



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREMLERE AİT ÖNCÜL SİNYALLERİN ÜÇGEN ALAN
DEĞİŞİMİ YÖNTEMİ VE SABİT-GNSS AĞLARI
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah AYDIN

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 232306001 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Gülşah AYDIN tarafından hazırlanan “**DEPREMLERE AİT ÖNCÜL SİNYALLERİN ÜÇGEN ALAN DEĞİŞİMİ YÖNTEMİ VE SABİT-GNSS AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OYBİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman:Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye:Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 15/08/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Gülşah AYDIN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, tezimin hazırlanmasında yardımlarını ve yönlendirmelerini esirgemeyerek büyük katkı sağlayan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN'E sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, hayatım boyunca bana inanan, uzun ve yorucu tez çalışmamda desteklerini esirgemeyerek beni cesaretlendiren annem Aynur AYDIN, babam Mustafa AYDIN, kardeşlerim Hüseyin AYDIN ve Esra AYDIN'A sonsuz minnettarım ve bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU hocama ve Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU hocama saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Gülşah AYDIN
AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	7
3. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE ANADOLU'NUN TEKTONİK YAPISI	13
3.1 Levha Tektoniği	13
3.2 Anadolu Plakasının Tektonik Yapısı ve Depremselliği	15
4. KABUK HAREKETLERİNİN JEODEZİK YÖNTEMLERLE İZLENMESİ	24
4.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS).....	24
4.2 GNSS Tabanlı Jeodezik Ağlar	27
4.2.1 Üçgen alan değişimi yöntemi	31
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	33
5.1 Kullanılan Veriler ve Yöntemler	34
5.2 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M_w=7.2$)	39
5.3 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi Depremi ($M_w=6.6$).....	47
5.4 30 Ekim 2020 İzmir Depremi ($M_w=6.9$)	56
5.5 6 Şubat 2023 Tarihli Kahramanmaraş Merkezli Depremler ($M_w=7.7$ - $M_w=7.6$).....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	90

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREMLERE AİT ÖNCÜL SİNYALLERİN ÜÇGEN ALAN DEĞİŞİMİ YÖNTEMİ ve SABİT-GNSS AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ

Gülşah AYDIN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

ÖZET

Bu tez çalışması Türkiye'de 2011 ve 2023 yılları arasında meydana gelen yıkıcı büyüklükteki depremler için “Üçgen Alan Değişim Analizi” yöntemi kullanılarak depremlerin oluşmadan önceki öncül sinyallerinin tespit edilebilirliğini sistematik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında; 23 Ekim 2011 tarihinde Van merkezli $M_w=7.2$ büyüklüğünde meydana gelen deprem, 21 Temmuz 2017 tarihinde Gökova Körfezi merkezli $M_w=6.6$ büyüklüğünde meydana gelen deprem, 30 Ekim 2020 tarihli İzmir merkezli meydana gelen deprem $M_w=6.9$ ve 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli meydana gelen depremler $M_w=7.7$ - $M_w=7.6$ incelenecek depremler olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenecek olan bu depremlerin merkez üsleri etrafında bulunan TUSAGA-Aktif ağında hizmet veren GNSS istasyonlarına ait *North (N)*, *East (E)* ve *Up (U)* koordinat verileri yardımıyla deprem merkez üslerini çevreleyen istasyonlardan oluşturulan üçgen alanlarının zamansal değişimleri analiz edilmiştir. Üçgen alan değişimleri 3B üçgenin tüm düzlemleri için (*X-Y*, *Y-Z*, *X-Z*) ayrı ayrı hesaplanarak yorumlanmıştır. Elde edilen grafikler incelendiğinde; Kahramanmaraş merkezli meydana gelen deprem için yapılan analizde depremin meydana gelmeden beş gün öncesine kadar alan değişiminde belirgin sapmalar gözlemlenmiştir. Buna karşılık İzmir depremi için yapılan analizde yetersiz ve heterojen dağılan GNSS istasyonları sebebiyle alan değişim grafiklerinde anlamlı bir örüntüye rastlanılmaması yapılan çalışmanın uygulanabilirliğinin ağ geometrisi ve istasyon sayısı ile doğrudan bağlantılı olduğuna işaret etmektedir. Van ve Gökova Körfezi merkezli meydana gelen depremlerde ise depremlerin meydana gelmeden beş gün öncesine kadar alansal değişimler gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma ile beraber daha yüksek doğruluklu, yoğun ve Türkiye genelinde fay zonları üzerinde homojen şekilde dağılmış GNSS tabanlı ağ verilerinin artması ile uygulanan yöntemde daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üçgen Alan Değişimi, Deprem Öncül Sinyalleri, GNSS, TUSAGA-Aktif.

Ağustos, 2025; 90 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF PRECURSOR SIGNALS OF EARTHQUAKES USING TRIANGULAR AREA CHANGE METHOD AND CORS-GNSS NETWORKS

Gülşah AYDIN

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemil GEZGİN

ABSTRACT

This thesis aims to systematically investigate the detectability of potential precursor signals preceding destructive earthquakes in Türkiye between 2011 and 2023 by employing the “Triangular Area Change Analysis” method. The study focuses on the earthquakes that occurred on 23 October 2011 in Van ($M_w = 7.2$), 21 July 2017 in the Gökova Gulf ($M_w = 6.6$), 30 October 2020 in İzmir ($M_w = 6.9$), and 6 February 2023 in Kahramanmaraş ($M_w = 7.7$ – $M_w = 7.6$). Using the *North (N)*, *East (E)*, and *Up (U)* coordinate data from GNSS stations operating within the TUSAGA-Aktif network located around the epicenters of these earthquakes, the temporal variations of triangular areas formed by stations surrounding each epicenter were analyzed via a Python-based code developed on the Google Colab platform. Triangular area changes were calculated and interpreted separately for all planes of the 3D triangles (*X–Y*, *Y–Z*, and *X–Z*). The graphical analyses revealed that, for the Kahramanmaraş earthquake, distinct anomalies in area change emerged up to five days before the event. In contrast, for the İzmir earthquake, due to the insufficient number and heterogeneous distribution of GNSS stations, no significant pattern could be identified in the area change graphs, indicating that the applicability of the method is directly dependent on network geometry and station density. For the Van and Gökova Gulf earthquakes, notable area changes were also observed up to five days prior to the events. The results suggest that increasing the number of high-precision GNSS stations, homogeneously distributed along fault zones across Türkiye, would enhance the reliability of the applied method.

Keywords: Triangular Area Change, Earthquake Precursor Signals, GNSS, TUSAGA-Active.

August, 2025; 90 Pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya yüzeyinde bulunan levha sınırları ve meydana gelen depremler ile büyüklükleri	2
Şekil 3.1. Pangea kıtası.....	13
Şekil 3.2. Pangea kıtasının ayrılması	14
Şekil 3.3. Dünya'nın iç yapısı ve katmanları	15
Şekil 3.4. Yer kabuğunda bulunan levhalar ve hareketleri	16
Şekil 3.5. Anadolu plakası ve bölgesel levha etkileşimleri	17
Şekil 3.6. KAFZ'ın tarihsel dönemde meydana gelen depremler	18
Şekil 3.7. KAFZ'ın aletsel dönemde $M_d=5.0$ ve üzeri büyüklüklerde meydana gelen depremler.....	19
Şekil 3.8. DAFZ'ın tarihsel dönemde meydana gelen depremler	20
Şekil 3.9. DAFZ'ın aletsel dönemde $M_w=6.0$ ve üzeri büyüklüklerdeki depremleri	21
Şekil 3.10. OAB 1900'den itibaren meydana gelen $M=3$ 'den büyük depremler	22
Şekil 3.11. EGS'nin tarihsel ve aletsel dönemde ($M_w \geq 4$) meydana gelen depremler.....	23
Şekil 4.1. Japonya'da kullanılan GNSS istasyonlarının dağılımı.....	28
Şekil 4.2. Dünya yüzeyinde IGS noktalarının dağılımı	29
Şekil 4.3. TUTGA Ağı istasyon dağılımları	30
Şekil 4.4. TUSAGA-Aktif Ağı istasyon dağılımı	31
Şekil 5.1. Çalışma alanı kapsamında analizi yapılan depremler.....	34
Şekil 5.2. VIR2 istasyonu günlük koordinat değerlerine ait Post dosyası	36
Şekil 5.3. VIR2 istasyonuna ait Excel sayfası.	36
Şekil 5.4. Çalışmanın akış şeması.....	38
Şekil 5.5. Van merkezli depreme ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları.	41
Şekil 5.6. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.	42
Şekil 5.7. HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonunun geometrisi.....	42
Şekil 5.8. Diferansiyel üçgen alan grafikleri (HAKK-SEMD-AGRD).	43
Şekil 5.9. Standart sapma grafikleri (HAKK-SEMD-AGRD).	45
Şekil 5.10. Diferansiyel alan değişim grafiği (BASK-AGRD-HINI).	46
Şekil 5.11. Diferansiyel alan değişim grafiği (HAKK-MURA-MUUS).	46
Şekil 5.12. Diferansiyel alan değişim grafiği (SEMD-SIRT-AGRD).	47
Şekil 5.13. Gökova Körfezi depremine ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları	49
Şekil 5.14. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.	50
Şekil 5.15. CINC-DATC- FETH üçgen kombinasyonunun geometrisi.	51
Şekil 5.16. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri	51
Şekil 5.17. CINC-DIDI-FETH üçgen kombinasyonunun geometrisi.....	52
Şekil 5.18. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri (CINC-DIDI-FETH)	53
Şekil 5.19. DIDI-FETH-MUG1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.....	54
Şekil 5.20. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri (DIDI-FETH-MUG1)	54
Şekil 5.21. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DATC-DIDI).	55
Şekil 5.22. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-FETH-MUG1).	55
Şekil 5.23. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DIDI-FETH).	55
Şekil 5.24. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DIDI-MUG1).	56
Şekil 5.25. İzmir merkezli depreme ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları... ..	59

Şekil 5.26. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.	59
Şekil 5.27. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CINC-DIDI-IZMI).	60
Şekil 5.28. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-CINC-IZMI).	61
Şekil 5.29. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-CINC-DIDI).	62
Şekil 5.30. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-DIDI-SALH).	63
Şekil 5.31. CINC-DIDI-IZMI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.	64
Şekil 5.32. CESM-CINC-IZMI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.	64
Şekil 5.33. CESM-CINC-DIDI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.	64
Şekil 5.34. CESM-DIDI-SALH istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.	64
Şekil 5.35. Kahramanmaraş merkezli depremlere ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları.	67
Şekil 5.36. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.	68
Şekil 5.37. ADN2-EKZ1-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.	70
Şekil 5.38. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri(ADN2-EKZ1-MAR1)	71
Şekil 5.39. ADY1-FEEK-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.	72
Şekil 5.40. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri(ADY1-FEEK-MAR1)	72
Şekil 5.41. ADN2-KIS1-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.	73
Şekil 5.42. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri(ADN2-KIS1-MAR1)	74
Şekil 5.43. ADN2-MAR1-VIR2 üçgen kombinasyonunun geometrisi.	75
Şekil 5.44. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri(ADN2-MAR1-VIR2)	75
Şekil 5.45. Diferansiyel alan değişim grafiği (APK1-EKZ1-FEEK).	76
Şekil 5.46. Diferansiyel alan değişim grafiği (APK1-EKZ1-TUF1).	76
Şekil 5.47. Diferansiyel alan değişim grafiği (EKZ1-ELAZ-TUF1).	76
Şekil 5.48. Diferansiyel alan değişim grafiği (ADN2-ADY1-VIR2).	77
Şekil 5.49. Diferansiyel alan değişim grafiği (ADN2-AKLE-EKZ1).	77
Şekil 5.50. Diferansiyel alan değişim grafiği (AKLE-EKZ1-FEEK).	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Türkiye'de $M_w \geq 6.0$ büyüklüklerde 2010 yılı ve sonrasında meydana gelen depremler	33
Çizelge 5.2. Van merkezli meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.....	40
Çizelge 5.3. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyonlarının listesi.	40
Çizelge 5.4. Gökova Merkezli meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.....	48
Çizelge 5.5. Çalışma alanı kapsamında kullanılacak GNSS istasyon listesi.	49
Çizelge 5.6. İzmir Sisam Adası yakınlarında 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen deprem derinlik ve magnitüd değerleri.....	57
Çizelge 5.7. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyon listesi.....	58
Çizelge 5.8. Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinde 6 Şubat 2023'te meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.....	66
Çizelge 5.9. Kahramanmaraş Elbistan ilçesinde 6 Şubat 2023'te meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.....	66
Çizelge 5.10. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyon listesi.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

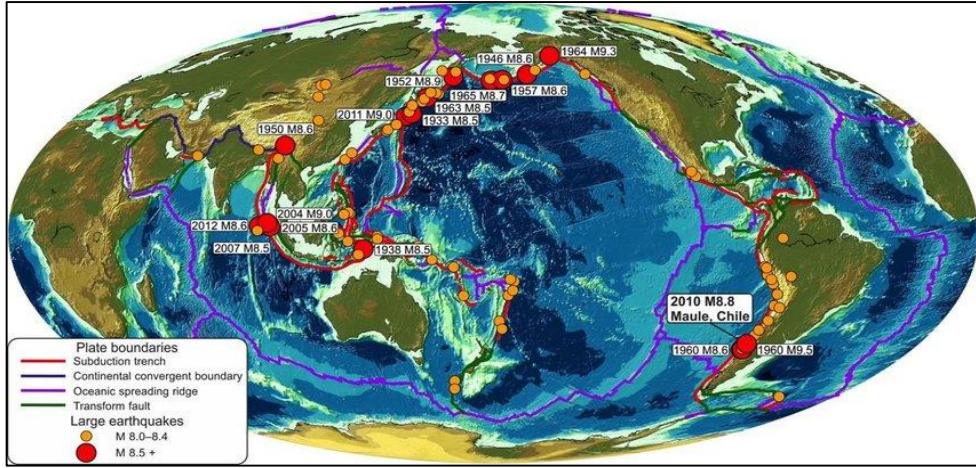
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
BEAZ	Bursa-Eskişehir-Afyon Fay Zonu
BERNESE	Bernese GNSS Software
BDS	BeiDou Navigation Satellite System
cm	Santimetre
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
EGS	Ege Graben Sistemleri
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
Fe	Demir Elementi
GAMIT	GPS Analysis Massachusetts Institute of Technology
GATGA	Güneybatı Anadolu Tektonik GNSS Ağı
GEO	Jeostatik Dünya Yörüngesi
GEO-NET	GNSS Earth Observation Network System
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
HKY	Helenik Kıbrıs Yayı
IGS	International GNSS Service
IGSO	Eğik Jeosenkron Yörüngesi
InSAR	İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
IRNSS	İndian Regional Navigation Satellite System
ISRO	Hindistan Uzay Araştırma Örgütü
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
İKÜ	İstanbul Kültür Üniversitesi
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
kg	Kilogram
km	Kilometre
KRDAE	Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
MAZ	Muğla-Afyon Fay Zonu
MEO	Orta Dünya Yörüngesi
Mg	Magnezyum Elementi
mm	Milimetre
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
NAVIC	Navigation Indian Constellation
Navstar-GPS	Navigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System
NEU	North, East, Up Coğrafi Koordinat Verisi
OAB	Orta Anadolu “Ova” Bölgesi
PPM	Parts Per Million
PPP	Precise Point Positioning
PS-INSAR	Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System

RINEX	Receiver Independent Exchange Format
S(E)	East Coğrafi Koordinatının Standart Sapma Değeri
S(N)	North Coğrafi Koordinatının Standart Sapma Değeri
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
S(U)	Up Coğrafi Koordinatının Standart Sapma Değeri
TGFZ	Tuz Gölü Fay Zonu
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TRANSIT	Navy Navigation Satellite System
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
TUSAGA-AKTİF	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUTGA-99A	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı 1999-A
TUZGA	Tuz Gölü GNSS Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu



1.GİRİŞ

Dünyamız dıştan içe doğru; litosfer (yer kabuğu), manto, dış çekirdek ve iç çekirdek katmanlarından oluşmaktadır. Depremler ise bu katmanların en üstünde bulunan litosfer tabakasındaki levhaların sınırlarında meydana gelmektedir. Çoğunlukla depremlerin %90'ı bu levha sınırlarında oluşmaktadır (Şekil 1.1). Dünyanın doğal yapısından kaynaklı oluşan bu levhalarda meydana gelen depremler canlıları, doğa yaşamını ve doğal çevreyi çeşitli tehlikelere maruz bırakmaktadır. Ayrıca depremler; can kayıpları, maddi hasarlar ve çevresel tahribatlar gibi etkiler oluşturduğunda bir felakete dönüşmektedirler. Meydana gelen depremlerin şiddeti ve büyüklüğü göz önüne alındığında bu doğal afetler canlı yaşamının sürdürülebilirliği için önemli sosyal ve ekonomik sonuçlar da doğurabilmektedir. Depremlerin tarihsel ve aletsel süreci incelendiğinde farklı kıtalarda farklı büyüklüklerde meydana geldikleri gözlemlenmiştir. Geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerin en şiddetlilerinden biri olan ve 1960 yılında yaklaşık bin kilometrelik bir alanda hissedilen Şili depreminin büyüklüğü $M=9.5$ (USGS, 2025) olarak rapor edilmiştir. Ayrıca depremin hemen ardından tsunami meydana gelmiştir. 1655 kişinin hayatını kaybettiği bu felaket yaklaşık 550 milyon dolarlık hasara sebep olarak önemli sosyo-ekonomik sonuçları da beraberinde getirmiştir (URL-1). Bu depreme ek olarak Japonya'da 1923 yılında $M=8.0$ (USGS, 2025) büyüklüğünde, İtalya'da 1980 yılında $M=6.9$ (USGS, 2025) büyüklüğünde, Meksika'da 1985 yılında $M=8.0$ (USGS, 2025) büyüklüğünde, Hindistan'da 1991 yılında $M=6.8$ (USGS, 2025) büyüklüğünde meydana gelen depremlerde binlerce insanın hayatını kaybettiği göz önüne alındığında depremlerin küresel ölçekte oldukça şiddetli ve yıkıcı olduğu görülmektedir. Yıkıcı büyüklükte meydana gelen depremlerde binaların yıkılması ya da ağır hasar alması sonucunda afet sonrası barınma alanları sorununun oluşması ile birlikte altyapı ve iletişim hizmetlerinin kesintiye uğraması, depremden etkilenen toplumlarda uzun süreli psikolojik etkiler gibi ciddi sorunların da oluştuğu gözlemlenmektedir. Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş bu depremlerin etkileri göz önüne alındığında yaşanan bu doğal afetler gelecekte meydana gelebilecek depremlerin etkilerini anlamak ve önlem geliştirebilmek açısından oldukça önemlidir.



Şekil 1.1. Dünya yüzeyinde bulunan levha sınırları ve meydana gelen depremler ile büyüklükleri (URL-2).

Litosfer, kırılğan yapıda bulunan okyanusal ve kıtasal kabuktan oluşmuş Dünya'nın en dış katmanıdır. Dünya yüzeyinde litosferi oluşturan 7 adet ana ve birkaç adet küçük levha bulunmaktadır. Bu levhaların etkileşimi ve hareketi sonucunda çeşitli büyüklüklerde ve oldukça yıkıcı etkilerde depremler meydana gelebilmektedir. Yer kabuğundaki bu hareketliliği açıklamak amacıyla yer bilimcileri tarafından çeşitli kuramlar ortaya atılmıştır. Ancak 1912 yılında Alfred Wegener tarafından “Kıtaların Kayma Teorisinin” ortaya atılmasından sonra bu kuram geliştirilerek “Levha Tektoniği Kuramı” olarak kabul görmüştür ve günümüzde de halen geçerliliği devam etmektedir (Genç, 2024). Levha tektoniği kuramı, litosferin kırılğan yapıdaki kara ve okyanusal plakalardan oluştuğunu ve zamanla karasal plakanın tektonik kuvvetlerin etkisiyle birbirinden ayrıldığını açıklayan ve günümüzde yer bilimcileri tarafından kabul gören bilimsel teoremdir. Bu teoreme göre kıtasal kabuğun birbirinden ayrılması sonucunda yeni plakalar oluşmuştur. Günümüzde ise litosferi oluşturan tektonik plakalara; Pasifik, Afrika, Avrasya, Kuzey ve Güney Amerika kıtaları örnek olarak verilebilir. Anadolu Plakası üzerinde yer alan Türkiye; Avrupa, Afrika ve Arabistan levhalarının kesişim noktasında yerini almaktadır. Bu kesişimden kaynaklanan etkileşim sonucunda ülkemizde oldukça fazla aktif fay zonları gözlenmektedir (Tiryakioğlu, 2012). Türkiye'de başlıca bulunan aktif fay zonları; kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), batıda Ege Graben Sistemi (EGS), doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), güneyde Helenik Kıbrıs Yayı (HKY) ve Orta Anadolu'da yer alan Orta Anadolu “Ova Bölgesi” (OAB) olarak sınırlanmaktadır (Baysal vd., 2010; Glover ve Robertson 1998; McClusky vd., 2000; Şengör, 1985; Tiryakioğlu vd., 2013).

Bu aktif fayların sebep olduğu yer kabuğu hareketlerinden dolayı  lkemiz Alp-Himalaya sismik kuşağının en aktif deformasyon zonlarından biridir ve Anadolu plakası, sismik aktivitesiyle dünya üzerinde depremlerin sık ve yoğun bir şekilde meydana geldiği bölgeler içerisinde yerini almaktadır (Gezgin, 2020; McKenzie, 1972).

Ülkemizin tarihsel ve aletsel dönem depremselliği incelendiğinde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nin (KRDAE) ve Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) verilerine göre son 100 yılda moment magnitüd değeri $M_w=6$ ve üzerinde 19 adet büyük deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2025; KRDAE, 2025). Tarihsel dönemde 29 Mayıs 526 tarihinde  l  Deniz Fayı'nın etkisi altında bulunan Hatay ilinde IX şiddetinde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremde yaklaşık 250 bin can kaybının yaşanmasından dolayı tarihin en yıkıcı depremi olmuştur. (Korkmaz, 2006; KRDAE, 2025). Tarihsel dönemde yıkıcı etkide oluşan bir diğer depremde 14 Eylül 1509 tarihinde İstanbul'da IX şiddetinde meydana gelen depremdir. Meydana gelen bu depremde İstanbul ve çevresinde yaklaşık 13 bin can kaybı yaşanmıştır (KRDAE, 2025). Ülkemizin aletsel dönemi incelendiğinde ise; 27 Aralık 1939 tarihinde Erzincan da $M_s:7.9$ büyüklüğünde meydana gelen deprem KAFZ etkisiyle oluşmuştur. Yıkıcı büyüklükle meydana gelen bu depremin başta Erzincan olmak üzere bölgede bulunan 10'dan fazla ilde hissedilerek 30 binden fazla insan yaşamını yitirmiştir (G l, 2011; KRDAE, 2025). KAFZ'ın batıya olan deprem göçünü destekler şekilde yine KAFZ'ın etkisiyle 17 Ağustos 1999 tarihinde yerel saatle 03.01'de merkez  ss  Gölcük (Kocaeli) olan $M_s=7.8$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Deprem İstanbul başta olmak üzere Sakarya, Bolu, Eskişehir, Kocaeli gibi bölgede bulunan 7 ilde can ve mal kaybına sebep olarak 17 binden fazla insan yaşamını yitirmiştir. Bunun yanı sıra da 73 binden fazla bina hasar almıştır (Aktürk ve Albeni, 2002; KRDAE, 2025). Yakın tarihte büyüklüğü $M_w=7.0$ ve üzerinde olan 6 şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli depremler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu deprem dizisi Türkiye nüfusunun yaklaşık yüzde 16'sının etkilenmesine sebep olarak Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 45 bini aşkın insanın yaşamını yitirmesiyle ülkemiz tarihinde en çok can kaybının yaşandığı depremlerden biri olmuştur. Bölgede bulunan 11 ilde can kaybının yaşandığı bu depremle 35 binden fazla bina depremin etkisiyle yıkılmıştır (TÜİK 2025; URL-3). Meydana gelen bu doğal afetlerle beraber insan yaşamının

sürdürülebilirliği ve dolayısıyla sosyal ve ekonomik açıdan sebep olduğu sonuçlar da ülkemiz için oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Tüm bu etkiler göz önünde bulundurulduğunda hem dünya hem de ülkemiz genelinde yapılacak olan deprem çalışmaları meydana gelebilecek felaketlerin etkilerinin bir kısmının azaltılabilmesi için bir gereklilik olarak görülmektedir (Singh vd., 2019). Geçmişten günümüze deprem çalışmaları küresel ölçekte ve ülkemizde jeoloji ve paleosismolojik hendek çalışmaları, jeofizik ile jeodezi gibi birçok disiplin tarafından geniş bir yelpazede yürütülmektedir. Farklı bilim dallarında gerçekleştirilen çalışmalar teknolojinin de gelişmesiyle günümüzde ilerleyip ivme kazanmıştır. Bu çalışmalarda önemli bir yer tutan jeodezi bilimi önceki dönemlerde geleneksel açı, uzunluk ve seviye ölçme yöntemleriyle yürütülen çalışmalarla sınırlıyken 1980'li yıllardan sonra ortaya çıkan uzay jeodezisi teknolojileri ile yerini Küresel Konumlama Sistemleri (GNSS)'ne bırakmıştır (Gezgin, 2020). Deprem araştırmalarında GNSS teknolojisi yer kabuğu hareketlerini izlemek, bu hareketlerin neden olduğu deformasyon alanlarını tespit etmek ve noktaların hız vektörlerinin belirlenmesinde günümüzde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. GNSS teknolojisi; tektonik plaka hareketlerini ve deprem kaynaklı yer kabuğu deformasyonlarını milimetrik (mm) hassasiyette belirleyebilmektedir. Ayrıca GNSS teknolojisi diğer tekniklere göre daha az maliyetli ve yüksek doğruluğu sayesinde büyük ölçüde zamandan da tasarruf sağlamaktadır. Bu teknikte; fay kırıklarının bulunduğu bölgelerde sismojenik zonun kalınlığına göre fay zonlarına belirli uzaklıkta ve homojen şekilde dağılmış GNSS noktaları tesis edilmektedir. Çoğunlukla bronz ya da pilye şeklinde tesis edilen noktalarda sürekli gözlemler ya da yılın belirli periyotlarında kampanyalar şeklinde ölçmeler yapılmaktadır. Ölçmeler sonucunda elde edilen veriler “GAMIT/GLOBK”, “BERNESE” gibi açık kaynak kodlu, GNSS gözlemlerine etki eden sistematik hataları dikkate alarak IGS (International GNSS Service) noktalarının da değerlendirmeye dahil edildiği ham GNSS verilerini işleyen yazılım türleri kullanılarak analiz edilmektedir. Bu analiz sonucunda noktaların ilk ölçüme başlandığı andan son ölçüme kadar geçen sürede meydana gelen toplam yer değiştirme miktarı ile noktanın yatay ve düşey hız yönleri vektörel olarak belirlenebilmektedir. Bu kaynak veriler sayesinde türetilen gerinim alanı vb. ikincil veriler yardımıyla meydana gelebilecek olası bir depremde öncül bilgiler elde etmede büyük olanak sağlanmaktadır (Aktuğ vd., 2013; Gezgin, 2020; Reilinger vd., 2006; Solak vd., 2024; Tatar vd., 2012; Tiryakioğlu vd., 2013).

Yer kabuğu hareketlerinin ve deformasyon alanlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan GNSS teknolojisinden faydalanarak geliştirilen ve bu tez çalışmasının da ana analiz yöntemi olan “Üçgen Alan Değişimi” yöntemi, 2010 yılında Murai Shunji tarafından Japonya genelinde meydana gelmiş yaklaşık 150’den fazla deprem için uygulanmıştır. Uygulamada depremlerin merkez üslerini kapsayacak şekilde GNSS istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonlarla potansiyel üçgen kombinasyonları yapılmıştır. İstasyonların günlük koordinat verileri kullanılarak elde edilen potansiyel üçgenlerin hepsi için ayrı ayrı alan hesabı yapılmıştır. Murai (2010) yaptığı çalışmada alan hesabı sonucunda elde edilen diferansiyel üçgen alan grafiklerinde depremlerin meydana geldiği günden 1-90 gün öncesine kadar öncül sinyaller tespit etmiştir. Bu çalışma kapsamında da GNSS tekniği yardımıyla depremlerin meydana gelmeden önceki öncül sinyallerinin tespit edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda; ülkemizde 2010 yılı ve sonrasında $M_w=6$ ve üzerinde meydana gelen depremler aşağıda maddeler halinde listelenmiştir:

- 8 Mart 2010-Elazığ ($M_I=6.0$)
- 23 Ekim 2011 Van ($M_w=7.2$)
- 10 Haziran 2012 Muğla Ölü Deniz ($M_I=6.0$)
- 24 Mayıs 2014 Gökçeada Körfezi ($M_w=6.5$)
- 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi ($M_w=6.6$)
- 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ ($M_w=6.5$)
- 30 Ekim 2020 Ege Denizi ($M_w=6.9$)
- 23 Kasım 2022 Sarıdere- Düzce ($M_I=6.1$)
- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler ($M_w=7.6$), ($M_w=7.7$)
- 20 Şubat 2023 Samandağ-Hatay ($M_w=6.3$)
- 2025 Sındırgı-Balıkesir ($M_w=6.1$)

Meydana gelen bu depremler arasından GNSS istasyon dağılımı ve verileri erişilebilir olan 23 Ekim 2011 Van ($M_w=7.2$), 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi ($M_w=6.6$), 30 Ekim 2020 Ege Denizi ($M_w=6.9$), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler ($M_w=7.6$), ($M_w=7.7$) depremleri çalışma bölgesi olarak seçilerek alan değişim analizleri gerçekleştirilmiştir. Depremlerin meydana geldiği tarihten önceki 90 gün ve depremlerin meydana geldiği tarihten sonraki 30 gün olmak üzere toplamda 120 günlük sabit-GNSS istasyonlarından elde edilen North

(*N*), *East (E)*, *Up (U)* coğrafi koordinat verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler tez çalışması kapsamında geliştirilen Python tabanlı kod kullanılarak ilgili depremler için tüm olası üçgenlerde her iki düzlemin kombinasyonu şeklinde “GAUSS Üçgen Alan” hesabı yapılmıştır. Ardından elde edilen üçgen alanların zamanla gösterdiği değişimler "PPM" (Parts Per Million) mertebesinde normalize edilerek görelî alan değişim oranları hesaplanmıştır ve sonuç çıktıları yorumlanmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yer kabuğunun tektonik hareketi sonucunda levha sınırlarında oluşan depremler meydana geldikleri fayda ve bloklardaki noktalarda yer değiştirme hareketine sebep olurlar. Bu yer değiştirme hareketinin hızını ve yönünü belirleme çalışmaları teknolojinin ilerlemesi ile yerini GNSS'e bırakmıştır. Literatürde, GNSS teknolojisi kullanılarak faylara ait deformasyon alanlarını tespit etmek, fay ve çevresinde bulunan blok hareketlerini belirlemek, deprem meydana getirebilecek faylardaki potansiyel gerinim birikimlerini belirlemek ve olası depremlere karşı kabuk deformasyonlarının sonucunda oluşabilecek öncül sinyallerin tespit edilmesi gibi çeşitli çalışmalar mevcuttur. Literatürde bulunan çalışmalar, Anadolu plakası üzerinde sismik aktivite gösteren bölgelere göre başta KAFZ, DAFZ, Batı Anadolu Genişleme Bölgesi ve Orta Anadolu “Ova” bölgesi olmak üzere gruplanarak derlenmiştir. Bu tez çalışmasında, yukarıda bahsedilen Anadolu levhasındaki dört başlıca sismik kaynak bölgesi için farklı disiplinler ve tekniklerle gerçekleştirilen çalışmalardan tez çalışması kapsamında kullanılan GNSS tabanlı çalışmalar özetlenmiştir.

Ülkemizin kuzeyinde bulunan sağ yanal doğrultu atımlı faylanma özelliği gösteren ve Anadolu plakası için deprem üretme potansiyeline sahip önemli bir fay olan KAFZ'ın kayma hızı ve blok hareketleri literatür incelendiğinde jeolojik ve jeodezik gibi çeşitli yöntemlerle tespit edilmiştir. Jeodezik olarak yapılan çalışmalarda KAFZ'ın hızını; McClusky vd. (2000) 25 ± 1 mm/yıl, Reilinger vd. (2006) $25,2 \pm 0,2$ mm/yıl olarak tespit ederken jeolojik çalışmalarda KAFZ'ın hızını Hubert-Ferrari vd. (2002) $18 \pm 3,5$ mm/yıl, Hartleb vd. (2003) 18 ± 3 mm/yıl, Kozacı vd. (2007) $20,5 \pm 8,5$ mm/yıl olarak tespit etmiştir. Genel olarak ilerleyen yıllarda literatürde yapılan KAFZ'ın hızını belirleme çalışmaları fay hattının segmentlerinde ayrı ayrı incelenmekte olup her segmentin kendine özgü hızını tespit etme çalışmaları yapılmıştır. Bunlara örnek olarak Yavaşoğlu (2009) tarafından yapılan tez çalışmasında KAFZ'ın orta segmenti olan Ilgaz ile Ladik arasındaki bölgenin hızını GNSS teknolojisi kullanılarak $20,5 \pm 1,8$ mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Aladoğan (2017) tarafından yapılan tez çalışmasında ise KAFZ'ın Bolu-Çorum segmentinin sismik yer kabuğu hareketlerini GNSS teknolojisi kullanarak incelenmiştir. Değerlendirme sonucunda KAFZ'ın Bolu-Çorum segmentinin yıllık hızını 15-20

milimetre (mm) olarak belirlenmiştir. Yavaşoğlu vd. (2020) KAFZ'ın İsmetpaşa segmentindeki hızını $13,2\pm3,3$ mm/yıl olarak, Destek segmentinde ise $9,6\pm3,1$ mm/yıl olarak hızını belirlenmiştir.

