

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

VAN GÖLÜ HAVZASININ 3B HIZ MODELLEMESİ

Cafer Yaşar KARABULUT

**Danışman
Prof. Dr. Şakir ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Cafer Yaşar KARABULUT]

TEZ ONAYI

Cafer Yaşar KARABULUT tarafından hazırlanan "**Van Gölü Havzasının 3B Hız Modellemesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Şakir ŞAHİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa Nuri DOLMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Fadime SERTÇELİK
Kocaeli Üniversitesi



Enstitü Müdürü

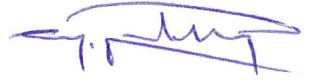
Prof. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Cafer Yaşar KARABULUT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması.....	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Van ve Çevresinin Tektoniği.....	5
3.2. Van ve Çevresinin Depremselliği.....	7
3.2.1. Tarihsel Dönem Deprem Etkinliği (M.S. 1101-1899).....	8
3.2.2. Aletsel Dönem Deprem Etkinliği (1900-2015)	9
3.2.3. Merkez Üstü ve Derinlik Dağılımı	10
3.2.4. Odak Mekanizması Çözümleri	11
3.2.5. Depremin Zemin üzerine Etkileri	12
3.3. 23 Ekim 2011 Van Depremi.....	13
3.4. Sismik Tomografi.....	15
3.5. P, S Dalgası Hızı ve Poisson Oranı Dağılımı	15
3.6. Veri.....	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
5. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VAN GÖLÜ HAVZASININ 3B HIZ MODELLEMESİ

Cafer Yaşar KARABULUT

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şakir ŞAHİN

Bu tez çalışmasında, Van Gölü havzanın sismotektonik özelliklerinin ortaya konulmasını amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Van Gölü havzasını içeren alanın kabuğunda, P ve S dalgaları hız değişimi ile Poisson oranı değişimi belirlenmiştir. Zamansal olarak değişimin ortaya konulması ile birlikte 23 Ekim 2011 Van depremi öncesi ve sonrasında hız ve Poisson oranının nasıl bir değişim gösterdiği ortaya konulmuştur. Tüm bunlarla birlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin odak mekanizması çözümü ve deprem parametreleri ile tomografik sonuçlarla uyumlu olup olmadığı incelenmiştir. Van Gölü Havzası'nın kabuk yapısı ve hız dağılımı Zhao vd. (1992) tarafından geliştirilen Üç Boyutlu Poisson Tomografisi metodu ile incelenmiştir. Bu amaçla Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilen deprem istasyonlarında kaydedilen depremlerin katalog ve bülten verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlar 25 geniş bant ve 3 kısa periyotlu sismograflardan oluşmaktadır. İnceleme alanında 2007 ile 2016 yılları arasında oluşmuş 13409 adet depreme ait parametreler ve cisim dalgası varış zamanları kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kabuk yapısı, sismik dalga, sismik tomografi, Van Depremi, Van Gölü Havzası

2017, 69 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

3D VELOCITY MODELING OF VAN LAKE BASIN

Cafer Yaşar KARABULUT

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şakir ŞAHİN

In this study, It is aimed to determine the seismotectonic properties of Van Lake basin. In this situation, in the crust of the area containing the Van Lake basin, the variation of Poisson ratio with the change of velocity of P and S waves was determined. It is demonstrated the change of seismic velocity and poisson ratio before and after of mainshock of October 23, 2011 Van Earthquake. With all these, October 23, 2011 Van Earthquake focal mechanism solution and earthquake parameters and whether it is compatible with tomographic results. Lake Van basin crust structure and velocity distribution were investigated by the method of three-dimensional Poisson Tomography method developed by Zhao et al. (1992). For this purpose, the catalog and bulletin data recorded by seismic stations operated by Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) were used. These stations consist of 25 board-band and 3 short-period seismographs. The parameters and arrival times of body waves of 13409 earthquake occurred between 2007 and 2016 in the investigating region.

Keywords: Crust structure, seismic wave, seismic tomography, Van earthquake, Lake Van basin

2017, 69 pages

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda;

Yön vermesi, bilgi aktarması ve destekleriyle değerli danıőmanım Prof. Dr. Şakir ŞAHİN'e,

Jeofizik adına bana çok Őey öğreten, daha önceki danıőmanım emekli öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Veli Kara'ya,

Tezin içeriğinde kullanılan bilgisayar programlarında yardımları olan Dr. Erdinç Öksüm'e, Arő. Gör. İbrahim Hakan Demirsıkan'a ve Arő. Gör. Canan ifti'ye,

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni evlerinde misafir eden ve her açıdan desteklerini sunan yengem Őerife Karabulut'a, abim Nazım Karabulut'a ve aramıza yeni katılan yeğenim Zehra Karabulut'a ,

Aslında varlıkları yetse de her zaman emekleri ve destekleri olan tüm aileme ve dostlarıma,

Çok teşekkür ederim.

Cafer Yaşar KARABULUT
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanı ve Türkiye'nin genel fay haritası	2
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin önemli tektonik yapıları	6
Şekil 3.2. Van Gölü ve yakın çevresinin sismotektonik haritası	7
Şekil 3.3. Bölgede meydana gelen tarihsel depremlerin dağılımları. Burada depremler yıldız ile gösterilmiştir	9
Şekil 3.4. Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremler ve son yıllarda meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizmaları	10
Şekil 3.5. 23 Ekim 2011 Van (anaşok) ve sonrasında meydana gelen depremlerin ($M_w > 5$) farklı kaynaklara göre odak mekanizma çözümleri ve dağılımları	11
Şekil 3.6. Van gölü doğu kıyısı boyunca Van Gölünün yaşlı çökellerindeki eski depremlere ait deformasyon yapıları ile Van depremi sırasında gelişmiş deformasyon yapılarının gözlemlendiği yerleri gösteren harita	12
Şekil 3.7. Van Gölü ve dolayının aktif fayları ile 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Edremit depremlerinin ana şokları ve artçı depremlerin dağılımını gösterir harita	13
Şekil 3.8. 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi ve sonrasındaki deprem sayısının günlere göre dağılımı	14
Şekil 3.9. 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi ve sonrasında günlere göre büyüklük (M_s) dağılımı	14
Şekil 3.10. Bir sinyalin iki tabakalı ortamdaki ışın yolu ve bir süreksizlik boyunca ışının kırılma durumu	17
Şekil 3.11. Pseudobending tekniği ve Snell yasasına göre iteratif ışın yolu metodu	18
Şekil 3.12. Küresel üç tabaka modelinde üç boyutlu ışın yolu dizisi. Dikey ve yatay yönde farklı uzunluk ölçüleri belirlenmiştir. Odak derinliği 50 km'dir ve merkez üstü mesafesi 70.7 km'dir	19
Şekil 3.12. Tomotools V1.0 parametreleri girişi	21
Şekil 3.14. Tomotools V1.0 Kontrol parametreleri	21
Şekil 3.15. 1-B hız ve derinlik modeli (KRDAE) girişi	22
Şekil 3.16. Tomotools V1.0 model girişi	22
Şekil 3.17. Gridleme işlemi	23
Şekil 3.18. P dalgası tomografi işlemi	24
Şekil 3.19. Kullanılan veri yapısı (1. Satır: yılaygünsaatdakika saniye enlem boylam derinlik faz sayısı büyüklük rms. 2. Satır İstasyon varış süresi faz. 1 P dalgası fazı, 2 S dalgası fazı)	25
Şekil 3.20. a) P- dalga ve b) S- dalga veri dizilerinin seyahat güzergahları dağılımı. Deprem episantrı ile deprem istasyonu arasındaki her bir güzergah düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Küçük daireler ile gösterilenler deprem episantrlarını ve kare şekiller ise kayıt istasyonlarını göstermektedir	26
Şekil 3.21. Kullanılan 97834 adet P- dalga fazının 0 km (a), 5km (b), 15km (c) ve 24 km (d) derinliklerde alınan veri sayılarının konumlara göre değişimi. Faz sayıları yanlarda gösterilmiştir	27

Şekil 3.22. Kullanılan 31122 S-dalga fazının 0 km (a), 5km (b), 15km (c) ve 24 km (d) derinliklerde alınan veri sayılarının konumlara göre değişimi. Faz sayıları yanlarda gösterilmiştir.....	28
Şekil 3.23. Çalışma alanı için kullanılan P ve S dalga hız modelleri	29
Şekil 3.24. Van Gölü ve çevresindeki mevcut KRDAE tarafından işletilen deprem istasyonlarının dağılımı	29
Şekil 4.1. Yatay yönde 0.2*0.2 Grid aralıklarının konumu	32
Şekil 4.2. Bu tez çalışması için alınan kesitlerin yerleri. A-A', B-B', C-C', D-D' ve E-E' sürekli düz çizgiler Şekil 4.3, 4.4, 4.5 4.6 ve 4.7'deki düşey kesitin yerlerini göstermektedir	33
Şekil 4.3. A-A'hattı boyunca Vp (a) ve Vs (b) hız değişimlerine ait düşey kesitler. a'da yaklaşık kabuk çizgisi oluşturulmuştur	34
Şekil 4.4. B-B'hattı boyunca Vp (a) ve Vs (b) hız değişimlerine ait düşey kesitler. a'da yaklaşık kabuk çizgisi oluşturulmuştur	35
Şekil 4.5. C-C' hattı boyunca (a) Vp ve (b) Vs hız değişimlerine ait düşey kesitler.....	36
Şekil 4.6. D-D' hattı boyunca (a) Vp ve (b) Vs hız değişimlerine ait düşey kesitler.....	37
Şekil 4.7. E-E' hattı boyunca (a) Vp ve (b) Vs hız değişimlerine ait düşey kesitler.....	38
Şekil 4.8. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	39
Şekil 4.9. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	40
Şekil 4.10. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	40
Şekil 4.11. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	41
Şekil 4.12. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	41
Şekil 4.13. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	42
Şekil 4.14. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	42

Şekil 4.15. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	43
Şekil 4.16. Araştırma bölgesinde 9 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda P dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	43
Şekil 4.17. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	44
Şekil 4.18. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	44
Şekil 4.19. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir...	45
Şekil 4.20. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	45
Şekil 4.21. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	46
Şekil 4.22. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	46
Şekil 4.23. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir...	47
Şekil 4.24. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	47
Şekil 4.25. Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük	

	hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	48
Şekil 4.26.	Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	48
Şekil 4.27.	Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir...	49
Şekil 4.28.	Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	49
Şekil 4.29.	Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	50
Şekil 4.30.	Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	50
Şekil 4.31.	Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir...	51
Şekil 4.32.	Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	51
Şekil 4.33.	Depremlerin hız-derinlik dağılımı	52
Şekil 4.34.	Deprem Sayısı ve V_p (%) değişimi	52
Şekil 4.35.	43.4^0 D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi	53
Şekil 4.36.	43.4^0 D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu	53
Şekil 4.37.	43.2^0 D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu	54
Şekil 4.38.	41^0 D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu.....	54
Şekil 4.39.	Araştırma bölgesinde 11 km derinlikteki Poisson oranı yüzde değişiminin bölgedeki faylarla uyumu. Açık mavi çizgiyle fayların etkisi vurgulanmıştır.....	55

Şekil 4.40.	Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	56
Şekil 4.41.	Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	56
Şekil 4.42.	Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	57
Şekil 4.43.	Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	57
Şekil 4.44.	Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	58
Şekil 4.45.	Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	58
Şekil 4.46.	Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte % poisson oranı (σ) değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir.....	59
Şekil 4.47.	Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte % poisson oranı (σ) değişiminin depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir	59
Şekil 4.48.	Van Gölü Havzası'nın üç boyutlu % poisson oranı (σ) değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği şekil üzerinde gösterilmiştir	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönemde meydana gelen depremler. Parantez içerisinde verilen rakamlar kaynak numaralarını göstermektedir.....	8
Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan verilerin kaydedildiği deprem istasyonları (KRDAE).....	30



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AZUR	Nice Üniversitesi, GeoAzur Laboratuvarı, Fransa
CAT	Bilgisayar Destekli Tomografi (Computer Aided Tomography)
CRT	Checkerboard resolution test
E	Doğu
EMSC	Avrupa Ortadoğu Sismoloji Merkezi
ERD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi
GFZ	Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi
HARV	Harvard CMT Kataloğu
INGV	Ulusal Deprem İzleme Merkezi, İtalya.
GPS	Global positioning system
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KAN	B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
KRDAE	Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
LET	Yerel deprem tomografisi
LSQR	Eşlenik gradyan algoritması (Least square QR)
Mb	Cisim dalgası magnitudü
Moho	Mohorovicic süreksizliği
Mw	Moment manitudü
N	Kuzey
NEIC	Ulusal Deprem Bilgi Merkezi
S	Güney
REDPUMA	İsviçre Sismoloji Merkezi
RMS	Ortalama karekök (root mean square)
SIMUL3	Tomografi Metodu
SVD	Hız Süreksizliği
UDIM	Ulusal Deprem İzleme Merkezi
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma
Vp	P dalga hızı
Vs	S dalga hızı
W	Batı
1-D	Bir boyut
3-D	Üç boyut
σ	Poissson oranı
λ	Elastik sabiti
δ	Birim impuls fonksiyonu
μ	Rijidite sabiti
ε	Elastik yamulma sabiti

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

23 Ekim 2011 Van Depremi, Van Gölü Havzası'nda sismoloji bilimi adına çalışmaların çoğaltılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

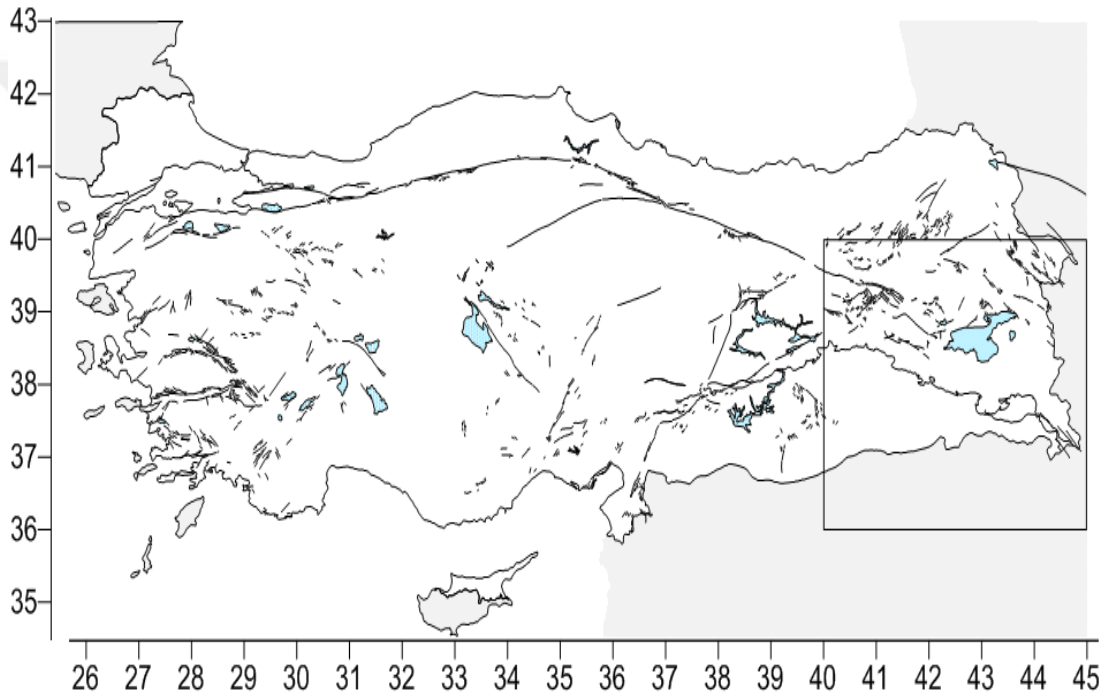
Van Gölü Havzası ve çevresi, Türkiye'nin sismotektonik açıdan aktif fay bölgesinde yer almakta ve yıkıcı depremlerin meydana geldiği bir bölgedir. Bölge, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bitlis Bindirme Kuşağı (BBK) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin uzantıları ile Karlıova Üçlü Eklemleri arasında sıkışma zonunda yer almaktadır. Ayrıca, Arap Levhası, Anadolu Levhası ve Doğu Anadolu Bloğu arasında sıkışma zonundadır. Bölge, tarihsel ve aletsel dönemde, ana şok sonrası uzun süren artçı şokların devam ettiği depremler meydana gelmektedir. Bu yönüyle ve faylanma özellikleriyle özgün bir alandır. Sismotektonik yapının ortaya konulması ve bölgede yapılacak diğer çalışmalara katkısı olması amacıyla Van Gölü Havzası ve çevresi çalışılmıştır.

Bu çalışmada, ilk olarak Van Gölü Havzası'nın sismotektonik özellikleri incelenmiştir. Bu doğrultuda, Van ve çevresinin yer kabuğunda P ve S dalgası hız yapısı ve Poisson oranı değişimi tespit edilmiştir. Aynı zamanda hız yapısını ve Poisson oranının tektonik yapı ile uyumu irdelenmiştir. Zamansal olarak değişimin ortaya konulması ile birlikte 23 Ekim 2011 Van depremi öncesi ve sonrasında hız ve Poisson oranının nasıl bir değişim gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin sonrasında bölgede oluşabilecek deprem aktivitesine ilişkin tespitlerde bulunulmuştur.

23 Ekim 2011 Van Depremi, ters faylanmadan kaynaklanmıştır. Ancak bölgede ters faylanma beklenmemekteydi. Bu yönüyle çalışmamız, bu depremin ve bundan sonra olacak depremlerin hangi tür faylanmayla gerçekleştiğini belirlemek için yapılmıştır. Ayrıca, Keskin (2003)'de, bölgede kabuk-manto sınırının belirgin olmadığı yönündeki bulgularının doğru olup olmadığına yönelik olarak da bu çalışma yapılmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı, Van Gölü Havzası ve çevresini içeren 36° - 40° Kuzey enlemleri ile 40° - 45° Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanının Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nin büyük bir bölümünü kapsayacak şekilde olarak asıl incelenecek alana göre geniş tutulmasının nedeni, Van Gölü Havzası'nın çevresindeki ana fay zonları olan Kuzey Anadolu Fay Zonu, Bitlis Bindirme Kuşağı ve Doğu Anadolu Fay Zonu'nun etkisinin görülebilmesi ve sismotektonik incelemenin elde edilecek bulgularla birlikte daha iyi yorumlanması amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı ve Türkiye'nin genel fay haritası

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Van Gölü Havzası ve çevresinin sismotektonik özelliklerini öğrenilmesine ve yeni yapılan çalışmaların yorumlanılmasına katkı sağlayan birçok çalışma yapılmıştır. Bölgenin deprenselliği incelendiğinde, geçmişten günümüze sıkça yaşanan ve yüksek büyüklükte olabilen depremlerin gerçekleştiği ve sismik çalışmaların artırılması gerektiği kanaati oluşturan bir bölgedir. Türkiye'nin ana tektonik unsurlarını belirleyen ilk çalışmalarda (Lahn, 1949), Van Gölü Havzası birinci derece deprem bölgesi olarak sınıflandırmıştır.

Sandvol vd. (2003), Doğu Anadolu'daki sismik aktivitenin daha önce gözlemlenenden yüksek olduğu ve hiposantr noktalarının doğruluğunu önemli ölçüde geliştirmişlerdir. Episantrların korelasyonu ve yüzey faylarının haritanması KAFZ ve DAFZ boyunca düzgün olduğunu gözlemlemişlerdir. Karlıova üçlü eklemının doğusunda yer alan sismik aktivite olası haritalanmamış fayları göstermekte olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuçlarında ayrıca belirtilenler; KAFZ'ın Karlıova eklemının doğusundan güneydoğu yönüne doğru uzandığını göstermektedir. Sismik aktivitelerin çoğu üst kabukta görülmektedir. Bununla birlikte, DAFZ, Bitlis Bindirme Kuşağı (BBK), Karlıova Eklemi ve Karlıova'nın doğusunda kalan bölge, 20 km'den daha derin kabukta ortaya çıkabilen bazı hiposentralara sahiptir. Bu durumda, DAFZ ve Bitlis sutureunun, sismojenik bakımdan KAFZ'dan daha kalın olduğunu düşündürebilir. Kuzey levhada veya Anadolu ya da Avrasya plakasında hiçbir kabuk altı olay gözlemlenmemektedir. Sürekli bir sismik bant, yaygın olarak tanımlanan KAFZ'ın (Karlıova) doğu yönden Van Gölü'ne uzanmaktadır. Bu gözlem, KAFZ'nin Kuzeybatı İran'daki Zagros Kuşağı'na kadar devam ettiğini göstermektedir. Kuzeybatı İran'daki Zagros Fayı'nın ve KAFZ'ın, Arap ve Avrasya plakalarının kenarında neredeyse kesintisiz olarak sağ yanal makaslama bandı oluşturmak üzere birleştiğini belirtmişlerdir (Sandvol vd., 2003).

Doğu Anadolu'da Van Gölü'nün batısı ve kuzeybatısında yapılan Sandvol vd. (2003) tarafından yapılan ve "Doğu Anadolu Sismik Ağı-The Eastern Turkey Seismic Experiment (ETSE)" çalışmasıdır. Günümüzde halen Arap ve Avrasya plakalarının

çarpışmasının Doğu Anadolu Fay Zonu ve Bitlis Bindirme Kuşağı boyunca olmakta olduğunu ortaya koymuştur. ETSE tarafından toplanan sismik veriler kabuk kalınlığının 45-48 km aralığında olabileceğini göstermiştir (Zor vd., 2003). Sismik hız çalışmaları, tomografik modeller ile birleştirilince, Doğu Anadolu Yüksek platosunun büyük bir kısmında manto litosferi görülmemiştir (Al-Lazki vd., 2003; Gök vd., 2003). Doğu Anadolu Yüksek platosu kalın bir kabuk tarafından olmasa da sıcak manto tarafından desteklenmektedir. ETSE ile bölgede kaydedilen deprem miktarında artış sağlanmış, kurulan istasyonların katkısı ile çok hassas çözümler ve derinlik dağılımları bulunmuştur (Türkelli vd., 2003). Sonuçlar, üst kabuğun deprem ürettiğini ortaya koymuştur. Yapılan gözlemlerde, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Van Gölü'ne doğru alan ile Karlıova Üçlü Ekleminin arasında sismik etkinlik ve birçok doğrultu atımlı faylanma mekanizması gözlenmiştir. ETSE sismik ağı sayesinde bölgede sismik deformasyonun devam ettiği belirlenmiştir (Kalafat vd., 2013).

Örgülü vd. (2003) tarafından bölgede oluşmuş 134 depremin odak mekanizma çözümleri yapılmıştır. Ters faylar sadece Avrasya-Arap plakası sınırının küçük bir bölümü boyunca Karlıova ekleminin güneybatısında gözlenmiştir. Van bölgesinde ETSE ve daha önceki çalışmalarda (Pınar vd., 2007; Kalafat vd., 2009) faylanma mekanizmaları genel olarak ters faylanma olduğu ortaya konulmuştur (Kalafat vd., 2013).

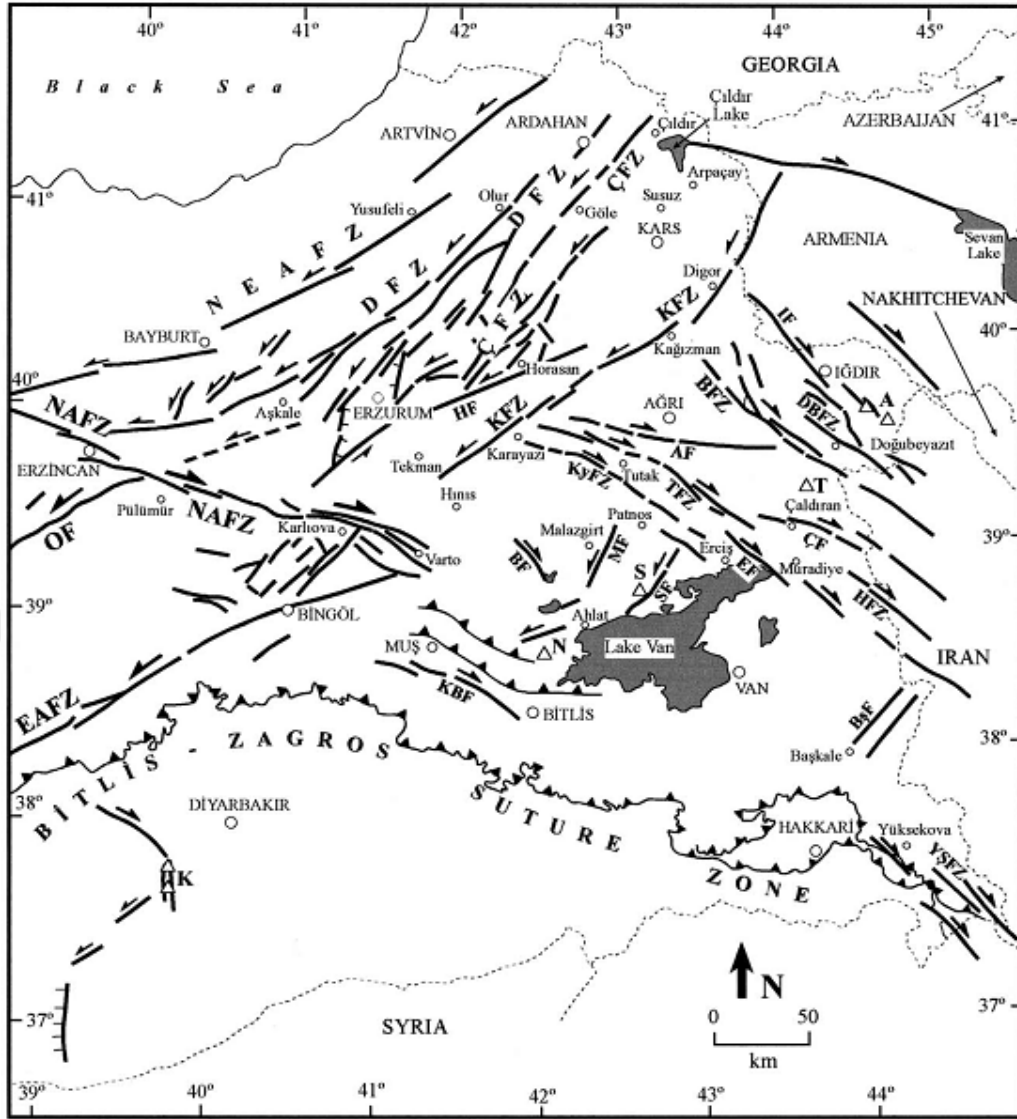
2004 yılında, Türk ve Alman üniversitelerinden katılımı ile ortaklaşa yürütülen Uluslararası Paleo-Van projesi (ICDP-Uluslararası Kıta Delme Projesi-2004) ile, Van Gölü havzası hem jeofizik hem de sedimantolojik olarak detaylı bir şekilde araştırılma imkanına kavuşmuştur. Projede genel olarak eski iklim değişikliklerini ve günümüze kadar gelen iklimsel sistematiği incelemek amacıyla gölün jeolojik potansiyelini belirlemek adına gerçekleştirilmiştir. Van Gölü'nde ilk jeolojik ve jeofizik çalışmalar 1978 yılında Alman bilim adamları ve Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün (MTA) ortaklaşa yürüttüğü "Van Gölü jeolojisi" başlıklı bir projeye çok geniş bir içerikte oluşturulmuştur. Aradan geçen 28 yıllık süre sonrasında uygulamaya koyulan bu proje (ICDP) ile yeni veriler toplanarak Van Gölü ile ilgili ilk ayrıntılı jeofizik-sismik yansıma çalışmalarının sonuçlarına ulaşılmıştır (Toker ve Ecevitöğlü., 2012).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Van ve Çevresinin Tektoniği

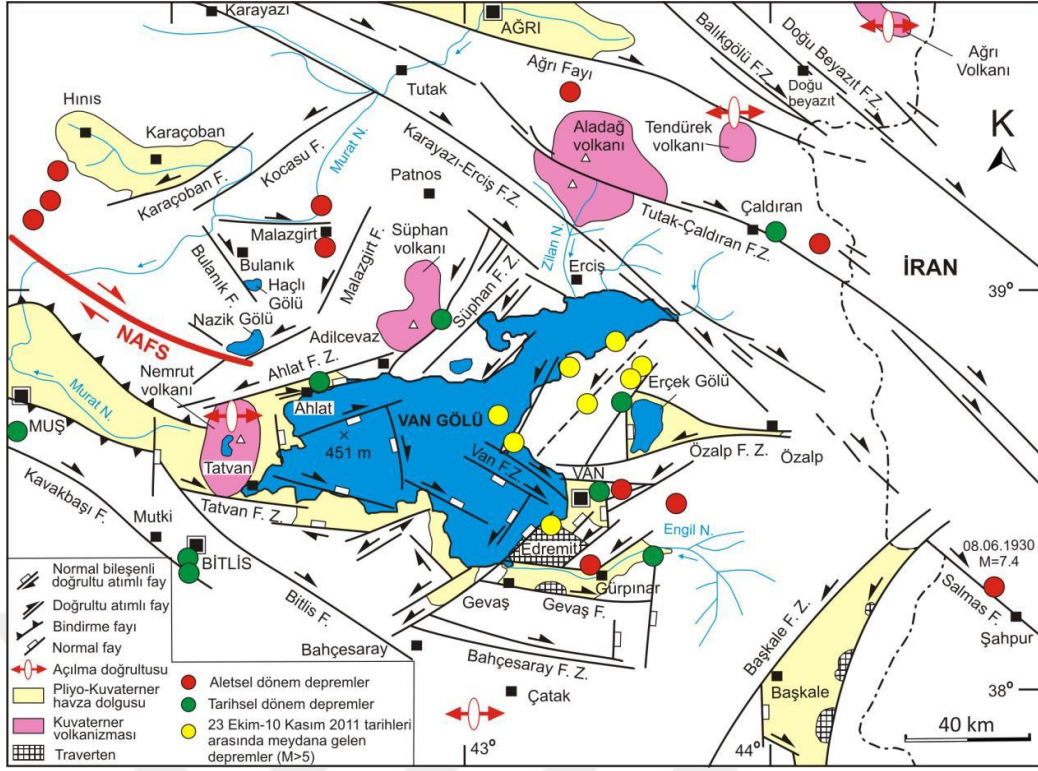
Doğu Anadolu Bölgesi, genel olarak Arap Plakası'nın kuzeye doğru hareketi ile oluşan sıkışma ağırlıklı tektonik birimlerin yer aldığı bir bölgedir. Arap Plakası ile Anadolu Plakası'nın güneydoğu sınırını oluşturarak İran sınırına kadar uzanan Bitlis Bindirme Zonu, 12 milyon yıl önce (orta-miyosen devirde), Arap ve Avrasya plakalarının çarpışması sonucu oluşmuştur (Kalafat vd., 2013). Çarpışmayla birlikte gelişen yeni bir tektonik rejim ve magmatik aktivite başlamıştır. Çarpışma sonrası etkin deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşmayla birlikte bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz vd., 1987). K-G yönlü kısılma ile kalınlaşan kabuk, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform faylarının oluşmasına neden olmuştur (Yılmaz vd., 1987).

Bitlis Bindirme Kuşağı'nın kuzeyinde yer alan Van Gölü Havzası, aynı zamanda Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı'yla kesiştiği Karlıova Eklemi ile Zagros Fay Zonu arasında yer almaktadır. Bu fay zonları, Van Gölü Havzası'nın da içinde olduğu bölgede tarihsel dönemden günümüze kadar önemli bir sismik hareketliliğe neden olduğu ve bölgenin büyük depremlerden etkilendikleri belirtilmiştir (Özkaymak vd., 2011). Van Gölü Havzası, Geç Pliyosende oluşmaya başlayarak volkanizmanın etkisiyle Kuvaterner başından itibaren günümüzdeki şeklini almıştır (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984). Üner vd. (2010)'nin bölgedeki Kuvaterner yaşlı çökeller üzerinde yaptıkları çalışmada, Van Gölü Havzası ve çevresinin Geç Kuvaterner'de 5 ve üzeri büyüklüklerde birçok depremin etkisinde kaldığı belirtilmiştir. (Özkaymak vd., 2011). Bu bilgiler ışığında çalışma alanının, tektonik açıdan Türkiye'nin önemli aktif bölgelerinden olduğu söylenebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin önemli tektonik yapıları (Bozkurt, 2001)

Çalışma alanında yer alan Van Gölü, oldukça şiddetli deformasyonlara uğrayan bir tektonik yapı içerisindedir (Şekil 3.2). Van Gölü, Arap ve Avrasya levhalarının çarpışması ile ortaya çıkan tektonik basınç sonucu oluşmuştur. Bölgedeki tektonik hareketlerin devam ediyor olması, Van Gölü Havzası ve çevresinin depremselliğini arttırmaktadır. Van Gölü'nün jeolojik geçmişi incelendiğinde kıta içi Oligo- Miyosen yaşta ve volkano-tektonik kökenli olduğu ve Muş havzasının hem sedimantolojik hem de tektonik bir devamı niteliğinde olduğu görülmektedir (Toker ve Ecevitöglü., 2012). Degens ve Kurtman (1978), Van gölü'nün son buzul dönemi sonrası yaklaşık 16 bin yıl önce, şu anki seviyesinden 70-75 m daha yukarı seviyelere, 1720 m kotlarına ulaştığını ve Van civarında Miyosen sonlarında denizel ortamın yerini karasal ortama bıraktığını ifade etmişlerdir (Özkaymak vd., 2003).



