T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

# YÜKSEK LİSANS TEZİ

# BATI MARMARA BÖLGESİNDE DOUBLE DIFFERENCE METODU ile DEPREM LOKASYONLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Bengi Behiye AKŞAHİN

DANIŞMAN
Prof. Dr. A. Oğuz ÖZEL

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 23.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeofizik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

Prof. Dr. A. Oğuz ÖZEL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Onur TAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Berna TUNÇ
Kocaeli Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

# ÖNSÖZ

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda Double Difference (Çift Farklar ) Yöntemi ile deprem konumlarının iyileştirilmesi amaçlanmış ve çalışma süresince inceleme ve uygulamalar bu yönde yapılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim süresince, katkılarıyla yol gösteren danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. A. Oğuz ÖZEL'e, İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümü hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Bana en büyük desteği veren sevgili eşim ve meslektaşım Arş Gör. Kaan Hakan ÇOBAN ve aileme en derin sevgi ve saygı ile teşekkür ederim

Mayıs 2019 Bengi Behiye AKŞAHİN

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**ÖNSÖZ** ..... **iv**
**İÇİNDEKİLER** ..... **v**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **vi**
**SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ** ..... **x**
**ÖZET** ..... **xi**
**SUMMARY** ..... **xii**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. GENEL KISIMLAR** ..... **5**
**2.1.ÇALIŞMA ALANI TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ** ..... **5**
**2.2. KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) VE GENEL ÖZELLİKLERİ** ..... **5**
**2.2.1 Batı Marmara ve Saros Körfezi depremselliği ve tektoniği** ..... **11**
**3. YÖNTEM** ..... **15**
**4. BULGULAR** ..... **22**
**5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA** ..... **35**
**KAYNAKLAR** ..... **45**
**ÖZGEÇMİŞ** ..... **51**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**

**Şekil 1. 1:** Saros Körfezi Havzasında meydana gelen depremlerin fay düzlemi çözümleri ve ilişkili tektonik hatlar (Taymaz ve diğ. 1991 ve Barka 1992) **2**

**Şekil 2. 1:** Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğ., 1992). **7**

**Şekil 2. 2:** a) Türkiye'yi çevreleyen levhalar ve ana tektonik çizgisellikler ve b) tektonik birlikler. KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; SLF, Tuz Gölü Fay Zonu; KEF, Kırıkkale–Erbaa Fay Zonu; AF, Almus Fay Zonu; EFZ, Ecemiş Fay Zonu; OABK, Orta Anadolu Bindirme Kuşağı; ÖDFZ, Ölü Deniz Fay Zonu (Tatar ve diğ., 2003). **8**

**Şekil 2. 3:** 1900-2013 yıllarında Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin depremsellik haritası (URL-1). **10**

**Şekil 2. 4:** 1900-2013 yıllarında Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin haritası (URL-1). **10**

**Şekil 2. 5:** Marmara Bölgesinde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler (1900-2000; M>6.0; Kalafat 2000) **12**

**Şekil 2. 6:** Çanakkale ili ve çevresinde meydana gelmiş bazı depremler ve odak mekanizması çözümleri (Nalbant vd., 1998). **12**

**Şekil 2. 7:** Saros Körfezi ve çevresinin çökelme istifleri (Sarı ve diğ. 1995). **13**

**Şekil 2. 8:** Çalışma alanı Marmara Denizindeki ana fayın ve Ganos Fayının gösterimi ( Pichon ve diğ. 2003) **14**

**Şekil 3. 1:** Double Difference yöntemi kullanılarak yapılmış bir bölgeye ait lokasyon incelemesinin öncesi ve sonrası. **16**

**Şekil 3. 2:** Çift farklar algoritması örneği, açık ve kapalı daireleri örnek olarak tasvir edilen hypocenterlar, çapraz ilişki (düz çizgiler) veya katalog (kesikli çizgiler) verileri olaylar arasındaki bağlantıyı gösterir. İki olay için i ve j, ilk lokasyon (açık daireler) ve uygun yavaşlık vektörleri, s, iki istasyonu, k ve l, gösterir. Işın yolları kaynaktan istasyonlara kadar belirtilmekte. Kalın oklar ($\Delta x$) i ve j olayları için relokasyon vektörleri belirlenip (3.6) bağıntısı elde edilir ve eşitliğin tanımıda dt, seyahat zamanı farklarını, i ve j ise olaylar ile k ve l' de istasyonları gösterir. **19**

**Şekil 4. 1:** Çalışma alanına ait istasyon dağılımını gösteren harita **22**

**Şekil 4. 2:** hypoDD programı akış şeması **23**

**Şekil 4. 3:** Giriş parametresi katalog verisi formatı **23**

**Şekil 4. 4:** hypoDD programı giriş veri seti, **24**

**Şekil 4. 5:** P dalgası (tp) ve S dalgası (ts) geliş zamanlarının P-S dalgalarına ait geliş zamanları farkının (ts-tp) gösterilmesi. **24**

**Şekil 4. 6:** hypoDD.sta, hypoDD programına ait işlenen istasyonlar **28**

**Şekil 4. 7:** hypoDD programı relokasyon yapılmış çıkış dosyaları (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc **29**

**Şekil 4. 8:** hypoDD programı ile çizdirilmiş A-A` kesit haritası (a) hypoDD.loc, (b) hypoDD.reloc **29**

**Şekil 4. 9:** ArcGıs ile çizdirilmiş yeniden konumlandırılmış lokasyon haritası (çalışma alanı batısı) **30**

**Şekil 4. 10:**ArcGıs ile çizdirilmiş yeniden konumlandırılmış lokasyon haritası (çalışma alanı doğusu) **30**

**Şekil 4. 11:** ArcGıs ile çizdirilmiş lokasyon haritası **31**

**Şekil 4. 12:** Matlab programı ile çizdirilmiş koordinat değişim değerleri Hata! Yer işareti ta

**Şekil 4. 13:** zmap programı ile çizdirilmiş event dosyası haritası **32**

**Şekil 4. 14:** zmap ile çizdirilmiş event dosyasına ait b değer grafiği ve zaman - derinlik değerleri **32**

**Şekil 4. 15:** zmap programı ile 4 farklı noktadan alınmış event dosyasına ait kesitlerin gösterilmesi. **33**

**Şekil 4. 16:** Kesitleri zmap haritası üzerinde gösterilen haritaya ait derinlik-tarih dağılımı. **33**

**Şekil 4. 17:** Giriş verilerinin yer aldığı event dosyası üzerinden doğu-batı doğrultusunda zmap haritası ile alınmış kesitler. **34**

**Şekil 5. 1:** (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc çıkış dosyalarının üç boyutlu derinlik dağılım haritası **36**

**Şekil 5. 2:** hypoDD.loc verilerine ait kesit haritası **38**

**Şekil 5. 3:** İlk çıkış dosyası hypoDD.loc verilerine ait alınan (a), (b), (c) ve (d) kesitleri **39**

**Şekil 5. 4:** hypoDD.reloc dosyasına ait kesit haritası **40**

**Şekil 5. 5:**Yeniden konumlandırılmış verilerin bulunduğu hypoDD.reloc dosyasına ait (a), (b), (c) ve (d) kesitleri **41**

**Şekil 5. 6:** (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc için zmap programında otomatik olarak hesaplanan Mc ve b değer grafikleri **42**

## TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

**Tablo 2.1:** $M \geq 7.0$ can ve mal kaybına neden olan depremlerin sıralanışı. **11**

**Tablo 4. 1:** ph2dt programı işleyiş parametreleri seçimi **25**

**Tablo 4. 2:** hypoDD giriş verisi parametreleri **26**

**Tablo 4. 3:** hypoDD programı işlem sonucuna ait tabaka kalınlığı ve hız bilgisi **28**

**Tablo 5. 1:** Katalog verilerinden elde edilen çıkış verilerindeki değişimi gösteren tablo **37**

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|---|---|
| **ds** | : Yol uzunluğu elemanı |
| **I** | : Birim matris |
| **i** | : Sismik istasyon |
| **k** | : Işın yolu |
| **Maxdist** | : Maksimum mesafe |
| **Maxngh** | **:** Maksimum koşu sayısı |
| **Maxobs** | **:**Çift başına kaydedilen maksimum bağlantı sayısı |
| **tp, ts** | **:** P ve S dalgaları geliş zamanı |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| **AF** | : Almus Fay Zonu |
| **DAFZ** | : Doğu Anadolu Fay Zonu |
| **DKD** | : Doğu-Kuzeydoğu |
| **EFZ** | : Ecemiş Fay Zonu |
| **Gap** | : Azimutal boşluk |
| **KAFZ** | : Kuzey Anadolu Fay Zonu |
| **KEF** | : Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu |
| **KRDAE** | : Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü |
| **loc** | : Lokasyon |
| **OAKB** | : Orta Anadolu Bindirme Kuşağı |
| **OBS** | : Deniz tabanı sismometre |
| **ÖDFZ** | : Ölü Deniz Fay Zonu |
| **reloc** | : Relokasyon |
| **rms** | : Karekök ortalama |
| **SLF** | : Tuz Gölü Fay Zonu |
| **SVD/TDA** | : Tekil Değer Ayrıştırma yöntemi |

# ÖZET

## BATI MARMARA BÖLGESİNDE DOUBLE DİFFERENCE METODU ile DEPREM LOKASYONLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bengi Behiye AKŞAHİN**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. A. Oğuz ÖZEL**

Marmara bölgesi nüfus ve yapılaşmanın yoğun olduğu, Türkiye'nin önemli sanayi kuruluşlarını içinde bulunduran bir bölgedir. Bu bölge Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun ürettiği yıkıcı depremlerin etkisi altında olduğundan bölgenin deprem tehlikesi yüksektir. Bu nedenle depremlerin konumlarının (epicenter noktalarının) yüksek doğrulukla belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın amacı Batı Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş depremlerin konumlarının iyileştirilmesidir. Buna yönelik olarak bu bölge içerisinde yer alan ve 2005-2015 yılları arasında meydana gelmiş $M_L \geq 3.5$ üzerinde depremler incelenmiştir. Deprem verileri Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden (KRDAE) alınmıştır. Depremlerin konum ve derinlikleri, Waldhauser 2001 Double Difference-DD (çift farklar) programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Programa uygun formatta hazırlanan katalog verileri ph2dt ve hypoDD algoritmaları ile değerlendirilmiştir. Deprem kümelenmelerine göre alınan kesitler incelenmiş, konum ve derinliklerin hypoDD yardımıyla değiştiği gözlenmiştir.

Mayıs 2019, 62 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** hypoDD, Marmara Bölgesi, Deprem, Kuzey Anadolu Fay Zonu

# SUMMARY


**REFINEMENT of EARTHQUAKE LOCATIONS by USING DOUBLE-DIFFERENCE METHOD in the WESTERN MARMARA REGION**

**M.Sc. THESIS**

**Bengi Behiye AKŞAHİN**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Geophysical Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. A. Oğuz ÖZEL**

Marmara region involves high population, urbanization and most important industry companies in Turkey. This region is under the threat of the devastating earthquakes occured on the North Anatolian Fault Zone. Therefore, the earthquake risk of the region is high and the location of the earthquakes (hypocenter points) should be well determined. The aim of the study is to improve the locations of the earthquakes in the Western Marmara Region. For this purpose, the earthquakes with magnitudes $M_L \geq 3.5$ occured in 2005-2015were processed. Earthquake data were received from Kandilli Observatory Earthquake Research Institute. The locations and depths of earthquakes were evaluated by using the Waldhauser 2001 Double Difference-DD program. Catalog data prepared according to the program were evaluated with ph2dt and hypoDD algorithms. The cross sections taken according to the earthquake clusters and depths are examined changed with hypoDD. It is observed that the loactions of hypocenters are highly improved if compared with the previous determinations.

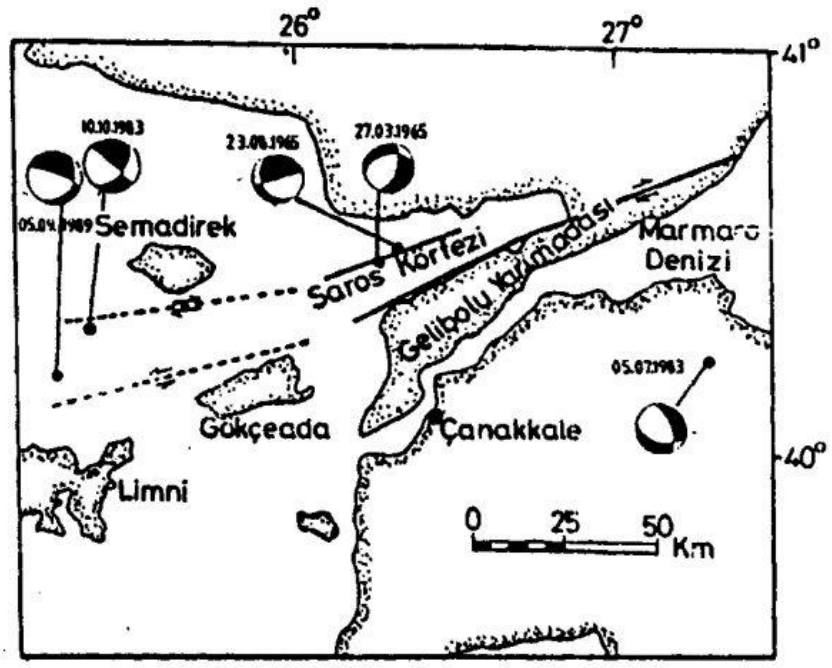
May 2019, 62 pages.



**Keywords:** hypoDD, The Marmara Region, Earthquake, North Anatolian Fault Zone

# 1. GİRİŞ

Marmara bölgesinde meydana gelen deprem aktivitesi birçok araştırmaya konu olmuş ve çeşitli çalışmalara yön vermiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu olarak (KAFZ) geçen, doğuda Karlıova'dan başlayarak, Marmara Denizi, Saros Körfezi ve Kuzey Ege Çukurunun güneyine kadar uzanan fay hattıdır. KAFZ'ın güney bloğu, doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile sınırlanır ve batıya doğru hareket eder. KAFZ üzerinde yer alan gerilme ve çöküntü alanları yanal atımlı faylardan oluşmaktadır. KAF'ın yüksek depremsellik ile ilişkisi; bir tektonik bölgeyi tanımlayan birkaç fay koluna ayrılması, Marmara Denizi içinden ve güneyinden geçmesi ve Ege Denizi'nin kuzeyine doğru batı yönlü ilerlemesi ile görülmektedir. (Crampin ve Evans 1986, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Barka 1992). Kuzey Anadolu Fay Zonu Ege Denizi'nin kuzeyinde kollara ayrılmaktadır. Kuzey kol, Sapanca-Gölcük-Çınarcık-Marmara Denizi'nden Saros Körfezine girmektedir. Orta kol, Geyve-Mekece-iznik Gölü'nün güneyi Gemlik Körfezine uzanmaktadır. Güney Kol ise Geyve-Yenişehir-Bursa-Biga Yarımadası hattıdır (Utkucu ve diğ. 2011). KAFZ Ege bloğu ve Avrasya arasında sınır olarak genişlemeye olanak tanır. Bu sonuca büyük depremler üzerinde yapılan fay düzlemi çözümlemeleri ile varılmıştır (Rosttein 1985, Taymaz ve diğ. 1991, Barka 1992). Buna istinaden Şekil 1.1'de Saros Körfezi'ne ait fay düzlemi çözümleri ve tektonik hatlar gösterilmiştir.




**Şekil 1. 1:** Saros Körfezi Havzasında meydana gelen depremlerin fay düzlemi çözümleri ve ilişkili tektonik hatlar (Taymaz ve diğ. 1991 ve Barka 1992)

Dünyada ve coğrafyamız üzerinde depremsellik ve fay incelemesine ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma da HypoDD olarak anılan "çift farklar" yöntemi kullanılarak Batı Marmara bölgesinde 2005-2015 yılları arasında meydana gelmiş Ml=3.5 ve üzeri büyüklükteki depremlerin HypoDD programı ile yeniden konumlandırılması ve deprem konumlarında iyileştirmelerin yapılması amaçlanmıştır. Kullanılan yöntemin yerel ve uluslararası çapta yapılan farklı depremler için kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır.

İlk yapılan çalışma programın geliştiricisi olan Waldhauser ve Schaff (2005) tarafından Çapraz ilişki ve Çift farklar yöntemleri kullanılarak Kuzey Hayward fayı, Kaliforniya'da büyük ölçekli 20 yıllık deprem verisinin yeniden konumlandırılması çalışmasıdır. Waldhauser ve Ellsworth (2000) yapmış oldukları çalışmada çok sayıda depremin çok geniş alanlardaki yer değişimini etkili biçimde eş zamanlı olarak sunmasına olanak sağlayan bu yöntemi kullanmış ve geliştirmişlerdir. P ve S dalgası seyahat zamanı farkından kaynaklanan çapraz spektral yöntemi birleştirerek seyahat zamanları farklarının katalog verisi ve rezidüel farkın minimize olduğu deprem çiftlerinin hypocenterları arasındaki fark ayarlaması yapılmıştır. Kaliforniya'da Kuzey Hayward fayı üzerinde oluşan depremleri kullanarak yöntem performansını ve model hatalarını geliştirerek örneklemişlerdir.

Dunn (2004) Doğu Tennessee sismik bölgesindeki fay yönelimlerini incelemiştir. HypoDD programında seyahat zamanı hatalarından doğru konumlandırmalara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Cooper (2007) Kaliforniya Caldera vadisinin tomografik çalışmasında iç merkez yerlerinin belirlenmesi ve çift farklar algoritması ile çift farklı tomografinin kullanılması çalışmanın amacı olmuştur.

Ma ve Eaten (2009) Doğu Kanada ve çevresindeki sismisite ve sismotektoniğinin araştırılması çalışması yapılmış ve çalışmanın sismolojik araştırmalarla yine hypoDD programından yararlanılmıştır.

Gammans (2013) tarafından Colorado platosu geçiş bölgesi deprem dizisi araştırması yapılmıştır.

Seaman (2014) geçiş bölgesi için stres alanı inversiyonu gelişimi ve fay yapılarının izole edilmesi üzerine odaklanılmıştır. Sonuca ulaşılırken de deprem konumlarındaki en iyi seti oluşturmak için çift farklar algoritması kullanılmıştır.

Pang (2014) yapmış olduğu çalışmada Charlevoix sismik bölgesinde deprem iç merkezlerinin yeniden konumlandırılmasını amaçlamıştır.

MA ve Eaton (2011) hypocenter konumlarındaki belirsizliği gidermek ve azaltmak için hypoDD programı bölgesel derinlik fazlı modelleme ile birleştirmişlerdir.

Prange, Bose, Kodio ve Djikpesse (2015) tarafından yapılan mikrosismik kaynak konumuna dair teorik yaklaşımın incelendiği çalışmada kaynaklar arasında Waldhauser (2000)'e ait çalışmanın yer aldığı görülmüştür.

Araya (2016) Costa Rica'daki dört sismik bölgenin değerlendirilebilmesi çift farklar deprem yeniden konumlandırma algoritmasının kullanıldığı görülmüştür.

Ramdhan, Widiyantoro, Nugraha, Metaxian, Saepuloh, Kristyawan, Sembring, Santoso, Laurin ve Fahmi (2017) hypocenter yeniden konumlandırma çalışması temelinde hypoDD algoritmasından yararlanmışlardır.

Buna benzer çalışmalar ülkemizde de yapılmıştır.

Çetin (2010) tarafından yapılmış olan çalışmada fay geometrisine dair güvenilir sonuçlar elde etmek, konum ve derinliğe ait bilgilerdeki hataları en aza indirilmesi için hypoDD programından yararlanılmıştır.

Çıvgın (2010) çalışma içerisinde birden farklı amaçla ilerlemiştir. Başlangıçta belirlenmiş deprem konumları için çift farklar yöntemi ile iyileştirilme yapılırken bir boyutlu hız modelinden de yararlanmıştır.

Demirci (2013) Simav bölgesinde deprem dağılımı ve deprem sonrasında meydana gelen değişimleri inceleme amaçlı çalışmada da yine hypoDD programından yararlanmıştır.

Eskiköy (2014) tarafından Gökova körfezi için çift farklar yöntemi kullanılarak hazırlanmış bir çalışma mevcuttur. Bu çalışma da Gökova Körfezi'nin aktif fay yapısının çıkarılması ve bölgeye ait depremlerin yeniden konumlandırılması hedeflenmiştir. Temel olan kontrol parametrelerinin belirlenerek incelemeler sonuçlandırılmıştır.

Hocaoğlu (2015) Kilikya bölgesinin aktif yapısının belirlenmesinde çift farklar yöntemine yer vermiştir. Bölgenin deprem konumlarına ilişkin çözünürlüğün arttırılmasına yönelik çalışmanın içeriğinde aktif yapıların belirlenmesi çalışılmıştır.

Demirci, Özden, Bekler, Kalafat ve Pınar (2015) Simav fayının karakterini çevreleyen belirsizliklerin ortadan kaldırılmasını amaçlayan çalışmada çift farklar yöntemi çalışılmıştır.

Can (2017) Marmara denizinin güney kısmına ilişkin yapmış olduğu çalışmasında; çift farklar algoritmasını kullanarak deprem bölgelerinin doğru tanımlanmasını araştırmıştır.

