Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 22, Sayı 2, 961-971, 2018

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 22, Issue 2, 961-971, 2018

DOI: 10.19113/sdufbed.19558

Doğu Akdeniz'in Kabuk Yapısı ve Sismik Hız Dağılımının Üç Boyutlu Sismik Tomografi ile Belirlenmesi

Şakir ŞAHİN*[1], Canan ÇİFTÇİ[1], Mahmut OKYAR[1], Erdinç ÖKSÜM[1]

[1]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 12.07.2017, Kabul / Accepted: 02.01.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 08.03.2018)

Anahtar Kelimeler
Kabuk yapısı,
Doğu Akdeniz,
P ve S dalga hızları,
Sismik tomografi

Özet: Doğu Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu ve Ölü Deniz Fay zonları ile Kıbrıs yayının üçlü birleşimi tarafından oluşturulan tektonik yapının etkisi altında kalmakta ve günümüzde yüksek derecede sismik risk taşımaktadır. Bölgede, tarihsel ve aletsel dönemde büyüklüğü 5 ve üzeri olan çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu depremler, çok sayıda insanımız hayatını kaybetmesine ve milyarlarca dolar değerinde mal kaybına neden olmuştur. Yakın tarihimizde oluşan 1998 Adana Ceyhan depremi, 145 can kaybına, 1500'den fazla insanımızın da yaralanmasına sebep olurken, binden fazla bina tamamen çökmüş 10000'den fazla bina ise ağır olarak hasar görmüştür. Tektonik açıdan oldukça önemli bir konumda bulunan ve Sismotektonik aktivitenin yüksek olduğu Doğu Akdeniz'de, 3-B kabuk yapısının ortaya konulduğu tomografi çalışmalarının ne kadar önem arz ettiği açıktır. Bu çalışma ile bölgede, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait 20 deprem istasyonu tarafından kaydedilen 7467depreme ait, 36.220 P ve 16.936 S dalgası varış zamanı ters çözüm esasına dayanan Poisson Oranı Tomografisi metodu kullanılarak, kabuk ve hız yapısı incelenmiştir. Bölgede sismotektonik açıdan ne türden bir değişim olduğu ve Doğu Akdeniz'in sismik hızı ve kabuk yapısı tomografik modelleme ile 3-B olarak belirlenmiştir. Bu sayede bölgede düşük ve yüksek hızlı alanlar ve bölgesel dağlımı ortaya konulmuştur.

The Crustal Structure of the Eastern Mediterranean and Determination of Seismic Velocity Distribution by Three Dimensional Seismic Tomography

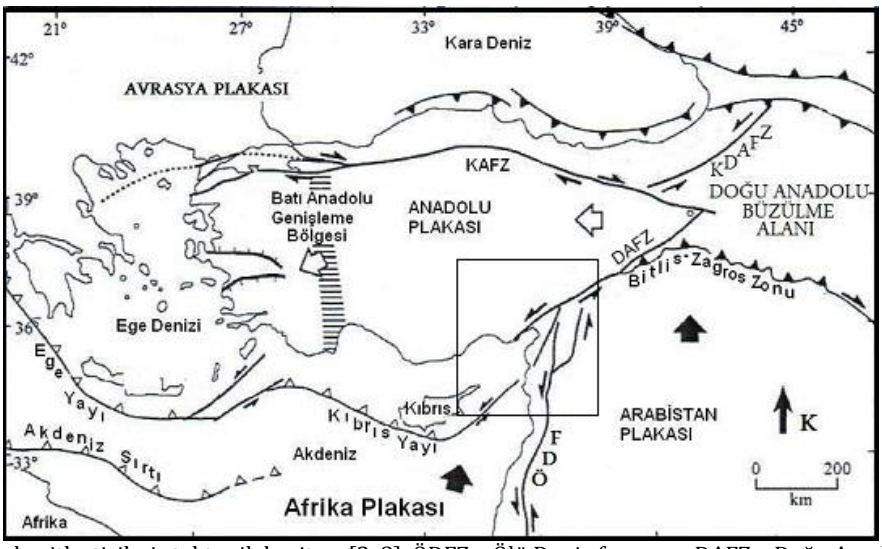
Keywords
Crustal structure,
Eastern Mediterranean,
P and S wave velocities,
Seismic tomography

Abstract: Nowadays, the Eastern Mediterranean region, is effected the triple junction area of the Eastern Anatolia, the Dead Sea Fault Zone, and Cyprus Arc, has a high degree of seismic risk. Numerous earthquakes with magnitude of 5 and over have been occurred at historical and instrumental period in the region. These earthquakes caused that many of people have lost their lives and lost billions of dollars property. The recent 1998 Adana Ceyhan earthquake caused 145 deaths and injured more than 1500 people, more than 1000 buildings were completely collapsed and more than 10000 buildings were seriously damaged. It is clear that the tomographic studies, relating to 3-D crustal structure, are important in the eastern Mediterranean where the tectonic activities are intense. In this study, using Poisson ratio tomography method by the 7467 events generated 36.220 P and 16.936 S arrivals recorded by the 20 seismic stations of Bogaziçi University, Kandilli Observatory and Research Institute, the crustal and velocity structures were examined. In the surveyed area seismic velocity, crustal structure and changes accured in terms of seismotectonic situations is determined by 3-D tomographic modelling. Thus, low and high velocity fields and regional distribution have been presented in the region.

1. Giriş

Türkiye ve çevresi, dünya üzerinde bulunan önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya Deprem kuşağında yer almaktadır [1]. Türkiye'de yakın geçmişte meydana gelen yıkıcı büyüklükteki depremler, Türkiye ve çevresinin depremselliğini ve tektoniğinin incelenmesini önemli hale getirmiştir [2].

*İlgili yazar: sakirsahin@sdu.edu.tr

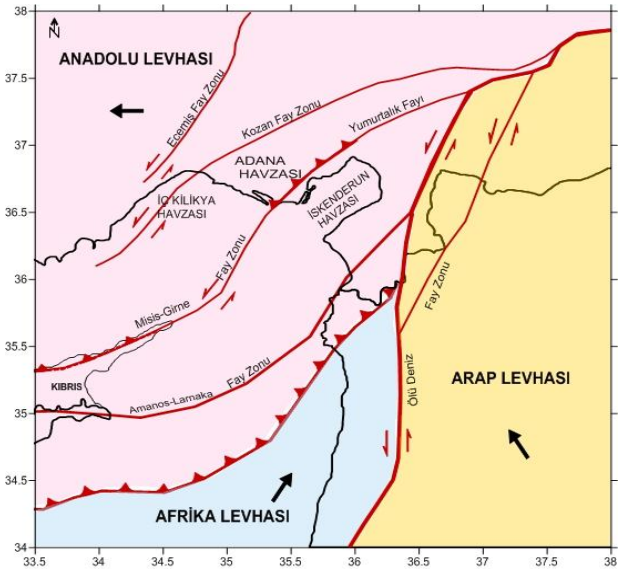


Şekil 1. Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası [3, 8]. ÖDFZ – Ölü Deniz fay zonu, DAFZ – Doğu Anadolu Fay Zonu, KAFZ – Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ – Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, yarım yön işaretli kalın çizgiler doğrultu atımlı fayları, içi dolu üçgen işaretli kalın çizgiler ters fay ve bindirme zonlarını, boş üçgen işaretli kalın çizgiler bindirme zonlarını göstermektedir. Kalın içi dolu yön işaretleri Afrika ve Arap levhasının, içi boşlar ise Anadolu levhasının hareket yönlerini ifade etmektedir.