Şekil 3.2. Van Gölü ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Koçyiğit vd., 2001; Koçyiğit 2002; Özkaymak vd., 2011).

3.2. Van ve Çevresinin Depremselliği

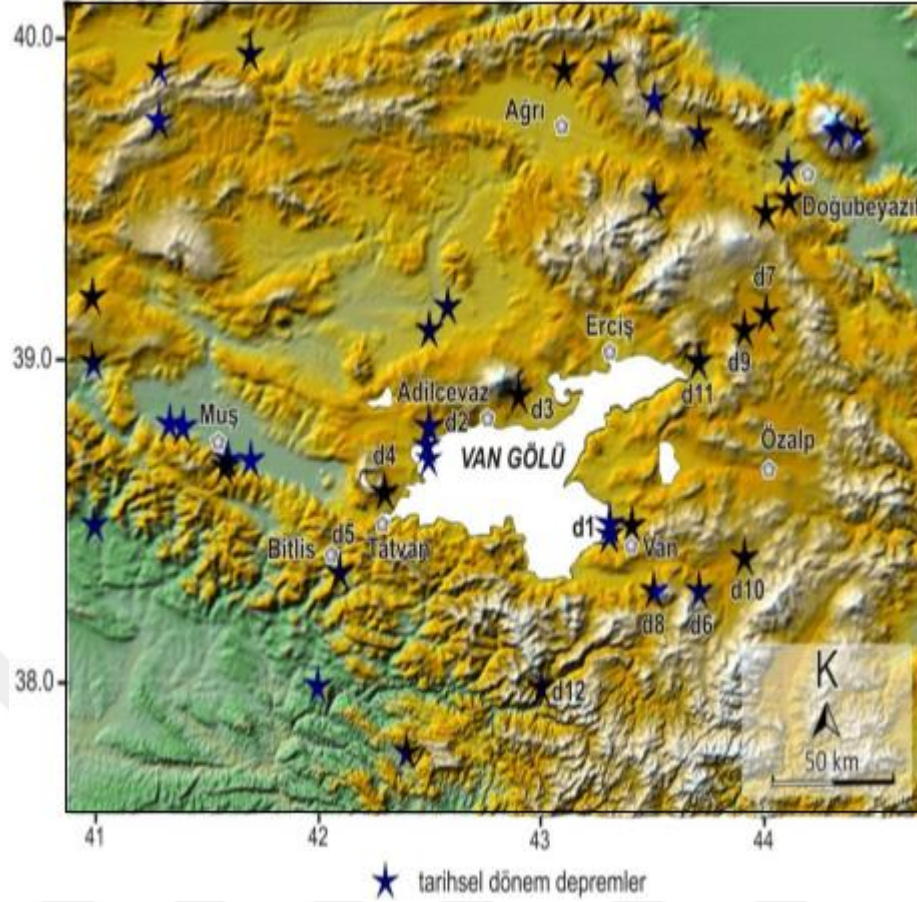
Van ve Çevresinin depremselliğini dikkatle incelediğimizde, sağ ve sol yanal olmak üzere çapraz fay sistemlerinin birleşim yerlerinde sıkışmalı fay mekanizma çözümüne sahip çok büyük depremler meydana geldiği görülmektedir. Bu alanlar çok yüksek sıkışma deformasyonu oluşturan yerel kabuk kalınlaşmasının yer aldığı zonlardır. Ayrıca, Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı'na baktığımızda normal faylanmalı mekanizmalar gözlemlenmektedir (Toker ve Ecevitöglu, 2012). Sismotomografik çalışmalar (ETSE, 2003), Van Gölü havzasını da içine alan Doğu Anadolu iç kapanım bölgesinin merkezi kısmında litosferik mantonun kalınlığını "0 km" olarak belirlemiştir. Ayrıca, sığ sismik aktivitenin (en fazla 10 km) sadece üst kabukta belirginleşmesi (Türkelli vd., 2003; Dewey vd., 1986), özellikle KD-D-GD Van bölgesinde ters bileşenli olmak üzere, genellikle sağ yanal fay mekanizmalarıyla kontrol edilen sismojenik bir zonun mikrosismik aktivitelerle dikkat çektiğini göstermiştir. Bu çalışmalar, Van Gölü ve çevresinde yoğun sismik aktiviteye rağmen, bölgede henüz haritalanmamış sismojenik karakterli aktif diri fayların bulunduğunu göstermektedir (Toker ve Ecevitöglu, 2012).

3.2.1. Tarihsel Dönem Deprem Etkinliği (M.S. 1101-1899)

Van Gölü Havzası ve çevresinde tarihsel dönemde meydana gelen depremler, tarihsel deprem katalogları taranarak elde edilmiş ve Çizelge 3.1’de listelenmiştir. Şekil 3.3’de ise bölgede meydana gelen tarihsel dönem depremlerin kataloglarda verilen merkezüstü noktalarını göstermektedir (Özkaymak vd., 2011).

Çizelge 3.1. Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönemde meydana gelen depremler. Parantez içerisinde verilen rakamlar kaynak numaralarını göstermektedir (1- Ergin vd., 1967; 2- Soysal vd., 1981; 3- Ambressey ve Finkel, 1995; 4- Tan vd., 2008; Özkaymak vd., 2011).

Kod	Tarih	Enlem	Boylam	M	I (şiddet)	Etkilenen Bölgeler ve Kaynak
d1	1101	38,4	43,3	-	VI	Van (1)
d1	1111	38,5	43,4	6,6	IX	Van (1, 2, 4)
d2	1208	38,7	42,5	6,5	-	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (4)
d2	1245	38,7	42,5	5,0	VII	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (1, 2, 4)
d2	1275	38,8	42,5	6,8	-	Ahlat, Van (4)
d3	1276	38,9	42,9	5,0	VIII	Ahlat, Erciş, Van (1, 2, 4)
d3	1282	38,9	42,9	5,0	-	Ahlat, Erciş (2, 4)
d4	1439	38,6	42,3	?	VI	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d5	1441	38,3	42,1	5,0	VII	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d6	1646	38,3	43,7	5,0	VI	Van (3, 4)
d7	1647	39,1	44,0	?	IX	Van, Tebriz, Muş, Bitlis (2, 4)
d8	1648	38,3	43,5	6,8	VIII	Hoşap, Van (2, 3, 4)
d9	1696	39,1	43,9	7,1	IX	Van (4)
d1	1701	38,5	43,4	5,0	VIII	Van(1, 2 ,3)
d1	1701	38,5	43,4	5,0	VII	Van(1, 2 ,3)
d1	1704	38,5	43,4	5,0	VII	Van(1, 2 ,3, 4)
d10	1715	38,9	43,9	6,7	VIII	Van, Erciş (1, 2 ,3, 4)
d11	1791	39,0	43,7	?	VI	Van, Tebriz, Erzurum(1)
d12	1871	38,0	43,0	6,9	VII	Van (1, 2, 4)
d1	1881	38,5	43,3	7,3	X	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (2,4)
d1	1894	38,4	43,3	-	V	Van (2)
d1	1900	38,4	43,3	5,2	VI	Van (2)



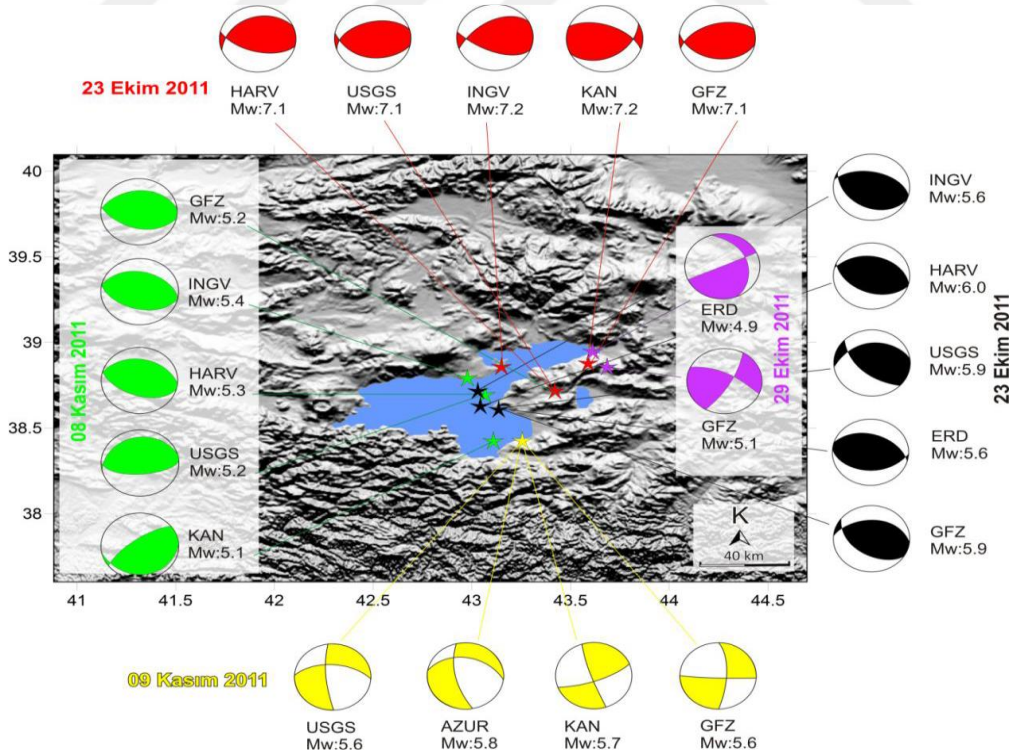
Şekil 3.3. Bölgede meydana gelen tarihsel depremlerin dağılımları. Burada depremler yıldız ile gösterilmiştir. Tarihsel depremlerin etki alanı ve şiddet değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambressey ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008; Özkaymak vd., 2011).

3.2.2. Aletsel Dönem Deprem Etkinliği (1900-2016)

Aletsel dönemde, Van Gölü havzası ve çevresinde büyüklüğü 3 ile 7.3 arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.4). 7.2 büyüklüğündeki 23 Ekim 2011 Van Depremi bölgedeki yıkıcı özellikteki son depremdir. Bölgede, bu depremden 35 yıl önce (24 Kasım 1976’da), Çaldıran-Muradiye Depremi olarak kayıtlara geçen 7.3 büyüklüğündeki yıkıcı bir deprem gerçekleşmiştir. Van Gölü kuzeydoğusundaki sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı üzerinde 55 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturan deprem, 450 km’lik bir alanın yırtılmasına neden olmuştur (Kalafat vd., 2013). Çaldıran depremi bölgede aletsel dönemde meydana gelen en büyük sismik aktiviteyi temsil etmektedir (Özkaymak vd., 2011). Van Gölü Havzası ve çevresinde orta büyüklükte olan son yıllardaki önemli depremler, 10 Eylül 1941’de 5.9, 29 Temmuz 1945’de 5.2, 20 Kasım 1945’de 5.4

3.2.4. Odak Mekanizması Çözümleri

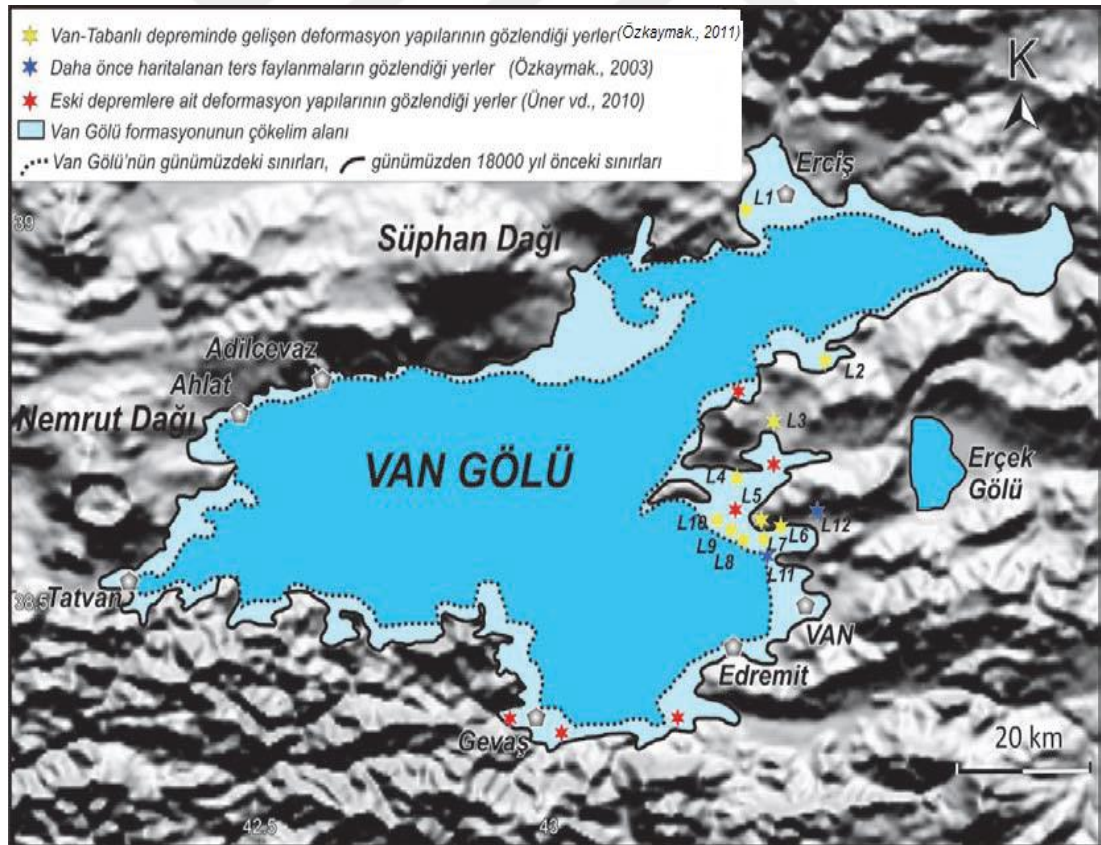
23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen 7.2 (Mw) büyüklüğündeki depremden sonra, odak merkezi farklı olan 29 Ekim, 8 Kasım ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde sırasıyla 5.0, 5.2 ve 5.6 büyüklüğünde üç deprem daha meydana gelmiştir. Odak mekanizma çözümleri Ekim-Kasım 2011 depremlerinin baskın olarak bindirme faylarından kaynakladığını göstermektedir. 23 Ekim 2011 depremi ana şoku ve artçılarının çoğunluğu ters fay veya bindirme mekanizmasıyla ve 9 Kasım 2011 Edremit depremine ilişkin fay düzlemi çözümleri depremin doğrultu atımlı faylanmayla geliştiğine işaret etmekte ve depremin 23 Ekim 2011 depremi ana şoku ve artçılarından farklı bir mekanizma içinde geliştiği, dolayısıyla bu son depremin farklı bir kaynak zondan türemiş olduğu söylenebilmektedir (Özkaymak vd., 2011) (Şekil 3.5). Van depremi ve sonrasında meydana gelen önemli artçı depremlerin mekanizma çözümleri bölgenin sıkışma rejiminin etkisi altında bulunduğunu ve bu rejimin ürünü olan ters faylanmaların bölgenin güncel tektoniğinde etkili olduğunu göstermiştir (Kalafat vd., 2013).



Şekil 3.5. 23 Ekim 2011 Van (anaşok) ve sonrasında meydana gelen depremlerin (Mw > 5) farklı kaynaklara göre odak mekanizma çözümleri ve dağılımları (EMSC, Özkaymak vd., 2011)

3.2.5. Deprem Zemin üzerine Etkileri

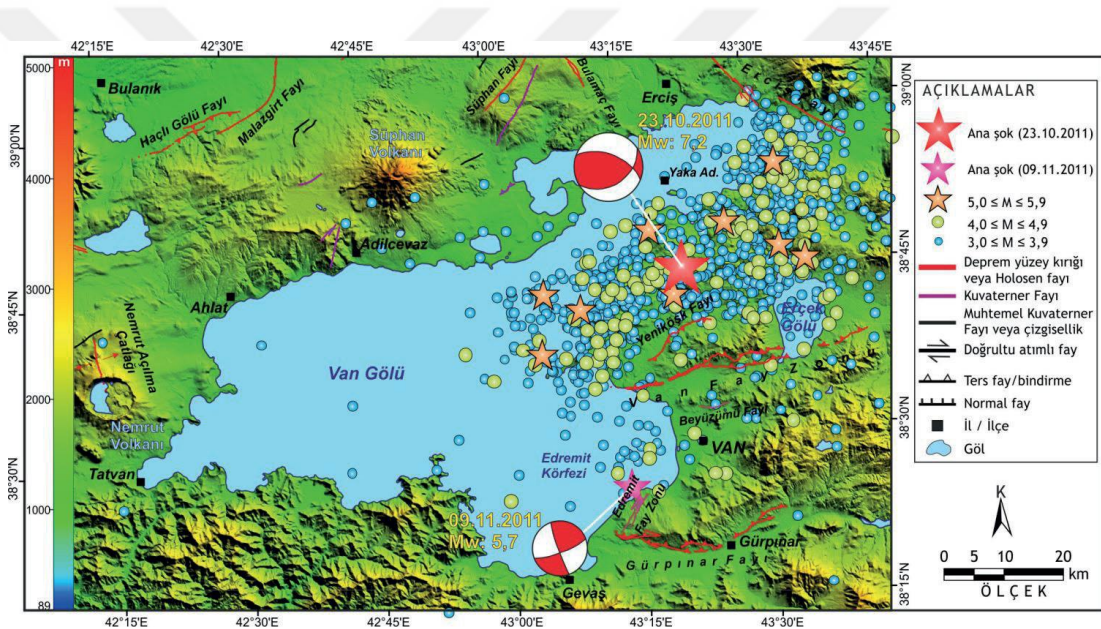
23 Ekim 2011 Van depremi oluşturduğu yüzeysel yapılar ilgi çekici sınırlama yapıları ile dikkat çekmiştir. Arazi çalışmaları, suya aşırı doygun zeminlerde, sınırlama yapılarının zincirleme zonlar boyunca aralanarak dizildiğini göstermiştir. Bölgede gözlenen yumuşak çökel deformasyon yapıları ve sınırlama yüzey morfolojisi, yatay yayılma ve suya doygun kum tabakalarının farklı uzanımlı oturma yapılarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Van Gölü'nün doğu sahil şeridi boyunca, Van Gölü formasyonundaki eski depremlere işaret eden deformasyon yapıları ile Van depremi sırasında gelişmiş olan deformasyon yapılarının gözlemlendiği bölgeleri gösterir haritada (Şekil 3.6) belirtilen tüm morfolojik yapıların, Van Gölü'nün günümüzden 18000 yıl önceki çökelleri içinde gelişmiş olması (Özkaymak vd., 2011) göl tabanındaki yumuşak çökel deformasyonu yapılarının varlığını kuvvetlendirmiştir (Toker ve Ecevitoğlu., 2012)



Şekil 3.6. Van gölü doğu kıyısı boyunca Van Gölünün yaşlı çökellerindeki eski depremlere ait deformasyon yapıları ile Van depremi sırasında gelişmiş deformasyon yapılarının gözlemlendiği yerleri gösteren harita (Üner vd., 2010; Özkaymak., 2003; Özkaymak.,2011)

3.3. 23 Ekim 2011 Van Depremi

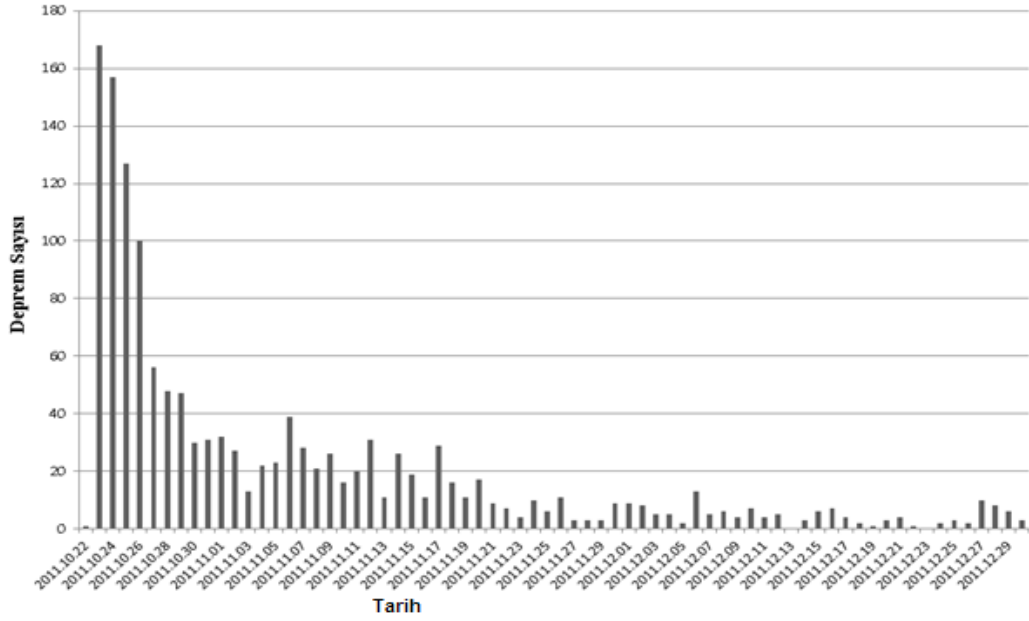
23 Ekim 2011 Pazar günü saat 13.41' de merkez üstü Van'ın 30 km kuzeyinde Tabanlı Köyü olan 7.2 (Mw) büyüklüğünde hasar verici büyük bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.7). Bu deprem sonucunda çoğunluğu Erciş ve Van'da olmak üzere toplam 604 kişi yaşamını yitirmiş, 3000'e yakın kişi yaralanmış ve binlerce bina yıkılmış ya da kullanılmayacak hale gelmiştir. 23 Ekim 2011 Van Depremi, 16 km derinlikte, Van Gölü ile Erçek Gölü arasındaki yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan Van Fay Zonu (VFZ)'ndan kaynaklanmıştır (Emre vd., 2011). 7.2 büyüklüğündeki ana şoktan sonra bölgede büyüklüğü 5.7'e ulaşan yüzlerce artçı şok meydana gelmiştir. Deprem oluşumu günümüzde de devam etmektedir.



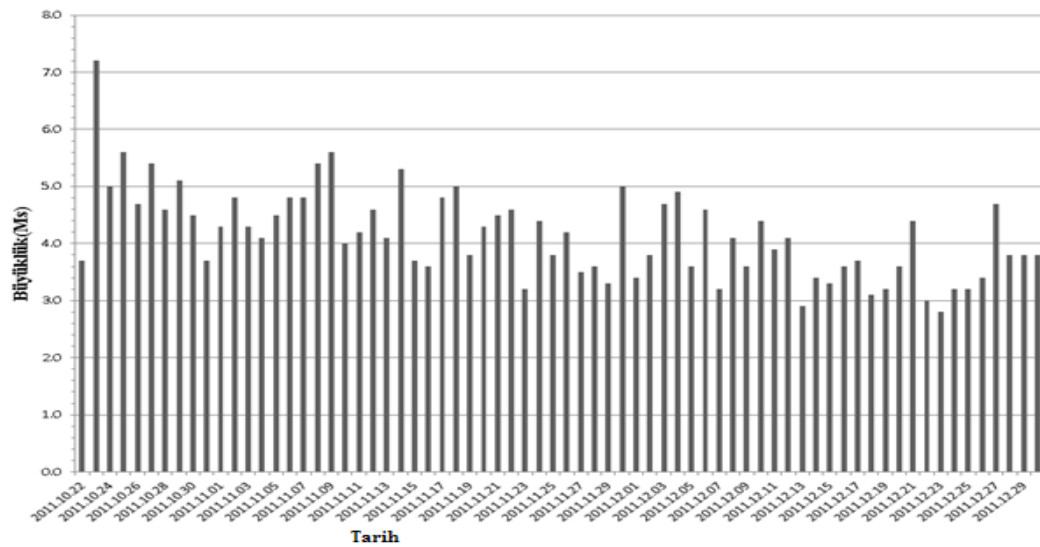
Şekil 3.7. Van Gölü ve dolayının aktif fayları ile 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Edremit depremlerinin ana şokları ve artçı depremlerin dağılımını gösterir harita (Özalp vd., 2015).

7.2 büyüklüğündeki 23 Ekim 2011 Van depremi, ters faylanmadan kaynaklanmış en büyük yıkıcı deprem özelliğine sahiptir. Bu deprem, Van Gölü havzasında henüz kırılmamış, gömülü ve sürtünme katsayısı yüksek bir ters fay-bindirme sisteminin varlığını göstermiştir (Toker ve Ecevitöglu, 2012). Ayrıca deprem, Van Gölü'nün doğusunda yer alan, normal fay, doğrultu atımlı fay ve ters fay sistemlerinin birlikte ve aynı anda etkili olduğu üst kabuğa ait, sürtünme katsayısı yüksek, karmaşık bir makaslama ve fay kilitleme zonunun varlığını da göstermiştir (Toker ve Ecevitöglu, 2012).

Van Gölü Havzası ve çevresinde, 22 Ekim 2011'den 30 Aralık 2011 tarihine kadar $M_s \geq 3$ büyüklükteki depremler incelendiğinde 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin ana şoku ile birlikte bölgede yüzlerce $M_s \geq 3$ büyüklükte depremler meydana gelmiştir (Şekil 3.8- 3.9). Bu depremlerin sayısı günler ilerledikçe azalsa da ortalama beşer gün arayla artan-azalan olarak devam etmektedir. Bölgede günümüzde de devam etmektedir. Bölgede bu şekilde deprem etkinliği devam etmektedir.



Şekil 3.8. 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi ve sonrasındaki deprem sayısının günlere göre dağılımı



Şekil 3.9. 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi ve sonrasında günlere göre büyüklük (M) dağılımı

3.4. Sismik Tomografi

Dünya, genel olarak, kabuk, manto ve çekirdek dizilimine sahip, küresel olarak tabakalanmış bir gezegen şeklindedir. “Sismik tomografi”, dünyanın belirli bir bölgesinde yer kabuğu ve üst mantoyu bloklara bölerek her blok içindeki hız dağılımlarını belirleyerek, çeşitli derinliklerden alınacak kesitler üzerinde dalga hızı dağılımının incelenmesidir (Koca, 2005). Dağılım, standart bir yer modeli için geçerli olduğu varsayılan hız dağılımından sapmalardır. “Tomografi” terimi, tıp biliminde insan vücudundaki anormal dokuları belirlemek için cerrahi müdahale gerektirmeden, X-ışınları kullanılarak uygulanan CAT (Computer Aided Tomography) tekniğinden alınmıştır. “Tomo” kelimesi Yunanca’da “dilim” anlamına gelmektedir (Koca, 2005).

Sismik Tomografi yönteminin temeli 1960’lı yıllarda atılmıştır. Başlangıçta, bölgelendirme adı verilen yöntemde, okyanusal ve kıtasal yolları aşan yüzey dalgaları, belirli bir alanın altındaki yapının bir boyutlu yerel karakterizasyonu için analiz edilmiştir. Simetrik bir yer modeli referans alınarak yüzey dalgalarının seyahat süresi anomalileri hesaplanmakta ve bu anomaliler ışın yolu boyunca eşit olarak dağıtılmaktadır (Lay ve Wallace 1995).

Sismik tomografi yöntemi, sismik dalgaların, deprem kayıt istasyonlarına varış zamanları ile araştırılan bölge için belirlenen bir hız yapısı başlangıç modelinden hesaplanan varış zamanları arasındaki farklarının belirlenmesine dayanır. Yöntem, hem düşey hız değişimlerinin hem de yerin belirli bir derinliğinden alınan kesitlerden yanal hız değişimlerinin incelenmesi ile elastik dalga hızlarının yer içindeki dağılımının üç boyutlu (3B) incelenmesini olanaklı kılmaktadır. Yöntemin diğer bir avantajı, yeni veri alınmasını gerektirmemesidir. Deprem kayıt istasyonları tarafından kaydedilen sismogramlardan okunan sismik dalgaların seyahat süreleri, veri olarak kullanılmaktadır (Koca, 2005).

3.5. P, S dalgası hızı ve Poisson Oranı Dağılımı

Birçok tomografik metot cisim dalgaları varış zamanlarının analizine dayanır. Bu metotlar arasındaki temel ayırım hız modelinin parametrelerinin belirlenmesidir

(Thurber ve Aki, 1987). Model parametrelendirme genellikle kabuk ve manto yapısını görüntülemek suretiyle yapının geometrik şeklini belirleme biçimindedir. Parametrelendirmenin tam yapılamaması yerkabuğu ve mantodaki heterojenik yapının tam olarak belirlenememesine yol açmakta ve buna ilişkin bilginin kullanılabilirliğini azaltmaktadır.

Tomografik çalışmalarda süreksizlikler arasındaki her noktada hızların üç boyutlu değişimi ve model uzayda çeşitli “Tekil Değer Ayrışımı Modeli” benimsenmektedir. Bu model yerkabuğu içinde gerçekte var olan ortalama hız yapısını temsil ettiği düşünülür. Hız dağılımının derinlikle değişimi iki yolla ifade edilir: birincisi, Horiuchi vd. (1982) ve Zhao vd. (1990)’nin çalışmalarında kullandığı gibi, derinlik dağılımları ve hız süreksizlikleri enlem ve boylamın bir güç serisi gibi sürekli bir fonksiyonunun kullanımı, ikincisi ise, bir süreksizliği ifade etmek için iki boyutlu grid ağı oluşturulmasıdır. Derinlik dağılımının grid düğümleri bilindiği zaman, çalışma bölgesi içinde herhangi bir konumda süreksizliklerin derinliği bu konumda grid noktasını çevreleyen dört düğümünün derinliğinin doğrusal olarak interpolasyonu olarak hesaplanabilir. Hızlar grid düğümlerinde bilinmeyen parametreler olarak alınır. Bu süreç sonrasında, tabakaların her noktasında doğrusal interpolasyon fonksiyonu kullanılarak hızlar hesaplanır. Elde edilen verilerin yeterli olması halinde son faz verileri hız değişimi ile ilişkilendirilir. Ayrıca süreksizliklerinin derinlikle dağılımları da bilinmeyen parametre olarak alınır. Hız değişiminin derinlik dağılımları ters çözüm sürecinde belirlenmektedir.

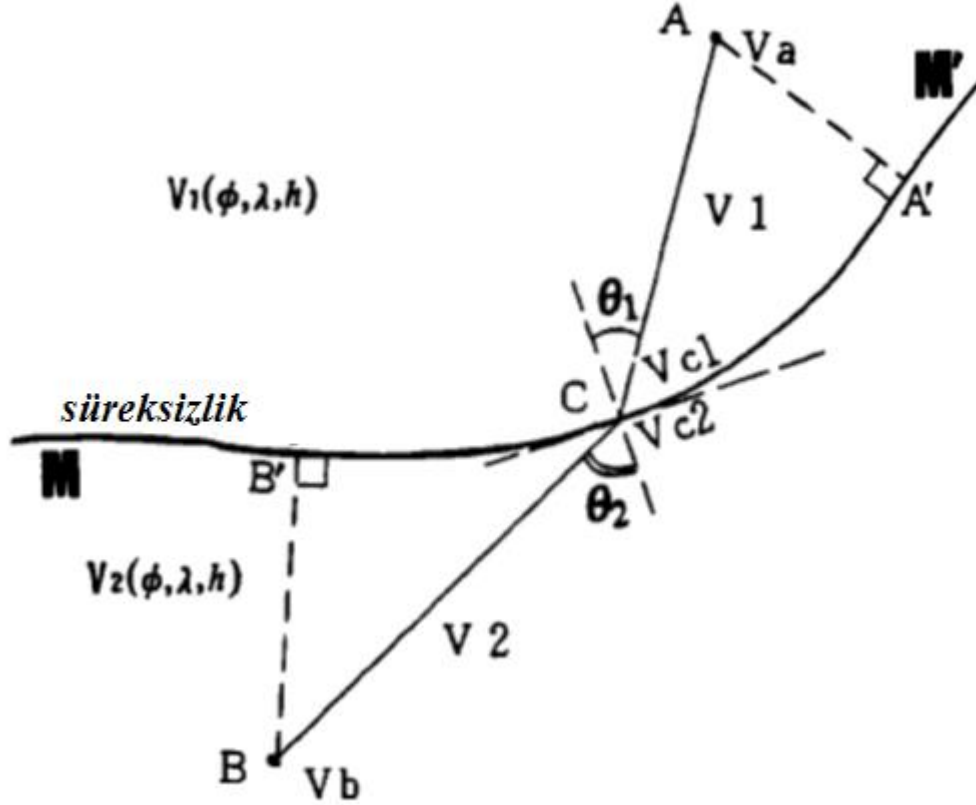
Hesaplanan seyahat zamanları ve ışın yolları tomografide çok hızlı ve kesin sonuçlar almak için gereklidir. Şekil 3.10’de görüldüğü gibi karmaşık biçimli SVD analizi için MM’ biçiminde bir süreksizlik düzlemi göz önünde bulundurulması halinde, MM’ süreksizlik düzleminin her iki tarafında var olan $V_1(\Phi, \lambda, h)$ ve $V_2(\Phi, \lambda, h)$ hızları, sürekli ve değişkendir.

