları veriden atarak radargramın daha kolay yorumlanmasını sağlayacaktır. Bu işlem adımları Şekil 3'te görselleştirilerek ifade edilmiştir. Buna göre işlem şu adımlar ile gerçekleştirilmektedir:

- 1- Ölçülen bir radargramda var olan yanal yansımalar, önce göç işlemi ile gerçek yansıma yerlerine taşınmaktadır.
- 2- Yanal yansımaların taşınan genlikleri göç uygulanan radargramda sıfırlanarak veriden atılmaktadır.
- 3- Veri, tersine göç işlemi ile yanal yansımalarından arındırılmış haline dönüştürülmektedir.



Şekil 3. a) Herhangi Bir Objenin Yer Altındaki Varlığı Varsayılarak Yapılan Radargram Ölçümü, b) Ölçüm Sonrası Oluşan Radargram Ve Radargramda Objenin Oluşturduğu Saçılma İle Yanal Süreksizliğin Oluşturduğu Yanal Yansımalar, c) Göç İşlemi Sonrası Saçılmanın Gerçek Yansıma Noktasına Toplanması Ve Yanal Yansımaların Veriden Sıfırlanarak Atılması, d) Tersine Göç İşlemi Uygulanarak Yanal Yansımaların Veriden Arındırılması (a) Acquisition Of Radargram Assuming The Existence Of Any Object Underground, b) The Radargram Formed After The Measurement That Consist Of Reflections Formed By The Scattering Due To Object And The Side Reflections Due To Discontinuity On Both Sides, c) After The Migration Process, The Scattering Is Collected To The Real Reflection Point And The Side Reflections Are Removed From The Data By Muting, d) The Form Of The Radargram By Applying Demigration After Removal Of Side Reflections From The Data).

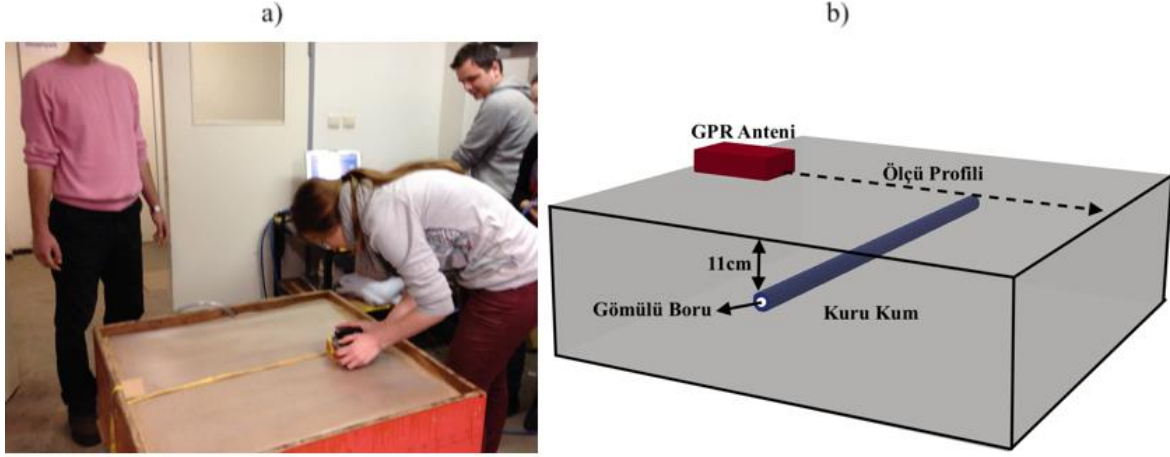
Bu çalışmada uygulanan göç işlemi Kirchoff göç yöntemidir. Kirchoff göç yöntemi dalga denkleminin integral çözümüne dayanmaktadır (Dondurur, 2009). Matlab programlama dilinde yazılmış bir kod yardımı ile göç ve tersine göç işlemleri radargramlara uygulanmıştır. Kirchoff göç yönteminde genliklerin gerçek yerlerine taşınması işlemi

$$t^2 = \tau^2 + \frac{4x^2}{V^2} \quad (1)$$

ile gerçekleştirilebilir. (Yılmaz, 2001). Buna göre radargramda saçılma hiperbolünün kolları üzerindeki herhangi bir noktadaki genlik hiperbolün tepe noktasına taşınır. Burada t , saçılma hiperbolünün kolları üzerindeki herhangi bir noktadaki genliğin varış zamanı, τ , saçılma hiperbolünün tepe noktasının varış zamanı, V ortamın elektromanyetik dalga hızı, x ise t zamanında varan yansımanın konumu ile τ zamanında varan yansımanın konumu arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Tersine göç işlemi de (1) formülünden yararlanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

