



Determination of volcanic structures in and around Nevşehir by seismic attenuation method

Şakir Şahin¹, Erdiñ Öksüm²

Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Geophysical Engineering Department, Isparta, Turkey

Highlights:

- The determination of P wave attenuation structures of Nevşehir and its vicinity
- The determination of S wave attenuation structures of Nevşehir and its vicinity
- The determination of attenuation tomography and its relation to tectonic and volcanic pattern

Keywords:

- Nevşehir
- Seismic waves
- attenuation
- tomography

Article Info:

Research Article
Received: 02.08.2018
Accepted: 09.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.450361

Correspondence:

Author: Şakir Şahin
e-mail:
sakirsahin@sdu.edu.tr
phone: +90 246 211 1350
+90 535 972 4852

Graphical/Tabular Abstract

Nevşehir and its vicinity is a region where the Quaternary volcanism is intense on the surface. These type fields are areas where seismic waves show high attenuation characteristics. To reveal these volcanic structures, three dimensional (3-B) P and S wave attenuation parameters (Q_p^{-1} and Q_s^{-1}) were determined. Attenuation of P waves are sensitive discontinuity in the crust and S wave attenuation are sensitive to fluid reservoirs. 1541 signals belonging to a total of 815 earthquakes ranging in depth from 1 km to 30 were evaluated. Earthquake data were recorded by five broad-band stations belonging to Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute.

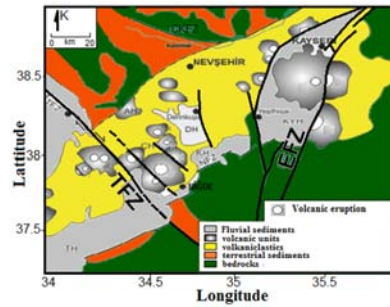


Figure A. Distribution of Neogene-Quaternary young vulcanite and neotectonic units and volcano-tectonic structures in Nevşehir and its vicinity. AH: Ağaçlı basin, ÇH: Çiftlik basin, DH: Derinkuyu basin, KH: Konaklı basin, KYH: Kayseri-Yeşilhisar basin, TH: Tuzgölü basin, EFZ: Ecemiş Fault Zone, NFZ: Niğde Fault Zone, CKFZ: Central Kızılırmak Fault Zone, TFZ: Tuzgölü Fault Zone.

Purpose: In Nevşehir and its vicinity, to determine the relationship between volcanism and tectonics, the age of different volcanic complexes, their relation to each other, the structural control of the main and trace eruption centers, the tectonic activity of the region and the root of volcanism.

Theory and Methods:

The Coda Normalization Method was applied to reveal the 3-D attenuation structure. After the determination of P, S, and coda phases of the earthquakes, the inverse solution technique was used according to the velocity model in the region. A new computer program based on the energy ratio of the P and S wave amplitudes to the coda amplitude was written based on the MuRAT-V.1 program written in Matlab code. This program uses coda-normalization method which is independent of source and area. With this software, P and S wave attenuation (Q_p^{-1} and Q_s^{-1}) values in Nevşehir and its surroundings were determined by using the inverse solution technique according to the wave path speed differences by moving from the amplitude ratios.

Results:

According to the results, there are places where the attenuation on the surface is high; Melendiz Mountain and Aladağlar (Niğde) surroundings and the northwestern part of Mount Erciyes. It is observed that as P wave advances towards the deep, the attenuation changes according to tectonism, while the S wave is changed due to volcanism. Approximately 30 km of the attenuation in the vicinity of Erciyes Mountain and Aladağlar have been detected. Attenuation around the mountain of Melendiz is seen in the upper crust. This reveals that the deep earthquakes in the region are on the Ecemiş fault zone and the volcanism is shaped according to this tectonic structure.

Conclusion:

Quaternary volcanism on the surface is clearly observed between TFZ and EFZ. This indicates that the high attenuation anomalies are fluid regions of up to 25 km deep.



Nevşehir ve çevresindeki volkanik yapıların sismik soğurulma yöntemi ile belirlenmesi

Şakir Şahin*^{ID}, Erdinç Öksüm^{ID}

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Nevşehir ve çevresinin P dalgası zayıflama yapılarının belirlenmesi
- Nevşehir ve çevresinin S dalgası zayıflama yapılarının belirlenmesi
- Zayıflama tomografisinin belirlenmesi ve tektonik ve volkanik düzen ile ilişkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.08.2018

Kabul: 09.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.450361

Anahtar Kelimeler:

Nevşehir,
sismik dalga,
soğurulma,
tomografi

ÖZET

Nevşehir ve çevresi Kuvaterner volkanizmasının yüzeyde yoğun olarak görüldüğü bir bölgedir. Bu sahalarda sismik dalgaların yüksek soğurulma özelliği gösterdiği alanlardır. Bu volkanik yapıların ortaya konulması için üç boyutlu (3-B) P ve S dalga soğurulması parametreleri (Q_p^{-1} ve Q_s^{-1}) belirlenmiştir. Cisim dalgalarından P dalgası soğurulması, kabuktaki süreksizlik yapılarına, S dalga soğurulması ise gaz ve akışkan rezervuarlarına duyarlıdır. Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait 6 adet üç bileşen geniş bant istasyon tarafından kaydedilen 815 depreme ait 1541 sinyal değerlendirilmiştir. Bu depremlere ait P, S ve koda fazları belirlendikten sonra, bölgedeki hız modeline göre ters çözüm tekniği uygulanmıştır. Matlab kodunda yazılmış MuRAT-V.1 programı referans alınarak P ve S dalgası genliklerinin koda dalgası genliklerine ayrı ayrı enerji oranına dayanan yeni bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu yazılım ile, genlik oranlarından hareketle dalga güzergahı hız farklılıklarına göre ters çözüm tekniği kullanılarak Nevşehir ve çevresinde P ve S dalgası soğurulması (Q_p^{-1} ve Q_s^{-1}) değerleri tespit edilmiştir. Bölgede soğurulmanın Melendiz Dağı ve Aladağlar (Niğde) çevresinde ve Erciyes Dağı'nın kuzeybatısında yüksek olduğu görülmektedir.

Determination of volcanic structures in and around Nevşehir by seismic attenuation method

H I G H L I G H T S

- The determination of P wave attenuation structures of Nevşehir and its vicinity
- The determination of S wave attenuation structures of Nevşehir and its vicinity
- The determination of attenuation tomography and its relation to tectonic and volcanic pattern

Article Info

Research Article

Received: 02.08.2018

Accepted: 09.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.450361

Keywords:

Nevşehir,
seismic waves,
attenuation, tomography

ABSTRACT

The Quaternary volcanism is intense in Nevşehir and its vicinity. These areas show high seismic attenuation characteristics. Three dimensional (3-B) P and S wave attenuation (Q_p^{-1} and Q_s^{-1}) were determined. P wave attenuation is sensitive discontinuity in the crust and S wave attenuation is sensitive to fluid reservoirs. The data that 1541 signals from 815 earthquakes were recorded by six broad-band stations belonging to Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. The Coda Normalization Method was applied to reveal the 3-D attenuation structure. After the determination of P, S, and code phases of the earthquakes, the inverse solution technique was used. The computer program is used based on the energy ratio of the P and S wave amplitudes to the code amplitude based on the MuRAT-V.1 written in Matlab code. With this software, P and S wave attenuation (Q_p^{-1} and Q_s^{-1}) values in Nevşehir and its surroundings were determined by using the inverse solution technique according to the wave path velocity differences by moving from the amplitude ratios. In the region, it is seen that the attenuation is high in the Melendiz Mountain and Aladağlar (Niğde) surroundings and the northwestern part of Mount Erciyes.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sakirshahin@sdu.edu.tr, erdincoksum@sdu.edu.tr / Tel: +90 246 211 1350

