



**JEODEZİK GÖZLEMLERLE ORTA FAYINDAKİ GERİNİM
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Onur ÇEKEN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2025

Bu tez çalışması 24.FEN.BİL.03 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİK GÖZLEMLERLE ORTA FAYINDAKİ GERİNİM
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Muhammed Onur ÇEKEN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

HARİTA MÜHEDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Muhammed Onur ÇEKEN tarafından hazırlanan “Jeodezik Gözlemlerle Orta Fayındaki Gerinim Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18/09/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

Başkan : Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT
Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi **İmza**

Üye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.... **İmza**

Üye : Doç. Dr. Halil İbrahim SOLAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim MYO... **İmza**

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03 / 10 / 2025

İmza

Muhammed Onur ÇEKEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

JEODEZİK GÖZLEMLERLE ORTA FAYINDAKİ GERİNİM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Muhammed Onur ÇEKEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

Bu çalışmada, literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunan ve jeodezik verilerin yetersiz kaldığı Çankırı'nın Orta ilçesinde yer alan Orta (Dodurga) fayına ait tektonik hareketlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çankırı bölgesinde sismik aktiviteler artarak devam etmektedir. Bu kapsamda, Orta Fayı ve çevresini kapsayan bir alanda 15 noktadan oluşan bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Bu ağda Kasım 2023 ve Ağustos 2025 tarihleri arasında gerçekleştirilen 4 kampanya GNSS ölçmesi sonucunda elde edilen verilerin değerlendirmesi yapılarak Çankırı Orta fayına ait güncel hız alanı hesaplanmış ve Avrasya plakası sabit alınarak çalışma bölgesinde yıllık 15–20 mm'lik Batı yönünde bir hareket belirlenmiştir. Bu hız verileri ile üretilen gerinim alanı incelendiğinde yaklaşık KD-GB yönlü baskın açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar göze çarpmaktadır. Açılma değerlerinin çalışma alanının güneydoğusundan kuzeybatısına doğru artış gösterdiği, sıkışma değerlerinde ise bu durumun tersinde bir eğilim gözlenmektedir. Elde edilen bulgular 2000 yılında meydana gelen Orta-Çankırı (Mw:6.0) depreminin odak mekanizması çözümü ile karşılaştırıldığında, gerinim alanı ve odak çözümü sonuçlarının uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Orta Fayı, sahip olduğu deprem üretme potansiyeli ve 5 milyondan fazla insanın yaşadığı Ankara'ya (50-70 km) olan yakınlığı nedeniyle bölge için kritik bir risk taşımaktadır. Bu nedenle, bölgedeki hız ve gerinim alanına dair mevcut çalışmalara ek olarak, bu fay üzerindeki gerinim birikiminin çok daha yüksek doğrulukla belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede, gelecekteki depremlerin

tekrarlama periyotları ve potansiyel büyüklükleri gibi önemli parametreler hesaplanabilecektir. Orta Fayı ve çevresinin deprem potansiyeline dair öncül sayısal bulgular sağlayan bu çalışmadan elde edilen gerinim değerlerinin bölge için görece yüksek olması nedeniyle, yapılacak yorumlamaların ve risk değerlendirmelerinin daha geniş bir ölçü ağı kullanılarak ilerleyen yıllarda sürdürülmesi, bölgenin sismik riskiyle ilgili daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

2025, x + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Orta Fayı, Gerinim Alanı, GNSS, Hız



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF STRAIN RATES ON THE ORTA FAULT WITH GEODETIC OBSERVATIONS

Muhammed Onur ÇEKEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemil GEZGİN

This study aims to determine the tectonic movements of the Orta (Dodurga) Fault, located in the Orta district of Çankırı, where the number of studies in the literature is limited and geodetic data remain insufficient. Seismic activity in the Çankırı region has been increasing over time. Therefore, a GNSS network consisting of 15 sites were established to represent the Orta Fault and its surroundings. The processing of data obtained from four GNSS campaign-style measurements conducted between November 2023 and August 2025 enabled the calculation of the contemporary velocity field of the Orta Fault. Taking the Eurasian plate as a constant reference, a westward motion of 15–20 mm/yr was identified in the study area. Analysis of the strain field derived from these velocity data revealed predominantly NE–SW extensional and NW–SE compressional patterns. Extension values increase from the southeast to the northwest of the study area, whereas compression exhibits the opposite trend. When the results are compared with the focal mechanism solution of the 2000 Orta–Çankırı earthquake (Mw 6.0), a strong consistency between the strain field and the focal mechanism is observed. Due to its earthquake-generating potential and its proximity to Ankara, which is located only 50–70 km away and hosts a population of more than 5 million, the Orta Fault represents a critical seismic risk for the region. Therefore, in addition to existing studies on velocity and strain fields, it is essential to determine strain accumulation along this fault with much higher accuracy. This will allow the estimation of key parameters such as recurrence periods and potential

magnitudes of future earthquakes. Considering that the strain values obtained in this study, which provide preliminary quantitative findings regarding the seismic potential of the Orta Fault and its surroundings, are relatively high for the region, it is concluded that more reliable results on seismic risk can be achieved through future studies incorporating a spatially wider geodetic network.

2025, x + 60 pages

Keywords: Orta Fault, Strain Field, GNSS, Velocity



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen süreçte bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, değerli katkıları, sabrı ve motivasyonu ile her zaman destek olan kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca sağladığı tüm katkılardan, araştırma ve yazım süresince de yardımlarını esirgemeyen ikinci danışmanım olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını 24.FEN.BİL.03 numaralı proje ile destekleyen AKÜ BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Bu süreçte bana her zaman moral veren, sabırları, anlayışları ve koşulsuz destekleriyle yanımda olan sevgili aileme, özellikle kardeşim Ahmet ÇEKEN'e sonsuz minnettarım.

Akademik ve kişisel gelişimime katkı sağlayan, zor zamanlarımda destekleriyle güç veren kıymetli iş ortağım Harita Mühendisi Bekir TAVALI'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında emeği geçen ve burada adını sayamadığım herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Muhammed Onur ÇEKEN
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)	7
2.1 Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System – GPS)	7
2.2 Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System- GLONASS)	8
2.3 GALILEO Uydu Sistemi	9
2.4 BeiDou Uydu Sistemi (BDS)	10
2.5 Diğer Konumlama Sistemleri	11
3. FAYLANMA TÜRLERİ.....	12
3.1 Eğim Atımlı Faylar	13
3.2 Doğrultu Atımlı Faylar	14
3.3 Oblik Atımlı Faylar	15
4. İÇ ANADOLU ve ORTA FAYI'NIN DEPREMSELLİĞİ.....	16
4.1. Orta Fayı ve Çevresinin Jeolojisi.....	20
4.2. Orta Fayı ve Civarının Sismisitesi.....	23
4.2.1. 6 Haziran 2000 Orta Depremi	25
5. TEKTONİK HAREKETLER VE GNSS İLİŞKİSİ.....	29
5.1. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS Teknolojisinin Kullanımı	29
5.2. GAMIT Yazılım Modülü	30
5.3. GLOBK Yazılım Modülü	32
5.4. GeodSuit Yazılım Modülü	33
6. SAYISAL UYGULAMA	35
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
8. KAYNAKLAR	52

ÖZGEÇMİŞ	60
----------------	----



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BDS	BeiDou Uydu Sistemi
CFA	Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
GAMIT	GPS Analysis MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
HUAM	Ham Uydu Alıcı Mesafesi
IGS	International GNSS Service
IRAP	İl Afet Risk Azaltma Planı
IRNSS	Hint Bölgesel Uydu Konumlandırma Sistemi
ISRO	Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
JAXA	Japon Uzay Araştırma Ajansı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NAVSAT	Navy Navigation Satellite System
NRMS	Normalized Root mean Square
PPB	Parts Per Billion
QZSS	Quasi-Zenith Uydu Sistemi
RINEX	The Receiver Independent Exchange Format
SIO	Scripps Oşinografi Enstitüsü
SLR	Satellite Long Range
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
VLBI	Very Long Base Interferometry
WRMS	Weighed Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Yeryüzündeki aktif tektonik levlalar ve hareket biçimleri.....	12
Şekil 3.2 Fay Türleri	13
Şekil 3.3 Eğim atımlı fay türleri (1 Normal Faylar, 2 Ters Faylar)	14
Şekil 3.4 Doğrultu atımlı fay türleri (1 Sağ Yönlü Faylar, 2 Sol Yönlü Faylar).....	14
Şekil 3.5 Oblik atımlı fay türleri (1 Normal Oblik Atımlı Faylar, 2 Ters Oblik Atımlı Faylar)	15
Şekil 4.1 Levha hareketleri.....	16
Şekil 4.2 İç Anadolu bölgesi deprem risk haritası (AFAD)	17
Şekil 4.3 Orta Fayı	20
Şekil 4.4 Orta fayı ve civarı jeoloji haritası.....	22
Şekil 4.5 Orta Fayına ait aletsel dönem, tarihsel dönem ve odak mekanizmaları.....	24
Şekil 4.6 Orta Fayı ve 06 Haziran 2000 Orta depreminin ana şok ve artçı depremlerin dış-merkezleri (Demirtaş 2019)..	25
Şekil 4.7 06.06.2000-13.06.2000 tarihleri arasında gerçekleşen artçı depremlerin günlük dağılımları	26
Şekil 4.8 6 Haziran 2000 Orta depreminin ana şoku ve üç artçı depremin odak mekanizması çözümleri.....	28
Şekil 4.9 Farklı kaynaklara göre 6 Haziran 2000 Orta depreminin ana şoku ve artçı depremin odak mekanizması çözümleri.....	28
Şekil 5.1 GeodSuit yazılımı ara yüzü	34
Şekil 6.1 Orta fayı ve çevresindeki tektonik unsurlar	35
Şekil 6.2 Kurulan GNSS ağı	36
Şekil 6.3 Kasım 2023-Ağustos 2025 arası GNSS ölçümleri.....	38
Şekil 6.4 Değerlendirme sonrası GAMIT klasör yapısı	41
Şekil 6.5 KPAK noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi	44
Şekil 6.6 KLFT noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi	45
Şekil 6.7 HYKY noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi.....	46
Şekil 6.8 Tez çalışması kapsamında elde edilen çalışma bölgesine at güncel hız alanı... ..	48
Şekil 6.9 Orta fayı ve civarı için elde edilen gerinim haritası.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Orta Fay Sistemi ve yakın çevresindeki önemli tarihsel ve aletsel dönem depremlerini özetlemektedir	24
Çizelge 4.2 Farklı kuruluşlara göre Depremin büyüklüğü, şiddet ve derinlik bilgileri..	27
Çizelge 6.1 Çalışma kapsamında kurula GNSS ağındaki noktaların yaklaşık konumları	37
Çizelge 6.2 GNSS Ağının Kampanya Tarihleri	37
Çizelge 6.3 GNSS ölçü zaman çizelgesi	38
Çizelge 6.4 Tables klasörü girdileri ve içeriği	39
Çizelge 6.5 IGS istasyonları çizelgesi	40
Çizelge 6.6 Stabilizasyonda kullanılan IGS istasyonları.....	47

1.GİRİŞ

Bilim insanları tarafından; asırlardır meydana gelen, tam anlamıyla gizemi çözülemeyen afetlerin nedeni, nasıl meydana geldiği ve nasıl önleneceği hakkında araştırmalar sürmektedir. Gelişen teknoloji ve yapılan çalışmalar sayesinde birçok afete çözüm bulunabilmiştir fakat depremlere hala engel olunamamaktadır.

Deprem, yer kabuğunun biriken enerjinin ani bir şekilde serbest kalması sonucu, yer kabuğu tabakalarının hareketiyle oluşan sarsıntılardır. Bu olay fay hatları boyunca meydana gelir ve enerjinin açığa çıkmasıyla yeryüzünde titreşimler, dalgalar halinde yayılır. Depremler genellikle yer kabuğunun zayıf noktalarında, özellikle tektonik plakaların sınırlarında meydana gelir. Bu sarsıntıların ne zaman ve hangi sıklıkla meydana geleceği konusunda bilim insanları geçmişten günümüze çalışmalarına devam etmektedir (Doğan 2021).

Dünya genelinde yılda yaklaşık bir milyon sismik olay kaydedilmektedir; ancak bu olayların yalnızca küçük bir yüzdesi, merkez üssünden uzaklaştıkça insanlar tarafından algılanabilir düzeydedir. Buna karşın, yıkıcı etkiye sahip büyük depremler, saniyeler içinde büyük kentsel alanlarda önemli yapısal hasara ve kitlesel can kayıplarına neden olabilmektedir. 1923 Tokyo depremi yaklaşık 143000 ölümle sonuçlanmıştır. 1976 Çin depremi yüz binlerce can kaybına yol açmış, 1985 Meksika depremi ise binlerce ölümle sonuçlanmıştır. 1995 yılında Japonya'nın Kobe kentinde meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem, binlerce ölü ve yaralıya, yüz binlerce yapının hasar görmesine veya yıkılmasına ve milyarlarca dolarlık ekonomik kayba neden olmuştur. Benzer şekilde, 2001 yılında Hindistan'ın Gujarat bölgesinde kaydedilen 7.7 büyüklüğündeki deprem, yaklaşık 600.000 kişinin yerinden olmasına yol açmıştır (Keller 2005).

Ülkemiz, jeolojik özellikleri ve bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle ciddi deprem riski taşıyan bir ülkedir. Arap, Afrika ve Avrasya levhalarının kesişiminde yer alan Ülkemiz Anadolu levhasındadır ve sık sık depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Kuzeyde rijit kabul edilen Avrasya Levhası ile güneydoğu ve doğuda bulunan Afrika ve Arap levhaları arasında sıkışan Anadolu Levhası, bu levha etkileşimleri sonucunda batı-güneybatı

yönünde yılda yaklaşık 25–30 milimetrelik bir hareket gerçekleştirmektedir. Bu durum, Türkiye'nin deprem kuşağında yer almasının temel nedenlerinden biridir ve ülkemizin büyük bir kısmında deprem riskinin sürekli olarak yüksek olmasına yol açmaktadır (Şengör 1979, 1980, Şengör vd. 1985, Tiryakioğlu vd. 2024). Ülkemizde başlıca aktif tektonik yapılardan biri, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), diğeri ise Doğu Anadolu Fay Zonu'dur (DAFZ) (Rellinger vd. 2006).

Ülkemizde doğuda Van Gölü'nden başlayarak batıda Saroz Körfezi'ne kadar uzanan yaklaşık 1100 km uzunluğunda sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu dünya genelinde en aktif fay hatlarından biri olarak kabul edilmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda günümüze kadar birçok büyük deprem meydana gelmiştir ve sonucunda önemli miktarda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Sahip olduğu tektonik özellikler ve sismik aktivite nedeniyle KAFZ, farklı disiplinlerden pek çok araştırmacı için adeta doğal bir laboratuvar niteliği taşımaktadır. (Şengör vd. 2004).

Sismik açıdan sakin olduğu düşünülen Orta Anadolu bölgesi Anadolu Levhası'nın batıya doğru kaçma hareketinden dolayı sismik açıdan aktif olmasını sağlamaktadır (Gezgin vd. 2020). Orta Anadolu Ovası'nda yer alan Çankırı ili, tektonik açıdan oldukça hassas bir kuşakta bulunmaktadır. İl sınırlarının yarısından fazlası birinci derece deprem bölgesi olarak sınıflandırılmıştır ve nüfusun büyük bir kısmı bu bölgede yaşamaktadır. Çankırı'yı en fazla etkileyebilecek özellikte üç fay öne çıkmaktadır. Bunlar Çankırı Fayı, Kuzey Anadolu Fayı ve Orta Fayıdır (Çankırı-IRAP 2021).

Çankırı Orta Fayı, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na yakın bir konumda yer alan Orta ilçesinin 10 km batısında yaklaşık 28 km uzunluğunda aktif bir fay hattıdır. Çankırı Orta Fayı, genel olarak kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanan bir doğrultu atımlı faydır. Bu tür faylarda, fay boyunca karşılıklı hareket eden iki kaya bloğu yatay yönde kayar. Çankırı Orta Fayı, Türkiye'nin iç kesimlerinde deprem potansiyeline sahip önemli bir faydır ve bu nedenle bölgedeki sismik aktivitelerin dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Bölgedeki levha tektoniği açısından, Çankırı Orta Fayı, KAFZ'ın etkisi altında gelişen daha küçük ölçekli fay hatlarından biridir. Bu fay, çevresindeki kayaçların yapısını ve bölgedeki yer şekillerini şekillendirirken, aynı zamanda çevresinde bir dizi küçük ve orta büyüklükte

depreme neden olabilmektedir. Bu durum, Çankırı ve çevresinde yerleşim planlaması ve deprem risk yönetimi açısından önemli bir faktördür (Çankırı-IRAP 2021). Bu nedenle, bölgedeki tektonik süreçlerin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı disiplinlerden elde edilen verilerin bir arada değerlendirilmesi önemlidir.

Tektonik hareketlerin incelenmesi jeoloji ve jeofizik gibi disiplinlerin yanı sıra, çeşitli disiplinler tarafından da merak uyandıran bir araştırma konusu olmuştur. 1800'lü yılların sonundan beri deprem kaynaklı deformasyonların incelenmesinde yer alan jeodezi biliminde de özellikle 1985'li yıllarda tektonik hareketlerin incelenmesinde GNSS teknolojisi kullanıma başlamıştır (McClusky vd., 2000, Yavaşoğlu 2003, Reilinger vd. 2006, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Gezin 2022, Solak 2024).

GNSS teknolojisi diğer metotlara kıyasla daha ekonomik bir çözüm sunmasının yanı sıra, hava koşullarından bağımsız, gece gündüz çalışabilme imkânı, kolay kullanımı sayesinde ve sürekli gelişen teknolojiyle birlikte deformasyonların incelenmesi daha erişilebilir olmuştur.

GNSS teknolojisiyle genellikle yüksek hassasiyette koordinatlar elde edilmektedir. Elde edilen bu koordinatların zamanla olan yer değişimlerinin izlenmesi ile elde edilen farklar sayesinde deformasyon yorumlarının yanı sıra koordinatlardaki bu değişime neden olan kuvvetler de incelenebilmektedir. İlk sayısal çalışma Reilinger vd. (1997) tarafından Orta Anadolu Bölgesi'ni kapsayan ve Türkiye genelindeki birçok araştırmaya temel teşkil eden kayma hızlarına yönelik gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Güney Rusya ve Gürcistan'daki Kafkas Dağları'ndan başlayarak Ermenistan üzerinden Türkiye'nin Ege kıyılarına kadar uzanan doğu-batı yönlü bir hat ile, Avrasya (Pontid bloğu) levhasının güney kenarından Arap levhasının kuzey sınırına kadar uzanan kuzey-güney doğrultulu geniş bir alanda GNSS ölçümleri yapılmıştır. 1988–1994 yılları arasında 54 noktada elde edilen GNSS verileri, Avrasya levhası sabit kabul edilerek GAMIT/GLOBK yazılım paketiyle analiz edilmiş ve levha hareketlerine ilişkin önemli veriler elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, Orta Anadolu'nun saat yönünün tersine döndüğünü ve yılda 2 mm'den daha az iç deformasyona sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Benzer bir diğ er önemli  alışma McClusky vd. (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu  alışmada, Reilinger vd. (1997) tarafından tanımlanan bölge genişletilerek GNSS nokta sayısı artırılmış ve 1988–1997 yılları arasında toplam 189 noktadan elde edilen veriler değerlendirilmiştir. GNSS verileri, Avrasya levhası sabit kabul edilerek GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla analiz edilmiş ve her bir noktanın hız vektörleri hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda, Arap Levhası’nın yılda yaklaşık 18 mm hızla Avrasya Levhası’na doğru ilerlediği ortaya konmuş; Türkiye’nin deformasyon deseninin tutarlı bir şekilde saat yönünün tersine gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca, Orta Anadolu Bölgesi’nin, Reilinger vd. (1997)  alışmasında da vurgulandığı üzere, yıllık 2 mm’den daha düşük düzeyde içsel deformasyona sahip olduğu tekrar doğrulanmıştır.