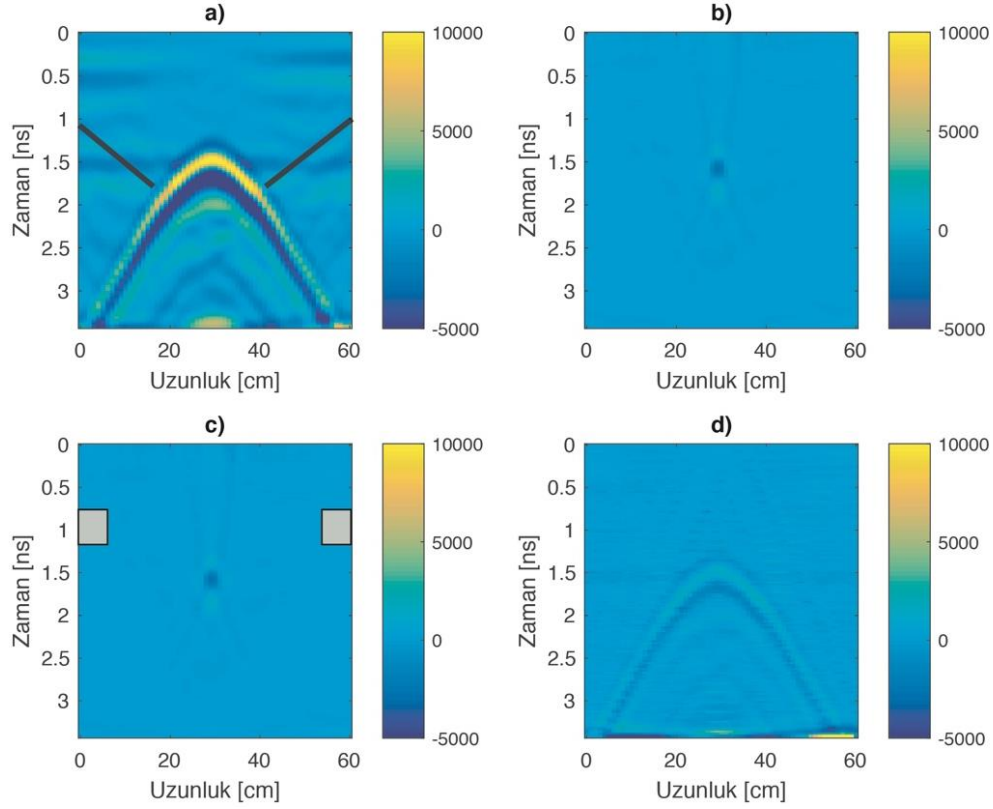
3. Uygulama (Application)

Yöntemin gerçekleştirilmesi adına veri toplanması için bir test modeli oluşturulmuştur. Test modeli tahtadan yapılmıştır. Test modelinin derinliği 28cm, kare şeklinde olan üst yüzeyinin her bir kenarı ise 88cm'dir. Yer radarı ölçüsünde saçılma oluşturması adına test modelinin içine, ölçü yönüne dik bir şekilde uzanan bir boru gömülmüştür (Şekil 4). Borunun üst sınırının ölçü yüzeyinden derinliği 11cm'dir. Boru gömüldükten sonra kumun üst yüzeyi antenin rahatça çekilmesi için pürüzsüz hale getirilmiştir. Ölçü 2 GHz merkez frekansa sahip Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) marka korumalı anten kullanılarak alınmıştır. Ölçüm uzunluğu anten ve test modelin boyutları göz önünde bulundurularak 60cm olarak belirlenmiştir. Ölçülen radargram içindeki her bir izin örnek sayısı 512'dir. Kayıt süresi ise 3ns'dir.



Şekil 4. a) Kum İçine Gömülen Boru Üzerinde Ölçü Alımı Ve Deneysel Model, b) Deneysel Test Modelinin Şematik Gösterimi, Özellikleri Ve Ölçü Alımı (a) Measurement On Experimental Test Model Where The Pipe Was Buried In The Sand, b) Schematic Representation Of The Experimental Test Model, Its Characteristics And Measurement Procedure).

