

# ALAŞEHİR GRABENİ'NDE SİSMİK YANSIMA MODELLEMESİ

## SEISMIC REFLECTION MODELLING IN ALAŞEHİR GRABEN

**Nigar Gözde Okut-Toksoy<sup>1</sup>, Emin Demirbağ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD, 34469-Maslak, İstanbul

<sup>2</sup>İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34469-Maslak, İstanbul

Yayına Geliş (Recieved): 07.05.2018, Yayına Kabul (Accepted): 17.07.2018

\*Sorumlu yazar/Corresponding author: ngokut@itu.edu.tr

### Öz

Batı Anadolu'daki graben sistemlerinde az miktarda petrol rezervi olmakla beraber, sahip oldukları jeotermal enerji potansiyeli nedeniyle hem devlet kurumları tarafından hem de özel şirketler tarafından birçok yatırım yapıldığı bir bölge olarak dikkatleri çekmektedir. Alaşehir (Gediz) Grabeni de batıdaki önemli genişlemeli tektonik rejimin görüldüğü yapılardan birisidir. Bu çalışmada Alaşehir Grabeni için hazırlanan derinlik modeli kullanılarak sismik modellemede düz çözüm yöntemiyle yapay yığma kesiti oluşturulmuş, farklı hız modelleri kullanılarak göç kesitleri elde edilmiş ve bu hız modelleri için sismik göç işlemi test edilmiştir. Modelleme için gerekli olan formasyon bilgileri, kalınlıklar ve sismik hızlar daha önceki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. TPAO tarafından Alaşehir-1 kuyusunda yapılan kuyu atışları ile elde edilen sismik ara hızlar modellemede kullanılmış ayrıca ortalama ve karekök ortalama (RMS) hızları bu hız bilgisine bağlı olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı, derinlik modeli esas alınarak Alaşehir Grabeni'ne ait genel jeolojik yapıyı yapay sismik yansıma kesiti şeklinde sunmak, farklı sismik hız modellerine göre sismik kesitlerde genel yapının ne şekilde değiştiğini ortaya koymaktır. Sismik göç işleminden sonra elde edilen kesitlerde, derinlik modelinde bulunan yapısal unsurlara bağlı olarak hangi sismik hız modelinin daha uygun olduğu tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sismik modelleme, Sismik hızlar, Yığma, Sismik göç, Alaşehir Grabeni.

### Abstract

Grabens in Western Anatolia attract attention as a region where many investments have been made by government agents as well as by entrepreneurs due to geothermal energy potential they have, along with the presence of small amount of oil reserves. Alaşehir (Gediz) graben is one of the structures that has been developed under extensional tectonic regime in the Western Turkey. In this paper, synthetic stacked sections and corresponding migrated sections with different velocity models are generated by seismic forward modelling method for a depth model with geological features of the Alaşehir Graben. Determination of the formation properties, such as layer thicknesses and seismic velocities that required for modeling, are gathered from previous studies in the literature. Seismic velocities from check-shots in Alaşehir-1 well by TPAO and calculated average and Root Mean Square (RMS) velocities based on these velocities are used in the modeling. The purpose of this study is to present general geological model as a synthetic seismic reflection section for the Alaşehir Graben and to show that how the general features of the geological model may change against different seismic velocity models after the migration.

**Keywords:** Seismic modeling, Seismic velocities, Stacking, Seismic migration, Alaşehir Graben

## GİRİŞ

Yeraltındaki yapıların ortaya çıkarılmasında, tabakaların sınırlarının belirlenmesinde, yanıl değişimlerin saptanmasında ve jeolojik olarak yorumlanacak kesitlerin oluşturulmasında sismik yansıma yöntemiyle veri toplama, veri işlem ve sonrasında yorumlama adımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltındaki yapıların tespitinde açılan kuyulardan alınan bilgiler daha kesin sonuçlar üretse de, sadece bir noktadan alınan veriler kullanılarak yeraltında geniş bir alan hakkında yorum yapılması yanlış olabilmektedir. Bu nedenle sismik yöntemle elde edilen verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sismik yansıma yönteminde detaylı yorumlama için modelleme çalışması yapılması da önemlidir. Sismik yansıma modellemesi, aynı zamanda veri toplama öncesinde bölgeye ait yapılmış jeolojik ve jeofiziksel çalışmalar dikkate alınarak, veri toplamada karşılaşılabilecek sorunlara çözüm üretebildiği gibi, veri işlem adımlarının test edilmesinde de uygulanabilmektedir. Jeofizikte modelleme; düz problem çözümü ve ters problem çözümü olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada düz çözüm ile iki boyutlu ışın izleme yöntemi kullanılarak, çalışma alanına ait yapay sismik kesitlerin sunulması amaçlanmıştır.

Çalışma alanı, Batı Anadolu'da yer alan önemli graben sistemlerinden olan Alaşehir Grabeni bir diğer adıyla Gediz Grabeni'dir. Bu çalışmada Alaşehir Grabeni'nde Alaşehir-1 kuyusunda TPAO tarafından yapılan kuyu atışları (check-shot) sonucu elde edilen hız bilgileri Demircioğlu-Kolenoğlu, D. (2009) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinden ve aynı kuyudan elde edilen formasyonlar ve formasyonlara ait derinlik bilgileri ile birlikte jeolojik kesitler ise Çiftçi, N. B. (2007) tarafından hazırlanan doktora tezinden referans alınarak grabeni temsil eden bir yeraltı modeli ortaya konmuş ve sismik modelleme yöntemiyle, yığma ve göç uygulanmış kesitler türetilmiştir. Ayrıca farklı hız modelleri ile göç kesitleri oluşturularak hız modellerinin sonuçları test edilmiştir.

## ALAŞEHİR GRABENİ VE ÇEVRESİNİN JELOJİSİ

Batı Anadolu'da Anadolu levhasının batıya doğru ilerlemesi ile Ege'de bulunan dalma-batma zonunun (Helenik) kuzeyindeki alan tarafından engellenmesi sonucunda bölgede genişlemeli tektoniğe bağlı olarak D-B doğrultulu graben yapıları normal faylarla sınırlandırılmıştır (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985). Normal faylar

genişlemeli tektonik rejimlerde oluşan önemli yapılarıdır ve graben sistemleri de her iki tarafı normal faylarla sınırlandırılmış çöküntü alanları olarak bilinmektedir. Ege Bölgesinin iç kısımlarında gelişen büyük akarsu vadileri ve bu vadiler arasında yer alan faylarla sınırlandırılmış yüksek sırtlar ile kıyılarıdaki koy-körfez ve aralarındaki yarım adalar, gerilme rejimi altında gelişen Horst-Graben sisteminin bir ürünüdürler (Yıldırım ve Gökaşan, 2007).

Alaşehir Grabeni, 140 km uzunluğa ve 15 km genişliğe sahip batıdaki önemli genişlemeli tektonik rejimin görüldüğü yapılardan birisi olup, Alaşehir'in güneydoğusundan başlayarak Turgutlu'ya kadar uzanmakta ve Gediz Nehrinin düzlüğü boyunca devam etmektedir. Grabenin güney sınırı genişleyen ve kuzeye doğru dışbükey olarak görülen normal fay sistemi ile önemli bir yapıyı oluşturmaktadır. Doğuya doğru kısmen daha dar olmakla birlikte batıda Manisa civarında iki kola ayrılan kadar genişlemeye devam etmektedir (Şekil 1a). Bölgede yüksek sıcaklıktaki yeraltı suyunun yükselebileceği geçirim zonlarının bulunması, özellikle Ege kıyılarındaki yaygın faylanmalar gibi elverişli jeolojik ortamların bulunması özellikleri nedeniyle, birçok jeofiziksel ve jeolojik araştırmalara ev sahipliği yapmaktadır.