Orta Anadolu’daki deformasyona dair bir diğ er güncel araştırma ise, Gezin (2020) tarafından yapılan çalışmadır. Bu  alışmada Tuz Gölü Fay Zonu’nun GNSS yöntemiyle güney kesimlerinin deformasyonunun belirlenmesini amaçlamıştır. İlk defa doğrudan TGZF’nin üzerine kurulmuş GNSS ağıyla çalışma kapsamında önceki jeolojik araştırmalarda raporlanan kayma değerleriyle karşılaştırıldığında, söz konusu fay zonundaki aktif deformasyonun daha önce  ne s r lenden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmalarda da görüldüğü üzere jeodezik gözlemler aktif fay zonlarında deformasyonun hassas bir şekilde izlenmesine olanak tanımakta ve gerinim parametreleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Yaklaşık 6 milyon insanın yaşadığı Ankara’ya olan yakınlığı ve 200 bin nüfusa sahip  ankırı ilinde artarak devam eden sismik aktivitesi göz önüne alındığında GNSS tekniği ile bölgenin güncel deformasyonu ortaya koymayı amaçlayan çalışmaların kritik önem taşıdığı düşünülmektedir. Bölgede yaşanan en büyük depremlerden birisi olan 6 Haziran 2000 orta depreminden sonra Orta fayı için literatürde jeolojik olarak çalışmalar bulunsa da jeodezik hiçbir bulgu bulunmamaktadır.

Emre vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada 6 Haziran 2000 depreminde saha çalışmaları ve sismolojik veriler bu depremin (Mw 6.0) Orta (Dodurga) Fayı üzerinde

gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Dodurga-Buğurören arasında ve Buğurören'in kuzeyinde, fayın doğu bloğunda batı-kuzeybatı yönünde eğimli bir yüzey eğimi (tiltlenme) gözlenmiştir. Bu tür yüzey tiltlenmeleri, aktif normal faylara özgü özelliklerdendir. Arazideki bu veriler, Dodurga Fayı'nın SOL yönlü doğrultu atım bileşenli normal fay karakterinde olduğundan bahsetmişlerdir.

Demirtaş vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, 6–13 Haziran tarihleri arasında meydana gelen 563 artçı depremin dağılımının, ana faya yakın bölgelerde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ana şok ile üç büyük artçı depreme ait odak mekanizması çözümleri ise, normal atım bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olduğundan bahsetmişlerdir.

Koçyiğit vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, 6 Haziran 2000 Orta Depremi'ne ait öncü ve artçı şokların dağılımının kuzey-güney doğrultusunda yoğunlaştığı ve bu dağılımın Dodurga Fayı kuşağına paralellik gösterdiği belirtilmiştir. Çeşitli sismograf istasyonlarından elde edilen odak mekanizması çözümleri, normal bileşenli sol yanal atımlı faylanma ortaya koymaktadır. Arazi jeolojisi gözlemleriyle sismolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde, Dodurga Fayı'nın Kuzey Anadolu Fay Sistemi içerisinde sol yanal atımlı bir fay özelliği taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Duman vd. (2001) yılında yapmış oldukları çalışmada 6 Haziran 2000 Orta Depremi'nin Orta (Dodurga) Fayı üzerinde meydana geldiğini belirtmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında elde edilen bulgular, Orta (Dodurga) Fayı'nın normal eğim atım bileşenli, sol yönlü, doğrultu atımlı bir karaktere sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Çakır vd. (2008) göre ise 6 Haziran 2000 Orta Depremi'nin, kuzey-güney doğrultulu, doğuya eğimli ve listrik geometrilili bir fay üzerinde meydana gelen sağ sol yönlü oblik normal bir yer değiştirme ile ilişkili olduğu; Orta fayının ise sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı levha sınırına yüksek açılı olarak uzandığı sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada literatürde jeodezik çalışma bulunmayan ilk defa doğrudan Orta Fayı üzerine kurulmuş 15 noktadan oluşan GNSS ağı ile Kasım 2023 tarihinden itibaren 4 kampanya olarak Ağustos 2025 tarihine kadar günlük 8 ile 10 saati kapsayan ölçüler yapılmıştır. Bu ölçülerle elde edilen verilerden yararlanılarak bölgenin ilk defa Güncel

hız alanı elde edilmiştir. Elde edilen güncel hızlar alanları GEODSUIT yazılımında girdi olarak kullanılarak bölgesel ölçekte ilk defa gerinim parametreleri elde edilmiştir.



2. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)

Geçmişten günümüze insanlar, bulundukları her devirde yeryüzündeki yerleriyle alakalı merak duymuşlardır. Eskiden insanlar yerlerini tespit etmek için gök cisimlerini, hava akımlarını, yaklaşık zaman hesaplamalarını, haritalardaki doğal işaretleri ve deniz fenerleri gibi insan yapımı yol bulma araçlarını kullanırlardı. Ancak günümüzde, uydular aracılığıyla konum saptama yöntemleri sıklıkla tercih edilmektedir (Logsdon, 1995). Amerika Birleşik Devletleri'nin 1964 senesinde hayata geçirdiği, “TRANSIT” adıyla bilinen ilk uzay aracı temelli sistemden kazanılan tecrübeler neticesinde, yüksek doğrulukta yer saptamaya imkân tanıyan yeni düzeneklere gereksinim duyulmuştur. Bunun ilk adımı olarak 1980'li yılların başlarında, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından geliştirilen Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta askeri amaçlarla kullanılan bu düzenek, sonrasında sivil kullanıcıların da erişimine açılmış ve günümüzde pek çok alanda uygulama alanı bulmaktadır. Akabinde Rusya tarafından Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GLONASS) ve Avrupa Birliği ülkeleri tarafından GALILEO uydu konumlandırma sistemleri tesis edilmiştir (Aladoğan, 2017). Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), ABD Savunma Bakanlığı'nın geliştirdiği GPS uydu konumlandırma sistemi, Rusya Federasyonu'nun geliştirdiği GLONASS uydu konumlandırma sistemi ve Avrupa Birliği'nin geliştirmekte olduğu GALILEO gibi uydu konumlandırma sistemlerinin tamamına verilen genel bir isimdir. GNSS alıcıları, açık hava sporlarında kullanılan düşük hassasiyetli, 150 ila 400 dolar civarındaki cihazlar olabileceği gibi, binlerce kilometrelik mesafelerin milimetre hassasiyetinde ölçülmesinde kullanılan on binlerce dolar değerindeki jeodezik amaçlı araçlar da olabilir. Halihazırda, yerkabuğu hareketlerinin takibine yönelik yapılan çalışmalarda, iki GNSS alıcısı arasındaki binlerce kilometrelik mesafeler 2 ila 20 milimetre hassasiyetle belirlenebilmektedir (Tiryakioğlu, 2012).

2.1 Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System – GPS)

Modern konum belirleme teknolojilerinin kökeninde, ABD Deniz Kuvvetleri tarafından hayata geçirilen TRANSIT adlı ilk uzay tabanlı sistem yer almaktadır. Amerikan Deniz Kuvvetleri'nin kullanımı dolayısıyla NAVSAT olarak da anılan bu sistemin ilk deneme

uydusu 1959'da fırlatılmış, ardından gelen 1960'taki başarılı deneme ile yörüngeye yerleştirilmiştir. Yaklaşık 1100 kilometre yükseklikte konumlanan uydulardan oluşan bu sistem, 1967'de sivil kullanıma açılmıştır. Ancak bu sistemin düşük doğruluk seviyesi, daha hassas sistemlere olan ihtiyacı doğurmuş ve bu gereksinim, 1980'lerde ABD tarafından geliştirilen Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ile büyük ölçüde karşılanmıştır. GPS, başlangıçta askeri amaçlarla tasarlanmış olup, yeryüzünde açık görüş alanına sahip her noktada, tüm hava koşullarında yüksek doğrulukta konum bilgisi sunan uzay tabanlı bir uydu navigasyon sistemidir. Yaklaşık 20.000 kilometre yükseklikteki altı farklı yörüngede konumlanan aktif uydulardan oluşan bu sistem, düşük güçlü radyo sinyalleri aracılığıyla yeryüzündeki alıcılara konum bilgisi sağlamaktadır. İlk deneme uydusu 1961'de yörüngeye yerleştirilen sistem, her ne kadar anlık konum ve hız bilgisi belirlemeyi amaçlasa da düşük doğruluğu nedeniyle daha gelişmiş sistemlerin öncüsü olmuştur ve bu deneyimler sonucunda günümüzde kullanılan GPS sisteminin temelleri atılmıştır (Ersoy 1997; (Wellenhoff Hofmann vd, 1997; Gezin, 2015). NAVSTAR/GPS, ABD tarafından 1973'te oluşturulmuş, uydular aracılığıyla konum ve zaman tespiti yapan bir düzendir. Sistem, 1994'e gelindiğinde, yerküreden aşağı yukarı 20200 kilometre yükseklikte görev yapan 24 uydu takımıyla tam faaliyete geçirilmiştir. Başlangıçtaki esas hedefi, dünya üzerindeki her türlü kara, hava ve deniz aracına yönelik, operasyon sırasında pasif ve anlık (üç boyutlu) konum bilgisi ile yol gösterme yeteneği sunmaktır. Bununla birlikte, sistemin ikinci ve günümüzde en yaygın kullanım alanı, geniş kitleler tarafından sivil amaçlı yer belirleme faaliyetleridir (Kahveci ve Yıldız, 2009).

2.2 Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System-GLONASS)

GLONASS (Global Navigation Satellite System), 1970'lerin başlarında ABD'nin GPS sistemine bir karşılık olarak geliştirilmiş ve aynı zamanda eski Rus Doppler sistemi TSICADA'nın yerini almıştır. Dünyanın ikinci operasyonel uydu konumlandırma sistemi olan GLONASS'ın tasarımı 1980'lerin başlarında yapılmış ve ilk COSMOS uydusu 12 Ekim 1982'de fırlatılmıştır. Başlangıçta askeri deniz navigasyonu için tasarlanan sistem, Sovyetler Birliği'nin 1991'deki dağılmasının ardından çalışmaların yavaşlaması ve mali zorluklar yaşaması nedeniyle 1990'ların ortasına kadar tam kapasiteye ulaşamamış ve

sivil kullanıma tam olarak açılammamıştır; hatta 2001'e kadar uydu sayısı 7'ye kadar düşmüştür. Rusya devleti çalışmaları hızlandırılarak, 2003 yılında GLONASS-M ve 2011 yılında GLONASS-K uydularının operasyonel hale gelmesiyle sistem toplam 24 aktif uyduya ulaşmıştır. Tamamlandığında 18840-19940 km yükseklikte, 64.8 derecelik eğime sahip 3 dairesel yörüngede 24 uydudan oluşan uzay segmentiyle hizmet veren GLONASS, 2010 yılına kadar Rusya topraklarının tamamını, Ekim 2011 itibarıyla ise tam küresel kapsama alanını sağlamıştır. Sistem, 21 uydu ile Dünya'nın %97'sinde (en az 4 uydu) ve 24 uydu ile %99'unda (en az 5 uydu) sinyal alımına imkân tanırken, C/A kodunda 100 metre, P kodunda ise 10-20 metre hassasiyetle konum belirleyebilmektedir (Çorumluoğlu 2000).

2.3 GALILEO Uydu Sistemi

ABD'nin GPS sistemine Avrupa kaynaklı bir seçenek oluşturma hedefiyle tasarlanan GALILEO, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Avrupa kurumlarının bugüne kadar gerçekleştirdiği en geniş kapsamlı proje olma özelliğini taşımaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009). Temelleri 1999 yılında atılan ve çeşitli tasarım önerilerinin değerlendirilmesiyle başlayan proje, 26 Mayıs 2003 tarihinde Avrupa Birliği ve ESA tarafından resmen üstlenilmiştir. Resmi bütçesi 1,1 milyar Avro olarak açıklanan projenin finansal kaynaklarını güçlendirmek amacıyla daha sonra Çin, İsrail, Hindistan ve Ukrayna gibi ülkeler de sürece dahil edilmiştir (Solak 2015).

Sistemin geliştirme aşaması, yer istasyonları ve altyapının kurulumu ile test çalışmaları 2002-2005 yılları arasında yoğunlaşmıştır. Sistemin ilk uydusu olan Giove veya (Giove-A), 28 Aralık 2005 tarihinde Kazakistan'dan yörüngeye gönderilmiştir. Takip eden yıllarda, 2008'de bir, 2011'de iki ve 2012'de iki uydu olmak üzere toplam altı uydu daha başarılı bir şekilde fırlatılmıştır. (Solak 2015).

Başlangıçta sistemin 2008 yılında operasyona başlaması öngörülmüşken, karşılaşılan aksaklıklar nedeniyle bu tarih 2014 olarak revize edilmiştir. İlk operasyonel doğrulama uyduları 21 Ekim 2011'de, takip eden kontrol uyduları ise 2 Ekim 2012'de devreye alınmıştır. Yalnızca GALILEO sinyalleri kullanılarak ilk başarılı konum belirleme işlemi

ise 12 Mart 2013 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda bu sistem, 23222 km irtifada görev yapan 24'ü aktif ve 6'sı yedek olmak üzere toplam 30 uydudan oluşmaktadır (İnt. Kyn. 1). Şubat 2025 tarihi itibarıyla Galileo sistemi 27 adet kullanılabilir uydu bulunmaktadır (İnt. Kyn. 2). Galileo sistemi sürekli olarak iyileştirilmekte ve yeni uydular eklenerek tam operasyonel kapasiteye ulaşması ve hizmet kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

2.4 BeiDou Uydu Sistemi (BDS)

Bağımsız takım yıldızı manasına gelen BeiDou'nun Navigasyon Uydu Sistemi (BDS), Çin'in ulusal güvenliği ile ekonomik ve sosyal kalkınma gereksinimleri doğrultusunda kendi imkanlarıyla kurduğu ve işlettiği bir sistemdir. Ulusal ölçekte kritik bir zamansal-mekansal altyapı olan BDS, küresel çapta kullanıcılara kesintisiz, her türlü hava koşulunda ve yüksek hassasiyetli konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetleri sunar. BDS'nin geliştirme ve inşa süreçlerinin kazanımlarını tüm ülkelerle paylaşarak küresel uydu navigasyonunun ilerlemesini teşvik etmeyi ve Küresel Navigasyon Uydu Sistemlerinin (GNSS) insanlığa fayda sağlamasını amaçlayan Çin, tüm sistemlerle uyum ve birlikte çalışabilirlik sağlamak amacıyla uluslararası iş birliklerini aktif olarak sürdürmektedir. Bu sayede, bu sistem aracılığıyla dünya genelindeki kullanıcılara daha yüksek performanslı, güvenilir ve çok yönlü hizmetler sunmak programın ana hedeflerinden biri olarak görülmektedir (İnt. Kyn. 3). 1980'lerde ortaya çıkan BDS uydu navigasyon sistemi fikri 1994'te başlamıştır.

- BeiDou-1(2000-2012), 2000 yılında Çin içinde hizmet vermeye başladı ve jeostatik yörünge uyduları kullandı. Kısa mesaj hizmeti sunuyordu ve 2012 aralık ayında hizmet dışı kalmıştır.
- BeiDou-2 (2012-2020), 2012 kasım ayında Asya-Pasifik bölgesinde hizmete girdi ve bölgesel bir uydu sistemiydi. Bölge sınırları içerisinde GPS'ten daha hassas olduğu rapor edilmiştir.
- BeiDou-3 (2020-Günümüz), 2020 temmuz ayında küresel kapsama alanına ulaştı ve 30 uydudan oluşmaktadır. 2016 yılında mm düzeyde hassasiyete ulaşmıştır. (İnt. Kyn. 4).

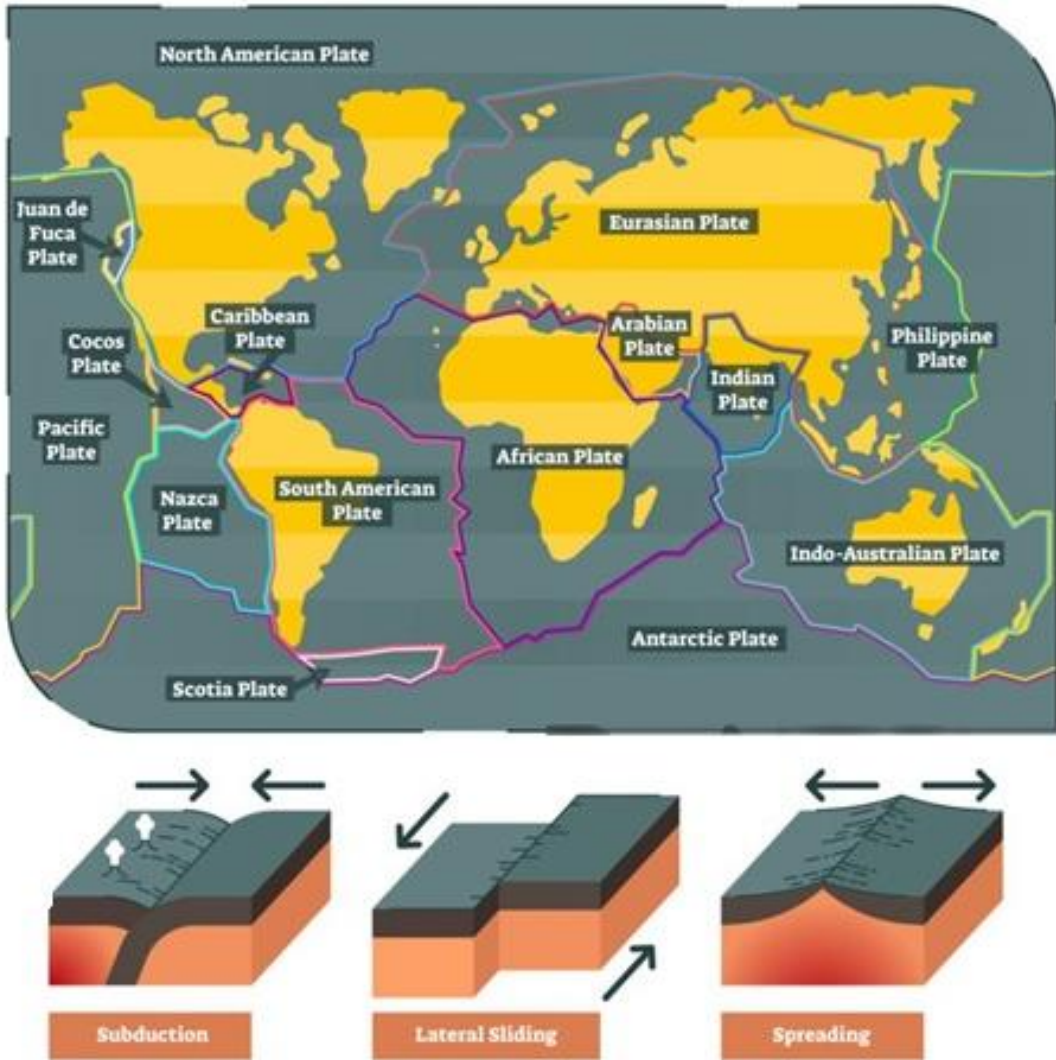
2.5 Diğer Konumlama Sistemleri

Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO) tarafından 2006'da temelleri atılan IRNSS uydu sistemi, Hindistan'a özel, bölgesel bir uydu navigasyon çözümdür. Yaklaşık 1500 kilometrelik bir alanda Hindistan'a ve çevresine hizmet vermesi öngörülen bu sistemin ilk uydusu IRNSS-1A, 2013'te uzaya gönderilmiş, 2016 yılına gelindiğinde ise sistemin tüm uyduları yörüngedeki yerini almıştır. IRNSS sistemi, Hint Okyanusu'nu da içine alan Hindistan merkezli 1500 km'lik bir alanda yaklaşık 20 metre, Hindistan ve komşu ülkelerde ise 10 metreden daha iyi bir konum doğruluğu sunmayı hedeflemektedir. 2016 yılında Hindistan Başbakanı tarafından Navigation Indian Constellation (NAVIC) olarak yeniden adlandırılan bu sistem, tam kapasiteye ulaştığında yerden yaklaşık 36.000 km yükseklikteki GEO yörüngesinde üç ve GSO yörüngesinde dört olmak üzere toplam 7 uydudan oluşmaktadır. 2022 yılında 3'ü GEO yörüngesinde ve 5'i GSO yörüngesinde olmak üzere 8 uydudan oluşmaktadır. Gelecekte 12 uyduya çıkarılması planlanıyor (İnt. Kyn. 5).