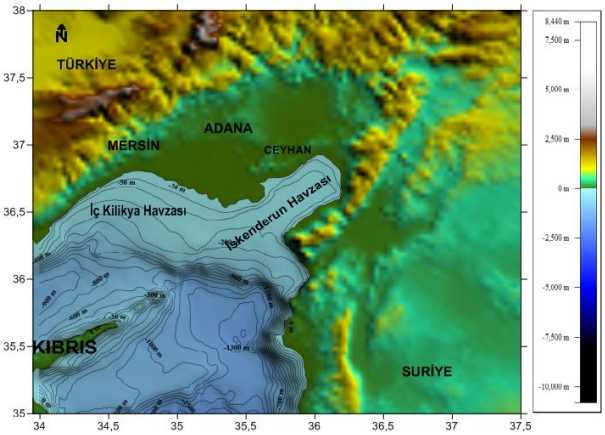
Doğu Akdeniz'in, Doğu Anadolu ve Ölü Deniz Fay zonları ile Kıbrıs yayının üçlü birleşim etkisi altında kalması ise bölgeyi tektonik açıdan oldukça ilgi çekici bir konuma getirmektedir.

Doğu Akdeniz' in güncel tektoniğinin temelini Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının göreceli hareketleri oluşturmaktadır. Avrasya ve Anadolu levhaları, Kuzey Anadolu Transform fayı boyunca sağ yönlü doğrultu atımlı harekete neden olmaktadır [3]. Afrika ve Ege-Anadolu levhaları arasındaki yakınsama, batıda Helenik yayı doğuda Kıbrıs yayı ile tasvir edilmektedir. Bu sınırlar boyunca yakınsamanın neden olduğu dalma-batma, doğrultu atımlı hareketler ve çarpışma yer almaktadır [4, 5, 6]. Bir diğer levha etkileşimi ise, Ege-Anadolu ve Arap levhalarının arasında meydana gelmektedir. Arap ve Ege-Anadolu levhalarının arasındaki sınır boyunca, orta-geç Miyosen zamanından beri, Bitlis kenet kuşağı boyunca olan kıtasal çarpışma ve Doğu Anadolu fay zonu boyunca oluşan doğrultu atımlı hareket eş zamanlı olarak devam etmektedir [7].

Arabistan Levhası, 3 milyon yıldan daha uzun sürede Avrasya Levhasına göre yılda 25 mm K-KB yönüne doğru hareket etmekte olup Arabistan Levhası'nın KB yönlü hareketi Bitlis-Zağros kıvrım ve bindirme kuşağı boyunca kıta (Anadolu ve Afrika Levhaları) çarpışması ile sonuçlanmaktadır. Afrika Levhası ise Avrasya Levhasına göre yılda 10 mm K yönüne doğru hareket etmektedir [9]. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Ölü Deniz Fay Zonu, bu tektonik rejim sonucunda gelişen doğrultu atımlı fay zonlarıdır. Afrika ve Arabistan Levhaları arasındaki düzensiz hareketin sonucu olarak sol yanal hareketli Ölü Deniz Fay Zonu gelişmiştir. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları, Anadolu Levhası'nın saat yönünün tersine olan dönüşüne ve batıya doğru kaçış hareketine yardımcı olmakta ve Anadolu Levhası'nın tektonik sınırlarını oluşturmaktadırlar.



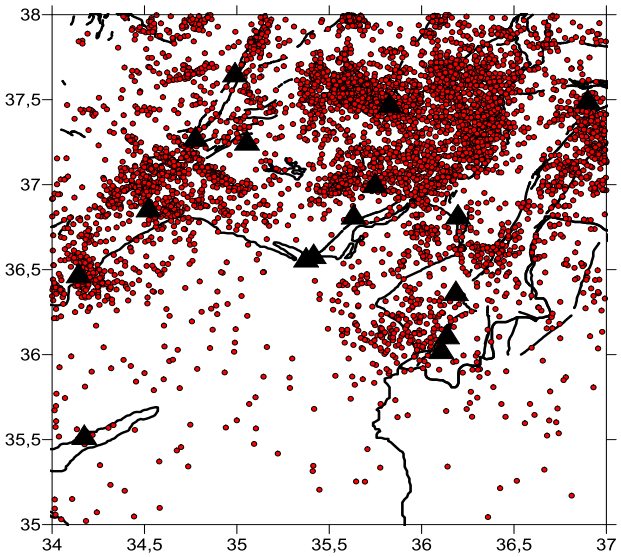
Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin güncel tektonik haritası [3, 7].



Şekil 3. Çalışma alanının batimetrisi

2. Materyal ve Metot

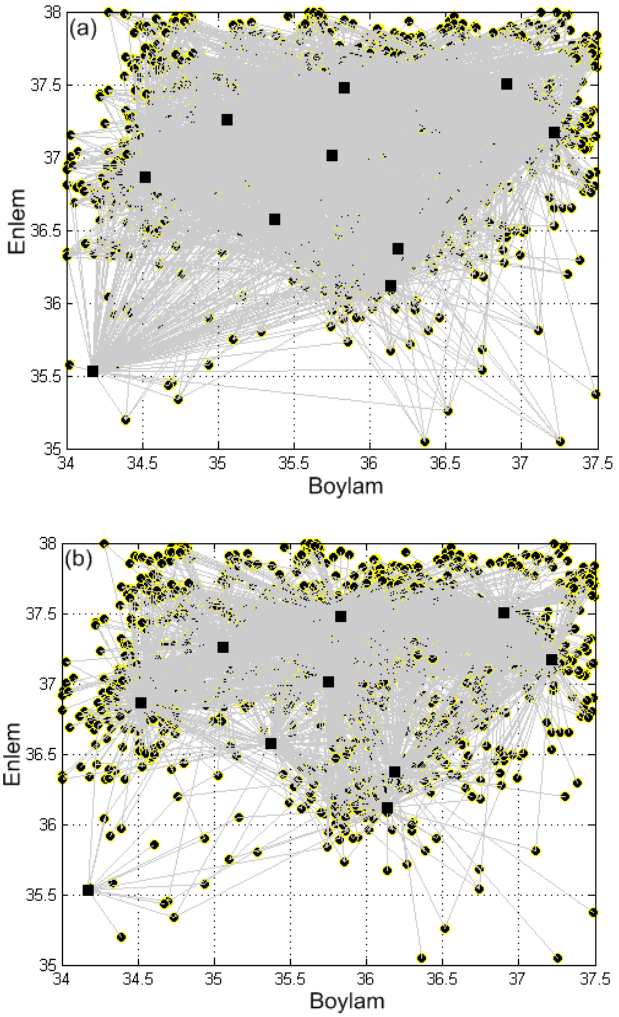
Bu çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen, 2007-2016 yılları arasında meydana gelen depremlerin katalog ve bülten verileri kullanılmıştır. Bu veriler, 20 istasyon ile kayıt altına alınmış toplam 7467 depreme ait 36.220 P dalgası ve 16.936 S dalgası varış zamanlarını içermektedir. Deprem episantır dağılımı ve istasyon dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. Varış zamanlarındaki hassasiyetin P dalgası için < 0,10 ve S dalgası için > 0,10s (< 0,20 sn) olduğu öngörülmektedir. Şekil 5 (a) ve (b)'de kullanılan P ve S dalga güzergahları gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma bölgesinde kullanılan 7467 depremin episantır dağılımı. Kırmızı yuvarlaklar deprem episantırlarını, siyah üçgenler Doğu Akdeniz'de yer alan ve bu çalışmada kullanılan verilerin kaydedildiği deprem istasyonlarını Siyah çizgiler de aktif fayları göstermektedir.