Ülkemizin Orta Anadolu Bölgesinde bulunan aktif fay zonlarının, büyüklüğü 6,8'e ulaşabilecek deprem üretme potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Gezgin, 2020). Literatürde bölgede aktif olarak bulunan Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) etrafında Aktuğ vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada TUTGA noktaları kullanılarak bölgenin gerinim değerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Tuz Gölü'nün doğu kesimi sıkışmalı ve genişlemeli rejim, fayın orta kesiminde ise açılmalı normal fay dinamiğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak fayın orta kesiminde yeteri kadar GNSS istasyonu bulunmamasından dolayı fayın davranışı ile ilgili bilgi elde edilememiştir. Bu eksikliği gidermek için Gezgin (2020) ve Gezgin vd. (2020) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar kapsamında TGFZ'nin tektonik hareketi incelenmiştir. Çalışmada TGFZ'nin blokları etrafına eşit dağılımlı 25 adet pilye tesis edilerek bir ağ oluşturulmuştur. Pilye tesisleri tamamlandıktan sonra fayın her iki bloğunda da olmak üzere faya dik 5 kilometre (km) uzaklıkta 2 adet sürekli gözlem yapan GNSS istasyonu kurulup ağa dahil edilmiştir. TGFZ hakkında daha hassas sonuçlar elde etmek için oluşturulan ağa 16 TUTGA ve 4 tane TUSAGA-Aktif noktası dahil edilerek Tuz Gölü GNSS Ağı (TUZGA) oluşturulmuştur. TUZGA ağında toplamda 4 kampanya şeklinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen koordinat verileri GAMIT/GLOBK yazılımında dengelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda TGFZ'nin segmentlerinin kayma hızı ve blok hareketleri literatürde ilk defa bu çalışma ile belirlenmiştir. İlgili çalışmada TGFZ'nin kayma hızı yaklaşık olarak yatayda $3,2$ mm/yıl ve düşeyde $1,5$ mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Elde edilen kayma hızları dikkate alındığında Orta Anadolu Bölgesi'nin sismik aktivitesinin geçmişteki çalışmalarda belirtilenden daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma ülkemizin diğer bölgelerine kıyasla sismik açıdan daha durağan kabul edilen (AFAD, 2025; KRDAE, 2025) Orta Anadolu Bölgesi'nin depremselliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Depremsellik açısından ülkemizin batısında alçalan yer kabuğu blok hareketleri sonucunda oluşan Ege Graben Sistemi (Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Karaburun, Kütahya ve Aydın grabeni) bulunmaktadır. Ege graben sistemi çeşitli

bloklardan oluştuğu için literatürdeki çalışmalar genellikle bölgesel olarak yapılmıştır. Ege Graben sisteminin farklı blokları için yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmektedir;

Tiryakioğlu (2012) tarafından ülkemizin Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerinim alanlarının GNSS teknolojisinden faydalanarak belirlenmesi konulu tez çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi ile bölgenin sismik aktivite açısından günümüzün teknolojisi olan GNSS'ten faydalanılarak levha hareketleri tespit edilmiştir. Bölgede daha önceden kurulmuş olan 30 noktalı GNSS ağına ek olarak bu tez çalışması kapsamında 27 adet TUSAGA-Aktif istasyonu dahil edilmiştir. Toplamda 57 noktalı “Güneybatı Anadolu Tektonik GNSS Ağı (GATGA)” oluşturulmuştur. Ağdan elde edilen veriler sonucunda Anadolu levhası üzerinde bulunan istasyonların Avrasya levhasına göre yılda $10-15 \pm 0,5$ mm hızla hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu hareketin hızının da yılda $26-29 \pm 0,5$ mm'ye kadar artmakta olduğu yapılan çalışma sonucunda belirlenmiştir. Çalışmaya ek olarak GRID_STRAIN ve ANSYS yazılımları kullanılarak çalışma bölgesindeki ve özellikle Fethiye-Burdur Fay Zonu çevresinde stres gerilimlerin olduğu da tespit edilmiştir.

Doğru vd. (2014) İzmir ve çevresinde yaptığı hız tespiti çalışmasında 15 noktadan oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda bölgenin ilk tam hız vektörü tespit edilmiştir. GNSS gözlemleri sonucunda bölgenin hızı 25 ± 2 mm/yıl- 28 ± 2 mm/yıl arasında değişim gösterdiği ve buna ek olarak GPS istasyonlarının Tuzla Fayı'nın doğusundan batısına doğru hareket ettiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile ayrıca hız vektörlerinin Tuzla Fayı'nın güneybatısına doğru saat yönünün tersinde belirgin sapmalar gösterdiği tespit edilmiştir.

Ege graben sistemleri içerisinde yer alan Bolvadin fayı ve etrafında son 4 yıl içinde daha önceden meydana gelmemiş bazı yer değiştirmeler saptanmıştır. Bunun üzerine meydana gelen yer değiştirmeleri belirlemek amacıyla Özkaymak vd. (2017) yaptığı jeolojik (yer bilimi) ve jeomorfolojik (topoğrafik) çalışmalar sonucunda fayın güneydoğusunda yer alan bloğun 10 ile 40 cm (santimetre) arasında düşeyde yer değiştirdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin bölgedeki yeraltı su potansiyelinin azalması ile ilgili olduğu çıkarımında bulunulmuştur.

Özkaymak vd. (2019) yaptığı jeolojik haritalama ve paleosismolojik çalışma sonucunda Bolvadin Fayı'nın yaklaşık her 1 bin yılda bir $M_w=6.48$ 'e ulaşabilecek deprem üretme potansiyeline sahip olduğu ve uzun dönem ortalama kayma hızı 0,1 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında iki adet paleosismik hendek açılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda Bolvadin Fayı'nın da son 2570 yıl içinde en az iki büyük deprem meydana getirdiği sonucuna varılmıştır.

Ege graben sistemlerinden biri olan Büyük Menderes grabeni üzerinde Oktar vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada bölgenin sismik aktivitesini GNSS teknolojisi ve PS-InSAR yöntemi kullanarak belirleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada 8 adet GNSS istasyonundan alınan veriler sonucunda istasyonların hızı; yatayda güneybatıya doğru 22-28 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Düşeyde (+) yönde en yüksek hız değeri 2,42 mm/yıl iken en düşük hız değeri ise 0,71 mm/yıl'dır. (-) yönde en yüksek hız değeri -5,12 mm/yıl iken en düşük hız -0,06 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. PInSAR analizleri ile de bölgede yıllık çökme değeri 23 mm, yıllık yükselme değeri ise 13 mm olarak tespit edilmiştir.

Ülkemizin doğusunda ülkemiz için ikinci önemli deprem üretme potansiyeline sahip sol yanal doğrultu atımlı faylanma özelliği gösteren DAFZ, KAFZ ile Karlıova bölgesinde kesişir (Aktuğ vd., 2013; Özener vd., 2010; Reilinger vd., 2006). Başlangıcı Karlıova bölgesi olan bu fay Kahramanmaraş ilinin güneyine kadar uzanır. DAFZ'nın yakın tarihli sismik aktivitesi incelendiğinde DAFZ ve çevresinde yıkıcı etkiye sahip 5 deprem meydana gelmiştir. Bunlar; Bingöl $M_w=5.7$ (2005), Elazığ $M_w=6.1$ (2010), Van $M_w=7.2$ (2011), Elazığ $M_w=6.5$ (2020), Kahramanmaraş $M_w=7.6$ ve $M_w=7.7$ (2023) depremleridir (KRDAE, URL-4). Bu kadar yıkıcı etkiye sahip depremler üreten bu fay üzerinde literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Özener vd. (2010) yaptığı jeodezik çalışmada; Ovacık Fayı, Pulumur Fayı ve KAFZ'nın Yedisu segmenti çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanı 2005 yılında Bingöl'de meydana gelen depremin ($M_w=5.7$) merkez üssünü de kapsamaktadır. Yapılan çalışma sonucunda çalışma bölgesinin yıllık hızı yaklaşık 9 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Ovacık Fayı'nın yapısı ve düşük gerilme oranı göz önüne alındığında deprem tekrarlama sıklığı uzun olup 7.1-7.2 büyüklüğünde deprem

üretebileceği sonucuna varılmıştır. Elazığ (2020) depreminin ardından depremin meydana geldiği bölgede Bayık vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada depremin inter-sismik, ko-sismik ve post-sismik evrelerindeki deformasyonu ve yer değiştirme miktarını belirlemek amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada GNSS teknolojisi ve InSAR tekniği kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en fazla yer değiştirme depremin merkez üssüne en yakın istasyon olan “ELAZ” istasyonunda meydana gelmiştir. Ko-sismik dönemde DAFZ 'ın sol taraf doğu bileşeninde en yüksek yer değiştirme -0,02 mm, kuzey bileşeninde -0,13 mm; sağ taraf doğu bileşeninde +0,04 mm, kuzey bileşeninde ise +0,10 mm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar da InSAR tekniği ile desteklenmiştir. Eyübagil vd. (2023) tarafından DAFZ üzerinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinin GNSS gözlemleri doğrultusunda öncül sonuçlarının değerlendirilmesi konulu çalışmada; depremin meydana getirdiği yer değiştirme miktarı ve hız vektörü tespit edilmiştir. Kahramanmaraş depreminde doğu bileşeninde yer değiştirme 1,2-404,4 cm iken hız 3,7-20,5 cm/sn olarak tespit edilmiştir. Kuzey bileşeninde ise yer değiştirme 1,4-69,6 cm iken hız 4,1-20,1 cm/sn olarak tespit edilmiştir. Gaziantep depreminde ise doğu bileşeninde yer değiştirme 1,1-23,4 cm iken hız 3-12,5 cm/sn aralığında tespit edilmiştir. Kuzey bileşeninde ise yer değiştirme 1,1-30,9 cm iken hız 3,8-37,7 cm/sn aralığında tespit edilmiştir. Özkan vd. (2023) tarafından yapılan bir diğer jeodezik çalışmada ise DAFZ'ın Narlı ve Amanos bölümlerinde sol yönlü doğrultu atılımlı kırılmalar tespit edilmiştir. Kahramanmaraş ve Gaziantep depremleri sonucunda en büyük yer değiştirme miktarı “EKZ1” istasyonunda 466 cm, CRDK istasyonunda 362 cm ve “BNCA” istasyonunda 360 cm'e ulaştığı tespit edilmiştir.

Yukarıda yer alan çalışmalara ek olarak, farklı büyüklüklerde meydana gelmiş depremlere ait öncül sinyallerin tespit edilebilirliği konulu çalışmalarda literatürde yapılmıştır. Buna örnek olarak Murai (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada “Üçgen Alan Değişimi” yöntemi kullanılarak 2003 yılında meydana gelen Miyagi Açık Deniz depreminin ($M_w=7.1$) merkez üssünü kapsayacak şekilde GNSS istasyonları ile olası bütün üçgen kombinasyonları oluşturulmuştur. Oluşturulan her üçgenin bütün düzlemleri için (XY, YZ, XZ) ayrı ayrı alan hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak Miyagi Açık Deniz depremine ait ilk en büyük öncül sinyal depremden 23 gün önce tespit edilmiştir. 2008 yılında ise Çin'in Sichuan Eyaletinde meydana gelen Wenchuan depremi ($M_w=7.9$) için yapılan çalışmada Murai (2010), depremin

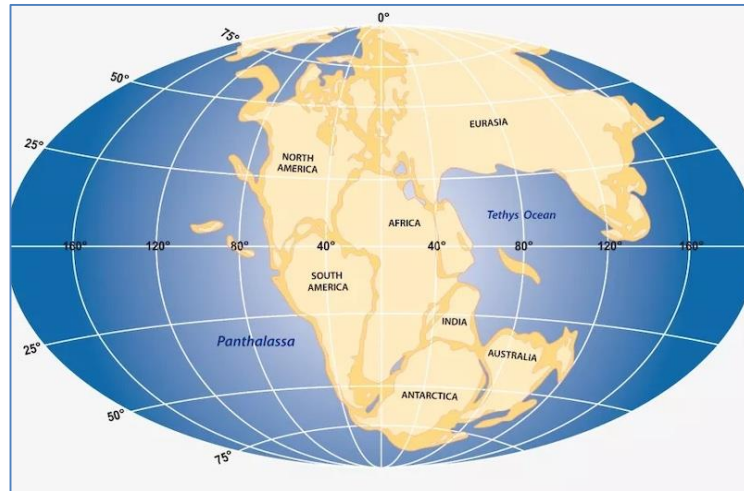
merkez üssünü kapsayacak şekilde 4 adet IGS noktasından (*Wuhan (WN)*, *Xian (XN)*, *Kunmin (KN)* ve *Lhasa (LS)*) bir GNSS ağı oluşturmuştur. Oluşturulan ağda üçgen alan hesabı yapılmıştır. Yapılan üçgen alan hesabı sonucunda LS, XN ve WN'yi birbirine bağlayan üçgende depremden 6 gün önce, 6 Mayıs 2008 tarihinde XZ düzleminde depreme ait öncül sinyal tespit edilmiştir.

Üçgen alan değişimi yönteminin depremleri önceden belirlenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması konusunda ülkemizde Ürüştan (2015) tarafından 23 Ekim 2011 yılında $M_w=7.2$ büyüklüğünde Van'da meydana gelen depremin öncül sinyallerini belirlemek ve deprem anındaki yer kabuğu hareketlerini incelemek için yapılan çalışmada “İyonosferdeki TEC Değişimi Yöntemi” ile TUSAGA-Aktif verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda depremden önce “MURA” istasyonunda TEC değerinde değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca depremin meydana geldiği fay düzleminin her iki tarafında konumlanmış 14 adet TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük istasyon verileri kullanılarak GAMIT/GLOBK yazılımı ile jülyen gününe göre 235-353'üncü günler arasındaki günlük koordinat verileri dengelenerek hız/zaman serileri elde edilmiştir. Elde edilen GNSS verilerinde TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük hareketlerinde belirgin sapmalar tespit edilmiştir. Ürüştan (2020) yılında yaptığı çalışmasında; 2015 yılında yaptığı çalışmaya ek olarak “Üçgen Alan Değişimi” yöntemini kullanarak 2011 yılında meydana gelen Van depreminin öncül sinyallerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Çalışmasında depremin meydana geldiği fayın etrafında bulunan 14 TUSAGA-Aktif istasyonları ile kurduğu ağdaki verileri kullanmıştır. Çalışmasında yaptığı üçgen kombinasyonları sonucunda jülyen gününe göre 286-287, 289-290 ve 293'üncü günlerinde üçgen alanlarında değişimler gözlemleyerek depreme ait öncül sinyaller tespit etmiştir.

3. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE ANADOLU'NUN TEKTONİK YAPISI

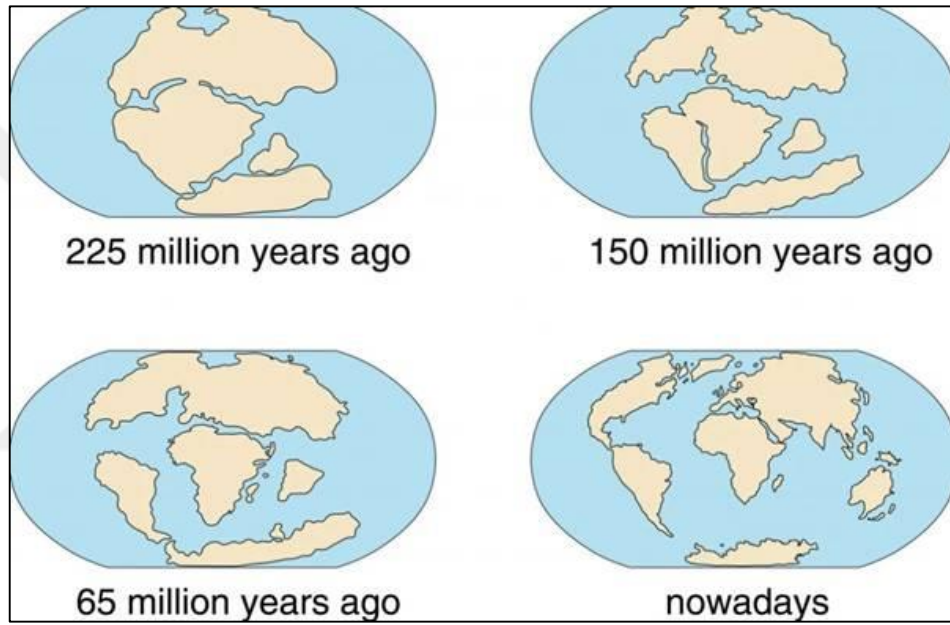
3.1 Levha Tektoniği

Dünyamızın içyapısına bağlı olarak yer kabuğunda sürekli meydana gelen bir hareketlilik vardır. Bu hareketlenmenin nedeni yüzyıllardır bilimsel tartışmaların odağı olmuştur. Bu bilimsel süreç ilk olarak 1620 yılında Francis Bacon'un Atlantik Okyanusu'nun her iki tarafındaki kıta sınırlarının birbirine benzediğini ve birbirlerini yapboz parçası gibi tamamladığını fark etmesiyle başlamıştır. Ancak Bacon, bu görüşünde kıtaların şekilsel benzerliklerine dikkat çekmiş olsa da kıtaların daha öncesinde bütün bir kara kütle halinde olduğu yönünde bir hipotez öne sürmemiştir. 19. yüzyıla gelindiğinde Antonio Snider-Pellegrini 1858 yılında kıtaların; yüzyıllar öncesinde bütün bir kara parçasını oluştururken zamanla hareket ettiğini savunan bilim adamı olmuştur. Ancak bu hareketliliğin bir doğa olayı (Büyük Tufan) sonucunda oluştuğu fikrini savunmuştur. 1912 yılında ise Alfred Wegener, Antonio Snider-Pellegrini'nin ortaya attığı hipotezi geliştirerek “Kıtaların Kayması” hipotezini ortaya atmıştır. Bu hipotezini 1912 yılında yayımladığı “Kıtaların ve Okyanusların Kökeni (The Origin Of Continents And Oceans)” adlı kitabıyla bilim dünyasına önemli bir yenilik getirmiştir. Wegener'e göre yaklaşık 300 milyon yıl önce Karbon ve Permiyen dönemlerinde dünya yüzeyindeki kara parçaları Yunanca bütün kara parçası anlamına gelen Pangea şeklinde birleşik süper kıtayı oluşturuyordu (Şekil 3.1). Zamanla bütün olarak bulunan bu kara parçası hareket ederek birbirinden ayrılmıştır görüşünü savunmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Pangea kıtası (URL-4).

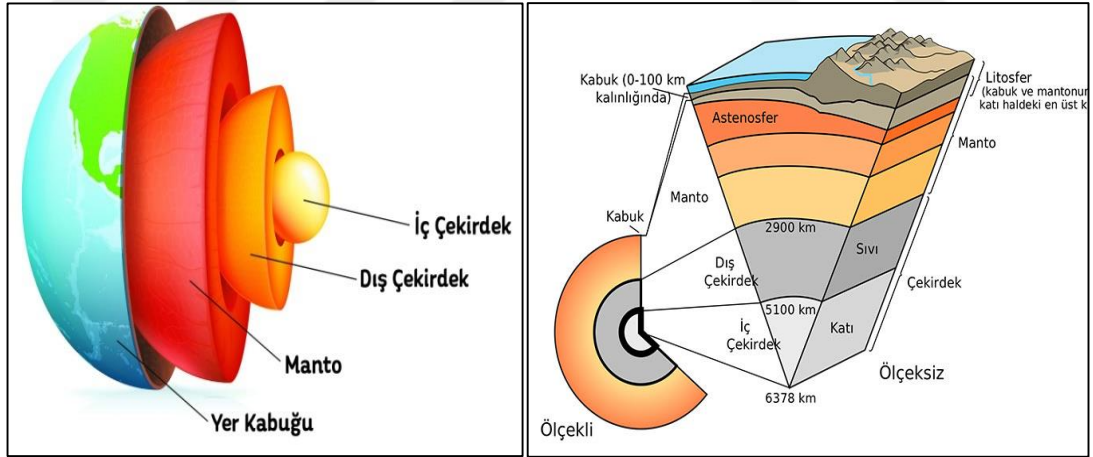
Wegener bu görüşünü; kıtaların doğusunda ve batısında kalan kara kütlelerini özellikle Afrika ve Güney Amerika kıtalarının kıyılarının birbirlerine uygunluğunu, “Mesosaurus” isimli sucul sürüngenin fosillerinin yalnızca Güney Amerika ve Afrika kıtalarında bulunması, “Glossopteris” gibi bitki fosillerinin farklı kıtalarda bulunması, aynı yaşta ve aynı türden kayaçların Afrika ve Güney Amerika kıtasında bulunması, Güney Amerika, Güney Afrika, Hindistan ve Avustralya kıtalarındaki buzul izlerinin benzerlikleri ve ayrıca sıcak iklim bitki ve ekosistemlerinin soğuk iklimde bulunması gibi kanıtlarla hipotezini desteklemiştir (Ersoy, 2020; Gezgin, 2020; Hallam, 1975).



Şekil 3.2. Pangea kıtasının ayrılması (URL-5).

Wegener hipotezinde levhaların hareket ettiğini doğru tahmin etmiştir ancak levhaların hareket mekanizmasını açıklayıcı bir kuram ortaya koyamamıştır. 1960'lı yıllara gelindiğinde Harry Hess, levha hareketlerini açıklayarak Wegener'in hipotezindeki eksikliği tamamlamıştır. Harry Hess 1940'lı yıllarda denizaltılarının güvenliği için sonar cihazı kullanarak deniz tabanının haritasını çıkardığı çalışmasında deniz altında, yeni uzun dağ sıraları olduğunu keşfetmiştir. Bu dağ sıraları astenosferde ki erimiş halde bulunan magmanın yeryüzüne çıkarak soğuyup batma hareketi yapması sonucu ortaya çıktığını savunmuştur. Günümüzde bu kuram geliştirilerek çoğu yer bilimci tarafından “Levha Tektoniği Kuramı” olarak kabul görmüştür. Levha tektoniği kuramının temelinde yer kabuğu hareketleri vardır. Yer kabuğu dünyanın en dış katmanıdır. Kıtasal kabuk ve okyanusal kabuk olmak üzere

ikiye ayrılmaktadır. Kıtasal kabuk yaklaşık 30-70 km kalınlığa sahiptir ve genellikle granit kayalardan oluşmaktadır. Okyanusal kabuk ise kıtasal kabuğa görece daha ince yapıdadır ve yaklaşık 5-10 km kalınlığa erişmektedir. Yer kabuğu (litosfer), kıta ve okyanus bölgelerinde katı kayalardan oluşur ve farklı bölgelerde farklı kaya türlerine sahiptir. Yer kabuğunun (litosfer) alt kısmı üst mantodan meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Ayrıca litosfer; okyanusal, kıtasal gibi farklı yüzeylerden oluşan tektonik levhalara sahiptir. Bu levhalar litosfer ve hemen altında bulunan astenosferin meydana getirdiği konveksiyonel hareket sonucu oluşmaktadır. Astenosfer litosfere kıyasla daha akışkan halde bulunur. Bu viskoz yapı levhaların hareket etmesine sebep olmaktadır. Astenosferdeki yüksek sıcaklık ve basınç ile yükselen maddelerin soğuyarak çökmesi sonucunda litosfer üzerinde bulunan levhalar gözle görülemeyecek kadar küçük hızlarla yer değiştirmektedirler. Bu yer değiştirme hareketi yer kabuğunda deformasyonların oluşmasına yol açmaktadır. Özellikle levha sınırlarında meydana gelen; levhaların birbirlerine doğru sürtünme, uzaklaşma ve birbirlerini çekme hareketleri dağ oluşumu, volkanizma, fay hattı oluşumu, deprem gibi çeşitli doğa olayları olarak yeryüzüne yansımaktadır (İşçi, 2008; Kayhan, 2018; Tiryakioğlu, 2012; Uzel, 2023; Yavaşoğlu, 2009).

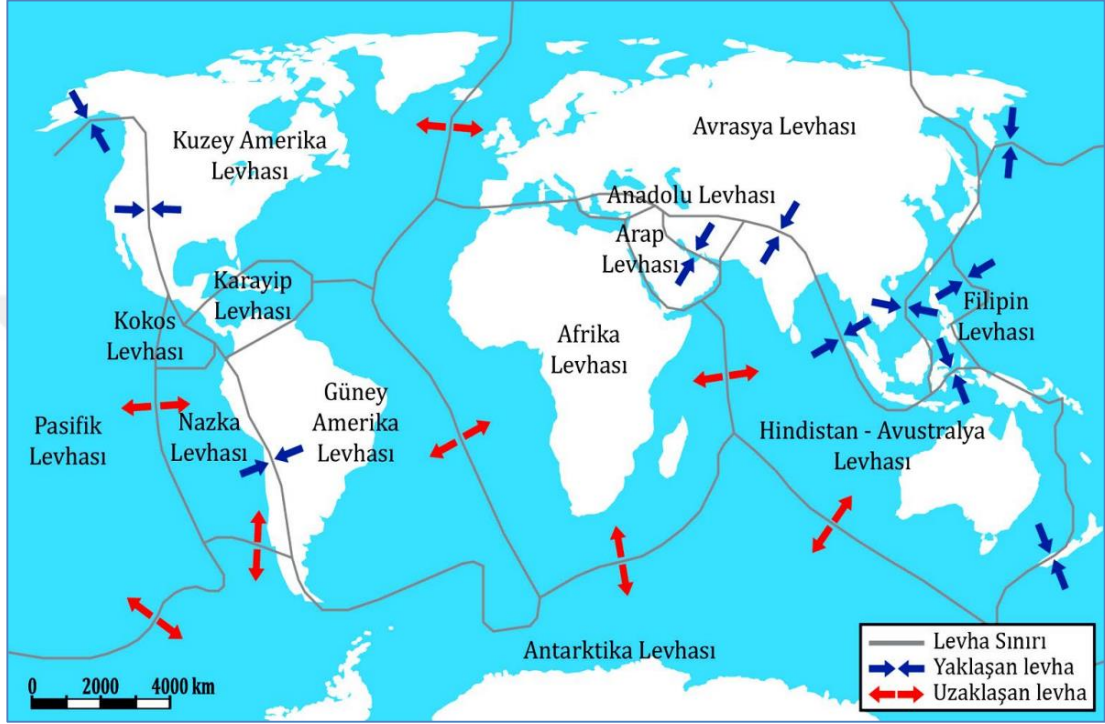


Şekil 3.3. Dünya'nın içyapısı ve katmanları (Gezgin, 2020; URL-6).

3.2 Anadolu Plakasının Tektonik Yapısı ve Depremselliği

Günümüzde dünya yüzeyinde başlıca dokuz adet büyük levha bulunmaktadır. Bunlar; Kuzey Amerika, Güney Amerika, Antarktika, Afrika, Avustralya, Avrasya, Kokos, Nazka ve Pasifik'dir (Şekil 3.4). Bunların yanı sıra birçok küçük levhada bulunmaktadır. Ülkemizin büyük bir kısmı Avrasya levhasının bir parçası olan

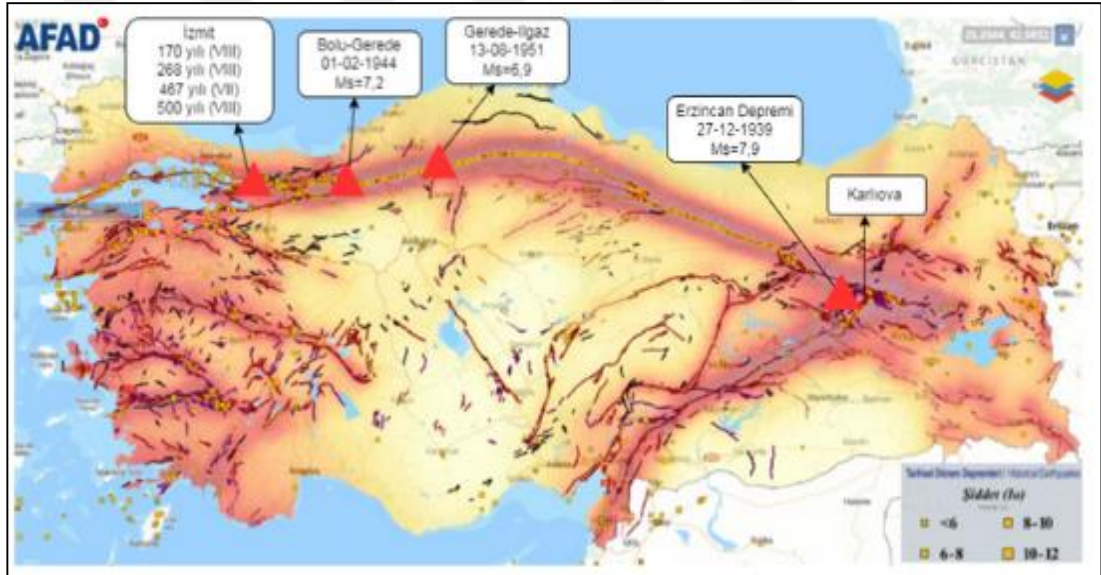
Anadolu levhası üzerinde yer almaktadır. Afrika ve Arap levhalarının Avrasya levhasına etkisi ile Anadolu levhası şekillenmiştir ve günümüzde de halen bu etki ile Anadolu levhası üzerinde önemli stres birikimleri meydana gelmektedir. Bu tektonik etki, Anadolu levhası üzerinde aktif fayların oluşmasına zemin hazırlayarak bölgenin sismik açıdan aktif olmasına neden olmaktadır (Tiryakioğlu, 2012).



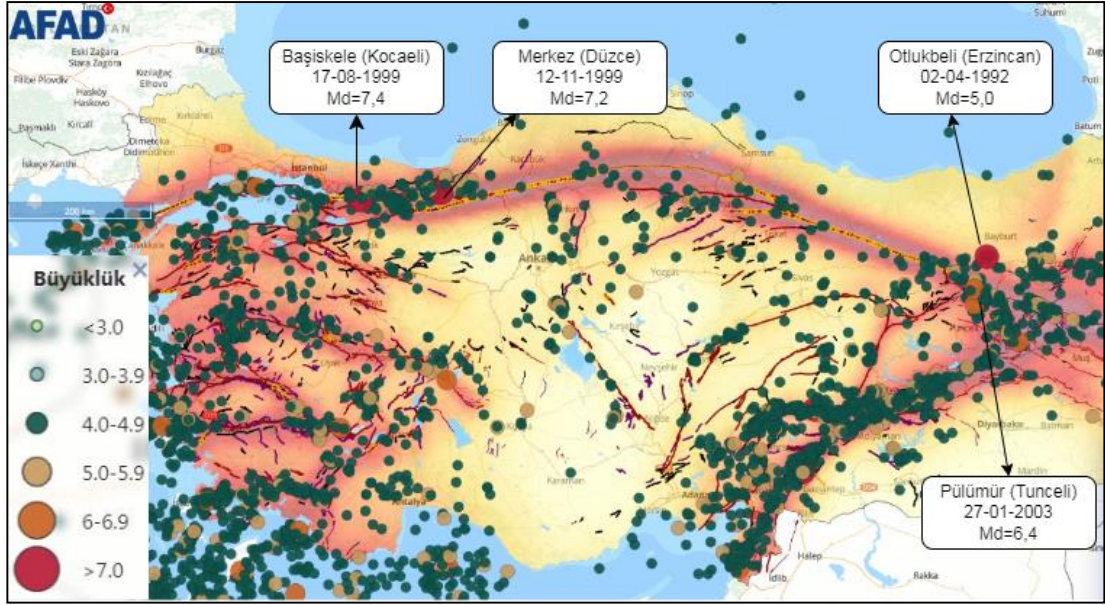
Şekil 3.4. Yer kabuğunda bulunan levhalar ve hareketleri (URL-7).

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer almaktadır (McKenzie, 1972). Alp-Himalaya orojenik kuşak sistemi ise Mezozoik dönemde (yaklaşık 250-66 milyon yıl önce) Tetis okyanusunun ortadan kalkması ile oluşmuştur. Günümüzde Tetis okyanusu tamamıyla yok olmamıştır; Karadeniz, Akdeniz ve Hazar denizi olarak varlığını sürdürmektedir. Mezozoik dönemde, güneyinde Gondvana, kuzeyinde Laurasia arasında bulunan Tetis okyanusu zamanla Gondvana'dan kopan Kimmerya Kıtası gibi küçük kara parçalarının kuzeye doğru hareket etmesi ile küçülmeye başlamıştır. Bu dönemde Tetis okyanusunun litosferik tabanı Avrasya levhasının altına dalarak dalma-batma zonlarını meydana getirmiştir. Bu olay Alp-Himalaya orojenik kuşağının oluşumuna zemin hazırlamıştır. Dönemin sonlarına doğru Gondvana'dan kopan ve günümüzde Arap levhası olarak bilinen kara parçası kuzeye doğru hareket etmeye başlayarak Avrasya levhası ile çarpışmıştır. Bu çarpışma sonucunda okyanusal kabuk tamamen ortadan kalkmıştır ve kıtasal çarpışmaların

doğrultu atımlı fayların karakterine uygun bir biçimde bir depremde boşaltabilecek yapıya sahiptir. Bu yüzden tarihsel ve aletsel dönemlerde çok büyük magnitüde depremler üretmiştir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). Buna örnek olarak 1999 yılında Gölçük'te meydana gelen $M_s=7.8$ büyüklüğündeki deprem ülkemiz tarihinin en yıkıcı depremlerinden biri olmuştur (KRDAE, 2025). Bu tür yıkıcı depremlerin meydana gelmesi fay zonunun aktif olduğunu ve günümüzde de önemli bir sismik tehlike olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle KAFZ'ın hızını tespit etmek ve yıllar içerisindeki fay hareketliliğini incelemek oldukça önemlidir. KAFZ'ın karmaşık yapısından dolayı her segmentinde hızı farklılık gösterse de yıllık ortalama hızı 23 mm/yıl civarındadır (Aladoğan, 2017; Barka, 1992; Barka, 1996; Ketin, 1948; Ketin, 1969; Ketin, 1983; Köksal, 2011; McClusky vd., 2000; Özener, 2010; Reilinger vd., 2006).



Şekil 3.6. KAFZ'ın tarihsel dönemde meydana gelen depremler (Çağlayan, 2017; Özmen, 2000).

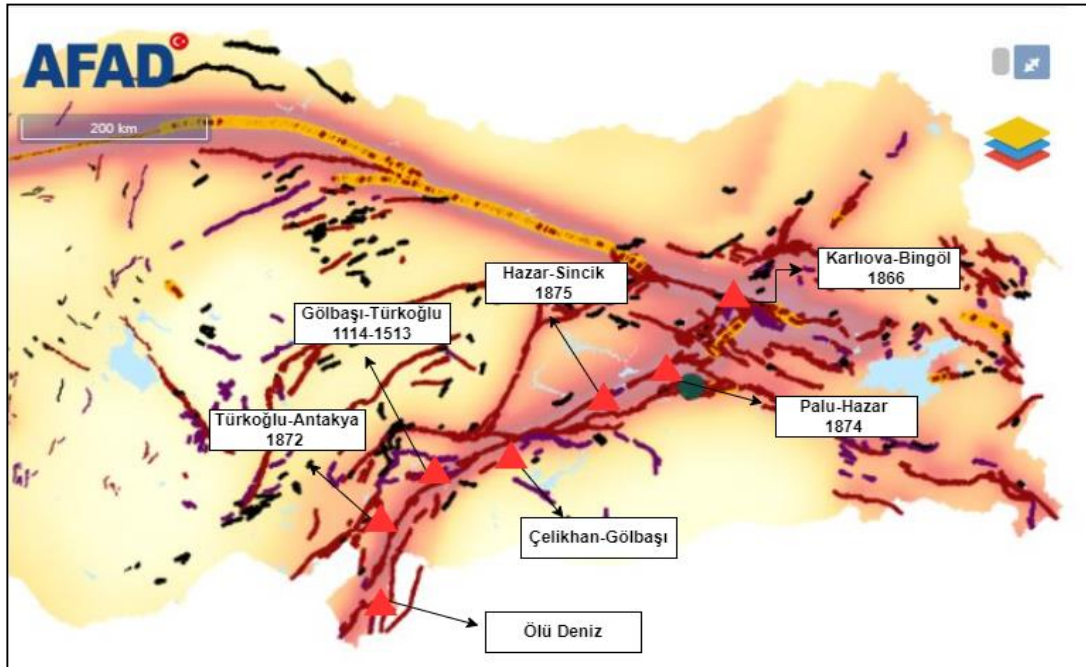


Şekil 3.7. KAFZ'ın aletsel dönemde Md=5.0 ve üzeri büyüklüklerde meydana gelen depremler (AFAD, 2025).

