



**KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) ORTA SEGMENTİNİN BLOK
HAREKETLERİNİN GNSS İLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Kayhan ALADOĞAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2025

Bu tez çalışması 123Y293 numaralı proje ile TÜBİTAK ve ODMYO19001.23.001 numaralı proje ile Hitit Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) ORTA SEGMENTİNİN
BLOK HAREKETLERİNİN GNSS İLE BELİRLENMESİ

Kayhan ALADOĞAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Kayhan ALADOĞAN tarafından hazırlanan “Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Orta Segmentinin Blok Hareketlerinin GNSS İle Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniv. İnşaat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniv. Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR
Dokuz Eylül Üniv. Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniv. Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Üniv. Mühendislik Fakültesi

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.

24/01/2025

İmza

Kayhan ALADOĞAN

ÖZET

Doktora Tezi

KUZHEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) ORTA SEGMENTİNİN BLOK HAREKETLERİNİN GNSS İLE BELİRLENMESİ

Kayhan ALADOĞAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu tez çalışması kapsamında odaklanılan bölge, Kuzey Anadolu'nun orta kesiminde yer almakta olup, doğuda Tokat-Niksar, batıda Kastamonu-Ilgaz, kuzeyde Sinop ve güneyde Yozgat ile sınırlandırılmaktadır. Çalışma bölgesi olarak belirlenen bu alanda Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) anakolu haricinde güneye ve kuzeye doğru uzanan splay (ana fay zonundan ayrılan faylar) faylar da bulunmaktadır. Bunlardan biri olan Merzifon-Esençay Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olup doğu-batı doğrultusunda KAFZ'a paralel olarak Çorum'un İskilip İlçesine kadar uzanmakta ve Esençay, Amasya, Suluova, Diphacı, Laçın ve İskilip Segmentlerinden oluşmaktadır. Bir diğeri ise Tokat'ın Niksar İlçesinden başlayıp Çankırı Havzasına kadar uzandığı bilinen Sungurlu Fayı'dır. Ayrıca, Kastamonu Havzasının kuzey kesiminde yer alan Doğu-Batı doğrultusunda uzanan Ekinveren Fayı ve KAFZ ile Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında kuzeybatı-güneydoğu yönünde meydana gelen sıkışma nedeniyle Geç Pliyosen döneminde aktif hale gelmiş olan Eldivan Fayı'dır.

Bu çalışmada KAFZ'ın anakolu ile orta bölümündeki splay fayların oluşturduğu güncel deformasyonu belirlemek amacıyla 118 noktadan oluşan bir GNSS ağı tasarlanmıştır. Bu ağda yer alan noktaların geçmiş yıllardaki verileri temin edilmiş ve belirlenen noktalarda 2023-2024 yıllarında kampanya tipi GNSS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirmesi yapılmış ve bölgenin güncel hız alanı <2 mm/yıl belirsizlikle üretilmiştir. Bu hızlar yardımıyla bölgenin güncel kinematik özelliklerini belirleyebilmek için 2, 3, 4, 5 ve 6 bloklu (nihai model) model

tasarlanarak, ters çözüm yöntemi ve üç boyutlu elastik yarı uzaysal yer değiştirme modeli ile bloklara ait üç bileşendeki rotasyonel hareketler ve blok sınırlarını temsil eden faylara ait faya paralel ve dik hızlar TDEFNODE ve GeodSuit programları ile hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, KAFZ orta kesiminde yer alan splay fayların aktif olduğunu ve bölgedeki deformasyonun yalnızca anakol üzerinde değil, bu faylar boyunca da dağıldığını göstermektedir. Blok model sonuçları, KAFZ anakolu boyunca sağ yanal hareketin doğudan batıya doğru arttığını ve splay faylar üzerinde de belirgin kayma hızlarının bulunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle Sungurlu Fayı'nın sağ yanal ters bileşen, Merzifon-Esençay Fayı'nın yanal bileşene sahip eğim atımlı ve Ekinveren Fayı'nın sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, bölgedeki gerinim birikiminin sadece KAFZ anakolunda değil, aynı zamanda splay faylar boyunca da devam ettiğini ve deprem tehlike analizlerinin bu doğrultuda yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

2025, xiv + 126 sayfa

Anahtar Kelimeler: Blok Model, Tektonik, Kuzey Anadolu Fay Zonu, GNSS, Merzifon-Esençay Fayı, Sungurlu Fayı, Ekinveren Fayı.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF BLOCK MOVEMENTS OF THE MIDDLE SEGMENT OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE (NAFZ) BY GNSS

Kayhan ALADOĞAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

The region focused in this thesis is located in the middle part of Northern Anatolia and is bounded by Tokat-Niksar in the east, Kastamonu-Ilgaz in the west, Sinop in the north and Yozgat in the south. In addition to the main branch of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), there are also splay faults (faults diverging from the main fault zone) extending to the south and north. One of these, the Merzifon-Esençay Fault, is a right-lateral strike-slip fault and extends in the east-west direction parallel to the NAFZ until İskilip (Çorum) and consists of Esençay, Amasya, Suluova, Diphacı, Laçın and İskilip Segments. Another one is the Sungurlu Fault, which is known to start from Niksar (Tokat) and extend to the Çankırı Basin. In addition, the Ekinveren Fault, which is located in the northern part of the Kastamonu Basin, extends in the east-west direction and the Eldivan Fault, which became active in the Late Pliocene period due to the northwest-southeast compression between the NAFZ and the Kırıkale-Erbaa Fault Zone.

In this study, a GNSS network consisting of 118 sites was designed to determine the current deformation caused by splay faults in the main branch and middle part of the NAFZ. The previous years' data of the GNSS sites in the network were provided and campaign-type GNSS measurements were carried out in 2023-2024. All data were evaluated with GAMIT/GLOBK software and the current velocity field of the region was calculated with an uncertainty of <2 mm/year. In order to determine the current kinematic characteristics of the region by using the velocities, models with 2, 3, 4, 5 and 6 blocks (final model) was designed and rotations in three components of the blocks and slip rates

of the faults representing the block boundaries were calculated with TDEFNODE and GeodSuit softwares by inverse solution method and three-dimensional elastic quasi-spatial displacement model.

The results obtained from this study show that the splay faults in the middle part of the NAFZ are active, indicating that deformations occur not only on the main branch but also along the splay faults in the region. The block model results revealed that the strike-slip rates along the main branch of the NAFZ increase from east to west and there are also significant slip rates on the splay faults. In particular, Sungurlu Fault has a right-lateral fault structure with reverse component, Merzifon-Esençay Fault has a strike-slip fault structure with lateral component and Ekinveren Fault has a strike-slip fault structure. These results indicate that the strain accumulation in the region occurs not only in the main branch of the NAFZ but also along the splay faults and that earthquake hazard analyses should be re-evaluated by taking these results into account.

2025, xiv+ 126 pages

Keywords: Block Model, Tectonic, North Anatolian Fault Zone, GNSS, Merzifon-Esençay Fault, Sungurlu Fault, Ekinveren Fault.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin her aşamasında, gerek akademik rehberliğiyle gerekse kişisel desteğiyle beni yönlendiren ve her zaman örnek aldığım tez danışmanım Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, arazi çalışmasından yazım sürecine kadar değerli katkılarıyla yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim SOLAK'a şükranlarımı iletmeğ isterim.

Bu çalışmanın gelişmesinde ve başarıyla tamamlanmasında, görüş ve eleştirileriyle bana yol gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU, Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR, Prof. Dr. Mustafa YILMAZ ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Nurullah ALKAN'a minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Tez çalışmam için gerekli olan geçmiş RINEX verilerini paylaşan Harita Genel Müdürlüğü ile özel sektör çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca, arazi çalışmalarında bana eşlik eden ve destek olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği ABD'deki lisansüstü öğrencisi arkadaşlarıma ve Hitit Üniversitesindeki mesai arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmayı (TÜBİTAK) 123Y293 numaralı proje ve ODMYO19001.23.001 numaralı proje ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu ve Hitit Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim. Sağladıkları maddi destek, bu çalışmanın hayata geçirilmesinde büyük rol oynamıştır.

Beni her zaman destekleyen, inancını ve sevgisini hiçbir zaman eksik etmeyen aile büyüklerime sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Akademik yolculuğumda daima yanımda olan, desteği ve sevgisiyle beni ileriye taşıyan sevgili eşim Zehra Betül'e, yaşamıma neşe ve anlam katan kızlarım Elif Zümra ve Aybüke'ye minnettarım. Bu çalışmayı hayatımı güzelleştiren bu üç özel insana ithaf ediyorum.

Kayhan ALADOĞAN
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE KAFZ'IN TEKTONİĞİ.....	5
2.1 Plaka Tektoniği.....	5
2.2 Deprem ve Deprem Döngüsü	8
2.2.1 Deprem Oluşum Süreci	8
2.2.2 Deprem Döngüsü	10
2.3 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ).....	11
2.3.1 Almus Fayı.....	16
2.3.2 Ezinepazarı - Sungurlu Fayı (EzSF)	16
2.3.3 Merzifon-Esençay Fayı (MEF)	17
2.3.3.1 Esençay Segmenti.....	18
2.3.3.2 Amasya Segmenti.....	19
2.3.3.3 Suluova Segmenti.....	19
2.3.3.4 Diphacı Segmenti	20
2.3.3.5 Laçın Segmenti.....	20
2.3.3.6 İskilip Segmenti.....	20
2.3.4 Ekinveren Fayı	21
2.3.5 Eldivan Fayı	22
3. LİTERATÜR ÖZETİ	23
4. MATERYAL VE METOT	31
4.1 Küresel Konumlama Sistemleri	31
4.2 GNSS Veri Analizi	34
4.2.1 GAMIT Yazılım Modülü	35
4.2.2 GLOBK Yazılım Modülü	36
4.2.2.1 İstasyonlar ve Yörüngeler İçin Stokastik Gürültünün Kullanımı.....	36

4.2.3 GAMIT/GLOBK Veri Değerlendirme Aşamaları	37
4.3 Blok Modelleme Yaklaşımı	45
4.3.1 TDEFNODE Yazılımı.....	50
4.3.2 GeodSuit Yazılımı.....	57
5. UYGULAMA	62
5.1 Uygulama Alanı	62
5.2 Oluşturulan GNSS Ağı	63
5.3 GNSS Ölçmeleri	67
5.4 Hesaplanan Hız Alanı	73
5.5 KAFZ Orta Segmentinin Modelleme Çalışmaları	80
5.5.1 Blok Model Geometrisi.....	81
5.5.2 Blok Model Stratejisi	82
5.5.3 Blok Model Sonuçları	84
6. SONUÇLAR.....	102
7. KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	124

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AMZ	Amasya Makaslama Zonu
ARP	Antenna Reference Point
CORS	Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonu
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
DoD	Amerika Birleşik devletleri Savunma Bakanlığı
EzSF	Ezinepazarı-Sungurlu Fayı
GAMIT	GPS Analysis Massachussets Institute of Technology
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GMT	Generic Mapping Tools
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
IGS	International GNSS Service
IGSF	International GNSS Service Final
IGSR	International GNSS Service Rapid
IGSU	International GNSS Service Ultra Rapid
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
İRAP	İl Afet Risk Azaltma Planı
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MEF	Merzifon-Esençay Fayı
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NAVSTAR	NAVigation Satellite Time and Ranging
NRMS	Normalized Root Mean Square
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
TEQC	Translation Editing Quality Check
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WRMS	Weighted Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Pangea Süper Kıtası	5
Şekil 2.2 Yerin içyapısını gösteren kesit	6
Şekil 2.3 Dünyanın tektonik plaka düzeni	7
Şekil 2.4 Levhalar arasındaki bağıl hareketler	8
Şekil 2.5 2000 yılından 2023 yılına kadar Dünya çapında meydana gelen $M=5$ 'ten büyük depremler	9
Şekil 2.6 a) Sismik Döngü, b) Fay ve çevresinde oluşan kayma türleri, c) Yer kabuğu içinde oluşan blok hareketleri.....	10
Şekil 2.7 Türkiye'nin neotektonik birimleri.....	12
Şekil 2.8 KAFZ'ın ana segmentleri ve 1912'den itibaren meydana gelen aletsel dönem depremleri ($M_s > 6.8$)	14
Şekil 2.9 Türkiye Diri Fay Haritası. Sarı-kırmızı çizgiler- Yüzey kırığı, <i>Kuzey Anadolu Fayı (1)</i> , 1-7: Reşadiye, 1-8: Ezinepazar Segmenti, 1-9: Niksar Segmenti, 1-10: Erbaa Segmenti, 1-11: Destek Segmenti, 1-12: Havza Segmenti, 1-13: Köprübaşı Segmenti, 1-14: Kamil Segmenti, 1-15: Kargı Segmenti, 1-16: Ilgaz Segmenti, 1-17: Sarıalan Segmenti, <i>Merzifon-Esençay Fayı (186)</i> , 186-1: Esençay Segmenti, 186-2: Amasya Segmenti, 186-3: Suluova Segmenti, 186-4: Diphacı Segmenti, 186-5: Laçın Segmenti, 186-6: İskilip Segmenti, Adlanmamış Fay (187), <i>Sungurlu Fayı (188)</i> , Turhal Fayı (190), Almus Fayı (191), Kazankaya Fayı (193), Çekerek Fayı (194), Buğdaylı Fayı (195)).....	15
Şekil 2.10 Ezinepazarı-Sungurlu (EzSF) Fayı'nın Segmentasyonu.....	17
Şekil 2.11 Merzifon-Esençay (MEF) Fayı'nın Segmentasyonu. ES: Esençay Segmenti, AS: Amasya Segmenti, SS: Suluova Segmenti, DS: Diphacı Segmenti, LS: Laçın Segmenti, İS: İskilip Segmenti.....	18
Şekil 2.12 Çalışma alanını gösterir harita. AF: Araç Fayı, BF: Balıfakı Fayı, CF: Cide Fayları, EF: Erikli Fayı, EKF: Ekinveren Fayı, KF: Karabük Fayı, KyF: Kayı Fayı, NAF: Kuzey Anadolu Fayı'nı göstermektedir	21

Şekil 2.13 Eldivan Elmadağ sıkışmış kabuk kamasının (EPCW) Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAFZ) ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ) arasındaki konumunu gösteren basitleştirilmiş bir blok diyagram.	22
Şekil 3.1 Çalışma alanının 3 bloklu model çizimi	25
Şekil 3.2 Analizde kullanılan bireysel hız alanları	26
Şekil 3.3 Kuzeybatı Orta Anadolu Daralma Alanı'ndaki kayma hızı dağılımı. Kırmızı çizgiler blok sınırlarını temsil etmektedir. Mavi oklar artık değerleri ve noktaların konumlarını göstermektedir. Blok modeli kullanılarak hesaplanan kayma hızları mm/yıl cinsinden gösterilmiştir. Birinci ve ikinci (parantez içinde) satırlardaki pozitif değerler sırasıyla sol yanal ve normal kayma hızlarına karşılık gelmektedir. Yeşil değerler %99, turuncu değerler ise %95 güven düzeyindedir.	27
Şekil 3.4 Çalışma bölgesinde önerilen blok model ve fay kayma hızları. Pozitif değerler, fay-paralel ve fay-normal (parantez içinde) kayma hızları için sırasıyla sol-yanal ve ters kaymalara karşılık gelmektedir. Kayma hızlarına göre, kırmızı sınırlar hem jeolojik hem de istatistiksel olarak anlamlıdır; mavi sınırlar istatistiksel olarak anlamlıdır ancak jeolojik olarak anlamlı değildir; yeşil sınırlar ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Sarı çizgiler gerçek bir tektonik sınıra karşılık gelmemektedir. A) Türk-İran Platosu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu. B) Orta Anadolu, Kıbrıs. C) Batı Türkiye, Ege Denizi ve Yunanistan.	28
Şekil 3.5 Avrasya sabit ITRF 2014 referans çerçevesinde nihai hız çözümü	29
Şekil 3.6 Ayruk (2023) tarafından yürütülen blok model çalışması.	30
Şekil 4.1 Konum belirleme yöntemleri	32
Şekil 4.2 (A) konumu bilinen, (B) konumu bilinmeyen noktalar.	32
Şekil 4.3: RINEX dosyası	37
Şekil 4.4 “station.info” dosya örneği	38
Şekil 4.5 “sites.defaults” dosya örneği	38
Şekil 4.6 “lfile” dosya örneği.	39
Şekil 4.7 GAMIT/GLOBK dizin yapısı ve girdi dosyaları.	40
Şekil 4.8 “tables” klasör düzeni	41
Şekil 4.9 SNMG istasyonuna ait günlük tekrarlılık grafiği.	42

Şekil 4.10 GKCD istasyonuna ait yıllık tekrarlılık grafiği.....	43
Şekil 4.11 “org” uzantılı hız dosyası örneği.....	45
Şekil 4.12 Deprem Döngüsü	46
Şekil 4.13 Blok modellemede aynı “E” Euler kurbuna bağlı “A” ve “B” blokları arasındaki etkileşim. Blokların ortak sınırı olan fayın kısmen ya da tamamen kilitli olduğu durumda GNSS verilerinden elde edilen blok hızları siyah vektörler ile serbest kayma olduğu durumda ise blok hızları kırmızı vektörler ile gösterilmiştir.....	47
Şekil 4.14 Sağ yanal doğrultu atımlı faylarda blokların birbirine göre hareketi. Hız alanı A’da, Blokların hareketi ve kilitlenme derinliği B’de gösterilmiştir....	49
Şekil 4.15 Fay düzleminin yapısı ve fay üzerinde gerçekleşen yer değiştirme bileşenleri	51
Şekil 4.16 TDEFNODE yazılımında fay düzleminin üzerinde düğüm noktalarının gösterimi.....	54
Şekil 4.17 TDEFNODE yazılımında fay düzleminin ve blok geometrilerinin tanımlanması.....	56
Şekil 4.18 GeodSuit yazılımı arayüzü.....	58
Şekil 4.19 GeodSuit gridleme ekranı	59
Şekil 4.20 GeodSuit blok işlemleri menüsü	61
Şekil 5.1 Uygulama alanı (Kırmızı çizgiler Türkiye Diri Faylarını temsil etmektedir. Mavi daire ile gösterilen alan uygulama alanını göstermektedir.)	62
Şekil 5.2 Çalışma bölgesini kapsayan GNSS gözlem ağı. (Kırmızı noktalar TUTGA, Sarı noktalar Yavaşoğlu vd. 2011, Siyah noktalar TUSAGA-Aktif, Mavi noktalar ise kurum ve kuruluşlar tarafından tesis edilmiş geçmiş RINEX verileri temin edilen yeni noktalardır.)	64
Şekil 5.3 Kampanya tipi GNSS gözlem ağı nokta tesis tipi örnekleri. Pilye (Solda), Yer noktası (Sağda).	65
Şekil 5.4 2023 ve 2024 yıllarında yapılan GNSS gözlem çalışmaları. KAML noktası (Solda), ABTA noktası (Sağda)	67
Şekil 5.5 GNSS ölçmelerinde kullanılan ekipmanlar.....	68
Şekil 5.6 Zincirli Tripod (Sabit yükseklikli GNSS ölçme ekipmanı).	68
Şekil 5.7 BLMS noktasının günlük tekrarlılık grafiği.....	74

Şekil 5.8 EVCI noktasının yıllık tekrarlılık grafiği.	75
Şekil 5.9 AKPI noktasının yıllık tekrarlılık grafiği.	76
Şekil 5.10 Ham verisi olan 118 GNSS noktasından üretilen Avrasya sabit ITRF2014 hızlar (Kırmızı çizgiler diri faylar, Siyah oklar hızlar, Mavi oklar GNSS ağından çıkarılan hızlar.)	77
Şekil 5.11 Güncellenen hız alanı.	78
Şekil 5.12 Hız bileşenlerinin belirsizlikleri.	78
Şekil 5.13 Çalışma bölgesini içeren blok sınırlar. Kırmızı çizgiler aktif fayları, siyah çizgiler blok sınırlarını, mavi yazılar blok isimlerini göstermektedir.	81
Şekil 5.14 Blok model için tasarlanan en basit (2 blok, solda) ve en karmaşık (6 blok, sağda) fay geometrisi. Kırmızı çizgiler aktif fayları, siyah çizgiler blok sınırlarını ve mavi yazılar blok isimlerini göstermektedir.	83
Şekil 5.15 İki bloklu model (OKA2) TDEFNODE çözümü (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	85
Şekil 5.16 İki bloklu model (OKA2) GeodSuit çözümü (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	85
Şekil 5.17 Üç bloklu model (OKA3) TDEFNODE çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	87
Şekil 5.18 Üç bloklu model (OKA3) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	87
Şekil 5.19 Dört bloklu model (OKA4) TDEFNODE çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	89
Şekil 5.20 Dört bloklu model (OKA4) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	89
Şekil 5.21 Beş bloklu model (OKA5) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	91
Şekil 5.22 Altı bloklu model (OKA6) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).	93
Şekil 5.23 Nihai blok modele ait artık (residual) hızlar. (Mor çizgiler blok sınırları, Mavi yazılar blok isimleri, Kırmızı çizgiler aktif fayları, Mavi oklar ve siyah daireler sırasıyla artık hızları ve belirsizliklerini göstermektedir.)	95
Şekil 5.24 P1 ve P2 Profilleri.	97

- Şekil 5.25** P1 Profili (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)..... 97
- Şekil 5.26** P1 Profili üzerinde Ekinveren Fayı'nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.) 98
- Şekil 5.27** P1 Profili üzerinde KAFZ anakolunun gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.) 99
- Şekil 5.28** P1 Profili üzerinde Merzifon-Esençay Fayı'nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)..... 99
- Şekil 5.29** P1 Profili üzerinde Sungurlu Fayı'nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)..... 100
- Şekil 5.30** P2 Profili. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktaların yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.) 101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Dünyada oluşan depremlerin tanımlamalarına göre oluşma sıklıkları (Gezgin 2020).....	9
Çizelge 2.2 KAFZ üzerinde aletsel dönemde meydana gelen büyük depremler ($M \geq 6.8$) (Alkan 2018).....	14
Çizelge 4.1 Uyduların sinyal ve yörünge bilgileri (Shen vd. 2019'dan değiştirilerek)..	33
Çizelge 4.2 GAMIT girdi dosyaları	39
Çizelge 5.1 Geçmiş çalışmalarda tesis edilen ve geçmiş RINEX verisi olan noktalar. .	66
Çizelge 5.2 Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.....	69
Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.	70
Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.	71
Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.	72
Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.	73
Çizelge 5.3 Değerlendirme aşamasında kullanılan IGS istasyonları	73
Çizelge 5.4 GAMIT değerlendirme stratejisi	74
Çizelge 5.5 Hesaplanan hızlar ve belirsizlikleri (mm/yıl).....	79
Çizelge 5.5 (Devam) Hesaplanan hızlar ve belirsizlikleri (mm/yıl).....	80
Çizelge 5.6 TDEFNODE ve GeodSuit yazılımları ile değerlendirilen blok geometrilere ait istatistiksel sonuçlar.	94
Çizelge 5.7 Blok rotasyon değerleri	95
Çizelge 5.8 Literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları.	101

1. GİRİŞ

Ülkemiz, dünya üzerinde deprem açısından oldukça aktif bir bölgede yer almakta ve “Akdeniz-Himalaya sismik kuşağı” olarak bilinen bu bölge Cebelitarık’tan başlayarak Endonezya’ya kadar ulaşmaktadır. Ülkemizde, son olarak 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Pazarcık – Elbistan (Kahramanmaraş) ($M_w=7.8$, $M=7.6$) depremleri ile sismik tehlike kendini tekrar göstermiş, maddi ve manevi ağır hasarlar vermiştir (AFAD 2023, KOERİ 2023). Depremleri meydana getiren tektonik hareketler ve deformasyonlar üzerine farklı bilim dallarında çeşitli tekniklerle çalışmalar yapılmaktadır. Bu bilim dallarından biri olan jeodezi alanında geçmişten günümüze kadar farklı teknolojiler ve yöntemler ile uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Günümüzde ise diğer jeodezik teknikler yanında uzun süreli GNSS verileriyle kısa zamanda, düşük maliyetle elde edilen yüksek konum doğruluğu, jeodezinin tüm disiplinler içerisindeki önemini arttırmıştır (Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012, Solak 2020). Deformasyonu belirlemek amacıyla aktif fayların yakın ve uzak çevresinde fay geometrisini en iyi şekilde yansıtacak GNSS ağlarının tesis edilmesi sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle bölgenin hız ve gerinim alanları belirlenebilmektedir (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu vd. 2018). Belirlenen bu hız ve gerinimler sayesinde depremin zamanı tam olarak kestirilmese de muhtemel deprem büyüklüğü, yeri ve fayların deprem tekrarlama periyotları kestirilebilmektedir (Aktuğ 2017, Solak 2020).

Türkiye, levha tektoniği açısından, kuzeyde görece sabit kabul edilen Avrasya plakası ile kuzeye doğru hareket eden Afrika ve Arap Plakalarının arasındaki bölgede bulunmaktadır. Güneydeki bu iki plakanın oluşturduğu kuvvet ve hareketten dolayı Anadolu Plakası öncelikle kuzey ve güneyden sıkışmış ve sonrasında ise batıya doğru kaçma hareketi sonucu sıkışma ile karşılayamadığı enerjiyi açığa çıkarmıştır. Anadolu plakasının bu kaçış hareketi nedeniyle üzerinde fay adı verilen kırıkların oluşumu oldukça fazla görülmektedir. Bu faylar üzerinde geçmişten günümüze kadar can kaybı ve maddi zararlara yol açan yıkıcı depremler meydana gelmiştir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ülkemizdeki bu aktif fayların en önemlilerinden birisidir. KAFZ, Türkiye’nin doğusunda Van Gölü kuzeyinden başlayarak Bingöl İli Karlıova İlçesinden batıya doğru Erzincan, Sivas Suşehri İlçesi, Tokat Reşadiye ve Erbaa

İlçeleri, Samsun Havza ve Ladik İlçeleri, Çorum, Osmancık ve Kargı İlçeleri, Çankırı Ilgaz ve Kurşunlu İlçeleri, Karabük Eskipazar İlçesi, Bolu Gerede İlçesinden geçerek batıya doğru iki ana kola ayrılmaktadır. Kuzey kol Abant Gölü'nden devam ederek Sapanca Gölü, İzmit Körfezi ve Marmara Denizinin altından Trakya'nın güneyinden devam ederek Saroz Köfezi'ne ulaşmaktadır. Güney kol olarak isimlendirilen hat ise Pamukova ve Yenişehir üzerinden geçerek Bursa doğrultusundan Biga Yarımadası ve devamında Ege'ye çıkmaktadır (Ketin 1969, Okay vd. 1999, Yavaşoğlu 2009). Bu fay boyunca genel olarak sağ yönlü yanal hareketler görülmektedir. Bazı bölgelerinde ~0.5 m ile ~1.5 m arasında değişen düşey hareketler de görülmektedir (Ketin 1969, Şengör vd. 2004).

Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun (KAFZ) tektonik açıdan aktif bir fay olduğu, aletsel dönemde meydana gelen 1939 Erzincan depremi ($M=7.9$), 1942 Niksar-Erbaa depremi ($M=7.0$), 1943 Lâdik-Tosya depremi ($M=7.2$) ve 1944 Bolu-Gerede depremi gibi olaylar ile yapılan araştırmalar sonucunda kanıtlanmıştır (Barka 1996; Takcı 2015). Ayrıca, KAFZ üzerinde gerçekleştirilen jeolojik ve paleosismolojik çalışmalar da bu fayın sismik açıdan aktif olduğunu ortaya koymaktadır (Ambraseys ve Finkel, 1995).

Aletsel dönem depremleri sonucunda oluşan yüzey kırıkları incelendiğinde, KAFZ'ın geometrisi ve deprem karakteri bakımından birbirinden farklı özellikler sergileyen segmentlerden oluştuğu ve depremlerin dışmerkezlerinin de bu segmentlerin uçlarında yoğunlaştığı görülmektedir (Barka and Kadinsky-Cade 1988; Köksal 2011). KAFZ üzerinde meydana gelen özellikle büyük depremlerin dağılımları incelendiğinde KAFZ'ın 10 civarında segmentten oluştuğu söylenebilir (Barka 1996).

KAFZ Tokat İli Niksar İlçesi civarında iki önemli yan kola ayrılır ve Ezinepazar - Sungurlu Fayı ile Merzifon-Esençay Fayı'nı oluşturur. KAFZ ile bu fay arasında kalan bölge Neotektonik dönemde yoğun bir deformasyona maruz kalmıştır (Erturaç 2009). Bu fay, Amasya-Aydınca Havzasını ve Amasya Deliçay Vadisini güneyden sınırlayarak batıya doğru devam eder. Ezinepazar Fayı, Deliçay Vadisini geçtikten sonra güneyde Çorum İli Sungurlu İlçesi'ne (Sungurlu Fayı), kuzeyde ise Çorum İli Mecitözü (Gökhöyük Fayı) İlçesi'ne doğru devam eder (Yavaşoğlu vd. 2011). Bu fayın uzanımına

uygun olarak gelişen jeolojik yapılar ve morfolojik özellikleri topoğrafyada belirgin özellik göstermektedir (Şaroğlu vd. 1987). Fay Zonu üzerinde kayıtlara geçen olaylardan en önemlilerinden biri olan 1939 yılı Erzincan depremidir ($M=7.8$). Bu deprem sonucunda fay Amasya-Ezinepazar Köyü'ne kadar yaklaşık 90 km'lik kısmı kırılarak, meydana gelen yüzey kırıkları da fayın diriliğini belgelemiştir (Şaroğlu vd. 1987). Elde edilen veriler fayın aktif olduğunu gösterir ancak, Sungurlu Fayı olarak da bilinen, Geldingel ovası ve batı tarafında kalan kısmının aktivitesini gösterir aletsel döneme ait veriler sınırlıdır. Bu veri eksikliği, bölgede yeterli sayıda sismik ağın ve araştırmanın mevcut olmamasından kaynaklanmaktadır (Amasya İRAP Raporu, 2021, Çorum İRAP Raporu 2021).

Diğer önemli kollardan biri olan Merzifon-Esençay Fayı; Amasya, Suluova, Diphacı, Laçın ve İskilip segmentleriyle birlikte, bölgede yer alan Turhal, Kazankaya, Çekerek ve Buğdaylı faylarıyla da ilişkilidir. Bu fay sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olup D-B doğrultusunda KAFZ'a paralel olarak İskilip ilçesine kadar uzandığı bilinmektedir. Holosen dönemine ait Esençay Segmenti üzerinde yapılan paleosismoloji çalışmaları sonucunda bölgenin deprem tekrarlama periyodu 1320-2200 yıl aralığında olduğu görülmekte olup yaklaşık 3700 yıldır deprem olmadığı ortaya çıkmıştır (Emre vd. 2020). Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları incelendiğinde, depremselliği ile kayıt bulunmayan Merzifon-Esençay Fayı, KAFZ boyunca son yüzyılda yüzey kırığı gelişmeyen faylardan biridir. Fayın, Niksar Ovası'nın batısı ile Tekke Beldesi arasındaki bölgede meydana gelebilecek depremin magnitüdü, ampirik değerlendirmelere göre 7.2 olması beklenmektedir (Wells and Coppersmith 1994). Bölgede yer alan diğer segmentlerde de benzer büyüklükte depremin olma olasılığı vardır (Amasya İRAP Raporu, 2021, Çorum İRAP Raporu 2021). Ayrıca, Kastamonu Havzası'nın kuzey kesiminde, D-B doğrultusunda uzanan Ekinveren Fayı ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında, kuzeybatı-güneydoğu yönlü sıkışma sonucunda Geç Pliyosen döneminde aktif hale gelen Eldivan fayları da yer almaktadır (Yıldırım vd. 2011, Esat vd. 2021).

Çalışma bölgesine yönelik literatür araştırmaları incelendiğinde, çoğunlukla KAFZ'ın anakolu üzerine odaklanıldığı görülmektedir (McClusky vd. 2000, Hubert vd. 2002,

Reilinger vd. 2006, Kozacı vd. 2007, Aktuğ vd. 2015, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023). Yavaşoğlu vd. (2011), çalışmasında 16 noktalık bir GNSS ağı oluşturmuş ve bu ağ üzerinde 2001-2004 yılları arasında dört kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirmiştir. Çalışmada, KAFZ anakolu ile Sungurlu Fayı tarafından sınırlandırılan üç bloklu bir model tasarlanarak bölgenin kinematik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, 16 noktalık GNSS ağının bölgenin kinematik özelliklerini belirlemek için yetersiz olduğu değerlendirilmektedir. Literatürde yapılan diğer jeodezik çalışmaların da temelini, Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından oluşturulan 16 noktalık GNSS ağı oluşturmakta olup bu noktaların 2004 yılından sonra GNSS ölçüsünün yapılmadığı görülmektedir. Ayrıca, KAFZ'in orta kesiminde yer alan splay fayların (Merzifon-Esençay Fayı, Sungurlu Fayı, Ekinveren Fayı, Eldivan Fayı) tamamını kapsayan kapsamlı bir jeodezik çalışmanın da bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda KAFZ'in orta kesiminde yer alan aktif fayların ve bölgede yapılan tektonik analizlerin, bölgenin tektonik hareketlerinin güncel verilerle incelenmesi gerektiğini öne çıkarmaktadır. Elde edilecek sonuçların gelecekteki olası depremlerin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAFZ'in orta kesimi bu doktora tezi için çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bölgede, KAFZ'in anakolu ile güneye ve kuzeye doğru uzanan splay (ana fay zonundan ayrılan faylar) fayların sınırladığı birden fazla blok bulunmaktadır. Bu çalışmada, KAFZ'in orta kesiminin tektoniği üzerinde etkili olan bu blokların Euler kutup noktaları etrafında dönme hareketleri ile blokları oluşturan diri faylar üzerindeki tektonik hareketler hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bu doğrultuda, öncelikle Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından oluşturulan GNSS ağı yeni noktalarla genişletilerek, bölgenin güncel GNSS verileriyle desteklenen çözünürlüğü yüksek hız alanının elde edilmesi, daha sonra elde edilen GNSS gözlem hızları kullanılarak blokların rotasyonel hızları, aktif faylar üzerindeki kayma hızlarının kestirimi ve fayların kayma eksikliği bu tez çalışmasında belirlenen hipotezin çözümlenmesine yardımcı olan başlıca adımlardır. Buna göre, sabit GNSS istasyonlarından ve kampanya tipi GNSS noktalarından elde edilen veriler beraber değerlendirilerek yüksek çözünürlüklü blok modelleme ile bölgedeki aktif fayların kinematik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE KAFZ'IN TEKTONİĞİ

2.1 Plaka Tektoniği

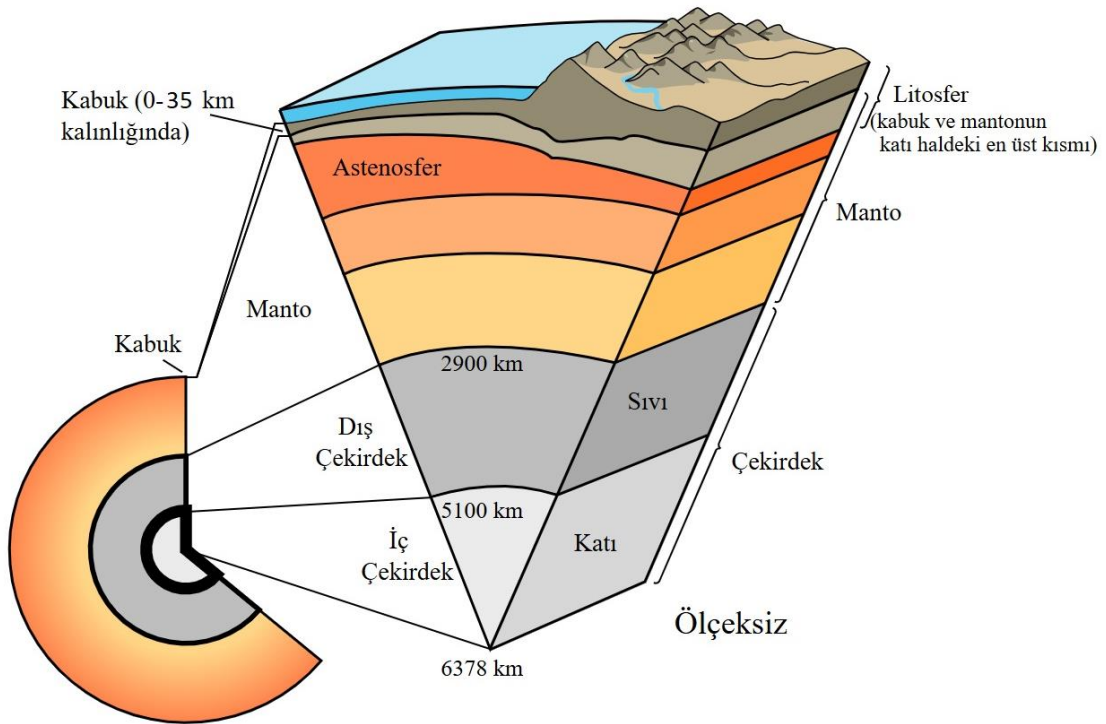
Alman bilim insanı Alfred Wegener, 1912'de yayımlanan “The Origin of Continents and Oceans (Kıtaların ve Okyanusların Kokeni)” isimli kitabında tüm kara parçalarının pangea adı verilen tek bir kıtada birleştiğini öne sürmüştür. Alfred Wegener'in kıtasal kayma teorisini destekleyen deliller arasında kıtaların birbirine uygunluğu, Afrika ve Güney Amerika'da bulunan benzer fosiller, kayaç dağılımındaki benzerlik, paleoklimatolojik benzerlikler ve ortak dağ kuşakları yer almaktadır. O dönemde kıtaların Dünya çevresindeki hareket mekanizmasının bilinmediği ve Wegener'in öne sürdüğü levha hızının oldukça yüksek olması nedeniyle, Wegener'in hipotezi pek ciddiye alınmamıştır. 1960'lı yıllarda okyanuslarda gerçekleştirilen araştırmaların artmasıyla birlikte, bir zamanlar birleşik olan kıtaların sonradan ayrıldığına dair yeni ve ikna edici kanıtlar ortaya konarak kıtaların kayması varsayımı geniş bir kabul görmüştür. Bu teori, daha sonra E. Argand (1922), Benioff (1954), Runcorn (1962), Sykes (1968) ve Bullard (1969) gibi daha modern dönemlere ait jeofizikçiler tarafından da desteklenir hale gelmiştir (Dirik 2005, Tiryakioğlu 2012, Keller 2005, Gezgin 2020, İnt. Kyn.1) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Pangea Süper Kıtası (İnt. Kyn.2)

Levhaların günümüzde kabul gören hareket kavramında bir sonraki aşama, bahsedilen bu hareketlerin itme güçlerinin kaynağını belirlemektir. Bu güçlerin kökenini daha iyi anlayabilmek için, dünyanın derin katmanlarının bilinmesi gerekmektedir.