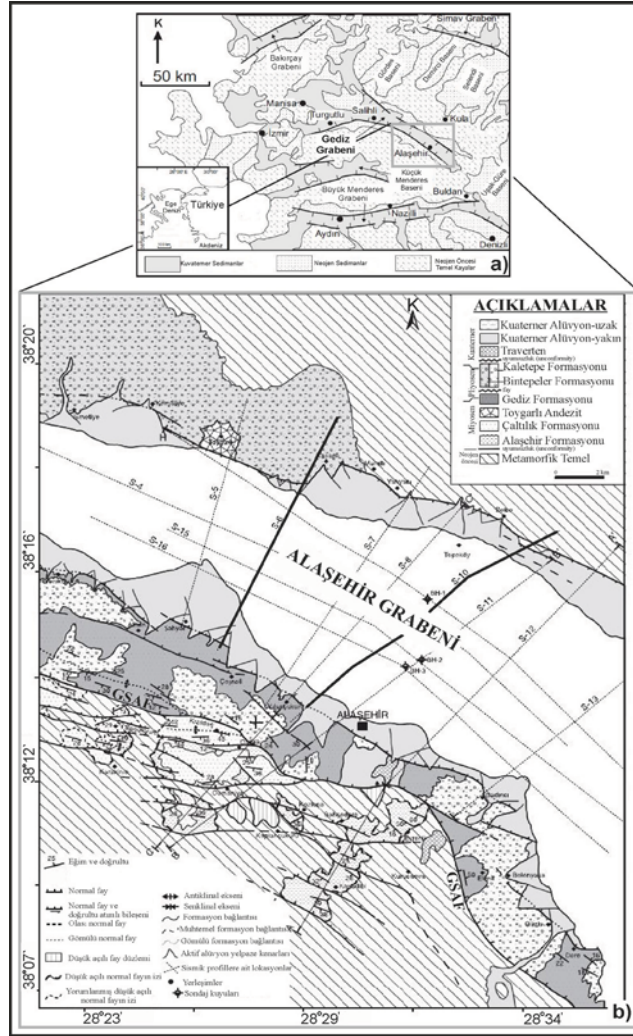
Günümüzde Batı Anadolu'nun jeolojisi ile ilgili devam eden tartışmalarla birlikte, bölgenin jeolojisinin bütün görünüşünü içeren ve farklı yapısal türlerin Alaşehir Grabeni'nde yer alması bölge ile ilgili tartışmaları arttırmaktadır (İzitan ve Yazman, 1990; Seyitoğlu ve Scott 1996; Emre, 1996; Ediger vd. 1996; Koçyiğit vd. 1999; Yılmaz vd. 2000; Seyitoğlu, vd. 2002; Çiftçi ve Bozkurt, 2009a,b). Bu çalışmalarda formasyon isimleri, yaşları, aynı formasyon türleri için farklı fasiyes birimleri kısacası stratigrafiyi belirleyen bütün özellikler hakkında sayıca modeller türetilmiştir.

Şekil 1a ve 1b'de Alaşehir (Gediz) Grabeni'ne ait yer bulduru ve jeolojik haritaları görülmektedir. Alaşehir Grabeni, güney ve kuzey kenarlarında 2 önemli fay sistemi tarafından sınırlandırılmıştır (Şekil 1b). Bu faylar, Alaşehir Grabeni'nin güney kenarında KB-GD doğrultuda uzanan, sıyrılma fayı olan "Grabeni Sınırlayan Ana Fay (GSAF)" ve kuzey kenarında grabeni sınırlayan ana fayın antitetik fayı olan "Kuzey Sınır Fayı" dır. Grabeni sınırlayan ana fay, metamorfik temel ile çökel kayaçlarını birbirinden ayıran önemli bir yapıdır. Çiftçi ve Bozkurt, 2009b'ye göre Alaşehir Grabeni'nin kayaç birimleri iki grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar temel kayaç ve çökel kayaçlarıdır.

Çökel kayaçları temel kayaçların üzerine gelmekte olup, başlıca 5 farklı formasyon birimlerine ayrılmıştır. Bu birimler Alaşehir, Çaltılık, Gediz, Kaletepe/Bintepeler Formasyonları ve Kuvaterner Alüvyondur. Metamorfik kayaçlar ve içlerine sokulmuş granodiyoritler ise Menderes Masifi'ne ait olan Neojen öncesi temeli oluşturmaktadırlar ve yaklaşık 2000 m'ye kadar horst bloklarının üzerinde geniş ölçüde açığa çıkmaktadırlar. Metamorfik kayalardaki şist, gnays ve mermerler gibi çatlaklı birimler jeotermal kaynak rezervi için uygun jeolojik ortama sahip olmakla beraber, bölgede bulunan aktif normal faylar da akışkan dağılımında önemli

bir rol oynamaktadırlar (Çiftçi ve Bozkurt 2007, 2009a, 2009b, 2010).

Bölgede jeotermal potansiyelinin keşfi için sondaj kuyularının açılması ve jeofizik çalışmalarının yapılması Alaşehir Graben sisteminin aydınlatılmasını hızlandırmıştır. Aynı zamanda bölgede yer alan diğer graben sistemlerine göre Alaşehir Grabeni en kalın çökel birimlerine sahip graben olarak dikkatleri çekmektedir. Şekil 1b'de siyah renk çizgilerle gösterilen S-6 ve S-10 (Alaşehir-1 kuyusunun yer aldığı) numaralı sismik yansıma hatları çalışmada derinlik modelinin oluşturulmasında referans alınmıştır.

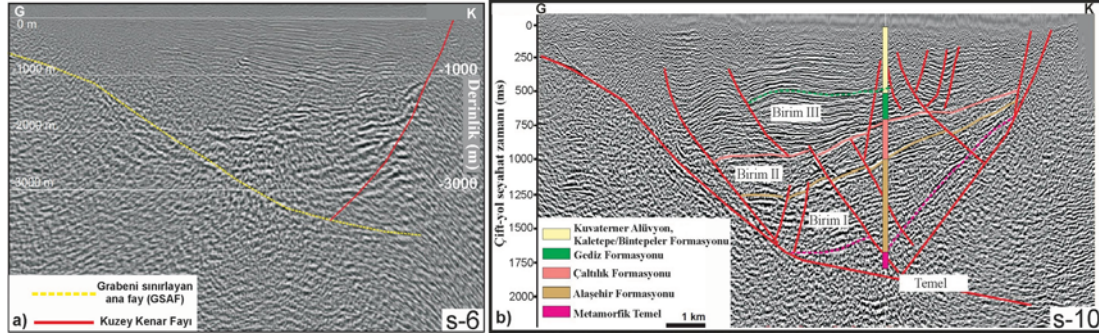


**Şekil 1.** Alaşehir bölgesindeki ana yapıların, kuyuların, sismik hatların ve litostratigrafik formasyonların dağılımının gösterildiği Alaşehir (Gediz) Grabeni'nin a) yer bulduru ve b) jeolojik haritası. GSAF, grabenin güneyinde en aktif kenarı olan grabeni sınırlayan ana fayı temsil etmektedir (Orhan ve Ateş, 2010; Çiftçi ve Bozkurt, 2009b).

