

Simav Fayındaki Düşey Yerdeğiştirmelerin, Yeraltı Radarı (GPR) Yöntemi ile Belirlenmesi

Erdem Gündoğdu*¹, Yunus Can Kurban², Cahit Çağlar Yalçın³, Süha Özden⁴

^{1,3}Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD

⁴Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

04.08.2017 Geliş/Received, 16.10.2017 Kabul/Accepted

Özet

Son yıllarda yer bilimleri araştırmalarında, sığ derinliklerdeki yeraltına ait bilgilerin detaylı ve hızlı belirlenmesinde kullanılan sığ jeofizik uygulamalardan biri Yeraltı Radarı (Ground Penetrating Radar/GPR) yöntemidir. Bu çalışmada; Simav ve civarında yer alan aktif faylar boyunca, daha önce saha çalışmaları ile belirlenen 3 farklı lokasyonda toplam 5 adet profil ile fayın doğrultusuna dik olacak şekilde GPR çalışmaları yapılmıştır. Bunun sonucunda, Simav civarında yer alan aktif faylardaki, düşey yöndeki yer değiştirme miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalara göre; birinci GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 30 cm ile 80 cm arasında değişen atımlar, ikinci GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 50 cm ile 70 cm arasında değişen atımlar, üçüncü GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 40 cm atım verisi elde edilmiştir. Tüm bu atım verileri; günümüzde bir miktar doğrultu atım bileşenine sahip olan, ancak ana karakteri normal fay olan Simav Fayı'nın düşey atım verilerini temsil etmektedir. Tüm bu veriler, yapılacak olan paleosismoloji çalışmaları için bir altlık oluşturmakta olup, verilerin ve yorumların kesin doğruluğu ancak paleosismoloji çalışmaları sonucunda belirlenebilir.

Anahtar Kelimeler: düşey atım, yeraltı radarı (GPR), Simav Fayı, yerdeğiştirme miktarı.

Determination of Vertical Offsets in Simav Fault Using Ground Penetrating Radar (GPR)

Abstract

In earth sciences research in recent years, one of the shallow geophysical applications used for detailed and rapid determination of underground information from shallow depths is ground penetrating radar (GPR). In this study, GPR studies were completed along with active faults in Simav and surroundings, with measurements perpendicular to the fault strike on a total of 5 profiles at 3 different locations determined by previous field studies. The results were an attempt to determine the amounts of displacement in a vertical direction on active faults around Simav. According to the studies, in the area of the first GPR profile there are offsets of

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Erdem Gündoğdu
(e-posta: erdem@comu.edu.tr)

Bu makale; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FBE-2015-500

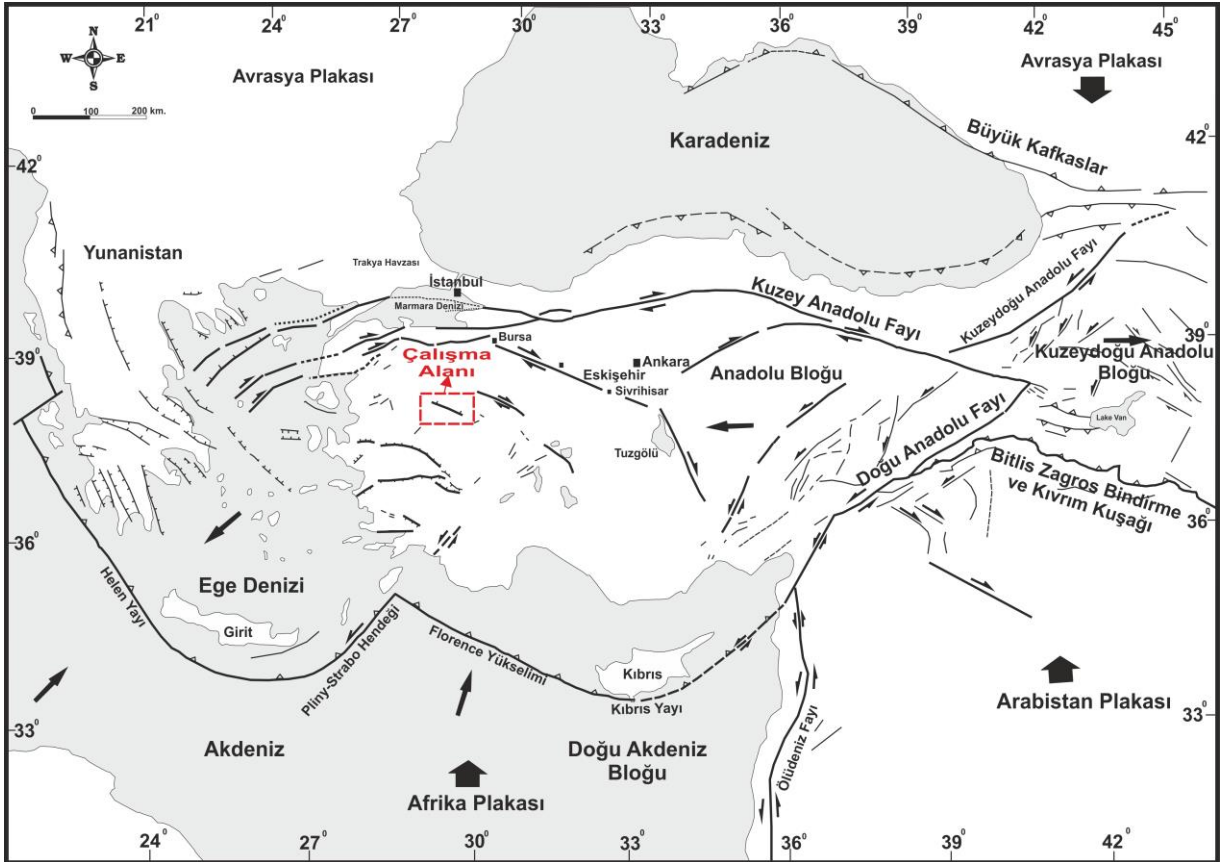
30 to 80 cm, in the area of the second GPR profile there are offsets of 50 to 70 cm and in the area of the third GPR profile there are offsets of 40 cm.

All these offset data indicate the young vertical offset data of the Simav Fault, with some strike-slip component with mainly normal fault characteristics. All those data forms the background for paleoseismology studies with data and interpretations of certain accuracy only determinable with paleoseismology studies.

Keywords: vertical slip, ground penetrating radar (GPR), Simav Fault, offset amount.

1. Giriş

GPR yöntemi, başta jeolojik ve jeofizik araştırmalar olmak üzere, günümüzde yeraltının sığ özelliklerinin araştırılmasında kullanılan, en yaygın yöntemlerden biridir. GPR yöntemi ile tabakalar arasındaki sınırlar, elektriksel özelliklerindeki farklılıklar, tane boyutundaki farklılıklar (kil, kum, silt), boşluk oranı, su içeriği gibi değişimler sayesinde karakteristik yansımalar belirlenebilmektedir (Davis ve Annan, 1989; Yałçmer ve diđ., 2009). Bu sayede GPR Yöntemi ile ötelenmiş stratigrafik tabakalardan elde edilen yansımalar görüntülenebilmektedir. GPR yönteminin kullanım alanları oldukça geniş olup başlıca; buz kalınlığı, göldeki su derinliği, ana kaya derinliği, toprak stratigrafisi, su tablası derinliğinin haritalanması, kaya dokusunun tanımlanması, boşlukların tespit edilmesi ve karst özelliklerin belirlenmesidir (Davis ve Annan, 1989).