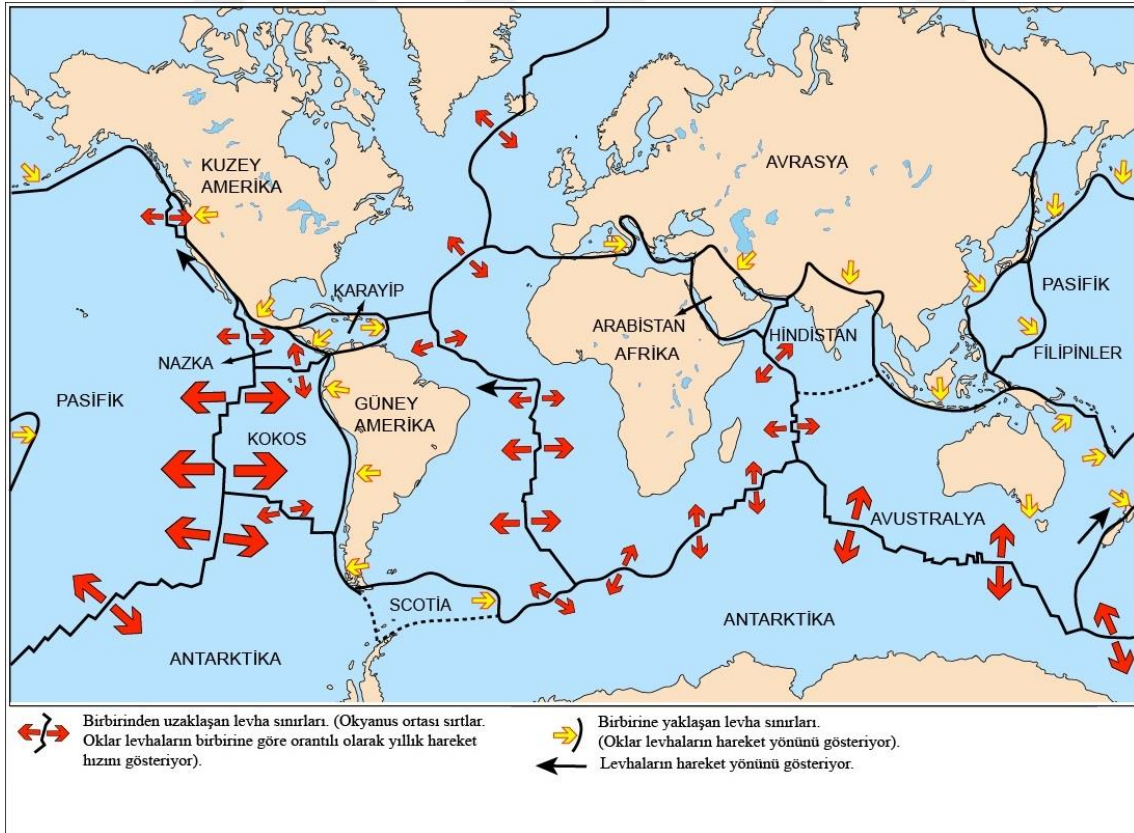
Yer kabuğunun kalınlığı genellikle 0 ile 35 km arasında değişmektedir. Kıtasal kabuk, 35-70 km kalınlığa sahipken, okyanusal kabuk 5 ile 8 km arasında değişen bir kalınlığa sahiptir. Litosfer adı verilen bölge, yer kabuğu ile en üst manto katmanlarından oluşur ve yeryüzünden 670 km derinliğe kadar uzanan bir kalınlığa sahiptir. Litosferin üst kısmındaki kabuk, çeşitli minerallerden oluşan farklı kaya gruplarından meydana gelir. Mineraller birleşerek kayaçları oluşturur ve bu kayaçlar dağları, dağlar ise yan yana gelerek kıtaları şekillendirir (Gezgin 2020).



Şekil 2.2 Yerin içyapısını gösteren kesit (İnt. Kyn.3)

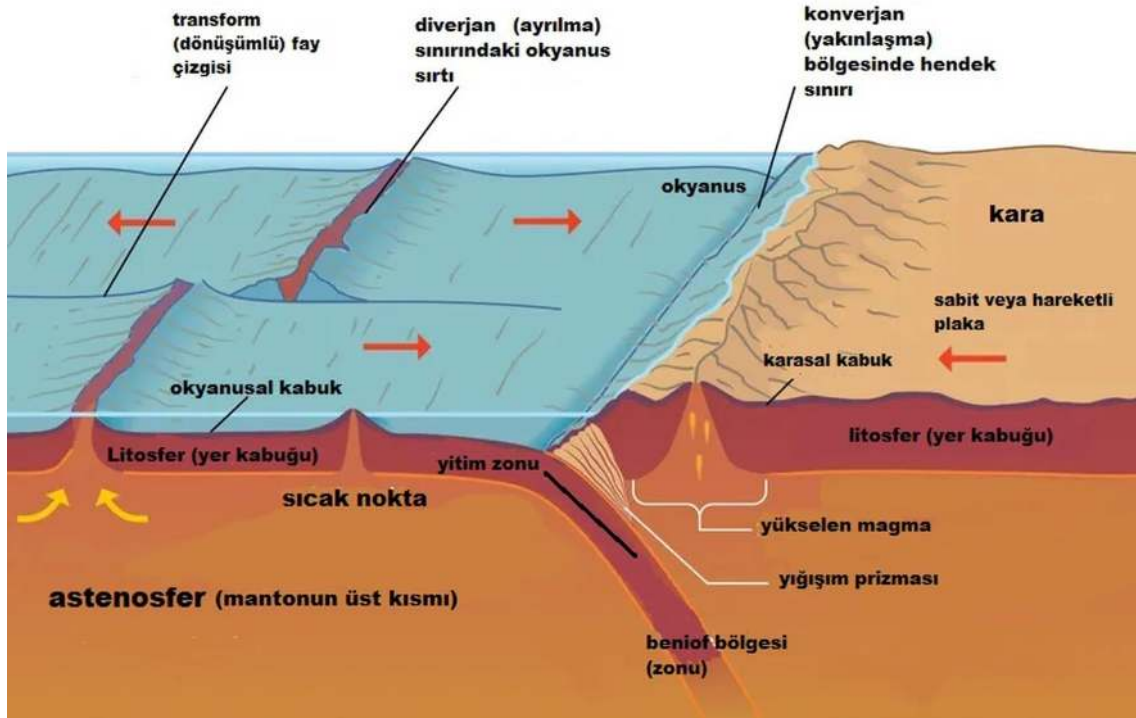
Yer kabuğunun derin kısımlarına doğru inildikçe, üst mantonun ergimiş bölümü olan astenosfere geçilir. Astenosfer, bazaltik lav bileşimine sahiptir. Onun altındaki alt manto, magnezyumlu ve demirli silikat bileşimindedir ve 1900 derece sıcaklığa sahiptir. Litosferle birlikte mantonun toplam kalınlığı yaklaşık 2900 km'dir. Dış çekirdek, 3700 derece sıcaklığa ve ortalama 2200 km kalınlığa sahiptir. Dünyanın merkezinde bulunan

iç çekirdek ise yaklaşık 1220 km kalınlığında ve 4500 derece sıcaklıktadır (Atabey 2000, Gezgin 2020) (Şekil 2.2). Manto, litosfer ile çekirdek arasında yer alan ve yer hacminin büyük bir bölümünü oluşturan katmandır. Mantonun kimyasal bileşimi içerisinde nikel, magnezyum, demir ve silisyum bulunmaktadır. Mantonun üst katmanlarında sıcaklık ve basıncın yüksek olması nedeniyle plastik özellik gösterirken, alt kısımları sıvı formdadır. Bu durum, mantoda sürekli olarak bir alçalma veya yükselme gibi hareketlere neden olur (Karaman 2006). Mantodan sonra yer alan ve okyanus ile kıtaları içeren en üst katman ise yer kabuğu ya da litosferdir. Litosferin kalınlığı ortalama olarak 100 km olduğu bilinmektedir. Litosferde, kıtaların alt tabakası alüminyum oksit ve silisyum oksit açısından zengin, düşük yoğunluklu kayalardan oluşurken, okyanusun alt kısımları daha yoğun olan demir ve magnezyum oksit bakımından zengin kayalardan meydana gelir (Köksal 2011). Dünya üzerinde tespit edilen dokuz büyük levha bulunmaktadır. Bu levhalardan altı tanesi kıta adlarıyla anılır: Antartika, Avustralya, Avrasya, Afrika, Kuzey Amerika, Güney Amerika levhaları. Geri kalan üç levha ise okyanus levhalarıdır ve Pasifik, Kokos ve Nazka levhaları olarak adlandırılır (Tiryakioğlu 2012, Ketin 2016) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Dünyanın tektonik plaka düzeni (İnt. Kyn.4)

Levha tektoniği, Dünyanın yer altı hareketleri sonucunda büyük yer şekillerinin nasıl oluştuğunu açıklayan bilimsel bir teoridir. Levha sınırlarındaki görelî hareketler üç farklı şekilde ortaya çıkar: Levhalar, sınırları boyunca birbirlerinden uzaklaşarak aralarında bir açıklık bırakabilirler (Diverjan levha sınırları). Ayrıca, levhalar birbiriyle çarpışabilir, biri diğerinin altına dalar veya üzerine bindirebilir (Konverjan levha sınırları). Bir diğer durumda ise levhalar, sınırları boyunca birbirlerine göre yanâl yönde yer değiştirebilirler (Transform faylı sınırlar). Bu hareketler sırasında dağ oluşumu olayları, okyanus tabanının genişlemesi, volkanlar, depremler ve diğer jeolojik olaylar meydana gelir (Ketin 2016) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Levhalar arasındaki bağıl hareketler (İnt. Kyn.5-6)

2.2 Deprem ve Deprem Döngüsü

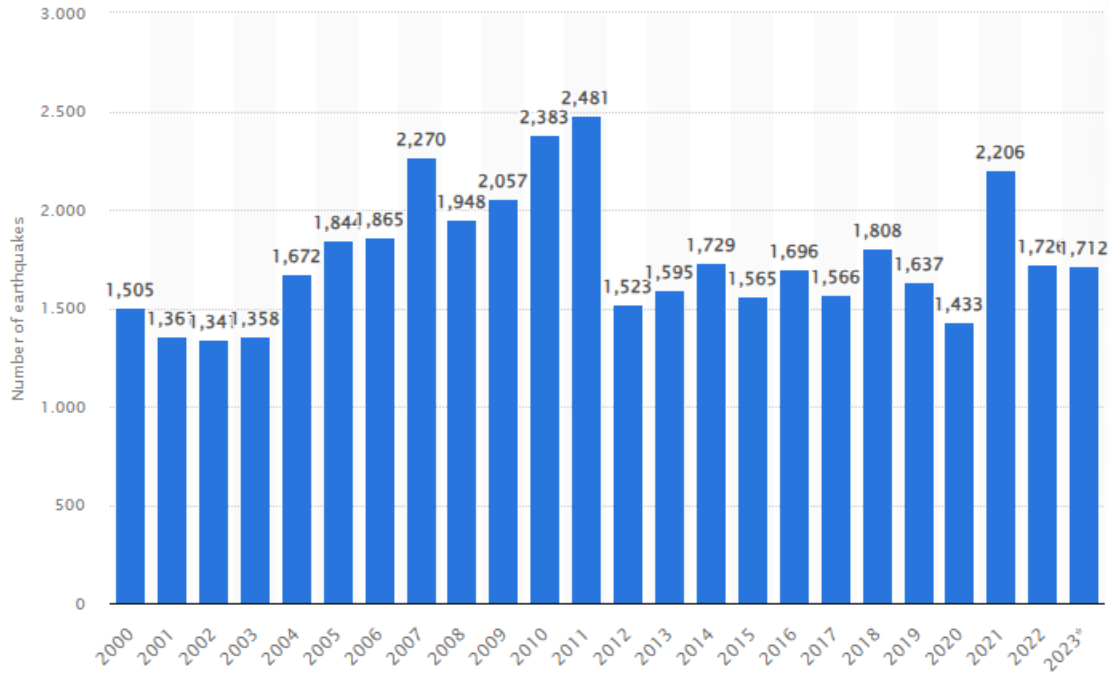
2.2.1 Deprem Oluşum Süreci

Deprem, yer kabuğundaki çatlaklar nedeniyle aniden ortaya çıkan, dalgalar tarafından iletilen ve yerin sarsılmasına neden olan titreşimlerin oluştuğu doğal bir olaydır. Depremlerin büyüklük, enerji ve yer hareketleri ile yeryüzünde meydana getirdiği sarsıntı şiddeti ve insanların üstünde yaptıkları etkiye göre kıyaslanmaktadır (Ketin 2016, Keller

2005, Gezgin 2020). Dünyada her yıl ortalama 1 milyon deprem meydana gelmektedir. 19. Yüzyılın başlarından günümüze kadar oluşan depremlerin zaman içindeki dağılımları çizelge 2.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Dünyada oluşan depremlerin tanımlamalarına göre oluşma sıklıkları (Gezgin 2020).

Magnitüd	Tanım	Ortalama Oluş Sayısı	Sıklıkları
8 >	Devasa	< 1	1-2 yıl
7-7.9	Büyük	20-25	2-3 Hafta
6-6.9	Kuvvetli	120	3 gün
5-5.9	Orta	1000	9 saat
4-4.9	Hafif	6000	1.5 saat
3-3.9	Küçük	49000	11 dakika
2-2.9	Çok Küçük	300000	2 dakika
< 2	Mikro	600000 >	52 saniye



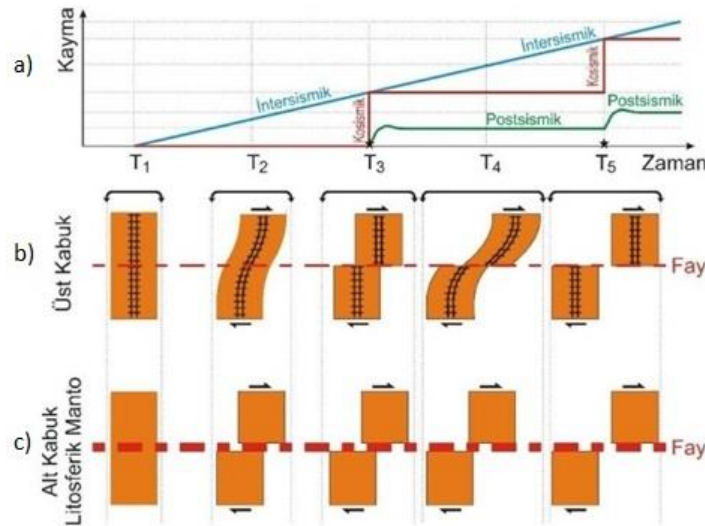
Şekil 2.5 2000 yılından 2023 yılına kadar Dünya çapında meydana gelen M=5’ten büyük depremler (İnt. Kyn. 7).

Depremler çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelir ve bu depremlerin kendilerine özgü karakteristik özellikleri vardır. Yer kabuğu üzerindeki boşlukların çökmesiyle ortaya

çıkan depremler ve tektonik hareketlerin yol açtığı depremler bunlardan en önemlileridir. Çöküntü depremleri yeraltındaki mevcut madenlerin erimesi, maden galerilerinde oluşan çökmeler sonucu meydana gelen depremlerdir. Bu depremlerin enerjileri az olduğundan dolayı fazla zarara yol açmamaktadırlar. Volkanik depremler, volkanların püskürmesi sonucunda meydana gelirler. Litosferin derin kısımlarında ergimiş maddenin yüzeye çıkışı esnasında kimyasal ve fiziksel olaylar sonrasında ortaya çıkan gazların oluşturduğu patlamalarla meydana gelmektedir. Tektonik depremler, iç kuvvetlerin neden olduğu stresin birikmesi ve boşalmasıyla ortaya çıkan yeryüzü hareketlerinin oluşturduğu sarsıntılardır. Özellikle şiddet ve etki alanı açısından en fazla yıkıcı ve en önemli olan depremlerdir (İnt. Kyn. 8).

2.2.2 Deprem Döngüsü

Sismik döngü deprem öncesi (İnter-sismik), deprem anı (Ko-sismik) ve deprem sonrası (Post-sismik) dönem olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Stein ve Wyssession 2003). İntersismik dönem deprem öncesi dönem olduğundan yüz yıllarca devam eden bir süreçtir. Ko-sismik dönem saniyeler veya dakikalar süren bir dönemdir ve deprem anını ifade eder. Post-sismik dönem ko-sismik dönemden sonra başlayıp zamanı meydana gelen depremin büyüklüğüne göre değişiklik gösteren bir süreçtir (Şekil 2.6) (Yavaşoglu vd. 2015).



Şekil 2.6 a) Sismik Döngü, b) Fay ve çevresinde oluşan kayma türleri, c) Yer kabuğu içinde oluşan blok hareketleri (Uzunca 2024).

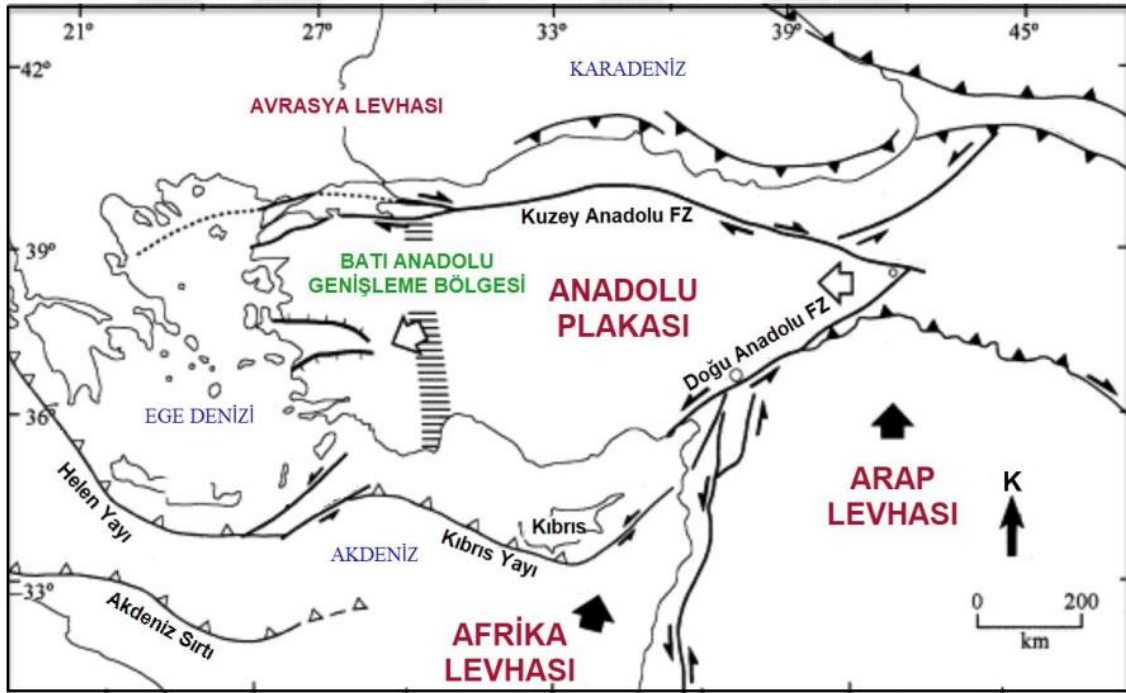
İnter-Sismik dönemde blok veya plaka hareketleri kaynaklı gerilme değişimleri meydana gelmektedir ve bu değişimlerden dolayı fay boyunca potansiyel enerji birikir (Utkucu 2024).

Ko-Sismik dönem, potansiyel enerjinin hızlı bir şekilde kinetik enerjiye dönüştüğü dönemdir. Bu dönemde fay kayması sebebi ile meydana gelen elastik dalgalar, yer kabuğunda kalıcı değişimlere ve artçı depremlerin başlamasına neden olmaktadır (Durmuş ve Utkucu 2021).

Post-Sismik dönem ise deprem sonrasında artçı sarsıntıların görüldüğü dönemdir. Bu dönem viskoelastik astenosferin ko-sismik dönem sonrasında bozulan dengesinin zamana bağlı olarak yeniden dengeye gelebilmek amacıyla oluşturduğu yer değiştirme olarak tanımlanmaktadır (Pollitz 1992).

2.3 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)

Türkiye'deki uzunluğu yaklaşık 1200 km olan Kuzey Anadolu Fay Zonu, Anadolu plakasının kuzey kısmını oluşturan, ülkemizin doğusundan başlayarak batısında Yunanistan sınırına kadar uzanan dünyanın en iyi bilinen aktif faylarından biridir (Ketin 1969, Şengör 1979, Şengör vd. 2005, İşseven ve Tüysüz 2006). Bu fay, zon genişliği 100 m ile 120 km arasında değişen, yaklaşık Karadeniz güney kıyısına paralel uzanan, bazı bölgelerde birbirine paralel kısa faylar şeklinde, bazı bölgelerde ise tek bir fay olarak devam etmektedir. Kıyıda ortalama 100 km uzaklıkta intizamlı bir şekilde devam eder ve Doğu Anadolu Yüksek Platosu ile Ege Tektoniğini birleştirir (Şaroğlu vd. 1987, Koçyiğit vd. 2001, Şengör vd. 2003, Şengör vd. 2005). KAFZ, geniş bir yay şeklinde uzanan, sağ yanal doğrultu atımlı fay sistemidir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Bingöl İli Karlıova İlçesi'nde birleşerek tipik bir üçlü kavşak oluşturmaktadır (Bozkurt 2001, Karasözen 2010). KAFZ'in oluşumu, DAFZ ile birlikte Anadolu Plakasının batıya doğru hareketine neden olmuş ve Arap Levhası'nın kuzeye Afrika Levhasına kıyasla daha hızlı hareket etmesini sağlamıştır (Şengör 1979, Oral vd. 1995, Barka ve Reilinger vd. 1997, Şengör vd. 2005, Erturaç 2009, Karasözen 2010) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Türkiye'nin neotektonik birimleri (Bozkurt vd. 2001, Solak 2020).

KAFZ, Türkiye'nin doğusunda Karlıova civarında başlar ve sola doğru kıvrım yaparak batıya doğru Vezirköprü'ye kadar kuzey batı yönünde devam eder. Kargı civarında bir sol kıvrım daha yapar ve güney batı yönünde ilerler (Şengör 1979). Bu fay, Marmara denizinin hemen doğusunda Dokurcun civarında iki ana kola ayrılır (Şengör ve Yılmaz 1981) (Şekil 2.7).

Marmara Denizi'nin bir kısmını kat eden ve KAFZ'ın en etkin bölümünü oluşturan kuzey kolu, 17 Ağustos 1999'da meydana gelen depreme de sahne olmuştur. Güney kolu ise Marmara Denizi'nin güney kenarını doğuda sınırlar ve daha sonra güneye doğru kıvrılarak güney-batı yönünde Ege Denizi'ne doğru uzanmaktadır. KAFZ üzerinde ana yayılımları boyunca çeşitli çöküntüler oluşmuştur (Bozkurt vd. 2001). Bunlar;

- 1) Fay izi boyunca oluşan çek-ayır havzaları; Niksar Havzası, Taşova-Erbaa havzası, Erzincan Havzası, Adapazarı Havzası (Aydın ve Nur 1982, Hempton ve Dunne 1984, Bozkurt ve Mittwede 2001, Barka vd. 2002, Şengör vd. 2005).
- 2) Fay kenarı havzaları; Suşehri Havzası, Gölova Havzası, Vezirköprü Havzası (Dirik 1993, Bozkurt 2001, Şengör vd. 2005).
- 3) Bir sınırında aktif doğrultu atımlı fay, diğer sınırında bindirme fayı ile sınırlanmış karmaşık çek-ayır havzaları; Geyve Havzası (Koçyiğit 1988, Bozkurt 2001).

- 4) Daha küçük çek-ayır havzalarının birleşmesiyle oluşan kompozit çek-ayır havzaları; Merzifon-Suluova Havzası, Erzincan Havzası (Bozkurt 2001, Barka ve Gülen 1989, Rojay 1993, Şengör vd. 2005).
- 5) Büyük ölçüde genişleme gösteren doğrultu atımlı faylarla sınırlanan negatif çökek yapısı; Almus fayı boyunca Kazova havzası (Bozkurt 2001, Şengör vd. 2005).

Bu havzalar, KAFZ'ın yaşı ve evrimi hakkında bilgiler içerdiklerinden dolayı önemli özelliklerdir ve bu havzaların stratigrafisi ile yapısı birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur (Barka 1988, Barka ve Gülen 1989, Tatar vd. 1995, Barka vd. 2000, Bozkurt 2001, Şengör vd. 2005).

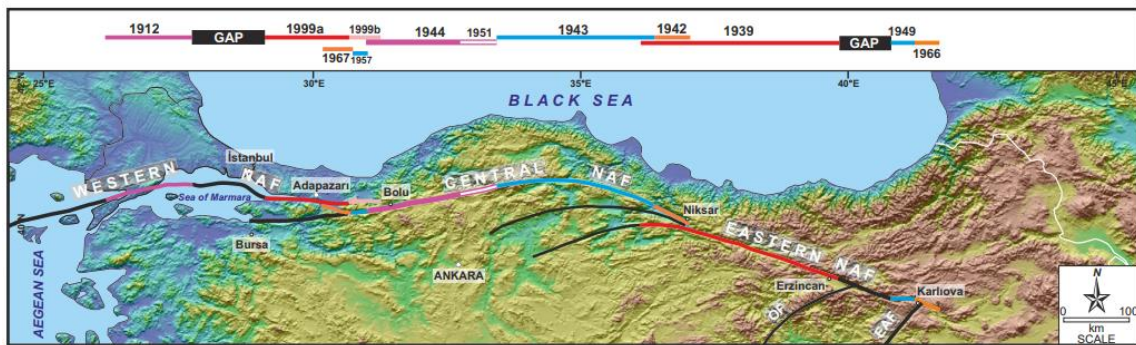
KAFZ'ın yaşı tartışmalı olsa da Şengör vd. (2005), KAFZ'ın Geç Miyosenden beri aktif olduğunu ileri sürmektedir. Yapılan birçok çalışmada da KAFZ'ın oluşumu Geç Miyosen ya da Erken Pliyosen olarak verilmektedir (Tokay 1973, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Toprak 1988, Barka ve Gülen 1989, Koçyiğit 1989, Bozkurt ve Koçyiğit 1996, Yaltırak 1996, Barka vd. 2002, Koçbulut 2004). Nuriel vd. (2019)'da KAFZ'ın yaklaşık 42 milyon yıl önce normal fay sistemi olarak başladığı, en az 11 milyon yıl önce sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak yeniden aktif olduğunu öne sürmektedir.

KAFZ, Ketin (1948) tarafından doğrultu atımlı bir fay olarak belirlenmesinden beri, birçok jeomorfolojik, jeolojik, jeodezik ve sismolojik incelemelere konu edilmesine rağmen, bu fay üzerine olan ulusal ve uluslararası ilgi 1999'da gerçekleşen Gölçük ve Düzce depremlerinden sonra önemli ölçüde artmıştır (Wright vd. 2001, Bozkurt 2001, Koçyiğit vd. 2001, Barka vd. 2002, Hubert 2002, Şengör vd. 2003, Şengör vd. 2005, Reilinger vd. 2006, Kozacı vd. 2007, Yavaşoğlu vd. 2011, Tatar vd. 2012, Erturaç ve Tüysüz 2012, Çakır vd. 2014, Aktuğ vd. 2015, Hussain vd. 2016, Bohnhoff vd. 2016, Aladoğan vd. 2017, Yavaşoğlu vd. 2020, Emre vd. 2020-2021, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023). 20. yüzyıl boyunca KAFZ'da büyüklüğü 7.0'dan büyük tarihsel ve aletsel depremler kayıtlara geçmiştir. Bu büyük depremlerden biri olan 1939 Erzincan depremi ($M=7.9$) sonucunda yer kabuğunda 360 km boyunca, maksimum 7.5 m sağ yanal kayma ile kırılmalar meydana gelmiştir (Provost vd. 2003, Karasözen 2010). Meydana gelen bu depremi, 1942 yılında Niksar-Erbaa ($M=7.0$), 1943 yılında Ladik-Tosya ($M=7.2$), 1944

yılında Bolu-Gerede ($M=7.4$), 1999 yılında İzmit ($M = 7.4$) ve Düzce’de ($M=7.2$) büyük can ve mal kayıplarına yol açan depremler izlemiştir. KAFZ boyunca oluşan bu depremler bu fay mekanizmasının tektonik olarak aktif olduğunu göstermektedir (Barka 1996, Şengör vd. 2005, Takcı 2015, Bohnhoff vd. 2016) (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 KAFZ üzerinde aletsel dönemde meydana gelen büyük depremler ($M \geq 6.8$) (Alkan 2018).

Deprem Merkezi	Depremin Gerçekleştiği Tarihi	Depremin Büyüklüğü (M)
Erzincan	27.12.1939	7.9
Erbaa-Niksar	20.12.1942	7.0
Ladik-Kargı-Tosya-Ilgaz	27.11.1943	7.2
Bolu-Gerede	01.02.1944	7.2
Kurşunlu	13.08.1951	6.9
Yenice-Gönen	18.03.1953	7.2
Abant	26.05.1957	7.1
Manyas	19.08.1966	7.0
Adapazarı-Mudurnu	22.07.1967	6.8
Erzincan	13.03.1992	6.8
Kocaeli-Gölcük	17.08.1999	7.8
Düzce-Kaynaşlı	12.11.1999	7.5

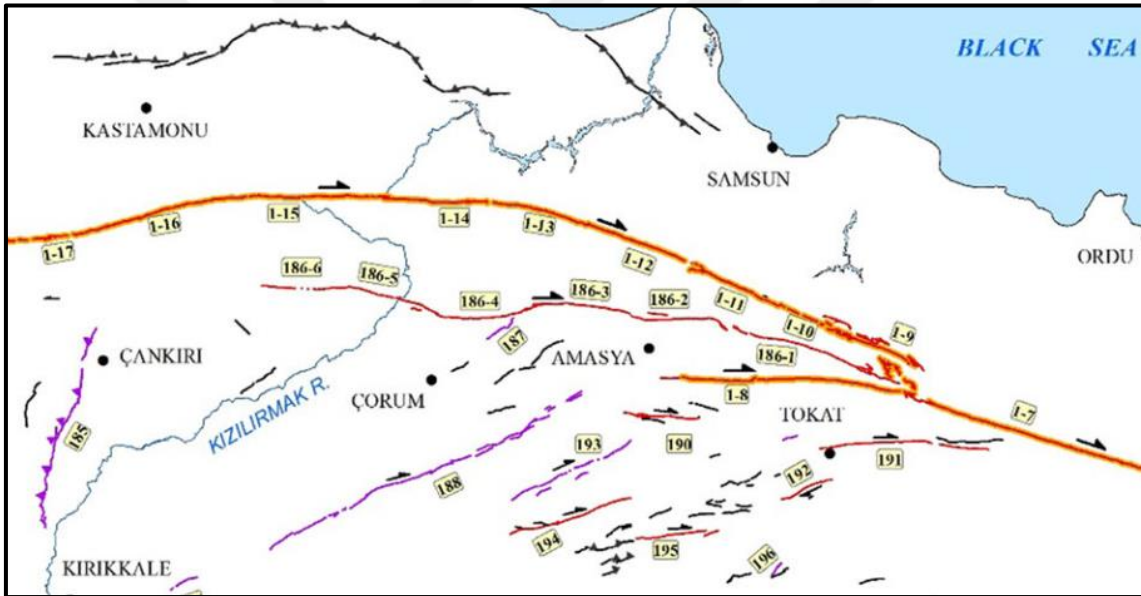


Şekil 2.8 KAFZ'in ana segmentleri ve 1912'den itibaren meydana gelen aletsel dönem depremleri ($M_s > 6.8$) (Emre vd. 2021).

KAFZ üzerinde uzunluğu 150 ila 350 km arasında değişiklik gösteren üç ana segment vardır ve bunlar Erzincan (1939'da kırıldı) Segmenti, Ladik-Tosya (1943'te kırıldı)

Segmenti ve Gerede (1944'te kırıldı) Segmentleridir. Bu büyük segmentlerin doğu ve batı uçlarında uzunluğu 100 km'den kısa segmentler de bulunmaktadır (Barka 1996, Barka and Kadinsky-Cade 1988, Barka 1996, Şengör vd. 2005, Köksal 2011, Emre vd. 2018) (Şekil 2.8).

KAFZ, dar bir zon, ötelenmiş ve barajlanmış akarsular, sarkma havuzları ve diğer deforme olmuş morfolojik özelliklerle karakterize edilen doğrultu atımlı fay zonuna morfolojisine sahiptir (Şengör 1979, Karasözen 2010). KAFZ'ın yüzeyde balık kılçığı yapısıyla uyumlu alt paralel kollara ve 100 m'den 40 km'ye kadar yüzey genişliğine sahip yay şeklinde büyük izleri vardır. Bu fay, ana kolundan Anadolu Levhasına doğru uzanan birçok ikinci derece faylardan oluşmaktadır (Bozkurt 2001, Karasözen 2010).



Şekil 2.9 Türkiye Diri Fay Haritası Emre vd. (2018). Sarı-kırmızı çizgiler- Yüzey kırığı, **Kuzey Anadolu Fayı (1)**, 1-7: Reşadiye, 1-8: Ezinepazar Segmenti, 1-9: Niksar Segmenti, 1-10: Erbaa Segmenti, 1-11: Destek Segmenti, 1-12: Havza Segmenti, 1-13: Köprübaşı Segmenti, 1-14: Kamil Segmenti, 1-15: Kargı Segmenti, 1-16: Ilgaz Segmenti, 1-17: Sarıalan Segmenti, **Merzifon-Esençay Fayı (186)**, 186-1: Esençay Segmenti, 186-2: Amasya Segmenti, 186-3: Suluova Segmenti, 186-4: Diphacı Segmenti, 186-5: Laçın Segmenti, 186-6: İskilip Segmenti, Adlanmamış Fay (187), **Sungurlu Fayı (188)**, Turhal Fayı (190), Almus Fayı (191), Kazankaya Fayı (193), Çekerek Fayı (194), Buğdaylı Fayı (195))

KAFZ, tek bir fayla sınırlı olmayıp, alçak ve yüksek açılı fayların yanı sıra katmanlı çiçek yapılarının bir kombinasyonunu içeren, kabuk ölçeğinde bir pozitif çiçek yapısı olduğunu göstermektedir (Ellero vd. 2015). Tokat ili Erbaa, Niksar ve Reşadiye İlçeleri civarında

KAFZ'dan ayrılan üç farklı ana splay (ayrılma) fayı tanımlanmıştır ve KAFZ bu faylar tarafından kontrol edilmektedir (Taymaz vd. 2007, Karasözen 2010)

Bölgede bulunan splay faylar:

- 1) Almus Fayı (Bozkurt ve Koçyiğit 1995-1996, Taymaz vd. 2007 Karasözen 2010).
- 2) 1939 Erzincan depremi sonrası yüzey kırığı gözlenen Ezinepazarı-Sungurlu Fayı (Ketin 1969, Şengör vd. 1989, Şengör vd. 2005, Emre 2018).
- 3) Merzifon-Esençay Fayı (Şengör 2005, Emre 2018, Koçbulut 2004) (Şekil 2.9).

2.3.1 Almus Fayı

Almus fayı, KAFZ'ın bir dalı olarak tanımlanmakta ve Tokat İlının kuzeyinde yer alan Kazova Havzasını kontrol etmektedir. Bu fay, doğuda Tokat ili Reşadiye ilçesinden başlayarak batıda Zile ilçesinin güneydoğusundaki İğdir Köyüne kadar uzanmakta olup yaklaşık uzunluğu 150 km ve 0.7 ila 12 km genişliğine sahiptir. Bu fay Amasya Makaslama Zonunun (AMZ) güneydoğu kesiminde yer alan aktif sağ yönlü doğrultu atımlı fay sistemidir (Tatar 1995, Bozkurt ve Koçyiğit 1996, Taymaz vd. 2007, Erturaç 2009, Karasözen 2010) (Şekil 2.9).

Almus Fayı Mercimekdağı - Çamdere ile Tokat faylarından oluşur ve Kazova Havzası'nın güney ve kuzey sınırlarını oluşturur. Kazova Havzası boyunca devam eden bu faylar, havzanın meydana gelişinde ve morfotektonik evriminde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca bu fay üzerinde 14 Ağustos 1996 tarihinde $M=5.4$ büyüklüğünde bir deprem vuku bulmuştur (Bozkurt ve Koçyiğit 1996, Demirtaş 1998, Tilki 2013).