Japonya'yı içine alacak şekilde Japon Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından hayata geçirilen Quasi-Zenith Uydu Sistemi (QZSS) adlı uydu tabanlı seyrüsefer sisteminin ilk uydusu 2010 senesinde uzaya gönderilmiştir. Bu sistem, yeryüzünden 32000 ile 40000 km yükseklikte konumlanan 4 adet uydudan meydana gelmektedir. QZSS, faaliyet alanı olarak Doğu Asya ve Okyanusya sahasına hizmet sunmaktadır. QZSS sistemi, diğer Küresel Konumlama Uydu Sistemleri'ne (GNSS) ait uydulardan elde edilen bilgilerle bütünleşmiş bir şekilde çalışabilmektedir (Koca ve Ceylan, 2018).

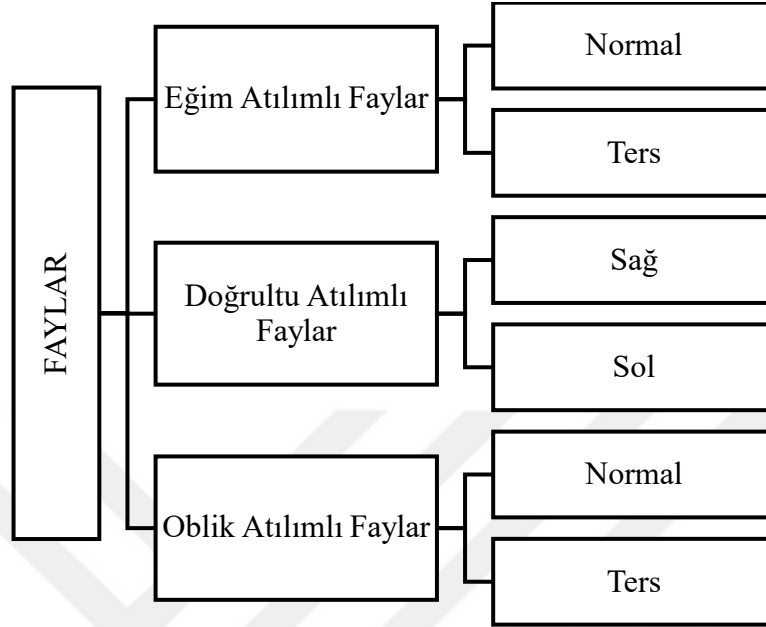
3. FAYLANMA TÜRLERİ

Dünya  zerindeki hareketli levhalar birbirlerine farklı biçimlerde tektonik kuvvet uygular. Yerkabu undaki kayaçların uygulanan bu tektonik kuvvette gösterdiği direnci nedeniyle belirli bölgelerde enerji birikmesine neden olur ( ekil 3.1). Biriken bu enerji, kayaçların kırılma noktasını açtığı zaman, kırılma yani faylanma gerçekleşir. Kırılma sonrası oluşan bu yapıya ise fay adı verilir. Faylanmanın gerçekleştiği yüzeye ise fay düzlemi ya da fay aynası olarak adlandırılır. Fay düzleminin üst blo una tavan, alt blo una ise taban blok denilmektedir (Tiryakioğlu 2012).



Şekil 3.1 Yeryüzündeki aktif tektonik levhalar ve hareket biçimleri

Fayları; eğim atımlı, doğrultu atımlı ve oblik atımlı faylar olmak üzere üç farklı grupta incelenebilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Fay Türleri

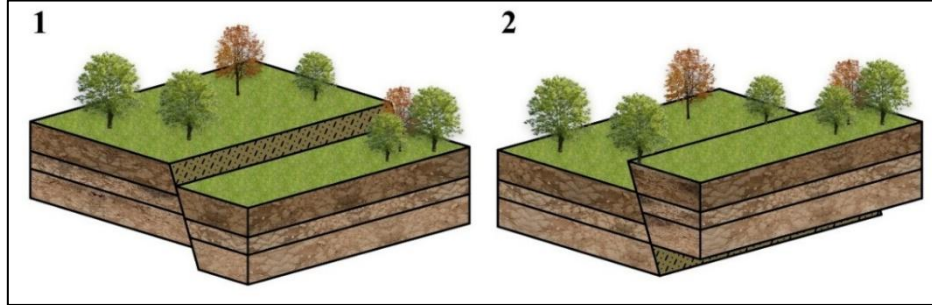
3.1 Eğim Atımlı Faylar

Bu fay türü fay düzlemi boyunca yukarı aşağı yönlü hareket eder. Taban bloğu tavan bloğuna göre yukarı ya da aşağı doğru hareket ediyorsa bu fay türü eğim atımlı faydır (Kibici 2005). Eğim atımlı faylar depremlere neden olabilir ve bu depremler yüzeyde topografik farklılıklar oluşturabilir. Eğim atımlı faylar normal ve ters faylar olmak üzere iki ana tipe ayrılır (Şekil 3.2).

Fay aynasına göre bloklar birbirinden uzaklaşıyorsa ve tavan blok aşağı yönde ya da taban blok yukarı yönde hareket ediyorsa bu fay Eğim atımlı normal faydır. Ege bölgesinde görülen Normal faylar sonucunda Graben ve Horst yapıları oluşmuştur (Kibici 2005). Genellikle yer kabuğunun genişlediği ve gerildiği bölgelerde sıkça rastlanır.

Fay aynasına göre bloklar birbirine yaklaşıyorsa ve taban blok aşağı yönde ya da tavan blok yukarı yönde hareket ediyorsa bu fay Eğim atımlı normal faydır tavan blok yukarı yönde kayar. Ters faylar sonucunda Şaryaj ve Bindirme yapıları oluşmuştur. (Kibici

2005). Genellikle yer kabuğunun sıkıştığı yani yer kabuğunun birbirine itildiği bölgelerde rastlanır.

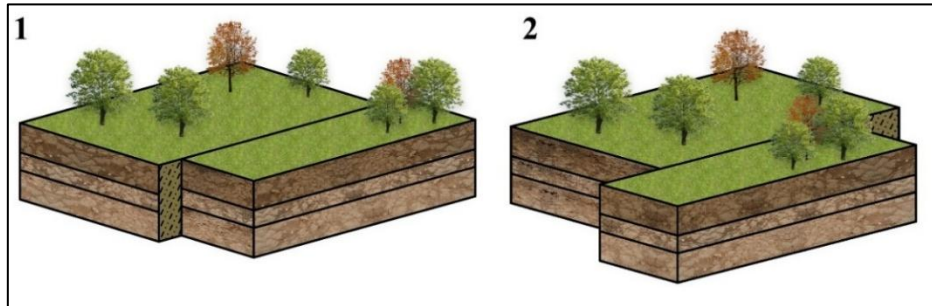


Şekil 3.3 Eğim atımlı fay türleri (1 Normal Faylar, 2 Ters Faylar)

3.2 Doğrultu Atımlı Faylar

Fay aynası boyunca hareketin yatay yönlü olarak gerçekleştiği faylardır. Bu tür faylarda iki blok birbirine yatay düzlemde zıt yönlü hareket eder ve her iki fay birbirinden uzaklaşır. Doğrultu atımlı faylar, genellikle makaslama kuvvetlerinin etkisiyle oluşur. Yer kabuğunun blokları birbirinin yanından sıyrılırcasına geçer. Doğrultu atımlı faylar: sağ ve sol olmak üzere iki ana tipe ayrılır (Karaman, 2006; Şekil 3.2).

Fayın diğer tarafındaki blok, gözlemciye göre sağa doğru hareket etmiş gibi görünüyorsa, bu bir sağ yönlü doğrultu atımlı faydır. KAFZ, ülkemizdeki en önemli sağ yönlü doğrultu atımlı faydır (Karaman, 2006) (Şekil 3.2). Fayın diğer tarafındaki blok, gözlemciye göre **sola** doğru hareket etmiş gibi görünüyorsa, bu bir sol yönlü doğrultu atımlı faydır. DAFZ, en önemli sol yönlü doğrultu atımlı faydır (Karaman, 2006).

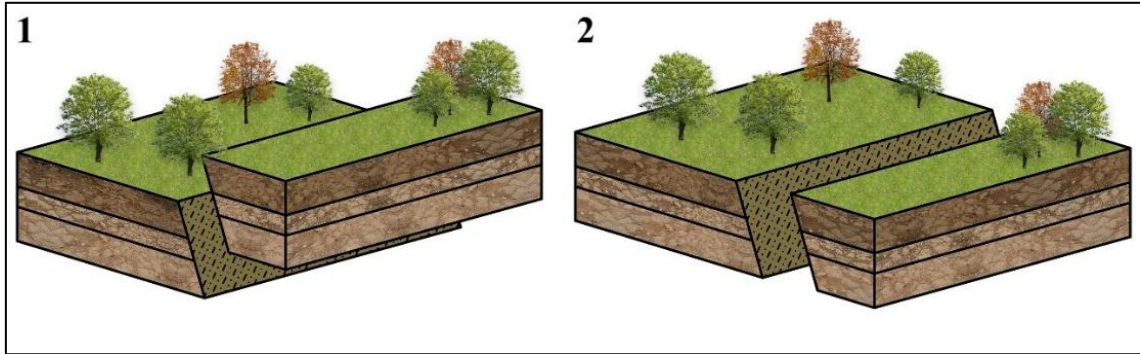


Şekil 3.4 Doğrultu atımlı fay türleri (1 Sağ Yönlü Faylar, 2 Sol Yönlü Faylar)

3.3 Oblik Atımlı Faylar

Hem eğim atımlı hem de doğrultu atımlı hareket türlerini içeren faylardır. Bu fay türlerinde hareketin bir kısmı sağ ve sol yönde, bir kısmı ise yukarı aşağı yönde gerçekleşir. Yani, fay aynası boyunca iki blok hem yukarı ya da aşağı yönde dikey hareket ederken hem de sağa ya da sola doğru yatay hareket sergiler (Tiryakioğlu 2012). Diğer bir adı verev olan bu fay türleri normal ve ters olmak üzere iki ana tipe ayrılır (Şekil 3.3). Hem normal eğim atımlı hem de doğrultu atımlı fayların hareket türlerinin gerçekleştiği faylardır. Fay aynasına göre bloklar birbirinden uzaklaşıyorsa ve tavan blok aşağı yönde ya da taban blok yukarı yönde hareket ediyorsa ve bu hareketlerin yanı sıra sağa ve sola doğru bir hareket varsa bu fay türü normal oblik atımlı faydır (Karaman 2006).

Hem ters eğim atımlı hem de doğrultu atımlı fayların hareket türlerinin gerçekleştiği faylardır. Fay aynasına göre bloklar birbirine yaklaşıyorsa ve taban blok aşağı yönde ya da tavan blok yukarı yönde hareket ediyorsa ve bu hareketlerin yanı sıra sağa ve sola doğru bir hareket varsa bu fay türü ters oblik atımlı faydır (Karaman 2006).



Şekil 3.5 Oblik atımlı fay türleri (1 Normal Oblik Atımlı Faylar, 2 Ters Oblik Atımlı Faylar)

4. İÇ ANADOLU ve ORTA FAYI'NIN DEPREMSELLİĞİ

Anadolu plakasında bulunan ülkemiz jeolojik konumundan dolayı Akdeniz-Himalaya deprem kuşağının başında bulunmakta olup; Asya, Afrika ve Avrasya plakalarının etkisindedir.

Avrasya plakasının hareketsiz olduğu düşünüldüğünde, Afrika plakası 5mm/yıl hızla kuzey yönüne, Arap plakası ise 19mm/yıl hızla yine kuzey yönüne doğru hareket etmektedir. Bu hareketler sonucunda Avrasya plakası Anadolu plakasını sıkıştırmaktadır ve Anadolu plakası 23mm/yıl hızla batıya doğru hareket etmektedir (Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009). Bu olay, "Ege Bloku" olarak bilinen bölgenin, Ege'deki Rodos ve Girit adalarıyla Mora Yarımadası'nın güney hattını takip eden Ege Yayı güzergahı üzerinde, Afrika Levhası'nın üzerinde yıllık 35 mm/yıl hızla ilerlediğini açıkça ortaya koymaktadır. Doğuya baktığımızda ise, Kars, Erzincan, Van ve Hakkari arasındaki bölgede bulunan Doğu Anadolu Bloku, kuzeydoğu yönünde Kafkasya'ya doğru senelik 12 mm/yıl hızla hareket etmektedir (Şahin 2009, Solak 2015; Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Levha hareketleri (İnt. Kyn. 6).

karşılaşma olasılığının yüksek olduğu ön görülmüştür (Köle 2016). Çankırı'yı en fazla etkileyebilecek faylar Kuzey Anadolu Fayı, Çankırı Fayı ve Orta Fayıdır. Kuzey Anadolu Fayı 1100 km uzunluğunda sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Sismik olarak çok aktif olan bu fayda günümüze kadar birçok büyük deprem meydana gelmiştir (Şengör vd. 2004). Çankırı fayı ise 73 km uzunluğunda K-G doğrultulu batı yönüne eğimli ters bir faydır. Çankırı Fayı da bölgede sismik aktivite oluşturan faylardan birisidir (Çankırı-IRAP 2021).

Literatürde Dodurga fayı olarak bilinen fay Çankırı'nın orta ilçesine yakınlığından dolayı Orta Fayı olarak anılmaktadır. Emre vd. (2001) çalışmasında Dodurga olarak kullanılan Orta Fayı, 2021 yılında hazırlanan Çankırı IRAP raporunda Orta (Dodurga) olarak isimlendirilmiştir.

Orta (Dodurga) fayı, Çankırı'nın Orta ilçesinin 10 km batısında, kuzeyde saçak köyü güneyde ise kösrelik köyleri arasında yer alan K10°D (Kuzey 10° Doğu) doğrultusunda, batıya eğimli, 28 km uzunluğunda olan aktif bir faydır (Şekil 4.3). Bu fay, Çankırı ve çevresindeki bölgenin jeolojik yapısını etkileyen önemli bir tektonik unsurdur ve deprem potansiyeli taşıyan önemli bir aktif faydır (Çankırı-IRAP 2021). Çankırı Orta (Dodurga) Fayı, günümüze kadar büyüklüğü 5 ve üzeri olan üç deprem yaşamıştır (İnt. Kyn. 8; Şekil 4.3).

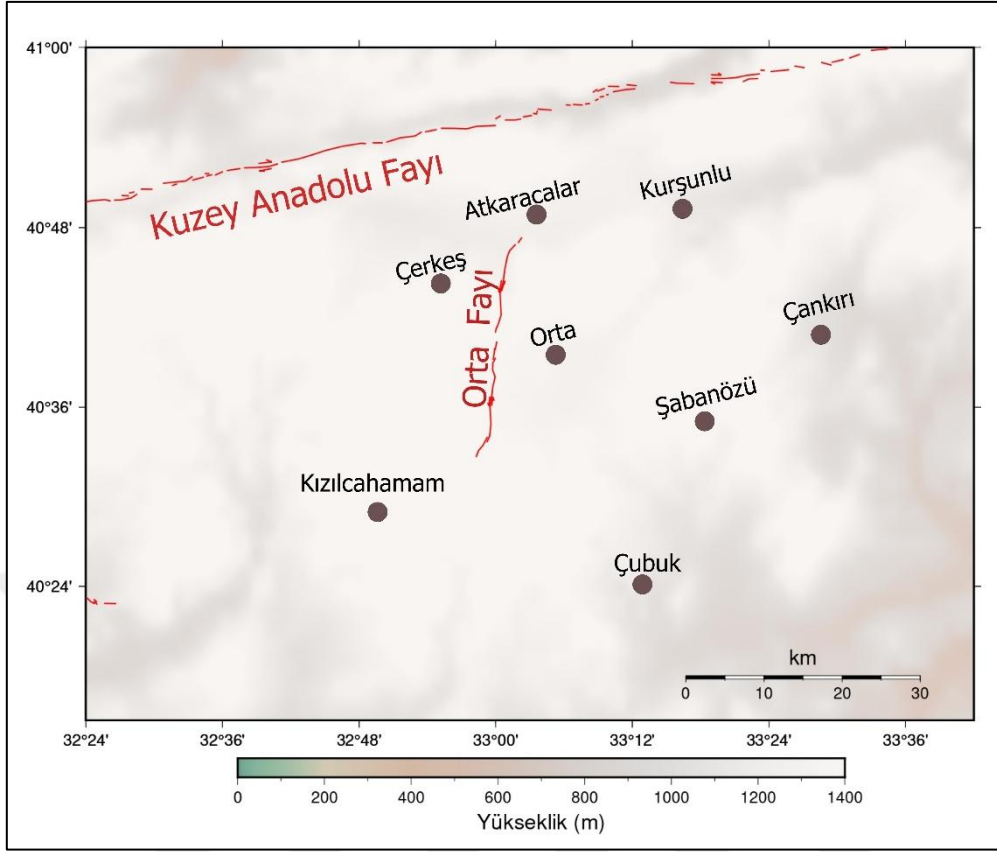
Emre vd. (2000) yılında Orta (Dodurga) Fayının detaylı haritasını ürettiler ve fayın tek bir yapı halinde olmadığını birbirine yakın K-G doğrultulu paralel olmayan doğrultu atımlı fayların birleşimiyle oluştuğunu raporladılar. Çakır ve Akoğlu (2008) ise bu fayların çoğunluğunun 90 m çözünürlüklü olduğunu ve morfolojik bir ifadeye sahip olmadıklarını belirtmişlerdir. Bu fayların ya aktif olmadığını ya da düşük Kuaterner aktivitesinde olduğunu raporlamışlardır.

6 Haziran 2000'de meydana gelen Mw 6.0 büyüklüğündeki Orta-Çankırı depremi, bölgedeki Orta (Dodurga) Fayı'nın tektonik karakteristiğini inceleyen farklı bilimsel çalışmaların merkezinde yer almıştır. Yapılan saha gözlemleri ve sismolojik analizler, fayın hareket mekanizması hakkında farklı bileşenleri vurgulayan sonuçlar ortaya

koymuştur. Çalışmaların genelinde, fayın normal atım bileşeni taşıdığı ortak bir bulgudur. Ancak, fayın doğrultu atım bileşeninin yönü konusunda farklı görüşler mevcuttur. Emre vd. (2000) ve Duman vd. (2001), Dodurga-Buğurören arasındaki yüzey tiltlenme verilerine ve saha bulgularına dayanarak, fayın sol yönlü (sol yanal) doğrultu atım bileşenli normal fay karakterinde olduğunu belirtmiştir. Koçyiğit vd. (2001) de öncü ve artçı şokların kuzey-güney doğrultusundaki dağılımını Dodurga Fayı kuşağına paralel bularak, fayın normal bileşenli sol yanal atımlı bir özellik taşıdığı sonucuna varmıştır. Çakır vd. (2008) ise depremin sığ, kuzey-güney doğrultulu, doğuya eğimli ve listrik geometrili bir fay üzerinde meydana gelen sol yönlü oblik normal yer değiştirme ile ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Demirtaş vd. (2000) tarafından ana şok ile incelenen üç büyük artçı depreme ait odak mekanizması çözümleri ise, faylanmanın normal atım bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı karakterde olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak, literatürdeki çalışmalar, Orta Fayı'nın normal bileşenli eğik atımlı (oblik) bir karaktere sahip olduğunu kesinleştirmekle birlikte, fayın doğrultu atım bileşeninin yönü (sol yanal/sağ yanal) hakkında halen süren bilimsel tartışmaların bulunduğunu göstermektedir.

Orta Fayı'nın çevredeki diğer önemli fay zonlarıyla olan ilişkisi incelendiğinde, ilk olarak Devrez Fayı ile olan bağlantısı göze çarpmaktadır. Orta Fayı, Devrez Fayı'nın güneybatı ucunu oluşturmaktadır. Devrez Fayı yaklaşık olarak K50D (Kuzeybatı-Güneydoğu) doğrultusundadır. Daha batıda yer alan Uruş-Güdül Fayı ise Devrez-Orta Fay sisteminin bir devamı gibi görünmektedir (Demirtaş vd. 2000)

Orta Fayı'nın KAFZ ile olan ilişkisine bakıldığında, 2000 Orta depreminin merkez üssünün KAFZ'ın yaklaşık 30-35 km güneyinde yer aldığı görülmektedir. Depremin ilk zamanlarında KAFZ'dan kaynaklandığı düşünülse de ilerleyen yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen sismolojik veriler ve saha bulguları orta depreminin Orta (Dodurga) fayında gerçekleştiğini işaret etmektedir (Emre vd. 2000).



