T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-
CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[12 Eylül 2016 Manisa-Akhisar Deprem Dizilerinin Sismolojik Yöntemlerle Analizi]

[Ayşe ÇAKIR]

[DANIŞMAN
Prof. Dr. Ethem GÖRGÜN]

[Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı]

[Jeofizik Mühendisliği Programı]

[İSTANBUL-2021]

Bu çalışma,[5.05.2021] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından[Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı,Jeofizik Mühendisliği Programı]nda [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Prof. Dr.] Ethem GÖRGÜN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

[Prof. Dr.][Eşref YALÇINKAYA]
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa]
[Mühendislik Fakültesi]

[Doç. Dr.] Tuna EKEN
[İstanbul Teknik Üniversitesi]
[Maden Fakültesi]

[Unvan][Adı SOYADI]
[Üniversite]
[Fakülte]

[Unvan][Adı SOYADI]
[Üniversite]
[Fakülte]

ÖNSÖZ

[Tez çalışmam süresince bana göstermiş oldukları ilgiden ve destekten dolayı danışman hocam Prof. Dr. Ethem GÖRGÜN ‘e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında 2016-2019 yılları arasında gerçekleşen 3.0-5.2 lokal büyüklüğündeki (*Ml*) Manisa bölgesi depremlerinin verileri kullanılmıştır. Deprem verileri Seismic Analysis Code (SAC) ve MATLAB-ISOLA programı kullanılarak analiz edilmiştir. Haritaların çizilmesinde ise Generic Mapping Tools (GMT) yazılımı kullanılmıştır. Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BÜ KRDAE-BDTİM) tarafından sağlanmıştır.

Tez çalışmamda MATLAB-ISOLA programının kullanılmasında, tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşan Yavuz GÜNEŞ’e ve Fatih TURHAN’a teşekkür etmek istiyorum.

Tüm hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.]

Mayıs 2021 [Ayşe ÇAKIR]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ……..……iv

İÇİNDEKİLER…….....v

ŞEKİL LİSTESİ……...vi

TABLO LİSTESİ…….xi

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ……...…xii

ÖZET……xv

SUMMARY……..…….1

1. GİRİŞ…….3
1.1 TEZİN AMACI……4
2. GENEL KISIMLAR….5
2.1. MANİSA BÖLGESİ TEKTONİĞİ……...5
2.1.1 Bölgedeki Aktif Faylar……...…… ...7
2.2. ÇALIŞMA ALANINDA TARİHSEL DÖNEMDE MEYDANA GELEN DEPREMLER…….....11
2.2.1. Tarihsel Dönemde Meydana Gelen Depremler……..11
2.2.2. Aletsel Dönemde Meydana Gelen Depremler……... 12
3. MALZEME YÖNTEM……..10
3.1.ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMÜ……13
3.2.SİSMİK MOMENT TENSÖR ANALİZİ……..…… 18
3.2.1. Moment tensör Ters Çözüm Yöntemi ……18
3.2.2. Moment Tensör ve Moment Tensör Bileşenleri.……18
3.2.3. Green Fonksiyonları……..22
3.3GERİLME TENSÖR BELİRLENMESİ…… ……..…….. 24
3.4. COULOMB GERİLME ANALİZİ……..…… 28
3.5. MOMENT TENSÖR TERS ÇÖZÜM UYGULAMALARI…….30
4. BULGULAR……38
4.1 ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMLERİ VE MOMENT TENSÖR ANALİZLERİ……..38
4.2 GERİLME TENSÖRÜ BELİRLENMESİ…….62
4.3 COULOMB GERİLME ANALİZİ……...…….66
5. TARTIŞMA SONUÇ……..68
6. KAYNAKLAR……..……...71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Çalışma Alanı Tektonik Haritası……4

Şekil 2.2: Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001)……..5

Şekil2.3: Manisa Diri Fay Haritası (www.mta.gov.tr)…….....8

Şekil 2.4 : Aletsel dönemde Manisa ili üzerinde meydana gelmiş aletsel depremler (www.deprem.gov.tr)…….....10

Şekil3.1: Homojen yarı sonsuz ortamda deprem odak merkezinden yayılan dalganın seyahat yolu……...11

Şekil 3.2: (a) tek kuvvet çifti ve (b) çift kuvvet çifti ……..12

Şekil 3.3: Odak küresi ve odak küresini terk eden ışınları gösteren kesit. S sismolojik istasyonun…….….13

Şekil 3.4: Odak mekanizma çözümlerine göre fay türleri (Polat, 2005). Burada P noktası sıkışmaya, T noktası ise açılmaya ait alanları göstermektedir ……..……...15

Şekil 3.5: Sismik moment tensörü oluşumunda etkili dokuz kuvvet çifti (Lay ve Wallece, 1995; Jost ve Hermann, 1989)…… 18

Şekil 3.6: V hacimli ve S yüzeyli cisme etki eden yüzey kuvveti. Yüzey kuvveti F, dışa doğru birim vektörü $\hat{n}$ ile gösterilmiştir (Stein ve wYsession,2002)..……...22

Şekil 3.7: Örnek kayaçta maksimum makaslama gerilmesi üzerinde oluşan kırığın şematik gösterimi (Stein ve Wysession, 2002)……..……23

Şekil 3.8: Asal gerilme eksenleri ve atım vektörleri…. ……24

Şekil 3.9: Asal gerilme eksenleri ile faylanma türü arasındaki ilişki. (a) Normal faylanma, (b) Ters faylanma, (c) Doğrultu atımlı faylanma……25

Şekil 3.10: Tezde kullanılan deprem kaynak parametrelerinin Coulomb 3.3 programına tanıtılması……..……27

Şekil 3.11: Matlab-Isola başlangıç şeması ve uygulama aşamaları ……29

Şekil 3.12: Import Data nasıl veri seçileceğini belirten görüntü……29

Şekil 3.13: Import Data (Veri Girişi) ve Otomatik Sac Veri Girişi ……30

Şekil 3.14: Kabuk Modelinin Programa Tanımlanması …….....30

Şekil 3.15: (Event Info) Olay Bilgisi Kayıt Penceresi ……...31

Şekil 3.16: İstasyon Seçimi Dosyası (Station File Selection)……...32

Şekil 3.17: İstasyon Seçimi ve Harita Penceresi (Make map and Station Selection)……..32

Şekil 3.18: Veri Hazırlığında Alet Etkisinin Giderilmesi (Data Preparation)……...33

Şekil 3.19: Sismik Kaynak Derinlik Tanımı (SeismicSource Defination)……34

Şekil 3.20: Green Fonksiyon Hesaplanma Penceresi (Green Function Computation)……34

Şekil 3.21:. Ters Çözüm Penceresi(Inversion) ….……35

Şekil 3.22: İstasyon Frekanslarının Ayrı Ayrı Belirlenmesi Penceresi ……..……..35

Şekil 3.23: Sonuçların Çizim Ekranı (Plot Results)……..…….....36

Şekil 3.24: Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi (Plot Real-Synthetic)……36

Şekil 3.25: Çözüm Özeti Moment Tensör Çizimi (Plot Moment Tensor) ……..37

Şekil 4.1: Çalışma bölgesinde kullanılan deprem verilerini kaydeden istasyonların harita üzerinde gösterimi ……...…….……38

Şekil 4.2: SACWIN programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü , …….……39

Şekil 4.3: ZSACWIN programından 12.09.2016 08:26 Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesi deprem kaydı ve faz okumaları ekran görüntüsü. Sismogramın düşey bileşeninden P dalgasının ilk hareket yönü…….....39

Şekil 4.4: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü……...40

Şekil 4.5: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi ……...40

Şekil 4.6: SACWIN programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde m eydana gelen depremin odak mekanizma çözümü …….……...42

Şekil 4.7: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü……...42

Şekil 4.8: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi…….……...43

Şekil 4.9: SACWIN programı ile (2017/05/27 15:53*Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü ……...44

Şekil 4.10: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/05/27 15:53 *Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü …..……...44

Şekil 4.11: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/05/27 15:53 *Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi……...45

Şekil 4.12: SACWIN programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü ……...46

Şekil 4.13: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü……...46

Şekil 4.14: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi……...……...47

Şekil 4.15: SACWIN programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü……...48

Şekil 4.16: MATLAB(ISOLA) programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü……...48

Şekil 4.17: MATLAB(ISOLA) programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi……...49

Şekil 4.18: SACWIN programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü ……....50

Şekil 4.19: MATLAB(ISOLA) programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü ……..……....50

Şekil 4.20: MATLAB(ISOLA) programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi ……....51

Şekil 4.21: 2016-2019 tarihleri arasında meydana gelen 60 adet depremin ZSACWIN programından elde edilen değerlerin odak mekanizma çözümü ve haritası……....58

Şekil 4.22: 2016-2019 tarihleri arasında meydana gelen 62 adet depremin MATLAB(ISOLA) programından elde edilen değerlerin odak mekanizma çözümü ve haritası ……....58

Şekil 4.23: ZSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin gerilim tensör ters çözümü analizi sonucu bulunan tensör bileşenlerinin doğrultuları……. …….……..……....60

Şekil 4.24: MATLAB(ISOLA) programı sonucu elde edilen verilerin gerilim tensör ters çözümü analizi sonucu bulunan tensör bileşenlerinin doğrultuları….…….……....60

Şekil 4.25: ZSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin 60 depreme ait P ve T eksenlerini dağılımı. P ekseni σ1, T ekseni σ ile gösterilmiştir.…….……..……....61

Şekil 4.26: MATLAB(ISOLA) programı sonucu elde edilen verilerin 60 depreme ait P ve T eksenlerini dağılımı. P ekseni σ1, T ekseni σ ile gösterilmiştir ……..…….…….....61

Şekil 4.27: ZSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin Göreceli gerilim oranının (R) dağılımı. R değeri 0.91 olarak bulunmuştur..……..……..…….....62

Şekil 4.28: MATLAB(ISOLA) programı sonucu elde edilen verilerin göreceli gerilim oranının (R) dağılımı. R değeri 0.85 olarak bulunmuştur. …..……..……..…….....62

Şekil 4.29: 12 Eylül 2016 Manisa- Akhisar Ml:5.1 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı haritası. Sarı yıldız anaşoku, yeşil depremler artçışokları göstermektedir…….……...……..…….....65

Şekil 4.30: **Şekil 4.30: a)** 21 Nisan 2017 Manisa- Akhisar Ml5.1 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı görüntüsü. Beyaz yıldız anaşoku ve yeşil daireler artçı depremleri göstermektedir. **b)** 27 Mayıs 2017 Manisa- Akhisar Ml:5.2 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı görüntüsü (**b**). Kırmızı yıldız anaşoku göstermektedir…….…….…….…….....65

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo1: Tarihsel dönemde Manisa ili üzerinde meydana gelen depremler(AFAD) ….....9

Tablo 2: ZSACWIN programından elde edilen deprem verilerinin fay düzlemi parametreleri…52

Tablo 3: MATLAB(ISOLA) programından elde edilen depremlerin verilerinin fay düzlemi parametreleri ……...55

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1: Akyol vd. (2006) tarafından Batı Anadolu için belirlenen hız modeli.. ….....29

Çizelge 4.1: (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 (D1) ve düzlem2 (D2) üzerinde karşılaştırılması……...41

Çizelge 4.2: (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması…….43

Çizelge 4.3: (2017/05/27 *Ml* 5.2) depremi için ZSACWIN ve MATLAB (ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması…….45

Çizelge 4.4: (2017/08/07 *Ml* 3.5) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması…….47

Çizelge 4.5: (2018/05/04 *Ml* 4.0) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması …….49

Çizelge 4.6: (2019/05/12 *Ml* 4.5) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması …….51

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\vec{M}$:	Moment yöneyi
$\vec{F}$:	Kuvvet yöneyi
d :	Dönme noktası ile kuvvet arası mesafe
U :	Yerdeğiştirme
G :	Green fonksiyonlar
w :	Açısal frekans
p :	Yoğunluk
x :	Kaynak ve istasyon arası uzaklık
z :	Kaynağın derinliği
ij :	Coğrafi koordiinatlar
U_n :	n . istasyonda gözlenen yer değiştirme genliği
G_{nij} :	n. istasyonda kuvvet çiftineilişkin Green fonksiyonları değeri
M_0 :	Sismik moment
μ :	Rijidite, sıkılık veya makaslama modülü
M_{ij} :	Kuvvet çiftinin şiddetini tanımlayan skaler sismik moment
Δ :	Episantır uzaklığı
λ :	Kayma açısı
$\emptyset$:	Doğrultu açısı
α :	Eğim açısı
km:	Kilometre
σ:	Gerilme bileşeni
μ :	Faydaki etkin sürtünme katsayısı
$\Delta\tau$:	Fayda oluşan kesme gerilmesindeki değişim
$\Delta\sigma_n$:	Normal gerilmedeki değişim
ΔP:	Boşluk suyu basınç değişimi
Hz:	Hertz

Kısaltmalar **Açıklama**

BÜ KRDAE BDTİM: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendime Merkezi

MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

12 Eylül 2016 Manisa-Akhisar Deprem Dizilerinin

Sismolojik Yöntemlerle Analizi

Ayşe ÇAKIR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ethem GÖRGÜN

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Manisa-Akhisar bölgesi civarındaki, 2016-2019 yılları arasında meydana gelen en düşük lokal magnitüdü (Ml) 3.3 ve en büyük lokal magnitüdü 5.2 olan deprem verileri incelenmiştir. Bu süreçte toplamda 60 adet deprem incelenmiştir. Bu veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BÜKRDAE BDTİM) tarafından işletilen deprem ağından alınmıştır. İlk olarak, zSACWIN programı kullanılarak alınan deprem verilerinin lokasyonu yapılmış ve depremin kaynak parametreleri bulunmuştur. Bu programla aynı zamanda, depremlerin ilk varışları kullanılarak odak mekanizmaları hesaplanmıştır. Depremin kaynak parametreleri bulunduktan sonra, MATLAB-ISOLA programı kullanılarak verilerin moment tensör analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki programdan elde edilen odak mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda bölgenin hakim olan P ve T eksenleri tespit edilmiştir. Buna göre, P eksenlerinin yönelimleri her iki yöntemle bulunan odak

mekanizmaları için KB-GD ve T eksenleri de KKD-GGB olarak bulunmuştur. Bu eksenlerin tespitinden sonra ise, bölgenin maksimum (σ_{max}) ve minimum (σ_{min}) gerilim eksenleri hesaplanmıştır. Buna göre, maksimum ve minimum gerilme eksenleri sırasıyla, KB-GD ve KD-GB olarak bulunmuştur. Gerilim tensör ters çözümünden elde edilen R (gerilim oranı) değeri bize bölgenin gerilme ve faylanma rejimini göstermektedir. Hesaplamalarımıza göre R değeri ISOLA için 0.85 ve zSACWin için 0.91'tir. Bu sonuçlardan hareketle bölgenin gerilme rejimi genişleme (açılma), faylanma rejimi de doğrultu atım bileşenli normal faylanma olarak tespit edilmiştir. Son olarak, Ml>5.0 depremleri için Coulomb gerilim analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde, Ml>5.0'dan büyük depremlerin meydana getirdiği gerilim dağılımlarına bakılmıştır. Bu dağılımlar bize şunu göstermektedir; 12 Eylül 2016 (Ml:5.1) ve 21 Nisan 2017 (Ml:5.1) depremlerinin kırılma yönleri ve σ_{max} değerleri birbirinin benzeri olarak hesaplanmıştır. Ancak, 25 Mayıs 2017 (Ml:5.2) depremi için kırılma düzlemi ve σ_{max} değeri diğer depremlerden tamamen farklıdır. Bu da bize bölgedeki farklı mekanizma düzlemindeki ikincil fayların çalıştığını göstermektedir. Sonuç olarak, Manisa-Akhisar yöresinde çok aktif bir depremsellik tespit edilmiştir. Bu depremsellik gelecekte bölgede yoğun bir gerilim birikimine sebep olup, orta ve büyük ölçekli deprem oluşumlarına yol açabilir.

Mayıs 2021, 94 sayfa.

Anahtar kelimeler: Coulomb Gerilme Analizi, Depremsellik, Gerilim Tensör, Moment Tensör, Odak mekanizması

SUMMARY

M.Sc. THESIS

Analysis of 12 September 2016 Earthquake Sequences in Manisa-Akhisar using Seismological Methods

Ayşe ÇAKIR

Istanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Geophysical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ethem GÖRGÜN

In this MSc. Thesis, Manisa-Akhisar earthquake swarm is examined using a data set between the period 2016 and 2019 with local magnitude (Ml) ranges from 3.3 to 5.2. The total number of earthquakes are 60. The event data is taken from Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (BU KOERI, RETMC) seismic network. Firstly, the data is downloaded from the KOERI website and analyzed using zSACWin software. Earthquake locations and source parameters are calculated with this software. Fault plane solutions are computed from P-wave first polarities using this software. At the same time, after calculating earthquake source parameters, centroid moment tensors analysis is done by MATLAB ISOLA algorithm. I compare all fault mechanism solutions with both algorithms. After comparison, predominant P and T axes are observed for the study region. According to this analysis, P and T axes are described NW-SE and NNE-SSW for both algorithms, respectively. After describing P and T axes, maximum (σ_{max}) and minimum (σ_{min}) shear stresses are calculated for the study region. Maximum and minimum shear stresses are found to be NW-SE and NE-SW, respectively.

Stress ratio (R) indicates stress and faulting regime for a region in terms of stress orientation. R value is computed 0.85 for moment tensor analysis and 0.91 for P-wave polarity analysis. According to these results, Manisa-Akhisar region shows transtensional stress regime and normal faulting with strike-slip component. I also apply Coulomb stress calculation for Ml>5.0 events. After application Coulomb stress change analysis, 12 September 2016 (Ml:5.1) and 21 April 2017 (Ml:5.1) events represent same rupture direction and σ_{max}. However, 25 May 2017 (Ml:5.2) event is oppsite direction to the other events. This result indicates that secondary fault may be active in the study region. Consequently, Manisa-Akhisar depicts very high seismic activity during the analyzing period. This high seismic activity can cause moderate/strong earthquakes for the next future.

May 2021, 94 pages.

Keywords: Coulomb Stress Analysis, Focal Mechanism, Moment Tensor, Seismicity, Stress Tensor

1. GİRİŞ

Türkiye bulunduğu konum itibariyle üzerinde bulundurduğu Doğu Aanadolu Fay Zonu (DAFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Ege Graben Sistemi (EGS) ile Alp Himalaya deprem kuşağının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu fay zonları Afrika ve Arabistan plakalarının kuzey ve kuzeydoğu yönlü hareketi sonucunda bünyesine yeni fay uzantıları eklemiş ve günümüzde de aktif olarak hareketliliğini devam ettirmektedir. Türkiye'de bulunan aktif faylar, belirli zaman aralıklarıyla büyük deprem üretme potansiyeline sahiptirler. Bu fayların ne sıklıkta aktif hareket gösterdiği, ürettikleri depremin büyüklüğü, fayın nereden kırılacağı, oluşturacağı yüzey kırığı, hangi türde fay davranışı göstereceği gibi sorulara cevap aramak için çeşitli sismik çalışmalar yapılmaktadır. Sismik verilerin elde edilebilmesi için deprem aktivitesi yüksek aktif sahalara ve bu bölgelere yakın fayların hareketinin izlenmesi ve kaydedilmesi adına deprem istasyonları kurulmuştur. Bu tez çalışmasında karmaşık bir tektonizmaya sahip, sismik açıdan aktif birden fazla fay sisteminin bulunduğu Manisa Akhisar bölgesi incelenmiştir. Çalışmada Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Entitüsü, Bölgesel Deprem - Tsunami İzleme ve Değerledirme Merkezi'nden (BÜ KRDAE BDTİM) alınan veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında bölgenin faylanma mekanizmaları, moment tensör analizleri, deprem dağılımları, etkin gerilme durumu dikkate alınarak bölgenin sismotektonik özelliklerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Tezin birinci bölümünde çalışmanın amacı, kapsamı ve çalışma alanının tektonik özellikleri hakkında bilgilendirmeye yer verilmiştir. İkinci bölümde çalışma alanı ve yakın geçmişte yapılan çalışmalar sunulmuştur ve bu çalışmaların sonuçları irdelenmiştir. Tezin üçüncü kısmında çalışmada kullanılan veri özellikleri yöntemler ve bu yöntemlerin temelleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca çalışma sürecinde kullanılan yazılım ve algoritmalara da yer verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde çalışmada elde edilen sismolojik sonuçlar ve program verileri üzerinde durulmakla beraber son bölümde ise de bu sonuçların çalışma alanına uyumluluk derecesi ve sağlayacağı katkı hakkında değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.1.TEZIN AMACI

Manisa-Akhisar yöresi ve civarı sismotektonik bakımdan oldukça aktif bir bölgedir. Bu bölgenin üzerinde olduğu faylar genel hatlarıyla belirtilmiştir. Bu bölgede meydana gelen 2016-2019 yılları arasındaki $3.3 \geq Ml \leq 5.2$ toplam 60 adet deprem verisi incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı incelenen verilerle aktif faylara sahip olan Manisa ilinde bulunan fayların odak mekanizmalarını ve yörenin depremselliğinin sismik moment tensör ters çözüm yöntemi ile analiz etmektir. Ayrıca odak mekanizmalarından elde edilen değerlerle bölgenin gerilim dağılımını analiz etmek ve sismotektonik bir model oluşturmaktır. Aynı zamanda bölgenin fay özellikleriyle, elde edilen odak mekanizma çözümleri ve sismik moment tensör çözümleri sonuçlarının uyumluluk ölçüsüne bakılıp karşılaştırılma yapılmıştır. Bunlara ilaveten, üç adet Ml>5.0 depremleri için de Coulomb gerilme dağılımlarına bakılmıştır. Bunun neticesinde, kırılma eksenlerinin bar cinsinden gerilme yönleri ve değerleri hesaplanmıştır.

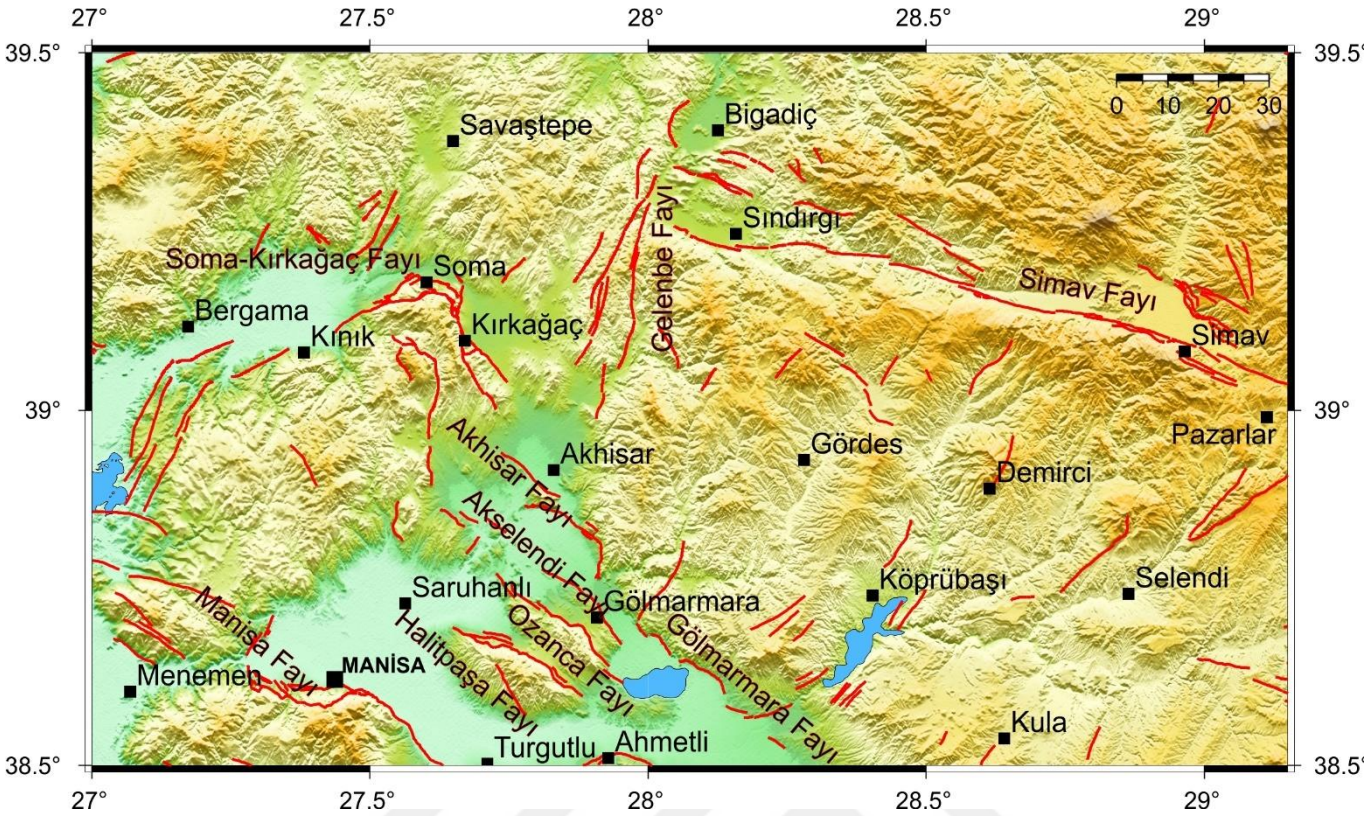
2. GENEL KISIMLAR

2.1. Manisa Bölgesi Tektoniği

Batı Anadolu tektonik hareketlerin yoğun olduğu ve depremselliği fazla alanlarından biridir. Afrika, Arap ve Avrasya Levhaları arasında kalan ve sürekli sıkışma etkisinde olan Anadolu Levhası, bugünde bu sıkışma rejimi altında deprem yoğunluğunun fazla olduğu sismo-tektonik bir yapı sergilemektedir. Anadolu'nun yerkabuğu, K-G yönlü sıkışma etkisindeyken (McKenzie 1978) Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı üzerinden batı yönüne doğru bir hareketi söz konusudur (Ketin 1969). Bunun sonucu olarak Doğu Anadolu'da bulunan yerkabuğu sıkışıp kalınlaşırken, batı Anadolu'daki yerkabuğu KD-GB yönünde bir açılma gerilimi etkisiyle genişleyip incelir (Sengor 1987, Yilmaz ve diğ. 2000, Bozkurt ve Sozbilir 2004). Bu tektonik rejim sürecinde Batı Anadolu'da yerkabuğunda bazen zıt yönde gelişen normal fayların etkisinde grabenler (çöküntü havzası) ve horstlar (sırt) oluşmuştur. Basamaklı yapı biçiminde bu grabenlerin yarattığı normal fayların yanında, bu fayları kesen doğrultu atımlı faylar da meydana gelmiştir.

Manisa ili, Türkiye'nin batısında Ege Bölgesinde yer almaktadır. Manisa ili topraklarının büyük bir kısmı Gediz Havzası, küçük bir kısmı da Ege (Bakır Çay) Havzası içerisinde yer alır. Bölgenin Ege Graben Sistemi içerisinde olması aktif bir tektoniğe sahip olmasını açıklayıcı niteliktedir. Ege Graben Sistemi en hızlı genişleyen ve sismik aktivitenin en yoğun olduğu bölgelerden birisidir.

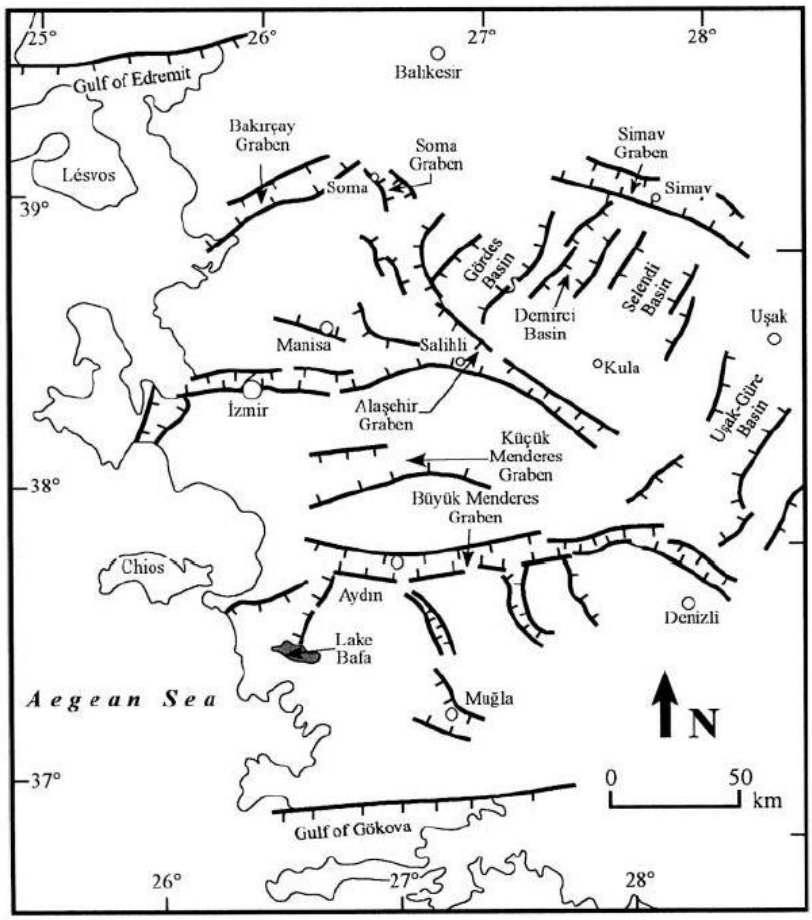
Genel olarak K-G yönlü kıtasal açılma söz konusudur. Batı Anadolu graben yapısının yüksek depremselliği burada da etkisini göstermektedir. Yaklaşık olarak D-B eğimli grabenler ve bunların havza sınırı aktif normal faylar bölgenin belirleyici sismolojik özelliklerindendir. Bölgenin doğu kısmında transform fayların varlığı da bilinmektedir. Ege Graben Sisteminin doğusu D-B doğrultulu normal fay bloklarıyla sonlanmıştır. Buna ek olarak Batı Anadoluda K-G yönlü kabuksal açılma periyotları arasında etkisini sürdüren kısa süreli D-B yönlü sıkışmanın varlığı bir çok yayında belirtilmiştir (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Yusufoğlu, 1996; Koçyiğit ve diğer., 1999; Bozkurt, 2000, 2003; Işık ve diğer., 2003; Bozkurt ve Sözbilir, 2004, 2006; Koçyiğit, 2005). Ege graben sistemi çöküntü alanları K-G uzantılı; Edremit Körfezi, Bakırçay -Simav, Gediz-Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gökova Körfezi şeklinde sıralanabilir.



Şekil 2.1: Çalışma Alanı Tektonik Haritası

Edremit körfezini içine alan kısım Kuzey Anadolu Fayı ile Batı Anadoluda çekme rejiminin etkisi altında bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede oluşan depremlerin odak mekanizmaları hem normal fay hem de yatay bileşenlerin hakim olduğu transform fay çözümlerinden oluşur. Bölge oldukça karışık bir tektonik yapıya sahip olması nedeniyle sürekli depremlere maruz kalmış ve gelecekte de deprem oluşturma potansiyeli çok yüksektir. Bu grabenlerin kenarlarını sınırlayan normal faylar, kısa uzunluklara sahip birçok küçük faydan oluşmaktadır. Bu sebepten kısa faylardan birinde oluşan deprem, yakınlarındaki diğer komşu fayları da tetikleyerek daha sonra bu faylardaki deprem hareketlerini oluşturmaktadır.