2.3.2 Ezinepazarı - Sungurlu Fayı (EzSF)

Ezinepazarı-Sungurlu Fayı, Amasya ve çevresinde önemli bir tektonik yapıdır ve bölgenin morfotektonik evriminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu fay, KAFZ'ın güneye doğru uzanan iç bükey kollarından biri olarak tanımlanmaktadır. Yaklaşık uzunluğu 250 km olan bu fay doğuda Erzincan Havzasından batıda Sungurlu'ya kadar uzanmaktadır. EzSF, farklı alt segmentlerden oluşur ve bu segmentler AMZ içinde yer almakta ve bölgedeki deformasyonun önemli bir kısmını kontrol etmektedir. Bu fay, Amasya ve civarında morfolojik olarak belirgin yapılar oluşturur ve bu yapılar bölgenin neotektonik

jeomorfik özellikler kullanılarak hava fotoğraflarının yorumu ve saha incelemeleri ile haritalanmıştır. Tüm bu jeomorfolojik göstergeler, Esençay fay segmentinin Geç Pleistosen-Holosen dönemindeki aktivitesine işaret etmektedir. Fay boyunca dere kanallarındaki keskin sol ve sağ bükülmeler, drenaj sisteminin tipik özelliklerindendir. Sistemik olarak sağa bükülen dere kanalları ve ofsetli dereler, Esençay fay segmentinin sağ yanal hareketine dair açık göstergelerdir (Emre vd. 2020).

2.3.3.2 Amasya Segmenti

Amasya segmenti MEF sistemi içerisinde Esençay ve Suluova segmentleri arasında yer almaktadır (Şekil 2.11). Doğu-Batı yönünde uzanan yaklaşık 32 km uzunluğunda bir fay segmentidir. Fayın doğuda Yeşilırmak Nehri vadisinin güney yamaç eteğini takip ederken batı kısmı Yeşilırmak Nehrine bağlanan doğrusal bir vadi boyunca uzanmaktadır.

Yeşilırmak Nehrine dökülen yan dere kanallarının birçoğu fay hattını dikey olarak geçmektedir. Bu özellikler fay boyunca sistemik sağ yanal ofsetler ile karakterize edilir. Gözlemlenen sağ yanal ofsetler, fay segmentinin batı ucunda yaklaşık 225 metreye kadar ulaşmaktadır. Ofsetli dereler ve kayma sırtları, tüm fay segmenti boyunca fayın aktif olduğuna dair jeomorfik kanıtlar sunar (Tüysüz 1996, Emre vd. 2020).

2.3.3.3 Suluova Segmenti

Suluova segmenti, MEF sisteminin ortasında, Amasya ve Diphacı segmentlerinin arasında yer almaktadır (Şekil 2.11). Doğu-Batı doğrultusunda uzanan bu fay segmenti, Merzifon-Suluova havzasında yaklaşık 32 km uzunluğundadır. Bu fay segmenti, Suluova Havzası'nın ilk evresine ait çökel birimlerinin ötelenmesinden elde edilen verilere göre, yaklaşık 6 km sağ yanal ötelenme göstermiştir. Bu fayın güncel aktivitesi GNSS verileri ile yapılan modellemelerde oldukça düşük çıkmıştır (Koçbulut 2004, Erturaç 2009, Yavaşoğlu vd. 2009, Emre vd. 2020).

Bu fay segmenti, önceki çalışmalarda aktif bir fay olarak tanımlanmış ve Arpat ve Şaroğlu (1975) tarafından “Merzifon Fayı” olarak, Rojay ve Koçyiğit (2011) tarafından ise “Uzunyazı Fayı’nın merkezi segmenti” olarak adlandırılmıştır.

2.3.3.4 Diphacı Segmenti

Diphacı segmenti, MEF sistemi içinde Suluova ve Lâçin segmentleri arasında yer alan yaklaşık 33 km uzunluğundaki bir fay sistemini tanımlar (Şekil 2.11). Segment genel olarak N85E yönünde kuzeye bakan geniş bir yay geometrisi sergiler. Bu segment, özellikle 1996 Salhan Vadisi Depremi ($M=5.7$) ile ilişkilendirilmiş ve bu depremde Diphacı Köyü ve çevresindeki yerleşim yerleri ciddi hasar görmüştür.

Diphacı segmentinin yer aldığı bölgede depremin yüzey kırığı oluşmamış olsa da özellikle Salhan çayının alüvyal dolgusu üzerinde yoğunlaşan ve bazı bölgelerde 20 cm genişliğinde tali kırıklar görülmüştür. Bu kırıklar bölgedeki tektonik hareketliliği ve segmentin sismik potansiyelini ortaya koymaktadır (Erturaç 2009, Emre vd. 2020).

2.3.3.5 Laçin Segmenti

Laçin segmenti, KAFZ'ın Merzifon-Esençay Fayı'nın bir parçasını oluşturan ve ortalama 31 km uzunluğunda olan bir segmenttir (Şekil 2.11). Bu segment Merzifon Alıcık Köyü ve Çorum Laçin İlçesi arasında uzanır ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay türüdür. Laçin segmenti, genel olarak tek bir fay izi tarafından oluşturulmuş olmasına rağmen, doğu kısmında Laçin İlçesi civarında yaklaşık 3.5 km uzunluğunda kısa bir fay bulunmaktadır. Bu segment bölgedeki aktif tektonizmanın önemli bir parçasıdır (Erturaç 2009, Emre vd. 2020).

2.3.3.6 İskilip Segmenti

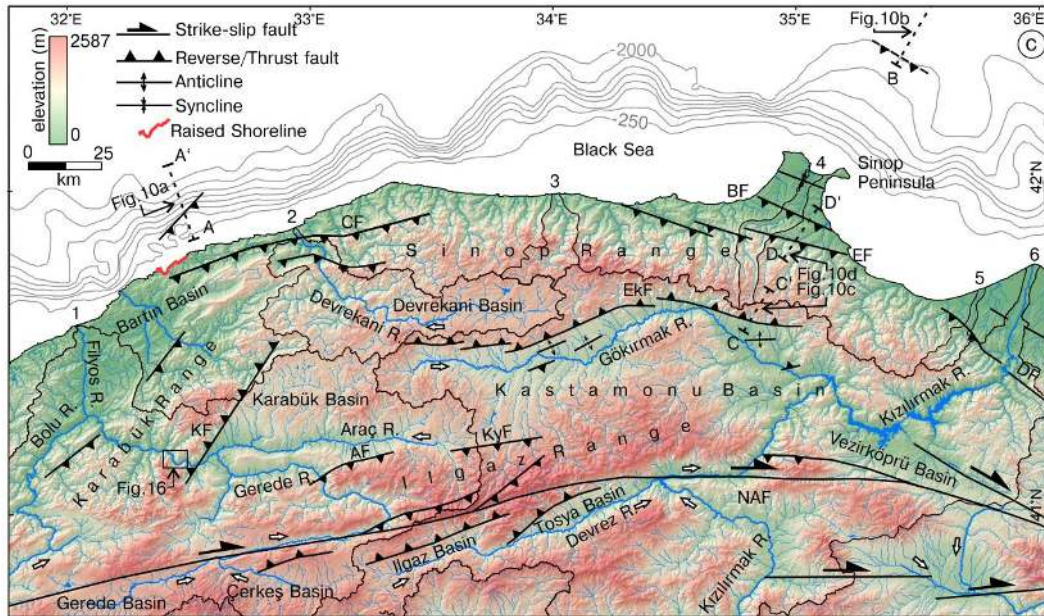
İskilip Segmenti, MEF sisteminin bir parçası olup en batı uç bölümüne karşılık gelen, yaklaşık 31 km uzunluğa sahip, Doğu-Batı doğrultusunda Çorum İli İskilip İlçesi'nin kuzeyine uzanmaktadır (Şekil 2.11). Önemli jeolojik olayları kontrol eden bu segment üzerinde kayıtlara geçen depremler bölgedeki tektonik hareketin bir göstergesidir. Özellikle 21 Kasım 1942'de İskilip'in kuzeyinde meydana gelen deprem ($M=5.5$) İskilip Segmenti üzerindeki aktivitenin bir sonucudur (Erturaç 2009). Segmentin en batı ucu Sorkun'un kuzeyinde, güneye eğimli bindirme fay zonuna bağlanmaktadır. Segment, doğuda 15 derecelik bir açıyla Laçin Segmentine bağlanmaktadır. Bu bindirme zonu

güneybatıya doğru uzanmakta ve büyük bir fay kıvrımı geometrisi ile Çankırı Orta Fayı ile birleşir (Koçyiğit vd. 1995, Seyitoğlu vd. 2009).

Çankırı Orta Fayı, Orta Anadolu'daki ana aktif tektonik yapılardan biridir ve KAFZ ile Tuz Gölü Fayı arasında bir bağlantı oluşturur. İskilip segmentinin doğu kısmında ofset sırtlar, dere kanalları ve doğrusal vadiler segmentin karakteristik özellikleri arasında yer almaktadır. Bu bölgede Cevizli dere yatağında yaklaşık 1 km sağ yanal ofset ölçülmüştür (Emre vd. 2020).

2.3.4 Ekinveren Fayı

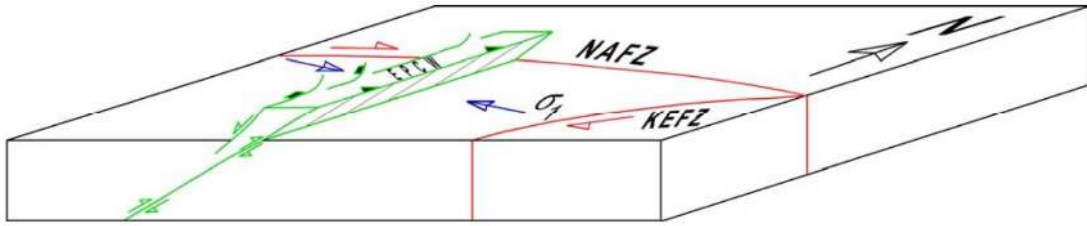
Ekinveren Fayı, Kastamonu Havzasının kuzey kesiminde yer alan, Doğu-Batı uzanımlı, yaklaşık 180 km uzunluğunda ters bir fay olup bölgedeki neotektonik deformasyonun önemli bir bileşenidir (Şekil 2.12). Kastamonu Havzasının topografik özellikleri ve fay üzerinde gözlemlenen jeolojik özellikler ve yapısal saha gözlemlerine odaklanan çalışmalar Ekinveren Fayı'nın aktif olduğunu ve bununla birlikte tektonik yüklenme altında olduğunu göstermektedir (Yıldırım vd. 2011, Ballato vd. 2018, Ocakoğlu vd. 2018, Racano vd. 2023).



Şekil 2.12 Çalışma alanını gösterir harita. AF: Araç Fayı, BF: Balıfakı Fayı, CF: Cide Fayları, EF: Erikli Fayı, EKF: Ekinveren Fayı, KF: Karabük Fayı, KyF: Kayı Fayı, NAF: Kuzey Anadolu Fayı'nı göstermektedir (Yıldırım vd. 2011).

2.3.5 Eldivan Fayı

Neo-Tetis kenet zonunun batı kenarını sınırlandıran faylar bazı çalışmalarda Korgun Fayı veya Eldivan Fay Zonu ismiyle kısmen yer almıştır (Kaymakçı 2000, Kaymakçı vd. 2000, 2001, Adıyaman vd. 2001, Rojay ve Karaca 2008, Parlak 2015). Eldivan-Elmadağ Fayı, KAFZ ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında Kuzeybatı-Güneydoğu yönünde meydana gelen sıkışma nedeniyle Geç Pliyosen döneminde aktif hale gelmiş neotektonik bir yapıdır. Bu fay Çankırı-Ankara arasında yaklaşık Kuzey-Güney doğrultusunda uzanırken Çankırı kuzeyinde yön değiştirerek Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunu alır ve doğuya doğru KAFZ'a paralel hale gelir. Bölgede yer alan sismometre ağından (AnkNET) elde edilen veriler, Eldivan-Elmadağ Fayı'nın aktif olduğunu, hem bindirme hem de normal faylara bağlı küçük depremler ürettiğini göstermektedir. Ilgaz ve Tosya havzalarının gelişiminde de etkili olan Eldivan-Elmadağ tektonik yapısı, bu havzalar ile KAFZ arasında geçiş bölgesini oluşturmaktadır (Seyitoğlu vd. 2009, Parlak 2015, Esat vd. 2021) (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Eldivan Elmadağ sıkışmış kabuk kamasının (EPCW) Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAFZ) ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ) arasındaki konumunu gösteren basitleştirilmiş bir blok diyagram. (Seyitoğlu vd. 2009).

Kaymakçı (2000), Çankırı bölgesinde Erken-Orta Miyosen döneminde orojenik çökme sonucu bir genişleme sistemi oluştuğunu, ardından Geç Miyosen-Günümüz arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) oluşumuyla ilişkili olarak transpresyon (sıkışmalı-yanal hareket) meydana geldiğini öne sürmektedir. Çankırı Havzası'nın batı kenarını, Eldivan Fay Zonu (EFZ) olarak adlandırılan transpresyonel sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonu olarak tanımlamaktadır. Ancak, Miyosen sonrası dönemde, transpresyonel rejimin belirtildiği bu alanda genişlemeli bir tektonik rejim olduğu sonucuna varılmıştır (Kaymakçı vd. 2000, Kaymakçı vd. 2001).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

KAFZ Türkiye'nin en aktif ve tehlikeli tektonik bölgelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu fay üzerinde meydana gelen depremler nedeniyle ana segmentlere ayrılmış ve her segment özelinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. KAFZ'ın orta segmenti de doğrudan tarihsel ve aletsel dönemlerde büyük, yıkıcı depremlerle ilişkilendirilmiş, hem bilimsel hem de mühendislik açısından büyük öneme sahiptir. Literatürde KAFZ'ın orta kesiminin sismik aktivitesi, jeolojik yapısı ve deformasyon süreçleri üzerine yapılan birçok çalışma dizisi bulunmaktadır (McClusky vd. 2000, Hubert vd. 2002, Reilinger vd. 2006, İşseven ve Tüysüz 2006, Kozacı vd. 2007, Yavaşoğlu vd. 2011, Walters vd. 2011, Tatar vd. 2012, Peyret vd. 2013, Erturaç ve Tüysüz 2012, Çakır vd. 2014, Aktuğ vd. 2015, Emre vd. 2020, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023). Bu çalışmaların büyük bir kısmında Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından oluşturulan ağa ait hızlar kullanılmış olduğu görülmektedir.

Bu literatür incelemesinin temel amacı, KAFZ'ın orta kesiminde yapılan önceki çalışmaların kapsamlı bir özetini sunmak ve bölgedeki tektonik süreçlerin anlaşılmasına yol gösteren bulguları vurgulamaktır. Bu inceleme mevcut tez çalışmasının temellerini oluşturacak ve GNSS verileri ile elde edilen güncel hız alanı ile blok modelleme tekniklerinin kullanıldığı yaklaşımlarla bölgenin tektonik dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına yönelik adımları destekleyeceği düşünülmektedir.

McClusky vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada Avrasya bloğunun güney ucundan Afrika bloğunun kuzey ucu boyunca 189 GPS istasyonundan yapılan gözlemler sonucu elde edilen kabuk hareketini sunmaktadır. Çalışmada KAFZ'ın segmentlerinin çeşitli kinematik özelliklerini ve fay genel davranışını incelemektedir. Çalışmada KAFZ için üst sınır kayma hızı 24 ± 1 mm/yıl olarak belirlenmiş ve KAFZ boyunca kayma hızının önemli ölçüde değişmediği, bu kayma hızının da doğrultu atımlı hareketle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Hubert vd. (2002) çalışmasında, KAFZ'ın orta ve doğu kesiminde jeolojik ve jeomorfolojik sapmalar kullanılarak, deformasyonun yeri, toplam yer değiştirme ve farklı zaman dilimlerinde kayma hızları belirlenmiştir. Çalışmada KAFZ'ın toplam yer

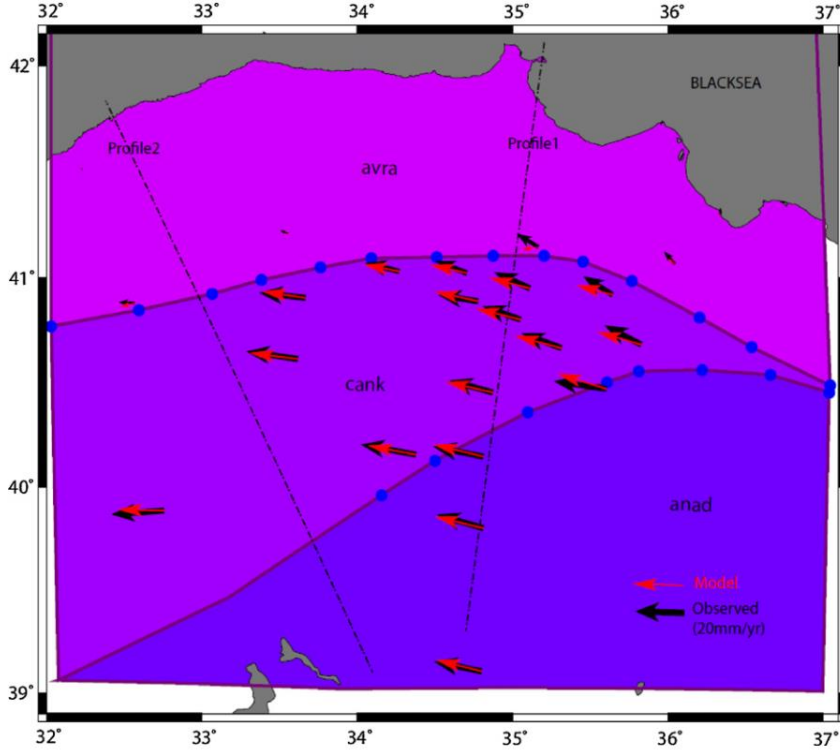
değiştirmesi Neojen döneminde 80 ± 15 km olarak belirlenmiştir. Holosen dönemi ile ilişkili küçük ölçekli nehir sapmaları incelenmiş ve bu dönemde de kayma hızı 18 ± 3.5 mm/yıl olduğu görölmektedir.

Reilinger vd. (2006) çalışmasında, Afrika, Arap ve Avrasya plakalarını içeren bölgenin tektonik hareketlerini incelemek amacıyla GPS verilerini kullanmıştır. Çalışmada 1988-2005 yılları arasında elde edilen GPS verilerine dayanarak plaka hareketlerini ve ana fay hatları boyunca kayma hızlarını belirlemek için blok modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmada KAFZ orta kesiminin faya paralel kayma hızı 24.2 ± 0.2 mm olarak hesaplanmıştır.

İşseven ve Tüysüz (2006) tarafından yapılan çalışmada KAFZ üzerinde Tokat ve Çankırı illeri arasında yer alan faylarla sınırlandırılmış kıtasal blokların rotasyonel hareketinin kinematikini ortaya çıkarmak amacıyla paleomanyetik veriler kullanılmıştır. Ayrıca bu verileri jeodezik ve jeolojik verilerden elde edilen sonuçlarla kıyaslamıştır. KAFZ anakolu ile Sungurlu Fayı'nın arasında kalan Laçın ve Merzifon faylarının sağ yanal atımlı olduğu belirtilmiştir. Özellikle Tokat bloğunda hesaplanan yaklaşık 40° lik saat yönünün tersine rotasyon, Anadolu Plakasının Miyosen döneminden sonra başlayan bir rotasyon sürecine bağlamıştır.

Kozacı vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada jeomorfolojik haritalama ile deplasman olmuş bir dere terasının kosmojenik radyonüklid (^{36}C) yaşlandırma teknikleri ile KAFZ'in orta kesimi için Geç Holosen kayma hızını 20.5 ± 8.5 mm/yıl olarak hesaplamıştır.

Yavaşoğlu vd. (2011) çalışmasında KAFZ'in orta kesiminin tektonik hareketleri modellemek için 16 noktalık bir GPS ağı kurulmuş ve bu ağı üzerinde 2001 ile 2004 yılları arasında toplam 4 kampanya GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.1). Çalışmada KAFZ orta kesiminde anakol boyunca doğudan batıya doğru 18.7 ± 1.6 mm/yıl ile 21.5 ± 2.1 mm/yıl arasında değişen kayma hızları hesaplanmıştır. Ancak, oluşturulan GNSS ağına ait nokta sayısı Sungurlu Fayı'nın kinematik özelliklerinin yorumlanması için yeterli olmadığı görölmektedir.



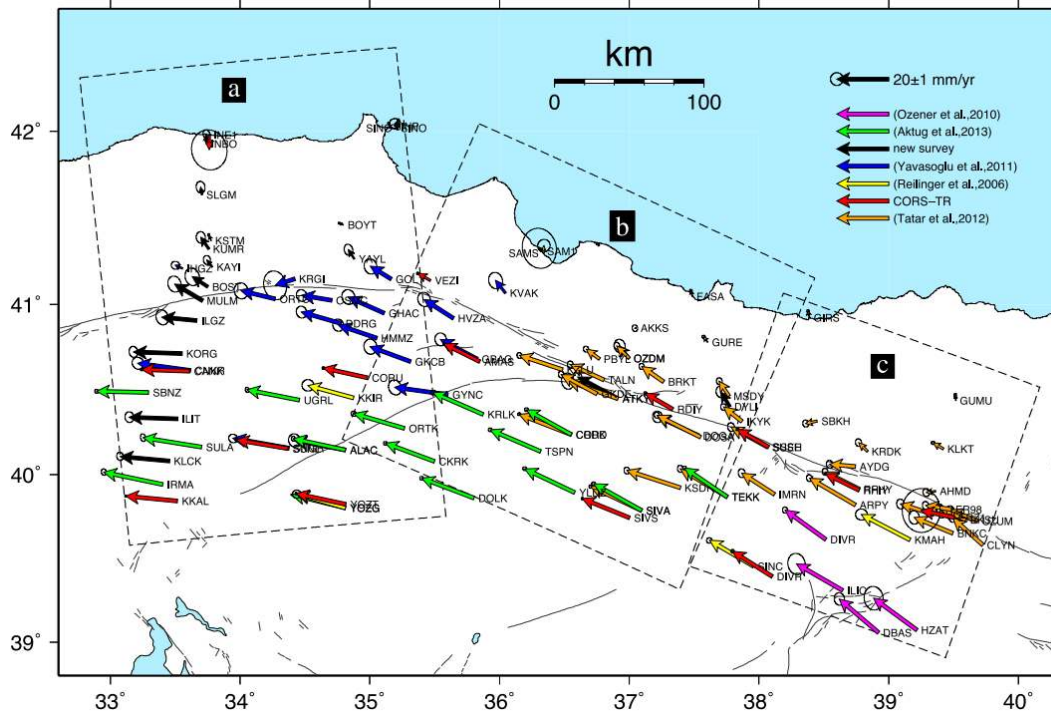
Şekil 3.1 Çalışma alanının 3 bloklu model çizimi (Yavaşoğlu vd. 2011).

Tatar vd. (2012) tarafından KAFZ'ın bir kolu olan Sungurlu Fayı'nın doğusundan Erzincan'a kadar olan bölgede 36 noktalı GPS ağı kurulmuştur. Bu ağ üzerinde 2006-2008 yılları arasında yapılan GPS ölçmeleri sonucu elde edilen verilerle kayma hızının fayın doğusundan batısına doğru artarak 16.3 ± 2.3 mm/yıl'dan 24.0 ± 2.9 mm/yıl'a yükseldiğini belirtmiştir. Ayrıca kilitlenme derinliklerinin de batıya doğru (Erzincan'da 8.1 ± 3.3 km, Niksar yakınlarında 12.8 ± 3.9 km) arttığı gözlemlenmiştir.

Erturaç ve Tüysüz (2012) çalışmasında Ezinepazarı-Sungurlu Fayı'nın (EzSF) kinematik özellikleri saha gözlemleri, morfolojik izler ve mikro fay ölçümlerinin analizleriyle belirlenmiştir. EzSF boyunca maksimum morfolojik ötelenme, Ezinepazar segmentinin en doğu kısmında $6,5 \pm 0,5$ km, Deliçay ve Geldingen segmentleri boyunca ötelenme $3,5 \pm 0,5$ km olarak ölçülmüştür. Bu azalan fay ötelenmeleri eğilimi, EzSF'nin Sungurlu kasabası yakınlarında sona erdiğini göstermektedir. Bu, EzSF'nin doğu Kunlun Fayı gibi serbest uçlu bir fay sistemi olduğunu ima etmektedir. Fay üzerinde morfolojik ötelenme işaretleri kullanılarak hesaplanan yıllık kayma hızları da, yapılan ölçümlerle tutarlı bir eğilim göstermektedir. Özellikle, KAFZ'ın Doğu segmentinde yıllık kayma hızı yaklaşık 7-10 mm, merkezi kesiminde ise yaklaşık 5 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

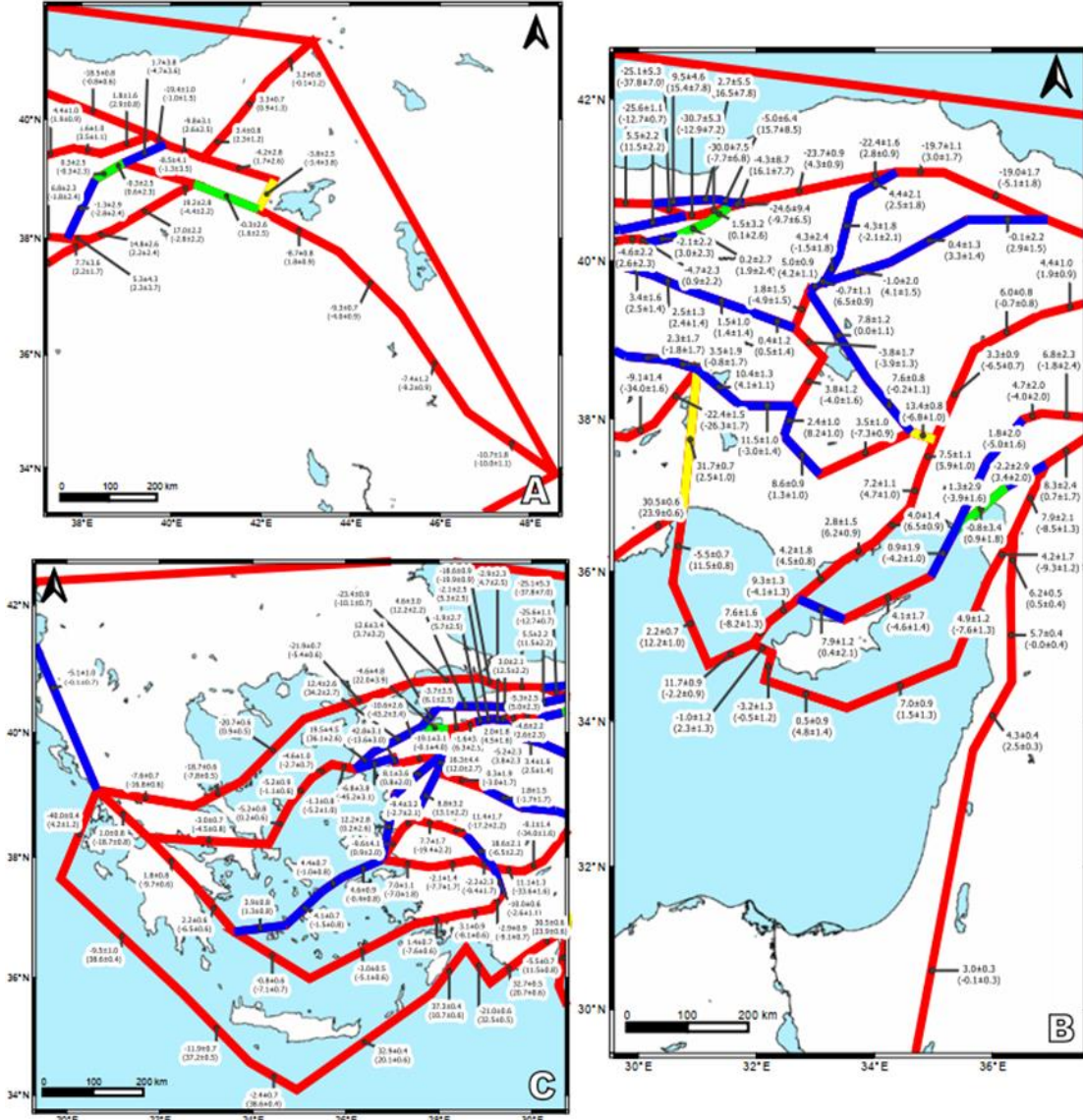
Peyret vd. (2013) çalışmasında KAFZ’ın orta bölümünde güncel deformasyon dağılımını InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) analizleri kullanarak incelemektedir. Çalışmada bölge Avrasya ve Anadolu bloklarına ayırarak DEFNODE yazılımı ile blok modelleme yapılmıştır. Ters çözümleme yaparak KAFZ’ın orta kesiminin fay kayma hızını yaklaşık 20 ± 2 mm/yıl, kilitlenme derinliği ise yaklaşık 15 km ile 25 km arasında değişen bir model elde edilmiştir.

Aktuğ vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada Erzincan’dan başlayarak Ilgaz’a kadar uzanan kısımda GPS ölçmeleri sonucu elde edilen verilerle hesaplanan hızları kullanarak fay kayma hızlarını ve fay kilitlenme derinliklerini kestirmiştir. Çalışmada yeni GPS verileri ile mevcut veri setlerini homojen bir şekilde birleştirerek yeni bir veri seti oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Ayrıca CORS-TR ağından elde edilen ilk sonuçlar veri setine dâhil edilmiştir. Çalışma bölgesini üç farklı profil üzerinde temsil ederek bu profillerde yapılan detaylı analizler sonucunda bölgenin doğu kesiminde fay kilitlenme derinliği 11.9 ± 3.5 km, fay kayma hızı 19.8 ± 2.3 mm/yıl, orta kesiminde fay kilitlenme derinliği 12.6 ± 2.4 km, fay kayma hızı 21.4 ± 1.3 mm/yıl, batı kesiminde ise fay kilitlenme derinliği 19.1 ± 3.4 km, fay kayma hızı 21.5 ± 1.2 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2 Analizde kullanılan bireysel hız alanları (Aktuğ vd. 2015).

Seyitoğlu vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Anadolu Plakası ve çevresindeki neotektonik bölgeleri blok modelleme yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Kuzey Anadolu, Eskişehir ve Kırıkkale-Erbaa fay zonları arasında yer alan Kuzeybatı-Orta Anadolu Büzülme Bölgesi'nin neotektonik yapıları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu bağlamda, GNSS hız verileri kullanılarak 25 bloktan oluşan detaylı bir blok modeli geliştirilmiş ve fay kayma hızları hesaplanmıştır (Şekil 3.4).

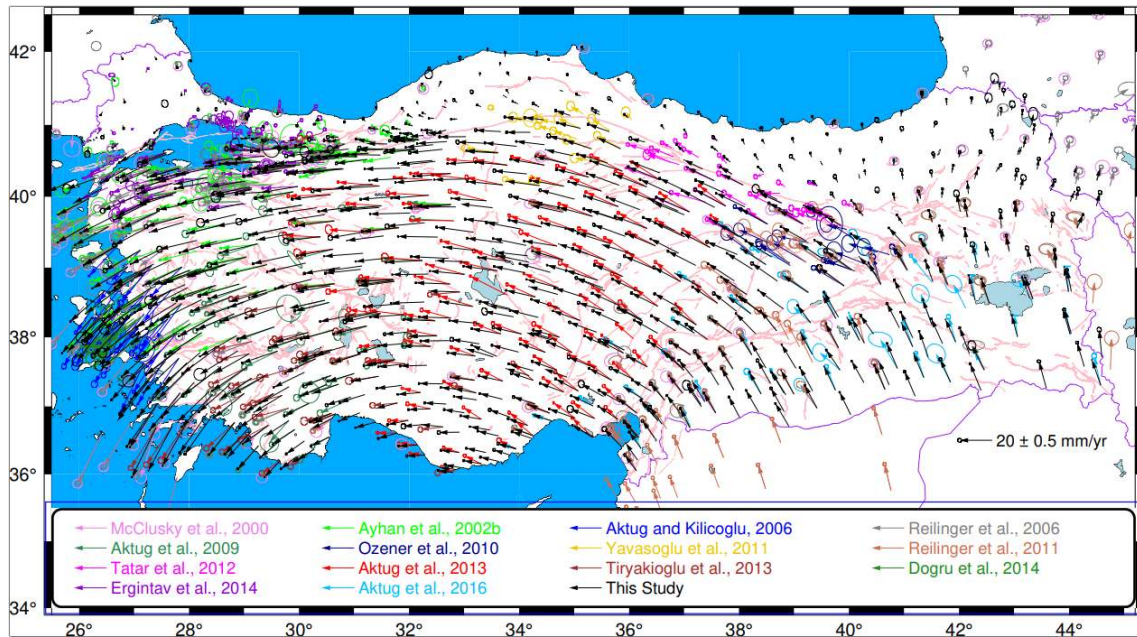


Şekil 3.4 Çalışma bölgesinde önerilen blok model ve fay kayma hızları (Seyitoğlu vd. 2022). Pozitif değerler, fay-paralel ve fay-normal (parantez içinde) kayma hızları için sırasıyla sol-yanal ve ters kaymalara karşılık gelmektedir. Kayma hızlarına göre, kırmızı sınırlar hem jeolojik hem de istatistiksel olarak anlamlıdır; mavi sınırlar istatistiksel olarak anlamlıdır ancak jeolojik olarak anlamlı değildir; yeşil sınırlar ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Sarı çizgiler gerçek bir tektonik sınıra karşılık gelmemektedir. A) Türk-İran Platosu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu. B) Orta Anadolu, Kıbrıs. C) Batı Türkiye, Ege Denizi ve Yunanistan.

Seyitoğlu vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada KAFZ, Muş-Varto'nun doğusundan Yunanistan'a kadar uzanmakta olup, genel olarak sağ yanal kayma hızının -9.8 ± 3.1 mm/yıl ile -25.6 ± 1.1 mm/yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir. KAFZ anakolunda hesaplanan sonuçların hem istatistiksel hem de jeolojik olarak anlamlı olduğu, Sungurlu Fayı'nda hesaplanan kayma hızlarının ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu fakat jeolojik olarak anlamlı olmadığı belirtilmiştir. Bulgular genel olarak, bu bölgenin hem aktif sıkışma altında olduğunu hem de önemli bir deprem potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

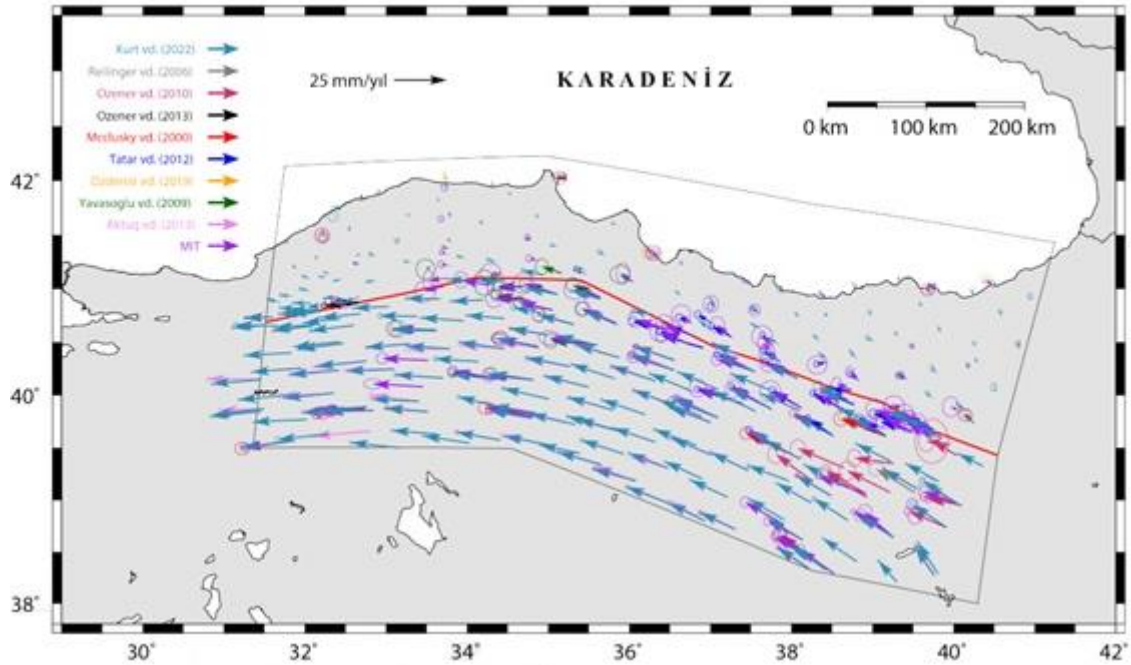
Kurt vd. (2023) tarafından yürütülen çalışmada, daha önceki çalışmalarda yayınlanan ve 178'i de ilk kez yayınlanan GNSS istasyonlarından olmak üzere toplam 836 istasyonunun zaman serisi incelenmiştir (Şekil 3.5).

Çalışma KAFZ ve DAFZ boyunca gerilme birikimi ile fay kayma hızlarını hesaplamak amacıyla yapılmıştır. Modellemeyle belirlenen kayma hızları, KAFZ için 20 ile 26 mm/yıl, DAFZ için ise 9,7 ila 11 mm/yıl aralığında değişmektedir. Bunu yanı sıra kilitlenme derinliklerinin fay segmentleri üzerinde kayda değer şekilde değişiklik gösterdiği ve bu durumun faylarda sismik tehlike analizi için büyük öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır.