Şekil 3.10 üzerinde A ve B, MM’ nin farklı taraflarında iki noktadır. A ve B’de hızlar sırasıyla V_a , V_b ’dir. C MM’ süreksizliği ve AB sismik ışının kesişmesidir. MM’ in iki tarafında C’de hızlar sırasıyla V_{c1} ve V_{c2} ’dir. Hızların aritmetik ortalamaları ise,

$$V_1 = \frac{V_a + V_{c1}}{2} \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{V_b + V_{c2}}{2} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ortalamalar sonucunda AC ve AB'yi çevreleyen hız değerleri bu şekilde belirlenmektedir. A ve B, MM'den çok uzak olduğu zaman bu yaklaşım yetersiz olabilir (Şekil 3.10).

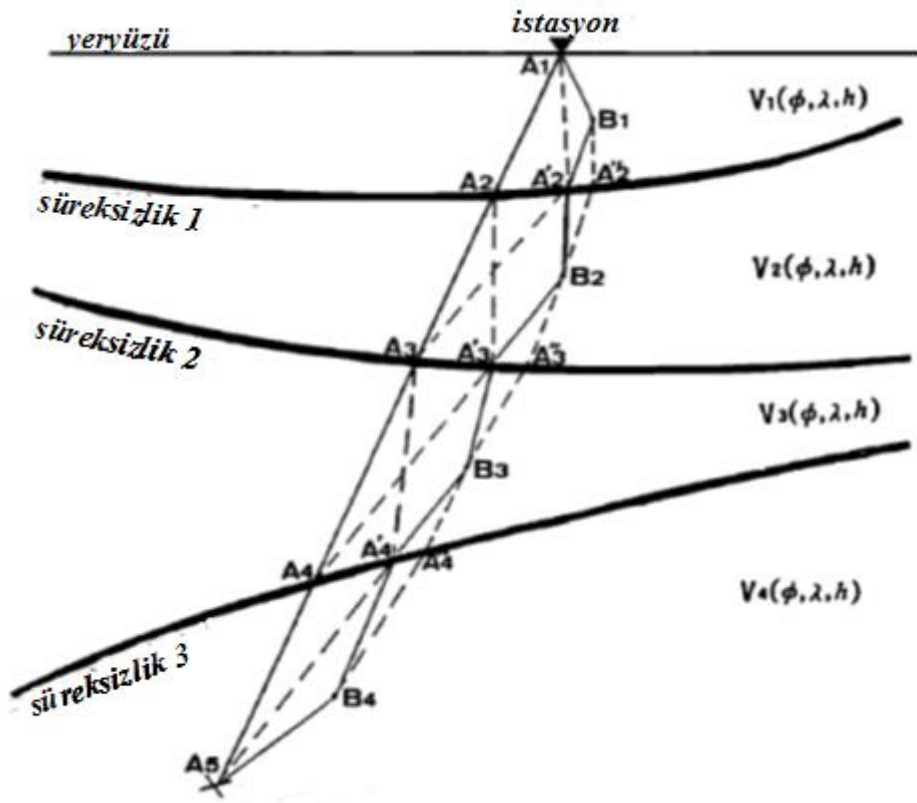


Şekil 3.10. Bir sinyalin iki tabakalı ortamdaki ışın yolu ve bir süreksizlik boyunca ışının kırılma durumu (Zhao vd., 1992)

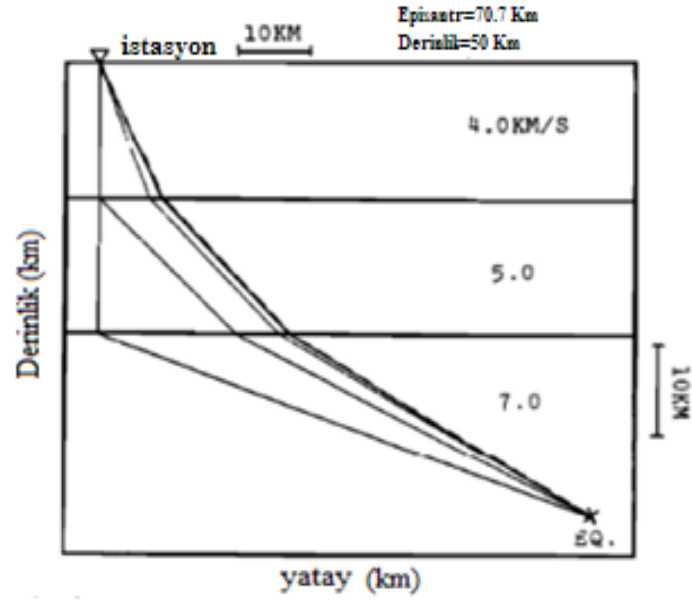
C noktasının yerini bulmak amacıyla A ve B noktalarının MM'de dik izdüşümü işaretlenmiştir. C noktası A' ve B' arasında belirlenen MM' üzerinde var olduğu varsayılmaktadır. Snell yasası ile C noktasının yerini bulmak mümkündür. Bu durum;

$$\frac{\sin Q_1}{V_1} = \frac{\sin Q_2}{V_2} \quad (3)$$

bağıntısı ifade edilir. Yeni ışın yolu metodunun algoritması Şekil 3.11’de sistematik olarak gösterilmektedir. Üç ayrı süreksizlik durumu basit olarak Şekil 3.13’de görülmektedir. Burada üçgen şeklinde gösterilen istasyon ile merkez üstü kesişmektedir. A1’i A5’e bağlayan düz çizgi istasyon ve merkez üstü ilk ışın yolu olduğu varsayılır. Işın yolu boyunca A2, A3 ve A4 süreksizlik noktalarını ve diğer noktalar ise iki bitişik süreksizlik arasındaki sürekli noktaları ifade etmektedir (Zhao vd., 1992).



Şekil 3.11. Pseudobending tekniği ve Snell yasasına göre iteratif ışın yolu metodu (Zhao vd., 1992)



Şekil 3.12. Küresel üç tabaka modelinde üç boyutlu ışın yolu dizisi (Zhao vd., 1992). Dikey ve yatay yönde farklı uzunluk ölçüleri belirlenmiştir. Odak derinliği 50 km'dir ve merkez üstü mesafesi 70.7 km'dir

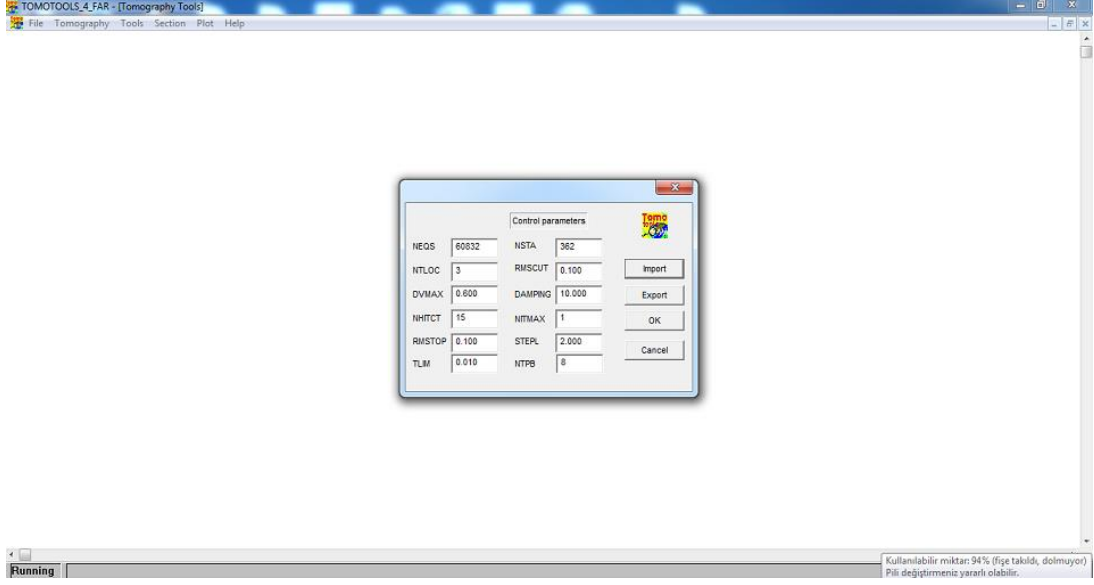
Şekil 3.12'teki kontrol algoritmasında gösterilen bir küresel tabaka hız modeli seçilmiştir. Doğrudan gelen dalganın ışın yolları dizisi, üç noktadan yayılan ışın yolu şeklinde gösterilmiştir. Bu işlemde seyahat zamanı rezüdüeli, kullandığımız metod tarafından hesaplanmaktadır. Hızlar ise sadece bu süreksizlikler arasında değişime uğramaktadır.

Ters çözüm için, ilk hiposantr konumlarının başlangıcı ve bir dizi deprem için orijin zamanları başlangıçta yaklaşık olarak verilmektedir. İlk hız modeli ile ortam parametreleri ve kaynak için düzeltme koşulları denemeli olarak tahmin edilmektedir. İlk olarak, varış zaman verileri hesaplanır ve yukarıda tanımlanmış olan üç boyutlu ışın izleme tekniğinin kullanılması ile ışın yolları hesaplanır. Bir ışın yolunun konumu belirlenir belirlenmez, merkez üstü yerleri ile ilgili varış zaman verileri analitik olarak belirlenir (Engdahl ve Lee, 1976) ve hız parametreleri de sayısal olarak hesaplanır (Thurber, 1984). Varış zaman rezidüellerinde bilinmeyen kaynak ve ortam parametreleri ile ilgili olan gözlemlenen eşitliğin bir sistemi kurulabilir. LSQR algoritması gözlemlenen eşitliklerin büyük ve aralıklı sistemlerini çözümünde kullanılır (Paige ve Saunders, 1982).

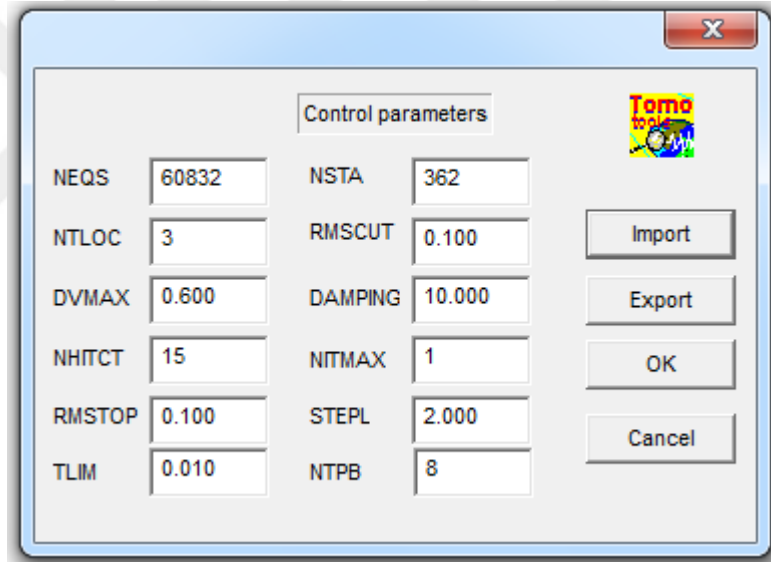
Tomografik ters çözüm sonucu, hata analizi ve çözünürlük boyunca değerlendirilmesi gerektiği yaygın olarak kabul görmektedir. Çözünürlük kavramı ile hesapladığımız görüntüde doğru yapının yeniden nasıl kurulduğunu belirlemek hedeflenmektedir. Bir tomografi sonucun çözünürlüğünü değerlendirmek için ilk olarak yol seyahat zaman gecikmelerinin bir dizisi hesaplanır. Oluşturulan bu sentetik yapı testi sayesinde gerçek ışınları izleme sonucunda yol seyahat zaman gecikmeleri hesaplanır. Son olarak ilk yapı ile sentetik ters çözüm sonuçları karşılaştırılır.

Kullandığımız TOMOG3D bilgisayar programı Fortran 77 dilinde yazılmış ve Farouk ve Zhao (2006) tarafından Tomotools V1.0 olarak yeniden düzenlenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilen sismik istasyon ağı tarafından kaydedilen yerel depremlerin varış zamanlarını kullanımı üzerine tasarlanmıştır. Bunun sonucunda kabuk ve üst manto için bir 3-B sismik hız modeli türetilmiştir. Bu metotta takip edilen ana adımlar ise;

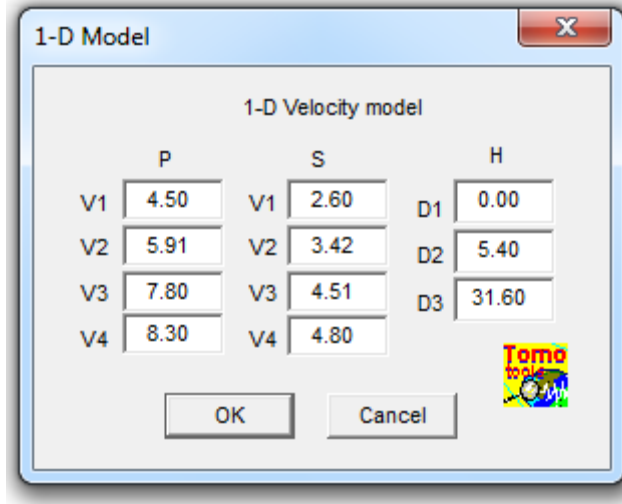
- (1) Başlatma,
- (2) İntput (giriş) kontrol parametreleri (çağır INPUT1, Şekil 3.13; Şekil 3.14), istasyon listesi (INPUT2), ilk hız modeli (INPUT3, Şekil 3.15), ilk hiposentr yerleri ve varış zaman verileri (INPUT4, Şekil 3.16; Şekil 3.17)
- (3) Her deprem için, ilk hiposentr değıştirin (LOCEQK), sonra hiposentr parametreleri ve orta parametrelerle ilgili seyahat zamanlarının türevlerini hesapla (FORWRD) (Şekil 3.18),
- (4) Hız modeli ayarlarını belirle (VELADJ) ve hız modellerini çıkar (OUTADJ) şeklindedir. Böylece bir iterasyon (yineleme) tamamlanmış ve tomografik model elde edilmiştir. Burada seyahat zaman rezidüelleri daha fazla yineleme ile azaltılabilir.



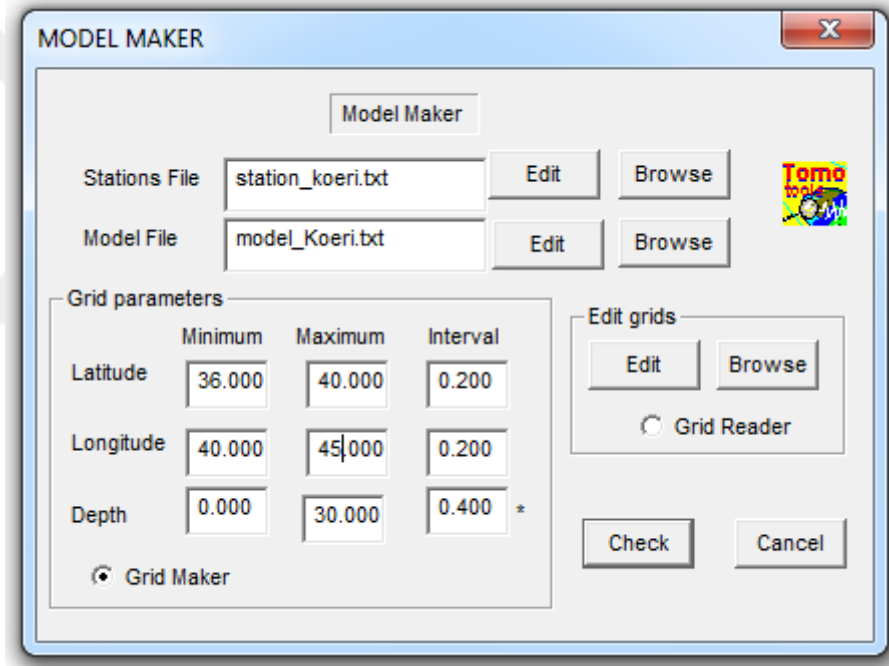
Şekil 3.13. Tomotools V1.0 parametre girişi



Şekil 3.14. Tomotools V1.0 Kontrol parametreleri girişi

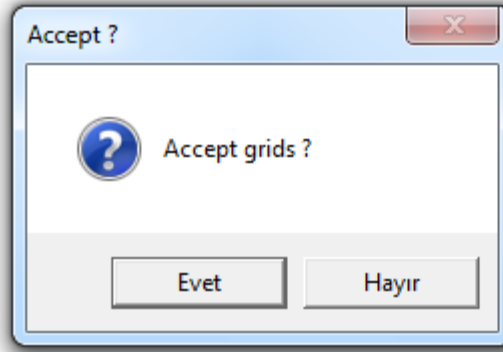


Şekil 3.15. 1-B hız ve derinlik modeli (KRDAE) girişi



Şekil 3.16. Tomotools V1.0 model girişi

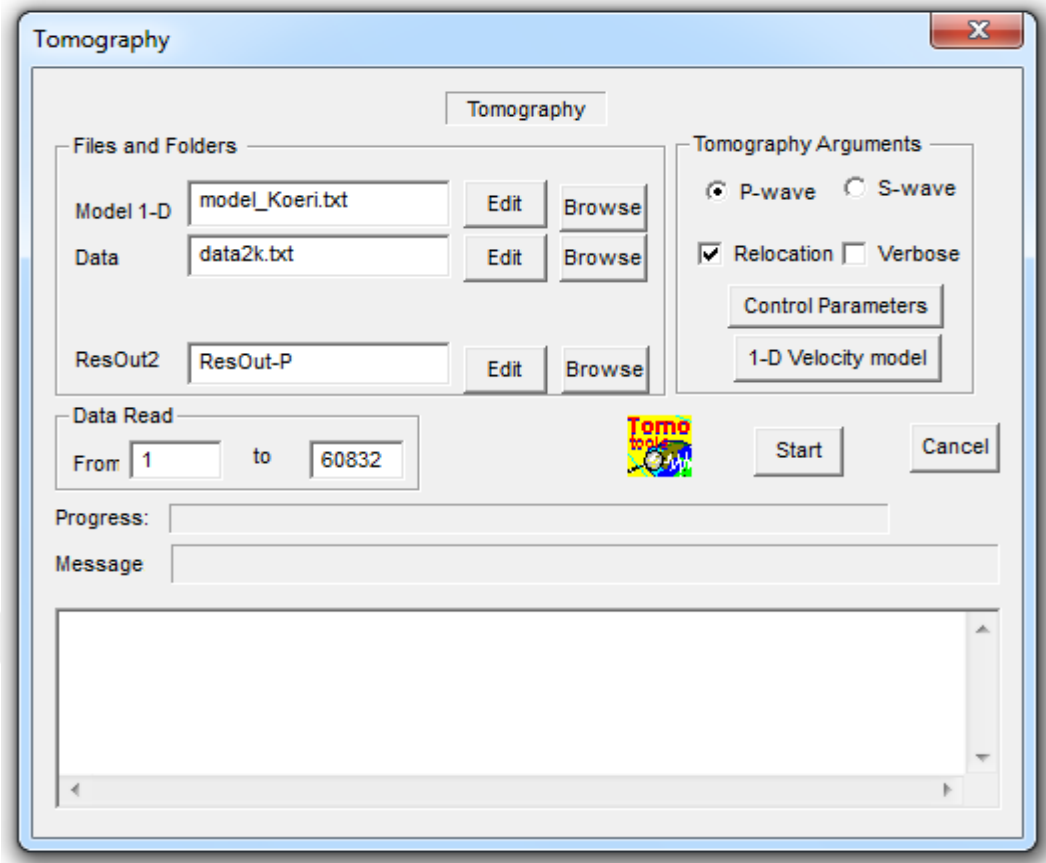
TOMOTOOLS_4_FAR - [Tomography Tools]									
File Tomography Tools Section Plot Help									
22	27	14	GRIDS						
30.00	36.00	36.20	36.40	36.60	36.80	37.00	37.20	37.40	
37.60	37.80	38.00	38.20	38.40	38.60	38.80	39.00	39.20	
39.40	39.60	39.80	45.00						
33.33	40.00	40.20	40.40	40.60	40.80	41.00	41.20	41.40	
41.60	41.80	42.00	42.20	42.40	42.60	42.80	43.00	43.20	
43.40	43.60	43.80	44.00	44.20	44.40	44.60	44.80	50.62	
-100.00	0.00	1.00	3.00	5.00	7.00	10.00	13.00	17.00	
21.00	25.00	30.00	35.00	90.00					



Şekil 3.17. Gridleme işlemi

Diğer algoritmalar ile benzerlik olsa da, TOMOG3D birkaç önemli avantaja sahiptir. Bunlar; var olan karmaşık hız süreksizlikleri oldukça gerçekçi bir modelle uyum sağlamakta ve hızlar arasında SVD'nin 3 boyutlu varyasyonları elde edilmesidir. Güçlü ve verimli bir 3-B ışın izleme güzergahlarını kapsamaktadır. Karmaşık bir modeldeki gibi seyahat zamanları ve ışın yolları hesaplanmıştır. P ve S dalgaları, varış zaman verilerinin son fazları programda birleştirilebilir ve SVD'den dalgalar dönüştürülmüş ya da yansıtılmıştır. 50 km ve daha küçük dizilerle çalışabilen diğer bazı programların aksine (örneğin, Thurber, 1984, SIMUL3 programı), TOMOG3D birkaç yüz metreden birkaç bin km'ye kadar beklenen performansı sağlamaktadır.

Bu avantajları nedeniyle, TOMOG3D incelenen bölgelerde sığ araştırmalar ve derin yapılar için güçlü bir araç olduğu görülmektedir. Örneğin dalma batma (yitim) zonları, fay bölgeleri, Conrad ve Moho süreksizlikleri ve kıtasal-okyanusal kabuk yapısının belirlenmesinde bu metot çözünürlüğü yüksek sonuçlar vermektedir (Soyuer, 2012).



Şekil 3.18. P dalgası tomografi işlemi. Aynı işlem S dalgası için de yapılmaktadır.

3.6. Veri

Çalışma alanı, Van Gölü Havzası'nın da içinde bulunduğu 36° K- 40° K enlemleri ile 40° D – 45° D boylamları ile sınırlanan alandır (Şekil 1.1). Çalışmada, 2007- 2016 yılları arasında oluşmuş toplam 13409 adet deprem işlenmiştir (Şekil 3.19). Bu depremlere ait 97834 P-dalga ve 31122 S-dalga fazı kullanılmıştır. Ters çözüm için kullanılan veri kütüğü tarih, zaman (saat, dakika saniye), enlem, boylam, derinlik, büyüklük, RMS ve rezüdüelleri ile P ve S dalgası varış zamanlarından oluşmaktadır. Bu veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), UDIM tarafından işletilen, Ulusal Zayıf Yer ve Güçlü Yer Hareketi İstasyon ağı tarafından kaydedilmiştir (Çizelge 3.2). Bu tez çalışmasında çalışmamızda toplam 28 adet deprem istasyon verisi kullanılmıştır (Şekil 3.24).

1301010035 43.27 0.00 38.139 0.00 27.050 0.00 11.00 0.00 18 2.20 0.10

GMLD 46.85 1

GMLD 48.99 2

BLCB 49.16 1

BLCB 52.65 2

URLA 52.10 1

GCAM 52.60 1

GCAM 59.31 2

FOCM 55.95 1

AYDB 57.23 1

CHOS 59.24 1

GOMA 60.71 1

DKL 61.62 1

MLSB 63.09 1

BODT 64.74 1

KULA 68.22 1

DAT 70.23 1

APE 72.43 1

SIMA 74.81 1

1301010059 04.13 0.00 38.479 0.00 26.812 0.00 17.30 0.00 15 2.00 0.10

BLCB 9.54 1

BLCB 13.02 2

URLA 9.45 1

URLA 13.24 2

KRBN 9.81 1

KRBN 14.00 2

FOCM 10.01 1

DKL 16.39 1

CHOS 16.50 1

GCAM 20.86 1

AYDB 23.88 1

SIGR 24.46 1

EZN 29.40 1

MLSB 29.60 1

KULA 30.19 1

1301010219 36.60 0.00 37.746 0.00 37.478 0.00 8.10 0.00 9 1.70 0.10

KMRS 47.07 1

KMRS 54.73 2

GAZ 48.90 1

GAZ 57.93 2

DARE 52.80 1

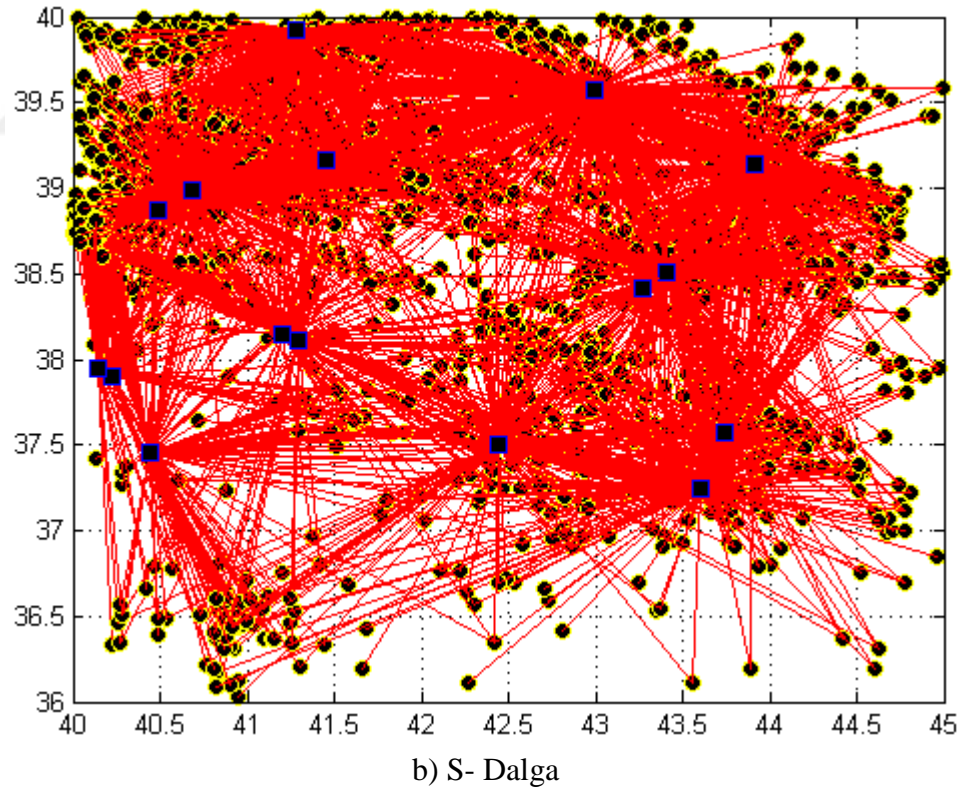
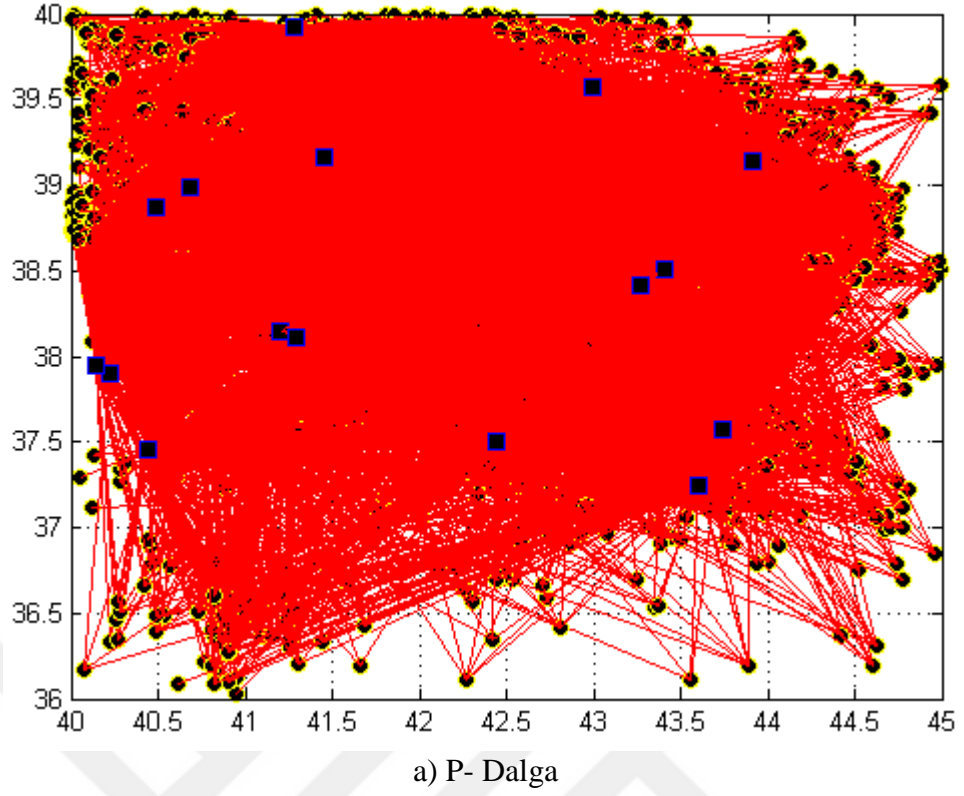
DARE 64.90 2