Batı Anadolu bölgesinde yer alan inceleme alanının deprem aktivitesi yüksek olan kısmı Orta-Batı Anadolu'da yer alan Akhisar ve Soma bölgeleridir. Akhisar ve Soma arasında yaklaşık K-G doğrultulu uzanan fayların Soma bölgesinde D-B yönüne büklüm yaptığı gözlenmektedir (Akhisar ve Soma kinematiği-Türkiye Jeoloji Kurultayı/Nisan 2018). Bu fayların yaptığı büklüm hareketi sonucu Akhisar-Soma arasında Kırkağaç havzası, Soma-Çandarlı arasında ise Bakırçay havzası oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 2.2: Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001)

2.1.1. Bölgedeki Aktif Faylar

Bölgede yoğun deprem aktivitesine kaynak oluşturabilecek aktif fayların varlığıyla ilgili yapılan çalışmalar sonucu (Şaroğlu ve diğ., 1992; Emre ve diğ. 2013) bazı fay özellikleri hakkında bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

Güzelhisar Fayı; İzmir'in kuzeyindeki Aliağa ilçe merkezi ile Manisa'ya bağlı Osmancalı beldesi arasında bulunur. KD-GB uzanımlı fay zonu farklı nitelikli fay sistemleri oluşturması nedeniyle Güzelhisar Fayı ve Menemen Fay Zonu olarak ikiye ayrılmıştır. Güzelhisar Fayı 25 km uzunluğunda eğim atım bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay olduğu varsayılır (Şaroğlu ve diğ., 1992; Emre ve diğ. 2013).

Gediz Graben Sistemi Fayları; Gediz Grabeni doğusunda Sarıgöl ile batısında Manisa ve Kemalpaşa arasında bulunan D-B uzanımlı yaklaşık 150 km uzunluğunda normal fay bileşenli sistemsel faylardır. Doğudan batıya doğru genişleyen bir tektonizması vardır. Grabenin güney kenarından kuzeye doğru paralel kırıklar mevcuttur. Manisa Salihli'nin

doğusunda KB-GD uzanımlı grabenin Salihli'nin batısına doğru genişleyip çatallaşarak kollara ayrılır. Gölmarmara, Halitpaşa, Manisa ve Kemalpaşa kolları en belirgin olanlarıdır. Bu faylar normal fay blokları olarak birbirinden ayrılmaktadır. Gediz grabeninin batı ucundaki faylar Kemalpaşa ve Manisa kollarından oluşan faylardır. Manisa kolunun doğusunda Turgutlu fayı KB yönünde şekillenmiştir. Kemal paşa kolu üzerinde Dağkızılca fayı ve Kemalpaşa fayından oluşur.

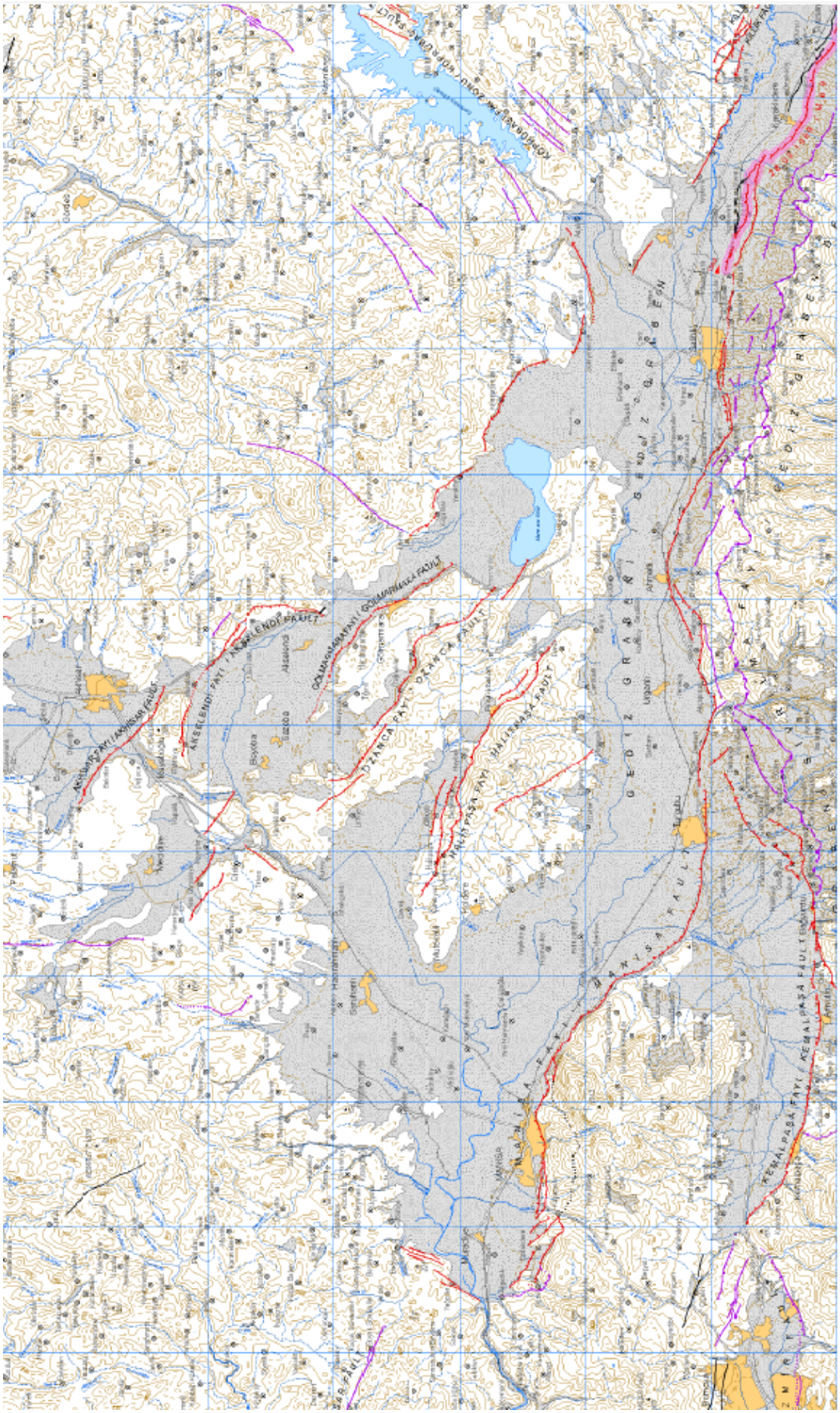
Gediz Grabeni Fayı Batı Bölümü; Manisa Salihli bölümünde Çamköy fayı olarak tanımlanan fay (Koçyiğit ve dşğerleri, 1999) Sarıgöl-Alaşehir arasında yaklaşık 150 km uzunluğunda sürekliliği olan fay sistemidir. Bu fay Sarıgöl-Kemalpaşa arasında D-B uzanımlı güneye doğru kavis oluşturur. Alaşehir bölgesinde KB-GD uzanımlı fay Manisa Salihli-Turgutlu arasında D-B gidişlidir. Turgutlu batısında KB-KD doğrultusuna doğru sağ yönlü doğrultu atımlı fay özelliğinde Dağ kızılca fayına bağlanır.

Dağkızılca fayı; Kemalpaşa ilçesi ile Torbalı arasında sağ yönlü doğrultu atımlı yaklaşık 27 km uzunluğundadır. Deprem esnasında Dağkızılca fayı toprak yapısı bakımından sıvılaşmaya bağlı zemin yenilmelerinin gelişebildiği de raporlanmıştır (Eyidoğan ve diğ., 1991).

Kemalpaşa Fayı; Gediz grabeni batısında Ulucak ile Bağyurdu arasındaki diri fay Kemalpaşa fayı olarak adlanmıştır (Emre ve Barka, 2000). Normal fay bileşenine sahip yaklaşık 24 km uzunluğunda KD doğrultusundadır. Kemalpaşa fayı Ulucak bölgesindeki iki küçük fay parçası ile sonlanmıştır.

Manisa Fayı; Gediz grabeninin KB kolu üzerinde, Turgutlu ile Muradiye arasında yaklaşık 40 km uzunluğundaki normal faydır. Manisa fayı DB doğrultusunda uzandığınında Kemalpaşa çayıyla Turgutlu fayı olarak devam eder. Manisa fayı düzlemi yoğunluklu kireçtaşı olduğu için fay üzerinde ikincil fay kırıkları oluşmuştur. Bu fay kırıkları üzerinde sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar izlenmiştir. Manisa fayı, kentin batısı ile Gediz nehri arasında ortalama 20 km uzunluğunda 3 km genişliğe kadar uzanan fay zonuna sahiptir. Bu fay zonu paralel kırıklardan oluşur. Manisa fayının Akgedik- Kayapınar köyleri arasında kalan fay zonu kavisli bir gidişe sahiptir. Fayın bu kısmında sol ve ağırlıklı olarak sağ yönlü doğrultu atımlı fayların varlığı bilinmektedir. Gediz ovası sonunda Muradiye bölgesinde KD-GB uzanımlı yaklaşık 8 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atımlı fay bulunmaktadır.

Manisa Akhisar-Soma bölgesindeki D-B yönündeki büklüm hareketinden dolayı yaklaşık 22 km uzunluğundaki fay sistemi oluşmuştur. Bu fay sisteminin bir parçası olan Hacıyusuf Fayı KB-KD uzanımlı doğrultu atımlı olup 4 km uzunluğunda, Soma ilçesinin batısında Bakırçay Ovasının güney sınırında Çinge köyünden Öveçli köyüne kadar uzanır. Soma ilçesinin güneyinde dağlarla sınırlanan Soma Fayı da 8 km uzunluğunda olup Hacıyusuf Fayı gibi sağ yanal doğrultu atım bileşeni olan normal faydır. Bu fayların toplam uzunlukları 12 km dir. Bu alandaki Kırkağaç Fayı, Soma ilçesinin Öveçli köyünden geçerek Kırkağaç ilçesinin batısından güneyine doğru uzanır, 6 km uzunluğunda, KB doğrultusunda olup sol yanal atım bileşenli normal fay olarak tanımlanmıştır. Kırkağaç ilçesinin güneyinde Kırkağaç Fayı ile birleşen Bakır Fayı olarak tanımlanan fay ise 4 km uzunlukta sol yanal doğrultu atımlı normal bir faydır. Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla bu bölgenin KD-GB yönlü genişleme rejimiyle hareket eden fay sisteminin olduğu belirlenmiştir. (Akhisar ve Soma kinematiği-Türkiye Jeoloji Kurultayı, Keskin ve diğ., 2018).



Şekil 2.3 Manisa Diri Fay Haritası (www.mta.gov.tr)

2.2. ÇALIŞMA ALANINDA TARİHSEL DÖNEMDE MEYDANA GELEN DEPREMLER

Bölgedeki karışık tektonizma sonucu önemli tarihsel ve aletsel depremlere ev sahipliği yapmıştır.

2.2.1. Tarihsel Dönem Deprem Aktivitesi

Batı Anadolu bölgesinde Gediz Havzası ile Ege (Bakır Çay) Havzası üzerinde yer alan Ege Graben Sistemi aktif tektoniğine sahip Manisa ili üzerinde yıkıcı ve büyük depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Depremlerin şiddetleri Ricter-Mercalli şiddet cetveline göre VI ile IX arasında belirlenmiştir, büyüklükleri ise 5.0 ile 6.9 arasında değişmektedir. Tablo 2.1 'de tarihsel dönemde Manisa ili üzerinde meydana gelen ve yakın illere kadar uzanan depremler gösterilmiştir.

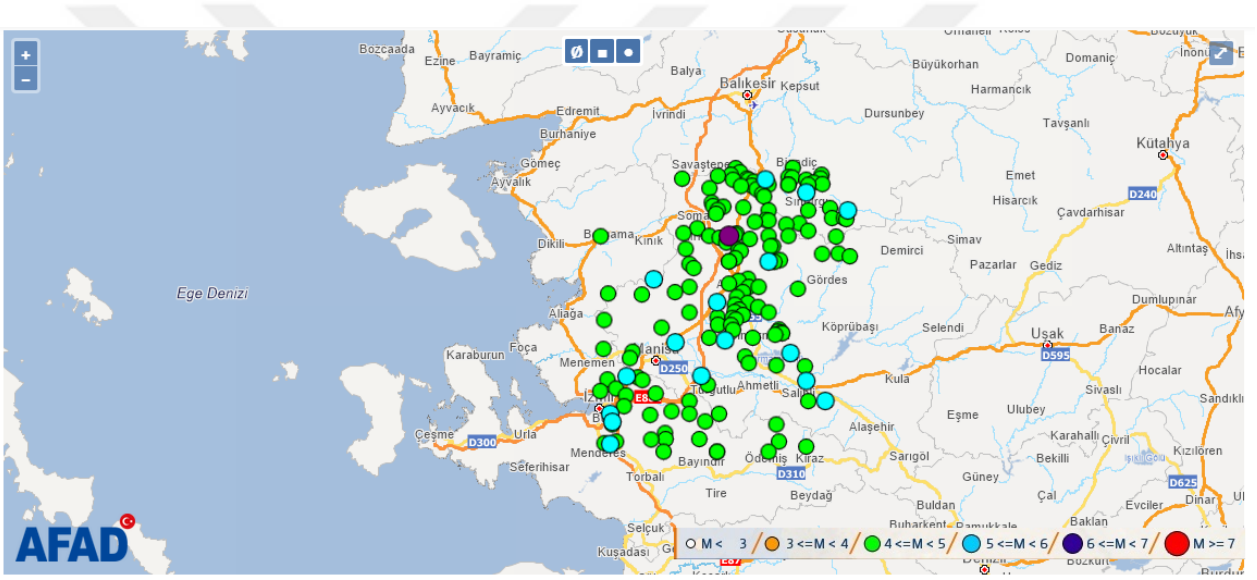
Tablo 2.1: Tarihsel dönemde Manisa ili üzerinde meydana gelen depremler (deprem.gov.tr).

Tarih	Enlem	Boylam	Lokasyon	Şiddet	Büyüklük
M.Ö 17	38.4	27.5	Manisa-Sart-Muradiye-Aydın	IX	6.0-6.9
44	38.5	27.4	Manisa-Efes	VIII	6.0-6.9
1595	38.5	27.9	Manisa-Salihli-Turgutlu	VIII	6.0-6.9
1845	38.6	27.5	Manisa-İzmir	VIII	6.0-6.9
1845	39.3	26.3	Midilli-Manisa	VI	5.0-5.9
1850	38.4	27.5	İzmir-Kemalpaşa-Turgutlu	VIII	6.0-6.9
1850	38.42	27.45	İzmir-Manisa-Turgutlu-Ödemiş	VIII	6.0-6.9
1860	39.4	29.95	Kütahya-Manisa-İzmir	IX	5.0-5.9

1862	38.4	27.7	Turgutlu-Manisa	VI	6.0-6.9
1885	38.84	28.5	Alaşehir-Manisa	VI	5.0-5.9

2.2.2 . Aletsel Dönem Deprem Aktivitesi (M≥6.0)

Bu çalışma için aletsel dönem deprem tarih aralığı 1900-2012 yılları seçilmiştir. İnceleme alanı olan Akhisar-Manisa bölgesinin kuzeyinde ve doğusunda 30.04.1995 (Ms=6.1), 28.10.1942 (Ms=6.0) ve 28..03.1969 (Ms=6.5) tarihlerinde üç depremin varlığı bilinmektedir.



Şekil 2.4: Aletsel dönemde Manisa ili çevresinde meydana gelmiş depremler (www.deprem.gov.tr).

Aletsel dönem verileri özellikle 1940 ve sonrası için geçerlidir. Bölgede özellikle magnitüdü 6.0'dan büyük depremlerin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum geçmişte bölgedeki yüksek sismik aktiviteye işaret etmektedir. Yukarıdaki haritadaki depremlerin dağılımları K-G yönlü olarak değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda sismik ağda meydana gelen iyileştirmeler, bölgedeki daha küçük magnitüdlü depremlerin lokasyonlarının yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu yeni deprem kataloglarının da yardımıyla deprem dağılımları daha net bir şekilde analiz edilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMÜ

Sismik veri işlem aşamasında depremlerin koordinatlarını (x_0,y_0), derinlik (z_0) ve oluş zamanlarını (t_0) belirlemek için ters çözüm yapan farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların ana bağıntı formülü aşağıda verilmiştir:

$$t_i = t_0 + \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}{V} \quad (3.1)$$

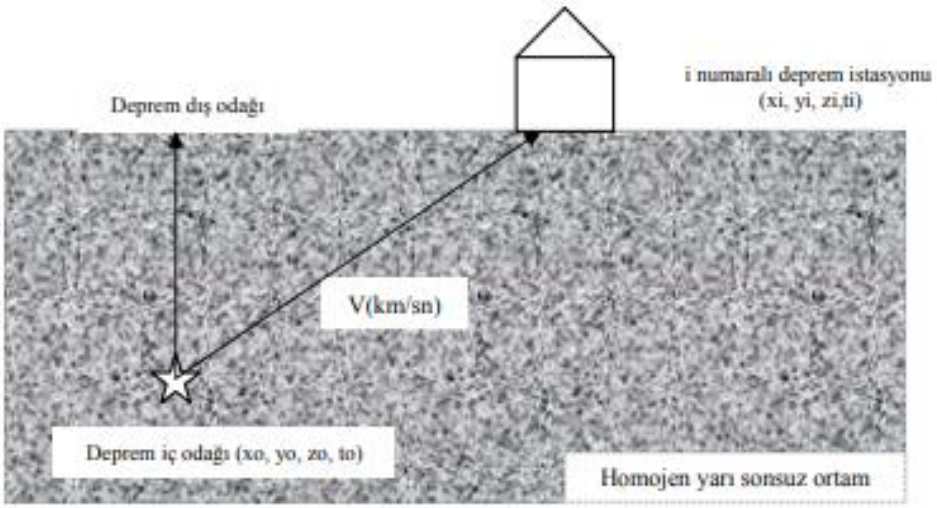
V- yarı ortamın hızı

x_0, y_0, z_0- depremin enlem, boylam ve derinliği

x_i, y_i, z_i - i numaralı deprem istasyonunu enlem, boylam ve deniz mesafesinden yüksekliği

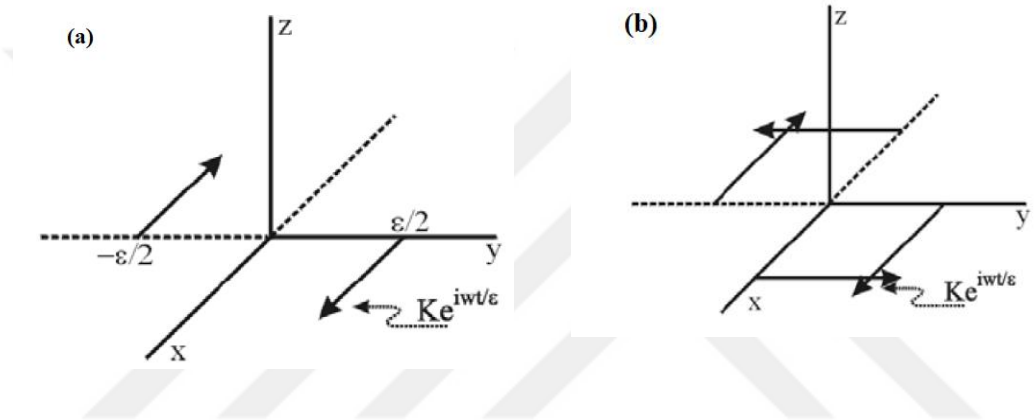
t_0 - depremin ilk oluş zamanı

t_i - deprem dalgasının i numaralı deprem istasyonunda kaydedilmeye başlandığı zaman olarak ifade edilir. Şekil 3,1'de homojen yarı sonsuz ortamda deprem odak merkezinden yayılan dalganın seyahat yolu gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Homojen yarı sonsuz ortamda deprem odak merkezinden yayılan dalganın seyahat yolu.

Depremlerin odak mekanizma çözümü sismolojik çalışmalarda önemli bir veri işlem aşamasıdır. Odak mekanizma fiziği karmaşık bir yapıya sahiptir. Deprem odağındaki yer değişmeler farklı kaynak modelleri ile anlatılmaktadır. Bunlar tek kuvvet çifti ve çift kuvvet çiftidir. Tek kuvvet çifti birbirlerine eşit olmakla beraber ters yönlü kuvvetlerden meydana gelir ve sismik moment değeri sıfırdan farklıdır. Çift kuvvet çiftinde ise 2 kuvvet çiftinin birbirinin aynı fakat birbirlerine karşı koyacak kuvvetlerden oluşur ve sismik moment sıfırdır. Şekil 3.2'de tek ve çift kuvvet çiftleri gösterilmiştir. Burada $Ke^{\frac{i\omega t}{\varepsilon}}$ x ve y ekseni üzerindeki ε/2 ve –ε/2 noktalarına etki eden 2 periyodik kuvvettir.

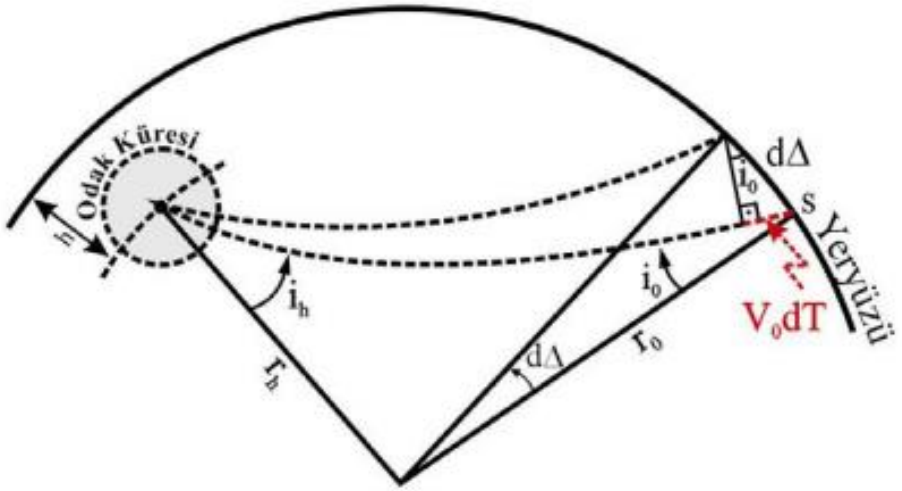


Şekil 3.2: (a) tek kuvvet çifti ve (b) çift kuvvet çifti

Depremlerin odak mekanizma çözümü sismolojik araştırmalarda önemli yer tutar. Deprem odak mekanizma çözümü için birbirinden farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar P dalgası ilk hareketlerinden odak mekanizma çözümü, S dalgaları polarizasyon açılarından odak mekanizma çözümü, cisim dalgaları spektral genliklerinin azimutal dağılımlarından odak mekanizma çözümü, yüzey dalgaları spektral genliklerinin azimutal dağılımlarından odak mekanizma çözümü ve dalga şekli modellemeleridir. Bu çalışmanın ilk aşamasında odak mekanizma çözümü için P dalgası ilk hareket yönü yöntemi kullanılmıştır. Bu odak mekanizma çözümünü aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

İlk olarak sismogramdan alınan verinin düşey (Z) bileşeninden P dalgasının ilk hareketi okunur. Eğer ilk hareket yönü yukarı ise "+" veya "C", aşağı ise "- "veya "D" şeklinde işaretlenir. Burada belirtilen "+" veya "C" odaktaki sıkışmayı, "- "veya "D" ise odaktaki genişlemeyi temsil etmektedir.

Daha sonra okumalar tüm istasyonlar için tekrarlanır. Bu işlem bittikten sonra sıkışma ve genişlemelere uygun bir izdüşüm seçilerek bir düzlem üzerinde gösterilmelidir. Bunun için sterografik izdüşüm ağı kullanılır. Her istasyon için episantr uzaklığı (Δ), azimut açısı ve odağı terk ediş açısı (i_h) hesaplanır.



Şekil 3.3: Odak küresi ve odak küresini terk eden ışınları gösteren kesit. S sismolojik istasyonun konumunu gösterir

$$\text{Sin}i_h = \frac{r}{r-h} V_h \left(\frac{dT}{d\Delta}\right) \quad (3.2)$$

V_h- P dalga hızı(km/sn)

r- Yerin yarıçapı (km)

h- Odak derinliği (km)

$\frac{dT}{d\Delta}$- P dalgalarına ait zaman-uzaklık eğrisinin eğimi

Azimut açısı ve Episantr uzaklığını bulmak için farklı formüller geliştirilmiştir. Episantr enlem ve boylam (ϕ, λ) ve deprem istasyon koordinatları (ϕ', λ') olsun. Episantr uzaklığı (Δ) (3.3), (3.4), (3.5) denklemleri ile bulunabilir.

$$2(1-\cos\Delta) = (A - A')^2 + (B - B')^2 + (C - C')^2 \quad (3.3)$$

$\cos\Delta = AA' + BB' + CC'$ (3.4)

$2(1+\cos\Delta) = = (A + A')^2 + (B + B')^2 + (C + C')^2$ (3.5)

Burada Δ episantr ile deprem istasyonunu yerin merkezinden gören açıdır. Bu denklemlerde

$A = \sin\phi\cos\lambda$ $A' = \sin\phi'\cos\lambda'$

$B = \sin\phi\sin\lambda$ $B' = \sin\phi'\sin\lambda'$

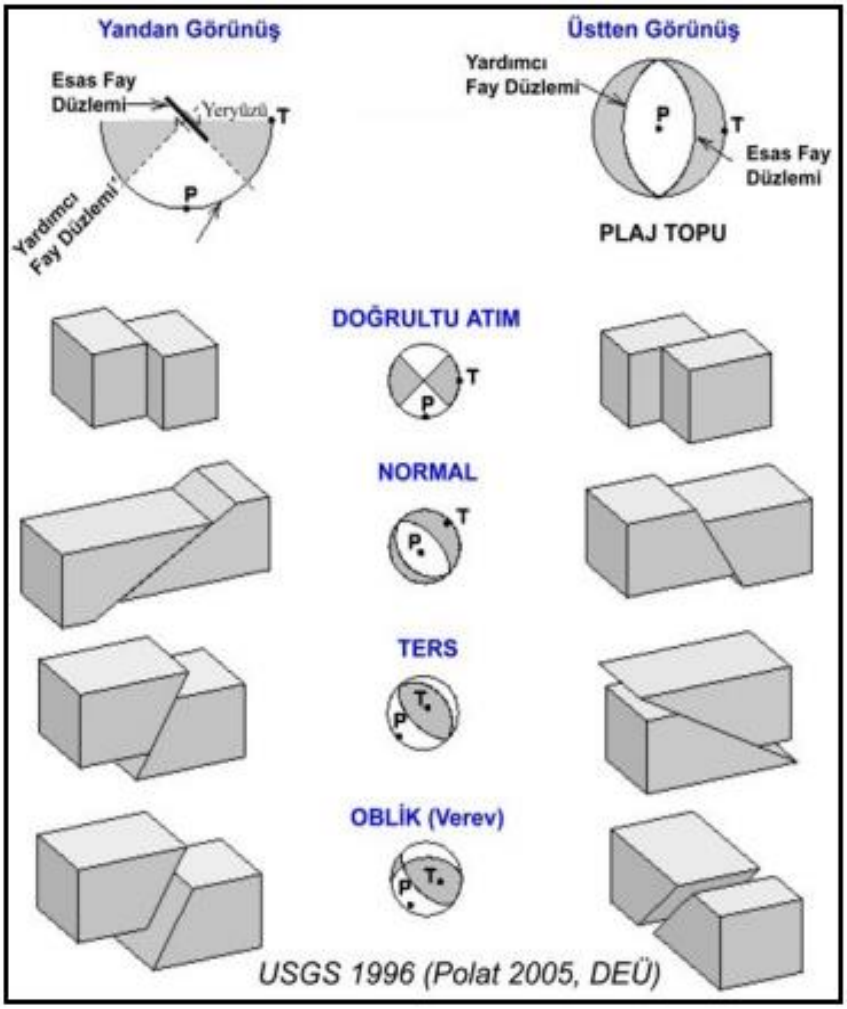
$C = \cos\phi$ $C' = \cos\phi'$

belirtilen formüller doğrultman kosinüsleridir. Azimut açısı (α) deprem istasyonundan episantr'a doğru ve episantrdan deprem istasyonuna doğru ölçülen değerdir. Deprem istasyonunda episantr'a doğru ölçülen azimut denklemi (3.6) ile hesaplanır.

$\sin\alpha = \cos\phi\sin(\lambda' - \lambda)/\sin\Delta$ (3.6)

Son aşama olarak ise P dalgalarının ilk hareket yönü dikkate alınarak faylanmaya ait esas ve yardımcı fay düzlemleri bulunur (Şekil3.4) (Polat,2005).

Fay düzlemleri belirlendikten sonra belirlenmesi gereken bazı parametreler vardır. Bunlar fay doğrultusu, eğim ve kayma açısıdır. Kayma açısı -180 ile +180 arasında değişir. Faylanma türü kayma açısından anlaşılır. Fay düzlemleri belirlendikten sonra belirlenecek parametreler; fay doğrultusu, eğim açısı ve kayma açısıdır. Fay doğrultusu fay düzleminin yeryüzündeki fay izidir ve doğrultu açısı (ϕ) ile verilir. Eğim açısı (δ) fay düzlemin yatay ile yaptığı açıdır. Kayma açısı (λ) kayma vektörünün fay düzlemi boyunca yatay ile yaptığı açıdır. Kayma açısı -180 ile +180 arasında değişir ve faylanma türü kayma açısından belirlenir.



Şekil 3.4: Odak mekanizma çözümlerine göre fay türleri (Polat, 2005). Burada P noktası sıkışmaya, T noktası ise açılmaya ait alanları göstermektedir.

3.2. SİSMİK MOMENT TENSÖR ANALİZİ

3.2. 1.Moment Tensör Yöntemi

Ters çözüm bir parametre kestirimi işlemidir. Ters çözüm gözlem uzayından parametre uzayına geçme işlemi, düz çözüm ise parametre uzayının gözlem uzayına geçiş işlemi olarak tanımlanır. Bu geçiş bahsi geçen iki durum arasında olayların özellikleri dikkate alınarak tanımlanan bir fonksiyon ilişkisiyle gerçekleştirilir. Sismolojide ters çözüm işlem uygulamaları küresel, bölgesel ve yerel olarak üç farklı şekilde hesaplanır. Bu yöntem çeşitleri dikkate alınarak yapılan moment tensör (MT) analizi, hesaplama yaklaşımı ve çözüm hedefi olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Bu çözümlerden biri, odaksal moment tensör analizidir (Dziewonski vd., 1981). Ters çözüm işleminde MT, 6 bağımsız bileşen ve kaynak noktası koordinatları beraber belirlenir. MT analiz işlemi doğrusal bir en küçük kareler işlemi olarak tanımlanır. Diğer çözüm ise doğrusal MT analizi olarak ifade edilir. Bölgesel MT analizi için bölgesel uzaklıkta kaydedilen (100-1000 km) üç bileşenli geniş bantlı deprem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

MT analizi yöntemi işlemi uygulanabilmesi için 3 bileşenli geniş bantlı deprem istasyon verisi gerekmektedir. Bu çalışmada MT ters çözüm yöntemi kullanılarak fay hareketinden elde edilen deprem verileri incelenmiştir. Burada sismik MT, tensör bileşenleri ve moment tensör ters çözüm yönteminden bahsedilecektir. Ardından P dalgası ilk hareket yönü kullanılarak odak mekanizması çözümü anlatılacaktır. P dalgası ilk varşları için Yılmazer (2003) tarafından geliştirilen ZsacWin programı ve moment tensor ters çözümü için ise MATLAB dilinde yazılmış ISOLA programı kullanılmıştır.