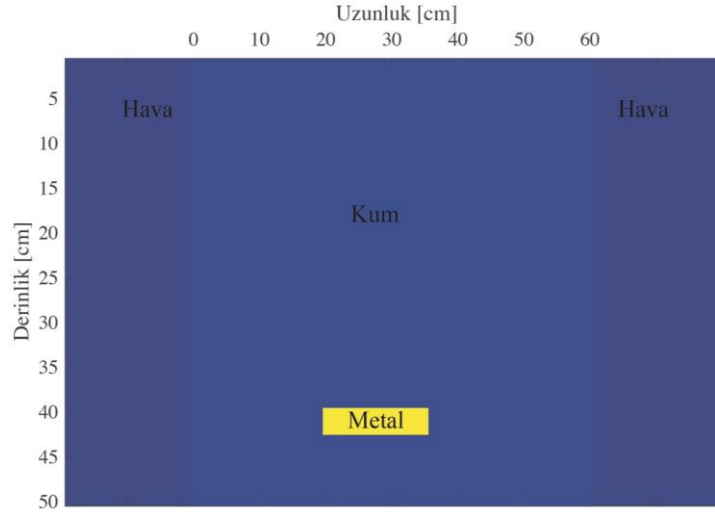
Yer radarı verilerine göç ve tersine göç işlemleri uygulanabilmesi için yeraltında ilerleyen EM dalganın hız bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ölçü alımı, alıcı ve verici antenlerin arasındaki mesafe değişmeden yani sabit ofset kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sabit ofset ile toplanan yer radarı verisinde radargramda görüntülenen hiperbol şeklinde bir yansımadan yeraltı yapısına ait elektromanyetik dalga hızı elde edilebilmektedir (Lei vd., 2019). Bu çalışmada da gömülü boruya ait yansıma hiperbolünden borunun gömülü olduğu kuru kumun elektromanyetik dalga hızı 17cm/ns olarak hesaplanmıştır. Gömülü boru üzerinde bir ölçü profili boyunca toplanan veri Şekil 5a'da gösterilmektedir. Toplanan veriye uygulanan Kirchoff göçü sonrasındaki görüntü Şekil5b'de gösterilmektedir. Göç sonrası yansıma noktaları gerçek yerlerine taşınmıştır. Bununla birlikte Şekil5a'da siyah renkli çizgilerle gösterilen yanıl yansımalar da gerçek yerlerine taşınmıştır. Bu yanıl yansımaların sebebi kuru kum ile test modelinin bittiği sınırdaki hava ortamına ani geçişten kaynaklanmaktadır. Göç işlemi sonrasında gerçek yerlerine taşınan yanıl yansımaların sayısal değerleri sıfırlanmış ve veriden atılmışlardır. Bu işlem Şekil 5c'de dışı siyah, içi gri renkli karelerin bulunduğu alanlarda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, yanıl yansımalarından arındırılmış yer radarı verisi tersine göç ettirilmiştir (Şekil 5d). Bu işlem sonrasında gömülü borunun oluşturduğu yansıma hiperbolünü barındıran radargram yanıl yansımalarından temizlenmiş ve bu sayede daha az elektromanyetik gürültü içeren bir görüntü oluşturmuştur.



Şekil 5. Yer Radarı Verisine Uygulanan Göç Ve Tersine Göç İşlemi: a) Toplanan Veri (Yanal Yansımalar Siyah Renkli Çizgiler İle İfade Edilmiştir), b) Göç Ettirilmiş Veri, c) Yanal Yansımaların Göç Sonrası Toplandığı Yerlerin Sayısal Değerleri Sıfırlanmış Veri (Gri Kutular Yanal Yansımaların Toplandığı Bölgelerdeki Sıfırlama İşlemi İfade Etmektedir), d) Yanal Yansımaların Etkisinden Arındırılmış Verinin Göç İşlemi Sonrası Hali (Migration And Demigration Processes Applied To Ground-Penetrating Radar Data: a) Acquired Data (Side Reflections Are Represented By Black Lines), b) Migrated Data, c) Muted Data Values Of The Places Where Side Reflections Are Collected After Migration (Grey Boxes Represent The Muting Process Locations Where Side Reflections Are Collected), d) Demigrated Form Of The Data, Which Contains No Side Reflections).