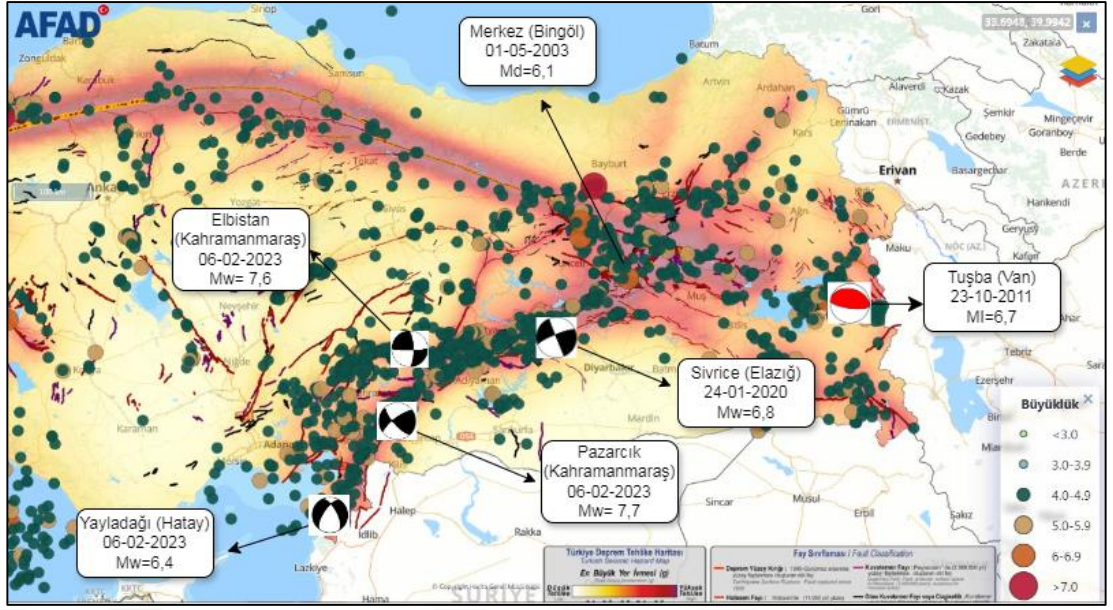
Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesinde can ve mal kayıplarına sebep olabilecek potansiyele sahip bir diğer tektonik unsur olan DAFZ; Türkiye'nin doğusunda Geç Kretase döneminde Arap ve Avrasya Levhasının birbirine çarpması sonucu oluşan bir fay zonudur. Bu çarpışmanın etkisiyle ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi tektonik açıdan aktif hale gelmesinin yanı sıra bölgede oluşan volkan çıkışları ile volkanik dağlar da oluşmuştur (Nemrut Dağı, Süphan Dağı, Tendürek Dağı, Ağrı Dağı). Doğuda Karlıova (Bingöl)'dan başlayarak güneyde Amik Ovasına kadar uzanan DAFZ, yaklaşık 500 km uzunluğundadır. Sol yönlü doğrultu atımlı fay karakterine sahip olan DAFZ'ın yıllık hızı ortalama 9 mm/yıl civarındadır. DAFZ doğrusal fay düzleminde Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar, Çelikhan-Gölbaşı, Türkoğlu-Antakya gibi belli başlı segmentlere ayrılmıştır (Şekil 3.8). Tarihsel süreç incelendiğinde DAFZ'ın Türkoğlu-Çelikhan segmentinde tarihin en yıkıcı depremleri meydana gelmiştir. Bu depremler 29 Kasım 1114'de ($M > 7.8$), 28 Mart 1513 ($M > 7.4$) ve 2 Mart 1813 ($M > 7.1$) tarihinde meydana gelmiş depremlerdir. 4 Aralık 1905 tarihinde ise $M > 6.8$ büyüklüğünde 1900'lü yılların en şiddetli depremi meydana gelmiştir (Utkucu vd., 2023; Yılmaz vd., 2006; Yönlü, 2012). Aletsel döneme bakıldığında Şekil 3.9'da da görüldüğü üzere ise 1 Mayıs 2003 ($M_d = 6.1$) Bingöl, 24 Ocak 2020 ($M_w = 6.8$) Elazığ'da meydana gelen yıkıcı depremler ciddi tahribatlara yol açmıştır. Ardından 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli ($M_w = 7.7$ ve $M_w = 7.6$) deprem dizisi DAFZ'ın tektonik gerinim, birikim ve boşalma süreçlerinin düzensiz olduğunu ve fay

zonunun herhangi bir zamanda yıkıcı depremler meydana getirebileceğine işaret etmektedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Kalkan ve Aksoy, 2004; KRDEA, 2025; Over vd., 2004; Özkaymak vd., 2011; Yılmaz vd., 2006).

DAFZ ve KAFZ ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Bingöl-Karlıova'da kesişmektedir. Bu bölge üç tektonik plakanın kesişim noktası olduğu için buraya “Karlıova Üçlü Kavşağı” denilmektedir. Karlıova bölgesinde kesişen bu plakalar; Avrasya, Afrika ve Arap plakalarıdır. Karlıova üçlü kavşağı dalma-batma zonları olmayan kıtasal kabuktan oluşan bir üçlü kavşaktır. Dünya yüzeyinde bu tip bölgeler sismik aktivite, volkanizma ve deformasyon açısından oldukça önemli bölgelerdir. Ülkemiz tarihine baktığımızda Karlıova Üçlü Kavşak Bölgesi'nde oldukça büyük magnitüde depremler oluşmuştur. Bunlar; 17 Ağustos 1949 ($M_s=6.7$), 13 Nisan 1998 ($M_s=5.0$), 12 Mart 2005 ($M_s=5.7$), 14 Mart 2005 ($M_s=5.9$) büyüklüğünde ve 14 Haziran 2020 tarihinde ($M_w=5.9$) büyüklüğünde meydana gelen depremlerdir. Karlıova üçlü kavşağındaki tektonik hareketlerin etkisiyle oluşan bu depremler yoğun nüfuslu birçok il ve ilçenin kesişim noktasında meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede can kayıplarına ve yerleşim yerlerinde ciddi yıkımların oluşmasına sebep olmaktadır (Ali ve Akkoyunlu, 2022; Karaoğlu vd., 2017; KRDAE, 2025; URL-8).



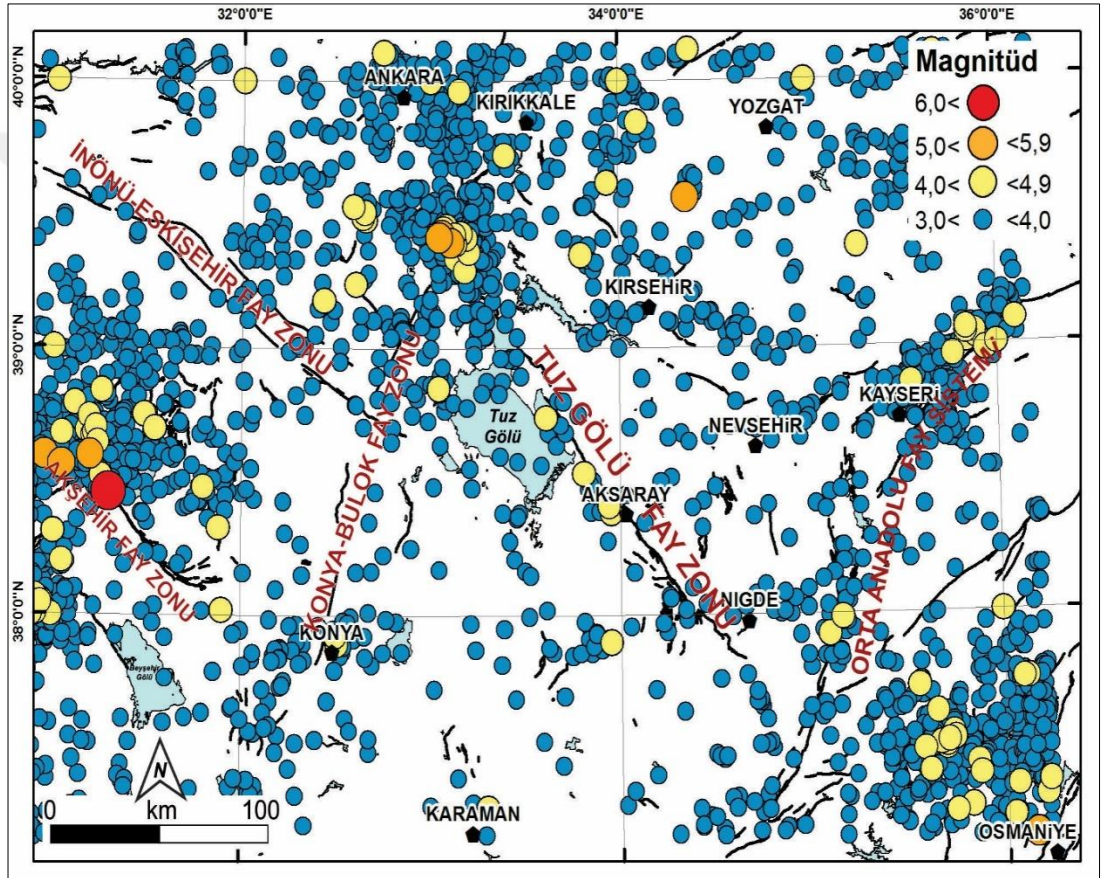
Şekil 3.8. DAFZ'nin tarihsel dönemde meydana gelen depremler (AFAD, 2025).



Şekil 3.9. DAFZ'ın aletsel dönemde $M_w=6.0$ ve üzeri büyüklüklerdeki depremleri (AFAD, 2025).

Ülkemizin İç Anadolu “Ova” Bölgesi, Anadolu levhası üzerinde yer alan geniş ve düzlük bir bölgedir. Bu bölge KRDAE, AFAD, USGS gibi kurumlar tarafından elde edilen veriler sonucunda ülkemizin diğer bölgelerine kıyasla sismik aktivite açısından daha durgun bir bölge olarak kabul edilmiştir (Gezgin, 2020). Ancak bölge; DAFZ ve KAFZ gibi yüksek sismik aktiviteye sahip fay zonlarının etkisiyle Anadolu levhasının batıya doğru hareketinden etkilenerek bir geçiş zonu olarak görülmektedir. Ayrıca bölgede $M_w \geq 6.0$ ve üzeri büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip farklı fay karakterlerindeki fay zonları bölgenin sismik aktivitesine katkı sağlamaktadır. Bu durum bölgenin tektoniğinin aktif olmasına sebep olmaktadır. Bu fay zonlarından olan sağ yanal doğrultu atımlı Salanda Fay Zonu ve Eskişehir- İnönü Fay Zonu bölgenin önemli tektonik unsurları arasında yer almaktadır. Ecemiş Fayı ise sol yanal doğrultu atımlı fay karakterine sahiptir. Bu fayın etkisi ile bölgede aktif hale gelen Orta Anadolu Fay Zonu sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur. Bölgede bulunan bir diğer önemli tektonik unsur olan TGFZ sağ yanal bileşenli doğrultu atımlı fay karakterine sahiptir. TGFZ'nin güney batıya doğru olan segmentinin çevresinde Niğde ilinin Bor ilçesinde 20 Eylül 2020 tarihinde $M_w=5.4$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. 23 Şubat 2023 tarihinde yine aynı bölgede $M_w=5.2$ büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. (KRDAE, 2025). Bu depremlere ek olarak Orta Anadolu Ova Bölgesi'nin depremselliği incelendiğinde 20 Aralık 2007 $M_w=5.7$ büyüklüğündeki Bala

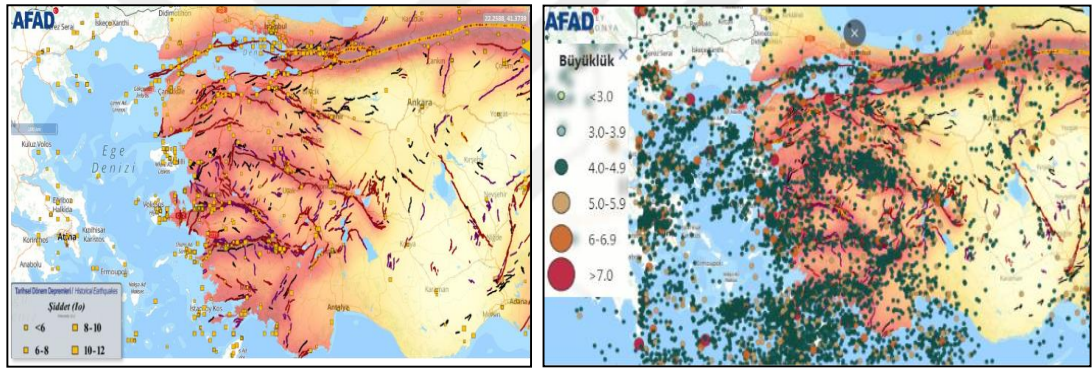
(Ankara) depremi, 6 Haziran 2000 tarihinde $M_w=6.0$ büyüklüğünde Çankırı depremi, 20 Şubat 1956 tarihinde $M_w=6.4$ büyüklüğünde Eskişehir depremi ve 19 Nisan 1938 tarihinde $M_s=6.8$ büyüklüğünde Akpınar (Kırşehir) merkezli meydana gelen bu depremler merkez üsleri ve çevrelerinde birçok hasara sebep olmuşlardır (Şekil 3.10). Bu depremler dikkate alındığında Orta Anadolu Ova Bölgesi günümüzde diğer bölgelere göre daha durgun bir sismik aktivite sunsa da yinede büyük magnitüde depremler üretebilecek potansiyelde fay zonları bulunmaktadır (Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Koçyiğit, 2009; Öztürk, 2019; Temiz ve Gökten, 2011).



Şekil 3.10. OAB 1900'den itibaren meydana gelen $M=3$ 'den büyük depremler (Faylar; Dirik ve Erol, 2003; Dirik, 2001; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Emre vd., 2013; Göncüoğlu vd., 1996; Koçyiğit ve Özacar, 2003; Özsayın ve Dirik, 2007'den değiştirilerek alınmıştır).

Anadolu plakası; Arap ve Avrasya levhalarının etkisiyle batıya doğru kuzey-güney yönünde genişleyerek hareket eder. Bu tektonik hareketlenmeden dolayı ülkemizin batısı sismik açıdan aktif hale gelerek doğrultu atımlı fay, normal fay ve ters fay gibi çeşitli karakterlerde fay zonları bulunmaktadır. Batı Anadolu Bölgesi, BEAZ (Bursa-Eskişehir-Afyon Fay Zonu) ve MAZ (Muğla Afyon Fay Zonu)'ın sınırlandığı alanı

temsil eder. Ayrıca bölgede Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes, Simav ve Karaburun Fay Zonları da bulunmaktadır. Bu fay zonlarının etrafında bulunan iki bloktan birinin çökmesi sonucu ülkemizin batısında grabenli yapılar oluşmuştur. Bunlar; Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes, Simav ve Bergama Grabeni olarak öne çıkmaktadır. Bu grabenler levha hareketlerinin etkisiyle şekillenmiştir ve bölgenin neotektonik evriminde önemli bir yer tutmaktadır. Tarihsel ve aletsel süreçte bölgede önemli depremler meydana gelmiştir (Şekil 3.11). Bunlardan birkaçı olan Gökçeada'da $M_w=6.5$ büyüklüğünde 24 Nisan 2014 tarihinde meydana gelen deprem, Gökova Körfezinde $M_w=6.6$ büyüklüğünde 21 Temmuz 2017 tarihinde meydana gelen deprem ve Ege denizi (İzmir)'de $M_w=6.9$ büyüklüğünde 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen deprem ciddi can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Bu depremlerin meydana geldiği tarih ve büyüklük dikkate alındığında bölgenin enerjisini çok sık depremle boşalttığı anlaşılmaktadır (Şaroğlu ve Güler, 2020).



Şekil 3.11. EGS'nin tarihsel ve aletsel dönemde ($M_w \geq 4$) meydana gelen depremler (AFAD, 2025).

4. KABUK HAREKETLERİNİN JEODEZİK YÖNTEMLERLE İZLENMESİ

4.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)

Tarih öncesi dönemlerden itibaren insanoğlu için konum belirleme temel gereksinimlerinden biri olmuştur. Bu yüzden farklı tarihsel dönemlerde farklı ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Konum belirleme yöntemlerinin gelişmesinin tarihsel sürecine baktığımızda orta çağda denizcilerin açık denizde yön bulmak amacıyla gök cisimleri, yıldızlar ve pusulalar yardımıyla konum belirlemişlerdir. 17. yy.a gelindiğinde toprak ölçümü, sınır belirleme, harita yapımı, mülkiyet hakkı vb. nedenlerden dolayı geleneksel jeodezik açı-kenar ölçüm yöntemleri geliştirilerek konum belirleme çalışmaları yapılmıştır. 1950'li yıllara gelindiğinde değişen dünya ile beraber daha hassas konum belirleme ihtiyacı artmıştır. Bundan dolayı geleneksel jeodezik yöntemlerin yerini zamanla uzay teknolojilerinin gelişmesiyle uydu bazlı konum belirleme çalışmaları almıştır. Uydu bazlı konum belirlemede kullanılan ve SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) tarafından 4 Ekim 1957 tarihinde uzaya gönderilen ilk yapay uydu Sputnik-1 uydusudur. Bu uydu 58 cm çapında 83,6 kg (kilogram) ağırlığında dünyadan uzaklığı yaklaşık 215 ile 939 km arasında bulunan yörüngede konumlandırılarak ortalama 96 dakikada dünya etrafındaki bir turunu tamamlamaktadır. Bilimsel ve askeri amaçlar doğrultusunda uzaya fırlatılan uydu 92 gün yörüngede kalarak 4 Ocak 1958 tarihinde görevini tamamlamıştır (Cracknell ve Varotsos, 2007). 1960 yılına gelindiğinde ise Amerika Birleşik Devleti (ABD) tarafından soğuk savaş sırasında askeri amaçlar doğrultusunda kullanılmak amacıyla toplam 6-10 adet uydudan oluşan bir uydu sistemi kurulmuştur. Navy Navigation Satellite System (TRANSIT) olan bu uydu sisteminin ilk uydusu Transit-1B, 13 Nisan 1960 yılında uzaya gönderilmiştir. Bu sistemdeki uyduların ağırlıkları 55-130 kg arasında değişmektedir. Yaklaşık 1,2 metre (m) çapa sahip bu uydu sistemi dünyadan ortalama 1100 km uzaklıktaki yörüngede konumlanarak dünya etrafındaki bir turunu 106 dakikada tamamlamaktadır. 1967 yılında çok hassas atomik uydu saatlerinin kullanıldığı TIMATION uyduları ABD Ulusal Araştırma Laboratuvar tarafından geliştirilerek uzaya fırlatılmıştır. Bu uyduların temel amacı yüksek doğrulukta zaman senkronizasyonu sağlayarak, yer istasyonlarına yönlendirilen sinyaller aracılığıyla

konum ve mesafe ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca bu uydular sayesinde gerçek zamanlı konumlamaya geçişin temelleri atılmıştır.

1970'li yıllarda ise ABD Savunma Bakanlığı öncülüğünde TRANSIT ve TIMATION uydu sistemleri geliştirilerek bugün ki GNSS sisteminin temeli olan Navstar-GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System) olarak adlandırılan sistem hayata geçirilmiştir. İlk uydusu olan Blok-1, 22 Şubat 1978'de yörüngesine yerleştirilmiştir. Ardından 1989 yılında Blok-2 uydusu ve devamında da uyduların uzaya gönderilmesiyle toplam 24 uydu ile 1993 yılında tam kapasiteye ulaşılarak dünya genelinde faaliyete geçilmiştir. Bu sistemin başarılı olması sonucunda zamanla daha da geliştirilerek günümüzde de kullanılan 30'dan fazla GPS uydusu ile sivil kullanıma hizmet etmektedir (URL-9).

1980'li yıllarda Sovyetler Birliği tarafından sivil ve askeri amaçlar için kullanılmak üzere GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) olarak adlandırılan küresel uydu navigasyon sistemi kurulmuştur. 1976 yılında kurulan bu sistemin ilk test uydusu olan COSMOS 12 Ekim 1982 yılında başarıyla fırlatılmıştır. İlk zamanlarda askeri amaçlar için kullanılan sistem 1992 yılında sivil kullanıcılara açılmıştır. 24 Eylül 1993 tarihinde toplam 12 uydu ile tam operasyonel kapasiteye ulaşılmıştır. Sovyetler Birliğinin dağılmasının ardından bir süreliğine işlevselliği durdurulan sistem 2000'li yıllarda Rusya tarafından yeniden modernize edilerek yapılan iyileştirmelerle hem uydu sayısı arttırılmış hem de konum belirlemedeki hassasiyeti ve güvenilirliği ile GPS'e rekabet edebilecek hale gelmiştir. Günümüzde ise 24 aktif uydusu ile hizmet veren bu sistemde uydular 3 dairesel yörüngede, her bir yörüngede 8'er adet uydu olacak şekilde dünya yüzeyinden 18840 km ile 19940 km uzaklıkta 64.8°eğimle konumlanmaktadır. GLONASS uyduları GPS uydularına göre daha alçak yörüngede ve daha yüksek eğimle dönmektedirler. Bu durum yüksek enleme sahip ülkelerde (örneğin Rusya vb.) daha iyi kapsama alanı imkanı sunmaktadır (Gezgin, 2020; Revnivkykh vd., 2017; Uzel vd., 1999).

1998 yılında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Avrupa Birliği tarafından bağımsız bir Avrupa GNSS sisteminin kurulması kararı alınmıştır. 1999 yılında GALILEO adıyla bu bağımsız sistemin kurulması onaylanmıştır. GALILEO yalnızca sivil kullanım amacıyla kurulmuştur. Bu nedenle “sivil denetim altında sivil program” olarak da

tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra mevcut sistemlere kıyasla daha hassas, doğru ve güvenilir konum imkanı da sunmaktadır. GALILEO uyduları 27'si aktif, 3'ü yedek toplam 30 uydudan oluşan uzay bölümüne sahiptir. Bu uydular yaklaşık olarak dünyadan 23616 km uzaklıkta olup 56° eğime sahip, 10 bin rakımlı 3 adet Orta Dünya yörüngesinde (MEO) konumlanmaktadır. Ortalama 625 kg ağırlığında olan bu uyduların çalışma süresi yaklaşık 10 yıl olarak hedeflenmiştir. Dünya etrafındaki bir tam turu 14 saatte tamamlayan GALILEO uyduları ile dünyanın (kutuplar dahil) herhangi bir noktasında ve herhangi bir zamanda en az 6 uydudan sinyal alınmasını mümkün kılacak şekilde tasarlanmıştır (Lindström ve Gasparini, 2003; Trautenberg vd., 2004).

2000'li yıllarda Çin tarafından uzay tabanlı navigasyon sistemi BeiDou (BDS) olarak bilinen COMPASS sistemi kurulmuştur. Bu sistem diğer GPS uyduları ile uyumlu çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca bu sistemde Jeostatik Dünya yörüngesi (GEO) ve Eğik Jeosenkron yörüngesi (IGSO) uyduları kullanılmıştır. İlk BDS sistemi 2003 yılında BDS-1 olarak tasarlanmıştır ve 3 aktif, 1 yedek olmak üzere toplam 4 uydusuyla GEO yörüngesine yerleşmiştir. Bu sistem Asya ve Pasifik bölgesinde deneysel olarak kurulmuştur. 2007 yılında 5 GEO, 5 IGSO ve 10 MEO yedek ve aktif uyduları ile beraber BDS-2 hayata geçirilmiştir. Yine BDS-1 de olduğu gibi bu sistemde bölgesel olarak çalışmaya devam etmiştir. 2015 yılı itibariyle BDS-3 projesinin kurulma çalışmalarına başlanmıştır. Bu projede 24 MEO, 3 GEO ve 3 IGSO uyduları ile beraber toplam 30 uydu küresel olarak 23 Haziran 2020 de kullanılmaya başlanmıştır (He vd., 2013; Li vd., 2020; Yang vd., 2019).

Geçmişten günümüze konum belirleme çalışmalarında bölgesel hizmet veren uydu bazlı konum belirleme sistemleri de kurulmuştur. Bunlardan biri olan Hindistan Uzay Araştırma Örgütü (ISRO) tarafından 2006 yılında IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) ismiyle kurulmuştur. Bu sistem; Avustralya Kıtası'nın büyük bir kısmına hizmet vererek bölgesel çalışmaktadır. Sistemin ilk uydusu olan IRNSS-1A 2013 yılında fırlatılmıştır. Günümüzde 3 adet GEO, 4 adet IGSO uydusu ile hizmet vermektedir. 2016 yılında IRNSS olarak kullanılan sistemin ismi NavIC (Navigation with Indian Constellation) olarak değiştirilmiştir ve günümüzde de bu isimle kullanılmaya devam etmektedir. Bunun yanı sıra bölgesel çalışan bir diğer uydu bazlı navigasyon sistemi Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından kurulan

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)'dir. Bu sistem genel olarak Japonya, Doğu Asya ve Okyanusya bölgesinin hizmet kapsamındadır. İlk uydusu Michibiki-1, 2010 yılında uzaya gönderilmiştir. Uydular Dünya'dan yaklaşık 32000 km uzaklıkta, 43°eğimle “Yarı Zenit Yörüngesinde” bulunmaktadır. Toplam 4 uydu ile hizmet vermeye başlayan sistem 2027 yılında toplam 7 uydu ile hassas, güvenilir konum belirlemeyi hedeflemiştir (Gezgin, 2020; Zaminpardaz vd., 2016 ; URL-10).

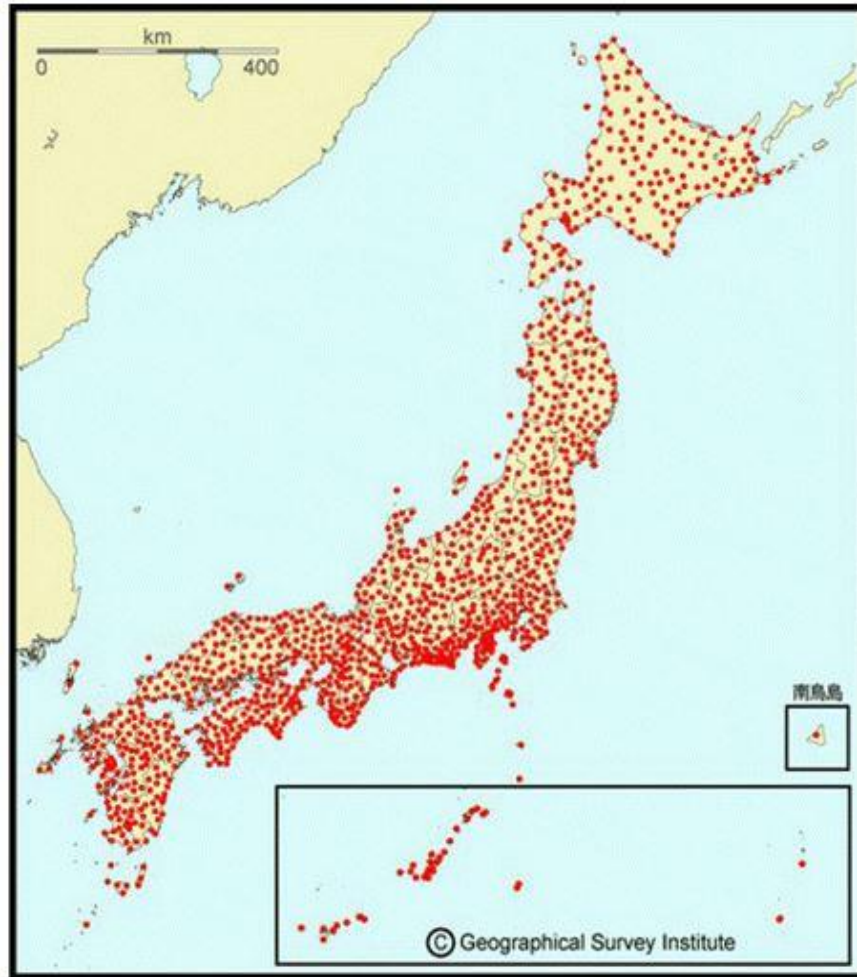
Tüm bu tarihsel gelişmeler göz önüne alındığında konum belirleme çalışmalarının genel ismi Global Navigation Satellite System (GNSS) olarak literatürde yerini almıştır. Bu sistem kendi içinde bağımsız çalışan ama aynı amaca hitap eden bir dizi sistemin birleşmesinden oluşmaktadır. GPS, GLONASS, GALİLEO, BeiDou, QZSS ve NavIC bu sistemin ayrı ayrı parçalarını oluşturmaktadır.

4.2 GNSS Tabanlı Jeodezik Ağlar

Küresel konumlama sistemi olan GNSS, Dünya yörüngesinde konumlandırılan uydu takımları ile yeryüzünde herhangi bir zamanda herhangi bir yerin hassas konum, zaman ve hız bilgisini sağlayan sistemin genel adıdır. GNSS navigasyon, konum belirleme, havacılık, denizcilik, CBS, harita üretme, deformasyon analizleri, kabuk hareketleri gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır. GNSS 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; uzay segmenti (uydular), kontrol segmenti (yer istasyonları), kullanıcı segmenti (alıcılar)'dir. Bu üç segmentin birbirleriyle entegre biçimde çalışmalarıyla konum belirlenmektedir. GNSS de konum belirlenirken uydulardan gelen ham sinyaller doğrudan kullanıcıya aktarılamaz. Çünkü sinyaller uydulardan alıcılara ulaşana kadar çeşitli hata kaynaklarına maruz kalırlar ve bu durum hassas konum belirlemeyi olanaksız hale getirmektedir. İyonosferik ve troposferik gecikmeler, uydu ve kullanıcı saati arasındaki farktan kaynaklanan hatalar, uydu-yörünge hataları, taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesikliği bu sistemde karşılaşılan başlıca hata kaynaklarındandır. Bu hataların etkilerini en aza indirmek amacıyla diferansiyel düzeltme sistemleri ve GNSS tabanlı ağlar geliştirilmiştir. Bu sistemler sayesinde hata modelleri oluşturulmaktadır. Özellikle “Ağ-RTK” ve “Hassas Nokta Konumlandırma (PPP)” teknikleri ile GNSS tabanlı ağ yapısı kullanılarak “mm” düzeyinde konum doğruluğu sağlanmaktadır. Böylelikle çok

yüksek hassasiyet gerektiren bilimsel ve teknik uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak sağlanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen GNSS tabanlı ağlar, dünya genelinde çeşitli sayıda istasyonlardan oluşarak kurulmuştur. Bu ağların en kapsamlılarından birisi olan ve Japonya'da bulunan Geo-NET Ağı'nın kurulmasının ana amacı yıkıcı büyüklüklerde depremlerin meydana geldiği Japonya'nın kabuk hareketlerinin daha detaylı incelenmesidir. Bu ağın yapımına 1994 yılında başlanmıştır. 1996 yılında ülke genelinde 610 GPS istasyonu bulunurken 2003 yılında bu sayı 1200'e ulaşmıştır. Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere Geo-NET Ağı Japonya genelini kapsayacak biçimde ortalama 20 km aralıklarla konumlandırılmış yoğun bir GPS ağıdır (Tsuji vd., 2017).



Şekil 4.1. Japonya'da kullanılan GNSS istasyonlarının dağılımı (GEO-NET).

Bu ağların bir başka örneği IGS'dir. IGS; mühendislik, bilimsel, jeodezik ve jeofizik çalışmalarında yüksek konumsal hassasiyetiyle doğrudan kullanılacak yapıya sahiptir. 1992 yılında üç aylığına pilot servis olarak kullanılmaya başlanan sistem

1993 yılında Uluslararası Jeodezi Birliği tarafından onaylanmıştır ve 1 Ocak 1994 tarihinde hizmet vermeye başlamıştır. Dünya genelinde 14 Temmuz 2023 tarihi itibarıyla 516 istasyona sahiptir (Şekil 4.2). Türkiye genelinde ise IGS ağına ait 6 istasyon bulunmaktadır. IGS noktalarına ait veriler ve hassas yörünge bilgileri tüm kullanıcılara ücretsiz bir şekilde sunulmaktadır (URL-11).



Şekil 4.2. Dünya yüzeyinde IGS noktalarının dağılımı (URL-12).

Ülkemizde de tektonik yer kabuğu hareketleri ve büyük magnitüdlerde meydana gelen depremler sonucunda Türkiye Ulusal Yatay Nirengi Ağı'nın ihtiyaçları karşılamaması üzerine Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) kurulmuştur. Ülkemizde 1999 yılında meydana gelen depremler sonucunda ağda güncelleme yapılmıştır ve TUTGA-99A tanımlanmıştır (Şekil 4.3). TUTGA; ITRF koordinat sistemine uyumlu, 3 boyutlu kartezyen koordinatlı (X, Y, Z), zamana bağlı hız değişimleri bilinen, nokta aralığı 25-50 km olan ülke genelinde homojen dağılan 654 noktadan oluşan bir ağıdır (URL-13).



Şekil 4.3. TUTGA Ağı istasyon dağılımları (URL-14).

Ülkemiz; Arap, Avrasya ve Afrika plakalarının hareketi sonucunda yılda ortalama 2,5 cm yer değiştirmeler görülmektedir. Buna ek olarak ülkemiz depremsellik açısından oldukça aktif olduğu için yer kabuğunda meydana gelen deformasyon ve yer değiştirme miktarının belirlenebilmesi için küresel ölçekte, 365 gün 24 saat çalışan bir ağı ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaç doğrultusunda Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA) kurulmuştur. İlk olarak bu ağın yapımına 23 Ocak 1991 yılında Ankara Sabit GNSS noktasının (ANKR) kurulması ile başlanmıştır. Bu ağ kapsamında çalışmak üzere 1995 yılında TRAB, 1998 TUBİ, 1999 İSTA istasyonları kurularak IGS ağına da veri sağlayan noktalar hizmete girmiştir. 2000'li yıllardan itibaren diğer istasyonlar sırasıyla kurularak ağ tamamlanmıştır. TUSAGA-Aktif ağının kurulmasının ardından TUSAGA ağının genişletilme çalışmaları durdurulmuştur (URL-15).

Bu tez çalışmasında da yararlanılan TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı) ülkemiz açısından özellikle deformasyon ve kabuk hareketlerinin incelenmesinde oldukça öneme sahiptir. Bu ağ İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ), Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Tapu Ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) tarafından tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem TÜBİTAK'a sunulmuştur. 18 Nisan 2006 tarihinde TÜBİTAK tarafından kabul edilen projenin yapımı 8 Mayıs 2006 tarihinde başlanılmıştır. Günümüz de bu ağ, ülkemiz genelinde homojen şekilde dağılmıştır ve istasyonlarının arasındaki mesafe ortalama 70-100 km arasında değişmektedir. 158 adet sabit TUSAGA-Aktif istasyonu ile hizmet veren bu ağda

ayrıca KKTC'de de 4 adet sabit TUSAGA-Aktif istasyonu bulunmaktadır (Şekil 4.4). 365 gün 24 saat kesintisiz çalışan bu istasyonlardan alınan veriler Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ve Harita Genel Müdürlüğü (HGM) bünyesinde kontrol edilmektedir. Ayrıca bu sistem ile kullanıcılara 30 sn ve 1sn aralıklarla RINEX verisi sunulmaktadır. Bu veriler GRS80 elipsoidinde, ITRF datumunda ve 2005,00 referans epoğunda yayınlanmaktadır. TUSAGA-Aktif ağı Türkiye ve KKTC genelinde her noktada ve herhangi bir zamanda yeterli sayıda GNSS uyduları ile “cm” mertebesinde hassas konum doğruluğu sağlamaktadır (Uzel vd., 2011; URL-16). Ağın hassas ve kesintisiz konum doğruluğunda veri sağlamasıyla depremle ilgili yapılan çalışmalarda oldukça sık kullanılmaktadır. Bu çalışmalar; deprem sonrası ani konum değişikliğinin tespiti amaçlı yer değiştirme analizleri, levha sınırlarında ve fay kırıklarındaki hız miktarı ve gerilim oranlarının tespiti, zaman serisi analizleri, fay segmentlerinin birbirine göre hareketleri ve sıkışma miktarının tespit edilmesidir.