Temel de kullanılan program HypoDD deprem konumlarını yeniden hesaplayan fortran program paketidir. Deprem konumları algoritması genel olarak Geiger metoduna dayanır. Geiger metodu, deprem konumu için en küçük kareler yönteminin yinelemelerini içerir. Seyahat zamanları arasındaki farkı birinci dereceden Taylor serisi denklemi ile gözlenen ve öngörülen seyahat süresine göre bilinmeyen kısmi türevle koordinatların linearizasyonudur (hypoDD -- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations, hypoDD version 1.0 - 03/2001 by Felix Waldhauser).

# 2. GENEL KISIMLAR

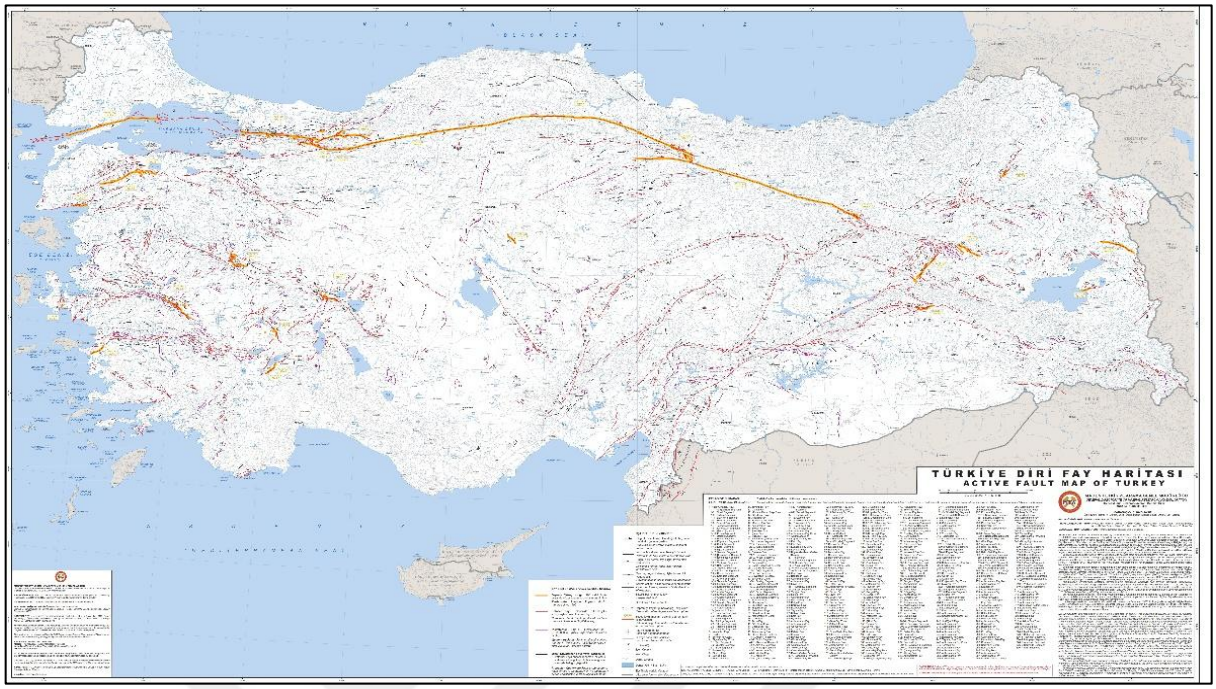
## 2.1.Çalışma Alanı Tektoniği ve Depremselliği

Çalışmanın amacı Batı Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş depremlerin konumlarının iyileştirilmesine yönelik olduğundan bu bölge içerisinde yer alan ve 2005-2015 yılları arasında meydana gelmiş $M_L \geq 3.5$ üzerinde depremler incelenmiştir. Bu bağlamda, bölge genel olarak ele alındığında Kuzey Anadolu Fay Sisteminin devamı olarak Ege Denizi içerisinde yer aldığı düşünülmektedir. Öncelikli olarak KAFZ hakkında genel bilgilere değinilecek ve asıl çalışma alanının depremselliği ile birlikte tektoniği de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

## 2.2. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Genel Özellikleri

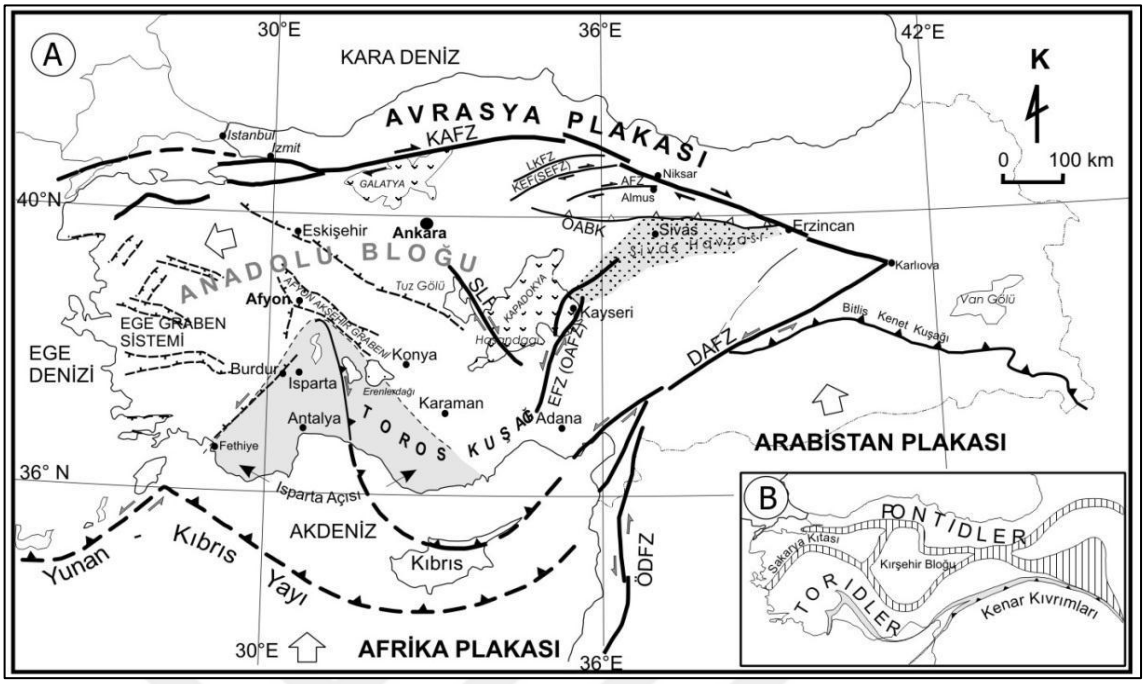
Kuzey Anadolu Fay Zonu hakkındaki bilgilerin varlığı uzun zamandır süre gelen incelemeler sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışmaların başlıcaları Nowacks (1928), Salomon-Calvi (1936, 1940) ve Pamir (1948) tarafından yapılmıştır. Yapılan araştırmalar KAFZ'nun orojenik yapıda olduğunu ve Pavoni (1961) yayınlamış olduğu makaleye göre, sahip olduğu yatay hareketinin Alpin orojen sisteminde jeotektonik önemini vurgulamıştır. KAFZ, doğrultu atımlı aktif bir fay olmasının yanı sıra birçok kayma düzleminden oluşmaktadır. Ketin (1948), Türkiye'nin kuzeyi boyunca meydana gelmiş depremleri incelediğinde ortaya çıkan yapıların bölgenin orojenik yapısıyla ilgi olmadığını ileri sürmüştür. Orta ve Batı Anadolu'nun yani fayın güneyinde bulunan bloğun batıya hareket ettiği yapılan incelemelerle ortaya konmuştur. Bunu kanıtlar nitelikte olan ve hareketin sağ yanal olarak meydana geldiği, sonraki yıllarda da yapılan çalışmalarla desteklenmiştir (Barka, 1992; Şengör ve diğ., 2005). Alpin sisteminde yer alan ve binlerce kilometreyi geçen doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır. Kaliforniya'da San Andreas fayı ve Meksika'da Baja, Califomia'daki Agua Blanca fayı bunlara örnektir. Ketin ve Roesli (1953), San Andreas ve Kuzey Anadolu Fay zonlarının birçok yönden birbirine benzediğini belirtmişlerdir. Her iki fay zonu da sağ yönlü doğrultu atımlı fay ve transform fay niteliğinde olup yaşları ve boyları yönünden de yaklaşık aynı değerlere sahiptirler. KAFZ sahip olduğu özellikler ele alındığında, yaklaşık olarak 1500 km uzunluğunda ve 0.1 km ile 10 km arasında genişliğe sahip olan birçok parçadan oluşan bir fay

zonudur. Ketin (1969)'e göre KAFZ detaylı bir şekilde şöyle tanımlanmıştır; batıda, Biga yarımadasında Yenice batısında Saroz körfezinden başlayarak Gönen'in yakın doğusuna kadar uzanmakta, Manyas gölü güney kıyısını takip ederek, Mustafakemalpaşa istikametinde ilerlemektedir. Buradan Mudurnu vadisinde Dokurcun yakınlarına kadar bir ara verdikten sonra, bu vadiyi yukarı doğru takip etmekte, Abant gölü kuzey kenarından, Abantayağı deresinden, Bolu'nun 5 km güneyinden, Yeniçağ ve Gerede içerisinden, İsmetpaşa istasyonundan geçerek Soğanlı vadisinde ilerlemekte, Boyalı güneyinden Bayramören'den Ilgaz ve Tosya kuzeyinden, Ilgaz masifi içerisinden geçerek Kargı istikametinde uzanmaktadır. Kargı'dan sonra fay hattı Avlağı'ndan geçmekte, oradan Soruk vadisini takip ederek Vezirköprü güneyinden, Havza'nın yakın kuzeyinden geçerek Samsun-Amasya demiryolunu kesmekte ve oradan Ladik ovasının kuzey kenarı boyunca ilerleyerek Destek boğazına girmekte, Destek bucağından, Taşova ve Erbaa kuzeyinden devam ederek Niksar'a kadar uzanmaktadır. Niksar'ın 12 km güneyinde Kelkit vadisine girmekte ve batıya doğru Ezinepazar'a kadar devam etmektedir. Doğu istikametinde ise, Kelkit çayına paralel olarak Reşadiye içerisinden, Koyulhisar'ın güneyinden, Suşehri ve Refahiye'nin kuzeyinden geçerek Erzincan ovasına ulaşmaktadır. Ovanın kuzey kenarını takip ederek Sansa boğazına vararak, Fırat nehrini keserek Elmalı deresi vadisine girmektedir. Vadi boyunca ilerleyerek Karlıova'nın yakın kuzeyine kadar uzanmaktadır. KAFZ'nun yaşı ile ilgili Pavoni(1961) fayın Erken Tersiyer yaşlı, (Ketin, 1976) fay hattı üzerinde yer alan havzalardan yola çıkarak Miyosen'den sonra oluştuğunu söylemiştir. Genel görüş ise KAFZ'nun Geç Miyosen ile Erken Pliyosen arasında oluştuğudur (Barka, 1992).




**Şekil 2. 1:** Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğ., 1992).

Şekil 2.1' de görüldüğü gibi Türkiye üzerinde yer alan diri fay haritası verilmiştir. Harita da gösterilmiş olan KAFZ üzerinde yapılan jeolojik çalışmalarda doğudan batıya doğru farklı aralıklarla değişmekte olan atımlar vardır. Bunlar fayın doğusundan itibaren 85±5 km, batı da 20±5 km olarak belirtilmiştir. Barka (1992) ve Westaway (1994) göre fayın yıllık hareket hızı yılda 5-10 mm ve 17±2 mm olarak bulunmuştur.




**Şekil 2. 2:** a) Türkiye'yi çevreleyen levhalar ve ana tektonik çizgisellikler ve b) tektonik birlikler. KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; TGF, Tuz Gölü Fay Zonu; KEF, Kırıkkale–Erbaa Fay Zonu; AF, Almus Fay Zonu; EFZ, Ecemiş Fay Zonu; OABK, Orta Anadolu Bindirme Kuşağı; ÖDFZ, Ölü Deniz Fay Zonu (Tatar ve diğ., 2003).

Ana yapı üzerinden belirlenmiş olan üç tektonik bölge ise;

1. Kuzey-Güney yönlü sıkışma ile deforme olan, Karlıova'nın doğusunda KAFZ ve DAFZ'nun kesiştiği ve Bitlis Zağros kenet kuşağının kuzeyinde yer alan bölge Doğu Anadolu sıkışma ana tektonik bölgesi olarak adlandırılmaktadır.

2. Kuzey-Güney yönlü gerilme etkisinde olan, Isparta üçgeninin batısında kalan bölge Batı Anadolu genişleme ana tektonik bölgesi olarak adlandırılmaktadır.

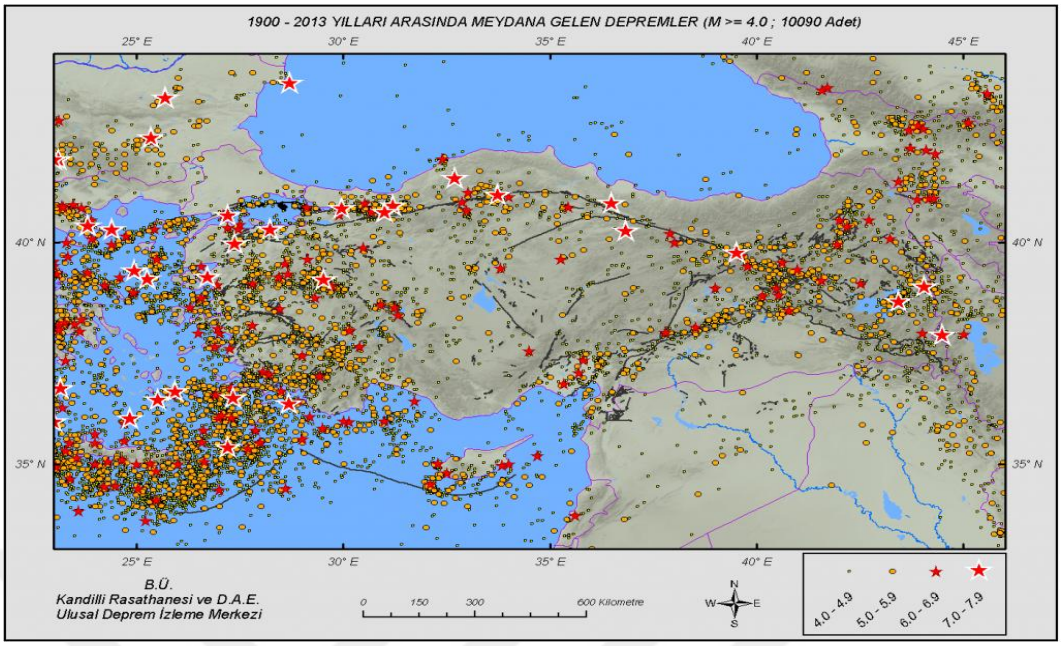
3. Kuzeyde KAFZ, güneydoğuda DAFZ ve Karlıova batısında kalan bölge ise Orta Anadolu Ovalar ana tektonik bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Ege graben sisteminin doğuya doğru zayıflayan ve gerilme kökenli havzalardan meydana gelmiş oblik faylarla sınırlı bölgedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu doğudan batıya doğru uzanımında Karlıova'dan Tokat'a kadar net olarak gözlenmektedir. Ancak gözlenemediği noktadan itibaren meydana gelen depremler KAFZ'da genel olarak bilinen doğrultu atımlı fay olma özelliğinden farklı olarak bindirme bileşenlerini kapsamaktadır (MC Kenzie, 1972). KAFZ Karlıova'dan Erzincan'a kadar süreklilik göstermektedir ancak Erzincan yakınlarında kuzeye doğru yaklaşık 10 km sıçrama

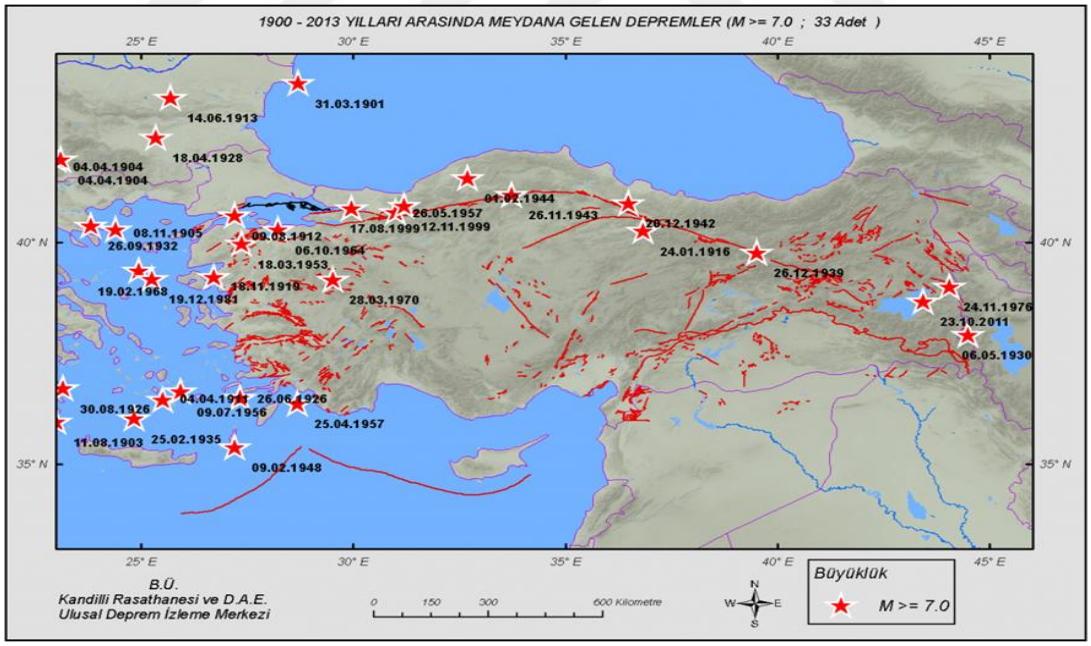
yapmıştır. Bu nedenle çek-ayır havzası özelliğinde Erzincan ovası oluşmuştur. Çek-ayır havza özelliğinde diğer havzalar Niksar havzası ve Taşova-Erbaa havzasıdır. Bölgenin devamında Reşadiye'ye kadar fay zonu yine süreklilik göstermekte olup fayın sahip olduğu karakteristik özellik olarak da çökelme göllerden, deformasyona uğramış akarsu vadilerinden, fay dikliklerinden oluşmaktadır. Reşadiye kuzeyinde yeni bir kol daha oluşmakla birlikte bu bölgede kuzey ve güney kollar arasında bir kol daha oluşturmaktadır.

KAFZ batıya doğru ilerledikçe Mudurnu batısında iki kola ayrılmaktadır, bu fayın kuzey kolu İzmit-Sapanca gölü grabeninden girer - fay bu bölgede morfoloji olarak horst ve graben özellikleri göstermektedir - ve Ganos Dağı güneyinde Marmara Denizinin batısında kaybolur. Fayın kuzey kolu olan Ganos dağı ile Saros körfezine doğru fay doğrultu atımlı olarak kendini göstermiştir. KAFZ batıya yaklaştıkça iki kola ayrılmaktadır. Marmara Denizi içine giren kuzey kolu bu fay hattının en aktif bölümüdür ve 1999 Marmara depremleri de bu aktif bölümde oluşmuştur. Fayın güney kolu Marmara Denizi'nin güney sınırını oluşturmakta ve fay güneybatı yönünde bükülerek Ege Denizi içinde devam etmektedir. Marmara Denizini kuzey ve güneyden sınırlayan ve dik yamaçlardan oluşan batimetrik yapılar mevcuttur. Kuzey de yer alan kısım İzmit Körfezinden girerek Trakya da yüzeylenir ve Ganos Fayını oluştururken, güneydeki kısmı İzmit Körfezinin güney kenarını sınırlayacak şekilde D-B (doğu-batı) yönünde uzanmıştır.

KAFZ üzerinde depremsellik açısından tarihi büyük depremler bulunmaktadır.




**Şekil 2. 3:** 1900-2013 yıllarında Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin depremsellik haritası (URL-1).




**Şekil 2. 4:** 1900-2013 yıllarında Türkiye genelinde ve yakın çevresinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin haritası (URL-1).

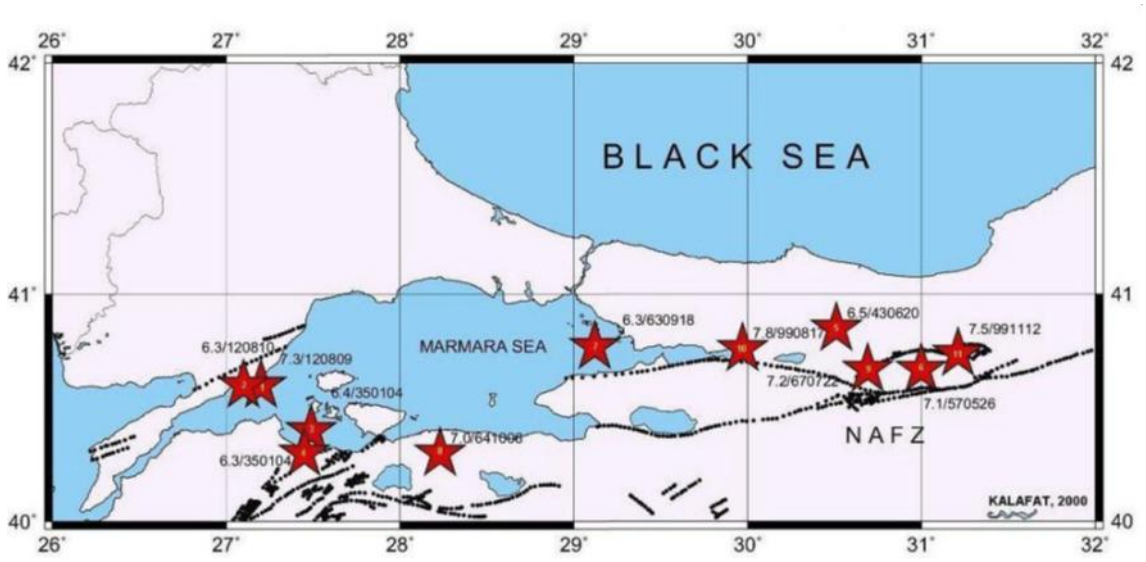
Şekil 2.3 ve 2.4'de gösterilmekte olan Türkiye deprem haritaları mevcuttur. Harita zamanları ile gösterilen ve $M \geq 7.0$ olan depremleri doğudan batıya can ve mal kaybına neden olanları sıralarsak Tablo 2.1 elde edilmektedir.

