



## Gömülü objelerin 3-B modellenmesinde GPR/GPS kombinasyonu

### GPR / GPS combination in 3-D modeling of buried objects

Celalettin Uçar<sup>a</sup> Füsün Balık Şanlı<sup>\*a</sup>

<sup>a</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul

#### MAKALE BİLGİ

Geliş/Received: 27.01.2017  
Kabul/Accepted: 28.03.2017

Anahtar Kelimeler:  
GPR  
GPS  
Topografik düzeltme

Keywords:  
GPR  
GPS  
Topographic correction

\*Sorumlu yazar/Corresponding author  
(F.B. Şanlı) fbalik@yildiz.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.17211/tcd.287481>

#### ÖZ / ABSTRACT

Bu çalışmanın amacı sığ jeofizik görüntüleme ve uzaktan algılama teknolojisi olan GPR yöntemini etkileyen parametrelerden topoğrafik değişkenliğin ölçme sonuçlarına etkisini belirlemek ve söz konusu GPR ölçmelerinde arazi eğiminin sebep olduğu sistematik olmayan hatanın ortadan kaldırılması probleminde Geomatik/Harita Mühendisliği disiplini içerisinde ölçme tekniğinin güncel metot ve teknolojilerini kullanarak çözüm bulabilmektir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan GPS teknolojisi ile elde edilecek topoğrafik verilerin GPR ölçmeleriyle eşzamanlı olarak toplanması ve birlikte yorumlanması ile GPR ölçmelerinde arazi eğiminden kaynaklanan hatanın giderilmesinin mümkün olduğu düşünülmektedir. Yerli veya yabancı literatürde GPR-GPS kombinasyonundan oluşan metodolojiyi konu alarak; Klasik GPR ölçme tekniği ile GPR-GPS kombinasyonunun, boyutları önceden bilinen gömülü referans obje üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edildiği herhangi bir akademik çalışma bulunmamaktadır. GPR – GPS kombinasyonundan oluşan metodun performansının test edilebilmesi için boyutları önceden bilinen gömülü obje referans alınarak klasik GPR ölçmeleri ile elde edilen 3D model ve GPR-GPS kombinasyonundan elde edilen 3D model, referans objenin gerçek boyutlarıyla karşılaştırılmıştır. Klasik GPR yöntemi sonuçları, GPR-GPS kombinasyonu sonuçlarıyla karşılaştırıldığında hem düz ve hem de eğimli arazide GPS-GPR yönteminin daha duyarlı yatay nokta konum hatası ürettiği belirlenmiş, yatay nokta konum hatasının eğimli arazi türünde %28,2 civarında küçüldüğü/iyileştiği gözlemlenmiştir.

*The objective of this study is defining the effect of topographic slope differences, as being one of the parameters that affect GPR - a near surface geophysic and remote sensing technology, on measurement results, and to find out a solution to the problem of the unsystematic error resulted from slope area on GPR measurements with in the discipline of Geomatic Engineering by using recent survey methods and technologies. It is considered that it is possible to eliminate the errors resulted from area slope differences via GPS as being a widely used technology to acquire topographic data, by collecting and evaluating the relevant data simultaneously. Taking into consideration the methodology that objects the combination of GPR-GPS in local and foreign literature; there is not such an academic attempt to study the combination of GPR-GPS comparatively with classical GPR survey technique, thorough the buried reference object of which dimensions are known in advance. In order to test the performance of the method derived from the combination of GPR-GPS combination, buried object, of which dimensions are known in advance, will be considered as a reference, then two models of 3D; one 3D model that is provided by classical GPR survey sand another 3D model that is provided by the combination of GPR-GPS, was compared with the actual dimensions of the object. When comparing the results of the traditional GPR survey with those of the GPR-GPS combination, it has been noted that the GPR-GPS method produced beter horizontal point positioning precision, and the horizontal positioning uncertainty was improved about 28,2% for slope land types.*

#### 1. Giriş

Gömülü boru ve araçların güvenli ve doğru pozisyonlarının belirlenmesinde, yol durum incelemesi ve güçlendirme çalışmalarında, köprülerde ve havaalanı pistlerinde, binaların yapısal denetimlerinin sağlanması gibi çok geniş alanlarda kullanılmakta olan bir teknoloji olarak GPR, her geçen gün kelimenin tam anlamıyla milyonlarca insanın güvenliğini sağlayan hayatı

bir teknik haline gelmiştir. GPR'in diğer önemli uygulama alanları; mayın arama ve boşluk tespiti gibi gömülü potansiyel tehlikeleri içerirken jeolojik oluşumların ve buzul ortamların araştırılması, arkeolojik alanların keşfedilmesi, tanımlanması ve kazı öncesinde konumlandırılmaları, yeraltındaki insan kalıntılarının ve silahların bulunması gibi adli tıp araştırmalarını da içerir. GPR her ne kadar geniş kullanım alanlarına sahip olsa da

bu tekniğin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi arka planındaki bilimsel temellerin iyi anlaşılmasını ve her bir uygulama alanına özel olarak yüksek düzeyde uzmanlığı gerektirmektedir (Perciso, 2014).

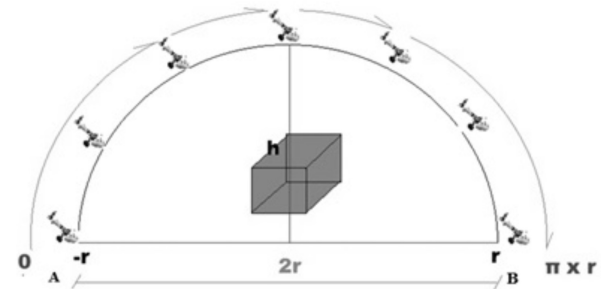
Son otuz yıl içerisinde elektronik endüstrisinde yaşanan gelişmeler, zahmetli ve pahalı bir iş olan ışık hızı ölçümlerinin daha ucuz, kolay ve daha duyarlı yapılmasını sağlamıştır. Işık hızının duyarlı ölçümlerinin sonucunda yeraltında ışık hızına yakın hareket eden elektromanyetik dalgaların daha hassas ve nanosaniye mertebesinde ölçülmesini ve sığ jeofizik araştırmalarda doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar ve gelişmeler GPR uygulamalarını doğurmuştur. GPR ilk önce buz kalınlığının ölçülebilmesi için geliştirilmiştir. Normal yer ortamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin sismik yöntemlerde kullanılan veri işleme teknikleri ile işlenmesi sonucunda 10 – 20 m gibi araştırma derinliğine ulaşıldığı görülmüştür. Günümüzde ise GPR yöntemi sığ yer araştırmaları ile arkeometri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Madencilik ve jeolojik çalışmalarda 1970’li yıllarda kullanılmaya başlanan GPR, 1980’li yıllarda iyi ayrımlılık veren 500 MHz - 1 GHz antenlerle doğal soğurmanın daha az olduğu sığ incelemeler için kullanılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde arkeolojik çalışmaları da bulmak mümkündür. 1990’larda ise düşük (10, 20 ve 50 MHz) ve yüksek (2,5-3 GHz) merkez frekanslı antenler kullanılmıştır. Daha sonra GPR, maden arama, stratigrafi, yol kaplama denetlemesi, yapı, inşaat, su arama vs. gibi alanlarda da kullanılmaya devam etmiştir (Alp vd., 2003).

GPR metodu; dalgalar halindeki elektromanyetik palslerin yer içinde yayılımına ve dalganın seyir süreci boyunca radar antenine geri yansıyan sinyallerin zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi esasına dayanır. Yeraltındaki her fiziksel veya kimyasal değişim, radar sinyali derinlere indikçe enerjisinin bir kısmının yüzeye geri yansımaya sebep olur. Bu süreç sinyalin enerjisi tamamen tükenene kadar devam eder. Yer içi katmanlarındaki süreksizliğin meydana getirdiği yansıma, kaya, tortu, toprak, bunların su içerikli çeşitli karışımları, taş veya kaya yapısındaki değişiklikler veya stratigrafik ara yüzeylerin kitlesel yoğunluk farklılıkları gibi yansıtıcı yüzeylerin elektriksel ve manyetik özelliklerindeki değişimlere bağlı olarak oluşur. Radar yansımaları, radar enerjilerinin yeraltı katmanları arasında arkeolojik yapılar ve etraflarını çevreleyen yığınardan geçerken üretilirler. Yeraltındaki ortam boyunca karşılaşılan mezar, tünel, gömü veya boru gibi gömülü yapılar radar dalgalarının yayılma hızlarında değişikliklere neden olduklarından belirgin radar yansımaları üretirler. Birbirine çakışık haldeki çok sayıda dalga formu aynı lokasyonda yeraltından farklı derinliklerde yansıyan bir dizi halinde kaydedilirler. Buna o lokasyona ait radar yansıma izi denilir (Davis ve Annan, 1989; Harrari, 1996; Van Dam ve Schlager, 2000).

Piyasada bulunan çoğu üretici firmanın GPR ürünleri; tek kişi ile kullanılabilen, GPR kontrol ünitesi, güç kaynağı ve tamamı tekerlekler üzerine konuşturulmuş anten ünitelerinden oluşan sistemlerdir. Yeraltı yansımaları; yansımaların düzey görüntüsünü oluşturmak için hangi veri elde etme yönteminin kullanıldığına bakılmaksızın, çift yönlü seyir zaman veya hız değeri biliniyorsa yansıma verisinin yaklaşık derinliğini düşey ekseninde ifade ederken, ölçüldüğü noktanın yeryüzündeki konumunu ise yansıma verisinin kaydedildiği noktanın profil başlangıcına olan mesafesini yatay ekseninde olacak şekilde gösterilirler (Dannowsky, 1999; Grandjean ve Gourry, 1999).

Eğer ölçme bölgeleri arasında kayda değer düzeyde yükseklik farklılıkları varsa yansıma veri kayıtlarındaki yüzeysel düzensizlikten kaynaklanan bu hata topografik düzeltmeyle giderilir. Yer yüzeyinin eğimli, engebeli, pürüzlü veya topografik yüksekliklerinin ölçüm profili boyunca sık değiştiği durumlarda yeraltı radar yansıma verilerine ölçümlerden sonraki veri işleme aşamasında bir düzeltme getirilmelidir. Yüzeyin belirgin şekilde düzensiz olduğu durumlarda ise yükseklik ölçümleri belki de her bir metrede bir veya daha da sık olacak şekilde yapılmalıdır (Sun ve Young 1995, Davisand Annan, 1989). GPR sistemleri veri işleme aşamasında kayıtlı radar yansıma izlerinin tümünü spesifik olarak belirlenen yeryüzü referans noktasından itibaren cihazın ölçmeyi yaptığı lokasyonun mesafesini ölçmek için bir tekerlek veya benzeri bir aletle veri toplayacak şekilde programlanmışlardır (Lehman ve Green 1999; Green vd., 2003).