Şekil 4.3 Orta Fayı

4.1. Orta Fayı ve Çevresinin Jeolojisi

Orta Fayı'nın uzanımı, bölgedeki farklı jeolojik birimler arasında belirgin tektonik sınırlar oluşturur. Kuzeyde, Güzelyurt Köyü çevresinde, fay bir yanda alt-orta Miyosen yaşlı gölsel kireçtaşı, marn ve şeyl gibi tortul kayalar ile diğer yanda üst Miyosen yaşlı bazaltlar arasında yapısal bir ayrım oluşturmaktadır. Fay, güneyde Buğören Köyü yakınlarında, seyrine doğrudan üst Miyosen bazaltları içerisinde devam etmektedir. Daha güneyde, fay hattı Dodurga Köyü'nün de üzerinde bulunduğu alt-orta Miyosen volkanitleri içerisinde ilerler. Fayın güneydeki en önemli litolojik teması ise Tutmaçbayındır Köyü civarında görülür; burada Orta Fayı, Kretase yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile alt-orta Miyosen yaşlı volkanitler arasındaki yapısal sınırı tanımlamaktadır (Çankırı-IRAP 2021). Orta-Şabanözü bölgesinde, Triyas'tan Kuvaterner'e kadar uzanan çeşitli kaya formasyonları şunlardır:

Triyas: Kösrelik formasyonu (metakonglomera, metakumtaşı, metasilttaşı vb.).

Kretase: Eldivan ofiyoliti (serpantinit, spilit, gabro vb.).

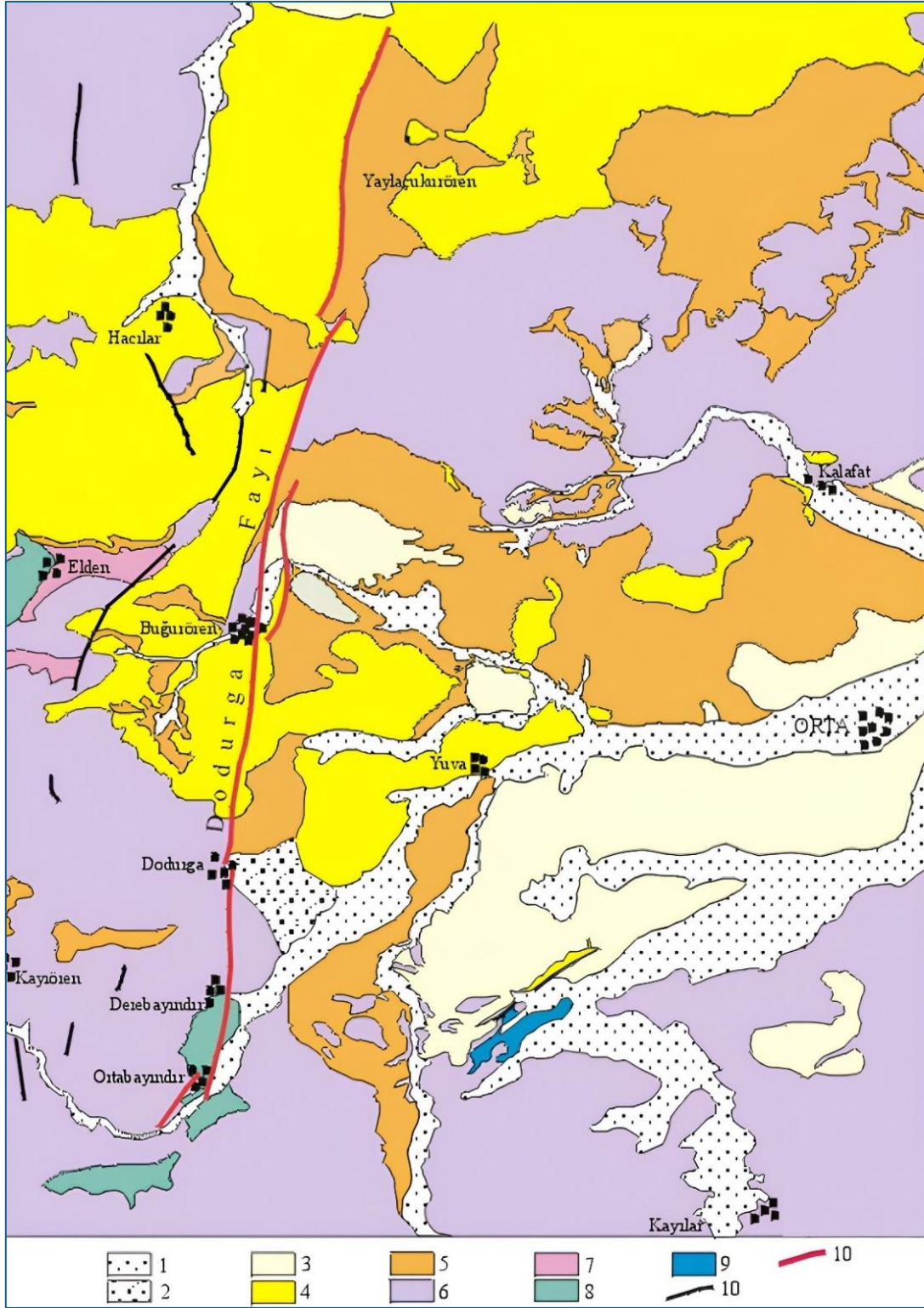
Miyosen: Kurtsivrisi volkanitleri (andezit, andezitik tüfler), Hançili formasyonu (kumtaşı, silttaşı, marn vb. linyit içerikli), Karakoçuş formasyonu (konglomera, kumtaşları), Hüyükköy formasyonu (tüf-tüfit-kireçtaşı), Eregez aglomerası (andezit çakıl ve blokları) ve Aydos bazaltı.

Pliyosen: Orta formasyonu (volkanik konglomera, konglomera, kumtaşı, silttaşı) ve Büyükyakalı formasyonu (konglomeralar).

Kuvaterner: Alüvyon (güncel akarsu ve dere yatakları boyunca oluşan birikintiler) ve yamaç molozları.

Kösrelik formasyonu tipik olarak sarı-gri ve kahverengi renklerde olup, Eldivan ofiyoliti tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Eldivan ofiyoliti ise serpantinit, spilit, gabro, çörtlü kireçtaşı ve radyolarit gibi litolojilerden oluşmaktadır. Miyosen kaya birimleri arasında yer alan Hançili formasyonu, açık sarı, gri ve yeşilimsi kumtaşı, silttaşı, marn ve tüfit ardalanmasından oluşmakta olup, özellikle alt ve orta seviyelerinde linyit ve bitümlü şeyl içermektedir. Eregez aglomerası genellikle yuvarlak ila köşeli, çoğunlukla andezit çakıl ve bloklarından oluşurken, Orta formasyonu beyaz-gri renkli, kalın, yatay veya yarı yatay katmanlı volkanik bir konglomeradır. Bölgede linyit oluşumları Miyosen (Hançili formasyonu, Eregez aglomerası) ve Pliyosen (Orta formasyonu) çökelleri içerisinde bulunmaktadır ve dağılımları ekonomik potansiyelleri açısından önemlidir (Şengüler 2007; Şekil 4.4).

Çankırı Orta İlçesinin merkezi Alüvyon zemine kurulmuştur. Deprem dalgaları alüvyon zeminler tarafından büyütülerek yapılara iletilir. Zemin büyütmesi olarak da tanımlanan bu olay deprem anında diğer zeminlere göre daha şiddetli sarsıntılar geçirecektir. Orta fayında yaşanacak $M>5.5$ depremlerin ilçe merkezinde sivilaşma nedeniyle hasar yaratabilir ayrıca can ve mal kaybına neden olabilir (Çankırı-IRAP 2021).



Şekil 4.4 Orta Fayı ve civarı jeoloji haritası (Türkecan vd., 1991'den değiştirilerek alınmıştır).
 1.Alüvyon (Kuvaterner) 2.Alüvyon yelpazesi (Kuvaterner) 3.Pliyosen; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı 4.Pliyosen; bazalt 5.Miyosen; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, evaporit 6.Miyosen; andezit, bazalt, riolit, dasit, piroklastik 7.Eosen; andezit, bazalt, dasit, piroklastik 8.Üst Kretase; kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, olistostrom 9.Triyas; meta-kırıntılılar 10.Fay 11.Diri fay. (Emre vd. 2001)

4.2. Orta Fayı ve Civarının Sismisitesi

Çankırı'nın Orta ilçesini etkileyebilecek birçok fay hattı vardır. Bunların başında Kuzey Anadolu Fayı, Çankırı Fayı ve Orta Fayı gelmektedir. Orta ilçesi ve çevresinde tarihsel dönemde dört yıkıcı deprem gerçekleşmiştir. Bu depremler 1845, 1881, 1882 ve 1883 senelerinde rapor edilmiştir (Soysal vd. 1981). Orta ilçesi ve çevresini etkileyebilecek aletsel döneminin deprem katalogları incelendiğinde ise en büyük ve yıkıcı depremlerin genellikle KAFZ üzerinde meydana geldiği görülmektedir. 1943 Ilgaz (Ms 7.2), 1944 Bolu-Gerede (Ms 7.2), 1951 Kurşunlu (Ms 6.9) ve 1953 Kurşunlu (Ms 6.0) depremleri bu duruma örnektir. KAFZ dışında, Orta/Dodurga Fay Sistemi'nin bulunduğu alana daha yakın bölgelerde de tarihsel depremler rapor edilmiştir. 1990 ve 1999 tarihleri arasında Orta ilçesi ve civarında $M > 2.5$ büyüklüğünde 335 deprem rapor edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda bölgenin sismik aktivitesinin arttığı görülmüştür (Demirtaş vd. 2000). Orta ilçesini en çok etkileyen deprem ise 6 Haziran 2000 Orta depremidir (Çizelge 4.1).

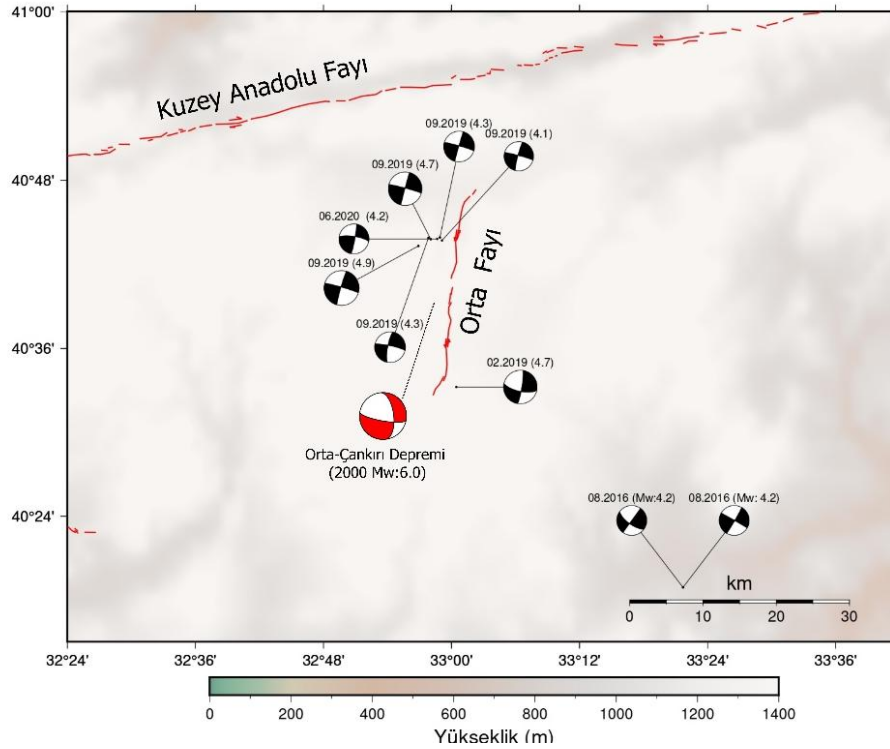
- 1845: Çankırı bölgesinde hafif hasara (Şiddet V MSK) neden olan bir deprem.
- 1881 (28 Eylül): Çankırı ve civarında birçok evin yıkılmasına ve 12 kişinin ölümüne neden olan, maksimum şiddeti VIII (MSK) olarak tahmin edilen önemli bir deprem. Bu depremin Orta/Dodurga fay sistemi ile ilişkili olması muhtemeldir.
- 1882 ve 1883: Şiddetleri VI (MSK) olan iki deprem, muhtemelen KAFZ'nin İsmetpaşa-Kargı segmenti üzerinde meydana gelmiştir.
- 06/06/2000; Şiddeti VII olan deprem meydana gelmiştir. Deprem sonucunda 2 can kaybı ve 4852 yapının hasar görmesine neden olmuştur.
- 12/02/2019; Merkez üssü Orta İlçesi ve şiddeti V olan bir deprem meydana gelmiştir. Deprem sonrasında can ve mal kaybı olmadığı bildirilmiştir.
- 14/09/2019; Merkez üssü Çerkeş İlçesi ve şiddeti V olan deprem meydana gelmiştir. Deprem sonucunda 22 bina ağır hasar 225 bina az hasar görmüştür.

Çankırı Orta (Dodurga) Fayı, günümüze dek büyüklüğü 5 ve üzeri olan üç deprem yaşamıştır (İnt. Kyn.8). Orta fayındaki son deprem 14 Eylül 2019 tarihinde meydana gelmiştir. Merkez üssü Çerkeş ilçesi olan bu deprem Orta fayının 10 km uzunluktaki kuzey kesiminde, 7 km derinlikte 4.9 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Deprem

sonucunda 22 bina ağır hasar 225 bina az hasar görmüştür ve can kaybı yaşanmamıştır (İnt.kyn. 9).

Çizelge 4.1 Orta Fay Sistemi ve yakın çevresindeki önemli tarihsel ve aletsel dönem depremleri.

TARİH	ENLEM	BOYLAM	ŞİDDETİ	MAGNİTÜD
1845	40.60	33.60	V	-
28/09/1881	40.60	33.60	VII	-
1882	41.00	33.70	VI	-
1883	41.30	33.80	VI	-
06/06/2000	40.63	33.03	VII	6.0
09/06/2000	40.63	33.03	-	5.0
08/2016	40.32	33.36	-	4.2
08/2016	40.32	33.36	-	4.2
12/02/2019	40.70	33.10	V	4.7
14/09/2019	40.73	32.97	V	4.9
09/2019	40.73	32.97	-	4.7
09/2019	40.73	32.98	-	4.3
09/2019	40.73	32.99	-	4.1
09/2019	40.73	32.96	-	4.3
06/2020	40.73	32.98	-	4.2

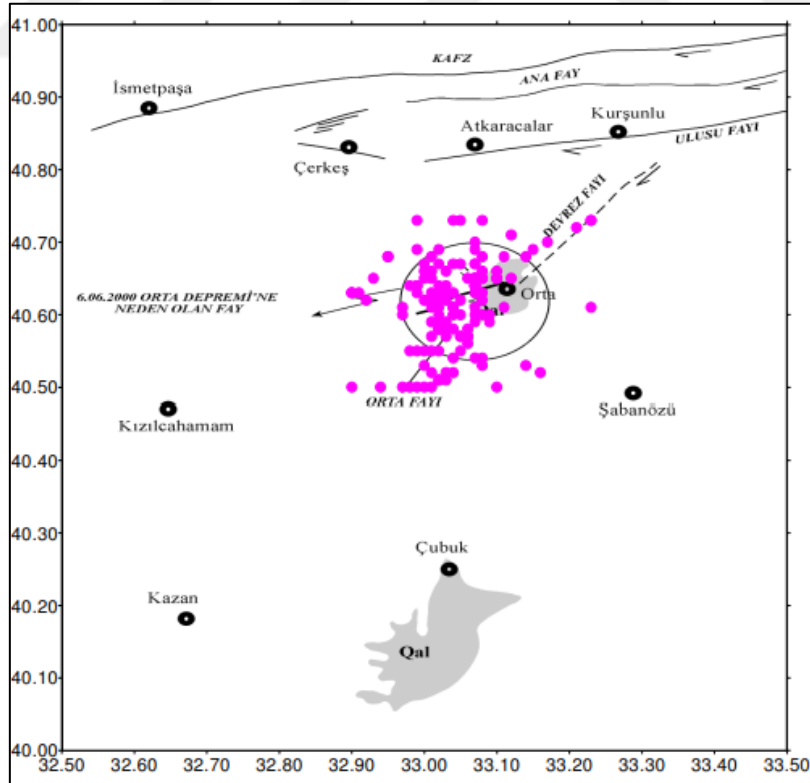


Şekil 4.5 Orta Fayına ait aletsel dönem odak mekanizmaları

4.2.1. 6 Haziran 2000 Orta Depremi

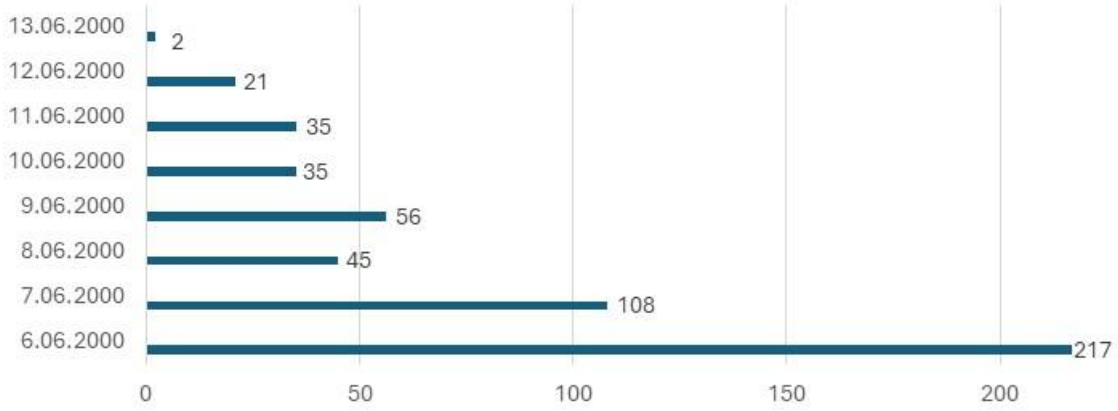
Orta Anadolu bölgesi sismik açıdan ne kadar suskun gözükse de yıkıcı deprem olmayacağı anlamına gelmemektedir. Son yüz yılda yıkıcı depremlerin meydana geldiği Orta Anadolu bölgesindeki önemli depremlerden birisi de 6 Haziran 2000 Çankırı/Orta depremidir. Depremin ilk günlerinde Kuzey Anadolu Fayında gerçekleştiği düşünülen Orta depremi Saha bulguları ve sismolojik veriler ışığında Orta (Dodurga) Fayında meydana geldiği kayıtlara geçmiştir.

6 Haziran 2000 yılında yerel saatle 05:41 sularında 10,5 km derinlikte Mw:6.0 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin koordinatları 40.63K ve 33.03D olarak belirlenmiştir (Yuva köyü ve Dodurga Köyü arası). Büyüklüğü Mw 1.8-5.0 arasında 563 artçı deprem meydana gelmiştir. Artçı depremlerin en büyüğü 9 Haziran tarihinde gerçekleşmiştir. Artçı depremlerin mekânsal dağılımı Orta Fayının yakın civarında yoğunlaşmaktadır (Demirtaş vd. 2019; Şekil 4.6; Şekil 4.7).



Şekil 4.6 Orta Fayı ve 06 Haziran 2000 Orta depreminin ana şok ve artçı depremlerin dış-merkezleri (Demirtaş 2019).

6 HAZİRAN 2000 - ORTA DEPREMİ ARTÇI DEPREMLERİ



Şekil 4.7 06.06.2000-13.06.2000 tarihleri arasında gerçekleşen artçı depremlerin günlük dağılımları.

Deprem büyüklüğünün ($M_w=6.0$) görece düşük olması, 10-15 saniye sürmesi ve odak derinliğinin 10,5 km olması nedeniyle yüzeyde faylanma gerçekleşmemiştir. Deprem neden olduğu sarsıntıdan dolayı heyelan, kaya düşmesi ve akması gibi ikincil olaylar yaşanmıştır. Bölgede bulunan Güldürcek Barajı'nın vadi yamaçlarında heyelanlar görülmüş, toprak dolgu gövdesinde ise yüzeysel, küçük çatlaklar oluşmuştur fakat, baraj gövdesinden herhangi bir su sızıntısı tespit edilmemiştir (Emre vd. 2000; Demirtaş vd. 2019).