**Tablo 2.1:** $M \geq 7.0$ can ve mal kaybına neden olan depremlerin sıralanışı.

| TARİH | SAAT | LOKASYON | BÜYÜKLÜK |
|---|---|---|---|
| 09/08/1912 | 01:29:00.00 | Tekirdağ Şarköy | M=7.3 |
| 24/01/1916 | 06:55:15 | Niksar | M=7.1 |
| 26/12/1939 | 23:57:21 | Erzincan | M=7.9 |
| 20/12/1942 | 16:03:07 | Tokat/Erbaa | M=7.0 |
| 26/11/1943 | 22:20:41 | Samsun/ Ladik | M=7.4 |
| 01/02/1944 | 03:22:40 | Gerde/Çerkeş (Bolu) | M=7.2 |
| 18/03/1953 | 21:06 | Yenice(Çanakkale) | M=7.2 |
| 26/05/1957 | 06:33:35 | Düzce/Gölyaka | M=7.1 |
| 17/08/1999 | 03:02:00 | Gölcük (Kocaeli) | M=7.4 |
| 12/11/1999 | 18:57:00 | Düzce/Kaynaşlı | M=7.2 |

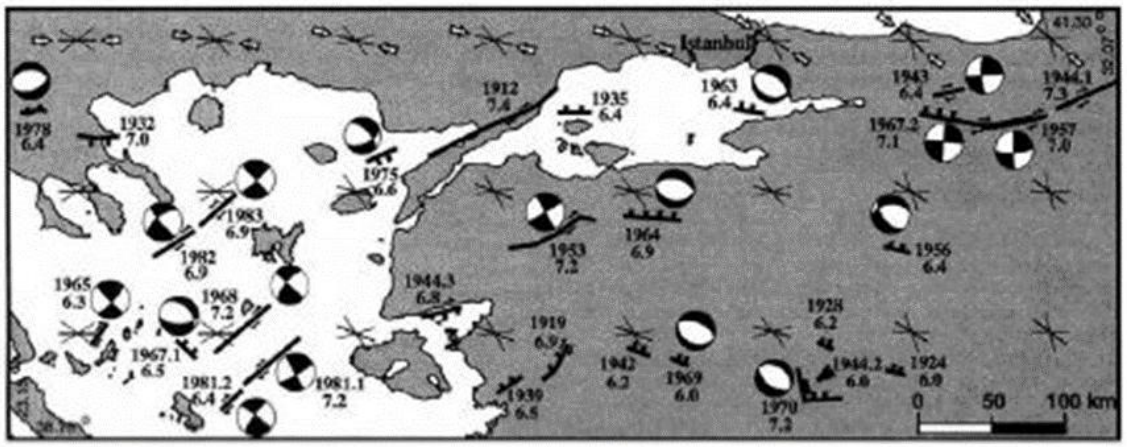
### 2.2.1 Batı Marmara ve Saros Körfezi depremselliği ve tektoniği

Kuzey Anadolu Fay Zonu genel özellikleri ve tektoniği açısından ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ancak KAFZ Mudurnu'nun batısında kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılmaktadır. KAFZ'nun kuzey kolu İzmit Körfezi'ne kadar uzanıp Marmara Denizi'nden geçerek Ganos Fay'ına bağlanmakta ve Saros Körfezi'ne kadar uzanarak Kuzey Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Ganos dağı ve Saros Körfezi arasında yer alan kol sürekli bir doğrultu atımlı fay özelliği göstermektedir. Kuzey kol genel anlamda KAF'ın karakteristiğini taşıyarak Saros Körfezi'ne devam etmektedir. KAFZ'nun güney kolu ise İznik Gölü'nün güneyinden geçerek Gemlik Körfezi'ne ulaşmaktadır (Kalafat, 2011 ). KAFZ üzerindeki batı kesimde aktif rol oynayan Marmara denizinden geçen kuzey kol üzerinde çok sayıda depremler meydana gelmiştir. Şekil 2.5'de Marmara bölgesinde 1900-2000 yılları arasında meydana gelmiş M>6 depremler gösterilmektedir.



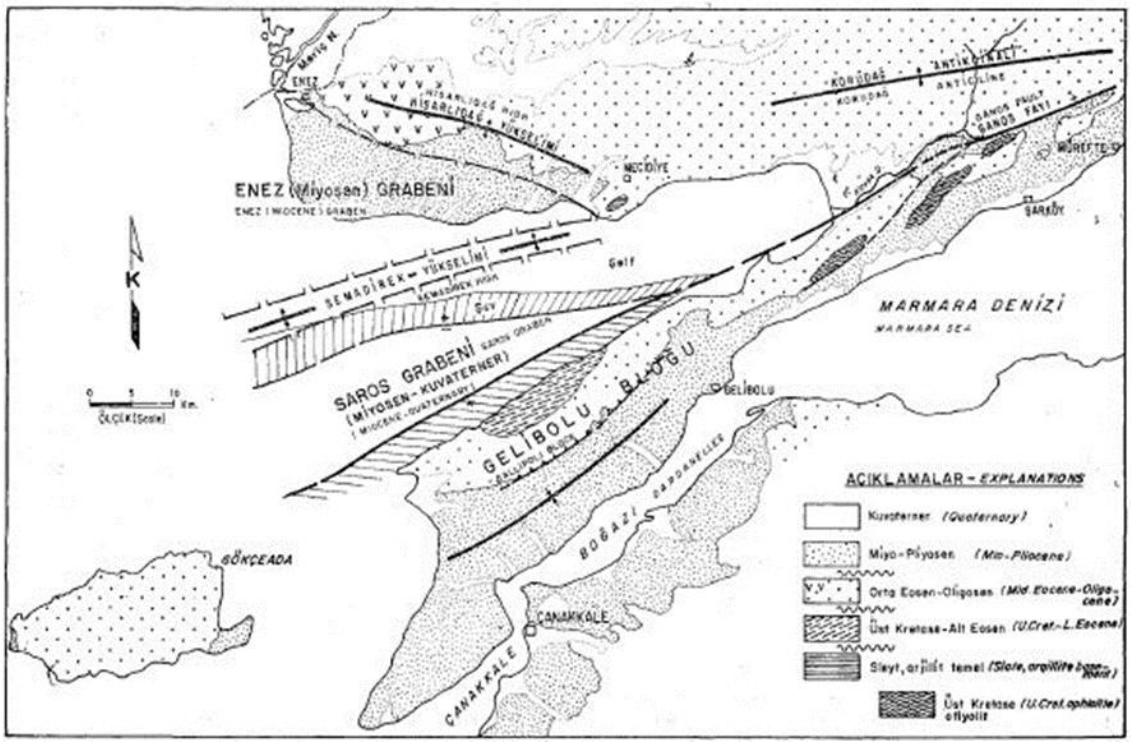

**Şekil 2. 5:** Marmara Bölgesinde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler (1900-2000; M>6.0; Kalafat 2000)

Marmara denizinden geçerek Kuzey Ege Denizi'ne kadar ulaşan KAFZ'nun bu bölgede de aktif olduğu, depremler ve yapılan çalışmalar ile gözlenmiştir. Bunlardan özellikle Ege Denizi'nde 24 Mayıs 2014 yılında Gökçeada açıkları – Çanakkale'de meydana gelen Ml:6.5 depremi ile dikkatler fay hattının bu bölgesi üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır. Konuyla ilişkili yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemlere geçmeden önce bu depremin gerçekleştiği bölge hakkında tektonik ve depremselliğe ilişkin bilgiler derlenmiştir. Şekil 2.6'da Çanakkale ili ve çevresinde gerçekleşmiş tarihsel depremlerin haritası verilmektedir.




**Şekil 2. 6:** Çanakkale ili ve çevresinde meydana gelmiş bazı depremler ve odak mekanizması çözümleri (Nalbant vd., 1998).

Şekil 2.6'da gösterilmekte olan depremlerin büyüklükleri M>5'dir. Saros havzası tektonik olarak kuzey sınırları boyunca normal fay sistemleri ile sınırlanmış yarı graben özelliğindedir (Le Pichon ve diğ. 1984). Faylar Saros çukurunun DKD (doğu-kuzeydoğu) uzanımı boyunca devam etmektedir ve çukurun farklı bölümlerinde farklı yönlerde eğim göstermektedir. Saros çukurunun batı bölümünde GD (güneydoğu) eğimli, Gelibolu yarımadasının kuzey kıyısı boyunca KB (kuzeybatı) eğimli ve Marmara Denizi'nin batısındaki derin kıyı ötesi havzanın KB kenarı ile sınırlı Ganos Dağı boyunca GD eğimlidir (Sarı ve diğ. 1995). Şekil 2.7 üzerinde Saros grabeni ve çevresinde yer alan fay düzlemlerini ve çökelme istifleri yer almaktadır.

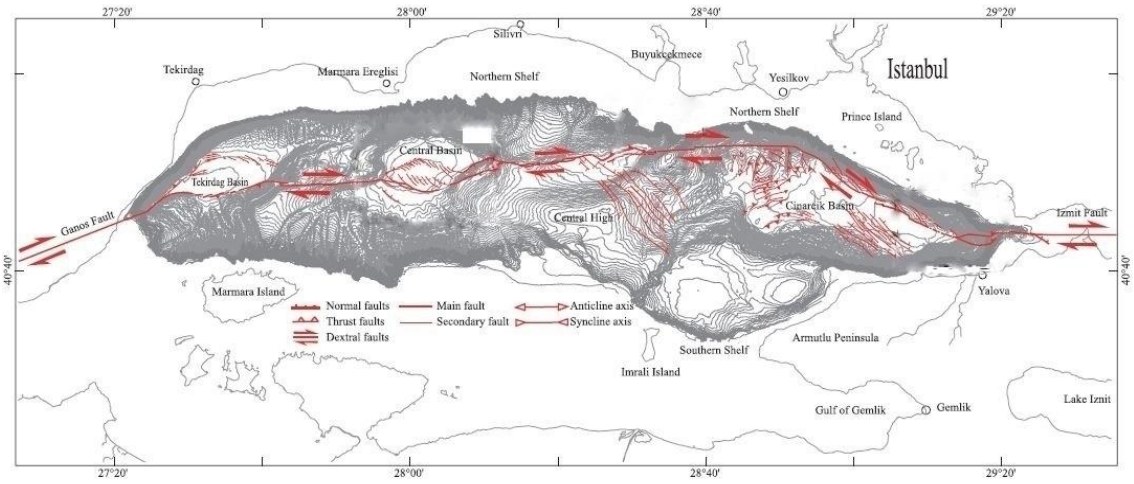



**Şekil 2. 7:** Saros Körfezi ve çevresinin çökelme istifleri (Sarı ve diğ. 1995).

Saros Körfezi ve dolayında beş ana yapısal unsur saptanmıştır: 1. Hisarlıdağ yükselimi, 2- Enez grabeni, 3. Semadirek yükselimi, 4- Saros grabeni, ve 5. Gelibolu bloğu. Bahsedilen her iki yükselim ve Gelibolu bloğu Miyosen öncesi oluşmuş antiklinal yapılardır. Enez ve Saros grabenleri ise Miyosen ve sonrasında bu antiklinaller arasındaki senklinallerde gelişmişlerdir. Miyo-Pliyosen istifi, yükselimleri transgressif aşmalı olarak örter. Enez grabeni, Miyosen ve sonrası çökellerle doldurulmuş fakat Saros grabeninde hareketler günümüze dek aktivitesini sürdürmüştür (Saner S., 1985).

Bu bölge üzerinde yalnızca sismolojik açıdan değil gravite, manyetik, sismik ve ısı akısı olmak üzere farklı inceleme ve çalışmalar yapılmıştır. Sarı ve diğ. 1995'de yapmış oldukları çalışmaya göre; Saros havzası, Kuzey Ege çukuru ve KB Türkiye ile aynı uzanıma sahiptir ve bu uzanımlar Doğu Makedonya ile Trakya'da gözlenen uzanımlarla eşdeğerdedir.

Saros Körfezi, genişleme ve yanal atımlı fayların etkisinde oluşmuş çek-ayır havzasıdır ve Ganos Dağı fayı ile Marmara Denizi'nden ayrılmıştır. Bu bölgede güneyden kuzeye doğru çökme daha fazladır (Sarı ve diğ., 1995).

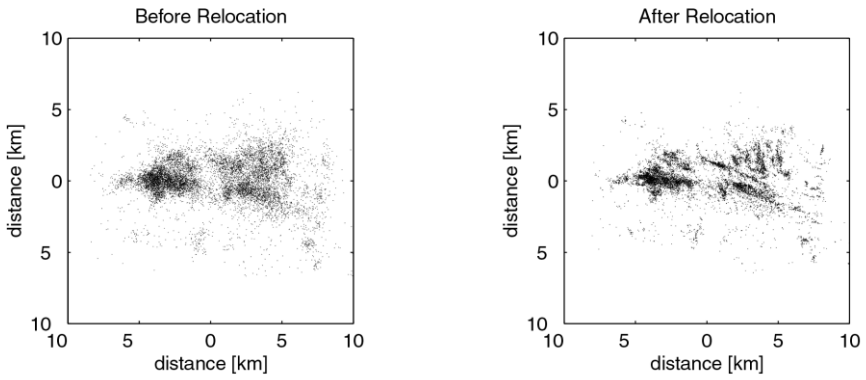



**Şekil 2. 8:** Çalışma alanı Marmara Denizindeki ana fayın ve Ganos Fayının gösterimi ( Pichon ve diğ. 2003)

# 3. YÖNTEM

HypoDD, Waldhauser ve Ellsworth (2000) tarafından geliştirilen göreceli çift farklar yeniden konumlandırma yöntemidir. Bu yöntem bir fortran program paketi olarak deprem konumlarını yeniden hesaplar. Genellikle Geiger metodonu temel alan deprem konum algoritmaları birinci dereceden seyahat süresi denklemi Taylor serileri ile doğrusallaştırılır. Taylor serileri gözlemlenen ve tahmini seyahat zamanı arasındaki farklara bağlı olarak hypocenter koordinatları üzerinden ilişkilendirilen seyahat süresinin kısmi türevidir (hypoDD -- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations, hypoDD version 1.0 - 03/2001 by Felix Waldhauser). HypoDD farklı olaylar için kaydedilen istasyonlardaki seyahat zamanları farklarını minimize ederek konum hatalarını azaltır. HypoDD, P ve S dalgalarının diferansiyel zamanları, katalog seyahat zamanları arasındaki farkları depremlerin geliş ve gecikme zamanları arasındaki çapraz ilişkisinden bulunur. İçerikte kullanılan çeşitli matematiksel işlemlerle vektör farkı ayarlama veya kısmi türevler gibi hesaplamalar Waldhauser ve Ellsworth algoritması ile bulunabilir.

Çift farklar denklemleri, deprem konumu için Geiger'in eşitliği farkıyla oluşturulur. Bu yolla ana istasyondaki iki olay arasındaki gözlenen ve hesaplanan seyahat zamanı farkları her olaydaki seyahat zamanı hareketine bağlı olarak orijin zamanı ile hypocenterda gözlenen göreceli konumu ile ilişkilidir. Her istasyondaki deprem çiftleri için çift fark rezidüeli, tekil değer ayrıştırma yöntemi (TDA) veya eşlenik gradyanlar yöntemi kullanılarak ağırlıklı en küçük kareler ile en aza indirilir. Depremlerin konum problemi, çift fark denklemi kullanılarak doğrusallaştırıldığında, ortak mod hataları, esas olarak alıcı ile ilgili olanlar kısımları iptal edilir.




**Şekil 3. 1:** Çift farklar yöntemi kullanılarak yapılmış örnek bölgeye ait konum incelemesinin öncesi ve sonrası (Waldhauser, 2001).

Çift farklar tekniği, deprem kataloğundaki olağan faz piklerinin herhangi bir kombinasyonunu veya yüksek hassasiyetli P ve / veya S dalgalarının faz korelasyonunun seyahat zamanını kullanmasına olanak sağlar.

HypoDD deprem yeniden konumlandırması yaparken iki adımda süreci uygular. İlk adım katalog faz verisi ve/veya deprem çiftleri için seyahat zamanı farkından yola çıkarak dalga formu verisi analizlerini içerir. İkinci adım ise, birinci adımda ki seyahat zamanı verileri çift farklar hypocenter konumları kestiriminde kullanılır.

HypoDD de kullanılan tüm veriler ortak istasyonlardaki deprem çiftleri için seyahat zamanı farklılıklarını kullanır. Bu veriler hemen hemen her sismik ağ tarafından deprem kataloglarından sağlandığı gibi dalga formlarının çapraz korelasyonundan da elde edilebilir. (Poupinet ve diğ., 1984). Her iki durumda da olaylar arası seyahat zamanı farkları için en küçük kareler çözümünde stabilizasyonu sağlamaya ve olaylar arasındaki bağlantıyı optimize etmeye ihtiyaç duyar. Hazırlanan katalog dosyası içindeki P-S faz verilerini işleyen ve 'hypoDD' için girdi dosyası haline dönüştüren bir program olan 'ph2dt' mevcuttur. Ph2dt, ana istasyonlardaki P ve S fazlarının her olaydaki seyahat zamanı bilgilerini ve bu verilerin alt örnekleri için faz çiftlerinin kalitesini en uygun hale getirerek olaylar arasındaki bağlantıyı araştırır.

Dalga formlarının dayandığı geliş zamanı ölçümlerini elde etmek için mevcut çeşitli tekniklere başvurulur ( Poupinet ve diğ., 1984; Dodge, 1996; Schaff ve diğ., 2005). Bu veriler hypoDD katalog verileriyle kolayca birleştirilebilir ve / veya yüksek hassasiyetli P ve/ veya S

dalgalarının faz korelasyonu ile seyahat zamanı farkları kullanılır (çapraz ilişki verileri). Çift farklar yöntemi olarak geçen algoritma temel de deprem konumlarını göreceli olarak belirleme de kullanılır. Ancak bunun için iki aşamalı uygulama gerekmektedir. Bu aşamalardan ilki ph2dt programı ile önceden belirlenmiş ve hazırlanmış olan veri giriş faz dosyasından (katalog verilerinden) deprem çiftlerinin oluşturması, ikinci aşama da ise hypoDD programı kullanılarak yeniden konumlandırma işleminin yapılmasıdır.

Çift farklar algoritması kullanılmasının nedeni, herhangi bir istasyonda kaydedilen ve seyahat zamanı farklarının minimize edilmesi istenen deprem çiftlerinin olmasıdır. Hypocenter konumlarının mutlak doğruluğu birçok faktör tarafından kontrol edilir. Bunlar ağ geometrisi, mevcut fazlar ve bu fazların geliş zamanlarının okuma doğruluğu ve kabuk yapısı bilgisi gibi ( Pavlis, 1986; Gomberg ve diğ., 1990). HypoDD, fazların kaydedildiği geçerli hypocenter istasyonları için tabakalı hız modelinde seyahat zamanlarını hesaplar.

İstasyon veya kaynak terimlerinin konum prosedürünü içeren hız değişimleri kısmen hesaplanabilir (Douglas, 1967; Pujol, 1988; Hurakawa ve Imoto, 1993; Shearer, 1997) veya hypocenter ve hız yapıları için seyahat zamanı verileri birleşik ters çözümü uygulanır (Crosson, 1976; Ellsworth and Kirkman, 1977; Roecker, 1981; Thurber,1983; Michael, 1988; Kissling ve diğ., 1994). Eğer iki deprem arasındaki hypocenter dağılımı olay-istasyon arasındaki mesafeden ve hız heterojenliğinin ölçek uzunluğuna kıyasla küçükse, kaynak bölge ile ortak istasyon arasındaki ışın yolları neredeyse tüm ışın yolu boyunca benzerdir. Bu durumda, bir istasyonda gözlenen iki olay için seyahat sürelerindeki fark yüksek doğrulukla olaylar arasındaki ofsetle ilişkilendirilebilir. Bunun nedeni, ışın yollarının kaynaklarda farlılık gösterdiği küçük bölge dışında kalan hataların tümünün kökeninin ortak olmasıdır. Dalga formlarının çapraz ilişki yöntemi kullanılarak göreceli geliş zamanı okumalarının doğruluğu konum hassasiyetiyle geliştirilebilir. Ancak yapmış olduğum bu çalışmada çapraz ilişki yöntemine gerek duyulmamıştır. En yakın istasyonda benzer dalga formları üreten iki deprem için eğer kaynak mekanizmaları hemen hemen birbirleriyle aynı ve kaynakları eş konumluysa ışın yolları boyunca hız heterojeniteleri nedeniyle sinyal saçılması küçüktür. Dalga formlarındaki benzerlikler frekans alanında da kullanılabilir (Poupinet ve diğ., 1984) veya zaman alanında (Deichmann ve Garcia-Fernandez, 1992) yüksek doğrulukla zaman kayması elde edilir. Her iki teknik de seyahat zamanları farkı ölçümlerinden göreceli konumları elde etmek için yaygın olarak kullanılır.