3. VERİ VE YÖNTEM (DATA AND METHOD)

Bu çalışmada Nevşehir ve çevresinde oluşmuş depremlerin Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) [35] tarafından işletilen BNN, CMRD, GULA, KOZT, KOZK ve NIG üç bileşen geniş bant istasyonları tarafından kaydedilmiş toplam 815 adet depreme ait toplam 1541 düzey bileşen sinyali kullanılmıştır (Şekil 2). İstasyonlar Şekil 2'de siyah paralel kenar olarak işaretlenmiştir. Depremler 2007-2018 yılları arasında kaydedilmiş olup, sismograf tepki fonksiyonu 0.02-100 Hz'dir. Kullanılan depremlerin yerel büyüklükleri (ML) 2 ile 5 arasında değişmektedir. Deprem kayıtlarında, sinyal gürültü oranı 1.5 ve daha büyük olarak kabul edilmiştir. Depremlerin merkez üstü uzaklıkları ise, 20 km ile 110 km arasında değişmektedir (Şekil 2).

Üç boyutlu tomografik yapının ortaya konulması için düzey bileşen sinyali üzerinde P ve S dalgası genliklerinin ayrı ayrı koda dalgası genliklerinin oranına dayanan "Koda Normalizasyon Yöntemi" kullanılmıştır. Bu çerçevede Luca vd. [22] tarafından matlab tabanlı yazılmış MuRAT programı esas alınarak yeni bir program tarafımızdan oluşturulmuştur. Bu program Del Pezzo vd. [37] yaklaşımına dayalı olarak hazırlanmıştır. Bu yaklaşım tarzı ise Aki [3] ve Frankil vd. [8] Koda normalizasyon yöntemi modeline dayanmaktadır. Bu yöntem değişik doğrultularda yayılan birçok deprem verisinden hesaplanan ortalama kaynak büyüklüğü ve zemin büyütmesinin, kaynak-alıcı doğrultusundan bağımsız olduğu ve ortalama değerini coğrafik olarak değişim gösterdiği varsayımına dayanmaktadır [3]. Buna göre; P ve S dalgası spektral genliğinin koda spektral genliğine bölünmesiyle kaynak, zemin ve alet ile ilgili etkiler giderilmektedir [3]. P ve S dalga soğurulması parametreleri olan Q_p^{-1} ve Q_s^{-1} değerleri, her istasyonda elastik olmayan koşulların, ya da saçınının sebep olduğu kabuğa ait P ve S dalgası genliğinin azalından hesaplanır [3, 8]. Bu amaçla P ve S dalgaları ile koda dalgasının $\Delta t = 2$ sn uzunlukları seçilerek genlik spektrumları hesaplanmıştır. Bu işlem;

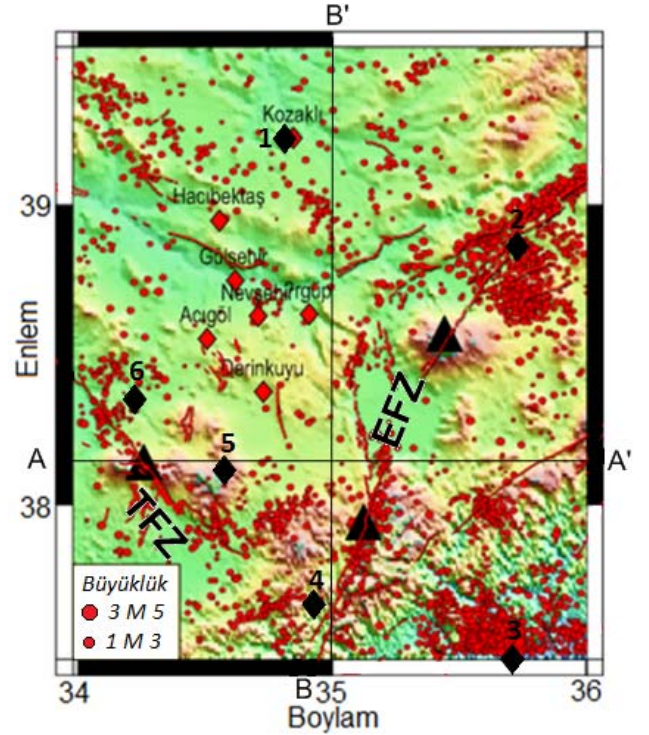
$$\langle \ln\{D^y * A_{P,S}(f)/A_C(f)\} \rangle = a - b * D \quad (1)$$

yaklaşımına dayanmaktadır (Eş. 1) [3, 8]. Burada; D kaynak-alıcı uzaklığı, γ geometrik yayılım etkisi, A_p , $s(f)$ P ve S dalgası spektral genliği ve $A_C(f)$ koda dalgası spektral genliğidir. Koda normalizasyon yöntemi yer kabuğundaki

soğurulmanın zemin ve aletsel transfer fonksiyonundan bağımsız olarak hesaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 36].

Del Pezzo vd. [37] modeli ile Nevşehir ve çevresinde P ve S dalgası soğurulması her bir dalga güzergâhı boyunca belli derinlikler için hesaplanmıştır. Bunun için kullanılan enerji azalım bağıntısı;

$$\frac{E_{ij}(f,r)}{E^C(f,t)} r_{ij}^2 = \frac{1}{P(f,tc)} \exp \left[-2\pi f \int \frac{dt}{v(t)Q_{ij}^C(t)} \right] \quad (2)$$



Şekil 2. P ve S dalgası soğurulma yapısını belirlemek için ters çözüm işlemi uygulanan depremlerin dağılımı ve çalışma alanı. Burada kirmızı çizgiler fayları, kirmızı noktalar depremleri, siyah üçgenler volkanik alanları, kirmızı paralel kenarlar, yerleşim alanlarını, siyah paralelkenarlar; istasyonları göstermektedir. İstasyonlar numara ile verilmiş olup; 1-KOZK, 2-BNN, 3-KOZT, 4-CMRD, 5-NIG ve 6-GULA istasyonlarını göstermektedir. Ayrıca Şekil 11 ve 12'de gösterilen kesitlerin konumları sırasıyla AA' ve BB' olarak işaretlenmiştir. EFZ; Ecemiş fayı ve TFZ; Tuz Gölü fayını ifade etmektedir (The distribution of the earthquakes that applied to determination of the P and S wave attenuation structure for inversion and the study area. On this map; red lines are faults, red points are earthquakes, black triangles are volcanic areas, red diamonds are residential areas, black diamonds are seismic stations. Seismic stations are given by numbers as; 1-KOZK, 2-BNN, 3-KOZT, 4-CMRD, 5-NIG and 6-GULA. In addition, the locations of the sections shown in Figures 11 and 12 are marked as AA' and BB', respectively. EFZ; Ecemiş Fault Zone and TFZ; Tuzgölü Fault Zone)

Eş. 2 ile verilir. Her iki tarafın logaritması alınarak doğrusal integral uygulaması ile

$$d_k^C = \frac{1}{2\pi f} \ln \left(\frac{1}{P(f,tc)} \right) - \sum_{b=1}^{N-cells} l_{kb} S_b Q_b^{-1} \quad (3)$$

Eş. 3 bağıntısı elde edilir. Burada d_k^C değeri ışın uzunluğu için belirlenmiş P ve S ile koda arasındaki spektral oranının logaritmasını verir ve verilen metrik aralık için gridlenir. Gridlenen N hücreleri, ışın tarafından geçilen blokların toplam sayısıdır. l_{kb} , S_b ve kalite faktör Q ile karakterize edilen b bloğunu kesiştiren k 'inci dalga güzergâhı uzunluğudur. Bu bağıntıda k deprem odağı ile istasyon arasındaki dalga yolunu ifade eder.