Şekil 3.5 Avrasya sabit ITRF 2014 referans çerçevesinde nihai hız çözümü (Kurt vd. 2023).

Ayrık (2023) yapmış olduğu çalışmada KAFZ'ın yaklaşık 800 km'lik kısmı için gerinim birikimini belirlemek amacıyla blok modelleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında literatürdeki yapılan çalışmalarda elde edilen GNSS hızları birleştirilerek 272 noktalık bir hız alanı oluşturulmuştur (Şekil 3.6). Bu hız alanı kullanılarak yapılan blok model çözümü sonucunda bölgenin doğusunda ve orta kısımlarında fay kilitlenme derinliklerinin 15 km civarında olduğu görülmektedir. Bölgenin batı tarafında ise fay kilitlenme derinliklerinin düşük olduğu, İsmetpaşa segmentinde yüzeyde neredeyse hiç kilitlenme olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca fay kayma hızları incelendiğinde, bu hızların doğudan batıya doğru 20 ile 22 mm/yıl civarında yanal hareket görüldüğü belirtilmiştir.



Şekil 3.6 Ayrık (2023) tarafından yürütülen blok model çalışması.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Küresel Konumlama Sistemleri

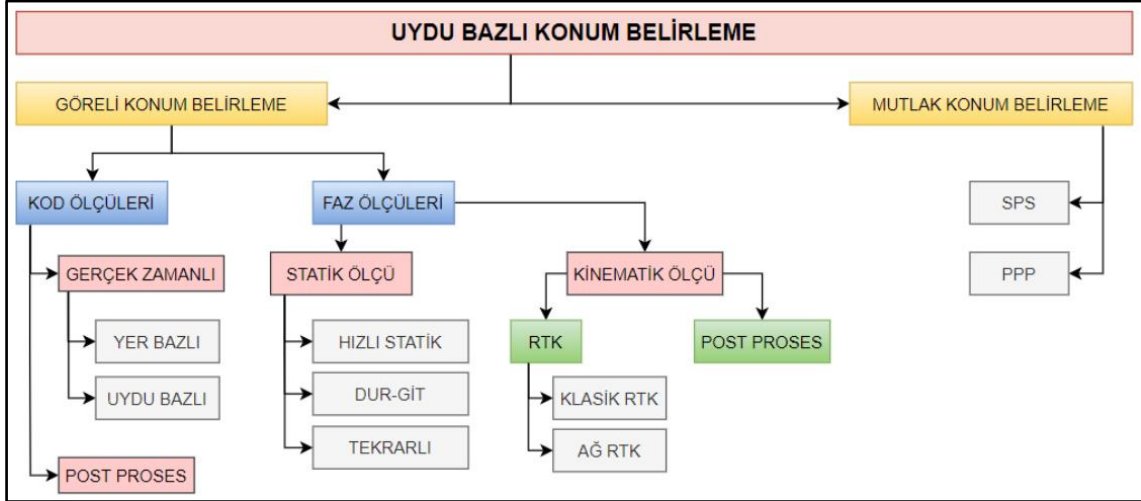
Küresel Konumlama Sistemleri (GNSS), dünya yörüngesinde yer alan uydulardan gönderilen sinyaller yoluyla kullanıcılara eşzamanlı üç boyutlu hız, zaman ve hassas konum bilgisi sağlayan bir sistemdir. GNSS'in ilk örneği, Amerika Birleşik devletleri Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından askeri amaçla geliştirilen ve GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemi) olarak bilinen NAVSTAR (NAVigation Satellite Time and Ranging) sistemi olmuştur. Başlangıçta askeri amaçlı tasarlanan bu sistem 2000 yılından sonra sivil kullanıma da açılmasına olanak tanınmıştır. GPS'in başarılı sonuçlar elde etmesi başka ülkelerin de benzer sistemler geliştirmesine sebep olmuş ve bu uydu takımlarının tamamı GNSS bünyesinde toplanmıştır (Kahveci ve Yıldız 2009).

GNSS teknolojisi Dünya'da milyarlarca dolarlık bir pazarı temsil etmekte olup bu teknoloji deprem erken uyarı sistemlerinden akıllı telefonlara kadar geniş bir yelpazede uygulama alanına sahiptir. Ayrıca GNSS'in geniş uygulama alanı, özellikle yüksek hassasiyet, anlık veri sağlama ve her türlü hava şartlarında çalışma yetenekleri sayesinde navigasyon, haritacılık faaliyetleri, tektonik hareketlerin belirlenmesi, yapı sağlığı izlemeleri gibi birçok teknik ve bilimsel alanlarda da önemli rol oynadığı görülmektedir (Shen vd. 2019).

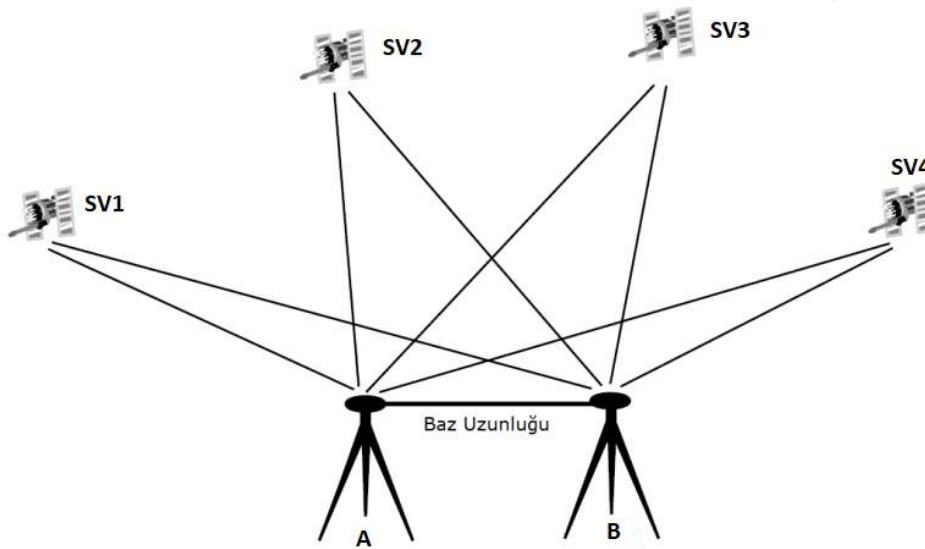
GNSS temelde uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olarak üç ana bölümden meydana gelmektedir. Uzay bölümü yörüngede yer alan GNSS uydularını içerir ve bu uydular yerküre üzerindeki alıcılara sinyaller gönderir. Kontrol bölümü yerkürede yer alan ve GNSS uydularının yönetilmesi, kontrol edilmesi ve izlenmesi için kullanılan yer istasyonlarını içermektedir. Kullanıcı bölümü ise uydulardan gelen sinyalleri alan, bu sinyalleri lokasyon, zaman ve hız bilgilerine dönüşümünü sağlayan cihazları içerir (Kahveci ve Yıldız 2009).

GNSS ile konum belirlemenin temeli “uzay geriden kestirme” ilkesine dayanmaktadır. GNSS'in Çalışma prensibi Atmosferde bulunan küresel konumlama uydularıyla yeryüzü üzerinde yer alan ve bu yapay uydulardan alınan sinyalleri toplayan bir alıcı aracılığıyla

alıcının konumlandığı yerin tanımlanmasına dayanır. Konumu belirleyebilmek için GNSS alıcısının eş zamanlı en az 4 uydudan sinyal toplaması gerekmektedir. Anlık konum belirlemede doğruluğu cm seviyesinde iken farklı ölçme ve analiz yöntemlerini kullanarak bu doğruluk mm seviyesine düşürülebilmektedir (Şekil 4.1) (Solak 2020).



Şekil 4.1 Konum belirleme yöntemleri (Solak 2020).



Şekil 4.2 (A) konumu bilinen, (B) konumu bilinmeyen noktalar. (Özbey 2017, Alkan 2018).

GNSS ile mutlak ve görelî olmak üzere iki farklı konum belirlemesi yapılmaktadır. Mutlak konum belirleme yerküredeki bir alıcının minimum dört uydudan gelen sinyal ve kod gözlemleri analiz edilerek gerçekleştirilen gözlemdir. Bu yöntemin doğruluğu mühendislik çalışmaları ve deformasyon araştırmaları gibi hassasiyet gerektiren

çalışmalarda elverişli değildir. Göreli konum belirleme, yerkürede en az iki GNSS alıcısı gerektiren bir yöntem olup, bir alıcının konumu, konumu bilinen bir referans istasyonuna göre hesaplanır (Şekil 4.2). Bu konuda literatürde çeşitli yöntemler tanıtılmış fakat yüksek hassasiyet istenen çalışmalarda statik ölçü tekniği öncelikli olarak kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009, Aladoğan 2017, Alkan 2018) (Şekil 4.1).

GNSS'in temel bileşenleri olan uydulardan her biri, yerkürenin farklı bölgelerindeki alıcılara daima sinyal göndermek üzere tasarlanmıştır. Günümüzde çeşitli ülkelere ait birçok konum belirleme uydu sistemi bulunmakta, bunlardan bir kısmı bölgesel bir kısmı da küresel çapta hizmet vermektedir. Bu sistemlerden Global Positioning System (GPS), Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), Galileo ve BeiDou küresel çapta hizmet vermektedir.

GPS, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından geliştirilmiş olup Dünyada ilk işlevsel konum belirleme sistemidir. Ülkemizde yapılan konuma dayalı çalışmalarda en fazla uygulanan sistem olup günün herhangi bir zamanında yapılacak GNSS ölçmesinde minimum 10 GPS uydusundan sinyal toplanabilmektedir. ABD, en az 24 adet GPS uydusunun % 95 oranında kullanılabilirliğini taahhüt ediyor. ABD bu taahhüdü sağlamak için on yıldan uzun bir süredir 31 aktif uydu yardımıyla hizmet sunmaktadır (Solak 2020, İnt. Kyn.10)

Çizelge 4.1 Uyduların sinyal ve yörünge bilgileri (Shen vd. 2019'dan değiştirilerek).

Sistem	Aktif Uydu Sayısı	Yörünge	Yörünge Yüksekliği (km)	Sivil Sinyal
GPS	31	MEO	20,180	L1 C/A, L2C, L5, L1C
GLONASS	24	MEO	19,130	L1OF, L2OF, L3OC
Galileo	30	MEO	23,222	E1, E5a, E5b
Beidou	33	GEO IGSO MEO	GEO-35,786 IGSO-35,786 MEO-21,528	B1I, B2I, B3I, B1C, B2a

GLONASS, Rusya tarafından geliştirilen ve GPS'den sonra Dünyada işlevsel hale gelen uydularla konum belirleme sistemidir. Ülkemizde yapılan konuma dayalı çalışmalarda en çok kullanılan sistemler arasında ikinci sırada olup günün her saatinde gerçekleştirilecek

GNSS ölçmelerinde minimum 4 GLONASS uydusundan sinyal toplanabilmektedir. Bu sistem günümüzde 24 aktif uydu yardımıyla hizmet sunmaktadır (İnt. Kyn.11).

Galileo, Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş ve GLONASS'dan sonra ülkemizde sıklıkla kullanılan konum belirleme sistemidir. 30 aktif uydu yardımıyla hizmet vermekte olup ülkemizde yapılan GNSS ölçmelerinde alıcılar tarafından minimum 2 Galileo uydusundan sinyal alınabilmektedir (İnt. Kyn. 12).

4.2 GNSS Veri Analizi

GNSS ölçmeleri sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi sürecinde kullanılan birden fazla akademik ve ticari yazılımlar mevcuttur. Ticari yazılımlar GNSS alıcıları ile birlikte pazarlanmakta ve markaların kendilerine özgü yazılım seti bulunmaktadır. Mevcut yazılımlar genellikle uygulamalı mühendislik projelerinde kullanılmaktadır. Topcon Tools, Spectra Survey Office, Leica Geo Office, Trimble Total Control gibi yazılımlar ticari yazılımlara örnek olarak verilebilir. GNSS alıcısı üreten firmalar tarafından geliştirilen ve algoritmaları düzenlemeye kapalı olan bu yazılımlar, genellikle yalnızca o markaya ait GNSS verilerini işleyebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tektonik hareketlerin tespiti ya da deformasyon belirleme çalışmaları gibi yüksek doğruluk istenen projelerde elde edilen GNSS verileri ticari programlarda gerekli hassasiyette değerlendirilmemektedir. Bilimsel amaçlı üretilen yazılımlar ise genelde enstitülerin ya da üniversitelerin kullanması amacıyla geliştirilmiştir. Bu yazılımlara GAMIT/GLOBK, GIPSY ve BERNESSE örnek olarak verilebilir. Hassas sonuçlar üreten bilimsel yazılımların bazıları kullanıcılara ücretsiz sunulmaktadır. Genellikle Linux veya Unix benzeri işletim sistemlerinde kullanılan bu yazılımlar, proses aşamasından önce, farklı marka alıcılardan elde edilen verilerin alıcıdan bağımsız duruma getirilmesi yani Receiver Independent Exchange Format (RINEX) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir (Solak 2020, Gezgin 2020).

Bu çalışmada Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılım paketi olan GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım genel olarak iki alt modül içermektedir. Başlangıçta GAMIT modülü ile RINEX

formatındaki GNSS ölçmeleri sonucu elde edilen verileri günlük olarak değerlendirilir. Devamında ise GLOBK modülü kullanılarak GAMIT modülünde üretilen ve çeşitli epoklara ilişkin verilere Kalman filtresi uygulanmaktadır (King ve Bock 2000, Herring vd. 2015, Yavaşoğlu 2009, Gezgin 2020).

4.2.1 GAMIT Yazılım Modülü

GAMIT yazılım modülü GNSS verilerini analiz etmek amacıyla Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT), Yer, Atmosfer ve Gezegen Bilimleri Departmanı tarafından geliştirilmiş kapsamlı bir jeodezik araçtır. Bu yazılım, genellikle yüksek hassasiyetli konum belirlemeleri, yer kabuğu deformasyonlarının belirlenmesi ile atmosferik parametrelerin tahmini gibi jeodezik uygulamalar amacıyla kullanılır. Açık kaynak kodlu olması nedeniyle günümüzde birçok bilimsel çalışmada aktif olarak kullanılmaktadır (Herring vd. 2018).

Yazılım Unix işletim sisteminde çalışmakta ve komut satırından kontrol edilmesi sebebiyle arayüz tabanlı yazılımlara göre daha karmaşık bir yapıdadır. GAMIT/GLOBK yazılım modülleriyle GNSS verilerinin prosesi için bu verilerin RINEX formatında olması gerekmektedir. GNSS ölçmeleri sonucu elde edilen ham verileri RINEX formatına dönüştürmek için RINEX Converter ve TEQC gibi kullanılabilecek birçok program mevcuttur (Solak 2020).

GAMIT yazılım modülü ile öncelikle uydu yörünge verileri ile uydu saat bilgileri sağlanır. Kod ölçüleri ve yörünge bilgileri yardımıyla istasyon saat düzeltmeleri yaklaşık nokta konumlarına dayalı olarak hesaplanmaktadır. Bir sonraki işlemde ise ölçmelere ait faz kesiklikleri tespit edilerek elimine edilir. GAMIT devamındaki işlemler için, birbirinden bağımsız ikili farkları elde etmek amacıyla bir algoritma kullanır. İlk dengelemede tespit edilen birbirinden bağımsız çiftli farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin yayılımı ve baz uzunluğuna göre eşleme ile taşıyıcı fazın ilk belirsizliklerinden elde edilir. Bunun sonucunda, kısa baz uzunluklarıyla sağlanan belirsizlik çözümünün daha güvenli olması sayesinde, tüm ağ içinde avantajlı bir şekilde bağımsız yola göre birbirinden bağımsız çift fark kümeleri elde edilir. Bir sonraki adım, L1 ve L2 faz gözlemlerini ayrı ayrı kullanarak, uzun dalga boylu belirsizlik parametreleri

için en uygun tamsayı değerini iteratif bir süreçle hesaplamaktır. Uzun dalga boylu belirsizlikler güvenli bir şekilde çözüme ulaştıktan sonra, bu değerler doğru tamsayılarla yuvarlanır. Tüm parametreleri belirlemek ve ardışık olarak kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek amacıyla, iyonosferden bağımsız çift fark gözlemler üzerinde ek bir dengeleme işlemi gerçekleştirilir (Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2018, Alkan 2018, Solak 2020).

4.2.2 GLOBK Yazılım Modülü

GLOBK yazılım modülü çeşitli dönemlerde elde edilen yersel veya uzaysal ölçüleri Kalman Filtreleme Tekniği ile birleştirmektedir. Kalman filtrelemesi karmaşık sistemlerin en uygun bir şekilde kestiriminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem genelde hatalı verilerin varlığında ve sistemin stokastik modelin anlaşılması durumunda bilinmeyen parametreleri kestirmek için kullanılmaktadır (Chui 1991, Solak 2020).

GAMIT modülünde üretilen H dosyaları GLOBK modülü için girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Bu dosyalar her bir oturum için bağımsız olarak elde edilir. Bütün kampanya ölçmelerinde elde edilen H dosyalarını birleştirmek için küresel ölçekte analiz edilmiş web üzerinden kullanıcılara sağlanan H dosyalarından yararlanılır ve lokal H dosyaları ile global H dosyaları aracılığıyla çözümler birleştirilir. Bu entegrasyon aşaması GLRED programı ile yapılarak her bir noktaya ait uzun ve kısa dönem zaman serileri üretilir. Üretilen günlük birleştirilmiş H dosyaları kullanıma göre haftalık, aylık ve senelik olarak birleştirilip tek bir H dosyası elde edilir. Bu aşama GLOBK alt programı ile gerçekleştirilir. GLORG programı istasyonlara ait hız bilgisinin ve referans sisteminin üretilmesinde kullanılır (Herring vd. 2018, Solak 2020).

4.2.2.1 İstasyonlar ve Yörüngeler İçin Stokastik Gürültünün Kullanımı

GLOBK analiz aşamasında istasyon konumlarını, yörünge ve Dünya yönelim parametrelerini stokastik olarak değerlendirmenin nedenleri vardır. İstasyon koordinatlarının ya da baz bileşenlerinin günden güne ya da yıldan yıla değişkenliğini değerlendirmenin klasik yöntemi, bu bileşenlerin alt kümesini stokastik olarak incelemek ve verilerle hem ileriye hem de geriye doğru bir kalman filtresi çalıştırmaktır. Bu çözüm sonucunda, deterministik olarak incelenen istasyonların koordinatlarının ve hızlarının en iyi tahminleri elde edilirken, stokastik olarak incelenen istasyonların değişkenliği de elde

edilmektedir. Bu yaklaşımın birçok dezavantajı vardır ve en çok göze çarpanı, hangi istasyonların deterministik ya da stokastik yapılacağına karar vermenin zorluğudur. Hız çözümünün güvenilirliğini korumak için, eş zamanlı yalnızca birkaç istasyonu stokastik yapmak gerekmektedir. Bu yaklaşımda, farklı simülasyonlarla sonuçların ne kadar tutarlı olduğunu görmek için çok sayıda deneme yapmayı gerektirir. Bunun yanı sıra, sapmaların olduğu bir istasyonu deterministik yapmak, çözümü ve diğer istasyonların görünen tekrarlanabilirliğini bozmaktadır. Tekrarlanabilirliklerin daha doğru bir şekilde belirlemek için, her oturum ya da ölçüm için bütün koordinatları bağımsız olarak tahmin etmek amacıyla glred yazılımını kullanmak daha uygun bir yaklaşımdır. Bu aşamada referans çerçevesinin korunması, imkân dâhilinde çok sayıda istasyonun glorg stabilizasyonu ile sağlanmalıdır (Herring vd. 2015). Stokastik istasyon konumlarının daha yaygın kullanımı, istasyon konumlarını tahmin ederken zamanla ortaya çıkan ve bu sonuçları etkileyebilecek hata kaynaklarını hesaba dâhil etmektir. Zaman içinde ortaya çıkan ve rastgele bir doğası olan hatalar arasında anten yüksekliği hataları, düzeç hataları, GNSS yörüngeleri veya atmosfer modellemelerinde yapılan hatalar yer almaktadır.

4.2.3 GAMIT/GLOBK Veri Değerlendirme Aşamaları

GAMIT yazılım modülü ile verileri değerlendirmenin ilk adımı GNSS ölçmeleri sonucu elde edilen ham verilerin RINEX formatına dönüştürülmesidir. Ölçülen verileri içeren bu dosyalar GAMIT için girdi sağlar.

1	2.11		OBSERVATION DATA				G (GPS)			RINEX VERSION / TYPE				
2	GPP.DLL V3.06				16 - APR - 24 08:45							PGM / RUN BY / DATE		
3	ORTP											MARKER NAME		
4												MARKER NUMBER		
5												OBSERVER / AGENCY		
6	ZE120012014_		ASHTech UZ-12				0A13						REC # / TYPE / VERS	
7												ANT # / TYPE		
8	3968253.0239		2715829.7798		4178887.7393							APPROX POSITION XYZ		
9	0.0000		-0.0000		-0.0000							ANTENNA: DELTA H/E/N		
10	1		1									WAVELENGTH FACT L1/2		
11	9	L1	L2	C1	P1	P2	D1	D2	S1	S2# / TYPES OF OBSERV				
12	0.25 cycles added to GPS L1P carrier phase											COMMENT		
13	15.000											INTERVAL		
14	2024	3	9	0	0	0.0000000		GPS		TIME OF FIRST OBS				
15	2024	3	9	12	56	30.0000000		GPS		TIME OF LAST OBS				
16	13											LEAP SECONDS		
17	32											# OF SATELLITES		
18	G01	1253	1253	1253	1253	1253	1253	1253	1253	1253	1253PRN / # OF OBS			
19	G02	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1398PRN / # OF OBS			
20	G03	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577PRN / # OF OBS			
21	G04	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601PRN / # OF OBS			
22	G05	2120	2120	2120	2120	2120	2120	2120	2120	2120	2120PRN / # OF OBS			

Şekil 4.3: RINEX dosyası

RINEX formatındaki bir dosyanın başlık bölümünde RINEX versiyonu, ölçmelerin başlangıç ve bitiş tarihi, alıcı ve anten tipi, anten yüksekliği, istasyonun yaklaşık koordinatları, ölçü süresi gibi bilgiler bulunmaktadır (Şekil 4.3).

RINEX dosyaları düzenlendikten sonra GAMIT yazılım modülünün prosese başlaması için ihtiyaç duyduğu, istasyon bilgilerinin bulunduğu “station.info, sites.default, lfile” dosyaların düzenlenmesi gerekmektedir. Bu dosyalar tables klasörü içerisinde yer almaktadır. Bu girdi dosyalarından biri olan “station.info” dosyası, prosesinde kullanılan bütün noktalara ve değerlendirmede kullanılan IGS istasyonlarına ait sırasıyla nokta adı, açıklama, ölçü başlangıç tarihi, ölçü bitiş tarihi (yıl, gün, saat), anten yüksekliği, anten ARP (Antenna Reference Point) kodu, alıcı ve anten tipi bilgilerinin yer aldığı dosyadır (Şekil 4.4).

SERB	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.0890	DHARP	0	0	LEICA	GS15	4.60	LEIGS15
KRUE	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.0870	DHARP	0	0	LEICA	GS15	4.60	LEIGS15
KERT	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.0900	DHARP	0	0	LEICA	GS15	4.60	LEIGS15
UYAZ	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.0930	DHARP	0	0	LEICA	GS15	4.60	LEIGS15
YARP	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.1000	DHARP	0	0	LEICA	GS15	4.60	LEIGS15
ABDI	2024	068	0	0	0	2024	070	0	0	0	0.0700	DHARP	0	0	ASHTech	Z-X		ASH701975.01A
OVSU	2024	092	0	0	0	2024	094	0	0	0	0.0620	DHARP	0	0	ASHTech	Z-X		ASH701975.01A
CKLC	2024	092	0	0	0	2024	094	0	0	0	0.0780	DHARP	0	0	THALES	Z-MA	9.90	THA800961+REC

Şekil 4.4 “station.info” dosya örneği

Diğer bir dosya olan “sites.defaults” dosyasının içeriğinde ise prosese dahil edilen istasyonlar ile IGS istasyonlarını tanımlayan isimler yer almaktadır (Şekil 4.5). IGS istasyonlarına ilişkin veriler dosya içerisinde “ftprnx” opsiyonu ile ftp adreslerinden ilgili dizine otomatik olarak indirecek şekilde tanımlanmıştır.

mate_gps	okaf	ftprnx	xstinfo	glrepu	glreps	glts
nssp_gps	okaf	ftprnx	xstinfo	glrepu	glreps	glts
bahr_gps	okaf	ftprnx	xstinfo	glrepu	glreps	glts
akky_gps	okaf	localrx	xstinfo	glrepu		glts
ala5_gps	okaf	localrx	xstinfo	glrepu		glts
arac_gps	okaf	localrx	xstinfo	glrepu		glts
ayan_gps	okaf	localrx	xstinfo	glrepu		glts

Şekil 4.5 “sites.defaults” dosya örneği

GAMIT yazılım modülü proses aşamasında; yörünge bilgileri, atmosferik gecikmeler ve günlük nokta koordinatları, uygulanan değişkenlerde herhangi bir kısıtlama olmaksızın elde edilmektedir. Bu aşamada lokal ağ ile küresel ağı ilişkilendirip, milimetre

hassasiyetindeki koordinatları kullanarak dünya ve yörünge parametrelerinin daha ayrıntılı hesaplanmasını mümkün kılmak üzere IGS ağına ait istasyonların kullanılması gerekmektedir (Herring vd. 2018, Solak 2020).

Bir diğer girdi dosyası olan “lfile” içinde ise prosese dahil olan tüm noktalara ait yaklaşık koordinatlar yer almaktadır (Şekil 4.6). GAMIT modülü prosese ilk bu koordinatlarla başlar. Bu dosyanın proses sırasında otomatik oluşturulabilmesi için GAMIT modülünün içerisinde pratik komutları mevcuttur. Açıklanan dosyalar haricinde proses için kullanılan birçok dosya bulunmaktadır (Çizelge 4.2).

KONT_GPS	3992190.46718	2731631.82943	4144779.20749
YAVU_GPS	3981730.45261	2738759.54506	4149782.60123
CKLC_GPS	3979481.86205	2727319.83176	4160617.05630
OVSU_GPS	3969858.25604	2740097.90151	4159667.87075

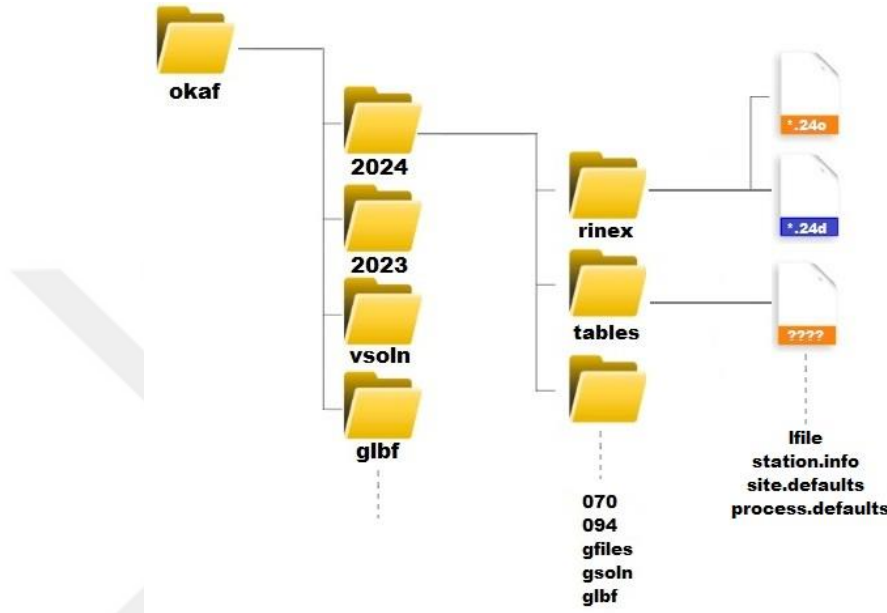
Şekil 4.6 “lfile” dosya örneği.

Çizelge 4.2 GAMIT girdi dosyaları

Dosya	Açıklama
process.defaults	Konfigürasyon ayarları
gdetic.dat	Jeodezik datum parametreleri
tform.dat	Koordinat dönüşüm parametreleri
antmod.dat	Anten faz merkezi değerleri
rcvant.dat	Alıcı ve anten özellikleri
svnav.dat	Uydu tanıma bilgileri
leap.sec	UTC‘ye kadar eklenen 1 saniyelik ofsetler
lubtab.	Ay efemeris tablosu
nutabl.	Nutasyon efemerisi
soltab.	Güneş efemerisi
pole	IERS bülteni B değerleri
ut1	IERS bülteni UT1
itrf08.apr	Koordinat değerleri

Bütün girdi dosyaları oluşturulduktan sonra GAMIT yazılım modülünün kontrol aşamasının hepsini içeren komutların yer aldığı sestbl. dosyası hazırlanmalıdır. Bu dosya ile proses için ihtiyaç duyulan, ölçülerin ağırlıklandırılması, atmosferik ve yörünge

parametrelerinin belirlenmesi, tamsayı belirsizliği çözümü ve model parametreleri için yapılan kestirimler hazırlanmaktadır. Sestbl. dosyası içerisinde radyasyon modeli için BERN1, BERN2, SPHRC gibi çeşitli modeller, prosesi yapılacak ölçü türü içinde L1_ONLY, L2_ONLY, LC_ONLY, L1,L2_INDEPEND ile LC_HELP gibi farklı değerlendirme metodları mevcuttur (Herring vd. 2018, Solak 2020).

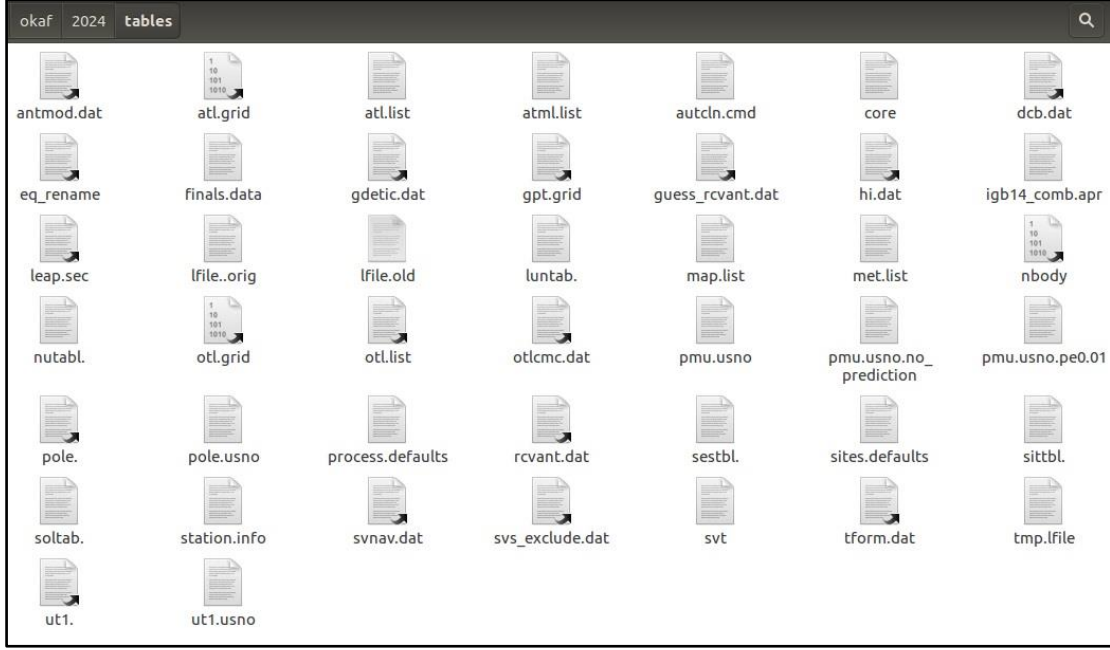


Şekil 4.7 GAMIT/GLOBK dizin yapısı ve girdi dosyaları.

GAMIT/GLOBK dizin yapısı ve düzenlenecek girdi dosyaları Şekil 4.7’da verilmiştir. Şekilde gösterilen “okaf” klasörü proje klasörü olarak tanımlanmış ve 4 karakterden oluşmalıdır. Projeye ait bütün klasörlerin olduğu bu klasörde “yıl” ve “vsoln” klasörleri bulunmaktadır. Bütün yıl klasörlerinde rinex klasörü oluşturularak ilgili yıla ait GNSS verileri RINEX formatında bu klasöre eklenir. “vsoln” klasöründe ise yıllık tekrarlılıklar ve istasyonlara ait hızlar üretilir. Üretilen yıllık tekrarlılıklar GLOBK aşamasında kullanılmaktadır.

Proses sürecinin ilk aşamasında **sh_setup** komutu yıl klasörünün içerisinde çalıştırılır ve bu klasörün içerisinde bir tables klasörü oluşur. **Sh_setup** komutu sonrasında oluşturulan **tables** klasörünün içerisinde GAMIT/GLOBK ana dizininden kopyalanan ya da kısayolu oluşturulan dosyalar yer almaktadır (Şekil 4.7). Proses sürecinin bir sonraki aşamasında tables klasörünün içerisinde oluşturulan **station.info** dosyasına bütün noktalara ait bilgiler (nokta adı, ölçü başlangıç ve bitiş tarihi, anten yüksekliği, ARP kodu, alıcı ve

anten tipi) ayrı ayrı yazılır. **Station.info** dosyasında girilen bu bilgiler ile RINEX başlıklarında tutarsızlık ya da eksik bilgi varsa GAMIT yazılım modülü bu aşamada hata verecektir. Proses aşamasının devamında ise **sites.defaults** dosyasına GNSS ağını oluşturan noktalar ile proste kullanılacak IGS istasyonları yazılır. Son olarak process.defaults dosyasında ilgili düzenlemeler yapıldıktan sonra **Sh_Gamit** komutu çalıştırılır.

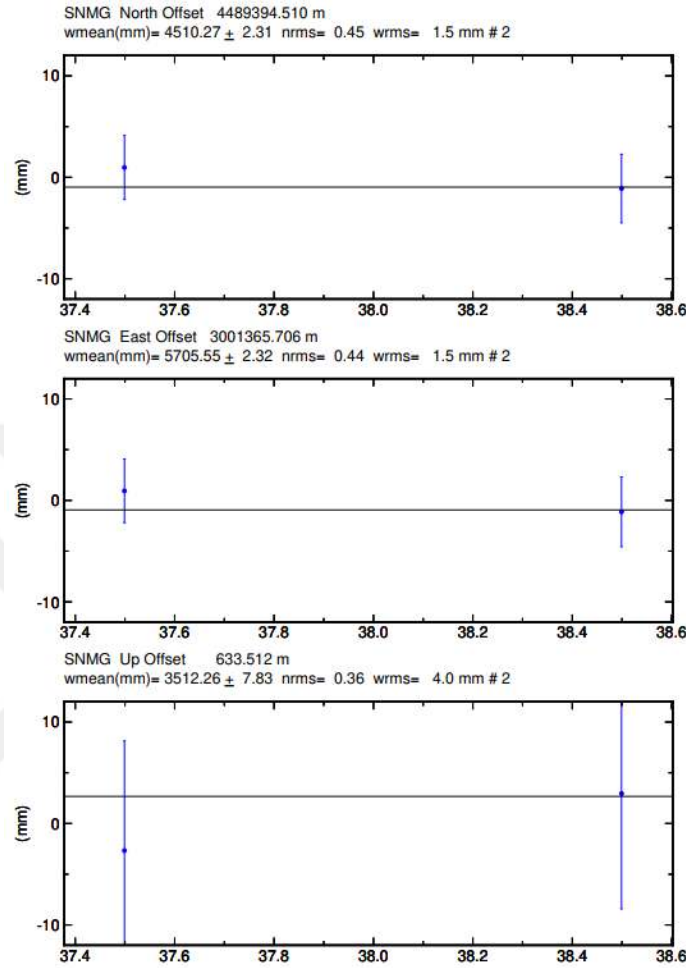


Şekil 4.8 “tables” klasör düzeni

Sh_gamit komutu ile proje adı, prosese dahil edilecek günler ile proste kullanılacak uydu yörünge bilgisi (IGSU, IGSR, IGSF) tanımlanıp proses süreci başlatılır. GAMIT/GLOBK yazılımının en uzun proses sürecidir. Proses süreci GNSS ağını oluşturan toplam nokta sayısı, ölçü süreleri, IGS istasyon sayısı ile internet bağlantı hızı ve bilgisayar özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Yazılımın proses sırasında hata oluştuğunda ilgili gün klasörü içerisinde GAMIT.fatal dosyası oluşur ve hatanın kaynağı bu dosyadan incelenebilir. Bu aşama bittikten sonra prosese dahil edilen her gün için ayrı bir klasör oluşur ve çözüm dosyaları bu klasör içinde üretilir (Şekil 4.8).