Got ve diğ. (1994) tüm olay çiftleri ve lineer eşitliklerin çapraz ilişki gecikme zamanını belirleyerek en küçük kareler yöntemiyle çözümleyerek hypocenter dağılımlarını saptar (Frechet, 1985). Çünkü sadece çapraz ilişki verileri dikkate alınarak birbirleriyle ilişkilendirilemeyen kümeler yeniden konumlandırılamaz.

Çift farklar algoritması ile deprem konumları için bazı bağıntılardan faydalanılır. Herhangi bir depreme ait istasyona geliş zamanını veren bir bağıntı bulunur. Bağıntı (3.1)'de geliş zamanı T, bir deprem için i, sismik istasyon k, ışın teorisi yol boyunca ışın integrali ile ifade edilir.

$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \tag{3.1}$$

Her hangi bir olayın orijin zamanı τ olduğunda, u yavaşlık alanı, ve ds yol uzunluğu elemanı olarak gösterilmektedir. Seyahat zamanı ve olayın konumu arasındaki lineer olmayan ilişki nedeniyle, Taylor serisi açılımı (Geiger, 1910) genel olarak eşitliği doğrusallaştırmada kullanılabilir.

$$.\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i = r_k^i \tag{3.2}$$

$$r_k^i = (t^{obs} - t^{cal})_k^i \tag{3.3}$$

Bağıntı (3.2)'de her bir deprem için, i, $r_k^i$ teorik seyahat zamanı ile ilgilidir ve sırasıyla $\Delta m^i = (\Delta x^i, \Delta y^i, \Delta z^i, \Delta \tau^i)$ model parametrelerinde değişimler gözlenir. Bağıntı (3.3)'de ise hesaplanan ($t^{cal}$) ve gözlenen ($t^{obs}$) seyahat zamanları arasındaki fark ifade edilmiştir. Her bir deprem için elde edilen geliş zamanları ile hesaplananlar arasındaki farklar en küçük kareler yöntemi kullanılarak değerler elde edilir ve iteratif olarak deprem konumları bulunur. Ölçülen geliş zamanları beraber kullanıldığında bağıntı (3.2) uygun olur. Bununla birlikte, çapraz ilişki yönteminde olaylar arasındaki seyahat zamanı farkları ölçümleri, , $(t_k^i - t_k^j)^{obs}$, ve bağıntı (3.2) sonuçlarda olduğu gibi doğrudan kullanılamaz.

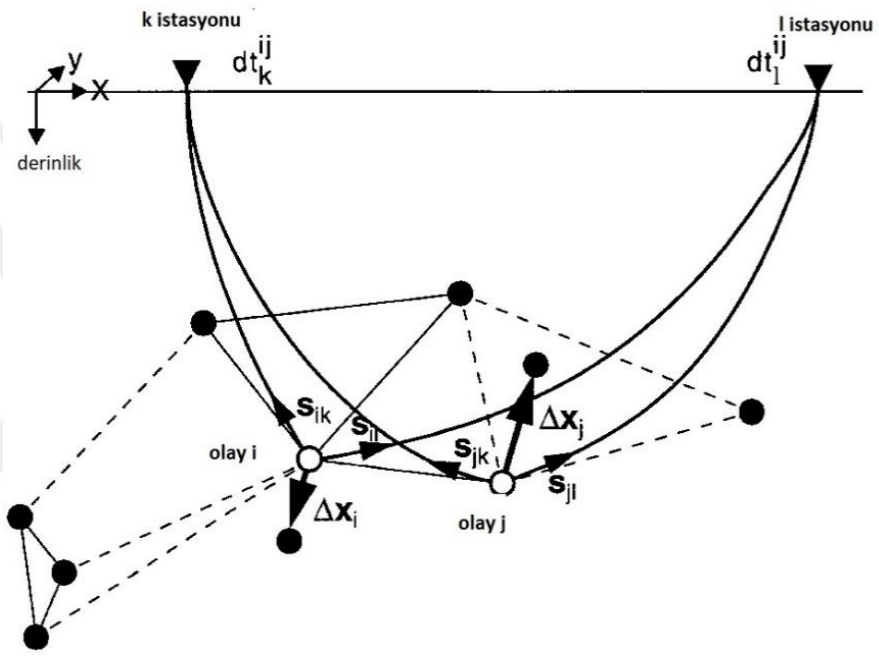
$$\frac{\partial t_k^{ij}}{\partial m} \Delta m^{ij} = d\mathrm{r}_k^{ij} \tag{3.4}$$

$\Delta m^{ij} = (\Delta dx^{ij}, \Delta dy^{ij}, \Delta dz^{ij}, \Delta d\tau^{ij})$ eşitliği kaynak ve alıcı ölçümleri arasındaki yavaşlık vektörünün bileşenlerinden t'nin m'ye göre kısmi türevi iki olay arasındaki göreceli hypocentral parametrelerinin değişimi olarak gösterilir. (Aki ve Richards, 1980). $d\mathrm{r}_k^{ij}$ eşitlik

(3.4)' de gözlenen ve hesaplanan diferansiyel seyahat zamanı arasındaki fark iki olay arasında,

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - \mathrm{t}_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \tag{3.5}$$

gibi tanımlanabilir.




**Şekil 3. 2:** Çift farklar algoritması örneği, açık ve kapalı daireleri örnek olarak tasvir edilen hypocenterlar, çapraz ilişki (düz çizgiler) veya katalog (kesikli çizgiler) verileri olaylar arasındaki bağlantıyı gösterir. İki olay için i ve j, ilk konum (açık daireler) ve uygun yavaşlık vektörleri, s, iki istasyonu, k ve l, gösterir. Işın yolları kaynaktan istasyonlara kadar belirtilmekte. Kalın oklar ($\Delta x$) i ve j olayları için yeniden konumlandırma vektörleri belirlenip (3.6) bağıntısı elde edilir ve eşitliğin tanımıda dt, seyahat zamanı farklarını, i ve j ise olaylar ile k ve l' de istasyonları gösterir.

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m}\Delta m^i - \frac{\partial t_k^i}{\partial m}\Delta m^j = dr_k^{ij} \tag{3.6}$$

Bağıntı (3.6) açık şekilde yazıldığında;

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial x}\Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y}\Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z}\Delta z^i + \Delta\tau^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x}\Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y}\Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z}\Delta z^j - \Delta\tau^j = d\mathrm{r}_k^{ij} \tag{3.7}$$

elde edilir. Seyahat zamanlarının kısmi türevleri alındığında, t, olaylar için, i ve j, konumlara göre (x,y,z) ve orijin zamanları (τ), sırasıyla geçerli hypocenterlar ve istasyon konumları için hesaplanarak, k'nıncı faz kaydedildi. $\Delta \boldsymbol{x}, \Delta \boldsymbol{y}, \Delta \boldsymbol{z}$ $\boldsymbol{ve}$ $\Delta \boldsymbol{\tau}$ modelin verilere daha iyi uyması için hypocentral parametrelerdeki gerekli değişiklikler yapılır. Bağıntı (3.7) düzenlendiğinde tüm istasyonlara ait hypocentral çiftlere lineer bir denklem sistemi oluşturulmak istendiğinde;

$$WGm = W\mathrm{d} \tag{3.8}$$

bağıntısı elde edilir.

G matrisi M×4N'lik matris olarak tanımlanır (M, gözlenen çift farklar sayısı; N olayların sayısı), kısmi türevleri içeren, **d** vektör verisi çift farkları kapsayan (4), **m** vektör uzunluğu 4N, $[\Delta \boldsymbol{x}, \Delta \boldsymbol{y}, \Delta \boldsymbol{z}, \Delta \boldsymbol{T}]^{\boldsymbol{T}}$, belirlemeyi istediğimiz hypocentral parametrelerin değişikliğini içeren ve **W** her bir denklemi ağırlıklandıran diagonal matristir. (3.8) bağıntısı çözümü standart bir yaklaşımla ağırlıklı en küçük kareler ile L2 normundaki rezidüel vektörü minimize eder.

$$\hat{m} = (G^T W^{-1} G)^{-1} G^T W^{-1} d \tag{3.9}$$

Muhtemel ağırlıklar veri kalitesini normalize eder; bu, çapraz ilişki ölçümlerinde hassasiyet (örneğin karesi ile orantılı olması; Fréchet, 1985; Frémont ve Malone, 1987), kalite ve süreklilik ile geliş zamanlarının ilk hareketi temel rutinler ve iki veri seti arasındaki göreceli duyarlılık üzerinden belirlenmiştir.

Bağıntı (3.8) iyi durumdaki sistemler için TDA metodu ile küçük kümeler için uygulanarak bağıntıyı çözebiliriz.

$$\hat{m} = \mathrm{V}\Lambda^{-1}\mathrm{U}^T d \tag{3.10}$$

U ve V, G ağırlık matrisinin tekli ortonormal iki matrisi, ve $\Lambda$ G'nin tekil değerler diagonal matrisi. TDA küçük sistemlerin davranışını inceler, U, V ve $\Lambda$ matrisleri bağıntı (3.10)'daki gibi m bilinmeyen parametrelerinin çözülebilirlik bilgisini içeren ve d veriye ait bilgidir.

Çözülmesi gereken sistem büyüdükçe TDA yöntemi verimli hale gelir. Bu durumda Paige ve Saunders (1982) en küçük kareler eşlenik gradyent algoritması kullanılarak $m$ çözümü bulunur. En küçük kareler yöntemi, bunu sönümlü en küçük kareler problemi olarak görüp $m$

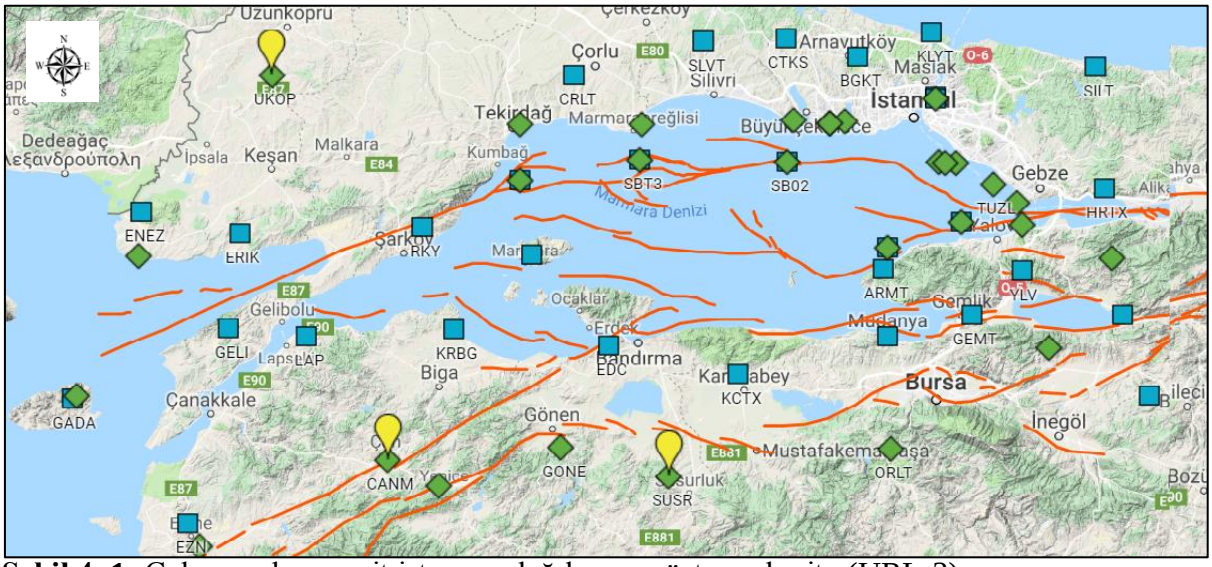
çözümlenir. m oluş zamanı ve konuma dair model parametrelerini gösterirken, $I$ birim matris şeklinde gösterilmiştir.

$$\left\| W \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m - W \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_2 = 0 \tag{3.11}$$

İki deprem arasında oluşan bağın neden olduğu seyahat zamanları farklarının en küçük olmasından yaşanan sorunlar G matrisinin aralıklı olmasından kaynaklanır. Depremler arasındaki bağın zayıf olması, en küçük kareler yöntemi kullanılarak ulaşılan sonuçta sabit olmayan bir değer elde edilecektir. Katalog verilerini oluşturan P ve S dalgalarına ait hataların minimize edilmesiyle HypoDD programının en iyi sonucu verecek şekilde çalışması sağlanmış olur. Sabitlerin değerlendirilmesi ve duyarlılık testi HypoDD'yi kontrol eden parametreleri içerir. Bu çalışmada P ve S fazları bir arada kullanılarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi ise program içeriğinde deprem çiftlerinin oluşmasını sağlayarak, bu depremleri kaydeden istasyonları birbirleriyle ilişkilendirmektir.

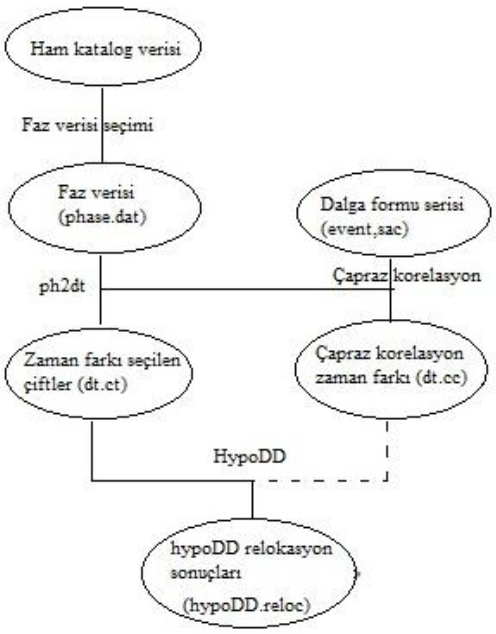
# 4. BULGULAR

Çalışma için kullanılan veri seti Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden (KRDAE) temin edilmiştir. 1900-2015 yılları arasına ait deprem verileri HypoDD programı ile incelenerek sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak sayısal olarak ulaşılabilen deprem kaydı sayısı, Ml=3.5 ve daha büyük depremler için toplamda 185'dir. Çalışma alanında bulunan ve programa giriş verisi olarak seçilen istasyonlara ait harita şekil 4.1'de gösterilmiştir.




**Şekil 4. 1:** Çalışma alanına ait istasyon dağılımını gösteren harita (URL-3)

HypoDD programı içeriğinde birkaç adımla sonuca ulaşılmaktadır. Programa ait işlem akış şeması şekil 4.2'de gösterilmiştir.

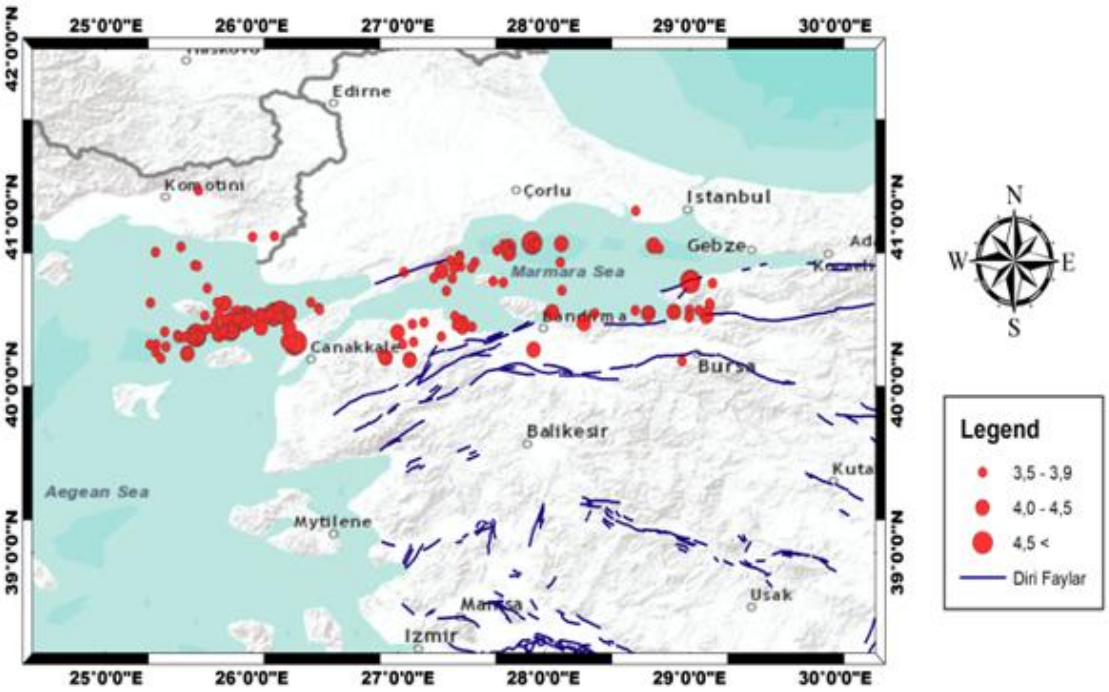



**Şekil 4. 2:** hypoDD programı akış şeması

Giriş dosyasının yani katalog verilerinin oluşturulması için her depreme ait tarih ve saat bilgisi, enlem, boylam, derinlik, magnitüd, yatay ve düşeye (Ex-Ey) ait hata değerleri, seyahat zamanı rezidüelleri ve ID adı verilen kod numarası yazılmıştır. Bununla birlikte her deprem için kaydedildiği istasyon adı, depremin istasyona geliş zamanı, kalitesi ve hangi faz olduğu da belirtilmiştir.

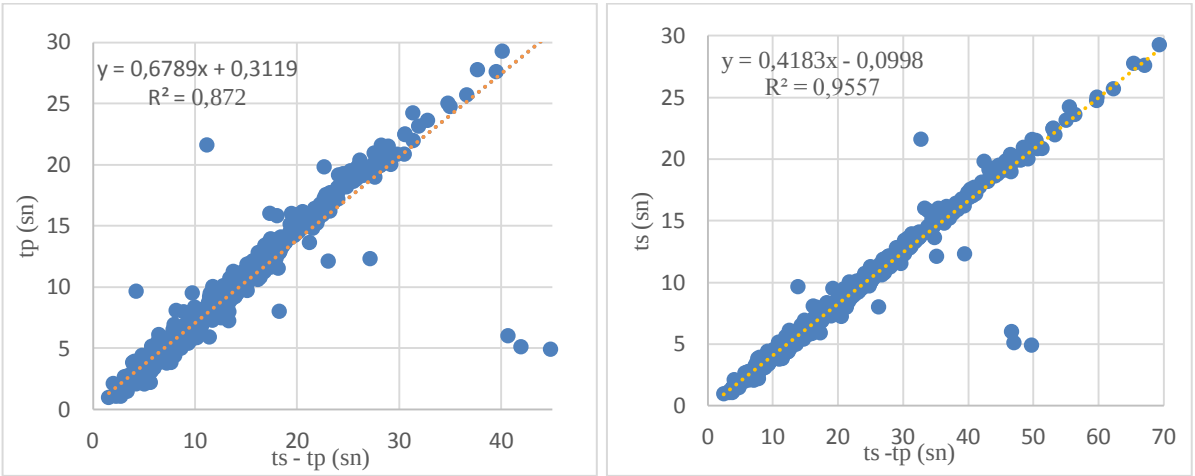
```
# 2014 05 24 09 34 16.67 40.3377 26.2567 5.4 4.1 1.2 0.4 0.36 000058
GELI   3.89       3   P
GELI   7.71       3   S
LAP    8.16       3   P
LAP    13.43      3   S
ERIK   7.14       3   P
ENEZ   8.67       3   P
ENEZ   14.38      3   S
EZN    10.92      3   P
EZN    18.37      3   S
BOZC   10.29      3   P
BOZC   17.87      3   S
ALN    11.96      3   P
MRMT   20.46      3   P
BALB   26.57      3   P
EDRB   28.92      3   P
```

**Şekil 4. 3:** Giriş parametresi katalog verisi formatı




**Şekil 4. 4:** hypoDD programı giriş veri setinde bulunan depremlerin konumları

Katalog verisi olarak hazırlanan ve şekil 4.4'de harita üzerinde gösterilen hypoDD programı için giriş veri seti kullanılmıştır. Bu veriler üzerinden P ve S dalga fazlarına ait geliş zamanlarına ilişkin değerlerde şekil 4.5'de gösterilmiştir.




**Şekil 4. 5:** P dalgası (tp) ve S dalgası (ts) geliş zamanlarının P-S dalgalarına ait geliş zamanları farkının (ts-tp) gösterilmesi.