Bağıntı (3) Q_b^{-1} 'i, tüm alan için ortalama kalite faktörüne eşit olduğunu varsaydığımız ortalama Q_b^{-1} 'ye ayırarak, $Q_{P,S}^{-1}$

tüm bölge için hesaplanmıştır. Burada Q_p^{-1} ve Q_s^{-1} değerleri belirli bir frekans değeri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bu çalışmada frekans değeri 18 Hz olarak alınmıştır.

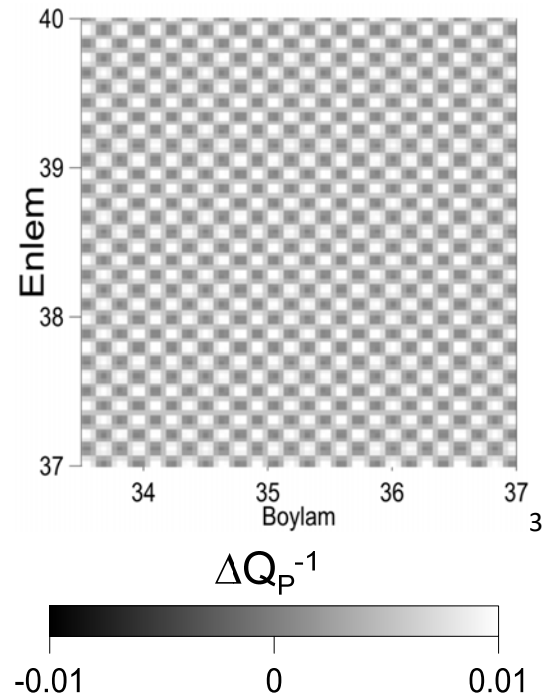
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çözünürlüğü ortaya koymak için dama tahtası testi uygulanmıştır (Şekil 3-6). Ters çözüm öncesi matris için uygulanan parametreler istasyon ve deprem dağılımına, incelenen bölgeye ve ışın sayısına göre belirlenir. Bu nedenle, sentetik testler aşamasında her çalışma sahasına özel parametrelendirme yapılır ve sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılır. Dama tahtası testinde çalışma alanı belirli boyutlarda kare/dikdörtgen prizmalara bölünür (Şekil 3-4). Bu prizmaların her birine negatif/pozitif ya da düşük/yüksek soğurulma değerleri atanır. Daha sonra faz okuma hataları dikkate alınarak sentetik seyahat zamanlarına gürültü eklenir ve ters çözüm sonucunda bu prizmaların sentetik olarak tekrar elde edilip/edilemeyeceği kontrol edilir. Sentetik seyahat zamanlarının ürettiği sismik model bilinmiyormuş gibi düşünülmüş ve yeni bir başlangıç modeli kullanılarak ters çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, başlangıçta kullanılan dama tahtası modeli elde edilmeye çalışılmıştır [38]. Eğer istenilen çözünürlük elde edilemez ise, kare/dikdörtgen prizmanın boyutları değiştirilerek test tekrarlanır [39]. Bu çalışmada P ve S dalgaları için prizma boyutları her küp arasında 2.5 km olması koşuluyla $2.5 \times 2.5 \times 4 \text{ km}^3$ olacak şekilde tasarlanmıştır. P ve S dalgası soğurulması için ΔQ_p^{-1} ve ΔQ_s^{-1} değerleri sırasıyla ± 0.01 ve ± 0.03 olarak tasarlanmıştır. Dama tahtası sonuçlarına göre istasyon sayısının az ve deprem sayısının seyrek, ayrıca derine doğru deprem yoğunluğunun azlığından ışın sayısındaki azalmadan dolayı çözünürlük düşmektedir.

Nevşehir ve çevresinin içinde olduğu $34^\circ\text{-}36^\circ$ D boylam ve $37.5^\circ\text{-}39.5^\circ$ K enlemleri arasında kalan alanda elde edilen yüksek soğurulma anomalileri, 25 km derinliğe kadar devam ettiği görülmektedir. Elde edilen soğurulma anomalilerinin Erciyes, Melendiz, Hasandağı ve Aladağlar volkanik yapıları ile uyumlu olup, derine doğru nasıl devam ettiğini ortaya koymaktadır. EFZ'nun doğusuna doğru volkanik yapılar derinde çok devam etmez iken, güneybatıya doğru Karadağ, Karacadağ ve Aladağlara doğru derinde devam ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen soğurulma değerlerinin volkanizmanın bölgedeki dağılımı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Çalışma alanının kuzeybatısında yer alan Kırşehir Masifi ve Nevşehir-Hacıbektaş ve çevresinde ısı akısı değerlerinin 50 mW/m^2 ile 110 mW/m^2 arasında değiştiği tespit edilmiştir [40]. Isı akısı anomalileri, Kayseri civarını içine alan $1/500.000$ ölçekli pafta üzerinde aeromanyetik veriler kullanılarak elde edilen ortalama ısı akısı değerleri ile uyumludur [41]. Bu değerler, dünya ortalamasının oldukça üzerindedir [42]. Bölgede yüksek ısı akısı değerlerinin elde edildiği yerlerin sismik açıdan aktif ve soğurulmanın yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek ısı akısı anomalilerinin değişimi yaklaşık olarak kuzey - güney doğrultusundadır. Ancak, düşük ısı akısına sahip bölge, Kayseri'nin kuzeybatısında ve Nevşehir'in güneybatısında

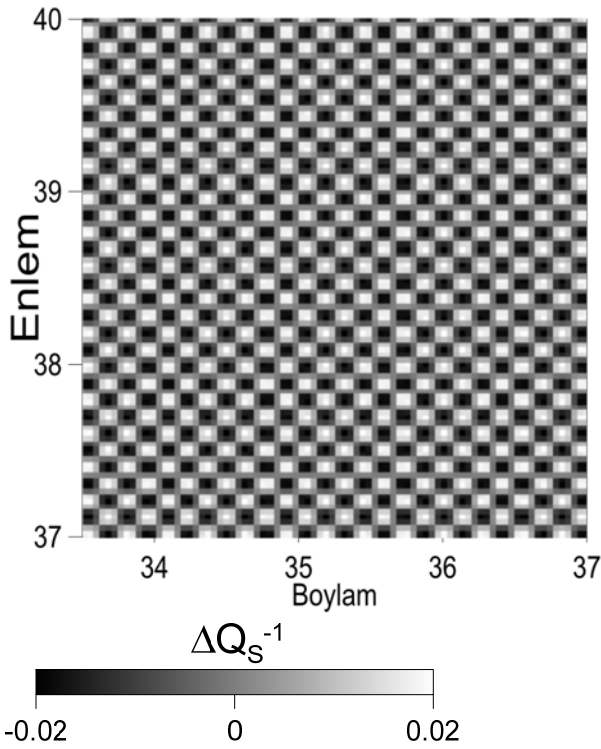
yer almaktadır [40]. İhlara Vadisi'nde hem silika hem de gradyan tekniklerinin kullanılarak elde edilen ortalama ısı akısı değeri 35.2 mW/m^2 civarındadır. Vadi civarında, tanımlanmış jeotermal kaynaklar küçük olmasına karşın, bölgedeki volkanik ve tektonik yapılar ve aynı zamanda Kırşehir Masifi'ndeki yüksek bölgesel ısı akısına ($150\text{-}200 \text{ mW/m}^2$) göre keşfedilmemiş alanların var olabileceği söylenebilir [42].