Yıllara ilişkin verilerin proses aşaması **sh_glred** komutu ile tamamlanmış olur. Bu komutu çalıştırdıktan sonra “gsoln” klasöründe istasyonlara ait günlük tekrarlılıklar üretilir. Üretilen günlük tekrarlılık bilgileri.glx uzantılı dosyalarda (h dosyaları)

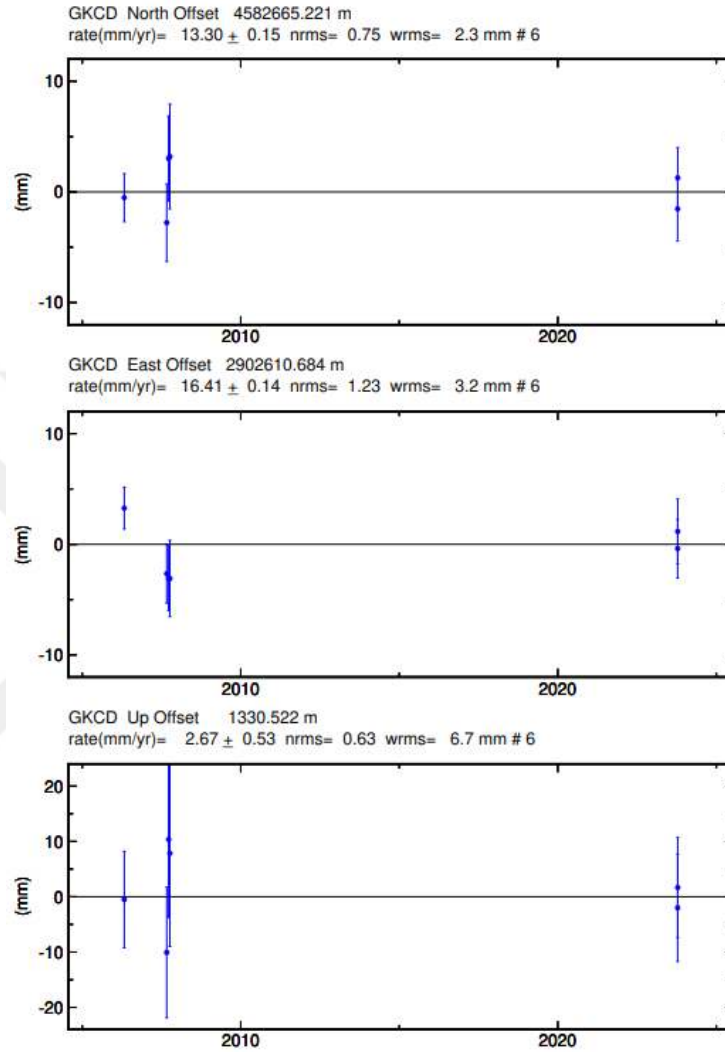
depolanır. Bir istasyonun ayn yıla ait iki ya da daha fazla verisi var ise istasyonun günlük tekrarlılık grafikleri çizilir ve .ps formatında kaydedilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 SNMG istasyonuna ait günlük tekrarlılık grafiği.

Günlük tekrarlılık grafiklerinin üzerinde yer alan NRMS (normlandırılmış karesel ortalama hata) ve WRMS (ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata) değerleri incelenerek tekrarlı ölçüler ile ilgili yorum yapılabilir. GNSS ölçmeleri sonucu elde edilecek konum belirsizliklerine bilinen hatalara ek olarak anten özelliklerinin ya da anten yüksekliğinin yanlış ölçülmesi de etkili sonuçlar verebilmektedir. 24 saatlik ölçmelerde yatay koordinatlar için WRMS değeri 1-2 mm, düşeyde ise 2-4 mm aralığında koordinat belirsizliği elde edilebilir. Ölçmelerin süresi 8 saat olması durumunda ise yatay koordinatlar için WRMS değeri 2 – 4 mm, düşeyde ise WRMS değeri 10 -15 olması gerekmektedir. Günlük tekrarlılık grafiklerinde yer alan WRMS ve NRMS değerlerinin yanı sıra grafik üzerindeki noktanın alt ve üstünde yer alan mavi çizgi konum

belirsizliğini gösterir ve bu çizgi arttıkça konum belirsizliğinin de arttığını gösterir. Bu işlemler bittikten sonra GLOBK aşamasına geçilir (Tiryakioğlu vd. 2011, Herring vd. 2018, Solak 2020).



Şekil 4.10 GKCD istasyonuna ait yıllık tekrarlılık grafiği.

GLOBK yazılım modülünde noktalara ait hızlar ile yıllık tekrarlılık grafikleri (zaman serileri) üretilmektedir. Bu modülde GAMIT yazılım modülü tarafından elde edilen “h” dosyaları girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Bu modülün ilk aşamasında sh_glred komutu çalıştırılarak yıl klasörleri içerisinde üretilen “glbf” klasörlerinde yer alan “h” dosyaları tek bir dosyada birleştirilmektedir. Devamında ise sh_plotcrd komutu kullanılarak yıl klasörlerinde bulunan “gsoln” klasörleri içerisindeki .glx uzantılı dosyalar yardımıyla zaman serileri üretilir (Şekil 4.10). Bu grafiklerin oluşturulması için bir noktaya ait en az iki farklı yılda değerlendirilmiş verisi bulunmalıdır. Yıllık tekrarlılık

grafiklerinde de günlük tekrarlılık grafiklerde olduğu gibi NRMS, WRMS değerleri ile konum belirsizliğini ifade eden mavi çizgiler yer almaktadır. Bu mavi çizgiler arttıkça belirsizlik artmaktadır (Solak 2020).

GLOBK yazılım modülü ile proses sonucu hızlar elde edilirken öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken aşama stabilizasyon aşamasıdır. Bu kısımda GNSS ağına ait noktaların belirlenen referans istasyonlarına göre rölatif hızları hesaplanmaktadır. Stabilizasyon iki türlü uygulanabilir. Bunlardan biri olan global stabilizasyonda önceden tanımlanmış Avrasya Plakası gibi büyük plakalara göre hız üretilmektedir. Bir diğeri ise bölgesel stabilizasyondur ve bu aşamada üzerinde yer aldığı plakaya göre veya noktaların birbirine göre hızları üretilmektedir. Her iki şekilde de üretilen hızlar artık hızlardır. Üretilen bu artık hızların doğruluğu GNSS ölçülerine bağlıdır ve büyüklüğü ile yönü ise referans alınan nokta ya da plaka hızı ile ilişkilidir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için referans alınan istasyonların hız belirsizliklerine göre düşük olanlarının tercih edilmesi önem arz ettiğinden dolayı proses aşamasında seçilen IGS istasyonlarından imkan dahilinde hataları 1 mm'den az olan istasyonlar seçilmelidir. Buna ek olarak GNSS ölçmelerinin yapıldığı günlerde verisi olan IGS istasyonlarına öncelik verilmelidir. Böylelikle referans istasyonları ile GNSS ağındaki noktalara ait ölçüler benzer etkilerle karşılaşacağı için analiz sonucunda ihmal edilecektir (Tiryakioğlu 2012, Solak 2020).

GLOBK ile prosesin son aşamasında GAMIT klasörü altında yer alan tables klasöründen GLOBK modülünü yönetecek olan **globk_vel.cmd** dosyası ile **glorg_vel.cmd** dosyaları kopyalanmaktadır. Bu komut dosyaları yardımıyla IGS'in sağladığı referans sistemine dönüşüm amacıyla kullanılan yer dönme parametrelerine, uydu yörünge parametrelerine ve istasyon noktalarına kısıtlamalar getirilir. Bu modül referans sistemini tanımlamadan birleştirme işlemini yapmaktadır. Bundan dolayı globk_vel.cmd dosyasındaki düzenlemelerin en önemli aşaması hızların hedeflenen referans sisteminin belirlenmesi zorunludur (Gezgin 2020, Gezgin vd. 2022).

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra proses başlatılır ve vsoln klasöründe IGS istasyonları ile GNSS ağına ait noktaların hızlarının ve hatalarının yer aldığı .org uzantılı

dosya oluşur. Oluşturulan bu dosyada hızların yanı sıra konum ve konum belirsizlik bilgileri de bulunmaktadır (Şekil 4.11).

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.35												
Long.	Lat.	E & N Rate		E & N Adj.		E & N +-		RHO	H Rate	H adj.+-	SITE	
(deg)	(deg)	(mm/yr)		(mm/yr)		(mm/yr)			(mm/yr)			
58.56	56.42	0.46	-0.83	0.46	-0.83	0.59	0.40	0.142	0.86	0.86	5.77	ARTU_GPS*
49.81	40.37	4.38	-0.25	4.38	-0.25	0.50	0.40	-0.281	0.06	0.06	6.91	BAKU_GPS*
41.56	43.78	0.11	-0.03	0.11	-0.03	0.37	0.29	-0.154	0.10	0.10	6.09	ZECK_GPS*
36.66	41.22	-1.47	2.89	-1.47	2.89	0.46	0.48	-0.080	-1.67	-1.67	7.83	CRSB_GPS
36.63	40.93	-3.06	2.04	-3.06	2.04	0.50	0.51	-0.053	-2.01	-2.01	8.36	AYCK_GPS
36.55	40.23	-18.74	6.52	-18.74	6.52	0.42	0.41	-0.122	1.28	1.28	7.09	CORD_GPS
36.33	41.30	-1.04	1.04	-1.04	1.04	0.50	0.48	-0.073	-0.05	-0.05	9.84	SAM1_GPS
36.31	40.13	-19.66	6.64	-19.66	6.64	0.40	0.39	-0.130	-1.07	-1.07	7.21	TSPN_GPS

Şekil 4.11 “org” uzantılı hız dosyası örneği.

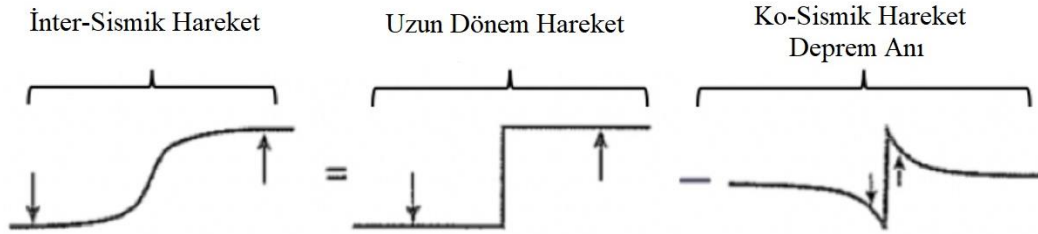
4.3 Blok Modelleme Yaklaşımı

GNSS hızları konumsal olarak incelendiğinde kampanya tipi istasyonların ve sabit GNSS istasyonlarının yıllık hareketlerini belirlemek için önemli bir faktördür. Bu bağlamda, kestirilen GNSS hız vektörlerinin değerleri gözlem noktalarının hareketlerinin birbirlerine göre bağımsız olarak yorumlanabilmesi için yeterlidir (Özkan 2021). Fakat aktif tektonik açısından gözlem yapılan istasyonların birbirlerine göre bağımsız olarak değerlendirilmesi yerine bu istasyonların faylarla oluşturulmuş bloklar üzerinde olduğu ve mevcutta olan bu blokların hareketleri birbirlerine bağlı olarak düşünülmektedir (Özkan 2021). Bu blokların hareketleri sonucu oluşan yamulma birikiminin, bloklar içinde meydana gelen deformasyonlar nedeniyle mi yoksa blokların rijit bir bütün olarak mı hareket ettiği devam eden bir tartışmadır (Thatcher 2009).

Blok modellemede, blokların birbirlerinden bağımsız olarak bir kutup çevresinde dönen elastik rijit blokların dönüklükleri ile yamulma birikimleri jeodezik verileri kullanarak eş zamanlı olarak kestirilir (McCaffrey 2002, Meade ve Hager 2005, Yavaşoğlu 2009, Kaduri vd. 2017, Alkan 2018, Özkan 2021). Bu yöntem Ko-Sismik hareket hızı ile İnter-Sismik blok hızı toplamının uzun dönem blok rotasyonel hızına eşit olduğu hipotezine dayanmaktadır (Savage 1983, Özkan 2021) (Şekil 4.12).

Blok modelleme temelde blokların uzun dönem hızları “VR” ile gösterilir. Ek olarak, fayların kilitlendiği yer kabuğunun sığ derinliklerinde, blokların birbirine yer değiştirmesine karşılık gelen fakat vektörel olarak ters yönde elastik bir yer değiştirme

“VE” mevcuttur. Bununla birlikte çevredeki daha kısa fayların etkisi “VS”, blok model oluşturmaya esnasında ihmal edilebilir olmasına rağmen blok içindeki deformasyonların oluşmasında önemli bir etkidir (McCaffery 2005).



Şekil 4.12 Deprem Döngüsü

Blokların İnter-Sismik hızları ” V_I ” denklem 4.12 de verilmiştir.

$$\vec{V}_I = \vec{V}_R + \vec{V}_E + \vec{V}_S \quad (4.1)$$

İnter-Sismik dönemde bloklar sistematik olarak hareket etseler de sınırlarındaki kayaç sürtünmelerine bağlı olarak bir mukavemet ile karşılaşılır. Bundan dolayı faylarla çevrelenmiş blokların sınırlarında ve blok içinde gözlemlenen hızların farklı olmasına sebep olmaktadır. İki vektör arasındaki hız farkı da kayma eksikliği olarak tanımlanmaktadır ve genellikle deprem üreten yamulma birikimine neden olmaktadır. Blok model yaklaşımında faylarla sınırlanmış blok sınırlarındaki hareketin daha iyi anlaşılması için fay kilitlenme oranı (ϕ), kayma eksikliği gibi parametreler keştilmektedir (Özkan 2021, Ayruk 2023). Teorik olarak bu tanımın matematiksel modeli şu şekildedir;

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_k \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} -\sin(\phi) \cos(\theta) & \sin(\phi) \cos(\theta) & \cos(\phi) \\ \sin(\theta) & -\cos(\theta) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{bmatrix} + R \begin{bmatrix} \epsilon_d & \epsilon_{dk} \\ \epsilon_{dk} & \epsilon_k \end{bmatrix}$$

$$\left| \begin{matrix} (\theta - \theta_0) \cos(\theta) \\ \theta - \theta_0 \end{matrix} \right| - G \left| \begin{matrix} U_1 \\ U_2 \end{matrix} \right| \quad (4.2)$$

Burada;

R = Dünyanın yarıçapı,

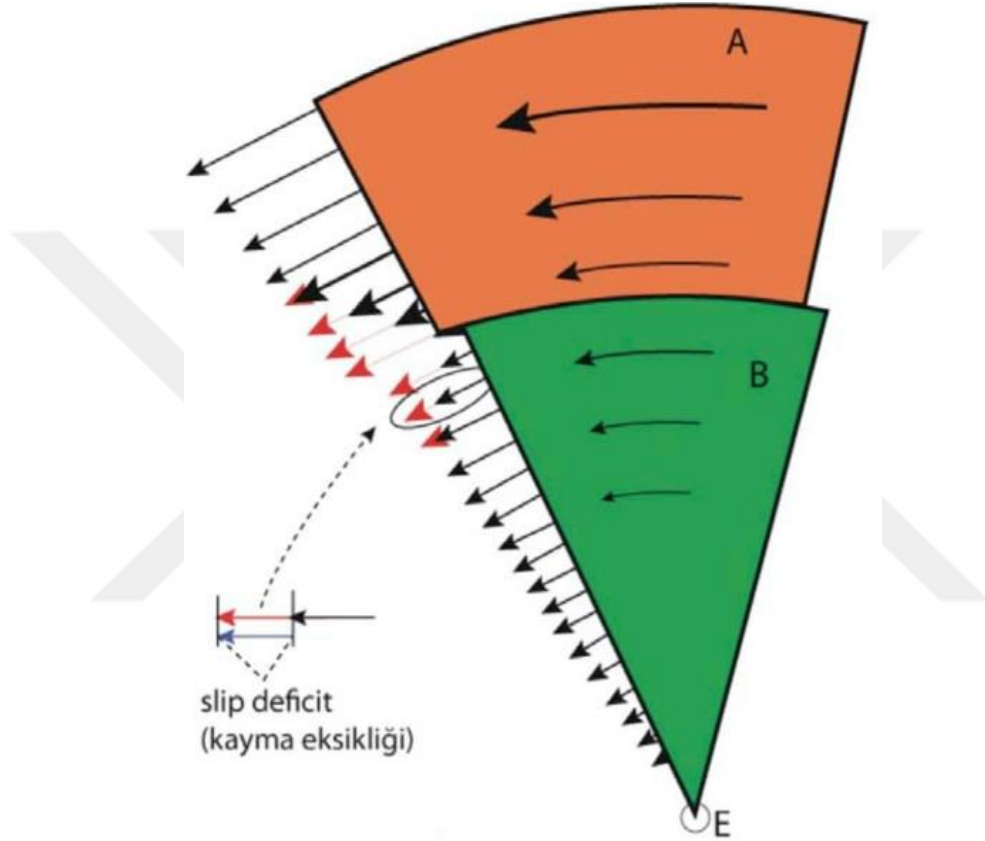
W_i = Blok Euler kutbu,

ϵ_i = Blok gerinim parametreleri,

ϕ_0, θ_0 = Blok merkezi,

U_1, U_2 = Kayma eksikliğinin strike-slip, dip-slip parametreleri,

G = Green fonksiyon (Okada 1985, Ayruk 2023) dir.



Şekil 4.13 Blok modellemeye aynı “E” Euler kurbuna bağlı “A” ve “B” blokları arasındaki etkileşim. Blokların ortak sınırı olan fayın kısmen ya da tamamen kilitli olduğu durumda GNSS verilerinden elde edilen blok hızları siyah vektörler ile serbest kayma olduğu durumda ise blok hızları kırmızı vektörler ile gösterilmiştir (Çakmak 2010, Alkan 2018).

Blok modellemenin temel parametrelerinden biri Euler Kutbudur. Blokların rotasyonel hareketini tanımladığından dolayı da güvenilirdir. Yer kabuğundaki herhangi bir noktanın Euler kutbundan kaynaklanan hızının büyüklüğü şu eşitlikle açıklanabilir:

$$V_i = \omega R_d \sin \Delta \quad (4.3)$$

Eşitlikte,

V_i = i noktasının hızı

ω = Açısal hız

R_d = Dünyanın yarıçapı

Δ = Noktanın Euler kutbundan olan açılal mesafedir (Ayrık 2023).

Kilitlenme derinliği, sismojenik katman içerisinde herhangi bir fayın mekanizmasına ilişkin karakterini gösteren önemli bir parametredir. Bir fayın kilitli olduğu veya serbest kayma yaptığı fay etkileşim parametresi, “phi” ile belirlenir (Yavaşoğlu 2009, Özkan 2021). Phi parametresi ϕ ile gösterilir ve matematiksel olarak;

$$\phi = 1 - \frac{V_c}{V_R} \quad (4.4)$$

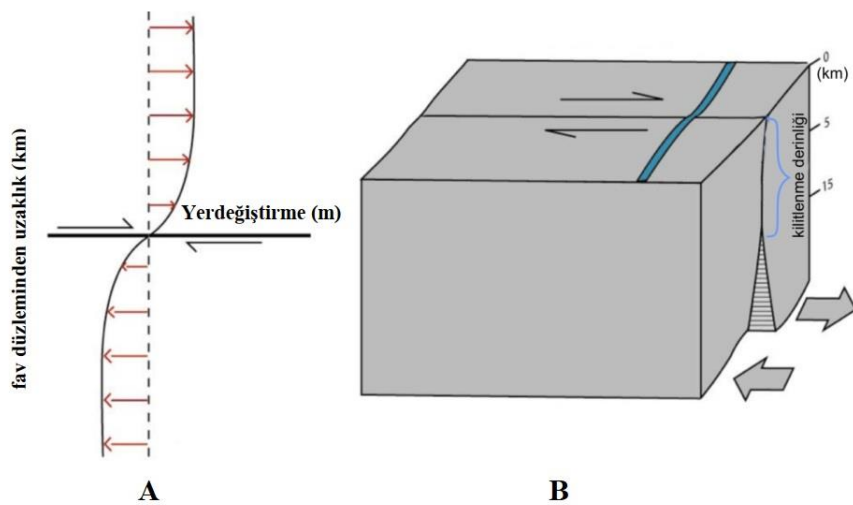
eşitliği ile ifade edilir (Galgana vd. 2007, Özkan 2021). Bu eşitlikte ‘ V_R ’ levha hızını, ‘ V_c ’ fay boyu kısa dönem yer değiştirme hızını göstermektedir. Bu hızların (‘ V_R ’ ve ‘ V_c ’) birbirlerine eşit olduğu durumlarda serbest kayma (asismik krip hareketi) olduğu düşünölmektedir ve phi parametresi sıfır değerini almaktadır. Fay boyunca herhangi bir yer değiştirmenin olmadığı durumlarda ise fay segmentinin tümöyle kilitli olduğu ve bununla birlikte “ V_c ” değişkeninin sıfır değerini alması sonucu phi parametresinin bir (1) değerine eşit olduğu sonucuna varılmaktadır (Özkan 2021).

Bloklarda meydana gelen hareketler sonucunda oluşan yer değiştirmenin büyüklöğü sadece jeolojik yöntemlerle (Dewey vd. 1986, Westaway 2003) değil jeodezik tekniklerle de doğruluğu yüksek bir şekilde kestirilebilir (Yavaşoğlu vd. 2011, Alkan 2018, Özkan 2021). Belirli bir zaman diliminde meydana gelen toplam yer değiştirme GNSS verileri ile belirlenebilirken oluşan hareket genellikle periyodik olarak yıllık bazda tanımlanmaktadır. Fayda meydana gelen yer değiştirmenin zamana bağlı büyüklöğü kayma hızı ile ifade edilmektedir. Kayma hızları faydan uzak alanda ve faya yakın alanda yeteri kadar tesis edilen jeodezik istasyonlarda sürekli ya da periyodik olarak belirli zaman dilimlerinde GNSS tekniği ile yapılan gözlemler sonucu elde edilen veriler yardımıyla kestirilebilir (McCaffrey 2002, Yavasoglu 2009, Tiryakioglu 2012, DiZio 2016, Alkan 2018, Özkan 2021). Bu blok modelleme yaklaşıma dayanarak, GNNS verilerini kullanarak bloklar içindeki hareketin ölçümünü ve değişimini modellemek için bir 3 boyutlu elastik yarı uzay modeli de kullanılır. Parametreler, blokların Euler kutup değerleri ve derinlik eğrilerinin öncöl değerleri kullanılarak blokların rotasyonel hızlarının, blok içerisindeki yamulma hızlarının ve fay üzerindeki kilitlenme derinliği dağılımlarının kestirimine imkan vermektedir (Okada, 1985). Kayma hızlarına bağlı

olarak hareketli bloklarda gerilim (stres) meydana gelir. Bu gerilim, yapısal özelliklerine bağlı olarak malzemenin şeklinde veya hacminde değişikliklere neden olabilir ve meydana gelen bu değişikliklere gerinim (strain) adı verilir (Yavaşoğlu 2009).

Yarı uzay homojen bir ortamda üç boyutlu geometriye sahip bloklardan oluşan referans blokta deformasyonların ve yüzey kuvvetlerinin sıfır olduğu varsayılmaktadır (McCaffrey 2002, Aktuğ 2006, Yavaşoğlu 2009, Özkan 2021). Ancak jeodezik gözlem noktalarının yetersiz dağılımı ile blok yaklaşımının modellemedeki zayıflığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda kayma hızı kestirimleri spesifik blok geometrisine ve blok derinliklerine çok daha duyarlı hale gelse de blok modelleme yaklaşımı doğrultu atımlı fay sistemleri (McCaffrey 2005, Meade ve Hager 2005), dalma-batma kuşakları (Wallace vd. 2004, Serpelloni vd. 2010, Loveless ve Meade 2011) ya da daha karmaşık yapıdaki plaka sınırları (Reilinger vd. 2006, Meade 2007) gibi çeşitli tektonik rejimlerin hakim olduğu bölgelerde deprem öncesi hızların kestiriminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özkan 2021).

Blok modelleme yaklaşımının temelinde, Reid (1911) tarafından geliştirilen tek boyutlu elastik atım teorisi (elastic rebound theory) yer almaktadır. Bu teori ile blokların rölatif hareketi sırasında fayın yakın bölgelerinin faydan uzak alanlarına göre daha kısa yer değiştirmesi blok sınırlarındaki fay boyunca bir miktar gerilme oluşmaktadır.



Şekil 4.14 Sağ yanal doğrultu atımlı faylarda blokların birbirine göre hareketi. Hız alanı A'da, Blokların hareketi ve kilitlenme derinliği B'de gösterilmiştir (Çakmak 2010, Çakır 2010).

Fayın yüzeyden belirli bir derinliğe kadar kilitli kalması, gerilme kuvvetinin bloklar arasındaki sürtünme kuvvetini aştığı ana kadar yer kabuğunda elastik deformasyonun birikmesine neden olur. Bu süreçte depolanan potansiyel enerji, eşik değere ulaştığında ani ve büyük bir yer değiştirmeye gerinim birikimine yol açar (Şekil 4.14) (Alkan 2018, Özkan 2021). Gerinim birikiminin bu ani büyük yer değiştirme ile boşalmasının ardından, deprem döngüsünde post-sismik döneme geçilir. Bu dönemde yeni bir kuvvet dengesi oluşurken, ko-sismik dönemdeki atımlar inter-sismik döneme kadar kademeli olarak sönümlenir.

4.3.1 TDEFNODE Yazılımı

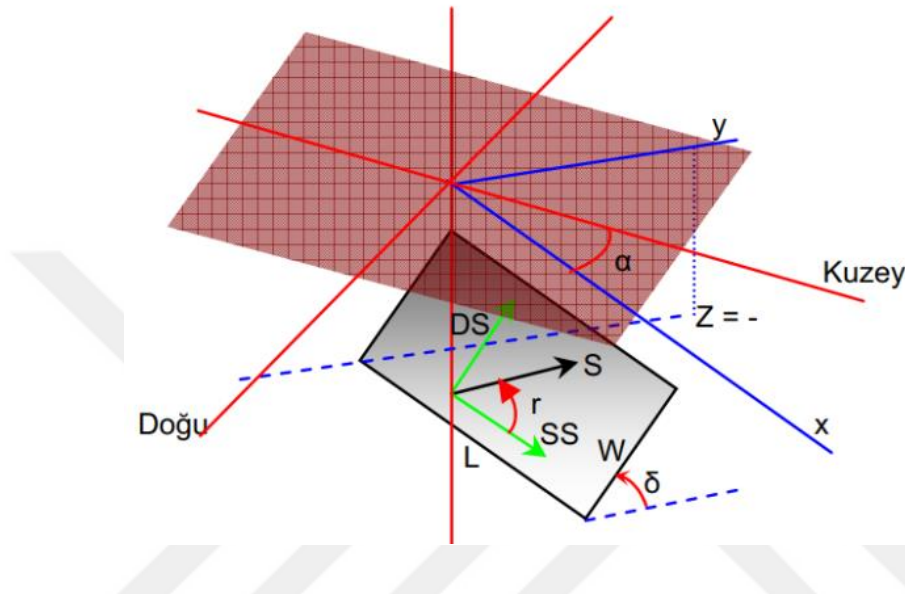
TDEFNODE yazılımı, Rob McCaffrey tarafından Fortran programlama dili ile geliştirilmiş bir yazılımdır. Unix tabanlı işletim sisteminde çalışan yazılımın kullanıcı arayüzü yoktur. Bu yazılımda elde edilen sonuç dosyaları GMT (Generic Mapping Tools) betikleri ile görüntülenmiştir (Wessel vd. 2013). Girdiler GAMIT/GLOBK yazılımına benzer şekilde manuel olarak oluşturularak elde edilen sonuç dosyalarındaki veriler incelenerek yorumlanmaktadır. Bu yazılımda;

- Faylarla çevrelenmiş blok sınırlarındaki deformasyonlar,
- İnter-Sismik veya Ko-Sismik dönemdeki blokların birbirlerine göre rotasyonları,
- Blok içerisindeki gerilme oranları,

hesaplanabilmektedir. Yazılımda temel yaklaşım Okada (1985)'deki başlıca formülleri kullanılarak sonuçlar üretilmektedir (Okada 1985, McCaffrey 2009, Yavaşoğlu 2009, Alkan 2018, Özkan 2021). Yazılımda temel girdiler blok geometrisi, fay sınırları, GNSS hızları ve Euler kutup değerleridir. Yer kabuğu gerçekte elastik bloklar olarak karakterize edilir ve Euler kutup çevresindeki hareketler sonucu elastik deformasyon olduğu kabul edilip gerekli hesaplamalar yapılmaktadır.

Yazılımın bir başka özelliği ise değerlendirmeye alınan tektonik bloklar arasından bir tanesinin referans olarak tanımlanmasıdır. Bundan dolayı bir elastik yarı-uzay modeli oluşturulmakta ve bu model, proses kapsamına alınan bloklardan biri üzerinde yüzey kuvvetlerinin ve gerinimin sıfır olduğu hipotezine dayanmaktadır (McCaffrey 2002, Aktuğ 2006, Yavaşoğlu 2009, Çakmak 2010, Alkan 2018, Özkan 2021).

Yazılım öncelikle GNSS verilerini kullanarak hız alanı oluşturup fay boyu kayma miktarlarını hesaplamaktadır. Bu kısımda temel yaklaşım blok sınırlarındaki fayların tamamen serbest kayma hareketi gerçekleştirmiş olmasıdır. Bir sonraki kısımda ise bu varsayım yer kabuğunun gerçek durumunu yansıtabilmek için değiştirilmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Fay düzleminin yapısı ve fay üzerinde gerçekleşen yer değiştirme bileşenleri (Aktuğ 2006).

Şekil 4.15'e göre:

S : Kayma vektörü,

δ : Eğim açısı,

α : Fay doğrultusunun azimutu,

d : Fay düzleminin derinliği,

L : Fay düzleminin uzunluğu,

W : Fay düzleminin genişliği,

SS : Kayma vektörünün fay doğrultusu yönündeki bileşeni,

DS : Kayma vektörünün fay doğrultusuna dik yönündeki bileşeni,

x,y : Fay düzlemine ait koordinat sisteminin eksenleri,

r : Kayma vektörünün yönünü gösteren ve x eksenine paralel doğrultu ile kayma vektörü arasında kalan açı, olarak gösterilmektedir (Aktuğ 2006). Verilen parametreler incelendiğinde, doğrultu atımlı bir fay için meydana gelen yer değiştirmeler aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir.

$$u_x = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R+\eta)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \delta \right] \quad (4.5)$$

$$u_y = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{y'q}{R(R+\eta)} + \frac{q \cos \delta}{R+\eta} + I_2 \sin \delta \right] \quad (4.6)$$

$$u_z = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{d'q}{R(R+\eta)} + \frac{q \sin \delta}{R+\eta} + I_4 \sin \delta \right] \quad (4.7)$$

Bu eşitliklerdeki parametrelerden:

$$I_1 = \frac{\mu}{\lambda+u} \left[\frac{-1}{\cos \delta} \frac{\xi}{R+d'} \right] - \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_5 \quad (4.8)$$

$$I_2 = \frac{\mu}{\lambda+u} [-\ln (R + \eta)] - I_3 \quad (4.9)$$

$$I_3 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \left[\frac{1}{\cos \delta} \frac{y'}{R+d'} - \ln (R + \eta) \right] + \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_4 \quad (4.10)$$

$$I_4 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \frac{1}{\cos \delta} [\ln(R + d') - \sin \delta \cdot \ln (R + \eta)] \quad (4.11)$$

$$I_5 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \frac{1}{\cos \delta} \tan^{-1} \frac{\eta(X+q \cos \delta) + X(R+X) \sin \delta}{x'(R+X) \cos \delta} \quad (4.12)$$

$$p = y \cos \delta + d \sin \delta \quad (4.13)$$

$$q = y \sin \delta - d \cos \delta \quad (4.14)$$

$$\bar{y} = \eta \cos \delta + q \sin \delta \quad (4.15)$$

$$\bar{d} = \eta \sin \delta - q \cos \delta \quad (4.16)$$

$$R^2 = \zeta^2 + \eta^2 + q^2 = \zeta^2 + \bar{y}^2 + \bar{d}^2 \quad (4.17)$$

$$X^2 = \zeta^2 + q^2 \quad (4.18)$$

ile hesaplanabilir.

Eşitliklerde:

- u_x : fay doğrultusu yönündeki kayma vektörü bileşeni
- u_y : fay eğim açısı yönündeki kayma vektörü bileşeni
- u_z : fay düzlemine dik yöndeki kayma vektörü bileşeni
- δ : eğim açısı
- λ, μ : Lamé sabitleri
- y', d' : fay düzlemi bir koordinat sisteminin merkezi iken fay düzlemine paralel bir koordinat sistemindeki koordinatlar
- ξ, η, q : fay düzlemi başlangıç noktasının tanımlanan fay düzlem koordinat sistemi üzerindeki koordinatları
- R : fay başlangıç noktasının orijine uzaklığı
- X : noktanın fay doğrultusu yönündeki koordinatları

ifade etmektedir (Okada 1985, Aktuğ 2006, Alkan 2018, Özkan 2021).

Verilen bu eşitlikler fay düzlemi üzerinde bir düğüm noktasında ve fayın atım yönü doğrultusunda oluşan kaymanın (U_1 bileşeni), yeryüzündeki noktada (GNSS noktası) ortaya çıkaracağı hareketin hesaplanması için kullanılır. KAFZ genelde doğrultu atımlı bir fay olduğundan dolayı, Okada (1985) tarafından tanımlanan ve düşey atım için verilen eşitlikler ihmal edilebilir (Alkan 2018).

TDEFNODE yazılımında blok model çalışmalarının ilk aşamasını öncül model parametreleri, fay ve blok geometrilerinin tanımlaması oluşturur. Fay tanımlamaları birbirine komşu blokların sınırları ile çakışacak şekilde bloklar ise kapalı poligon olacak şekilde tanımlanır. Bloklar ve faylar lokasyonları belli yüzey noktaları ile yatay bir düzlem üzerinde tanımlanırken blokların her biri de aynı Euler kutup noktasına bağlı, aynı açısal hız ile rotasyonel hareketini tamamladığı düşünülür. 3 boyutlu olarak tanımlanan fay düzleminin temelde eğim açısı yönünde ve fay doğrultusunda düğüm (node) noktalarının meydana getirdiği dörgensel parçaların birim faylanmaya eşit olduğu varsayımına dayanmaktadır (Şekil 4.16). Enterpolasyon yöntemi kullanılarak, dörgensel

hareketinin belirlenebilmesi için kilitlenme oranı (ϕ , phi) hesaplanır. Hesaplanan bu orana bağlı olarak kayma eksikliği;

$$V_S = -V_R \phi \quad (4.19)$$

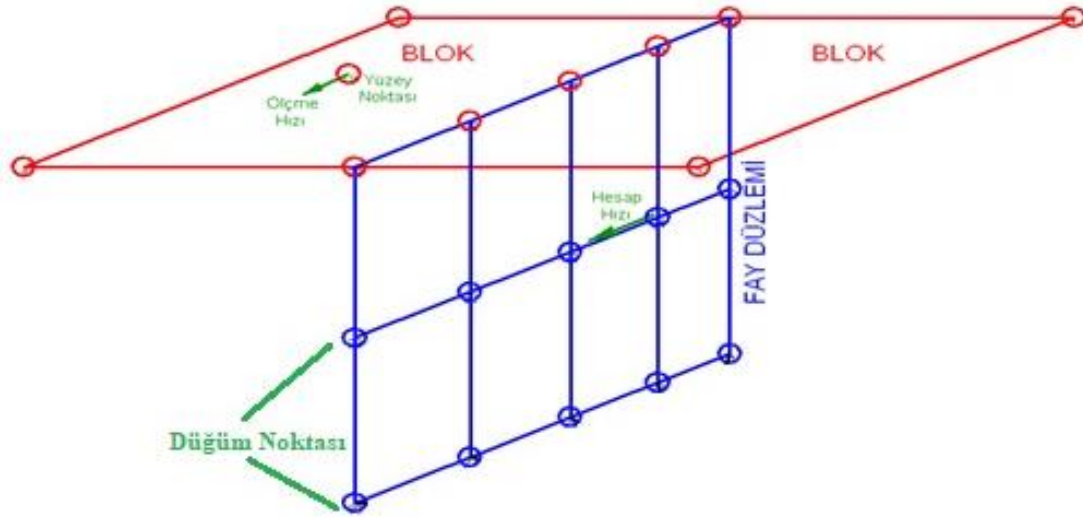
eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte “ V_S ” kayma eksikliği, “ V_R ” düğüm noktasındaki açısız hızlardan hesaplanan kayma vektörünü, “ ϕ ” ise kilitlenme oranını ifade eder.

TDEFNODE yazılımında fay yüzey noktalarından referans alınarak fay düzlemindeki düğüm noktalarının tanımları gerçeğe yakın biçimde oluşturulması gerekmektedir. Bunun için de tanımlanan fay için arazideki jeolojik gözlemler, literatürde yayınlanmış çalışmalar gibi bilimsel kaynaklardan yararlanılmalıdır.

Yazılımın kontrol dosyasında yüzeyde bulunan düğüm noktaları ile aynı yatay konumda yer alan derindeki düğüm noktaları (eğim açısı 90 dereceye yakın olduğu durumda) ile istenen derinlikteki fay boyunca derinlik eğrileri oluşturulur (Şekil 4.17). Derinlik eğrileri fay düzleminin bulunduğu jeolojik özellikler, sismik veriler, literatürdeki çalışmalar gibi faktörler dikkate alınarak belirlenmelidir (Alkan 2018, Özkan 2021).

Elde edilen fay ve blok geometrileri ile yüzeyde gözlemlenen nokta hızına bağlı olarak hesaplanan kayma eksikliği, fay boyunca derin kısımlardaki düğüm noktaları için de hesaplanabilir (Okada 1985).

TDEFNODE yazılımı ileri ve ters çözüm yaklaşımını birlikte kullandığından dolayı derindeki ve yüzeydeki düğüm noktaları arasındaki bağlantıyı “Green fonksiyonları” ile gerçekleştirmektedir (McCaffrey 2002). Bu fonksiyonlar sayesinde derindeki düğüm noktalarında hesaplanan kayma eksikliğinin integrali ile düşey profilin yüzey noktasındaki kayma eksikliği birbirine eşit olur. Burada açısız hızlardan elde edilen fayın yüzey nokta hızı ile kayma eksikliği arasındaki fark o nokta için gözlemlenen rotasyonel hız değerini verir (Özkan 2021). TDEFNODE yazılımı ile kestirilen model hızları ile gözlenen hızlar arasındaki fark artık hız (artık) olarak isimlendirilmektedir. Yazılımda elde edilen modelleme sonucunda hesaplanan artık hız değerlerinin teoride sıfır olması beklenmektedir.