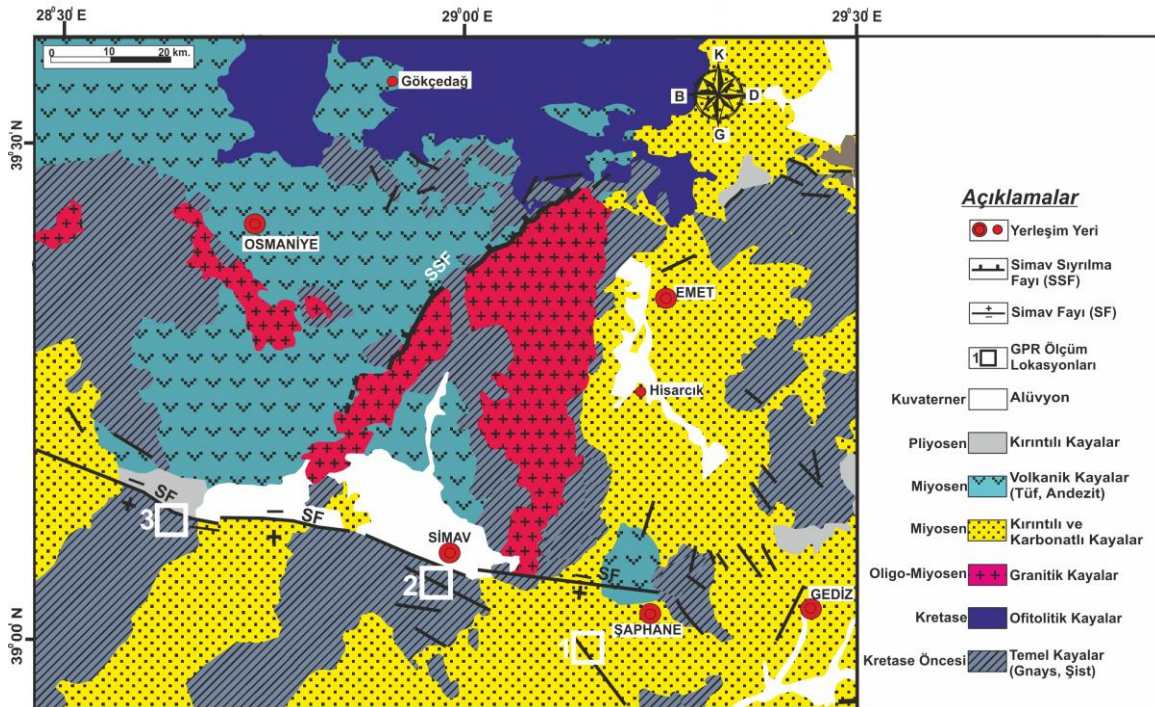


Şekil 1.1. Çalışma alanının, Doğu Akdeniz jeodinamik yapısı içerisindeki konumu (Şengör, 1979 ve Barka, 1992'den değiştirilerek)

2. Simav ve Yakın Civarının Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimlerin temeli, Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfittleri'ne ait kaya topluluklarından (gnays, şist, granitik gnaystan) meydana gelmektedir. Paleozoyik yaşlı bu birimler, genellikle Simav Fayı'nın taban bloğunda (güneyinde) yüzlekler verirler. Menderes Masifi, çalışma alanında çekirdek birimleri (gnaysik granitler ve yüksek dereceli metamorfizmaya uğramış şistler) ve örtü serileri (genellikle şist) olmak üzere, iki ana bölüme ayrılmıştır (Schuiling, 1962; Dürr, 1975; Dora ve diğ., 1992). Çalışma alanının, kuzey kısımlarında yüzlekler veren Kretase yaşlı Ofiyolitik Melanj ise temel kayaları tektonik olarak örtmektedir. Ofiyolitik Melanjı oluşturan kaya birimlerini; çoğunlukla serpantiniter oluşturmakla beraber, çamurtaşı, radyolarit, kireçtaşı, tüfit ve peridotit kütleleri de düzensiz olarak bulunmaktadır.

Simav Fayı tavan bloğunda yer alan Oligo-Miyosen yaşlı Eğrigöz Magmatik Kompleksi, çekirdek kayalarını kesmekte olup (Işık ve Tekeli, 1999; Erdoğan ve diğ., 2003); Miyosen yaşlı sedimanter birimler tarafından örtülmektedir. Bölgede yine tüm Miyoseni kapsayacak şekilde bir volkanizma da etkin olmuştur. Pliyosen yaşlı karasal kıvrıntılar ise, çalışma alanında genellikle Emet ve civarında gözlenmekte olup, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuzlukla örtülürler (Şekil 2.1).

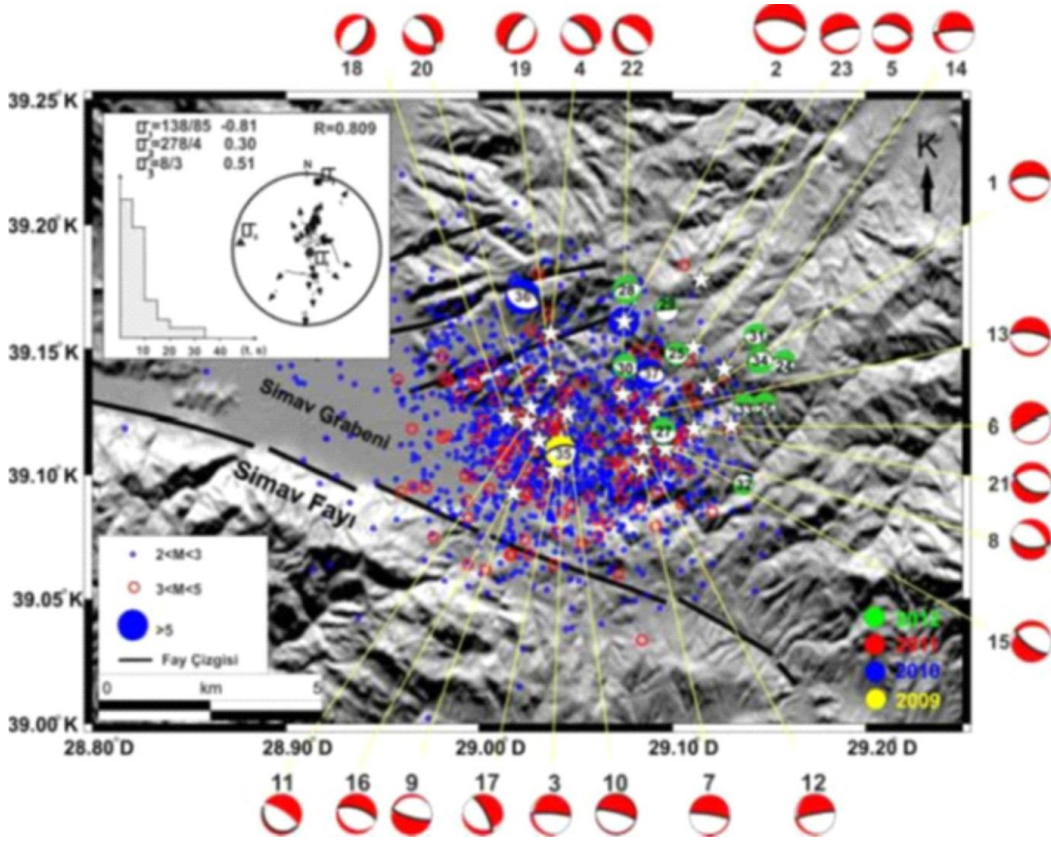


Şekil 2.1. (a) Simav ve yakın civarının jeoloji haritası (M.T.A. 2002'den derleyen; Gündoğdu ve diğ., 2015'ten alınmıştır); (b) Çalışma alanının yer bulduru haritası