Şekil 4.4. TUSAGA-Aktif Ağı istasyon dağılımı (URL-14).

4.2.1 Üçgen alan değişimi yöntemi

Üçgen alan değişimi yöntemi, herhangi bir bölge içinde bulunan üç adet GNSS istasyonunun koordinatlarından faydalanarak bu üç nokta ile oluşturulan üçgenin zamana bağlı alan değişiminin tespit edilmesini sağlayan yöntemdir. Bu yöntemin ana amacı çalışma alanında bulunan istasyonlardan elde edilen olası bütün üçgenlerin X-Y düzlemi, Y-Z düzlemi ve X-Z düzleminde meydana gelen kabuk hareketlerini belirleyerek çalışma alanının depremsellik açısından değerlendirilmesine olanak

sağlamaktır. Bu yöntemin temel ilkesi ise; meydana gelen tektonik hareketlilik sonucu oluşan yer değiştirmelerin GNSS istasyonları kullanılarak hesaplanan üçgen alanlarında gözle görülür sapmalar yaratacağıdır. Meydana gelen bu değişiklik depremin öncül sinyallerin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Herhangi bir çalışma alanında bulunan üç GNSS istasyonu $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$ koordinat verilerine sahip olduğu düşünüldüğünde; üçgenlere ait alanlar aşağıda yer alan formüllerle hesaplanmaktadır.

$$xy \text{ düzlemi alan} = \frac{1}{2} \times [x_1 (y_2 - y_3) + x_2 (y_3 - y_1) + x_3 (y_1 - y_2)] \quad (4.1)$$

$$yz \text{ düzlemi alan} = \frac{1}{2} \times [y_1 (z_2 - z_3) + y_2 (z_3 - z_1) + y_3 (z_1 - z_2)] \quad (4.2)$$

$$zx \text{ düzlemi alan} = \frac{1}{2} \times [z_1 (x_2 - x_3) + z_2 (x_3 - x_1) + z_3 (x_1 - x_2)] \quad (4.3)$$

(4.1), (4.2) ve (4.3) numaralı denklemler sonucunda hesaplanan olası tüm üçgenlerin X-Y, Y-Z ve X-Z düzlemlerindeki alan değerleri elde edilmektedir. Farklı büyüklükteki üçgen alanlarının karşılaştırılmasını sağlamak için ham alan değerleri aşağıda yer alan (4.4) numaralı denklemle oranlanarak grafik haline getirilmektedir. "t" gününe ait alan değeri A_t olarak kabul edildiğinde, "t+1" gününe ait alan değeri A_{t+1} ile ifade edilmektedir ve bu durumda diferansiyel üçgen alan oranı ;

$$\text{Diferansiyel Alan Oranı} = \frac{A_{t+1} - A_t}{A_t} \quad (4.4)$$

her gün için ayrı ayrı olarak hesaplanmaktadır.

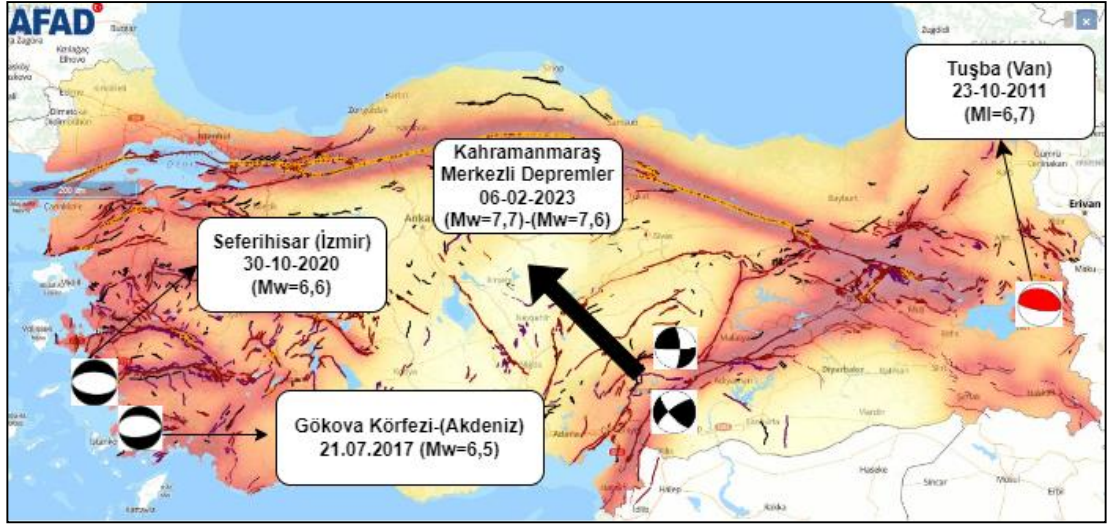
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye’de meydana gelmiş depremlere ait öncül sinyallerin üçgen alan değişimi yöntemi ile tespit edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır (Çizelge 5.1). Bu kapsamda sırasıyla; Van ($M_w=7.2$), Gökova Körfezi ($M_w=6.6$), İzmir ($M_w=6.9$) ve Kahramanmaraş ($M_w=7.7$ - $M_w=7.6$) merkezli meydana gelen depremlerin bulunduğu bölgeler çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1). Bu depremlerin çalışma alanı olarak kullanılmasının temel sebepleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

1. TUSAGA-Aktif istasyonları tam kapasite çalışmaya 2010 yılından itibaren başlamıştır. Bu çalışma kapsamında da TUSAGA-Aktif istasyon verileri kullanıldığından dolayı 2010 yılı ve sonrasında ülkemizde meydana gelen depremler seçilmiştir ve depremlerin merkez üsleri etrafında bulunan GNSS istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır.
2. Moment Magnitüd ölçeğinde; $M_w=6.0$ ve üzerindeki büyüklüklerde meydana gelen depremler yüzey kırıkları oluşturarak ölçülebilir deformasyon oluşturma eğilimi nedeniyle bu çalışma kapsamında odak grup olarak belirlenmiştir. Bu özelliklere sahip depremler Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Türkiye’de $M_w \geq 6.0$ büyüklüklerde 2010 yılı ve sonrasında meydana gelen depremler (KRDAE, 2025).

TARİH	YER	MD	M_w	MS
08.03.2010	İsa Ağa Mezrası (Elazığ)	6.1	6.0	6.1
23.10.2011	Van	7.2	6.7	7.2
10.06.2012	Ölü Deniz Açıkları (Muğla)	6.0	6.0	-
21.07.2017	Gökova Körfezi (Akdeniz)	6.6	6.6	6.6
24.01.2020	Sivrice (Elazığ)	6.7	6.7	6.5
30.10.2020	Ege Denizi (İzmir)	6.9	6.7	6.9
23.11.2022	Sarıdere (Düzce)	6.1	6.1	6.0
06.02.2023	Şehitkamil (Gaziantep)	7.8	7.6	7.8
06.02.2023	Nurdağı (Gaziantep)	6.6	6.6	0.0
06.02.2023	Ekinözü (Kahramanmaraş)	7.6	7.4	7.6
06.02.2023	Samandağ (Hatay)	6.4	6.4	6.4



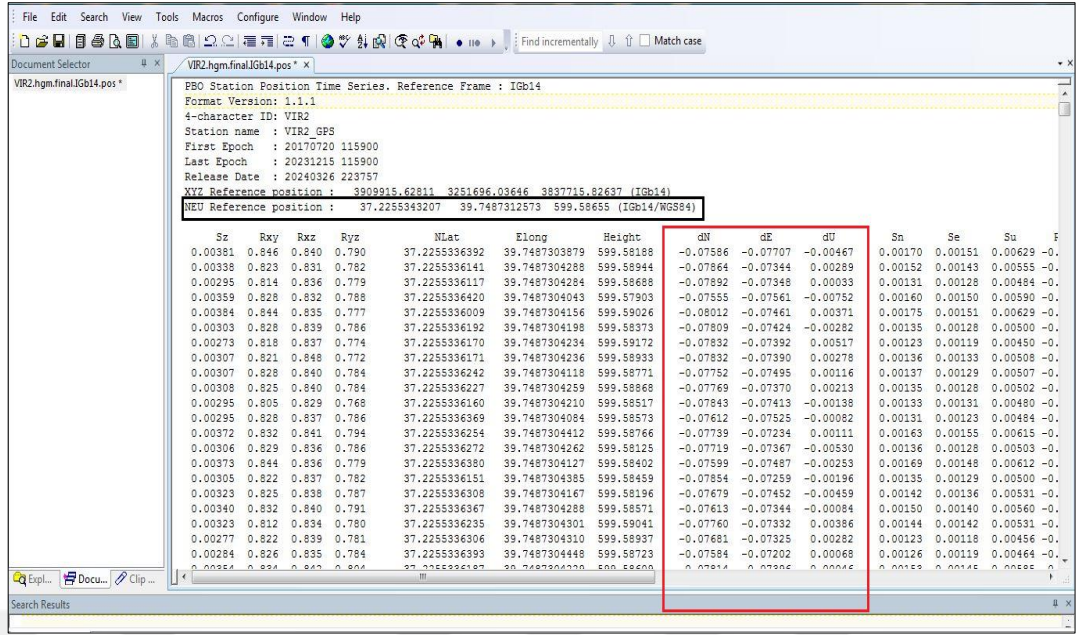
Şekil 5.1. Çalışma alanı kapsamında analizi yapılan depremler (AFAD, 2025).

Bu tez çalışması kapsamında belirlenen tüm çalışma alanları ayrı ayrı incelenerek analiz edilmiştir. Depremlerin episantr bölgeleri ve etrafında bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait depremlerin meydana gelmeden 90 gün öncesi ve 30 gün sonrası dikkate alınarak *North (N)*, *East (E)* ve *Up (U)* coğrafi koordinat verileri elde edilmiştir ve listelenmiştir. Sonrasında ise her bir deprem için ilgili istasyonlardan oluşabilecek tüm potansiyel üçlü kombinasyonlar oluşturulmuştur. Elde edilen koordinatlar ve üçgen modeller kullanılarak “GAUSS Üçgen Alan” formülü ile üçgenlerin ikili düzlemlerine ait alan değişim oranları hesaplanmıştır. Sonuç çıktısı olarak da potansiyel bütün üçgen kombinasyonlarının *X-Y*, *Y-Z* ve *X-Z* düzlemlerindeki günlük alan değişim oranları ve standart sapmaları grafik olarak elde edilerek yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen tüm depremlere ait analizlerde kullanılan veriler ve hesaplama yöntemlerine ait detaylı bilgiler aşağıdaki başlıklarda sunulmuştur:

5.1 Kullanılan Veriler ve Yöntemler

Bu tez çalışması TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük koordinat verilerinden yararlanılarak depremlerin meydana gelmeden önceki ve sonraki dönemlerde ortaya çıkabilecek potansiyel sinyallerin jeodezik bir teknik olan GNSS yöntemi ile tespit edilebilirliğine yönelik bir değerlendirme sunmaktadır. Bu temel amaç doğrultusunda öncelikle çalışmada analizi yapılacak depremler tespit edilmiştir. Çalışma alanı belirlendikten sonra Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası'ndan çalışma bölgesi etrafında verisi kullanılacak TUSAGA-Aktif istasyonları tespit edilip listelenmiştir. 2011

yılında meydana gelen Van merkezli depremde ($M_w=7.2$) 12 adet, 2017 yılında Gökova Körfezi merkezli depremde ($M_w=6.6$) 5 adet, 2020 yılında İzmir merkezli meydana gelen depremde ($M_w=6.9$) 5 adet ve 2023 yılında Kahramanmaraş merkezli meydana gelen depremde ($M_w=7.6$) 12 adet olmak üzere toplamda 34 TUSAGA-Aktif istasyonuna ait konum verileri kullanılmıştır. TUSAGA-Aktif sistemine ait web portalından yararlanılarak depremlerin meydana geldiği tarihten 90 gün öncesi ve 30 gün sonrasını kapsayacak şekilde belirlenen tarih aralığında ilgili istasyonların veri toplama aralığı 30 sn olacak şekilde RINEX verilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır (URL-16). Çalışma kapsamında kullanılacak olan RINEX verileri GAMIT/GLOBK yazılımında dengelenerek elde edilen koordinatlarla üçgen alan değişim analizi yapılması amaçlanmıştır. Ancak 2020 yılı ve öncesinde meydana gelen depremlere ait RINEX verileri TUSAGA-Aktif resmi web sitesinde bulunmamakta olup, 2020 yılı ve sonrasında meydana gelen depremlere ait bazı istasyonların eksik RINEX verileri bulunduğu için yapılan çalışmanın güvenilirliğinin etkilenmemesi amacıyla kullanılmamıştır. Bunun yerine ise HGM resmi web sitesinde bulunan Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası'ndan her bir istasyona ait “Post” dosyaları elde edilmiştir. Her istasyon için ayrı ayrı elde edilen Post dosyalarında mevcut halde bulunan *NEU* referans konum verisine, yine aynı dosya içerisinde ilgili tarih aralığında bulunan fark miktarları eklenerek çalışma kapsamındaki tarihlere ait *North (N)*, *East (E)*, *Up (U)* coğrafi koordinatları Excel veri formatında hesaplanarak elde edilmiştir. Elde edilen coğrafi koordinatlarla analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonların baz uzunlukları ortalama 50-100 km civarında değiştiğinden dolayı bu ölçekte küresellik etkisi göz ardı edilerek düzlemsel varsayım ile alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş merkezli deprem analizinde verisi kullanılmış olan VIR2 istasyonu günlük konum değerleri ve alan hesabı için hazırlanan girdi dosyasına ait görsel Şekil 5.2 ve 5.3’de verilmektedir.

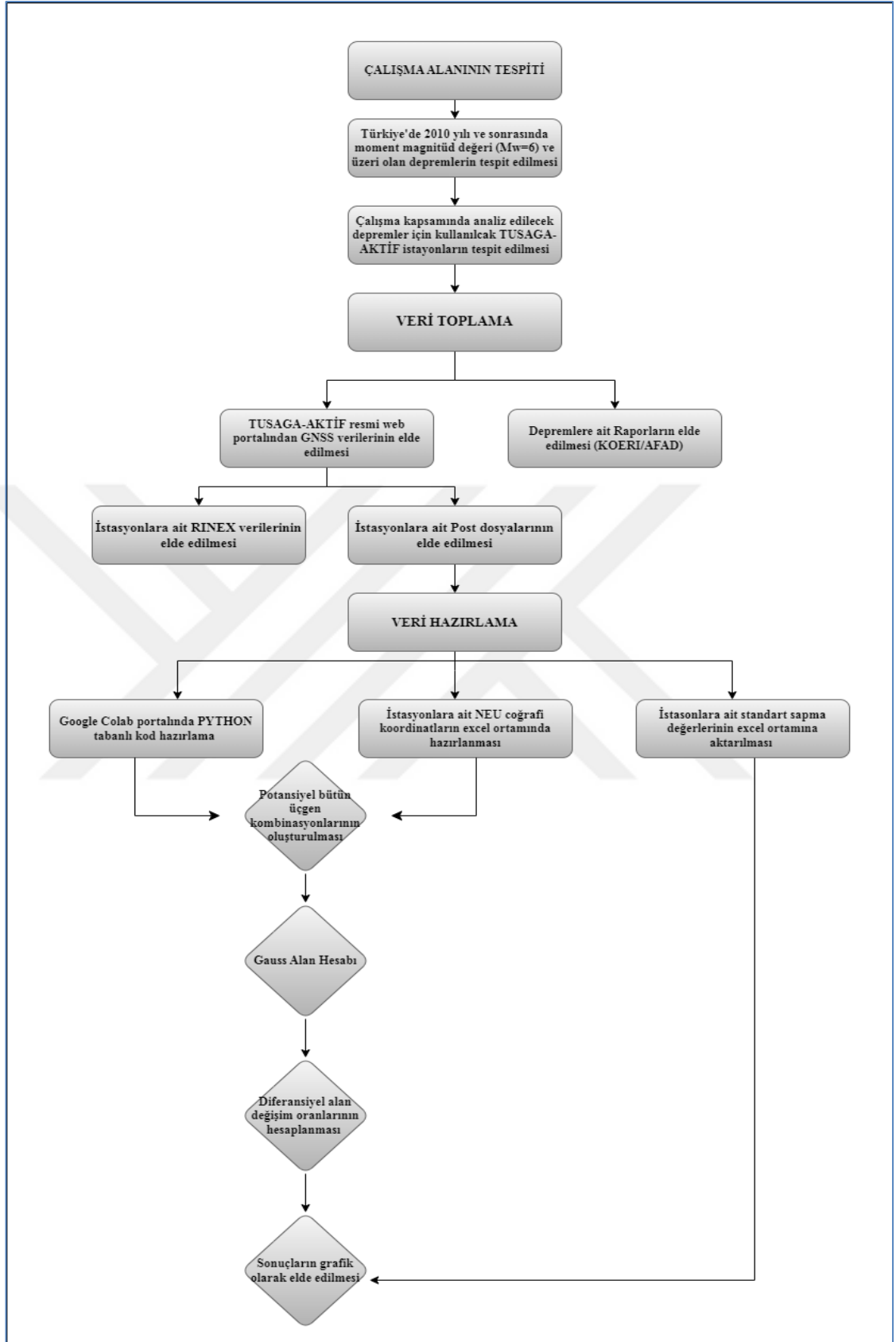


Şekil 5.2. VIR2 istasyonu günlük koordinat değerlerine ait Post dosyası.

M6															
		Tarih			NEU REFERENCE POSITION			FARK MİKTARLARI			TOPLAM				
					N	E	U	DN	DE	DU	N	E	U		
		9 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05404	0.03303	0.01223	37.27957432	39.781761	599.5988		
		10 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05555	0.03254	0.00817	37.28108432	39.781271	599.5947		
		11 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05425	0.03363	0.00712	37.27978432	39.782361	599.5937		
		12 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05648	0.03201	0.0063	37.28201432	39.780741	599.5929		
		13 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05588	0.03404	0.00634	37.28141432	39.782771	599.5929		
		14 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05625	0.03261	0.01072	37.28178432	39.781341	599.5973		
		15 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05711	0.03245	0.0101	37.28264432	39.781181	599.5967		
		16 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05536	0.03355	0.00974	37.28089432	39.782281	599.5963		
		17 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05672	0.03239	0.00809	37.28225432	39.781121	599.5946		
		18 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05673	0.03349	0.00767	37.28226432	39.782221	599.5942		
		19 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05565	0.03291	0.01277	37.28118432	39.781641	599.5993		
		20 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05721	0.03125	0.00682	37.28274432	39.779981	599.5934		
		21 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05488	0.03226	0.01003	37.28041432	39.780991	599.5966		
		22 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05559	0.03265	0.00979	37.28112432	39.781381	599.5963		
		23 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05438	0.03329	0.01098	37.27991432	39.782021	599.5975		
		24 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05591	0.03356	0.00842	37.28144432	39.782291	599.595		
		25 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05583	0.03259	0.01146	37.28136432	39.781321	599.598		
		26 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05577	0.0338	0.00835	37.28130432	39.782531	599.5949		
		27 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05582	0.03257	0.0122	37.28135432	39.781301	599.5988		
		28 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05548	0.03268	0.01321	37.28101432	39.781411	599.5998		
		29 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.0564	0.03242	0.01135	37.28193432	39.781151	599.5979		
		30 Ekim 2022			37.22553432	39.74873126	599.58655	0.05623	0.03298	0.00837	37.28176432	39.781711	599.5949		

Şekil 5.3. VIR2 istasyonuna ait Excel sayfası.

Tez kapsamında incelenecek olan tüm depremler için ayrı ayrı elde edilen *NEU* coğrafi koordinat değerleriyle *GAUSS Üçgen Alan* hesabı yöntemi kullanılarak potansiyel bütün üçgen kombinasyonlarının bütün ikili düzlemlerinde alan hesabını tekrarlı yapabilmek amacıyla Python tabanlı bir kod yardımıyla alan değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen alanlar denklem (4.4)'de yer alan formül yardımıyla oransal bir değere normalize edilmektedir. Bu oranlama yapılırken; alan değeri elde edilen günden bir önceki günün alan değeri arasındaki fark alınır ve bir önceki güne ait alan değerine bölünmektedir. Bu sebeple ilk gün alan değeri sıfır kabul edilmiştir. Üçgen alan değişim oranları elde edildikten sonra çizgi grafiği şeklinde çıktı verisi elde edilip grafikler yorumlanmıştır. Grafikler oluşturulurken deprem günü kırmızı kesikli çizgi ile temsil edilmektedir. Verisi olmayan günler ise grafikte boş bırakılmıştır. Ayrıca grafiklerde depremin meydana gelmeden önceki beşinci günden depremin meydana gelmeden hemen önceki güne kadar geçen zaman aralığında grafiklerin genelinde ani alansal değişimler dikkat çektiği için bu tarihler grafiklerde renkli bir şekilde görselleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan işlem adımları bir akış şeması halinde Şekil 5.4'de yer almaktadır.



Şekil 5.4. Çalışmanın akış şeması.

5.2 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M_w=7.2$)

Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde, 37.50° - 40.00° kuzey enlemleri ile 41.00° - 45.00° doğu boylamları arasında yer alan Van ili Avrasya ve Arap levhalarının sınırı üzerinde konumlanmaktadır. Ayrıca Van ili, KAFZ ile DAFZ'ın kesişim bölgesine yakın bulunduğu için tektonik açıdan aktif bir bölgedir. Bu sebeple tarihsel ve aletsel dönemlerde bölgede can kayıplarının yaşandığı çeşitli büyüklüklerde depremler meydana gelmiştir. Van ilinin tarihsel dönemdeki depremselliğine baktığımızda yaklaşık 40 deprem kaydı mevcuttur. Bu deprem kayıtlarına göre V-X şiddet aralığında çeşitli depremler meydana gelmiştir. 1111, 1647 ve 1696 yıllarında IX şiddetinde, 1881 yılında X şiddetinde meydana gelen depremler bölge ve çevresinde yıkımlara yol açan depremlerdendir. Bölgenin aletsel dönem sismik aktivitesi incelendiğinde Çaldıran Fayı üzerinde 1976 yılında $M_s=7.5$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir (KRDAE, 2025). Oluşan bu deprem bölgede 55 km uzunluğunda fay kırığı oluşturmakla beraber aletsel dönemde oluşan en büyük depremlerden biridir. Van ilinin Gevaş ilçesi yakınlarında KRDAE verilerine göre 15 Kasım 2000 tarihinde $M_w=5.7$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Edremit ilçesinde ise 02 Aralık 2001 tarihinde $M_w=4.5$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Bunların yanı sıra 23 Ekim 2011 tarihinde yerel saatle 13.41'de Van ili merkezli büyük bir deprem meydana gelmiştir. KRDAE'den elde edilen verilere göre $M_w=7.2$ büyüklüğünde olan bu deprem DAFZ üzerinde 38.75° Doğu- 43.36° Kuzey koordinatlarında başlayarak kuzeydoğu ve güneybatı yönünde ilerlemiştir. Van ili merkezli meydana gelen bu deprem için çeşitli kuruluşlara ait büyüklük ve derinlik bilgileri Çizelge 5.2'de yer almaktadır. Deprem ters faylanma özelliği göstererek yaklaşık 60 km x 20 km boyutlarında yüzey kırığı meydana getirmiştir. Kırılmanın etkisiyle yıkılan ve ağır hasar alan binalarla birlikte yaklaşık 600 kişi hayatını kaybetmiştir. Bölgede 27 Ekim itibari ile $M_w \geq 5.0$ büyüklüğünde olan 6 adet artçı deprem, $M_w \geq 4.0$ büyüklüğünde olan 68 adet artçı deprem ve $M_w \leq 4.0$ büyüklüğünde 659 adet artçı deprem olmak üzere toplamda 733 adet artçı deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2025; KRDAE, 2025; Özkaymak vd., 2011; Sezer, 2010).

Çizelge 5.2. Van merkezli meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.

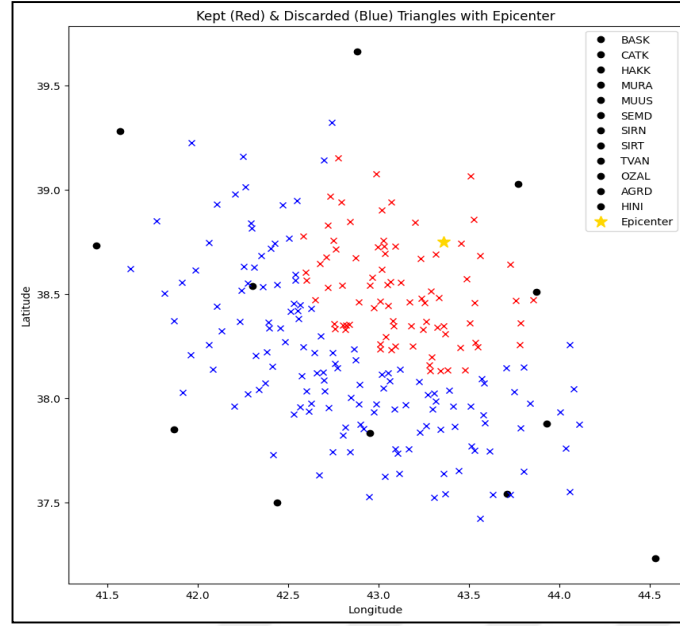
KAYNAKLAR	ODAK DERİNLİK (KM)	MAGNİTÜD
USGS	18	M=7.1
KRDAE	5	ML=7.2
AFAD	19,2	ML=6.7

Bu tez çalışması kapsamında ilk çalışma alanı DAFZ'ın etkisinde kalan Van ili ve çevresi olarak belirlenmiştir. Van ili ve çevresinde mevcut bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağda HAKK, MURA, MUUS, OZAL, SEMD, SIRN, SIRT ve TVAN istasyonları kullanılmıştır. Çizelge 5.3'de istasyonların kurulum tarihi, kurulma yüzeyi, alıcı tipine ait bilgiler yer almaktadır. İstasyonlar, 23 Ekim 2011 yılında Van merkezli meydana gelen bu depremden sonra uğradığı deformasyondan dolayı işlevselliğini yitirmiştir ve ilgili istasyonların yerine yeni TUSAGA-Aktif ağında çalışacak istasyonlar tesis edilmiştir. Günümüzde ise kurulan bu yeni istasyonlar çalışmaya devam etmektedir.

Çizelge 5.3. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyonlarının listesi.

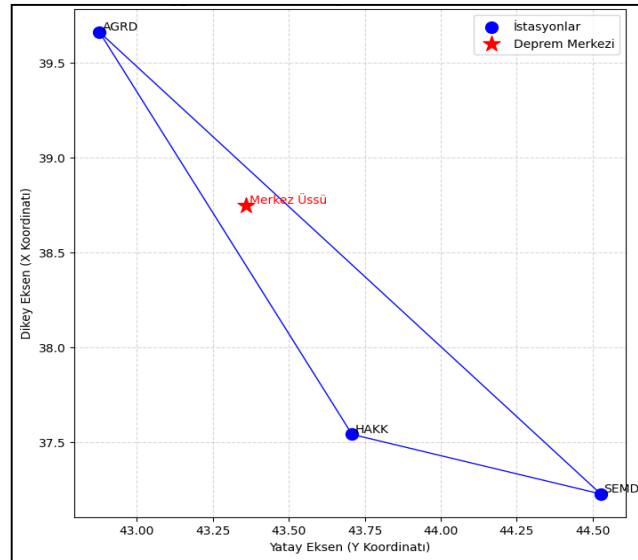
NO	TUSAGA-Aktif İstasyon Adı	Kurulma Tarihi	Kurulum Yüzeyi	Alıcı Tipi
1	AGRD	28.11.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
2	BASK	05.12.2008	Beton Blok	Trimble Netr5
3	CATK	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
4	HAKK	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
5	HINI	29.08.2008	Beton Blok	Trimble Netr5
6	MURA	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
7	MUUS	09.04.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
8	OZAL	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
9	SEMD	23.04.2009	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
10	SIRN	04.01.2009	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
11	SIRT	01.01.2009	Beton Blok	Trimble Netr5
12	TVAN	01.01.2009	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5

Bu çalışma kapsamında Çizelge 5.3'de gösterilen istasyonlarla bir GNSS ağı oluşturularak üçgen alan değişim analizi yapılması amaçlanmıştır. Analiz; depremin meydana geldiği tarihten 90 gün öncesi olan 25 Temmuz 2011 tarihinden, depremden 30 gün sonrası olan 21 Kasım 2011 tarihi arasındaki 120 gün baz alınarak

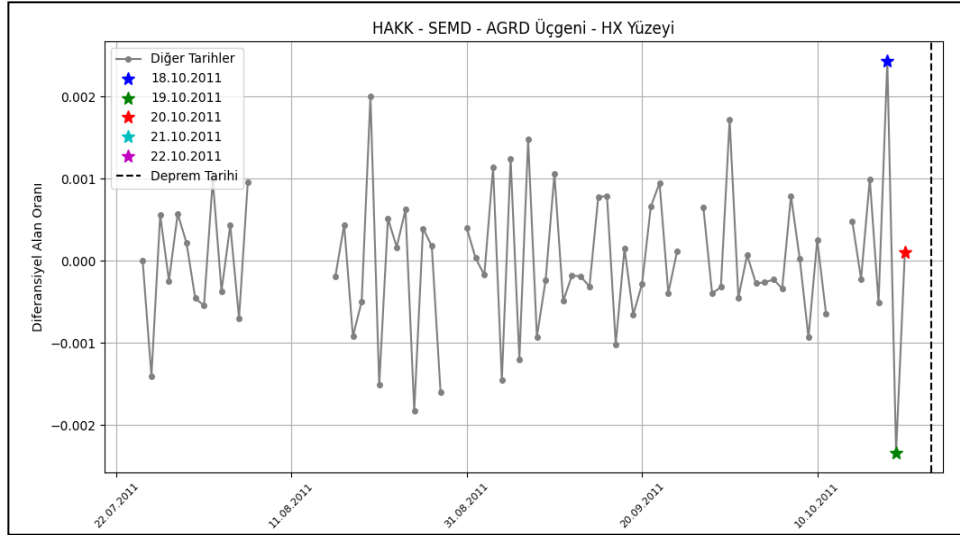
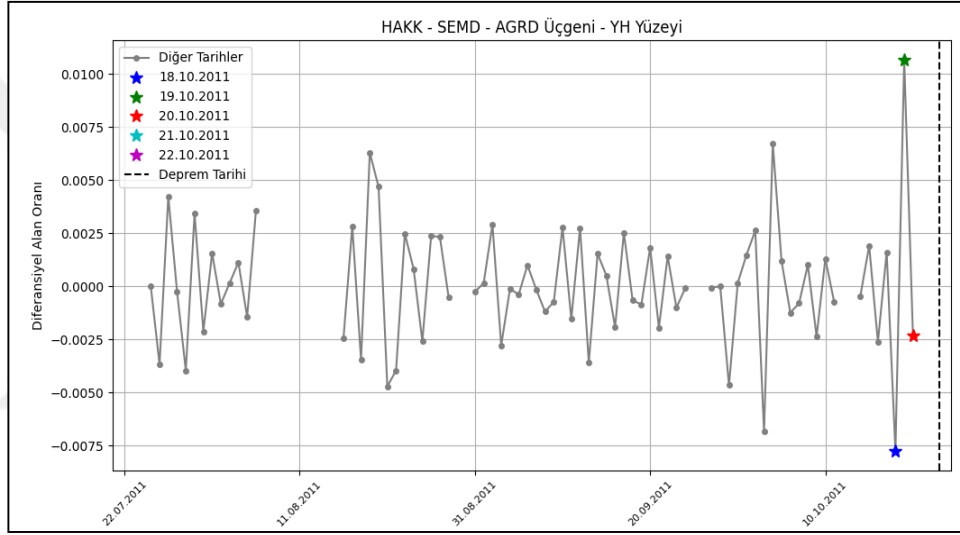
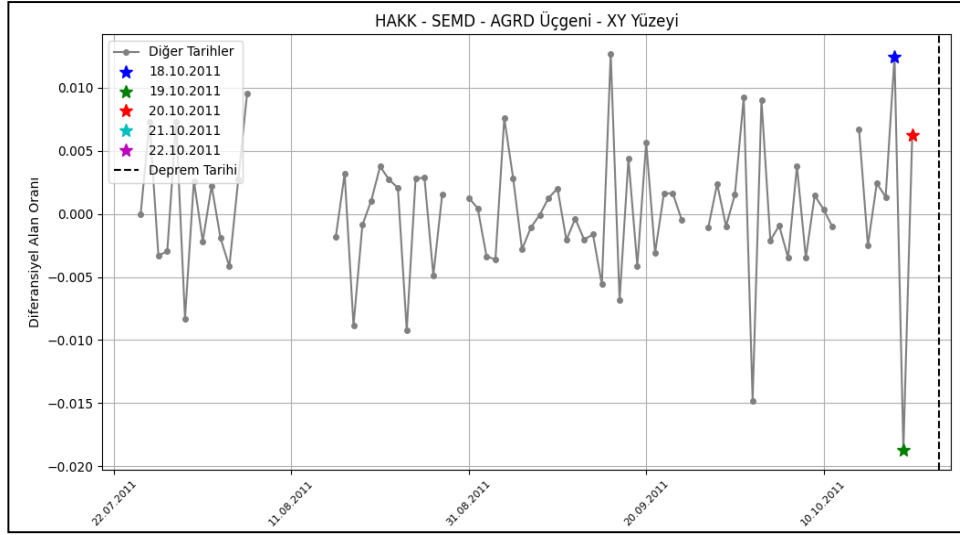


Şekil 5.6. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.

HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonunun depremin merkez üssüne göre geometrisi Şekil 5.7'de görülmektedir. TUSAGA-Aktif istasyonlarının post dosyalarından elde edilen *NEU* coğrafi koordinat verileriyle *X-Y*, *Y-Z* ve *X-Z* düzlemleri için oluşturulan üçgen alan değişim grafikleri de Şekil 5.8'de verilmiştir. Grafikler depremin meydana gelmeden 90 gün öncesine ait alanları hesaplanarak oluşturulmuştur. Depremin meydana geldiği tarihten 30 gün sonrasında istasyonlara ait koordinat verisi bulunmadığı için depremin post-sismik döneminde alan hesabı yapılamamıştır.



Şekil 5.7. HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonunun geometrisi.