2.1. Poisson oranı tomografi metodu

Zhao vd. [11] ait tomografi yöntemi, birçok karmaşık hız süreksizliklerini içeren genel bir hız modeline uygulanabilmekte ve model üzerinde her alanda 3-B hız değişimlerine imkan sağlamaktadır. 3-B hız yapısını tanımlamak için, 3-B grid ağı kurulmuştur. Grid düğüm noktalarındaki hız düzensizlikleri bilinmeyen parametre olarak alınmaktadır. Modeldeki herhangi bir noktadaki hız düzensizliği, noktanın etrafındaki 8 grid düğümündeki hız düzensizliğinin lineer interpolasyonu ile hesaplanmaktadır. Varış zamanlarının ve ışın yollarının doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanması için iteratif olarak etkin olan Pseudo-Bending tekniği kullanılmıştır [16]. Bu teknik 3-B ışın izleme tekniği Zhao vd. [11] ve Snell kanunu dayanmaktadır. Bir sönümleme düzenleyici ile LSQR algoritması Paige ve Saunders, [17] büyük bir tomografik problemin çözümünde geniş bir veri setini kullanma imkânını tanıyan eşitliğin aralıklı modelini çözmek için kullanılmıştır. Bu da birçok alanda problemlerin çözümüne tomografik olarak imkân sağlamaktadır. Lineer olmayan tomografik problemler, Tomog3D programı ile iteratif ters çözümle çözülmektedir. Elde edilen tomografik sonucun çözünürlüğünü değerlendirmek içinde, ilk önce doğrusal yolun seyahat zaman gecikmelerinin bir dizisi hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada, bir sentetik yapı testi sayesinde gerçek ışınları izleme sonucunda yapılabilmektedir. Son olarak ilk yapı ile sentetik ters çözüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada, sentetik dama tahtası (checkerboard resoloution test, CRT) çözünürlük testi kullanılmıştır [18].



Şekil 5. (a) P dalgası ve (b) S dalgası Dalga güzergahları

Çizelge 1'de, Doğu Akdeniz için belirlenen genel 1-B hız modeli verilmiştir [19].

Çizelge 1. Doğu Akdeniz için belirlenen 1-B hız modeli

Derinlik (km)	Vp (km/sn)	Vs (km/sn)
0	4.50	2.60
5.40	5.91	3.42
31.60	7.80	4.51
89	8.30	4.80

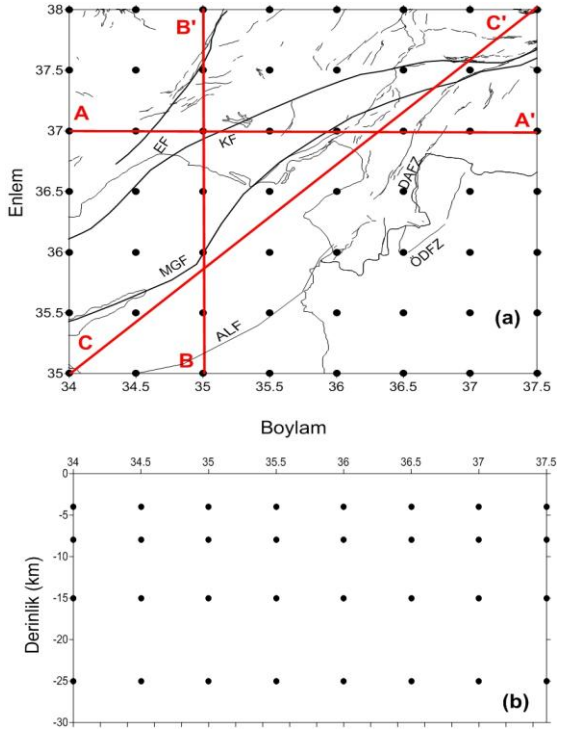
P ve S dalga hız modellerinin elde edilmesinden sonra, Poisson oranı (σ) belirlenebilmesi için

$$(Vp/Vs)^2 = 2(1-\sigma)/(1-2\sigma) \qquad (1)$$

ilişkisi kullanılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma alanında farklı grid aralıkları denenmiş olup, DB ve KG yönünde 0,5°; düşey yönde ise 30 km kadar 0,5 km en iyi grid aralığı olarak belirlenmiştir. Dikey olarak da grid düğümleri 4, 8, 15 ve 25 km derinliklere yerleştirilmiştir (Şekil 6).

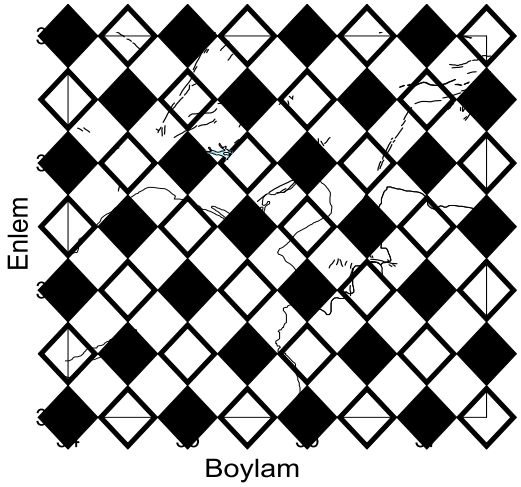


Şekil 6. Yatay yöndeki grid aralıkları konumu ve çalışma alanı içinde alınan kesitler (a) ve düşey yönlerde grid aralıklarının konumu (b) EF: Ecemiş Fayı, KF: Kozan Fayı, MGF: Misis-Girne Fayı, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu ve ÖDFZ: Ölüdeniz Fayı, ALF: Amanos –Larnaka Fayı olarak gösterilmiştir.