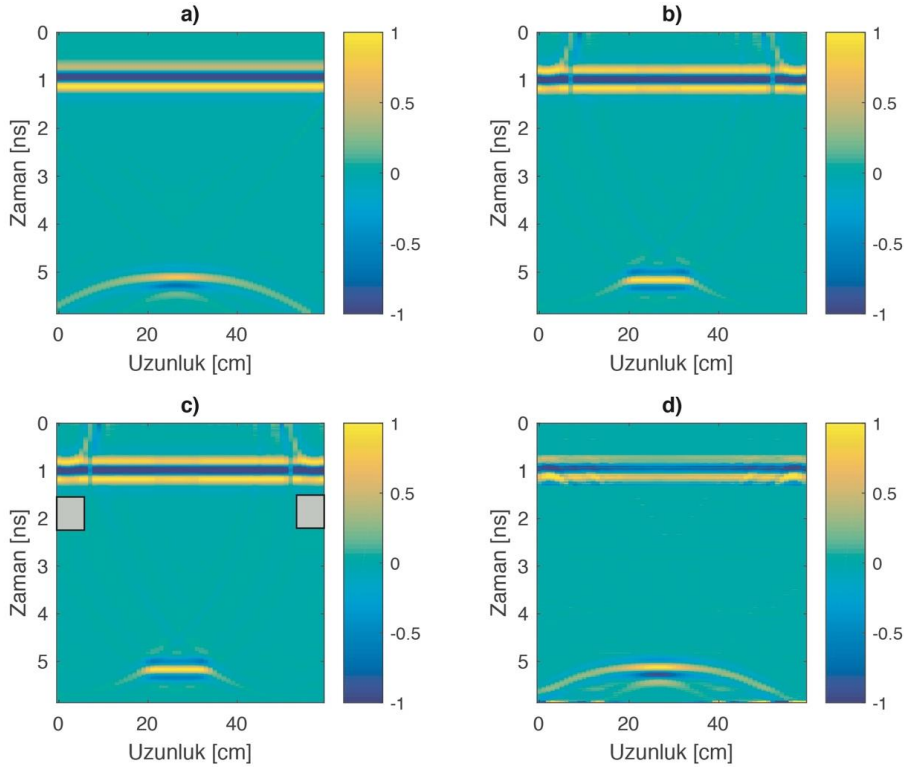
4. Modelleme Verisi (Modelling Data)

Yanal yansımaların radargramdan atılması ayrıca sonlu farklar yöntemi ile iki boyutta modellenmiş bir modele de uygulanmıştır. Bu sebeple kum ortamı içine metal bir plaka yerleştirilerek basit bir model oluşturulmuştur. Yanal yansıma oluşturması için ise modelin çevresine havanın dielektrik özellikleri eklenmiştir. Kumun göreceli dielektrik sabiti $\epsilon_k=3$, havanın göreceli dielektrik sabiti $\epsilon_h=1$ seçilmiştir. Metal ise çok kuvvetli iletken (PEC: Perfect Electric Conductor) olarak seçilmiştir (Giannakis vd., 2015). Modelin geometrisi Şekil 6'da gösterilmektedir. Oluşturulan model gprMax yazılımı ile modellenmiştir. gprMax, elektromanyetik dalga yayılımını Maxwell denklemlerini sonlu farklar yöntemi ile çözerek simüle eden açık kaynaklı bir yazılımdır (Giannapoulos, 2005).



Şekil 6. Kum İçine Metal Gömülü Olan Ve Her İki Yanda Da Hava Ortamı Olan Model Geometrisi (An Underground Model Geometry That Contains Of A Metal Embedded In The Sand And Air Medium On Both Sides).

Modelleme çalışması 2 GHz'lik Ricker benzeri bir kaynak dalgacığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her 1 cm uzunluğa 1 radar izi denk gelecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Her bir iz 2500 kez örneklenmiştir. İki boyutta zaman ortamında sonlu farklar ile modelleme çalışması sonucunda hesaplanan radargram Şekil 7a'da gösterilmektedir. Hesaplanan veriye uygulanan göç işlemi sonrasında elde edilen radargram Şekil 7b'de gösterilmektedir. Yanal yansıma genliklerinin göç işlemi sonrasında toplandığı yerlerin genlikleri sıfırlanmıştır (Şekil 7c). Tersine göç işlemi sonucunda yanar yansımalarından arındırılmış olan radargram ise Şekil 7d'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Modellenen Veriye Uygulanan Göç Ve Tersine Göç İşlemi: a) Modeldenmiş Veri, b) Göç Ettirilmiş Veri, c) Yanal Yansımaların Göç Sonrası Toplandığı Yerlerin Sayısal Değerleri Sıfırlanmış Veri (Gri Kutular Yanar Yansımaların Toplandığı Bölgelerdeki Sıfırlama İşlemi İfade Etmektedir), d) Yanal Yansımaların Etkisinden Arındırılmış Verinin Göç İşlemi Sonrası Hali (Migration And Demigration Applied To The Modeled Data: a) Modeled Data, b) Migrated Data, c) Muted Data Values Of The Places Where Side Reflections Are Collected After Migration (Grey Boxes Represent The Muting Process Locations Where Side Reflections Are Collected), d) Demigrated Form Of The Data, Which Contains No Side Reflections).