Cismin üzerinden geçerken yüzeydeki anten tarafından kaydedilen gömülü objeye ait çok sayıdaki yansıma izleri bir yansıma hiperbolü oluşturur. Klasik GPR tekniğinde gömülü obje ya da katmanın radargram üzerinde tespit edildiği nokta; yalnızca başlangıç ve bitiş noktaları bilinen ölçüm profilinin başlangıcından itibaren “Ölçüm Tekerleği” ile ölçülendirilmiş mesafe ve derinlik değeriyle ifade edilen iki boyutlu lokal bir koordinat sistemine göre tanımlıdır (Green vd., 2003). Bu durumda tekerlek devir sayısı ile ölçülen mesafe Şekil 1’de gösterildiği gibi planimetrik (yataya indirgenmiş) mesafeden fazladır. Bu hata klasik GPR Modelinin başlangıç noktasından itibaren kat edilen mesafeyi ifade eden yatay ekseninde ölçek hatasına neden olmaktadır.



$2r \neq \pi \times r$   
 $(\pi=3,14)$   
 Objenin planimetrik konumu=  $r$   
 Objenin Klasik GPR radargram konumu=  $r \times (3,14/2)$

Şekil 1. Profil başlangıç noktası A ile profil bitiş noktası B arasındaki "Planimetrik" koordinatlarla hesaplanan yataya indirgenmiş mesafe (2r) ve GPR Ölçüm Tekerleği ile ölçülen mesafe  $((2\pi \times r)/2)$  gösterilmektedir.

Figure 1. The distance between the first location (A) and the final location (B) of the profile is presented as (2r) and  $((2\pi \times r)/2)$  for planimetric calculations and GPR measurements, respectively.

Anolitik geometriye göre koordinatları bilinen iki nokta arasındaki yatay mesafe;

$$[AB] = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2} \quad (1)$$

eşitlik (1) ile hesaplanabilir. Yataya indirgenmiş mesafenin elde edilmesi; GPR ile eşzamanlı yapılan GNSS/GPS ölçümleri ile mümkündür. Bu sayede her radar yansıma izi (trace), GPR anteninin yer yüzeyinde yer altı katmanlarına dair verileri topladığı konumda kaydedilen GNSS/GPS verisi ile X,Y ve Z koordinatı olarak tanımlanmış olacaktır.

Jeofizikçilere göre yansıma hiperbollerinin varlığı veri yorumlama aşamasında dikkat dağıtıcı bir etkindir çünkü gömülü objenin gerçek konumunu ifade etmemektedir. Bu hiperboller, yeraltında yayılan radar enerjisinin izlediği yolun kompleks geometrisinin ürünüdürler. Öte taraftan hiperbollerin varlığı bazen verilerin yorumlanmasına yardımcı da olabilir, çünkü yansıma profillerinde kolaylıkla tanımlanabilen yeraltı objelerinin geometrilerini ve spesifik boyutlarını gösterirler. En önemlisi hız analizlerinde hızın belirlenmesine olan katkısı görmezden gelinemez. Doğru bir hız analizi ise ancak yansıma hiperbollerinin doğru geometride üretilmiş olması ile mümkündür (Conyers., 2013).

“Ground Penetration Radar and Application” adlı kitabının “GPR Archaeometry” bölümünde Japonyanın Saitobaru, Miya-zaki bölgesinde topografyanın kayda değer derecede değişken olduğu, yer yer 25 derecelik eğim değerlerinin görüldüğü bir ortamda tarihi mezar odasının tespiti için yapılan arkeolojik araştırmada topografik düzeltmenin uygulanabilmesi için anten eğimine bağlı bir düzeltmenin getirilmesi gerektiği ve ancak bu sayede yeraltındaki yapıların doğru şekilde görüntülenebileceği anlatılmaktadır. Anten eğimi düzeltmesi ve topografik düzeltme yapıldıktan sonra radargram verilerinin mezar odasının gerçek şeklini ve boyutlarını ifade etmekte olduğu belirtilmektedir (Jol , 2009).

Kayda değer bir eğimin olmadığı ortamlar için radar yansımalarının düşey varsayıldığı klasik GPR metodu yeterli olmaktadır. Ancak topografik değişikliklerin büyük oranda olduğu yüksek eğimli arazilerde yapılacak çalışmalarda klasik GPR metodu yetersiz kalmaktadır. Topografyanın değişken olduğu alanlarda GPR araştırmaları için 2006 yılında Goodman ve ark. tarafından arazi eğimini dikkate alan statik düzeltme konusunda ilk iyileştirmeler yapılmıştır. Fakat bu ilk araştırmalarda eğim ölçer bir mekanizma kullanılmadan arazinin sabit bir eğimde olduğu varsayılmıştır. Sonraki yıllarda GPR profilinin eğimini ölçen tiltmetreler bazı ekipmanlarda standart olarak sunulmaya başlanmış ve GPR taramaları ile senkronize şekilde kullanılmış olsa da konu ile ilgili yayımlanmış hiçbir makalenin bulunmadığı Goodman D. ve Piro S. (2013) tarafından belirtilmiştir.

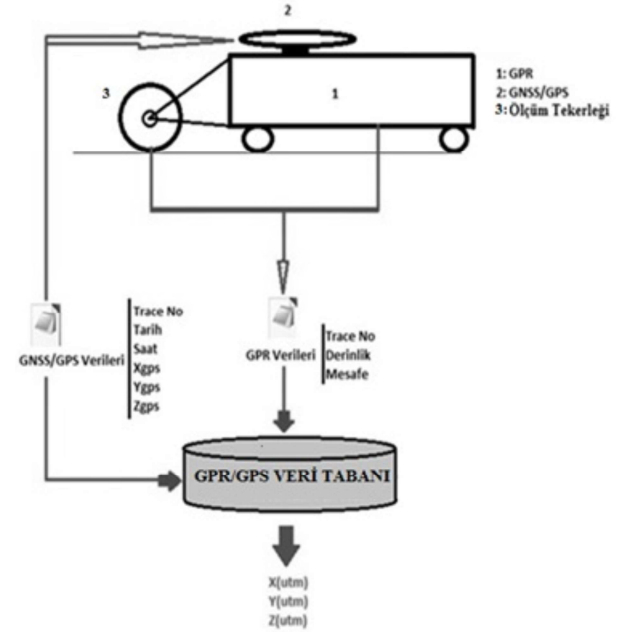
## 2. Amaç ve Kullanılan Yöntem

Araştırma Klasik GPR ölçümünden farklı olarak GNSS-GPS verilerinin eşzamanlı kaydedilmesi ve GPR/GPS Veri Tabanı ile işlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaçla, 250 Mhz merkez frekansında MALA ProEx serisi GPR ünitesi, Trimble RS8 GNSS/GPS alıcısı ile senkronize veri kaydının yapılabilmesi için PC tabanlı “Twedge” datalogger, GPR verilerinin işlenmesinde ve yorumlanmasında “Reflex-W”, veri tabanının oluşturulması amacıyla Microsoft Access, 3 boyutlu çizim ve modelleme aşamalarında NetCAD ve AutoCAD Civil-3D yazılımlarından yararlanılmıştır.

### 2.1. GPR/GPS Veri Tabanı

GPR/GPS Veri tabanı Microsoft Access yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. GPS ve GPR radargramından UTM koordinatı hesaplanmak istenilen detay noktalar olmak üzere 2 tablo içermektedir. GPR ile eşzamanlı kaydedilen GNSS/GPS verilerinin bulunduğu tablolar GPR/GPS Veri Tabanı kullanılarak en-

tegre edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. (1)GPR, (2)GPS, (3) Ölçüm Tekerleği (Odometer) kısımları olmak üzere; GPS ve GPR radargramından işaretlenen detay noktalarına ait karşılıklı verilerin yer aldığı 2 tablonun senkronize edildiği ve entegrasyon sağlanıp verilerin işlendiği GPR/GPS Veri Tabanı gösterilmektedir.

Figure 2. GPR/GPS Data Base which performs data synchronization, integration and processing steps between the sample points table (which picked from GPR radargram) and GPS table of corresponding points. (1)GPR, (2) GPS, (3) (Odometer) are the parts of the system.

### Tablolar:

Tablo 1’de GNSS/GPS ölçüleri ile eşzamanlı yapılan GPR ölçümü “Reflex-W” programı kullanılarak zamansal senkronizasyonla entegre edilmiş ve “.cor” uzantılı dosya üretilmiştir. “.cor” uzantılı dosya Microsoft Excel yazılımı kullanılarak tablo haline getirilir (Tablo 1’de 17418 yansıma izi (trace) kaydından 10 adedi gösterilmektedir).

Tablo 1. GPS verileri tablosu.

Table 1. Table of GPS data.

Trace	Tarih	Saat	Y koordinatı	X koordinatı	Z koordinatı	Anten (H)
1	8.10.2016	12:51:30	425250.781	4533906.124	4.19	1.2
12	8.10.2016	12:51:31	425250.769	4533906.101	4.23	1.2
13	8.10.2016	12:51:31	425250.757	4533906.077	4.23	1.2
14	8.10.2016	12:51:31	425250.744	4533906.054	4.23	1.2
15	8.10.2016	12:51:31	425250.732	4533906.031	4.23	1.2
16	8.10.2016	12:51:31	425250.720	4533906.007	4.23	1.2
51	8.10.2016	12:51:32	425250.695	4533906.011	4.27	1.2
52	8.10.2016	12:51:32	425250.665	4533906.025	4.27	1.2
53	8.10.2016	12:51:32	425250.635	4533906.038	4.27	1.2
54	8.10.2016	12:51:32	425250.606	4533906.052	4.27	1.2

GPR/GPS (2) Kombinasyon Metodu uygulamasında GPS antenin GPR ünitesine dikey pozisyonda sabitlenmiş olduğu varsayılmaktadır. GPR verileri 2 boyutlu radargramlarla ifade edilir. Radargramlar yorumlanırken nokta hedefler yada katman sınırlarını tanımlayabilmek için “pick” adı verilen işaretlemeler yapılır. İşaretlenen her nokta için Trace No (yansıma izi numarası), profil başlangıcından olan mesafe ve genlik değerleri gibi veriler kullanıcının tercihine göre dijital olarak kaydedilebilir.

Radargram üzerinde gerçek koordinatı hesaplanmak istenen noktalar işaretlenmiş ve Trace No , derinlik ve mesafe bilgileri GPR/GPS Veri Tabanında işlenmek üzere kaydedilmiştir (Tablo 2).