Deprem, özellikle Orta Fayı'nın yakın çevresinde kırsal yerleşim birimlerinde (Buğüören, Elden, Kısac, Salur, Kanlıca, Yuva, Dodurga, Derebayındır, Ortabayındır, Tutmaçbayındır köyleri) ağır hasara yol açmıştır. Bu köylerde depremten etkilenen yapıların büyük çoğunluğunu, çamur harcı kullanılarak inşa edilmiş moloz taş duvarlı ve kerpiç duvarlı binalar oluşturmaktadır. Hasar gören yapıların neredeyse tamamının ahır ve samanlık niteliğinde olduğu belirlenmiştir. Bu yapıların bir kısmının yıkılması sonucunda, çok sayıda büyükbaş hayvanın telef olduğu gözlenmiştir. Ankara'nın Çubuk ilçesinde, üç katlı bir betonarme bina yıkılmıştır. Şabanözü ilçesi ve ona bağlı köylerde ise tuğladan yapılmış bacaların devrilmesi ve yıkılması olayları yaşanmıştır. Ayrıca, bazı yapıların duvar yüzeylerinde kılcal çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir.

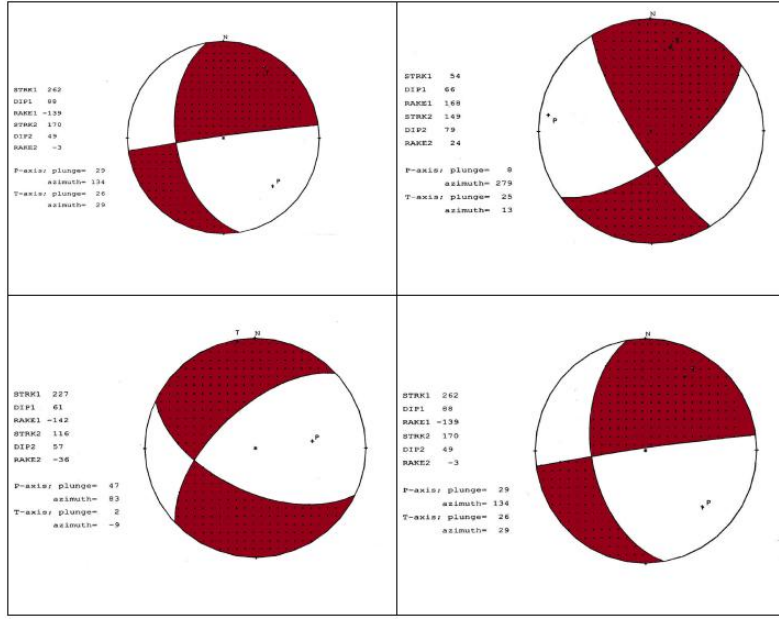
Buna karşın, Çerkeş ilçesi sarsıntısından Ankara'ya kıyasla daha düşük bir şiddetle etkilenmiştir. Bu sebeple, yapı stokunun büyük çoğunluğunu iki katlı ahşap binaların oluşturduğu Çerkeş'te, depremin neden olduğu ciddi bir yapısal hasar tespit edilmemiştir (Demirtaş vd. 2019).

Çizelge 4.2 Farklı kuruluşlara göre Depremin büyüklüğü, şiddeti ve derinlik bilgileri.

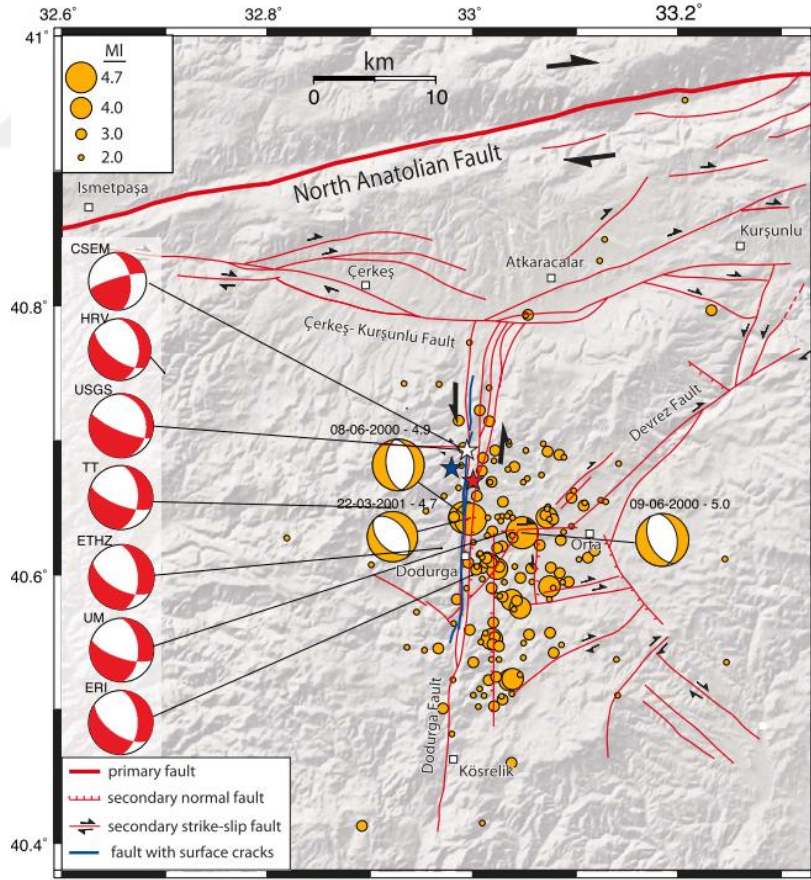
KURULUŞ	M _w	M _s	M _L	M _b	ŞİDDETİ	DERİNLİĞİ
USGS	6.0	-	-	-	VII	10 Km
KOERI	-	6.1	-	5.9	VII	10 Km
AFAD	-	-	5.9	5.9	VII	10.5 Km

Depremin ana şokuna ait odak mekanizması çözümü, fay hareketinin ağırlıklı olarak normal bileşen içeren sağ yönlü doğrultu atımlı olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşılık, incelenen üç artçı depremin odak mekanizmaları, sağ yanal doğrultu atım hareketinin eşlik ettiği normal faylanmayı işaret etmektedir. Ana şok çözümüne göre, yer kabuğundaki ana sıkışma kuvvetinin yönü Kuzey 46° Batı iken, ana çekme kuvvetinin yönü Kuzey 26° Doğu olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu çözümler, hem arazide tuf birimleri içerisinde ölçülen fay düzlemlerinin doğrultu ve eğimleri hem de bölgesel tektonik rejimle uyumlu olan KAFZ'nın genel özellikleri ile önemli bir paralellik sunmaktadır (Demirtaş vd. 2019; Şekil 4.8). Deprem sonrası toplanan saha bulguları Orta fayının sol yönlü doğrultu atım bileşenli normal fay olduğunu işaret etmektedir. (Emre vd. 2000, Koçyiğit vd. 2001)

Deprem sonrasında sismik veriler ve saha gözlemleri sonrasında Orta fayının karakteri ile ilgili farklı görüşlerde rapor edilmiştir. Emre vd. (2000, 2001), Koçyiğit vd. (2001), Duman vd. (2001) ve Çakır vd. (2008) yıllarında yaptığı çalışmalarda fayın sol yönlü doğrultu atımlı olduğunu söylemişlerdir fakat Demirtaş vd. (2000, 2019) yıllarında Orta fayının Sağ yanal doğrultu atımlı olduğundan bahsetmiştir. Farklı kaynaklar göre raporlanan 6 Haziran 2000 Orta depreminin ana şoku ve artçı depremin odak mekanizması çözümlerinin çoğunluğu iyi bir uyum içinde olsa da farklı görüşlerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 6 Haziran 2000 Orta depreminin ana şoku ve üç artçı depremin odak mekanizması çözümleri (Demirtaş 2019).



Şekil 4.9 Farklı kaynaklara göre 6 Haziran 2000 Orta depreminin ana şoku ve artçı depremin odak mekanizması çözümleri (Çakır ve Akoğlu 2008).

5. TEKTONİK HAREKETLER VE GNSS İLİŞKİSİ

5.1. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS Teknolojisinin Kullanımı

Tektonik hareketlerin jeodezik yöntemlerle incelenmesinin ilk örneği 1892 yılında J.J.A. Müller tarafından Tapanuli, Sumatra depreminde uygulanmıştır. J.J.A. Müller, deprem öncesi ve sonrasında yapılan açı ölçümleri arasında farklılık olduğunu görmüş ve farklılığın depremden nedeniyle olduğunu tespit etmiştir. (Yeats vd.,1997).

GNSS teknolojisi 1985'li yıllarda tektonik hareketlerin incelenmesinde kullanıma başlamıştır. Sürekli gelişen GNSS teknolojiyle birlikte tektonik hareketlerin belirlenmesinde GNSS kullanımı sıklıkla görülmektedir. Depremin her evresinde GNSS yöntemiyle elde edilen veriler kullanılmaktadır ve bu veriler sayesinde büyük depremlerin konumu tahmin edilmektedir.

Tektonik hareketlerin litosfer parçalarında yarattığı deformasyon levha ve fayların iki tarafındaki noktaların birbirine göre hareket etmesine neden olur ve hareket miktarı yıllık 10 cm'ye çıkabilir. (Herring 1999) bu hareket miktarının tespitinde VLBI (Very Long Base Interferometry), SLR (Satellite Long Range) ve GNSS teknolojisi kullanılır. GNSS teknolojisi, VLBI ve SLR metotlarına kıyasla daha ekonomik bir çözüm sunmasının yanı sıra, hava koşullarından bağımsız, gece gündüz çalışabilme imkânı ve kolay kullanımı sayesinde ön plana çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı GNSS, jeodezik uygulamalarda günümüzde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. (Tiryakioğlu 2012)

GNSS teknolojisi, tektonik hareketlerin zamana bağlı değişimlerini inceleyerek deprem riskinin değerlendirilmesinde ve bu hareketlerin anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Depremlere neden olan aktif fay sistemleri boyunca deprem öncesinde, sırasında ve sonrasında meydana gelen deformasyonlar, GNSS tekniğiyle yapılan uzun süreli gözlemler sonucunda hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu amaçla, fay kırıklarıyla ayrılan blokların tamamını temsil edecek şekilde, fay hattına hem yakın hem de uzak çevrede, bölgedeki kabuk kalınlığı dikkate alınarak yeterli sayıda GNSS noktası içeren bir ağ tasarlanır. Bu noktalarda sürekli veya belirli aralıklarla kampanya tipi

gözlemler yapılır. Elde edilen bu ölçüler, yeryüzüne yayılmış ve koordinatları uzun yıllardır bilinen küresel GNSS noktaları referans alınarak değerlendirilir. Değerlendirme sonucunda, noktaların ilk tesis edildikleri andan son ölçümlerin yapıldığı zamana kadar olan yer değiştirmeleri hesaplanır. Bu zamansal değişimlere göre elde edilen yer değiştirme vektörleri aracılığıyla, bölgedeki oluşan gerilme ve sıkışma miktarları tahmin edilebilir, bu da olası bir deprem hakkında önemli bilgiler sunarak deprem riskinin değerlendirilmesine olanak tanır. (Tiryakioğlu 2012)

İlgili bölge için özel tasarlanan GNSS noktalarını içeren ağda farklı zamanlarda yapılan ölçmeler doğrultusunda GNSS noktalarının hız ve yönleri tespit edilir. Hızların belirlenmesi için kullanılan yazılımlara; OASIS, Bernese, GAMIT/GLOBK, SKI PRO ve GIPSY örnek gösterilebilir. GAMIT/GLOBK programı MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından ABD’de geliştirilen açık kaynak bir yazılımdır ve birçok kullanıcı tarafından GNSS verilerinin değerlendirilmesinde tercih edilmektedir. Elde edilen hızlar ve hızların karesel ortalama hata bilgileri kullanılarak üretilecek olan Gerinim alanlarının elde edilmesi için Türkiye menşeli MDSOFT firmasının geliştirdiği GeodSuit yazılımı tercih edilmektedir. GeodSuit yazılımında girdi olarak kullanılarak bölgenin gerinim parametreleri elde edilir (GeodSuit 2017). Gerinim alanları geçmişte ve gelecekte yaşanmış ve yaşanacak olan depremlerin izlerini taşımaktadır. Elde edilen gerinim alanları sayesinde depremin saati tam olarak bulunamasa da olası deprem konumu ve tekrarlama periyotları hakkında tahmini bilgiler verir (Aktuğ 2017, Gezgin 2020).

5.2. GAMIT Yazılım Modülü

GAMIT; MIT tarafından ABD’de Scripps Oşinografi Enstitüsü (SIO), Avustralya Ulusal Üniversitesi ve Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi (CfA), birlikteliği ile geliştirilen geniş bir analiz yazılımıdır. GNSS ölçüleriyle hassas bağıl konum belirlemeye yönelik genel bir yazılım sistemi olan GAMIT, Unix altyapısında çalışmakta ve ham uydu-alıcı mesafesi (HUAM) verileri ve gözlemlenen fazlardan yararlanarak istasyonların 3B konumlarını, atmosferik etkileri, uydu yörüngelerini ve dünya dönüklük parametrelerini hesaplamak için geliştirilmiştir (Herring vd., 2015; Alkan, 2018). Bu hesaplamalar için geliştirilen GAMIT yazılımında, taşıyıcı fazındaki tam sayı belirsizliği, atmosferik etkiler

ve uydu-alıcı saat hataları hesaba katılarak çözümler gerçekleştirilmektedir. En iyi faz belirsizliklerini bulmak amacıyla, tek bir oturum ele alınarak bağımsız faz ölçümlerinin ikili farkları kullanılarak çeşitli dengeleme işlemleri uygulanır (Kara, 2018).

Bu yazılım yardımıyla GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi işleminde çeşitli aşamalar mevcuttur. İlk olarak uydu ön yörünge bilgileri ve uydu saat bilgisi elde edilir. Her bir nokta için dönüştürülen RINEX dosyalarındaki yaklaşık koordinatlar ve HUAM gözlemlerinin de yardımıyla ilgili istasyonların saat farkları hesaplanır. Bir sonraki aşamalarda ise faz gözlemlerinin kombinasyonları kullanılarak devir kesiklikleri belirlenip giderilmektedir. Sonrasında GAMIT yazılımı bir algoritma kullanarak bağımsız ikili farkları elde eder. İlk dengelemede ihtiyaç duyulan bütün parametreler ikili fark oluşturulan iyonosferden bağımsız olan gözlemler kullanılarak kestirilir. Bu parametreler yardımıyla belirsizlikler üretilir. Bu süreçte, birbirinden bağımsız ikili farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı eşleme ile gerçek taşıyıcı faz belirsizliklerinden üretilir. Bu eşleme, kısa baz uzunluklarından meydana getirilen belirsizlik çözümünün güvenilirliğinin avantajını ağırlık tamamlamada kullanarak birbirlerinden bağımsız ikili fark kümesini şekillendirir. Bir sonraki aşamada ise bağımsız L1 ve L2 faz gözlemlerini kullanarak ikili fark uzun dalga boylu belirsizlik parametreleri için en uygun tamsayı iteratif olarak hesaplanır. Uzun dalga boylu belirsizlikler bir kere güvenilir şekilde çözüldükten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanır. Bütün parametreleri saptamak ve ardışık olarak kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız ikili farklı gözlemler üzerinde ikinci dengeleme hesabı yapılır (Erdoğan 2005, Poyraz 2009, Tiryakioğlu, 2012).

Bu aşamaların tamamını uygulayabilmek için GAMIT yazılımı kendi içerisinde birçok alt yazılım kullanır. Bu yazılımların güvenilir sonuçlar vermesi için girdi dosyaları doğru bir şekilde hazırlanmalıdır. Verilerin değerlendirilmesi için gerek duyduğu ay ve güneş efemeris bilgileri, bağımsız istasyonlar hakkında bilgiler GAMIT yazılımı içerisindeki “tables” klasöründe bulunmaktadır. Herring vd. (2015) tarafından GAMIT kılavuzu hazırlanmıştır ve değerlendirme aşaması ile modellere ait detaylı bilgiye bu kılavuzdan ulaşılabilmektedir.

5.3 GLOBK Yazılım Modülü

GAMIT modülü tarafından üretilen “H” verileri Globk yazılımı için girdi verisi olarak kullanılmaktadır. GLOBK yazılımı veri olarak, nokta konumları, yörünge parametreleri ve yer dönüş parametrelerine ait kovaryans matrislerini kullanmaktadır. GLOBK yazılımının temel işleyiş algoritmasında “Kalman Filtresi” kullanılmaktadır.

Kalman filtresi, karmaşık sistemlerin en iyi (optimal) tahminini yapmak için kullanılan bir tekniktir. Geniş anlamda Kalman filtresi, hatalı verilerin mevcut olduğu ve sistem davranışının olasılıksal (stokastik) bir modelle tanımlandığı senaryolarda, bilinmeyen değişkenleri tahmin etmek için kullanılan bir filtreleme tekniğidir. Dahası, gelecekteki bir ölçüm anına dair sistem durumunu ve bu durumun olasılıksal yapısını belirleyebilmesi, onu diğer tahmin yöntemlerine kıyasla öne çıkaran temel nedenlerdendir. (Chui 1991, Doğan 2002). Kalman yöntemi özünde, bir nesnenin değişimini matematiksel olarak ifade eden diferansiyel denklemler ile aynı nesnenin davranışını anlamak için yapılan gözlem ölçümlerinin denklemlerinin uygun bir dengeleme metoduyla bir araya getirilmesi bulunur. Kalman Filtreleme yönteminin matematiksel modeli incelendiğinde, yukarıda sözü edilen bu temel prensibin matematiksel fonksiyonlarla ifade edildiği görülmektedir. GLOBK yazılımında GAMIT yazılımı gibi birçok alt yazılım kullanır. Bu yazılımlar HTOGLB, GLOBK, GLORG ve GLRED’dir. GAMIT yazılımı tarafından üretilmiş olan H verilerinin GLOBK modülünde kullanabilmesi için HTOGLB alt yazılımı kullanılır. GAMIT modülü tarafından her kampanya için farklı H verileri elde edilir. Elde edilen bu H dosyalarının entegrasyon işlemi GLRED alt yazılımı ile her istasyon için uzun ve kısa dönem zaman serileri üretilebilir. Üretilen bu H verileri ihtiyaç durumuna göre günlük, aylık ve yıllık olarak birleştirilebilir tek bir veri haline getirilebilir. Bu işlem için GLOBK alt yazılımı kullanılmaktadır. İstasyonlara ait hız verilerinin üretilmesi ve referans sisteminin tanımlanması için ise GLORG alt yazılımı kullanılmaktadır (Gezgin 2020).

GLOBK modülünde genel olarak iki tür kalman filtresi dengeleme yöntemi yapılmaktadır. Bu yöntemler ileri ve geri çözüm olarak adlandırılır. İleri çözüm yöntemi, ölçülerin ağırlıklı ortalamalarını ve hız gibi öteki model değişkenlerinin ardışık tahminlerini vermektedir. Geri çözüm yöntemi ise, ileri çözüm yöntemi ölçü

düzeltilmelerinin bulunmasını sağlamaktadır (Herring, 1990; MIT, 2002; Çakmak, 2010; Tiryakioglu, 2012).

GAMIT yazılımıyla elde edilen nokta ve uydu vektörü sonuçları, geniş bir varyans ve bağlantılı bir kovaryans matrisi sergiler. Fakat yüksek oranda sınırlandırılmış çözümlerin tipik geometrik bağlantılarının korunmasına olanak tanır. Bu yaklaşım, konumların eş zamanlı belirlenmesi amacıyla çeşitli oturumlardan sağlanan dengelemeleri bir araya getirme yeteneği sunar ve hem nokta hem de uydu parametrelerindeki değişik önsel varsayımların yol açtığı etkileri sınamak için başvurulan bir metottur. Bu imkanlar, özellikle güvenilir farklı ağlardan elde edilen dengelemelerin standart bir şekilde birleştirilmesinde elverişlidir (Yavaşoğlu 2003, Herring et al. 2015).