HypoDD yöntemi uygulanırken kullanılan veri girişinin ardından program içeriğinde verilere ait bazı olay kümelenmeleri ve bunun sonucunda da bazı çıkış dosyaları oluşur. Ancak tüm bunlardan önce kullanılacak veri setinin hazırlanması gerekmektedir. Şekil 4.5'de kullanılacak veri setine ait katalog verisinin geliş zamanlarının grafiği verilmiştir. HypoDD programı için fazların geliş zamanı üzerinden katalog veri dosyası hazırlanmaktadır. Katalog için kullanılan faz verileri ise 2005-2015 yılları arasına ait depremlerden oluşmaktadır. Katalog dosyası oluşturulurken çalışma alanı olan Batı Marmara bölgesinde meydana gelmiş ve Ml=3.5 ve üzeri büyüklükteki deprem verileri seçilerek hazırlanmıştır. Veriler KRDAE' den temin edilmiştir. Katalog dosyasının oluşturulması için dikkat edilmesi gereken bazı parametreler vardır. Deprem verisine ait gap değeri bunlardan biridir. Bunun nedeni ise; hata değerlerinin gözlemlenebilmesi içindir ve bu da ancak çıkış dosyası olarak elde edeceğimiz ve her bir parametreye ait değerlerin yazıldığı hypoDD.log dosyası içerisinde yer almaktadır. Tablo 4.1'de giriş parametrelerine ait değerler gösterilmektedir. Bu aşamaya gelmeden evvel hazırlanan veri setinde yukarıda bahsedilen gap değerlerinin mümkün olduğu kadar minimum değerlere sahip olmasına dikkat edilmiştir. 180 ve üzeri değerleri içeren veriler katalogdan çıkartılarak katalog verileri tekrar işlenmiş ve grafikler elde edilmiştir.

**Tablo 4. 1:** ph2dt programı işleyiş parametreleri seçimi

| MINWGHT | MAXDIST | MAXSEP | MAXNGH | MINLINK | MINOBS | MAXOBS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 200 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0 | 150 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0 | 130 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0 | 120 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,2 | 150 | 5 | 150 | 8 | 8 | 50 |
| 0,2 | 150 | 5 | 185 | 8 | 8 | 50 |
| 0,2 | 150 | 5 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,2 | 100 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,2 | 150 | 10 | 150 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 400 | 10 | 10 | 8 | 3 | 40 |
| 0,5 | 400 | 6 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 400 | 6 | 10 | 6 | 2 | 10 |
| 0,5 | 400 | 6 | 10 | 2 | 4 | 10 |
| 0,5 | 210 | 20 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 210 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 200 | 50 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 160 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 150 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 110 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |
| 0,5 | 100 | 10 | 10 | 8 | 8 | 50 |

Tablo 4.1'de verilen parametrelere ait değerler ph2dt programına ait temel parametre değerleridir. Ph2dt programı her bir olay çifti için komşu olay çiftleriyle bağlantılar kurar ve sonuçta bir sonraki yeniden konumlandırma adımına kadar kümelenmeyi belirler. Bununla

birlikte seyahat zamanı farklarını katalog verisine dönüştürür. Bunun için uygun parametre setleri, çift farklar yeniden konumlandırma algoritması kullanıldığında yer değiştirmenin doğruluğunu geliştirmekte gereklidir. Minimum toplama ağırlığı (MINWGHT) olay çifti ve istasyon arası maksimum mesafe (km) (MAXDIST), olay çiftleri arasındaki maksimum hypocentral seperasyon (km) (MAXSEP), olay başına maksimum komşu sayısı (MAXNGH), bir komşuyu tanımlamak için gereken minimum bağlantı sayısı (MINLINK), çift başına kaydedilen minimum (MINOBS) ve maksimum (MAXOBS) bağlantı sayısı tablo 4.1'de verilmiştir. Bu değerlerin her biri denenerek program içerisinde test edilmiş, uygun olan ve olmayan değerler renklendirilerek tablo haline getirilmiştir. Tablo 4.1'de kırmızı renk ile işaretlenmiş olan değerler; veri setinin önce ph2dt ve ardından hypoDD programında işlenmesiyle oluşan kümelenmeler için hesaplama hatalarının yüksek olduğu görülmüştür. Sarı renk ile işaretlenmiş parametre değerlerinde ise ilk giriş verisi olarak hazırlanan katalogdaki deprem verilerinden seçilen giriş verisi sayısında artış olduğu ancak programın uygulanması sonucunda oluşan küme sayısında bir düşüş gözlenmiştir. Bununla birlikte parametre seçiminde ortaya çıkan en düşük küme sayısı turuncu renk ile gösterilmiştir. Tüm bu testler ve değerlendirmeler ışığında en uygun sonucu veren ve giriş verisi olarak en yüksek oranda verileri işleme alan parametre değerleri yeşil renk ile işaretlenmiştir. Maxsep=10' da yeniden konumlandırma için en iyi performansı sergilemiştir. Böylece daha fazla olay küme oluşumuna eklenmiş ve daha fazla olay çifti oluşmuştur. Tablo 4.1'de verilen Maxngh parametresinin farklı değerlerle incelenmesinin nedeni, programa dair hesaplama yükünü azaltmak içindir. Öyle ki, daha büyük veri setlerini hesaplarken hesaplama süresi kısaltılabilir.

Tablo 4. 2: hypoDD giriş verisi parametreleri

| | Çapraz korelasyon verisi | | | | Katalog verisi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İterasyon | Öncül P dalgası WTCCP | Öncül S dalgası WTCCS | Uyumsuz ağırlık (kesme rezidüel, faktör zamanları SD) WRCC | Uzaklığa bağlı ağırlık (seperasyon, km) WDCC | Öncül P dalgası WTCTP | Öncül S dalgası WTCTS | Uyumsuz ağırlık (kesme rezidüel, faktör zamanları SD) WRCT | Uzaklığa bağlı ağırlık (seperasyon, km) WDCT |
| 1 - 5 | -9 | -9 | -9 | -9 | 1.0 | 0.5 | -9 | 10 |
| 6 - 10 | -9 | -9 | -9 | -9 | 1.0 | 0.5 | 5.0 | 10 |
| 11 - 15 | -9 | -9 | -9 | -9 | 1.0 | 0.5 | 5.0 | 10 |
| 16-20 | -9 | -9 | -9 | -9 | 1.0 | 0.0050 | 6.0 | 10 |
| 21-25 | -9 | -9 | -9 | -9 | 1.0 | 0.0050 | 6.0 | 10 |

Katalog ve çapraz korelasyon verisine ait ve hypoDD programı giriş verisi olarak kullanılan parametrelere ait değerler Tablo 4.2'de gösterilmiştir. hypoDD.inp adlı dosya hypoDD programı giriş verilerini içermektedir.

Bu çalışma kapsamında sadece katalog verileri kullanılmıştır. hypoDD ilk olarak olay çiftlerini kümeler halinde gruplandırır. Bir küme, iki deprem kadar küçük veya tüm olay seti kadar büyük de olabilir. Bir küme olay çiftlerinin sürekli bir dizisidir. hypoDD de giriş için belirlenen kriterler ile birbirlerine bağlantılıdır. Böylece hypoDD programı ile oluşan kümelerin tamamını veya seçilen alt kümeleri yeniden konumlandırabilir. Çift farklar, seyahat süresi rezidüellerinin tekrarlı azalımı yeniden konumlandırma işlemi ile devam eder.

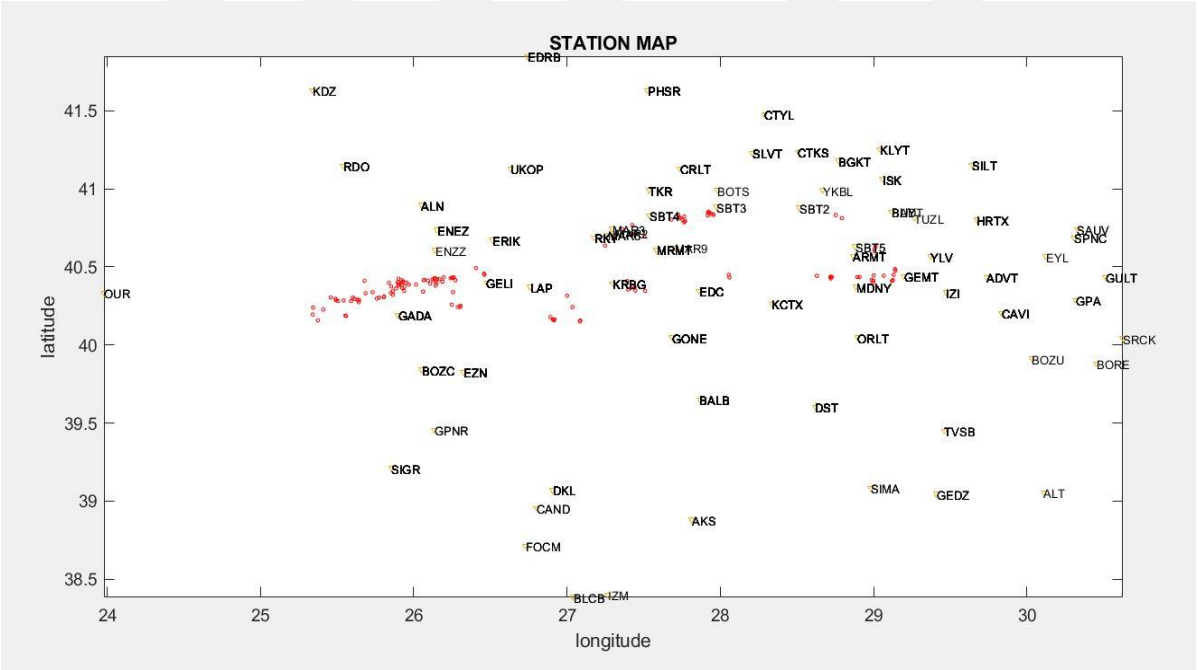
Kullanıcı tarafından belirlenen iterasyon sayısı, veri setinin boyutu ve kümelerin boyutu, ph2dt ve hypoDD parametreleri kriterleri belirlenirken dikkate alınır. Hypocenter değişimleri ve/veya verilerin gürültü seviyesi RMS rezidüellerinin altına düştüğünde iterasyon durdurulabilir. Ayrıca çözümün kontrolünü sağlayan NSET değeri 5 olarak seçilmiştir, buna bağlı olarak da 5 set halinde tablo 4.3'de görüldüğü gibi iterasyonlar yapılmıştır. WDCT ve WDCC parametreleri ph2dt programındaki Maxsep ile aynıdır. WDCT, uzaklığa bağlı ağırlık değeri yani olay çiftlerinin iki merkez arasındaki maksimum kilometre cinsinden mesafe olarak adlandırılan değer ph2dt içerisinde yer alan Maxsep ile aynı değere sahipse sonuçların daha iyi olduğu gözlenmiştir. Yine tablo 4.2'de -9 ile ifade edilen değerler o parametreye ait veri kullanılmadığını göstermektedir.

hypoDD.inp dosyasında yer alan parametrelerden NLAY çalışılan bölgeye ait yeraltı tabaka sayısını, RATIO yine çalışma alanı için verilen $V_p$ / $V_s$ oranını ifade eder ve bu oran tüm katmanlar için sabittir. Çalışılan bölge için kullanılan, daha önce aynı bölgedeki çalışmalar da incelenerek belirlenmiş olan $V_p$/ $V_s$ oranı 1,73 olarak alınmıştır. Tablo 4.1 ve 4.2'de verilen değerlerle birlikte NLAY ve RATIO, hypoDD programı çalıştırıldığında olay çiftlerini oluşturarak, kümeler halinde gruplandırır. Başlangıçta verilen hız oranlarına ilişkin tabakalara ait yeni hız değerleri belirlenir.

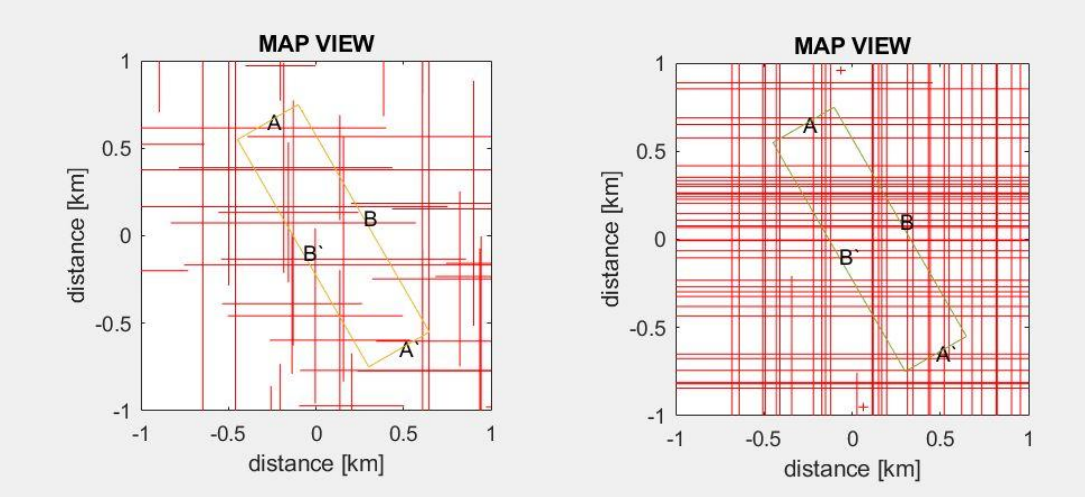
**Tablo 4. 3:** hypoDD programı işlem sonucuna ait tabaka kalınlığı (km) ve hız bilgisi (km/s)

| MOD_NL | MOD_V |
|---|---|
| 0 | 4,85 |
| 2 | 5,72 |
| 4 | 5,72 |
| 8 | 5,77 |
| 12 | 5,84 |
| 16 | 6,08 |

Çalışmanın amacına uygun olarak kullanılan ph2dt ve hypoDD programlarının veri işleminden sonra çıkış dosyaları elde edilmiştir. HypoDD programının çıkış dosyaları yani katalog dosyasından elde edilmesi amaçlanan yeniden konumlandırma verilerine ait bilgilerin yer aldığı hypoDD.loc, hypoDD.reloc, hypoDD.sta, hypoDD.res ve hypoDD.src programın sonuç dosyaları olarak elde edilmiştir. Şekil 4.6. hypoDD programı çıktısı olan hypoDD.sta yani yeniden konumlandırma işlemi için kullanılan istasyonlara ait değerleri göstermektedir. Programın ilk aşaması olan ph2dt için hazırlanan katalog dosyası sonraki aşama olan hypoDD işlemine geçildiğinde veri dosyasının adı ‘event’ dosyası olarak değişmekte ve işlenmektedir.



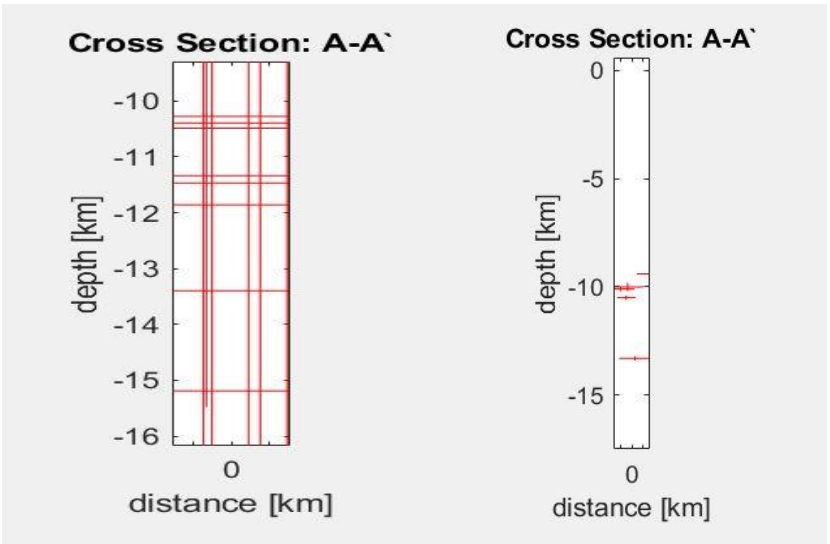

**Şekil 4. 6:** hypoDD.sta, hypoDD programına ait işlenen istasyonlar




(a) (b)

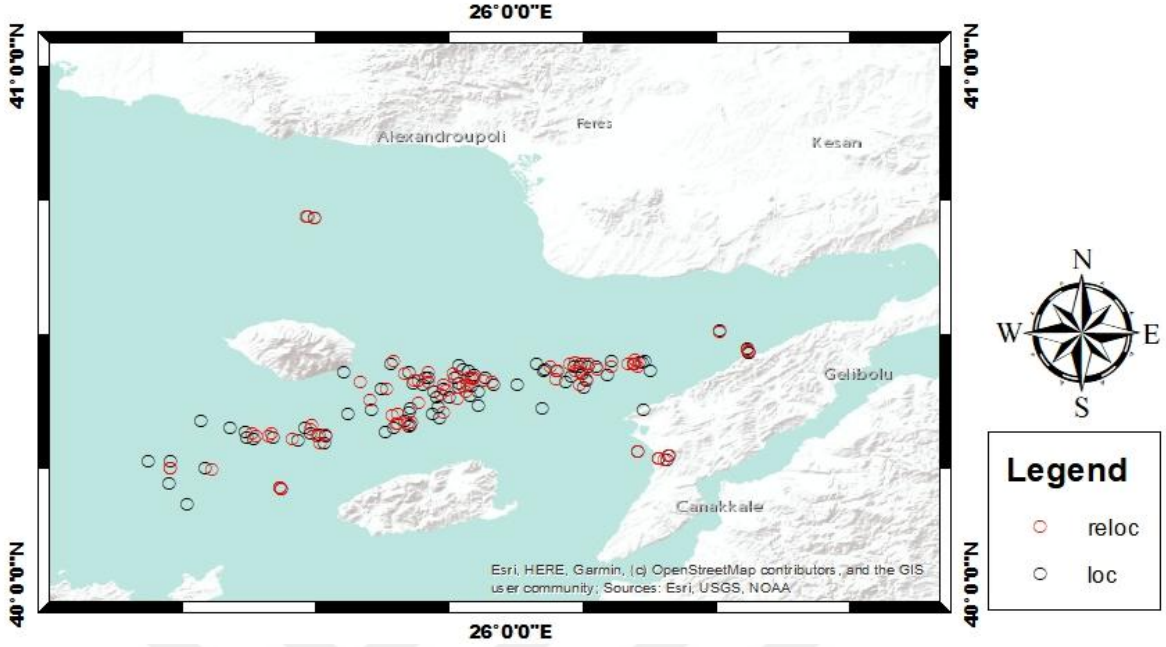
**Şekil 4. 7:** hypoDD programı yeniden konumlandırma yapılmış çıkış dosyaları (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc

Şekil 4.7'de verilen loc (lokasyon) ve reloc (relokasyon) dosyaları matlab programı ile çizdirilmiştir. Sonuçlara ilişkin değerlerin incelenmesinde ArcGıs ve zmap harita programlarında da yararlanılmıştır.