Uygulanan tomografik metotta güvenilirlik ve hız anomalilerinin çözünürlüğünü kontrol etmek amacı ile CRT düşük çözümlerden iyi ışın kesitlerini ayırmak amacı ile kullanılmıştır. CRT ile pozitif ve negatif hız anomalilerinin ± %4'lük değişimle 3-B grid düğümlerindeki dağılımı belirlenmiştir (Şekil 7). Sentetik varış zamanları ise CRT modeli giriş için kullanılmıştır. Sentetik verilerde istasyonun sayısı, deprem ve ışın yolları gerçek veri dizileri ile benzemektedir. Şekil 7'de dama tahtası çözünürlük testi giriş verisi gösterilmiştir.

Gerçek veriler üzerinde uygulanan her iterasyon sonrası elde edilen 0.1 – 0.2 s aralığındaki rastgele hatalar sentetik verilere eklenmiştir. Şekil 8 a ve b'de sırası ile Vp ve Vs yapılarının iterasyon sonrası çözünürlük testi sonuçları verilmiştir.

Doğu Akdeniz'de 4, 8, 15 ve 25 km derinlikteki bölgelerde, Vp ve Vs hızlarının iyi ve düzgün dağılım sergiledikleri görülmektedir. Bunun nedeni olarak birçok yatay ve düşey ışın yollarının bu derinliklerde düzgün dağılım göstermesi söylenebilmektedir. Karekök seyahat zaman rezidüelleri ise P- dalga verisi için 0.287s ve S- dalga verisi için 0.423 s'dir. Çalışma bölgesinde düğüm noktalarından geçen P ve S dalgası ışın yolu sayısı dört ayrı derinlik (4, 8, 15, 25 km) için bölgenin kabuksal hız anomalilerinin belirlenmesi için yeterli seviyede olduğu ve bölgeyi kapsadığı görülmektedir.



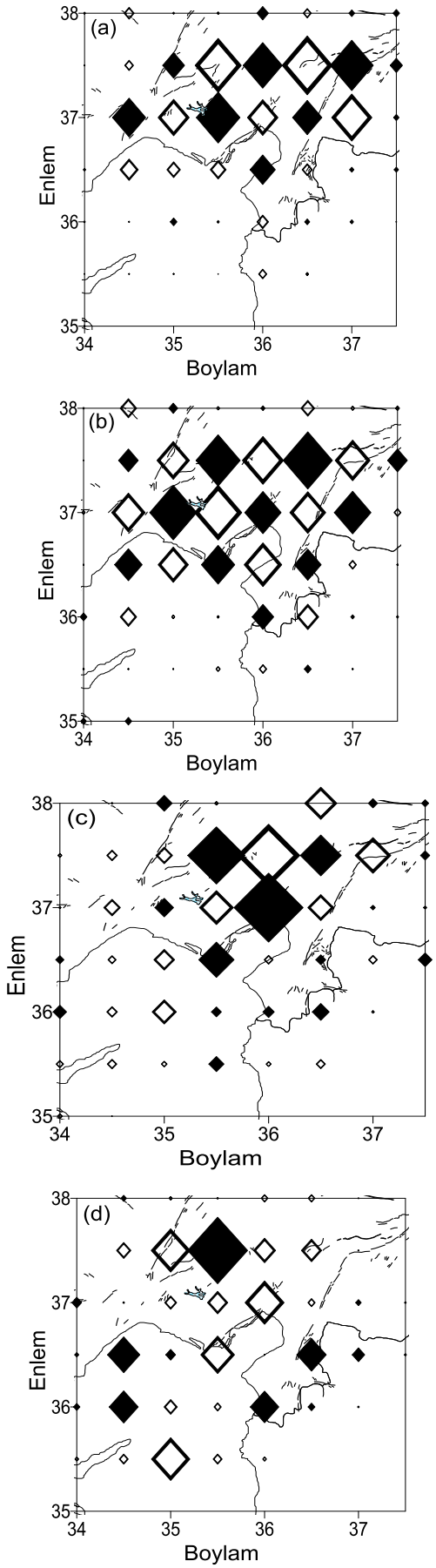
Şekil 7. P- ve S- dalga verisinin her ikisi için dama tahtası sentetik veri girişi. Siyah ve beyaz semboller grid düğümleri ile belirlenen pozitif ve negatif hız anomalilerini göstermektedir (± 4%).

Dört tabaka için ters çözüm sonucu elde edilen Vp, Vs ve Poisson oranı (σ) dağılımları Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir ve Vp, Vs ve Poisson oranı (σ) değerlerinin düşey yönde değişimi görülmektedir. Bu görüntüler her bir derinlikte başlangıç hız modeli yüzdesinin hız ve Poisson oranı dağılımını göstermektedir.

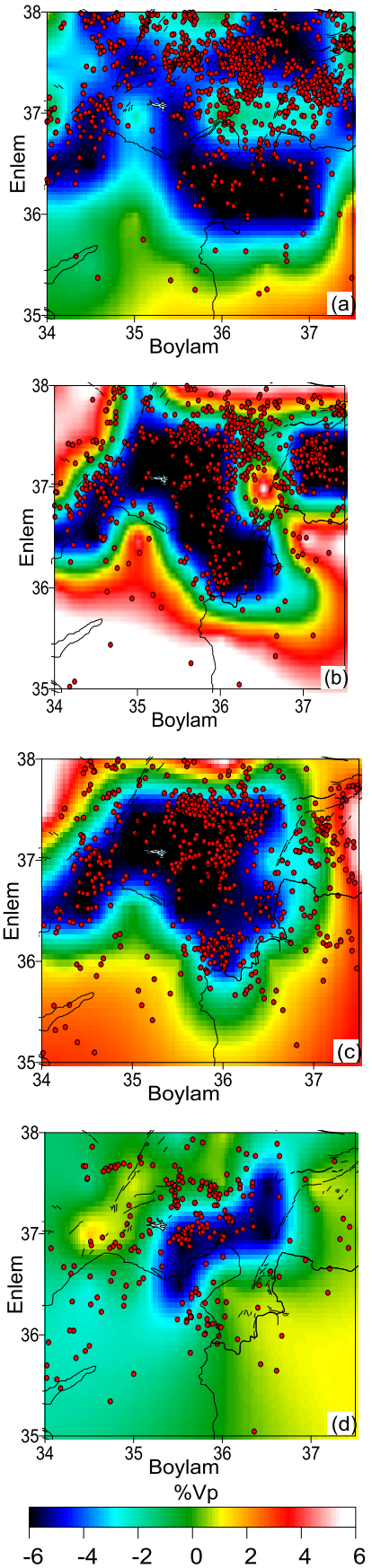
Şekil 9 'da görüldüğü üzere düşey ve yanal olarak hız değişimleri 4km derinlikte -6% ile +3% arasında, 8 km ve 15 km derinliklerinde -6% ile +6% arasında; 25 km derinlikte ise -6% ile +2% arasında değişmektedir. Eksi hız değişimlerinin olduğu bölgeler ile deprem episantırlarının da örtüştüğü görülmektedir.