**Figure 1.** a) Location and b) geological map of the Alaşehir (Gediz) Graben showing the distribution of the main structures, boreholes, seismic profiles and lithostratigraphic formations in the Alaşehir region. The GSAF represents the master graben bounding fault that restricts the southern border of the graben, which is the most active tectonic element in the region

Bu çalışma kapsamında grabeni dolduran birimlerin stratigrafik yapılarını araştırmak ana amacımız olmamakla beraber, önceki çalışmalar referans alınarak bölgede yapılan sondaj çalışmasında elde edilen formasyon bilgileri ile iki boyutlu (2D) sismik yansıma verilerinin korelasyonu ile

grabenin oluşturduğu yapıların geometrisi hakkında bir öngöründe bulunulmuştur. Bölgeyi temsil eden derinlik modeli Şekil 2'de gösterilen Çiftçi, 2007 tarafından yorumlanmış sismik kesitler (s-6 ve s-10) referans alınarak oluşturulmuştur.



**Şekil 2.** a) Alaşehir Grabeni'ni kuzey ve güneyden sınırlayan fayların S-6 sismik kesitindeki görünümleri. Kuzeydeki fay yaklaşık olarak 45-50° eğime sahiptir ve grabeni sınırlayan ana fayın antitetik fayı olan kuzey sınır fayıdır (Çiftçi, 2007). b) S-10 sismik kesitinin Alaşehir-1 kuyusu ile birlikte yorumlanması. (Çiftçi, 2007). Faylar kırmızı eğrilerle işaretlenmiştir. Formasyonların üst yüzeyleri yansıma seviyelerini takip etmektedir. Düşey abartı yaklaşık 5.8'dir. **Figure 2.** a) The appearance of the faults that confine the Alaşehir Graben to the north and the south in the S-6 seismic section. The northern fault is an antithetic fault of the master graben bounding fault which limits the southern margin with approximately 45-50° dip angle (Çiftçi, 2007). b) Interpretation of the S-10 seismic section by using Alaşehir-1 borehole (Çiftçi, 2007). Faults are marked with red curves. Top of formations follow the reflection levels. Vertical exaggeration is about 5.8.

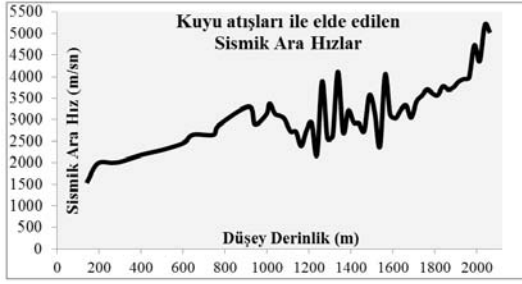
Bu kesitlerde faylar, arayüzeyler ve sınır yüzeyleri hakkındaki yorumlar sismik yansıma kesitlerinin sondaj kuyuları ile ilişkilendirilmesi ile yapılmıştır. Burada, bölgedeki fayların özellikleri, Alaşehir Grabeni'ne ait formasyon bilgileri, derinlikleri ve sismik yansıma kesitlerindeki yorumlara bağlı olarak grabenin geometrisi dikkate alınıp, gerçekçi bir derinlik modeli oluşturulması amaçlanmıştır.

## SİSMİK HIZ-DERİNLİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Formasyon birimleri, formasyonların kalınlıkları, grabeni oluşturan ana yapıların (grabenin sınırlayan ana fay ve kuzey sınır fayı) geometrik özellikleri gibi graben hakkında detaylı bilgi için N.B.Çiftçi (2007) yılında yazılan doktora tezinden ve Çiftçi ve Bozkurt, 2009a, 2009b, 2010 makalelerinden yararlanılmıştır. Alaşehir Grabeni'nin güneyinde bulunan ve grabeni sınırlayan ana fayın (GSAF) hem "yokuş-düzlük" geometrisine sahip olduğu, hem de derinlere doğru eğim açısı düşen listrik fay karakterinde olduğu sismik kesitlerle desteklenmektedir. Bir diğer önemli yapı ise, kuzey

kenarında grabeni sınırlayan ana fayın antitetik fayı olan kuzey sınır fayıdır. Referans kaynaklarda grabeni dolduran çökel kayaçlarının "roll-over" geometrisi şeklinde zamanla graben içerisinde çökdikleri ve kalınlıklarının güneyden kuzeye doğru azaldığı belirtilmektedir.

Sismik ara hızlar ve derinlikler bölgede açılmış sondaj kuyusuna ait kuyu kontrol atış (check-shot) bilgilerinden yararlanılarak belirlenmiştir (Demircioğlu-Kolenoğlu, 2009). Bölgede açılan sondaj kuyusunda 2062 metre derinliğe kadar kuyu atışları yapılmış ve sismik ara hızlar elde edilmiştir (Şekil 3). Formasyonlara ait hız bilgilerinin elde edilmesinde genel olarak doğrusal artış dikkate alınıp, formasyon kalınlıklarına kadar olan ara hızların aritmetik ortalamalarının alınması tercih edilmiştir. Bölgedeki ani hız değişimlerinin genel olarak şeyl-kumtaşı aralanmalarının tabanında gerçekleştiği görülmektedir. 1600 metreden sonra doğrusal hız artışı yaklaşık 1960 metreden sonra ani bir yükselme ile gözlenmiştir. Buradaki ani hız artışının Alaşehir formasyonunun metamorfik temel kayaca yakın bulunan Evrenli üyesine karşılık geldiği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 3. Düşey derinliklere karşılık kuyu atışlarından elde edilen sismik ara hız değerleri.

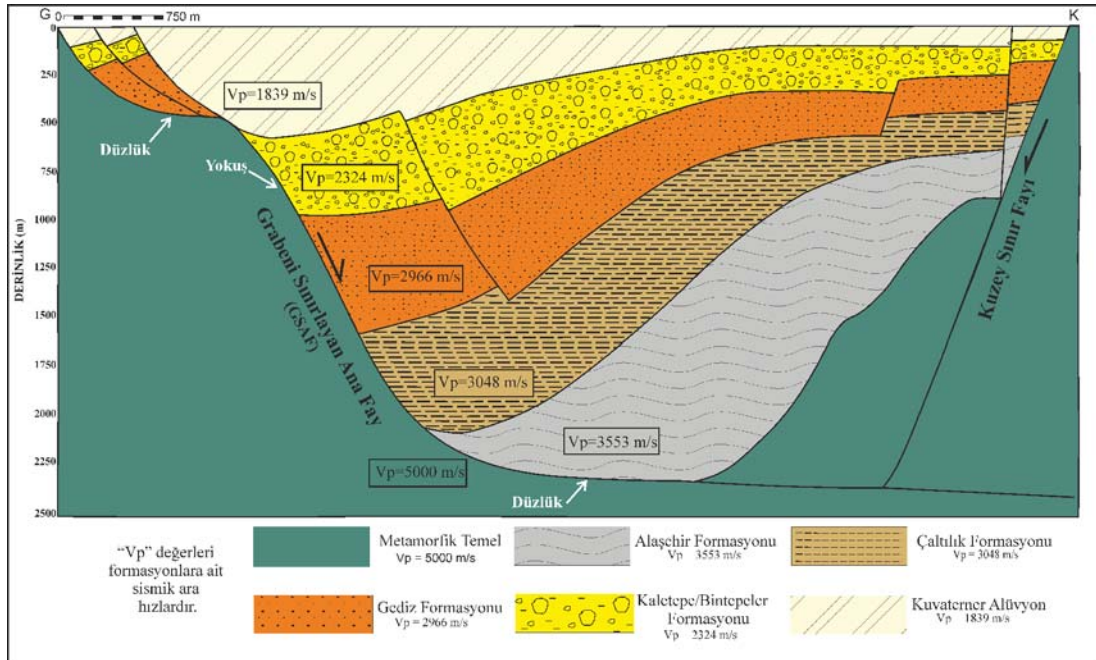
Figure 3. Seismic interval velocities obtained from check-shots versus vertical depths.