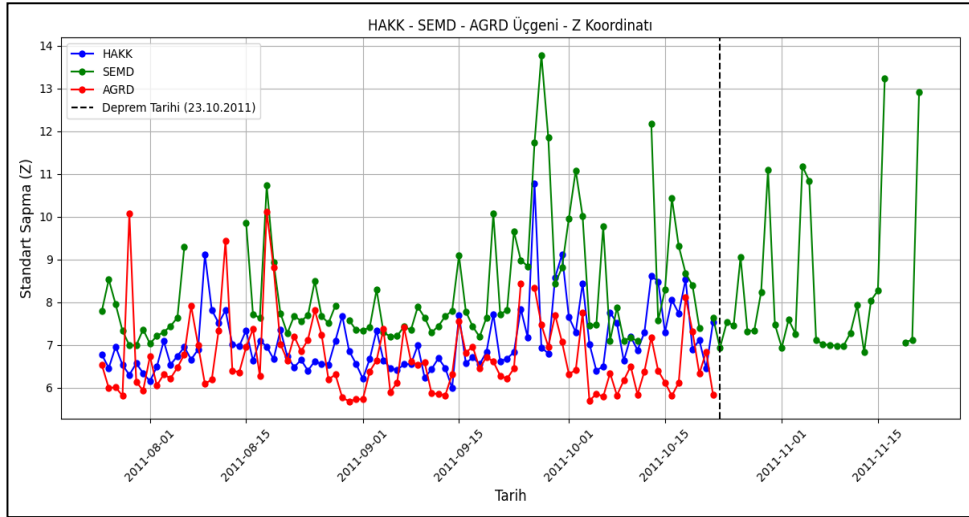
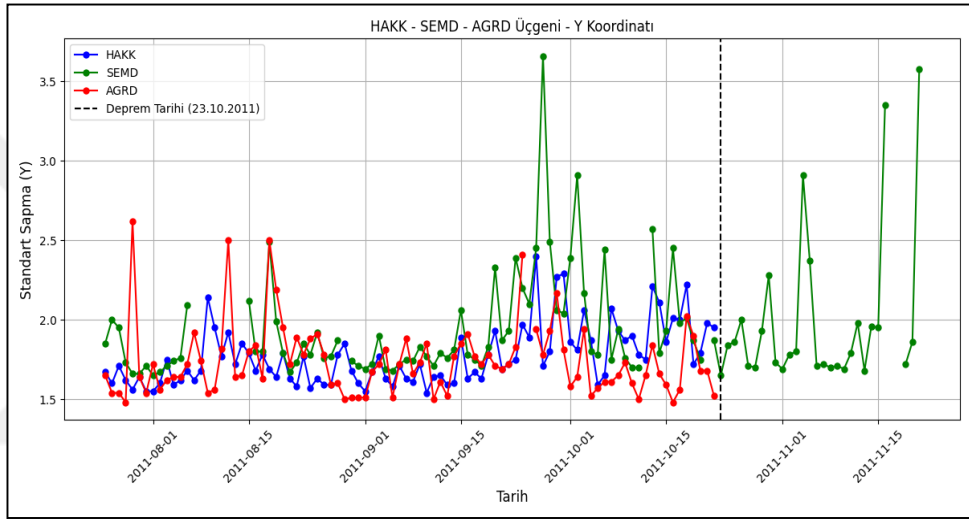
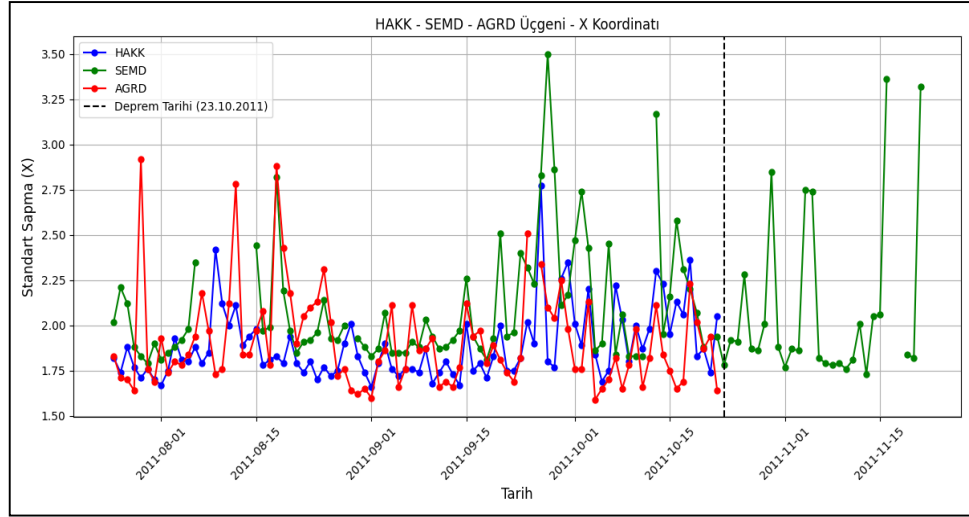


Şekil 5.8. Diferansiyel üçgen alan grafikleri (HAKK-SEMD-AGRD).

Mevcut verilerle elde edilen grafikler incelendiğinde depremin meydana geldiği 23 Ekim 2011 tarihinden yaklaşık 5 gün öncesinden itibaren diferansiyel alan oranlarında belirgin sapmalar gözlemlenmiştir. Bu belirgin sapmalar üçgenin bütün düzlemlerinde de kendini göstermiştir. Özellikle XY ve XZ düzlemlerinde 18 Ekim 2011 tarihinde pozitif yönde (+) en yüksek diferansiyel alan oran değeri gözlemlenirken, ertesi gün olan 19 Ekim 2011 tarihinde negatif yönde (-) en düşük değer saptanmıştır. Ard arda gelen bu iki tarihte ani ve ters yönlü değişim gözlemlenmiştir.

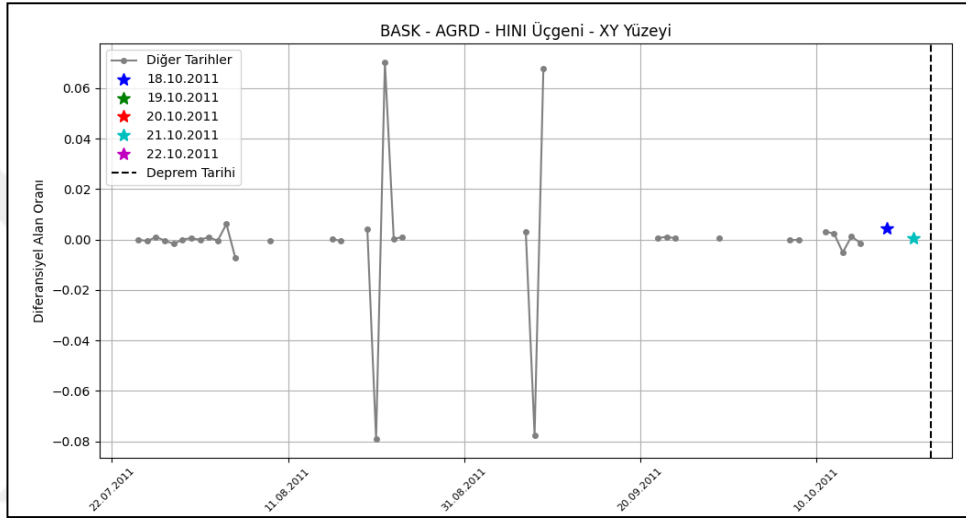
- HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonundan elde edilen XY düzlemindeki diferansiyel alan değerleri incelendiğinde 17 Ekim 2011 tarihinde alan değeri (+0,001) ppm iken 18 Ekim 2011 tarihinde alan değeri yaklaşık (+0,012) ppm artış göstererek (+0,013) ppm olarak hesaplanmıştır. 19 Ekim 2011 tarihinde ise alan değeri azalma göstererek (-0,019) ppm olarak hesaplanmıştır.
- HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonundan elde edilen YZ düzlemindeki alan değerleri incelendiğinde 17 Ekim 2011 tarihinde alan değeri (+0,002) ppm iken 18 Ekim tarihinde yaklaşık (-0,010) ppm azalma göstererek alan değeri (-0,008) ppm olarak hesaplanmıştır.
- HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonundan elde edilen XZ düzlemindeki alan değerleri incelendiğinde 17 Ekim 2011 tarihinde alan değeri (-5×10^{-4}) ppm iken 18 Ekim 2011 tarihinde alan değeri artarak ($+2 \times 10^{-4}$) ppm olarak hesaplanmıştır. Hemen ertesi gün olan 19 Ekim 2011 tarihinde ise alan değeri azalarak (-2×10^{-3}) ppm olarak hesaplanmıştır.

HAKK-SEMD-AGRD istasyonlarına ait post dosyasında mevcut halde bulunan (SN) , $S(E)$ ve $S(U)$ standart sapma değerlerinden Şekil 5.9'da gösterildiği üzere üçlü kombinasyondaki istasyonlara ait standart sapma grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde belirgin sapmaların gözlemlendiği (depremin meydana geldiği tarihten yaklaşık 5 gün öncesinde) istasyonlara ait standart sapma verilerinde herhangi bir dalgalanma gözlemlenmemiştir. Bu bulgu ilgili zaman dilimindeki ölçülerin verilerinde ölçü hatalarının ve belirsizliklerin ölçüm süreci boyunca minimal düzeyde kaldığına işaret etmektedir.

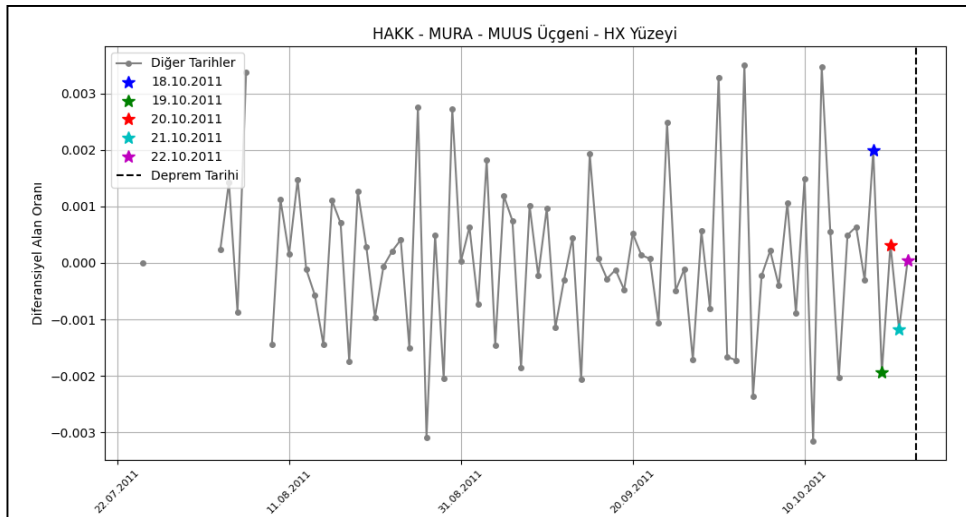


Şekil 5.9. Standart sapma grafikleri (HAKK-SEMD-AGRD).

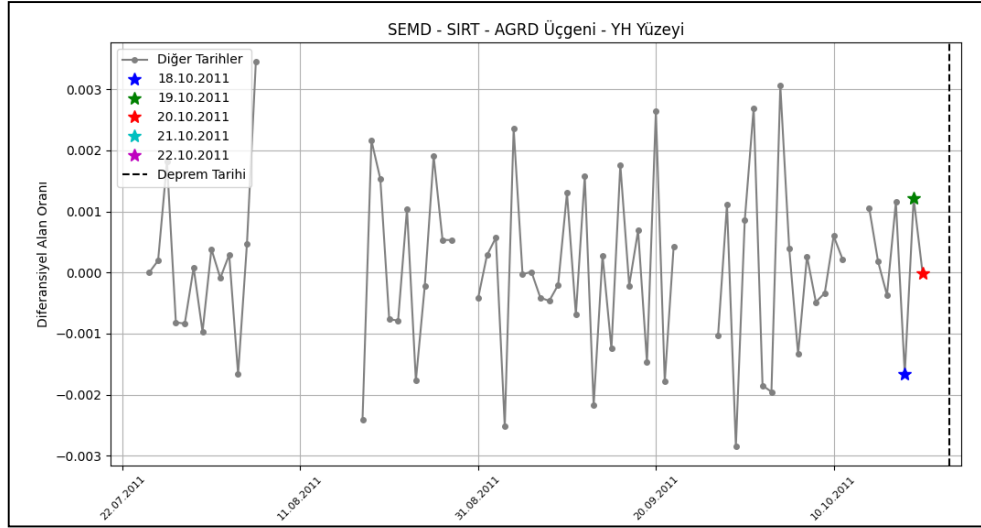
Şekil 5.8'de yer alan grafiklerin yanı sıra analiz sonucunda bazı grafiklerde anlamlı yorumlar gözlemlenmemiştir. Bunlardan BASK-AGRD-HINI istasyonlarının oluşturduğu potansiyel üçgende olduğu gibi veri eksikliği sebebiyle grafiklerin doğru bir şekilde yorumlanması mümkün olmamıştır. Bu durum eksik veri kaynaklarının yapılan analizin doğru yorumlanmasını direkt etkilemektedir. Ayrıca oluşturulan potansiyel üçgenlerin diferansiyel alan değişim grafiklerinin genelinde dalgalanmalar ve tutarsızlıklar tespit edilmiştir. Bu kapsamda örnek teşkil eden grafikler Şekil 5.10, 5.11, 5.12'de yer almaktadır.



Şekil 5.10. Diferansiyel alan değişim grafiği (BASK-AGRD-HINI).



Şekil 5.11. Diferansiyel alan değişim grafiği (HAKK-MURA-MUUS).



Şekil 5.12. Diferansiyel alan değişim grafiği (SEMD-SIRT-AGRD).

5.3 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi Depremi ($M_w = 6.6$)

Gökova Körfezi; Türkiye'nin güneybatısında Muğla ili sınırları içerisinde kuzeyde Bodrum Yarımadası, güneyde Datça Yarımadası arasında yer almaktadır. Körfez batıda Ege denizine doğru açılarak bölgenin önemli tektonik unsurlarını oluşturmaktadır. Gökova Körfezi Batı Anadolu genişleme rejimi etkisi altında kalarak aktif fay zonlarına da ev sahipliği yapmaktadır. Bu fayların tektonik hareketi sonucunda bölgede yıkıcı büyüklüklerde depremler meydana gelmiştir. Bölgenin aletsel dönemindeki kayıtlar incelendiğinde M.Ö. 227 yılından 1897 yılları arasında yıkıma yol açabilecek potansiyelde depremler meydana geldiği saptanmıştır. 1493 yılında IX şiddetinde meydana gelen depremle Bodrum kasabasının tamamen yıkılmasına sebep olmuştur. Bunun yanı sıra 1851 ve 1863 yıllarında da IX şiddetine ulaşan depremler meydana gelmiştir. Aletsel dönemde kaydedilen depremler incelendiğinde moment magnitüd değeri $M_w=6$ ve üzeri büyüklerde 10'dan fazla deprem meydana gelmiştir. Bunlardan 10 Haziran 2012 tarihinde Ölüdeniz açıklarında $M_w=6.1$ büyüklüğünde meydana gelen deprem bölgenin aktif tektonik yapıda olduğunun bir göstergesidir (AFAD, 2025; Kartal vd., 2014; KRDAE, 2025; Sözbilir vd., 2017).

Bu depremlerin yanı sıra bu tez çalışması kapsamında analiz edilecek olan 21 Temmuz 2017 tarihinde yerel saat ile 01.30'da moment magnitüd değeri $M_w=6.6$ olan şiddetli bir deprem meydana gelmiştir (KRDAE, 2025). Çeşitli kurumlar tarafından saptanan depreme ait büyüklük ve derinlik bilgileri Çizelge 5.4' de yer

almaktadır. Deprem doğu-batı yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde olan Gökova fayının batısında oluşmuş olup Gökova Körfezi içinden Kos Adasına kadar uzanan yaklaşık 20-25 km uzunluğunda fay kırığı meydana getirmiştir. Depremin hemen ardından küçük ölçekli tsunami meydana gelmiştir. Bodrum'un bazı sahillerinde su baskınları ve liman hasarları gözlemlenmiştir. Depremin etkisiyle beraber moment magnitüd değeri $M_w=4.0$ ve üzerinde 55 adet olmak üzere çeşitli büyüklüklerde bölgede 500'den fazla artçı depremler oluşmuştur. 100'den fazla yaralanın olduğu ve birçok yapıda hasarlar meydana getiren bu depremle beraber bölgenin depremselliği aletsel dönemden itibaren incelendiğinde yıkıcı etkide depremler ürettiği ve bu bölgede yapılacak deprem çalışmaları oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Gökova Merkezli meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.

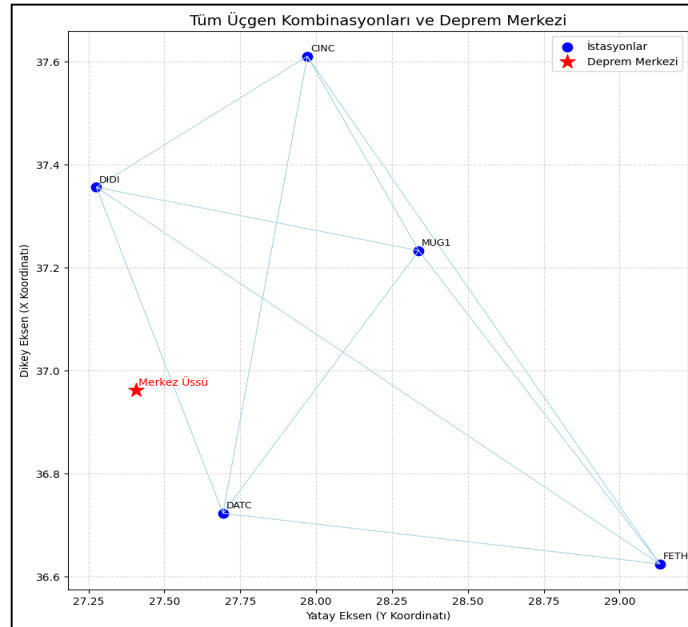
KAYNAKLAR	DERİNLİK (KM)	MAGNİTÜD
USGS	7	$M=6.6$
KRDAE	7,1	$M_w=6.6$
AFAD	12	$M_w=6.5$

Bu tez çalışmasında Batı Anadolu genişleme rejimi etkisinde kalan Gökova Körfezi ve çevresi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Gökova Körfezi ve çevresinde çalışma alanını kapsayacak şekilde mevcut bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda CINC, DATC, DIDI, FETH, MUG1 olmak üzere toplam 5 adet TUSAGA-Aktif istasyonu verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait kurulum tarihi, kurulma yüzeyi ve alıcı tipi bilgileri Çizelge 5.5' de yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan istasyonlardan “DATC” istasyonunun depremin meydana geldiği tarihten hemen sonra verisi olmadığı için bu istasyon ile oluşturulan üçgenlerin depremden sonraki post-sismik dönemde ilgili üçgenlerdeki alanı hesaplanamamıştır.

Çizelge 5.5. Çalışma alanı kapsamında kullanılacak GNSS istasyon listesi.

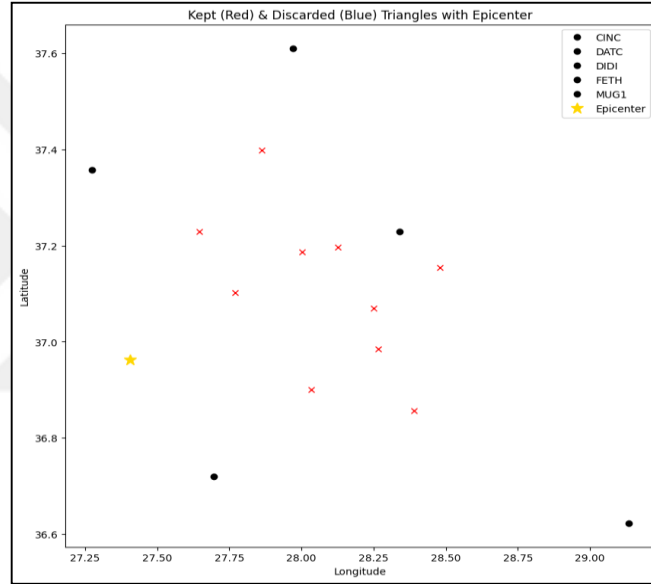
NO	TUSAGA-Aktif İstasyon Adı	Kurulma Tarihi	Kurulum Yüzeyi	Alıcı Tipi
1	CINC	14.05.2005	Beton Blok	Leica GR30
2	DATC	08.11.2008	Beton Blok	Trimble Netr5
3	DIDI	09.11.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
4	FETH	08.11.2008	Teras Üzerinde Çelik Direk	Trimble Netr5
5	MUG1	13.04.2016	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5

Bu çalışma kapsamında yukarıda grafikte de gösterilen istasyonlarla bir GNSS ağı oluşturularak üçgen alan değişim analizi yapılması amaçlanmıştır. Analizler, depremin meydana geldiği tarihten 90 gün öncesi olan 22 Nisan 2017 tarihinden depremin meydana geldiği tarihten 30 gün sonrası olan 20 Ağustos 2017 tarihine kadar olan 120 gün baz alınarak yapılmıştır. Potansiyel bütün üçgen kombinasyonları yapılarak toplamda 10 adet üçgen elde edilmiştir (Şekil 5.13). Ayrıca diferansiyel alan değişim grafiklerine ek olarak potansiyel 10 adet üçgen kombinasyonundaki TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait $S(N)$, $S(E)$ ve $S(U)$ verileri kullanılarak standart sapma grafikleri de oluşturulmuştur ve yorumlanmıştır.



Şekil 5.13. Gökova Körfezi depremine ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları.

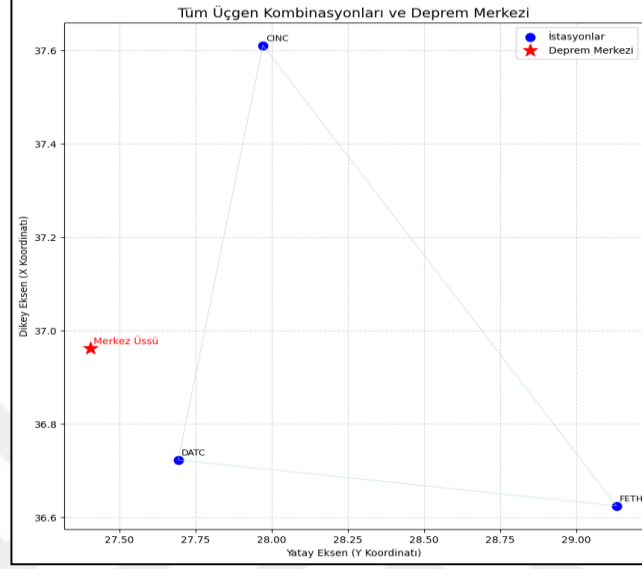
Elde edilen 10 adet üçgen kombinasyonundan her biri için ayrı ayrı X-Y, Y-Z ve X-Z düzlemlerinde toplamda 30 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafiği oluşturulmuştur. Ardından elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerine depremin merkez üssünden uzaklaştıkça etkisinin de azalacağından dolayı ve ayrıca oluşturulan grafikleri daha kolay yorumlayabilmek için filtreleme uygulanmıştır. Ancak bu çalışma bölgesinde istasyon konumlarının dağılımından dolayı oluşturulan üçgenlerin merkez noktaları ile depremin merkez üssü arasındaki mesafe 100 km'den fazla olan üçgenler çıkarılmıştır. Uygulanan filtreleme sonucunda 30 adet üçgen kombinasyonunun tamamı 100 km sınırının içerisinde kalmıştır ve grafiklerin tamamı yorumlanmıştır (Şekil 5.14).



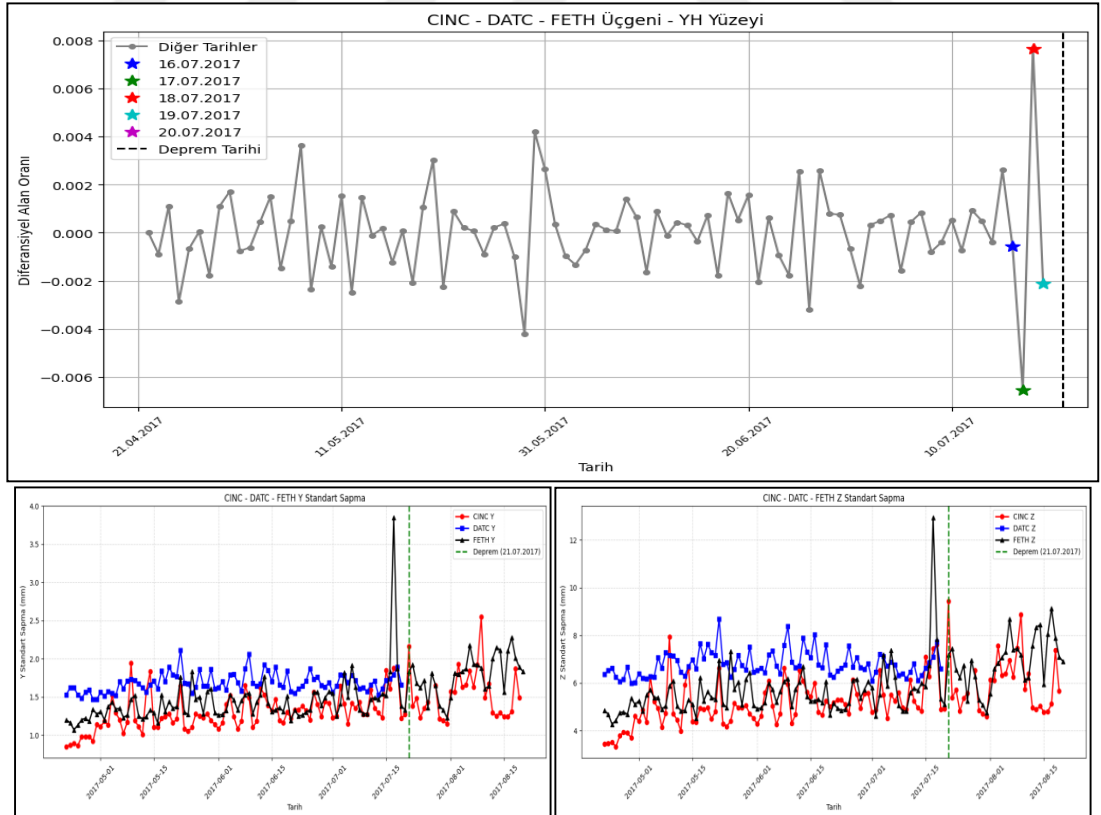
Şekil 5.14. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.

- CINC-DATC-FETH üçgen kombinasyonunun depremin merkez üssüne göre geometrisi Şekil 5.15'de yer almaktadır.
- CINC-DATC-FETH üçgen kombinasyonunun YZ düzlemi diferansiyel üçgen alan değişim grafiği ve standart sapma grafiği Şekil 5.16'da yer almaktadır. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 17 Temmuz 2017 tarihinde alansal azalma 18 Temmuz 2017 tarihinde ani alansal artış gözlemlenmektedir. Ayrıca ilgili istasyonlara ait standart sapma grafikleri incelendiğinde “FETH” istasyonunda alansal azalma/artmanın meydana geldiği zaman aralığında belirgin sapmalar olduğu tespit edilmiştir.

- Diferansiyel alan oran değerleri incelendiğinde 16 Temmuz 2017 tarihinde (-5×10^{-4}) ppm iken alan değeri (-0,006) ppm azalarak 17 Temmuz 2017 tarihinde (-0.007) ppm olarak hesaplanmıştır. 18 Temmuz 2017 tarihinde ise diferansiyel alan oran değeri artış göstererek (+0,008) ppm olarak hesaplanmıştır.

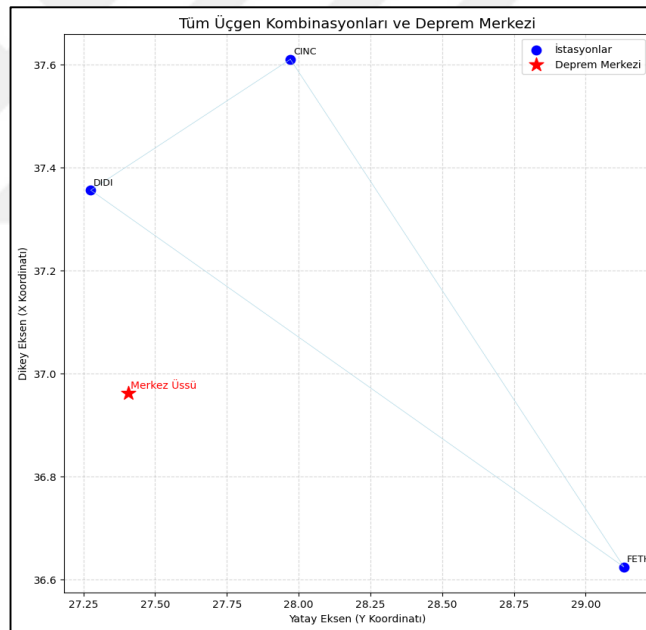


Şekil 5.15. CINC-DATC- FETH üçgen kombinasyonunun geometrisi.

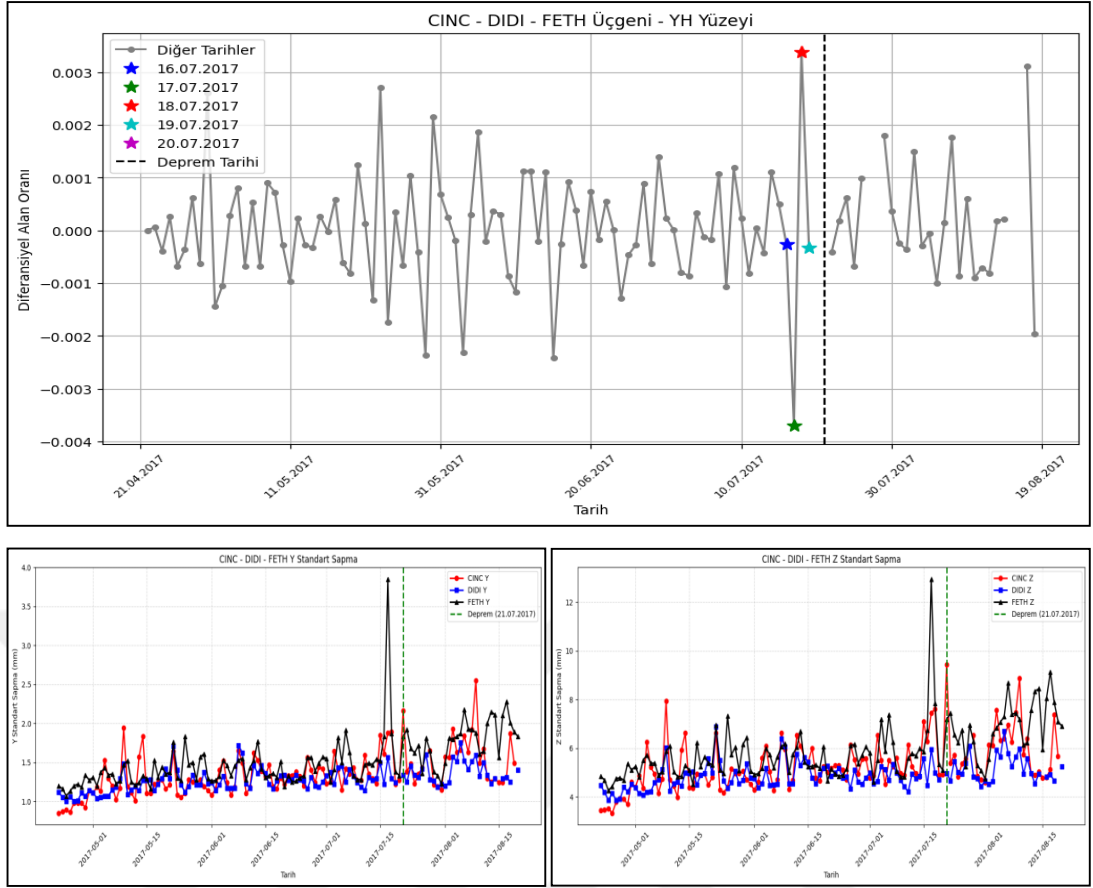


Şekil 5.16. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri.

- CINC-DIDI-FETH üçgen kombinasyonunun depremin merkez üssüne göre geometrisi Şekil 5.17'de yer almaktadır.
- CINC-DIDI-FETH üçgen kombinasyonunun YZ düzlemine ait diferansiyel üçgen alan değişim grafiği ve ilgili istasyonlara ait standart sapma grafikleri Şekil 5.18'de yer almaktadır. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 17 Temmuz 2017 tarihinde alan değerinde azalma ve hemen ertesi günde 18 Temmuz 2017 tarihinde alan değerinde artış olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca istasyonların standart sapma grafiklerinde incelendiğinde “FETH” istasyonunda 17-18 Temmuz 2017 tarihlerinde ani dalgalanmalar tespit edilmiştir.
- 17 Temmuz 2017 tarihinde diferansiyel alan değeri (-0,004) ppm olarak hesaplanmıştır. 18 Temmuz 2017 tarihinde ise alan değeri yaklaşık (+0,007) ppm artış göstererek (+0,003) ppm olarak hesaplanmıştır.

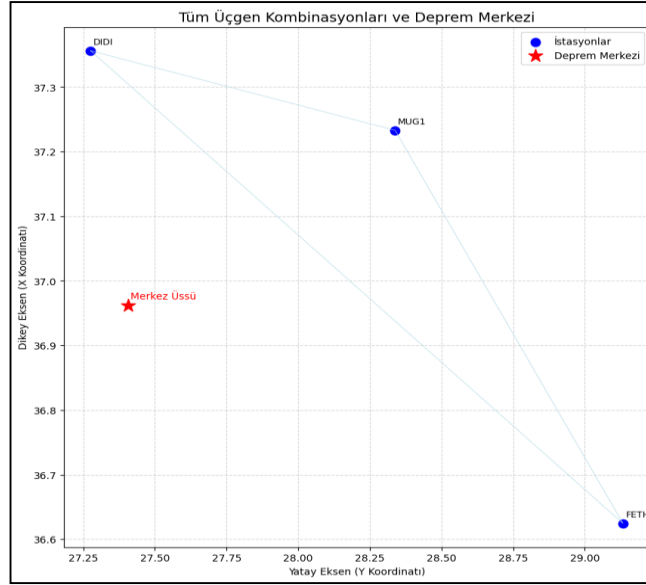


Şekil 5.17. CINC-DIDI-FETH üçgen kombinasyonunun geometrisi.