3.2.2 Sismik Moment Tensör ve Bileşenleri

Deprem kırılma süreci ile ilgili çalışmalar bir fay üzerindeki kaymanın oluştuğu bölgenin sonuçları, fay üzerindeki kaymanın süreci ve boyutları gibi ifadelerle bir kaynak modeli tanımı yapılarak başlar. Tanımlanan bu hız modeli için Green fonksiyonları kullanılarak yer değiştirme değerleri hesaplaması yapılır. Bu hesaplamadaki amaç, kaynağı temsil eden parametrelerin yayılan sismik dalgaların incelenmesi ile hesaplanacak bir ters çözüm işlemidir. Hesaplama sürecinde zaman ortamındaki sentetik ve gözlenmiş veriler arasında yakın bir uyum

sağlanana kadar kaynak parametrelerini düzenlemektir. Bir diğer ifadeyle frekans ortamında spektrumların düşük frekans seviyesi, yüksek frekans azalımı ve köşe frekansı gibi özelliklerini kaynak özellikleriyle benzeştirilmesi şeklinde ifade edilebilir. Deprem kaynağındaki hareket değerleri moment tensörün elemanları olan 9 adet kuvvet çiftiyle temsil edilir.

Kartezyen koordinat sisteminde M_{ij} kuvvet çifti tanımlanırsa bu koordinat sisteminde i^{th} zıt kuvvet çiftlerini j ayrı tanımlar böylece moment tensör 9 farklı kuvvet çifti ile tanımlanır.

$$\mathbf{M} = \begin{vmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{vmatrix} \quad \begin{matrix} \downarrow \\ \text{Kuvvet yönü} \end{matrix} \qquad (3.7)$$

$\longrightarrow$
Ayrım yönü

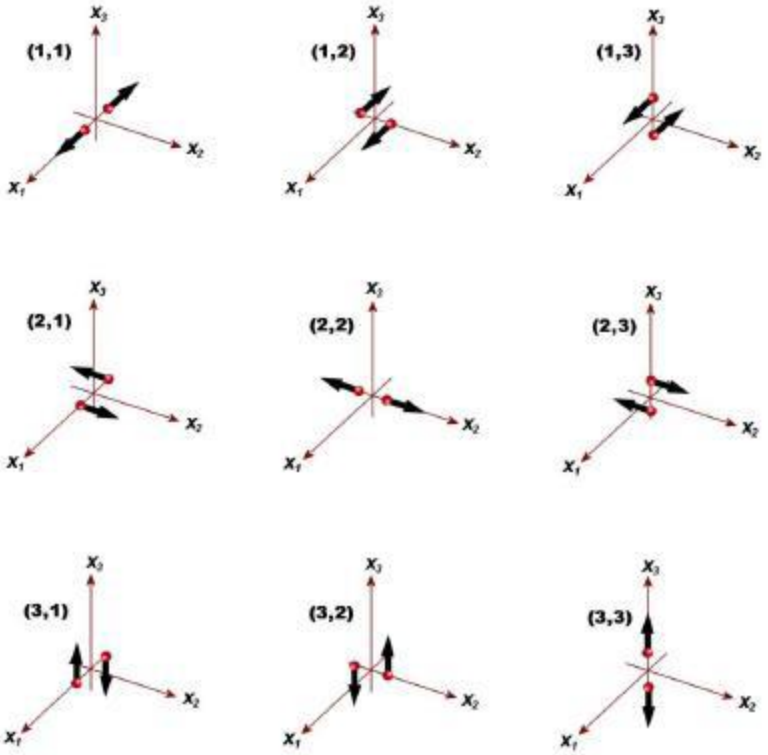
Açısal momentum değerinin korunmuş olması (3.7) nolu matrisin simetrik olma zorunluluğunu getirir ve böylece M'nin 6 tane bağımsız bileşeni olduğu görülür (Şekil 3.6). Bu içeride üretilmiş kuvvet değerlerinin sunumudur. Sunulan bu kuvvetlerin etkisi bir noktaya üzerindedir ve uzak sismik dalgaların modellenmesinde iyi bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Bu sismik dalga kaynakları sismik dalga boyuna kıyasla daha küçüktür. Faydan yayılan sismik enerji ikili kuvvet çifti şeklinde ifade edilir. Örneğin; doğrultu atımlı, sağ yanal (strike, slip) düşey, ve x_1 yönünde yönlenmiş olan fay aşağıdaki momentum ifadesine karşılık gelir.

$$\mathbf{M} = \begin{vmatrix} 0 & M_0 & 0 \\ M_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (3.8)$$

M_0 skaler sismik moment;

$$M_0 = \mu DA \qquad (3.9)$$

Şeklinde bir matematiksel ifade ile tanımlanır. Burada, μ= kayma modülü, D; fayın yer değiştirmesini, A; fay alanı, $M_{ij} = M_{ji}$'dir. Bu ikili kuvvet çiftine eşdeğer iki fay düzlemi vardır. Bunlardan ilki gerçek fay düzlemi birinci fay düzlemi öteki ise yardımcı fay düzlemi olarak isimlendirilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Sismik moment tensörü oluşumunda etkili dokuz kuvvet çifti (Lay ve Wallece, 1995; Jost ve Hermann, 1989)

Yukarıda belirtilen kuvvet çiftleri için moment tensörün diagonal olmayan elemanları M_{12} ve M_{21} olarak temsil edilir ve koordinat düzleminde P ve T eksenleriyle aynı yöne gelecek şekilde döndürüldüğünde, moment tensör diagonal olarak tanımlanır. Bu ifadeler zıt terim olan M_{12} ile M_{21}'dir. Moment tensörün izi, tensörün köşegenindeki elemanların toplam hacimsel değişimin bir tanımıdır. Moment tensörün birimi normal verktör (n), birim kayma vektörü (d) ve skaler moment M_0ile ifade edilir.

$$M_{ij} = M_0\left(n_j d_{j+} n_j d_i\right) \tag{3.10}$$

$$\mathbf{M} = \mathrm{M}_0 \begin{vmatrix} 2\mathrm{nxdx} & \mathrm{nxdydx} & \mathrm{nxdz} + \mathrm{nzdx} \\ \mathrm{ny} + \mathrm{dx} + \mathrm{nxdy} & 2nydy & \mathrm{nydz} + \mathrm{nzdy} \\ nzdx + nxdz & \mathrm{nzdy} + \mathrm{nydz} & 2\mathrm{nzdz} \end{vmatrix} \tag{3.11}$$

Normal Vektör;

$$\mathbf{n} = \begin{vmatrix} -sin\,\delta & sin\text{ø}f \\ -sin\,\delta & sin\text{ø}f \\ cos\,\delta & \end{vmatrix} \tag{3.12}$$

Kayma vektörü;

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} cos\,\lambda\, cos\text{ø}f + sin\,\lambda\, cos\,\delta\, sin\text{ø}f \\ cos\,\lambda\, cos\text{ø}f + sin\,\lambda\, \cos\delta\, cos\text{ø}f \\ sin\,\lambda\, sin\,\delta \end{vmatrix} \tag{3.13}$$

Buna göre coğrafik koordinatlara bağlı moment tensör bileşenleri aşağıdaki matematiksel ifadelerle tanımlanır.

$$\begin{aligned}
\mathrm{M}_{11} &= -\mathrm{M}_0(\sin\delta\cos\lambda\,\sin2\text{ø}f + \sin2\,\delta\sin\lambda\,\sin^2\text{ø}f \\
\mathrm{M}_{22} &= \mathrm{M}_0(\sin\delta\cos\lambda\,\sin2\text{ø}f - \sin2\,\delta\sin\lambda\,\sin^2\text{ø}f \\
\mathrm{M}_{33} &= \mathrm{M}_0(\sin2\,\delta\cos\lambda\,) = -(\mathrm{M}_{11+}\mathrm{M}_{22}) \\
\mathrm{M}_{12} &= \mathrm{M}_0(\sin\delta\cos\lambda\,\sin2\text{ø}f + \tfrac{1}{2}\sin2\,\delta\sin\lambda\,\sin2\text{ø}f \\
\mathrm{M}_{13} &= -\mathrm{M}_0(\cos\delta\cos\lambda\,\sin\text{ø}f + \cos2\,\delta\sin\lambda\,\sin\text{ø}f\,) \\
\mathrm{M}_{23} &= -\mathrm{M}_0(\cos\delta\cos\lambda\,\sin\text{ø}f - \sin2\,\delta\sin\lambda\,\sin\text{ø}f\,)
\end{aligned} \tag{3.14}$$

3.17 eşitliklerinde verilen bileşenlerin ilk beş tanesi P, SV ya da SH yer değiştirme değerlerini tanımlarken, altıncı bileşen kaynaktan itibaren her yönde eşit enerji yayılışını tanımlar. Yapay kaynaklar haricinde, deprem dalgaları için moment tensör ilk beş bileşen toplamı ile hesaplanır.

$$M = \sum_{i=1}^{5} \mathrm{m_i} \tag{3.15}$$

Deprem sonrasında yer değiştirme (U) ise, $\mathrm{G_{nij}}$ her bir moment tensör bileşenini karşılayan Green fonksiyonları olarak herhangi bir t anında yer değiştirme şeklinde izleyen eşitlikle anlatılabilir (3.16).

$$\mathrm{U_n}\ = (\mathrm{x,t}) = \mathrm{M_{ij}}\,(z,t)\mathrm{G_{nij}}(x,z,t) \tag{3.16}$$

Burada,

U_n: n'inci İstasyonda gözlenen yer değiştirme genliği

M_{ij} : n'inci İstasyon için kuvvet çiftini ifade eden Green fonksiyonları

G_{nij}: kuvvet çiftinin şiddetini temsil eden skaler sismik moment,

x : kaynak ve istasyon arasındaki mesafe,

z: kaynağın derinliği

ij: coğrafik koordinatlar 'dır.

Verilen matematiksel ifadede U (yer değiştirme) ölçülen veriye, G'de varsayılan kabuk yapısını tanımlayan sentetik veriyi ifade eder. Bu sebepten dolayı, bu iki veri arasındaki en iyi uyumu sağlayan moment tensör bileşenlerini belirlemek yöntemin temelini oluşturur. Uygulanan yöntemde gerçek veri ile sanal veri arasındaki en iyi uyumun varyans düşümünün en yüksek olduğu değerde gerçekleştiği kabul edilmiştir. Aşağıdaki formülde $data_{\,i}$ gerçek veri, $synth_{\,i}$ yapay veri olmak üzere varyans düşümü verilen eşitlik olarak tanımlanmıştır.

$$VR = \left[1 - \sum_i \sqrt{(data_i - synth_{\,i})^2} / \sqrt{(data^2{}_i)} \right] * 100 \qquad (3.17)$$

3.2.3. Green fonksiyonları

Green fonksiyonları (GF) belirlenmiş bir kaynak noktasından çıkan sismik dalganın herhangi bir mesafedeki alıcıya gidişi esnasındaki yayılımasının sayısal bir ifadesidir. Fizik olarak tanımı kaynak ve alıcı arasındaki ortamın dürtü fonksiyonudur. GF, yer modelindeki dalga yayılımını karakterize eden bir yer değiştirme alanı olarak tanımlanır. Kaynağın zaman içerisindeki hareketi GF ile temsil edilir. GF hesaplanmalarında kullanılan kabuk modeli önemlidir. Bu analiz çalışmada, sentetik veri üretilirken Laplace transformu ile Fourier transform tekniği kullanılmıştır. Moment tensör ters çözümü için kullanılacak yapaysismogramların elde edilmesi aşamasında, frekans ortamında GF hesaplayan MATLAB (ISOLA) yazılımı kullanılmıştır.

ISOLA ile kabuk yapısı için yer değiştirmeler belli uzaklık değerlerinde GF 8 alt bileşeni hesaplanır. Bu bileşenlerden iki tanesi teğetsel, üç tanesi ışınsal ve diğer üç tanesi de düşey bileşeni tanımlanır. Hesaplama yapılan bu bileşenlerin birbirleri ile ilişkileri (3.18) ve (3.19) eşitliklerinde ifade edilmiştir (Jost ve Hermann,1989).

$$\begin{aligned} \mathrm{G_t}(x,z,t) &= TSS\ \mathrm{A_4} + \mathrm{TSD\ A_5} \\ \mathrm{G_r}(x,z,t) &= RSS\ \mathrm{A_1} + \mathrm{RSDA_2} + \mathrm{RDD\ A_3} \\ \mathrm{G_z}(x,z,t) &= ZSS\ \mathrm{A_1} + \mathrm{ZSD\ A_2} + \mathrm{ZDD\ A_3} \end{aligned} \tag{3.18}$$

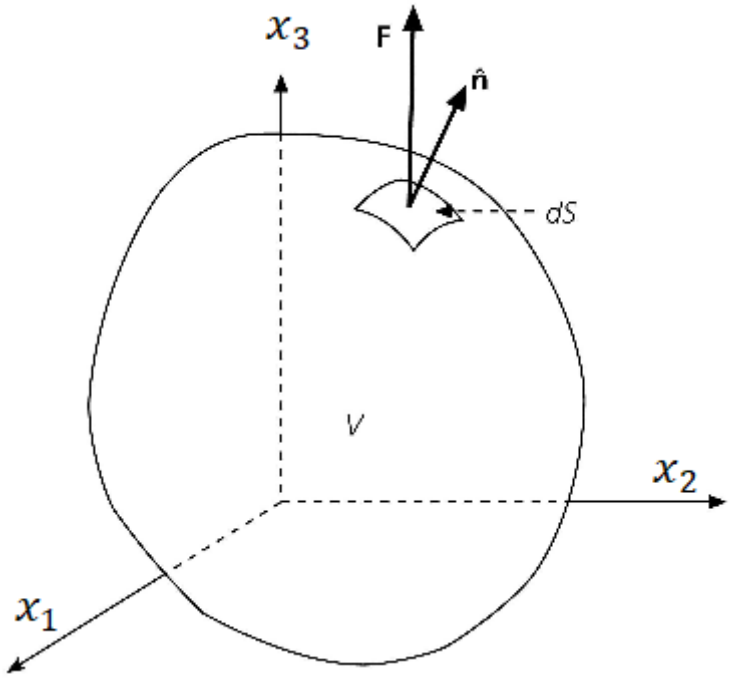
Burada, $\mathrm{G_z}$, $\mathrm{G_r}$, $\mathrm{G_t}$ sırası ile Green fonksiyonların ışınsal, düşey, teğetsel bileşenleri temsil eder. $\mathrm{A_i}$ katsayıları (3.18) eşitliğinde belirtilmiştir. Eşitliğin sağ tarafında belirtilen diğer ifadeler her bileşen için olası fay düzlemlerini tanımlamaktadır.

$$\begin{aligned} \mathrm{A_1} &= 0.5(\mathrm{M_{zz}} - \mathrm{M_{yy}})\cos(2a) + \mathrm{M_{xy}}\sin(2a) \\ \mathrm{A_2} &= \mathrm{M_{xz}}\cos(a) + \mathrm{M_{yz}}\sin(a) \\ \mathrm{A_3} &= -0.5(\mathrm{M_{xx}} - \mathrm{M_{yy}}) \\ \mathrm{A_4} &= 0.5(\mathrm{M_{xx}} - \mathrm{M_{yy}})\sin(2a) - \mathrm{M_{xy}}\cos(2a) \\ \mathrm{A_5} &= -\mathrm{M_{yz}}\cos(a) + \mathrm{M_{xz}}\sin(a) \end{aligned} \tag{3.19}$$

Burada a kaynak ile alıcı arasındaki azimutu tanımlamaktadır.

3.3. GERİLME TENSÖRÜ BELİRLEME

Bir cisim üzerinde cisim kuvveti ve yüzey kuvveti olmak üzere iki farklı kuvvet etkili olur. Cisim kuvveti cisim içerisinde etkili olan ve hacimle doğru orantılı bir şekilde net bir kuvvete sebep olur. Yüzey kuvveti ise cismin yüzeyinde etkili ve hacimle doğru orantılı olarak net bir kuvvete sebep olur. Şekil 3.6' da S yüzeyli ve V hacimli cisim üzerine etki eden yüzey kuvveti gösterilmiştir.



Şekil 3.6. V hacimli ve S yüzeyli cisme etki eden yüzey kuvveti. Yüzey kuvveti F, dışa doğru birim vektörü $\hat{n}$ ile gösterilmiştir (Stein ve wYsession,2002)

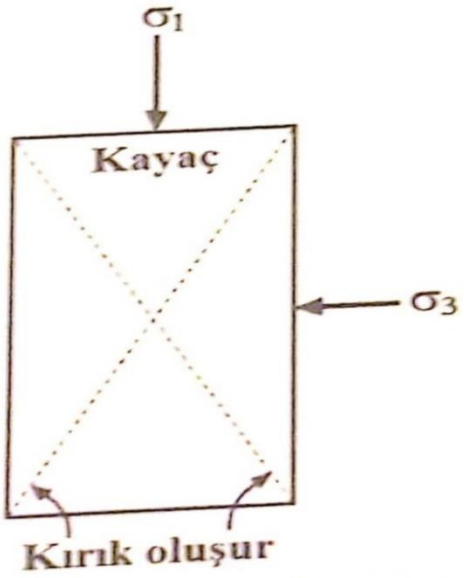
Bu aşamada çekme vektörü (T) birim alana düşen yüzey kuvveti limiti olarak tanımlanacaktır ve (3.20) bağıntısı ile bulunması sağlanacaktır:

$$\mathrm{T}(\hat{n}) = \lim_{dS \to 0} \frac{F}{dS} \tag{3.20}$$

Gerilme tensörü genel olarak (3. 21) bağıntısıyla ifade edilir;

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \quad (3.21)$$

Gerilme tensörü 9 bileşene sahiptir. Bu bileşenlerden σ_{xx}, σ_{yy}, σ_{zz} normal gerilmeler, diğer 6 bileşen ise makaslama gerilmeleri şeklinde isimlendirilir. Basınçtan dolayı yer altındaki birçok yerde bulunan materyalin normal gerilme bileşenleri negatiftir. Gerilme tensörü simetrik özelliğinden dolayı $\sigma_{ij}= \sigma_{ji}$, $\sigma_{xy}= \sigma_{yx}$, $\sigma_{zx}= \sigma_{xz}$ olur. Gerilmenin birimi bar'dır. 1bar=10^6dyn/cm^2 şeklinde ifade edilir. Gerilme tensörü kullanarak maksimum makaslama gerilmesi düzlemi bulunabilir. Örnek olarak basınç altında olan bir kayaç düşünülürse; gerilmeler $|\sigma_1| \geq |\sigma_2| \geq |\sigma_3|$ olarak sıralandığında ve maksimum makaslama gerilme yüzeyinde kırıklar beklenilir. Burada σ_1 en büyük ana gerilmeyi ifade eder ve oluşacak kırık 45^0 düzlem üzerinde oluşur.



Şekil 3.7: Örnek kayaçta maksimum makaslama gerilmesi üzerinde oluşan kırığın şematik gösterimi (Stein ve Wysession, 2002).

Gerilme tensörü analizi yönteminde maksimum sıkışma (σ_1), orta sıkışma (σ_2) ve minimum sıkışma (σ_3) olan 3 asal gerilme ekseni ve *R* (gerilme oranı) belirlenmelidir. *R* değeri

bölgede hakim olan gerilme rejiminin türünün göstergesi olarak ifade edilir. Gerilme oranı (3.22) bağıntısı ile belirlenir:

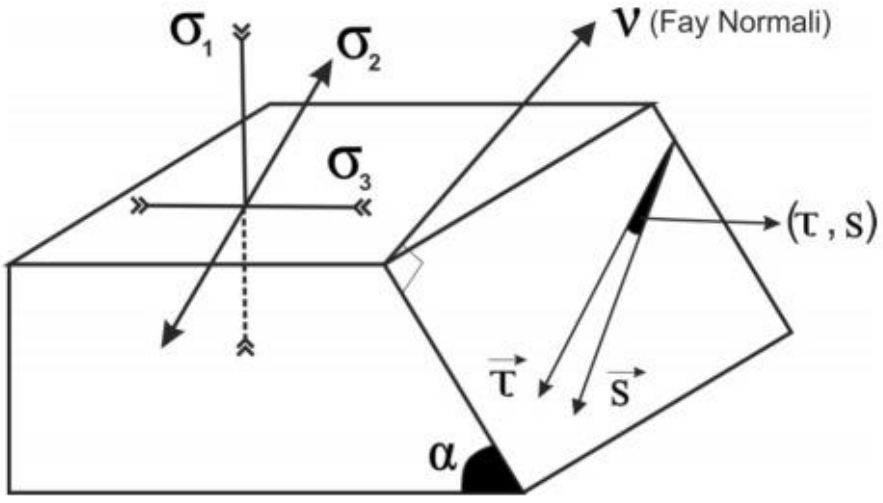
$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_3 - \sigma_1} \tag{3.22}$$

R değeri 0 ile 1 arasında değerler alır. *R* değeri 0.5'ten küçük ise bölgedeki hakim gerilme sıkışma (transpressional), 0.5'ten büyük ise açılma (transtensional) olarak değerlendirilir (Michael, 1984;1987; Vavryčuk, 2014; Görgün vd., 2020). Deprem odak mekanizma çözümlerinden bulunan parametreler yardımıyla gerilme tensörü analizinde kullanılan kayma yönü vektörü ($\vec{S}$) ve fay normali (*V*) 3.24 ve 3.25 bağıntıları ile bulunur.

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} cos\lambda cos\emptyset + sin\lambda cos\alpha sin\emptyset \\ sin\lambda cos\alpha cos\emptyset - cos\lambda sin\emptyset \\ sin\lambda sin\alpha \end{pmatrix} \tag{3.23}$$

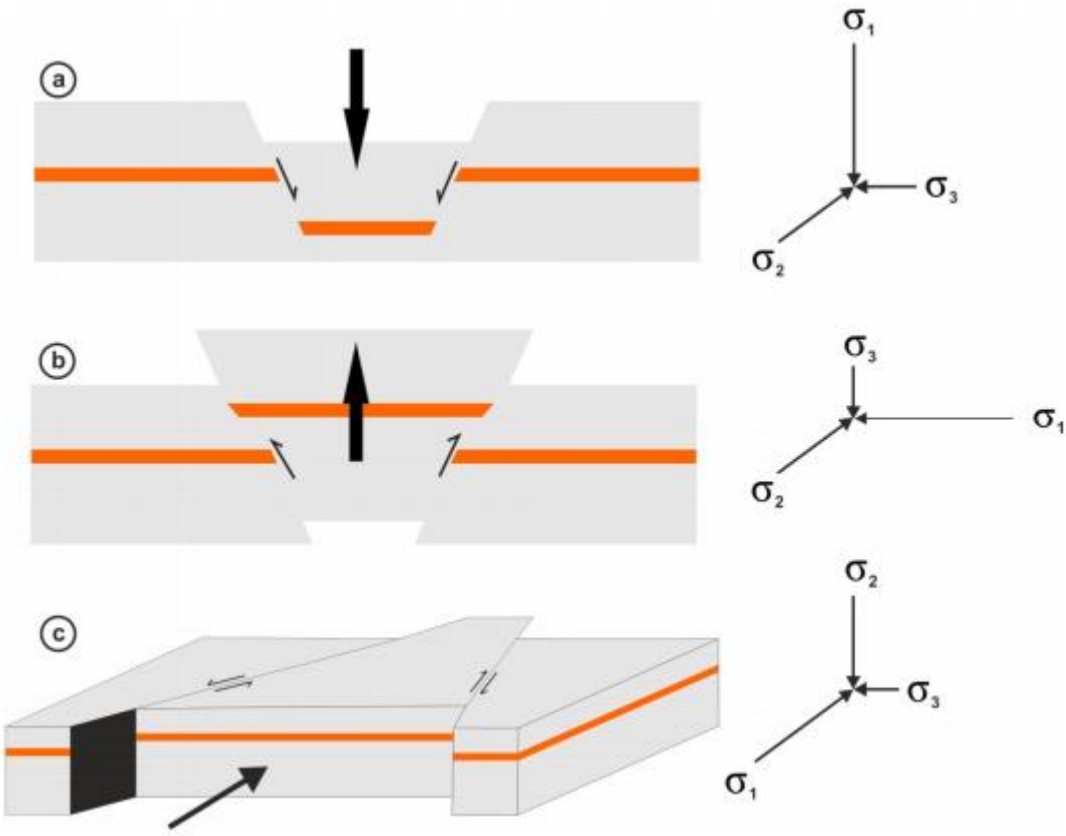
$$V = \begin{pmatrix} sin\alpha sin\emptyset \\ -sin\alpha cos\emptyset \\ cos\alpha \end{pmatrix} \tag{3.24}$$

λ (kayma açısı), ∅ (doğrultu), $\boldsymbol{\alpha}$ (eğim) deprem odak mekanizması çözümlerinden bulunan değerlerdir



Şekil 3.8: Asal gerilme eksenleri ve atım vektörleri.

Bölgede faylanma türünü, asal gerilme eksenlerinin yatay veya düşey olması belirler. Eğer σ1 düşey, σ2 ve σ3 yatay ise bölgede normal faylanma, σ3 düşey, σ2 ve σ1 yatay ise bölgede ters faylanma, σ2 düşey, σ1 ve σ3 yatay ise bölgede doğrultu atımlı faylanmanın hakim olduğunu anlatır. Şekil 3.9'da asal gerilme eksenleri ile faylanma türü arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Asal gerilme eksenleri ile faylanma türü arasındaki ilişki. (a) Normal faylanma, (b) Ters faylanma, (c) Doğrultu atımlı faylanma.

3.4. COULOMB GERİLME ANALİZİ

Bir bölgede bulunan fayların statik ya da dinamik durumunu bölgede meydana gelen deprem hareketleri değiştirebilmektedir. Bu gerilme değişimi yarı uzaydaki dikdörtgen düzlemler üzerinde meydana geldiği farz edilen yer değiştirme yöntemi ile hesaplanır (Okada,1985). Yakın alandaki depremlerin birbirini tetikleyebilmesi için o alanda 0.5 barlık gerilme artışı olması yeterlidir (King vd.,1994). Coulomb gerilme değişimi (3.25) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu(\Delta\sigma_n + \Delta P) \quad (3.25)$$

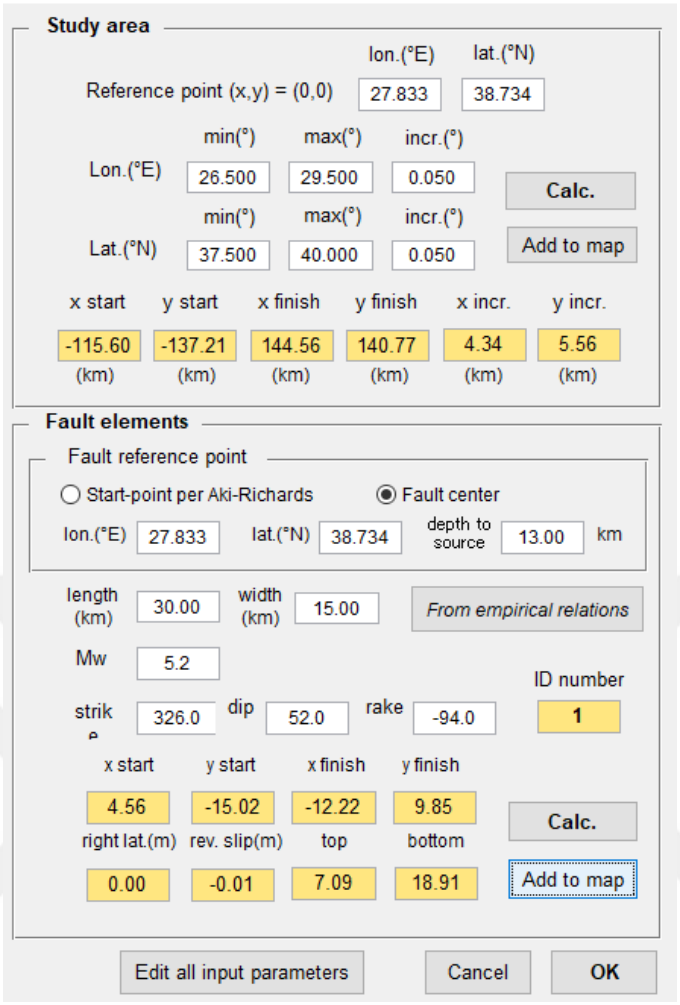
$\Delta\tau$- fayda oluşan kesme gerilmesindeki değişim

$\Delta\sigma_n$- normal gerilmedeki değişim

ΔP - boşluk suyu basınç değişimi

μ - faydaki etkin sürtünme katsayısı

ΔCFF değeri pozitif olursa gerilmenin artmasına, negatif olursa gerilmenin azalması anlamına gelir. Coulomb gerilme analizi hesaplamalarında bazı kaynak parametrelerinin bilinmesi gereklidir. Bunlar depremin enlem ve boylamı, doğrultu, eğim açısı ve kayma açısından oluşmaktadır. Doğrultu, eğim ve kayma açısı değerleri deprem odak mekanizma çözümlerinden bulunur. Coulomb gerilme değişimi hesaplamaları için Toda vd. (2010) tarafından geliştirilen MATLAB© tabanlı Coulomb 3.3 yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın başlangıç aşamasında bölgenin sınırları tanımlanır ve enlem, boylam, derinlik, magnitüd, doğrultu, eğim, kayma sırası ile programa tanımlanır (Şekil 3.10). Hesaplamalarda etkin sürtünme katsayısı (μ) 0.4 ve Paisson oranı 0.25 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.10: Tezde kullanılan deprem kaynak parametrelerinin Coulomb 3.3 programına tanıtılması.

Coulomb gerilme değerleri bize kırılmanın yönünü ve doğrultusunu belirlememize yardımcı olur. Bu çalışmada Manisa-Akhisar yöresindeki Ml>5.0'dan büyük depremlere uygulanmıştır. Gerilme dağılımları basınç birimi olan bar olarak bulunur. Gelecekte oluşacak potansiyel kırılma ve gerilme bölgelerini bize işaret eder.