Şekil 10' da ise 4 derinlik noktasındaki S dalga hız değişimleri görülmektedir. Negatif olarak yüksek S dalga hız değişimlerinin olduğu alanlar zayıf zonları göstermekte olup yine bu alanlardaki deprem episantırlarıyla örtüştüğü görülmektedir. Pozitif olarak değişim gösteren alanlarda ise sıkışmadan kaynaklanan nispeten daha yüksek hızlı zonların varlığı görülmüştür. 8km derinlikte görülen +4% değişimin olduğu alanda Arap levhasının preslemesinden kaynaklanan sıkışma bölgesi açıkça görülmektedir.

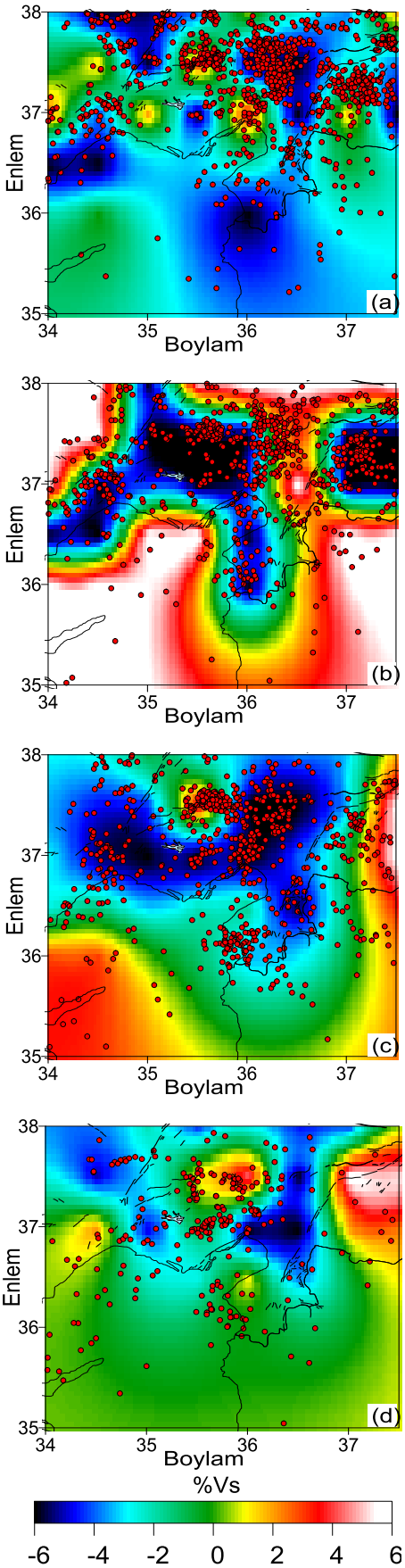
Şekil 11'de, P ve S dalga hızları ile ilişkili olan Poisson Oranı değişim dağılımı verilmektedir. 4 km ve 8 km derinliklerde çalışma alanında Poisson oranı dağılımının yaklaşık -6% ile +4% değişim gösterdiği görülürken 15 ve 25 km derinliklerde bu değişimin yaklaşık olarak -4% ile +4% olarak değişim gösterdiği görülmektedir.



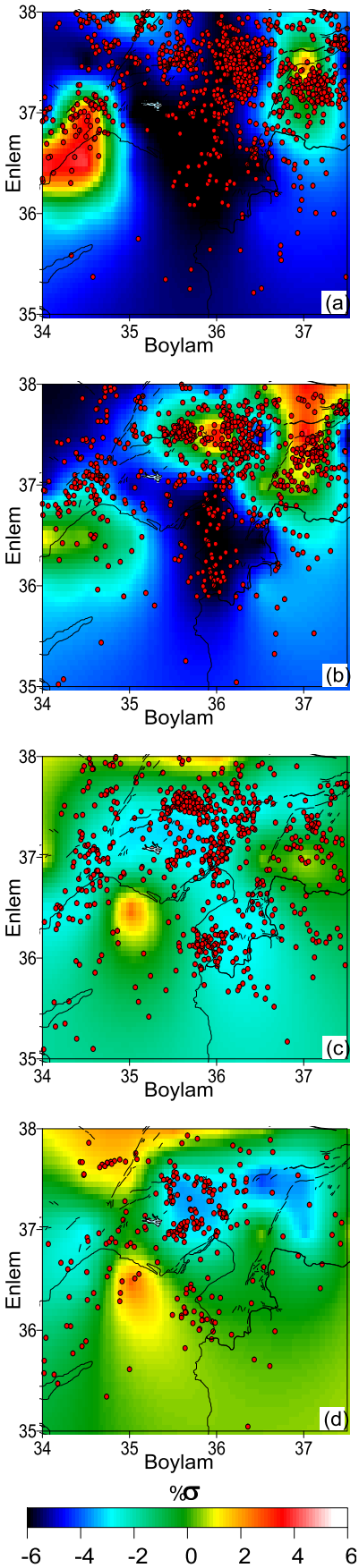
Şekil 8. Dört farklı derinlik için P- dalga hızı için ters çözüm testi sonucu. Siyah ve beyaz semboller sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği altta gösterilmiştir (a) 4 km, (b) 8 km, (c) 15 km (d) 25 km