Çalışma alanı ve çevresinin en önemli aktif tektonik yapılarının başında Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu gelmektedir. Genel doğrultusu BKB-DGD olan ve yaklaşık 220 km bir uzanıma sahip sağ yönlü doğrultu atımlı bir karakter sergileyen Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu 7 ana segmentten meydana gelmektedir (Emre ve Duman, 2011; Emre ve diğ., 2011a; Emre ve diğ., 2011b; Emre ve diğ., 2011c; Emre ve diğ., 2011d; Doğan ve Emre, 2006). Bu çalışmada ele alınan Simav Fayı; Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu'nun, genel doğrultusu K77B olan ve 56 km uzunluğuna sahip bir segmentidir (Doğan ve Emre 2006). Simav Fay Zonu'nda görülen gravite faylarının, doğrultu atım mekanizmasıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiği

savunulurken (Konak, 1982); Demirci depremine ait fay mekanizması çözümlerinin düzeltilmiş lokasyonlarına göre, Simav Fayı'nın aktif ve listrik şekilli bir fay olduğu; ayrıca Simav Grabeni'nin en geç Oligosen-Erken Miyosen'de Ege'de etkin olmaya başlayan K-G genişlemeli tektoniğin en son ürünlerinden biri olduğu da ileri sürülmektedir (Seyitoğlu, 1997). Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda Simav Fayı'nın, geçmişte doğrultu atımlı karakterde çalıştığını ancak günümüzde normal fay karakteri sergilediği de ileri sürülmüştür (Özden ve diğ., 2012; Gündoğdu, 2013; Gündoğdu ve diğ., 2015). Bu görüşü; 19 Mayıs 2011 (Mw: 5.83) depremlerinin odak mekanizmasının ortak ters çözümlerinin de normal faylanmayı vermesi (Özden ve diğ., 2012) desteklemektedir. Kartal ve Kadiroğlu (2014)'na göre de bu deprem ve devamında bölgede meydana gelen artçılara kaynaklık eden fay, normal fay karakterine sahip ve KKD'ya eğimli Simav Fayı'dır.

Çalışma alanında, 2009-2012 yılları arasında meydana gelen $M > 3.5$ olan depremlerin odak mekanizma çözümleri (Özden ve diğ., 2012) Şekil 2.2'de verilmiştir. Elde edilen çözümlerin, küçük dereceli bir doğrultu atımlı bileşene sahip, normal faylanma sonucunu vermekte ve bölgenin güncel tektonik yapısı ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2. Çalışma alanında çözümlenmiş depremlere ait odak mekanizma çözümleri (Özden ve diğ., 2012)

Şekil 2.2'de çözümleri verilen depremler, Simav Fayı ve bu fayın tavan bloğu üzerinde meydana gelen depremler olup, bu depremler arasında odak derinliği en fazla olan deprem, 19.05.2011 tarihinde gerçekteşen Mw: 5.83 olan depremdir. Bu depremden sonra meydana gelen depremler daha fazla eğime sahip olup, Simav Fayı'nın sığ kesimlerde daha yüksek eğimli olduğu, derinlere gidildikçe eğimin düştüğu sonucunu vermektedir. Simav Fayı, geometrisi bakımından, bir normal fay olarak listrik faylanma örneği gösterirken, eğimi boyunca yokuş ve düzlükler yaparak ilerleyen bir fay geometrisi de çizmektedir. Bölgedeki

depremler genel olarak, kuzeye eğimli Simav Fayı üzerinde meydana gelmiş olsa da, güneye eğimli çözümlerin de varlığı da görülmektedir. Bu depremlerin, Simav Fayı'nın tavan bloğunda yer alan, güneye eğimli olan ve Simav Fayı'nın antitetik fayları üzerinde meydana gelen depremler oldukları düşünülmektedir. Dolayısıyla, 19.05.2011 depremi sonrası gelişen bazı artçı depremlerin, antitetik faylara bağlı gelişen kırılmalar sonucunda oluştuğu ihtimalini güçlendirmektedir. Bu verilerin yanı sıra, Simav Fayı'nın günümüzde normal fay karakterinde olması düşüncesi; fay düzlemlerinde üzerleyen son kayma vektörlerinin normal fay karakterinde olması, Kuvaterner yaşlı genç birimlerde doğrultu atımlı deformasyonun tespit edilememesi gibi arazi çalışmaları kökenli ve sismolojik veriler ile desteklenmektedir.

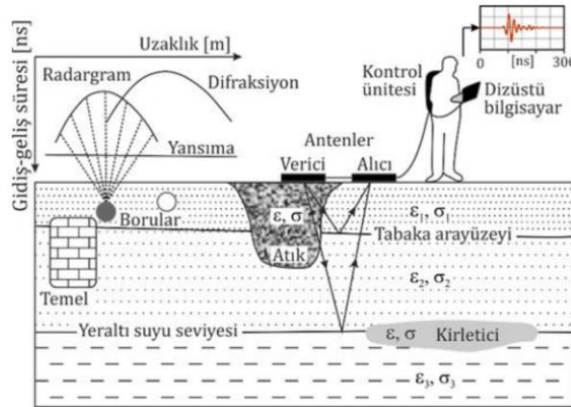
Başlangıç yaşı; 19.3My - 26.1My aralığında olan Simav Fayı'nın kinematikindeki bu değişim, bölgesel anlamda B-GB Anadolu'da Pliyosen'de etkili olan sıkışmalı tektonik rejimin Kuvaterner'de genişlemeli bir tektonik rejim ile üzerlenmesi ile doğrudan ilişkilidir (Özden ve diğ., 2012; Gündoğdu, 2013; Gündoğdu ve diğ., 2015).

3. Yöntem

3.1. GPR Yöntemi

Simav ve civarında yer alan aktif faylar boyunca saha gözlemlerine dayalı olarak gerçekleştirilen Neotektonik ve jeolojik araştırmalar ile sığ jeofizik uygulamalar için ölçüm yerleri belirlenerek GPR çalışmaları yapılmıştır.

GPR Yöntemi; yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan (TE: Transvers Elektrik) bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı EM dalgalarının (radyo dalgaları) ara yüzeylerden yansımalarının (echoes) gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Conyers, 2004). Bu yöntemde, tabaka sınırlarından ve/veya gömülü nesnelere yansımalar/şarjlar olarak geri gelen ve şekil değiştiren sinyalin alıcı antenler tarafından varış süresinin bir fonksiyonu olarak kaydedilmektedir (Balkaya ve Göktürkler, 2016) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Şematik GPR düzeneği (Blindow ve diğ., 2007'den derleyen; Balkaya ve Göktürkler, 2016'den alınmıştır)

Yeraltında, her iki tarafı farklı dielektrik özellikte kayalardan oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansımalar ve iletimlere uğrayacaktır. Dalga şekli olarak sürekli veya Chirp adı da verilen birkaç nano saniye süreli elektromanyetik imler kullanılır. Kaynak dalgası için seçilen bir merkezi frekansın %50 altı ve üstü aralığındaki frekanslar kullanılır. Örnek olarak 100 MHz merkez frekanslı kaynakta 50 MHz'den 150 MHz'e kadar

bir aralık kullanılır. Yeraltı radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) ilk önce buz kalınlığının ölçülebilmesi için geliştirilmiştir (Cook, 1960). Normal yer ortamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin sismik yöntemlerde kullanılan veri işlem teknikleri ile işlenmesi sonucunda 10 – 20 m gibi araştırma derinliğine ulaşıldığı görülmüştür. Günümüzde ise GPR yöntemi sığ yer araştırmaları ile arkeometri çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Conyers, 2006). Basit olarak GPR dizgesi; bilgisayar, kayıt aygıtı CU (control unit), alıcı ve verici ile antenlerden oluşur.