3.5. MOMENT TENSÖR TERS ÇÖZÜM UYGULAMALARI

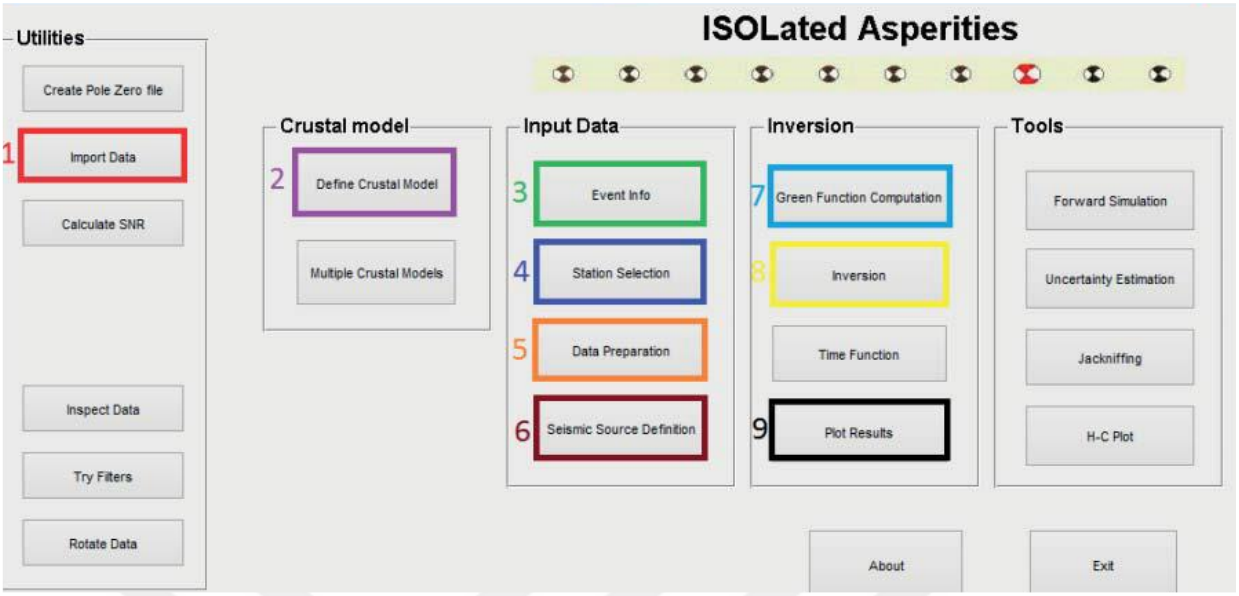
Bu tez çalışmasında Manisa ili üzerinde 2016-2019 tarihleri arasında magnitüdü 3.0 'dan büyük depremlerin moment tensör analizi yapılmıştır. Bu analiz için Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden (KRDAE) alınan ham veriler kullanılarak, MATLAB dilinde yazılmış ISOLA programı ile moment tensör analizi uygulamaları yapılmıştır. ZSACWIN programı kullanılarak verilerin odak mekanizmaları belirlenmiş, ISOLA programıyla kıyaslanmış ve yakın değerler elde edilmiştir. ISOLA programına başlamadan önce zSACWin programından veri ayıklaması yapılacaktır. Yani ivme değerleri, veri mesafesi 50 km' den az 250' km den fazla olan ve akış kopukluğu bulunan verilerin ayıklanma işlemidir. Ardından ham verilerin uzantısını HdrUpdate_SAC2ASC.exe programıyla değiştirilip bölgelerin kabuk modellerini programa tanıtmak gerekmektedir. Bu çalışmada kabuk modeli olarak Akyol vd-2006 kabuk modeli kullanılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Akyol vd. (2006) tarafından Batı Anadolu için belirlenen hız modeli

Derinlik (km)	Hız (km/sn)
2	4.8
4	5.4
5	6
15	6.1
22	6.2
30	7.9

Bu tezde oluşturulan MATLAB (ISOLA) moment tensör aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

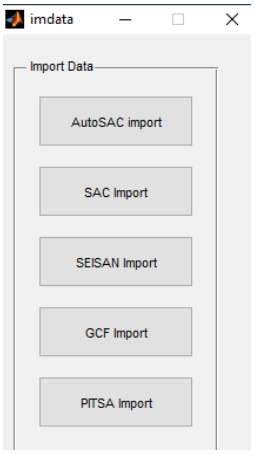
- Import Data (Veri Girişi)
- Define Crustal Model (Kabuk Modelinin Tanımlanması)
- Event Info (Olay Bilgisi)
- Station Selection (İstasyon Seçimi)
- Data Preparation (Veri Hazırlığı)
- Seismic Source Defination (Sismik Kaynak Tanımı)
- Green Function Computaiton (Green Fonksiyonunun Hesaplanması)
- Ters Çözüm (Inversion)
- Plot Results (Sonuçların Çizimi)



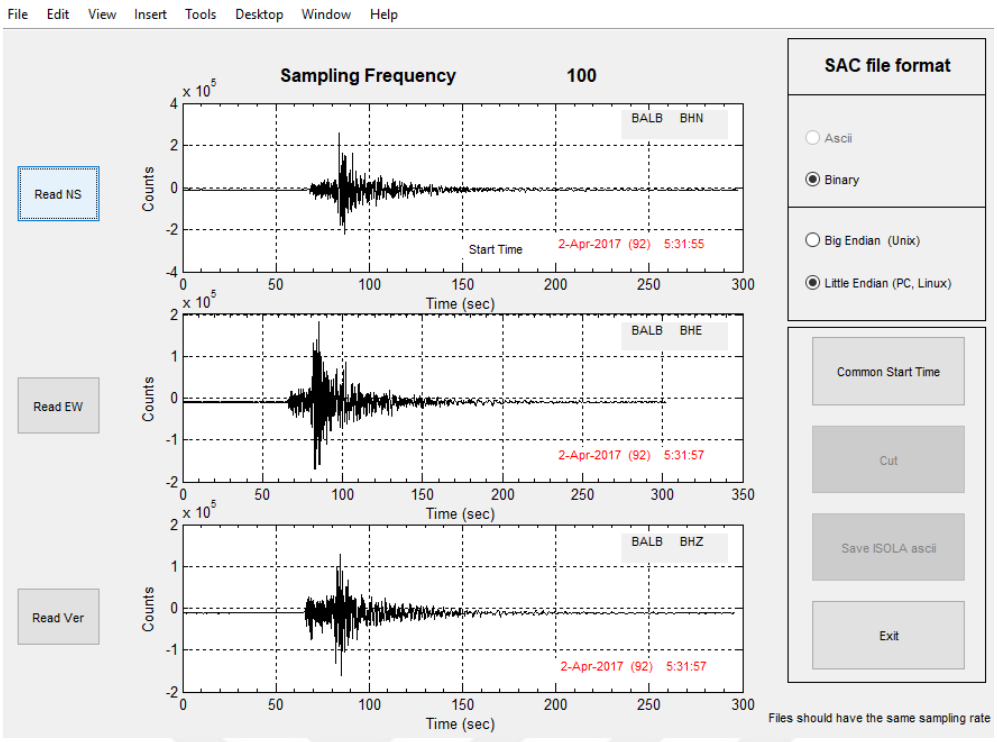
Şekil 3.11: Matlab-Isola başlangıç şeması ve uygulama aşamaları

3.5.1. Import Data (Veri Girişi)

Veriyi programa aktarmak için 'Import Data' ya tıklanır.Bu aşamada Şekil 3.12 ekranı karşımıza çıkar; sac formatındaki üç bileşenli veriyi ya tek tek bileşen seçimi ya da bir bileşen seçimiyle diğerlerini uzantılarına göre ekrana getirme işlemidir. Bu aşamada verileriniz için 'AutoSac Import' butonunu kullanarak tek bileşen seçimiyle ilerlersek, diğer bileşenlerin otomatik olarak ekrana geldiğini görebiliriz. Şekil 3.13'teki pencereden verinin formatına uygun olan '.BHN' uzantılı veri seçimi yapılır gerekli düzeltmeler yapılarak kaydedilir. Eğer verinin başlangıç zamanları aynı değilse Common Start Time butonu aktif olacaktır. Bu buton ile başlangıç zamanları eşitlenir. Verinin sonundan bir bölüm kesilmek isteniyorsa Cut butonuyla kesim işlemi yapılır.



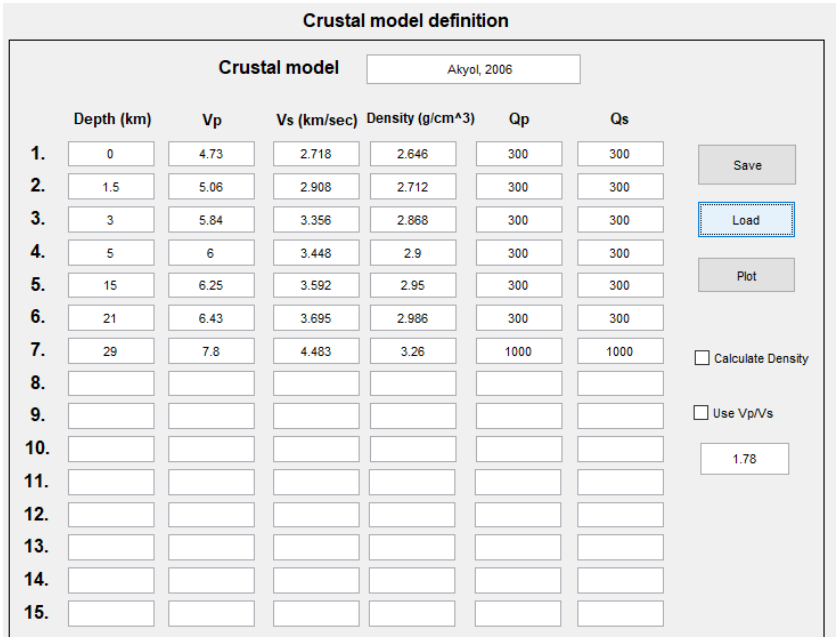
Şekil 3.12.: Import Data nasıl veri seçileceğini belirten görüntü



Şekil 3.13: Import Data (Veri Girişi) ve Otomatik Sac Veri Girişi

3.5.2. Define Crustal Model (Kabuk Modelinin Tanımlanması)

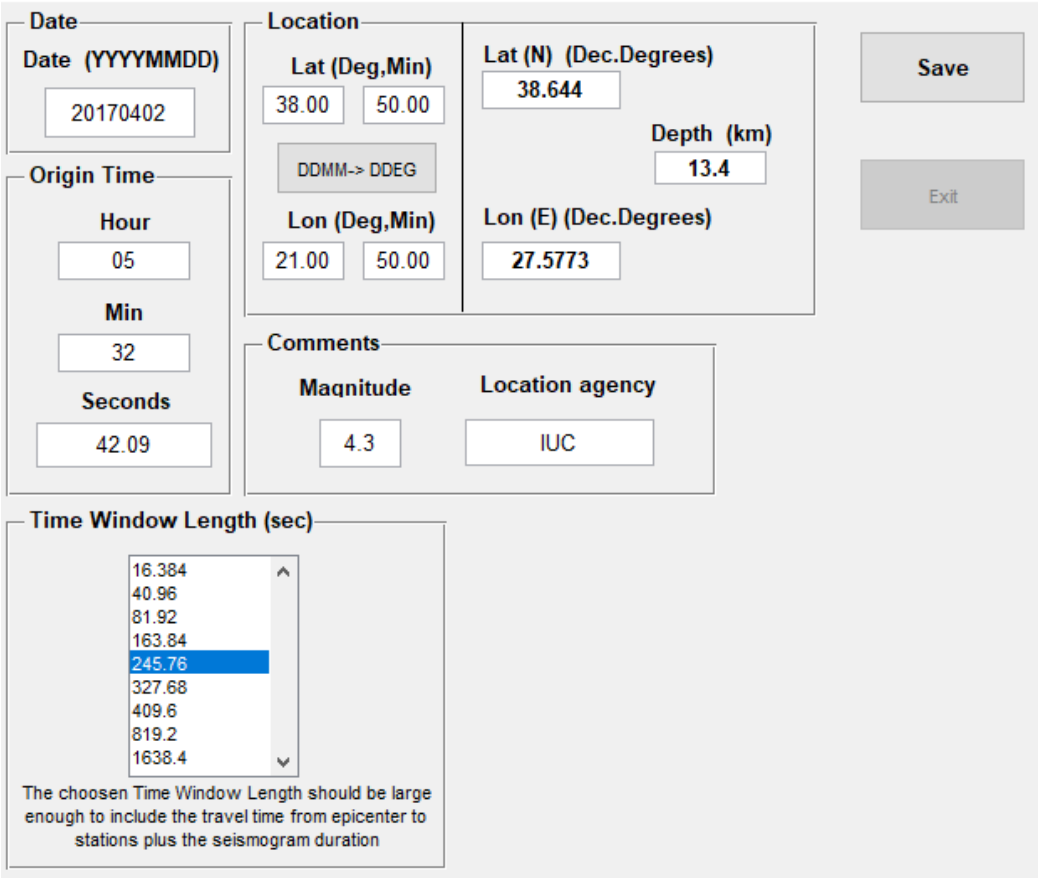
Bu bölümde çözümde kullanılacak kabuk yapısı programa tanıtılır. Önceden oluşturulmuş bir model kullanılacaksa 'load' butonuna tıklanır ve 'xxx.cru' dosyası seçilir ya da yeni bir model oluşturulur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Kabuk Modelinin Programa Tanıtılması

3.5.3. Event Info (Olay bilgisi)

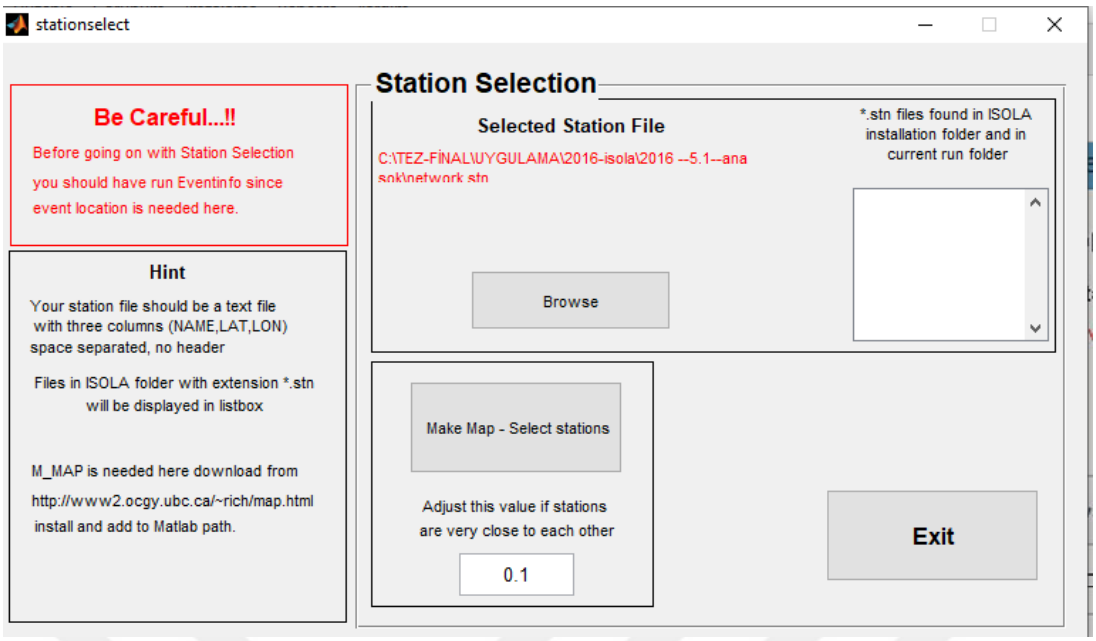
Kabuk modeli programa tanıtıldıktan sonra Event Info butonuna tıklanır (Şekil 3.15). Açılan pencereden ZSACWIN programındaki odak mekanizması çözümünden elde edilen deprem bilgisi programa girilip kaydedilir.



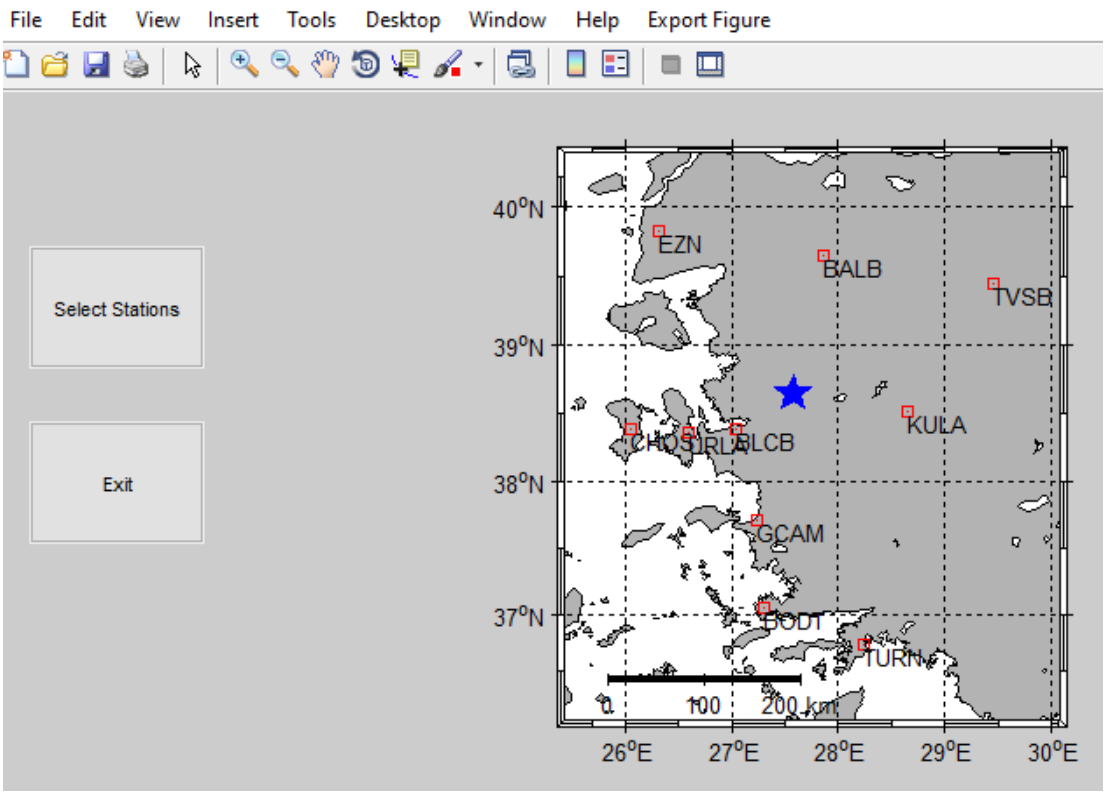
Şekil 3.15: (Event Info) Olay Bilgisi Kayıt Penceresi

3.5.4. Station Selection (İstasyon Seçimi)

Bu bölümde çözümde kullanılacak istasyonların seçimleri yapılır. Bunun için ana pencereden 'Station Selection' butonuna tıklanır (Şekil3.11). Açılan pencerede 'Make Map-Select Stations' butonuna tıklanır ve harita açılır. Seçme işlemini başlatmak için haritanın sağ tarafında bulunan 'Select Stations' butonuna tıklanır ve istasyonlar seçilir. İstasyon seçimleri sol tuş ile yapılır ancak son istasyon seçimini sağ tuş ile yapılır (Şekil 3.17). Bu aşamada hata miktarını en aza indirmek ve işlemlerin doğruluğunu artırmak için olabildiğince deprem merkezinin etrafındaki istasyonlar seçilmelidir.



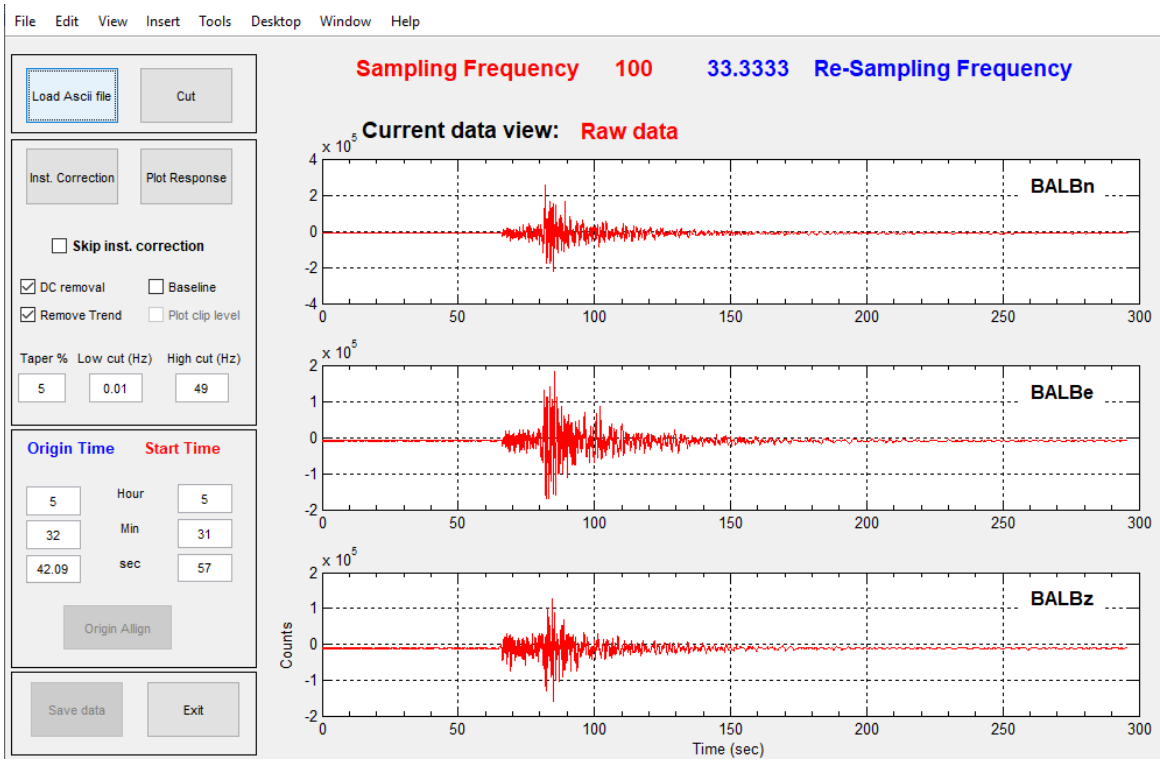
Şekil 3.16: İstasyon Seçimi Dosyası (Station File Selection)



Şekil 3.17: İstasyon Seçimi ve Harita Penceresi (Make map and Station Selection)

3.5.5. Data Preparation (Veri Hazırlığı)

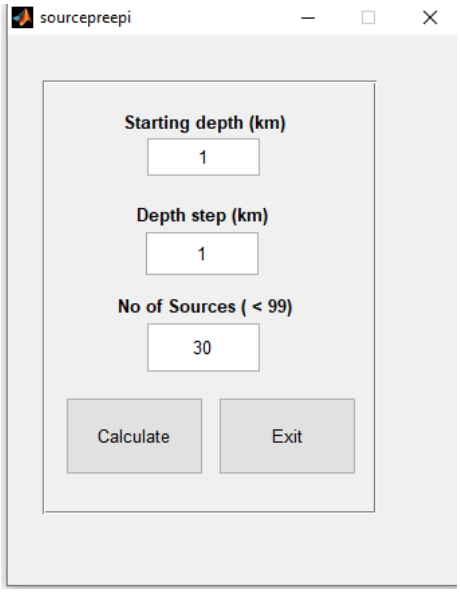
Bu bölümde ‘Load Ascii file’ butonuna tıklayarak daha önce kaydedilen veriler açılır. Daha sonra ‘Inst. Correction’ butonuna tıklanarak alet etkisi giderilir. Alet etkisini gidermek için verinin kaydedildiği istasyonlara ait pz dosyaları kullanılır. Son olarak ‘Origin Allign’ butonuna tıklanıp veri kaydedilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Veri Hazırlığında Alet Etkisinin Giderilmesi (Data Preparation)

3.5.6. Seismic Source Defination (Sismik kaynak Tanıtımı)

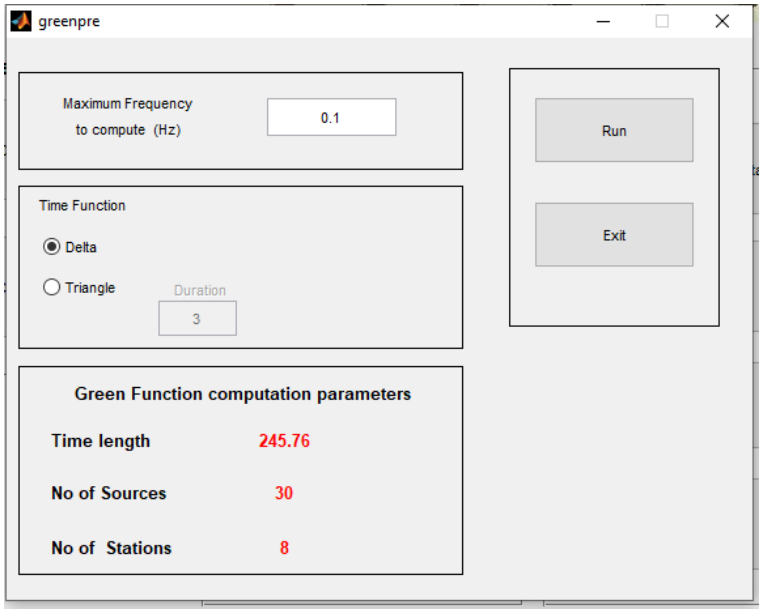
Bu bölümde sismik kaynak tanımı yapılmaktadır. Tekli kaynak ya da çoklu kaynak seçenekleri mevcuttur. Tek kaynak epicenterın altındaki kaynaklar için kullanılır. Başlangıç derinliği, derinlik adımları ve kaynak sayısı girilir. Grid search, dalga formu verileri ile sentetikler arasındaki en iyi uyumu gösteren optimum kaynak konumunu sağlamaya yarayan işlemdir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Sismik Kaynak Derinlik Tanımı (SeismicSource Defination)

3.5.7. Green Function Computation (Green Fonksiyonun Hesaplanması)

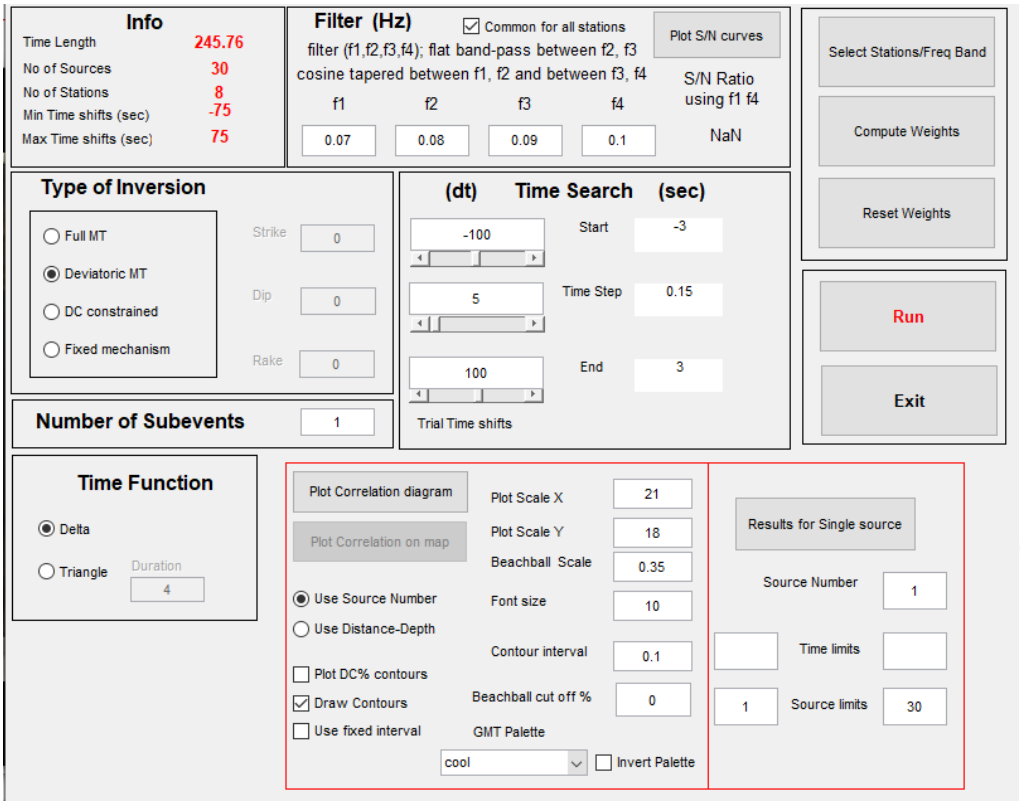
Bu pencerede Green fonksiyon hesaplaması yapılır. Hesaplama için gerekli maksimum frekans değeri kullanılak frekans aralığından daha büyük bir değer seçilmelidir. Daha sonra Run butonuyla işlem başlatılır (Şekil 3.20). İşlem başladığında ekranda programın bittiği yazısı görülene kadar hiçbir işlem yapılamaz. Bu işlemin süresi seçilen derinlik adımı ve derinlik değerlerine göre uzun olabilir.



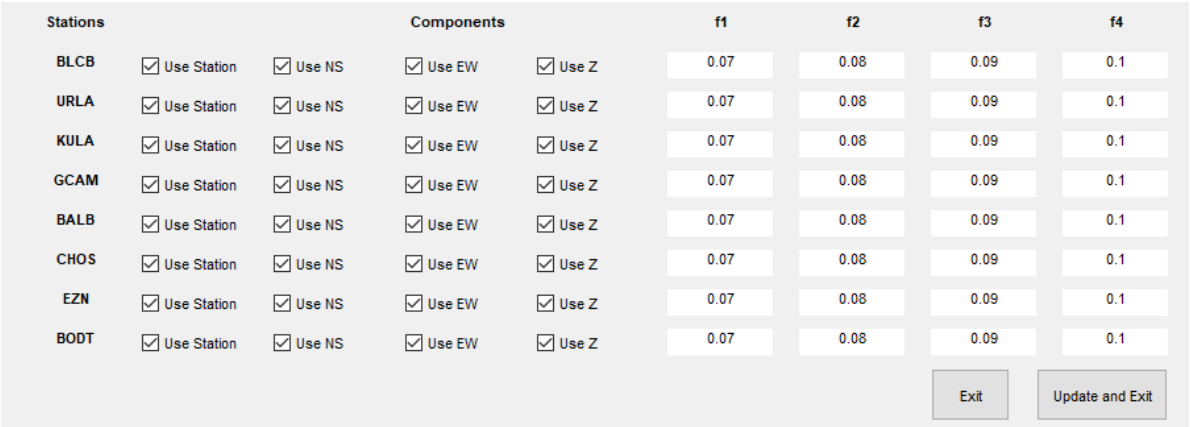
Şekil 3.20: Green Fonksiyon Hesaplanma Penceresi (Green Function Computation)

3.5.8. Ters Çözüm (Inversion)

Bu bölümde de son işlem için 'Inversion' butonuna tıklanır. Açılan pencerede Filter kısmından filtre aralığı seçilir, seçilen frekans Green fonksiyon değerinden küçük olmak zorundadır (Şekil3.20). Burada kullanılan filtre band-geçişli filtredir. Açılan pencerede her istasyon için farklı filtre belirlenebilir ve çözümde istenmeyen bileşen veya istasyonların seçim seçeneği kaldırılıp çözümden çıkarılabilir (Şekil 3.22).