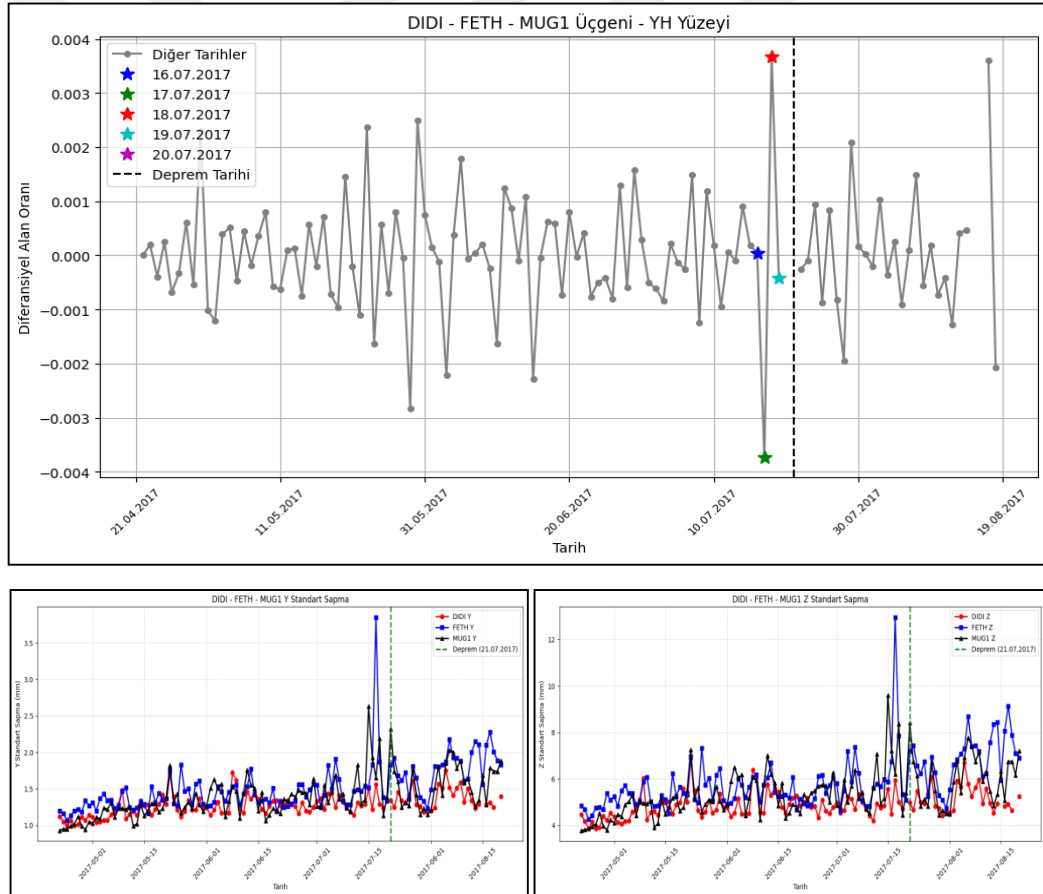


Şekil 5.18. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri (CINC-DIDI-FETH).

- DIDI-FETH-MUG1 üçgen kombinasyonunun depremin merkez üssüne göre geometrisi Şekil 5.19'de gösterilmektedir.
- YZ düzlemine ait diferansiyel üçgen alan değişim grafiği ve ilgili istasyonlara ait standart sapma grafikleri Şekil 5.20.'de yer almaktadır. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 17 Temmuz 2017 tarihinde alan değerinin azaldığı ve hemen ertesi gün olan 18 Temmuz 2017 tarihinde ani alan artışı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ilgili istasyonların standart sapma grafikleride incelendiğinde “FETH” ve “MUG1” istasyonlarında depremin meydana geldiği tarihten 5 gün öncesinde ani dalgalanmalar olduğu tespit edilmiştir.
- 17 Temmuz 2017 tarihinde alan miktarı (-0,003) ppm olarak hesaplanmıştır. 18 Temmuz 2017 tarihinde ise alan miktarı yaklaşık (+0,006) ppm artış göstererek (+0,003) ppm olarak hesaplanmıştır.

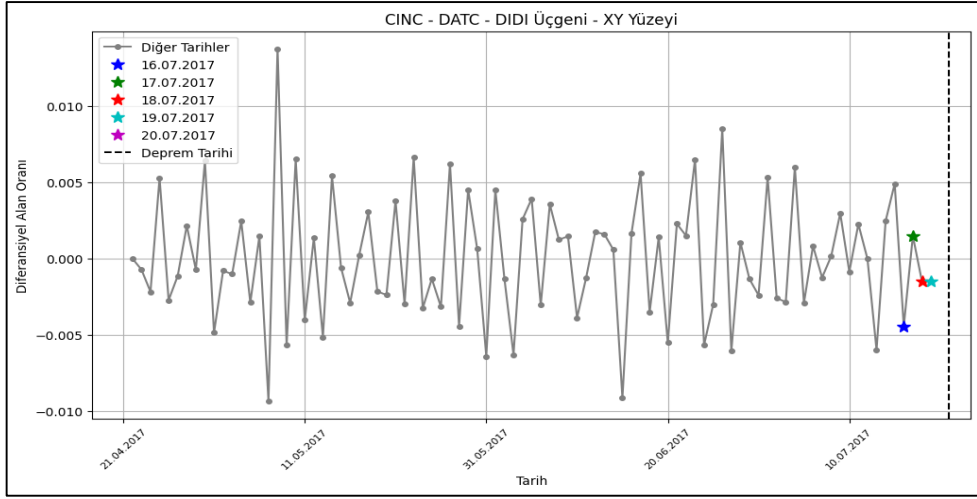


Şekil 5.19. DIDI-FETH-MUG1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.

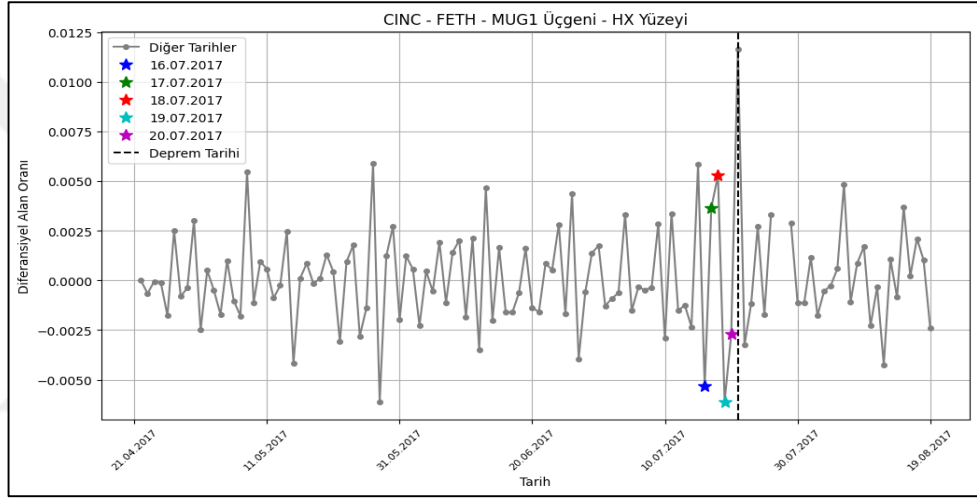


Şekil 5.20. Üçgen alan değişim grafiği ve st. sapma grafikleri (DIDI-FETH-MUG1).

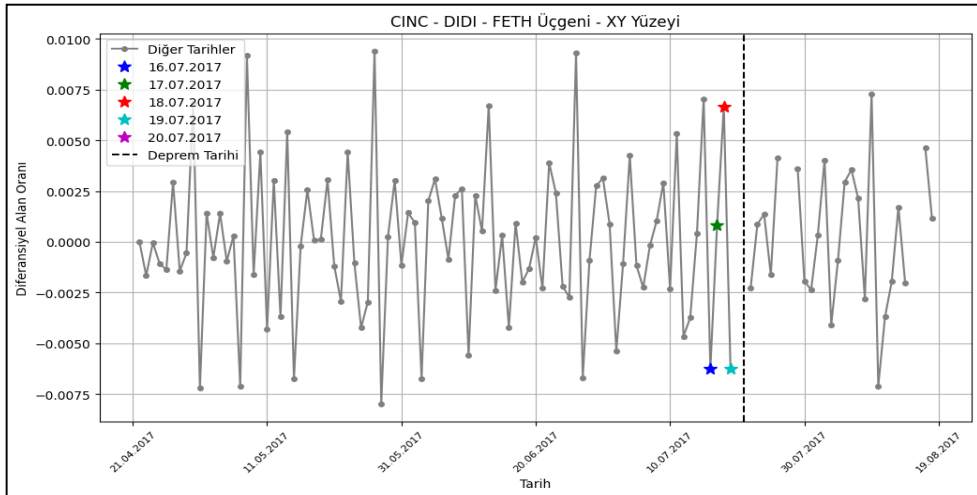
Gökova Körfezi merkezli depreme ait Şekil 5.16, 5.18, 5.20'de yer alan grafiklerin yanı sıra depreme ait öncül sinyaller ile ilişkilendirilemeyen grafikler de elde edilmiştir. Bunlar Şekil 5.21, 5.22, 5.23, 5.24'te yer almaktadır.



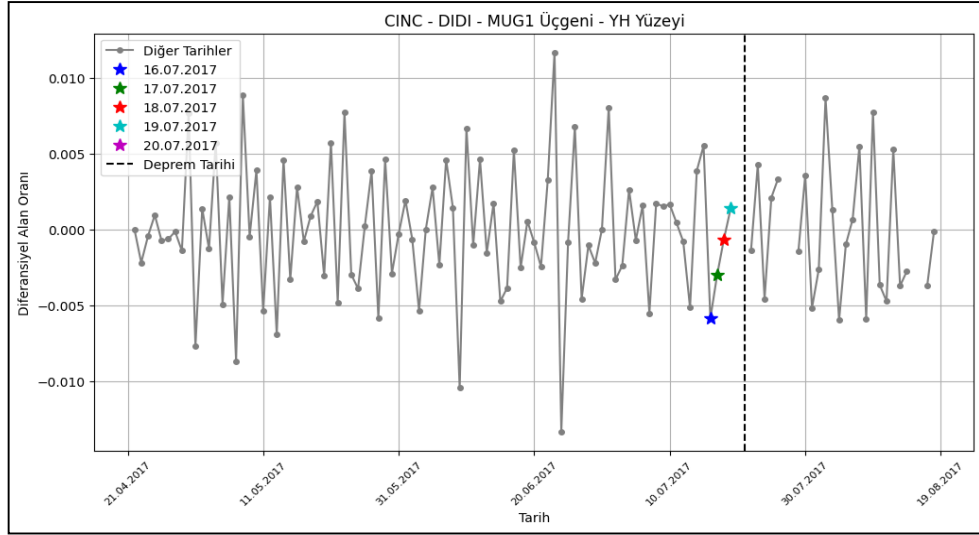
Şekil 5.21. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DATC-DIDI).



Şekil 5.22. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-FETH-MUG1).



Şekil 5.23. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DIDI-FETH).



Şekil 5.24. Diferansiyel alan değişim grafiği (CINC-DIDI-MUG1).

5.4 30 Ekim 2020 İzmir Depremi (Mw= 6.9)

Türkiye'nin batısında İzmir ilinin yer aldığı Ege bölgesi barındırdığı aktif fay zonlarının oluşturduğu depremler sonucunda grabenli yapılardan oluşarak kuzey-güney yönlü genişleme rejimine sahip tektonik bir bölgedir. İzmir ili Gediz, Bakırçay ve Küçük Menderes grabenlerinin etkisi altındadır. İzmir ilinin doğusunda bulunan Gediz Grabeni, Alaşehir ve Manisa aktif fay zonları ile tarihsel ve aletsel dönemde önemli depremler üretmiştir. İzmir'in kuzeyinde bulunan Bakırçay Grabeni de aktif fay üretme potansiyeline sahip fay zonlarını barındırmaktadır. İzmir'in güneydoğusunda bulunan Küçük Menderes Grabeni ise İzmir merkezden uzakta olsa da şehrin ilçelerini etkisi altına alabilecek potansiyelde deprem üreten fay zonlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bunların yanı sıra İzmir ilinin en önemli tektonik unsurlarından birisi olan doğu-batı uzanımlı İzmir Fay Zonu, oblik atımlı normal fay karakterine sahiptir ve iki ana segmentten oluşmaktadır. Bunun yanında bölgenin depremselliğini besleyen Seferihisar Fay Zonu, Karşıyaka Fay Zonu, Tuzla Fay Zonu ve İzmir-Balıkesir Transfer Zonu da bulunmaktadır. Tüm bu tektonik unsurlar İzmir ilinin tarihsel ve aletsel dönemlerinde oldukça yıkıcı etkilerde depremlere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bölgenin aletsel dönemi incelendiğinde IX-X şiddetlerinde oldukça fazla deprem meydana gelmiştir. İzmir Fayı etkisinde M.S. 178, 688, 1040, 1654, 1688, 1778 tarihlerinde oluşan bu depremler İzmir ili ve çevresinde yıkıcı etkide tahribatlara yol açmıştır. Depremler aletsel dönemde de devam etmiştir. Bunlara örnek olarak; 23 Temmuz 1949 tarihinde Ms=6.6

büyükluğünde Karaburun-Çeşme depremi, 6 Kasım 1992 tarihinde $M_s=6.0$ büyükluğünde Doğanbey depremi (KRDAE, 2025), 10 Nisan 2003 tarihinde $M_s=6.0$ büyükluğünde Seferihisar depremi (KRDAE, 2025), 17-20 Ekim 2005 tarihleri arasında meydana gelen $M_L=5.9$ büyükluğünde Sığacık Körfezinde meydana gelen deprem (KRDAE, 2025), 12 Haziran 2017 tarihinde AFAD verilerine göre $M_w=6.2$ büyükluğünde Ege denizi depremi İzmir ve çevresinde aktif fayların bulunduğı ve bölgede deprem üretme potansiyelinin gelecekte de devam edeceğinin kanıtı olmuştur.

Bu depremlerin yanı sıra bu tez çalışması kapsamında analiz edilecek olan 30 Ekim 2020 tarihinde yerel saat 14.51' de Ege Denizi'nde $M_w=6.9$ büyükluğünde meydana gelen deprem İzmir ili başta olmak üzere Ege ve Marmara Bölgelerinde oldukça şiddetli hissedilmiştir. Depremin büyükluğı ve derinliğı çeşitli kurumlar tarafından tespit edilmiştir ve Çizelge 5.6'da yer almaktadır. Depremin merkez üssü Sisam Adası'nın kuzeyi ve Doğanbey-İzmir açıkları arasında $37,9020^\circ$ kuzey enlemi ile $26,7942^\circ$ doğu boylamı civarında konumlanmaktadır. İzmir ve çevresini etkileyen depremin oluşmasına sebep olan fay, doğu-batı uzanımlı normal fay karakterinde yaklaşık 30 km uzunluğuna sahip Samos (Sisam) fayıdır. Ana şokun etkisiyle depremden hemen sonra AFAD verilerine göre 3000'den fazla artçı deprem meydana gelmiştir. Oluşan bu artçı depremlerin 48 tanesinin moment magnitüd değeri $M_w=4.0$ 'den fazladır. Ayrıca oluşan bu artçı depremlerin büyük bir kısmı Tuzla Fayı ve Karlovassi Fayları civarında toplanmıştır. Bu depremle beraber 115 kişi hayatını kaybetmiş, çok sayıda bina yıkılarak ağır hasar bırakmıştır. (AFAD, 2025; KRDAE, 2025; Kürçer vd., 2020; Özkaymak vd., 2024; Solak vd., 2024; Sözbilir vd., 2008).

Çizelge 5.6. İzmir Sisam Adası yakınlarında 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen deprem derinlik ve magnitüd değerleri.

KAYNAKLAR	ODAK DERİNLİK (KM)	MAGNİTÜD (M_w)
USGS	21	$M=7.0$
KRDAE	11,2	$M_w=6.9$
AFAD	14,9	$M_w=6.6$

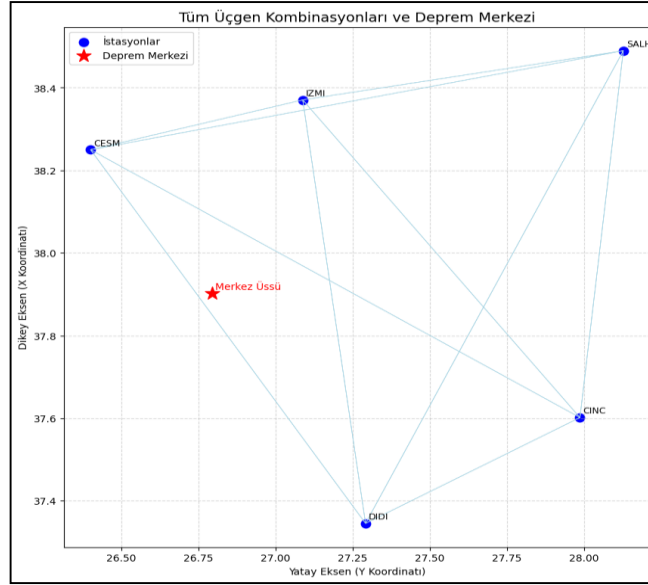
Bu tez çalışma kapsamında İzmir ili çevresinde çok şiddetli hissedilen Sisam Adası yakınlarında 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen depremin merkez üssü ve çevresi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. İzmir ili ve çevresinde çalışma alanını

kapsayacak şekilde mevcut bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda CESH, CINC, DIDI, IZMI, SALH olmak üzere toplam 5 adet TUSAGA-Aktif istasyonu kullanılmıştır. Kullanılan istasyonlara ait kurulum tarihi, kurulma yüzeyi ve alıcı tipi ile ilgili bilgiler Çizelge 5.7'de yer almaktadır. Ayrıca ağda kullanılan CESH istasyonu 2011 yılında uğradığı deformasyon sonucunda yerine CESH1 istasyonu kurularak günümüzde TUSAGA-Aktif ağında çalışmaktadır.

Çizelge 5.7. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyon listesi.

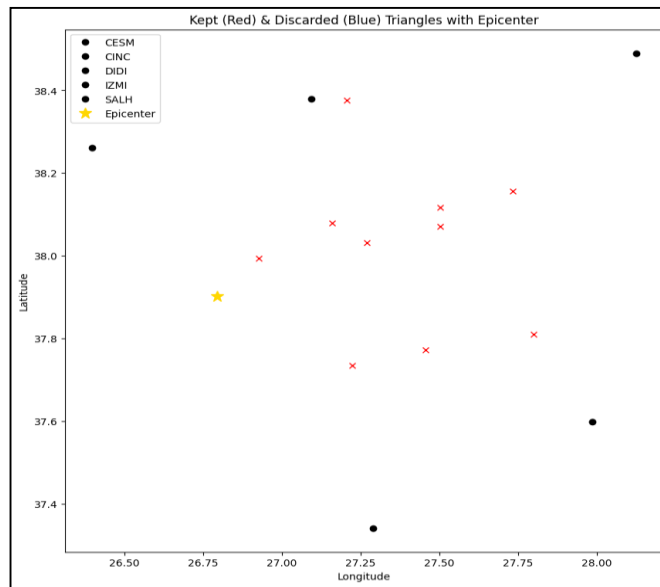
NO	TUSAGA-Aktif İstasyon Adı	Kurulma Tarihi	Kurulum Yüzeyi	Alıcı Tipi
1	CESH	27.10.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
2	CINC	14.05.2005	Beton Blok	Leica GR30
3	DIDI	09.11.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
4	IZMI	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Alloy
5	SALH	27.09.2008	Teras Üzerinde Çelik Direk	Trimble Netr5

Bu çalışma kapsamında Çizelge 5.7'de de gösterilen istasyonlarla bir GNSS ağı oluşturularak üçgen alan değişim analizi yapılması amaçlanmıştır. Analiz, depremin meydana geldiği tarihten 90 gün öncesi olan 1 Ağustos 2020 tarihinden depremin meydana geldiği tarihten 30 gün sonrası olan 30 Kasım 2020 tarihleri arasındaki 120 günlük veriler incelenerek yapılmıştır. Potansiyel bütün üçgen kombinasyonları yapılarak toplamda 10 adet üçgen oluşturulmuştur (Şekil 5.25). Ayrıca potansiyel bütün üçgen kombinasyonlarına ait standart sapma grafikleri elde edilmiştir.



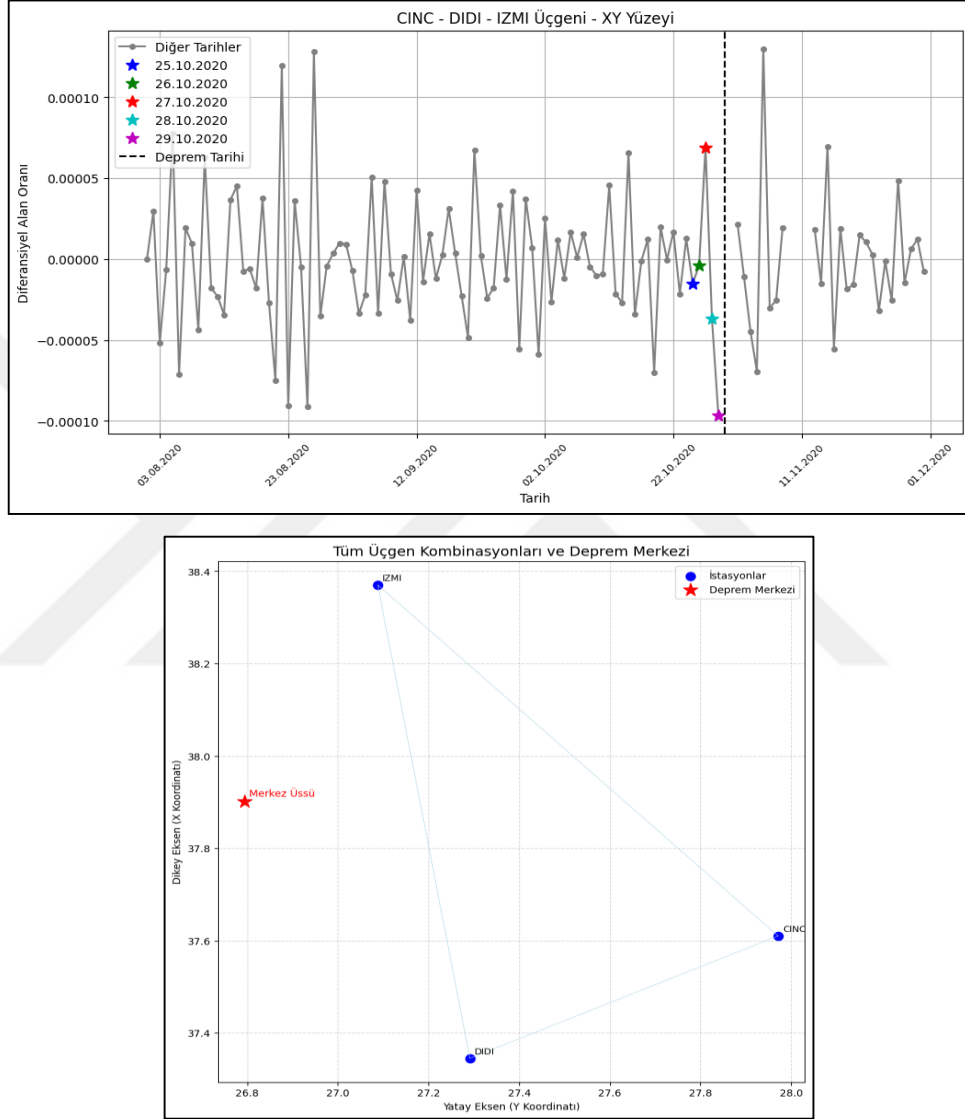
Şekil 5.25. İzmir merkezli depreme ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları.

Elde edilen 10 adet üçgen kombinasyonundan her biri için ayrı ayrı X - Y , Y - Z ve X - Z düzlemlerinde toplamda 30 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafiği oluşturulmuştur. Ardından elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerine Gökova Körfezi merkezli meydana gelen depremde de olduğu gibi filtreleme uygulanmıştır. Oluşturulan üçgenlerin merkez noktaları ile depremin merkez üssü arasındaki mesafe 100 km'den fazla olan üçgenler çıkarılmıştır. Uygulanan filtreleme sonucunda 30 adet üçgen kombinasyonun tamamı 100 km sınırının içerisinde kalmıştır ve grafiklerin tamamı yorumlanmıştır (Şekil 5.26).

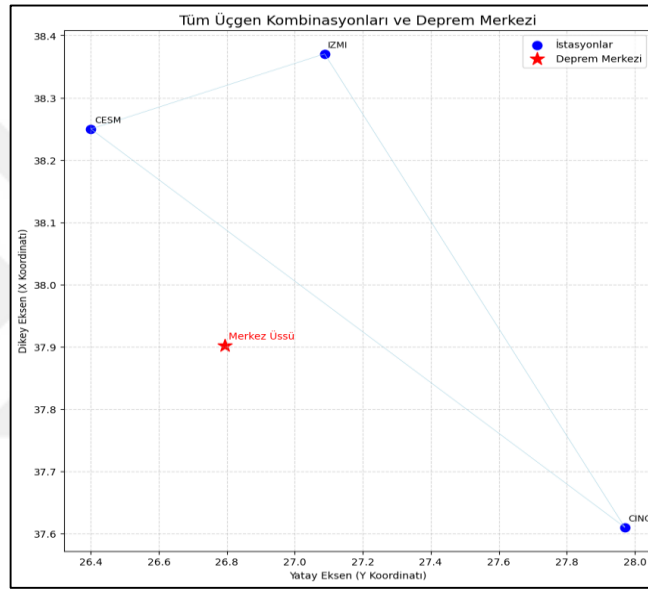
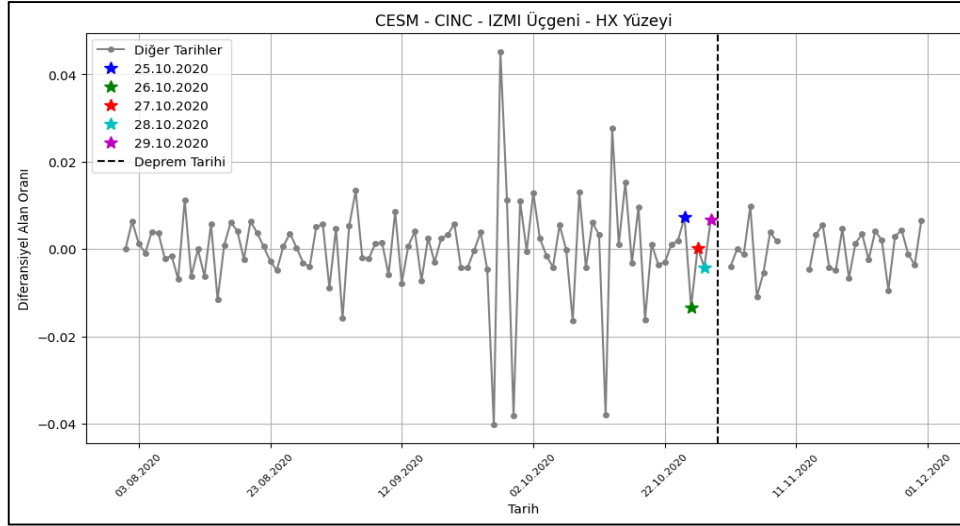


Şekil 5.26. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.

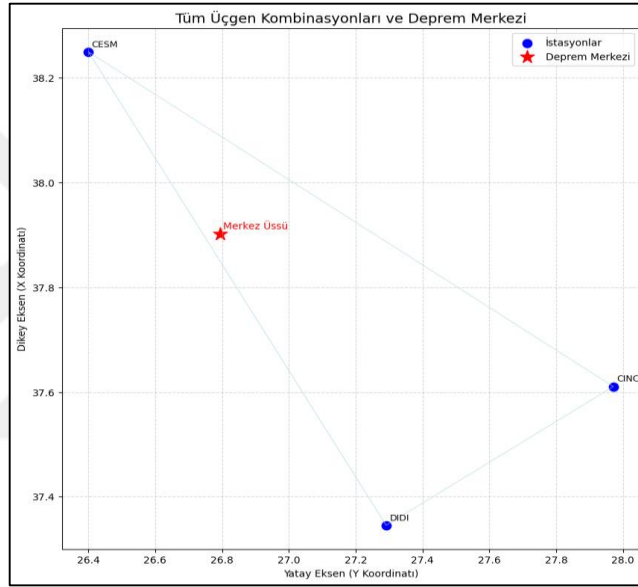
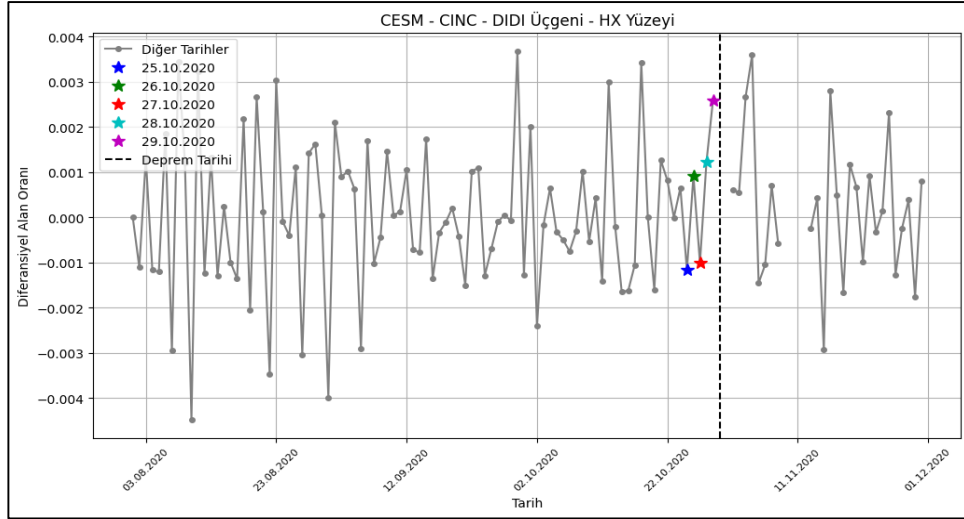
Sonuç olarak elde edilen grafiklerin genelinde düzensiz dalgalanmalar tespit edilmiştir. Ayrıca depremden önce özellikle diğer analiz edilen depremlerde olduğu gibi depremin meydana geldiği tarihten 5 gün öncesinde sismik aktiviteyi ilişkilendirecek ani alan değişimleri gözlemlenmemiştir. Bu duruma örnek teşkil eden grafikler Şekil 5.27, 5.28, 5.29, 5.30'da gösterilmektedir.



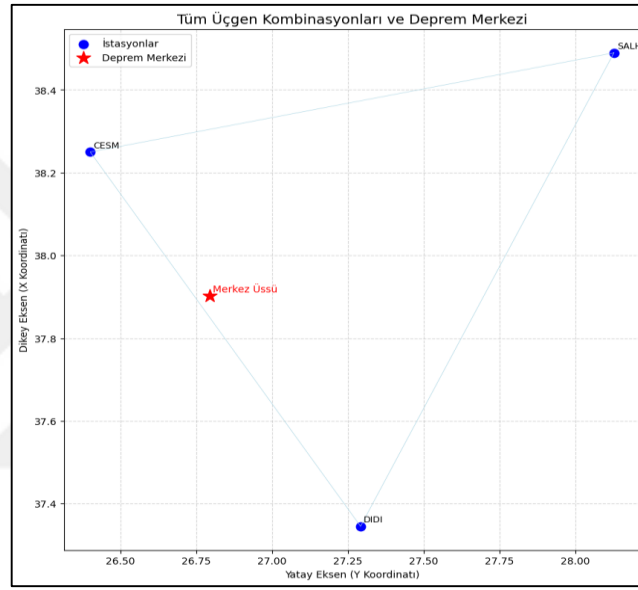
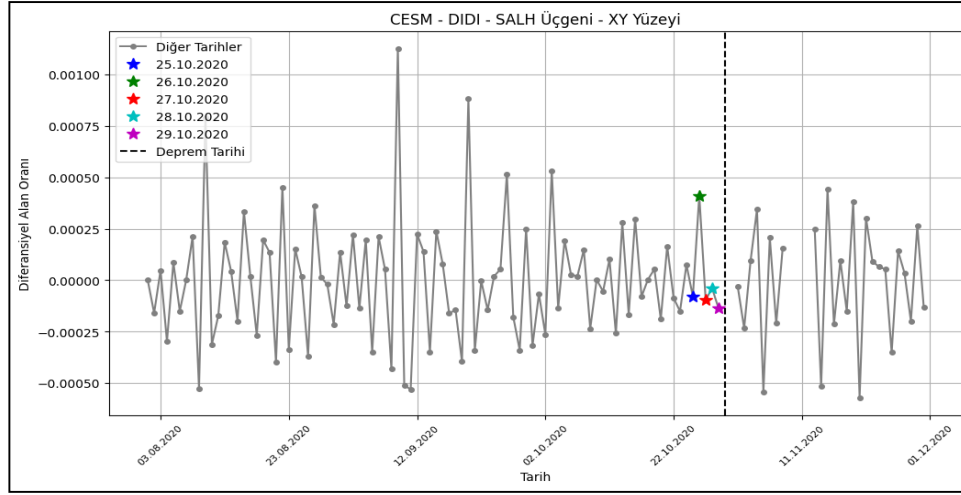
Şekil 5.27. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CINC-DIDI-IZMI).



Şekil 5.28. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-CINC-IZMI).

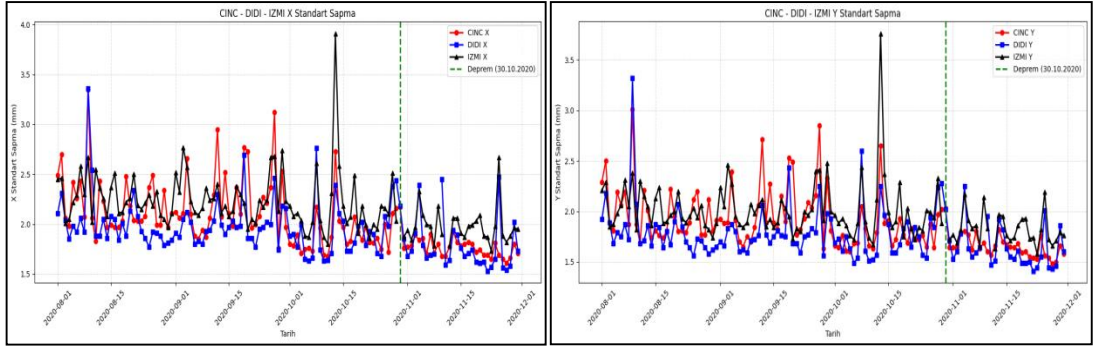


Şekil 5.29. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-CINC-DIDI).

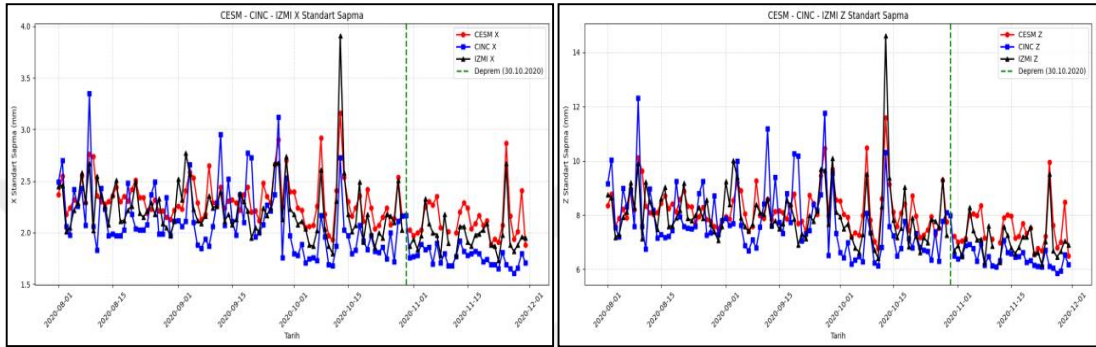


Şekil 5.30. Diferansiyel alan değişim grafiği ve merkez üssüne göre geometrisi (CESM-DIDI-SALH).