Bölgesel ölçekte Orta Anadolu Volkanik Provinsi (OAVP), muhtemelen Triyas döneminde Gondwana'dan riftleşmeyle uzaklaşan Orta Anadolu Kristal Kompleksi (OAKK) ve Toroslar üzerinde yer almaktadır [43-44]. Hem kıta parçaları hem de OAV, bir dizi aktif levha içi yapı ile çapraz olarak çok sayıda bloğa bölünmüştür. OAKK'nın mevcut yapılanması yaklaşık olarak üçgen şeklindedir ve batıda Tuz Gölü Fay Zonu (TFZ), doğuda Ecemiş Fay Zonu (EFZ) ve kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan suture zone olmak üzere üç ana yapı ile sınırlanmıştır. TFZ, 170 km uzunluğunda 1-7 km genişliğinde düşük oranda doğrultu bileşeni olmakla birlikte normal fay sistematiğine sahiptir [45]. Ecemiş Fay zonu (EFZ) ise KD doğrultulu, sol yönlü doğrultu atımlı faylanma sistematiğine sahiptir [46-47]. EFZ, Erken Kuvaterner döneminde iç Toros suture zone boyunca hem K-KD hem de GB doğrultusundaki "Ecemiş koridoru" olarak adlandırılan eski bir paleotektonik yapının yeniden şekillenmesi ile oluşmuştur [48].



Şekil 3. P dalgası dama tahtası testi giriş parametreleri
(P wave checkerboard test input parameters)

Orta Anadolu Volkanitlerinin bir kısmı bu iki fay arasında kalmaktadır. TFZ ile EFZ arasında kalan alanda, volkanik yapıların kollar şeklinde GB-KD uzanımlı olduğu, ayrıca Nevşehir'in altından Gümüşkent'e kadara 4-5 km derinlikte K-G uzanımlı bir yapının varlığı da gözlemlenmiştir.



Şekil 4. S dalgası dama tahtası testi giriş parametreleri (S wave checkerboard test input parameters)

EFZ'nin kuzeydoğu ve güneybatı segmentleri Erciyes Çekayır Havzası (EÇH) ile birbirine bağlanmaktadır. Bu zonun Kızıllırmak-Erkilet ve Dökmetaş segmentleri, Kayseri yakınlarında yaklaşık 45° - 50° güneye doğru yönelmektedir. EÇH, yaklaşık 35 km genişliğinde, 120 km uzunluğunda, 1,2 km derinliğinde olup, S-şekilli ve aktif olarak kuzey ve güney kısımları arasında merkezi bir bariyer oluşturan Erciyes Stratovlokano Kompleksi (ESK) ile büyüyen bir havza niteliğindedir. Dolayısıyla, EÇH, "Sultansazlığı ve Kayseri-Sarımsaklı çukurları" olarak iki ayrı havza olarak görünür. EÇH'nin gelişiminin devam ettiği bölgedeki faylanma, yükselim, Pleistosen-Erken Holosen yaşlı gösel çökelleri ile tarihsel dönemden günümüze devam eden depremler tarafından ortaya konulmaktadır [47].

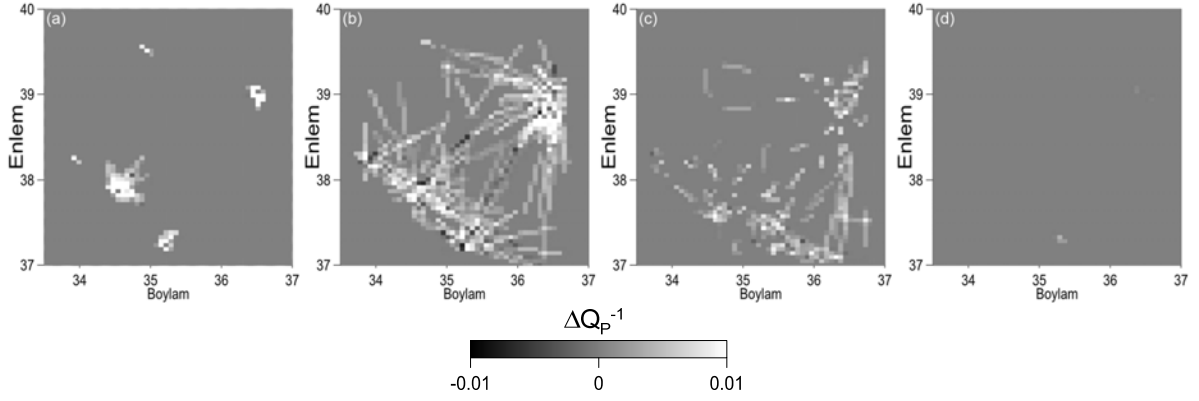
EÇH'de gerilimin periyodu Erken Eosen'e kadar etkin olmuştur. EÇH'de Orta Eosen yaşlı birimler, havzanın güney sınırındaki çökeller ve kuzeyde bölgesel geçiş türü yapılanması ile karakterize edilmektedir. Bu asimetric gelişim, muhtemelen Ecemis Fayı'nın oluşumu ile ilişkili, doğrultu atımlı hareketlerle ilgili bir yarım-graben sisteminin oluşumunu göstermektedir. Diğer taraftan, güney kenardaki kuzey yönlü bindirme fayı Geç Eosen-Oligosen döneminde etkin olan ve muhtemelen Geç Miyosen sonuna kadar sürmüş bir sıkışma rejimini ifade etmektedir [49]. Bu durum Şekil 7-8'de görülmektedir. Burada P dalgası soğurulmasının yüksek olduğu yerler tektonik açıdan aktif olan alanlardır. Elde edilen soğurulma anomalilerinin tektonik yapı ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Nevşehir ve çevresinde Q_p^{-1} dağılımının belirlenmesi amacıyla farklı derinliklerde yatay

kesitler alınmıştır (Şekil 7a-d). Şekil 7a'da deniz seviyesinden 1600 m yukarıda, diğer bir deyişle yer yüzeyinde soğurulma Melendiz Dağı, Erciyes dağı'nın kuzeydoğusunda, Aladağlar ve küçük boyutta da olsa Nevşehir-Kozaklı ilçesi civarında gözlemlenmektedir. Deniz seviyesinden yaklaşık 1100 m derinlikte P dalgası soğurulması EFZ ve TFZ boyunca daha geniş bir alanda, daha çok fay segmentleri boyunca uzandığı tespit edilmiştir (Şekil 7b). Deniz seviyesinden 10.000 m derinlerde soğurulmanın alansal olarak arttığı, ancak EFZ'nu açısız olarak kesen güneydeki faylara göre de şekillendiği görülmektedir (Şekil 7c). Yaklaşık 28000 m derinlerde soğurulma sadece EFZ üzerinde görülmektedir (Şekil 7d). Bu durum en derin depremlerin bu fay zonu üzerinde meydana geldiğini, hatta odak derinliğinin kabuk manto sınırına kadar ulaştığını göstermektedir. Ancak soğurulmanın Erciyes dağı civarında yüksek, Aladağları tarafında düşük olduğu görülmektedir. Bu da Orta Anadolu'daki blok hareketin soğurulma değişimi gösteren alanların TFZ ve EFZ boyunca uzandığı görülmektedir.