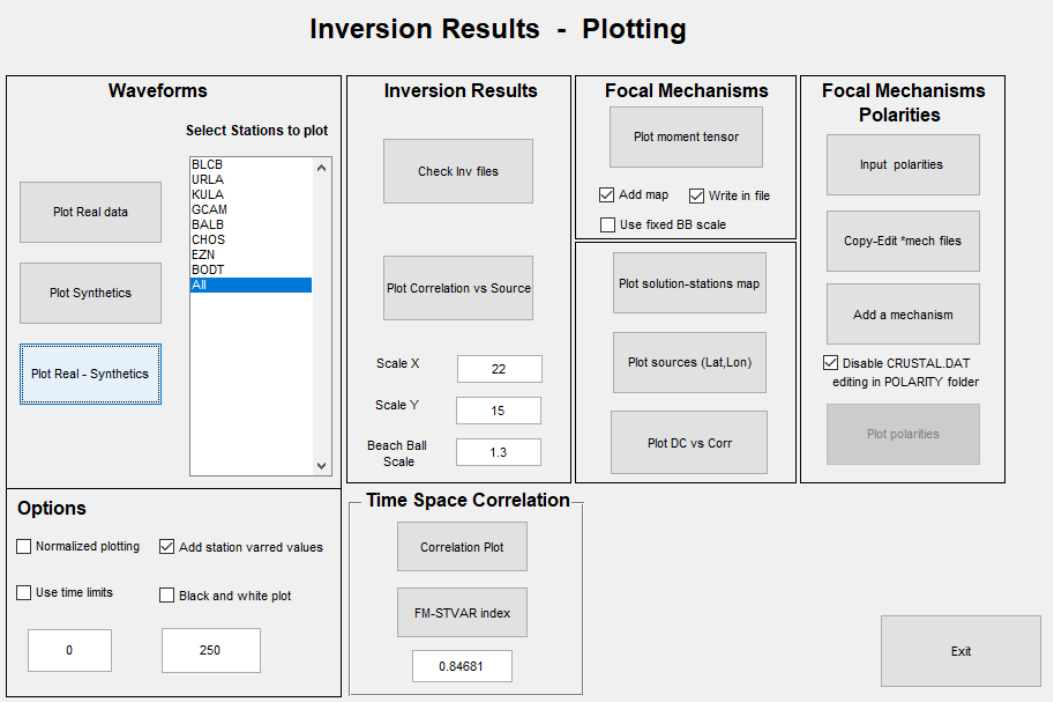
Şekil 3.21: Ters Çözüm Penceresi(Inversion) ,(0.07 ile 0.1 Hz arasındaki frekanslarda filtre edilmiştir)



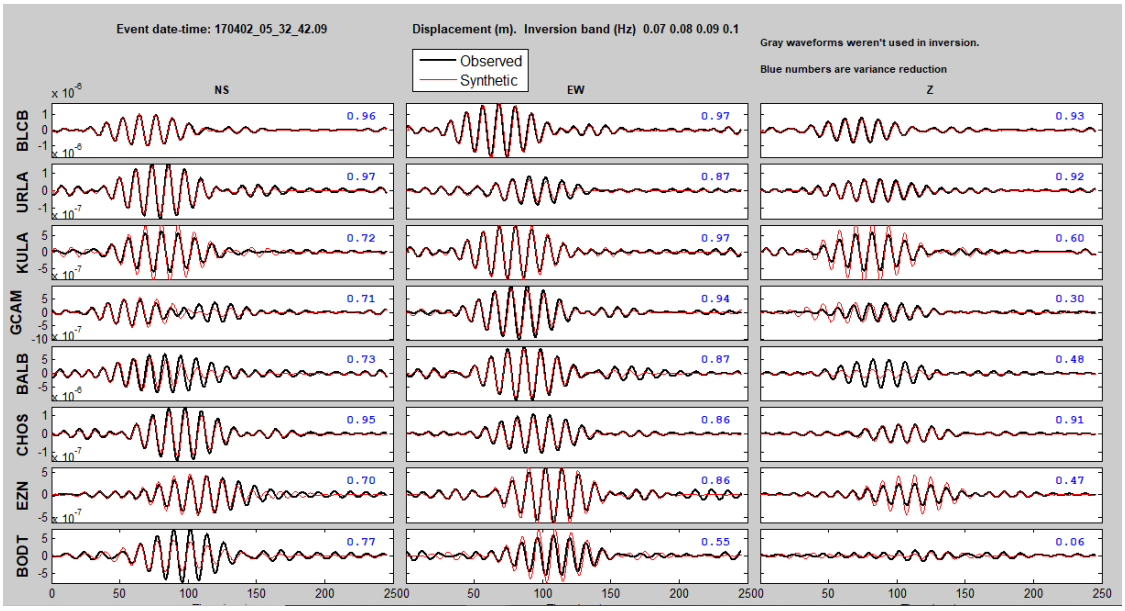
Şekil 3.22: İstasyon Frekanslarının Ayrı Ayrı Belirlenmesi Penceresi

3.5.9. Plot Results (Sonuçların Çizdirilmesi)

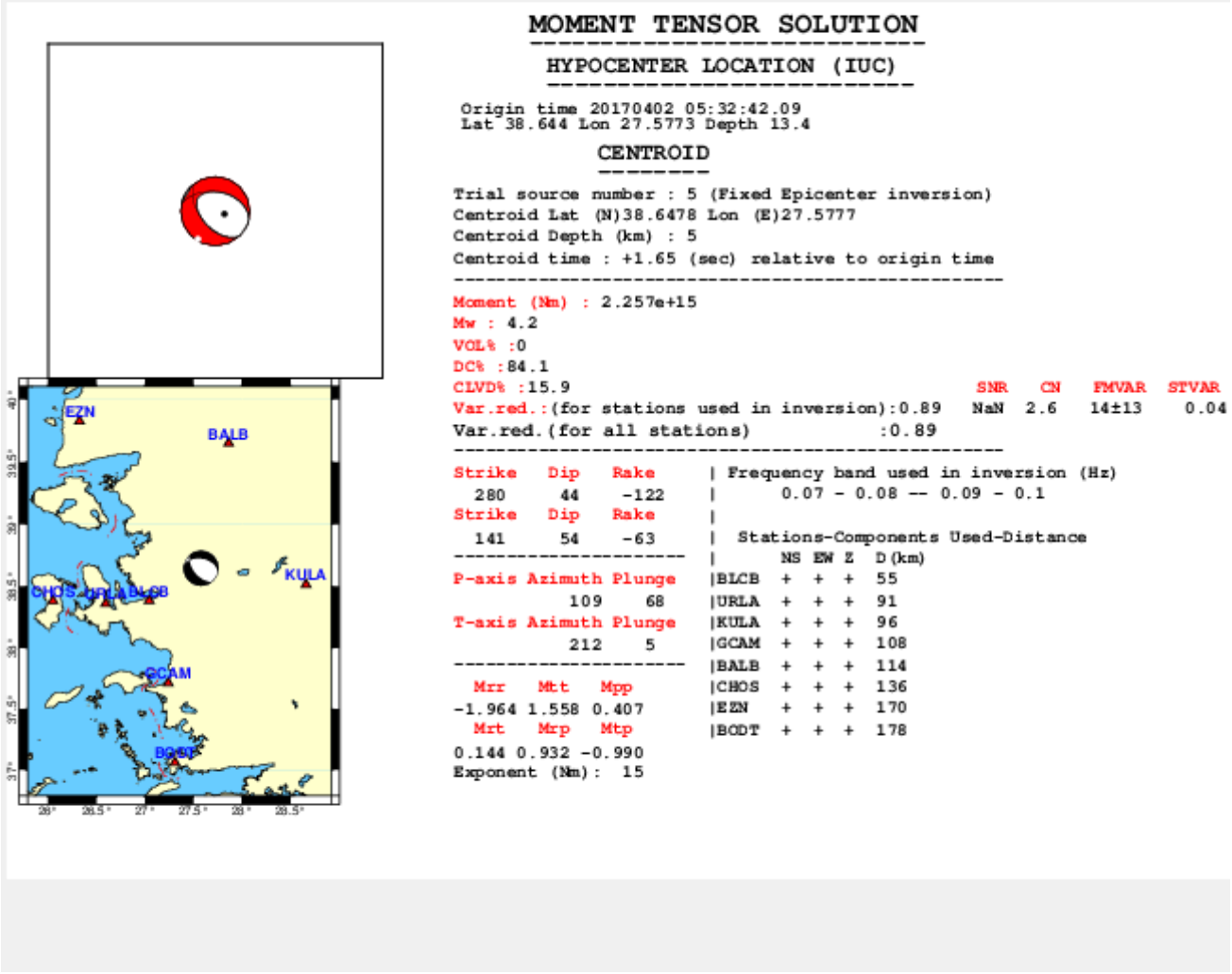
Son işlem bittikten sonra çözümün sonuçları 'Plot Result' altında görüntülenir (Şekil3.23). Gözlemsel sentetik verinin ne kadar uyumlu olduğu Plot Results penceresindeki 'Plot Real-Synthetics' butonuyla görüntülenir (Şekil 3.23). Moment tensör çözümü için ise aynı pencerede bulunan 'Plot Moment Tensor' butonu tıklanır, şekil 3.25'teki çözüm özeti çizdirilir.



Şekil 3.23: Sonuçların Çizim Ekranı (Plot Results)



Şekil 3.24: Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi (Plot Real-Synthetic)



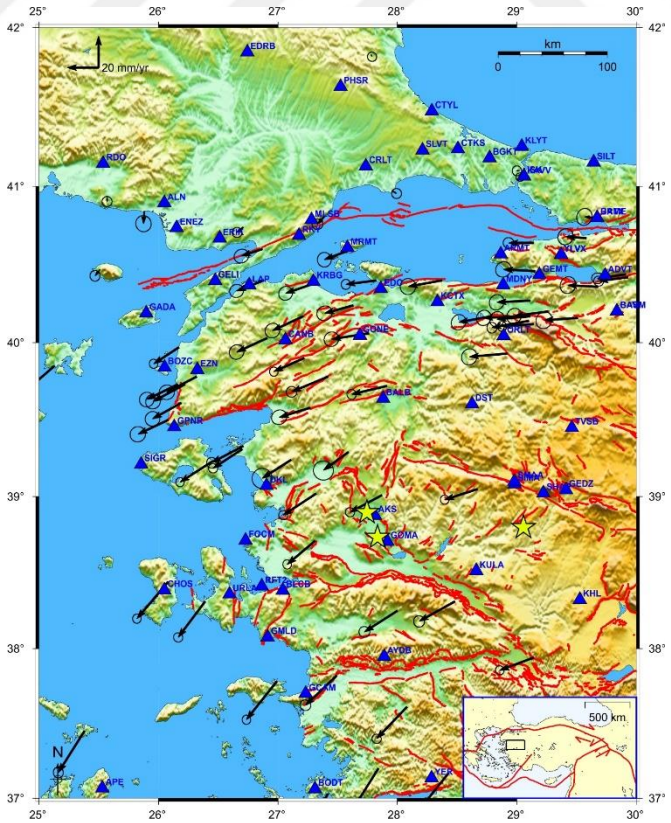
Şekil 3.25: Çözüm Özeti Moment Tensör Çizimi (Plot Moment Tensor)

Moment tensör Çizim şemasında (Şekil 3.25) işlemin doğruluğu varyasyon değerinin 1'e yakınlığıyla eşdeğerdir. Bu değer 0,5 ve üstü için kabul edilebilir bir değerdir. Bu değerin 1'e yakınlığı işlemin doğruluk ihtimalini yükseltir.

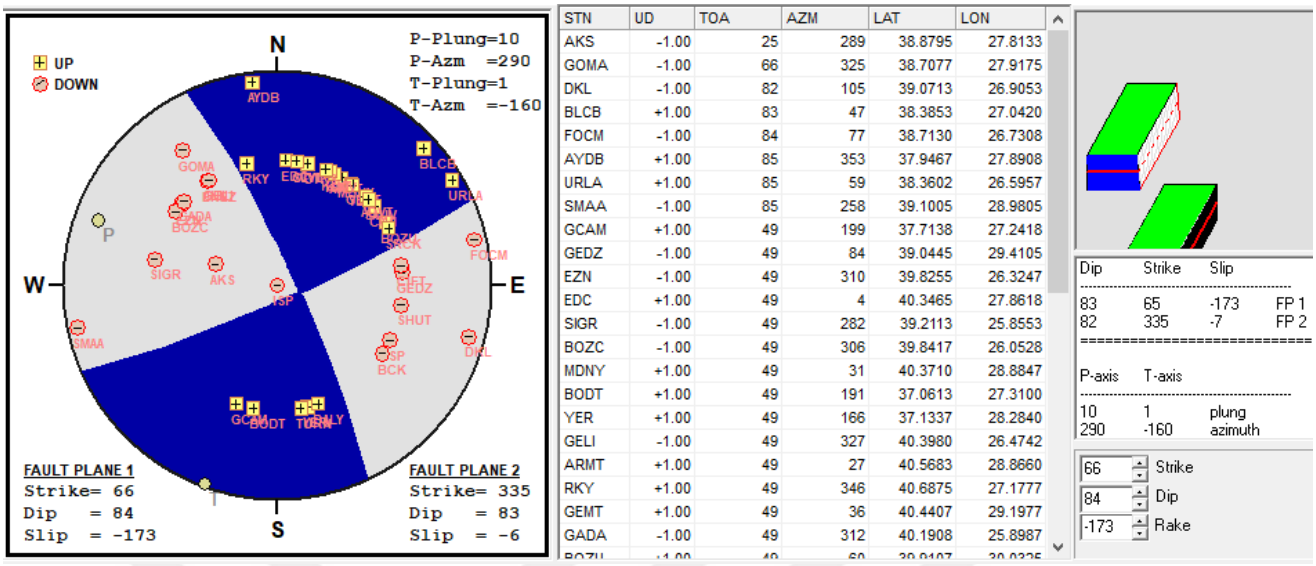
4. BULGULAR

4.1. ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMLERİ VE MOMENT TÖNSÖR ANALİZLERİ

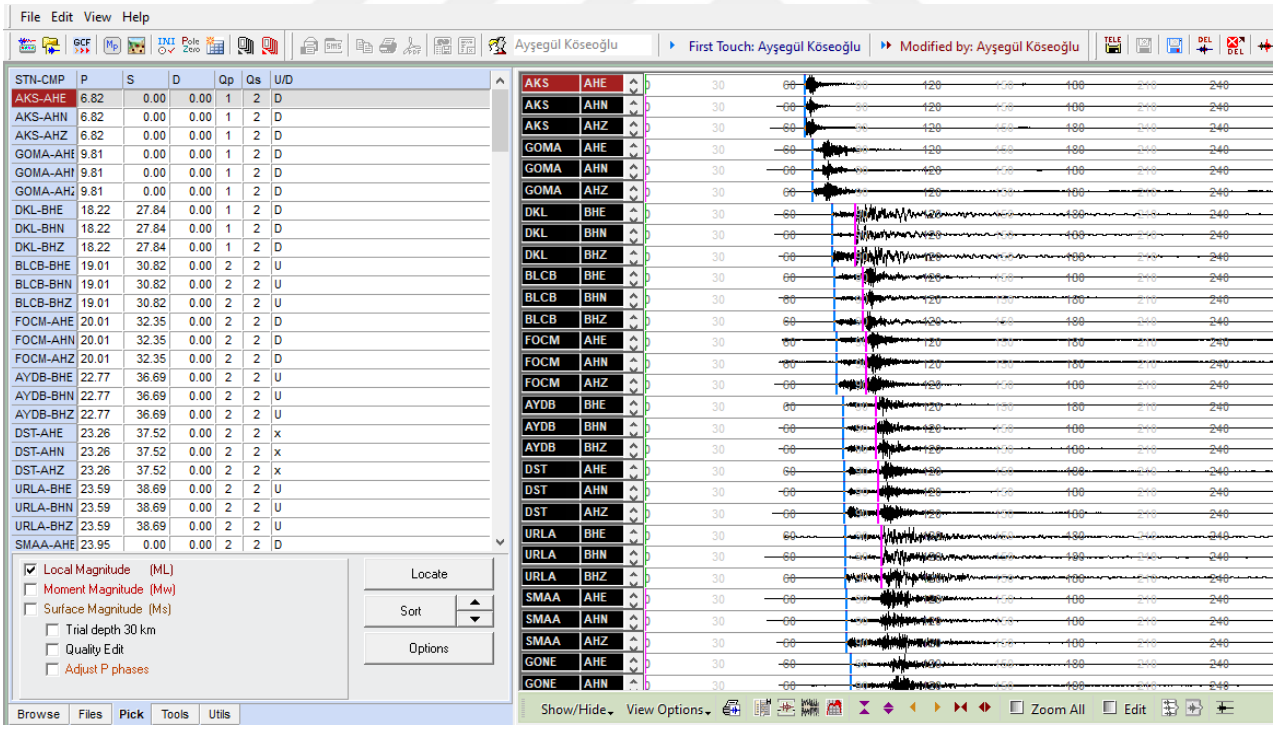
Bu tez çalışmasında 2016-2019 tarihleri arasında Manisa İli üzerinde meydana gelen magnitüdü 3.0'ten büyük olan toplam 60 deprem verisi incelenmiştir. İncelenen bu veriler Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden (KRDAE) alınan ham veriler değerlendirilmeye alınmıştır. Bu tez çalışmasında sismolojik veriler değerlendirilerek yörenin sismotektonik yapısı için ek bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır. İncelenen bu 60 depremin ilk olarak P dalgası ile ilk hareket yönü hesaplanıp, odak mekanizması çözümü yapılmıştır. Odak mekanizma çözümleri ZSACWIN programı ile yapılmıştır. Yazılımda deprem yerlerinin belirlenmesinde HYPOCENTER algoritması (Lienert and Havskov, 1995) algoritması kullanılmıştır. Algoritmada amaç RMS hata oranını minimum değere indirmektir. Bu çalışma için kullanılan frekans 0.19-0.02 Herz aralığındadır. Lokasyon belirlemede kullanılan hız yapısı Akyol vd. (2006) tarafından Batı Ege Bölgesi için hesaplanan hız yapısıdır.



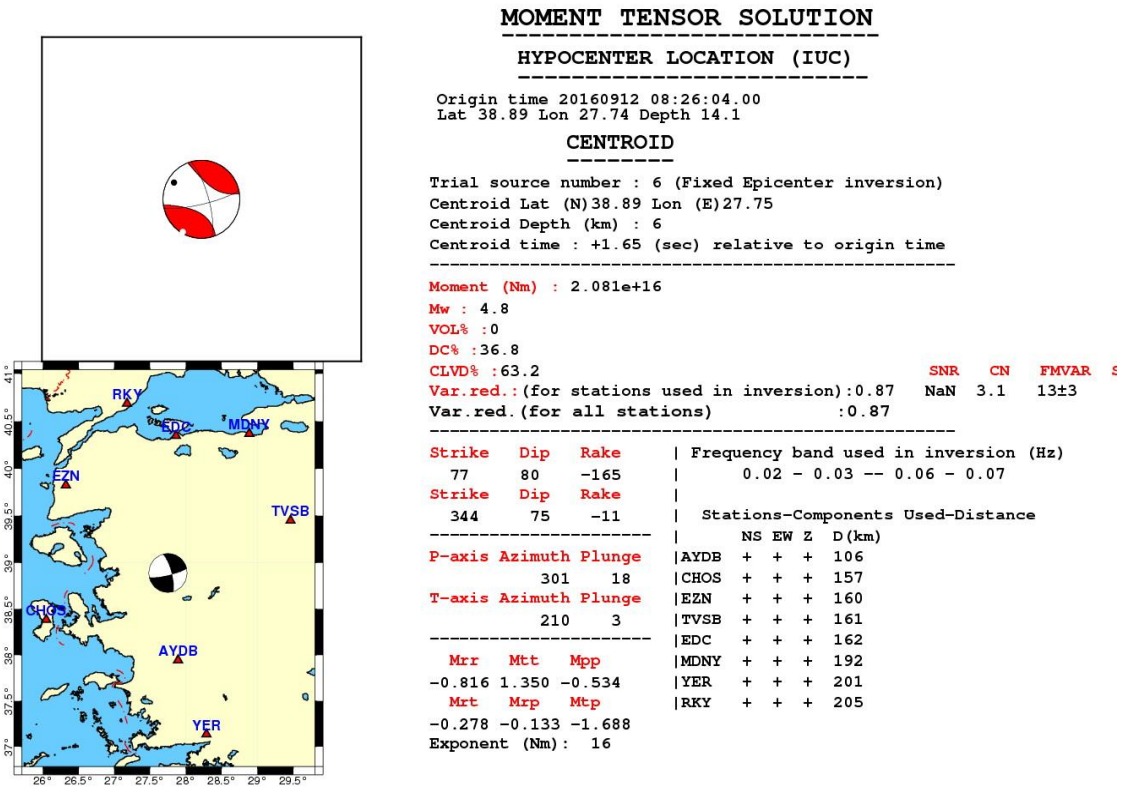
Şekil 4.1: Çalışma bölgesinde kullanılan deprem verilerini kaydeden istasyonların harita üzerinde gösterimi.



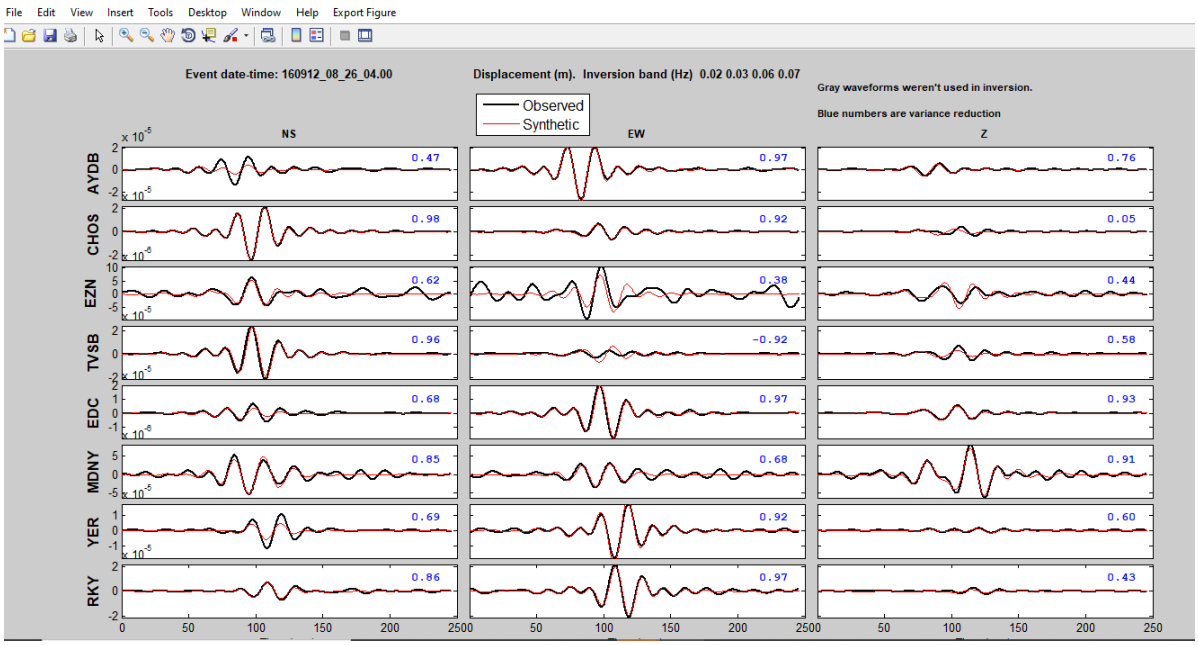
Şekil 4.2: ZSACWIN programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.3: ZSACWIN programından 12.09.2016 08:26 Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesi deprem kaydı ve faz okumaları ekran görüntüsü. Sismogramın düşey bileşeninden P dalgasının ilk hareket yönü



Şekil 4.4: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



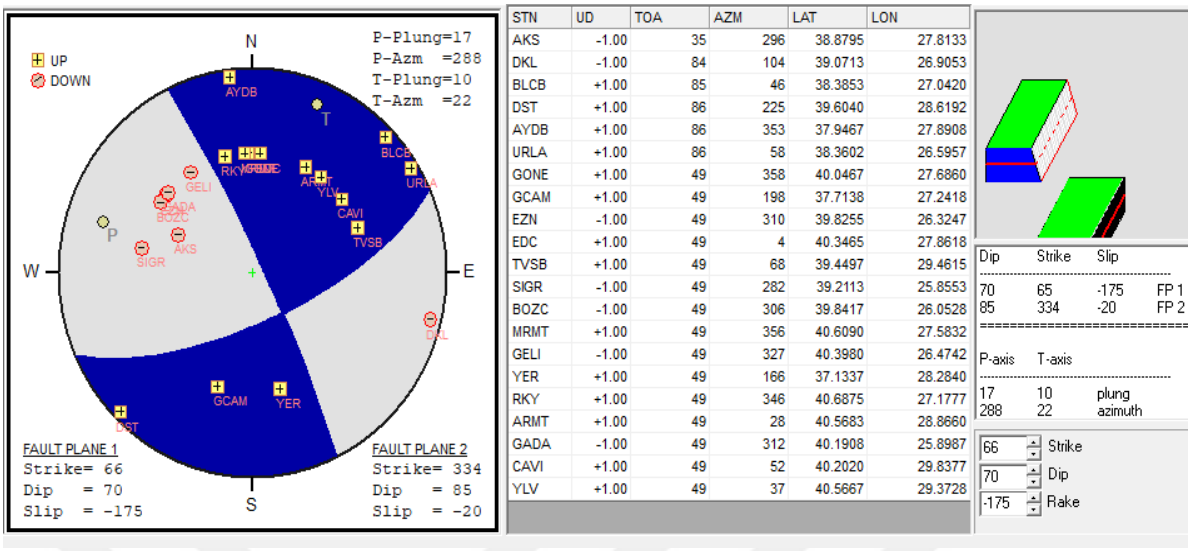
Şekil 4.5: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi

12.09.2016 tarihinde meydana gelen *Ml* 5.1 Manisa Akhisar Kayalıoğlu deprem verisi incelemesi sonucu doğrultu atımlı fay mekanizması elde edilmiştir. P dalgası ilk varışları kullanılarak (ZSACWIN) ve moment tensor ters çözüm yöntemi kullanılarak MATLAB (ISOLA) karşılaştırılma yapılmış ve görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir ancak, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan açılar (kayma, eğim ve doğrultu) ve magnitüd değerleri birbirinden farklıdır. Bulguların farklı olmasının ana sebebi olarak programların kullandığı algoritmaların ve hesaplama yöntemlerinin farklı olması kabul edilebilir. Bulunan değerler düzlem1 (D1) ve düzlem2 (D2) için çizelge 4.1' de belirtilmiştir.

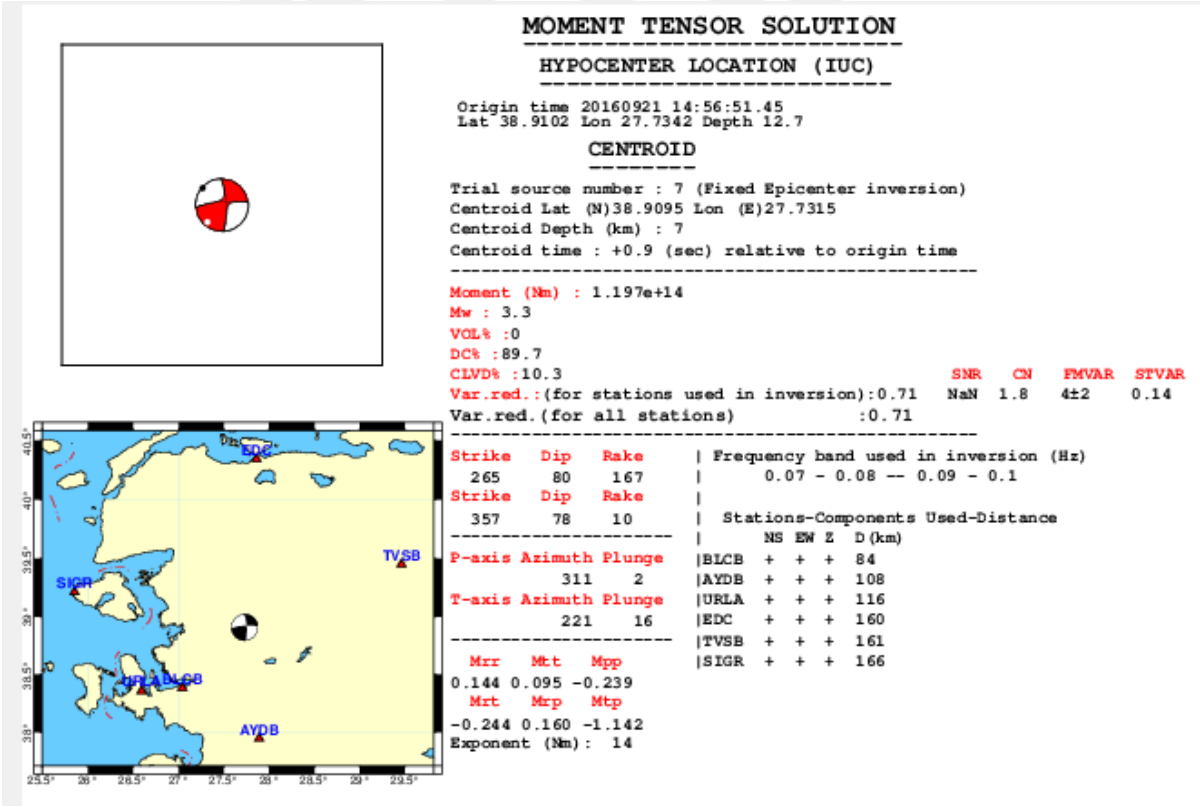
MATLAB(ISOLA) programında kullanılan köşe frekansı 0.02 -0.07 Herz aralığındadir. İstasyonların azimut değerinin olabildiğinde minimuma indirmek ve doğruluğu arttırmak için depremi çevreleyen 8 istasyon verisi kullanılmış. Varyasyon değeri çözüm kalitesiyle doğru orantılıdır ve bu değerin 1'e yaklaşması güvenilirliği artırmaktadır. Elde edilen veri sonuçları sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Sentetik veriler kırmızı renkli, gözlemsel veriler siyah renkli olarak şekil 4.5' te gösterilmiştir. Sentetik ve gözlemsel verilerin benzerliğinin ıspatı olarak varyasyon değeri 0.87 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1: (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) Manisa Akhisar Kayalıoğlu depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 (D1) ve düzlem2 (D2) üzerinde karşılaştırılması

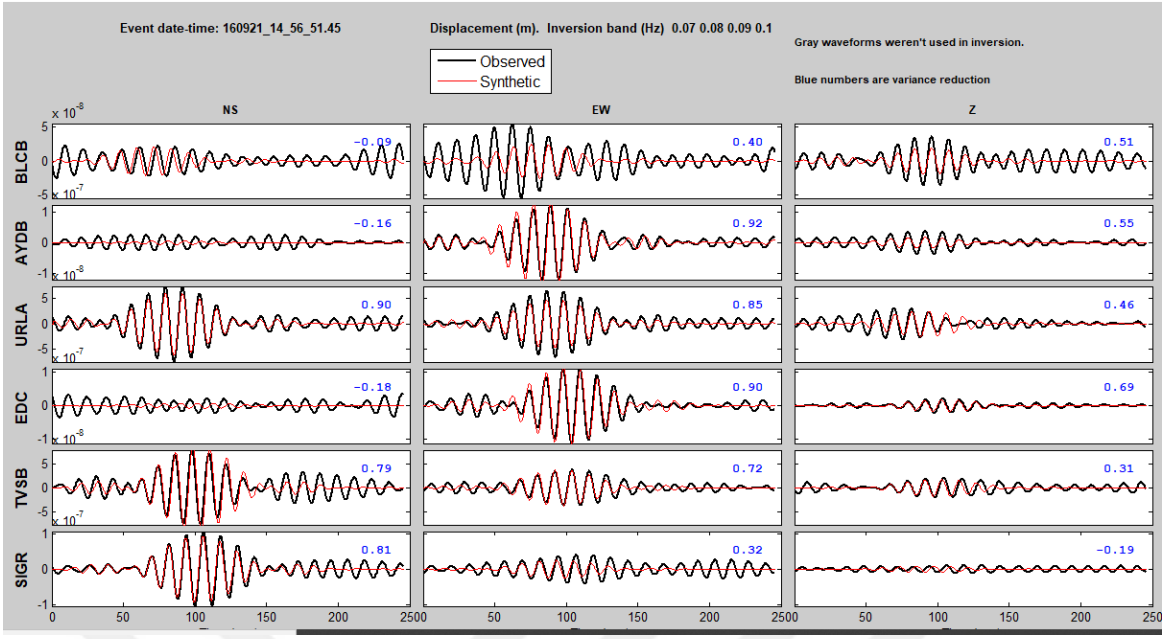
Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	12.09.2016	D1	77	80	-165	27.75	38.89	4.8
		D2	334	75	-11			
SACWIN	12.09.2016	D1	66	84	-73	27.74	38.89	5.1
		D2	335	83	-6			



Şekil 4.6: SACWIN programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.7: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



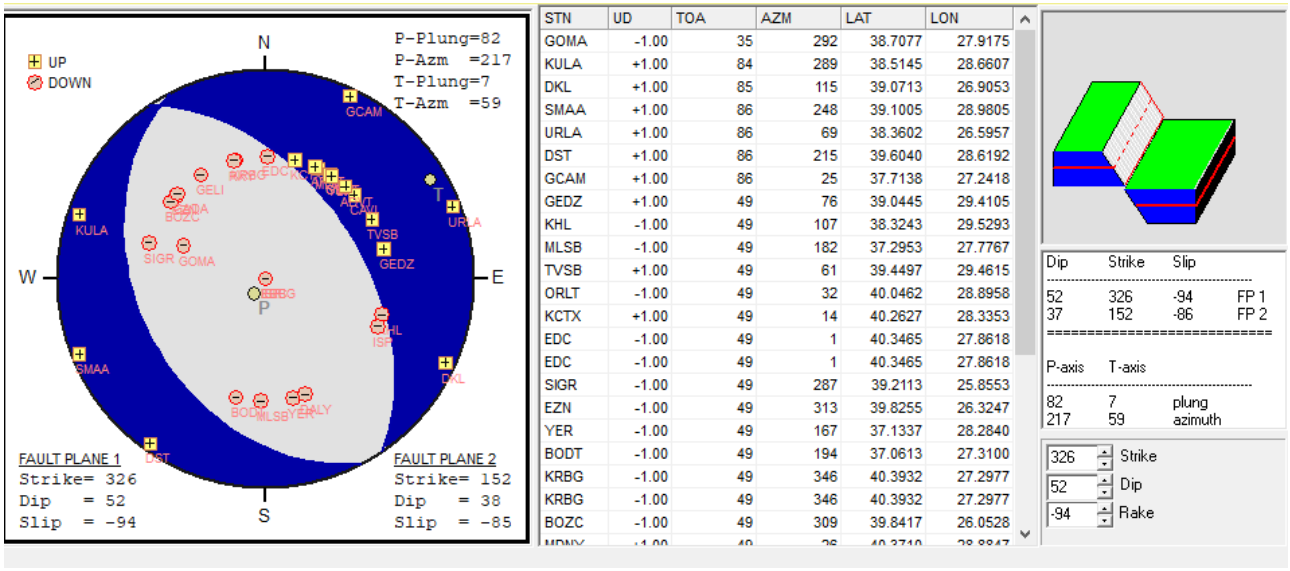
Şekil 4.8: MATLAB(ISOLA) programı ile (2016/09/21 14:56 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Hamidiye bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi