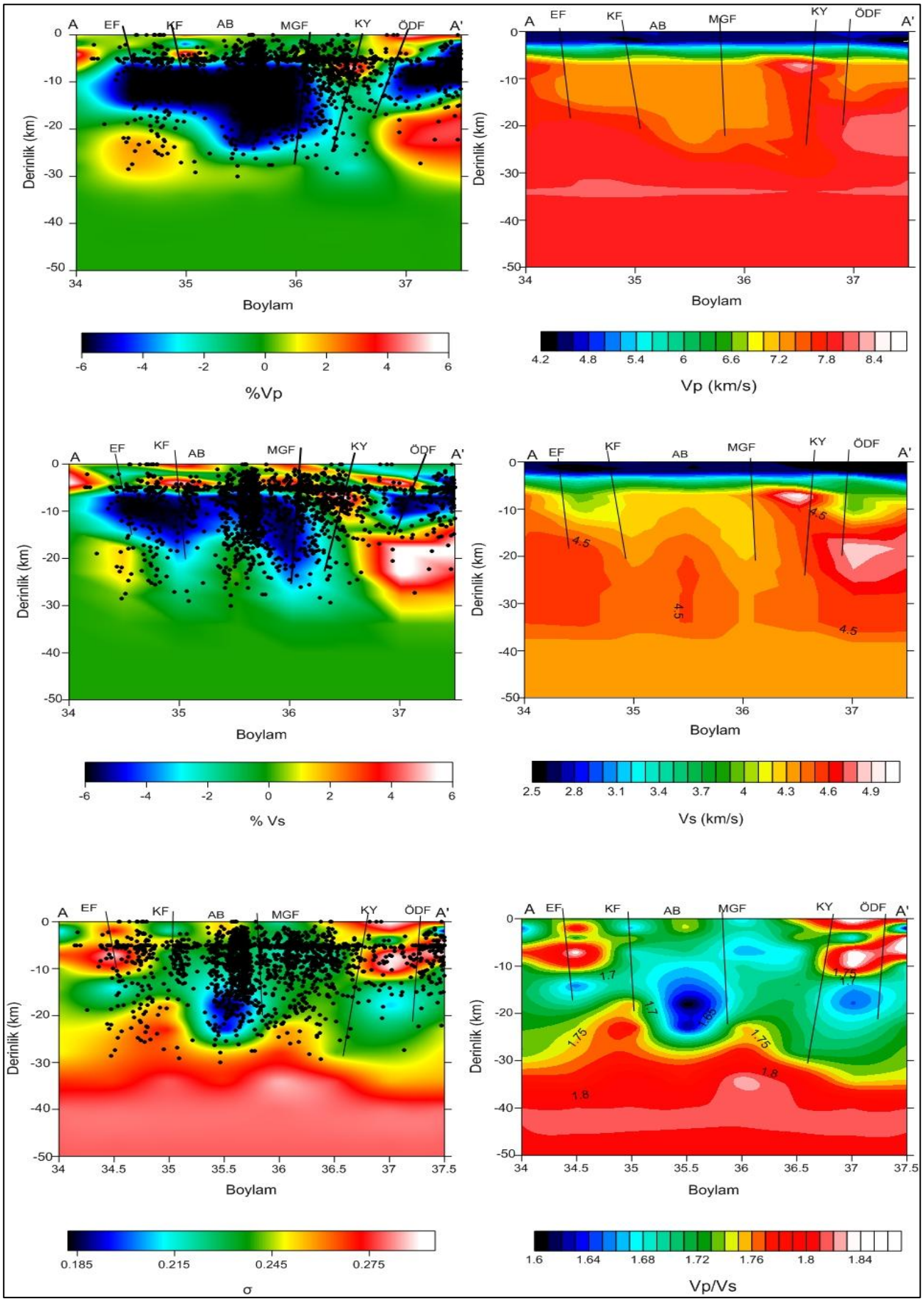
Şekil 9. Doğu Akdeniz'de dört farklı derinlikte 4 (a), 8 (b), 15 (c) ve 25 (d) km P- dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla düşük ve yüksek hız değişimini; kırmızı yuvarlaklar aynı derinlik seviyesinde deprem aktivitesini göstermektedir. İnce düz çizgiler ise çalışma alanındaki aktif fayları göstermektedir.



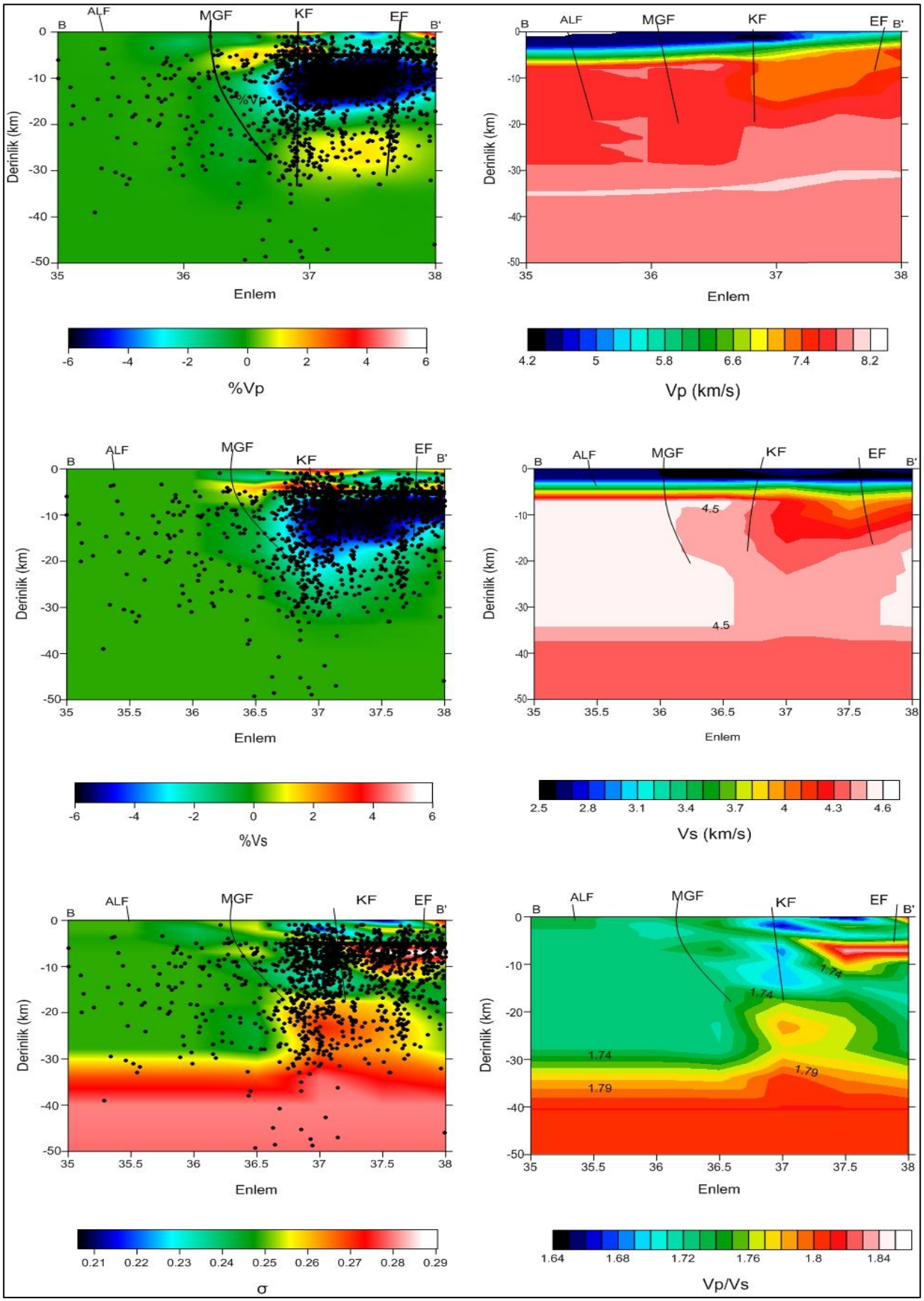
Şekil 10. Doğu Akdeniz'de dört farklı derinlikte 4 (a), 8 (b), 15 (c) ve 25 (d) km S- dalgası % hız değişimi. Diğer detaylar Şekil 9 ile benzerdir.