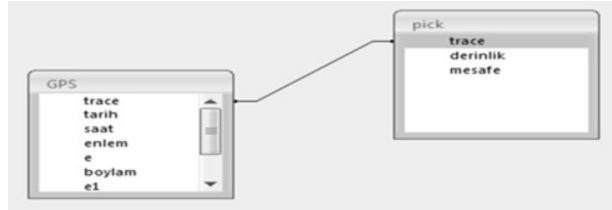
**Tablo 2.** GPR radargramın da işaretlenerek UTM koordinatı hesaplanmak istenen detay noktaları tablosu.

**Table 2.** The table of detail points, picked on radargram, for which the UTM coordinate is to be calculated.

Trace No	Derinlik	Mesafe
1	0.774	1.125
12	0.720	1.725
13	0.684	2.275
14	0.927	2.825
15	0.964	3.225
16	1.045	4.1
51	1.054	4.7
52	1.081	5.65
53	1.144	6.125
54	1.279	6.85

GPR radargramın da işaretlenen (pick) detay noktaları Trace No, Derinlik ve Profil başlangıcından itibaren ölçülen mesafe seçilerek “.txt” uzantılı dosya olarak kaydedilir. Radargram üzerinde işaretlenen nokta verilerinin “.txt” uzantılı bu kaydı Microsoft Excel yazılımı kullanılarak tablo haline getirilir ve kaydedilir. Tablo 1 ve Tablo 2, aynı yansıma izi (trace) numarasına tanımlı GPS ile GPR radargramında işaretlenen nokta verilerini entegre etmek amacıyla Trace No sütunu birincil anahtar olarak kullanılmak üzere ilişkilendirilir. Her “trace\_no” için yalnızca bir GPS verisi ve yalnızca bir işaretlenen nokta kaydı bulunduğundan eşleşmede herhangi bir hata oluşmaz (Şekil 3).

**Tablolar arası ilişkiler:**



**Şekil 3.** GPR/GPS veri tabanı ilişkilerinin kurulması.

**Figure 3.** Relations of GPR/GPS database.

**Veri Entegrasyonu:**

GPS ve işaretlenen nokta tablolarının ilişkilendirilmeleri ve oluşturulan veri tabanı sorgusu sonucunda işaretlenen her nokta

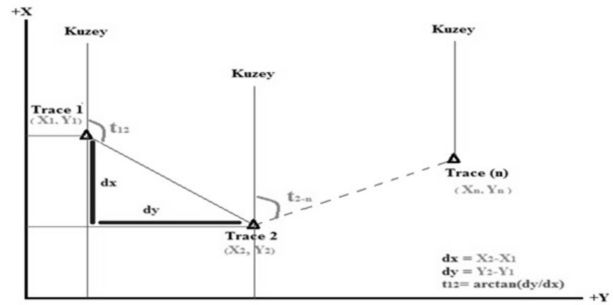
için bu iki tablo verilerinin entegrasyonu sağlanır (Tablo 3).

**İşlem Adımları:**

Aşağıda izah edilen işlem adımlarının tamamı GPR/GPS veri tabanı tarafından gerçekleştirilmektedir. Tüm hesaplamalar “GPS Sorgu1” alanları kullanılarak SQL kodlarla hazırlanmıştır. Fakat daha kolay anlaşılabilmesi adına veri entegrasyonundan sonra yapılacak işlem adımları Microsoft Excel sütun adlarıyla isimlendirilerek ayrıca formüle edilecektir. Sunulan eklerdeki indekste her veri grubu için Microsoft Excel tablosunda karşılık gelen alan adları gösterilmektedir (Ek 1).

**Açıklık Açısı Hesabı:**

Manyetik kuzey ile radar profilinin yer yüzeyi üzerinde taşındığı doğrultu arasındaki açıdır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Açıklık açısı.

**Figure 4.** Azimuth.

Trace1 ve Trace2 nolu ölçüm noktaları (Yansıma İzi Noktaları) arasındaki bazın manyetik kuzeyle yaptığı açı; t12 görülmektedir. Gömülü objeye dair seçilen detay noktalarını Ülke Koordinat Sisteminde konumlandırabilmek için açıklık açısının mutlaka bilinmesi gerekir. Açıklık açısı hesabı; arctan: (dy/dx) eşitliği ile hesaplanır. dy (Y koordinatları farkı) ve dx (X koordinatları farkı) pozitif veya negatif olması durumlarına göre 4 farklı şekilde hesaplanır (Ek 1).

Her bir yansıma izi (Trace) için dy, dx ve arctan (dy/dx) değerleri tanımlanmalıdır. Profil başlangıcından itibaren GPS (2) antenin tanımlı olduğu koordinat sisteminin X eksenindeki yer değiştirme miktarı “dx” ve profil başlangıcından itibaren GPS (2) antenin tanımlı olduğu koordinat sisteminin Y eksenindeki yer değiştirme miktarı “dy” ile ifade edilir (EK 1).

1. açıklık açısının hesaplanması ile GPR’in yeryüzündeki profil güzergahının manyetik kuzeyle yaptığı açı matematiksel olarak

**Tablo 3.** Veri entegrasyonu tablosu.

**Table 3.** Data integration table.

Trace	Tarih	Saat	Y koordinatı	X koordinatı	Z koordinatı	anten (H)	Derinlik	Mesafe
1	8.10.2016	12:51:30	425250.781	4533906.124	4.19	1.2	0.774	1.125
12	8.10.2016	12:51:31	425250.769	4533906.101	4.23	1.2	0.720	2.275
13	8.10.2016	12:51:31	425250.757	4533906.077	4.23	1.2	0.684	2.825
14	8.10.2016	12:51:31	425250.744	4533906.054	4.23	1.2	0.927	3.225
15	8.10.2016	12:51:31	425250.732	4533906.031	4.23	1.2	0.964	4.1
16	8.10.2016	12:51:31	425250.720	4533906.007	4.23	1.2	1.045	4.7
51	8.10.2016	12:51:32	425250.695	4533906.011	4.27	1.2	1.054	5.65
52	8.10.2016	12:51:32	425250.665	4533906.025	4.27	1.2	1.081	6.85
53	8.10.2016	12:51:32	425250.635	4533906.038	4.27	1.2	1.144	8.25
54	8.10.2016	12:51:32	425250.606	4533906.052	4.27	1.2	1.279	6.85

ifade edilmiş olur. Başlangıç noktasının X (başlangıç) ve Y (başlangıç) koordinatları, açıklık açısı ve başlangıçtan itibaren profil üzerindeki yatay mesafesi bilinen bir noktanın X ve Y koordinatları eşitlik (2) ve eşitlik (3) ile hesaplanır.

$$X_n = (X_{\text{başlangıç}}) + (L \text{ başlangıç noktasından itibaren yatay mesafe}) \times \cos(\alpha_{\text{açıklık Açısı}}) \quad (2)$$

$$Y_n = (Y_{\text{başlangıç}}) + (L \text{ başlangıç noktasından itibaren yatay mesafe}) \times \sin(\alpha_{\text{açıklık Açısı}}) \quad (3)$$

Gömülü objeyi doğru konumlandırabilmek için öncelikli olarak GPR'ın yer yüzeyindeki konumu bilinmelidir. Dolayısıyla her yansıma izi (trace) için GPR'ın yeryüzündeki konumunu ifade eden YGPS ve XGPS değerlerinin doğru hesaplanması gerekir. Fakat veri entegrasyonunda yaşanan senkronizasyon problemi nedeni ile bazı ardışık yansıma izi (trace) numaraları için aynı GPS koordinatları görülebilmektedir. GPR her 0,025 metrede bir (örnekleme aralığı programlanarak değiştirilebilmektedir) yansıma izi üretirek çok hızlı şekilde veri toplarken GPS aynı serilikte koordinat üretmemektedir. Bu problem çözülmezse ardışık Y ve X koordinatları arasında fark olmayacağından dolayı açıklık açısı hesaplanamayacak ve sistem hata verecektir. Bu nedenle eğer Y ve X koordinatları farkı=0 ise; koordinatların ardışık olarak aynı seyrettiği bu alanlar için seçilen detay noktaları tablosunda her yansıma izi için tanımlanan başlangıçtan itibaren "mesafe" ölçümü yataya indirgenerek YGPS ve XGPS koordinatları özel olarak hesaplanmalıdır.

GPS tablosunda aynı koordinat değerinde kaydedilen yansıma noktalarını yeniden koordinatlandırmak için ölçüm tekerleğinden alınan mesafe değeri kullanılır. İlk verilere göre aynı koordinatta tanımlanan yansıma izi noktaları için koordinatlar yeniden hesaplanır (Ek 2).

GPR ölçümü ile eşzamanlı yapılan GPS ölçümleri ve yukarıda açıklanan adımlar sonucunda GPR radargramı üzerinde tanımlı olan yansıma izlerinin tamamına ait XGPS, YGPS, ZGPS koordinatları hesaplanmıştır. GPS verilerinden elde edilen "Z" koordinatından anten yüksekliği ve seçilen detay noktasının derinlik değeri kullanılarak yükseklik değeri Z elipsoidal koordinat değeri belirlenmiştir (sırasıyla anten yüksekliği ve derinlik değeri alanları J ve N alan adları ile Ek 2'de tanımlanmıştır).

## 2.2. Arazi Çalışmalarının Planlanması

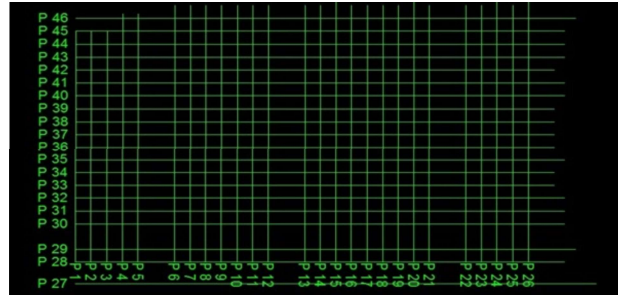
Çalışmanın birinci amacı boyutları önceden bilinen gömülü obje üzerinde Klasik GPR ile GPR/GPS Kombinasyon Metodunu karşılaştırmak, konum verilerinin modellemeye olan etkilerini araştırmaktır. Ölçüm profili üzerinde yansıma izleri (trace) arası mesafe ölçümü odometre ile yapılan Klasik GPR yönteminin GPS ile kombinasyonu sayesinde profil mesafesinin planimetrik koordinatlarla yataya indirgenmesini sağlamak ve oluşan model verilerini gömülü objenin bilinen boyutlarıyla karşılaştırmaktır. Bu amaçlar doğrultusunda İstanbul İli, Maltepe ilçesi, Orhangazi Şehir Parkında bulunan gömülü su depoları çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 5).