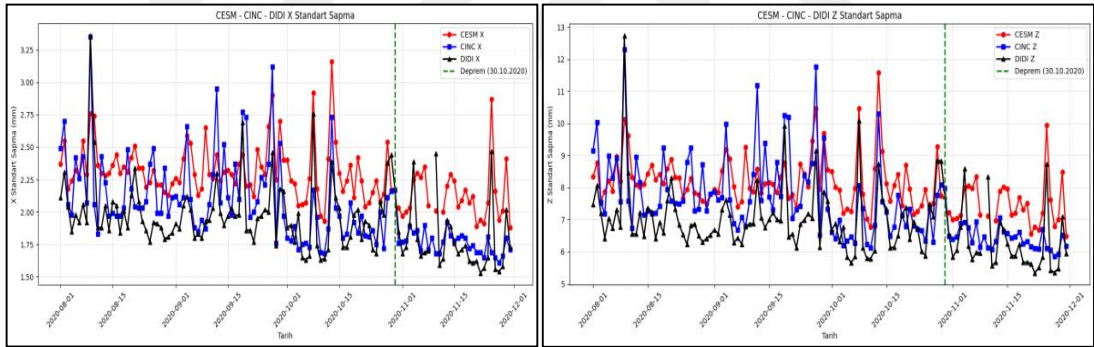
Şekil 5.27, 5.28, 5.29 ve 5.30.'da yer alan üçgen kombinasyonlarına ait standart sapma grafikleri Şekil 5.31, 5.32, 5.33 ve 5.34'te yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde ilgili istasyonlarda depremin meydana geldiği tarihten 5 gün öncesinde standart sapma değerlerinde ani sıçrama ve dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Elde edilen alan değişimlerinin bir desen temsil etmemesi ve dağınık ilerleyişini sebebinin tüm istasyonlara ait standart sapma değerlerindeki dağınıklıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.



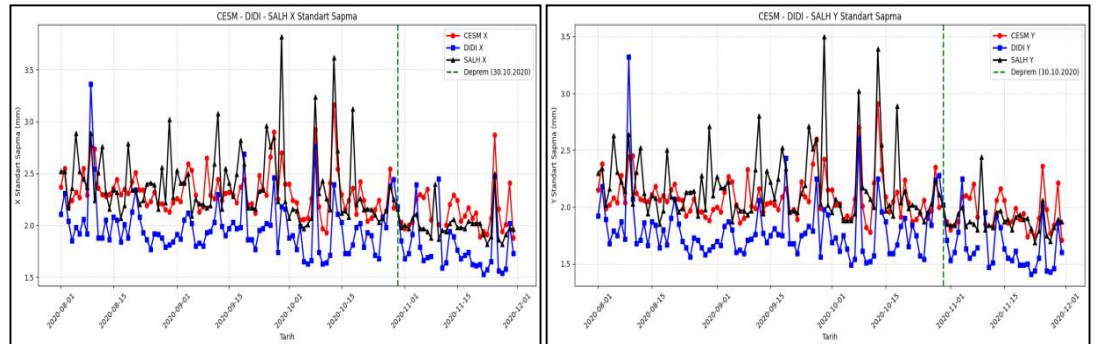
Şekil 5.31. CINC-DIDI-IZMI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.



Şekil 5.32. CESM-CINC-IZMI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.



Şekil 5.33. CESM-CINC-DIDI istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.



Şekil 5.34. CESM-DIDI-SALH istasyonlarına ait standart sapma grafikleri.

5.5 6 Şubat 2023 Tarihli Kahramanmaraş Merkezli Depremler (Mw=7.7-Mw=7.6)

Kahramanmaraş ili; sol yanal doğrultu atımlı DAFZ ve Ölü Deniz Fay zonlarının etkisi altındadır. Bu faylar uzun süre enerji birikimiyle beraber çok yüksek büyüklüklerde deprem üretme potansiyeline sahiptirler. Bu yüzden Kahramanmaraş ili ve çevresi depremsellik açısından önemli bir bölgedir. Bölgenin tarihsel dönemi incelendiğinde IV ve IX şiddetleri arasında depremler olmuştur. M.S. 458, 506, 526, 529, 1114, 1268, 1822, 1872 yıllarında çoğunluğu IX şiddetinde Kahramanmaraş'ı da etkisi altında bırakan yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Özellikle Kahramanmaraş-Türkoğlu bölgesinde 1874 yılında VIII şiddetinde DAFZ üzerinde meydana gelen depremin ardından bölgede uzun bir süre sismik durgunluk yaşanmıştır. Bu durumun aletsel dönemde de devam etmesiyle birlikte literatürde bu alan “Türkoğlu Sismik Boşluğu” olarak tanımlanmaktadır. Tarihsel ve aletsel dönemde düşük büyüklüklerde ($M_s \leq 4.0$) yüzlerce depremin meydana gelmesi bölgede stres birikiminin devam ettiğine ve yüksek enerji potansiyelli bir depremin oluşabileceğine işaret etmektedir. Nitekim 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremin bu sismik boşlukta biriken enerji sebebiyle meydana geldiği değerlendirilmektedir (Biricik ve Korkmaz, 2001 ; Eyübagil vd., 2023).

Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Kahramanmaraş ilinde 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremler ülkemiz açısından oldukça acı kayıplara sebep olmuştur. 9 saat arayla meydana gelen bu depremler Kahramanmaraş ve çevresinde bulunan Hatay, Gaziantep, Malatya, Osmaniye, Adıyaman, Şanlıurfa gibi birçok ilde hissedilmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde yerel saatle 4.17'de Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde sol yanal doğrultu atımlı fay karakterinde olan DAFZ üzerinde AFAD verilerine göre moment magnitüd değeri $M_w=7.7$ olan depremin odak derinliği yaklaşık 8 km'dir. Bu depremden 9 saat sonra yerel saatle 13.24'te Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde AFAD verilerine göre moment magnitüd değeri $M_w=7.6$ ve derinliği yaklaşık 7 km olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Meydana gelen bu deprem sol yanal doğrultu atımlı Sürgü-Çardak Fay Zonunun kırılması sonucu oluşmuştur. Çeşitli kuruluşlar tarafından Kahramanmaraş merkezli meydana gelen bu depremlere ait büyüklük ve derinlik bilgileri Çizelge 5.8 ve 5.9'da yer almaktadır.

Çizelge 5.8. Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinde 6 Şubat 2023'te meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.

KAYNAKLAR	ODAK DERİNLİK (KM)	MAGNİTÜD (M_w)
USGS	10	7.8
KRDAE	5	7.7
AFAD	8,6	7.7

Çizelge 5.9. Kahramanmaraş Elbistan ilçesinde 6 Şubat 2023'te meydana gelen depreme ait derinlik ve magnitüd değerleri.

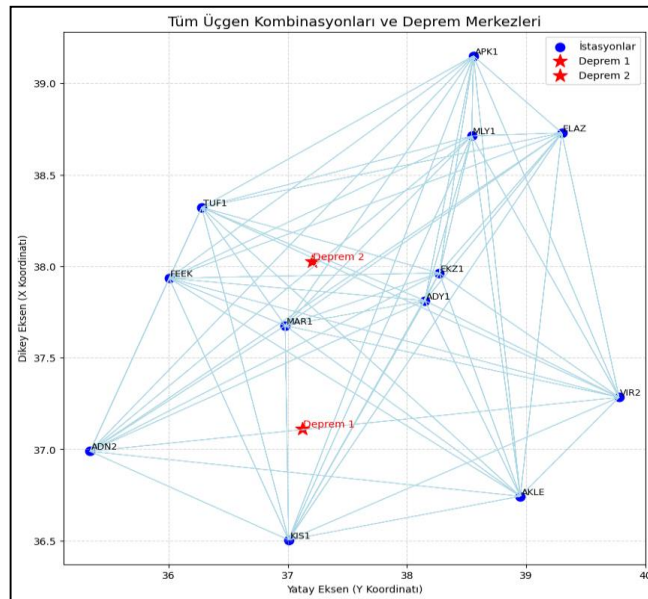
KAYNAKLAR	ODAK DERİNLİK (KM)	MAGNİTÜD (M_w)
USGS	10	7.5
KRDAE	5	7.5
AFAD	7	7.6

Bu tez çalışması kapsamında Kahramanmaraş ili ve çevresinde çok şiddetli hissedilen 6 Şubat 2023 tarihli meydana gelen $M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremlerin merkez üssü ve çevresi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Kahramanmaraş ili ve çevresinde çalışma alanını kapsayacak şekilde mevcut bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda ADN2-ADY1-AKLE-APK1-EKZ1-ELAZ-FEEK-KIS1-MAR1-MLY1-TUF1-VIR2 olmak üzere toplam 12 adet TUSAGA-Aktif istasyon verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait kurulma tarihi, kurulum yüzeyi ve alıcı tipi bilgileri Çizelge 5.10'da listelenmiştir:

Çizelge 5.10. Çalışma alanı kapsamında kullanılan GNSS istasyon listesi.

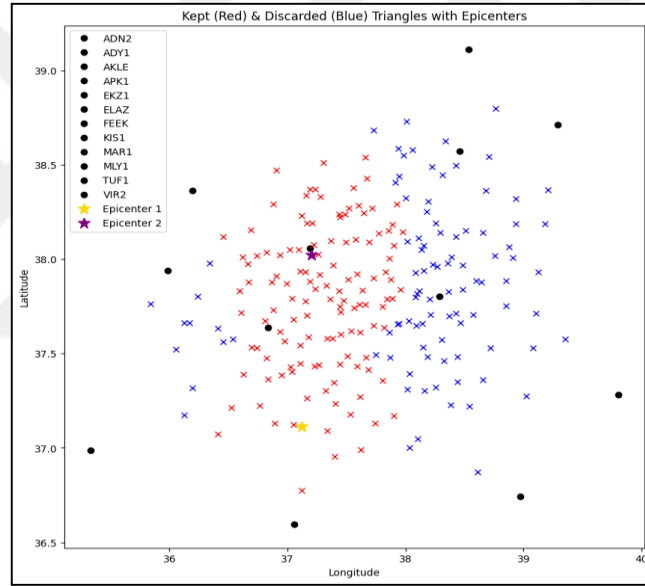
NO	TUSAGA-Aktif İstasyon Adı	Kurulma Tarihi	Kurulum Yüzeyi	Alıcı Tipi
1	ADN2	28.04.2017	Teras Üzerindeki Çelik Direk	Trimble Netr5
2	ADY1	30.10.2018	Teras Üzerindeki Çelik Direk	Trimble Netr5
3	AKLE	08.04.2019	Teras Üzerindeki Çelik Direk	Trimble Netr9
4	APK1	23.05.2022	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
5	EKZ1	27.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
6	ELAZ	25.09.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
7	FEEK	09.11.2008	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
8	KIS1	09.08.2022	Teras Üzerindeki Çelik Direk	Trimble Netr5
9	MAR1	12.02.2016	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
10	MLY1	22.04.2022	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
11	TUF1	14.01.2014	Çatıda Çelik Direk	Trimble Netr5
12	VIR2	17.04.2017	Teras Üzerindeki Çelik Direk	Trimble Netr5

Bu çalışma kapsamında Çizelge 5.10'da da yer alan istasyonlara ait *North (N)*, *East (E)*, *Up (U)* coğrafi koordinat verileri kullanılarak depremin meydana geldiği tarihten 90 gün önce 9 Kasım 2022'den 6 Mart 2023 tarihine kadar olan 120 günlük veri seti kullanılarak üçgen alan değişim analizi yapılmıştır. Toplamda 220 adet üçgen kombinasyonu elde edilmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. Kahramanmaraş merkezli depremlere ait potansiyel bütün üçgen kombinasyonları.

Elde edilen 220 adet üçgen kombinasyonundan her biri için ayrı ayrı X-Y, Y-Z ve X-Z düzlemlerinde toplamda 660 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafiği oluşturulmuştur. Ardından elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerine depremin merkez üssünden uzaklaştıkça etkisinin de azalacağından dolayı ve ayrıca oluşturulan grafikleri daha kolay yorumlayabilmek için filtreleme uygulanmıştır. Van merkezli meydana gelen depremde olduğu gibi oluşturulan üçgenlerin merkez noktaları ile depremin merkez üssü arasındaki mesafe 70 km'den fazla olan üçgenler çıkarılmıştır. 220 adet üçgen kombinasyonundan depremin merkez üssüne uzaklığı 70 km ve altında olan 124 tane üçgen kombinasyonu yorumlanmıştır. Şekil 5.36'da görüldüğü üzere istasyonlar siyah renkle, filtre uygulandıktan sonra kalan üçgenlerin orta noktası kırmızı renkle, çıkarılan üçgenler ise mavi renkle temsil edilmektedir.



Şekil 5.36. Üçgen kombinasyonlarına uygulanan filtreleme.

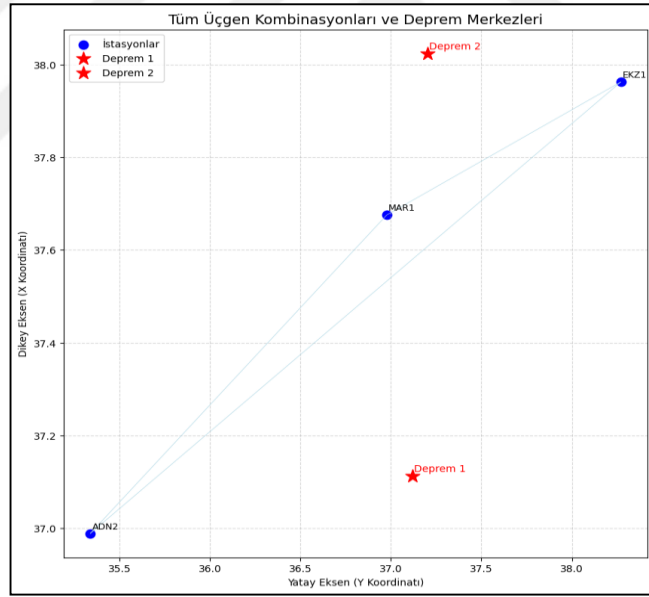
Bu grafikler incelendiğinde toplamda 42 tanesinde depreme ait öncül sinyal potansiyelinde olan grafikler tespit edilmiştir. Bu grafiklerin 23 tanesi XY düzleminde, 18 tanesi de YZ düzleminde yoğunlaşmıştır. İlgili istasyonlara ait standart sapma zaman serileri grafikleri de dikkate alındığında deprem öncesinde istasyonlara ait herhangi bir gürültü artışı gözlemlenmemiştir. Anlamlı sonuçlar elde edildiği öngörülen üçgen kombinasyonlarının listesi maddeler halinde belirtilmiştir:

1. ADN2-ADY1-MAR1 (XY düzlemi)
2. ADN2-AKLE-MAR1 (XY düzlemi)
3. ADN2-EKZ1-MAR1 (XY düzlemi)

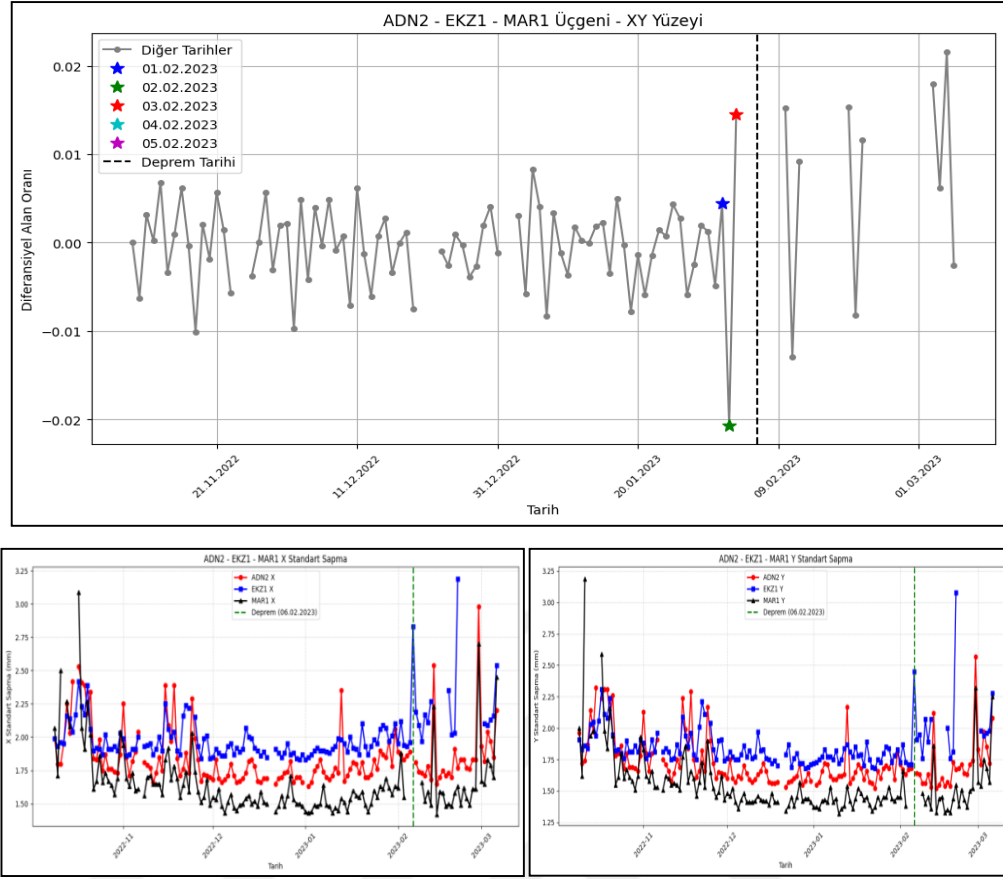
4. ADN2-ELAZ-MAR1 (XY düzlemi)
5. ADN2-ELAZ-TUF1 (XY düzlemi)
6. ADN2-MAR1-MLY1 (XY düzlemi)
7. ADN2-MAR1-VIR2 (XY düzlemi)
8. ADN2-MLY1-TUF1 (XY ve YZ düzlemleri)
9. ADN2-ADY1-KIS1 (XY ve YZ düzlemleri)
10. ADN2-ADY1-MLY1 (YZ düzlemi)
11. ADN2-ADY1-TUF1 (XY düzlemi)
12. ADN2-APK1-KIS1 (XY, YZ düzlemi)
13. ADN2-EKZ1-MLY1 (YZ düzlemi)
14. ADN2-KIS1-MAR1 (YZ düzlemi)
15. ADN2-TUF1-VIR2 (XY düzlemi)
16. ADY1-EKZ1-MAR1 (XY ve YZ düzlemi)
17. ADY1-FEEK-MAR1 (XY ve YZ düzlemleri)
18. ADY1-MAR1-TUF1 (XY düzlemi)
19. ADY1-KIS1-MAR1 (YZ düzlemi)
20. AKLE-FEEK-MAR1 (XY düzlemi)
21. AKLE-MAR1-TUF1 (XY ve YZ düzlemleri)
22. AKLE-MLY1-TUF1 (YZ düzlemi)
23. APK1-KIS1-MAR1 (YZ düzlemi)
24. EKZ1-FEEK-MAR1 (XY düzlemi)
25. EKZ1-KIS1-MAR1 (YZ düzlemi)
26. EKZ1-MAR1-TUF1 (XY düzlemi)
27. EKZ1-MLY1-TUF1 (XZ düzlemi)
28. ELAZ-KIS1-TUF1 (YZ düzlemleri)
29. ELAZ-MAR1-TUF1 (XY düzlemi)
30. FEEK-MAR1-VIR2 (XY düzlemi)
31. KIS1-MAR1-TUF1 (XY ve YZ düzlemleri)
32. KIS1-MAR1-MLY1 (YZ düzlemi)
33. KIS1-MAR1-VIR2 (YZ düzlemi)
34. KIS1-MLY1-TUF1 (YZ düzlemi)
35. MAR1-TUF1-VIR2 (XY düzlemi)

Yukarıda maddeler halinde yer alan bazı üçgen kombinasyonlarına ait elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri ve standart sapma grafikleri aşağıda gösterilmiştir:

- ADN2-EKZ1-MAR1 üçgen kombinasyonunda istasyonların depremin merkez üssüne göre geometrisi Şekil 5.37'de yer almaktadır.
- ADN2-EKZ1-MAR1 üçgen kombinasyonuna ait XY düzlemi için elde edilen alan değişim grafiği ve standart sapma grafiği Şekil 5.38'de gösterilmektedir. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 2 Şubat 2023 tarihinde ani alan artışı ve 3 Şubat 2023 tarihinde ani alansal azalma gözlemlenmektedir. İlgili istasyonların standart sapma grafikleri de incelendiğinde depremin meydana geldiği tarihten öncesinde herhangi bir dalgalanma saptanmamıştır.
- 1 Şubat 2023 tarihinde üçgenin XY düzlemindeki diferansiyel üçgen alan oranı (-0,010) ppm iken hemen ertesi günde 2 Şubat 2023 tarihinde (+0,029) ppm olarak hesaplanmıştır. 3 Şubat 2023 tarihinde ise alan değeri ani azalma göstererek (-0,027) ppm'e düşmüştür.

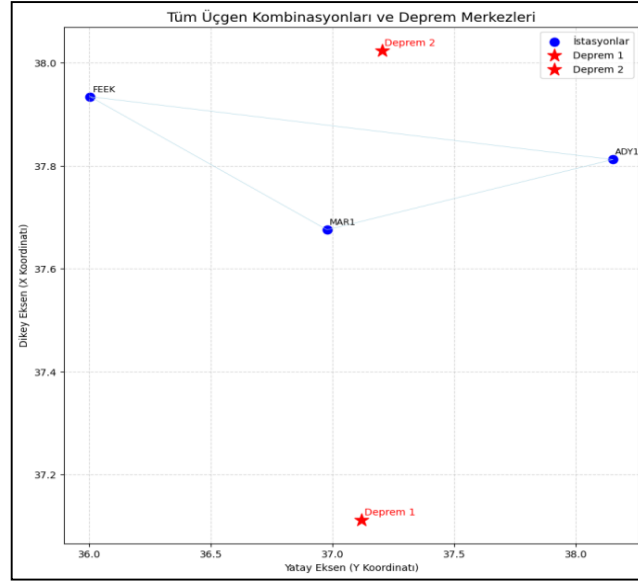


Şekil 5.37. ADN2-EKZ1-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.

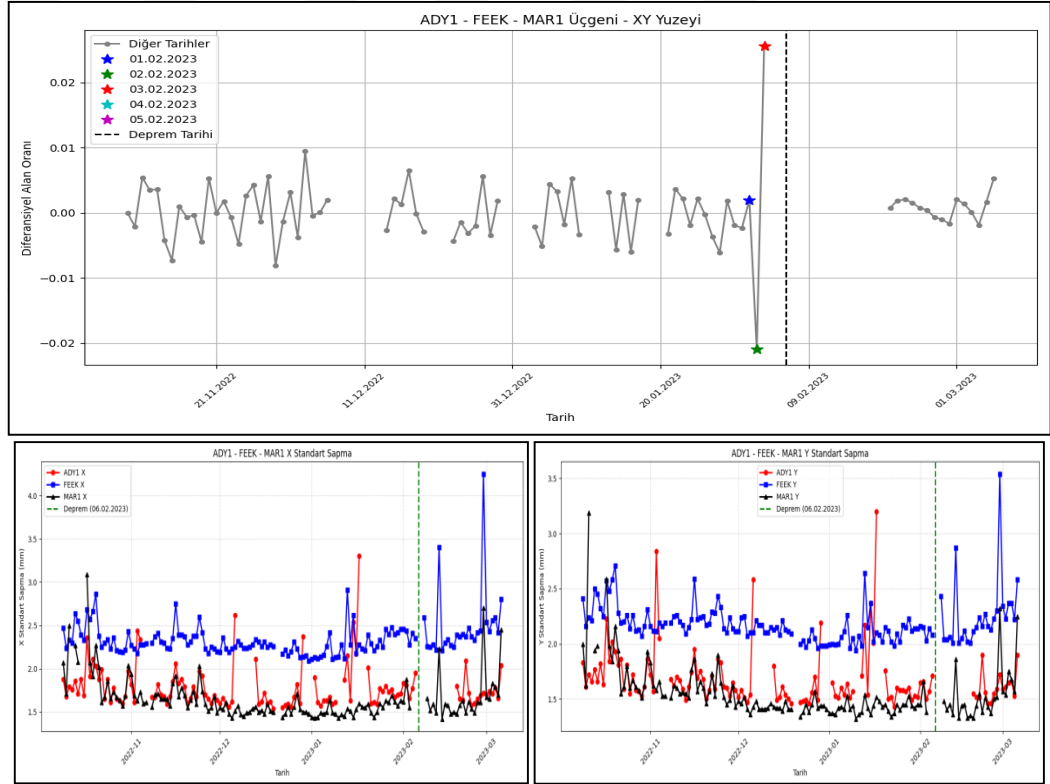


Şekil 5.38. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri (ADN2-EKZ1-MAR1).

- ADY1-FEEK-MAR1 üçgen kombinasyonunun depremlerin merkez üslerine göre geometrisi Şekil 5.39'da yer almaktadır.
- ADY1-FEEK-MAR1 üçgen kombinasyonunun XY düzlemindeki üçgen alan değişim grafiği ve standart sapma grafikleri Şekil 5.40'da gösterilmektedir. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 2 Şubat 2023 tarihinde ani alansal azalma gözlemlenirken 3 Şubat 2023 tarihinde ise ani alansal artış gözlemlenmiştir. Ayrıca ilgili istasyonların standart sapma grafikleri de incelendiğinde depremin meydana geldiği tarihten öncesinde herhangi bir dalgalanma gözlemlenmemiştir.
- Depremin meydana geldiği tarihten 90 gün öncesi dikkate alındığında 1 Şubat 2023 tarihinde diferansiyel alan oranı (+0,004) ppm iken 2 Şubat 2023 tarihinde alan oran değerinde azalma saptanarak bu değer (-0,021) ppm olarak hesaplanmıştır. 3 Şubat 2023 tarihinde ise alan değeri artarak (+0,015) ppm olarak hesaplanmıştır.



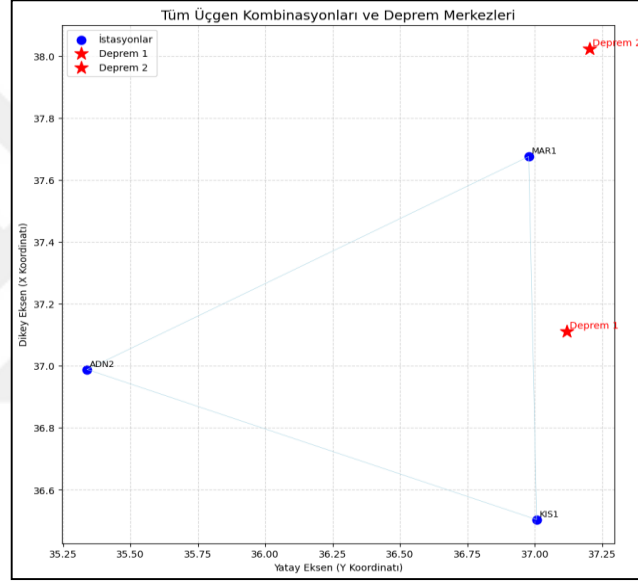
Şekil 5.39. ADY1-FEEK-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.



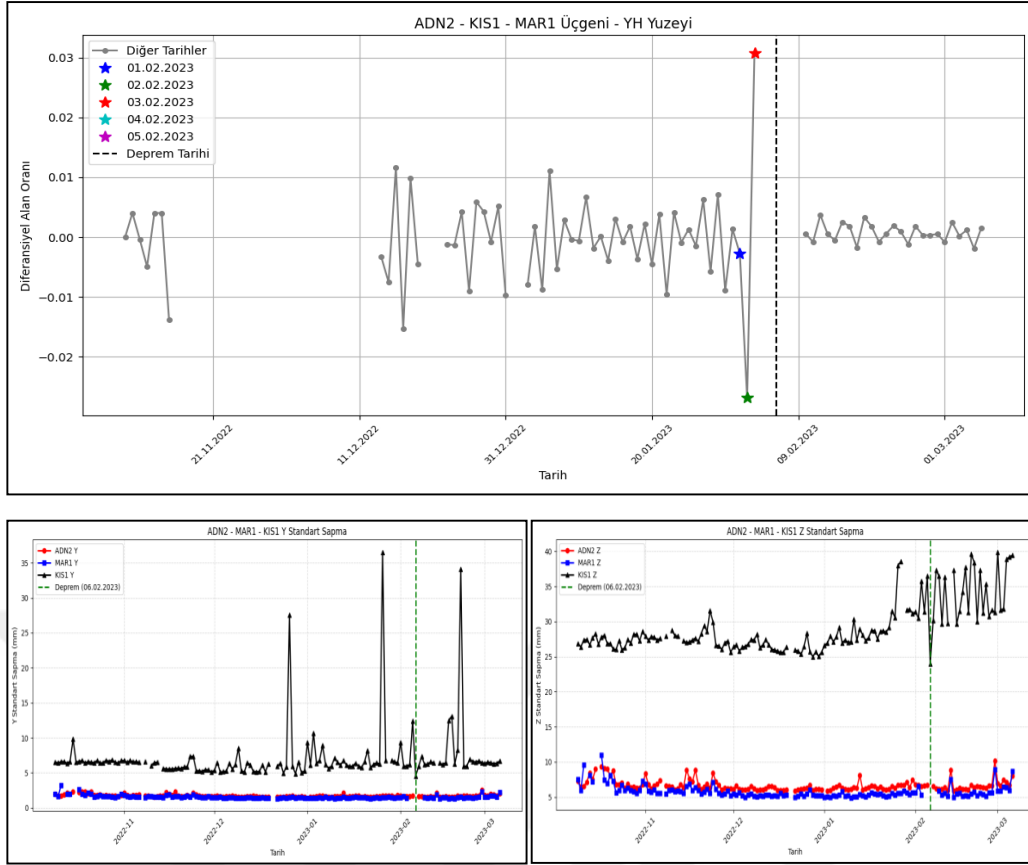
Şekil 5.40. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri (ADY1-FEEK-MAR1).

- ADN2-KIS1-MAR1 üçgen kombinasyonunun depremlerin merkez üslerine göre geometrisi Şekil 5.41'de yer almaktadır.
- ADN2-KIS1-MAR1 üçgen kombinasyonunun YZ düzlemine ait diferansiyel üçgen alan değişim ve standart sapma grafikleri Şekil 5.42'de gösterilmektedir.

- Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 2 Şubat 2023 tarihinde ani alansal azalma ve 3 Şubat 2023 tarihinde ani alansal artma gözlemlenmektedir. Ayrıca ilgili istasyonların standart sapma grafikleri de incelendiğinde depremin meydana geldiği tarihten öncesinde herhangi bir dalgalanma saptanmamıştır.
- 1 Şubat 2023 tarihinde diferansiyel üçgen alan oran değeri (-0,003) ppm iken 2 Şubat 2023 tarihinde alan oranı (-0,027) ppm olarak hesaplanmıştır. Hemen ertesi günde ise ani alansal artış gözlemlenerek bu değer (+0,031) ppm olarak hesaplanmıştır.

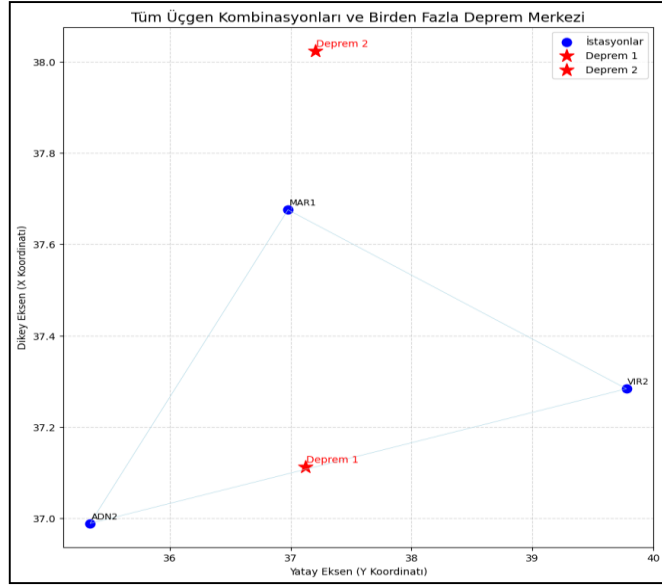


Şekil 5.41. ADN2-KIS1-MAR1 üçgen kombinasyonunun geometrisi.

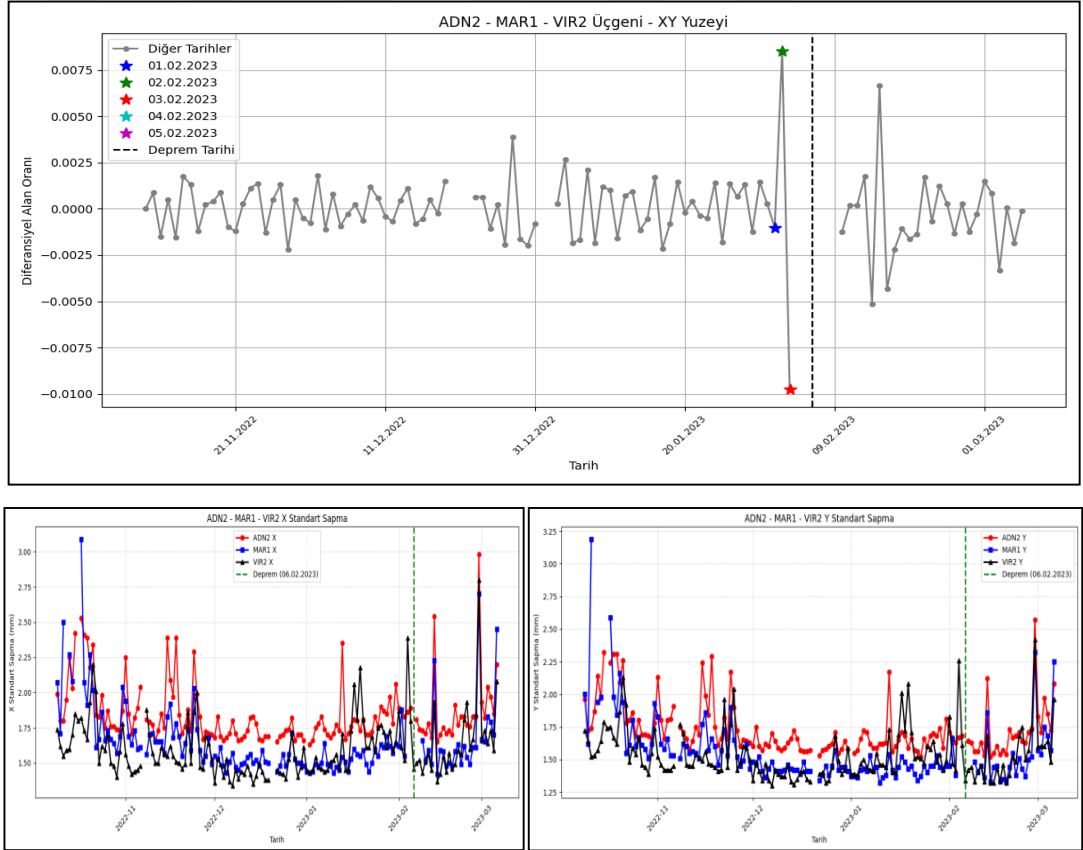


Şekil 5.42. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri (ADN2-KIS1-MAR1).