Şekil 4'de grabeni oluşturan ana yapıların özelliklerini ve formasyonlarını temsil eden sismik hız-derinlik modeli verilmektedir. Şeklin düşey ekseninde yaklaşık olarak 1.5 kat kadar bir abartma mevcuttur.

Derinlik modelinde grabenin genel jeolojisini oluşturan çökel kayalar (Alaşehir, Çaltılık, Gediz, Kaletpe/Bintepeler formasyonları ve Kuvaterner alüvyon) ile temel (metamorfik) kayaç görülmek-

tedir. Grabeni dolduran birimlerin güneyde grabeni sınırlayan ana faya doğru yelpaze şeklinde daha kalın, kuzey sınır fayına doğru ise yataylaşarak daha incelen birimler olarak yaslandığı dikkat çekmektedirler. Grabenin kuzey kenarında graben içerisindeki antitetik fayları temsil eden 2 adet antitetik fay yapısı öngörülmüştür. En kuzey kenarında dik eğime sahip olan antitetik fay, metamorfik temel yüzeyi ile kuzey sınır fayını birleştiren yapısal unsur olarak dikkat çekmektedir. Aynı zamanda graben içerisinde formasyonları kesen, grabeni sınırlayan ana faya paralel olan sentetik fay derinlik modelinde gösterilmektedir.

Grabeni güney kenarında grabeni sınırlayan ana fayın sahip olduğu geometrik yapıdan dolayı yelpaze bloklar şeklinde çökel kayalarını sınırlayan sentetik faylanmalar da görülmektedir. Alaşehir formasyonu "roll-over" geometri etkisiyle grabenin tabanında yer alarak ondülasyonlu bir yapıya sahiptir. Oluşturulan derinlik modeli, sismik modellemeye düz çözüm yöntemiyle Alaşehir Grabeni'ne ait iki boyutlu (2D) yapay sismik yansıma kesitlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4. Alaşehir Grabeni'ne ait sismik hız-derinlik modeli.

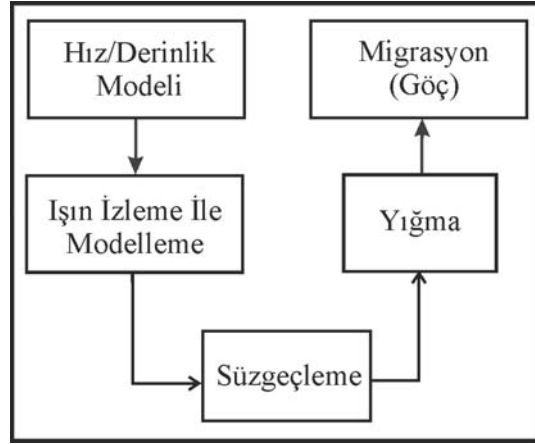
Figure 4. Seismic velocity-depth model for the Alaşehir Graben.

## SİSMİK MODELLEME UYGULAMASI

Jeofizik yöntemlerde, yer içinde doğal veya yapay kaynak kullanılarak oluşturulan sinyallerle yerin verdiği tepki alıcılarda ölçülerek yeraltındaki yapıların temel fiziksel (sismik hız, yoğunluk, öz direnç değerleri gibi) ve geometrik parametreleri (derinlik, tabaka kalınlık ve genişlikleri gibi) belirlenmeye çalışılır. Böylelikle yeraltı modelleri oluşturularak yüzeyden derinlere doğru yer yapısı hakkında geniş bir bilgiye sahip olunur. Bütün bu adımlar veri toplama ile yola çıkılarak, bilgisayar ortamında verilerin işlenmesi, işlenen verilerin yorumlanması ile devam etmektedir. Modelleme bu süreçlerden sonraki adımdır ve uygulanması tercih edilir. Çünkü sayısal yorumlamada tasarlanan jeofiziksel yorum modellerinin, optimum ölçüde doğruluklarının sorgulanması son derece önemlidir (Oruç, 2012). Bu nedenle doğal veya yapay kaynaklı yöntem fark etmeksizin, problemlerin çözümünün belirli aşamalarında modelleme tekniğinin kullanılması önerilmektedir. Jeofizikte modelleme düz ve ters çözüm yaklaşımları ile yapılmaktadır. Jeolojik modelin jeofiziksel sonucunun elde edilmesi işlemi düz çözüm yöntemi olarak adlandırılır. Ters çözüm ise elde edilen jeofiziksel verilerden yararlanarak jeolojik modelin belirlenmesidir.

Sismik yansıma yönteminde modelleme düz çözüm yaklaşımıyla yapılmaktadır. Işın izleme yöntemi, ışın diyagramları ve sentetik zaman kesitlerini türeterek karmaşık jeolojik modellere uygulanır (Robinson&Douze, 1985; Fagin, 1991; Canitez, 1997). Bu yöntemde, derinlik modelinden seyahat zamanları ve ışın yolunun hesaplanmasında sık olarak başvurulur. Aynı zamanda yeraltı modellerine kolay uyum sağlayabilen ve güçlü modellemelerin gerektiği durumlarda ilk uygun yaklaşımı sağlamaktadır. Modelleme akışı, seçilen ışın yoluna göre üretilen yığma kesiti ve yığma sonrası sonlu farklar zaman migrasyonu adımlarını içermektedir. Çalışmada bu yöntemi uygulamak için İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisanslı bulunan Disco/Focus (v.5.0) sismik veri işlem paketindeki ilgili modüller kullanılmıştır.

Çalışma alanına ait referans bilgiler baz alınarak oluşturulan derinlik modeline ait Bir boyutlu (1D) iz ve İki Boyutlu (2D) yapay yansıma kesitleri düz çözüm yöntemiyle elde edilmiştir. Yapay sismik yansıma kesitlerinin oluşturulması için Şekil 5'de gösterilen modelleme adımları sırasıyla uygulanmıştır.



Şekil 5. Sismik modelleme adımları.

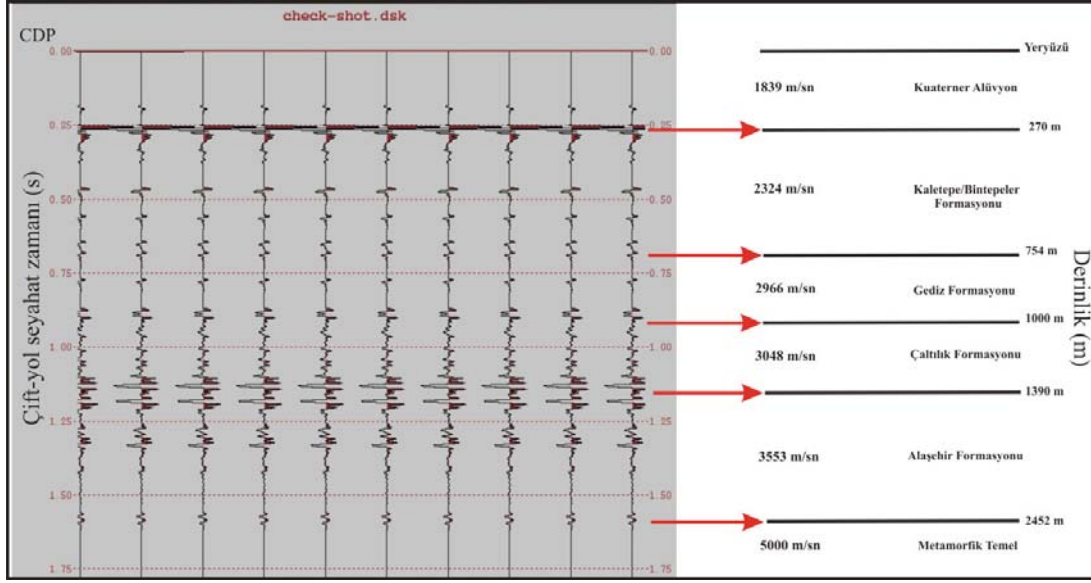
Figure 5. Flowchart for seismic forward modelling.