Söz konusu park 2010-2013 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından deniz dolgusu ile oluşturulmuştur. Gömülü su depoları deniz dolgusu tamamlandıktan sonra inşa edilmiştir. Aynı boyutta ve yan yana olan 3 su deposu ile 1 makine dairesi bulunmaktadır. Mimari ve statik olmak üzere tüm proje detayları, aplikasyon noktaları mevcuttur. Dolayısıyla gö-

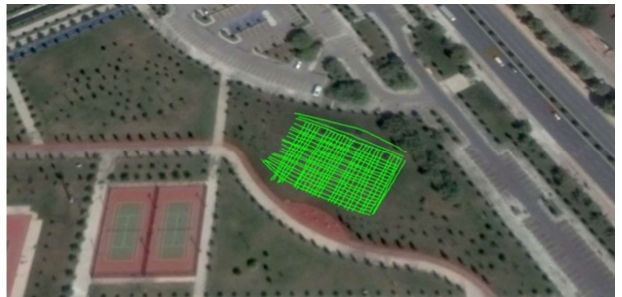
mülü su depolarının geometrik boyutları detaylı olarak bilinmektedir. Profil hatları oluşturulurken gömülü su depolarının bilinen aplikasyon koordinatları göz önüne alınarak mümkün olduğunca şev eğimlerini de içerecek şekilde fazladan ölçü alınmasına özen gösterildi. Dolayısıyla Şekil 6'da gösterilen 1, 2, 27, 28, 29 ve 46 nolu profiller su depolarının oturum alanının dışındadır. Ölçümlerden sonra GPS koordinatları referansıyla oluşan profiller Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 5. Maltepe Orhangazi Şehir Parkı ve gömülü su depoları.  
Figure 5. Maltepe Orhangazi Park and buried water tanks.



Şekil 6. GPR ölçme modeli.  
Figure 6. GPR surveying model.



Şekil 7. GPR ölçüm profilleri.  
Figure 7. GPR surveying profiles.

## 2.3. Arazi Çalışmaları

Maltepe Orhangazi Şehir parkında bulunan 3'lü su depolarının bulunduğu alanda 46 ölçüm profili için 1-26 numaralı profiller düşey, 27-46 kesitler diğerlerine dik şekilde yatay olarak aplik edildi. Tüm jeofizik ölçümler tam otomatik Mala marka ProEx serisi GPR donanımı ve kontrol ünitesi, 250Mhz merkez frekanslı kapalı antenlerle gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).

İ.B.B Anadolu Yakası Park ve Bahçeler Müdürlüğünden alınan çalışma izni şartları göz önünde bulundurularak yersel işaretleme yapılmadı. Yatay ve düşey GPR Ölçüm Profillerinin baş-

langıç noktasını belirleyen aks için 50 metrelik çelik şerit metre zemine yerleştirildi. Profiller çelik şerit metre aksının her 1.5 metrede bir olacak şekilde mümkün olduğu kadar lineer doğrultularla ölçüldü (Şekil 7). Profillerin toplam uzunluğu 1714,2 metredir. Veri senkronizasyonunun sağlanması amacıyla "Twedge" datalogger yazılımı kablosuz (bluetooth) bağlantı kurularak kullanıldı. Aynı sistem saati ile kaydedilen GPR ve GPS ölçümleri bu sayede eşzamanlı GPR/GPS okumaları olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. GPR profillerinin ölçümü.  
Figure 8. GPR surveying.

#### 2.4. Laboratuvar Çalışmaları

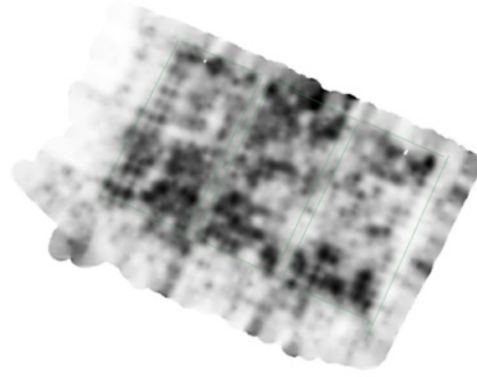
##### GPR Profillerinin İşlenmesi:

Arazide toplanan GPR verisi, ofis ortamında değerlendirilerek yeraltı oluşumlarının karakteristiklerini gösteren kesit haritaları görsel olarak tanımlanabilir duruma ve yorumlamaya açık hale getirilmiştir. Arazide uygulanan ölçümlerin maruz kaldığı EM gürültü etkileri (araç sinyalleri, cep telefonları, telsiz vericileri, v.b. diğer istenmeyen dış etkiler) çeşitli filtreler kullanılarak temizlenmiştir. İşlenen 2 boyutlu (2B) GPR profilleri ilk olarak kendi içlerinde değerlendirilip yorumlanmış ve sonrasında koordinatlarıyla birleştirilerek 3 boyutlu (3B) yeraltı haritalarına çevrilmiştir. Veri işleme kısmında, arazide uygulanan GPR yöntemi ile elde edilen radar profilleri işlenerek ayrı ayrı incelenmiştir. Oluşturulan her GPR profili için sırasıyla aşağıdaki işlem adımları dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İşlenen radargramlarla "Reflex-W" yazılımı kullanılarak oluşturulan 3-B model Şekil 9'da görülmektedir. Yüzyden itibaren 10 cm de bir alınan kesitlerden 8 numaralı kesitte gömülü depo sınırları görüntülenmektedir.

- (A) Hava/yansıma/topografik düzeltmesi (Static Correction)
- (B) Yüksek geçişli gürültü filtrelemesi (Dewow)
- (C) Zaman sınırlaması (Time Cut)
- (D) Dalga genlik yükseltme filtrelemesi (Gain Function)
- (E) Frekans bandı geçişi (Background Removal)
- (F) Hız Düzeltmesi

##### Yüksek Genlikli Anomalilerin İşaretlenmesi:

Önceki bölümde anlatıldığı şekilde işlenen radargramlar da arzu edilen anomaliler GPR/GPS veri tabanında işlenmek üzere işaretlenerek kaydedildi. Bu aşamada Reflex-W yazılımının genlik ölçeği kullanılarak yüzeye en yakın ve en yüksek genlikli anomaliler işaretlendi. Bu yüksek genlikli anomali araştırmaya konu olan gömülü su depolarının betonarme sınırlarıdır. 12000 ile



Şekil 9. Reflex-W yazılımı kullanılarak oluşturulan 3-B modelde 8 No'lu kesit (Slice). (Yüzyden 0,75-0,80 cm derinlikte bulunan kesitte gömülü su depolarının sınırları görülmektedir).

Figure 9. A slice of 3-D model generated with "Reflex-W" software. The boundaries of the buried water tanks at the depth of 0.75-0.80 cm from the surface are visible).

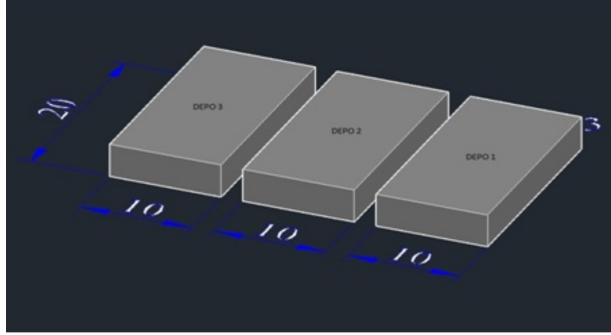
15000 genlik değerine sahip olan tabaka diğer anomalilerden kolaylıkla ayırt edilebilir durumdadır. Genlik değerlerindeki +/- işaret değişikliği polarite farklılaşmasından oluşmaktadır ve işaretten bağımsız olarak en yüksek genlik değeri su depolarının betonarme zeminini ve tavan sınırlarını ifade etmektedir. Bu yüksek genlikli anomalilerin radargram profilleri üzerinde işaretlenmesi "Reflex-W" yazılımı kullanılarak 46 profil için ayrı ayrı yapılmış ve ".pck" uzantılı (pick) işaret dosyası olarak "trace no", "derinlik" ve "mesafe" verileri ile kaydedilmiştir. Bu adımların sonunda araştırmaya konu olan su depolarının Klasik GPR modeli oluşturulmuştur.

##### GPR/GPS Kombinasyon Metodu İle Elde Edilen Modelin Oluşturulması:

GPR/GPS kombinasyonu modelinde yansıma izi (trace) noktaları arası mesafelerin ölçümünde GPR ölçümü ile eşzamanlı yapılan GPS okumalarından elde edilen ".cor" uzantılı dosyada bulunan kartezyen koordinat verileri kullanılır. Bu sayede klasik GPR metodunda odometre (ölçüm tekerleği)'nin devir sayısına göre mesafe belirlemenin arazinin eğimli olduğu durumlarda neden olduğu sistematik olmayan hatanın giderilmesi ve mesafe ölçülerinin planimetrik koordinatlar kullanılarak yataya indirgenmeleri sağlanır. Ayrıca profil hattı boyunca arazinin kot farklılıkları "Z" koordinat verisi kullanılarak topografik düzeltme sağlanmış olur. Bu amaçla 250 Mhz merkez frekansında Mala Pro-Ex GPR ünitesi Trimble GPS donanımı ile entegre edilmiştir. Veriler profil başlangıcından profil bitiş noktasına kadar her profil için GPR ünitesi ile senkronize şekilde kaydedilmiştir. GPS verilerinin bulunduğu ".cor" uzantılı dosyada ki konum verileri Coğrafi Koordinat Sistemindedir ( $\phi$ ,  $\lambda$ ). Dolayısıyla modelleme yapabilmek ve düzeltme değerlerini koordinat verilerine uygulayabilmek amacıyla bu verilerin tamamı 3 derecelik Universal Transvers Mercator (Ülke Koordinat Sistemi)'a çevrilmiştir. Senkronize GPR ve GPS kayıtları GPR/GPS veri tabanında yüksek genlikli anomali sınırlarının işaretlendiği her bir yansıma izi için eşzamanlı GPS veri kayıtlarından elde edilen "Trace No", "X koordinatı", "Y koordinatı", "Z koordinatı", "Anten Yüksekliği" verileri ile GPR profillerinden işaretlemelerle kaydedilen "Trace No" ve "Derinlik" verileri eşleştirilerek GPR/GPS kombinasyon modeli oluşturulmuştur.