URFA 58.19 1

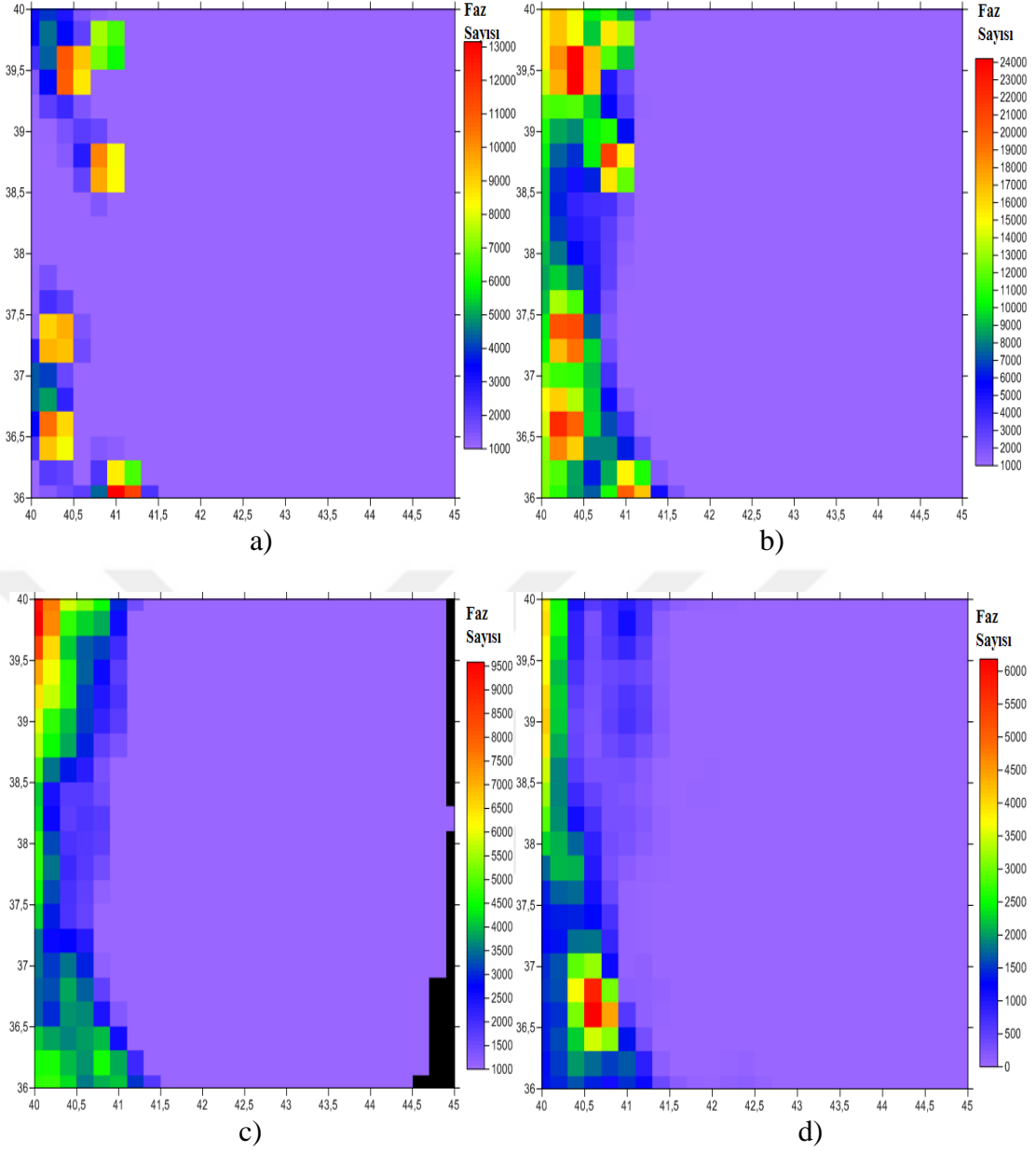
KOZT 62.16 1

TAHT 67.55 1

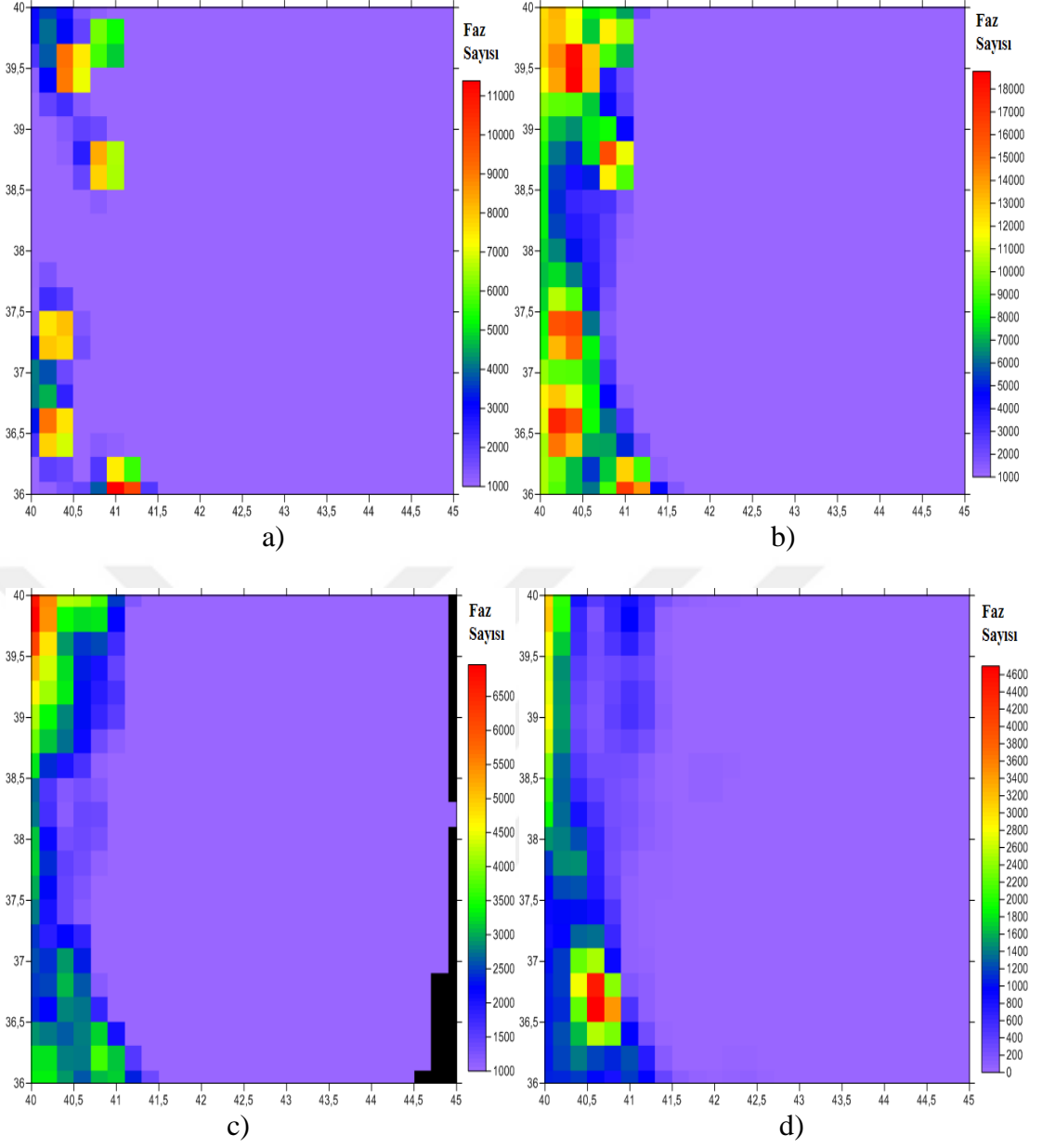
Şekil 3.19. Kullanılan veri yapısı (1. Satır: yıl ay gün saat dakika saniye enlem boylam derinlik faz sayısı büyüklük rms. 2. Satır İstasyon varış süresi faz. 1 P dalgası fazı, 2 S dalgası fazı)



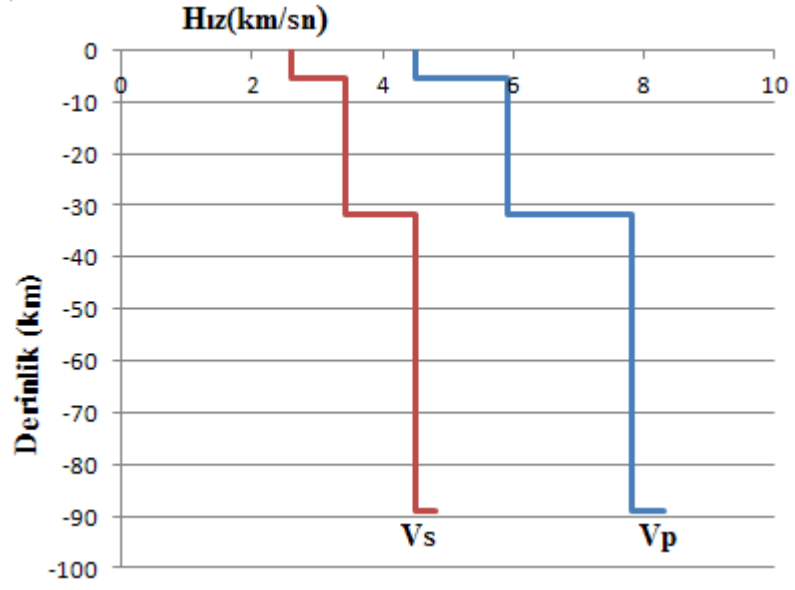
Şekil 3.20. a) P- dalga ve b) S- dalga veri dizilerinin seyahat güzergahları dağılımı. Deprem episantri ile deprem istasyonu arasındaki her bir güzergah düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Küçük daireler ile gösterilenler deprem episantrlarını ve kare şekiller ise kayıt istasyonlarını göstermektedir



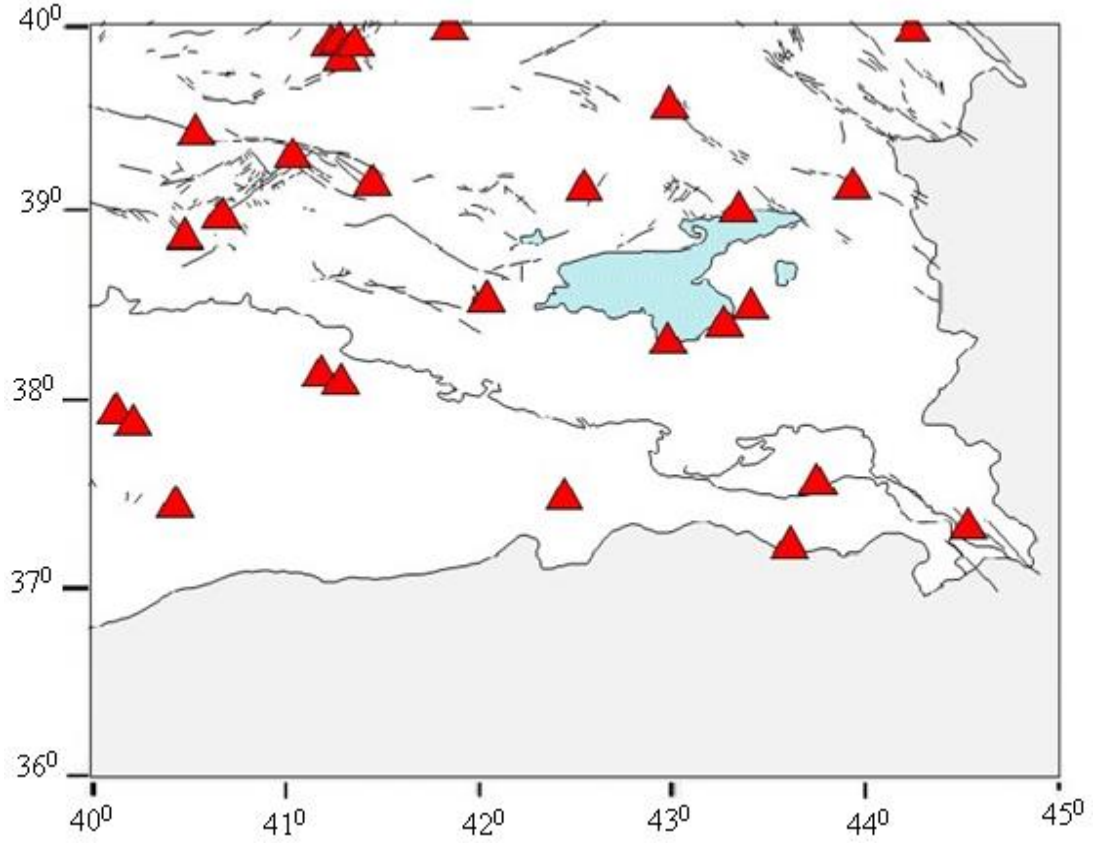
Şekil 3.21. Kullanılan 97834 adet P- dalga fazının 0 km (a), 5km (b), 15km (c) ve 24 km (d) derinliklerde alınan veri sayılarının konumlara göre değişimi. Faz sayıları yanlarda gösterilmiştir



Şekil 3.22. Kullanılan 31122 S-dalga fazının 0 km (a), 5km (b), 15km (c) ve 24 km (d) derinliklerde alınan veri sayılarının konumlara göre değişimi. Faz sayıları yanlarda gösterilmiştir



Şekil 3.23. Çalışma alanı için kullanılan P ve S dalga hız modelleri (Kalafat vd., 1987)



Şekil 3.24. Van Gölü ve çevresindeki mevcut KRDAE tarafından işletilen deprem istasyonlarının dağılımı

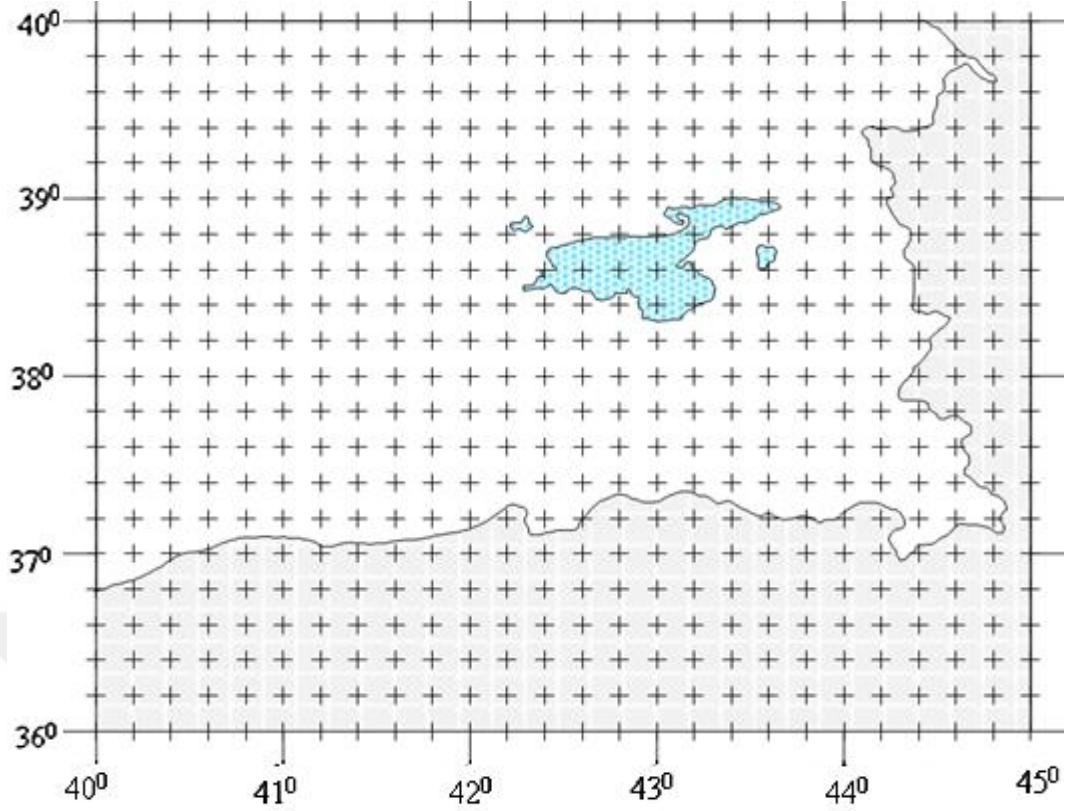
Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan verilerin kaydedildiği deprem istasyonları (KRDAE)

No	Kod	Boylam	Enlem	Yük. (m)
1	AGRB	42.9920	39.5755	1.8200
2	AKDM	42.9800	38.3285	1.6620
3	BNGB	40.6792	38.9913	1.1800
4	CLDR	43.9172	39.1440	2.0940
5	CUKT	43.6077	37.2473	1.2980
6	DYBB	40.1393	37.9532	0.6570
7	ERCV	43.3381	39.0198	1.6790
8	GURO	42.0322	38.5509	1.3880
9	KARO	41.0493	39.3089	1.8200
10	KOPR	41.8535	39.9917	1.6750
11	MAZI	40.4465	37.4593	1.2040
12	MLAZ	42.5496	39.1410	1.5810
13	SEMD	44.5208	37.3473	1.9100
14	SIRT	42.4392	37.5010	1.0380
15	SVAN	41.1985	38.1512	0.6500
16	TASB	44.2384	39.9839	0.8490
17	VANB	43.4058	38.5090	1.2270
18	VRTB	41.4558	39.1603	1.4980
19	YEDI	40.5443	39.4377	1.5570
20	BINT	40.4890	38.8758	1.3420
21	BTMT	41.2935	38.1148	0.8540
22	VANT	43.2653	38.4210	1.7240
23	HKR	43.7408	37.5780	1.7500
24	DIY	40.2265	37.8958	0.6570
25	EZM	41.2800	39.9200	0.0000
26	ATA5	41.2448	39.9046	1.8650
27	EJDE	41.3035	39.8337	2.9800
28	ERZM	41.3622	39.9045	2.3800

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Van Gölü Havzası'nın $36^0 - 40^0$ Kuzey enlemleri ile $40^0 - 45^0$ Doğu boylamları arasında kalan bölgenin kabuk yapısı üç boyutlu tomografi yöntemiyle incelenmiştir. Bu amaçla Zhao vd. (1992) tarafından geliştirilen TOMOG3D programı kullanılmıştır.

TOMOG3D Programı P ve S dalgası hız değişimi ve Poisson Oranının ters çözüm tekniği ile belirlenmesi esasına dayanır. Bu metotta incelenen Van Gölü Havzası'nın genel hız yapısı belirlenmiş ve 3-D hız değişiminin belirlenmesi için modelde karmaşık hız süreksizlikleri incelenmiştir. Conrad ve Moho süreksizliklerinde olduğu sismik süreksizlikler jeolojik sınırlarına göre şekillenmiştir. Üç boyutlu grid ağı modeli oluşturulmuş ve $0.20^0 * 0.20^0$ aralıkta grid düğümlerinde hız değerleri bilinmeyen parametre olarak alınmıştır (Şekil 4.1). Hız dağılımı hesabı yaparken, hız dağılımlarını çevreleyen sekiz grid düğümünde hız dağılımlarının lineer interpolasyonu ile hesaplanarak sonuca ulaşılmıştır. Snell yasası ise ışın yollarını ve seyahat zamanlarını hızlı ve doğru bir şekilde hesaplamak için kullanılmıştır. Işın yolu ve seyahat zamanı hesabında istasyon yüksekliği de hesaba katılmıştır. LSQR algoritması (Paige vd., 1982) gözlemlenen denklemlerin karmaşık sistemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Doğrusal olmayan tomografik problemlerin çözümü ise doğrusal ters çözüm tekniği ile elde edilmiştir. Her bir tekrarlama, hız yapıları ve hiposantr parametre dağılımı aynı anda belirlenmektedir. Bu çalışmada $0.20^0 * 0.20^0$ yatay yönde grid aralığı, dikey yönde derinlik 30 km'ye kadar 0.4 km grid aralığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.1. Yatay yönde 0.2*0.2 Grid aralıklarının konumu

Öncelikle P- ve S- dalga hız modellerini belirlenmiştir. Daha sonra,

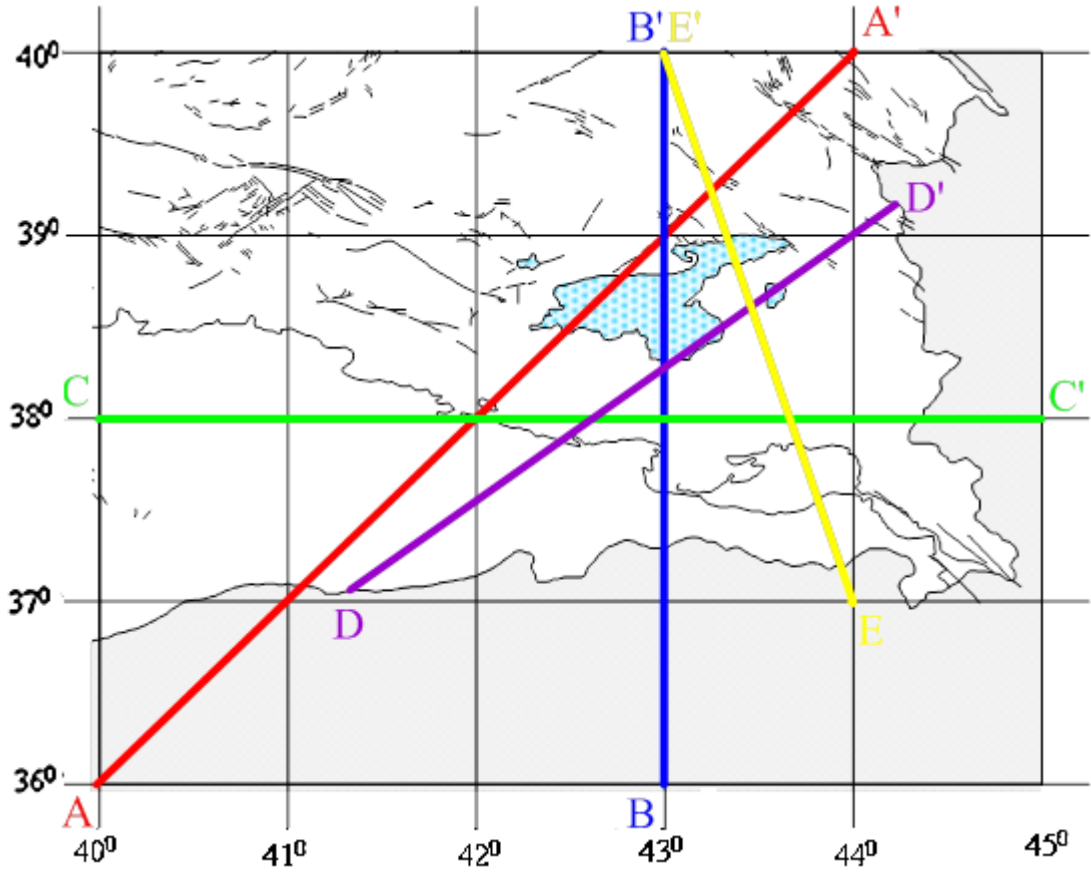
$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 = \frac{2(1-\sigma)}{(1-\sigma)} \quad (4)$$

eşitliğini kullanarak elastik parametre olan Poisson oranı (σ) belirlenmiştir (Utsu, 1984). Poisson oranı ise, kabuğa ait yapıların fiziksel özelliklerinin araştırılmasında bir anahtar parametredir (Zhao, 2004; Salah vd., 2011). Poisson oranı değeri kabuk içerisindeki kaya birimlerinde genellikle 0.20 ila 0.35 arasında değişir. Poisson oranı kabuğun sismolojik davranışının ortaya konulmasında en etkili parametrelerden biridir. Özellikle manto malzemesinin kabuk içerisine doğru ilerlemesi halinde ve deprem kırığının büyüme sürecinin açıklanmasında çok iyi sonuçlar vermektedir (Zhao ve Negishi, 1998; Kayal vd., 2002; Zhao vd., 2002; Salah vd., 2007).

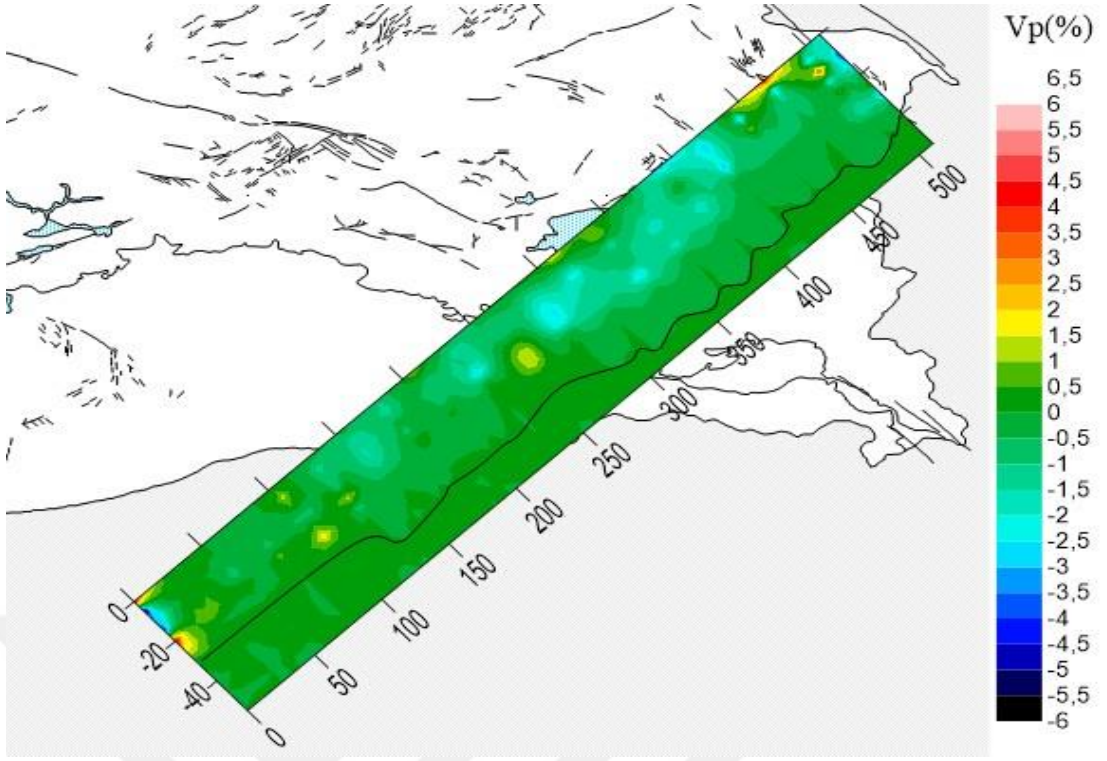
Çalışma alanının sismik tomografisini ve kabuk yapısını görüntülemek amacıyla beş farklı yerde kesit alınmıştır (Şekil 4.2). Kesitlerin yerleri, Van Gölü Havzası ve

çevresindeki diğer havzaları görüntülemek, 23 Ekim Van Depremi'nin gerçekleştiği noktanın tomografisini incelemek ve alınan verilerle oluşturulacak kesitleri birbiriyle kesiştirip uyumluluklarını görmek amaçlarıyla seçilmişlerdir.

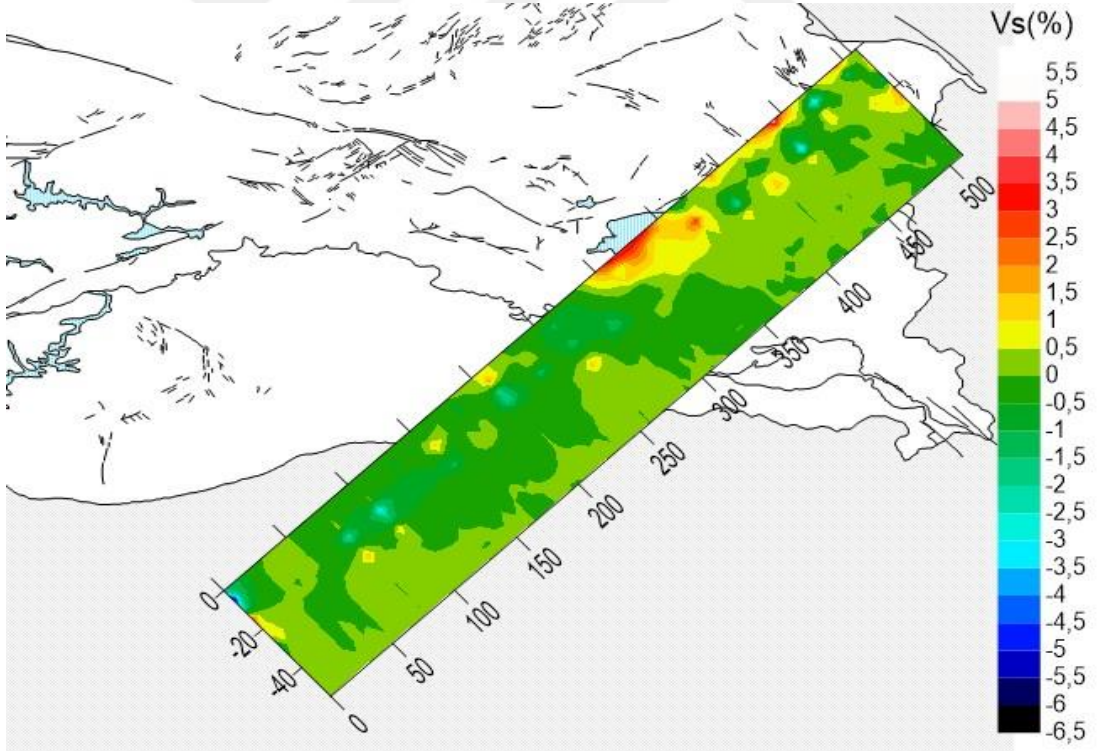
Araştırma Bölgesi'nde beş farklı yerde alınmış kesitler için ters çözüm sonucu elde edilen V_p ve V_s değerlerinin düşey yönde değişimi, Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'da verilmiştir. Ayrıca bu şekillerden çıkarılan yaklaşık kabuk kalınlığı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Bu tez çalışması için alınan kesitlerin yerleri. A-A', B-B', C-C', D-D' ve E-E' sürekli düz çizgiler Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'deki düşey kesitin yerlerini göstermektedir

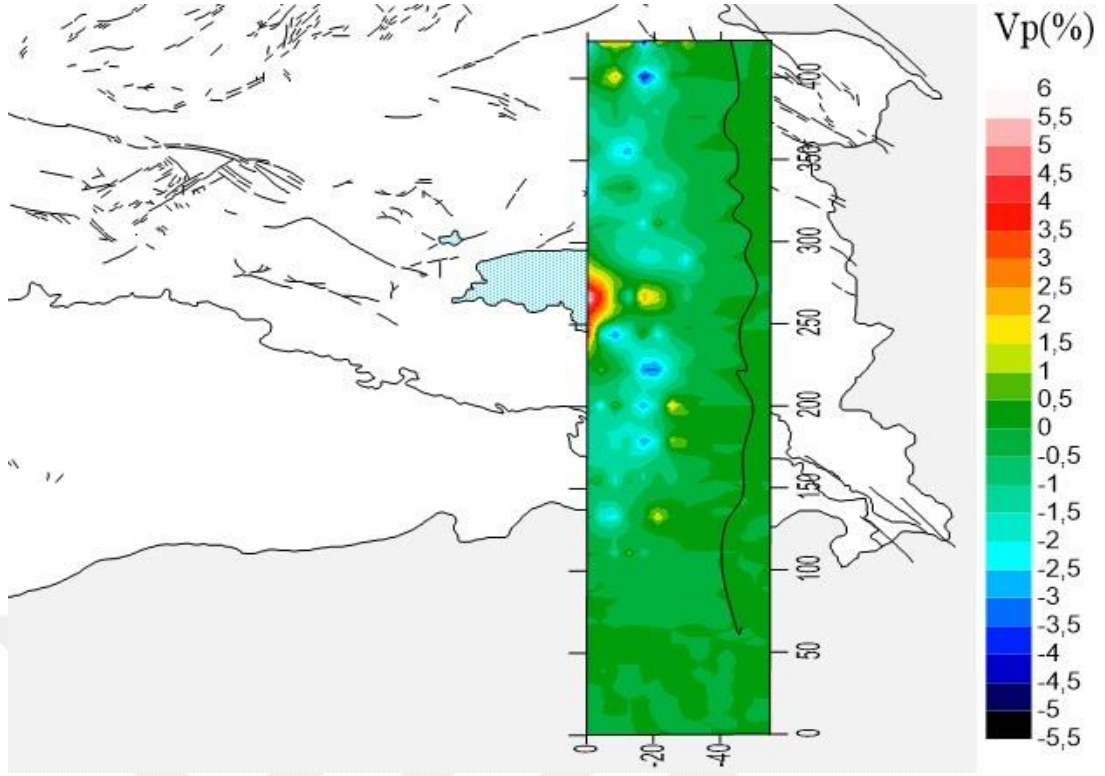


a)

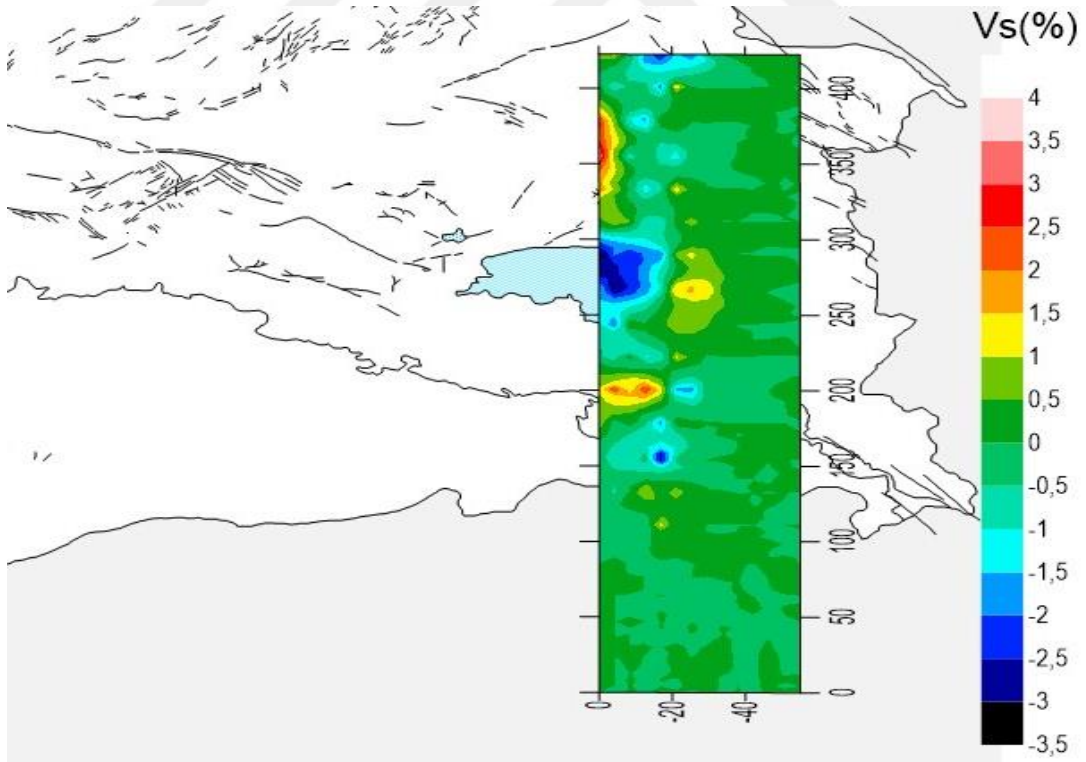


b)