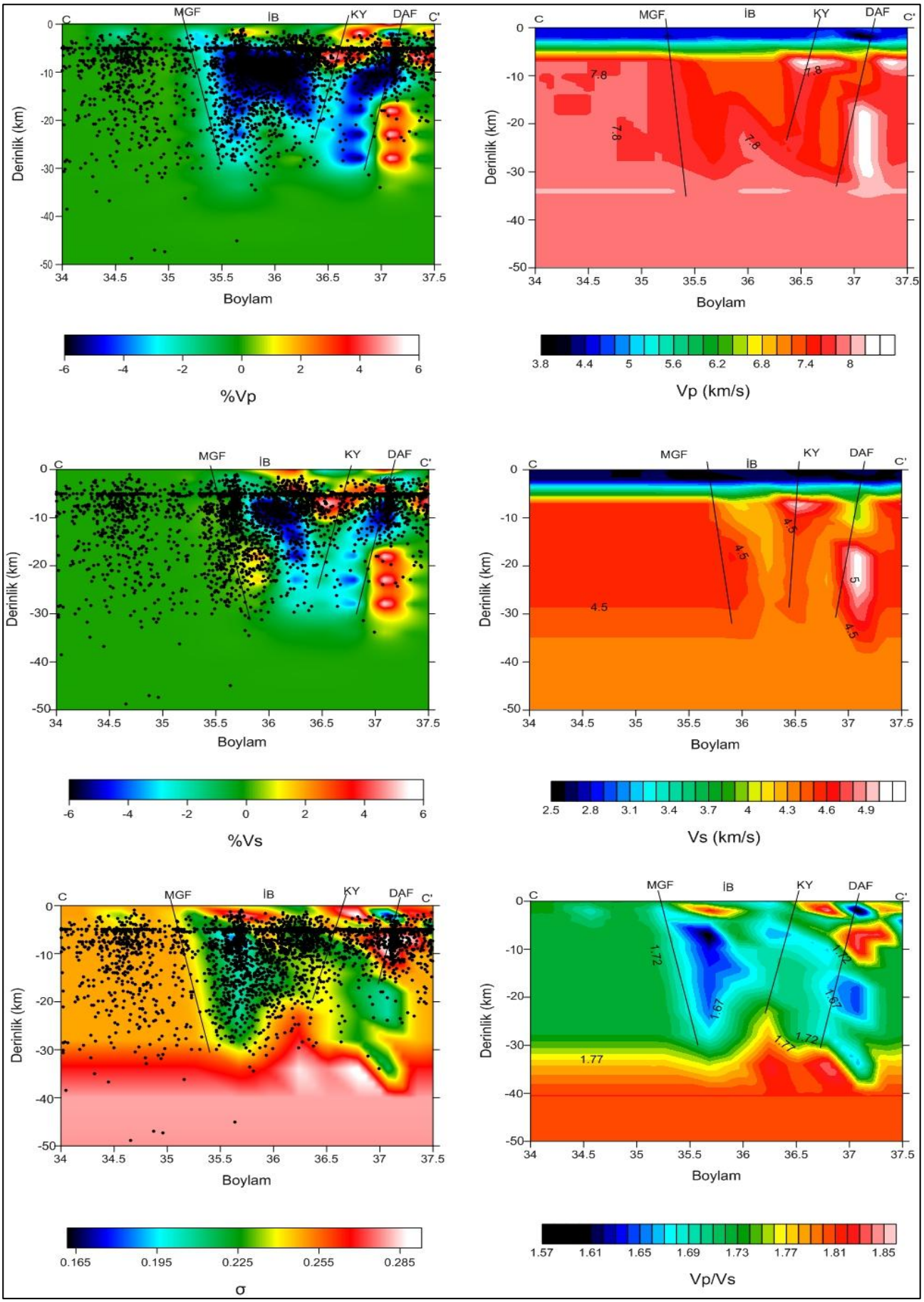
Şekil 11. Doğu Akdeniz'de dört farklı derinlikte 4 (a), 8 (b), 15 (c) ve 25 (d) km Poisson Oran (σ) dağılımı (% olarak). Dört derinlikte Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük σ göstermektedir. Değişim ölçeği (±6%) sağda gösterilmiştir. Diğer detaylar Şekil 9 ile benzerdir.



Şekil 12. A-A' doğrultulu hat boyunca Vp, Vs ve σ değişimlerine ait derinlik kesitleri EF: Ecemiş Fayı, KF: Kozan Fayı, MGF: Misis-Girne Fayı, KY: Kıbrıs Yayı ve ÖDF: Ölüdeniz Fayı, ALF: Amanos –Larnaka Fayı olarak gösterilmiştir.



Şekil 13. B-B' doğrultulu hat boyunca Vp, Vs ve σ değişimlerine ait düşey kesitler. EF: Ecemiş Fayı, KF: Kozan Fayı, MGF: Misis-Girne Fayı, KY: Kıbrıs Yayı ve ÖDF: Ölüdeniz Fayı, ALF: Amanos –Larnaka Fayı olarak gösterilmiştir.



Şekil 14. C-C' doğrultulu hat boyunca Vp, Vs ve σ değişimlerine ait düşey kesitler. EF: Ecemiş Fayı, KF: Kozan Fayı, MGF: Misis-Girne Fayı, KY: Kıbrıs Yayı, İB: İskenderun Baseni ve ÖDFZ: Ölüdeniz Fay Zonu olarak gösterilmiştir.

Çalışma alanı içinde hız değişimlerinin daha net belirlenebilmesi ve bu hız değişimlerinin bölgedeki tektonik hareketlerle ve aktif faylarla olan ilişkisinin yorumlanabilmesi için DB, KG ve KD-GB doğrultularında kesitler alınmıştır (Şekil 6). Şekil 12, 13 ve 14'te sırası ile alınan AA', BB' ve CC' kesitleri verilmiştir. Deprem episantırlarının da korelesi ile çalışma alanındaki faylar konumlandırılmıştır. Deprem episantırlarının düşük hız zonlarında veya düşük hız-yüksek hız zonu sınırlarında konumlandığı görülmüştür.

Şekil 12'de görüldüğü üzere KF ile MGF arasında Adana Havza'nın içerdiği sediman birikimi ile ilişkili olarak düşük Vp ve düşük Vp/Vs oranına sahip olup % Vp ve Vp kesitlerinde Havza geometrisi açık olarak görülmektedir.