Şekil 4.17 TDEFNODE yazılımında fay düzleminin ve blok geometrilerinin tanımlanması (İnt. Kyn. 9, Alkan 2018).

Yazılım hem ters çözüm hem de ileri çözüm tekniklerini birlikte kullanmaktadır. Hesaplanan GNSS hızları yazılıma girdi olarak tanımlanırken, fay kilitleme ile blokların dönme parametreleri “Benzetimli Yaklaşım” (Press vd. 1986) yöntemi ile ters çözüm uygulanır. Ters çözüm yaklaşımında parametre kestiriminde, χ_n^2 indirgenmiş chi kare (reduced chi-squared) testi ile denetlenir ve bu değeri en aza indirgenmeye çalışılır. Bundan dolayı elde edilen modeller, hesaplanan χ_n^2 değerlerine göre karşılaştırılır ve en uygun model bu aşamada belirlenir (Çakmak 2010, Özkan 2021).

Yazılım içerisinde χ_n^2 değeri;

$$\chi_n^2 = \frac{\sum_{i=1,n} \left(\frac{ri}{\sigma_i F} \right)^2}{n-m} \quad (4.20)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

n : gözlem sayısı

m : bilinmeyen parametre sayısı

ri : artık hızlar (“artık”, gözlenen hız değeri – hesaplanan hız değeri)

σ : standart sapma (belirsizlik)

F : standart sapma ölçek faktörü (verilerin ağırlıklandırılması için kullanılır)

olarak ifade edilmektedir (McCaffrey 2002, Çakmak 2010, Özkan 2021).

Yazılımın kullanılmasında dikkate alınacak bazı hususlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir;

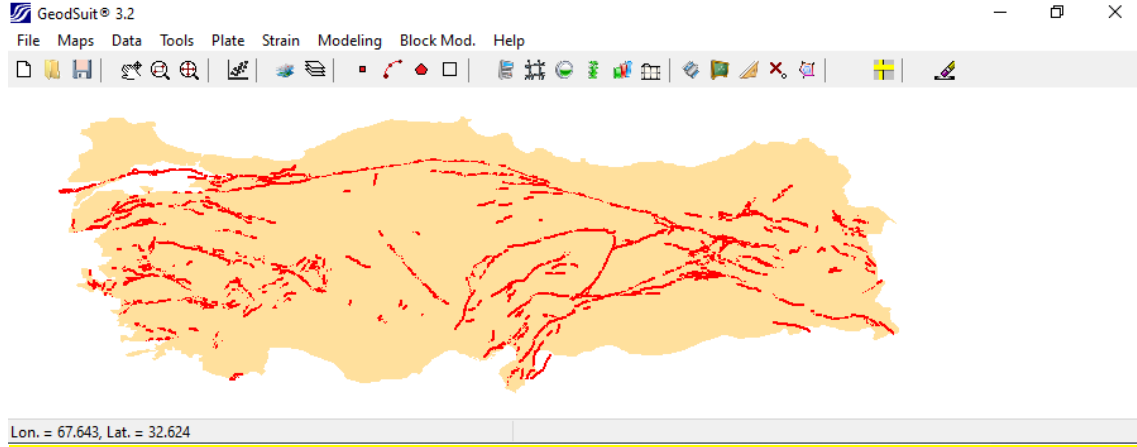
- Fayın eğimi 90 dereceden az olmalıdır.
- Faylar, üç boyutlu koordinatlarla tanımlanan noktalarla temsil edilir. Yatay konumlar derece cinsinden, derinlik ise kilometre cinsinden ifade edilir.
- Bloklar için başlangıç Euler kutup değerleri belirlenmelidir.
- Bloklar, yüzeyde belirlenen noktalarla tanımlanmalı ve poligon şeklinde kapalı olmalıdır. Fayları ve blok sınırlarını belirleyen düğümler birbirine tam olarak uymalı ve bloklar arasında boşluk kalmamalıdır. Blok sınırlarının her zaman bir fay ile örtüşmesi gerekmez. Bu durumda, fayın serbest hareket ettiği ve elastik deformasyon üretmediği kabul edilir, yalnızca blokların rotasyonel hareketleri hesaplanır.
- Bir bloku tanımlamak için, blok içerisinde mümkün olduğunca homojen dağılmış GNSS gözlem noktaları bulunmalıdır. Ayrıca, fayın kilitlenme derinliğini doğru bir şekilde belirleyebilmek için blok sınırları yakınında, olası kilitlenme derinliğinin en az iki katı mesafede gözlem noktaları yer almalıdır. Aksi takdirde, blokla ilgili kestirilen parametrelerin belirsizliği artar ve elde edilen çözümler gerçekçi olmaz.

4.3.2 GeodSuit Yazılımı

GeodSuit, Türkiye merkezli MDSOFT firması tarafından geliştirilmiş ve deformasyon çalışmalarına ilgili bir dizi işlemi gerçekleştirmeye yarayan, Windows ortamında çalışan bir yazılımdır. Gelişmiş ve kullanıcı dostu arayüz desteği sayesinde, herhangi bir kodlama veya algoritma bilgisi gerektirmeksizin kullanıcıların pratik bir şekilde işlem yapmasına olanak tanır (Şekil 4.18). Yazılım içinde, ülke sınırları, faylar, deprem kataloğu, il ve ilçe merkezleri gibi veriler altlık olarak sunulmaktadır (GeodSuit 2017, Solak 2020). Bu yazılım, blok model çözümü, gerinim ve intersismik deformasyon analizi, plaka hız ile sismik yer değiştirmelerin modellenmesi ve göreceli hızların hesaplanması gibi bir dizi işlem için kullanılabilir (GeodSuit 2017, Solak 2020).

GeodSuit yazılımı ile yapılan analizlerde elde edilen çıktı dosyalarının (gerinim, blok model vb.) en yaygın görselleştirme yazılımlarından biri olan GMT formatında

kaydedilmesi, sonuçların görselleştirilmesi aşamasında önemli bir kolaylık sağlamaktadır.



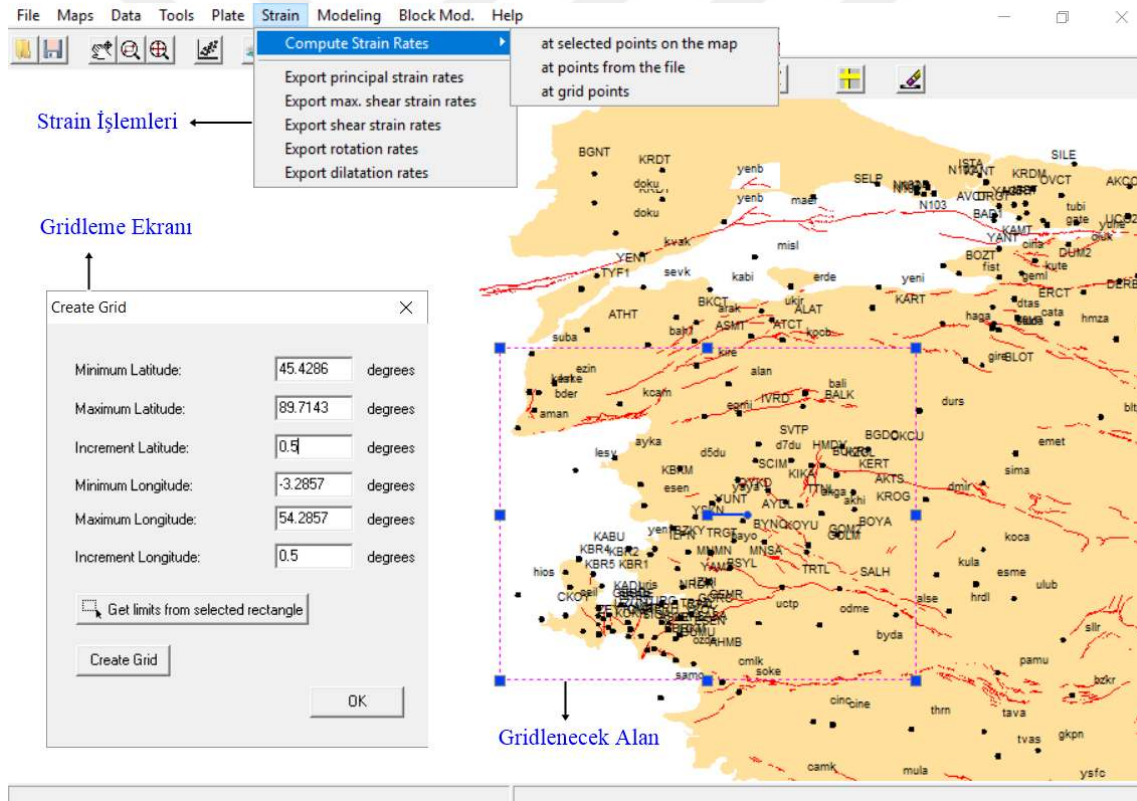
Şekil 4.18 GeodSuit yazılımı arayüzü.

GNSS hızları kullanılarak gerinim analizi yapmak için birden fazla yöntem bulunmaktadır. Yazılım geliştiricileri önceki çalışmalarında elde edilen sonuçların güvenilirliğine dayanarak Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009)'da belirtilen yöntemi kullanmaktadır. Bu yöntemde, EKK metodu kullanılarak grid noktalarındaki gerinimler ve dönüklükler hesaplanmaktadır (GeodSuit 2017).

Yazılım ile yapılacak gerinim analizi için girdi verisi olarak GNSS noktalarına ait hızlar ve bu hızlara ait belirsizlikler kullanılmaktadır. Hız verilerinin yazılım girdi formatında (*Boylam, Enlem Ve, Vn, Se, Sn, RHO, Nokta Adı*) düzenlenmesi gerekmektedir. Fakat GAMIT/GLOBK yazılımında elde edilen hız dosyaları, yazılımda önceden tanımlanmış olup, herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir (Solak 2020).

Gerinim analizine başlamadan önce, *Maps* menüsünden sırasıyla *Add Base Map* ile temel harita ve *Add Fault Map* ile fay haritası eklenir. Daha sonra, üst menüden *Data > Load GPS Velocity/Displacements* seçeneği kullanılarak bir hız dosyası yazılıma yüklenir. Analiz yapılacak alanı belirlemek için araç çubuğunda bulunan ve kare simgesiyle gösterilen “*Select Rectangle*” aracı kullanılarak hedef bölge dörtgen içine alınır. Seçim işleminin ardından bu dörtgen aktif hale getirilir ve *Tools > Create Grid* seçeneği ile grid sınırlarının ve aralıklarının tanımlanacağı bir menü açılır. Burada “*Get limits from*

selected rectangle” butonuna basıldığında, gridleme yapılacak alanın koordinatları seçilen dörtgenin köşe noktalarına göre otomatik olarak güncellenir. Alternatif olarak, dörtgen seçimi yapılmadan doğrudan *Create Grid* ekranına enlem ve boylam sınırları girilerek de bu işlem gerçekleştirilebilir. Bir sonraki adımda, “*Increment Latitude/Longitude*” alanları kullanılarak grid aralığı belirlenir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra “*Create Grid*” ile gridleme işlemi sonlandırılır. Bu aşamaya kadar yazılım herhangi bir görsel çıktı üretmez. Son olarak, üst menüde bulunan *Strain* sekmesinden *Compute Strain Rates* > *at grid points* seçeneği seçilerek, daha önce tanımlanmış olan grid noktaları üzerinde gerinim hesaplamaları yapılır. Strain menüsünde hesaplanan gerinim oranları, kayma, rotasyon ve dilatasyon değerleri bir dosyaya kaydedilebilir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 GeodSUIT gridleme ekranı (Solak 2020).

Yazılım, gerinim hesaplaması için grid noktalarının yanı sıra 2 farklı seçenek daha sunar. Bunlar “*at selected points on the map*” ve “*at points from the file*” seçenekleridir. “*at selected points on the map*” ile çizim ekranında belirlenen rastgele bir noktada gerinim hesaplaması yapılabilir. “*at points from the file*” seçeneği ile de gerinim hesaplanmak

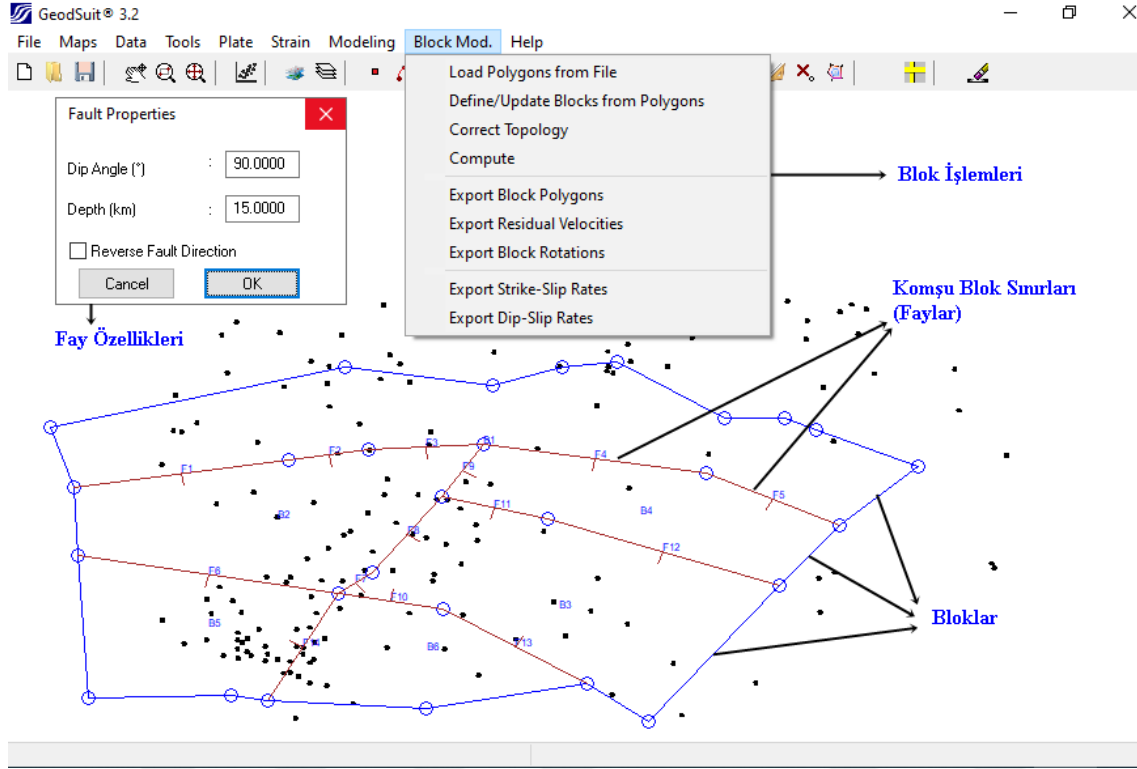
istenilen noktalara ait boylam ve enlemlerin yer aldığı bir metin dosyası hazırlanarak belirlenen noktadaki gerinimler hesaplanabilir. Bu özellikler, fay hatları üzerindeki gerinimlerin doğrudan hesaplanmasını sağladığı gibi, farklı zamanlarda yapılan çalışmalarda aynı koordinatlar üzerinden gerinim hesaplamalarının tutarlı bir şekilde tekrarlanmasına da olanak tanır (Solak 2020).

GAMIT/GLOBK ile hesaplanan hızlar her nokta için yıllık hareket miktarını belirlerken gerinim analizleri ise bu hızlara ve aralarındaki mesafelere bağlı olarak bölgesel gerilim birikimini ifade eder. Fakat faya bitişik blokların hareketlerinin izlenebilmesi için blok modelleme çözümü yapılması gerekmektedir. GeodSuit yazılımının en önemli avantajlarından biri blok modelleme ve blok çözüm olanağı sunmasıdır (GeodSuit 2017).

Blok sınırlarının belirlenmesi aşamasında kullanılabilecek en güçlü yöntemlerden biri noktalara ait görelî hızları analiz etmek olacaktır. Bunun için mümkün olduğunca çalışma alanı dışında kalan noktalar sabit kabul edilerek bütün noktaların görelî hızları hesaplanmalı ve bu hızlar yardımıyla blok sınırları belirlenmelidir. Yazılım üzerinde bu işlem sabit kabul edilecek noktalar işaretlendikten sonra “Plate” sekmesinden “Compute Relative Velocities” seçeneği ile uygulanır (Şekil 4.20). Devamında ise bir blok sabit alınarak ağda bulunan bütün noktaların görelî hızları hesaplanmalı, noktaların blok ile uyumu değerlendirilmeli ve en uygun blok model seçilmelidir. Blok model seçildikten sonra model çözümü yapılması yani blokların birbirlerine göre görelî hareketleri ve noktaların artık hızları hesaplanmalıdır (Solak 2020).

GeodSuit yazılımı ile blok model çözümü gerçekleştirmek için yazılıma hız dosyası yüklendikten sonra araç çubuğunda bulunan “Digitize Polygons” butonu ile blok sınırları çizilir. Bu süreçte her bir blok kapalı alan şeklinde çevrilmeli ve bloklar komşu olmalıdır. Devamında tanımlanan bütün bloklar seçilerek ve “Block Mod.” sekmesinden “Define/Update Blocks From Polygons” tanımlanmalı ve “Correct Topology” uygulanmalıdır. Eğer blok sınırlarındaki eğim açısı ile sismojenik kalınlık belirlenmek isteniyorsa “Fault Properties” penceresine ilgili veriler yazılmalı ve “Compute” sekmesi ile blok çözümü başlatılmalıdır. Başlatılan analiz sonucunda hesaplanan blok hareketleri,

artık hızlar ve blok rotasyonları menüde bulunan “*Export*” seçenekleri kullanılarak dışarıya aktarılabilir ve alternatif yazılımlar ile görselleştirilebilir (Şekil 4.20).

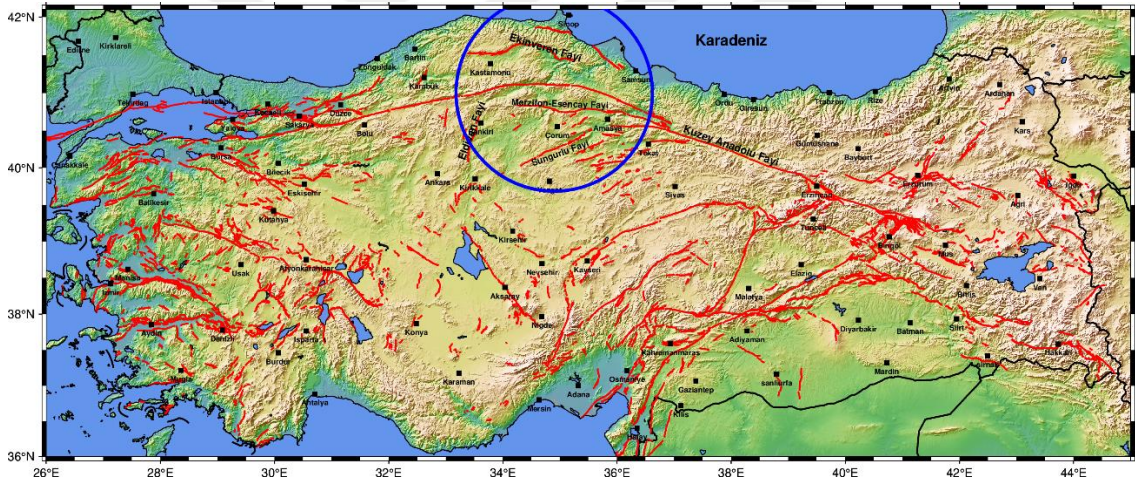


Şekil 4.20 GeodSuit blok işlemleri menüsü (Solak 2020).

5. UYGULAMA

5.1 Uygulama Alanı

Ülkemizde son asırda vuku bulan büyük can kayıplarının ve maddi zararların olduğu depremlerin birçoğu KAFZ üzerinde meydana gelmiştir ve bu depremlerin tekrarlama potansiyelinin olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı bu fayı ilgilendiren birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir (Wright vd. 2001, Bozkurt 2001, Koçyiğit vd. 2001, Barka vd. 2002, Hubert vd. 2002, Şengör vd. 2003, Şengör vd. 2005, Reilinger vd. 2006, Kozacı vd. 2007, Yavaşoğlu vd. 2011, Tatar vd. 2012, Erturaç ve Tüysüz 2012, Çakır vd. 2014, Aktuğ vd. 2015, Hussain vd. 2016, Bohnhoff vd. 2016, Aladoğan vd. 2017, Yavaşoğlu vd. 2020, Emre vd. 2020-2021, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023).



Şekil 5.1 Uygulama alanı (Kırmızı çizgiler Türkiye Diri Faylarını temsil etmektedir (Emre vd. 2018). Mavi daire ile gösterilen alan uygulama alanını göstermektedir.)

Doktora tezi kapsamında önerilen çalışma bölgesi, doğu-batı (D-B) uzanımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) orta kesimini kapsamakta olup, Tokat-Niksar ile Kastamonu-Ilgaz arasındaki fay segmentlerini içermekte ve kuzeyde Sinop, güneyde ise Yozgat ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 5.1). Bu alan içerisinde KAFZ'nın anakolu haricinde kuzeye ve güneye uzanan içbükey kolları da yer almakta olup bu faylar MTA'nın hazırladığı Türkiye Diri Fay haritasında da gösterilmektedir. Bu faylar genel olarak sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak bilinmektedir. Bu kolların en büyüklerinden biri olan, Sungurlu Fayı olarak bilinen kol olup 1939 Erzincan Depreminden sonra yüzey

kırığı oluşturmuş ve KAFZ anakolundan Tokat-Niksar civarında ayrılarak güneybatıda Çankırı Havzası'na kadar uzanmaktadır.

KAFZ üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra Amasya ve Çorum İllerinin 2021 yılına ait Afet Risk Azaltma Planları (İRAP) incelendiğinde çalışma bölgesi deprem açısından yüksek riskli bir coğrafyanın içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bu faylarda meydana gelebilecek büyük ölçekli depremler, Kuzey Anadolu'da yer alan, önemli bir geçiş güzergâhı olan, üzerinde birçok yerleşim alanı bulunan bölge için büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda bölgenin tektonik hareketlerinin düzenli olarak izlenmesi ve bu hareketlerin modellenmesi, deprem kaynaklı zararların minimize edilmesine yönelik önemli bir adım olacaktır.

5.2 Oluşturulan GNSS Ağı

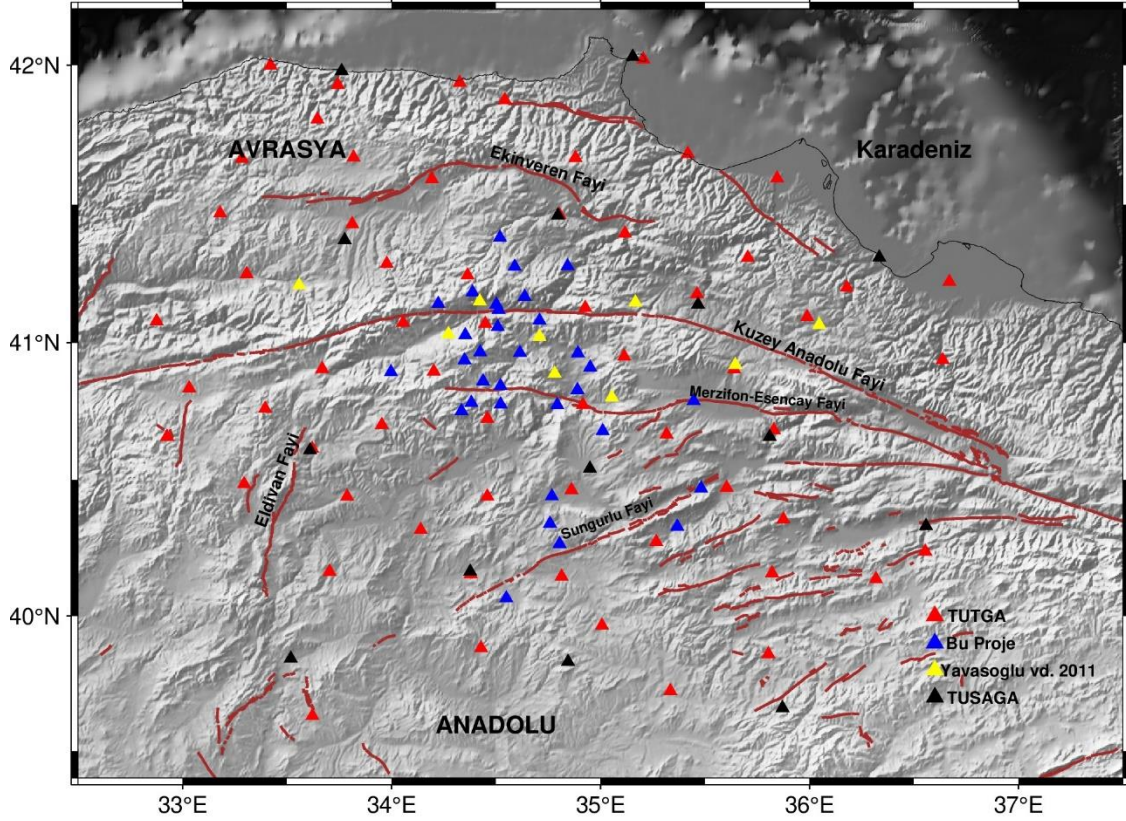
Bölgede yapılan jeodezik çalışmaların temelinde Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından oluşturulan GNSS ağına ait hızlar kullanılmıştır. Bu ağı oluşturan istasyonların büyük bir kısmının 2004 yılından günümüze kadar ölçülmediği görülmektedir. Dolayısıyla bu verilerin yaşatılması ve uzun dönem güncel hız alanının belirlenmesi, KAFZ'ın orta kesimindeki deformasyonun hesaplanabilmesi için yüksek duyarlı jeodezik altyapısının oluşturulması gerekmektedir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda, bölgenin güncel kinematik özelliklerini belirlemek için KAFZ'ın anakolu ile güneye doğru uzanan iç kollarını oluşturan Merzifon-Esençay Fayı ve Sungurlu Fayı'nı içine alan, bölgenin jeolojik yapısına ve blok sınırlarına uygun, fay doğrultularına dik yönde konumlandırılan profiller oluşturacak şekilde yeni bir GNSS ağı oluşturulmuştur (Şekil 5.2).

GNSS ağının istikşaf aşamasında tasarlanan ağı oluşturan noktalar aşağıda belirtilen kriterlere uygun olarak seçilmiştir.

- Bölgenin tektonik hareketlerinin karakteristik özelliklerini belirleyecek şekilde uygun olarak seçilmesi,
- Uygun dağılımda planlanan GNSS ağına ait noktaların zorunlu merkezleştirme özelliğine sahip olması,

- Ulaşım, lojistik ve güvenlik açısından elverişli olması,
- Noktanın etrafında multipath etkisi oluşturabilecek yapılaşmanın olmaması ve maksimum düzeyde uydu görebilmesi.
- Jeolojik zemin özelliklerinin homojen ve lokal deformasyona karşı dirençli olması gerekmektedir.



Şekil 5.2 Çalışma bölgesini kapsayan GNSS gözlem ağı. (Kırmızı noktalar TUTGA, Sarı noktalar Yavaşoğlu vd. 2011, Siyah noktalar TUSAGA-Aktif, Mavi noktalar ise kurum ve kuruluşlar tarafından tesis edilmiş geçmiş RINEX verileri temin edilen yeni noktalardır.)

TUSAGA-Aktif istasyonları tektonik yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla tesis edilmedikleri için lokal tektonik hareketlerin çözümü için yetersiz kalabilmektedir. Bundan dolayı, tektonik hareketleri incelenecek her bir fay segmenti için faya yakın ve uzak bölgelerdeki gözlemler ile fayların kilitlenme derinlikleri kestirilebilir. Bununla birlikte fay düzlemlerinden uzak bölgelerde yapılan gözlemlerle genel blok davranışı tanımlanabilmektedir (Bohnhoff vd. 2016, Halıcıoğlu vd. 2009, Taskin vd. 2003). Bundan dolayı Fay kilitlenme derinliği (H) ve fay konumunun birlikte elde edilmesi amaçlanan çalışmalarda jeodezik ağı oluşturan noktaların yaklaşık olarak fay düzlemine $\pm H/\sqrt{3}$ katı uzaklığında gözlem yapılması önerilmektedir (Halıcıoğlu vd. 2009, Alkan

2018, Yavaşoğlu vd. 2020). GNSS ağını oluşturan istasyonlar tesis edilirken faylardaki deformasyonların büyüklüklerine ve deformasyonların izleneceği alana bağlı olarak yeterli sayıda nokta dâhil edilmelidir (Halıcıoğlu vd. 2009, Kutoğlu vd. 2009).

Yukarıda belirtilen kriterlere göre tektonik hareketlerin araştırılması için, ölçme yapılacak alanda pilye ya da kayada bronz olarak zemine tesis edilmiş noktalar kullanılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Kampanya tipi GNSS gözlem ağı nokta tesis tipi örnekleri. Pilye (Solda), Yer noktası (Sağda).

Oluşturulan GNSS ağında 9 adet Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından tesis edilen nokta, 63 adet TUTGA noktası, 32 adet çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından tesis edilmiş pilye türü noktalar yer almaktadır. Bu noktaların seçiminde yukarıda belirtilen hususlar yanında geçmiş dönemlerde GNSS ölçüsü olmasına dikkat edilmiştir. Böylece 32'si yeni nokta, 9'u diğer proje noktası, 63'ü TUTGA noktası, 14'ü TUSAGA-Aktif noktası olmak üzere GNSS verisi olan toplam 118 noktalık bir ağ oluşturulmuştur. Yeni belirlenen GNSS noktalarının tesis ve ölçü maliyetini azaltmak amacıyla öncelikle bölgede bulunan kurum

ve kuruluşların tesis ettiği GNSS noktalarının konumları ve daha önceden elde edilen verileri temin edilmiştir (Çizelge 5.1). Toplanan GNSS verileri (RINEX) incelendiğinde planlanan GNSS ağını oluşturan noktaların yakınlarında noktalar olduğu ve bu noktalara ait uzun süreli ölçülerin olduğu görülmüştür.

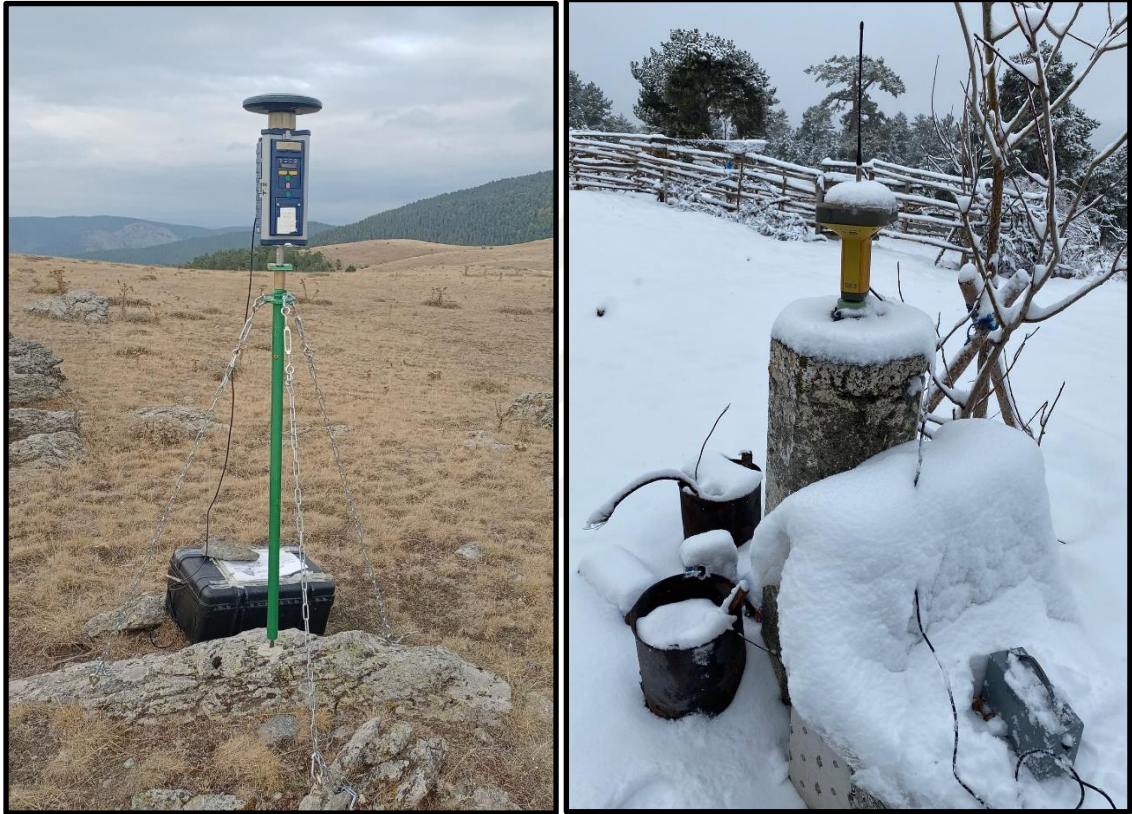
Yapılan istikşaf çalışması sonucunda yeni belirlenen noktalardan 4 tanesinde tahribat olduğu görülmüş ve bu noktalar ağ planlamasından çıkarılmıştır. Yerine yakın bölgelerinde bulunan GNSS ölçüsü olan noktalar dâhil edilmiştir. Genel olarak GNSS hız hesaplaması için yapılan kampanya tipi ölçülerde, başlangıç ölçüsü ile son ölçü arasındaki zaman farkı hız doğruluğunu etkileyen en önemli faktördür (Şafak vd. 2020). Bu nedenle yeni nokta tesis etmek yerine bölgede farklı çalışmalar için tesis edilmiş ve geçmiş GNSS ölçüsü olan noktaların kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 5.1 Geçmiş çalışmalarda tesis edilen ve geçmiş RINEX verisi olan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	S.N.	Nokta Adı	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi
1	ABDI	2006	2024	17	KARK	2005	2024
2	ABTA	2006	2024	18	KECE	2006	2024
3	AKIL	2006	2024	19	KERT	2018	2024
4	AKPI	2006	2024	20	KLIK	2006	2023
5	BLMS	2008	2024	21	KONT	2006	2024
6	BMPK	2008	2023	22	KRCG	2006	2023
7	BSPN	2007	2024	23	KRGN	2006	2023
8	CHDY	2006	2023	24	KRUE	2007	2024
9	CKLC	2006	2024	25	OBRK	2015	2023
10	DRSK	2006	2023	26	OVSU	2008	2024
11	EVCI	2010	2024	27	SERB	2007	2024
12	GBYK	2011	2024	28	SNMG	2018	2024
13	GKCD	2006	2023	29	UYAZ	2005	2024
14	HRUN	2006	2023	30	YARP	2007	2024
15	IKIP	2006	2024	31	YAVU	2006	2024
16	KABO	2011	2024	32	YNDM	2008	2023

5.3 GNSS Ölçmeleri

Oluşturulan GNSS ağında bölgenin güncel hız alanını elde etmek için 2023 ve 2024 yıllarında GNSS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4). Yapılan bu ölçmeler Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen **ODMYO19001.23.001** numaralı proje ve TÜBİTAK tarafından desteklenen **123Y293** numaralı 1002-A Hızlı Destek projeleri kapsamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4 2023 ve 2024 yıllarında yapılan GNSS gözlem çalışmaları. KAML noktası (Solda), ABTA noktası (Sağda)

Gerçekleştirilen GNSS ölçmeleri, Hitit Üniversitesi, Aksaray Üniversitesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne ait GNSS alıcı ve antenleri ile zincirli tripodlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kurumların sağladığı ekipmanlar, jeodezik amaçlı uzun süreli ölçümler için uygun olup, yüksek doğrulukta konum belirleme kapasitesine sahiptir. Ölçmeler sırasında kullanılan ekipmanların görselleri, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da detaylı olarak sunulmuştur. Bu görsellerde, GNSS alıcıları, antenler, anten tripodları ve diğer yardımcı ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 5.5 GNSS ölçmelerinde kullanılan ekipmanlar.

Kampanya tipi GNSS ölçmelerinde izlenecek gözlem stratejisi, GNSS ağını oluşturan tüm noktalarda 15 saniye veri örnekleme aralığı ile iki gün, bir günde en az 8 saatlik gözlemlerin gerçekleştirilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Nokta tesis tipi kayada bronz çivi olan kampanya tipi gözlem noktalarında olası merkezleştirme ve anten yüksekliği hatalarını en aza indirebilmek ya da çevresel koşulların ölçme oturumları üzerindeki etkilerinin önüne geçilebilmesi amacıyla sabit yükseklikli GNSS gözlem ekipmanları (zincirli tripod) kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Zincirli Tripod (Sabit yükseklikli GNSS ölçme ekipmanı).