Şekil 4.3. A-A'hattı boyunca V_p (a) ve V_s (b) hız değişimlerine ait düşey kesitler. a'da yaklaşık kabuk çizgisi oluşturulmuştur

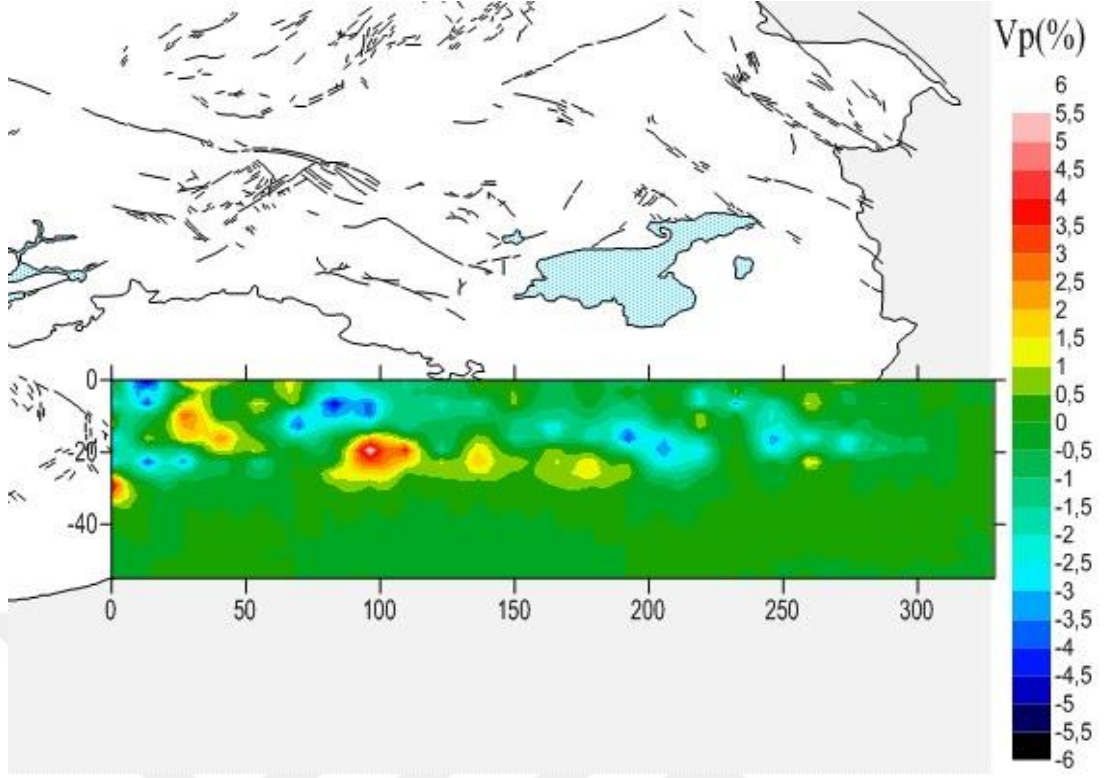


a)

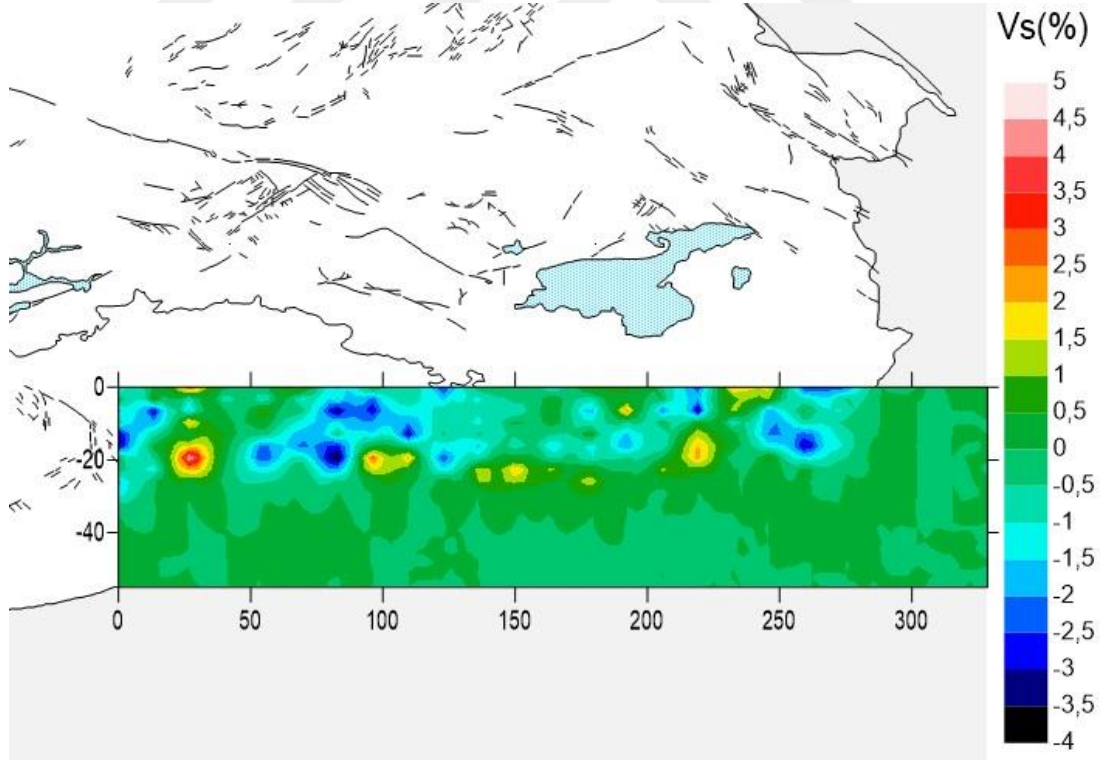


b)

Şekil 4.4. B-B'hattı boyunca Vp (a) ve Vs (b) hız değişimlerine ait düşey kesitler. a'da yaklaşık kabuk çizgisi oluşturulmuştur

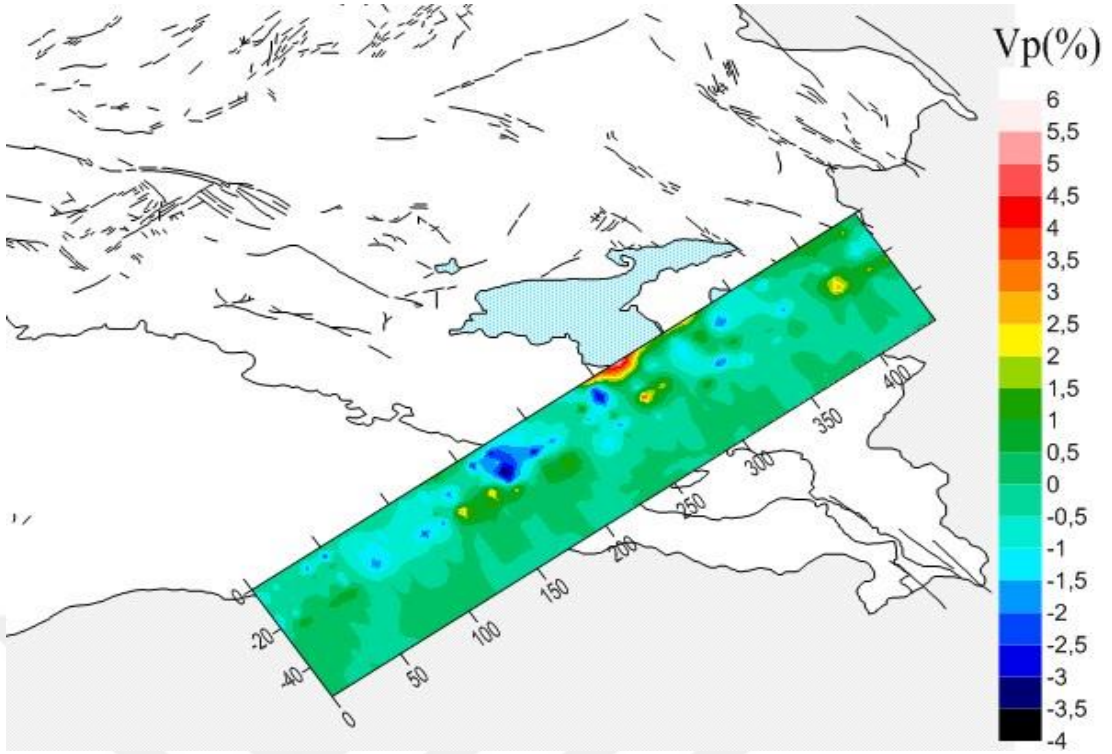


a)

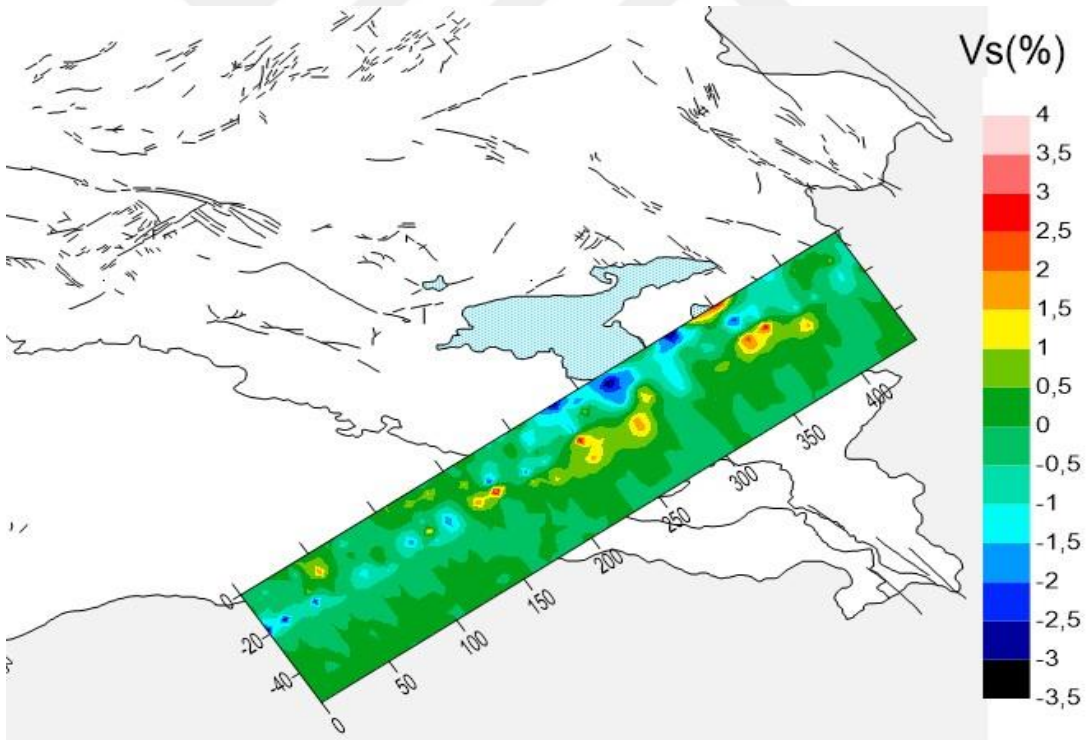


b)

Şekil 4.5. C-C'hattı boyunca (a) V_p ve (b) V_s hız değişimlerine ait düşey kesitler

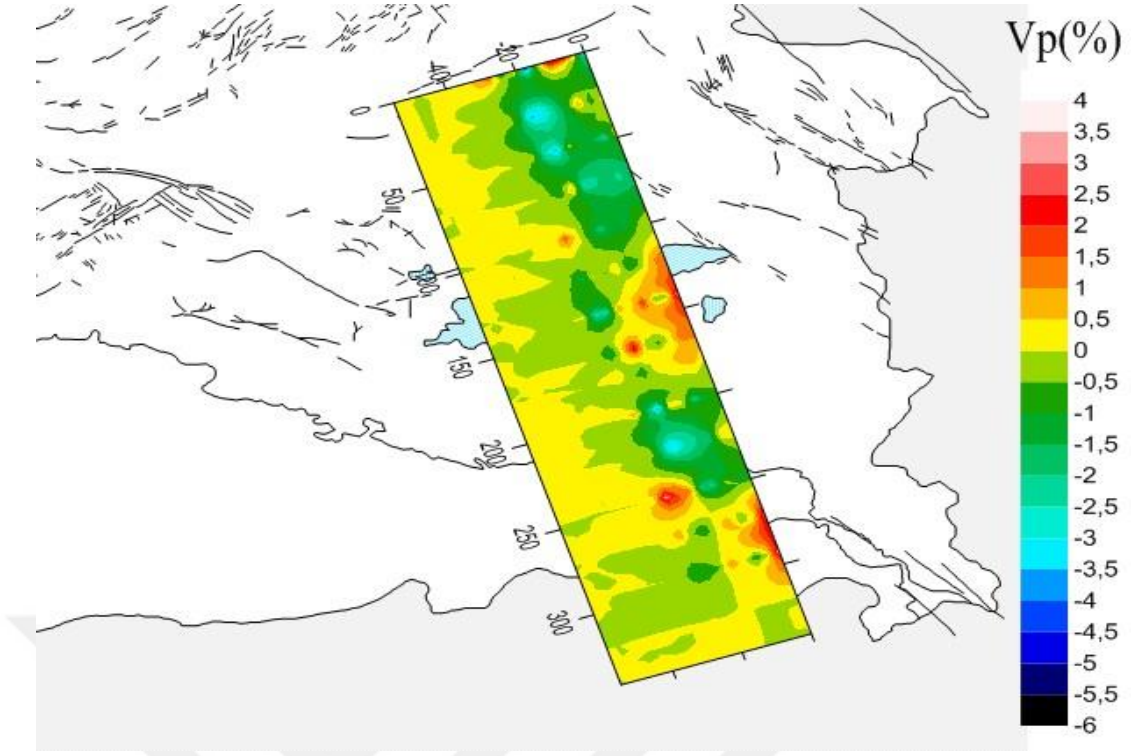


a)

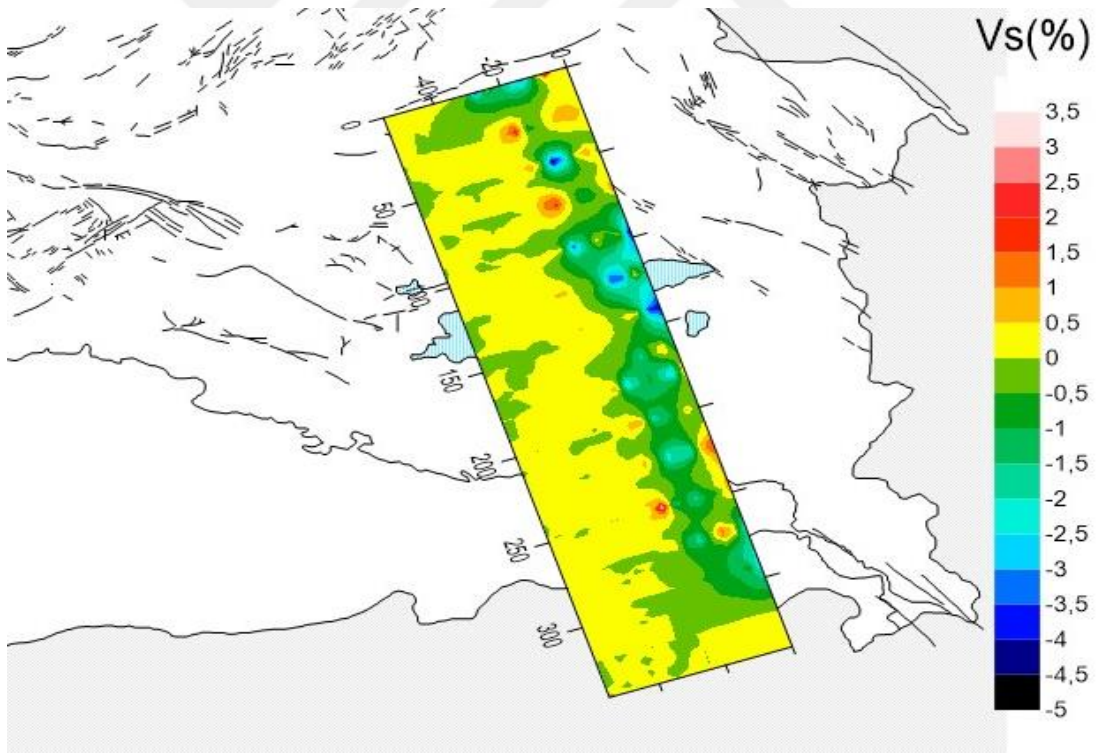


b)

Şekil 4.6. D-D'hattı boyunca (a) Vp ve (b) Vs hız değişimlerine ait düşey kesitler



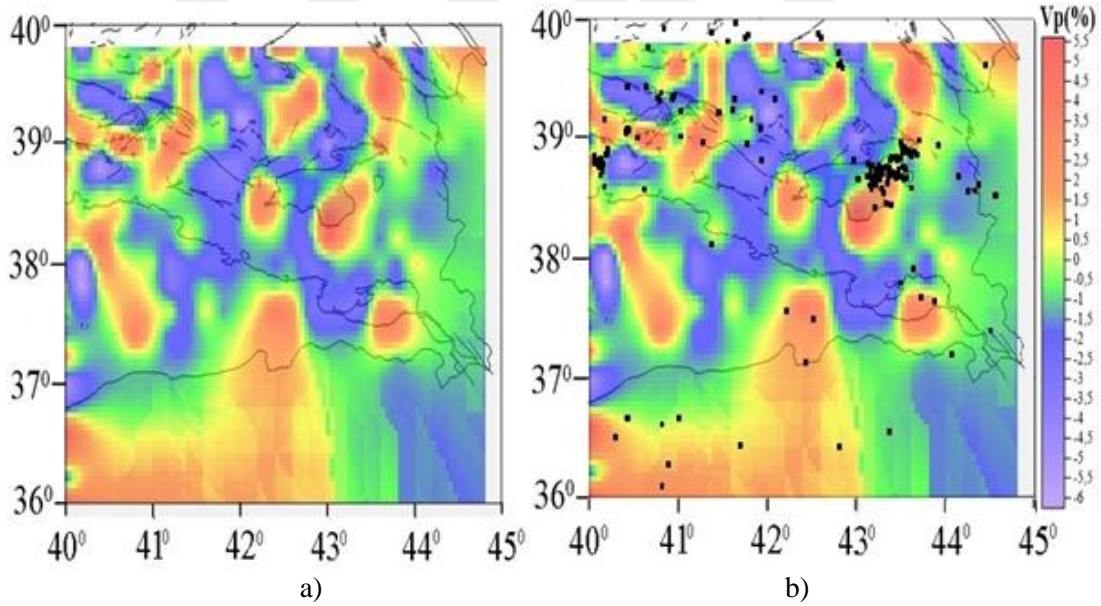
a)



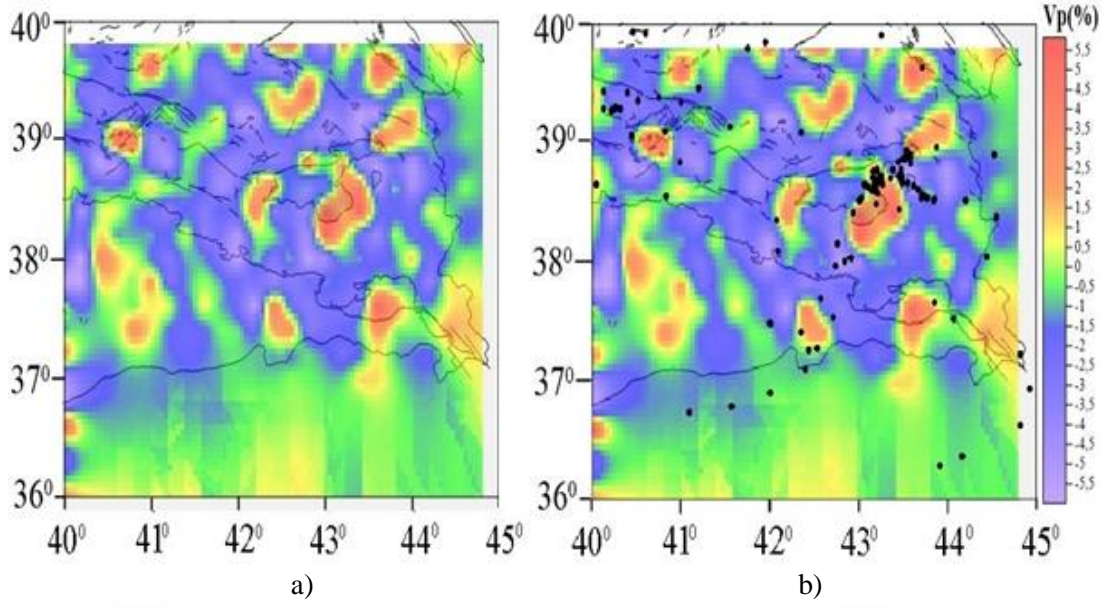
b)

Şekil 4.7. E-E hattı boyunca (a) Vp ve (b) Vs hız değişimlerine ait düşey kesitler

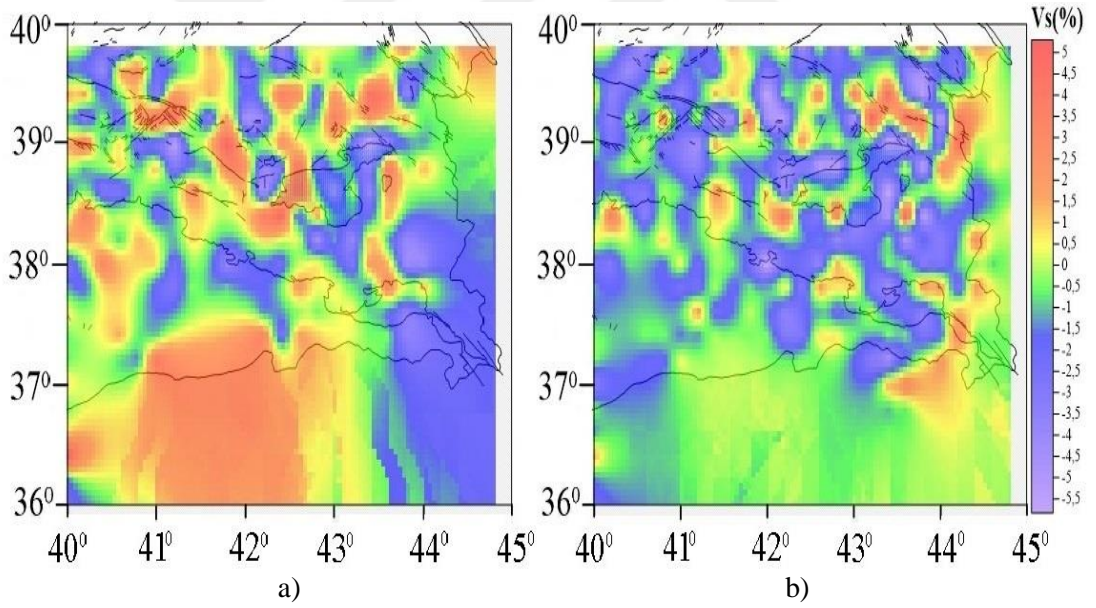
Araştırma Bölgesi'nde 30 km derinliklere kadar P ve S dalgası % hız değişimleri ve poisson oranı % değişimleri incelenmiştir. Belirlenen derinliklerde P ve S dalgası % hız değişimleri ve poisson oranı % değişimleri tomografik olarak haritalanmıştır (Şekil 4.8, 4.9...- 4.32). Oluşturulan sismik tomografi haritaları, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin öncesi ve sonrası olarak ayrı ayrı incelenmiştir. P dalgası yüzde hız değişimleri, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden önceki ve sonraki durumda depremlerle uyumu karşılaştırmalı olarak haritalanmıştır. S dalgası için % hız değişimleri, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden önceki ve sonraki durumunu gösteren tomografi haritaları oluşturulmuştur. 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi durumda Poisson oranı % değişimlerinin depremlerle uyumu incelenmiştir. P dalgası hız değişimleri, genellikle % 5,5 ile % -6 arasındaki değerlerde ve S dalgası hız değişimleri, % 4 ile % -5,5 arasındaki değerlerde görüntülenmiştir. Poisson oranı % değişimleri için genelleme yapılabilecek belirli bir aralık görülmemiştir. Fakat sığ depremlerden sonra derinlere doğru poisson oranının % değişim değerleri için, % -5 den % -10 lara kadar düşük değerli yapılar görülmüştür.



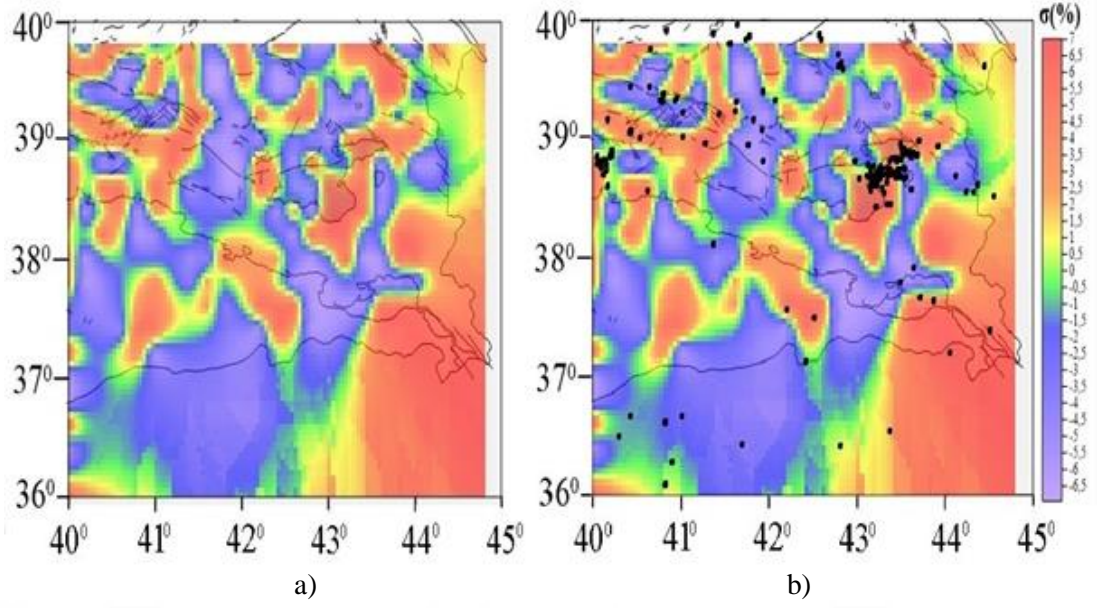
Şekil 4.8. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



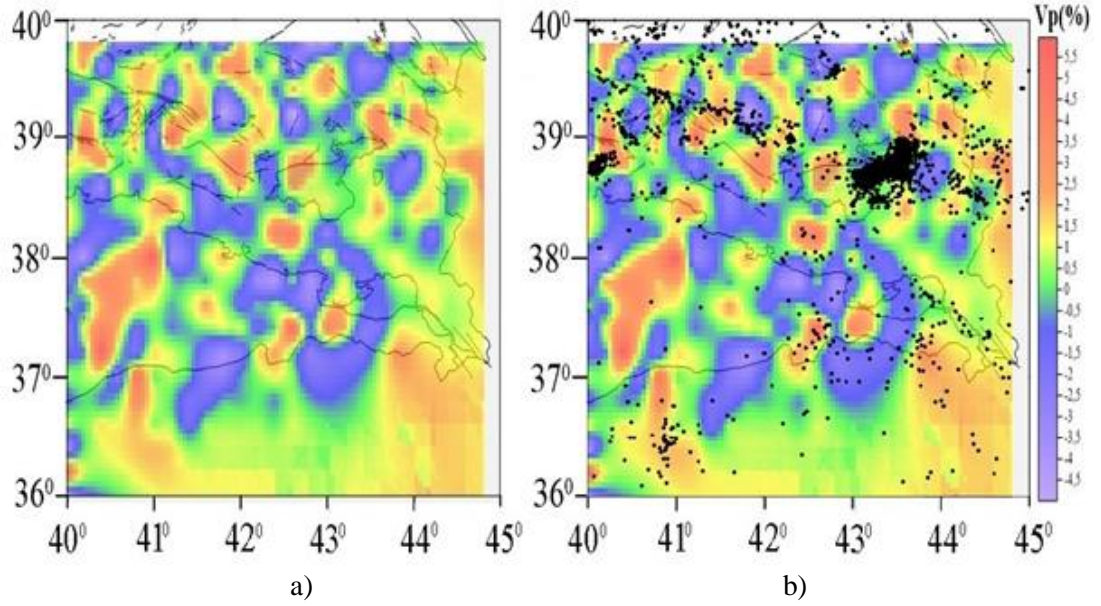
Şekil 4.9. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



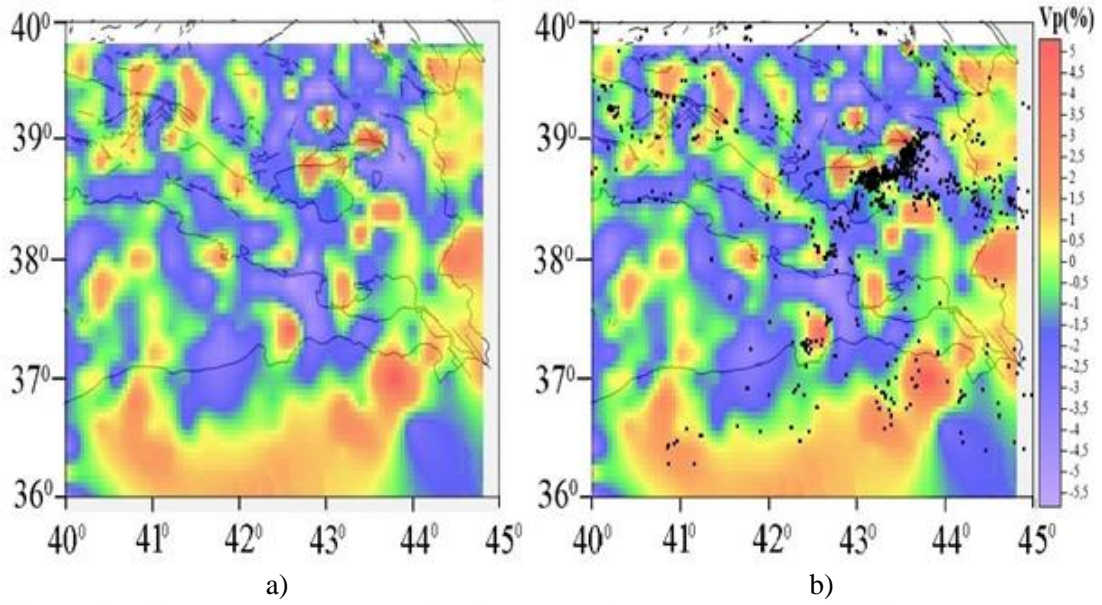
Şekil 4.10. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



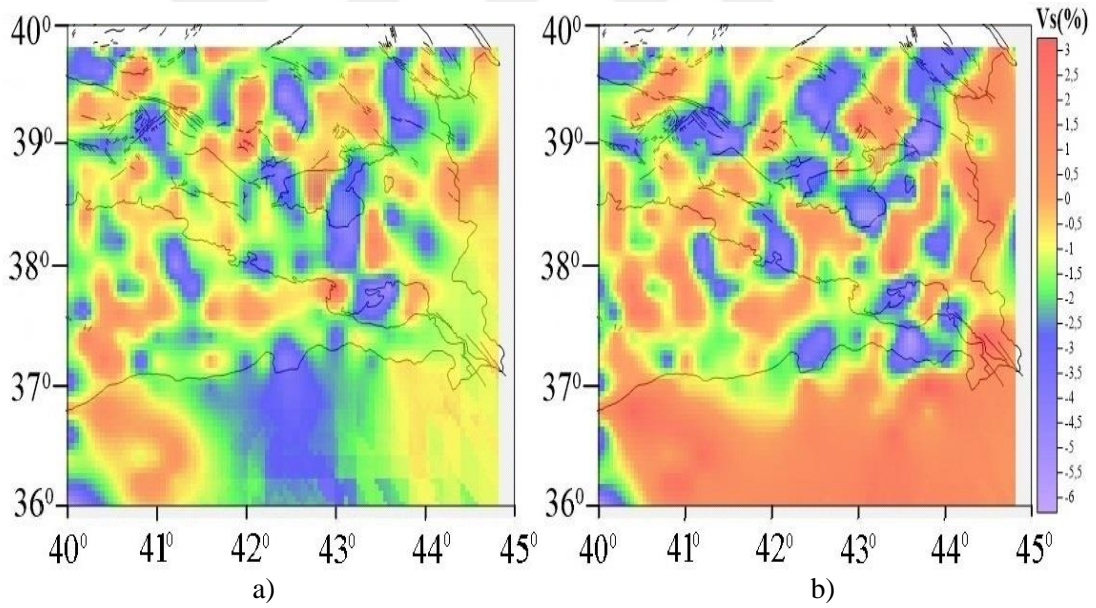
Şekil 4.11. Araştırma bölgesinde 0 km (yeryüzü) derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