Şekil 13'de verilen Vp/Vs grafiğinde KF altında mağmanın 20km kadar sokulum yaptığı görülmektedir. Litolojik olarak bu sokulumun literatür bilgileri ışığında serpantinit, dunit ve harzburgit gibi ofiyolitik kayalarla [20] ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 14'de verilen % Vp ve Vp kesitlerinde, İskenderun Havzası'nın içerdiği sediman birikimi ile ilişkili olarak düşük Vp ve düşük Vp/Vs oranına sahip olup % Vp ve Vp kesitlerinde Havza geometrisi açık olarak görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma bölgesinde 20 sismik istasyon tarafından kaydedilen yerel depremlerin P- ve S- dalga varış zamanlarının ters çözümü yapılmıştır. Ters çözüm sonucunda Doğu Akdeniz'de kabuk boyunca 3-B hız ve Poisson oranı (σ) değişimi belirlenmiştir. Yapılan çözüm sonucu 30 km derinliğe kadar yüksek çözünürlüklü kesitler ve anomali haritaları elde edilmiştir. P ve S-dalga hız yapılarının derinliklere doğru olan değişimi belirlenmiş olup hız yapısının düşük olduğu derinliklerde zayıf zonlar tespit edilmiş ve deprem episantırlarının korelesi ile de bölgedeki fay konumları belirlenmiştir. Hız değişim haritaları incelendiğinde, çalışma alanının havza özelliğinin açıkça görüldüğü, yer yer yaklaşık 20 km' ye kadar negatif olarak yüksek hız değişimlerinin var olduğu tespit edilmiştir. Bu düşük hızlı zonlarda da deprem aktivitesinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Karmaşık tektonizmaya sahip DAF'ın GB dolaylarında, zayıflık zonu, yüksek gaz içeriği ile ilişkilendirilmiş olup, jeotermal açıdan potansiyel hedef bölge mahiyetine sahip olduğu düşünülmektedir (Şekil 14). Burada ilk 3 km'ye kadar düşük Vp, düşük Vp/Vs modelleri elde edilmiştir. Aynı bölgede daha derin katmanlara doğru ise yüksek Vp, yüksek Vp/Vs modelleri gözlenmiştir. Bu anomali yapısı da jeotermal sistemlerin varlığıyla ilişkilidir. Benzer bulgular literatürde, Ege Bölgesinde yürütülen araştırmalarda rapor edilmiştir [21,22,23].

Ayrıca çalışma alanının güneydoğusunda AA', BB' ve CC' kesitlerinde Kıbrıs Yayı (KB) olarak gösterilen kısımda gözlenen pozitif yüksek hız değişimlerin Arap Levhasının kuzeybatıya doğru hareketinden ve Kıbrıs Yayı'nın etkisinden dolayı sıkışma zonu oluştuğu gözlenmiştir. Yüksek hız yapısı gösteren alanlarda beklenildiği gibi düşük Vp/Vs oranı ve düşük Poisson oranı gösterdiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın değerlendirilmesinde yorumlarını esirgemeyen editör ve hakemlere teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca bu çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora yapan CANAN ÇİFTÇİ'nin doktora çalışmasının bir bölümünü de kapsamaktadır.

Kaynakça

[1] McKenzie, D. P. 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30 (2), 109-185.

[2] Bağcı, G. 2000. Deprem Öncesi Sismisite Kuzey Anadolu Fayı'nın Batı Kesiminin Depremselliği (Tarihsel Ve Aletsel Dönem) Ve Riski. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Deprem Raporu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

[3] Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation In Zones Of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study, In: Biddle, K. T., Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-Slip Faulting And Basin Formation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37, 227–264.

[4] Kempler, D., Garfunkel, Z. 1994. Structure and Kinematics in The Northeastern Mediterranean: a Study of Irregular Plate Boundary. Tectonophysics, 234, 19-32.

[5] Ben Avraham, Z., Kempler, D, Ginzburg, A., 1988 Plate Convergence in the Cyprean Arc Tectonophysics, 146, 231·240.

[6] Ben Avraham, Z., Tiber, G., Limanov, AF., Leybov, M.B., Ivanov, M.K., Tokarev, M Yu, Woodside, J.M. 1995. Structural and Tectonics of the Eastern Cyprus Arc. Marine and Petroleum Geology, 12, 263·271. Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Sengor, AM.C. 1986. Shortening of Continental Lithosphere: the Neotectonics of Eastern Anatolia - A Young Collision Zone. m: M.P. Coward and AC. Ries (Eds.), Collision Tectonics. Geological Society Special Publication 19, 3-36.

[7] Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Sengor, AM.C. 1986. Shonening of Continental

Lithosphere: the Neotectonics of Eastern Anatolia - A Young Collision Zone. m: M.P. Coward and AC. Ries (Eds.), Collision Tectonics. Geological Society Special Publication 19, 3-36.

[8] Barka, A. A. 1992. The North Anatolian Fault zone. Annales Tecton. 6, 164–195.

[9] Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, B. M., King, R. W., Toksöz, M. N. 1997. Global Positioning System Measurements of Present Day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone. Journal of Geophysical Research, 102, 9983–9999.

[10] Iyer, H.M., 1984. A Review of Crust and Upper Mantle Structure Studies of the Snake River Plain- Yellowstone Volcanic System: A Major Lithospheric Anomaly in The Western. U. S. A., Tectonophysics, 105, 291-308.

[11] Zhao, D., Hasegawa, A., Horiuchi, S. 1992. Tomographic Imaging of P- And S-Wave Velocity Structure Beneath Northeastern Japan. Journal of Geophysical Research, 97, 19909-19928.

[12] Salah, M., Zhao, D., 2003. 3-D Seismic Structure Of Kii Peninsula In Southwest Japan: Evidence For Slab Dehydration in The Forearc. Tectonophysics, 364, 191-213.

[13] Koulakov, I. and Sobolev, S. V. 2006a. Moho Depth and Three-Dimensional P and S Structure of Crust and Uppermost Mantle in The Eastern Mediterranean and Middle East Derived from Tomographic Inversion of Local ISC Data, Geophysical Journal International,164, 218-235.

[14] Koulakov, I., and Sobolev, V. 2006b. A Tomographic Image of Indian Litosphere Break-Off Beneath the Pamir-Hindikush Region, Geophysical Journal International, 164, 425-440,

[15] Mutlu AK, Karabulut H 2011. Anisotropic Pn Tomography of Turkey and Adjacent Regions. Geophysical Journal International,187, 1743-1758.

[16] Um, J., Thurber, C. 1987. A Fast Algorithm for Two-Point Seismic Ray Tracing. Bulletin of the Seismological Society of America, 77, 972-986.

[17] Paige, C. C., Saunders, M. A. 1982. LSQR: Sparse Linear Equations and Least Squares Problems. ACM Trans. Math. Software 8, 43-71.

[18] Humphreys, E., Clayton, R. W. 1988. Adaptation of Back Projection Tomography to Seismic Travel Time Problems, Journal of Geophysical Research, 93, 1073-1085.

[19] Kalafat, D., Gürbüz, C., Üçer, S.B. 1987. Batı Türkiye' de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması, Deprem Araştırma Bülteni, 59, 43-64.

[20] Maden Tetkik Arama Enstitüsü, http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx (Erişim Tarihi: 10.05.2017)

[21] Kaypak, B. and Gökkaya, G., 2012. 3-D imaging of the upper crust beneath the Denizli geothermal region by local earthquake tomography Western Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 211-212 (1), 47-60.

[22] Özer, Ç. ve Polat O., 2017a. İzmir ve Çevresinin 3-B Kabuk Hız Yapısı. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 32 (3), 733-747.

[23] Özer, Ç. ve Polat O., 2017b. Local earthquake tomography of Izmir geothermal area, Aegean region of Turkey. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 58 (1), 17-42.