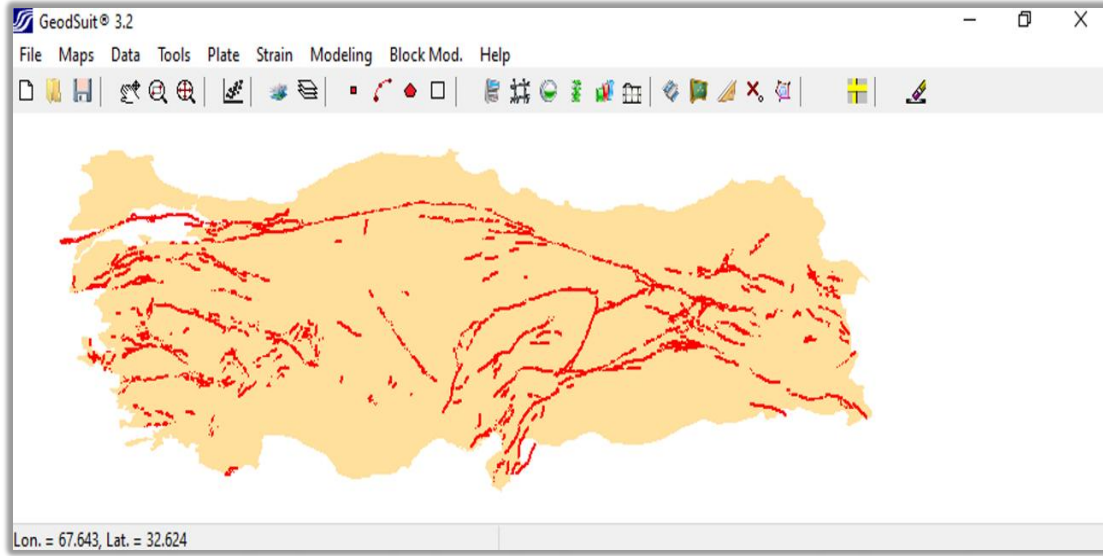
5.4. GeodSuit Yazılım Modülü

GeodSuit yazılımı, Türkiye menşeli MDSoft firmasının geliştirdiği ve deformasyon çalışmalarıyla alakalı pek çok işlemi gerçekleştirmeye imkân tanıyan, Windows tabanlı bir yazılımdır. Kullanıcı dostu (user-friendly) ve modern arayüzü sayesinde, gelişmiş kodlama veya algoritma bilgisi gerektirmeksizin pratik bir şekilde plaka hareketlerine bağlı analizler gerçekleştirilebilir. Yazılım bünyesinde, harita altlığı olarak il ve ilçe merkezleri, ülke sınırları, faylar ve deprem kataloğu mevcuttur (GeodSuit 2017).

GeodSuit yazılımı, jeolojik ve jeodezik açılardan hızlar, plaka hareketleri, yer kabuğu deformasyonu ve fay geometrisi gibi çeşitli geodinamik parametrelerin analizine yönelik bir yazılımdır (Aktuğ, 2017). Birçok akademik çalışmada kullanılmaya başlayan GeodSuit yazılımı tektonik hareketlerin modellenme işleminde birçok işlem aşamasını kendi bünyesinde barındırır (Kavak 2020, Eyubagil 2020, Solak 2020).

GeodSuit yazılımı öncelikle jeodezik verileri analiz etmek, özellikle GNSS ölçmelerinden elde edilen bilgileri kullanarak tektonik hareketleri ve sismik aktiviteleri analiz etmek amacıyla tasarlanmış bir yazılımdır. Yazılımın temel amacı, yer kabuğundaki deformasyonları nicel olarak belirlemek olup, bu amaçla gerinim alanlarının hesaplanması ve fay zonları boyunca blok hareketlerinin modellenmesi gibi çeşitli

analizler sunar. Farklı araştırmalarda GeodSuit'in gerinim alanı hesaplamaları için sıklıkla kullanılması, bu yazılımın jeodezik toplulukta güvenilir ve etkili bir araç olarak kabul gördüğünü göstermektedir. GNSS ölçmelerinden elde edilen hız alanları, GeodSuit'in gerinim hesaplamaları ve deformasyon modelleri için temel girdi verilerini oluşturur. Bu nedenle, GNSS verilerinin doğruluğu ve mekansal dağılımı, GeodSuit analizlerine ait sonuçların kalitesini doğrudan etkilemektedir (GeodSuit 2017, Solak 2020).

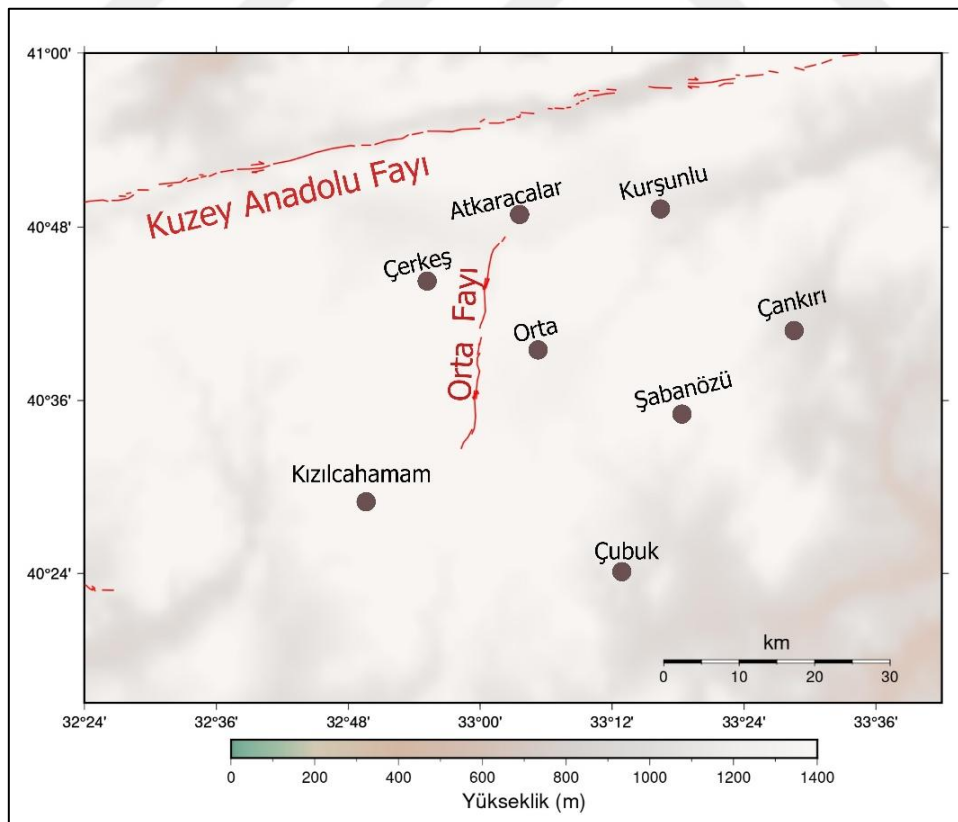


Şekil 5.1 GeodSuit yazılımı ara yüzü (Solak 2020).

6. SAYISAL UYGULAMA

Çankırı ili Batı Karadeniz bölgesi ve Orta Anadolu bölgesinin ortasında yer alan yaklaşık 200 bin nüfusa sahiptir. Ekonomisi, birden fazla sektörün katkısıyla çeşitlilik göstermektedir. Öne çıkan başlıca faaliyetler arasında, bina inşaatı önemli bir yer tutar. Ayrıca, nakliye ve boru hattı taşımacılığı gibi lojistik hizmetler ile gıda ürünlerinin imalatı da sanayi tarafını güçlendirmektedir. Finansal ve teknik hizmetler kapsamında ise sigorta ve reasürans hizmetleri ile mimarlık, mühendislik, teknik muayene ve analiz faaliyetleri dikkat çeker. Tüm bu sektörlerle ek olarak, bitkisel ve hayvansal üretim (tarım) ile avcılık ve ilgili hizmetler de il ekonomisinin temel unsurları arasında yer almaktadır.

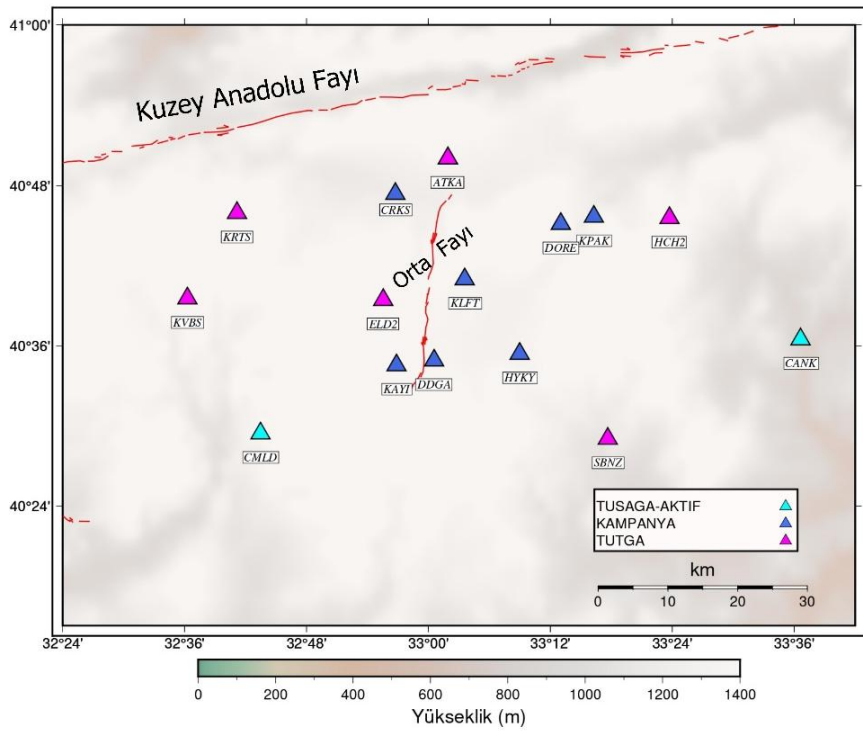
Çalışma alanı olarak seçilen, Türkiye'nin iç kesiminde, KAFZ'ın güneyinde yer alan Orta ilçesinin 10 km batısında bulunan orta fay hattıdır. Bu fay K10°D (Kuzey 10° Doğu) doğrultusunda, batıya eğimli bir fay hattıdır. Bu fay, Çankırı ve çevresindeki bölgenin jeolojik yapısını etkileyen önemli bir tektonik unsurdur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Orta fayı ve çevresindeki tektonik unsurlar

6.1 GNSS Ağı Tasarımı

Çalışma alanının istikşafı 2023 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün güncel diri fay haritası referans alınarak hazırlanmıştır. Sonrasında fay hattının doğu-batı kesimlerinde fay hattına paralel kuzey-güney kesimlerinde fay hattına dik olacak şekilde 15 noktadan oluşan bir GNSS ağı tasarlanmıştır. Ağ tasarımı hazırlanırken yeni nokta tesisi yapılmadan farklı kurum ve kuruluşlardan bölgede bulunan ve önceden tesis edilmiş olan C1-C2 noktalarından Merkezleendirme hatasını minimum düzeyde tutmak amacıyla tesis türü pilye olanlar talep edilmiş ve hassas konum bilgilerine ulaşılmıştır. Diğer kurumlardan gelen pilye noktaları için bölgede keşifler yapılmış ve hasar görmemiş 7 adet tesis türü pilye olan nokta belirlenmiştir. Bölgede TKGM'ye ait TUSAGA-Aktif ağında bulunan 2 adet nokta (CANK ve CMLD) ve HGM'ye ait TUTGA ağında bulunan 6 adet nokta (ATKA, HCH2, SBNZ, KVBS, KRTS ve ELD2) tespit edilmiş olup GNSS ağına dahil edilerek toplamda 15 noktadan oluşan ağ kurulmuştur. GNSS ağına bulunan noktaların Orta Fayı çevresindeki dağılımları ve konum bilgileri Şekil 6.2 ve Çizelge 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.2 Kurulan GNSS ağı.

Çizelge 6.1 Çalışma kapsamında kurulan GNSS ağındaki noktaların yaklaşık konumları.

NOKTA ADI	ŞEHİR	İLÇE	ENLEM	BOYLAM	TESİS
KRTS	Çankırı	Çerkeş	40°45'58"	32°41'9"	Pilye
CRKS	Çankırı	Çerkeş	40°47'23"	32°56'44"	Pilye
ATKA	Çankırı	Atkaracalar	40°50'3"	33°1'55"	Pilye
KVBS	Ankara	Kızılcahamam	40°39'34"	32°36'16"	Pilye
CMLD	Ankara	Çamlıdere	40°29'27"	32°28'28"	Pilye
SBNZ	Çankırı	Şabanözü	40°29'3"	33°17'38"	Pilye
CANK	Çankırı	Merkez	40°36'30"	33°36'37"	Pilye
HCH2	Çankırı	Kurşunlu	40°45'35"	33°23'43"	Pilye
ELD2	Çankırı	Orta	40°39'27"	32°55'33"	Pilye
KAYI	Çankırı	Orta	40°34'34"	32°56'51"	Pilye
DDGA	Çankırı	Orta	40°34'55"	33°0'33"	Pilye
HYKY	Çankırı	Orta	40°35'25"	33°8'58"	Pilye
KLFT	Çankırı	Orta	40°41'0"	33°3'34"	Pilye
DORE	Çankırı	Kurşunlu	40°45'9"	33°13'1"	Pilye
KPAK	Çankırı	Kurşunlu	40°45'41"	33°16'17"	Pilye

6.2 GNSS Ölçü Kampanyaları

Bölgede tasarlanan GNSS ağında 2023-2025 yılları arasında kampanya şeklinde 4 adet GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. İlk ölçü Kasım 2023 tarihinde 2 gün ve günlük ortalama 8-12 saat statik ölçü yapılarak gerçekleştirilmiştir. 2. Kampanya ölçü ise Temmuz 2024 tarihinde 2 gün ve günlük ortalama 8-12 saat, 3. Kampanya Şubat 2024 tarihinde 2 gün ve günlük ortalama 8-12 saat ve 4. Kampanya Ağustos 2025 tarihinde 2 gün ve günlük ortalama 8-12 saat statik ölçü olarak tamamlanmıştır. Yapılan ölçümlerde GNSS alıcılarının veri toplama aralığı 15 saniye olarak belirlenmiş ve ölçmelerde Ashtech Z-Xtreme marka GNSS alıcıları kullanılmıştır (Çizelge 6.2, 6.3).

Çizelge 6.2 GNSS Ağının Kampanya Tarihleri.

Kampanya No	Tarih	Ölçü Süresi (Gün)	Günlük Ölçü Süresi (Saat)	Ölçü Türü	Veri Toplama Aralığı
1	Kasım 2023	2 Gün	8-12 Saat	Statik	15 Saniye
2	Temmuz 2024	2 Gün	8-12 Saat	Statik	15 saniye
3	Şubat 2025	2 Gün	8-12 Saat	Statik	15 Saniye
4	Ağustos 2025	2 Gün	8-12 Saat	Statik	15 Saniye



Şekil 6.3 Kasım 2023-Ağustos 2025 arası GNSS ölçümleri.

Çizelge 6.3 GNSS ölçü zaman çizelgesi.

NOKTA ADI	ESKİ	2023	2024	2025
KRTS	✓	X	X	X
CRKS	X	✓	✓	✓
ATKA	X	✓	✓	✓
KVBS	✓	X	X	X
CMLD	X	✓	✓	✓
SBNZ	✓	X	X	X
CANK	X	✓	✓	✓
HCH2	✓	X	X	X
ELD2	X	✓	✓	✓
KAYI	X	✓	✓	✓
DDGA	X	✓	✓	✓
HYKY	X	✓	✓	✓
KLFT	X	✓	✓	✓
DORE	X	✓	✓	✓
KPAK	X	✓	✓	✓

6.3 GNSS Hız Alanının belirlenmesi

Bu çalışmada yapılan GNSS ölçümlerinin değerlendirilmesinde MIT tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır (Kara 2018). Bu yazılımla değerlendirme öncesinde alıcılardan elde edilen verileri RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına çevrilmiştir. Bu veri formatının

çevrilmesi için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bu çalışmada TEQC ve ASHTECH Office Converter yazılımları kullanılarak toplanan ham veriler RINEX formatına çevrilmiştir.

Bilgisayarda klasör adı Türkçe karakter (ç, ş, ğ, ü,ı) barındırmayan, 4 karakterden oluşan ve girdi-çıkı dosyalarının tümünü barındıran yeni bir dosya oluşturulur. Bu dosyanın içerisine ölçüm yapılan her bir yıla ait klasörler açılır. Bu yıl klasörlerinin her birinin içerisine RINEX klasörleri açılır ve RINEX verileri bu dosyanın içerisine atılır. GAMIT yazılımında RINEX dosyası içerisindeki veriler kesinlikle küçük harflerle yazılmalıdır aksi takdirde hata neden olan ciddi bir unsurdur. Yıl klasörlerinin içerisine RINEX klasörünün yanı sıra bir de “Tables” adında bir klasör eklenir.

Tables klasörünün içeriğinde GAMIT yazılımının GNSS verilerini değerlendirme aşamasında ihtiyaç duyduğu tüm girdi dosyalar vardır. Bu girdi dosyaları “gdetic.dat, tform.dat, antmod.dat, rcvant.dat, svnav.dat, leap.sec, luntab, nutabl, soltab, pole, ut1 ve itirf05.apr” dir.

Çizelge 6.4 Tables klasörü girdileri ve içeriği (Solak 2015).

GİRDİ ADI	GİRDİ İÇERİĞİ
gdetic.dat	Jeodezik datum parametreleri
tform.dat	Koordinat dönüşüm parametreleri
antmod.dat	Anten faz merkez değerleri
rcvant.dat	Alıcı ve anten özellikleri
svnav.dat	Uydu tanıma bilgileri
leap.sec	UTC’ye eklenen 1 saniyelik ofsetler
luntab.	Ay efemeris tablosu
nutabl.	Nutasyon efemerisi
soltab.	Yer ve güneş efemerisi
pole	IERS bülteni B değerleri
ut1	IERS bülteni UT1
itirf05.apr	Koordinat değerleri

GAMİT yazılımında tables klasöründe bulunması gereken 4 temel girdi dosyası düzenlenir. Bu girdi dosyaları “station.info, site.defaults, lfile., sestbl” dir. Bu 4 temel girdi dosyalarının içeriği değerlendirme yapılacak olan yıl klasörü içindeki RINEX klasöründeki GNSS ölçümleri dikkate alınarak hazırlanmaktadır. IGS (International GNSS Service) istasyonlarının isimleri, alıcı ve anten bilgilerinin bulunduğu

“station.info” girdi dosyasında, değerlendirme yapılacak olan noktaların adı, ölçüm tarihi ve saat aralığı ve alıcı anten bilgilerinin düzenlenmesi gerekmektedir (Çizelge 6.5; Çakanşimşek 2023).

Tasarlanan GNSS ağının daha güvenilir dünya bir ağ ile entegrasyon yapılabilmesi için stabilizasyon noktaları var olan IGS istasyonları içerisinde seçilmektedir. Böylelikle milimetre hassasiyete sahip olan IGS istasyonlarının koordinatları kullanılarak yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşmak mümkündür. “sites.defaults” girdi dosyası IGS istasyonlarına ek, verisi bulunan GNSS noktalarında değerlendirme yapılacak yıl dahilinde tanımlanmaktadır (Çakanşimşek 2023).

Çizelge 6.5 IGS istasyonları çizelgesi.

NOKTA ADI	ÜLKE	ŞEHİR	ENLEM	BOYLAM
VILL	İspanya	Madrid	356.05	40.44
BAKU	Azerbaycan	Bakü	49.81	40.37
ZECK	Rusya	Zelenchukskaya	41.57	43.79
ADIS	Ethiopia	Adis Ababa	38.77	9.04
DRAG	İsrail	Metzoki	35.39	31.59
TELA	İsrail	Telaviv	34.78	32.07
RAMO	İsrail	Ramon	34.76	30.60
POLV	Ukrayna	Poltava	34.54	49.60
NICO	Kıbrıs	Lefkoşe	33.40	35.14
GLSV	Ukrayna	Kiev	30.50	50.36
ISTA	Türkiye	İstanbul	29.02	41.10
BUCU	Romanya	Bükreş	26.13	44.46
SOFI	Bulgaristan	Sofya	23.39	42.56
BOR1	Polonya	Wielkopolska	17.07	52.28
MATE	İtalya	Basılıcata	16.70	40.65
GRAZ	Avusturya	Graz	15.49	47.07
NOT1	İtalya	Sicilya	14.99	36.88
POTS	Almanya	Brandenburg	13.07	52.38
ONSA	İsveç	Onsala	11.93	57.40
GRAS	Fransa	Maritimes	6.92	43.75

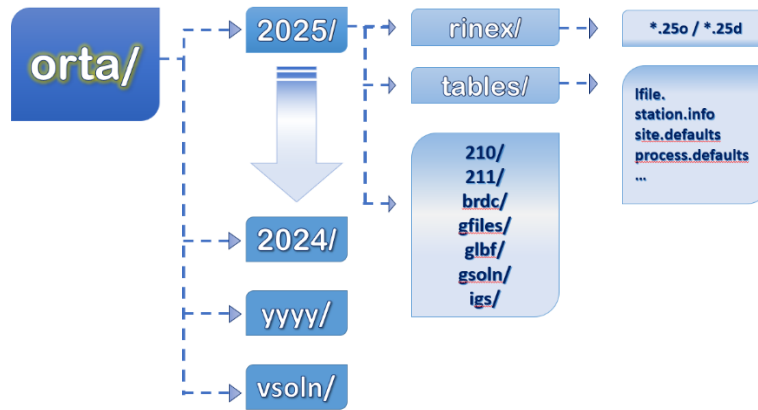
Değerlendirilen noktaların tümünün yaklaşık koordinatları “lfile.” girdi dosyasının içerisinde mevcuttur. İstasyonların daha önce yapılmış hesaplamalarından veya ilgili istasyonların RINEX dosyalarındaki başlangıç konumları, yaklaşık koordinat olarak

kullanılabilir. Metre düzeyindeki doğrulukta başlangıç koordinatları, GAMIT modülünde yapılan analiz için yeterlidir (Çakanşimşek 2023)

GAMIT yazılımında kontrol aşamalarını içeren komutların bulunduğu “sestbl.” Girdi dosyasında verilerin analizi için;

- ❖ Gerekli ölçümlerin ağırlıklarının ayarlanması
- ❖ Atmosferik yörünge değişkenlerinin tespiti
- ❖ Tamsayı belirsizliğinin giderilmesi
- ❖ Yerküre gelgiti, yer dönüşü ve anten faz merkezi değişkenleri gibi model bileşenlerinin tahminleri üretilmektedir (Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2010, 2018, Tiryakioğlu 2012).