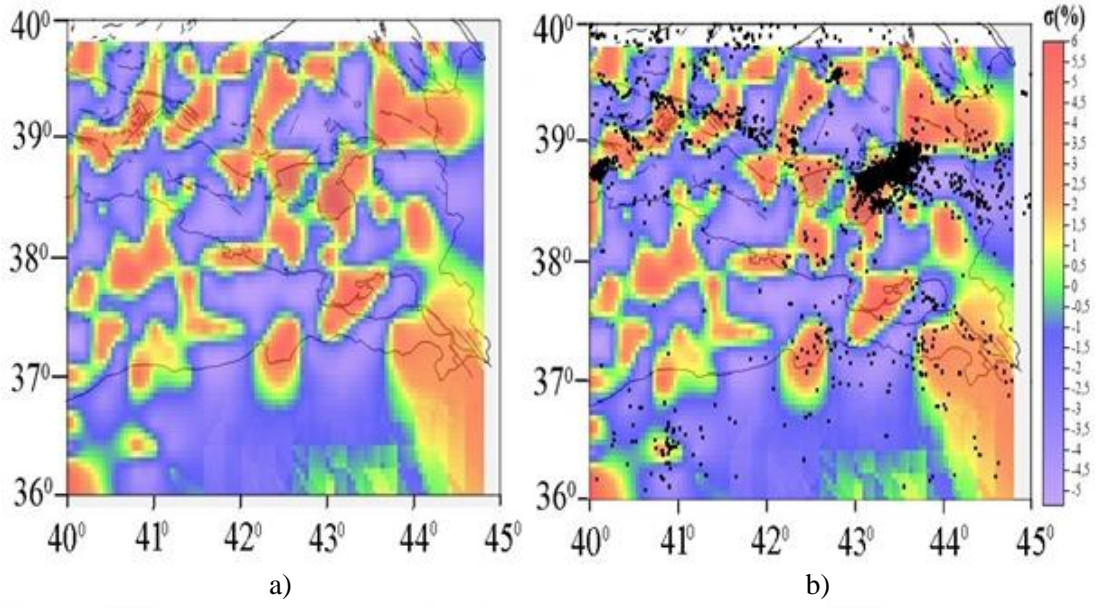
Şekil 4.12. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



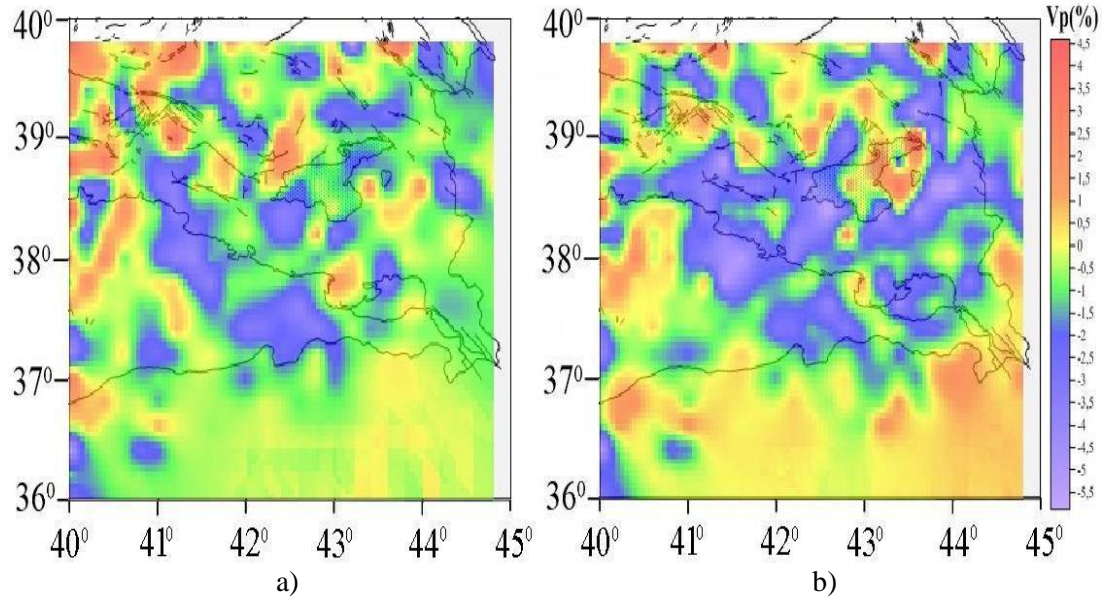
Şekil 4.13. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



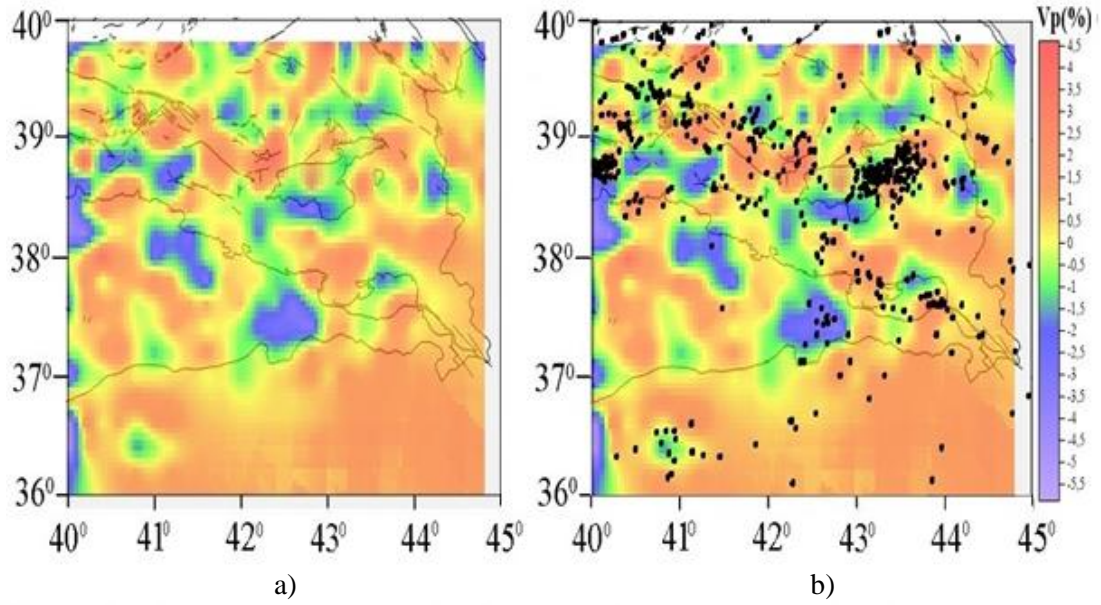
Şekil 4.14. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



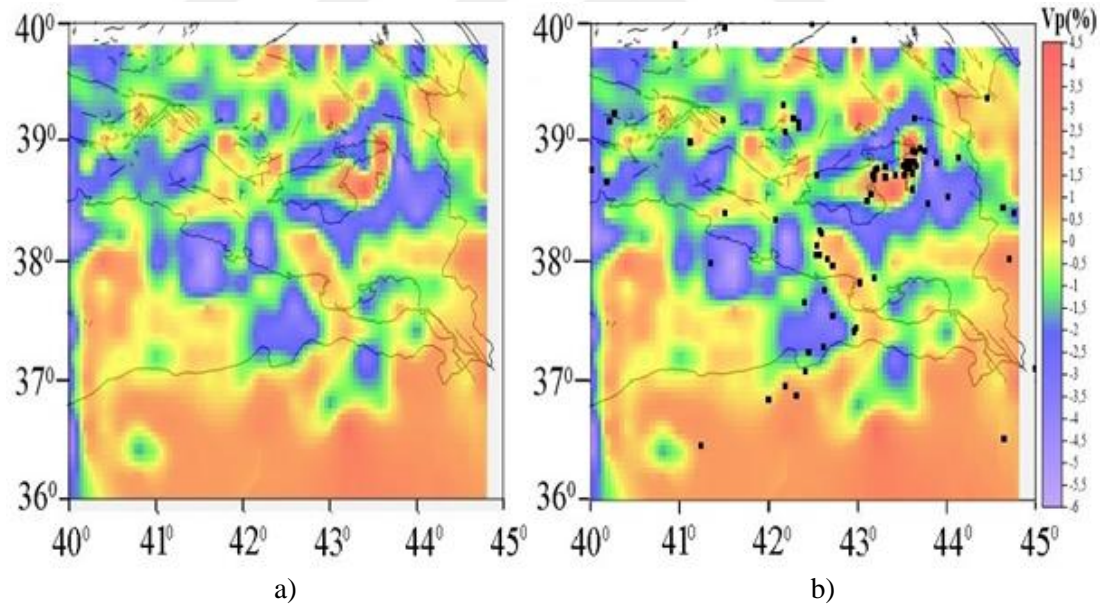
Şekil 4.15. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



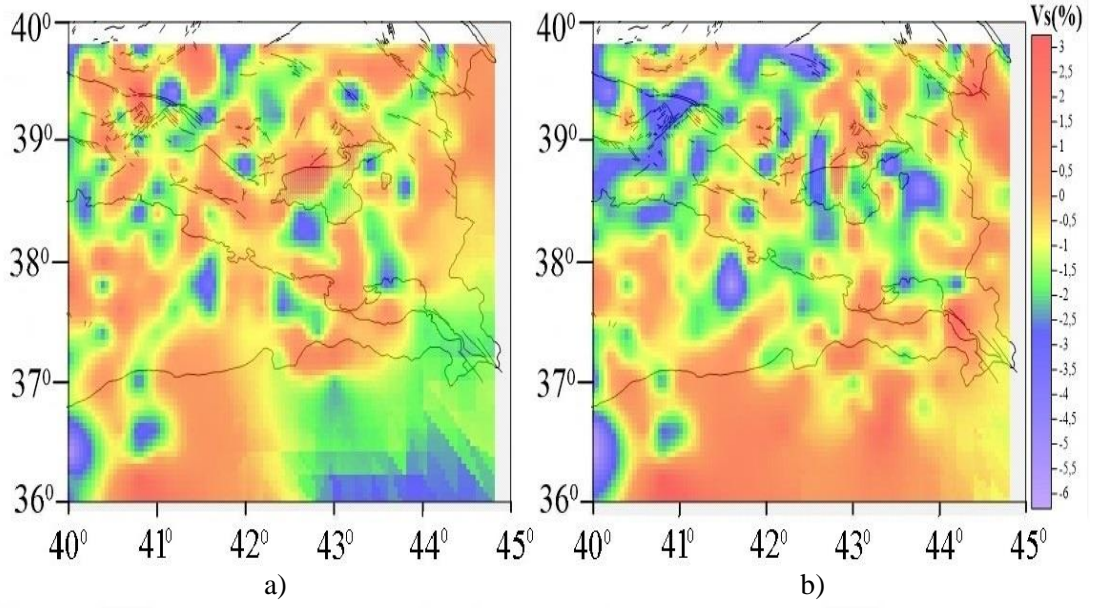
Şekil 4.16. Araştırma bölgesinde 9 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda P dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



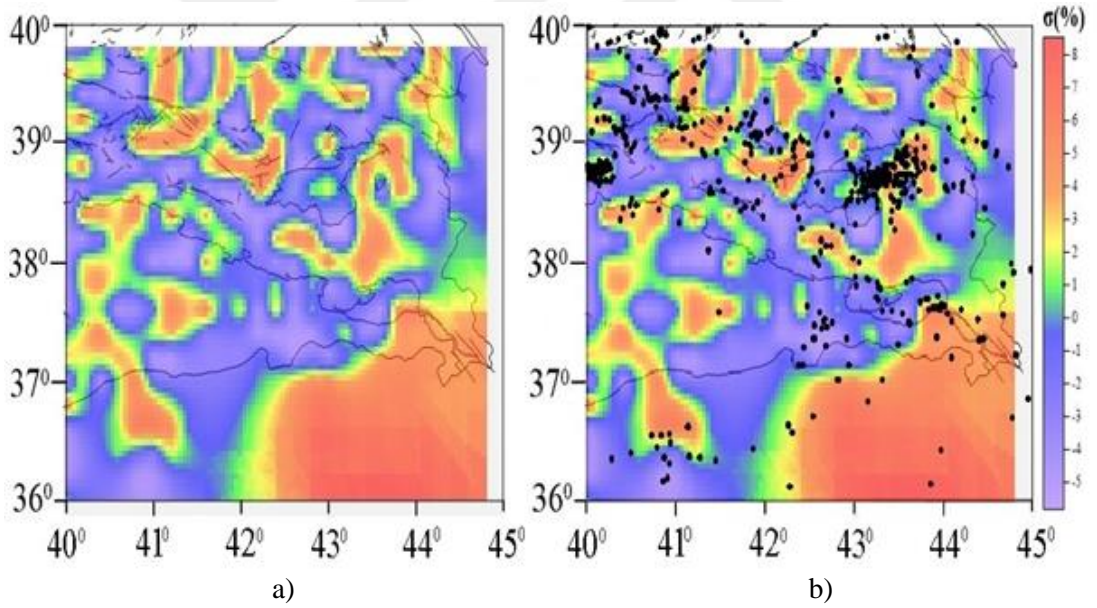
Şekil 4.17. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



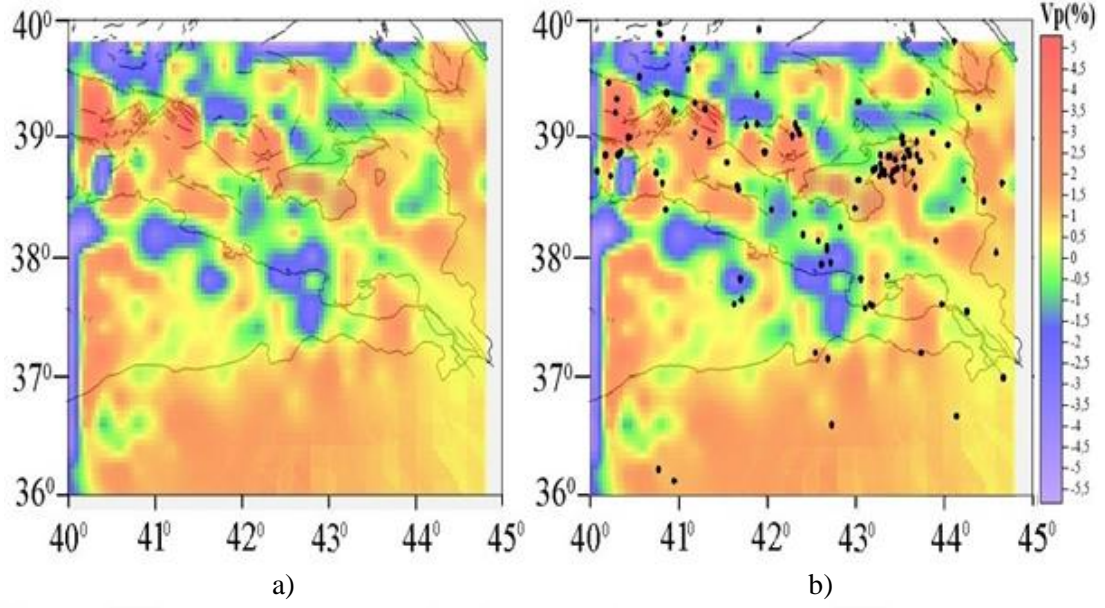
Şekil 4.18. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



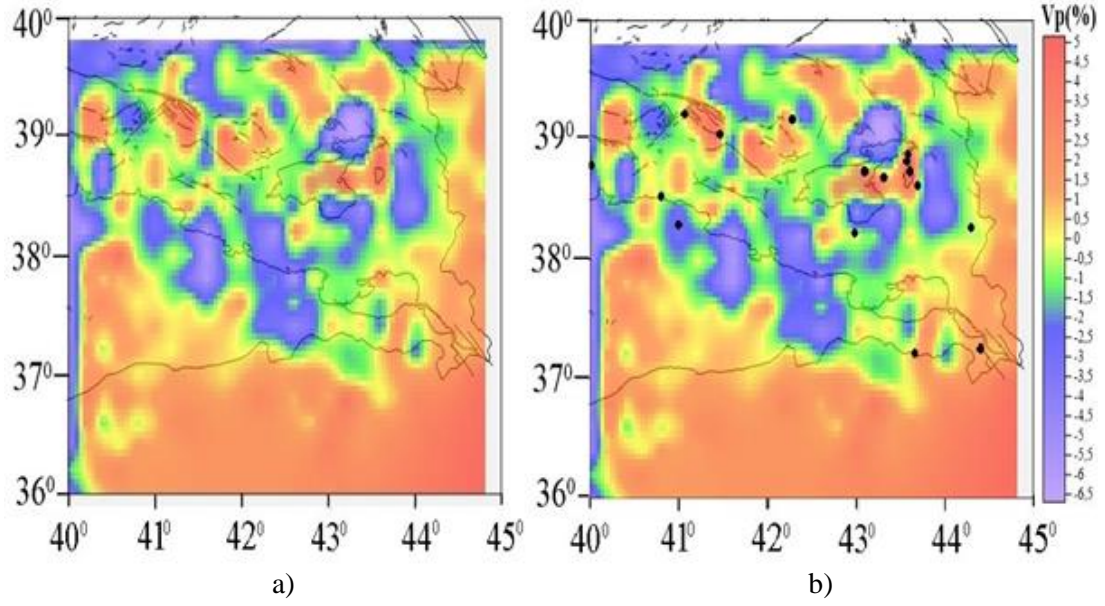
Şekil 4.19. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



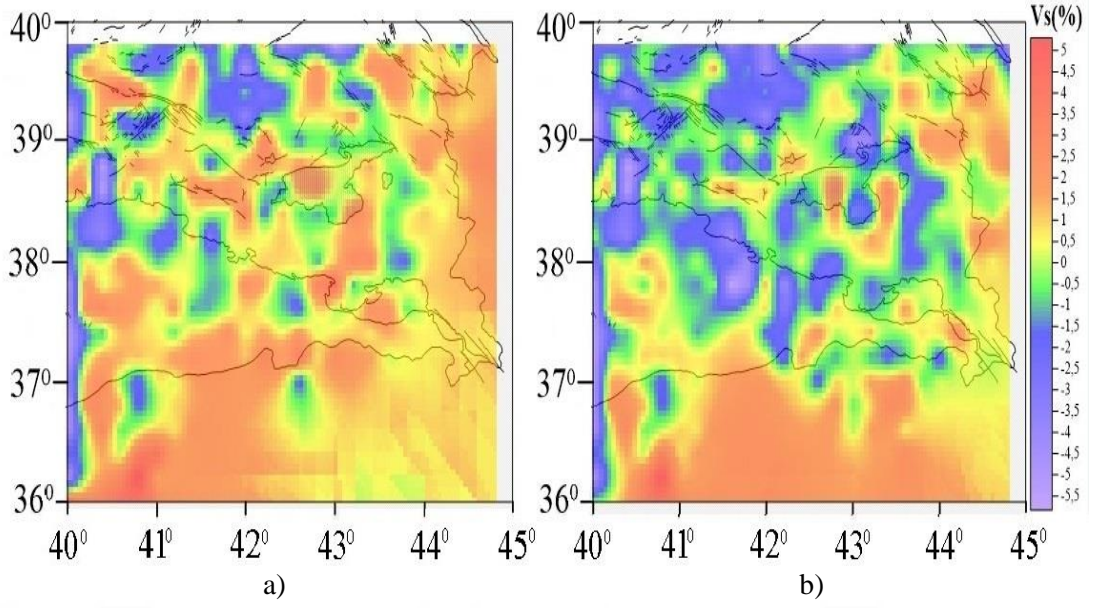
Şekil 4.20. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



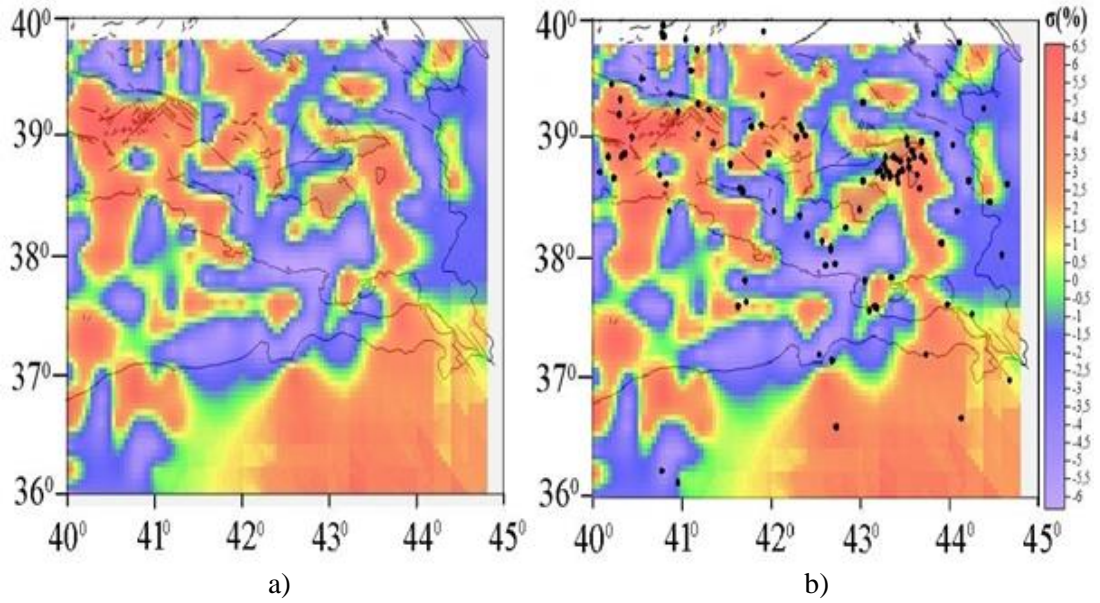
Şekil 4.21. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



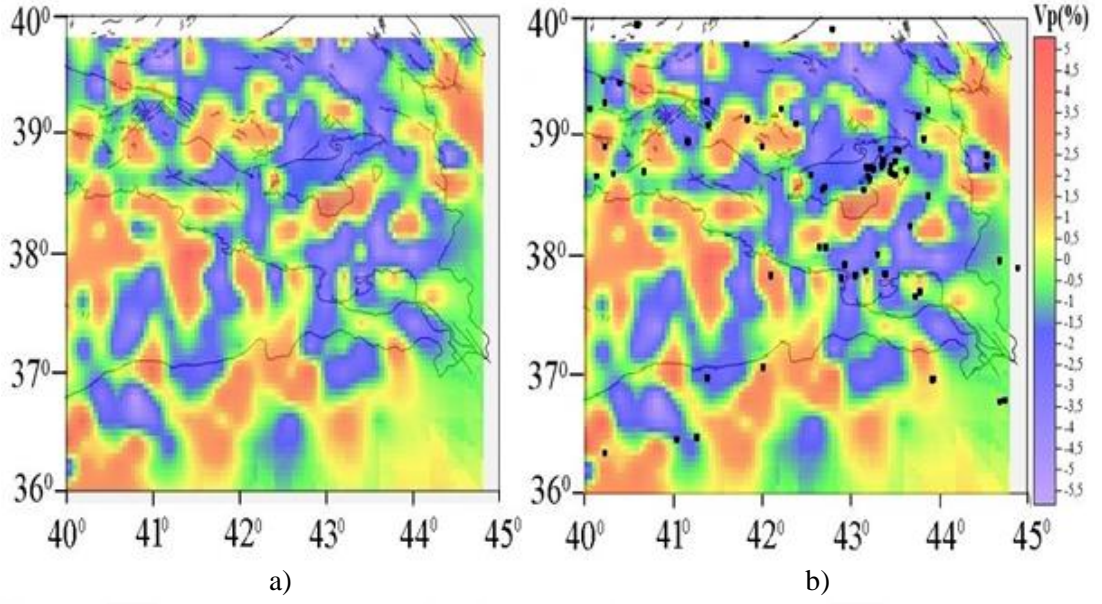
Şekil 4.22. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



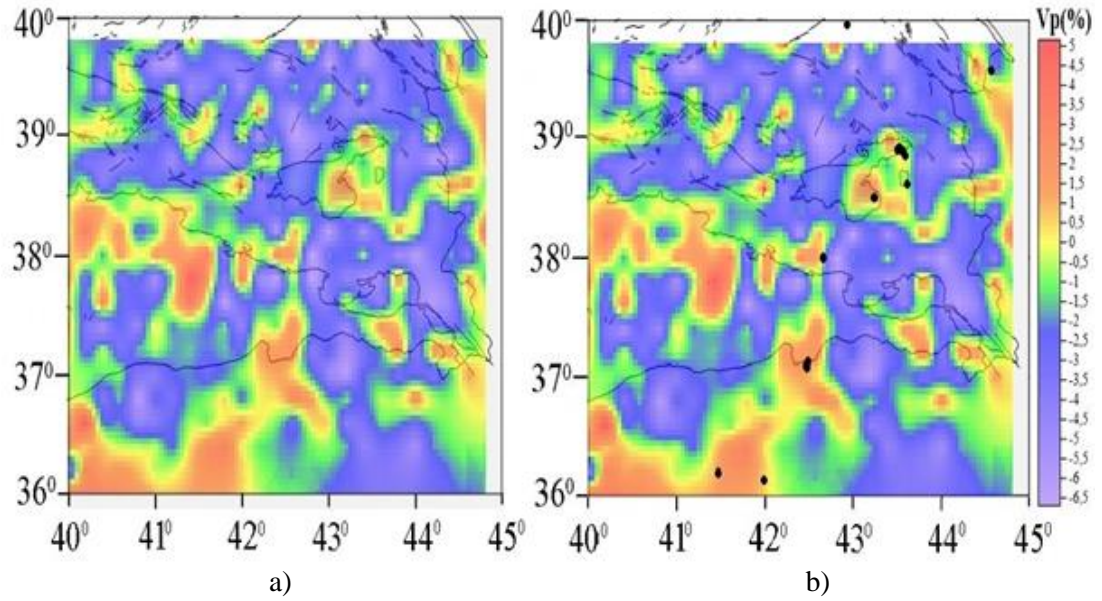
Şekil 4.23. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



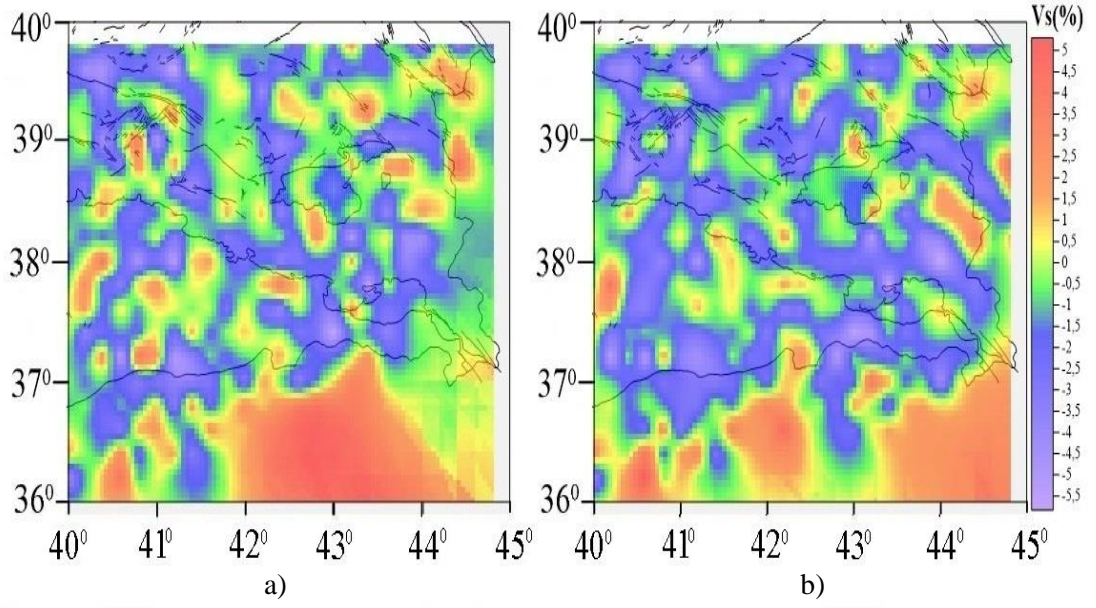
Şekil 4.24. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



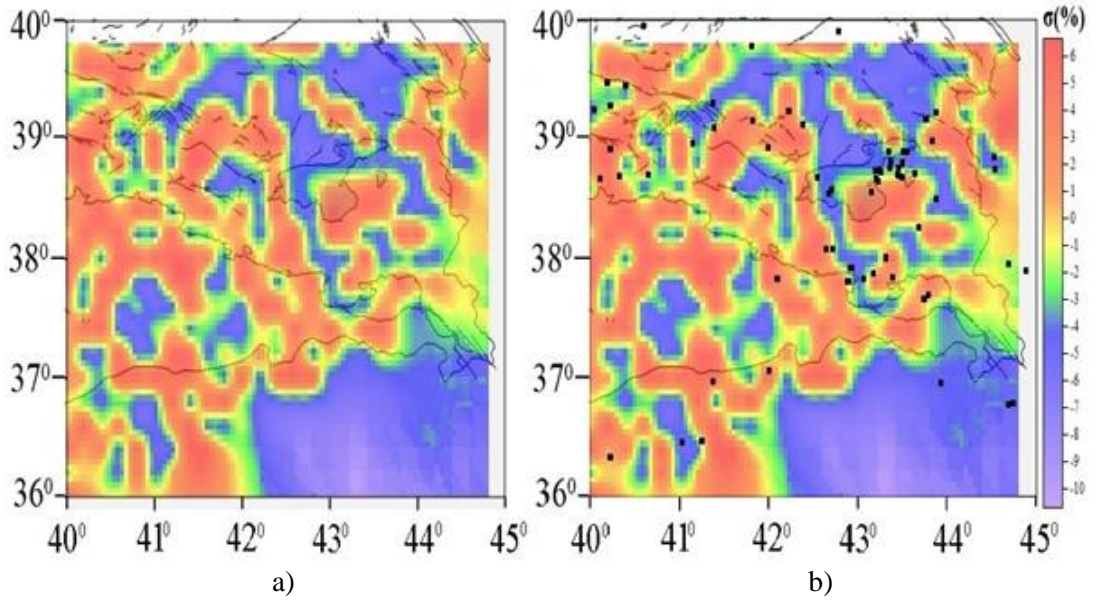
Şekil 4.25. Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



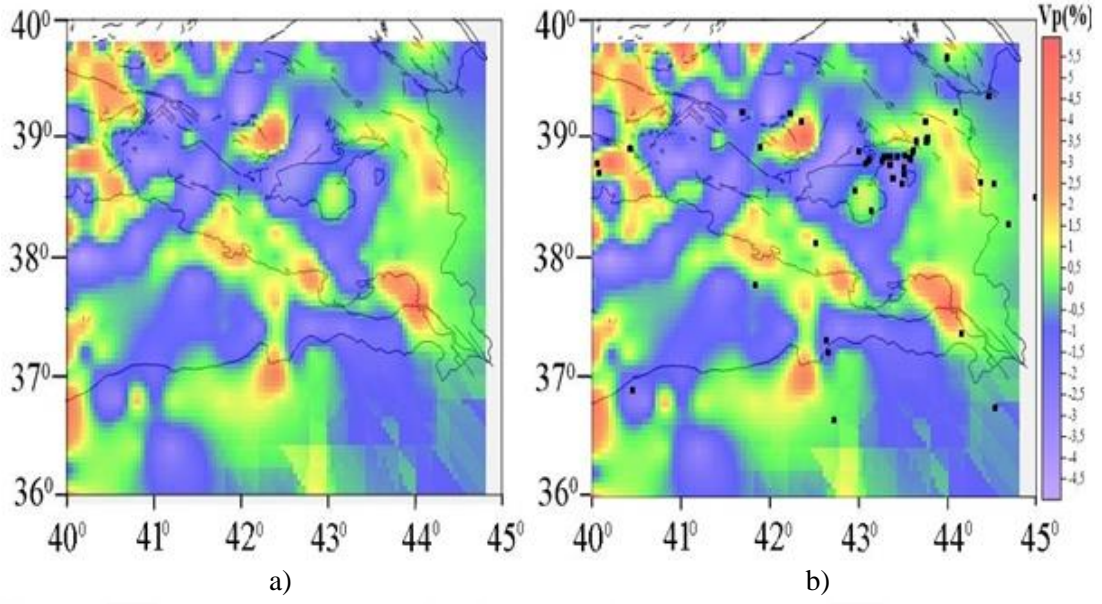
Şekil 4.26. Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