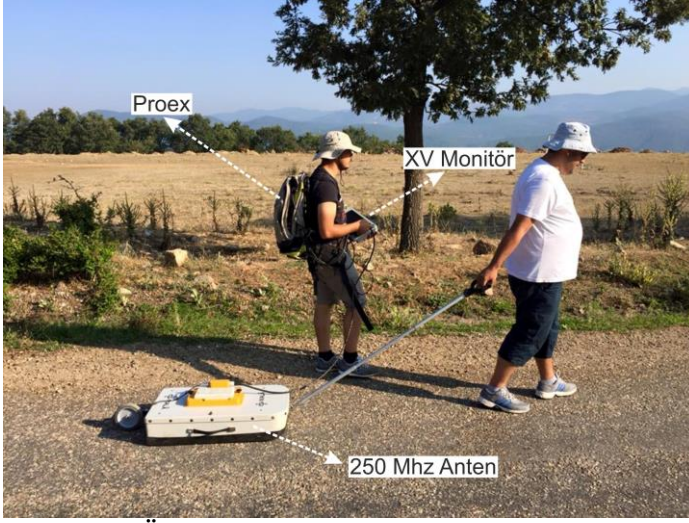
Elde edilen radar verileri sismik yönleme benzer şekilde kesitler olarak sunulur. Eğer birbirine paralel ölçüm hatları varsa zaman seviye haritaları yapılabilir. Belli bir zaman değeri için bütün ölçümlerden genlik değeri çıkartılır ve harita üzerindeki ölçüm noktalarına işlenir (Conyers, 2004). GPR çalışmalarının en önemli kısımlarından biri olan veri işlem etabında çeşitli filtre parametreleri ve teknikleri kullanılarak amaca en uygun görüntüye ulaşılmaktadır (Leucci ve Negri, 2006).

3.2. Arazi Ölçümleri ve Verilerin Değerlendirilmesi

Saha gözlemleri ve önceki çalışmalar dikkate alınarak olası fay kollarını ve süreksizlikleri dik kesecek şekilde GPR ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Ölçümlerde 250 MHz korumalı anten ve Proex ana ünite sistemi ile XV GPR monitörü kullanılmıştır (Şekil 3.3). Ölçüm esnasında profil yerlerinin belirlenmesi için UTM koordinatlar eş zamanlı olarak alınmıştır.

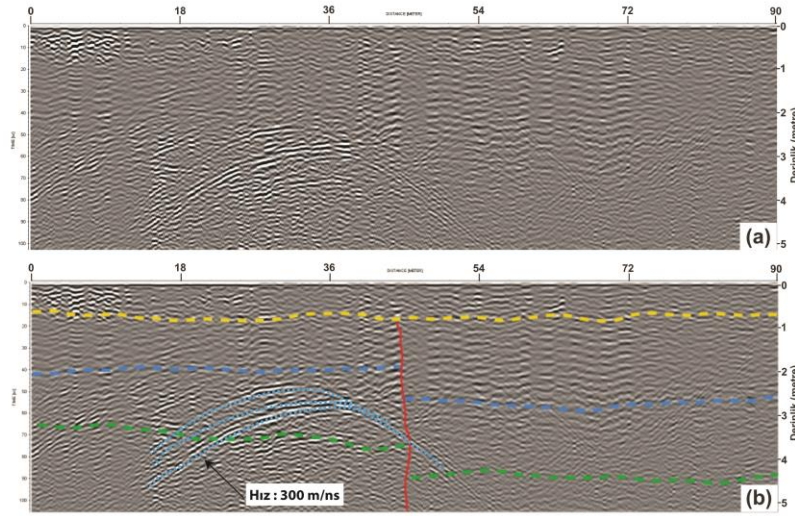


Şekil 3.2. Lokasyonları Şekil 2’de verilen alanlarda gerçekleştirilen GPR ölçümleri



Şekil 3.3. Ölçümlerde kullanılan 250 MHz korumalı anten, Proex ana ünite sistemi ve XV-GPR monitörü

Saha çalışmalarında toplanan GPR verilerinin anlaşılır ve kullanılabilir hale getirilmesi için uygun filtreleme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen işlenmiş GPR profilleri, tabaka sınırlarının takip edilmesi yöntemi ile modellenmiş ve olası süreksizlik zonları ortaya konulmuştur (Şekil 3.4). Yerleşim yerlerinde uygulanan GPR profillerinde karşımıza çıkan önemli gürültülerden biri olan elektrik hatlarının yarattığı gürültü gösterimi de Şekil 3.4’de gerçekleştirilmiştir (açık mavi kesikli çizgiler).



Şekil 3.4. Örnek bir GPR profiline ait veri; (a) İşlenmiş GPR verisi, (b) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir. Kesikli açık mavi çizgiler ise “Hız: 300 m/ns” olan elektrik hatlarından kaynaklı gürültü hiperbollerini temsil etmektedir)

4. GPR Çalışmaları

Saha gözlemleri sonucunda belirlenen 3 farklı lokasyonda toplam 5 adet profil ile gerçekleştirilen GPR profillerinde (Şekil 2.1 ve Çizelge 1), yapılan ölçümlerde olası fay zonunu dik kesecek hatlar uygulanmıştır. Bu hatlar üzerinde ayrı ayrı yapılan filtreleme işlemleri sonucunda belirlenen tabakalar GPR profillerine işlenmiş ve tabakalarda gözlemlenen süreksizlik zonları da GPR profillerinde gösterilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma alanında gerçekleştirilen GPR profillerine ait koordinat bilgileri.

		Koordinat		Başlangıç		Bitiş	
		Dilim	Türü	Enlem (N)	Boylam (E)	Enlem (N)	Boylam (E)
Alan-1	Profil-1	35S	UTM	4320516	687370	4320609	687291
			DDS	39°00'49.03"	29°09'50.9"	39°00'52.09"	29°09'47.7"
	Profil-2	35S	UTM	4320624	687299	4320604	687383
			DDS	39°00'52.6"	29°09'48.06"	39°00'51.88"	29°09'51.52"
Alan-2	Profil-1	35S	UTM	4327917	670725	4328028	670739
			DDS	39°05'1.25"	28°58'25.86"	39°05'4.85"	28°58'26.54"
	Profil-2	35S	UTM	4328028	670739	4328044	670707
			DDS	39°05'4.85"	28°58'26.54"	39°05'5.39"	28°58'25.25"
Alan-3	Profil-1	35S	UTM	4334032	644969	4334372	645514
			DDS	39°08'36.31"	28°40'39.04"	39°08'46.93"	28°41'02.57"

4.1. Alan-1'de Yapılan GPR Çalışmaları

Simav-Şaphane-Gediz yol ayrımında; Çizelge-1'de koordinat bilgileri verilen lokasyonda, 2 ayrı GPR profili uygulanmıştır. Alan-1 Profil-1'e ait işlenmiş ve modellenmiş GPR verileri (Şekil 4.1.c ve 4.1.c'), yöntem kısmında anlatılan filtreleme parametreleri ile işlenmiş ham veri Şekil 4.1.c'de sunulmuştur. Modellenmiş veriler üzerindeki kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir (Şekil 4.1.c'). Alan-1 Profil-2'e ait işlenmiş ve modellenmiş GPR verileri (Şekil 4.1.d, 4.1.e, 4.1.f, 4.1.d', 4.1.e', 4.1.f'), yöntem kısmında anlatılan filtreleme parametreleri ile işlenmiş ham veriler Şekil 4.1.d, 4.1.e, 4.1.f'de sunulmuştur. Modellenmiş veriler üzerindeki kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir (Şekil 4.1.d', 4.1.e', 4.1.f'). Alan-1'de, iki farklı lokasyonda yapılan GPR çalışmaları sonucunda, profil başlangıç noktasından itibaren olmak üzere; 1. Profilde 45 metrede, 2. Profilde ise 23 metrede süreksizlik zonu tespit edilmiştir.