Bu işlem adımlarından sonra “sh_gamit” komutu çalıştırılır ve değerlendirilir. Komutun hatasız tamamlanabilmesi için hata ve uyarı bildirimi alınmamalıdır. “sh_gamit” komutu çalıştırılmasıyla birlikte yıl klasörünün içerisinde aşağıdaki dosyalar sistem tarafından otomatik olarak üretilir (Solak 2015).



Şekil 6.4 Değerlendirme sonrası GAMIT klasör yapısı (Solak 2015).

İşlem aşamasında hatayla karşılaşılması durumunda gün dosyalarının içerisinde “GAMIT.fatal” dosyası oluşur. Dosyanın oluşması günlerde çözümün tamamlandığı anlamına gelir ve nerede hata olduğu “GAMIT.fatal” dosyasında yazmaktadır.

Gün dosyası içerisinde oluşan “qXXXXa.ddd” ve “autcln.post.sum.XXXX” dosyaları kontrolü sağlanır (XXXX proje adı, ddd GNSS yılının günü). Bu dosyaların içerisindeki seçili parametrelerin, literatürde tanımlanan değer sınırlarına uygunluğu aranmaktadır. Gerçekleştirilen bu kontrol ile, çözümü yapılmış günlük ölçümlerin gürültü seviyelerinin kabul edilebilirliğini ve modelin doğruluğunu anlamayı mümkün kılmaktadır (Dönmez 2018).

İlk olarak “qXXXXa.bbb” dosyasındaki “Postfit.NRMS” değerinin kontrolü sağlanmaktadır. Bu değer $0.15 < \text{NRMS} < 0.25$ aralığında olmalıdır (Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2010,2018, Tiryakioğlu 2012).

GAMIT yazılımında tamamlanmış olan değerlendirmeler için kontrol dosyalarından bir diğeri de “autcln.post.sum.XXXX” dosyasıdır. GNSS ölçümlerinin yapıldığı noktalara ilişkin sonuçların yer aldığı bu dosyada nokta bazında **Allan SD@100<50 ppb** (parts per billion) olması beklenir. Atomik osilatöre sahip alıcılar için 1 ppb'nin altında bir değer beklenmektedir (Herring vd. 2010, Tiryakioğlu 2012).

“autcln.post.sum.XXXX” dosyasında kontrol edilecek bir diğer değerde “Range RMS” dir. “Range RMS” değeri alıcılardaki P kod için bozucu bir etki olmadan metre mertebesinde küçük olması beklenmektedir. Eğer bozucu etki altında ise bu değer 1000-2000 mm arasında olmalıdır. 2000 mm’den büyük bir değer saptanmışsa o noktanın; RINEX klasöründe ve gerçek koordinatların öncül koordinatlara göre 10m veya üzerinde hatalı olduğu kabul edilebilir (Herring vd. 2010,2018, Tiryakioğlu 2012).

Bu kontroller sonucunda yukarıdaki kriterlere uygun sonuçlar elde edildiyse GAMIT yazılımı çözümü tamamlanmıştır ve sonraki aşama olan ölçümü yapılan GNSS noktalarına ait günlük ve yıllık zaman serilerin üretilmesi işlemine geçilir. “gsoln” klasörünün içerisinde günlük zaman serisi ve GLOBK yazılımına geçmek için kullanılacak olan H dosyalarının üretilmesi için “sh_glred” komutu kullanılmaktadır. Bu komut çalıştırılmasıyla birlikte gün sayısı kadar “gsoln” klasörünün içerisinde “.glr, .org, .prt” uzantılı dosyaları elde edilir (Solak 2015). Bu komutların yanı sıra değerlendirmede kullanılacak olan H dosyaları ile zaman serilerini inceleyebilmek için

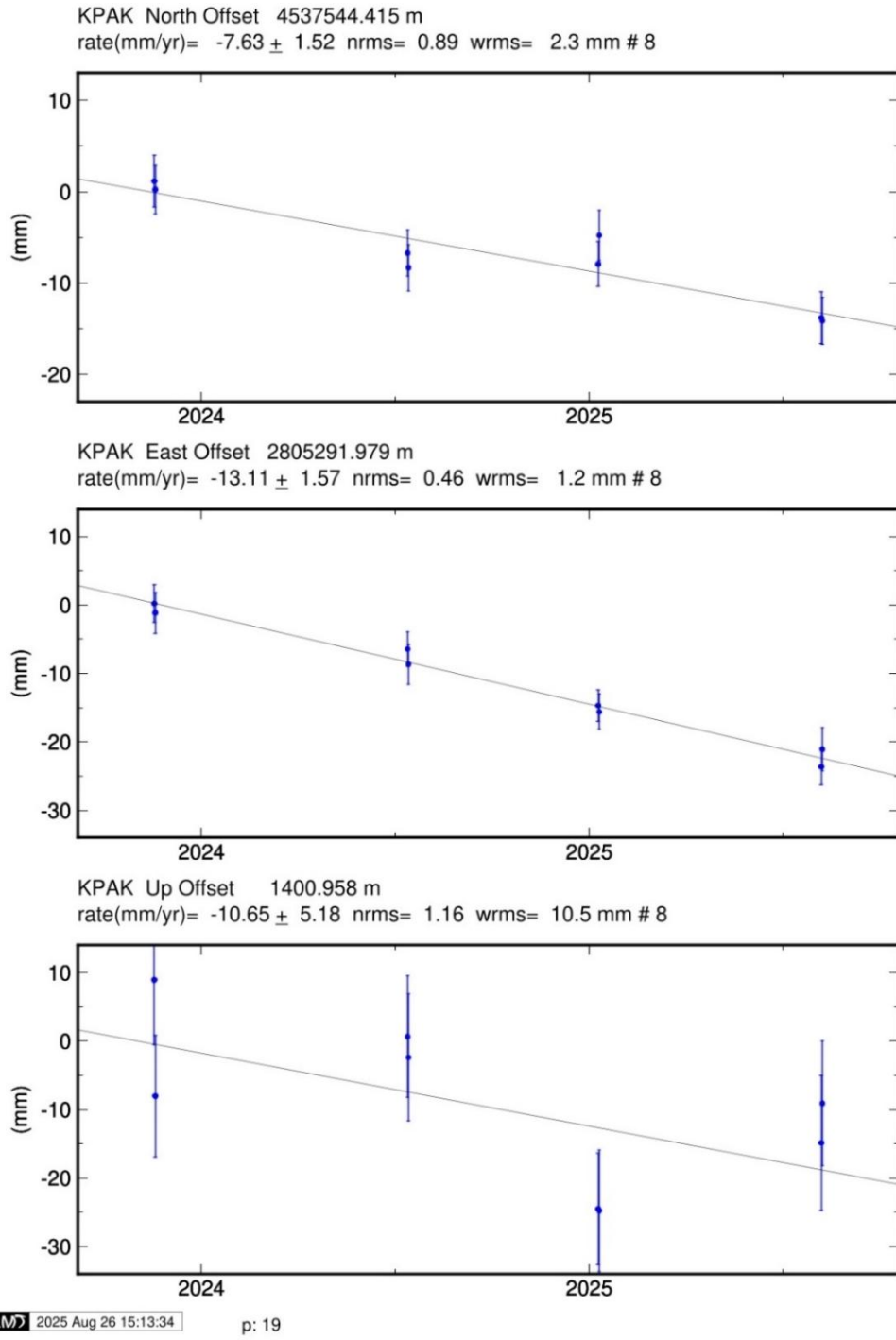
psbase_AAAA.SITE (SITE nokta adı, AAAA proje adı) dosyaları oluşur (Tiryakioğlu 2012).

Farklı günlerde aynı noktada yapılan ölçümlerin yorumlanmasında günlük zaman serilerinin büyük önemi vardır. Günlük zaman serileri bilhassa aynı gözlem noktasında farklı zamanlarda yapılan ölçülerin değerlendirilmesinde kritik bir işlev görür. Günlük zaman serilerinden sağlanan normlandırılmış karesel ortalama hata ile ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata sonuçları incelenerek, tekrar eden ölçümler hakkında değerlendirmeler yapmak mümkündür (Tiryakioğlu 2012).

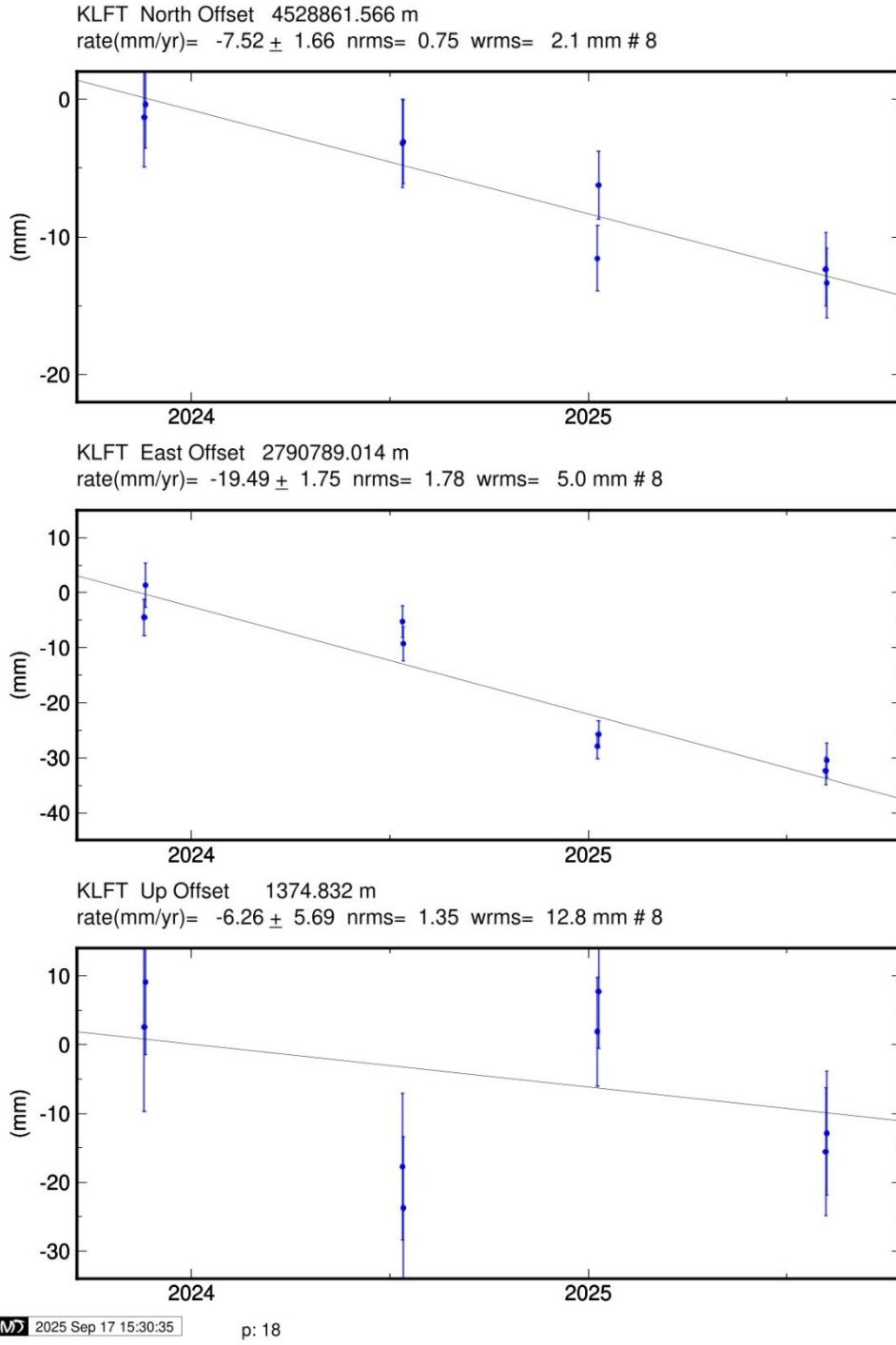
24 saatlik ölçümler sonucunda koordinat belirsizliği yatay koordinatlar için WRMS değeri 1-2 mm saptanırken, yüksekliklerde ise bu değerin 2-4 mm olması beklenmektedir. 8 saatlik ölçümler sonucunda ise koordinat belirsizliği yatay koordinatlar için WRMS değeri 2-4 mm saptanırken, yüksekliklerde ise bu değerin 10-15 mm olması beklenmektedir (Herring vd. 2010,2018). Gün dosyalarının kontrol işlemi sonrasında hız alanlarının hesaplanma aşamasına geçilir.

GLOBK yazılımı Kalman fitresi tekniği sayesinde farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilen yersel ve uzaysal ölçümleri birleştirir. Yeryüzünün dinamik yapısı göz önüne alındığında, bu yapının hızı ve hareket yönü bilgilerine dayalı oluşturulan modeller, yapılan ölçümlerin ve hesaplamaların mantıklı bir biçimde değerlendirilmesinde önemli bir rol üstlenir. GLOBK yazılımı ile yeryüzünün bu dinamik yapısının modellenmesinin yanı sıra koordinat değişiminin baz alan yıllık zaman serisini oluşturan kalman filtresi tekniğidir. Bu filtrenin ana prensibi, eldeki verilerin analizi sonucu oluşan model sayesinde ilerideki verileri kestirmeye dayanır (Poyraz 2009, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

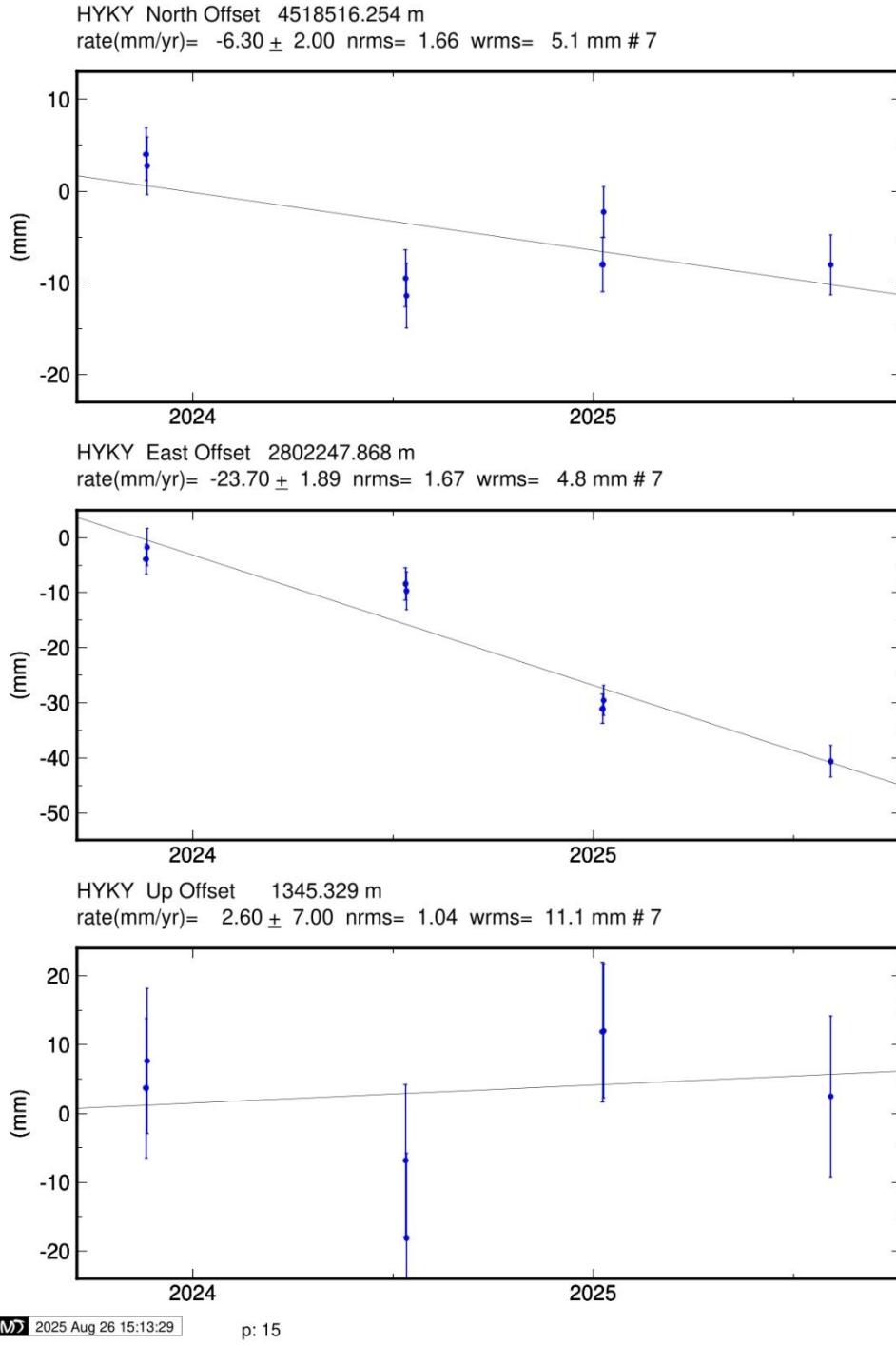
Değerlendirmenin ikinci adımında ise GLOBK yazılımında ilk olarak ana klasörün içerisine yıllık zaman serilerinin üretileceği “vsoln” dosyası oluşturuldu. “sh_plotcrd” komutu çalıştırılarak ölçümü yapılan GNSS noktaları ve IGS istasyonlarının yıllık zaman serileri üretilmiştir (Şekil 6.5-6.7).