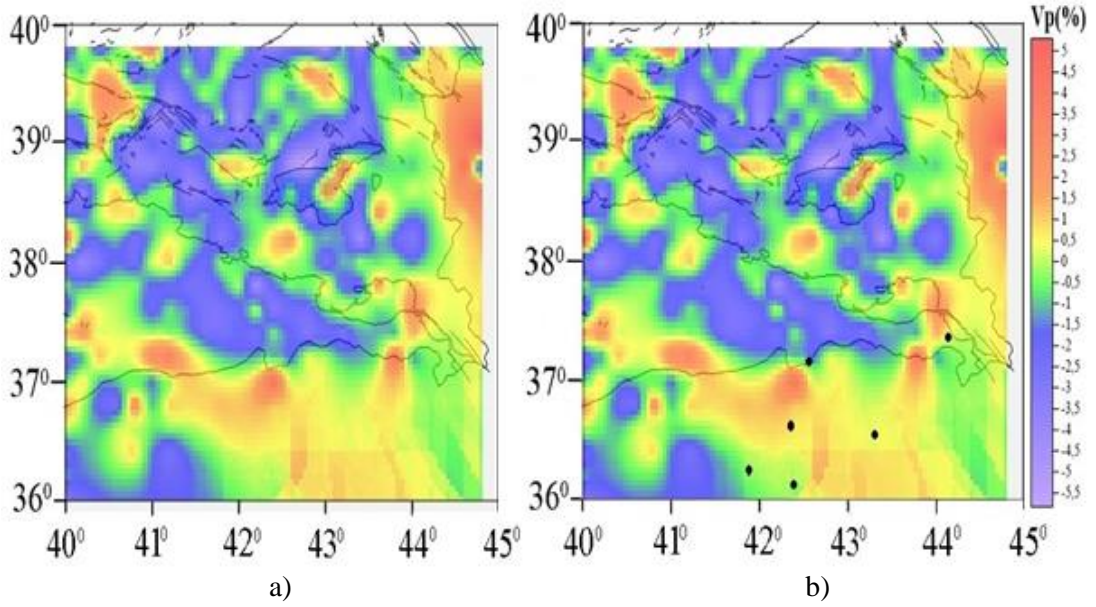
Şekil 4.27. Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



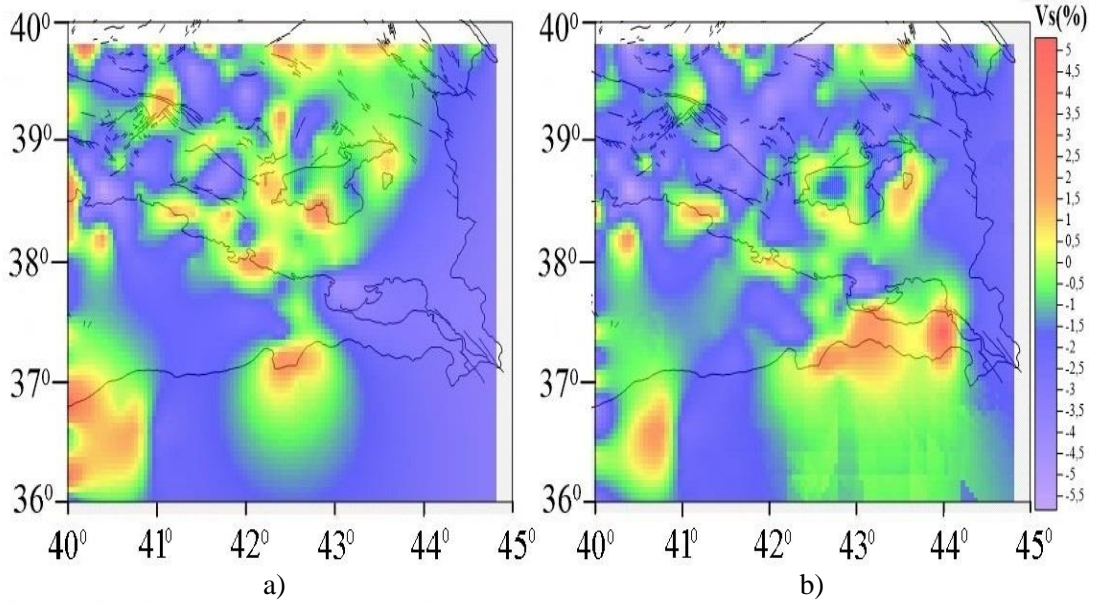
Şekil 4.28. Araştırma bölgesinde 18 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



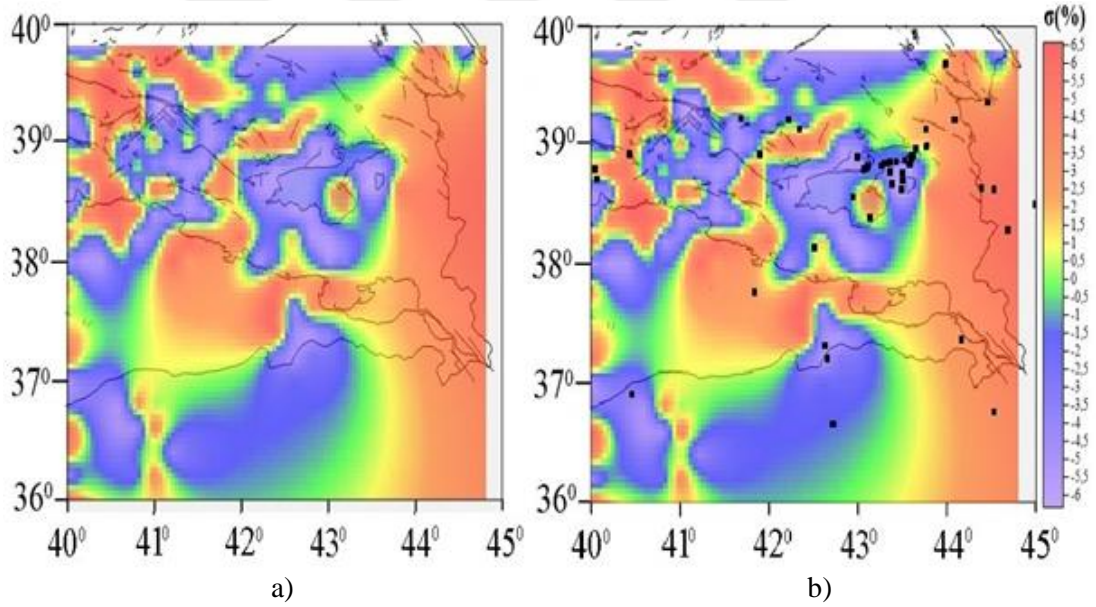
Şekil 4.29. Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



Şekil 4.30. Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası P dalgası % hız değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir

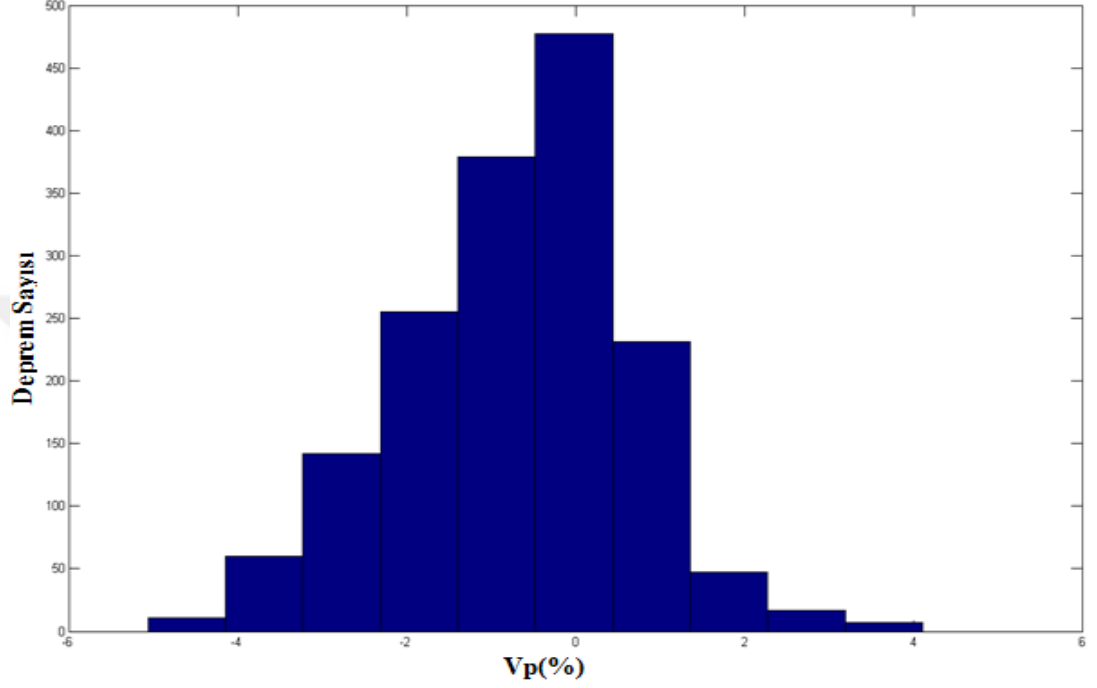


Şekil 4.31. Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi (a) ve sonrası (b) durumda S dalgası % hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hız değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir

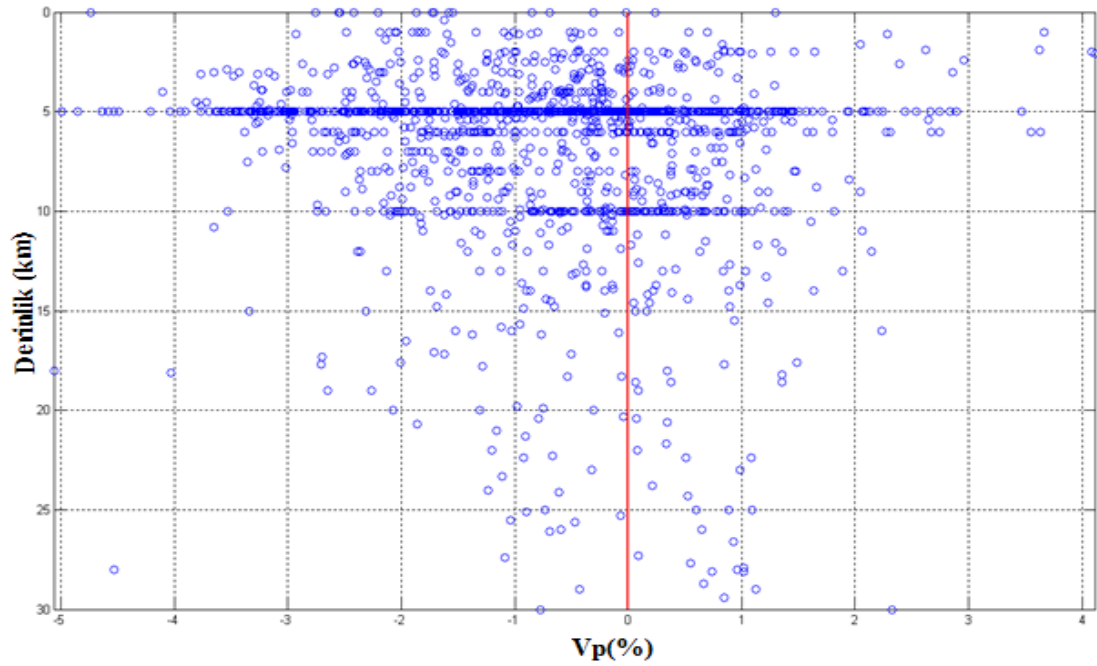


Şekil 4.32. Araştırma bölgesinde 24 km derinlikte 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi Poisson oranı (σ) % değişimi (a) ve depremlerle uyumu (b). Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir

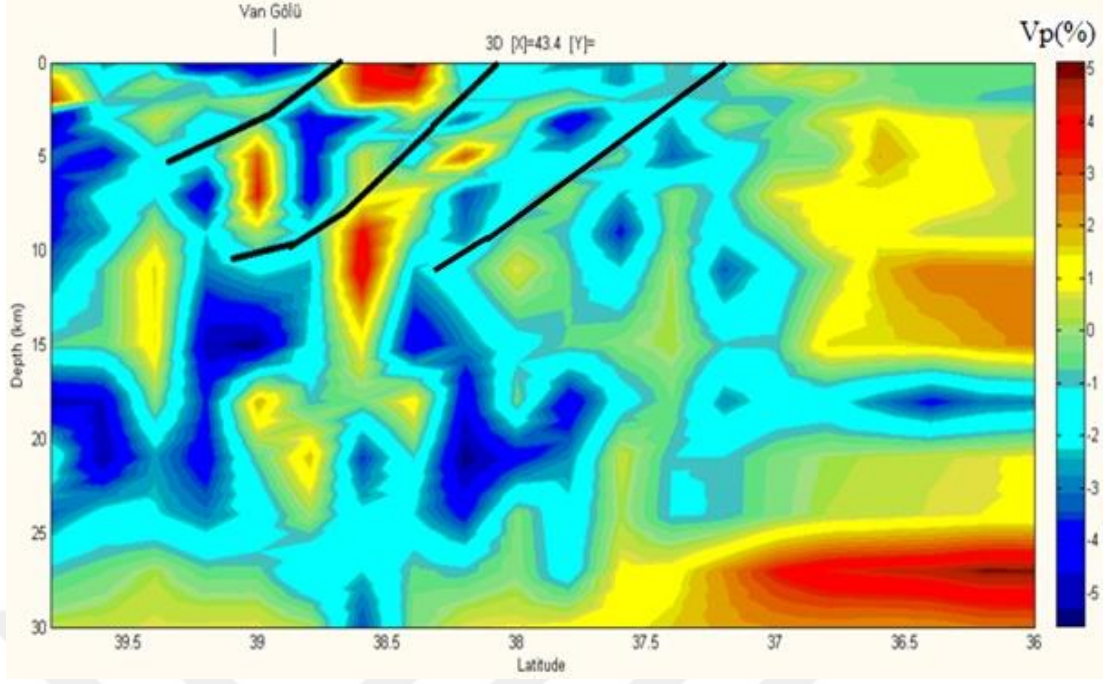
Çalışma alanında 2007 yılından günümüze $M \geq 3.5$ büyüklükte gerçekleşen depremlerin hız değişimleri, daha çok bloklar arası geçiş bölgelerine yığıldığı ve bununla birlikte hızın düşük olduğu alanlarda meydana geldiği görülmektedir. Hızlar, P dalgası için çoğunlukla yüzde hız değişiminin 1 ile -3 aralığında geçtiği görülmektedir. (Şekil 4.33 ve Şekil 4.34)



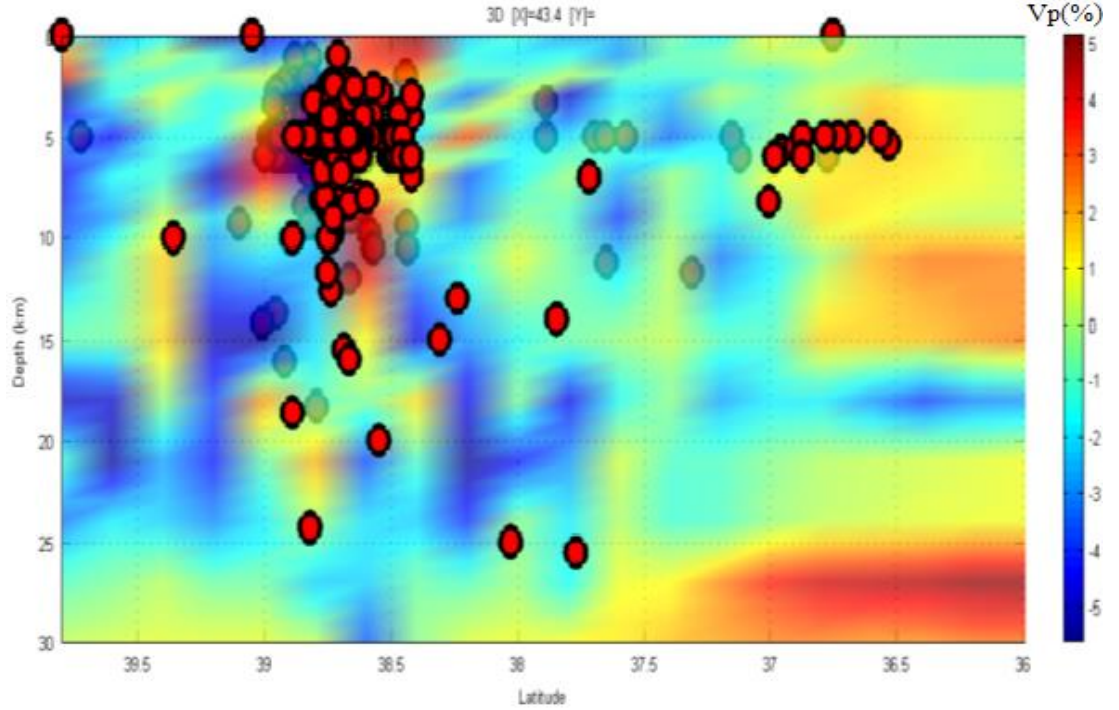
Şekil 4.33. Depremlerin hız-derinlik dağılımı



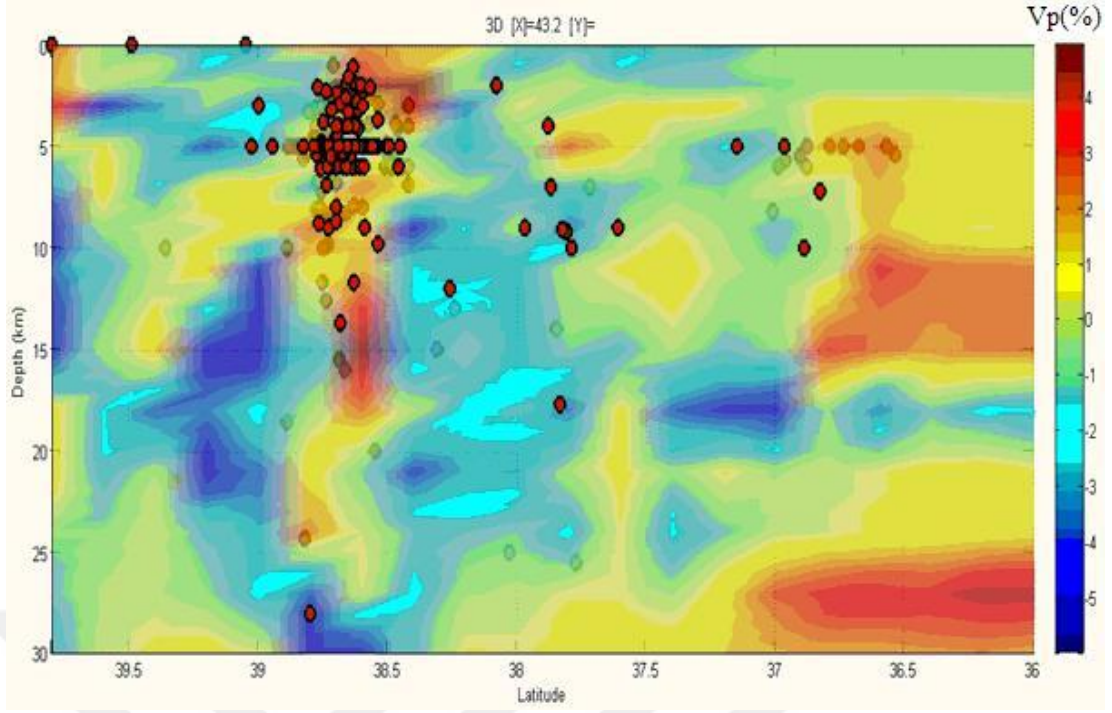
Şekil 4.34. Deprem sayısı Vp(%) değişimi



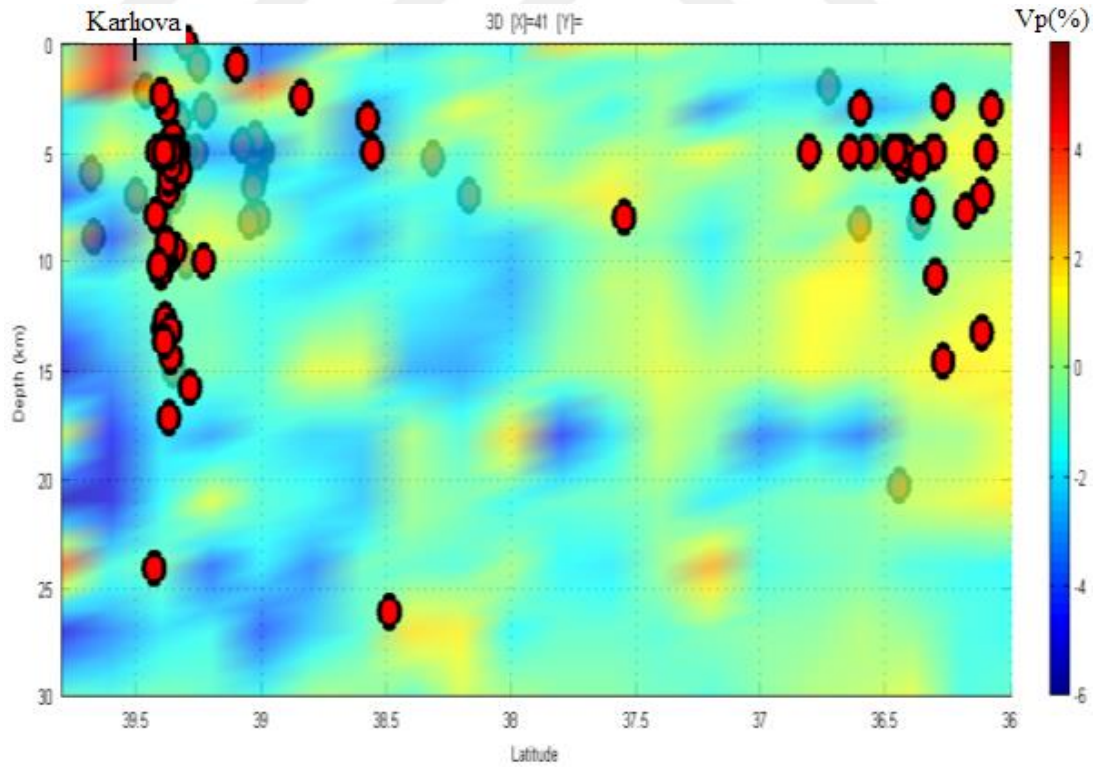
Şekil 4.35. 43.4° D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi kesiti



Şekil 4.36. 43.4° D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu

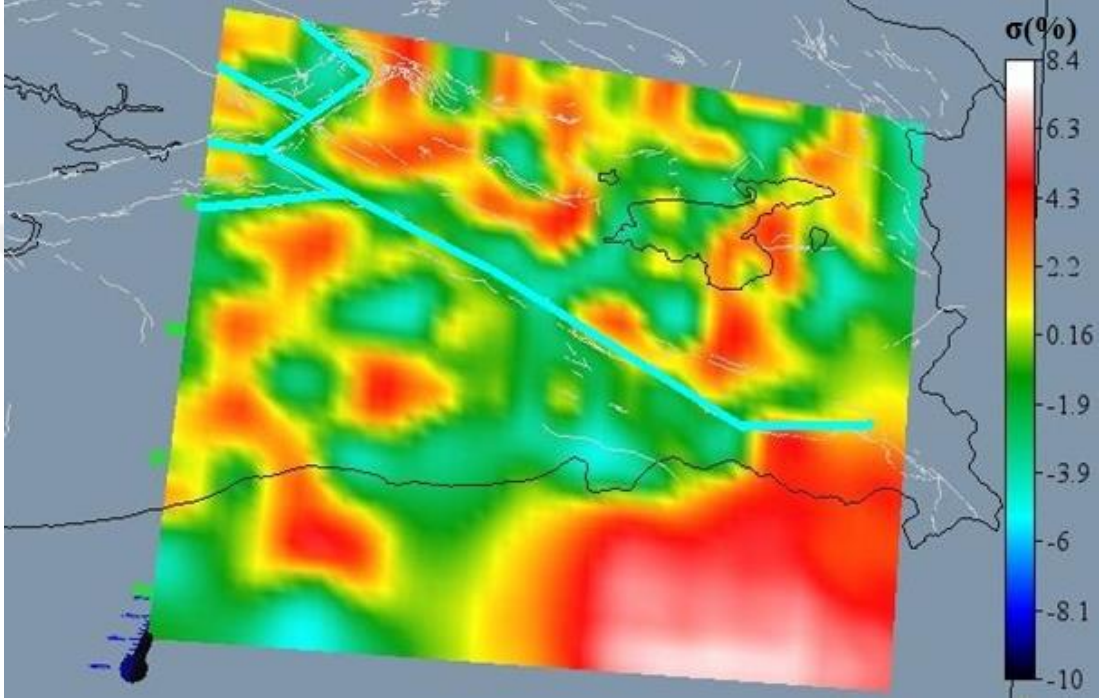


Şekil 4.37. 43.2^o D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu



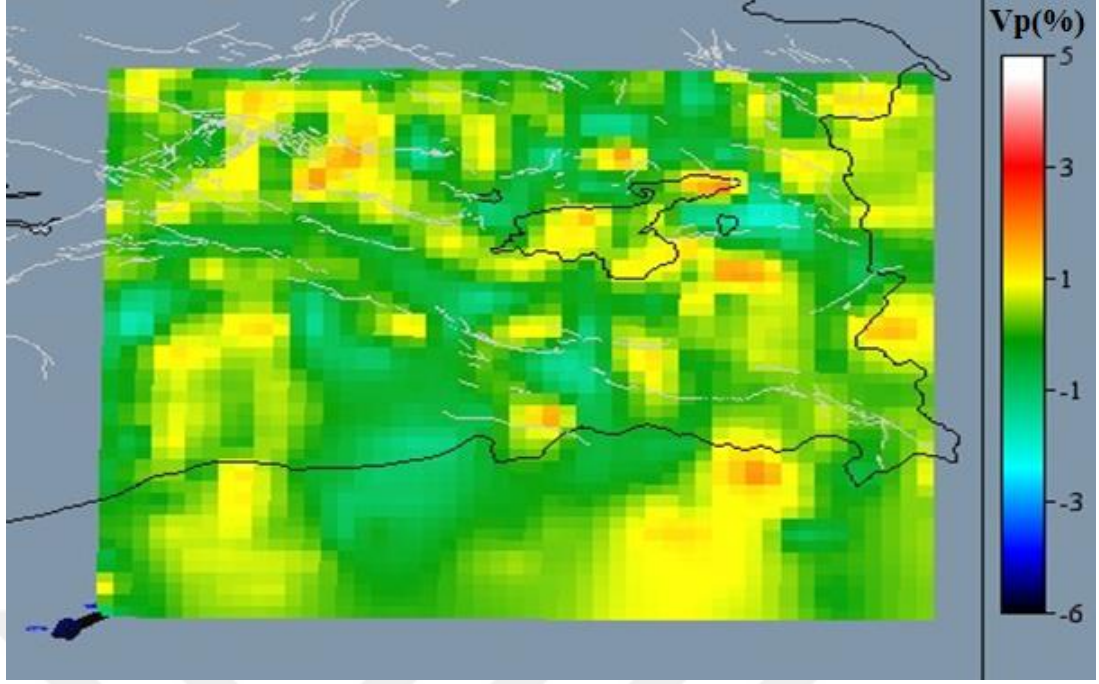
Şekil 4.38. 41^o D boylamı doğrultusunda Van Gölü Havzası'nı içeren P dalgası hız değişimi ve depremlerle uyumu

Çalışmada asıl amaçlardan biri olan bölgenin sismotektonik yapısını incelemeye farklı yöntem ve kaynaklar kullanılmıştır. Bölgedeki fayların derinliklerini, yönlerini ve diğer özelliklerini tomografik modellerde görüntülemek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen modellerde Doğu Anadolu Fayı, Kuzey Anadolu Fayı ve Bitlis-Zagros Suture Zonu'nu belirgin olarak gösteren modeller görüntülenmiştir. (Şekil 4.39)

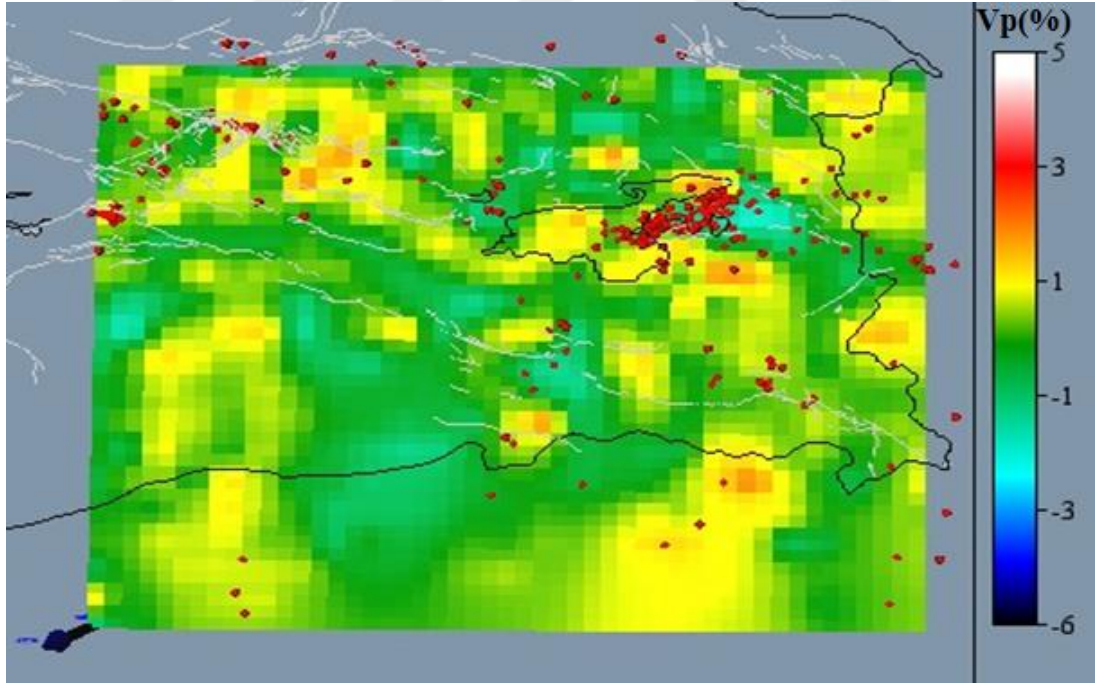


Şekil 4.39. Araştırma bölgesinde 11 km derinlikteki Poisson oranı (σ) değişiminin bölgedeki faylarla uyumu. Açık mavi çizgiyle fayların etkisi vurgulanmıştır

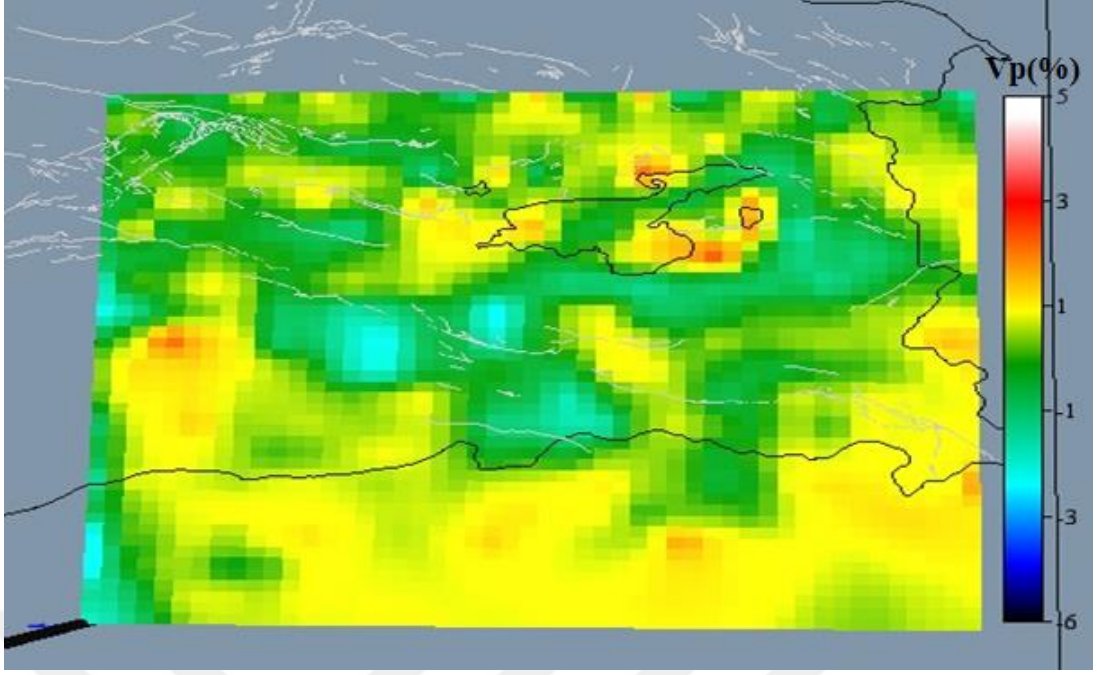
Çalışmada elde edilen veriler, daha sağlıklı sonuçlar elde etmek amacıyla üç boyutlu görüntüleme yapılarak incelenmiştir. Araştırma Bölgesi'nde 5, 10 ve 15 km derinliklerde P ve Poisson oranı yüzde değişimleri üç boyutlu olarak depremlerin derinlikleri ile görüntülenerek haritalanmıştır (Şekil 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47).