21.09.2016 tarihinde meydana gelen *Ml* 3.5 deprem verisi incelemesi sonucu doğrultu atımlı fay mekanizması elde edilmiştir. ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) program verilerilerine göre görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir ancak, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan kayma, eğim ve doğrultu açıları birbirinden farklıdır. Bulunan değerler düzlem1 ve düzlem2 için çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

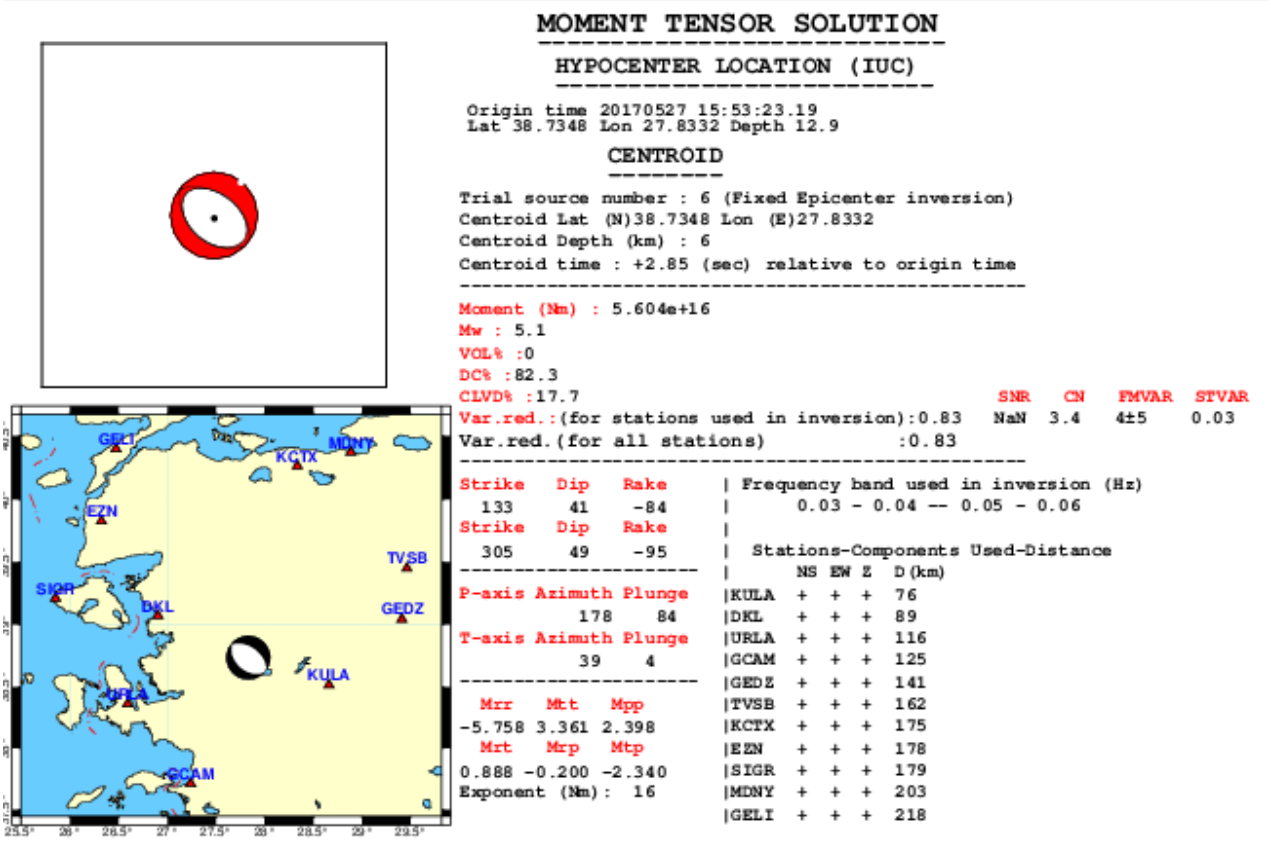
Isola programında kullanılan köşe frekansı 0.07 -0.1 Herz aralığındadir. Depremi çevreleyen 6 istasyon verisi kullanılmış. Elde edilen sonuçlar sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Bunun ıspatı olarak varyasyon değeri 0.71 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.2: (2016/09/12 08:26 *Ml* 5.1) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması

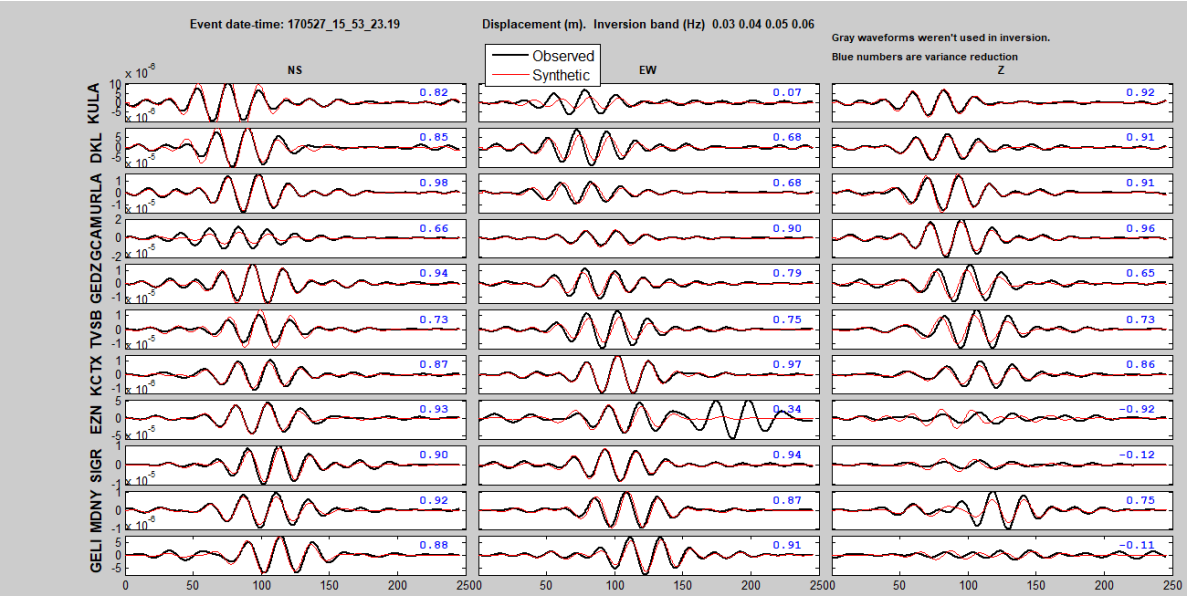
Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	21.09.2016	D1	265	80	167	27.731	38.909	3.3
		D2	357	78	10			
SACWIN	21.09.2016	D1	66	70	-175	27.734	38.910	3.5
		D2	334	75	-20			



Şekil 4.9: SACWIN programı ile (2017/05/27 15:53*Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.10: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/05/27 15:53 *Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



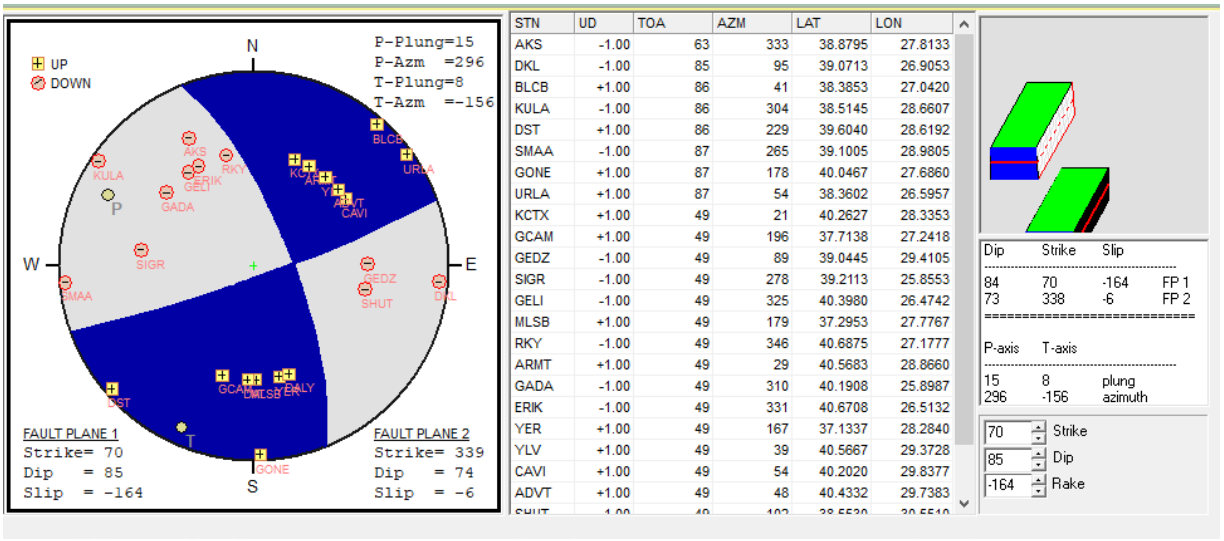
Şekil 4.11: MATLAB (ISOLA) programı ile (2017/05/27 15:53 *Ml* 5.2) Manisa Gölmarmara bölgesinde meydana gelen depremin sentetik ve gerçek verilerin uyumluluk penceresi.

27.05.2017 tarihinde meydana gelen *Ml* 5.2 deprem verisi incelemesi sonucu normal fay mekanizması elde edilmiştir. ZSACWIN ve ISOLA program verilerilerine göre görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir ancak, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan kayma, eğim ve doğrultu açıları birbirinden farklıdır. Bulunan değerler düzlem1 ve düzlem2 için çizelge 4.3' te belirtilmiştir.

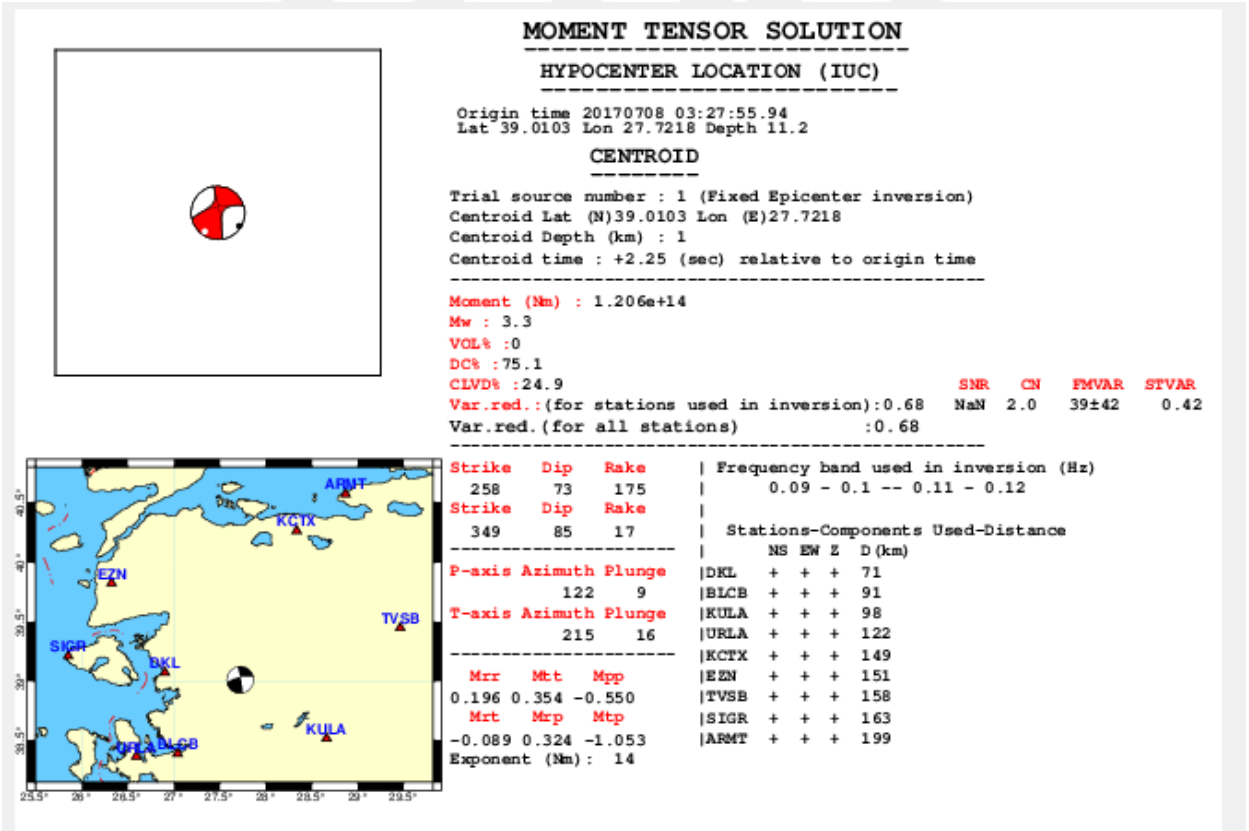
ISOLA programında kullanılan köşe frekansı 0.03-0.06 Herz aralığındadir. Depremi çevreleyen 11 istasyon verisi kullanılmış. Elde edilen sonuçlar sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Bunun ıspatı olarak varyasyon değeri 0.83 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3: (2017/05/27 *Ml* 5.2) depremi için ZSACWIN ve ISOLA programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması

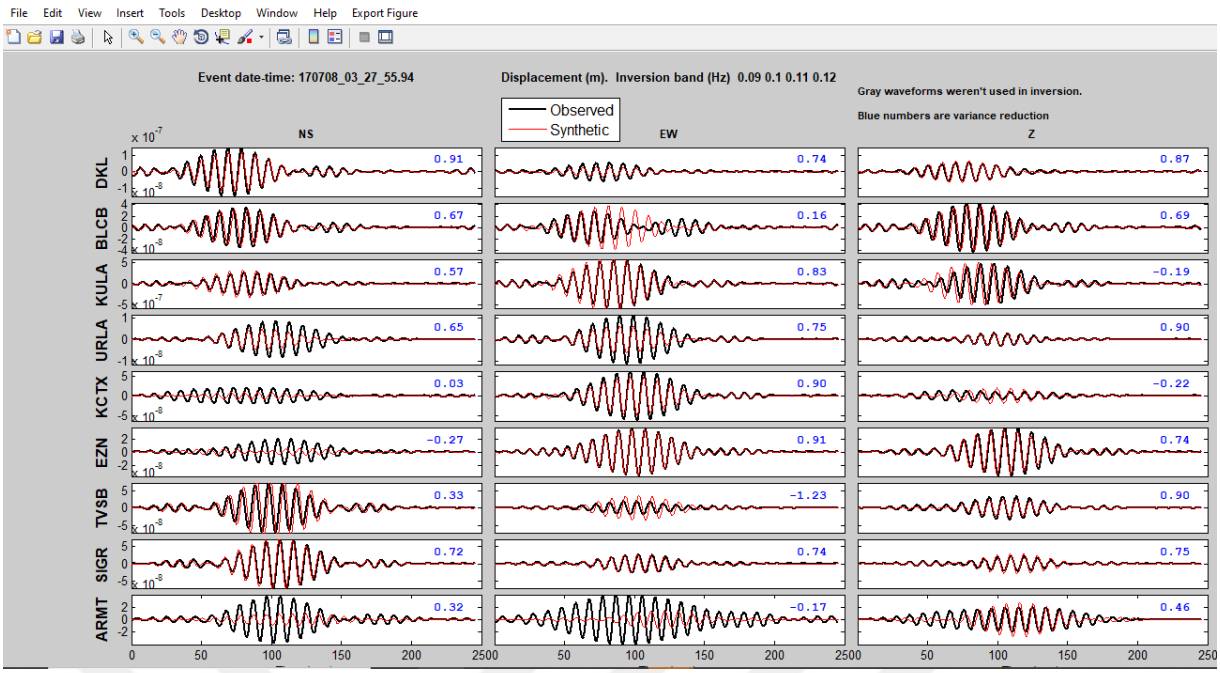
Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	27.05.2017	D1	133	41	-84	27.833	38.734	5.1
		D2	305	49	-95			
SACWIN	27.05.2017	D1	326	52	-94	27.833	38.734	5.2
		D2	152	38	-85			



Şekil 4.12: SACWIN programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.13: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



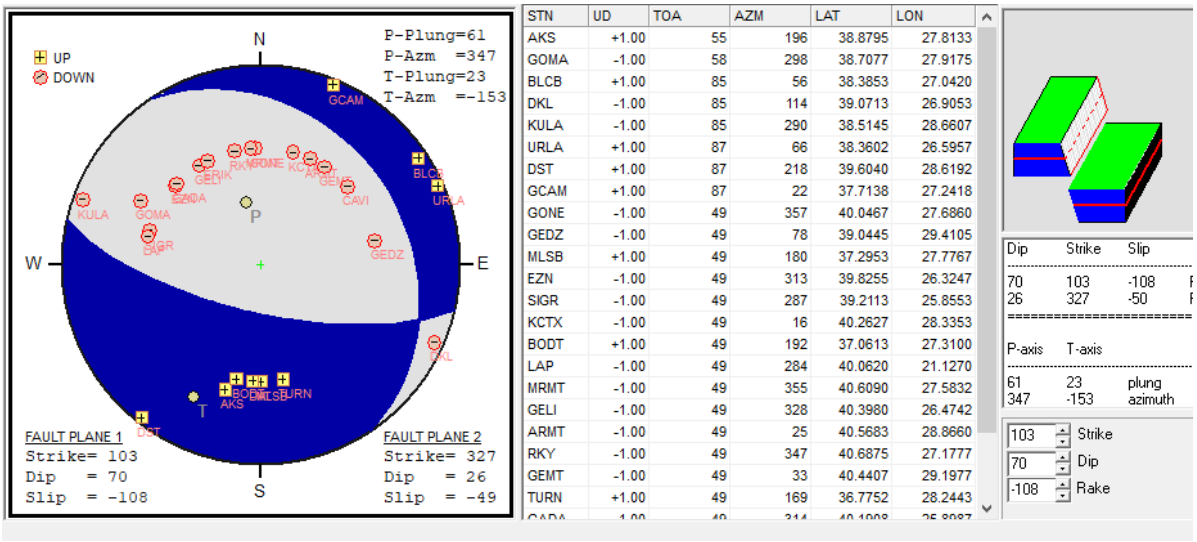
Şekil 4.14: MATLAB(ISOLA) programı ile (2017/07/08 03:27 *Ml* 3.5) Manisa Akhisar Yatağan bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi

08.07.2017 tarihinde meydana gelen *Ml* 3.5 deprem verisi incelemesi sonucu doğrultu atımlı fay mekanizması elde edilmiştir. ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) program verilerilerine göre görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir ama, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan kayma, eğim ve doğrultu açıları birbirinden farklıdır. Bulunan değerler düzlem1 ve düzlem2 için çizelge 4.4' te belirtilmiştir.

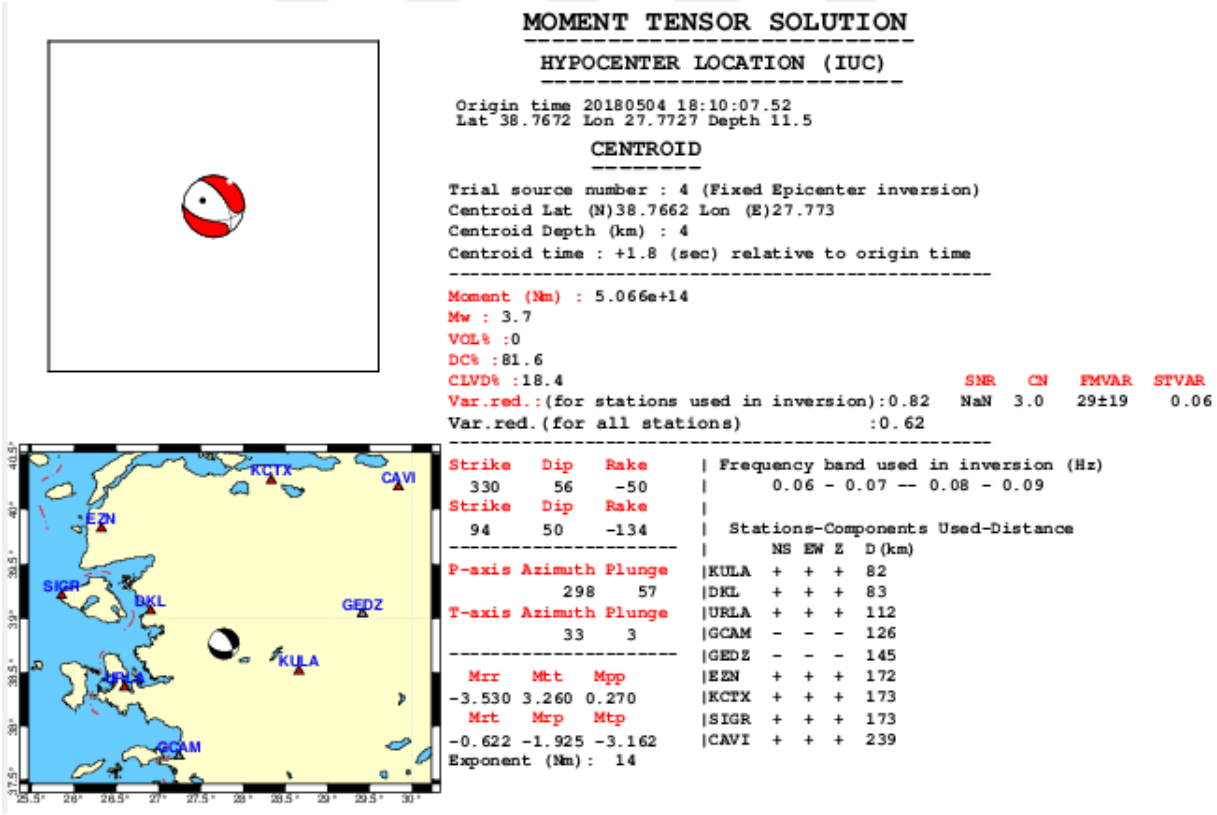
Isola programında kullanılan köşe frekansı 0.09 -0.12 Herz aralığındadir. Depremi çevreleyen 9 istasyon verisi kullanılmış. Elde edilen sonuçlar sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Bunun ıspatı olarak varyasyon değeri 0.68 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4: (2017/08/07 *Ml* 3.5) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması

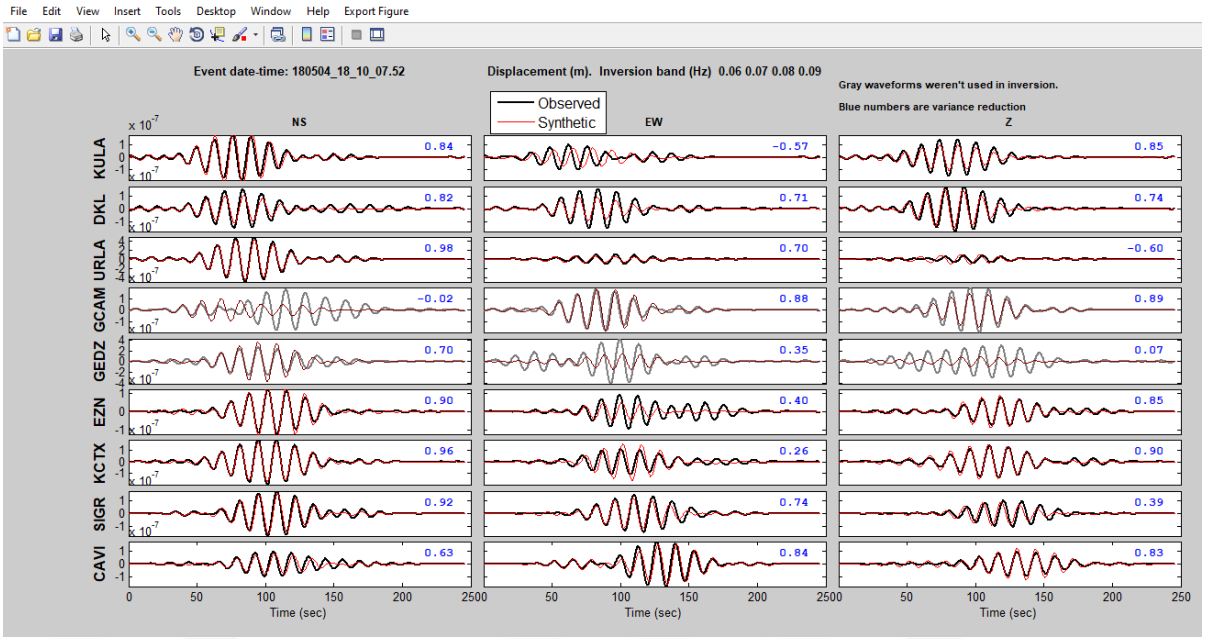
Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	08.07.2017	D1	258	73	175	27.721	39.010	3.3
		D2	349	85	17			
SACWIN	08.07.2017	D1	70	85	-164	27.721	39.010	3.5
		D2	339	74	-6			



Şekil 4.15: SACWIN programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.16: MATLAB(ISOLA) programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



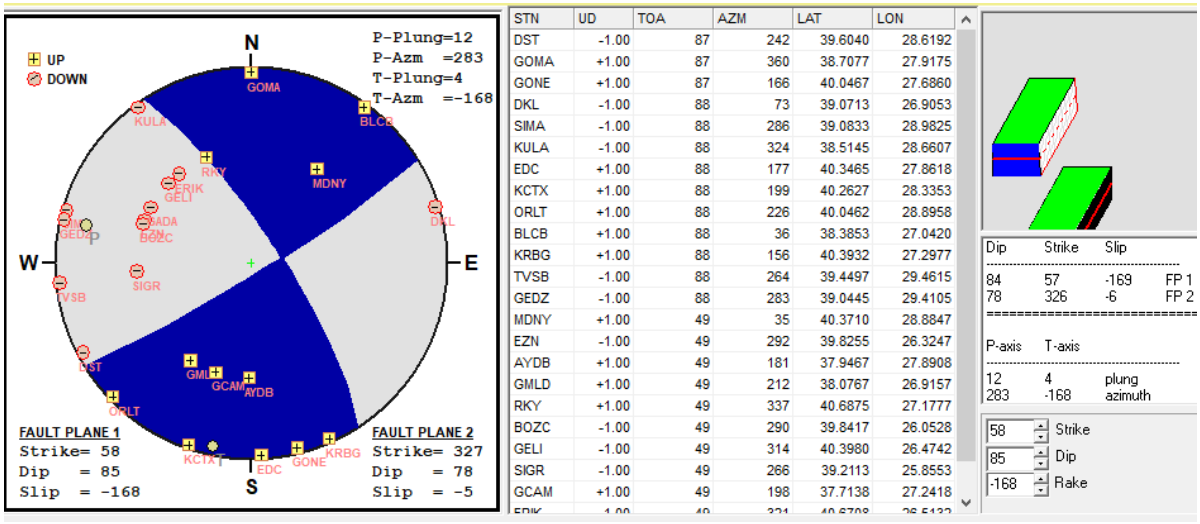
Şekil 4.17: MATLAB(ISOLA) programı ile (2018/05/04 18:10 *Ml* 4.0) Manisa Akhisar Sazoba bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi

04.05.2018 tarihinde meydana gelen *Ml* 4.0 deprem verisi incelemesi sonucu oblik atımlı fay mekanizması elde edilmiştir. ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) program verilerilerine göre görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir ancak, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan kayma, eğim ve doğrultu açıları birbirinden farklıdır. Bulunan değerler düzlem1 ve düzlem2 için çizelge 4.5' te belirtilmiştir.