Şekil 6.5 KPAK noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi



Şekil 6.6 KLFT noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi



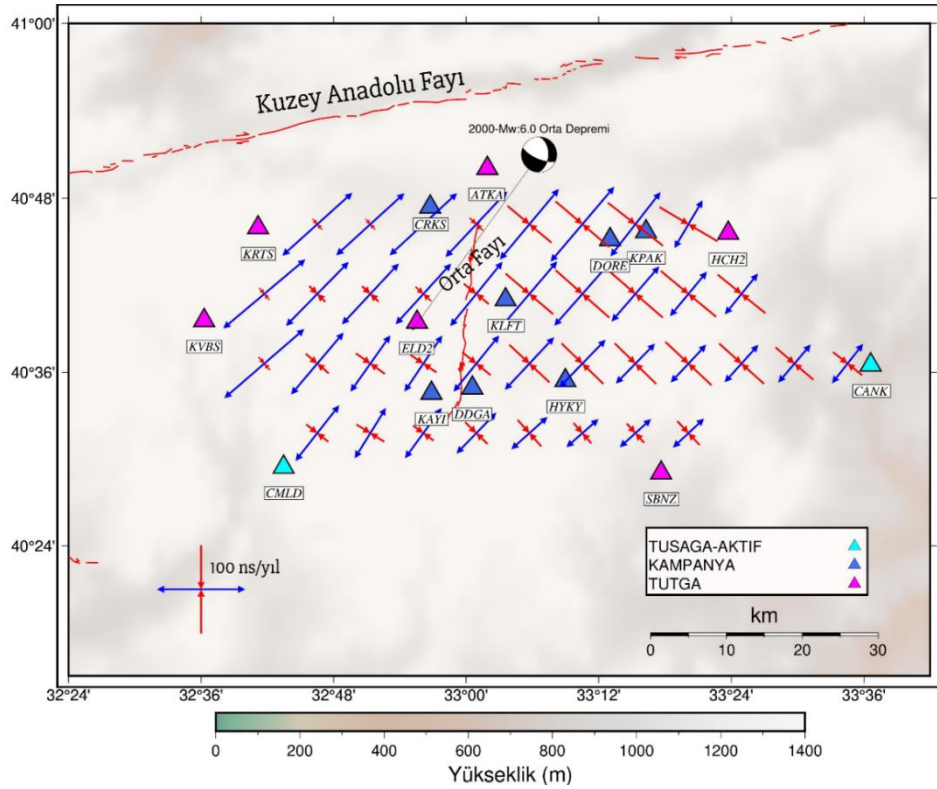
Şekil 6.7 HYKY noktasının 2023.8-2025 yılı aralığı zaman serisi

Yıl klasörlerinin her birinde günlük zaman serilerinin üretilmesi için “sh_glred” komutu çalıştırılır. Bu komut sonrasında H dosyaları (h-file) oluşmaktadır. Bu H dosyaları “haabbcc1200_DDDD.glx” (DDDD: proje adı, aa: yıl, bb: ay, cc: gün) formatındadır. GLOBK yazılımında H dosyalarının birleştirilmesinde her bir H dosyası bağımsız olarak değerlendirilmektedir (Herring vd. 2010, Tiryakioğlu 2012b, Dönmez 2018, Eyübagil 2020). Her bir gün için farklı olan H dosyalarında bölgesel ve küresel yörünge modüllerinin yanı sıra, değerlendirme neticesinde elde edilen varyans-kovaryans matrislerini de içermektedir (Poyraz 2009, Aladoğan 2017). “.gdl” dosyalarının oluşturulmasından sonra GAMIT dosyasında bulunan “Tables” klasöründen GLOBK yazılımını yönetecek olan “globk_vel.cmd, glorg_vel.cmd” komut dosyaları kopyalanır. Bu komutlar aracılığı ile IGS tarafından tanımlanan genel referans sistemine dönüşümünde kullanılan istasyon noktalarına, yer dönüş ve uydu yörünge parametrelerine kısıtlamalar uygulanır. GLOBK yazılımı birleştirme işlemini referans sistemi tanımlanmadan yapmaktadır. Dolayısıyla “globk_vel.cmd” komut dosyasındaki ITRF2014 referans sistemi tanımlanmıştır. GLOBK yazılımı için önemli aşamalardan birisi de Stabilizasyon çalışmalarıdır. Global stabilizasyon çalışmasında değerlendirmeye eklenen IGS istasyonlarından uygun olanlar kullanılmıştır. Bu yüzden IGS istasyonlarının seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada Anadolu plakasını merkez olarak kabul edilmiş olup seçilen 20 IGS istasyonundan istikrarlı zaman serileri olan 15 istasyonun stabilizasyon çalışmalarında kullanılması öngörülmüştür (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 Stabilizasyonda kullanılan IGS istasyonları.

NOKTA ADI	ÜLKE	ŞEHİR
ZECK	Rusya	Zelenchukskaya
DRAG	İsrail	Metzoki
RAMO	İsrail	Ramon
POLV	Ukrayna	Poltava
NICO	Kıbrıs	Lefkoşe
GLSV	Ukrayna	Kiev
ISTA	Türkiye	İstanbul
BUCU	Romanya	Bükreş
SOFI	Bulgaristan	Sofya
BOR1	Polonya	Wielkopolska
GRAZ	Avusturya	Graz
NOT1	İtalya	Sicilya
POTS	Almanya	Brandenburg
ONSA	İsveç	Onsala
GRAS	Fransa	Maritimes

ortalama hata değerleri temel girdi verisi olarak kullanılır. GeodSuit yazılımına ait matematiksel algoritmanın detayları Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından sunulmuştur. Bu tez çalışmasında GNSS ölçmeleri ile belirlenen koordinatlarda yükseklik verilerinin gereken doğrulukta elde edilemediği için 2 boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Çalışma alanı 0.1 x 0.1 derecelik gridlere ayrılmıştır. Ayrılan her grid köşesine ait gerinim hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda orta fayı ve civarının güncel gerinim alanları hesaplanmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Orta fayı ve civarı için elde edilen gerinim haritası

Çalışma kapsamında üretilen Orta Fayı ve çevresine ait gerinim alanı incelendiğinde yaklaşık KD-GB yönlü baskın açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar göze çarpmaktadır. Açılma değerlerinin çalışma alanının güneydoğusundan kuzeybatısına doğru artış gösterdiği, sıkışma değerlerinde tam ters bir trend gözlenmektedir (Şekil 6.9). Buna ek olarak elde edilen BGB-DKD açılmalar, Kartal ve Kadirioglu (2015) tarafından Dodurga Fayının bulunduğu bölge için yapılan görüşlerle de uyumludur.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, İl fiziki sınırlarının %50'den fazlasının I. derece deprem bölgesi içerisinde olduğu (Şekil 4.2) Çankırı ili'nin kuzey batısında yer alan ve son on yıl içinde deprem etkinliğinin belirgin olarak arttığı gözlenen Orta Fayı'na (Demirtaş vd., 2002) ait sismik potansiyelin belirlenmesi amacıyla jeodezi tabanlı bir GNSS çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Orta Fayı'na yaklaşık dik olacak şekilde belirlenen profiller üzerinde C1-C2, TUTGA ve TUSAGA-AKTİF noktaların oluşan 15 noktalı bir ağ tasarımı yapılmıştır. İlgili ağ üzerinde 2023-2025 yılları arasında gerçekleştirilen 4 GNSS ölçü kampanyasından elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek Orta Fayı ve çevresinin güncel hız alanı Avrasya plakası sabit kabul edilerek ITRF14 referans sisteminde elde edilmiştir. Bölgedeki dinamik deformasyonun göstergelerinden biri kabul edilen gerinim oranlarının elde edilmesi amacıyla mevcut hız alanı ve noktaların hızlarına ait belirsizlikler GeodSuit yazılımı yardımıyla gerinim'e dönüştürülmüştür. Elde edilen hız ve gerinim alanları bölgenin tektoniği ve bölgede geçmiş yıllarda meydana gelen depremler göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen hız alanı incelendiğinde, Avrasya plakası sabit alınarak çalışma bölgesinde yıllık 15–20 mm'lik Batı yönünde baskın bir hareket belirlenmiştir. Noktalara ait standart sapma değerleri incelendiğinde TUSAGA-Aktif noktalarına ait değerlerin 1 mm civarında, TUTGA noktalarına ait değerlerin 1-2 mm arasında ve C1-C2 noktalarına ait kampanya ölçüleri gerçekleştirilen noktalara ait belirsizlik değerlerinin ise 2-4 mm arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Bu duruma ağırlık ilk ölçülerinin 2023 yılında yapılması, bu sebeple 4 kampanya ölçü olmasına rağmen ölçü süresinin (1,5 yıl) kısa olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Elde edilen hız alanının büyüklük ve yön açısından ülke ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalarla ve Anadolu'nun genel hareketiyle uyum içerisinde olduğu düşünülmektedir (Yavaşoğlu vd., 2011; Aktuğ vd., 2013; Kurt vd., 2023). Buna ek olarak Orta Fayı'nın en doğusunda bulunan CANK noktasının B-KB yönlü hareketi, fayın en batısında yer alan CMLD noktasının B-GB yönlü hareketi ile birlikte düşünüldüğünde Doğu'da baskın gözlenen KB yönlü hareketin Batı bölgelerde GB'ye dönmesi açısından elde edilen bulguların ülke ve bölge tektoniği ile de uyum içerisinde olduğu düşünülmektedir. Orta Fayı ve çevresinde gelecek yıllarda yapılacak

olan ölçülerle birlikte kampanya sayısı ve kampanyalar arası süresinin artmasıyla birlikte noktalara ait belirsizliklerin 2 mm/yıl civarına indirilerek ağın kapsadığı alan ile ilgili daha sağlıklı çıkarımların yapılabilmesi öngörülmektedir.

Çalışma kapsamında üretilen Orta Fayı ve çevresine ait gerinim alanı incelendiğinde yaklaşık KD-GB yönlü baskın açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar göze çarpmaktadır. Açılma değerlerinin çalışma alanının güneydoğusundan kuzeybatısına doğru artış gösterdiği, sıkışma değerlerinde tam tersi bir trend gözlenmektedir. Elde edilen bulgular 2000 yılında meydana gelen Orta-Çankırı depreminin (Mw:6) ana şokuna ait odak mekanizması çözümü ile karşılaştırıldığında, odak çözümünün fay hareketinin ağırlıklı olarak normal bileşen içeren sol yönlü doğrultu atımlı olduğunu ortaya koymasından ötürü gerinim alanı ve odak çözümü sonuçlarının uyum içerisinde olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanının sınır bölgeleri de dahil olmak üzere gerinim alanının homojen bir desen gösterdiği farklı büyüklükler de olsa da rotasyon açısından bölgede aynı hareketlerin gözlenebildiği söylenebilmektedir. Ancak elde edilen gerinim büyüklüklerinin bu bölge için görece yüksek olması nedeniyle gerinim birikimine ait yorumlamaların daha geniş bir ağ kullanılarak yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Literatürde bulunan fay karakterine yönelik farklı görüşlere gerinim alanıyla birlikte sayısal bulgular sunan bu çalışmadan elde edilen sonuçların önemli olduğu düşünülerek, ilerleyen yıllarda Orta Fayı ve çevresinde kurulan ağın mekânsal çözünürlüğünün artırılması ve ilave GNSS kampanya ölçüleri ile birlikte fay parametrelerinin daha yüksek doğrulukla hedeflenmesinin bölge tektoniğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında elde edilen bilgiler ışığında tektonik amaçlı yapılacak GNSS ölçmelerinde dikkat edilmesi gereken hususlar ve bölgenin tektoniği ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Orta Fayı ve çevresinde oluşturulan ağ'da bulunan noktalara ait sonuçların güncellenmesi ve bölge ile ülke tektoniğine katkı sağlaması amacıyla bölgede GNSS ölçüleri sıklaştırılarak devam ettirilmelidir.

- Bölgede sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının sıklaştırılması ile çevrimiçi izleme ağları, kampanya ağları ile desteklenmelidir.

8. KAYNAKLAR

- Aktug B, Nocquet J, Cingöz A, Parsons B, Erkan Y, England P, vd., 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114, B10.
- Aladoğan K, 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Afyonkarahisar.
- Alkan N M, 2018. Kuzey anadolu fayı (kaf) Bolu-Çankırı ve Amasya bölgelerindeki asismik tektonik yapının periyodik GPS ölçümleri ile belirlenmesi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chui C K, Chen G, 1991, Kalman Filtering: With Real- Time Applications, Springer, Berlin.
- Çakanşimşek E B, 2023, 20 Temmuz 2017 (mw:6.6) Bodrum-Kos depremi sonrası Gökova Körfezi'ndeki gerinim alanlarının belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Afyonkarahisar.
- Cakir, Z., & Akoglu, A. M. (2008). Synthetic aperture radar interferometry observations of the M= 6.0 Orta earthquake of 6 June 2000 (NW Turkey): Reactivation of a listric fault. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(8).
- Çakmak R, 2010. Jeodezik çalışmalarla marmara bölgesinde deprem döngüsünün belirlenmesi ve modellerle açıklanması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çankırı IRAP raporu, 2021, Çankırı
- Çorumluoğlu Ö., 2000, Yüksek Presizyonlu GPS Teknikleri Lisansüstü Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya

- Demirtaş R, 2020, Ankara ve Çevresinde Deprem Üreten Diri Fayların Deprem Tehlikesi ve Riski, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 12s.
- Demirtaş R, Iravul Y, Erkmen C, Baran B, Yaman M, Baykal M, Kılıç T, 2000, 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi, 10s.
- Demirtaş R, Iravul Y, Erkmen C, Baran B, Yaman M, Baykal M, Kılıç T, 2019, 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi (Ml=5.9) ve 22 Ağustos 2000 Uruş-Güdül (Ankara) Depremi (Ml=4.8), 22s.
- Dirik K ve Göncüoğlu, M. C., 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia, International Geology Review, 38, 807-817.
- Dirik K, 2001. Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian fault zone, Central Anatolia, Turkey, Geodinamica Acta, 14, 147-158.
- Doğan O, 2021, Denizli bölgesinin gerinim alanlarının jeodezik yöntemle belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Afyonkarahisar.
- Doğan U. (2002). 17 Ağustos 1999 İZMİT Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Dönmez E, 2018, Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri ile İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 52, Afyonkarahisar.
- Emre Ö, Duman T Y, Doğan A, Özalp S, 2000, Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi Yine mi KAF, Bilim ve Teknik Dergisi, 4s, Ankara.
- Emre Ö, Duman T Y, Doğan A, Özalp S, 2001, 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi: kaynak fay ve hasar dağılımına etki eden jeolojik faktörler, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri, 16s, Ankara.
- Erdoğan S, 2005, Burdur Fethiye Fay Zonunun GPS ile İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 115s, İstanbul.
- Ersoy N, 1997, İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS Ölçüleri ile Değerlendirilmesi ve Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen

Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Üniversite Yayın No: YTÜ.En.Dr.-97.0330/Enstitü Yayın No: En.FBE-97.008 YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

Eyübagil E E, 2020, GNSS Ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Afyonkarahisar.

GeodSuit, 2017, GeodSuit Kullanım kılavuzu, Ankara

Gezgin C, 2015, GNSS Gözlem sürelerinin baz çözümlerine etkisinin araştırılması, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 143s, Aksaray.

Gezgin C, 2020, Gns ve insar teknikleri ile Tuz Gölü fay zonu'nun (Tgfb) kinematik analizi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 171s, Aksaray.

Gezgin, C., Tiryakioğlu, İ., Ekercin, S., & Gürbüz, E. (2020). Tuz Gölü fay zonu (TGFZ) Güney kesimine ait tektonik hareketlerin gns gözlemleri ile izlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 456-464.

Herring T A, 1990. Geodesy by radio interferometry: the application of kalman filtering to very long baseline interferometry, Journal of Geophysical Research, 95, 12561-12581

Herring, T. A., (1999). "Geodetic Applications Of GPS", IEEE, 87:1

Herring T, King R, McClusky S, 2010, Introduction to gamit/globk, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.

Herring T.A., Floyd, M. A., King, R.W., ve McClusky, S.C. (2015). Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program 10.6. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.

Herring T A, King, R.W., Floyd, M. A., ve McClusky, S.C. (2015). GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. Of Technol.

Herring T A, King R W, Floyd M A, McClusky S C, 2018, GAMIT (GPS at MIT) Reference Manual Version 10.7., Department of Earth, Atmospheric, and

- Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA, 1-168.
- Hoffman-Wellenhof B., Lichtenegger, H. And Collins, J., 1997, GPS Theory and Practice, New York.
- Kara İ., 2018, Orta Marmara Fayının Kinematığının GPS Ölçmeleriyle İzlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, İstanbul.
- Karaman, E. (2006). Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi.
- Kartal, R. F., Kadirioğlu, F. T., & Zünbül, S. (2015). Kuzey Anadolu fay zonunun kinematığı. AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı.
- Kavak S., 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Afyonkarahisar.
- Kibici, Y. (2005). Deprem, A.K.Ü. Yayınları, 59.
- Koca, B. ve Ceylan, A., 2018. Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler, Geomatik, 3, 1, 63-73.
- Koçyiğit, A. ve Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 284, 317-336.
- Koçyiğit, A., 2000. Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla basenlerinin uygulamalı çalışması Bildiri Özetleri, TPJD Bülteni, Özel sayı 5, 1-26, Aksaray.
- Koçyiğit, A., 2003. Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5, 1-26.
- 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.
- Köle M M, 2016, Çankırı İli için Deprem Olasılık Tahmini, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Araştırma Makalesi, 16s, Çankırı.
- Kurt, A. I., Özbakır, A. D., Cingöz, A., Ergintav, S., Doğan, U., & Özarpacı, S. (2023). Contemporary velocity field for Turkey inferred from combination of a dense

network of long term GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 275-293.

Kürçer, A. ve Gökten, Y. E., 2014. Paleosismolojik Üç Boyutlu Sanal Fotoğraflama Yöntemi, Örnek Çalışma: Duru-2011 Hendeği, Tuz Gölü Fay Zonu, Orta Anadolu, Türkiye, Türkiye Jeoloji Bülteni, 57, 1, 45-71

Mcclusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N. ve Veis, G. (2000). Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucaus. *Journal of Geophysical Research*, 105: 5695.

MIT (Massachusetts Institute of Technology), 2002. GAMIT-GLOBK Tutorial, GLOBK Velocity and Coordinate Solutions, 10-26.

Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, İstanbul.

Reilinger, R., Mcclusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, 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., Dmitrota, 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. *Tectonics*, 111: 1-26.

Shen, Z. K., Jackson, D. D. ve Ge, X. B., 1996. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements. *J. Geophys. Res.*, 101, B12, 27957-27980.

Solak H İ, 2015, GNSS hızları ile Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Afyonkarahisar.

- Solak H İ, 2020, İzmir-balıkesir transfer zonu ve çevresindeki güncel deformasyonların gnss yöntemi ile incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 163s, Afyonkarahisar.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. 1981. Türkiye ve civarının deprem kataloğu. TÜBİTAK, proje no: TBAG 341
- Şahin Yılmaz S, 2009, Türkiye'nin levha tektoniği açısından değerlendirilmesi ve tektonik birlikler, Ders notları, 22s.
- Şengör, A. M. C., (1979). The North Anatolian Transform Fault: its Age, Offset, and Tectonic Significance. *Journal of the Geological Society*, 136 (3), 269–282
- Şengör, A. M. C., (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Ankara, Türkiye: Türkiye Jeoloji Kurumu.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu F., (1985). Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37*, 227-264.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Claude Rangin, C. (2004). The North Anatolian Fault: A new look. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33: 37–112.
- Şengüler İ, 2007, Orta-Şabanözü (Çankırı) Yöresinin Jeolojisi ve Kömür Potansiyeli, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 31, Araştırma Makalesi, 10s.
- Taymaz T, 2000, Çankırı Depremi ve KAF, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2s, Ankara.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerilim alanlarının belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 173s, İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Koçbulut, F., Gezgün, C., Solak, H. İ., Eyübagil, E. E., Çakanşimşek, E. B., ... & Poyraz, F. (2024). 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Ecemiş Fayı'nda Meydana Gelen Kabuksal Deformasyonların GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14(2), 913-931.

- Türkecan,A., Hepşen, N., Papak, İ., Dinçel, A., Akbaş, B., Bedi, Y., Karataş, S., Özgür, İ.B., Akay, E., Sevin, M., Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E. ve Saraç, G., 1991, Seben-Gerede (Bolu)-Güdül-Beypazarı (Ankara ve Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) yörelerinin (Köroğlu dağları) jeolojisi ve volkanik kayaçların petrolojisi. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 9193.
- Yavaşoğlu H, 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.
- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 183s, İstanbul.
- Yavaşoğlu H., Tarı E, Tüysüz O, Çakır Z, Ergintav S, 2011, Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. Journal of Geodynamics, 343 s.
- Yeats R S, Sieh K E, Allen C R, 1997, The Geology of Earthquakes, Oxford University Press.
- Yıldız F.ve Kahveci M. (2009). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, Nobel Yayınları, Ankara.

İnternet Kaynakları

1. https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumland%C4%B1rma_sistemi, (27/03/2025)
2. <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, (27/03/2025)
3. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>, (27/03/2025)
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>, (27/03/2025)
5. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/navic>, (15/09/2025)

6. <https://m.star.com.tr/teknoloji/turkiye-belgeledi-saniyeler-icinde-59-metre-yer-degistirdi-haber-1769907/>, (24/09/2025)
7. <https://deprem.afad.gov.tr/stations>, (15/04/2025)
8. <https://www.karatekin.edu.tr/cankiri-karatekin-universitesi-ogretim-uyesi-alim-ilani-25463-duyurusu/cankiri-nin-depremselligi-konferansi-gerceklestirildi-34006-haberi-karatekin>, (15/04/2025)
9. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2019/09/14_Eylul_2019_CANKIRI_Depremleri.pdf, (15/04/2025)