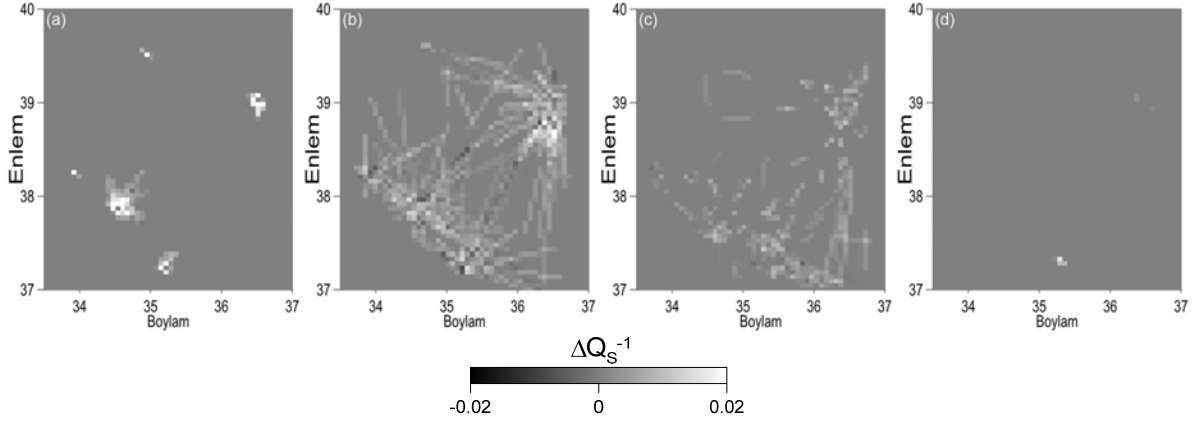
Nevşehir ve çevresinde Q_s^{-1} dağılımının belirlenmesi ile S dalgası soğurulmasının alansal değişimi Şekil 9a-d'da görülmektedir. Şekil 9a'da deniz seviyesinden 1600 m yukarıda, yer yüzeyine yakın seviyede soğurulma Melendiz dağı, Erciyes dağı'nın kuzeydoğusunda ve Aladağlar civarında gözlemlenmektedir. Bu soğurulma değerlerinin daha çok volkanizmaya bağlı olduğu düşünülmektedir. Deniz seviyesinden yaklaşık 1100 m derinlikte S dalgası soğurulması EFZ boyunca ve TFZ'nin GD'ya uzanımında, Kayseri-Yeşilhisar Havzası'nda ve bu havzanın doğusunda gözlemlenmektedir (Şekil 9b). Deniz seviyesinden 10000 m derinlerde S dalga

Soğurulması Erciyes dağı bölgesinde alansal, Aladağlar tarafında ile daha çok GD-KB yönünde uzanımsal olarak yüksek olduğu görülmektedir. Yaklaşık 28000 m derinlerde S soğurulmasının Erciyes Dağı ve Aladağlar civarında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki volkanizmanın kaynağının Erciyes ve Aladağlar bölgesi olduğu düşünülmektedir. S dalgası soğurulmasının en yüksek bölgesinin Erciyes Dağı'nın kuzey doğusu olduğu Şekil 10, 11 ve 12'de çok net olarak görülmektedir. S dalgası soğurulması bölgedeki volkanizmanın yanında tektonizma ve bölgesel hareketlere bağlı yer değiştirmeye ve Erciyes Volkanı'nın bu alandaki çok genç parazitik konilerinin oluşturduğu sığ magma odalarına bağlı olarak şekillenmektedir.

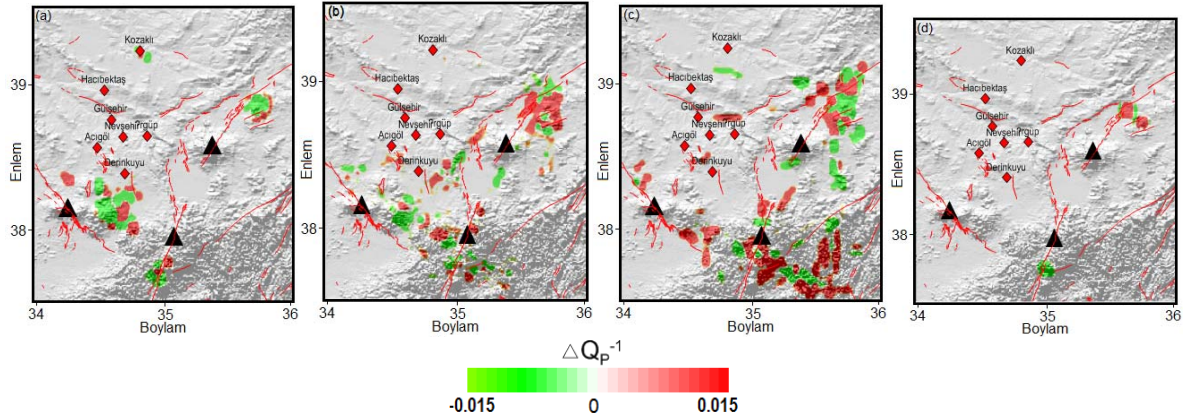
Şekil 2'de görülen AA'boyunca alınan kesitte P ve S dalgası soğurulma değişimi Şekil 11'de verilmiştir. P dalgası (üste) sorulması ile Melendiz Dağı'nın krater ağız yapısı net bir biçimde görülmektedir. Burada kraterin ağız kısmına yakın alanda volkanik tüf gibi süngerimsi yapılar nedeniyle yoğunluğun düşük olduğu için soğurulma yüksektir. Soğurulmanın düşük olduğu (yeşil renk ile gösterilen alanlar) yoğunluğun yüksek olduğu alanlar mağmatik kayaların dağılımına göre şekillenmiştir. Bu durum aynı zamanda tektonizma ile oluşan sıkışma sonucu yoğunluğun



Şekil 5. a) 1600 m yüksekliğinde b) -1100 m c) -10000 m ve d) -28000 m derinliklerindeki P Dalgası soğurulması dama tahtası testi sonuçları (Results of P-wave attenuation checkerboard test at (a) 1600 m height (b) -1100 m (c) -10000 m and (d) -28000 m depth)



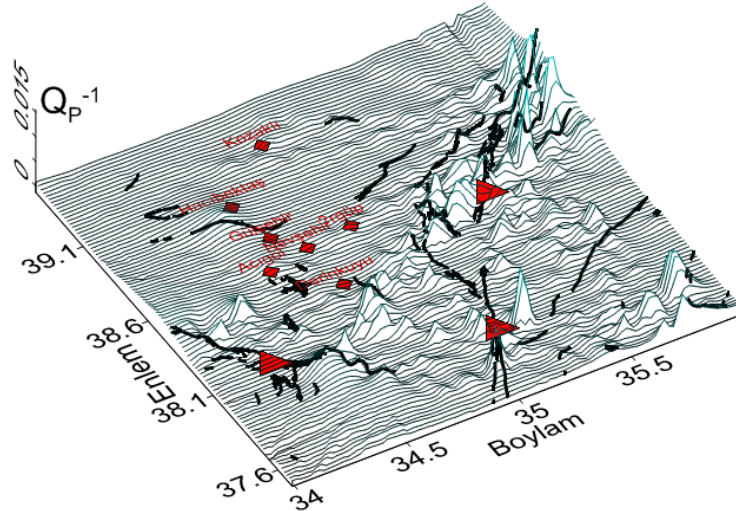
Şekil 6. a) 1600 m yüksekliğinde b) -1100 m c) -10000 m ve d) -28000 m derinliklerindeki S Dalgası soğurulması dama tahtası testi sonuçları (Results of S-wave attenuation checkerboard test at (a) 1600 m height (b) -1100 m (c) -10000 m and (d) -28000 m depth)