### 3. Bulgular

Bu bölümde sırasıyla Klasik GPR metodu, GPR/GPS Kombinasyon Metodu ile hazırlanan 2 model boyutları bilinen gömülü obje ile karşılaştırılmıştır. Daha önce de ifade edildiği gibi Maltepe Orhangazi Parkında bulunan gömülü su depoları ve bilinen boyutları her iki modelin kıyaslanması açısından referans olarak kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Gömülü su depolarının 3-B modeli.  
Figure 10. 3-D Model of buried water tanks.

Ölçmenin gerçekleştirildiği alanda 20 metre uzunluğunda ve 10 metre genişliğinde 3 ayrı depo gömülü vaziyettedir. Depolar arasında 2 metre boşluk bulunmaktadır. Üst kotu 3,45m ve temel beton seviyesi -0,2 m'dir. İnşaat safhasından itibaren imatları kontrol edilip fotoğraflanmıştır (Şekil 11).



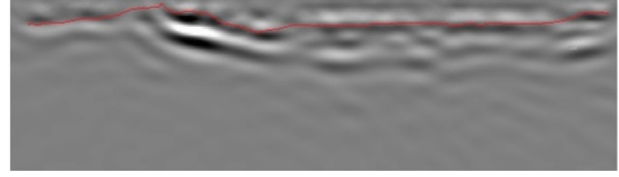
Şekil 11. Gömülü su depolarının imalat safhasına ve imalat sonrasına ait görünüşler.  
Figure 11. Views of buried water tanks during the construction phase and up to date.

#### 3.1. Klasik GPR Modeli ile GPR-GPS Kombinasyon Modellerinin Boyutları Bilinen Gömülü Objeye ile Karşılaştırılması

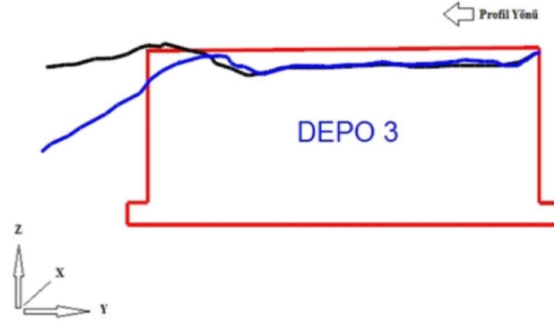
##### Geometrik Analiz 1:

Düşey yönlü ölçümlerden biri olan 22 No'lu profilde su deposu betonarme duvarlarının radargramda oluşturduğu yüksek genlikli anomaliler ve bu anomaliler üzerinde yapılan işaretlemeler Şekil 12'de görüldüğü gibidir. Siyah çizgi izi klasik GPR modelini, Mavi çizgi GPR/GPS Kombinasyon Modelini temsil etmektedir (Şekil 13). 3 No'lu depo üzerinden algılanan bu anomalinin Klasik GPR metoduna karşılık geldiği Şekil 13'de görülebilir.

Arazi eğiminin başladığı andan itibaren GPR/GPS Kombinasyon Modeli (Mavi) Klasik GPR Modelinden (Siyah) ayrılarak depo sınırları ile kıyaslandığında gömülü objeyi daha doğru ifade etmekte, azalmakta olan kot değeri ile birlikte depo sınırlarına daha yakın bir görünüm sergilemektedir.



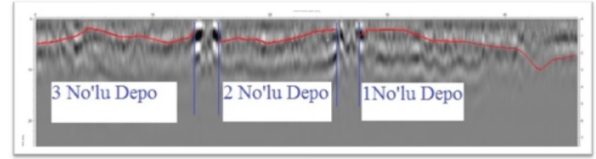
Şekil 12. 22 No'lu radargram ve yüksek genlikli anomalilerin işaretlenmesi.  
Figure 12. High amplitude anomalies are picked on radargram 22.



Şekil 13. 3 No'lu depo üzerinde yapılan 22 No'lu ölçüm profilinin her iki modelle kıyaslanması görülmektedir.  
Figure 13. Comparison of profile 22, lying on the 3rd water tank, on both models.

##### Geometrik Analiz 2:

Her 3 depo sınırını da içeren yatay yönlü ölçüm profillerinden biri olan 36 nolu radargram ve depo sınırlarını ifade eden yüksek genlikli anomali işaretlemeleri Şekil 14'de sunulmaktadır.



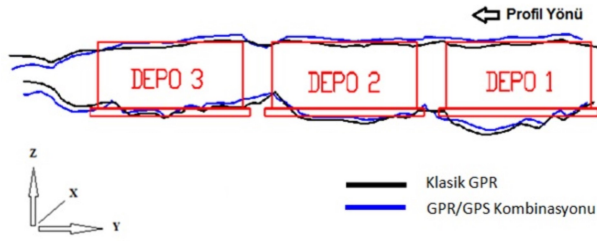
Şekil 14. 36 No'lu radargram üzerinde yüksek genlikli anomalilerin işaretlenmesi.  
Figure 14. High amplitude anomalies picked on radargram which is gathered from 36th profile.

1, 2 ve 3 No'lu depolar arasındaki yüksek genlikli düşey yönlü saçılma depolar arasındaki boşlukları ifade etmektedir. Depo sınırlarını ifade eden yüksek genlikli anomalide yapılan işaretleme noktaları kullanılarak Klasik GPR, GPR/GPS Modellerine ait nokta dosyaları üst kotu 3,45m olan su deposu sınırları ile koordinatlı şekilde çıkarılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. 36 No'lu profile işaretlenen yüksek genlikli yansımalarının Klasik GPR, GPR/GPS Kombinasyonu Modellerine dair noktaların uygulaması.  
Figure 15. Sample points application of high amplitude anomalies, obtained from each Classical GPR and GPR/GPS combination models, picked on profile 36.

Modelin Y, X ve Z eksenlerine NetCAD çizim programı "Hesap" Menüsünde bulunan Nokta Editörü yardımıyla eksen transformasyonu uygulanmış ve Şekil 16'daki görünümü elde edilmiştir.



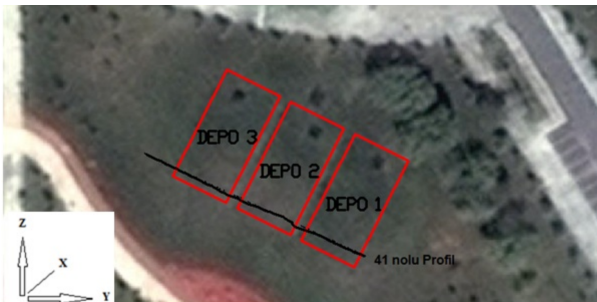
Şekil 16. 36 No'lu profile işaretlenen yüksek genlikli yansıma anomalilerinin Klasik GPR ve GPR/GPS Kombinasyonu Modellerine dair koordinatlı noktalarının kesit görünümü.

Figure 16. View of high amplitude anomalies with sample points from classical GPR and GPR/GPS combination models for profile 36.

Şekil 16'da görülen siyah çizgi Klasik GPR, mavi çizgi GPR/GPS Kombinasyon modelini tasvir etmektedir. Depolar arası boşlukların olduğu bölüme bakıldığında her iki yöntemde de yüzey ve zemin eğrileri birbirine yaklaşmaktadır. Eğriler arazi eğiminin olmadığı düzlemsel bir zemin altında gömülü olan 2 nolu depo üzerinde neredeyse çakışık bir vaziyette iken 3 nolu depo sınırlarında farklılaşmaktadır. Şekil 13'de görüldüğü gibi eğimli arazide klasik GPR eğrilerinden ayrılarak depo sınırlarına daha yakın bir profil sergileyen GPR/GPS Kombinasyon Modeli gömülü obje sınırlarını daha doğru ifade etmektedir. Tüm profillerde görsel olarak analiz edildiğinde iki model arasında depo sınırlarına en yakın olan eğri GPR/GPS Kombinasyon Modelini ifade eden mavi çizgidir.

#### Sayısal Analiz 1:

1 ve 2 No'lu örneklerde Klasik GPR Metodu ile kıyaslandığında GPR/GPS Metodunun daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu iki yöntemden hangisinin daha doğru bir modelleme imkanı sağladığını gösterebilmek amacıyla her iki yöntemde dair detay noktaları, nokta konumları kıyaslanarak analiz edilmiştir. 3 ayrı su deposu sınırlarının tam olarak üzerinde bulunan 41 No'lu ölçüm profili ve Klasik GPR, GPR/GPS Kombinasyon Modeli olmak üzere her iki modele dair detay noktaları koordinatlı olarak sunulmaktadır (Şekil 17).

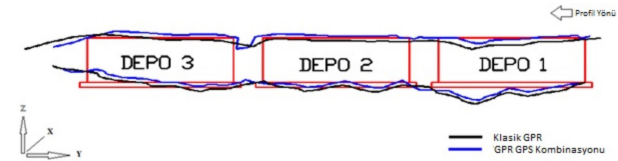


Şekil 17. 41 No'lu ölçüm profili için Klasik GPR, GPR/GPS olmak üzere her iki modele ait detay noktaları.

Figure 17. Sample points of classical GPR and GPR/GPS combination models for profile 41.

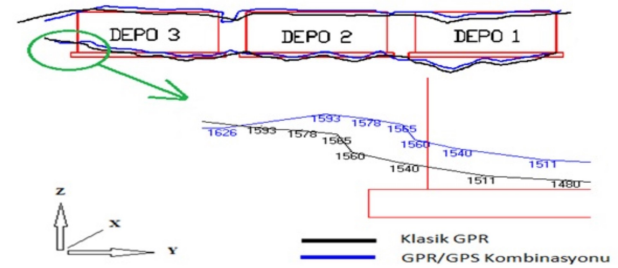
Modelin Y, X ve Z eksenlerine NetCAD çizim programı "Hesap" Menüsünde bulunan Nokta Editörü yardımıyla eksen transformasyonu uygulanmış ve Şekil 18'de sunulan kesit görünümü

elde edilmiştir. Şekil 18'de görülen siyah çizgi Klasik GPR, mavi çizgi GPR/GPS Kombinasyon Modelini ifade etmektedir. Depolar arası boşlukların olduğu bölüme bakıldığında her iki yöntemde de yüzey ve zemin eğrileri birbirine yaklaşmaktadır. 41 No'lu profil ölçüm profilleri arasında arazi eğiminin bulunduğu 1 ve 3 No'lu su depoları arasında en yüksek eğime sahiptir. 2 ve 3 No'lu depolar arasında bulunan boşluk kısmı yaklaşık 0,4 m kadar çökmüş olduğundan topografik düzeltmenin ve dolayısıyla GPR/GPS Kombinasyon Modelinin etkisinin en net görülebileceği örnektir. GPR/GPS Kombinasyon Modelini ifade eden mavi çizgi incelendiğinde 2 ve 3 No'lu depolar arasındaki çöküntü bölümünde yüksek eğim değerleri kaydedildiğinden bu noktalarda diğer modelden farklılaşmakta ve depo sınırlarına bariz şekilde yaklaşmaktadır. 3 No'lu depo üzerinde arazi eğiminden kaynaklanan topografik değişiklikler GPR/GPS Kombinasyon Modelinin başarısını öne çıkarmaktadır (Şekil 19).