Düz çözüm kapsamında modelleme yapılırken öncelikle dikkate alınan jeolojik modele ait iki boyutlu hız/derinlik modeli oluşturulur. Seçilen ışın izi tipine göre ışın yolları üretilir ve derinlik modelindeki hız bilgisinden yararlanılarak yansıma katsayıları, gidiş-geliş seyahat zamanları hesaplanır. Yapay veri üzerinden çalışıldığı için süzgeçleme ile sismik kesitlere kaynak dalgacığı biçimi kazandırılarak yığma kesitleri ve bir sonraki aşamada göç işlemi uygulanıp derinlik modeline en yakın yapay yansıma kesiti elde edilmeye çalışılır.

Bu çalışmada ilk olarak çalışma alanında kuyu atışlarından elde edilen formasyonlara ait derinlik ve ara hız bilgileri kullanılarak yapay sismik izlerin türetilmesi amaçlanmıştır. Düşey derinlik değerleri ve o değerlere ait sismik ara hız değerleri kullanılarak bir boyutlu (1D) yapay yığma izi oluşturulması için öncelikle programa hız/derinlik modeli tanıtılmıştır. Normal geliş açısı için ışın izleme yöntemi ile yapay zaman kesiti oluşturulmuştur. Bant geçişli filtreleme ile kesme frekansları 10-20-60-100 Hz olan minimum fazlı bir dalgacık formu kazandırılmıştır. Elde edilen bir boyutlu (1D) yapay sismik yığma izi Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu yapay yığma izi üzerinde derinlik modeli düşünüldüğünde, yansıma genliklerine karşılık çift-yol seyahat zamanı hesabı yapılmıştır. Şeklin sağ tarafında görülen derinlik modeli, Alaşehir-1 sondaj kuyusundan elde edilen derinlik bilgileri ve sismik ara hızlar dikkate alınarak çizilmiştir. Burada hesaplanan çift-yol seyahat zamanlarına göre yığma izlerinin denk geldikleri genlikler kesit üzerinde gösterilmiştir.

2 boyutlu (2D) modelleme için Şekil 5'de bahsedilen adımlar bütün CDP noktalarına uygulanmıştır (Şekil 7). Burada saçılma modellemesi yapılarak normal geliş açısı ışın yolları yerine dalga teorisi ışın izleme yöntemiyle saçılmaların (difraksiyonların) üretildiği ışın tipi seçilmiştir. Bunun nedeni, jeolojik model dikkate alındığında grabenin güneyinde

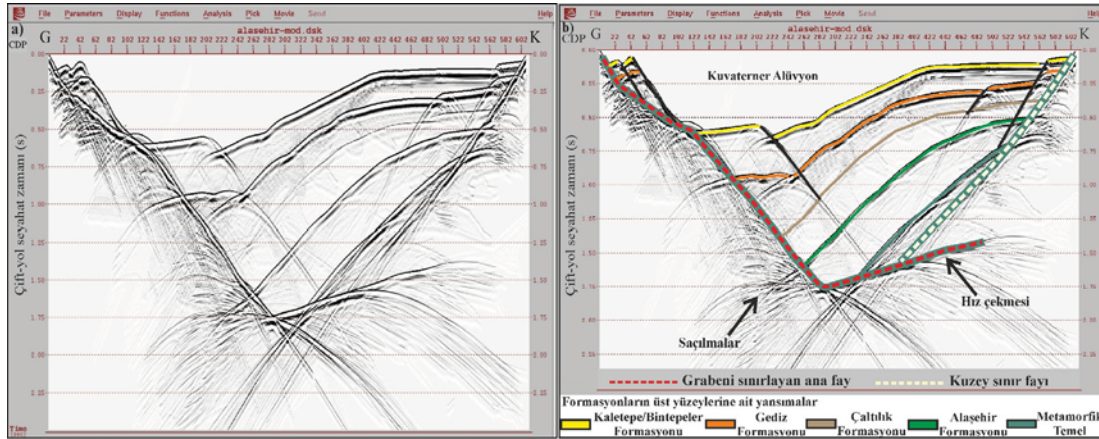
bulunan ve grabeni sınırlayan ana fay ile birlikte çökellerin içerisindeki antitetik ve sentetik faylanmalar ve kuzeyi sınırlayan antitetik fay yapılarının bulunmasıdır. Bu yapılar saçılmaların (difraksiyonların) oluşmasına neden olacaktır. Bir diğer neden ise, sonraki adımda oluşturulacak göç kesitlerinde bu saçılmaların nasıl sonuçlandığını test etmektir.



Şekil 6. Yapay sismik yığma kesitinde formasyonlara ait çift-yol seyahat zamanlarının kuyu bilgisi ile ilişkilendirilmesi.  
Figure 6. Display of two-way travel times belonging to formations at seismic stacked section.

Şekil 7b'de yorumlanmış kesitte grabenin güneyinde yer alan grabeni sınırlayan ana fay (GSAF) kesikli kırmızı renkle belirtilmiştir. Grabenin çökel kayaçlarını etkileyen antitetik ve sentetik faylanmalar ve bunlara ek olarak güney kenarında bulunan yelpaze şekilli bloklarda gözlenen sentetik faylanmalar kesit üzerinde siyah renkte gösterilmiştir. Grabenin kuzey kenarı boyunca uzanan antitetik fay özelliğindeki kuzey sınır fayına ait yansıma yüzeyi ise kesikli açık sarı renk ile gösterilmiştir. Kesitte grabeni sınırlayan ana fay ile formasyonların kesişim noktalarında saçılmalar baskın olarak görülmektedir. Antitetik ve sentetik faylanmaların görüldüğü yerlerde de aynı saçılma enerjisinden

söz edilebilmektedir. Derinlik modelinde Çaltılık formasyonuna kadar uzanan ve grabeni sınırlayan ana faya paralel olan sentetik fayın yeri buradaki saçılma enerjisinden dolayı tam olarak belirgin değildir. Ayrıca Çaltılık ve Gediz formasyonları arasındaki düşük akustik empedans farkı nedeniyle Çaltılık formasyonu düşük yansıma katsayısına ve genliğine sahiptir. Ayrıca yığma kesitinde grabenin tabanında yer alan Alaşehir formasyonu daha dar görülmektedir. Bunun nedeni, yapıların çukur kısımlarından daha az sayıda yansıma elde edilmesindedir. Bu nedenle bu tarz çukur yapıların yığma kesitlerinde olduklarından daha dar görüldüğü yorumu yapılabilir.