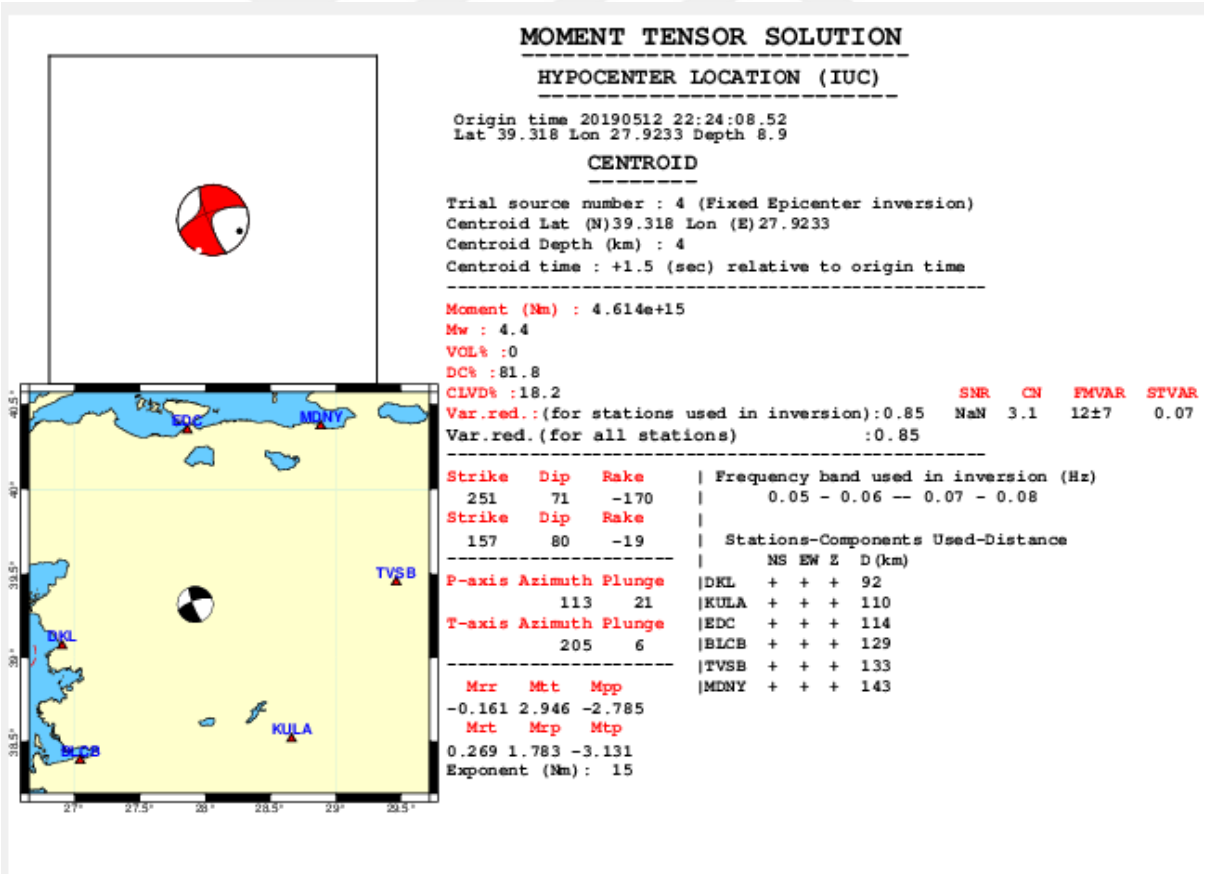
MATLAB(ISOLA) programında kullanılan köşe frekansı 0.06 -0.09 Herz aralığındadir. Depremi çevreleyen 9 istasyon verisi kullanılmış. Elde edilen sonuçlar sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Bunun ıspatı olarak varyasyon değeri 0.83 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5: (2018/05/04 *Ml* 4.0) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması

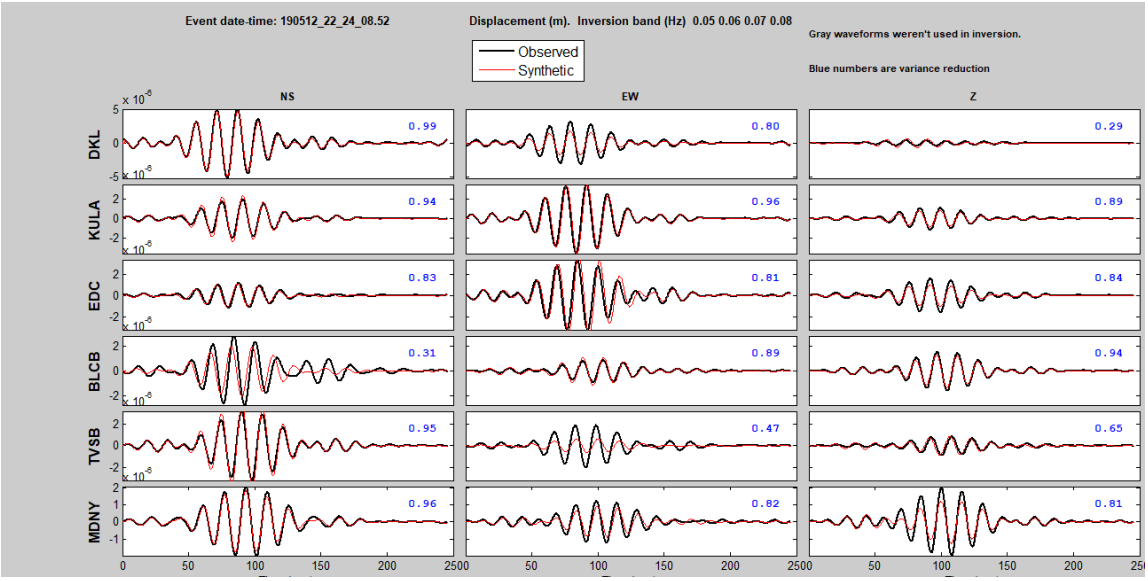
Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	04.05.2018	D1	330	56	-50	27.773	38.766	3.7
		D2	94	50	-134			
SACWIN	04.05.2018	D1	103	70	-108	27.772	38.767	4.0
		D2	327	26	-49			



Şekil 4.18: SACWIN programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin odak mekanizma çözümü



Şekil 4.19: MATLAB(ISOLA) programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin moment tensör çözümü



Şekil 4.20: MATLAB(ISOLA) programı ile (2019/05/12 22:24 *Ml* 4.5) Manisa Kırkağaç bölgesinde meydana gelen depremin Sentetik ve Gerçek Verilerin Uyumluluk Penceresi. Kırmızı çizgiler sentetik, siyah çizgiler gözlemsel verileri temsil etmektedir.

12.05.2019 tarihinde meydana gelen *Ml* 4.5 deprem verisi incelemesi sonucu doğrultu atımlı fay mekanizması elde edilmiştir. ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) program verilerilerine göre görsel odak mekanizmalarda benzer görüntüler elde edilmiştir olsada, kullanılan parametrelerin farklı olmasından dolayı bulunan kayma, eğim ve doğrultu açıları birbirinden farklıdır. Bulunan değerler düzlem1 ve düzlem2 için çizelge 4.6' da belirtilmiştir.

MATLAB(ISOLA) programında kullanılan köşe frekansı 0.05 -0.09 Herz aralığındadir. Depremi çevreleyen 6 istasyon verisi kullanılmış. Elde edilen sonuçlar sentetik ve gözlemsel veri eşleşmeleri doğruya çok yakındır. Bunun ıspatı olarak varyasyon değeri 0.85 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6: (2019/05/12 *Ml* 4.5) depremi için ZSACWIN ve MATLAB(ISOLA) programlarından elde edilen verilerin düzlem1 ve düzlem2 üzerinde karşılaştırılması

Kullanılan Program	Tarih		Doğrultu	Eğim	Kayma	Boylam	Enlem	Magnitüd
ISOLA	12.05.2019	D1	251	71	-170	27.923	39.318	4.4
		D2	157	71	-19			
SACWIN	12.05.2019	D1	58	85	-168	27.923	39.318	4.5
		D2	327	78	-5			

Tablo 2: ZSACWIN programından elde edilen depremlerin verilerinin fay düzlemi parametreleri

No	Tarih	Zaman (GMT)	Boy (°E)	Enl (°N)	Der (km)	M_l	Atım (°)	Eğim (°)	Kayma (°)
1	12.09.2016	08:26	27.744	38.897	14.7	5.1	66	84	-173
2	12.09.2016	09:29	27.738	38.902	14.2	4.5	63	84	-171
3	15.09.2016	08:15	27.727	38.907	12.5	3.7	63	78	-173
4	16.09.2016	07:23	27.689	38.884	6.6	3.6	68	63	-170
5	17.09.2016	12:53	27.736	38.898	13.2	3.7	61	80	-170
6	18.09.2016	22:48	27.748	38.930	14.6	3.5	71	89	-170
7	19.09.2016	06:25	27.735	38.890	13.4	3.5	257	87	-166
8	21.09.2016	14:56	27.734	38.910	12.7	3.5	66	70	-175
9	25.09.2016	20:51	27.732	38.899	13.3	4.0	89	67	-150
10	09.10.2016	06:21	27.716	38.999	14.7	3.9	164	43	-19
11	15.10.2016	02:49	27.724	38.929	12.1	4.1	7	83	-12
12	15.10.2016	02:51	27.727	38.907	7.7	4.4	23	64	-11
13	15.10.2016	03:02	27.709	38.919	10.8	3.6	18	76	-25
14	15.10.2016	04:52	27.711	38.941	9.7	3.3	65	76	-174
15	15.10.2016	05:03	27.698	38.924	9.4	3.5	262	73	-4
16	15.10.2016	22:23	27.717	38.945	11.2	3.8	64	79	-175
17	15.10.2016	22:35	27.719	38.961	6.2	3.4	4	86	-4
18	27.01.2017	05:21	27.706	39.029	8.9	3.6	270	69	-153
19	02.04.2017	05:32	27.577	38.644	13.4	4.3	105	29	-65
20	04.04.2017	13:00	27.608	38.607	6.4	4.0	341	31	-88
21	05.04.2017	10:35	27.562	38.631	12.4	3.7	323	61	-86

22	05.04.2017	22:08	27.573	38.630	12.2	3.9	347	36	-87
23	17.04.2017	05:25	27.602	38.613	9.2	3.4	323	64	-87
24	18.04.2017	25:58	27.727	38.920	13.5	3.8	241	75	-175
25	19.04.2017	11:23	27.663	38.595	5.0	4.2	135	54	-73
26	19.04.2017	16:44	27.591	38.628	12.9	3.9	344	58	-86
27	21.04.2017	13:09	29.054	38.799	9.0	5.1	78	61	-95
28	21.04.2017	14:39	29.059	38.771	7.7	3.7	39	67	-93
29	21.04.2017	17:47	29.075	38.806	6.5	3.9	324	58	-81
30	26.04.2017	08:03	27.565	38.648	8.8	3.8	54	63	-143
31	27.05.2017	15:53	27.833	38.734	12.9	5.2	326	52	-94
32	28.05.2017	02:14	27.801	38.726	11.5	4.1	330	37	-85
33	28.04.2017	02:16	27.841	38.750	8.5	4.0	108	64	-94
34	28.05.2017	02.50	27.785	38.727	9.9	4.6	338	37	-88
35	28.05.2017	02.:52	27.826	38.753	17.9	4.7	326	33	-95
36	28.05.2017	04:38	27.794	38.745	11.2	4.5	167	41	-7
37	28.05.2017	07:34	27.779	38.735	11.3	4.1	98	60	-91
38	28.05.2017	08:06	27.848	38.760	9.1	3.6	80	59	-90
39	28.05.2017	08:49	27.806	38.756	10.3	4.1	327	55	-98
40	28.05.2017	11:04	27.776	38.734	10.0	4.8	343	36	-86
41	28.05.2017	11:16	27.792	38.753	9.7	3.6	80	60	-90
42	29.05.2017	22:28	27.772	38.760	9.0	3.7	110	68	-96
43	22.06.2017	08:56	27.526	38.661	14.4	4.1	65	54	-143
44	06.07.2017	07:33	27.623	38.626	6.6	3.6	176	89	-64
45	08.07.2017	03:27	27.727	39.010	11.3	3.5	70	85	-164
46	19.07.2017	04:42	27.807	38.786	12.7	4.0	351	79	-1

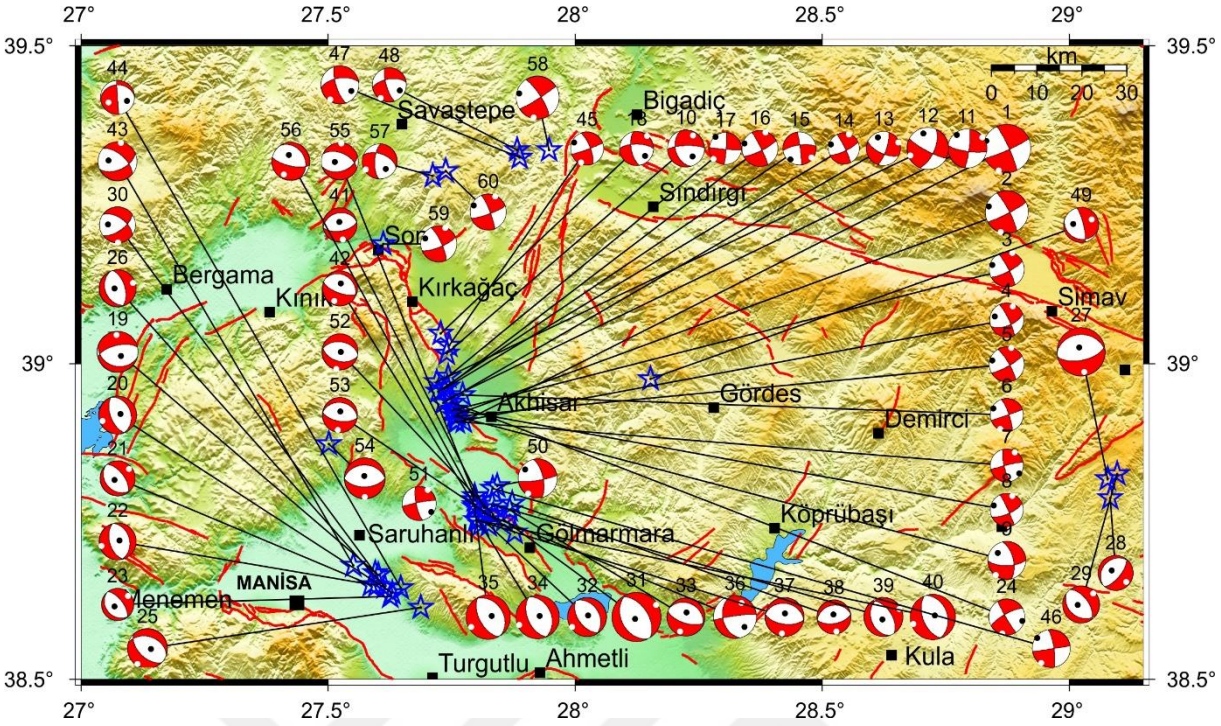
47	09.08.2017	20:14	27.864	39.306	14.5	4.0	162	73	-31
48	09.08.2017	21:35	27.859	39.318	15.5	3.6	163	75	-29
49	11.08.2017	02:15	28.122	38.952	7.0	3.7	346	79	-74
50	13.08.2017	08:51	27.818	38.788	12.4	4.1	81	81	-157
51	18.08.2017	17:53	27.569	38.764	12.5	3.6	168	76	-6
52	27.08.2017	10:24	27.804	38.744	11.6	3.8	105	46	-85
53	07.09.2017	06:21	27.854	38.712	6.7	3.7	99	61	-90
54	11.11.2017	08:56	27.477	38.471	19.0	4.3	89	55	-91
55	01.05.2018	13.14	27.773	38.772	10.4	3.9	72	45	-122
56	04.05.2018	18.10	27.772	38.767	11.5	4.0	103	70	-108
57	08.05.2019	02:50	27.600	39.296	10.2	3.7	290	55	-152
58	12.05.2019	22:24	27.923	39.318	8.9	4.5	58	85	-168
59	21.05.2019	05:24	27.612	39.159	8.0	3.8	68	75	-168
60	03.06.2019	18:13	27.716	39.285	13.1	3.8	70	81	-172

Tablo 3: MATLAB(ISOLA) programından elde edilen depremlerin verilerinin fay düzlemi parametreleri

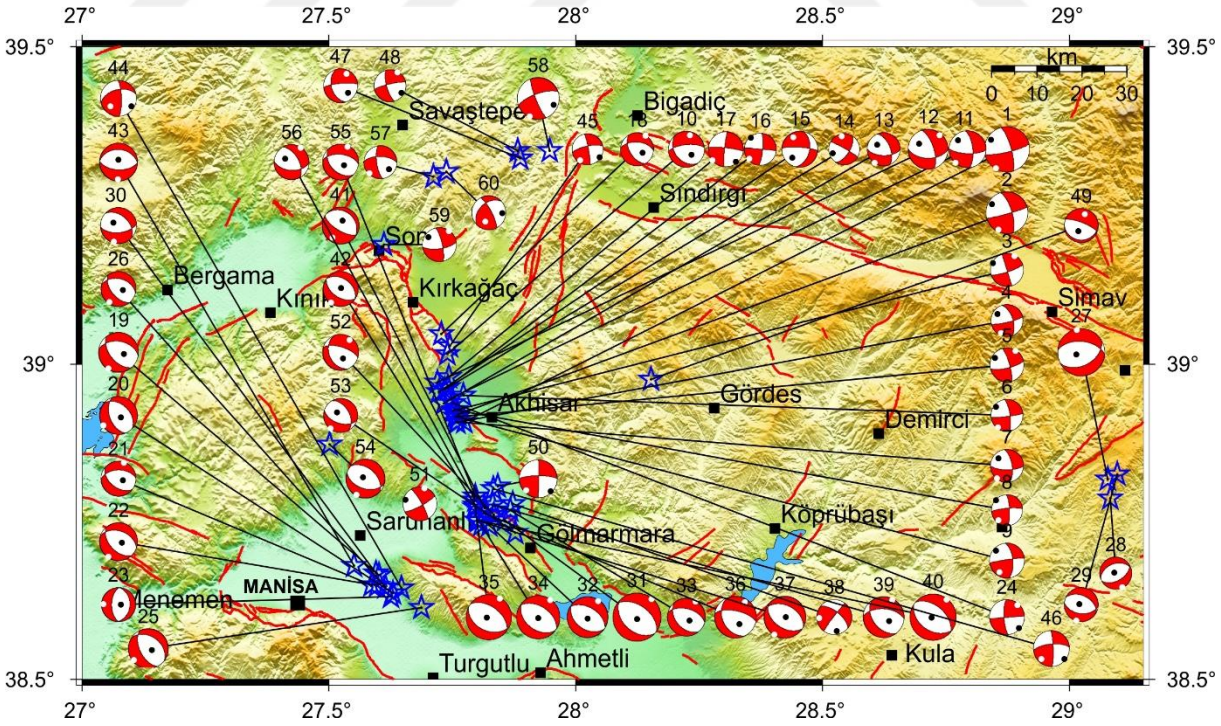
No	Tarih	Zaman (GMT)	Boy (°E)	Enl (°N)	Der (km)	Mw	Atım (°)	Eğim (°)	Kayma (°)	Var.
1	12.09.2016	08:26	27.750	38.89	6.0	4.8	77	80	-165	0.87
2	12.09.2016	09:29	27.738	38.902	8.0	4.4	343	71	-4	0.74
3	15.09.2016	08:15	27.727	38.907	7.0	3.5	72	80	179	0.71
4	16.09.2016	07:23	27.736	38.889	12.0	3.4	342	60	-10	0.68
5	17.09.2016	12:53	27.736	38.898	11.0	3.6	77	75	-168	0.62
6	18.09.2016	22:48	27.748	38.932	8.0	3.4	83	85	-165	0.72
7	19.09.2016	06:25	27.735	38.890	20.0	3.5	90	71	-154	0.62
8	21.09.2016	14:56	27.731	38.909	7.0	3.3	265	80	167	0.71
9	25.09.2016	20:51	27.732	38.899	9.0	3.7	354	63	5	0.76
10	09.10.2016	06:21	27.716	38.997	5.0	3.8	264	69	-119	0.66
11	15.10.2016	02:49	27.725	38.928	6.0	3.9	92	71	-156	0.74
12	15.10.2016	02:51	27.696	38.952	4.0	4.2	342	67	-41	0.73
13	15.10.2016	03:02	27.709	38.919	5.0	3.5	91	59	-141	0.72
14	15.10.2016	04:52	27.711	38.941	8.0	3.3	32	62	-174	0.59
15	15.10.2016	05:03	27.699	38.937	29.0	3.8	13	45	-167	0.60
16	15.10.2016	22:23	27.717	38.945	6.0	3.4	275	89	168	0.66
17	15.10.2016	22:35	27.719	38.961	21	3.7	276	83	-174	0.72
18	27.01.2017	05:21	27.704	39.029	4.0	3.5	150	53	-48	0.67
19	02.04.2017	05:32	27.577	38.647	5.0	4.2	280	44	-122	0.89
20	04.04.2017	13:00	27.606	38.618	6.0	4.0	314	42	-109	0.85
21	05.04.2017	10:35	27.562	38.631	5.0	3.7	128	48	-62	0.82

22	05.04.2017	22:08	27.573	38.630	5.0	4.0	290	43	-111	0.86
23	17.04.2017	05:25	27.602	38.613	5.0	3.6	3	34	-88	0.66
24	18.04.2017	25:58	27.727	38.920	7.0	3.7	86	89	165	0.63
25	19.04.2017	11:23	27.663	38.595	4.0	4.2	305	38	-113	0.66
26	19.04.2017	16:44	27.591	38.628	6.0	3.7	285	41	-119	0.62
27	21.04.2017	13:09	29.054	38.799	6.0	5.0	275	52	-68	0.82
28	21.04.2017	14:39	29.059	38.769	6.0	3.4	250	40	-83	0.63
29	21.04.2017	17:47	29.073	38.807	4.0	3.6	97	46	-103	0.67
30	26.04.2017	08:03	27.571	38.650	9.0	3.8	313	44	-51	0.82
31	27.05.2017	15:53	27.832	38.734	6.0	5.1	133	41	-84	0.83
32	28.05.2017	02:14	27.801	38.726	4.0	4.3	126	40	-86	0.77
33	28.04.2017	02:16	27.843	38.750	4.0	4.0	285	53	-113	0.68
34	28.05.2017	02.50	27.785	38.727	4.0	4.6	128	42	-86	0.77
35	28.05.2017	02.:52	27.773	38.755	4.0	4.8	306	51	-83	0.79
36	28.05.2017	04:38	27.791	38.745	4.0	4.4	282	65	-118	0.76
37	28.05.2017	07.34	27.779	38.733	4.0	4.4	124	47	-86	0.80
38	28.05.2017	08:06	27.848	38.760	8.0	3.7	217	86	-27	0.62
39	28.05.2017	08:06	27.808	38.759	4.0	4.3	274	56	-122	0.80
40	28.05.2017	11:04	27.776	38.734	4.0	4.9	124	41	-95	0.75
41	28.05.2017	11:16	27.792	38.753	4.0	3.9	312	23	-80	0.64
42	29.05.2017	22:28	27.773	38.758	4.0	3.7	124	50	-91	0.67
43	22.06.2017	08:56	27.527	38.662	6.0	4.0	92	56	-91	0.77
44	06.07.2017	07:33	27.623	38.626	6.0	3.8	257	49	163	0.72
45	08.07.2017	03:27	27.721	39.010	1.0	3.3	258	73	175	0.68
46	19.07.2017	04:42	27.809	38.784	9.0	3.8	265	69	172	0.82

47	09.08.2017	20:14	27.864	39.306	8.0	3.6	265	79	-133	0.65
48	09.08.2017	21:35	27.859	39.318	16.0	3.4	257	81	-162	0.72
49	11.08.2017	02:15	28.129	38.957	16.0	3.6	291	75	-85	0.69
50	13.08.2017	08:51	27.818	38.788	7.0	4.0	270	77	177	0.85
51	18.08.2017	17:53	27.659	38.764	4.0	3.6	62	79	-170	0.76
52	27.08.2017	10:24	27.810	38.743	4.0	3.8	287	66	-116	0.71
53	07.09.2017	06:21	27.854	38.714	4.0	3.6	331	48	-57	0.60
54	11.11.2017	08:56	27.477	38.854	8.0	4.1	108	47	-106	0.78
55	01.05.2018	13.14	27.773	38.772	5.0	3.8	277	55	-114	0.70
56	04.05.2018	18.10	27.773	38.766	4.0	3.7	330	56	-50	0.82
57	08.05.2019	02:50	27.688	39.277	16.0	3.5	172	72	-29	0.65
58	12.05.2019	22:24	27.923	39.318	4.0	4.4	251	71	-170	0.85
59	21.05.2019	05:24	27.588	39.170	2.0	3.6	82	70	-166	0.61
60	03.06.2019	18:13	27.714	39.285	15.0	3.6	227	42	160	0.68



Şekil 4.21: 2016-2019 tarihleri arasında meydana gelen 60 adet depremin zSACWin programından elde edilen değerlerin odak mekanizma çözümü ve haritası

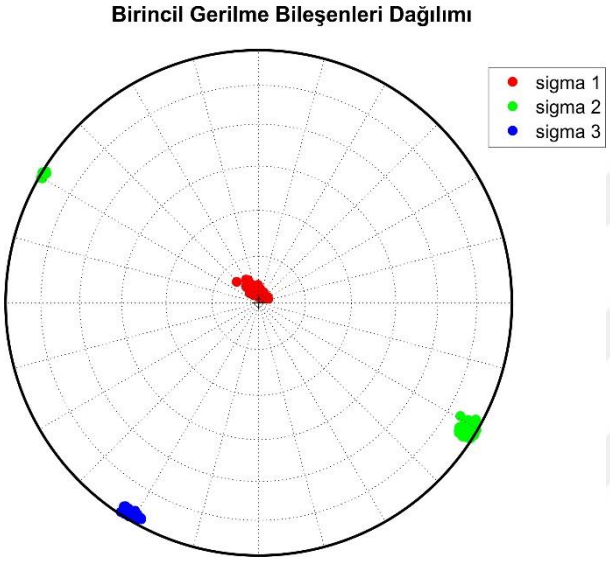


Şekil 4.22: 2016-2019 tarihleri arasında meydana gelen 60 adet depremin MATLAB(ISOLA) programından elde edilen değerlerin odak mekanizma çözümü ve haritası

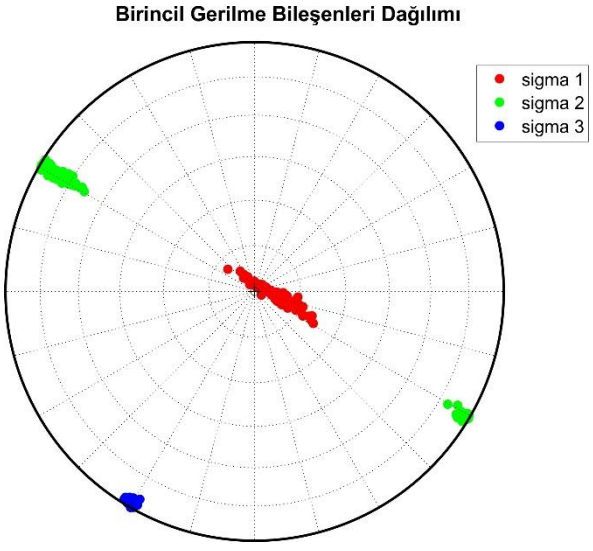
Şekil 4.21 ve 4.22'de görüldüğü üzere, P ilk varışlarından ve MT analizinden hesaplanan odak mekanizma çözümleri Akhisar bölgesinde ağırlıklı olarak doğrultu atımlı fayların baskın olduğunu işaret etmektedir. Gölmarmara yöresinde ise normal fayların ağırlıklı olduğu göze çarpmaktadır. Saruhanlı civarında ise, Gölmarmara'ya benzer doğrultuda normal faylanmalar görülmüştür. Farklı türdeki fay çözümlerinin bulunması, bölgedeki sismotektonik çeşitliliğe iyi bir örnektir. Hem doğrultu hem de normal fayların bölgedeki varlığı karmaşık ikincil fayların aktivitesinden ileri gelmektedir. Bu sonuçlar neticesinde, fayların karmaşıklığı bölge için yeniden ortaya çıkartılmış ve yorumlanmıştır. Her iki yöntemde de görüldüğü üzere, faylanma açıları birbirine yakındır. Ancak, doğrultu açılarındaki farklılık P ve T eksenlerindeki saçılmanın nedenidir.

4.2. GERİLME TENSÖRÜ BELİRLENMESİ

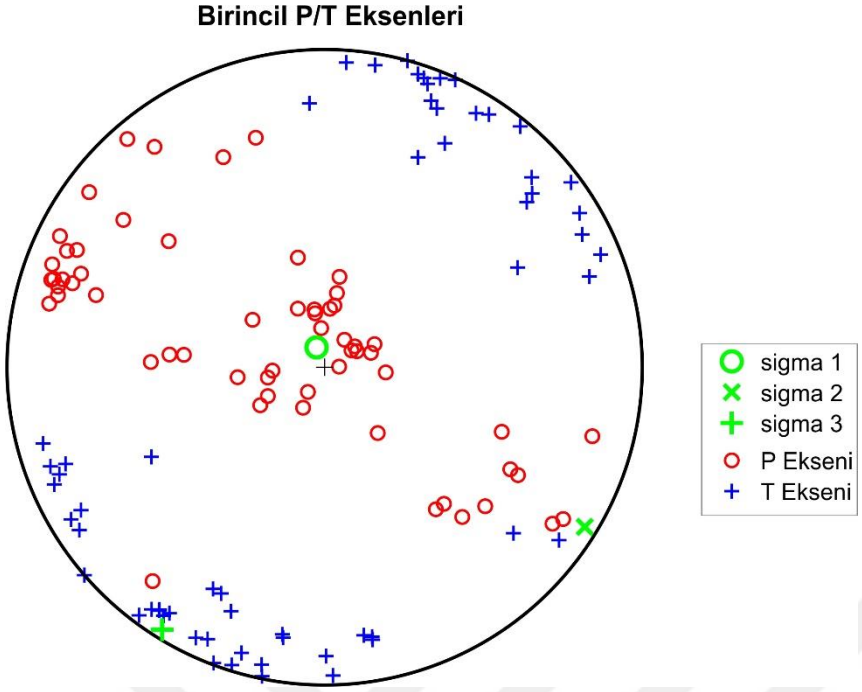
Bu tez çalışmasında 2016-2019 tarihleri arasında meydana gelen lokal magnitüdü 3,3'ten büyük toplam 60 adet depremin odak mekanizma çözümü ve gerilme tensörü analizi hem ZSACWIN hem ISOLA programından elde edilen verilerle yapılmıştır. MATLAB© tabanlı STRESSINVERSE (Vavryčuk, 2014) programı kullanılmıştır. Gerilme tensörü belirlenirken ters çözüm algoritması kullanılmıştır.



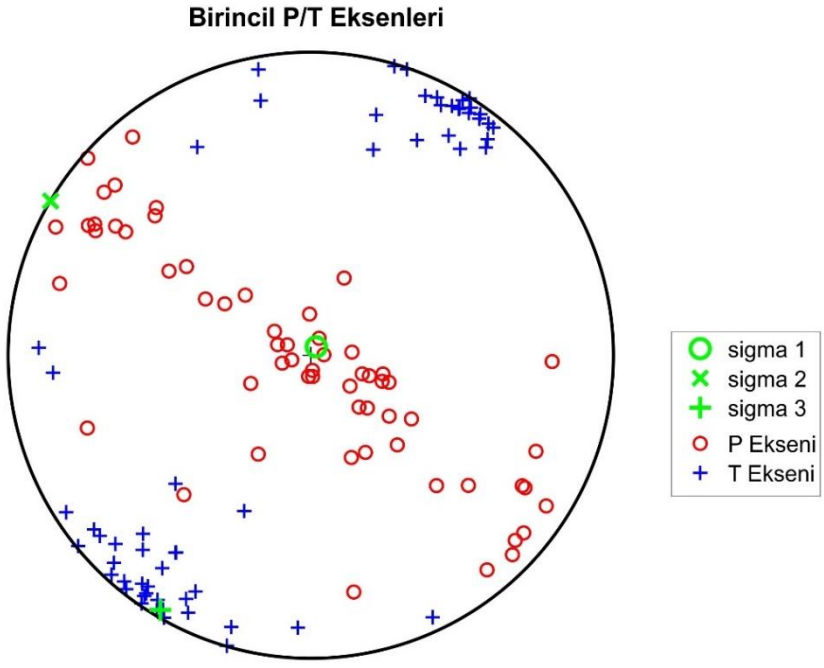
Şekil 4.23: zSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin gerilim tensör ters çözümü analizi sonucu bulunan tensör bileşenlerinin doğrultuları.



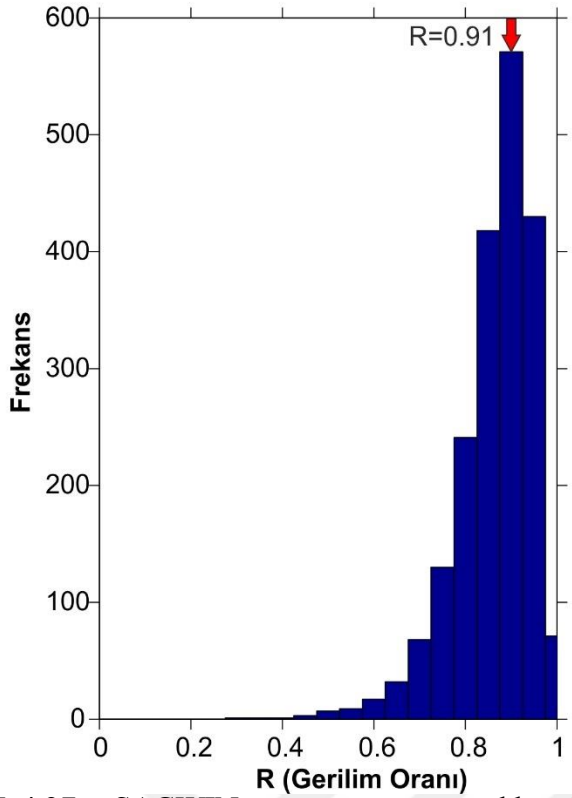
Şekil 4.24: MATLAB(ISOLA) programı sonucu elde edilen verilerin gerilim tensör ters çözümü analizi sonucu bulunan tensör bileşenlerinin doğrultuları. bileşenlerinin doğrultuları.