Şekil 18. 41 No'lu ölçüm profili için Klasik GPR, GPR/GPS olmak üzere her iki modele ait detay noktalarının kesit görünümü.

Figure 18. Side view of sample points for Profile 41, generated with both GPR and GPR/GPS combination methods.



Şekil 19. 41 nolu Profil 3 No'lu su deposu üzerinde artan arazi eğiminin neden olduğu topografik değişiklikler ve GPR/GPS Kombinasyon Modelinin modellemeye olan katkısı.

Figure 19. Topographic changes caused by increasing land slope for profile 41, on the water tank 3 boundaries, and the success of the GPR / GPS Combination Model on the buried object modeling.

Aynı radargram üzerinden alınan örneklemeler olmasına karşılık Klasik GPR Modelini ifade eden 1593 No'lu siyah nokta ile GPR/GPS modelini ifade eden 1593 No'lu mavi renkli nokta kıyaslandığında; GPR/GPS kombinasyonu sayesinde elde edilen planimetrik mesafenin yatayda 0,56 m, düşeyde 0,16 m öteleyerek depo sınırlarına daha yakın bir konuma taşındığı görülmektedir. Benzer durum Şekil 19'da görüldüğü gibi 1578, 1565, 1560 ve 1540 numaralı detay noktaları için de geçerlidir. Bu bölümde söz konusu eğimli arazi detay noktaları ile arazi eğimi bulunmayan 511, 539, 553, 566 No'lu detay noktaları için gömülü su depolarının bilinen koordinatları kullanılarak modellenmenin istatistiksel başarısı araştırılmıştır. 41 No'lu profil hattının 1 No'lu depo ile kesişim noktasının koordinatları hesaplamalarda "ümit değer" olarak kullanılmıştır. Tablo 4'de eğimsiz arazi için seçilen detay noktalarının gömülü deponun bilinen koordinatlarına göre standart sapma hesabı görülmektedir. Bilinen nokta koordinatları "ümit değer" kabul edilerek detay noktalarının koordinat değerleri ile farkları olan gerçek hata, varyans



**Tablo 4.** Eğimsiz arazide Klasik GPR ve GPR/GPS Modelleri için standart sapma hesabı.**Table 4.** Standard deviation calculation for Classic GPR and GPR/GPS Combination Models on a flat ground.

NN	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	Klasik GPR X	_dx	_dx <sup>2</sup>	Klasik GPR Y	_dy	_dy <sup>2</sup>	GPR/GPS X	_dx	_dx <sup>2</sup>	GPR/GPS Y	_Dy	_dy <sup>2</sup>
Ümit Değer	4533983.398	425246.057												
85			4533983.096	0.302	0.091	425247.071	-1.014	1.028	4533983.096	0.302	0.091	425247.071	-1.014	1.028
86			4533983.103	0.295	0.087	425247.047	-0.990	0.980	4533983.103	0.295	0.087	425247.046	-0.989	0.979
87			4533983.110	0.288	0.083	425247.023	-0.966	0.933	4533983.111	0.287	0.083	425247.022	-0.965	0.930
88			4533983.117	0.281	0.079	425246.999	-0.942	0.887	4533983.118	0.280	0.078	425246.997	-0.940	0.883
89			4533983.124	0.274	0.075	425246.975	-0.918	0.843	4533983.125	0.273	0.074	425246.972	-0.915	0.837
90			4533983.131	0.267	0.071	425246.951	-0.894	0.799	4533983.132	0.266	0.071	425246.947	-0.890	0.793
91			4533983.139	0.259	0.067	425246.927	-0.870	0.757	4533983.140	0.258	0.067	425246.923	-0.866	0.749
92			4533983.146	0.252	0.064	425246.903	-0.846	0.716	4533983.147	0.251	0.063	425246.898	-0.841	0.707
93			4533983.153	0.245	0.060	425246.879	-0.822	0.676	4533983.154	0.244	0.059	425246.873	-0.816	0.666
94			4533983.160	0.238	0.057	425246.855	-0.798	0.637	4533983.162	0.236	0.056	425246.849	-0.792	0.627
95			4533983.167	0.231	0.053	425246.831	-0.774	0.599	4533983.169	0.229	0.053	425246.824	-0.767	0.588
96			4533983.174	0.224	0.050	425246.807	-0.750	0.563	4533983.176	0.222	0.049	425246.799	-0.742	0.551
97			4533983.181	0.217	0.047	425246.783	-0.726	0.527	4533983.183	0.215	0.046	425246.775	-0.718	0.515
98			4533983.188	0.210	0.044	425246.759	-0.702	0.493	4533983.191	0.207	0.043	425246.750	-0.693	0.480
99			4533983.195	0.203	0.041	425246.735	-0.678	0.460	4533983.198	0.200	0.040	425246.725	-0.668	0.446
100			4533983.202	0.196	0.038	425246.711	-0.654	0.428	4533983.205	0.193	0.037	425246.700	-0.643	0.414
101			4533983.209	0.189	0.036	425246.687	-0.630	0.397	4533983.212	0.186	0.034	425246.676	-0.619	0.383
102			4533983.216	0.182	0.033	425246.663	-0.606	0.368	4533983.220	0.178	0.032	425246.651	-0.594	0.353
103			4533983.223	0.175	0.030	425246.639	-0.582	0.339	4533983.227	0.171	0.029	425246.626	-0.569	0.324
104			4533983.230	0.168	0.028	425246.615	-0.558	0.312	4533983.234	0.164	0.027	425246.602	-0.545	0.297
105			4533983.238	0.160	0.026	425246.591	-0.534	0.285	4533983.241	0.157	0.025	425246.577	-0.520	0.270
106			4533983.245	0.153	0.024	425246.567	-0.510	0.260	4533983.249	0.149	0.022	425246.552	-0.495	0.245
107			4533983.252	0.146	0.021	425246.543	-0.486	0.237	4533983.256	0.142	0.020	425246.528	-0.471	0.221
108			4533983.259	0.139	0.019	425246.519	-0.462	0.214	4533983.263	0.135	0.018	425246.503	-0.446	0.199
109			4533983.266	0.132	0.017	425246.495	-0.438	0.192	4533983.271	0.127	0.016	425246.478	-0.421	0.177
110			4533983.273	0.125	0.016	425246.471	-0.414	0.172	4533983.278	0.120	0.014	425246.453	-0.396	0.157
111			4533983.280	0.118	0.014	425246.447	-0.390	0.152	4533983.285	0.113	0.013	425246.429	-0.372	0.138
112			4533983.287	0.111	0.012	425246.423	-0.366	0.134	4533983.292	0.106	0.011	425246.404	-0.347	0.120
113			4533983.294	0.104	0.011	425246.399	-0.342	0.117	4533983.300	0.098	0.010	425246.379	-0.322	0.104
114			4533983.301	0.097	0.009	425246.375	-0.318	0.101	4533983.307	0.091	0.008	425246.355	-0.298	0.089
115			4533983.308	0.090	0.008	425246.352	-0.295	0.087	4533983.314	0.084	0.007	425246.330	-0.273	0.075
116			4533983.315	0.083	0.007	425246.328	-0.271	0.073	4533983.321	0.077	0.006	425246.305	-0.248	0.062
117			4533983.323	0.075	0.006	425246.304	-0.247	0.061	4533983.329	0.069	0.005	425246.281	-0.224	0.050
124			4533983.374	0.024	0.001	425246.136	-0.079	0.006	4533983.337	0.061	0.004	425246.254	-0.197	0.039
125			4533983.382	0.016	0.000	425246.113	-0.056	0.003	4533983.346	0.052	0.003	425246.227	-0.170	0.029
126			4533983.390	0.008	0.000	425246.089	-0.032	0.001	4533983.355	0.043	0.002	425246.201	-0.144	0.021
127			4533983.398	0.000	0.000	425246.065	-0.008	0.000	4533983.364	0.034	0.001	425246.174	-0.117	0.014
128			4533983.406	-0.008	0.000	425246.042	0.019	0.000	4533983.373	0.025	0.001	425246.147	-0.090	0.008
129			4533983.415	-0.017	0.000	425246.018	0.039	0.002	4533983.382	0.016	0.000	425246.120	-0.063	0.004
				Σ[[VV]]	1.326		Σ[[VV]]	14.840		Σ[[VV]]	1.305		Σ[[VV]]	14.574
				m0=0.187			m0=0.625			m0=0.185			m0=0.619	

ve eşitlik (4) ile hesaplanan standart sapma değerleri (m) sunulmaktadır.

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum[VV]}{n}} \quad (4)$$

Tablo verilerinden görüldüğü gibi Klasik GPR yöntemi ile X koordinatı için hesaplanan standart sapma değeri 0,187 iken GPR/GPS Kombinasyon modelinin X koordinatı için standart sapma değeri 0,0185 olarak hesaplanmıştır. Y koordinatı için ise Klasik GPR yönteminde standart sapma değeri 0,625 iken GPR/GPS Kombinasyon modelinde bu değer 0,619 olarak hesaplanmaktadır. Her iki koordinat için eğimsiz kabul edilebilecek arazi koşullarında (ortalama eğim 2 derece) hesaplanan standart sapma değerleri birbirine yakın olmakla beraber GPR/GPS Kombinasyon modelinin standart sapma değeri Klasik GPR modeline göre daha düşüktür. Klasik GPR Modeli ve GPR/GPS Kombinasyon Modeli için nokta konum hatası Eşitlik 5'te yerine konulduğunda sırasıyla 0,652 ve 0,646 değerleri elde edildi. Bu sonuçlara göre GPR/GPS Kombinasyon Modelinin Klasik GPR Modeline kıyasla konumsal olarak daha düşük bir standart sapma değerine sahip olmakla birlikte eğimsiz kabul edilebilecek arazi koşullarında her iki yöntemde de birbirine yakın sonuçlar elde edildiği söylenilebilir.

$$m_{(XY)} = \sqrt{((m_0(X))^2 + (m_0(Y))^2)} \quad (5)$$

Tablo 5'te ise eğimli arazi için seçilen detay noktalarının gömülü deponun bilinen koordinatlarına göre standart sapma hesabı görülmektedir.