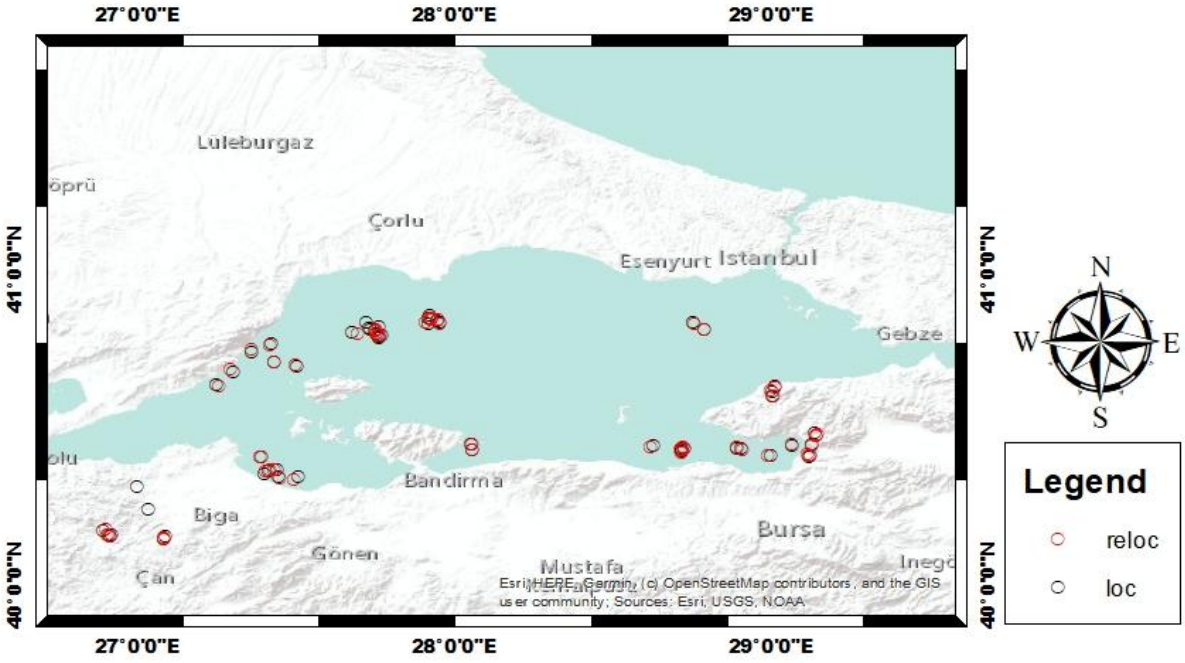



(a) (b)

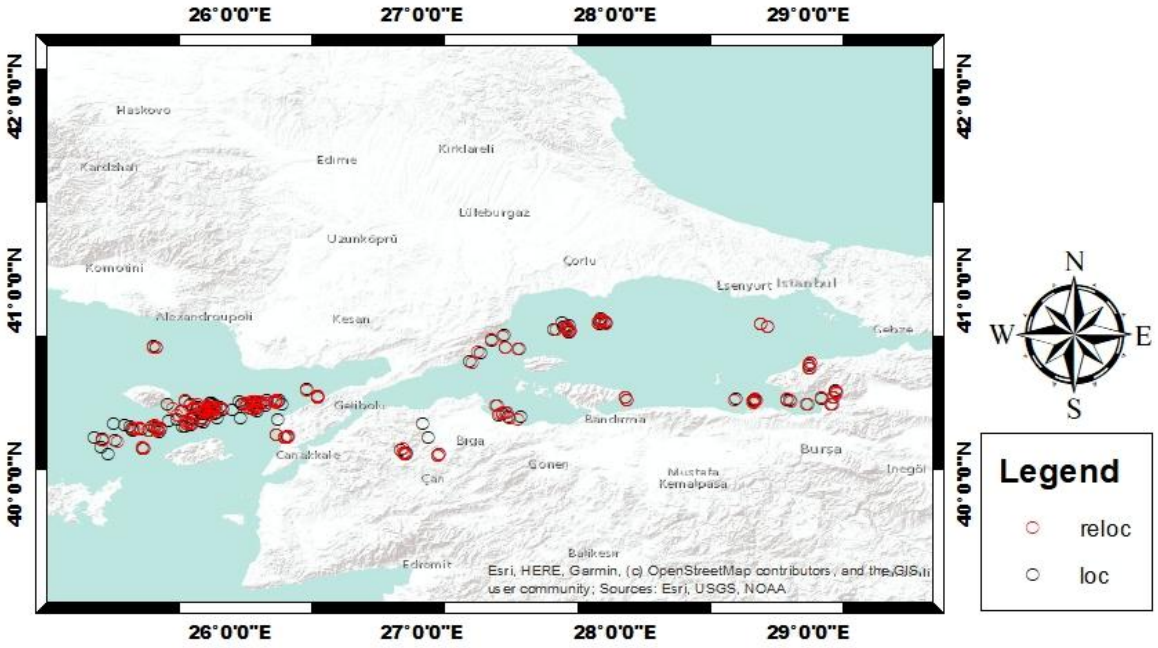
**Şekil 4. 8:** hypoDD programı ile çizdirilmiş A-A' kesit haritası (a) hypoDD.loc, (b) hypoDD.reloc




**Şekil 4. 9:** ArcGıs ile yeniden konumlandırılmış veri haritası (çalışma alanı batısı)

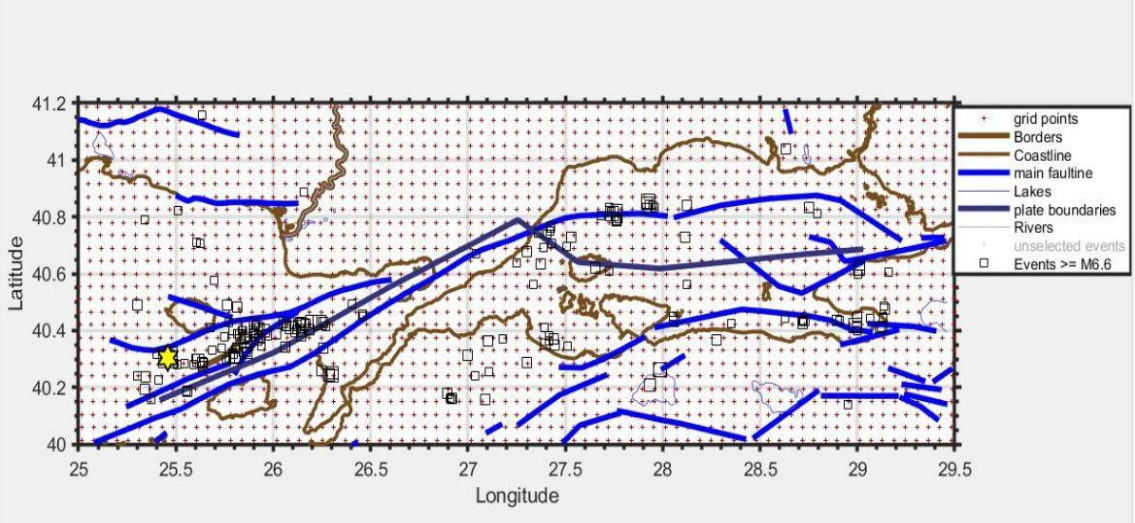



**Şekil 4. 10:**ArcGıs ile yeniden konumlandırılmış veri haritası (çalışma alanı doğusu)



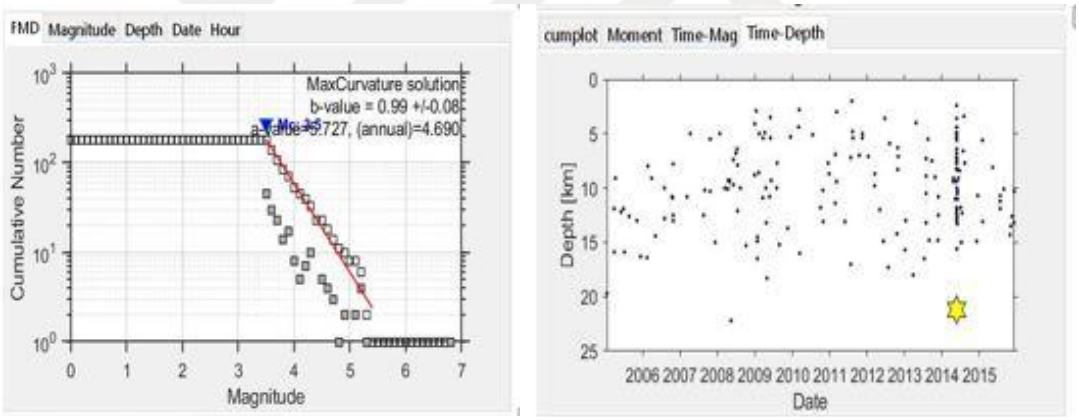

**Şekil 4. 11:** ArcGıs ile yeniden konumlandırılmış veri haritası (çalışma alanı)

Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de konum ve yeniden konumlandırma haritası verilmiş olan katalog veri değerlerinin değiştiği gözlenmiştir. Noktalar üzerindeki rakamsal değerler katalog içinde yer alan verinin ID numarası olarak geçmektedir. Katalog verisi ve yeniden konumlandırılmış olarak elde ettiğimiz çıkış dosyası ayrıntılı incelendiğinde veri değerlerinin değiştiği renk farklılığıyla ortaya konmuştur. Oluşturulan deprem çiftlerinin konumlarında gözlemsel olarak ayırt edilebilecek şekilde değişimler olduğu anlaşılmıştır. 78 nolu 2013 yılına ait Çanakkale-Gökçeada 5.3 büyüklüğündeki deprem yeniden konumlandırmaya örnek olarak gösterilebilecek orta büyüklükte, veri setindeki diğer depremlere göre daha büyük bir depremdir.

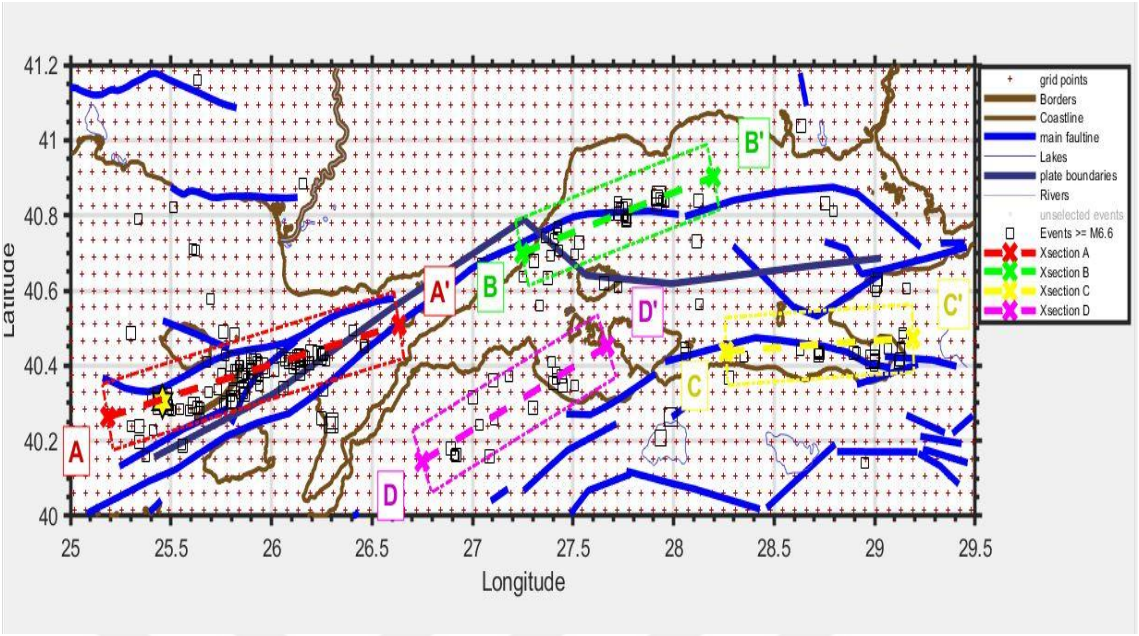



**Şekil 4. 12:** zmap programı ile çizdirilmiş event dosyası haritası

Katalog verileri farklı programlar aracılığıyla haritalandırılmıştır.

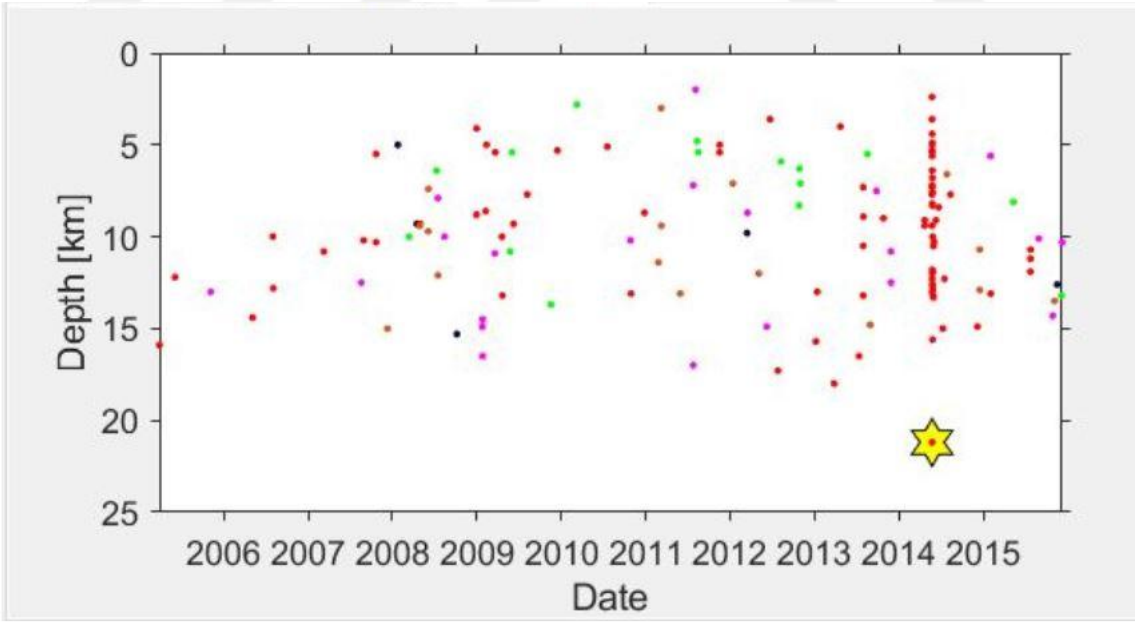



**Şekil 4. 13:** zmap ile çizdirilmiş event dosyasına ait b değer grafiği ve zaman - derinlik değerleri



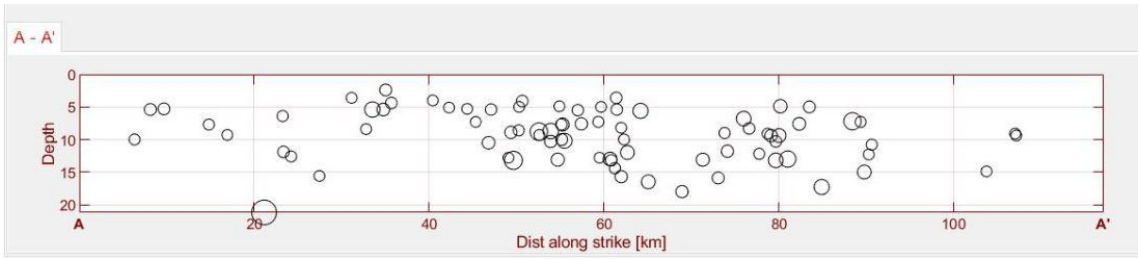

**Şekil 4. 14:** zmap programı ile 4 farklı noktadan alınmış event dosyasına ait kesitlerin gösterilmesi.

Harita üzerinde GB-KD (güneybatı-kuzeydoğu) ve D-B (doğu-batı) yönlü kesitler alınmıştır. Bunun amacı harita üzerindeki veri dağılımını ve mesafeye göre derinliği daha anlaşılır şekilde görmektir.

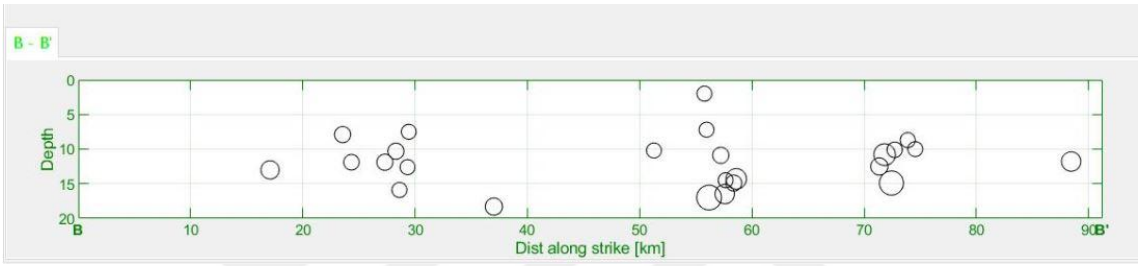



**Şekil 4. 15:** Kesitleri zmap haritası üzerinde gösterilen haritaya ait derinlik-tarih dağılımı.

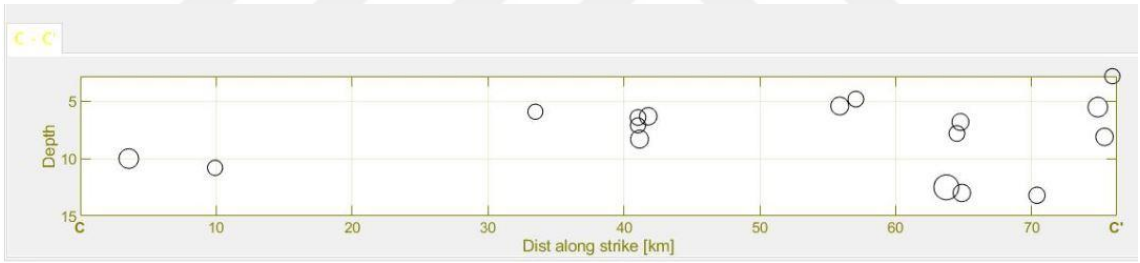
Şekil 4.16 üzerinde farklı renklerle gösterilen tarih bazlı derinlik değerleri her bir kesite ait olarak ifade edilmektedir. Kırmızı renk ile gösterilen değerler A-A' kesitini, yeşil ile olan B-B' kesitini, sarı ile gösterilen C-C' kesitini ve mor ile gösterilen D-D' kesitini ifade etmektedir.



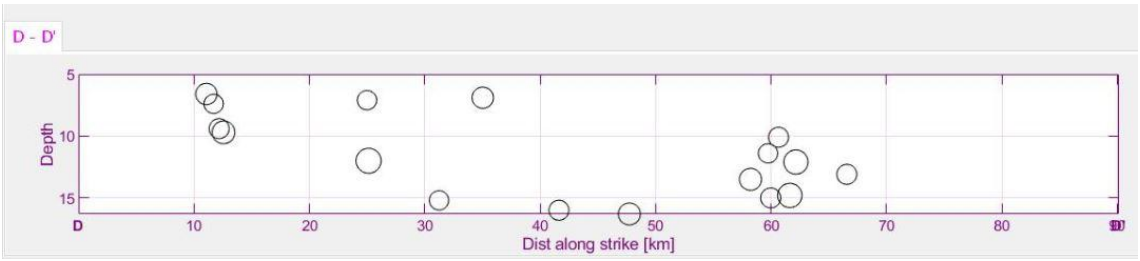

(a)




(b)




(c)




(d)

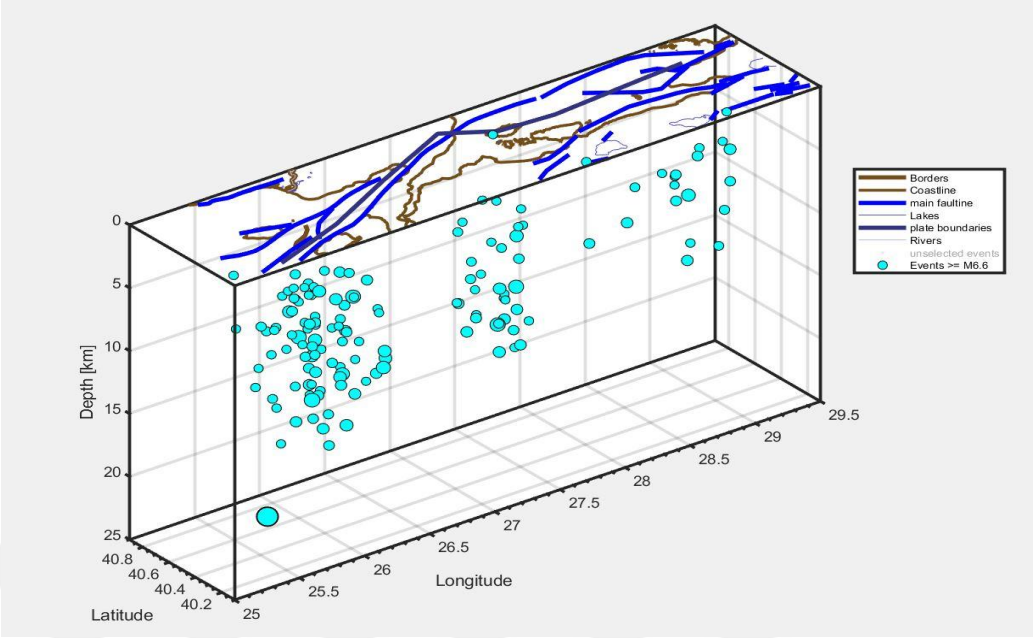
**Şekil 4. 16:** Giriş verilerinin yer aldığı event dosyası üzerinden doğu-batı doğrultusunda zmap haritası ile alınmış kesitler.

Yukarıda verilmiş kesitler için doğu-batı yönlü bir dağılımın olduğu gözlenmiştir.

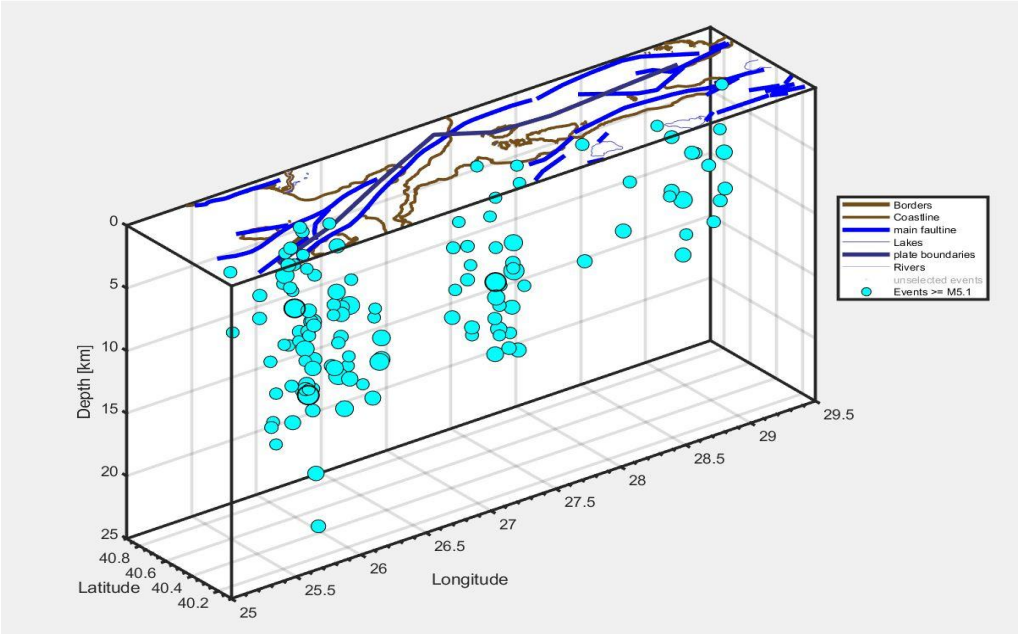
# 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma da Batı Marmara alanın hypoDD programı ile incelenerek, depremlere ait istasyon ve koordinat bilgileri, gap değerleri, derinlik gibi parametreler değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak da çıkan sonuçlara göre deprem kayıtları kullanılan program ile ne derece etkin bir çözüme ulaşıldığını ve bu sonuçların diğer çalışmalara göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Veri seti seçimi için KRDAE 'nün deprem verileri kullanılmıştır. 2005-2015 yılları arasında sayısal olarak ulaşılan bu deprem kayıtları uygun formata getirilerek veri işleme başlanmıştır. Hazırlanan katalog verisindeki 185 adet deprem kaydından 127'si yeniden konumlandırılmıştır. Ancak öncelikli olarak a) P-S dalgalarının geliş zamanları, b) azimutal gap değeri $\leq 180^0$ , c) minimum istasyon sayısı $\geq 4$, d) rms $\leq 0.7$' den büyük olmayacak şekilde kriterlere uygun veriler seçilerek katalog dosyası oluşturulmuştur. Giriş ve çıkış dosyaları için tablo 4.1 ve 4.2'de gösterilen parametreler denenerek uygun olanları seçilmiş ve sonuçlara ulaşılmıştır. Çıkış dosyası olarak hypoDD.loc, hypoDD.reloc, hypoDD.sta, hypoDD.res ve hypoDD.src dosyaları elde edilmiştir. Sırasıyla ilk hypocenter çıktısı, yeniden konumlandırılmış hypocenter çıktısı, istasyon rezidüelleri çıktısı, veri rezidüelleri çıktısı ve odak mekanizmasının yeniden hesaplanması için kullanılabilir çıkış dosyalarını ifade etmektedir. Bu çıkış dosyalarından hypoDD.loc, hypoDD.reloc ve hypoDD.sta kullanılarak matlab programı ile grafikleri elde edilmiştir. Ancak bunun yanı sıra yeniden konumlandırılan deprem konumlarındaki değişimi gözlemlemek amaçlı farklı programlarda sonuçlar görülmek istenmiş, ArcGIS ve zmap programları ile haritalandırılarak derinliğe bağlı kesitler alınmıştır. Yeniden konumlandırılmış depremlerin bilgisini içeren hypoDD.reloc çıkış dosyasında konumları iyileştirilen deprem verileri yer almaktadır.