Ayrıca 1. Profilde mavi ile gösterilen tabakanın tabanı 2.1 metrede, tavanı ise 2.7 metrede kesilmiş olup, yer değiştirme miktarı 60 cm'dir. Yeşil ile gösterilen tabakanın tabanı 3.7 metrede, tavanı ise 4.5 metrede kesilmiş olup yerdeğiştirme miktarı 80 cm'dir.

2. Profilde ise; mavi ile gösterilen tabakanın tabanı 1.9 metrede, tavanı ise 2.2 metrede kesilmiş olup, yer değiştirme miktarı 30 cm'dir. Yeşil ile gösterilen tabakanın tabanı 3.1 metrede, tavanı ise 3.5 metrede kesilmiş olup yerdeğiştirme miktarı 40 cm'dir.

4.2. Alan-2'de Yapılan GPR Çalışmaları

Simav ilçe merkezinin yaklaşık 1 km güneyinde; Tablo 2'de koordinat bilgileri verilen lokasyonda, 2 ayrı GPR profili uygulanmıştır. Alan-2 Profil-1'e ait işlenmiş ve modellenmiş GPR verileri (Şekil 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e, 4.2.c', 4.2.d', 4.2.e'), yöntem kısmında anlatılan filtreleme parametreleri ile işlenmiş ham veriler Şekil 4.2.c, 4.2.d, 4.2'e'de sunulmuştur. Modellenmiş veriler üzerindeki kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir (Şekil 4.2.c', 4.2.d', 4.2.e'). Alan-2 Profil-2'ye ait işlenmiş ve modellenmiş GPR verileri (Şekil 4.2.f ve 4.2.f'), yöntem kısmında anlatılan filtreleme parametreleri ile işlenmiş ham veri Şekil 4.2.f'de sunulmuştur. Modellenmiş veriler üzerindeki kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir (Şekil 4.2.f'). Alan-2'de, iki farklı lokasyonda yapılan GPR çalışmaları

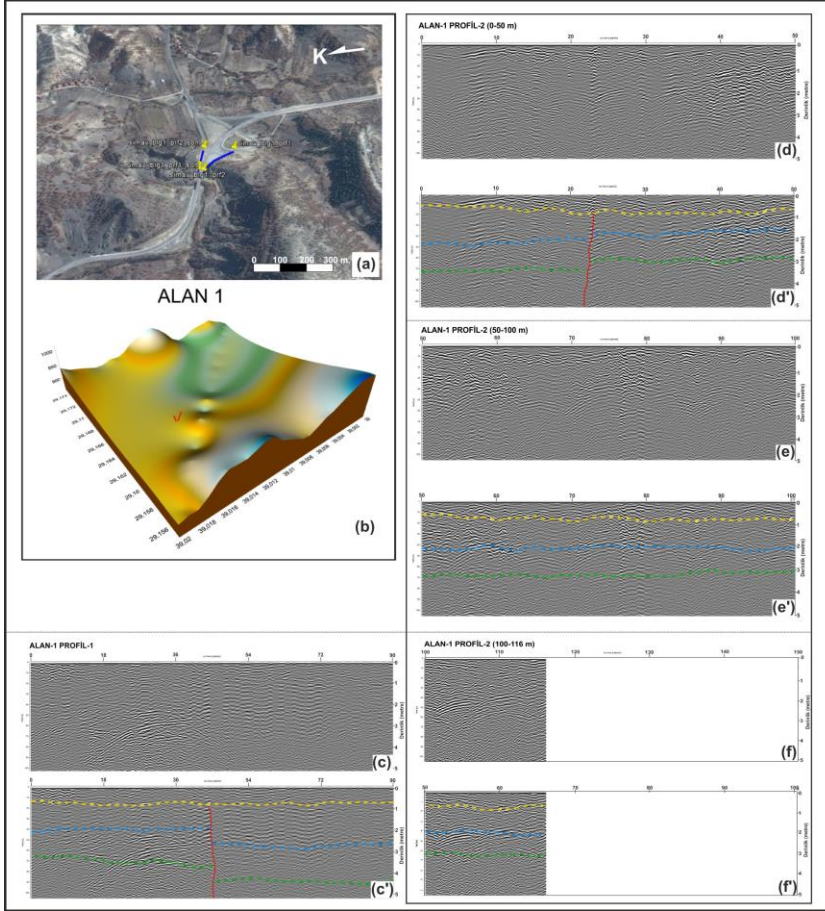
sonucunda, profil başlangıç noktasından itibaren olmak üzere; 1. Profilde 18 metrede, 2. Profilde ise 24 metrede süreksizlik zonu tespit edilmiştir.

Ayrıca 1. Profilde mavi ile gösterilen tabakanın tabanı 1.9 metrede, tavanı ise 2.4 metrede kesilmiş olup, yer değiştirme miktarı 50 cm'dir. Yeşil ile gösterilen tabakanın tabanı 3.2 metrede, tavanı ise 3.8 metrede kesilmiş olup yerdeğiştirme miktarı 60 cm'dir.