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ölçmeler sonucu elde edilen veriler ile çalışma bölgesinde yer alan TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının geçmiş RINEX verileri temin edilerek RINEX verisi olan 118 noktalık bir GNSS ağı oluşturulmuştur (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	Tesis Türü	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	Ağ Adı
1	ABDI	Pilye	2006	2024	BU PROJE
2	ABTA	Pilye	2006	2024	
3	AKIL	Pilye	2006	2024	
4	AKPI	Pilye	2006	2024	
5	BLMS	Pilye	2008	2024	
6	BMPK	Pilye	2008	2023	
7	BSPN	Pilye	2007	2024	
8	CHDY	Pilye	2006	2023	
9	CKLC	Pilye	2006	2024	
10	DRSK	Pilye	2006	2023	
11	EVCİ	Pilye	2010	2024	
12	GBYK	Pilye	2011	2024	
13	GKCD	Pilye	2006	2023	
14	HRUN	Pilye	2006	2023	
15	IKIP	Pilye	2006	2024	
16	KABO	Pilye	2011	2024	
17	KARK	Pilye	2005	2024	
18	KECE	Pilye	2006	2024	
19	KERT	Pilye	2018	2024	
20	KLIK	Pilye	2006	2023	
21	KONT	Pilye	2006	2024	
22	KRCG	Pilye	2006	2023	
23	KRGN	Pilye	2006	2023	
24	KRUE	Pilye	2007	2024	
25	OBRK	Pilye	2015	2023	
26	OVSU	Pilye	2008	2024	

Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	Tesis Türü	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	Ağ Adı
27	SERB	Pilye	2007	2024	BU PROJE
28	SNMG	Pilye	2018	2024	
29	UYAZ	Pilye	2005	2024	
30	YARP	Pilye	2007	2024	
31	YAVU	Pilye	2006	2024	
32	YNDM	Pilye	2008	2023	
33	AKKY	Pilye	2006	2023	TUTGA
34	ARAC	Pilye	2000	2021	
35	ATKA	Pilye	2000	2021	
36	AYAN	Pilye	2006	2021	
37	AYCK	Pilye	2006	2021	
38	AZDA	Pilye	2006	2021	
39	BOYB	Pilye	2001	2022	
40	BSKO	Yer Noktası	2006	2023	
41	CAL1	Yer Noktası	2006	2018	
42	CER2	Pilye	2017	2022	
43	CKRK	Pilye	2001	2021	
44	CORD	Pilye	2002	2023	
45	CRSB	Pilye	2004	2021	
46	DDKY	Pilye	2001	2023	
47	DGCT	Yer Noktası	2006	2023	
48	DGYT	Pilye	2006	2020	
49	DOLK	Pilye	2001	2021	
50	DRCI	Yer Noktası	2006	2021	
51	DRGN	Pilye	2006	2021	
52	DVKN	Yer Noktası	2006	2021	
53	ELD2	Yer Noktası	2016	2021	
54	HAVZ	Pilye	2001	2023	
55	HCH2	Yer Noktası	2016	2021	
56	HDRL	Pilye	2006	2021	

Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	Tesis Türü	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	Ağ Adı
57	IKON	Pilye	2006	2023	TUTGA
58	ILGZ	Pilye	2001	2023	
59	INBO	Pilye	2003	2021	
60	ISKL	Pilye	2001	2023	
61	KAML	Yer Noktası	2006	2023	
62	KARG	Pilye	2005	2023	
63	KAŞT	Pilye	2006	2021	
64	KAVK	Pilye	2001	2023	
65	KDKR	Pilye	2006	2023	
66	KLLK	Yer Noktası	2006	2017	
67	KRAC	Yer Noktası	2002	2021	
68	KRLK	Yer Noktası	2001	2023	
69	KSCU	Pilye	2004	2021	
70	KRUE	Pilye	2008	2021	
71	LCIN	Pilye	2006	2023	
72	ORTK	Pilye	2005	2023	
73	SAM2	Yer Noktası	2014	2022	
74	SBNZ	Pilye	2000	2023	
75	SELA	Pilye	2008	2021	
76	SGTY	Yer Noktası	2006	2021	
77	SINO	Yer Noktası	2001	2021	
78	SORG	Pilye	2003	2021	
79	SULA	Pilye	2001	2023	
80	TASK	Pilye	2003	2021	
81	TKLL	Pilye	2006	2023	
82	TOSY	Pilye	2006	2023	
83	TSPN	Pilye	2003	2023	
84	TURK	Pilye	2008	2021	
85	UGRL	Pilye	2001	2023	
86	VEZK	Pilye	2005	2021	

Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	Tesis Türü	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	Ağ Adı
87	YKEN	Pilye	2006	2021	TUTGA
88	YLTP	Pilye	2014	2023	
89	ALA1	Pilye	2001	2023	TUTGA Yavaşoğlu vd. 2011
90	CNKR	Pilye	2000	2023	
91	GBAG	Pilye	2001	2023	
92	GHAC	Pilye	2001	2023	
93	GKCB	Pilye	2001	2023	
94	GYNC	Pilye	2001	2023	
95	SNGR	Pilye	2001	2023	
96	DDRG	Pilye	2006	2023	Yavaşoğlu vd. 2011
97	GOL1	Pilye	2006	2023	
98	HMMZ	Pilye	2006	2023	
99	HVZA	Pilye	2001	2023	
100	IHGZ	Pilye	2006	2023	
101	KRGI	Pilye	2006	2023	
102	KVAK	Pilye	2017	2004	
103	ORTC	Pilye	2001	2023	
104	OSMC	Yer Noktası	2002	2023	
105	AKD1	Sabit İstasyon	2018	2023	TUSAGA- Aktif
106	AMA1	Sabit İstasyon	2017	2023	
107	BOYT	Sabit İstasyon	2011	2023	
108	CANK	Sabit İstasyon	2011	2023	
109	CORU	Sabit İstasyon	2011	2023	
110	INE3	Sabit İstasyon	2020	2023	
111	KKAL	Sabit İstasyon	2011	2023	
112	KSTM	Sabit İstasyon	2011	2023	
113	SAM1	Sabit İstasyon	2013	2023	
114	SINP	Sabit İstasyon	2011	2023	
115	SUN1	Sabit İstasyon	2020	2023	
116	TOK1	Sabit İstasyon	2014	2023	

Çizelge 5.2 (Devam) Verisi temin edilen / ölçüsü yapılan noktalar.

S.N.	Nokta Adı	Tesis Türü	İlk Ölçü Tarihi	Son Ölçü Tarihi	Ağ Adı
117	VEZI	Sabit İstasyon	2011	2023	TUSAGA-
118	YOZ1	Sabit İstasyon	2015	2023	Aktif

5.4 Hesaplanan Hız Alanı

Doktora tez çalışması kapsamında, 2023 ve 2024 yıllarında yapılan GNSS ölçmeleri sonucu elde edilen veriler ile aynı noktaların geçmiş RINEX verileri ve TUSAGA-Aktif CORS-TR ağına ait verilerin birlikte işlenmesi yoluna gidilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilme işlemi MIT tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımı ile yapılmıştır.

Çizelge 5.3 Değerlendirme aşamasında kullanılan IGS istasyonları

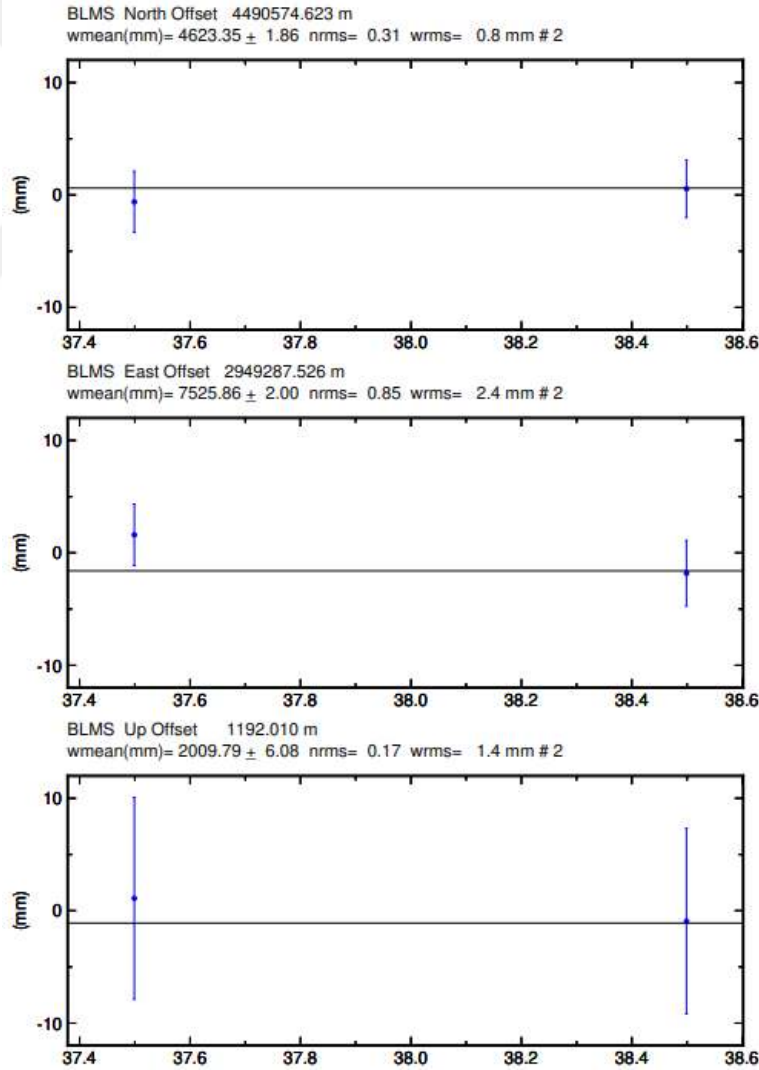
S.N.	İstasyon Adı	Boylam	Enlem	S.N.	İstasyon Adı	Boylam	Enlem
1	ADIS	38.77	9.04	15	MATE	16.70	40.65
2	ANKR	32.76	39.89	16	NICO	33.40	35.14
3	BAHR	50.61	26.21	17	NOT1	14.99	36.88
4	BAKU	49.81	40.37	18	NSSP	44.50	40.23
5	BOR1	17.07	52.28	19	ONSA	11.93	57.40
6	BUCU	26.13	44.46	20	POLV	34.54	49.60
7	CRAO	33.99	44.41	21	POTS	13.07	52.38
8	DRAG	35.39	31.59	22	RAMO	34.76	30.60
9	GLSV	30.50	50.36	23	SOFI	23.39	42.56
10	GRAS	6.92	43.75	24	TELA	34.78	32.07
11	GRAZ	15.49	47.07	25	TUBI	29.45	40.79
12	ISTA	29.02	41.10	26	VILL	356.05	40.44
13	KOSG	5.81	52.18	27	WTZR	12.88	49.14
14	KUWT	47.97	29.33	28	ZECK	41.57	43.79

Yapılan değerlendirme bölüm 4.2.3’de anlatıldığı şekilde, hassas uydu yörünge bilgileri ile bütün yıllara ait veriler için aynı IGS istasyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu

aşamada Dünya geneline yayılmış Çizelge 5.3'te verilen toplam 28 IGS istasyonu kullanılmış ve veri değerlendirme stratejisi Çizelge 5.4'te verilmiştir.

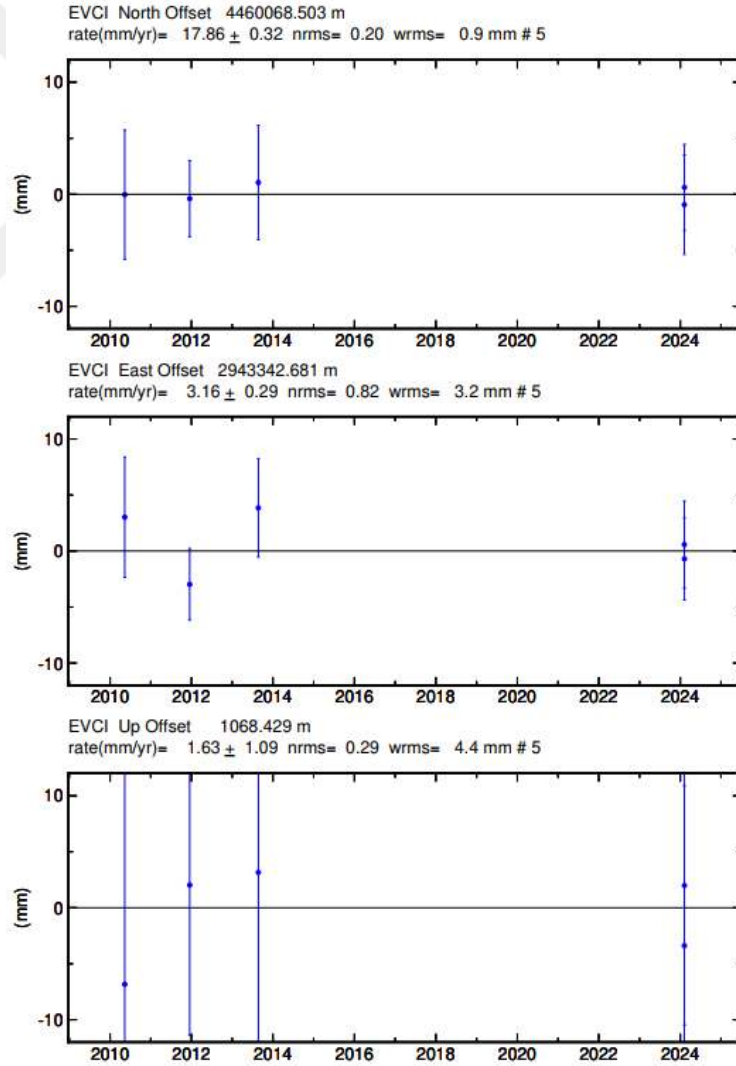
Çizelge 5.4 GAMIT değerlendirme stratejisi

Parametre	Açıklama
Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10°
Yörünge Bilgisi	IGSF
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Modeli	Sastamoinen
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Iosphere-free)



Şekil 5.7 BLMS noktasının günlük tekrarlılık grafiği.

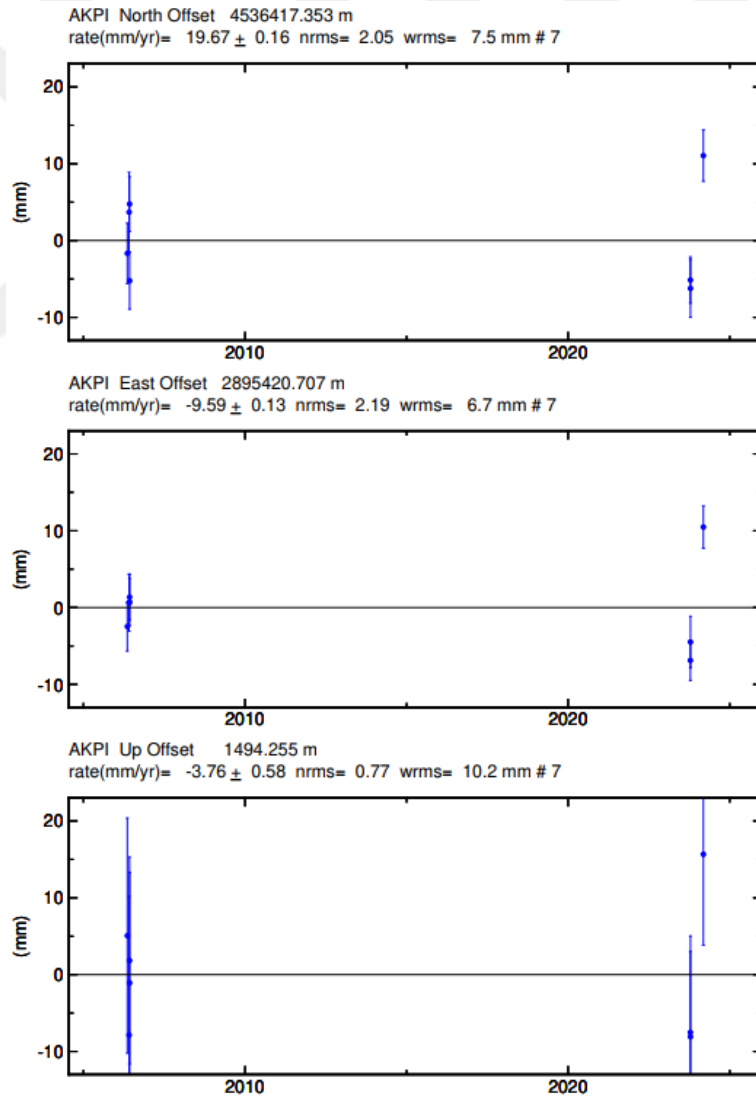
Tüm verilerin Çizelge 5.4’de verilen stratejiye göre değerlendirme işleminden sonra istasyonlara ait günlük tekrarlılık grafikleri üretilmiştir (Şekil 5.7). GAMIT günlük çözümlerinin kontrolünde postfit nrms (normalize karesel ortalama hata) değerlerinin 0.15-0.25 referans aralığında kalması beklenmektedir. Değerlendirme sonucu hesaplanan nrms değerleri kontrol edildiğinde herhangi bir anlamsız sonuç görülmemiştir. Günlük çözümler elde edildikten sonra, GLOBK yazılımı kullanılarak zaman serisi ve hız analizi sürecine başlanmıştır ve tüm noktaların yıllık tekrarlılıkları (zaman serileri) üretilmiştir (Şekil 5.8). Hız hesaplamalarından önce, bir noktaya ait tüm ölçmeler arasındaki uyumsuzlukları görmek ve bu uyumsuzlukları değerlendirmek amacıyla yıllık tekrarlılık grafiklerini kontrol etmek büyük önem taşır. Bundan dolayı tüm noktalara ait yıllık tekrarlılık grafikleri incelenmiştir.



Şekil 5.8 EVCI noktasının yıllık tekrarlılık grafiği.

Hız üretirken kullanılacak IGS istasyonları stabilizasyonda kullanılmak üzere glorg_vel.cmd dosyasına tanımlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında Referans olarak Avrasya Plakası ve ITRF2014 çatısı tanımlanmıştır.

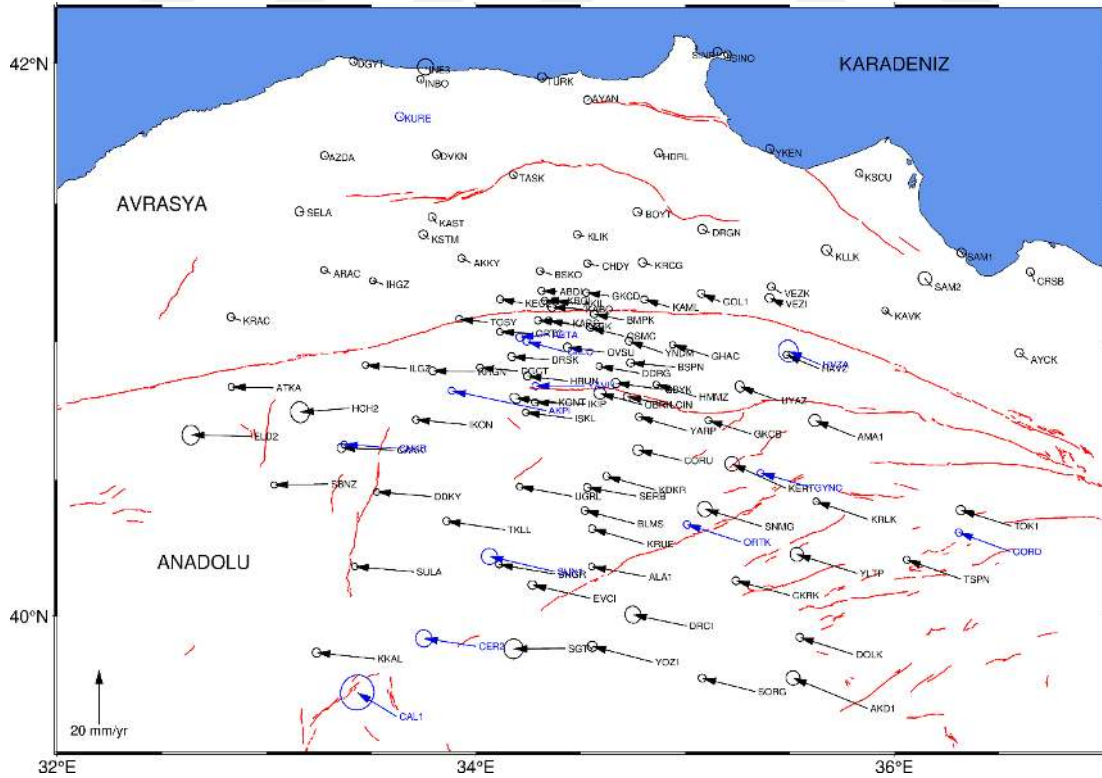
Satbilizasyon çalışmaları GLOBK için en belirleyici aşamadır. Stabilizasyonda GAMIT modülünde değerlendirmeye alınan IGS istasyonlarından uygun görülenleri kullanılmalıdır. Bu nedenle değerlendirme sonucunda hesaplanan hızlar incelendiğinde kullanılan 28 IGS istasyonu içerisinde nrms değeri 1 mm'nin üzerinde olan IGS istasyonları stabilizasyonda kullanmadığı görülmüştür. Değerlendirmede kullanılan 28 IGS istasyonundan 23'ü stabilizasyonda kullanılmış, 5 istasyon ise atılmıştır.



Şekil 5.9 AKPI noktasının yıllık tekrarlılık grafiği.

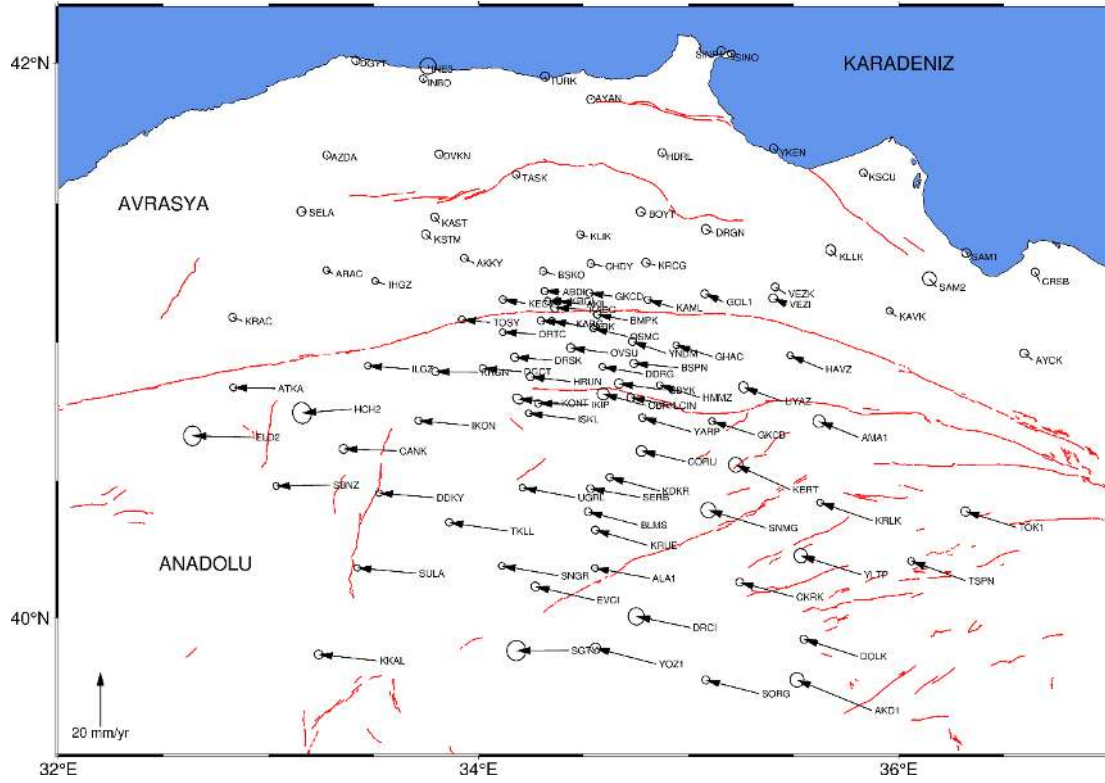
Elde edilen 118 noktanın yıllık tekrarlılık grafikleri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu analizler sırasında, her bir noktanın uzun vadeli hareket eğilimi değerlendirilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir trend göstermeyen noktalar belirlenmiş ve güvenilir hız hesaplamalarını sağlamak amacıyla hız alanından çıkarılmıştır (Şekil 5.9).

Elde edilen hızların bölgenin genel hız alanı ile uyumu detaylı olarak değerlendirilmiş ve bu değerlendirme kapsamında, her bir noktanın hesaplanan hız bileşenleri bölgedeki jeodinamik süreçlerle karşılaştırılmış ve beklenen deformasyon modeliyle tutarlılığı incelenmiştir. Bölgesel hız alanıyla belirgin uyumsuzluk gösteren veya ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünülen hızlar tespit edilerek hız alanı dışında bırakılmıştır. Bu doğrultuda tekrarlılık grafikleri ve hızlar incelendiğinde, 13 noktanın bölgedeki hız alanıyla uyum sağlamadığı görülmektedir (Şekil 5.9, 5.10). Bu durumun, ilgili noktalarda meydana gelen lokal deformasyonlardan kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle, Şekil 5.10'da mavi ile gösterilen hızlara sahip noktalar, güvenilir analiz sonuçları elde edebilmek adına GNSS ağından çıkarılmıştır. Çalışma bölgesine ait güncellenen hız haritası Şekil 5.11'de verilmiştir.



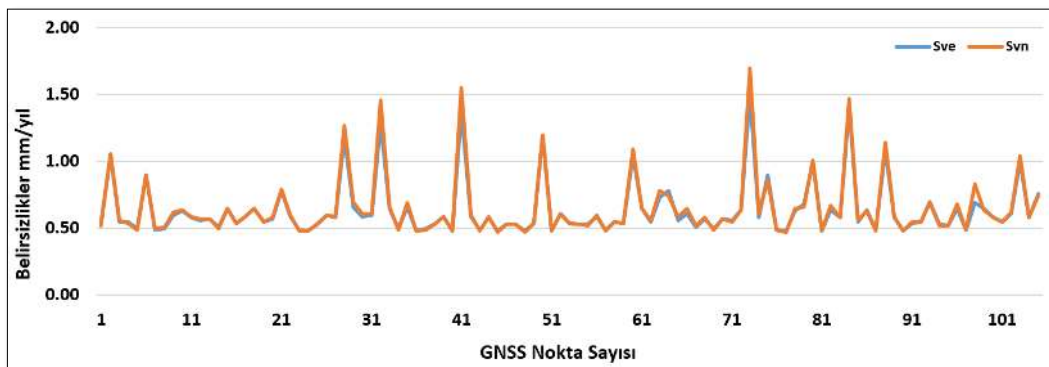
Şekil 5.10 Ham verisi olan 118 GNSS noktasından üretilen Avrasya sabit ITRF2014 hızlar (Kırmızı çizgiler diri faylar (Emre vd. 2013), Siyah oklar hızlar, Mavi oklar GNSS ağından çıkarılan hızlar.)

Hesaplanan hız bileşenleri incelendiğinde, doğu-batı bileşenlerinin negatif, kuzey-güney bileşenlerinin ise büyük çoğunlukla pozitif olduğu ve bölgenin batı/kuzeybatı yönünde bir hareket sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11 Güncellenen hız alanı

D-B bileşeninde en büyük hız, -27.10 mm/yıl ile AKD1 noktasında, en küçük hız ise 0.07 mm/yıl ile SINP noktasında kaydedilmiştir. Kuzey-güney bileşeni için en büyük hız değeri 11.11 mm/yıl ile yine AKD1 noktasında, en küçük hız ise, -0.05 mm/yıl ile KRGI noktasında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.12 Hız bileşenlerinin belirsizlikleri.

Çalışma bölgesinde hızların vektörel olarak genel anlamda kuzeyden güneye doğru arttığı görülmektedir. Bu durum bölgenin tektonik olarak kuzey ve güneyinde aynı yönde farklı büyüklükte hareketler olduğunu ve temelde iki farklı bloktan oluşabileceği olarak değerlendirilmektedir. Hesaplanan hızların belirsizlik değerleri incelendiğinde bu değerlerin birçoğunun 1 mm'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil 5.12) (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5 Hesaplanan hızlar ve belirsizlikleri (mm/yıl)

Nokta	VE	VN	SE	SN	Nokta	VE	VN	SE	SN
ABDI	-5.57	0.24	0.53	0.52	DRCI	-19.52	4.05	1.18	1.27
AKD1	-27.10	11.11	1.04	1.06	DRGN	-2.63	1.22	0.66	0.70
AKIL	-9.49	1.04	0.55	0.56	DRSK	-13.49	1.09	0.59	0.61
AKKY	-3.44	1.75	0.55	0.54	DVKN	-0.41	0.71	0.60	0.61
ALAC	-19.82	3.64	0.50	0.49	ELD2	-21.92	0.52	1.29	1.46
AMA1	-14.44	5.89	0.90	0.90	EVCİ	-21.27	4.89	0.65	0.66
ARAC	-2.40	1.20	0.49	0.50	GBAG	-14.17	6.70	0.50	0.49
ATKA	-15.21	0.31	0.50	0.51	GBYK	-16.85	2.39	0.66	0.69
AYAN	-0.56	-0.51	0.60	0.62	GHAC	-13.11	4.07	0.48	0.48
AYCK	-3.11	2.49	0.63	0.64	GKCB	-15.57	4.96	0.50	0.49
AZDA	-0.48	0.69	0.58	0.59	GKCD	-8.37	1.20	0.53	0.53
BLMS	-18.07	4.77	0.56	0.57	GOL5	-6.78	2.94	0.59	0.59
BMPK	-10.92	2.18	0.57	0.57	HAVZ	-11.86	5.00	0.48	0.48
BOYB	-1.39	0.29	0.51	0.50	HCH2	-17.97	-1.42	1.38	1.55
BOYT	-1.87	0.87	0.65	0.65	HDRL	-0.49	1.36	0.59	0.60
BSKO	-4.33	1.34	0.54	0.54	HMMZ	-14.58	4.45	0.49	0.48
BSPN	-16.09	1.52	0.59	0.59	HRUN	-14.63	1.75	0.58	0.59
CANK	-19.29	0.70	0.65	0.65	IHGZ	-3.80	1.34	0.48	0.47
CHDY	-4.28	0.93	0.55	0.55	IKIP	-18.24	0.53	0.53	0.53
CKRK	-19.46	5.28	0.57	0.58	IKON	-18.23	1.77	0.53	0.53
CORU	-15.76	3.75	0.78	0.79	ILGZ	-14.83	1.18	0.48	0.47
CRSB	-1.52	3.34	0.59	0.60	INBO	-0.49	1.49	0.54	0.54
DDKY	-19.94	1.63	0.49	0.48	INE3	-0.15	0.99	1.19	1.20
DDRG	-14.55	2.51	0.48	0.48	ISKL	-16.76	2.16	0.48	0.48
DGCT	-13.86	1.15	0.53	0.54	KABO	-11.40	0.61	0.61	0.61
DGYT	-0.37	1.04	0.60	0.60	KAML	-9.28	2.83	0.54	0.54
DOLK	-19.44	6.19	0.58	0.59	KARG	-11.56	1.05	0.53	0.53

Çizelge 5.5 (Devam) Hesaplanan hızlar ve belirsizlikleri (mm/yıl)

Nokta	VE	VN	SE	SN	Nokta	VE	VN	SE	SN
KARK	-12.14	2.04	0.53	0.52	SBNZ	-19.64	-0.33	0.48	0.48
KAST	-1.58	2.24	0.59	0.60	SELA	-1.73	0.38	0.64	0.67
KAVK	-2.53	2.12	0.49	0.48	SERB	-17.88	3.11	0.58	0.58
KDKR	-18.01	4.95	0.55	0.55	SGTY	-18.93	-0.14	1.41	1.47
KECE	-8.23	1.43	0.54	0.54	SINO	-0.25	1.36	0.55	0.56
KERT	-19.64	8.93	1.04	1.09	SINP	0.07	1.28	0.64	0.63
KKAL	-21.25	2.26	0.65	0.65	SNGR	-20.49	3.53	0.49	0.48
KLIK	-2.59	0.79	0.55	0.56	SNMG	-20.90	6.40	1.08	1.14
KLLK	-2.23	2.47	0.73	0.78	SORG	-19.25	4.88	0.58	0.59
KONT	-14.76	1.51	0.78	0.74	SULA	-21.43	1.98	0.48	0.48
KRAC	-3.50	1.31	0.56	0.59	TASK	-1.05	1.19	0.54	0.55
KRCG	-3.47	1.02	0.61	0.65	TKLL	-21.26	3.17	0.55	0.55
KRGI	-7.11	-0.05	0.51	0.52	TOK1	-18.30	5.73	0.70	0.69
KRGN	-15.49	0.23	0.57	0.58	TOSY	-10.22	1.06	0.53	0.52
KRLK	-18.97	6.54	0.50	0.49	TSPN	-19.72	7.07	0.52	0.52
KRUE	-18.93	5.56	0.57	0.57	TURK	-0.76	1.52	0.65	0.68
KSCU	-1.00	1.54	0.56	0.55	UGRL	-18.99	3.53	0.49	0.49
KSTM	-2.05	1.78	0.64	0.64	UYAZ	-14.04	5.08	0.69	0.83
KVAK	-4.02	4.44	1.50	1.70	VEZI	-4.87	2.18	0.65	0.64
LCIN	-14.63	2.82	0.58	0.61	VEZK	-3.77	2.45	0.58	0.58
OBRK	-15.27	4.16	0.90	0.86	YARP	-17.54	5.05	0.55	0.55
ORTC	-11.99	0.59	0.49	0.49	YKEN	-1.06	1.41	0.61	0.62
OSMC	-12.25	2.92	0.48	0.47	YLTP	-21.87	6.86	1.00	1.04
OVSU	-13.41	1.79	0.63	0.65	YNDM	-12.14	4.24	0.58	0.58
SAM1	-0.96	1.41	0.68	0.66	YOZ1	-21.96	5.72	0.76	0.75
SAM2	-2.54	3.05	1.00	1.01					

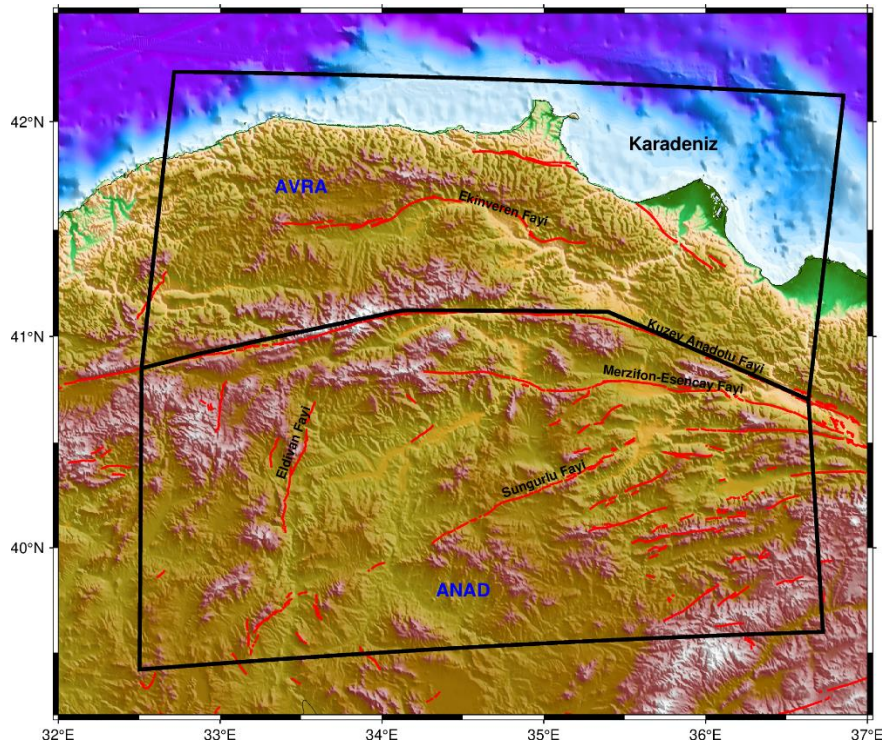
5.5 KAFZ Orta Segmentinin Modelleme Çalışmaları

Uygulama alanında birçok modelleme çalışması yapılmıştır (Reilinger vd. 2006, Yavaşoğlu vd. 2011, Aktuğ vd. 2015, Esat vd. 2021, Seyitoğlu 2022, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023). Fakat çalışma bölgesinin tektonik hareketlerini daha iyi anlamak için en kapsamlı ve güncel veri setiyle modelleme yapılması gereklidir. Bu nedenle, Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından oluşturulan GNSS ağı genişletilmiş, bölgedeki mevcut ağ

noktalarına ek olarak yeni GNSS noktaları belirlenmiştir. Bu yeni ağı ait noktaların 2023 ile 2024 yıllarında ölçülmesiyle birlikte, tüm noktalara ait GNSS hızları güncellenmiş ve daha yüksek doğrulukta bir veri seti elde edilmiştir. Elde edilen bu genişletilmiş ve güncellenmiş veri seti, bölgenin tektonik hareketlerini daha ayrıntılı analiz edebilmek amacıyla blok modelleme çalışmalarında kullanılmıştır.

5.5.1 Blok Model Geometrisi

Bölüm 3.3’de teorik olarak açıklandığı gibi blok modelin bir gereği olarak plakaların, litosfer üzerinde blokların faylar ile sınırlandırılan küresel ve kapalı yüzeyler olduğu esas alınmıştır. Bu doğrultuda çalışma alanındaki faylar tarafından sınırlandırılan ayrı ayrı 2, 3 ve 4 bloktan oluşan farklı modeller tasarlanmıştır. Tasarlanan bloklarda KAFZ anakolu, Merzifon-Esençay Fayı ve Sungurlu Fayları Emre vd. 2013’den alınarak fayların kıvrım yerlerinden düğüm noktaları oluşturulmuştur. Bölüm 5.4’te ayrıntılı olarak ele alınan veri setini içeren model genel olarak, doğuda Niksar ile batıda Ilgaz arasında, kuzeyde Karadeniz sınırı ile KAFZ anakolundan yaklaşık 160 km güneyine kadar uzanan bir bölgeyi kapsayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Çalışma bölgesini içeren blok sınırlar. Kırmızı çizgiler aktif fayları, siyah çizgiler blok sınırlarını, mavi yazılar blok isimlerini göstermektedir.