(a)




(b)

**Şekil 5. 1:** (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc çıkış dosyalarının üç boyutlu derinlik dağılım haritası

hypoDD.loc içeriğinde magnitüdü en büyük deprem 6.8 büyüklüğündeki 24 Mayıs 2014 saat 09:25:01'de meydana gelen Ege Denizi depremi ve hypoDD.reloc sonuçları arasında yer alan magnitüdü 5 ve üzerinde meydana gelmiş 24 Mayıs 2014 09:31:18 $M_L$=5.1 Saros Körfezi

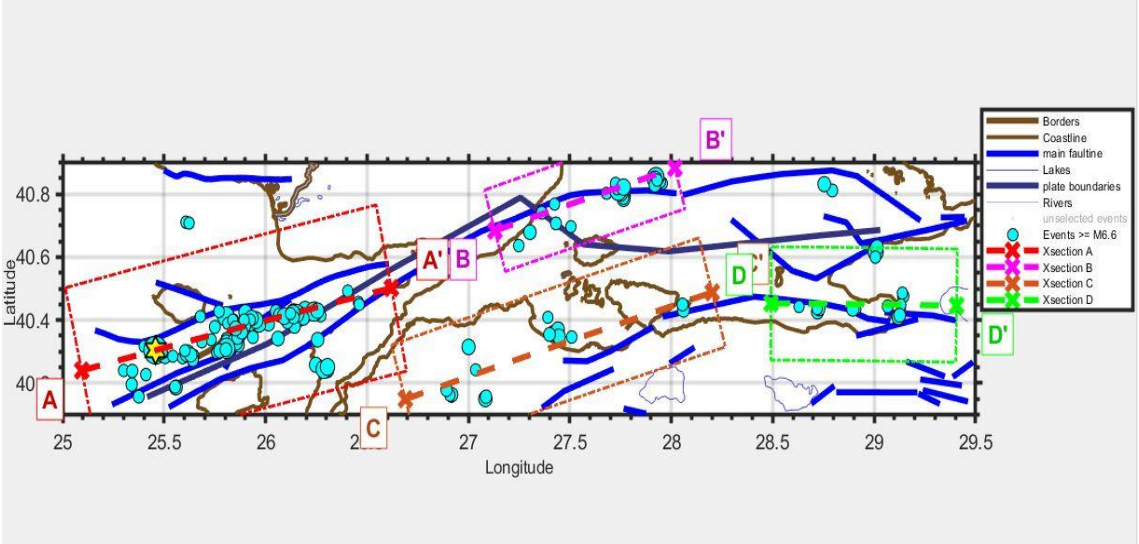
(Ege Denizi), 30 Temmuz 2013 05:33:08 $M_L$=5.3 Kaleköy-Gökçeada (Çanakkale), 7 Haziran 2012 20:54:25 $M_L$=5.1 Marmara Ereğlisi Açıkları-Tekirdağ (Marmara Denizi), 25 Temmuz 2011 17:57:20 $M_L$=5.2 Marmara Denizi, 28 Aralık 2008 22:58:58 $M_L$=5.2 Kaleköy-Gökçeada (Çanakkale) olmak üzere 5 farklı deprem vardır. Özellikle konum ve yeniden konumlandırma dosyaları arasında bu deprem verileri karşılaştırılarak ne kadarlık bir değişimin meydana geldiği sayısal olarak da gözlenmiş ve tablolanmıştır.

**Tablo 5. 1:** Katalog verilerinden elde edilen çıkış verilerindeki değişimi gösteren tablo

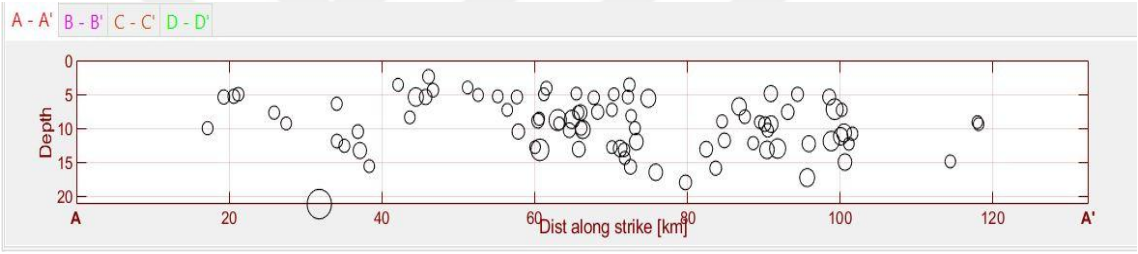
| HypoDD.loc | | | | | | HypoDD.reloc | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tarih | Saat | Enlem | Boylam | Derinlik (km) | Magnitüd | Tarih | Saat | Enlem | Boylam | Derinlik (km) | Magnitüd |
| 28.12.2008 | 22:58:58.26 | 40,410999 | 25,805300 | 8,8000 | 5,2 | 28.12.2008 | 22:58:58.16 | 40,407356 | 25,797397 | 6,4450 | 5,2 |
| 25.07.2011 | 17:57:20.80 | 40,811199 | 27,738199 | 17 | 5,2 | 25.07.2011 | 17:57:20.70 | 40,811522 | 27,753796 | 13,652 | 5,2 |
| 7.06.2012 | 20:54:25.82 | 40,854000 | 27,923500 | 14,9 | 5,1 | 7.06.2012 | 20:54:25.92 | 40,843174 | 27,927082 | 13,554 | 5,1 |
| 30.07.2013 | 05:33:8.11 | 40,310200 | 25,806700 | 13,2 | 5,3 | 30.07.2013 | 05:33:7.88 | 40,314787 | 25,809179 | 12,867 | 5,3 |
| 24.05.2014 | 09:31:18.10 | 40,426998 | 26,239799 | 7,2 | 5,1 | 24.05.2014 | 09:31:18.20 | 40,426998 | 26,239342 | 7,886 | 5,1 |

Tablodan da anlaşılacağı gibi aynı depremlere ait değerlerden koordinatlar ve özellikle derinlik üzerindeki değişim açıkça görülmektedir. Şekil 5.1 üzerinden de bu değişimleri görebilmekteyiz.

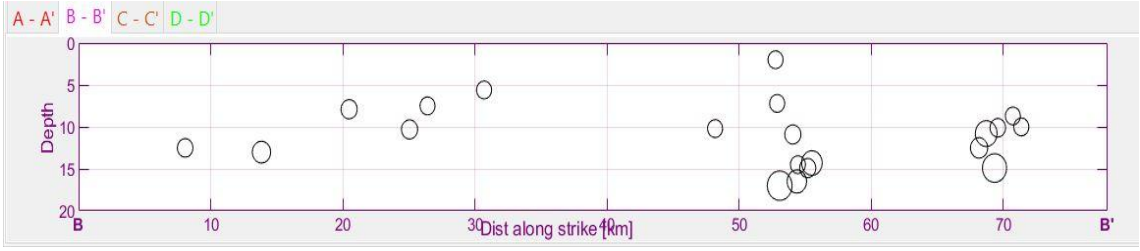
Değişimleri görebilmek için öncelikle hypoDD.loc ve hypoDD.reloc verilerine ait haritalar üzerinden kesitler alınarak gruplar halinde değişimler gözlenmiştir.



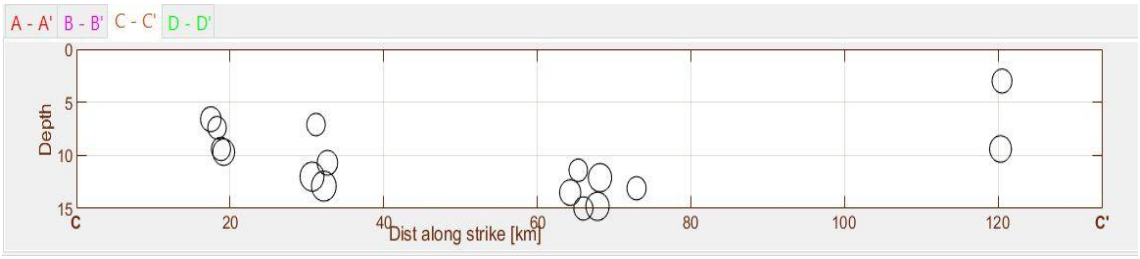

**Şekil 5. 2:** hypoDD.loc verilerine ait kesit haritası



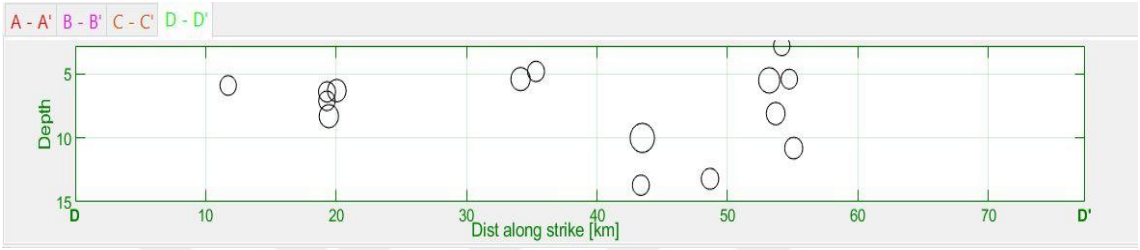

(a)




(b)



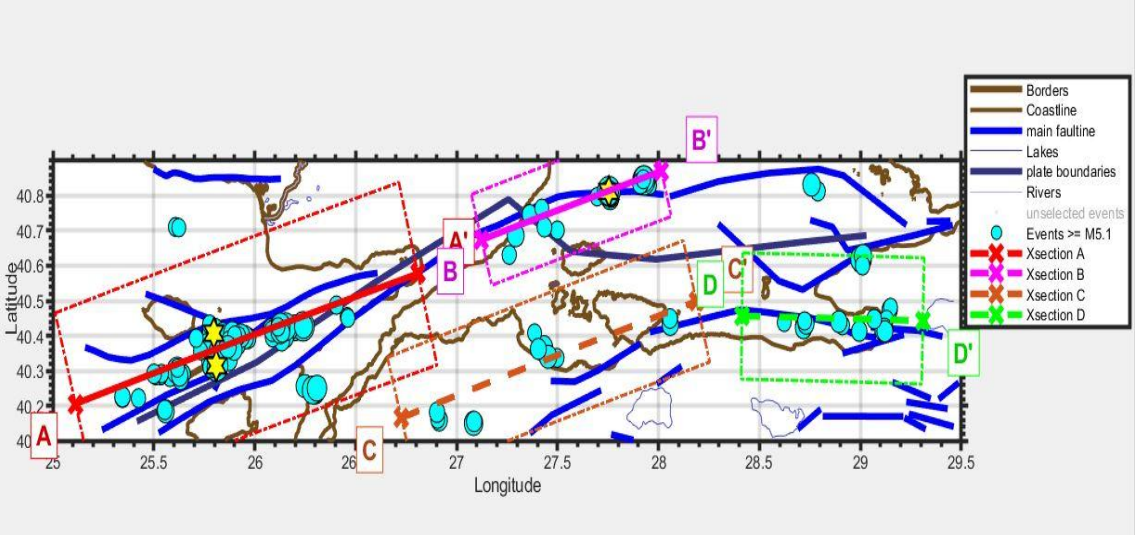

(c)




(d)

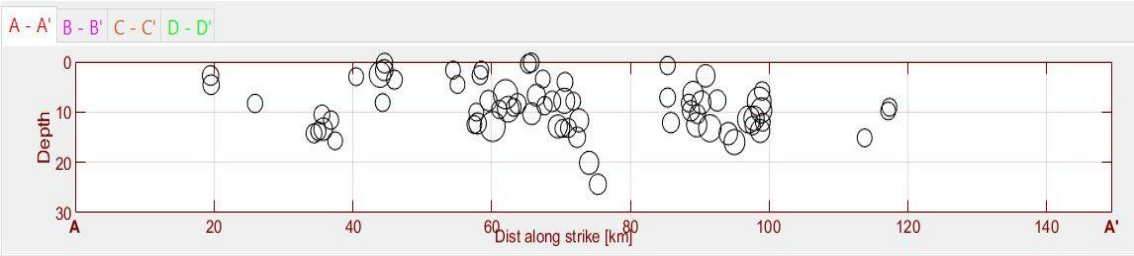
**Şekil 5. 3:** İlk çıkış dosyası hypoDD.loc verilerine ait alınan (a), (b), (c) ve (d) kesitleri

Şekil 5.2 üzerinden alınan ve 4 farklı renkle gösterilen A-A', B-B', C-C' ve D-D' kesitleri alınmıştır. A-A' kesiti içerisinde yer alan verilere ilişkin değerlerde magnitüd 3.5 ile 6.8 ve derinlik ise 2.40 ile 21.20 km arasında değiştiği görülmektedir. B-B' kesitinde kesit boyunca derinlik 2 ile 17 km ve magnitüd 3.5 ile 5.2 arasında değişmektedir. C-C' kesitinde derinlik 3 ile 15 km ve magnitüd 3.5 ile 4.4, D-D' kesitinde ise derinlik 2.8 ile 15.30 km ve magnitüd 3.5 ile 4.8 arasında değiştiği gözlenmiştir. Programa giriş verisi olarak oluşturulan katalog verilerinin ilk değerlendirme işlemi sırasında kümelendirilerek hypoDD.loc verileri olarak adlandırılan dosya oluşturulmuştur. Her bir veriye ait derinliğe bağlı kesit boyunca alınan mesafe üzerinden değişimi gözlenmiştir. Aynı değişimi gözlemlemek için asıl elde edilmek istenen yeniden konumlandırma verilerinin incelenmiş olmasıdır. Kümelendirilmiş konum verileri hypoDD programı aracılığıyla yeniden konumlandırılarak, konumlarının ve derinliklerinin ne derece değiştiği ve iyileştirildiği sonucu daha net anlaşılmaktadır.

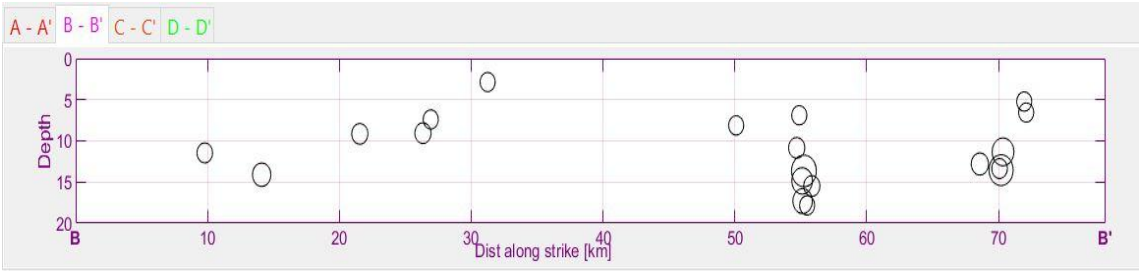



**Şekil 5. 4:** hypoDD.reloc dosyasına ait kesit haritası

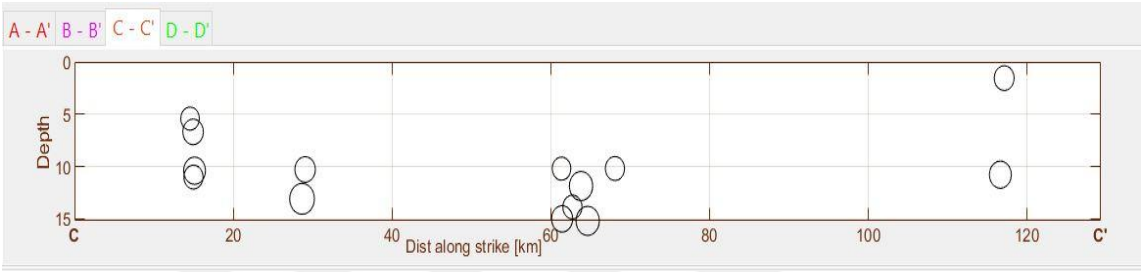
Şekil 5.4 üzerinde gösterilen ve hypoDD.loc ile aynı doğrultu ve aynı renkler ile ifade edilen kesitler alınmıştır. Yıldız ile ifade edilen değer ise magnitüd değeri 5 ve üzeri olan depremleri ifade etmektedir. A-A', B-B', C-C' ve D-D' kesitleri alınan yeniden konumlandırma verilerine ilişkin inceleme yapıldığında; A-A' kesitinin derinlik değerinin 0.15 ile 24.36 km ve magnitüdün 3.5 ile 5.3 arasında olduğu, B-B' kesitinin derinlik değerinin 2.85 ile 17.83 km arasında ve magnitüdün 3.5 ile 5.2 arasında değiştiği, C-C' kesitinin derinlik değerinin 1.55 ile 17.83 km arasında değiştiği ve D-D' kesitinin derinlik değerinin 0.5 ile 14.80 km arasında ve 3.5 ile 4.8 arasında değiştiği gözlenmiştir.