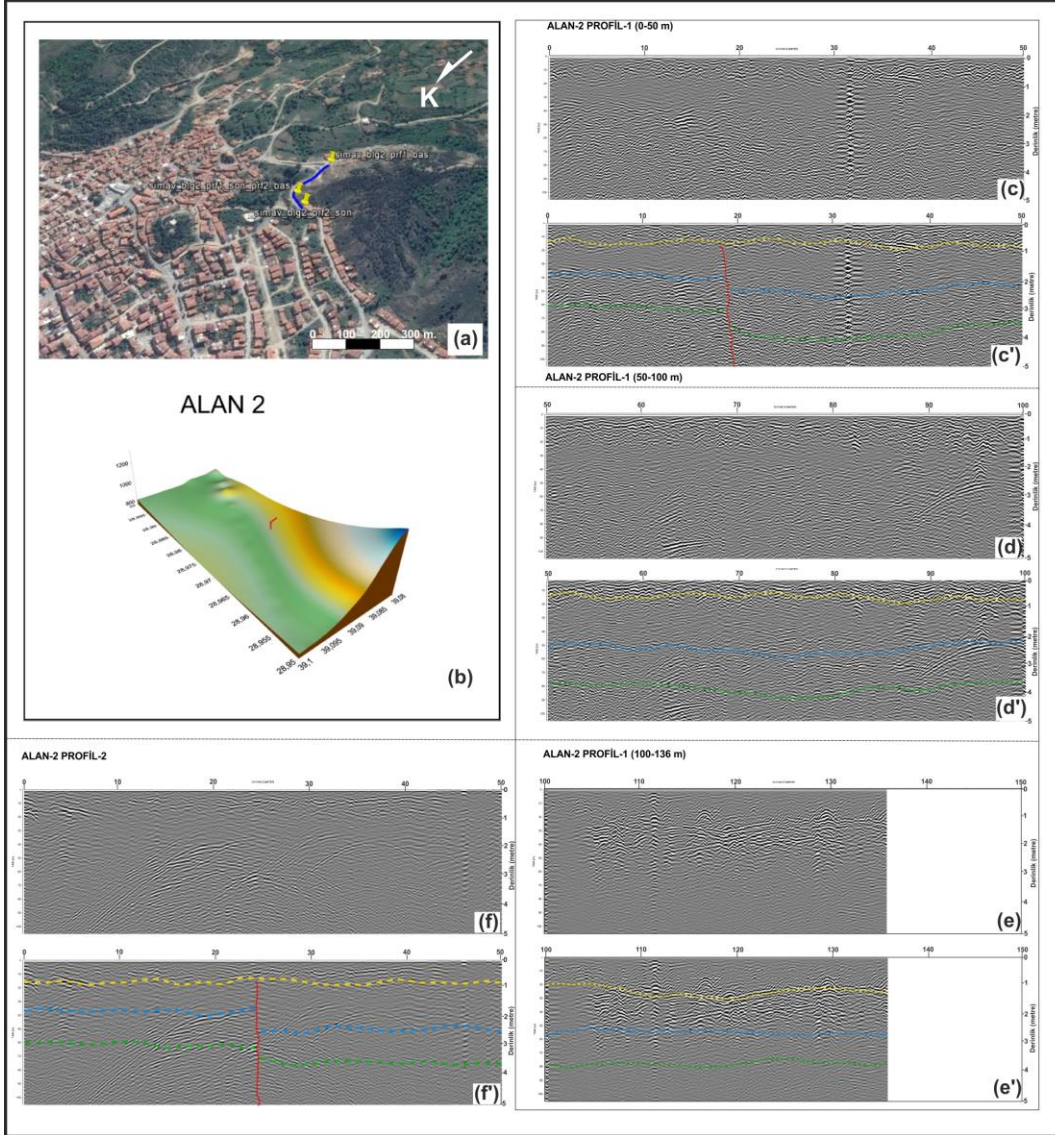
2. Profilde ise; mavi ile gösterilen tabakanın tabanı 1.9 metrede, tavanı ise 2.6 metrede kesilmiş olup, yer değiştirme miktarı 70 cm'dir. Yeşil ile gösterilen tabakanın tabanı 3.2 metrede, tavanı ise 3.6 metrede kesilmiş olup yerdeğiştirme miktarı 40 cm'dir.

4.3. Alan-3'de Yapılan GPR Çalışmaları

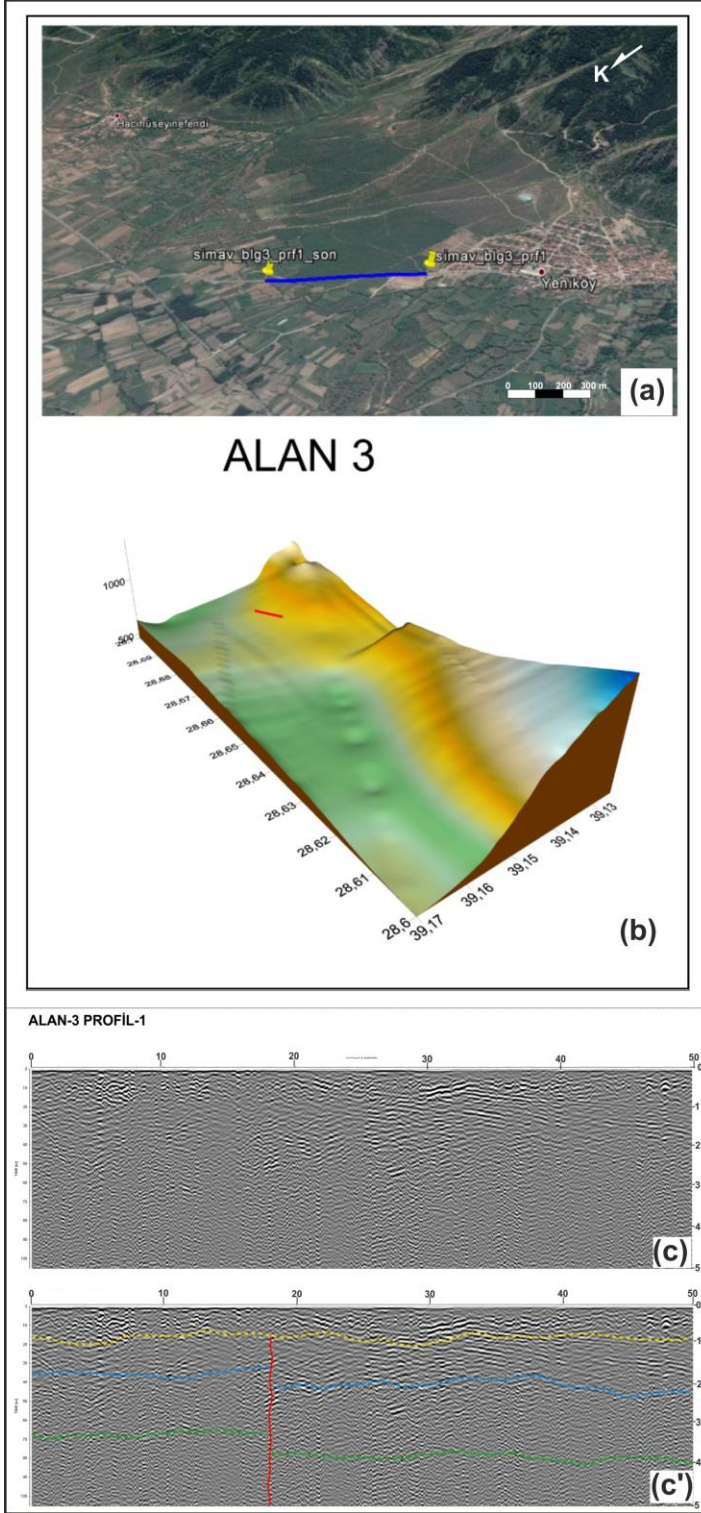
Simav-Sındırgı Yolu, Yeniköy Mevkii yakınlarında; Tablo-2'de koordinat bilgileri verilen lokasyonda, 1 adet GPR profili uygulanmıştır. Alan-3'te uygulanan profile ait işlenmiş ve modellenmiş GPR verileri (Şekil 4.3.c ve 4.3.c'), yöntem kısmında anlatılan filtreleme parametreleri ile işlenmiş ham veri şekil 11c'de sunulmuştur. Modellenmiş veriler üzerindeki kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir (Şekil 4.3.c'). Alan-2'de, iki farklı lokasyonda yapılan GPR çalışmaları sonucunda, profil başlangıç noktasından itibaren olmak üzere; 18 metrede, süreksizlik zonu tespit edilmiştir. Alan 3'te uygulanan profilde, yaklaşık 650 m. uzunluğundaki profilin olası süreksizlik zonu 50 m'ye indirilmiştir. Ayrıca profilde mavi ile gösterilen tabakanın tabanı 1.8 metrede, tavanı ise 2.2 metrede kesilmiş olup, yer değiştirme miktarı 40 cm'dir. Yeşil ile gösterilen tabakanın tabanı 3.4 metrede, tavanı ise 3.8 metrede kesilmiş olup yerdeğiştirme miktarı 40 cm'dir.