5. Sonuçlar (Results)

Bu çalışma kapsamında bir test modeli üzerinde toplanan yer radarı verisi göç ve tersine göç işlemleri ile yanal yansımalar arındırılmıştır. Yanal yansımaların yer radarı verisinden önerilen işlem adımları ile arındırılması ilk kez bu çalışmada gerçek ve teorik veriler üzerinde gösterilmiştir. Uygulama verisinde yanal yansımalar kum havuzunun yanlarındaki hava ortamından dolayı kaynaklanmaktadır. Bu durumu daha detaylı incelemek adına, ayrıca, zaman ortamında sonlu farklar ile iki boyutta modellenen ve yanal yansımalar içeren bir radargram da hesaplanmıştır. Modelleme çalışmasında kum havuzu içine gömülü bir metal plaka ve kum havuzunun her iki yanına da hava tabakasının dielektrik özellikleri girilerek hesaplama yapılmıştır. Hesaplanan radargramda gözlenen ve kum-hava sınırından dolayı kaynaklanan yanal yansımalar da benzer aşamalar ile veriden arındırılmıştır. Bu çalışmada önerilen algoritmadaki adımlar sırası ile izlenerek yanal yansımalar radargramlardan çıkarılabilir. Önerilen yöntem yer radarı çalışmalarında sıklıkla karşılaşılan yanal yansımaların radargramlardan atılması için kullanılabilir. Bu sayede radargramların sağ ve sol yanlarından olası yanal yansımaların genlikleri, yer altında araştırılan objelerin yansımalarından arındırılmış olacaktır. Bu işlemin yanal yansımaların sıklıkla gözlemlendiği bina içinde yapı unsurlarını görüntülemek amacıyla yapılan yer radarı çalışmalarında kullanılması verilerin yorumlanmasına katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, laboratuvarında herhangi bir test modeli ile duvarlara veya ağaçlara yakın olan profiller içeren yer radarı çalışmalarında yanal yansımaların atılması için önerilmektedir. Göç işlemi sonrası yanal yansımaların genlikleri sıfırlanarak ve ardından tersine göç işleminden sonra orijinal haline dönüştürülen radargramlarda herhangi bir olumsuz etki gözlemlenmemektedir. Yöntemin uygulanabilirliği adına oluşabilecek tek küçük kusur yer altında aranan obje vb. yapının saçılma hiperbolünün kolları ile yanal yansımaların üst üste bindiği durumlarda oluşacaktır. Fakat böyle bir ihtimalde dahi tersine göç işlemi sonrası aranan objenin saçılma hiperbolünün kollarında yorumu engelleyecek bir değişiklik oluşmayacaktır. Ayrıca, radargramlarda seçilen genlik sıfırlama pencerelerinin olduğu kısımlarda herhangi bir yer altı yansıması olması durumunda ise pencere seçiminin gerçek yansımaları kapsamayacak şekilde ve sadece yanal yansımaların genliklerini kapsayacak şekilde özenle seçilmesi gerekmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma ile ilgili değerli görüşlerini bildirerek çalışmaya yön veren ve katkı sağlayan Ertan Pekşen, Kerem Özkap ve Doğan Durdağ'a teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Balkaya, Ç., Kalyoncuoğlu, Ü., Özhanlı, M., Merter, G., Çakmak, O., Güven, İT, 2018. Ground- penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography Studies in the Biblical Psidian Antioch City, Southwest Anatolia. *Archaeological Prospection*, 25 (4), 285-300.
- Benedetto, A., Tosti, F., Bianchini Ciampoli, L., D'Amico, F., 2017. An Overview Of Ground-Penetrating Radar Signal Processing Techniques For Road Inspections. *Signal Processing*, 132, 201-209.
- Ciampoli, L.B., Tosti, F., Economou, N., Benedetto, F., 2019. Signal Processing of GPR Data for Road Surveys. *Geosciences*, 9.
- Claerbout, J.F., 1985. *Imaging The Earth's Interior*. Blackwell Scientific Publications.
- Damcı, E., 2004. Bartın-Amasra Açıklarında Deniz Sismiği Verilerinin Derinlik Ortamında Göç Uygulamaları ve Bölge Jeolojisi ile İlişkilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dondurur, D., 2009. Deniz Sismiğinde Veri İşlem, Ankara: TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, Yayın No:11.
- Gazdag, J., 1978. Wave Equation Migration with the Phase-shift Method. *Geophysics*, 43, 1342-1351.
- Giannakis, I., Giannopoulos, A., Warren, C., Davidson, N., 2015. Numerical Modelling And Neural Networks For Landmine Detection Using Ground Penetrating Radar. 2015 8th Int. Work. Adv. Gr. Penetrating Radar, IWAGPR 2015.
- Giannopoulos, A., 2005. Modelling Ground Penetrating Radar By Gprmax. *Construction And Building Materials*, 19 (10), 755-762.
- Kadioğlu, S., 2010. Definition of Buried Archaeological Remains With a New 3D Visualization Technique of a Ground-penetrating Radar Data Set in Temple Augustus in Ankara, Turkey. *Near Surface Geophysics*, 8 (5), 397-406.
- Kadioğlu, S., 2018. Research Of The Sea-Filled Airport OGU in The Black Sea, Turkey, Using Ground Penetrating Radar Method. *Construction and Building Materials*, 158, 1123-1133.
- Kaplanvural, İ., Pekşen, E., Özkap, K., 2020. 1D Waveform Inversion Of GPR Trace By Particle Swarm Optimization. *Journal of Applied Geophysics*, 181, 104157.
- Kaplanvural, İ., Özkap, K., Pekşen, E., 2021. Influence of Water Content Investigation on GPR Wave Attenuation For Early Age Concrete in Natural Air-drying Condition. *Construction and Building Materials*, 297, 123783.
- Kurtuluş, C., 2002. Sismik Arama, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 55.
- Lei, W., Hou, F., Xi, J., Tan, Q., Xu, M., Jiang, X., Liu, G., Gu, Q., 2019. Automatic Hyperbola Detection And Fitting İn GPR B-Scan