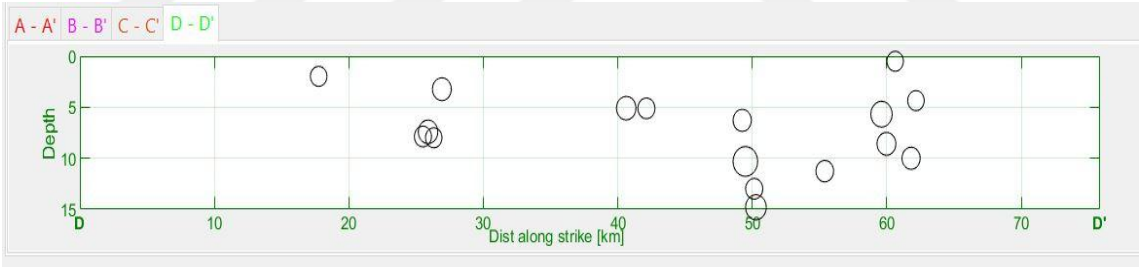

(a)




(b)

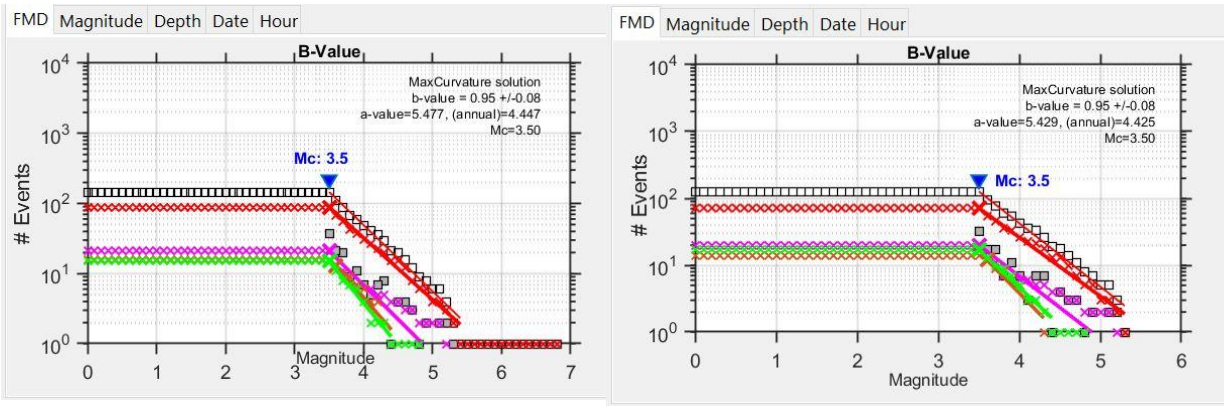



(c)



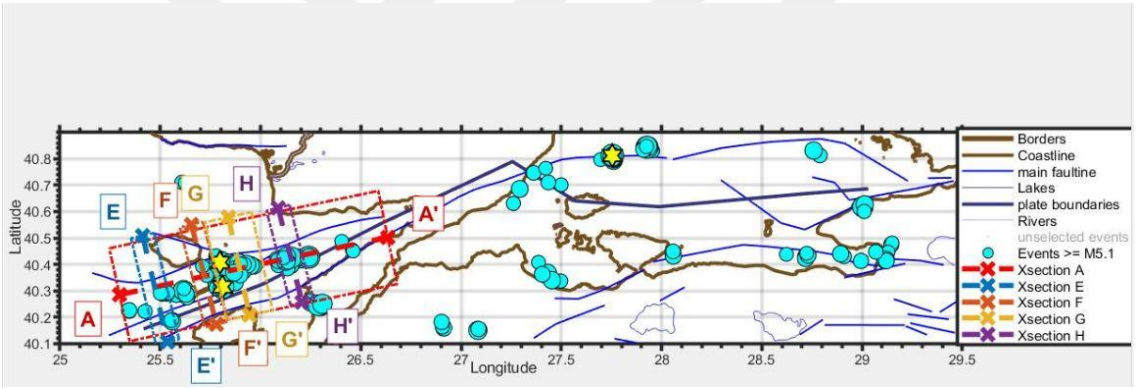

(d)

**Şekil 5. 5:**Yeniden konumlandırılmış verilerin bulunduğu hypoDD.reloc dosyasına ait (a), (b), (c) ve (d) kesitleri

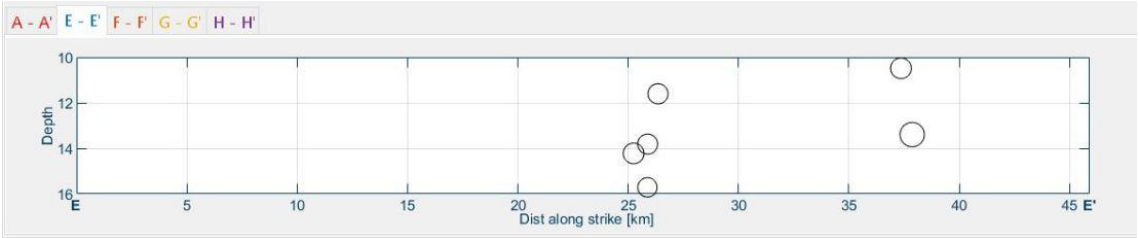



(a) (b)

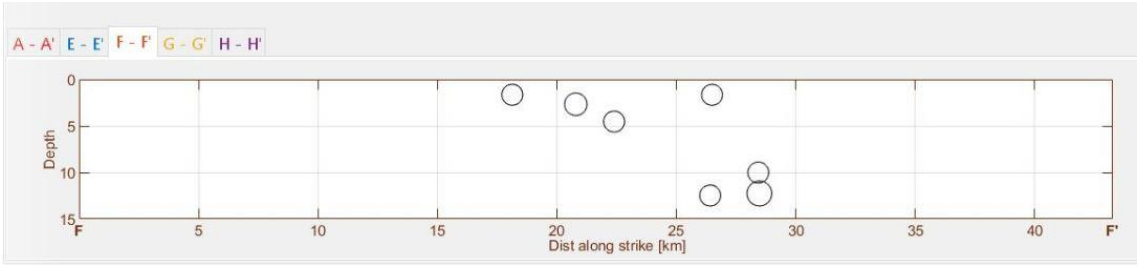
**Şekil 5. 6:** (a) hypoDD.loc ve (b) hypoDD.reloc için zmap programında otomatik olarak hesaplanan Mc ve b değer grafikleri



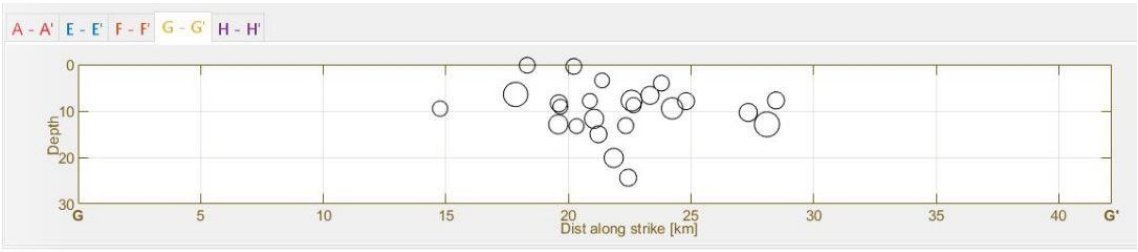

**Şekil 5.7.** hypoDD.reloc üzerinde alınmış kesitler



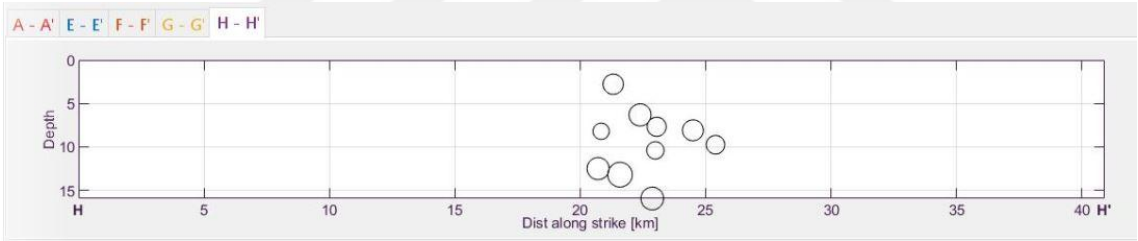

(a)




(b)




(c)




(d)

**Şekil 5.8.** A-A' kesitine dik alınan diğer kesitler

Şekil 5.7 ve 5.8'de yeniden konumlandırılmış veriler üzerinden alınmış kesitleri göstermektedir. A-A' kesiti üzerinden ve fay hattına dik şekilde alınmış E-E', F-F', G-G' ve H-H' kesitleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Fay hattına dik şekilde alınmış bu dört kesit fayın yapısını, geometrisini ve derinliği hakkında bilgi edinmeye olanak sağlamaktadır.

Kesitleri alınan yeniden konumlandırma verilerinin kesit uzunluğu boyunca derinlik değişimleri gözlenmiştir. Her iki dosya karşılıklı olarak incelendiğinde dağınık olan deprem verilerinin kümelenerek derinlik ve konumlarında değişim olduğu açıkça gözlenmektedir.

Batsi ve diğ. 2018'de yapmış olduğu çalışmada Kuzey Anadolu Fay hattında Marmara Denizi'nin batısında yaklaşık 3.5 aylık deniz tabanı sismometresi (OBS) ile kayıtlar almıştır.

Bu kayıtlar ile mikroaktiviteyi OBS kayıtları ile inceleyerek bazı bölgelerde sismisitenin yüksek bazı bölgelerde ise düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Batsi ve diğ. 2018'de yaptığı çalışmada kullanılan veri seçim parametreleri ile araştırma alanım olan Batı Marmara bölgesindeki verilerin seçim parametrelerinin benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca Batsi ve diğ. (2018)'de yapmış olduğu çalışmada 2007 ve 2012 yılları arasındaki M>3 depremlerle yapmış oldukları yeniden konumlandırma haritaları, bu çalışmada yapılan yeniden konumlandırma haritası ile uyumluluk göstermektedir.

Marmara Denizi'nde tekrarlayan deprem aktivitesi için yapmış olduğu çalışmada Bohnhoff ve diğ. (2017) Marmara Denizi merkez basen ve doğusunun deprem aktivitesi yoğunluğundan, kitlenmenin varlığından ve kaymadan söz etmektedir. Bu çalışma için kullanılan M>3.5 ve üzeri büyüklükteki deprem veri seti göz önüne alındığında çalışma alanının doğusu için kitlenmeden bahsedilebilir. Ayrıca batı bölgesi için olay yoğunluğunun fazla olduğu da görülmektedir. Bohnhoff ve diğ. 2017'ye göre M<3 büyüklükteki çalışma verileri ile bu bölgelerin kitlenmiş olduğu ifade edilmiştir. Buna göre, yeniden konumlandırma sonuçları için bazı bölgelerde depremlerin yoğun bazı bölgelerde ise az olduğu gözlenmiştir. Yani Bohnhoff ve diğ. (2017)'nin bahsettiği kitlenmenin batı Marmara içinde olmadığı anlaşılmıştır.

Yamamoto ve diğ. 2016 yılında Marmara Denizi altında Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) deniz altında kalan kısmının geometrisinin ve sismojenik zon net olarak anlaşılması adına bu çalışmayı yapmıştır. 2014 Ege Denizi depreminin KAF'ın bir kesiminde gerçekleştiği ancak KAF'ın kırılmayan kısmının Marmara Denizi altında kalan sismik boşluk olduğu bilinmektedir. OBS kayıtları kullanılan bu çalışma ile hypocenter yeniden konumlandırmalarını haritalandırılmıştır. Bu haritada magnitüdü 3 ve altındaki büyüklükteki depremler yer almaktadır. Yamamoto ve diğ.'nin (2016) yapmış olduğu çalışmada, sismik aktivitedeki derinlik değerlerinin, Batı Marmara bölgesi için yapılan bu çalışmadaki Şekil 5.5'de yer alan B-B' kesitindeki derinlik değerleri ile de uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu tezin kapsamında elde edilen sonuçların bölgenin sismik tehlike çalışmalarına deprem konumlarının iyileştirilmesiyle katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

# KAYNAKLAR


Araya, M.C., 2017, Application of the double difference earthquake relocation algorithm methodology using HypoDD at four seismic sequences in Costa Rica, *Revista Geológica de América Central,* 57, 7-21.

Barka, A., Kadinsky, K., 1988, Strike slip fault geometry in Turkeyand its influence on earthquake activity, *Tectonics,* Vol. 7 (3), 663-684.

Barka, A., 1992, The North Anatolian fault zone, *Annals Tectonicae*, Vol. 6, 164-194.

Batsi, E., Lomax, A., Tary, J.B., Klingelhoefer, F., Riboulot, V., Murhpy, S., Monna, S., Özel, N.M., Kalafat, D., Saritas, H., Çiftçi, G., Çağatay, N., Gasperini, L., Geli, L., 2018, An alternative view of the microseismicity along the western main Marmara fault, *Bulletin of the seismological society of America,* Vol. 108 (5A), 2650–2674.

Bohnhoff, M., Wollin , C., Domigall , D., K¨uperkoch , L., Mart´ınez-Garz´on , P., Kwiatek,G., Malin, P.E., 2017, Repeating Marmara sea earthquakes: indication for fault creep, *Geophysical journal international,* 210, 332–339.

Can, A.Z., 2017, Marmara denizi güney şelfinin yapısal unsurları, Tez ( Doktora), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cooper, I.E., 2007, A tomographic study of the Long Valley Caldera, California, using improved hypocenter locations and double difference tomography, Thesis ( Master), The Graduate School University of Southern California.

Crosson, R.S., 1976, Crustal structure modeling of earthquake data:1. Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters, *Journal of geophysical research*.

Crampin, S., Evans, R., 1986, Neotectonics of the Marmara Sea region of Turkey, *Journal of the Geological Society*, Vol. 143, 343-348.

Çetin, E., 2010, 1 Ekim 1995 Dinar depremi faylanma parametrelerinin insar ve sismoloji verileriyle belirlenmesi, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

Çıvgın, B., 2010, Ankara ve dolayının sismik hız yapısı ve tektonik deformasyonunun sismolojik verilerle kestirilmesi, Tez (Doktora), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Deichmann, N., Garcia-Fernandez,M., 1992, Rupture geometry from high-precision relative hypocentre locations of microearthquake clusters, *Geophysical journal international*, Vol. 11o(3), 501-517.

Demirci, A., 2013, Simav(Kütahya) fayının sismisitesi ve sismotektonik özellikleri, Tez (Doktora), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirci, A., Özden, S., Bekler, T., Kalafat, D., Pınar, A., 2015, An active extensional deformation example: 19 May 2011 Simav earthquake (Mw = 5.8), Western Anatolia, Turkey, *Journal of Geophysics and Engineering*, 12 (4), 552-565.

Dodge, D.A., 1996, Xadjust; a Matlab-based cross correlation analysis package, *Seismological research letters*, Vol. 67, 36.

Douglas, A., 1967, Joint epicentre determination, *Nature international journal of science*, Vol. 215, 47–48.

Dunn, M., 2004, Relocation of eastern Tennessee earthquakes using hypoDD, Thesis ( Master), The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute.

Ellsworth, W.L., Kirkman, S., 1977, Catalog of earthquakes in the Santa Barbara Channel area fort he period January 1,1972 to December 31,1973, 77,302.

Eskiköy, F., 2014, Accurate location of hypocenters using Double Difference and active fault structures in Gökova Bay, Thesis (Master), Istanbul University Institute for Graduate Studies in Science and Engineering.

Fremont, M.J., Malone, S.D., 1987, High precision relative locations of earthquakes at Mount St. Helens, Washington, *JGR Solid earth*, 10223-10236.

Fre´ chet, J., 1985, Sismogenese et doublets sismiques, Thesis (PhD), University of Grenoble.

FrCchet, J., 1985. Sismogcnks ct douhlcts sismiques, 7hPse d'Em., Univ. sci. techno]. mCdic., Grcnoblc.

Gammans, C.N.L., 2013, : Low-angle normal faulting in the Basin and Range-Colorado Plateau transition zone during the January 3, 2011 Circleville Utah earthquake sequence, Thesis (Master), University of Utah.

Geiger, H., 1910, The scattering of the formula-particles by matter, Proceedings of the royal society A: Mathematical, physical and engineering sciences, 83(565), 492-504.

Gomberg, J.S., Shedlock, K.M., Roecker, S.W., 1990, The effect of s wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation, *Bulletin of the seismological society of America*, Vol. 80 (6A), 1605-1628.

Got, J.-L., Fréchet, J., Klein, F.W. , 1994, Deep fault plane geometry inferred from multiple relative relocation beneath the south flank of Kileaua, *Journal of geophysical research*., 99, 15375–15386.

Hocaoğlu, K., 2015, Yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları ile Kilikya bölgesindeki aktif yapıların belirlenmesi, Tez ( Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hurakawa, N., Imoto, M., 1993, A non double-couple earthquake in a subducting oceanic crust of the Philippine Sea plate, *Journal of physics of the earth*, 41(4), 257-269.

Kalafat, D., 2000, Marmara denizi ve çevresinin depremselliğine bir bakış, TMMOB Jeofizik mühendisleri odası ulusal jeofizik toplantısı, 128-132.

Kalafat, D.,2011, Marmara Bölgesi'nin depremselliği ve deprem ağının önemi, *1. Türkiye deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı,* 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.

Ketin, İ., 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,* Vol.19, 149-154.

Ketin, İ., 1948, Uber die tektonisch.mechanischen folgerungen aus den groflen anatolischen erdbeben des letzten dezenniums, *Geologische Rundschau*, Vol 36 (1), 77–83.

Ketin, I., Roesli, F., Makroseismiche untersuchungen über das nordwest-anatolische Beben, *Eclogae geologicae helvetiae*, Vom. 18(46), 187-208.

Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Philips, D. Kradolfer, U., 1994, İnitial reference models in local earthquake tomography, *Journal of geophysical research: Solid Earth.*

Le Pichon, X., Chamot, N., Rangin, C., 2003, The North Anatolian fault in the Sea of Marmara, *Journal of geophysical research*, Vol. 108( B4), 2179.

Le Pichon, X., Lybéris, N, Alvarez, F., 1984, Subsidence history of the North Aegean trough, *Geological society*, Vol 17, 727-741.

Ma, S., 2009, Seismicity and seismotectonics in eastern Canada and vicinity, Thesis ( Phd), The University of Western Ontario,London.

Ma, S., Eaton, D.W., 2009, Anatomy of a small earthquake swarm in southern Ontario, Canada, *Seismological Research Letters*, Vol 80 ( 2), 214-223.

Ma, S., Eaton, D.W., 2011, Combining double-difference relocation with regional depth-phase modelling to improve hypocenter accuracy, *Geophysical Journal International*, Vol. 185(2), 871–889.

MC Kenzie, D., 1972, Active Tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical journal international*, Vol. 30 (2), 109–185.

Michael, A.J., 1988. Effects of three-dimensional velocity structure on the seismicity of the 1984 Morgn Hill, California, aftershock sequence, *Bull. Seismol. Soc. Am.,* 78, 1199-1221.

Nalbant, S., Geoffrey, A.H., King, C.P., 1998, - Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the north Aegean Sea, *Journal of geophysical research: Solid earth early view,* Vol. 103( B10), 469-486.

Nowack, E., 1928, Die wichtigsten Ergebnisse meiner anatölischen Reisen, *German journal of geology*, 80, 304-312.

Pamir, H.N., 1948, Dinamik jeoloji, *İstanbul Üniversitesi yayınları*, Cilt II, 348-404.

Pang, M., 2014, Double difference earthquake relocation of Charlevoix seismicity, eastern Canada and implication for regional geological structures,Thesis (Master), McGill University, Montreal.

Pavoni, N., 1961, Die nordanatolische horizontalverschiebung: Geol.-Rundschau, Vol. 51, 122-139

Pavlis, G.L., 1986, Appraising earthquake hypocenter location errors: a complete, practical approach for single-event locations, *Bulletin of the seismological society of America*, Vol 76(6), 1699-1717.

Prange, M.D., Bose, S., Kodio, O., Djikpesse, H.A., 2015, An information-theoretic approach to microseismic source location, *Geophysical journal international*, Vol 201 (1), 193-206.

Poupinet, G., Ellsworth, W.L., Frechet, J., 1984, Monitoring velocity variations in the crust using earthquake doublets an application to the Calaveras fault, California, *Journal of geophysical research*, Vol 89 (B7), 5719-5731.

Pujol, J., 1988, Joint event location the JHD technique andapplications to data fromlocal seismic networks, Center for Earthquake Research and Information, The University of Memphis, Advances in Seismic Event Location ,Chapter 7, 163-204.

Ramdhan, M., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., Me'taxian, J.P., Saepuloh, A., Kristyawan, S., Sembiring, A.S., Santoso, A.B., Laurin, A., Fahmi, A.A., 2017, Relocation of hypocenters from DOMERAPI and BMKG networks: a preliminary result from DOMERAPI Project, *Earthquake Science*, 30 (2), 67-79.

Roecker, S.W., 1981, Seismicity and tectonics of the Pamir-Hindu Kush region of central Asia, Thesis (Phd.), M.I.T., Cambridge, MA.

Salomon, C.W., 1940, Geologische wanderungen bei Ankara, *MTA yayınları.*

Sarı, C., Özel, E., Ergün, M., 1995, Saros körfezi bölgesinin tektoniği ve yapısı, *Dergipark*, Cilt 9 (1).

Saner, S., 1985, Saros ko¨ rfezi dolayının çökelme istifleri ve tektonik yerleşimi, Kuzeydog\u Ege Denizi, Türkiye, *Türkiye jeoloji kurumu bülteni*, 28, 1-10.

Seaman, T., 2014, , Investigating the seismicity and stress field of the Truckee-Lake Tahoe Region, California-Nevada, Thesis (Master), University of Nevada,Reno.

Shearer, P.M., 1997,Ray theory: Travel times, Introduction to seismology, 4, Cambridge University press, New York, 65-98.

Şaroğlu E., Emre, Ö.., Kuşçu, I., 1992, Active fault map of turkey, 1:1000000, General directorate of mineral research and exploration.

Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005, The North Anatolian fault: A new look, *Annual review of earth and planetary sciences*, 33(1), 37-112.

Tatar, M., Hatzfeld, D., Ghafory-Ashtiany, M., 2003, Tectonics of the Central Zagros (Iran) deduced from microearthquake seismicity, *Geophysical journal international*, Vol. 156 (2), 255–266.

Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D., 1991, Active tectonics of the north and central Aegean Sea, *Geophys.* J.106, 433-490.

Thurber, C.H., 1983, Earthquake locations and three dimensional crustal structure in the Coyote Lake Area, central California, *Journal of geophysical research: Solid Earth*.

URL-1,http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/depremsellik-haritalari/turkiye7/

URL-2,http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/depremsellik-haritalari/turkiye4/

URL-3,http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/sismik-ag/sismik-ag-haritalari/sismik-ag-haritalari/

Utkucu, M., Budakoğlu, E., Durmuş, H., 2011, Marmara bölgesinde (KB Türkiye) depremsellik ve deprem tehlikesi üzerine bir tartışma, *Yerbilimleri,* 32 (3), 187-212.

Yamamoto, Y., Takahashi, N., Pinar, A., Kalafat, D., Citak, S., Comoglu, M., Polat, R., Kaneda, Y., 2016, Geometry and segmentation of the North Anatolian fault beneath the Marmara Sea, Turkey,deduced from long-term ocean bottom seismographic observations, *Journal of geophysical research: Solid Earth,* 122, 2069-2084.

Waldhauser, F., Ellsworth, W.L., 2000, A Double Difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, California, *Bulletin of the Seismological Society of America,* Vol 90 (6), 1353-1368.

Waldhauser, F., Schaff, D.P., 2005, Waveform cross-correlation based differential travel time measurements at the Northern California seismic network, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95 ( 6), 2446–2461.

Waldhauser, F., 2001, hypoDD -- A program to compute double-difference hypocenter locations, *U.S. geological. survey.*

Westaway, R., 1994, Present day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean, *Journal of geophysical research: Solid earth,* Vol. 99(B6).