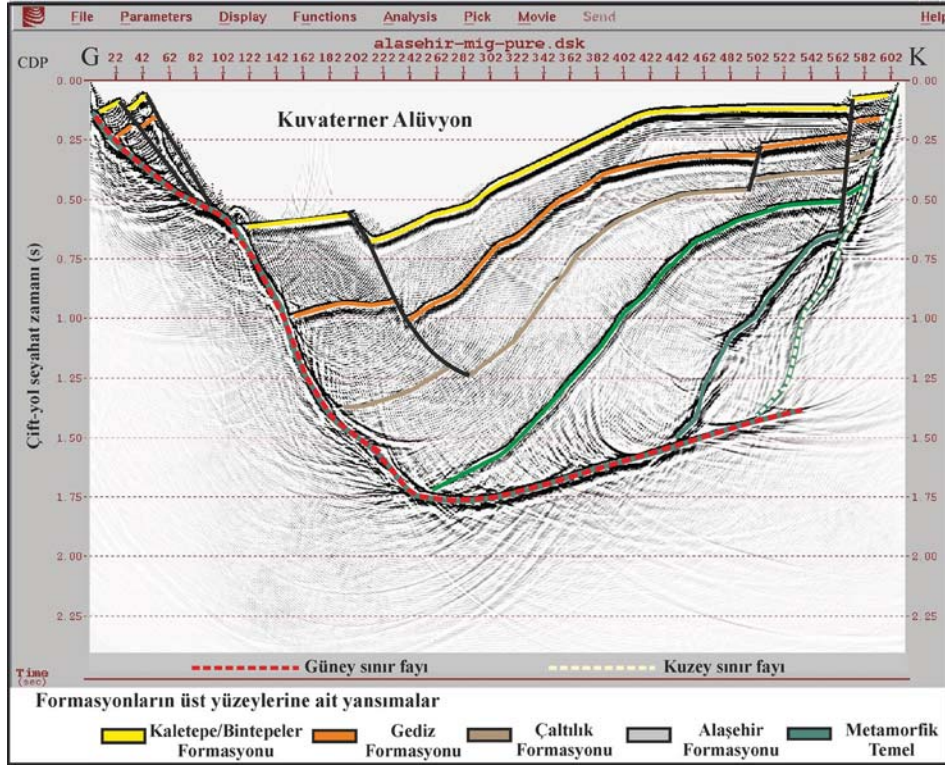


**Şekil 7.** a) İki boyutlu (2D) yapay sismik yığma kesiti. b) İki boyutlu (2D) yorumlanmış yapay sismik yığma kesiti.  
**Figure 7.** a) Two-dimensional (2D) synthetic seismic section. b) Interpreted two-dimensional (2D) synthetic seismic section.

Derinlere doğru grabeni sınırlayan ana fay ile kuzey sınır fayının kesiştikleri görülmektedir. Normalde metamorfik temele doğru inen kuzey sınır fayının devamı sismik yansıma kesitlerinde görülmemektedir. Bunun nedeni arada hız farkının olmayışı ve bu yüzeyden bir yansımanın olmamasıdır. Bu nedenle derinlik modeli dikkate alındığında kuzey sınır fayı ile güney kenarı boyunca uzanan grabeni sınırlayan ana fay arasındaki metamorfik temel için sismik hız 5000 m/s yerine 4500 m/s olarak tanımlanmış ve aradaki bu düşük hız farkı sonucu yansımaların elde edilmesi sağlanmıştır. Zaman ortamında ise bu fark çok düşük olarak gözleneceği için fayların kesişmeleri metamorfik temele ait çift-yol seyahat zamanına çok yakın olacak şekilde görülmektedir. Bu sonuç, yorumlamada sismik tuzak (seismic pitfall) olarak nitelenebilir. Derinlik modelinde grabeni sınırlayan ana fay derine doğru ilerlerken zaman ortamında daha erken varışlarda gözleneceği için fay düzlemi yukarıya doğru çekilmiş gibi görülmektedir. Bu sonuç hız çekmesi olarak yorumlanmıştır.

Sismik modellemede düz çözüm yöntemiyle oluşturulan zaman ortamı yansıma kesitlerinde hız çekmesi gibi sismik tuzak etkilerinin görülmesi, fay gibi jeolojik yapıların gerçek yerlerinde görülmemeleri ve eğimli olayların farklı eğimlerde gözükmesi ayrıca saçılma enerjisinin baskın olması nedeniyle veriye göç işlemi uygulanmış ve bu etkilerin büyük kısmı giderilmiştir. Çalışmanın amaçlarından birisi de elde edilen göç kesitlerini farklı sismik hızlar için türeterek, sismik hızların sonuçlarının test edilmesidir. Bunun için TPAO tarafından bölgede açılan Alaşehir-1 sondaj kuyusundan elde edilen sismik ara hız değerleri kullanılarak, matematik bağıntılarla ortalama ve karekök ortalama (RMS) hız değerleri hesaplanmış ve hız analizi ile birlikte yığma sonrası sonlu farklar zaman migrasyonu uygulanarak farklı hızlara ait göç kesitleri elde edilmiştir (Şekil 8, 9a, 9b). Alaşehir-1 kuyusundan elde edilen ara hızlarla oluşturulan göç kesitinde formasyon üst yüzeylerine ait yansımalar yığma kesitinde gösterilenler ile aynı renk skalasındadır. (Şekil 8).





**Şekil 8.** Formasyonlara ait ara hızlar kullanılarak göç işlemi uygulanmış yapay kesitin yorumlanmış şekli.  
**Figure 8.** Interpreted synthetic seismic migrated section concerning interval velocities.

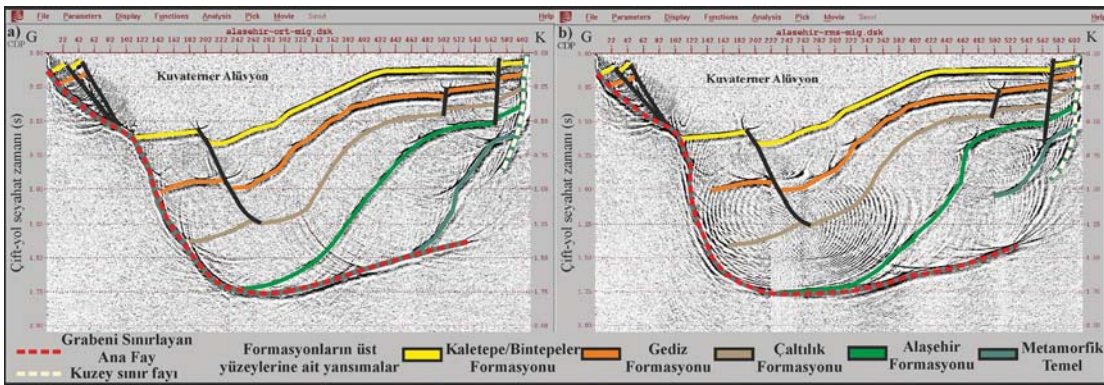
Şekil 8'deki kesitte ilk dikkat çeken özellik, grabeni sınırlayan ana fay (GSAF) ile formasyonların kesiştikleri yerlerde ve graben içinde yer alan antitetik ve sintetik faylarda meydana gelen saçılmaların ortadan kalktığıdır. Aynı şekilde grabenin güney kenarında bulunan sintetik faylanmalarda saçılmalarda ortadan kalmış ve yelpaze şekilli bloklar halinde çökel kayalara ait yansımalar daha net görülmüştür. Buna ek olarak grabenin kuzey kenarında bulunan metamorfik temel ile antitetik fay özelliğindeki kuzey sınır fayını birleştiren çökel kayalar içerisinde geçen antitetik fayın (siyah renkle gösterilen) eğimi ve yerinin derinlik modeline uygun olduğu gözlenmektedir. Grabeni sınırlayan ana faya ait düzlem göç kesitinde daha belirgin hale gelmiştir. Grabenin tabanındaki çukurluk ise göç işlemi uygulanmasıyla daha genişleyerek, daha gerçekçi bir sonuç oluşturmuştur. Ayrıca grabeni sınırlayan ana faya ait "yokuş-düzlük" geometrisinin göç işlemi sonucu da dikkat çekmektedir. Derinlere doğru metamorfik temele ait arayüzey yığıma kesitinde herhangi bir ondülasyona sahip değil iken, göç kesitinde derinlik modeline uygun olan ondülasyonlu tabakalanma daha net olarak görülmektedir. Işın izleme yönteminden kaynak-

lanan antitetik ve sintetik faylanmaların altında örneğin güney kenarındaki grabeni sınırlayan ana fay ile kuzey sınır fayının derinlerinde yansıma yüzeylerinde yarım halkalar şeklinde bozulmalar görülmekte ve kuzey sınır fayının derinlerdeki yüzeyi oldukça ondülasyonlu ve zor ayırt edilebilir hale gelmektedir.