Şekil 4.1. (a) Koordinat bilgileri Tablo 2’de verilen, Simav-Şaphane-Gediz yol ayrımında yapılan GPR profili lokasyonları, (b) Alan-1’deki GPR lokasyonlarının ve civarının yükseklik modeli (Kırmızı çizgiler GPR profillerini göstermektedir), (c) 1. Profile ait işlenmiş GPR verisi, (c’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir), (d) 2. Profile ait (0-50 m arası) işlenmiş GPR verisi, (d’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir), (e) 2. Profile ait (50-100 m arası) işlenmiş GPR verisi (e’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını göstermektedir), (f) 2. Profile ait (100-116 m arası) işlenmiş GPR verisi, (f’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını göstermektedir)



Şekil 4.2. (a) Koordinat bilgileri Tablo-2’de verilen, Simav ilçe merkezinin yaklaşık 1 km güneyinde yapılan GPR profili lokasyonları, (b) Alan-2’deki GPR lokasyonlarının ve civarının yükseklik modeli, (c) 2. Profile ait (0-50 m arası) işlenmiş GPR verisi, (c’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir), (d) 2. Profile ait (50-100 m arası) işlenmiş GPR verisi, (d’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını göstermektedir), (e) 2. Profile ait (100-136 m arası) işlenmiş GPR verisi, (e’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını göstermektedir), (f) 1. Profile ait işlenmiş GPR verisi (f’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir)



Şekil 4.3. (a) Koordinat bilgileri Tablo 2’de verilen, Simav-Sındırgı Yolu, Yeniköy Mevkii yakınlarında yapılan GPR profili lokasyonları, (b) Alan-3’deki GPR lokasyonlarının ve civarının yükseklik modeli, (c) GPR profiline ait işlenmiş GPR verisi, (c’) Modellenmiş GPR verisi (kesikli sarı-mavi-yeşil çizgiler tabaka sınırlarını, kırmızı çizgi ise olası süreksizlik zonunu göstermektedir)

5. Sonuçlar ve Tartışma

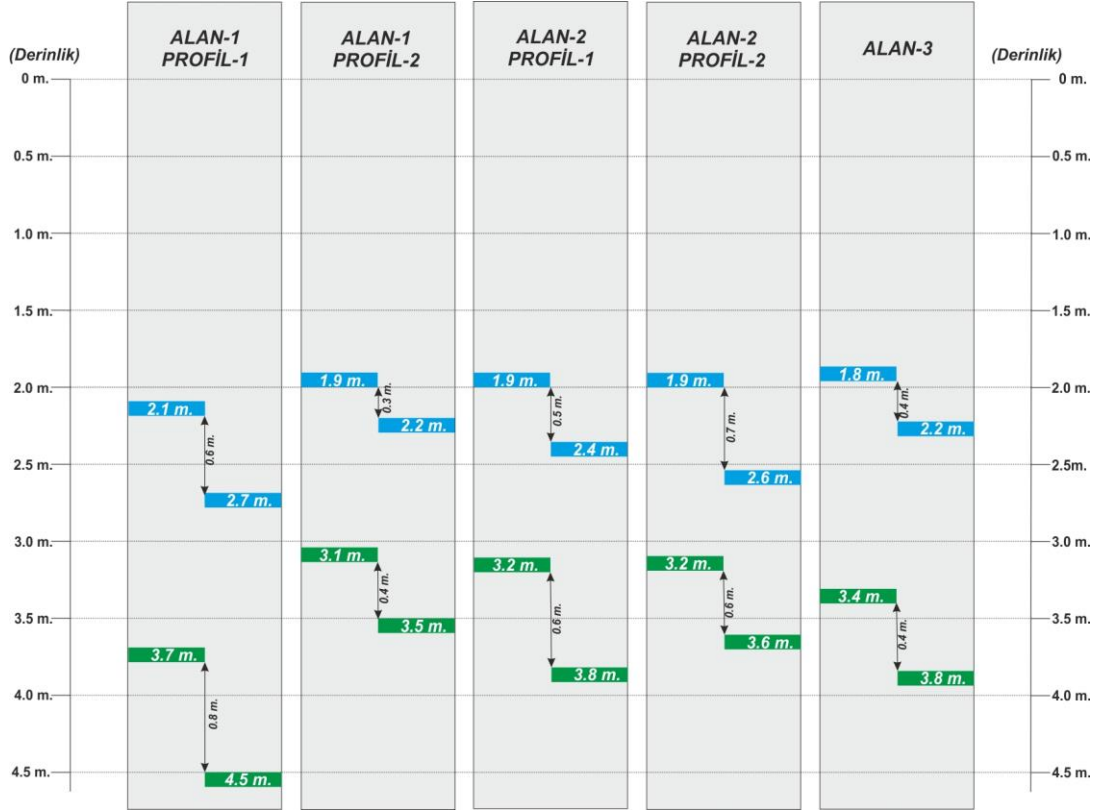
Simav havzasını güneyden sınırlayan, yaklaşık 60 km uzunluğunda, kuzeye eğimli bir normal fay olan Simav Fayı üzerinde 3 farklı lokasyonda toplam 5 hat üzerinde GPR çalışması yapılarak, düşey yöndeki yerdeğiştirmelerin miktarı belirlenmiştir. Koordinatları ve lokasyonları Şekil 2.1 ve Çizelge 1’de sunulan GPR profilleri, fayların doğrultularına mümkün olduğunca dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu GPR profillerinden elde edilen verilerin sonucunda 1. GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 30 cm ile 80 cm arasında değişen atımlar, 2. GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 50 cm ile 70 cm arasında değişen atımlar, 3. GPR profilinin gerçekleştirildiği alanda 40 cm atım verisi elde edilmiştir (Şekil 5.1). Tüm bu atım verileri; GPR çalışmasının yapıldığı bu 3 farklı lokasyonda, fayın yeri bu yöntemle ilk defa belirlenmiştir.

Alan-1’deki yer değiştirmeler; yüzeye yakın birimlerde daha az iken, derinlere doğru yerdeğiştirme miktarının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.1). Yerdeğiştirme miktarının derinlere doğru artmasının nedeni, Alan-1’de yeşil renk ile temsil edilen tabakaya ait değiştirmenin birden fazla depremden kaynaklanabileceği gibi, sedimantasyonla eş zamanlı faylanmaya da işaret edebilir. Aynı şekilde Alan-2 ve Alan-3’teki yerdeğiştirmelerin birbirleriyle hemen hemen uyumlu olması (Şekil 5.1), bu alanda meydana gelen sadece tek bir depreme ait veriler de olabilir. Ayrıca profillere ait kesitlerde görülen fayların dike yakın olmasının nedeni ise ise, Simav Fayı’nın doğrultu atımlı karakter sergilediği dönemdeki yerdeğiştirmeleri temsil edebileceği gibi; günümüzde bir miktar doğrultu atım bileşenine sahip olan, ancak ana karakteri normal fay olan Simav Fayı’nın düşey atım verilerini temsil ettiği sonucunu da verebilir.