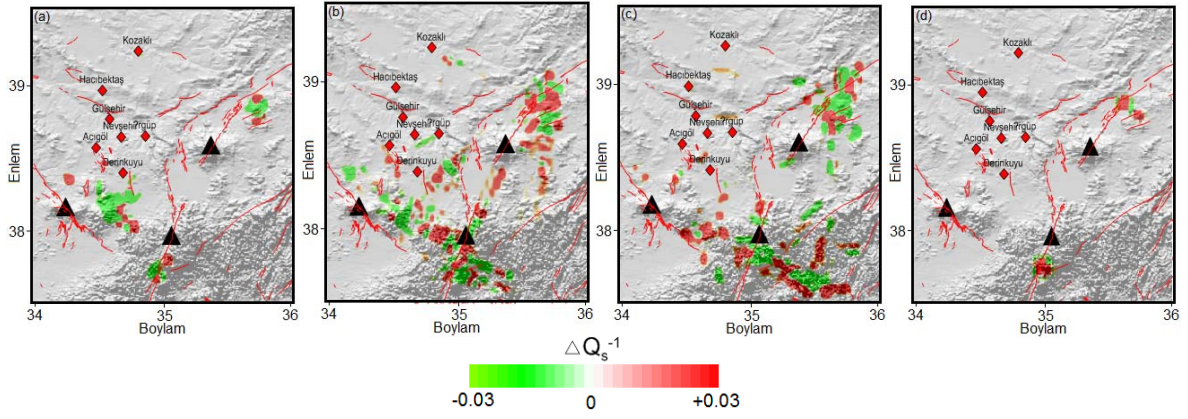
Şekil 7. a) 1600 m yüksekliğinde b) -1100 m c) -10000 m ve d) -28000 m derinliklerindeki P Dalgası soğurulması değişimi. Buradaki yapısal unsurlar metin içerisinde açıklandığı üzere Dirik vd. [49] 'nin bulguları ile uyumludur (Results of P-wave attenuation distribution at (a) 1600 m height (b) -1100 m (c) -10000 m and (d) -28000 m depth. In this region, the structural fragments mentioned in the text are compatible with the results of Dirik et al. [49]).

yüksek olduğu alanlardır. Melendiz Dağı ve Hasan Dağı volkanlarının oluşumunun doğudan batıya doğru uzandığı görülmektedir. Ancak P ve S dalgası soğurulma yapısının batıda yüzeye yakın, doğuda ise daha derinde görülmesi Anadolu blokunun levha olarak batıya doğru hareket ettiğini

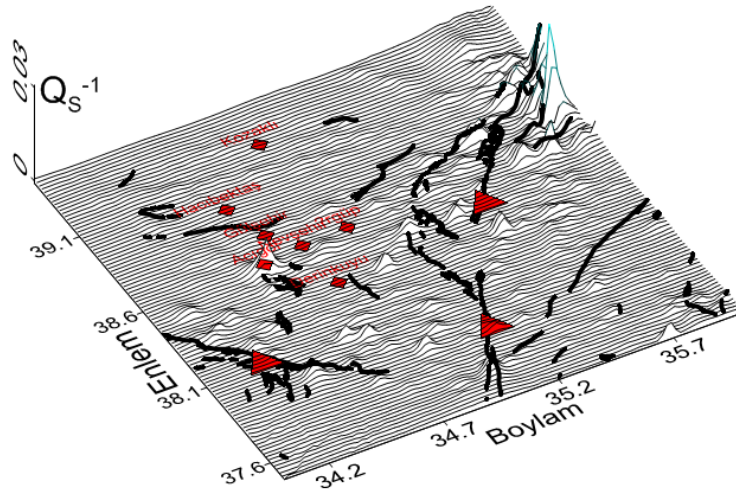
de göstermektedir. Bu durum Üst Kratese yaşlı Orta Anadolu ofiyolitlerinin bölgede çok net görülmesini sağlamaktadır. Şekil 11'de Melendiz Dağı'nda S dalgası (altta) soğurulmasının yüksek ve düşük olduğu alanlar görülmektedir.



Şekil 8. P dalgası soğurulma yapısının yüksek olduğu alanların alansal olarak dağılımı ve tektonik yapı ile ilişkisi (Spatial distribution of P wave attenuation structure is high and related with tectonic structures).



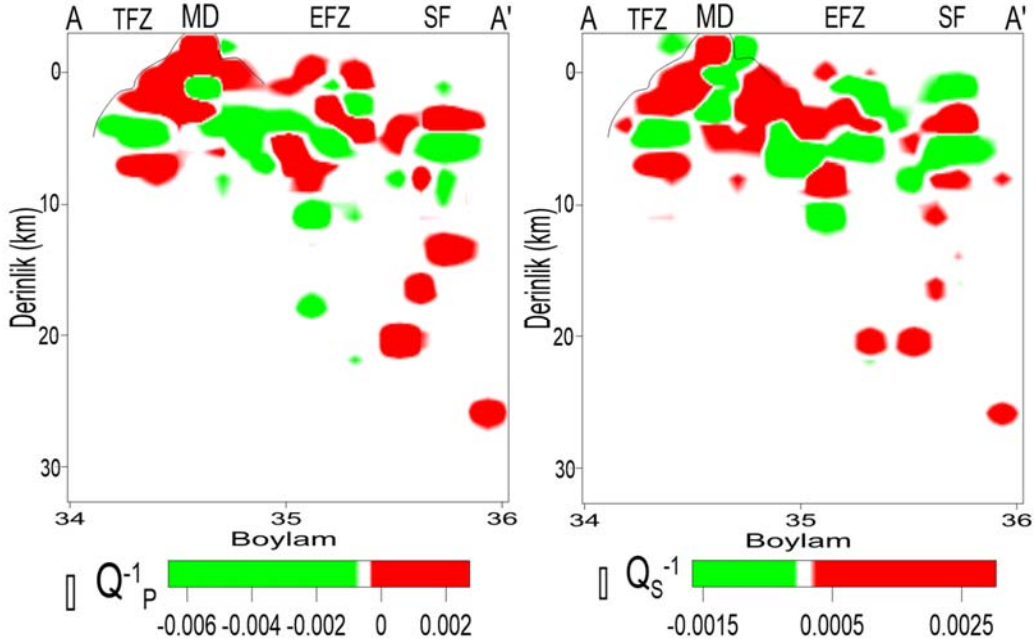
Şekil 9. a) 1600 m yüksekliğinde b) -1100 m c) -10000 m ve d) -28000 m derinliklerindeki S Dalgası soğurulması değişimi (Results of S-wave attenuation distribution at (a) 1600 m height (b) -1100 m (c) -10000 m and (d) -28000 m depth)