Eğimli arazi koşullarında seçilen 39 detay noktasının X ve Y koordinatları için standart sapma hesabı her iki model için de yapıldığında Klasik GPR yöntemi ile X koordinatı için hesaplanan standart sapma değeri 0,328 m iken, GPR/GPS Kombinasyon modelinin X koordinatı için standart sapma değeri 0,224 m olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde Y koordinatı için Klasik GPR Modelinde 0,775 m iken, GPR/GPS Kombinasyon Modelinde standart sapma değeri 0,561 m olarak hesaplanmaktadır. Her iki model için eğimli arazi koşullarında nokta konum hatası Eşitlik 5 ile hesaplandığında Klasik GPR Modeli için 0,842 m, GPR/GPS Kombinasyon modeli için 0,604 m değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6 ve Tablo 7 incelendiğinde eğimli ve eğimsiz arazi koşulları için yapılan hesaplamalarda Klasik GPR Modelinin nokta konum hatası eğimsiz arazide 0,652 m iken ortalama eğimin 7 derece olduğu eğimli arazide 0,842 m'ye çıktığı görülmüştür. GPR/GPS Kombinasyon modelinde ise eğimsiz arazi koşullarındaki nokta konum hatası 0,646 m iken eğimli arazi koşulları için 0,604 m olarak hesaplandı. Bu değer GPR/GPS Kombinasyon modelinin standart sapmasının eğim farklılığından etkilenmediğini ortaya koymaktadır.

**Tablo 5.** Eğimli arazide Klasik GPR ve GPR/GPS Modelleri için standart sapma hesabı.**Table 5.** Standard deviation calculation for Classic GPR and GPR / GPS Combination Models on a slopy ground.

NN	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	Klasik GPR X	_dx	_dx <sup>2</sup>	Klasik GPR Y	_dy	_dy <sup>2</sup>	GPR/GPS X	_dx	_dx <sup>2</sup>	GPR/GPS Y	_dy	_dy <sup>2</sup>
Ümit Değer	4533997.759	425215.210												
1512			4533997.897	-0.138	0.019	425214.938	0.272	0.074	4533997.759	0.000	0.000	425215.210	0.000	0.000
1513			4533997.906	-0.147	0.022	425214.914	0.295	0.087	4533997.769	-0.010	0.000	425215.185	0.025	0.001
1514			4533997.914	-0.156	0.024	425214.891	0.319	0.102	4533997.779	-0.020	0.000	425215.160	0.050	0.003
1515			4533997.923	-0.164	0.027	425214.867	0.343	0.117	4533997.789	-0.030	0.001	425215.135	0.075	0.006
1516			4533997.932	-0.173	0.030	425214.844	0.366	0.134	4533997.799	-0.040	0.002	425215.109	0.100	0.010
1517			4533997.941	-0.182	0.033	425214.820	0.390	0.152	4533997.809	-0.050	0.002	425215.084	0.125	0.016
1518			4533997.950	-0.191	0.037	425214.797	0.413	0.171	4533997.819	-0.060	0.004	425215.059	0.151	0.023
1519			4533997.959	-0.200	0.040	425214.773	0.437	0.191	4533997.829	-0.070	0.005	425215.034	0.176	0.031
1520			4533997.968	-0.209	0.044	425214.750	0.460	0.212	4533997.839	-0.080	0.006	425215.009	0.201	0.040
1521			4533997.977	-0.218	0.047	425214.726	0.484	0.234	4533997.849	-0.090	0.008	425214.984	0.226	0.051
1522			4533997.985	-0.227	0.051	425214.703	0.507	0.257	4533997.859	-0.100	0.010	425214.959	0.251	0.063
1523			4533997.994	-0.236	0.055	425214.679	0.531	0.282	4533997.869	-0.110	0.012	425214.934	0.276	0.076
1524			4533998.003	-0.244	0.060	425214.656	0.554	0.307	4533997.879	-0.120	0.014	425214.909	0.301	0.091
1525			4533998.012	-0.253	0.064	425214.632	0.578	0.334	4533997.889	-0.130	0.017	425214.884	0.326	0.106
1526			4533998.021	-0.262	0.069	425214.609	0.601	0.361	4533997.899	-0.140	0.020	425214.858	0.351	0.123
1527			4533998.030	-0.271	0.074	425214.585	0.625	0.390	4533997.909	-0.150	0.022	425214.833	0.376	0.142
1528			4533998.039	-0.280	0.079	425214.562	0.648	0.420	4533997.919	-0.160	0.026	425214.808	0.402	0.161
1529			4533998.048	-0.289	0.084	425214.538	0.672	0.451	4533997.929	-0.170	0.029	425214.783	0.427	0.182
1530			4533998.057	-0.298	0.089	425214.515	0.695	0.483	4533997.939	-0.180	0.032	425214.758	0.452	0.204
1531			4533998.066	-0.307	0.094	425214.491	0.718	0.516	4533997.949	-0.190	0.036	425214.733	0.477	0.227
1532			4533998.075	-0.316	0.100	425214.468	0.742	0.550	4533997.959	-0.200	0.040	425214.708	0.502	0.252
1533			4533998.084	-0.325	0.106	425214.445	0.765	0.586	4533997.969	-0.210	0.044	425214.683	0.527	0.278
1534			4533998.093	-0.334	0.112	425214.421	0.789	0.622	4533997.979	-0.220	0.048	425214.658	0.552	0.305
1535			4533998.102	-0.343	0.118	425214.398	0.812	0.660	4533997.989	-0.230	0.053	425214.633	0.577	0.333
1536			4533998.111	-0.352	0.124	425214.374	0.836	0.698	4533997.999	-0.240	0.058	425214.608	0.602	0.363
1537			4533998.120	-0.361	0.130	425214.351	0.859	0.738	4533998.009	-0.250	0.062	425214.582	0.627	0.394
1538			4533998.129	-0.370	0.137	425214.327	0.882	0.779	4533998.019	-0.260	0.067	425214.557	0.652	0.426
1539			4533998.138	-0.379	0.144	425214.304	0.906	0.820	4533998.029	-0.270	0.073	425214.532	0.678	0.459
1540			4533998.147	-0.388	0.151	425214.281	0.929	0.863	4533998.039	-0.280	0.078	425214.507	0.703	0.494
1541			4533998.156	-0.397	0.158	425214.257	0.953	0.907	4533998.049	-0.290	0.084	425214.482	0.728	0.530
1542			4533998.165	-0.406	0.165	425214.234	0.976	0.953	4533998.059	-0.300	0.090	425214.457	0.753	0.567
1543			4533998.174	-0.415	0.172	425214.210	0.999	0.999	4533998.069	-0.310	0.096	425214.432	0.778	0.605
1544			4533998.183	-0.424	0.180	425214.187	1.023	1.046	4533998.079	-0.320	0.102	425214.407	0.803	0.645
1545			4533998.192	-0.433	0.188	425214.164	1.046	1.094	4533998.089	-0.330	0.109	425214.382	0.828	0.686
1546			4533998.201	-0.442	0.196	425214.140	1.070	1.144	4533998.099	-0.340	0.115	425214.357	0.853	0.728
1547			4533998.210	-0.451	0.204	425214.117	1.093	1.195	4533998.109	-0.350	0.122	425214.332	0.878	0.771
1548			4533998.219	-0.460	0.212	425214.093	1.116	1.246	4533998.119	-0.360	0.129	425214.306	0.903	0.816
1549			4533998.228	-0.469	0.220	425214.070	1.140	1.299	4533998.129	-0.370	0.137	425214.281	0.928	0.862
1550			4533998.237	-0.479	0.229	425214.047	1.163	1.353	4533998.138	-0.380	0.144	425214.256	0.954	0.909
				Σ[[v <sub>v</sub> ]]	4.086		Σ[[v <sub>v</sub> ]]	22.826		Σ[[v <sub>v</sub> ]]	1.899		Σ[[v <sub>v</sub> ]]	11.976
					m <sub>0</sub> =0.328			m <sub>0</sub> =0.775			m <sub>0</sub> =0.224			m <sub>0</sub> =0.561

**Tablo 6.** Standart sapma hesapları özet tablosu.**Table 6.** Summary of standard deviation calculations.

	Klasik GPR (X) m <sub>0</sub>	Klasik GPR (Y) m <sub>0</sub>	GPR/GPS Kom.(X) m <sub>0</sub>	GPR/GPS Kom.(Y) m <sub>0</sub>
<b>EĞİMLİ ARAZİ</b>	0,328	0,775	0,224	0,561
<b>EĞİMSİZ ARAZİ</b>	0,187	0,625	0,185	0,619

**Tablo 7.** Konum hatası özet tablosu.**Table 7.** Horizontal positioning errors.

	Klasik GPR (XY) m <sub>0</sub>	GPR/GPS Kom. (XY) m <sub>0</sub>
<b>EĞİMLİ ARAZİ</b>	0,842	0,604
<b>EĞİMSİZ ARAZİ</b>	0,652	0,646

Eşitlik 6 ile doğruluk analizi yapıldığında;

$$\frac{mo(Klasik GPR) - mo(GPR - GPS)}{mo(Klasik GPR)} \times 100 \quad (6)$$

GPR/GPS Kombinasyon modelinin Klasik GPR yöntemine kıyasla eğimsiz arazi koşullarında modellemeye olan katkısı % 0,89 ve eğimli arazi koşullarında % 28,20 olarak hesaplanmaktadır. Bu analizle GPR/GPS Kombinasyon Modelinin Klasik GPR Modeline göre daha başarılı olduğu istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

#### Sayısal Analiz 2:

Önceki 3 örnekte de GPR/GPS Kombinasyon Modelinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu bölümde 44 ölçüm profili ve her iki modele ait detay noktalarının tamamı kullanarak gömülü

objenin bilinen boyutları ile karşılaştırılmıştır. Araştırmaya konu olan su depoları 20 m uzunluğunda ve 10 m genişliğindedir. Temel kot seviyesi -0,20 m iken betonarme duvar üst kotu 3,45 m'dir. Temel ampertmanı duvar sınırlarından itibaren 0,5 m çalışma payı ile imal edilmiş ampertman seviyesi ve onun altında yer alan beton kırmataş kesiti ise 0,5 m'dir. Dolayısıyla 1 depo için hacim hesabı yapılacak olursa;

20 m (uzunluk) x 10 m (genişlik) x (3,45+0,2=3,65) (yükseklik) = 730 m<sup>3</sup>

(20+0,5+0,5=21) m Ampertman uzunluğu x (10+0,5+0,5=11) metre Ampertman Genişliği x 0,5 m temel derinliği (Temel Beton + Kırmataş Kesiti) = 115,5 m<sup>3</sup>

yani 1 depo için toplam hacim = 845,5 m<sup>3</sup> tür.