GPR çalışmaları ile elde edilen bu verilerin; jeolojik veriler ile kontrol edilmesi ve Simav Fayı’nın geçmiş dönemlerdeki davranış biçimlerinin geometrisinin net olarak belirlenebilmesi amacı ile profil hatları boyunca hendek tabanlı paleosismolojik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yeraltı radarı ölçümleri ile elde edilen 2 boyutlu kesitler uygun filtre parametreleri kullanılarak işlenmektedir. Bu sayede yeraltında bulunan jeolojik yapıların en iyi temsil edilebileceği görüntülere ulaşılabilmektedir. Hazırlanan 2 boyutlu GPR kesitlerinin görsel olarak yorumlanması ile jeolojik yapılarla ilişkisi ortaya konulmaktadır. Dalga yayılımının doğası, elektromanyetik dalgalarının yer içinde/dışında etkileşimde olması ve yansıma ara yüzeyleri ve gömülü nesnelerin etkilerinden dolayı, yeraltı radarı verileri yerin kesitini tam olarak her zaman vermeyebilir. Bunun için doğru yorumlama yapabilmek, jeolojik ve çevre koşullarının iyi kestirilmesi ile doğrudan ilişkilidir (Davis ve Annan, 1989). Elektromanyetik ölçümlerle elde edilen veriler anten oryantasyonu sayesinde yeraltına yönelik toplansa da, yer üstünde bulunan önemli gürültü kaynaklarında da (elektrik hatları, direkler v.b) etkilenebilmektedir. Filtre aşamasında temizlenemeyen bu tarz gürültüler, yorumlama aşamasında tanımlanmaktadır (Şekil 3.6). Sahada yapılan jeolojik çalışmalar ve aktif faya yönelik gözlemler; yeraltı radarı kesitinde de benzer yapısal özellikleri sunması, yeraltı radarı verilerinin ve yorumlarının doğruluğunu artırmakta olup, bu faylar üzerinde yapılacak paleosismoloji çalışmaları için bir altlık oluşturacaktır.



Şekil 5.1. Lokasyonları Şekil 2’de verilen, GPR çalışmasının yapıldığı 3 farklı lokasyonda toplam 5 adet profilin sonucunda, tabakaların tavan ve taban sınırlarının kesildiği derinliklere ait şematik gösterim

6. Teşekkür

Bu çalışma, ÇOMÜ-BAP, FBA-2015-500 numaralı, “Simav ve Civarındaki Aktif Fayların, 3 Boyutlu Fay Geometrisinin GPR (Yeraltı Radarı) Yöntemi ile Belirlenip Modellenmesi” isimli proje tarafından desteklenmiştir.

7. Kaynakça

Barka A. A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tectonicae* VI suppl.,164- 195.

Balkaya Ç. ve Göktürkler G., 2016. Karşılıklı kuyu yer radarı verilerinin modellenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 581-596.

Blindow N., Eisenburger D., Illich, B., Petzold H. ve Richter T., 2007. *Environmental Geology*. Editors: Knödel K, Lange G, Voight H-J. *Ground Penetrating Radar*, 283-335, Hannover, Germany, Springer Berlin Heidelberg New York.

Conyers L. B., 2004. *Ground-penetrating Radar for Archaeology*. Altamira Press, Walnut Creek, California.

Conyers L. B., 2006. *Innovative ground-penetrating radar methods for archaeological*

- mapping. *Archaeological Prospection*, 13(2), 139-141.
- Cook J. C., 1960. Proposed monocycle-pulse, VHF radar for airborne ice and snow measurements. *AIEE Trans. Commun. And Electron.*, 79 (2), 588-594.
- Davis J. L. ve Annan A. P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophys. Prospect.*, 3, 531–551.
- Doğan A. ve Emre Ö. 2006. “Ege Graben Sistemi’nin Kuzey Sınırı: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu”, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 83-84.
- Dora O. Ö., Kun N. ve Candan O. 1992. Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes Massif. In: Savaşçın, M.Y. ve Eronat, A.H. (eds), *Proceedings of International Earth Sciences Congress on Aegean Regions 1990*, Dokuz Eylül University Publications 2, 107–115.
- Dürr S. H., 1975. Über alter und geotektonische stellung des Menderes-kristallins/SW-Anatolien und seine aequivalente in der mittleren Aegaeis. *Habil.-Schr. Philipps-Univ. Marburg/Lahn*, 107 p.
- Emre Ö. ve Duman T. Y. 2011. “19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi Ön Değerlendirmesi Raporu”, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikler Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi.
- Emre Ö., Doğan A. ve Özalp S. 2011a. “Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö., Özalp S. ve Duman T.Y. 2011b. “Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Uşak (NJ 35-8) Paftası, Seri No:11”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö., Duman T. Y. ve Özalp, S. 2011c. “Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Kütahya (NJ 35-4) Paftası, Seri No:10”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö., Duman T. Y., Özalp S., Olgun Ş., ve Elmacı H. 2011d. “Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Afyon (NJ 36-5) Paftası, Seri No:16”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye

- Erdoğan B., Güngör T., Akay E. ve Hasözbeğek A., 2003. Eğriğöz Granit Masifi'nin Jeoloğisi, Petroloğisi ve Yerleşim Mekanizması. 101Y014, TÜBİTAK Projesi Final Raporu.
- Gündoğdu E., 2013. Simav Fayı ve Yakın Civarının Jeodinamik Evrim Modeli. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 146 s.
- Gündoğdu E., Özden S. ve Güngör T., 2015. Simav (Kütahya) ve Yakın Civarının Geç Senozoyik Yaşlı Jeodinamik Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 58, Sayı 3.
- Işık V. ve Tekeli O., 1999. Microstructure of deformed grains in the granitic mylonites of lower plate: northern Menderes massif, western Turkey. EUG 10, J. Conference Abs. 4 (1), 730.
- Kartal R. F. ve Kadiriöğlu F. T., 2014. 2011-2012 Simav Depremleri (M_l=5.7, M_l=5.0, M_l=5.4) ve Bölgenin Tektonik Yapısı ile İlişkisi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni. Yerbilimleri, 35 (3), 185-198.
- Konak N., 1982. Simav dolayının jeoloğisi ve metamorf kayaların evrimi. İstanbul Yerbilimleri, 3, 313-337.
- Leucci G. ve Negri S., 2006. Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area. Journal of Archaeological Science 33, 502-512.
- M.TA., 2002. 1:500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, İzmir Paftası.
- Özden S., Tutkun S. Z., Bekler T., Karaca Ö., Komut T., Kalafat D., Ateş Ö., Demirci A., Gündoğdu, E. ve Çınar, S., 2012. Simav Fayı ile Kütahya Fayı (Emet-Orta Batı Anadolu) Arasında Kalan Bölgenin Neotektonik ve Sismotektonik Özellikleri. 109Y103, TÜBİTAK Projesi Final Raporu, 212 sayfa.
- Schuiling R. D. 1962. On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex (SW Turkey). General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin 58, 71-84.
- Seyitoğlu G., 1997. The Simav graben: An example of young E-W trending structures in the Late Cenozoic extensional system of western Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 6, 135-141.

Şengör A. M. C, 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance: J. Geol. Soc. London, 13, 269-282.

Yalçın C. Ç., Altunel E., Akyüz S., Karabacak V., Meghraoui M., Bano M. ve Yönlü Ö., 2009. Paleosismoloji Çalışmalarında Kullanılan GPR Yöntemindeki Gelişmeler, ATAG-13 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu 13. Çalıştayı) Bildiri Özleri Kitabı, ÇOMÜ, Çanakkale.