- ADN2-MAR1-VIR2 üçgen kombinasyonunun depremlerin merkez üslerine göre geometrisi Şekil 5.43'de yer almaktadır.
- ADN2-MAR1-VIR2 üçgen kombinasyonunun XY düzlemindeki diferansiyel üçgen alan değişim grafiği ve standart sapma grafikleri Şekil 5.44'te gösterilmektedir. Diferansiyel üçgen alan değişim grafiği incelendiğinde 2 Şubat 2023 tarihinde ani alansal artış, 3 Şubat 2023 tarihinde ise ani alansal azalma gözlemlenmiştir. İlgili istasyonların standart sapma grafikleri de incelendiğinde depremden önceki tarihlerde dalgalanma saptanmamıştır.
- 1 Şubat 2023 tarihindeki diferansiyel alan oran değeri (-0,001) ppm iken 2 Şubat 2023 tarihinde ise alan oran değerinde artış gözlemlenerek bu değer (+0,009) ppm olarak hesaplanmıştır. 3 Şubat 2023 tarihinde ise alansal azalma tespit edilerek bu oran değeri (-0,010) ppm olarak hesaplanmıştır.



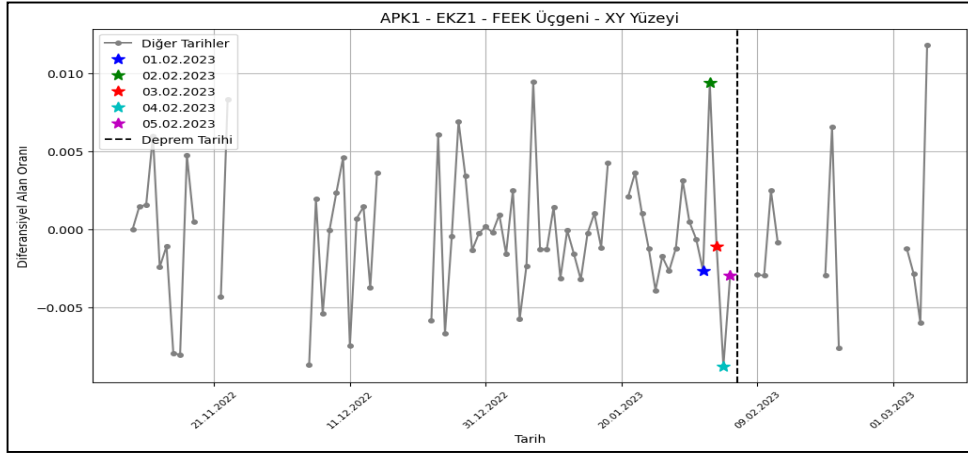
Şekil 5.43. ADN2-MAR1-VIR2 üçgen kombinasyonunun geometrisi.



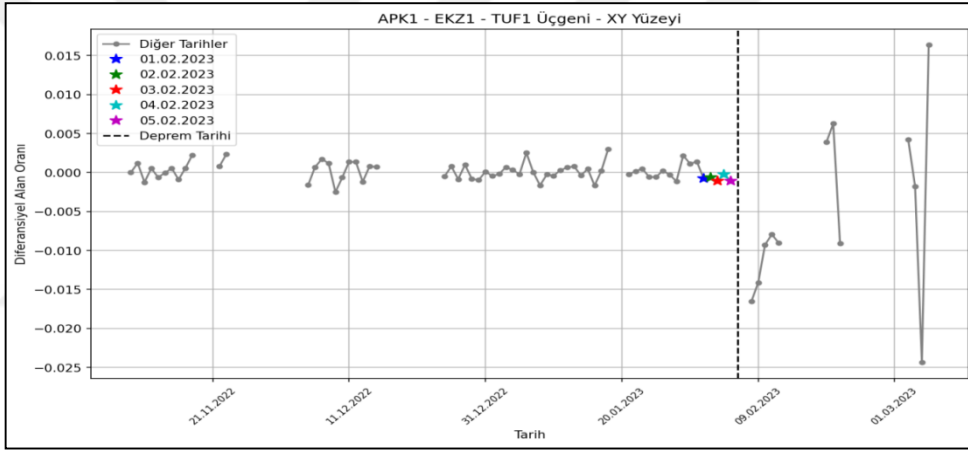
Şekil 5.44. Üçgen alan değişim grafiği ve st.sapma grafikleri (ADN2-MAR1-VIR2).

Yukarıda anlamlı sonuçlar veren grafik örneklerinin yanı sıra veri yetersizliği ve istasyon konumları göz önüne alındığında anlamlı sonuçlar verebilecek örüntüye

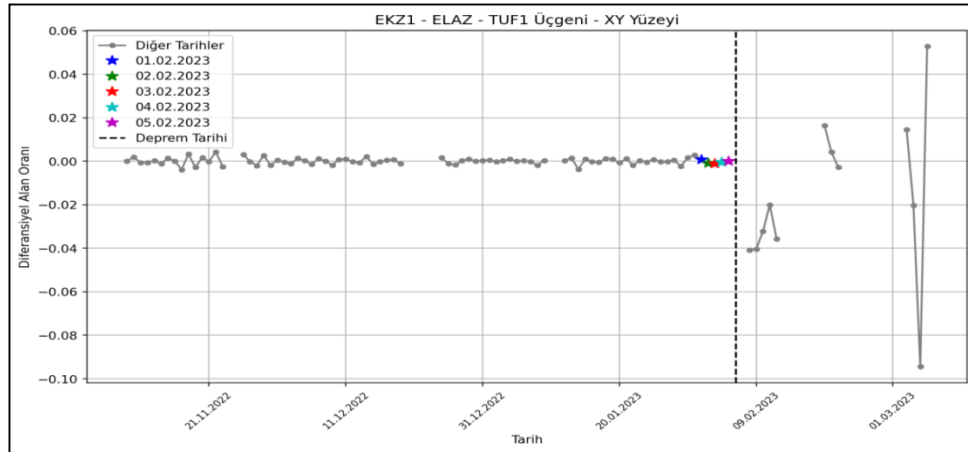
sahip olmayan grafiklerde elde edilmiştir. Şekil 5.45, 5.46, 5.47, 5.48, 5.49, 5.50'de bu grafiklere örnekler yer almaktadır:



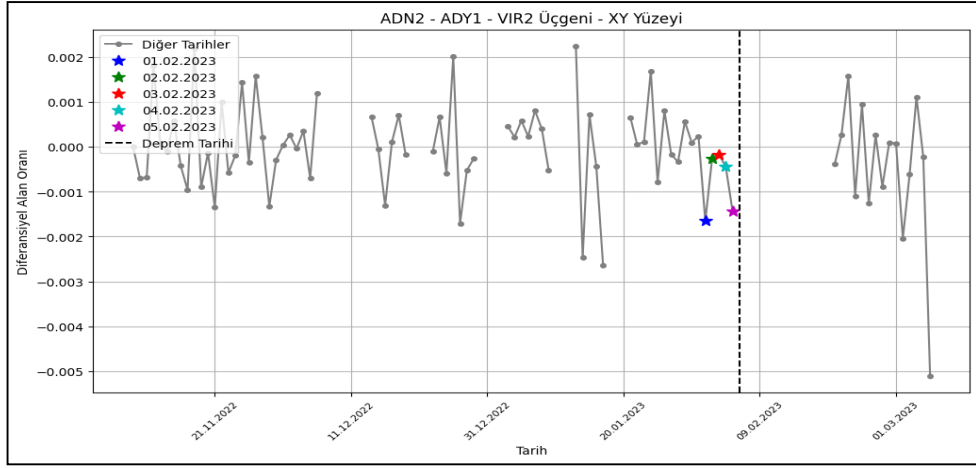
Şekil 5.45. Diferansiyel alan değişim grafiği (APK1-EKZ1-FEEK).



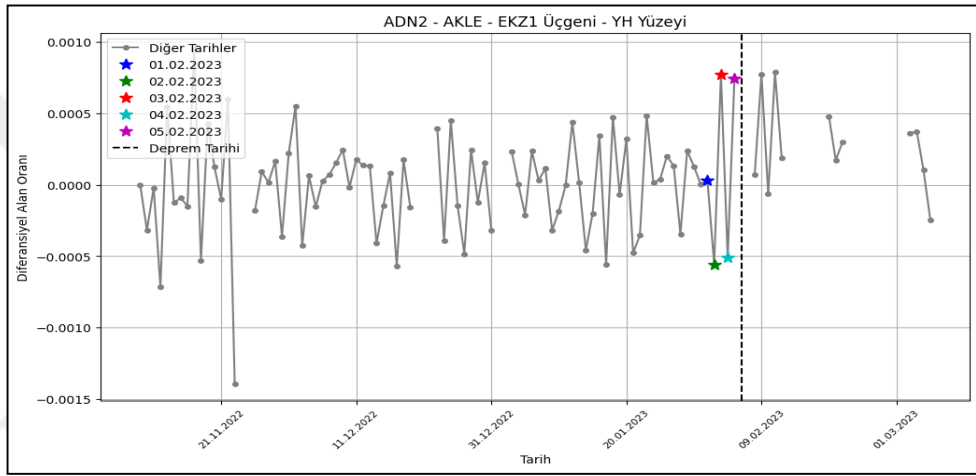
Şekil 5.46. Diferansiyel alan değişim grafiği (APK1-EKZ1-TUF1).



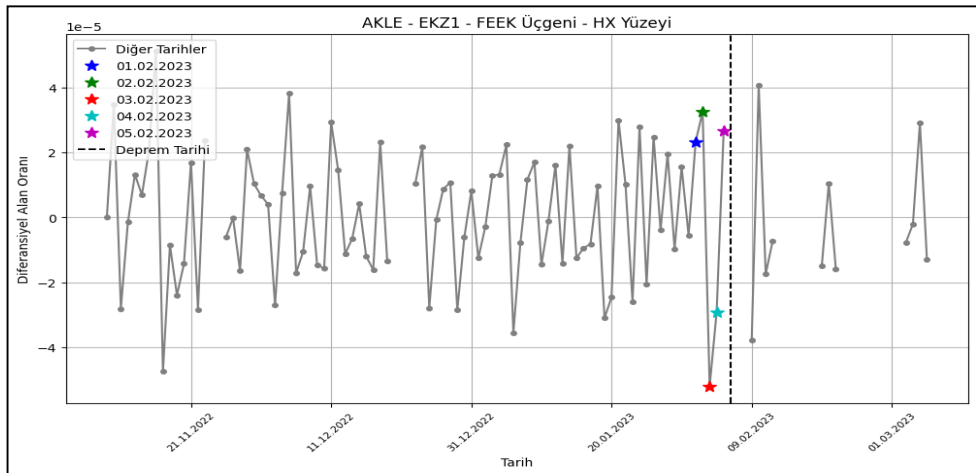
Şekil 5.47. Diferansiyel alan değişim grafiği (EKZ1-ELAZ-TUF1).



Şekil 5.48 Diferansiyel alan değişim grafiği (ADN2-ADY1-VIR2).



Şekil 5.49. Diferansiyel alan değişim grafiği (ADN2-AKLE-EKZ1).



Şekil 5.50. Diferansiyel alan değişim grafiği (AKLE-EKZ1-FEEK).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'de ($M_w \geq 6.0$) büyüklüklerde meydana gelen dört adet depreme ait öncül sinyallerin tespit edilebilirliği analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde; 2011 yılında Van merkezli meydana gelen deprem ($M_w=7.2$), 2017 yılında Gökova Körfezi'nde meydana gelen deprem ($M_w=6.6$), 2020 yılında İzmir merkezli meydana gelen deprem ($M_w=6.9$) ve 2023 yılında Kahramanmaraş merkezli meydana gelen depremler ($M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$) çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı etrafını kapsayacak şekilde TUSAGA-Aktif ağında bulunan toplamda 34 GNSS istasyon verileri kullanılarak istasyonlar arasında olası bütün üçgen kombinasyonları yapılmıştır. GAUSS üçgen alan formülü ile günlük alan değişim oranları üçgenlerin XY, YZ ve XZ düzlemleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Alan değerleri “PPM” düzeyinde normlandırılarak diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra ilgili istasyonlara ait standart sapma grafikleri de elde edilip yorumlanmıştır.

- 2011 yılında Van merkezli meydana gelen depremde toplamda 660 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde HAKK-SEMD-AGRD üçgen kombinasyonunda olduğu gibi deprem meydana gelmeden önce (özellikle beş gün öncesine kadar) ani alan değişimleri gözlemlenmiştir. Ancak BASK istasyonuna ait veri eksikliği sebebiyle elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerinin 165 tanesi değerlendirmeye dahil edilememiştir. Bu yüzden gelecekte yapılacak çalışmalar için GNSS istasyonlarının veri eksikliğini en aza indirmek amacıyla TUSAGA-Aktif ağında çalışmak üzere daha fazla istasyon tesis edilmesi önerilmektedir.
- 2017 Gökova Körfezi'nde meydana gelen depremde toplamda 30 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafiği elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde CINC, DATC, FETH, MUG1 ve DIDI istasyonlarından elde edilen üçgenlerde özellikle YZ düzleminde depremin meydana geldiği tarihten 5 gün öncesinde belirgin sapmalar tespit edilmiştir. Belirgin sapmaların elde edildiği grafiklerdeki istasyonlara ait standart sapma grafikleri de incelendiğinde “MUG1” ve “FETH” istasyonlarında depremden önce dalgalanmalar tespit edilmiştir. FETH istasyonunun analizi yapılan depreme ait öncül sinyallerin olabileceği düşünülen diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerinin hepsinde bulunduğu göz önüne

alındığında bu ani sıçramalar istasyonun, yapılan çalışmanın zaman aralığında donanım arızası, anten sorunları, güç kaynağı vb. sorunlardan dolayı tam kapasite çalışmadığının bir göstergesi olabilmektedir.

- 2020 yılında İzmir merkezli meydana gelen depremde toplamda 30 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde üçgen alan değişiminde düzenli bir örüntü ya da depremden öncesine ait ani yön değişimi veya sapmalar açısından dikkat çeken bulgu gözlemlenmemiştir. Bu durumla beraber söz konusu GNSS istasyonlarının mekansal dağılımının bu depremin meydana getirdiği deformasyonu tespit etmede yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple ülkemiz açısından yıkıcı derece deprem üretme potansiyeline sahip bu bölgenin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.
- 2023 yılında Kahramanmaraş merkezli meydana gelen depremlerde toplamda 660 adet diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde anlamlı sonuçlar veren grafiklerin büyük çoğunluğu XY ve YZ düzlemlerinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca 35 adet farklı üçgen kombinasyonunda ilgili depremin meydana geldiği tarihten 5 gün öncesine kadar belirgin sapmalar tespit edilmiştir. İstasyonların standart sapma grafikleri incelendiğinde depremin meydana geldiği tarihten öncesinde dalgalanmalar tespit edilmemiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliğini arttırmak amacıyla çeşitli istatistiksel analiz yöntemlerinin bir arada kullanılması önerilmektedir.

Sonuç olarak TUSAGA-Aktif ağında bulunan GNSS istasyon verileri kullanılarak depremlere ait öncül sinyallerin tespit edilebilirliği amaçlı yapılan bu çalışmada, ilgili depremlerin diferansiyel üçgen alan değişim grafiklerinde öncül sinyallere ait bulgular tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulguların yanı sıra anlamsız sonuçlar içeren grafiklerde gözlemlenmiştir. Gökova Körfezi ve İzmir merkezli meydana gelen depremlerde çalışma alanı etrafında uygun bulunan yalnızca 5'er adet GNSS istasyon verileri kullanılmıştır. Ancak Kahramanmaraş ve Van merkezli meydana gelen depremlerde çalışma alanını kapsayan 12'şer adet uygun GNSS istasyon verileri kullanılmıştır. Bu durumda bu yöntemle analiz edilen depremlere ait veriler kullanılarak elde edilen diferansiyel üçgen alan değişim grafikleri yorumlanırken uygun geometride konumlandırılmış, yeterli yoğunlukta GNSS istasyon verisi kullanılması daha anlamlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Bu sebeple ülkemiz

açısından oldukça değerli olan deprem çalışmalarında kullanılmak üzere GNSS tabanlı ağların sıklaştırılması çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle deprem çalışmalarında kullanılacak GNSS istasyonları yüksek hassasiyette ve fay zonlarının etrafında yoğunlaşmalıdır. Ayrıca istasyon verileri oldukça dikkatli bir şekilde korunarak ulaşılabilir olmalıdır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular üçgen alan değişimi analizi yöntemi ile yerkabuğunda yüzey kırığı oluşturabilecek büyüklükte meydana gelen depremlerin meydana geldiği tarihten öncesinde oluşan alansal değişimleri ortaya çıkarabileceğine işaret etmektedir. Ancak yöntemin daha doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için; farklı tektonik fay karakterlerinde meydana gelen depremlerde ve ayrıca veri sıklığına bağlı olarak daha geniş zaman diliminde, farklı disiplinlerle de entegre şekilde kullanılarak geliştirilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A. ve Özdemir, S., 2013. Deformation of Central Anatolia: GPS implications, *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96.
- Aktuğ, B., Dikmen, U., Dogru, A. ve Ozener, H., 2013. Seismicity and strain accumulation around Karliova triple junction (Turkey), *Journal of Geodynamics*, 67, 21-29.
- Aktürk, İ. ve Albeni, M., 2002. Doğal afetlerin ekonomik performans üzerine etkisi: 1999 yılında Türkiye'de meydana gelen depremler ve etkileri, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7,1, 1-18.
- Aladoğan, K., 2017. Observation of crust movements along the North Anatolian fault Bolu – Çorum segment by GNSS method, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Ali, S.M. ve Akkoyunlu, M.F., 2022. Karlıova Üçlü Kavşağı (Doğu Türkiye) çevresindeki sismik tehlike çalışmaları için deprem kataloglarının istatistiksel analizi, *Afrika Yer Bilimleri Dergisi*, 186, 104436.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 78,78, 44-50.
- Barka, A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, 5, 1238-1254.
- Barka, A., 1992. The north anatolian fault zone, *Annales Tectonicae*, 6, 164-195.
- Bayık, C., Gürbüz, G., Abdikan, S., Görmüş, K.S. ve Kutoğlu, S.H., 2022. 2020 Elazığ-Sivrice Depremi'nin (Mw 6.8) Doğu Anadolu Fay Hattı'ndaki Kaynak Parametrelerinin İncelenmesi, *Saf ve Uygulamalı Jeofizik Dergisi*, 179, 2, 587-598.
- Baysal, D., Aktuğ, B. ve Koçyiğit, A., 2010. GPS nokta koordinatlarındaki zamana bağlı değişimlerin analizi ve yorumu: İzmir bölgesinde uygulama, *Harita Dergisi*, 144, 29-39.
- Biricik, A. S. ve Korkmaz, H., 2001. Kahramanmaraş'ın depremselliği, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 1, 3, 53-82.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey—a synthesis, *Geodinamica acta*, 14,1-3, 3-30.
- Cracknell, A. P. ve Varotsos, C. A., 2007. Editorial and cover: Fifty years after the first artificial satellite: from sputnik 1 to envisat, *Uluslararası Uzaktan Algılama Dergisi*, 28,10, 2071-2072.

- Çağlayan, A., 2017. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yapısal analizi ve yaşlandırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Dirik, K. ve Erol, O., 2003. Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu-Türkiye, Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5, 27-46.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M. C., 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia, International Geology Review, 38, 9, 807-817.
- Dirik, K., 2001. Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian fault zone Central Anatolia Turkey, Geodinamica Acta, 14, 1-3, 147-158.
- Doğru, A., Görgün, E., Özener, H. ve Aktuğ, B., 2014. Geodetic and seismological investigation of crustal deformation near Izmir (Western Anatolia), Journal of Asian Earth Sciences, 82, 21-31.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi, 30, Ankara.
- Ersoy, Ş., 2020. Kıtaların hareketleri ve levha tektoniği ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara.
- Eyübagıl, E. E., Yaşar, Ş. Ş., Çakanşimşek, E. B., Duman, H., Solak, H. İ., Özkan, A., Gezgin, C., Yavaşoğlu, H.H., Tiryakioğlu, İ., Poyraz, F., Aktuğ, B., Yiğit, C.Ö., Özkaymak, Ç. ve Özener, H., 2023. 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw: 7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw: 7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 1, 160-176.
- Genç, G., 2024. Determination of tectonic movements in the civril graben system with GNSS measurements, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Gezgin, C., 2020. GNSS ve InSAR teknikleri ile Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) kinematik analizi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
- Gezgin, C., Tiryakioğlu, İ., Ekercin, S., ve Gürbüz, E., 2020. Tuz Gölü fay zone (TGFZ) Güney kesimine ait tektonik hareketlerin gnss gözlemleri ile izlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 3, 456-464.
- Glover, C., ve Robertson, A., 1998. Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle SW Turkey, Tectonophysics, 298,1-3, 103-132.

- Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., Erler, A., Yalınız, K., Özgül, L. ve Çemen, İ., 1996. Tuzgölü havzası batı kısmının temel jeolojik sorunları (Basic Geologic Problems of Western Part of Tuzgölü Basin), Turkish Petroleum Corporation (TPAO) Report, 3753.
- Gül, O. K., 2011. 27 Aralık 1939 Erzincan Depremi'nin Sivas ve ilçelerine etkileri. Journal of World of Turks/Zeitschrift für die Welt der Türken, 3, 2, 135-145.
- Hallam, A., 1975. Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift, Scientific American, 232, 2, 88-97.
- Hartleb, RD., Dolan, JF., Akyüz, HS., ve Yerli, B., 2003. Türkiye'deki hendeklerden Orta Kuzey Anadolu Fayı boyunca meydana gelen depremlerin 2000 yıllık paleosismolojik kaydı, Amerika Sismoloji Derneği Bülteni , 93, 5, 1935-1954.
- He, L., Ge, M., Wang, J., Wickert, J., ve Schuh, H., 2013. Experimental study on the precise orbit determination of the BeiDou navigation satellite system, Sensors, 13, 3, 2911-2928.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B. ve Barka, A., 2002. Morphology displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 107, B10, 2235.
- İşçi, C., 2008. Deprem nedir ve nasıl korunuruz, Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 3, 9, 959.
- Kalkan, E., ve Aksoy, G., 2004. Doğu Anadolu Bölgesi'nde 2002-2004 yıllarında meydana gelen depremlere ait artçı depremlerin istatistiksel çözümlemesi, Academia Eğitim Araştırmaları Dergisi, 1447-1449.
- Karaoğlu, Ö., Selçuk, A. S., ve Gudmundsson, A., 2017. Tectonic controls on the Karlıova triple junction (Turkey): Implications for tectonic inversion and the initiation of volcanism, Tectonophysics, 694, 368-384.
- Kartal, R. F., Kadirioğlu, F. T., ve Kılıç, T., 2014. Muğla Bölgesinin Sismik Aktivitesi ve Yapay Sarsıntılar, Başbakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi.
- Kavak, U., 2020. GNSS ölçümleriyle arızaların kaydedilmesi: Karaburun Fayı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Kayhan, G., 2018. Türkiye ve civarının kıtasal kabuk kalınlığı değişiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya.
- Ketin, I., 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums, Geologische Rundschau, 36, 1, 77-83.

- Ketin, İ., 1969. Kuzey Anadolu fayı hakkında, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 72, 72, 1-27.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bakış, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, Kitap Yayın No: 32, İstanbul.
- Koçyiğit, A., 2009. Ankara'nın depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) depremlerinin kaynağı (seismicity of ankara and source of the 2005-2007 afşar (bala-ankara) earthquakes), Harita Dergisi, 1, 12, 141.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A.A., 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta angle, SW Turkey: new field and seismic data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 1, 67-90.
- Koçyiğit, A., ve Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 284, 3-4, 317-336.
- Korkmaz, H., 2006. Antakya'da zemin özellikleri ve deprem etkisi arasındaki ilişki, Coğrafi Bilimler Dergisi, 4, 2, 49-66.
- Kozacı, O., Dolan, J., Finkel, R., ve Hartleb, R., 2007. Late Holocene slip rate for the North Anatolian fault, Turkey, from cosmogenic ³⁶Cl geochronology: Implications for the constancy of fault loading and strain release rates, Geology, 35, 10, 867-870.
- Köksal, E., 2011. Yüzey Deformasyonlarının Diferansiyel İnşar Tekniği İle Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği, Doktora Tezi, ZKÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kürçer, A., Elmacı, H., Savaş, F., ve Kayadibi, Ö., 2020. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw 6, 9) üzerine bir değerlendirme, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 30, 57-75.
- Li, R., Zheng, S., Wang, E., Chen, J., Feng, S., Wang, D., ve Dai, L., 2020. Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation technologies, Satellite Navigation, 1, 1-23.
- Lindström, G., ve Gasparini, G., 2003. The Galileo satellite system and its security implications. Inst. for Security Studies.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A. ve Toksöz, M.N., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 105 (B3), 5695-5719.
- McKenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-185.

- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. ve Sahandi, M. R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 21,4, 397-412.
- Murai, S., 2010. Can we predict earthquakes with GPS data?, *International Journal of Digital Earth*, 3,1, 83-90.
- Oktar, O., Erdoğan, H., Poyraz, F. ve Tiryakioğlu, İ., 2021. GNSS ve PSInSAR yöntemleriyle deformasyonların incelenmesi, *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 23, 2586.
- Over, S., Ozden, S. ve Yilmaz, H., 2004. Late Cenozoic stress evolution along the Karasu Valley, SE Turkey, *Tectonophysics*, 380, 1-2, 43-68.
- Özener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B. ve Dogan, U., 2010. Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone, *Journal of Geodynamics*, 49, 3-4, 141-150.
- Özdemir, A. ve Palabıyık, Y., 2020. Türkiye'nin Paleozoyik-Miyosen jeolojik zaman aralığındaki petrol ve doğalgaz kaynak kaya varlığının paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ışığında kapsamlı bir değerlendirmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 120-146.
- Özkan, A., Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Şentürk, M. D., Aktuğ, B., Gezgin, C., Poyraz, F., Duman, H., Masson, F., Uslular, G., Yiğit, C.Ö. ve Yavaşoğlu, H. H., 2023. Characterization of the co-seismic pattern and slip distribution of the February 06, 2023, Kahramanmaraş (Turkey) earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) with a dense GNSS network, *Tectonophysics*, 866, 230041.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., ve Softa, M., 2024. İzmir İli Aletsel Dönem Depremlerinin Şiddet, Büyüklük ve Odak Mekanizma Çözümleri Açısından Değerlendirilmesi, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6, 2, 286-328.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., ve Çağlan, D., 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35, 2, 175-200.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Gecievi, M.O. ve Tiryakioğlu, İ., 2019. Afyon Akşehir Grabeni, Batı Anadolu Bolvadin Fayı üzerinde Geç Holosen kosismik kırılma ve asismik sünme, *Türk Yer Bilimleri Dergisi*, 28, 6, 787-804.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., ve Baybura, T., 2017. Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) gözlenen yüzey deformasyonlarının jeolojik, jeomorfolojik ve jeodezik analizi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 2, 169-189.
- Özmen, B., 2000. Düzce-Bolu Bölgesinin Jeolojisi, Diri Fayları ve Hasar Yapan Depremleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.

- Özsayın, E. ve Dirik, K., 2007. Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: İnönü-Eskişehir Fault System, Central Anatolia, Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 471-492.
- Öztürk, S., 2019. Orta Anadolu Bölgesi (Türkiye) ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin sismik durgunluk ve magnitüd-deprem sayısı istatistiği, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7, 2, 645-652.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, 111, B05, 411.
- Revnivkykh, S., Bolkunov, A., Serdyukov, A. ve Montenbruck, O., 2017. Glonass. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, 219-245.
- Sezer, L. İ., 2010. Van Yöresinin Depremselliği, Ege Coğrafya Dergisi, 19, 1, 67-84.
- Singh, D., Pandey, D. N. ve Mina, U., 2019., Earthquake A natural disaster, prediction, mitigation, laws and government policies, impact on biogeochemistry of earth crust, role of remote sensing and GIS in management in india, An overview. J. Geosci, 7, 2, 88-96.
- Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Yalvaç, S., Yiğit, C. Ö., Aktuğ, B., Özener, H., Dönmez, E., Demirelli, E., Eyübagil, E.E., Çakanşimşek, E.B., Gezgin, C. ve Şahiner, F., 2024. 30 Ekim 2020 Mw: 6.9 Sisam Depremi Sonrası İzmir ve Çevresinde Postsismik Deformasyonların İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 6, 1442-1455.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Softa, M. ve Tepe, Ç., 2017. 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi depremleri ve bölgenin depremselliği raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Diri Fay Araştırma Grubu.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Ersoy, E. Y., Koçer, T., ve Demirtaş, R., 2008. DB Uzanımlı İzmir Fay İle KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler: İzmir Körfezi'ni Oluşturan Aktif Faylarda Kinematik Ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51, 2, 91-114.
- Şaroğlu, F., ve Güler, B., 2020. Batı Anadolu tektonik kaması'nın güncel deformasyonu: batıya doğru kaçıştan kaynaklanan blok hareketleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 63,2, 161-194.
- Şengör, A. C., ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 3-4, 181-241.

- Şengör, A.C., 1984. Kimmerid Orojenik Sistemi ve Avrasya'nın Tektoniği.
- Şengör, A.C., 1985. The story of Tethys: How many wives did Okeanos have?, Episodes Journal of International Geoscience, 8,1, 3-12.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakır, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K.Ö., Polat, A., Mesci, B.L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, İ.E., Çakmak, R., Belgen, A., ve Yavaşoğlu, H., 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements, Tectonophysics, 518, 55-62.
- Temiz, U., ve Gökten, Y. E., 2011. (Ms 6.8) 19 Nisan 1938 Akpınar (Kırşehir) Depreminin Coulomb Gerilme Analizi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 54, 3, 81-92.
- Tiryakioğlu, İ., 2012., Identification of the block movements and stress zones in Southwestern Anatolia with GNSS measurements, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S., ve Reilinger, R., 2013. GPS constraints on active deformation in the Isparta Angle region of SW Turkey, Geophysical Journal International, 195,3, 1455-1463.
- Trautenberg, H. L., Weber, T., ve Schäfer, C., 2004. GALILEO system overview, Acta Astronautica, 55, 3-9, 643-647.
- Tsuji, H., Hatanaka, Y., Hiyama, Y., Yamaguchi, K., Furuya, T., Kawamoto, S., ve Fukuzaki, Y., 2017. Twenty-year successful operation of GEONET, Geospatial Information Authority of Japan, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.
- Utkucu, M., Uzunca, F., Durmuş, H., Nalbant, S., ve Sert, S., 2023. The 2023 Pazarcık (Mw= 7.8) and Elbistan (Mw= 7.6), Kahramanmaraş Earthquakes in The Southeast Türkiye, Disaster Management Application and Research Center and Department of Geophysics, Sakarya University, 22.
- Uzel, T., Erkaya, H., ve Hoşbaş, G., 1999. GPS/Glonass ikili sistemi, Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi, 5, 53-69.
- Uzel, T., 2023. Etrafı faylarla çevrili arazilerde tektonik levha hareketleri, Geomatik, 8, 1, 72-78.
- Uzel, T., Eren, K., Gülal, E., Dindar, A.A., Tiryakioğlu, İ., ve Yılmaz, H., 2011. Tusaga Aktif (CorsTr) Verileri ile Tektonik Plaka Hareketlerinin İzlenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13, 18-22.
- Ürüşan, A. Y., 2015. Relations between the GNSS, InSAR, and the other techniques for prediction of earthquakes, Arabian Journal of Geosciences, 8, 9, 7631-7642.

- Ürüşan, A. Y., 2020. Üçgen Alan Değişimi Yönteminin Deprem Ön Kestiriminde Kullanılabilirliği: 23.10.2011-13:41 (Mw= 7.29 Van Depremi Örneği, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 22,66, 813-824.
- Yang, Y., Gao, W., Guo, S., Mao, Y. ve Yang, Y., 2019. Introduction to BeiDou-3 navigation satellite system, Navigation, 66, 1, 7-18.
- Yavaşoğlu, H., 2009. Determination of recent tectonic activity of North Anatolian fault in Mid Anatolia region with geodetic methods and elastic half space modeling, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Yavaşoğlu, H.H., Alkan, M.N., Bilgi, S., ve Alkan, Ö., 2020. Kuzey Anadolu Fayı (KAF) boyunca İsmetpaşa ve Destek segmentlerindeki asismik sürünme eğilimlerinin büyük ölçekli bir GPS ağı ile izlenmesi, Jeobilimsel Enstrümantasyon, Yöntem ve Veri Sistemleri, 9, 1, 25-40.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş., Gürer, Ö.F., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Bozcu, M., Yılmaz, K., ve Elmas, M.A., 1999. Ege Denizi ve Ege Bölgesi'nin Jeolojisi ve Evrimi, 211-336.
- Yılmaz, H., Over, S., ve Ozden, S., 2006. Kinematics of the east Anatolian Fault zone between turkoglu (Kahramanmaraş) and celikhan (Adıyaman), eastern Turkey Earth, planets and space, 58, 1463-1473.
- Yönlü, Ö., 2012. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) İle Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç kuvaterner aktivitesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
- Zaminpardaz, S., Teunissen, P. J., ve Nadarajah, N., 2016. IRNSS stand-alone positioning: first results in Australia, Journal of Spatial Science, 61, 1, 5-27.

- URL-1<<https://tr.euronews.com/2023/02/28/dunya-tarihinin-en-siddetli-10-depremi-nerelerde-yasandi>>, Erişim Tarihi: 23.01.2025.
- URL-2<<https://www.researchgate.net/profile/Stephen-Hicks/publication/303994864/figure/fig1/AS:670040017879045@1536761397176/Map-of-the-largest-global-earthquakes-that-have-occurred-since-1900-based-on-the-USGS.jpg>>, Erişim Tarihi: 04.07.2025.
- URL-3<<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Olum-ve-Olum-Nedeni-Istatistikleri-2023-53709>>, Erişim Tarihi: 23.01.2025.
- URL-4<<https://arkeofili.com/pangea-nedir-eski-bir-superkita-hakkindaki-gercekler/>>, Erişim Tarihi: 15.06.2025.
- URL-5<<https://www.matematiksel.org/alfred-wegenerin-kitalarin-kaymasi-teorisi-nedir/>>, Erişim Tarihi: 15.06.2025.
- URL-6<<https://blog.inekle.com/dunyanin-ic-yapisi-nasildir-dunyanin-ic-yapisinin-sasirtan-ozellikleri/>>, Erişim Tarihi: 10.05.2025.
- URL-7<<https://www.ilimge.com/jeolojide-bir-devrim-kitalarin-kaymasi-teorisi>>, Erişim Tarihi: 10.05.2025.
- URL-8<<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>>, Erişim Tarihi 26.02.2025.
- URL-9 <<https://www.gps.gov/>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-10<<https://qzss.go.jp/en/>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-11<<https://www.harita.gov.tr/>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-12<<https://www.harita.gov.tr/jeo/igsIstasyonlari.php>>,Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-13 <<https://www.harita.gov.tr/jeo/tutga.php>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-14 <<https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-15 <<https://www.harita.gov.tr/jeo/tusaga.php>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.
- URL-16<<https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>>, Erişim Tarihi: 14.03.2025.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Gülşah AYDIN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü,
2018-2022

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim
Dalı 2023-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Kurumu / Yaz Stajı

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Gezin, C., Aydın, G., Erdoğan, H., Bilgilioğlu, S.S., Gündüz, H.İ., Yılmaz, H.M.,
2024. Hasan Dağı GNSS Ağındaki Anomalilerin Üçgen Alan Değişimi
Yöntemi ile İncelenmesi, TUJK XXIII. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu
Sempozyumu, 06-09 Kasım 2024, Çanakkale.