Bilinen hacim değerinin farklı eğim gruplarında her iki modelle hangi doğrulukla belirlenebileceğini araştırabilmek amacıyla aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır.

1) Klasik GPR, GPR/GPS Modeli için yüzey detay noktaları ve zemin detay noktaları için TIN modeller oluşturuldu.

2) Nokta dosyaları üzerinde üçgenleme (Triangulation) işlemi uygulanarak 0,5 m aralıklarla grid model oluşturuldu.

3) Grid noktalar kullanılarak yeniden üçgenleme (Triangulation) işlemi yapıldı.

4) Depo sınırları grid modeller üzerine işaretlenerek enkesit güzergahı her 3 depo için de ayrı ayrı belirlendi.

5) Klasik GPR, GPR/GPS Kombinasyon Modelleri kullanılarak her 3 su deposu için yüzey ve zemin enkesitleri 1 metre aralıklarla oluşturuldu.

6) NetCAD yazılımı NetSURF modülü yardımıyla enkesitlerden kübaj hesabı yapıldı (Tablo 8).

**Tablo 8.** Klasik GPR ve GPR/GPS Modelleri – Kübaj hesapları özet listesi.

**Table 8.** Determining the volumes of earth masses from classic GPR and GPR/GPS combination models.

Model	Klasik GPR	GPR/GPS Kombinasyonu	Hata (Klasik GPR)	Hata (GPR/GPS)
DEPO 1	1664,318 m <sup>3</sup>	1575,405 m <sup>3</sup>	+819 m <sup>3</sup>	+730 m <sup>3</sup>
DEPO 2	1341,248 m <sup>3</sup>	1271,84 m <sup>3</sup>	+493m <sup>3</sup>	+427 m <sup>3</sup>
DEPO 3	1499,946 m <sup>3</sup>	1457,061 m <sup>3</sup>	+654m <sup>3</sup>	+612 m <sup>3</sup>

1 ve 3 No'lu depoların 2 cephesi eğimli bir topografya altında gömülü iken 2 No'lu deponun yalnızca 1 cephesi eğimlidir. 1 ve 3 No'lu depoların arasında yer alan ve aynı zamanda yatay profillerin düzlemsel olduğu bölgede bulunan 2 No'lu depo için her iki modelde de gömülü su deposunun gerçek hacim değeri olan 845 m<sup>3</sup> değerine en yakın hacim değerleri hesaplanmıştır. Genel olarak Tablo 8'deki veriler göz önüne alındığında GPR/GPS Kombinasyon yönteminin gömülü obje modellemesinde Klasik GPR yöntemine kıyasla daha az hata payına sahip olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Görsel analiz 1 ve 2'de GPR/GPS Kombinasyon Modelinin depo sınırlarını daha doğru ifade ettiği görülmüştür. Özellikle eğimli arazi koşullarında Klasik GPR Modeli ile elde edilen 0,842 standart sapma değerine karşılık GPR/GPS Kombinasyon Modeli için aynı ortam koşullarında elde edilen standart sapma değeri 0,604 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle modelin başarısı "Sayısal Analiz 1" ile istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. Sayısal Analiz 2'de ise her iki model için tüm detay noktaları kullanılarak oluşturulan 3B modeller gömülü objenin bilinen hacim değeri ile kıyaslanmış, GPR/GPS Kombinasyon Modelinin Klasik GPR Metoduna kıyasla eğimsiz arazi koşullarında %0,89 ve eğimli arazi koşullarında %28,20 daha başarılı olduğu matematiksel anlamda da ispat edilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği alanda ortalama eğim değeri 7 derecedir. Daha yüksek kot farklılıklarının bulunduğu bir arazide yapılacak gömülü obje araştırmasında GPR/GPS Kombinasyonunun modelleme başarısı daha net görülebilir.

GPR/GPS Kombinasyon Metodu; Arkeolojik araştırmalar, hasarsız karot, yol çalışmalarında gömülü tesisatların belirlenmesi, mayın tespiti gibi araştırma konularında koordinatlı ve daha doğru değerlerle gömülü objeyi tespit etme veya modelleme olanağı sunmaktadır.

Gömülü objenin daha doğru konumlandırılması ise; yöntemin gömülü objeye daha az kazı yapılarak ulaşılabilmesine imkan tanınması, daha az iş gücü gerektirmesi ve dolayısıyla daha eko-

nomik olduğu anlamına gelmektedir.

Gömülü objenin Ülke Koordinat Sisteminde (UTM) modellenilebilmesi; verilerin Coğrafi Bilgi Sistemlerine atlık oluşturulabilmesine ve koordinatlı yer altı haritalarının üretilmesine imkan tanımaktadır.

#### Kaynakça

- Alp, İ. Gelişli, K. Yılmaz, A.O., Kaya, R., Çavuşoğlu, İ., (2003). Mermer İşletmeciliğinde Yer Radarı Uygulamaları.
- Conyers, L.B., 2013. Ground-Penetrating Radar for Archaeology, 3rd ed.; Rowman and Littlefield Publishers, Alta Mira Press: Latham, MD, USA, ISBN: 9780759123496.
- Dannowsky, G., and Yaramancı, U., 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 4, 71-85.
- Davis, J.L., and Annan, A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37, 531-551.
- Goodman D., Piro S., 2013. GPR remote sensing in Archeology, Geotechnologies and the environment, Springer Heidelberg New York Dordrecht London, ISBN 978-3-642-31857-3 (eBook).
- Grandjean, G., and Gourry, J.C., 1999. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). Journal of Applied Geophysics, 36, 19-30.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., and Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit. Tectonophysics, 368, 7-23.
- Harrari, Z., 1996. Ground penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and ground water in sand dunes. Journal of Applied Geophysics, 36, 43-52.
- F. Lehmann and G. Green, 1999 – Semiautomated georadar data acquisition in three-dimensions. Geophysics 64 (3): 719-731
- J. Sun and A. Young, 1995 - Scattering in ground-penetrating radar data. Geophysics 6 (5): 1378-1385.
- Jol H. M., 2009. Ground Penetrating Radar Theory and Applications, Elsevier Books, Oxford, UK.
- Persico R., 2014. Introduction to Ground Penetrating Radar (Inverse Scattering and Data Processing)- Wiley-IEEE Press – ISBN 978-1-118-30500-3, s. xiii
- Sandmeier, K.J., 2004. Scientific Software, REFLEX-W ver.3.5 program for processing and interpretation of reflection and transmission data.
- Van Dam, R. I And W. Schlager, 2000 - Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analysis. Sedimentology 47: 435-449.

## EK 1

dy= + ve dx= + ise; Birinci Bölgededir (0°-90°); arctan (dy/dx) değeri Açıklık Açısını ifade eder.

dy= + ve dx= - ise; İkinci Bölgededir (90°-180°), 180° - arctan(dy/dx) ile hesaplanan değer Açıklık Açısını ifade eder.

dy= - ve dx= - ise; Üçüncü Bölgededir (180°-270°), 180°+ arctan (dy/dx) eşitliği Açıklık Açısını ifade eder.

dy=- ve dx= + ise; Dördüncü Bölgededir (270°-360°), 360° - arctan (dy/dx) eşitliği Açıklık Açısını ifade eder.

Trace No:	A
Tarih:	B
Saat:	C
YGPSKoordinatı:	D
XGPS Koordinatı:	F
ZGPS (2) Koordinatı:	H
Anten Yüksekliği:	J
Seçilen Detay Noktası Derinlik Değeri:	N
Seçilen Detay Noktasının Profil Mesafesi:	O

dy (Y Koordinatları Farkının Hesaplanması)

EXCEL FORMÜLÜ: ALAN\_P = D2-D\$2

ACCESS (SQL) KODU: dy: [GPS (2)].[enlem]-DLookup("[enlem]";"GPS (2)";"[trace] = 2")

dx (X Koordinatları Farkının Hesaplanması)

EXCEL FORMÜLÜ: ALAN\_Q= F3-F\$2

ACCESS (SQL) KODU: dx: [boylam]-DLookup("[boylam]";"GPS (2)";"[trace] = 2")

Arctan(dy/dx) Değerinin Hesaplanması (Derece)

EXCEL: ALAN\_R = ATAN(P2/Q2)\*180/(Pi())

ACCESS (SQL) KODU: dy/dx: Atn([dy]/[dx])\*180/(4\*Atn(1))

Açıklık Açısı Hesabı

EXCEL:ALAN\_S=EĞER(VE(P2<0;Q2>0);R2+360;EĞER(VE(P2>0;Q2<0);R2+180;EĞER(VE(P2>0;Q2>0);R2;EĞER(VE(P2<0;Q2<0);R2+180;""))))

ACCESS (SQL) KODU: açıklık\_acısı: IIf([dy]>0 And [dx]<0);[dy/dx]+180;IIf([dy]>0 And [dx]>0);[dy/dx];IIf([dy]<0 And [dx]<0);[dy/dx]+180;IIf([dy]<0 And [dx]>0);[dy/dx]+360))))

## EK 2

YGPS koordinatının tüm detay noktaları için hesaplanması:

EXCEL FORMÜLÜ: ALAN\_T =EĞER(D1-D2=0;D2+SİN(S2\*Pi()/180)\*(O2-(((P2)^2+(Q2)^2)^0.5));D2)

ACCESS (SQL) KODU: YGPS:IIf(DLookup("[GPS (2)].[enlem]";"GPS (2)";"[trace]=" & [trace]-1)-DLookup("[enlem]";"GPS (2)";"[trace]=" & [trace])=0;[enlem]+([mesafe]-([dy]^2+[dx]^2)^0.5)\*Sin([açıklık\_acısı]\*(4\*Atn(1)/180));[enlem])

XGPS koordinatının tüm detay noktaları için hesaplanması:

EXCEL FORMÜLÜ: ALAN\_U =EĞER(F1-F2=0;F2+COS(S2\*Pi()/180)\*(O2-((P2)^2+(Q2)^2)^0.5);F2)

ACCESS (SQL) KODU: XGPS: IIf(DLookup("[GPS (2)].[boylam]";"GPS (2)";"[trace]=" & [trace]-1)-DLookup("[boylam]";"GPS (2)";"[trace]=" & [trace])=0;[boylam]+([mesafe]-([dy]^2+[dx]^2)^0.5)\*Cos([açıklık\_acısı]\*(4\*Atn(1)/180));[boylam])

Gömülü Objeye İçin Z(Elipsoidal) Koordinatlarının Üretilmesi

EXCEL FORMÜLÜ: ALAN\_AU=H2-J2-N2