- Image. Automation in Construction, 106, 102839.
- Moran, M.L., Greenfield, R.J., Arcone, S.A., Delaney, A.J., 2000. Multidimensional GPR Array Processing Using Kirchhoff Migration. *Journal of Applied Geophysics*, 43, 281–295.
- Özdemir, C., Demirci, Ş., Yiğit, E., Yılmaz, B., 2014. A Review On Migration Methods In B-Scan Ground Penetrating Radar Imaging. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 280738.
- Özkap, K., Pekşen, E., Kaplanvural, İ., Çaka, D., 2020. 3D Scanner Technology Implementation to Numerical Modelling of GPR. *Journal of Applied Geophysics*, 179, 104086.
- Özkap, K., Pekşen, E., 2021. Yer Radarı (GPR) İçin 3B Sayısal Modellemede Fiziksel Parametre Etkileri : DNAPL Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (2), 476-494.
- Plattner, A.M., 2020. GPRPy: Open-Source Ground-Penetrating Radar Processing And Visualization Software. *The Leading Edge*, 39, 332–337.
- Prego, F.J., Solla, M., Puente, I., Arias, P., 2017. Efficient GPR Data Acquisition to Detect Underground Pipes, *NDT & E International*, 91 (5), 22-31.
- Schneider, W., 1978. Integral Formulation for Migration in Two and Three Dimension. *Geophysics*, 43, 49-76.
- Smitha, N., Ullas Bharadwaj, D.R., Abilash, S., Sridhara, S.N., Singh, V., 2016. Kirchhoff And F-K Migration To Focus Ground Penetrating Radar Images. *International Journal of Geo-Engineering*, 7.
- Stolt, R. H., 1978. Migration by Fourier Transform. *Geophysics*, 43, 23-48.
- Yılmaz, Ö., 2001. *Seismic Data Analysis*. Society of Exploration Geophysicists.
- Zhang, X., Feng, X., Zhang, Z., Kang, Z.; Chai, Y., You, Q., Ding, L., 2019. Dip Filter and Random Noise Suppression for GPR B-Scan Data Based on a Hybrid Method in $f - x$ Domain. *Remote Sensing*, 11, 2180.
- Zhou, H., Sato, M., Liu, H., 2005. Migration Velocity Analysis And Prestack Migration Of Common-Transmitter GPR Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 86–91.