Ortalama ve Karekök ortalama (RMS) hızlarla göç kesitleri oluşturulurken aynı zamanda rastgele (random) gürültü de eklenmiştir. Ortalama hızlarla elde edilen göç kesiti ara hızlarla elde edilen göç kesiti ile karşılaştırıldığında eğimli olaylara ait değişimler, özellikle formasyon sınırlarına ait yansılarda belirgin olarak görülmektedir (Şekil 9a). Bir diğer dikkat çeken fark ise, kuzey sınır fayı ile metamorfik temelin arayüzeyinin kesiştiği antitetik faylanmanın yerinin ve eğiminin değişiklik göstermesidir. Ayrıca derinlere doğru metamorfik temele ait arayüzeyin ondülasyonlu yapısının bozulmaya başladığı görülmektedir. Kuzey sınır fayının, grabeni sınırlayan ana fayla kesiştiği yerdeki yansımaların rahatlıkla fark edilemediği ve yapının genel olarak derinlere doğru bozulduğu sonucu elde edilmiştir.

Karekök ortalama (RMS) hızları kullanılarak elde edilen göç kesitinde de sadece yapının derinlere doğru değil, yüzeye doğru yer alan çökel kayaçlarına ait yansımaların da gerçek şekliyle uzaklaştığı görülmektedir (Şekil 9b). Ayrıca bu çökelleri etkileyen sentetik faylanmanın keskin köşe noktalarında saçılmalar belirgin olarak görülmektedir. Özellikle metamorfik temele ait arayüzeyin fark edilmesi oldukça zorlaşmıştır. Kuzey sınır fayı ile antitetik fay düzlemlerinin belirginlikleri kaybolduğu gibi eğimleri de oldukça değişmiştir. Ara hızlara nazaran daha düşük hızların kullanılması

sonucunda düşük göç sonuçlarının elde edildiği yorumu yapılabilmektedir. Bu çalışmada farklı sismik hız değerlerinin test edilmesinin bir önemi de gerçek veriler üzerinde uygulanan sismik hız analizinin yansıma kesitlerini ne derecede etkilediğini vurgulamaktır. Ayrıca her iki gürültülü kesitte saçılma enerjilerinin düşük genliklerde gürültünün altında saklandığı ve fayın taban bloğu ile fay-formasyon arayüzeyleri kesişim yerlerindeki baskın saçılma genliklerinin de daha az belirgin oldukları görülmüştür.



Şekil 9. a) Formasyonlara ait ortalama hızlar ve b) Karekök ortalama hızlar kullanılarak göç işlemi uygulanmış gürültülü yapay kesitlerin yorumlanmış şekli.

Figure 9. Interpreted noisy synthetic seismic migrated sections concerning a) average velocities and b) RMS velocities.

## SONUÇLAR

Alaşehir Grabeni özellikle sahip olduğu jeotermal potansiyeli nedeniyle son yıllarda birçok araştırmacı tarafından detaylı olarak çalışılan bir bölgedir. Grabende yer alan birimler ve grabenin tektonik yapısı en güncel sonuçların elde edildiği kaynaklar kullanılarak referans alınmıştır. Böylece çalışma alanını en doğru temsil ettiği düşünülen derinlik modeli oluşturularak düz çözüm ışın izleme yöntemiyle yapay sismik yığma ve göç kesitleri oluşturulmuştur.

Bir boyutlu yığma ile Alaşehir-1 kuyusundan elde edilen derinlik ve hız bilgileri modellenmiş ve arayüzlere ait formasyonları temsil eden sentetik yığma kesiti oluşturulmuştur. Kuyu ara hızları kullanılarak 2 boyutlu saçılma modellemesi ile derinlik modelini temsil eden yapay yığma kesiti oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Yapay yığma kesitinde grabeni sınırlayan ana fayın (GSF) formasyonlarla kesiştiği noktalarda, kuzey sınır fayı ile grabeni sınırlayan ana fayın kesiştikleri noktada, antitetik ve sentetik faylanmaların olduğu arayüzeylerde saçılma enerjisi baskın olarak görülmüştür. Bu nedenle

fayların ve formasyonlara ait arayüzeylerin yerleri ve eğimleri hakkında kesin bir yorum yapılamamaktadır. Özellikle metamorfik temele uzanan kuzey sınır fayının yansıma kesitinde fark edilebilmesi için verilen düşük hız kontrastı ile grabeni sınırlayan ana fayın kuzey sınır fayı ile kesiştiği yansıma yüzeyi, yığma kesitinde metamorfik temele ait yansıma yüzeyine çok yakın, fay düzlemi sanki yukarıya doğru çekilmiş (hız çekmesi) gibi bir sonuç sunmaktadır. Hızdaki bu ani artış, zaman ortamında çift-yol seyahat zamanlarının birbirlerine çok yakın yansıma yüzeyleri oluşturmasına neden olmaktadır. Ayrıca yığma kesitinde grabenin en tabanında yer alan Alaşehir formasyonu daha ince görülmektedir. Göç işlemi ile bu etkiler giderilerek, eğimli yansımalar gerçek yerlerine taşınmış ve saçılma enerjisi ortadan kaldırılmıştır. Farklı sismik hızlar kullanılarak üç adet yapay göç kesiti elde edilmiştir.

Derinlik modeli içerisindeki jeolojik yapılar ve olaylar dikkate alındığında doğruya en yakın olan göç kesitinin TPAO tarafından Alaşehir-1 sondaj kuyusundan elde edilen sismik ara hızlarla türetilen kesit olduğu görülmüştür. Sismik veri üzerinden hız

analizi yapılmasında bölgeye ait hız bilgisinin en doğru şekilde tanımlanması, doğru yığıma ve göç kesitlerinin elde edilmesinde ayrı bir önem teşkil etmektedir. Gürültülü kesitlerde saçılma enerjilerinin düşük genliklerde gürültünün altında saklandığı ve gürültüsüz veriye nazaran grabeni sınırlayan ana fayın taban bloğundaki baskın saçılma genliklerinin daha az belirgin oldukları görülmüştür. Alaşehir Grabeni'ndeki yapıların daha doğru yorumu ise ancak uygun olarak seçilen sismik hızlar ile derinlik ortamında göç işleminin yapılması ile mümkün olabilir. Bu durum aynı zamanda veri işlem sonrasında, kesitlerin daha doğru yorumlanmasını da sağlayacaktır.

## SUMMARY

Synthetic stacked seismic section and corresponding migrated sections with different velocity models are generated by seismic modeling method for a depth model which refers to Alaşehir Graben in western Turkey. For this purpose, stacked section was obtained by wave theory (diffraction) ray tracing method in terms of forward modeling. Forward problem in geophysics begins with a definition of the subsurface model and generates the seismic response. It is also possible to do the opposite, i.e. the inverse problem. However, in seismic reflection method forward problem solution is more preferred.