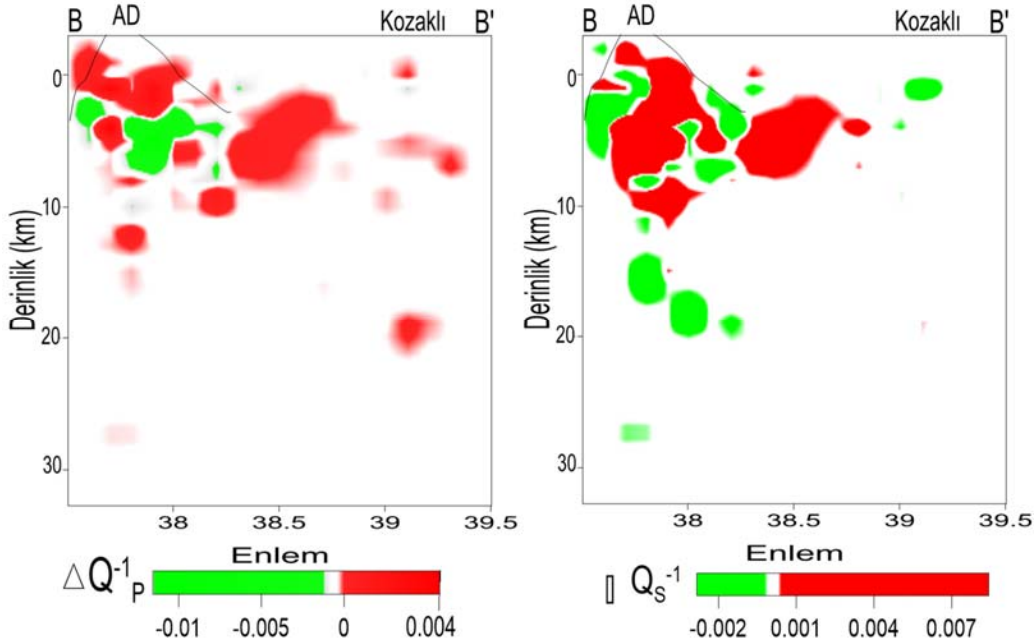
Şekil 10. S dalgası soğurulma yapısının yüksek olduğu alanların alansal olarak dağılımı ve tektonik yapı ile ilişkisi (Spatial distribution of S wave attenuation structure is high and related with tectonic structures).

Krater ağzına doğru soğurulmanın yüksek olduğu yerlerde akışkan ve gaz çıkışlarına bağlı yapılar olma ihtimali yüksektir. Soğurulmanın düşük olduğu yerlerde ise mağmatik malzemelerin katılmış olduğu görülmektedir. Şekil 11’de EFZ ve Sarız Fayı’nın (SF) izlerini ve tektonik alterasyon alanlarını görmek mümkündür. Özellikle EFZ ve SF arasında kalan alanda alterasyon zonu çok net olarak görülmektedir. Bu da levha hareketi ile gerilme-deformasyon ilişkisine bağlı olarak gelişmiştir. Şekil 2’de

görülen BB’boyunca alınan kesitte P ve S dalgası soğurulma değişimi Şekil 12’de verilmiştir. P dalgası soğurulması (üstte) EFZ civarında yüksek olduğu ve bu durumun derine doğru devam ettiği tespit edilmiştir. Nevşehir’in altında yaklaşık 2-8 km arasında soğurulmanın yüksek olduğu bir alan tespit edilmiştir. Hızın düşük olduğu bu alanda sismotektonik aktivitenin yüksek olduğu görülmektedir. Burada Anadolu Bloku’nun batıya doğru hareketi ile sıkışma zonundan kaynaklanmaktadır. Bu kesitte yüksek



Şekil 11. D-B doğrultusunda 38.10 K enlemi boyunca P (üstte) ve S (altta) dalga soğurulması. TFZ: Tuzla fay zonu, EFZ; Ecemiş Fay zonu, SF: Sarız Fayı, MD: melendiz dağı (P (upper) and S (below) wave attenuation along the 38.10° K altitude in the D-B direction. TFZ: Tuzla Fault zone, EFZ; Ecemiş Fault zone, SF: Sarız Fault, MD: Melendiz mountain).



Şekil 12. K-G doğrultusunda 35 D boylamı boyunca P (üstte) ve S (altta) dalga soğurulması. EFZ; Ecemiş Fay zonu (P (upper) and S (below) wave attenuation along the 35.00° D longitude in the K-G direction. EPT; Ecemiş Fault zone, AD: Aladağlar).

soğurulmanın hakim olduğu tespit edilmiştir. Bu durum altere zonları ile ilişkilidir.

BB'kesiti boyunca S dalgası soğurulması değişimi Şekil 12'de (altta) görülmektedir. Aladağlar civarında soğurulmanın yüzeye doğru arttığı görülmektedir. Bu durum Aladağlar bölgesindeki volkanik aktiviteden kaynaklanmaktadır. Bunlar daha çok gaz ve akışkan yapılar ile ilgilidir. Bölgede derine doğru soğurulma azalmaktadır. Bu da bölgede mağmatik kayaların derinde soğuması neticesinde oluşmuştur. Şekil 12'de EFZ'ye bağlı tektonik alterasyon alanlarını görmek mümkündür. Bu da levha hareketi ile gerilme-deformasyon ilişkisine göre gelişmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yüzeyde Kuvaterner volkanizması TFZ ile EFZ arasında yaygın olarak görülmektedir. Bu durum yüksek soğurulma anomalileri, 25 km derinliğe kadar olan akışkan bölgesi olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Erciyes, Melendiz, Hasandağı ve Aladağlar volkanik yapıları ile uyumlu olup, derine doğru soğurulmanın düştüğünü ortaya koymaktadır. EFZ'nin doğusuna doğru volkanik yapılar derinde çok devam etmez iken, güneybatıya doğru Karadağ ve Karacadağ'a doğru derinde devam etmektedir. Volkanizmanın Melendiz, Karadağ, Aladağlar tarafında daha derine doğru takip edilebildiği görülmüştür. Nevşehir'in içinde bulunduğu TFZ ile EFZ arasında volkanik yapıların kollar şeklinde GB-KD uzanımlı olduğu, ayrıca Nevşehir'in altından Gümüşkent'e doğru 4-5 km derinlikte K-G uzanımlı bir yapının olduğu da gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile Kuvaterner volkanizmasının yoğun olduğu bu bölgede P ve S dalgası soğurulma yapısının belirlenmesi ile sismotektonik yapı, jeotermal enerji ve hammadde kaynaklarının araştırılmasına katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aki, K., Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *Journal of Geophysical Research*, 74, 615- 631, 1969.
2. Aki, K., Chouet, B., Origin of Coda wave: Source, attenuation and scattering effects, *Journal of Geophysical Research*, 80 (21), 3322-3342, 1975.
3. Aki, K., Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 85, 6496-6504, 1980.
4. Pulli, JJ., Attenuation of coda waves in New England, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74 (4), 1149-1166, 1984.
5. Van Eck, T., Attenuation of coda waves in the Dead Sea region. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 2, 770-779, 1988.
6. Ambeh, WB., Fairhead, JD., Coda-Q estimates in the Mount Cameroon volcanic region, West Africa. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 79, 1589-1600, 1989.
7. Catherine, RDW., Estimation of Q in Eastern Canada using coda waves. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 80, 411-429, 1990.
8. Frenkal, A., Mcgarr, A., Bicknell, J. Mri, J., Seeber, L., Cranswick, E., Attenuation of high-frequency shear waves in the crust: measurements from New York State, South Africa and Southern California. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17441-17457, 1990.
9. Novelo-Casanova, DA., Lee, WHK., Comparison of techniques that use the single scattering model to compute the quality factor Q from coda waves. *Pure and Applied Geophysics*, 135, 77-89, 1991.
10. Gupta, SC., Kumar, A, Singh, VN., Basu, S. Lapsetime Dependence of Qc in the Garhwal Himalaya, *Bull. Ind. Soc. Earth. Tech.* 33, 147-159, 1996.
11. Kumar, A., Pandey, AD., Sharma, ML., Gupta, SC., Verma, AK., Gupta, BK Processing and preliminary interpretation of digital data obtained from telemetered seismic array in the Garhwal Himalaya. *Proceeding of 10th Symp. Of Earthquake Engineering. University of Roorkee, Roorkee*, pp. 141-152, 1997.
12. Mandal, P., Rastogi, BK., A frequency-dependent relation of coda Qc for Koyna-Warna region, India. *Pure Appl. Geophys.* 153, 163-177, 1998.
13. Gupta, SC., Kumar, A., Seismic wave attenuation characteristics of three Indian regions: a comparative study. *Curr. Sci.* 82, 407-412., 2002.
14. Paul, A., Gupta, SC., Pant, C., Coda Q estimates for Kumaun Himalaya. *Proceedings of the Indian National Science Academy (Earth and Planetary Science)* 112, 569-576, 2003.
15. Şahin, Ş., Alptekin, Ö., Güneybatı Anadolu'da kabuk ve üst mantoda sismik dalgaların frekans bağımlı soğurulması, *Yerbilimleri*, 27(2) 53-62, 2003.
16. Parvez, IA., Sutar, AK., Mridula, M., Mishra, SK., Rai, SS., Coda Q estimates in the Andaman Islands using local earthquakes. *Pure Appl. Geophys.* 165, 1861-1878, 2008.
17. Sharma, J., Crustal Investigations in Garhwal-Kumaun Himalayas: Velocity Tomography and Qc. Unpublished Ph.D. Thesis, IIT Roorkee, pp 249, 2008.
18. Sharma, B., Dinesh KSS., Teotia, BK., Rastogi, AK., Gupta, SP., Attenuation of Coda Waves in the Saurashtra Region, Gujarat (India). *Pure Appl. Geophys.* doi: 10.1007/s00024-011-0295-1, 2011.
19. Aydın, U., Şahin, Ş., Kalkan, E., Yarbaşı, N., Aksoy, G., Kemaliye çevresinde Pg, Sg Soğurulması ve yeni magnitüd fomülü, *Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (1), 13-23, 2012.
20. Şahin, Ş., Çınar, M., Frequency dependent attenuation of Coda Waves in the crust in Southwest Anatolia (Turkey), *Pure and Applied Geophysics*, 171, 1203-1217, DOI: 10.1007/s00024-013-0690-x. 2014.
21. Sato, H., Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation. *Journal of Geophysical Research*, 25, 27-41, 1977.
22. De Siena, L., Del Pezzo, E., Bianco, F., Tramelli, A., Multiple resolution seismic attenuation imaging at Mt. Vesuvius, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 173, 17-32, 2009.