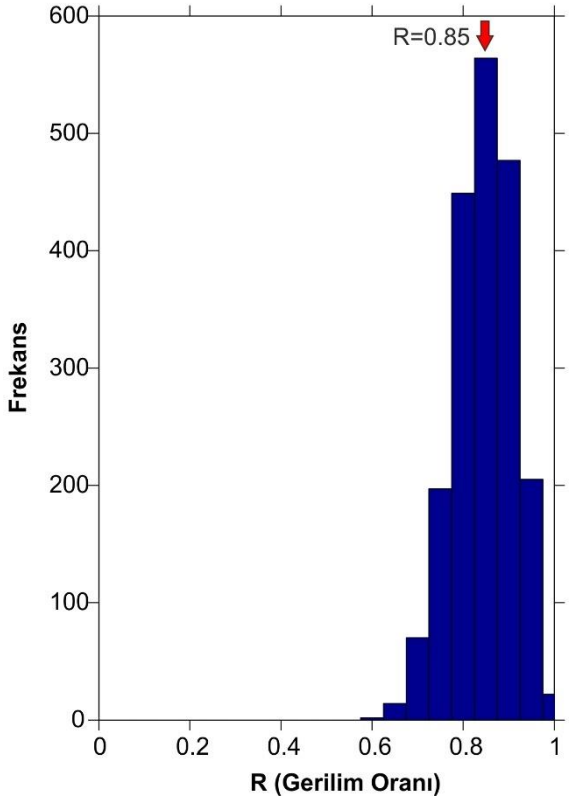
Şekil 4.25: ZSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin 60 depreme ait P ve T eksenlerini dağılımı. P ekseni σ1, T ekseni σ3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.26: MATLAB(ISOLA) programı sonucu elde edilen verilerin 60 depreme ait P ve T eksenlerini dağılımı. P ekseni σ1, T ekseni σ3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.27: zSACWIN programı sonucu elde edilen verilerin Göreceli gerilim oranının (R) dağılımı. R değeri 0.91 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.28: ISOLA programı sonucu elde edilen verilerin göreceli gerilim oranının (R) dağılımı. R değeri 0.85 olarak bulunmuştur.

Şekillerde görüldüğü her iki algoritma ile yapılan çözümlerde P ve T eksenleri ile, σ1 ve σ3 değerlerinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Burada P (σ1) oryantasyonu KB-GD, buna karşın T (σ3) KKD-GGB yönünde bulunmuştur. Bu değerler artçı depremlerin lokasyonları ile de uyumludur.

Gerilme tensörü ters çözümü sonucunda bölgede elde edilen R gerilme oranı zSACWin verileri için 0.91, ISOLA verileri için 0.85 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen R gerilme oranı sonucunda da bölgede açılma gerilim rejiminin hakim olduğu söylenebilir. Bu durum Batı Anadolu genişleme bölgesinde bulunan Manisa yöresinin jeolojisi/tektoniği ile uyumluluk olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bölgede baskın olan faylanma rejimi doğrultu atıım bileşenli normal faylanmadır (Şekil 4.22 ve 23).

4.3. COULOMB GERİLME ANALİZİ

Coulomb gerilme değişimi hesaplamaları MATLAB© tabanlı Coulomb 3.3 yazılımı kullanılmıştır. Fay düzlemi parametreleri için ZSACWIN programından elde edilen odak mekanizma çözümü verileri kullanılmıştır. 2016-2019 tarihleri arasında Manisa-Akhisar bölgesinde meydana gelen Ml≥5.0 olan, 12 Eylül 2016 Manisa- Akhisar 5.1 magnitüdlü, 21 Nisan 2017 Manisa- Akhisar 5.1 magnitüdlü ve 27 Mayıs 2017 Manisa- Akhisar 5.2 magnitüdlü depremleri için Coulomb gerilme analizleri yapılmıştır. Oluşturulan Coulomb gerilme değişimi haritasında kırmızı renk gerilmenin arttığı, mavi renk ise azaldığını göstermektedir. Depremler stresin boşaldığı mavi renkli bölgelerde görülmektedir.

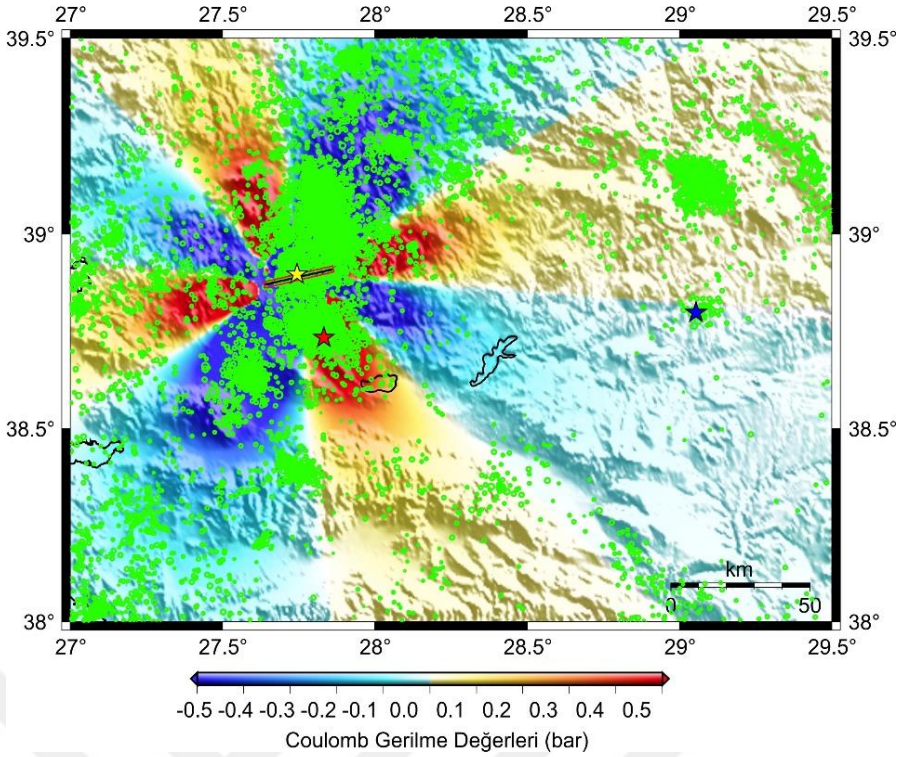
12 Eylül 2016 Manisa- Akhisar 5.1 magnitüdlü deprem için fayın kuzey ve güney kısımlarında 4-5 bar civarında gerilme düşümü meydana gelmiştir. Ayrıca KD-GB yönünde gerilme değerlerinin 3 barın üzerinde çıktığı görülmektedir (Şekil 4.29).

21 Nisan 2017 Manisa- Akhisar 5.1 magnitüdlü depreminde fayın kuzey ve güney kısımlarında 4-5 bar civarında gerilme azalımı meydana gelmiştir. Ayrıca KD-GB yönünde ise gerilmenin 3 barın üzerinde çıktığı görülmektedir (Şekil 4.30-(a)).

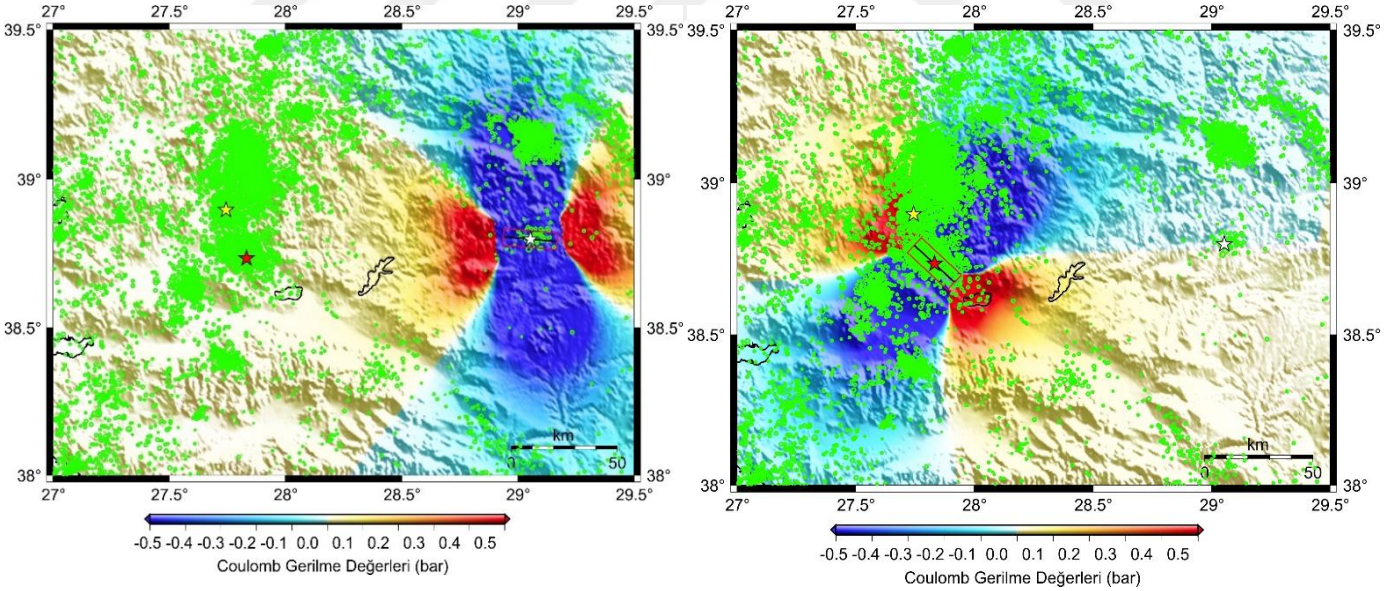
27 Mayıs 2017 Manisa- Akhisar 5.2 magnitüdlü depreminde fayın kırılma yönü KB-GD yönündedir. Bu doğrultuda 4-5 bar civarında gerilme artışı meydana gelmiştir. Bununla beraber, KD-GB yönünde de gerilmenin 4-5 bar azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.30-(b)).

Bu üç deprem bize şunu göstermiştir ki; bölgedeki Ml>5.0 depremleri farklı fay kırılma yönelimlerine sahiptir. İlk iki depremdeki maksimum yatay kesme gerilmesi (S_H) KB-GD yönündedir. Buna karşın, son depremin S_H değeri KD-GB olarak gözlemlenmiştir. Çünkü, bölgede çok parçalı ikincil faylar mevcuttur. Bu ikincil faylar, bölgedeki gerilmenin etkisi ile aktive olmuştur ve farklı yönelimlerde kırılmıştır. Buradan anlaşılacağı üzere, her orta ve şiddetli deprem için farklı faylanma mekanizmalarının görülmesi olasıdır.

Şekil 4.29 ve 30 bizlere göstermektedir ki, artçı depremler (yeşil daireler) Coulomb gerilme değerlerinin mavi bölgeleriyle uyumludur. Bu bölgeler gerilmenin boşaldığı yerleri göstermektedir. Mavi renkli bölgelerdeki yoğun artçı deprem aktivitesi Coulomb gerilme değerleriyle örtüşmektedir. Kırılma yönleri olarak 12 Eylül 2016 depreminin farklı yönelimlerde olması da bölgedeki ikincil fayların aktivitesini de açıkça göstermektedir.



Şekil 4.29: 12 Eylül 2016 Manisa- Akhisar Ml:5.1 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı haritası. Sarı yıldız anaşoku, yeşil depremler artçışokları göstermektedir.



a) **b)**

Şekil 4.30: a) 21 Nisan 2017 Manisa- Akhisar Ml5.1 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı görüntüsü. Beyaz yıldız anaşoku ve yeşil daireler artçı depremleri göstermektedir. **b)** 27 Mayıs 2017 Manisa- Akhisar Ml:5.2 magnitüdlü depremin Coulomb gerilme değişiminin derinliğe bağlı görüntüsü (**b**). Kırmızı yıldız anaşoku göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, farklı fay düzlemi mekanizmalarının ve tektonik kuvvetlerin etkisi altında kalmış, karmaşık fay yapılarına sahip olan Manisa-Akhisar yöresinin depremselliği incelenmiştir. Yapılan tez çalışmasında, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (BU KRDAE) tarafından işletilen, geniş-band istasyonları tarafından kaydedilen depremlerin verileri kullanılmıştır. Kullanılan deprem verileri 2016 ve 2019 yıllarını kapsamaktadır. Depremlerin lokal büyüklükleri (Ml) 3.3 ile 5.2 arasında değişmektedir. Analiz edilen deprem sayısı ise 60 adettir. Bu çalışmalar ışığında, bölgenin güncel depremselliği, sismotektonik özellikleri, bölgede etkin olan gerilme bileşenleri ve güncel Coulomb gerilim yönelimleri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında, 12 Eylül 2016 Ml 5.1 Manisa-Akhisar depremiyle tetiklenen ve 2019 yılına kadar uzanan sismik hareketliliğin bu yöredeki sismotektonik yapıya olan etkisi incelenmiştir. 2016 ve 2019 yılları arasında Manisa-Akhisar bölgesinde 3 adet Ml>5.0 olan deprem gözlenmiştir. Bu depremler anaşok olarak tanımlanmış ve bunların 57 adet Ml>3.3 olan artçı depremleri gerilim ve moment tensör analizi için seçilmiştir. Bu toplam 60 depremin dalga formları KRDAE web sitesinden indirilerek, ZSACWIN (Yılmazer, 2003) programı içindeki HYPOCENTER (Lienert and Havskov, 1995) algoritması kullanılarak tekrar çözüme sokulmuştur. Deprem lokasyonlarının ve kaynak parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan hız yapısı, Akyol vd. (2006) tarafından Ege Bölgesi için hesaplanan kabuk modelinden alınmıştır. Odak mekanizması ve moment tensör çözümlerinin daha sağlıklı olması açısından odak küresi üzerine düşen istasyon dağılımlarının homojenliğine ve çevrelemesine özellikle dikkat edilmiştir. Özellikle ilk varışlardan elde edilen odak mekanizması çözümleri için en az 10 adet istasyondan okunan P-dalga polaritesi kullanılmıştır. Moment tensör çözümleri için ise en az 4 istasyon kullanılmıştır. Bu çözümler için ise istasyon çevrelemesinin iyi olması ve GAP (azimutal boşluk) değerlerinin düşük olması gözetilmiştir.

KRDAE verileri kullanılarak 12 Eylül 2016'da oluşan depremlerden sonra bölgede meydana gelen artçı şoklar; HYPOCENTER algoritması ile belirlenen 60 adet depremin odak mekanizma çözümlemeleri ZSACWIN ve MATLAB (ISOLA) programları kullanılarak belirlenmiştir. Depremler sığ odaklıdır ve derinlikleri 1 ila 29 km arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki deprem aktivitesi, Ege Graben genişleme Sistemi ile ilişkilidir. Bu nedenle depremlerin sığ odaklı olması beklenmektedir (Akyol vd., 2006; Dogru vd., 2014; Kalafat ve

Görgün, 2017; Görgün vd., 2020). Depremlerin lokasyonlarına bakıldığında ve bölgedeki fay haritası incelendiğinde (Emre vd., 2013), depremselliğin faylarla ilişkili olduğu gözlenmiştir. Bulduğumuz fay düzlemleri bölgedeki fayların doğrultusuyla uyumludur. Bu doğrultu KB-GD olarak bulunmuştur. Bulgularımıza göre, bölgede doğrultu atımlı bileşenlerin baskın olduğu ve normal fay bileşenlerinin de görüldüğü bir sismotektonik yapı hakimdir. Bölgenin jeolojisi ve tektoniği göz önüne alındığında odak mekanizmalarında bir uyumluluk söz konusudur.

Bu çalışma, 60 adet depremin odak mekanizması hem ZSACWIN hem de MATLAB (ISOLA) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla Tablo 2 ve 3'te gösterilmiştir. Her ne kadar faylanma mekanizmaları görüntü itibariyle birbirine benzese de, açı, derinlik ve özellikle magnitüdü değerleri arasındaki farklar dikkat çekmektedir. Bulguların farklı olmasının ana sebebi programların kullandığı algoritmalardan ve hesaplama yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Ancak, her iki program tarafından hesaplanan sonuçlar, bölgenin sismotektonik özelliklerini yansıtmaktadır. Buradaki uyumun derecesi bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri de dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada hesaplanan ve tekil olarak yapılan odak mekanizması çözümlerinin bölgeyi etkileyen asıl sismotektonik yapıyı değil, buradaki tektonizmanın etkisiyle lokal olarak oluşan unsurları işaret ettiğini söyleyebiliriz. Tüm bu bölgede meydana gelen gerilmeyi belirlemek için gerilme tensör analizi yapılması gereklidir. Bu amaçla, bölgede meydana gelen 60 depremin odak mekanizması hesaplanarak ters çözümleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada gerilme tensör ters çözümü için, Vavryčuk (2014), Michael (1984; 1987) tarafından geliştirilen ters çözüm gerilme analizi algoritması kullanılmıştır.

Gerilme analizlerini belirlemek amacıyla Manisa-Akhisar yöresinin deprem dağılımlarının yoğunlaştığı bölgedeki 60 fay düzlemi çözümü seçilmiştir. Seçilen 60 depremin hem ISOLA hem de ZSACWIN kullanılarak hesaplanan odak mekanizmaları alınmıştır. Böylelikle, çalışma alanına etkiyen gerilmelerin daha detaylı ve karşılaştırmalı olarak belirlenmesinin daha iyi olacağı düşünülmüştür. Seçilen bölge, 12 Eylül 2016 ve sonrasında özellikle Akhisar ve çevresindeki tüm odak mekanizması çözümlerini kapsamaktadır. Hesaplamalar sonucunda, Manisa-Akhisar bölgesine ait $\sigma 1$, $\sigma 2$ ve $\sigma 3$ gerilme eksenlerine ait azimut ve dalım değerleri sırasıyla ISOLA için (33,87), (301,0), (211,3); ZSACWIN için ise (338,85), (122,5), (212,3) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte gerilme oranları (R) ISOLA

için 0.85 ve ZSACWIN için 0.91 olarak hesaplanmıştır. Teoride, R değerleri 0 ila 1 arasında değişmektedir. 0.5'den küçük değerler bölgedeki gerilme rejiminin sıkışma, 0.5'den büyük değerler ise genişleme olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada hesaplanan değerler arasında fark olsa da gerilme rejiminin genişleme (açılma) olduğu görülmüştür.

Bu hesaplamalara dayanarak; Şekil 25'te gerilme değerleri hesaplanan bölge için σ1 en büyük gerilme ekseninin KB-GD doğrultulu olduğunu, σ3 gerilme ekseninin ise KD-GB doğrultulu olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 26). Yapılan gerek jeolojik gerekse jeodezik çalışmalar da Batı Anadolu'da gözlenen açılma zonuna ait gerilme değerleriyle uyumludur. Bulduğumuz değerlere bağlı olarak, bölgede yaklaşık KKD-GGB uzanımlı doğrultu atım bileşenli normal fayların baskın olduğu fay tipini görmek olasıdır. σ2 değerinin orijinden kayma gösterip dıştaki basınç eksenine yaklaşması da bu bölgede oluşan faylanmalarda baskın normal fay bileşeninin oluşabileceğini göstermektedir. Bulunan sonuç, Ege Bölgesi'nin açılma rejimine uygunluk göstermekle birlikte, doğrultu atım bileşenli normal faylanma rejimine de işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD, 2015. Türkiye Deprem Veri Merkezi Projesi (TDVM), Ankara http://tdvm.afad.gov.tr.,www.deprem.gov.tr

Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B:J., Sözbilir, H., Kekovalı, K., 2006. Crustal structure and local seismicity in western Anatolia, Geophysical Journal International 166,1259-1269.

Aki, K., Patton, H., 1978. Determination of seismic moment tensor using surface waves. Tectonophysics, 49, 213-222.

Aki, K., Richards, P.G., 1980. Quantitative Seismology Theory and Methods. W.H.Freeman ve Co., 932 p. San Francisco, USA.

Ambraseys, N.N., and Finkel, C.F., 2006, *The Seismicity of Turkey and Areas: A Historical Review, 1500-1800*, Tubitak Press, Academic Series 4. Pp 167-176, (Translation into Turkish language).

Backus G. ve Mucahy M., 1976a. Moment Tensors and Other Phenomenological Descriptions of Seismic Sources I. Continious Displacements, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 46,341-361.

Backus,G., Mucahy, M., 1976b. Moment tensors and other phenomenolgical descriptions of seismic sources–II. Discontinuous Displacements. Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 47, 301-329.

Backus, G.E, 1977a. Interpreting the seismic glut moments of total degree two or less. Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 51, 1-25.

Backus, G.E, 1977b. Seismic sources with observable glut moments of spatial degree two. Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 51 (1), 27-45.

Baykal, M., 2006, Seferihisar-Urla Bölgesinin Güncel Depremselliği Ve Gerilme Tensör Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Beyhan, M., 2001, 12 Kasım 1999 Düzce Kaynaşlı Depremi Birleşik Odak Mekanizması Çözümü Ve Bölgenin Sismotektoniği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bozkurt,E., 2011,Neotectonics of Turkey –a synthesis, *Geodinamica Acta,*14, pp 3-30

Ceydilek, N.,2019, Manisa Ve Çevresinde Deprem Ve Patlatma Verilerinin Birbirinden Ayırt Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Clearbout, J. F., 2001, *Basic Earth İmaging*, Stanford Exploration Project (SEP), Stanford University.

Clearbout, J. F., and Doherty, S.M., 1972, Downward continuation of moveout- corrected seismograms, Geophysics, 37 741-768.

Çubuk, Y., 2010. 2005-2008 Bala-Sırapınar (Ankara) Ve Çameli (Denizli) Depremlerinin Kaynak Mekanizması Parametreleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dogru A., Görgün, E., Aktug, B., Özener H., 2018. Seismic hazard assessment of the central North Anatolian Fault (Turkey) from GPS-derived strain rates and b-values. Geomatics, Natural Hazards and Risk.

Dziewonski, A.M., Chou, T.A., Woodhouse, J.H., 1981. Determination of earthquake source parameters from data for studies of global and regional seismicity. Journal of Geophysical Recearch, 86, 2825-2852.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş ve Şaroğlu, F. (2013). Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, 2013.

Emre, Ö., T. Y. Duman, S. Özalp, H. Elmacı, Ş. Olgun, and F. Şaroğlu (2013). 1:250.000 Scale Active Fault Map of Turkey, General Directorate Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

Fitch,T.J., McCowan, D.W., Shields, M.W., 1980. Estimation of the seismic moment tensor from teleseicmic body wave data with applications to intraplate and mantle earthquakes. Journal of Geophysical Research, 85, 3817-3828.

Fitch,T.J., North, R.G. and Shields, M.W., 1981. Focal depths and moment tensor Representtions of shallow earthquakes associated with the Great Sumba earquake. Journal of Geophysical Research, 86, 9357-9374.

Ganas, A., Elias, P., Kapetanidis, V., Valkaniotis, S., P., Kassarasd, I., …&Moshou, A., 2018, The July 20, 2017,, M6.6 Kos Eartquake : Seismic and Geodetic Evidence for an Active North-Dipping Normal Fault at the Western End of the Gulf of Gökova (SE Aegean sea).*Pure and Applied Geophysics, 1-35.*

Gephart J.W. ve Forsyth D.W., 1984. An Improved Method For Determining The Regional Stres Tensor Using Earthquake Focal Mechanism Data: Application to the San Fernando Earthquake Sequence. *Journal of Geophysical Research*,89,9305-9320.

Gephart J.W., 1990. Stress and the Direction of Slip on Fault Planes, Tectonics, 9, 845-858

Görgün, E., Kalafat, D., Kekovalı, K., 2020. Source Mechanisms and stress field of the 2017 Ayvacık/Çanakkale earthquake sequence in NW Turkey. ANNALS OF GEOPHYSICS, 63, 3, SE332, 2020; doi:10.4401/ag-8194.

Guidoboni, E., Comaştri, A., and Traina, G., 1994, Catalogue of Ancient Earthquake in the Mediterranean Area up to the 10th Century, Rome, Instıtuto Nazionale di Geofisicap.

Hanks, T.C. and Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research,* 84 (B5), 2348-2350.

Jackson, J.,ve Mckenzie, D., 1984. Active tectonitcs of Alpine- Himalayan Belr betwenn Western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society,* 77,185-264.

Jost M.L. ve Herrmann R.B., 1989. A Student's Guide and Review to Moment Tensors. *Seismological Research Letters*. 60 (2), 37-57.

Kalafat D., Güneş Y., Kekovalı K., Kara M., Deniz P. ve Yılmazer M., 2011. A Revised and Extented Earthquake Cataloque for Turkey Since 1900 (M≥4.0). Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Special Publication,143-147

Kalafat, D., 1988. Güneybatı Anadolu ve Yakın Çevresinin Depremselliği. Aktif Tektoniği. Deprem Araştırma Bülteni, 63, 5-98.

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

Kalafat, D., 1988. Güneybatı Anadolu ve Yakın Çevresinin Depremselliği. Aktif Tektoniği. Deprem Araştırma Bülteni, 63, 5-98.

Kalafat Doğan, Görgün Ethem (2017). An example of triggered earthquakes in western Turkey: 2000 –2015 Afyon-Akşehir Graben earthquake sequences. Journal of Asian Earth Sciences(146), 103-113.

Kanamori, H., Given, J.W., 1981. Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake- source parameters. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 27, 8031.

Karabıyıklıoğlu, T., 2011, Moment Tensör Analiz Yöntemiyle Deprem Odak Mekanizması Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kawasaki, I.A., 1982. A Method for the Near-Source Anisotropy by the Pair Event Inversion of Rayleigh Wave Radiation Patterns, *Geophys. J. R Astr. Soc.*, 71, 395-424.

Keskin, A., Tutkun, S., Akhisar ve Soma kinematiği, 71.Türkiye Jeoloji Kurultayı, 23-27 Nisan 2018, Çanakkale Onsekizmart Üniversitesi.

Kılıç, T. 2009, Sismik Moment Tensör Analizi İle 2007-2008 Yollarındaki M ≥ 4.0 Türkiye Depremlerinin Kaynak Parametrelerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kikuchi, M., Kanamori, H., 1991. Inversion of complex body waves-III. Bulletin of the Seismological Society of America, 81 (6), 2335-2350.

King, G.C. P:, Stein, R.S. ve Lin,J.,(1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes, Bulletin of Seismic Society of America, 84, 935-953

Knopoff, L., Gilbert, F., 1959. First motions from seicmic sources. Bulletin of the Seismological Society of America, 50 (1), 117-134.

KOERI, B, Ü, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası, www.koeri.boun.edu.tr

Lienert, B.R.E., and Havskov, J., 1995, A computer program for locating earthquake both locally and globally, *Seismological Research Letters,* 66,26-36.

Manisa İli Sarıgöl İlçesi Depremsellik Raporu (14.08.2008). Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000. GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterrenean and Caucasus. Journal of Geophysical Research, 105, 5695-5719.

McCowan, D.W., 1976. Moment tensor representation of surface wave sources, Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 44, 595-599.

Michael, A.J., 1984. Determination of stress from slip data: Faults and folds, *J. Geophys. Res*.89, 11.517-11.526.

Michael, A.J., 1987. Use of focal mechanisms to determine stress: A control study, *J.Geophys. Res*. 92, 357-368.

Michelini, A. and McEvilly, T. V. 1991. Seismological studies at Parkfield. I. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters using cubic B-splines parameterization. Bulletin of the Seismological Society of America, 81(2), 524-552

Nomikou, P.& Papanikolaou, D. 2010. The morpho-tectonic structure of Kos-Nisyros_Tilos volcanic area based on onshore and offshore data. Proceedings of the XIX CBGA Congress, 99, 557-564, Thessaloniki, Greece.

Örgülü G., 2001. Analysis of Regional Moment Tensor Inversion Method and Its Applications to the İzmit, Düzce Earthquake Sequences and Eastern Anatolian Earthquakes, Ph.D. Thesis , Doktora Tezi, pp. 115.

Özkan, H. (2010). Isparta Büklümünde Sığ Odaklı Depremlerin Sismik Moment Tensörü ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Papathannassiou, G., Valkaniotis, S., 2019, The JUly 2017 Bodrum-Kos, Aegean Sea Mw=6.6 earthquake: preliminary field observation and image-based survey on a alateral spreading site, *Soil Dynamics ans Eartquake engineering,* 166, 668-680.

Papazachos, B.C. ve Comminakis, P.E., 1971. Geophysical and tectonics features of the Aegean. Arc. Jour. Geophy. Res., 76, 8517-8533.

Polat, O., 2005, Fay Düzlemi Çözümü (Sismoloji ders notları), Dokuz Eylül Üniversitesi. http://kisi.deu.edu.tr/orhan.polat/doc/KILAVUZFDC_O.POLAT.pdf. Erişim Tarihi: 11.11.2020

Richter, C.F., 1935. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale. Bull. Seismol. Soc. Am.. 25, 1-32.

Robertson, E.J., 2008. Seismic Moment Tensor Solutions from Geonet Data to Provide a Moment Magnitude Scale for New Zealand, Victoria University of Wellington, New Zealand, Yüksek Lisans Tezi, pp. 186.

Romannwicz, B., 1981. Depth resolution of eartguakes in Central Asia by moment tensor inversion of long-period rayleigh waves: Effects of phase velocity variations acroos Eurasia and their calibration. Journal of Geophysical Research, 86, 5963-5984.

Rueda, J. and Mezcua, J., 2005. Near Real Time Seismic Moment Tensor Determination in Spain, *Seismological Research Letters*, 76 (4), 455–465.

Seyitoğlu, G. and Scott, B.C. 1996. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. Back-arc spreading vs. Orogenic collapse. Journal of Geodynamics, 22, 145- 153.

Shearer, P. M., 1999. Introduction to Seismology. Cambridge University Press, SanDiago, ISBN 0-521-66953-7.

Saikia, Chandan. K., 1994. Modified Frequency-Wavenumber Algorithm for Regional Seismograms Using Filon‟s Quadrature; Modeling of Lg Waves in Eastern North America, *Geophys. Journ. Int.,* 118, 142-158.

Sipkin, S.A., 1982. Estimation of earthquake source parametres by the inversion of

waveform data; synthetic waveforms. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 30, 242-255.

Strelitz, R.A., 1978. Moment tensor inversions and source models. Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 52, 359-364.

Strelitz, R.A., 1980. The fate of the downgoing slab: A study of the moment tensors from body waves of complex deep-focus earthquakes, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 21, 83-96.

Sokos, E. and Zahradnik, J. 2006. A Matlab GUI for use with ISOLA fortran codes. (User‟s guide), Ver. 2.5. June 2006, 34 pp.

Stein, S., ve Wysession, M., 2002. An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure, Blakwell

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası. MTA, Ankara.

Toda, S., Stein, R.S. and Lin, J. (2011). Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011 M = 9.0 Tohoku earthquake and its interpretation by Coulomb stress transfer. *Geophysical Research Letters* 38, L00G03, doi:10.1029/ 2011GL047834.

Wang, C.Y., Herrmann, R.B., 1980. A numerical study of P-,SV-,and SH- wave generation in a plane layered medium, Bulletin of the Seismological Society of America, 70 (4), 1015-1036.

Ward, S.N., 1980a. A technique for the recovery of the seicmic moment tensor applied to the Oaxaca, Mexico earthquake of November 1978. Bulletin of the Seismological Society of America, 70 (3), 717-734.

Ward, S.N., 198b. Body wave calculations using moment tensor source in sphericlly symmetric, in homogeneous media. Geophysical Journal. Royal Astronomical Society, 60, 53-66.

Vavrycuk, V., 2014, Iterative joint inversion for stres and fault orientations from focal mechanisma, Geophysical Journal International, 199, 69-77, doi:10.1093/gji/ggu 224.

Yavuz, N., 2011, Isparta Büklümünde Derin Odaklı Depremlerin Sismik Moment Tensörü İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yılmaz, Ö., 1987, Seismic Data Processing. Investigations in Geophysicsvol No:2, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

Yılmazer, M., 2003. Deprem kaynak parametrelerinin On-Line belirlenmesi. Yüksek lisans, İstanbul Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yolsal, S., Taymaz, T., ve Yalçıner, A.C., 2007 Understanding tsunamis, potential source regions and tsunami-prone mechanism in the Eastern Mediterranen. *Geological Society*, London, Special Publications, 291, 201-230.