The study area, east-west trending Alaşehir Graben is one of the prominent structures in western Turkey and proved to have geothermal energy potential by researchers and exploration companies. In this study, previous published research articles in the literature were used. Basic information such as main structures that forms Alaşehir Graben, geological formations, seismic velocities for formations, evolution of Alaşehir Graben, geometries of main structures were acquired from these references. A representative depth model for the Alaşehir Graben was constructed using these information. In the study area, three wells have been drilled by TPAO. All three boreholes intersect the Alaşehir formation which is the deeper part of the graben, but only Alaşehir-1 borehole reached to the metamorphic basement of the Alaşehir formation by cutting Evrenli member. From check-shots carried out in Alaşehir-1 borehole by TPAO, seismic interval velocities that are related to graben formations are obtained and then, they are used in the seismic modeling.

Alaşehir Graben is bounded by two major fault systems at its southern and northern margins and extends more than one hundred km along Gediz River floodplain. The most important structure is "Master Graben Bounding Fault (MGBF)" in the southern margin of the Alaşehir Graben. The second main structure is northern bounding structure, called the antithetic fault to the MGBF, has a high angle normal fault characteristic. The graben evolved as a half graben with an active southern margin during Miocene. MGBF is a crucial contact between sedimentary cover units and the metamorphic basement. It is documented that approximately N-S oriented extension controlled faulting during accumulation of graben fill. MGBF geometry also can be defined as "flat-ramp" geometry also generates "roll-over" on the hanging wall. This interpretation is also considered from seismic sections. The rock units in Alaşehir Graben is classified into two groups as metamorphic basement and sedimentary units. From basement to the surface, five different stratigraphic units constitute graben fill which are called Alaşehir, Çaltılık, Gediz, Kaletepe/Bintepeler Formations and Quaternary Alluvium. Available seismic data provided further information about the evidence to depositional geometries of the graben fill. All the sedimentary units' thicknesses get thinner from the southern margin to the northern margin of the Alaşehir Graben with roll-over geometry. In the depth model of Alaşehir graben, all features are shown as considered under these information.

To prepare a synthetic seismic reflection section such as stacked and migrated sections, Disco/Focus (v.5.0) seismic software was used at Istanbul Technical University, Geophysical Engineering Department. Before generating a stack section, 2D velocity/depth model should be defined. The depth model must be identified before ray tracing method. According to depth model which is the representative of Alaşehir Graben, all the structures were introduced from surface to the basement with their depths and seismic interval velocities to be entered into the data base. Then, ray paths (diffraction) are produced, reflection coefficients and two-way travel times are calculated and wavelet shaping is carried out with band-pass filtering and finally stacked section of the Alaşehir Graben is obtained. It is thought that reflection of northern margin-bounding fault interface cannot be recognized in the seismic reflection section. Because it lies through the metamorphic basement. That's why gentle velocity contrast is introduced between metamorphic basement

and northern- margin bounding fault. In the stacked section, it seems like seismic pitfall. Because, this gentle velocity contrast constitute small variation in time domain. Also, in the stacked section, Alaşehir formation seems much narrower than what it is in the depth model and dipping events in the depth model are not seen in their real locations. So it can be stated that there are too many differences between depth model and stacked section. To remove these effects, post-stack time migration is applied to the stacked section by using three different types of seismic velocities. From interval velocities, average velocities and RMS velocities were calculated for the formations in order for how the general features of the geological model may change against different seismic models to be examined after the migration. Post-stack finite-difference migration method is applied to the data. When we compare stacked section and depth model, dominant diffractions occur due to faults and formations end points that intersect with MGBF. After migration, all the diffractions are removed and fault planes can be seen more clear and noticeable. This result is acquired by using interval velocities which are obtained from check-shots. When we used average velocities, MGBF plane extends to the depth. Also in the northern margin of the graben, slopes and locations of antithetic fault planes changes in the migrated section. The other way of obtaining migrated section by using RMS velocities made an interpretation quite hard especially for the main structures along the northern margin of the graben and reflections related to formations.

#### **TEŞEKKÜR**

Sismik modelleme ve veri-işlem çalışması Paradigm şirketi tarafından İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü Nezihi Canitez Jeofizik Veri İşlem Laboratuvarına bağışlanan DISCO/FOCUS (v 5.0) Sismik Veri İşlem Paketi kullanılarak yapılmıştır.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Camitez, N., 1997.** Jeofizikte Modelleme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Çiftçi, N. B., 2007.** Geological evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: temporal and spatial variation of the graben, Master Thesis, ODTÜ, Ankara.
- Çiftçi, N. B. ve Bozkurt, E., 2009a.** "Pattern of normal faulting in the Gediz Graben, SW Turkey", *Tectonophysics*, 473, 234-260.
- Çiftçi, N. B. ve Bozkurt, E., 2009b.** "Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben", *Sedimentary Geology*, 216, 49-79.
- Çiftçi, N. B. ve Bozkurt, E., 2010.** "Structural evolution of the Gediz Graben, SW Turkey : temporal and spatial variation of the graben basin", *Basin Research*, 22, 846-873.
- Demircioğlu-Kolenoğlu, D., 2009.** Alaşehir Grabenine ait sismik kesitlerin yapısal yorumu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C., 1979.** "Aegean and surrounding regions: complex multiple and continuum tectonics in a convergent zone", *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92.
- Ediger, V.Ş., Batı Z. ve Yazman, M., 1996.** "Paleopalynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir-Turgutlu area in the Gediz Graben (western Anatolia)", *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 8, 94-112.
- Emre, T., 1996.** "Gediz Grabeninin tektonik evrimi", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39, 1-18.
- Fagin, S. W., 1991.** Seismic Modeling of Geological Structures: Applications to Exploration Problems. Geophysical Development No:2. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, USA.
- Gibbs, A. D., 1984.** "Structural evolution of extensional basin margins", *Journal of Geological Society*, 141, 609-620.
- İztan, H., Yazman, M., 1990.** "Geological and hydrocarbon potential of the Alaşehir (Manisa) area, western Turkey", *Proceedings of International Earth Sciences Congress, Aegean Region*, 327-333, İzmir.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu H. ve Bozkurt, E., 1999.** "Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey", *Journal of Geological Society London*, 156, 605-616.
- Orhan ve Ateş, 2010.** "Standard Penetrasyon Testi (SPT) ile Saruhanlı (Manisa) İlçesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması", *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 02, 37-49.
- Oruç, B., 2012.** Teori ve Örneklerle Jeofizikte Modelleme. Umuttepe Yayınları. Kocaeli.
- Robinson E.A ve Douze E.J., 1985.** "Ray tracing and seismic modeling", *Proceedings of the 14th International Symposium on Acoustical Imaging*, April 22-25, 1985, in The Hague, The Netherlands, 14, 169-186.
- Seyitoğlu, G., Scott B.C., 1996.** "Age of the Alaşehir Graben (west Turkey) and its tectonic implications", *Geological Journal*, 90, 84-92.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş. ve Işık, V., 2002.** "The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey", *Geol. Mag.*, 139, 15-26.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., and Şaroğlu, F., 1985.** "Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in K. Biddle, N. Christie-Blick, eds., *Strike Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*", *SEPM Special Publication*, 37, 227-264.
- Yıldırım, M., Gökaşan E., 2007.** Mühendisler için Jeoloji Bilgileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Yılmaz, Y., Genç S. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz K., Karacık Z., Altunkaynak, S., ve Elmas A., 2000.** "When did the western Anatolian grabens begin to develop?", *Geological Society, London, Special Publications*, 173, 353-384.