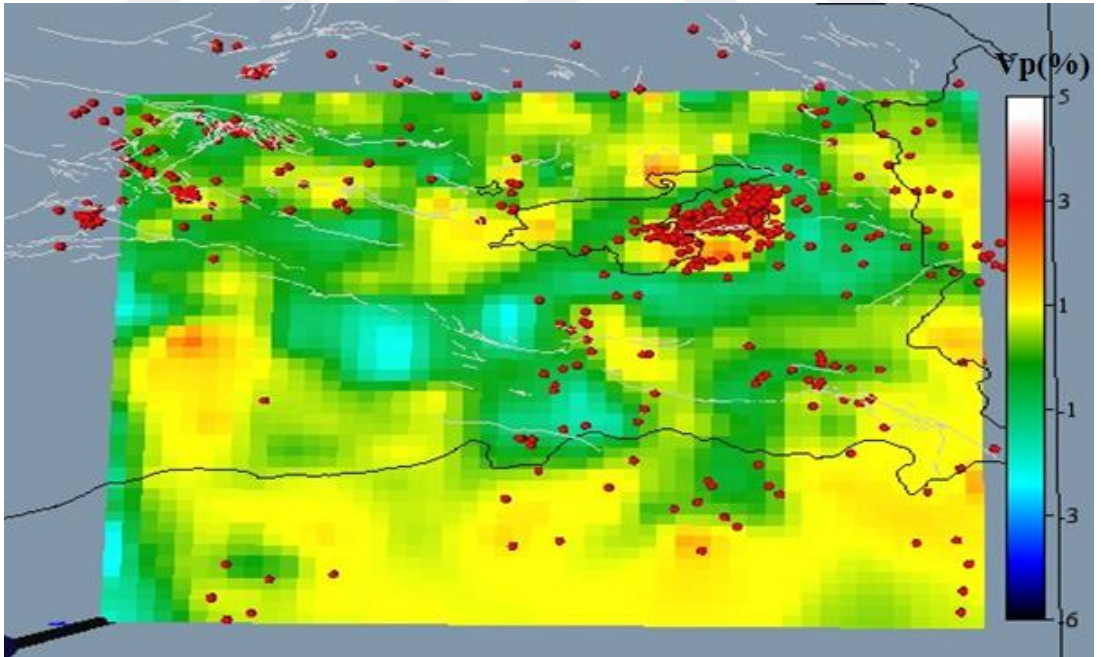
Şekil 4.40. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



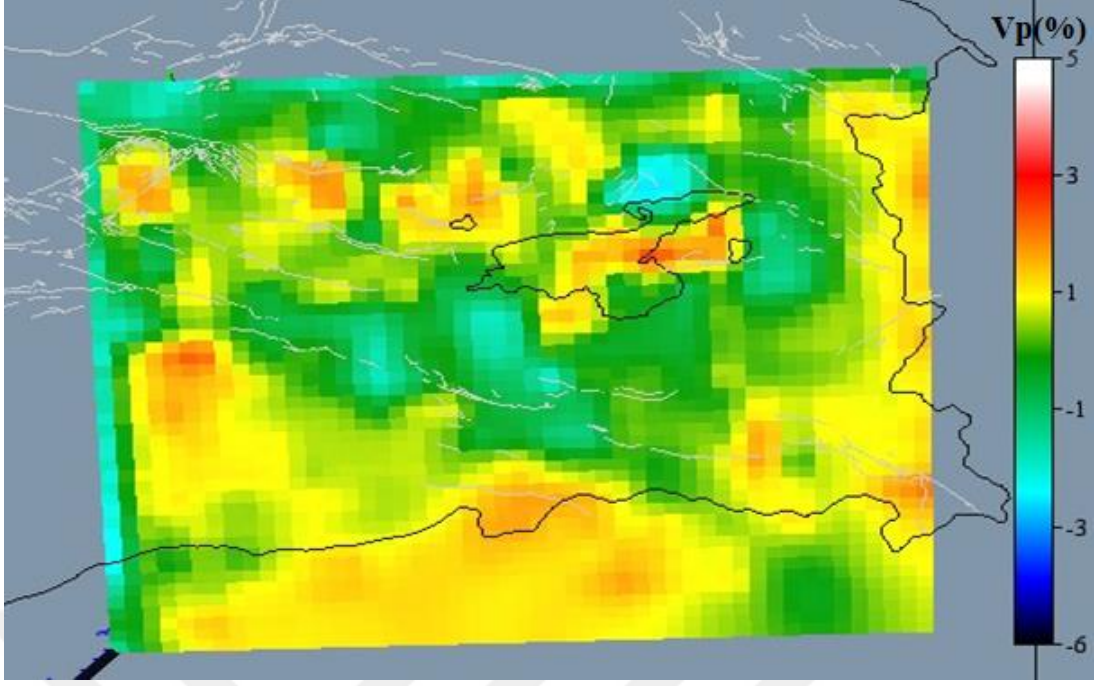
Şekil 4.41. Araştırma bölgesinde 5 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



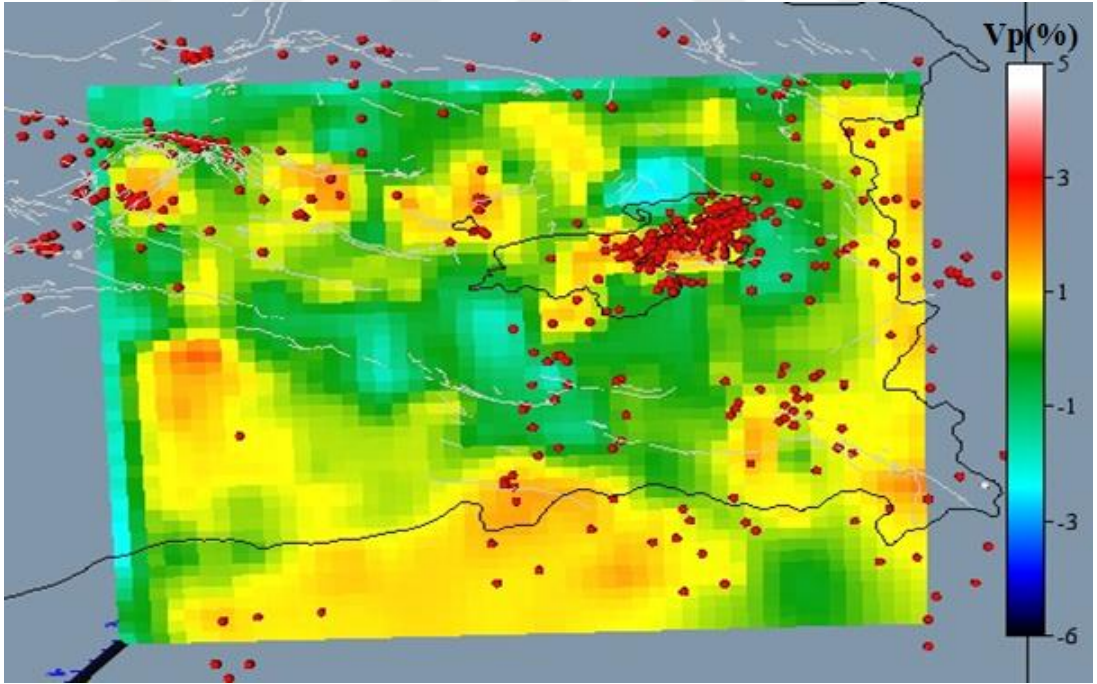
Şekil 4.42. Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



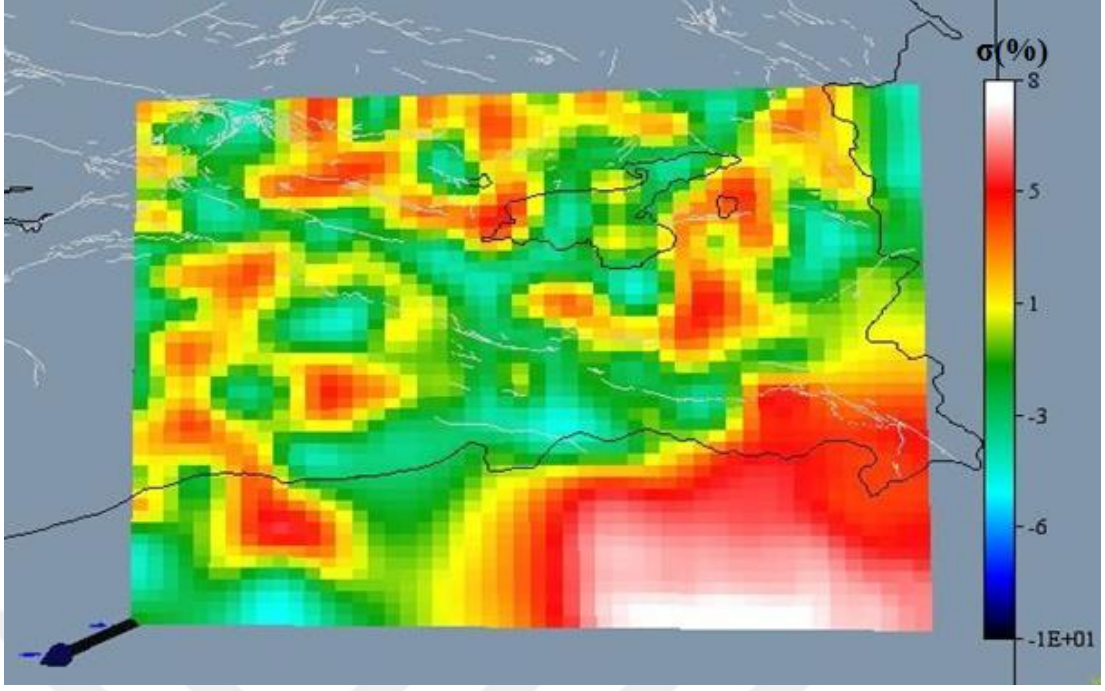
Şekil 4.43. Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



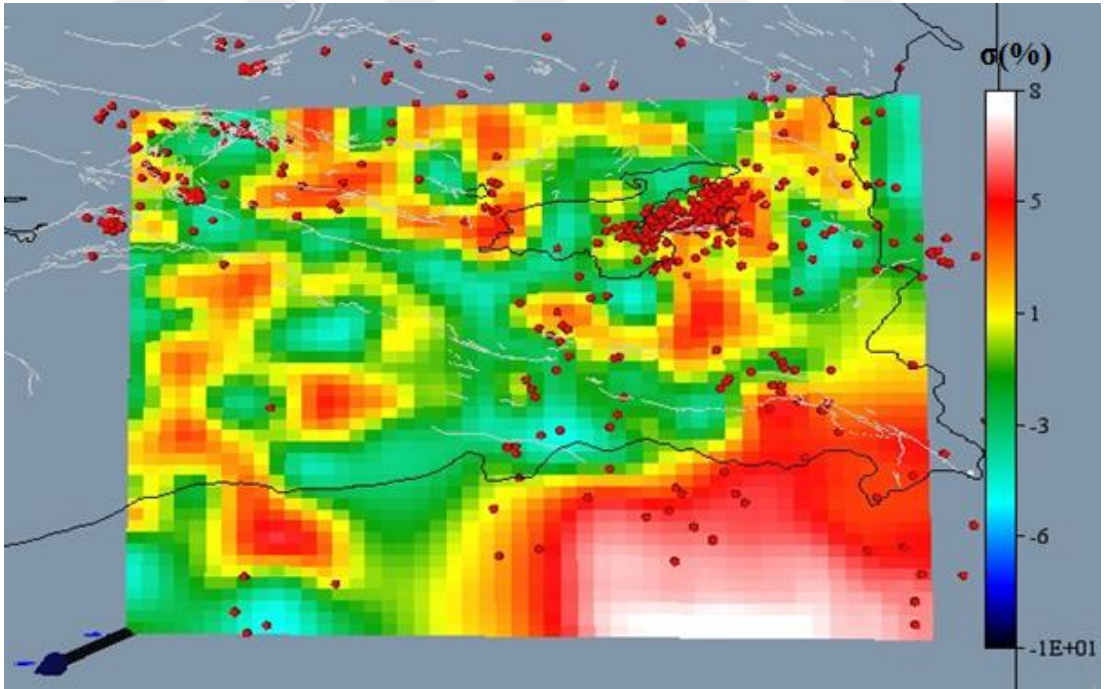
Şekil 4.44. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



Şekil 4.45. Araştırma bölgesinde 15 km derinlikte P- dalgası yüzde hız değişimi ve depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük hızları göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir

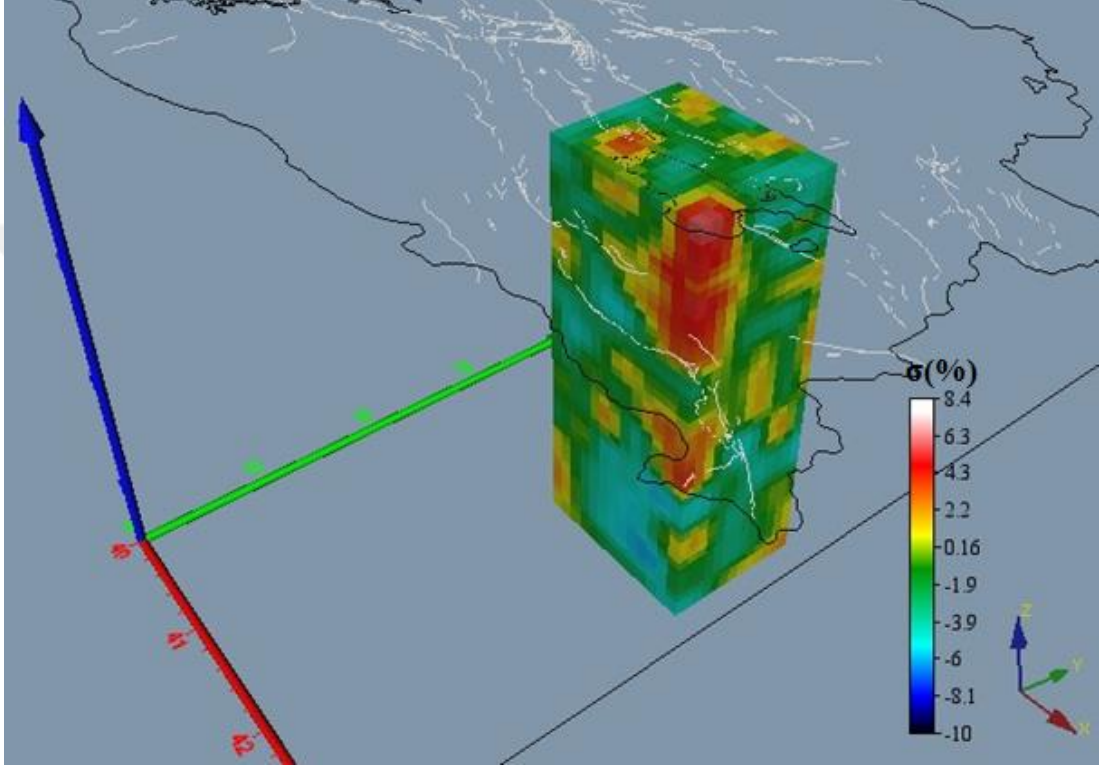


Şekil 4.46. Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte % poisson oranı (σ) değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir



Şekil 4.47. Araştırma bölgesinde 10 km derinlikte % poisson oranı (σ) değişiminin depremlerle uyumu. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği yanda gösterilmiştir

Çalışma bölgesinin sismotektonik yapısı ile ilgili bilgiler elde edilen veriler ve modeller ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmaya çalışılmıştır. Bölge oldukça karışık ve homojen olmayan bir gerilme alanı olduğu için ve elde edilen modellerde uyumsuzluk görüntülense de bölgedeki ana tomografik yapılar gözlenebilmiştir. Poisson oranı üç boyutlu yüzde değişim haritasında Van Gölü Havzası'nın tomografik yapısı genel hatlarıyla görüntülenmiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Van Gölü Havzası'nın üç boyutlu % poisson oranı (σ) değişimi. Kırmızı ve mavi renkler sırasıyla yüksek ve düşük % poisson oranı (σ) değişimini göstermektedir. Değişim ölçeği şekil üzerinde gösterilmiştir

5. SONUÇLAR

Van Gölü Havzası ve çevresinde oluşan yerel depremlerin P ve S dalgalarının varış zamanlarına ters çözüm uygulayarak, Van Gölü Havzası ve çevresinin üç boyutlu P ve S dalga hızı ve Poisson oranı (σ) değişimleri belirlenmiştir. P ve S dalga hız yapılarının derinliklere doğru nasıl bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Beş ayrı noktadan kesit alınarak bu çalışma desteklenmiştir. Yine bu çalışmadan sonra sismik tomografinin zamana bağlı değişimi ve ülkemizde oluşan depremler ile uyumu incelenmiştir. Bu çalışma aynı bölgede daha önce yapılan sismik tomografi çalışmaları ile de uyumlu olduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre;

Çalışma bölgesinde daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen tomografik sonuçların sismotektonik özellikleri ile büyük ölçüde uyumlu olduğu gözlenmiştir. V_p ve V_s için daha çok yüzde hız değişiminin sınır bölgelerinde ve hızın düşük olduğu alanlarda meydana geldiği görülmektedir. P dalgası için çoğunlukla yüzde hız değişiminin % 1 ile % -3 aralığında geçtiği görülmektedir. Poisson oranı için ise hızın yüksek olduğu ve yüzde değişiminin yüksek hızdan düşük hıza geçiş alanlarında yani sınır bölgelerinde meydana geldiği görülmüştür.

Çalışma bölgesi, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Bitlis Bindirme Kuşağının etkisindedir. Oluşturulan tomografik haritalarda, fayların etkisi büyük ölçüde görülmüştür. Arap Levhası'nın sıkıştırmasının etkisiyle ters faylanmalı depremlerin etkisindedir. Yapılan tomografik çalışmalarda da bu etki görülmüştür.

Karşılaştırmalı olarak incelen tomografik modellerde, 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası için oluşturulan modellerin 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesi için tomografik modellere göre P dalgası ve S dalgası yüzde hız değişimlerinin genellikle düşük hız zonlu etkiye girdiği gözlenmiştir.

Çalışma alanının oluşturulan hız değişim haritaları, 2-3 km arası derinliklerinde Van Depremi'nden sonra Van Gölü'nün güneydoğusu ve kuzeydoğusunda P dalgası yüzde hız değişiminin arttığı gözlemlenmiştir.

0-5 km arası yüzde poisson oranı (σ) değişiminin arttığı bölgelerin düşük hızdan yüksek hıza geçtiği bölgelerin depremlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. 3 km derinlik, poisson oranı haritasının depremlerle uyumlu olduğu derinliktir. 30 km derinlikte, hem P-dalgası hem de S- dalgasındaki Van Depremi'nden sonra Van Gölü Havzasındaki belirgin yüzde hız değişiminde düşme görüntüsü dikkat çekmektedir.

Bölgenin karmaşık yapısı nedeniyle kabuk kalınlığının belirleme konusunda doğru bir yorum tam olarak yapılamamıştır. Fakat aynı doğrultuda alınan A-A' ve D-D' kesitlerinin kabuk çizgileri karşılaştırıldığında elde edilen tomografik bulgulara göre birbirlerine yakın bölgelerde kabuk kalınlıkları benzer şekilde gözlenmiştir. Alınan sismik tomografi kesitlerinden çalışma bölgesinde moho derinliği yaklaşık 45-50 km civarında değiştiği saptanmıştır. Fakat her yerde bu derinliği net olarak görmek mümkün değildir.

23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası için üç boyutlu S dalgası % hız değişim modellerinin Van Gölü'nün doğu ve kuzey doğusunda kümelenme şeklinde gerçekleşen sığ depremlerle uyumu incelendiğinde düşük hız değişimlerinden yüksek hız değişimlerine geçiş bölgelerine doğru depremlerin konumlandığı gözlenmiştir.

Van Gölü Havzası'nın yüksek poisson oranı değişimi olarak görüntülediği üç boyutlu modelde, havzanın yaklaşık 11 km derinlikte olduğu görülmüştür.

$M_s \geq 4$ büyüklükteki depremlerin genellikle Van Gölü Havzası'nın doğusunda gerçekleştiği gözlenmiştir. Depremlerin yoğunluk gösterdiği derinlik aralığının 4- 6 km olduğu gözlenmiştir. Deprem gerçekleşen noktalar, tomografik incelemede P-dalgası yüzde hız değişimi için, düşük hızlı ve düşük hızdan yüksek hıza geçişin olduğu sınır bölgelerinde olduğu belirlenmiştir.

Van Gölü Havzası'nın yaklaşık 5 km derinliğinde, yüksek poisson oranı değişim görüntüsünden K-G uzanımlı yaklaşık 1 km'lik düşük poisson oranı geçiş görüntüsüne geçildiği ve daha sonra tekrardan yüksek poisson oranı olarak devam ettiği gözlenmiştir. Havza içinde poisson oranı değişim görüntüsünün alındaki 1 km'lik geçiş alanı, deprem aktivitesi gerçekleştiği izlenmiştir.

Çalışma alanında sıkışma etkisindeki ve yoğunluklu deprem etkinliğindeki yerler olan Karlıova Üçlü Eklemleri ve çevresi ile Van Gölü Havzasının doğu ve kuzey doğusu karşılaştırıldığında, Van Gölü Havzası ve çevresinde daha derin depremler gerçekleşmektedir.

23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası 30 Aralık 2011 tarihine kadar $M_s \geq 3$ büyüklükteki depremlerin günlere göre sayısı ve büyüklük dağılımları incelendiğinde, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonra deprem sayısı günler ilerledikçe azalsa da gerçekleşen depremlerin büyükleri yüksek büyüklük olarak devam ettiği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Al-Lazki, A., Seber, D., Sandvol, E., Türkelli, N., Mohamad, R., Barazangi M. 2003. "Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (eastern Turkey) and the surrounding regions", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 30, No. 24, 8043.
- Ambraseys, N.N. Finkel, C.F. 1995. *The seismicity of Turkey and adjacent Areas: A historical review, 1500–1800*. İstanbul: Eren publishing & booktrade.
- Blumenthal, M.M., Van der Kaaden, G., and Vlodavetz, V.I., 1964. Catalogue of the active volcanoes of the World including solfatara fields. Part XVII Turkey and the Caucasus. *International Association of Volcanology*, 17, 1-23.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey -a Synthesis, *Geodinamica Acta (Paris)* 14, 3-30.
- Degens, E.T., Kurtman, F., 1978. *The Geology of Lake Van*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını, Ankara. 169.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kempe, S., and Kurtman, F., 1984. A geological study of Lake Van, eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73-2, 701–734.
- Emre, O., Duman, T. Y., Ozalp, S., Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. MTA Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara, Türkiye.
- EMSC, 2011. Avrupa Ortadoğu Sismoloji merkezi web sayfası, <http://www.emsc-csem.org>; EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre.
- Engdahl, E. R., Lee, W. H. K., 1976. Relocation of local earthquakes by seismic ray tracing, *J. Geophys. Res.*, 81, 4400-4406.
- Ergin, K., Güçlü, U. Uz, Z. 1967. *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, No 28.
- ETSE, 2003. *The Eastern Turkey Seismic Experiment-project: The study of a young continent-continent collision*, edited by Sandvol, E., Turkelli, N., and Barazangi. M., *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No.24, 8038, doi:10.1029/2003GL018912, 2003.
- Farouk, M., Zhao, D., 2006. *Seismic tomography tools user manual tomo tools for windows v1.0*. Geodynamics Research Center Ehime University.

- Gök, R., E. Sandvol, N. Türkelli, D. Seber and M. Barazangi., 2003. Sn attenuation in the Anatolian and Iranian plateau and surrounding regions, *Geophysics Research Letters*, Vol.30, No. 24, 8042, doi:10.1029/2003GL018020,2003.
- Horiuchi, S., Ishii, H., Takagi, A., 1982. Two-dimensional depth structure of the crust beneath the Tohoku District, the northeastern Japan arc, I, Method and Conrad discontinuity, *J. Phys. Earth*, 30, 47-69.
- Kalafat, D., Gürbüz, C., Üçer, S. B., 1987. Batı Türkiye’de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması, *Deprem Araştırma Bülteni*, Sayı 59, 43-64, Türkiye.
- Kalafat, D., M. Yılmaz, K. Kekovalı, E. Görgün, S. A. Poyraz 2009. Türkiye Deprem Ağına ait Genişbantlı (BB) Deprem İstasyonları Kullanılarak Yapılan Yakın Gerçek Zamanlı Bölgesel Moment Tensör Değerlendirmeleri - Near Real Time Regional Moment Tensor Estimation Using Turkish Seismic Network’s Broadband Stations, *International Earthquake Symposium, Abstracts Book* p. 62, 17-19 August 2009, Kocaeli Turkey.
- Kalafat, D., Suvarıklı, M., Ögütçü, Z., Kekovalı, K., Güneş, Y. 2013. 23 Ekim Van Depremi (Mw=7.1) ve Artçı Deprem Dağılımı. 2. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. 25-27 Eylül 2013. MKÜ, Hatay.
- Kayal, J. R., Zhao, D., Mishra, O. P., De, R., Singh, O. P., 2002. The 2001 Bhuj earthquake: tomographic evidence for fluids at the hypocenter and its implications for rupture nucleation. *Geophys. Res. Lett.* 29(24): 2152, doi: 10.1029/ 2002GL015177.
- Keskin, M., 2003, Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters* 30 (24), 8046, doi:10.1029/ 2003GL018019.
- Koca, B., 2005. Elastik Dalgalar kullanılarak yer içinin üç-boyutlu hız yapısının belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi.
- Koçyiğit, 2002. Doğu Anadolu’nun neotektonik özellikleri ve depremselliği. *Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştayı – 2002 (DAJEO-2002) bildiri özleri kitabı*, s. 2-4.
- Köse, O., Özkaymak, Ç., 2002. Van Şehri Kuzeyi Genç Göl Çökellerinde Aktif Tektonik Bulgular. ATAG-6 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı), 21-22 Kasım 2002, Bildiri Özleri Kitabı, s.64-65, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

- KRDAE, 2011. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, İstanbul (<http://www.koeri.boun.edu.tr>).
- Lahn, E., 1949. Seismological Investigations in Turkey. Bulletin of the Seismological Society of America, 39(2), 67-71.
- Lay, T., Wallace, T., 1995. Modern global Seismology. San diego, California: Academic Press, 521pp.
- Örgülü, G., M. Aktar, N. Türkelli, E. Sandvol, M. Barazangi, 2003. Contribution to the Seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events, Geophys. Res. Lett., 30 (24), 8040.
- Özalp, S., Aydemir, S., Olgun, Ş., Şimşek, B., Elmacı, H., Evren, M., Emre, Ö., Aydın, B., Kurtuluş, O., Öcal, F., Can, A., Yanmaz, M., Apa, R., Duman, T., 2015. Van Gölü (Edremit Körfezi) Kuvaterner Çökellerinde Tektonik Deformasyonlar, Doğu Anadolu, s 47, Türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi.
- Özkaymak, Ç., 2003. Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D. 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depremine Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla İlişkisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 35 (2), 175–199.
- Paige, C. C., Saunders, M. A., 1982. LSQR: sparse linear equations and least squares problems. ACM Trans. Math. Software 8, 43-71.
- Pınar, A., Y. Honkura, K. Kuge, M. Matsushima, N. Sezgin, M. Yılmaz, Z. Ögütçü, 2007. Source Mechanism of the 2000 Nov. 15 Lake Van earthquake (Mw = 5.6) in eastern Turkey and its seismotectonic implications. Geophys.J.Int. (2007) 170, p.749-763.
- REDPUMA. İsviçre Sismoloji Merkezi. Swiss Seismological Service in Zurich, Switzerland.
- Salah, M. K., Şahin, Ş., Destici, C., 2007. Seismic velocity and Poisson's ratio tomography of the crust beneath southwest Anatolia: an insight into the occurrence of large earthquakes. J. Seismol.11, 415-432, doi: 10.1007/s10950-007-9062-2.
- Salah, M. K., Şahin, Ş., Aydın, U., 2011. Seismic velocity and Poisson's ratio tomography of the crust beneath east Anatolia. J. Asi. Earth Sci. 40, 746-761.

- Sandvol, E., Turkelli, N., Zor, E., Gok, R., Bekler, T., Gurbuz, C., Seber, D., Barazangi, M., 2003. Shear wave splitting in a young continent-continent collision: An example from Eastern Turkey. 10 September 2003 Vol: 30, Article Number: 8041. DOI: 10.1029/2003GL017390
- Soysal, H., Sipahiođlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.
- Soyuer, D., 2012. Marmara bölgesinin kabuk ve hız dağılımının 3-boyutlu sismik tomografi ile incelenmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Isparta.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu’da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 17, 405–418.
- Thurber, C. H., 1984. SIMUL3. In documentation of earthquake algorithms, (ed. E. R. Engdahl), Report SE-35. Worth Data Center A for solid Earth Geophysics, Buolder, CO, pp. 15-17.
- Thurber, C. H., Aki, K., 1987. Three-dimensional seismic imaging, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 15, 115-139.
- Toker, M., Ecevitöđlu, B., 2012. Van Gölü havzasının tektonik ve sismolojik özellikleri. s1-2, s.11, s43, s52-54, Eskişehir.
- TÜBİTAK-MAM: Marmara Araştırma Merkezi, (<http://www.mam.gov.tr>).
- Türkelli, N., Sandvol E., Zor E., Gok R., Bekler T., Al-Lazki A., Karabulut H., Kuleli S., Eken T., Gurbuz C., Bayraktutan S., Seber D., Barazangi M., 2003. “ Seismogenic zones in Eastern Turkey”, Geophys. Res. Lett., Vol. 30, No. 24, 8039.
- USGS, 2011. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Dairesi web sayfası, <http://www.usgs.gov/>; USGS: United States Geological Survey.
- Utsu, T., 1984. Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes. Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo, 59, 53-66.

- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T. 2010. Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri* 31, 53–66.
- Wong, H.K., and Finckh, P., 1978. Shallow structures in Lake Van. In: *The Geology of Lake Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication, No.169, pp. 20-28.
- Yılmaz Y., Şaroğlu F., Güner Y., 1987. Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134: 177-199.
- Zhao, D., Horiuchi, S., Hasegawa, A., 1990. 3-D seismic velocity structure of the crust and uppermost mantle in the northeastern Japan arc, *Tectonophysics*, 181, 135-149.
- Zhao, D., Hasegawa, A., Horiuchi, S., 1992. Tomographic imaging of *P*- and *S*-wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* 97, 19909-19928.
- Zhao, D., Negishi, H., 1998. The 1995 Kobe earthquake: seismic image of the source zone and its implications for the rupture nucleation. *J. Geophys. Res.* 103, 9967-9986.
- Zhao, D., Mishra, O. P., Sanda, R., 2002. Influence of fluids and magma on earthquakes: seismological evidence. *Phys. Earth Planet. Inter.* 132, 249-267.
- Zor E., Sandvol E., Gürbüz C., Türkelli N., Seber D., Barazangi M., 2003. “ The crustal structure of the East Anatolian plateau (Turkey) from receiver functions”, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 30, No. 24, 8044.
- Zhao, D., 2004. Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep Earth dynamics. *Phys. EarthPlanet. Inter.* 146, 3–34.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cafer Yaşar KARABULUT
Doğum Yeri ve Tarihi : Pütürge, 16.07.1990
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim:

Lise 1.Sınıf 2004 – 2005 Doğanyol Lisesi

Lise 2.Sınıf 2005 – 2006 Pütürge Lisesi

Lise 3.Sınıf 2006 – 2007 20 Mayıs Vakfı – Turgut Özal Lisesi

Lisans 2008 – 2012 Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik
Mühendisliği Bölümü

İletişim:

Adres: Damlı Mah. No:44 Doğanyol/MALATYA

Telefon: (0507) 134 6822

E-posta: caferyasarkarabulut44@gmail.com