23. Aydın, F., Kapadokya Volkanik Kompleksi'nin Gelişimi ve volkanizmanın bölge üzerindeki etkileri. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, Ürgüp-Neveşehir, 2009.
24. Göncüoğlu, MC., Toprak, V., Kuşçu, İ., Erler, A., Olgun, E., Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi. Bölüm 1: Güney kesim, TPAO Rapor No: 3155, Ankara, 140 s. 1991.
25. Toprak, V., Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 85, 55-67, 1998.
26. Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J., Tokel, S., Notsu, K., Ul, T., Can, B., Selvi, Y., Yıldırım, T., Fisekei, A., Ölmez, M., Akbasli, A., The origin and evolution of the Cenozoic volcanism of Hasandağı- Karacadağ area (Central Anatolia) *Jeomorfoloji Dergisi.* 18, 39-54, 1990.
27. Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J. I., Ui, T., Notsu, K. ve Fujitani, T., Hasandağı-Karacadağ (Orta Anadolu) Kuvaterner volkanizmasına ilişkin yeni jeokimyasal, izotopik ve radyometrik veriler. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 7, 8-22. 1992.
28. Göncüoğlu, MC., Toprak, V., Neogene and Quaternary volcanism of central Anatolia: a volcano-structural evaluation. *Bull. de la Section de Volcanologie Soc. Géol. France.* 26, 1-6, 1992.
29. Temel, A., Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Turkey, 208 s., 1992.
30. Aydar, E., Gündoğdu, N., Bayhan, H., Gourgaud, A., 1994. Kapadokya bölgesinin Kuvaterner yaşlı volkanizmasının volkanik-yapısal ve petrolojik incelenmesi. *Yerbilimleri*, 3, 25-42.
31. Toprak, V., Göncüoğlu, M.C., Tectonic control on the evolution of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey. *Geol. Jour.* 28, 357-369, 1993.
32. Schumacher, R., Mues-Schumacher, U., The Kizilkaya ignimbrite –an unusual low-aspect-ratio ignimbrite from Cappadocia, central Turkey: *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 70, 107-121, 1996.
33. Dirik, K. Göncüoğlu, M. C., Neotectonic characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807-817, 1996.
34. Deniel, C., Aydar, E., Gourgaud, A., The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calc-alkaline to alkaline magmatism in a collision zone. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 87, 275-302, 1998.
35. KRDAE-Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, İstanbul
36. Sato, H., Fehler, MC., *Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogenous Earth.* Springer, 1998.
37. Del Pezzo, E., Bianco, F., De Siena, L., Zollo, A., Small scale shallow attenuation structure at Mt. Vesuvius. *Phys. Earth Planet. Inter.* 157, 257–268, 2006.
38. Dinç, AN., Afyon-Sultandağı bölgesi hız yapısının yerel deprem tomografisi yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
39. Ozer C., Gok E., Polat O., Three-Dimensional Seismic Velocity Structure of the Aegean Region of Turkey from Local Earthquake Tomography, *Annals of Geophysics*, 21 (61), 2018.
40. Akın, U. Çiftçi, Y., Heat flow of the Kırşehir Massif and Geological sources of the radiogenic heat production, *Mineral Res. Expl. Bull.*, 143, 53-73, 2011.
41. Akın, U. and Duru M., Türkiye Isı Akısı Haritası (manyetik verilerden) Raporu, General Directorate of Mineral Research and Exploration Report No. 10840, (unpublished), Ankara, 2006.
42. İlkışık, O. M, Gürer, A., Toksöz, T., Kaya, C., Geoelectromagnetic and geothermic investigations in the Ihlara Valley geothermal field. *Journal of Volcanology and geothermal Research*, 78 (3-4), 297-308, 1997.
43. Şengor, AMC., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 55: 361-376, 1981.
44. Frizon de Lamotte, D., Raulin, C., Mouchot, N., Wrobel-Daveau, JC., Blanpied, C., Ringenbach, JC., The southernmost margin of the Tethys realm during the Mesozoic and Cenozoic: Initial geometry and timing of the inversion processes. *Tectonics* 30: TC3002, 2011.
45. Kurcer, A., Yeleser, L., Karzaoğlu, H., İzladı, E., Aykac, S., Kutlu, S., Kose, K., Bostan, S., Kurdal, S., Neotectonic Characteristics and Paleoseismology of Salt Lake Fault Zone, Central Anatolia, Turkey. MTA Report No. 11573. Ankara, Turkey: MTA, 2012.
46. Koçyiğit, A., Doğan, U., Strike-slip neotectonic regime and related structures in the Cappadocia region: a case study in the Salanda basin, Central Anatolia, Turkey, *Turkish J Earth Sci*, 25, 393-417, 2016.
47. Koçyiğit A, Beyhan, A., A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics* 284: 317-336, 1998.
48. Koçyiğit, A., Erol, O., A tectonic escape structure: Erciyes pullapart basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey. *Geodin Acta* 14: 133-145, 2001.
49. Blumenthal, M., Niğde ve Adana vilayetleri dolayındaki Torosların jeolojisine umumi bir bakış. MTA Yayınları Seri B6. Ankara, Turkey: MTA (in Turkish), 1941.
50. Dirik, K., Göncüoğlu, M. C., Kozlu, H., Stratigraphy and pre-Miocene tectonic evolution of the southwestern part of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey *Geological Journal* 34, 303-319, 1999.