5.5.2 Blok Model Stratejisi

Blok modellemesinin en temel bileşenlerinden biri Euler kutup değerleridir. Blokların döngüsel hareketlerini modelleme aşamasında doğru bir şekilde belirlemek için, bu blokları temsil eden Euler kutup değerlerinin gerçekçi ve güvenilir bir temele dayanması büyük bir önem taşımaktadır. Deformasyonların rijit bir yapıya sahip blokların yalnızca sınırlarında meydana geldiği varsayımıyla, her bloğun farklı bir Euler kutup noktası etrafında döndüğü ve bir bloğun üzerindeki tüm noktaların aynı açısal hıza sahip olduğu kabul edilmiştir.

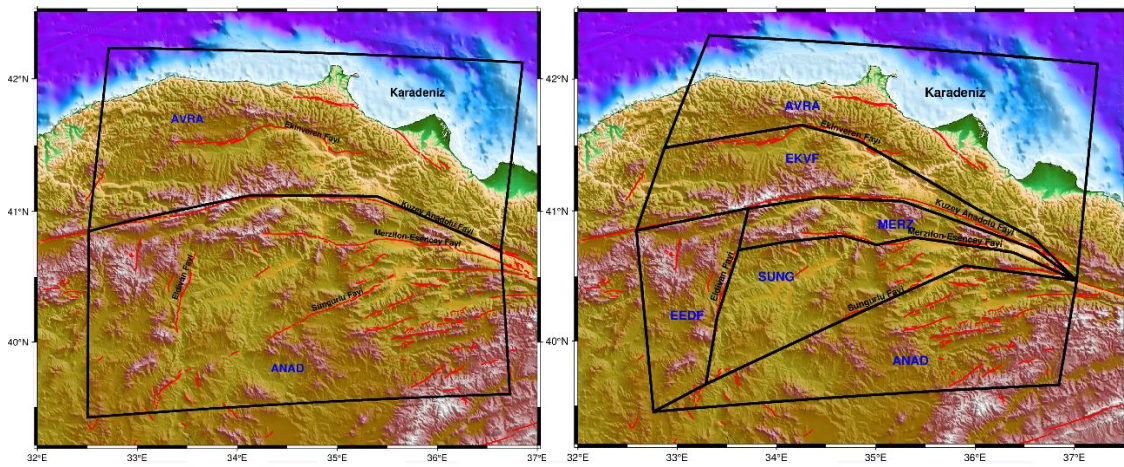
Tasarlanan blok geometrisine göre, GNSS hızlarının ters çözümü ile tektonik blokların hızlarının kestirimi için hem TDEFNODE hem de GeodSuit yazılımları kullanılmıştır. Bölüm 4.3’de anlatıldığı gibi yazılımlar başlangıçta girdi olarak Euler kutup değerlerini ve GNSS hız değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu aşamada sismik verilerin de göz önünde bulundurulduğu blok ve fay geometrileri ve Euler kutup değerleri literatürdeki diğer çalışmalardan sağlanmıştır (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Yavaşoğlu vd. 2011, Emre vd. 2013).

Blok model geometrisinin tasarlanması aşamasında veri dağılımı ve verinin kalitesi ile KAFZ’ın karakteristik yapısı, güneybatıya ve kuzeybatıya doğru uzanan splay fayları dikkate alınarak, fayı tanımlayan, karakteristik noktaları gösteren birbirleri arasındaki uzunlukları 40 km ile 100 km arasında değişen yüzey düğüm noktaları tanımlanmıştır.

Fay düzlemleri yaklaşık olarak düşey düzlem içinde olacak şekilde eğim açıları 89 derece olarak belirlenmiştir. Fay doğrultusuna yaklaşık olarak dik konumda, 30 km derinliğe kadar düşey düzlem oluşturularak fayların serbest kayma (krip hareket) veya kilitli olma durumları kestirilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan model üzerinde fay düzleminin 30 km altında kalan kısmında serbest kayma yaptığı varsayılmaktadır. Faylardaki toplam gerinim birikimi, mevcut fay düzleminin 2 x 2 km boyutlarda dörtgen parçalara bölünerek bu parçalar üzerindeki deformasyonun entegrasyonu ile belirlenmiştir.

Kuzey Anadolu Bölgesinin tektonik özellikleri dikkate alınarak deformasyonların olabileceği, temelde önemli diri fayların oluşturduğu bir model tasarlanmıştır. Bu

doğrultuda sadeleştirilmiş bir model oluşturmak için blok sınırlarına karşılık gelen ana faylar model geometrisine dâhil edilmiş (Merzifon-Esençay Fayı, Sungurlu Fayı, Ekinveren Fayı, Eldivan Fayı), küçük faylar model dışında tutulmuştur. Kinematik model oluşturulurken tasarlanan bloklar için bölgenin jeolojik yapısına uygun bir şekilde başlangıçta basit geometriler kullanarak, giderek daha karmaşık yapılar kazanan fay geometrilerinin test edilme prensibi benimsenmiştir. Bu doğrultuda ters çözüm işlemine başlanmadan önce fay ve blok geometrileri, bölgenin tektonik özellikleri dikkate alınarak basit modelden karmaşık modele doğru geliştirilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Blok model için tasarlanan en basit (2 blok, solda) ve en karmaşık (6 blok, sağda) fay geometrisi. Kırmızı çizgiler aktif fayları, siyah çizgiler blok sınırlarını ve mavi yazılar blok isimlerini göstermektedir.

En basit geometri Avrasya (AVRA) ve Anadolu (ANAD) blokları ile KAFZ'ın Anakolunun oluşturduğu 2 bloklu modeldir. Bölgede yer alan Sungurlu Fayı'nı dâhil ederek Avrasya (AVRA), Sungurlu (SUNG) ve Anadolu (ANAD) bloklarından oluşan 3 bloklu model, Merzifon-Esençay Fayı'nın da yer aldığı 4 bloklu model ve Ekinveren Fayı ile Eldivan Fayı'nın da dâhil edildiği en karmaşık model olan Avrasya (AVRA), Merzifon (MERZ), Sungurlu (SUNG), Ekinveren (EKVF), Eldivan (EEDF) ve Anadolu (ANAD) bloklarından oluşan 6 bloklu modeller tasarlanmış ve Bölüm 5.5.3'de detaylı olarak açıklanmıştır.

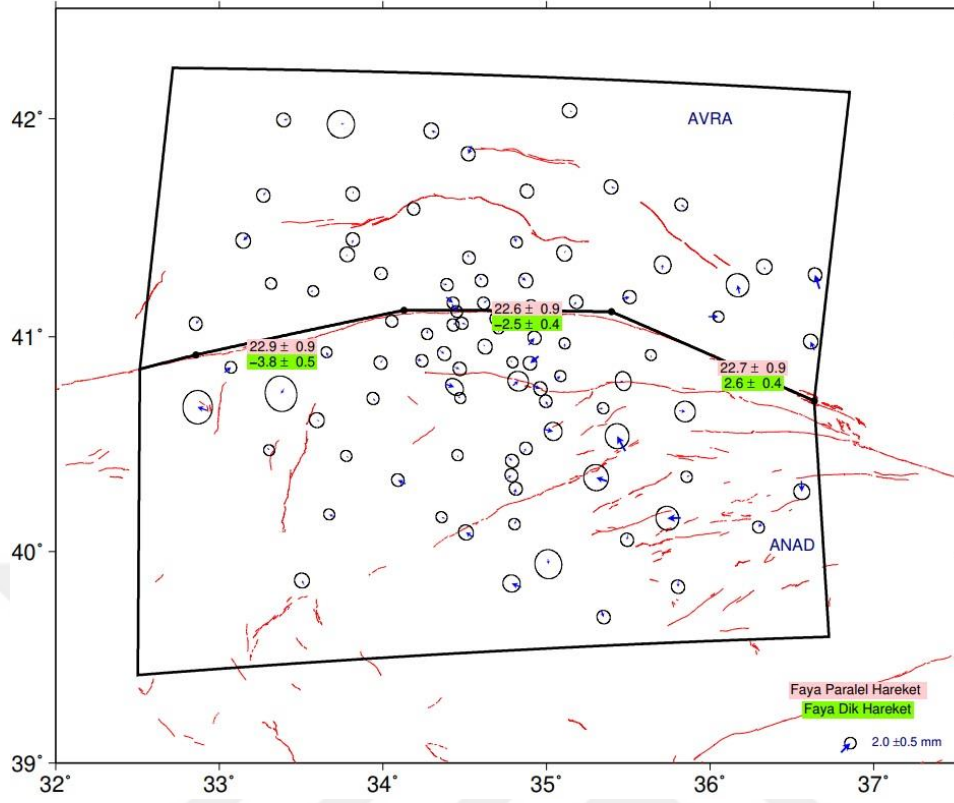
Çalışma kapsamında, bölgedeki farklı faylar kullanılarak blok modeller oluşturulmuş ve her bir blok model için yazılıma ayrı ayrı girdi dosyaları hazırlanmıştır. Bu girdi dosyalarında, her blok için tanımlanan sınırlar, fay geometrileri, kayma oranları ve diğer jeodezik parametreler detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Daha sonra, oluşturulan farklı

blok modeller istatistiksel testlere tabi tutulmuş ve model sonuçlarının güvenilirliği değerlendirilmiştir. Model sonuçlarının belirsizlik değerleri hesaplanarak elde edilen veriler, literatürdeki önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Son aşamada, istatistiksel testlerin sonuçları ve literatürle olan uyumu dikkate alınarak en uygun blok model geometrisine karar verilmiştir.

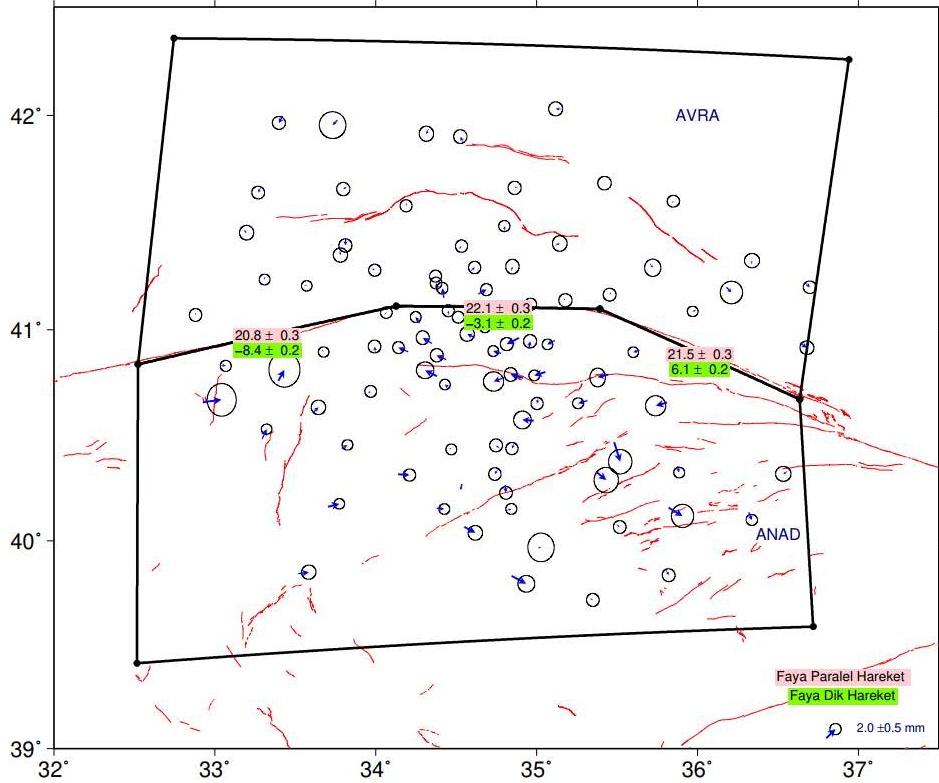
5.5.3 Blok Model Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında, Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kesiminde yer alan aktif fayların tektonik özelliklerini belirlemek amacıyla oluşturulan GNSS ağına ait ölçümler değerlendirilmiştir. Elde edilen hız alanı, literatürde yayımlanan hız alanlarıyla kıyaslandığında daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu yüksek çözünürlük sayesinde yalnızca KAFZ ana kolunun değil, aynı zamanda bölgedeki yan fayların da (Merzifon-Esençay Fayı, Sungurlu Fayı, Ekinveren Fayı, Eldivan Fayı) kayma hızları detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Böylece, bölgedeki tektonik deformasyonun daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak sağlanmıştır. Blok model çalışmalarına, KAFZ anakolu tarafından sınırlandırılan iki bloklu bir model ile başlanmıştır (Şekil 5.15). Bu modelde, fay sınırları ve blokların geometrisi belirlenerek analiz süreci başlatılmıştır. İlk aşamada, her iki yazılımda da GNSS noktalarından elde edilen gözlemsel veriler ile modelden hesaplanan hızlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, modelin gözlemlerden sapma miktarını gösteren artık (residual) hızlar hesaplanmış ve bu hızların mekânsal dağılımı değerlendirilerek modelin doğruluğu yorumlanmıştır.

Yapılan değerlendirme sonucunda 3 noktanın artık hız değerlerinin 5 mm'den yüksek ve belirsizliklerinin ise 2 mm'den yüksek çıktığı görülmüş, 1 noktanın ise belirsizlik değerleri hız değerlerinden yüksek çıktığından dolayı anlamsız olarak değerlendirilmiş ve bu noktalar (AKD1, SGTY, CAL1, INE3) blok model değerlendirmelerinden çıkarılmıştır (Şekil 5.15-5.16). Bu doğrultuda yenilenen değerlendirmenin istatistiksel sonuçlarında önemli ölçüde iyileşmeler görülmüş, özellikle indirgenmiş *Chikare* (X_n^2) değerinin 3.05'den 2.63'e düştüğü dikkat çekmektedir. İki bloklu modelde KAFZ'in anakolu AVRA (Avrasya) ve ANAD (Anadolu) olarak iki bloğa ayırmıştır. Her bir blok fay hattı ile birbirine sınır oluşturmaktadır. Tanımlanan fayın batı ucu kapalı alan oluşturmak için uzatılmış fakat hesaplamalara katılmamıştır.



Şekil 5.15 İki bloklı model (OKA2) TDEFNODE çözümü (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).



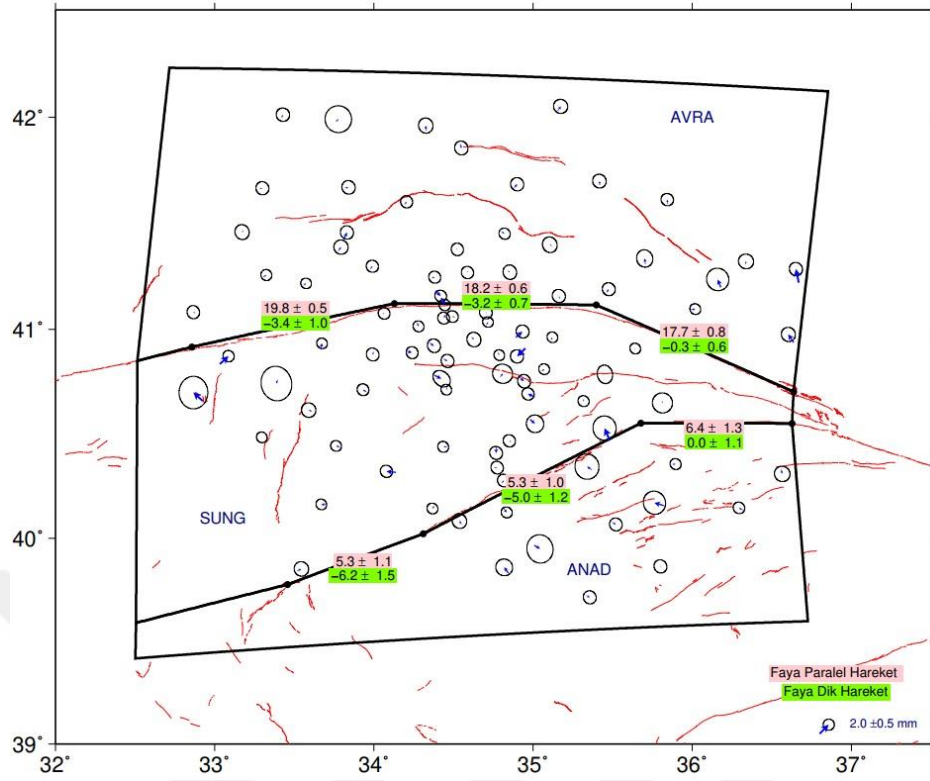
Şekil 5.16 İki bloklı model (OKA2) GeodSuit çözümü (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).

İki bloklu modelde, AVRA bloğu sabit kabul edilerek Bölüm 5.3.2’de açıklanan strateji doğrultusunda blok model çözümü gerçekleştirilmiştir. Modelin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, GNSS hızları ile modelden hesaplanan hızlar karşılaştırılmış ve elde edilen artık (residual) hızlar analiz edilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, artık hızların büyük çoğunluğunun 1 mm/yıl’ın altında kaldığı tespit edilmiş, bu da modelin gözlemsel verilerle yüksek uyumluluk gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 5.15-16).

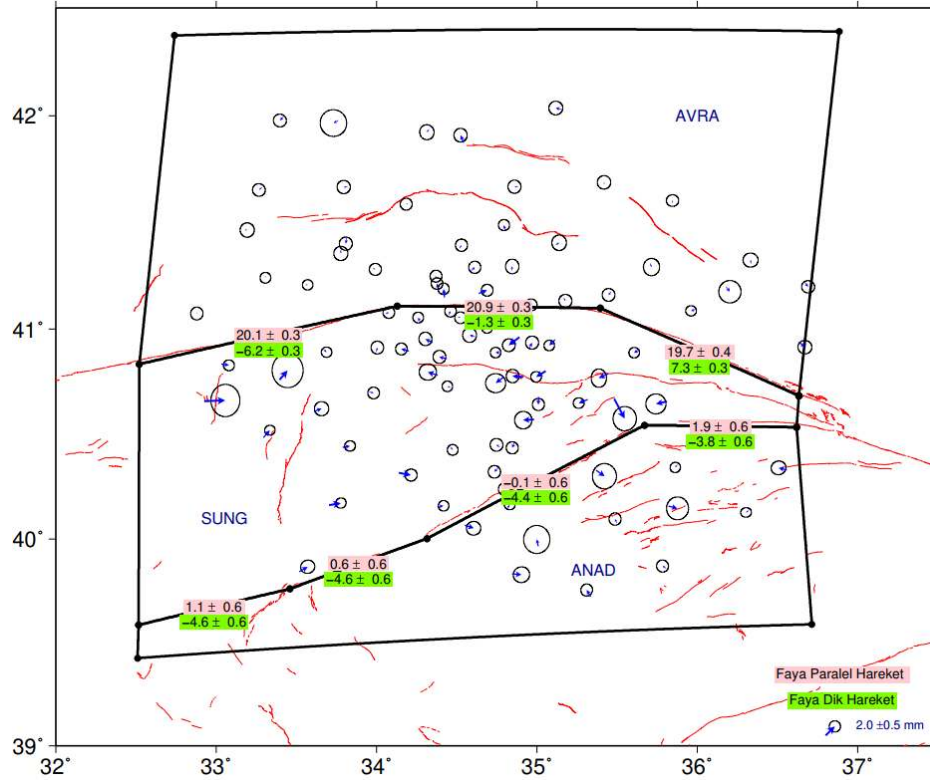
TDEFNODE çözümlerinde, Şekil 5.15’te gösterilen faya paralel hızlar incelendiğinde, fay boyunca baskın olarak sağ yönlü bir yanal hareketin olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı içinde kalan fayın doğusundan batıya doğru sırasıyla 22.7, 22.6 ve 22.9 ± 0.9 mm/yıl hız değerleri hesaplanmıştır. Faya dik hareketler değerlendirildiğinde ise fayın doğusundaki segmentte 2.6 ± 0.4 mm/yıl büyüklüğünde açılma (genişleme) hareketi gözlemlenirken, orta ve batı segmentlerinde sırasıyla 2.5 ve 3.8 ± 0.4 mm/yıl oranında sıkışma hareketi tespit edilmiştir. Bu bulgular, bölgedeki tektonik rejimin fay boyunca değişken deformasyon süreçlerine sahip olduğunu göstermektedir.

GeodSuit çözümlerinde Şekil 5.16’da verilen faya paralel hızlar incelendiğinde fayın genelinde sağ yönlü doğudan batıya doğru sırayla 21.5, 22.1 ve 20.8 ± 0.3 mm/yıl bir yanal hareket görülmektedir. Faya dik hareketler incelendiğinde ise TDEFNODE yazılımından daha yüksek hızlar elde edilmiştir. KAFZ doğusundaki segmentte 6.1 ± 0.2 mm/yıllık açılma (genişleme) hareketi, orta ve batı segmentinde sırasıyla 3.1 ve 8.4 ± 0.2 mm/yıllık bir sıkışma hareketi görülmektedir. TDEFNODE ve GeodSuit yazılımları blok çözümleri için χ_n^2 değeri sırasıyla 2.6293 ve 3.1827 olarak elde edilmiştir.

KAFZ anakolu ile Sungurlu Fayı’nın sınırlandırdığı, KAFZ anakolu ile Sungurlu fayları kullanılarak oluşturulan üç bloklu modelde (AVRA, SUNG, ANAD) 2 bloklu model çözümünde olduğu gibi AVRA bloğu sabit kabul edilerek aynı stratejiye göre blok model çözümleri yine iki yazılımla yapılmıştır (Şekil 5.17-5.18). Bu modelde KAFZ anakolunun ayırdığı bloklar AVRA ve SUNG, Sungurlu Fayı’nın ayırdığı bloklar SUNG ve ANAD olarak isimlendirilmiştir. Tasarlanan üç bloklu model kapsamında gerçekleştirilen analizlerde, blok çözümlerine yönelik olarak TDEFNODE ve GeodSuit yazılımlarından elde edilen χ_n^2 değerleri sırasıyla 2.3671 ve 2.6333 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.17 Üç bloklu model (OKA3) TDEFNODE çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).



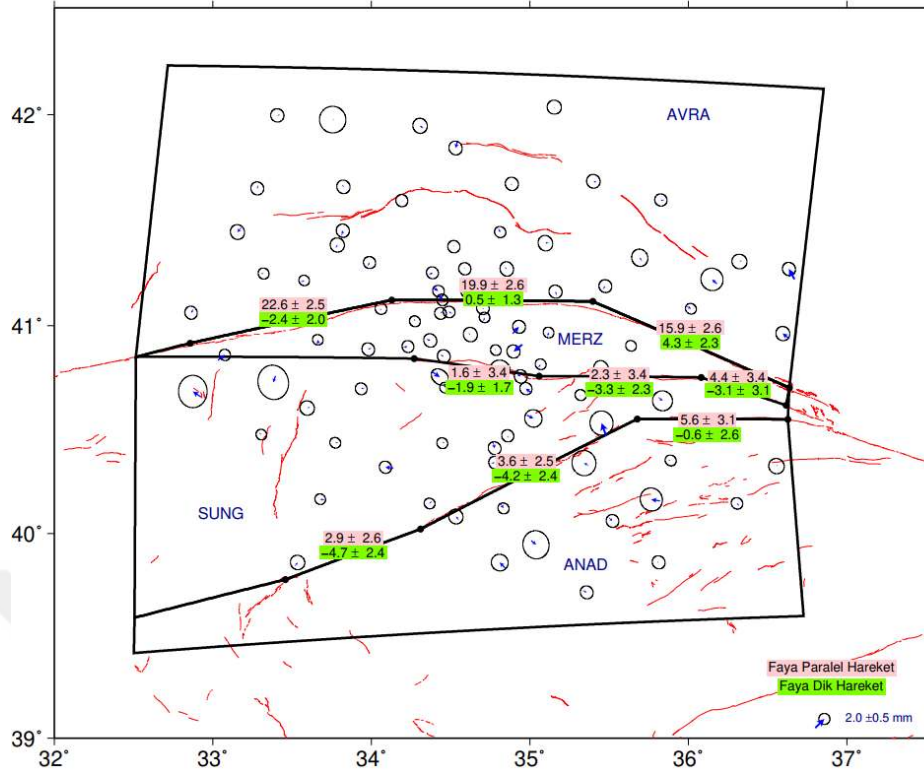
Şekil 5.18 Üç bloklu model (OKA3) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).

Şekil 5.17’de verilen 3 bloklu TDEFNODE model sonuçlarındaki faya paralel hızlar incelendiğinde KAFZ anakolu ile Sungurlu faylarında sağ yönlü hareket görülmektedir. Bu hareket KAFZ anakolunun doğusundaki segmentte 17.7 ± 0.8 mm/yıl, orta segmentte 18.2 ± 0.6 mm/yıl iken batısındaki segmentte ise 19.8 ± 0.5 mm/yıl’dır. Sungurlu Fayı üzerindeki segmentlerde bu hareketin doğudan batıya doğru sırasıyla 6.4 ± 1.3 mm/yıl ve 5.3 ± 1.1 mm/yıl olduğu görülmektedir. KAFZ anakolundaki faya dik hareketler incelendiğinde ise doğu, orta ve batı segmentlerinde sırasıyla 0.3 ± 0.6 mm/yıllık, 3.2 ± 0.7 mm/yıllık ve 3.4 ± 1.0 mm/yıllık bir sıkışma hareketi görülmektedir. Sungurlu Fayı’nın orta ve batı segmentlerinde ise sırasıyla 5.0 ± 1.2 mm/yıllık ve 6.2 ± 1.5 mm/yıllık bir sıkışma hareketinin olduğu görülmektedir.

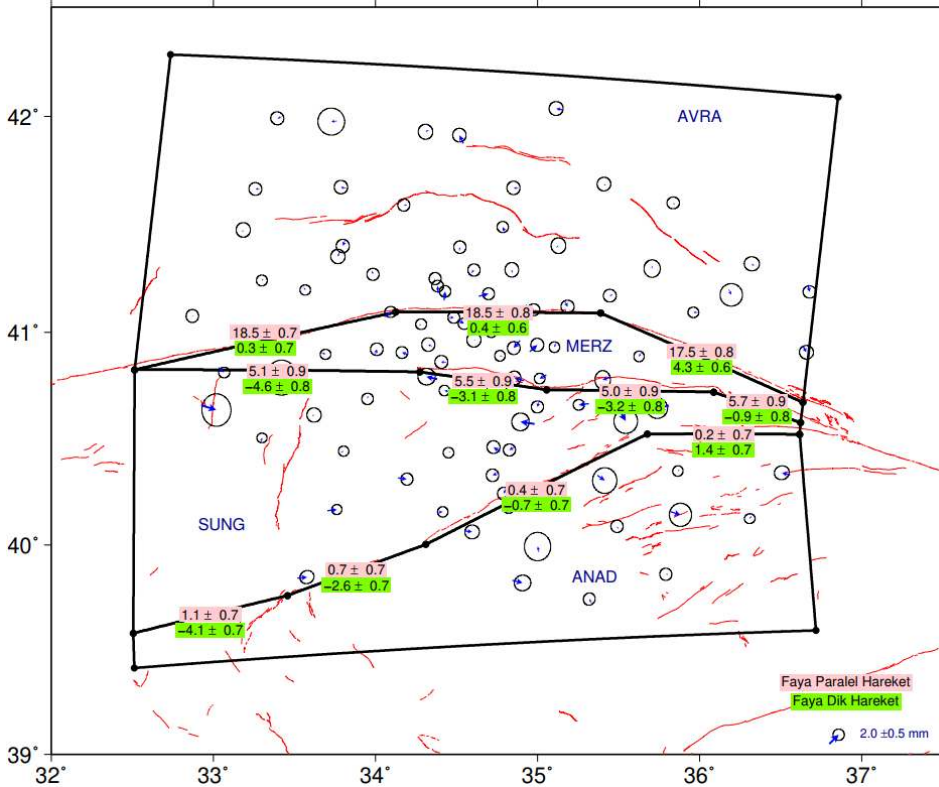
Şekil 5.18’de verilen ve 3 bloktan oluşan modelin GeodSuit ile çözümüne ait sonuçlar incelendiğinde, KAFZ’ın ana kolundaki faya paralel hızların sırasıyla 19.7, 20.9, 20.1 ± 0.3 mm/yıl olduğu (sağ yanal) ve TDEFNODE’dan elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Sungurlu Fayı üzerinde, faya paralel hızlar incelendiğinde, yalnızca en doğudaki segmentte hesaplanan 1.9 ± 0.6 mm/yıl hızı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Diğer segmentler için hesaplanan hızlar ise belirsizlik değerlerinden küçük olması nedeniyle (-0.1 ± 0.6 mm/yıl) istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmemiştir.

KAFZ anakolundaki faya dik hareketler incelendiğinde ise doğu bölümde 7.3 ± 0.3 mm/yıl açılma hareketi görülmektedir. KAFZ orta segmentinde 1.3 ± 0.3 mm/yıl, batı segmentinde ise 6.2 ± 0.3 mm/yıllık bir sıkışma hesaplanmıştır. Sungurlu Fayı’nın tüm segmentlerinde faya dik yönde $3.8-4.4 \pm 0.6$ mm/yıllık bir sıkışma hareketi gözlemlenmiştir.

Yeni blok modeli olarak Merzifon-Esençay Fayı’nı da içeren dört bloklu model üretilmiştir. Bu modelin geometrisi, KAFZ Anakolu ile Sungurlu ve Merzifon-Esençay Faylarının sınırlandığı, AVRA, MERZ, SUNG ve ANAD bloklarından oluşmaktadır. Tasarlanan bu modelde KAFZ anakolunun ayırdığı bloklar AVRA ve MERZ, Merzifon-Esençay Fayı’nın ayırdığı bloklar MERZ ve SUNG, Sungurlu Fayı’nın ayırdığı bloklar SUNG ve ANAD olarak isimlendirilmiştir. Bu modelde aynı stratejiye göre AVRA bloğu referans alınarak blok model çözümü yapılmıştır (Şekil 5.19-20).



Şekil 5.19 Dört bloklu model (OKA4) TDEFNODE çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).



Şekil 5.20 Dört bloklu model (OKA4) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).

Şekil 5.19’da verilen 4 bloklu TDEFNODE model sonuçlarına göre, faya paralel hızlar incelendiğinde KAFZ anakolu, Merzifon-Esençay ve Sungurlu faylarında sağ yönlü hareket gözlemlenmiştir. Tüm hızların belirsizlikleri diğer ikili ve üçlü blok TDEFNODE çözümlerine göre 1.5 ile 2 mm daha yüksektir. Faya paralel hızlar, KAFZ anakolu üzerinde doğudan batıya doğru $15.9-22.6 \pm 2.6$ mm/yıl arttığı görülmektedir. Diğer yandan Merzifon-Esençay fayı üzerindeki segmentlerde hesaplanan faya paralel ve dik hızların, hesaplanan belirsizlik değerlerinden küçük olması nedeniyle fayın hareketlerini istatistiksel olarak anlamsız kılmaktadır. Sungurlu Fayı üzerindeki faya paralel hızlar doğuda batıya doğru 5.6 ± 3.1 , 3.6 ± 2.5 ve 2.9 ± 2.6 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Dört bloklu modelde, KAFZ anakolundaki faya dik hareketler incelendiğinde, doğu segmentinde 4.3 ± 2.3 mm/yıl açılma gözlemlenmiş, orta ve batı segmentlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı hızlar tespit edilememiştir. Sungurlu Fayı’nın orta ve batı segmentlerinde ise sırasıyla 4.2 ± 2.4 mm/yıllık ve 4.7 ± 2.4 mm/yıllık bir sıkışma hareketinin olduğu görülmektedir.

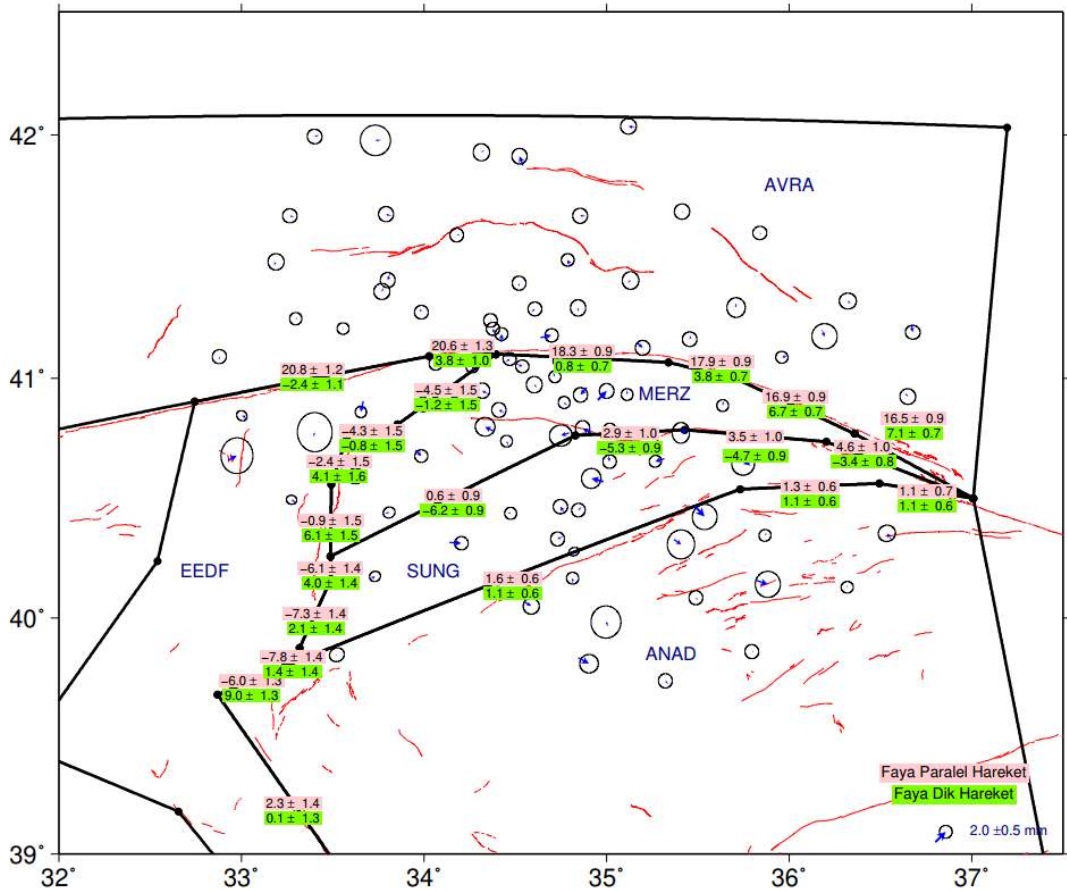
Şekil 5.20’de verilen 4 bloklu GeodSuit model sonuçlarına göre, KAFZ ana kolundaki faya paralel hızlar incelendiğinde sırasıyla 17.5, 18.5 ve 18.5 ± 0.8 mm/yıllık sağ yönlü hareket elde edilmiştir. Merzifon-Esençay Fayı’nda yaklaşık 5 ± 0.8 mm/yıl sağ yönlü hareket görülmesine rağmen Sungurlu Fayı üzerindeki faya paralel hızlarda anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. KAFZ anakolundaki faya dik hareketler incelendiğinde ise sadece doğu segmentinde anlamlı olarak 4.3 ± 0.6 mm/yıl açılma hareketi görülmektedir. Merzifon-Esençay Fayı için doğudan batıya doğru sırasıyla 3.2, 3.1 ve 4.6 ± 0.8 mm/yıllık anlamlı sıkışma değerleri hesaplanmıştır.

TDEFNODE yazılımı ile özellikle küçük bloklarda hesaplanan faya dik ve paralel hareketlerin belirsizliklerinin çok büyük çıkması programın küçük bloklar üzerinde uygulanabilirliğini azaltmaktadır.

Bölgenin karmaşık tektonik yapısına uygun olarak, daha önceki literatürde sunulan blok modeller, tez çalışması kapsamında elde edilen hız alanları ile test edilmiştir. Yukarıdaki çözümlerde de görüldüğü üzere TDEFNODE yazılımı kullanılarak yapılan özellikle küçük bloklardaki denemelerde çözüm belirsizlikleri yüksek hesaplanmıştır.

TDEFNODE ile bir bloğu tanımlamak için blok içinde mümkün olduğunca homojen dağılmış GNSS ölçme noktaları olması gerekmektedir. Ayrıca fayın kilitli olduğu derinliği de kontrol edebilmek amacı ile blok sınırları civarında, olası kilitlenme derinliğinin en az 2 katı mesafede gözlem noktaları olmalıdır. Aksi takdirde, bloğa ilişkin kestirilen parametrelerin belirsizlik değerleri artacak ve gerçekçi çözümler elde edilemeyecektir (Çakmak 2010). Küçük bloklarda kilitlenme derinliğinin en az 2 katı mesafede gözlem noktası olsa da bu noktaların farklı blok sınırları içinde kalması çözüm belirsizliklerini arttırdığı görülmekte olup bu nedenle mikro blokların olduğu model çözümleri için sadece GeodSuit program çözümleri sunulmuştur.

Öncelikle Esad vd. (2021)'de sunulan blok modeli test edilmiştir. Bölgede daha önce tanımlanan AVRA, MERZ, SUNG ve ANAD bloklarının yanısıra batıda Eldivan-Elmadağ Fayları ile kuzey güney uzantılı EEDF (Eldivan-Elmadağ Fayı) bloğu oluşturulmuştur.

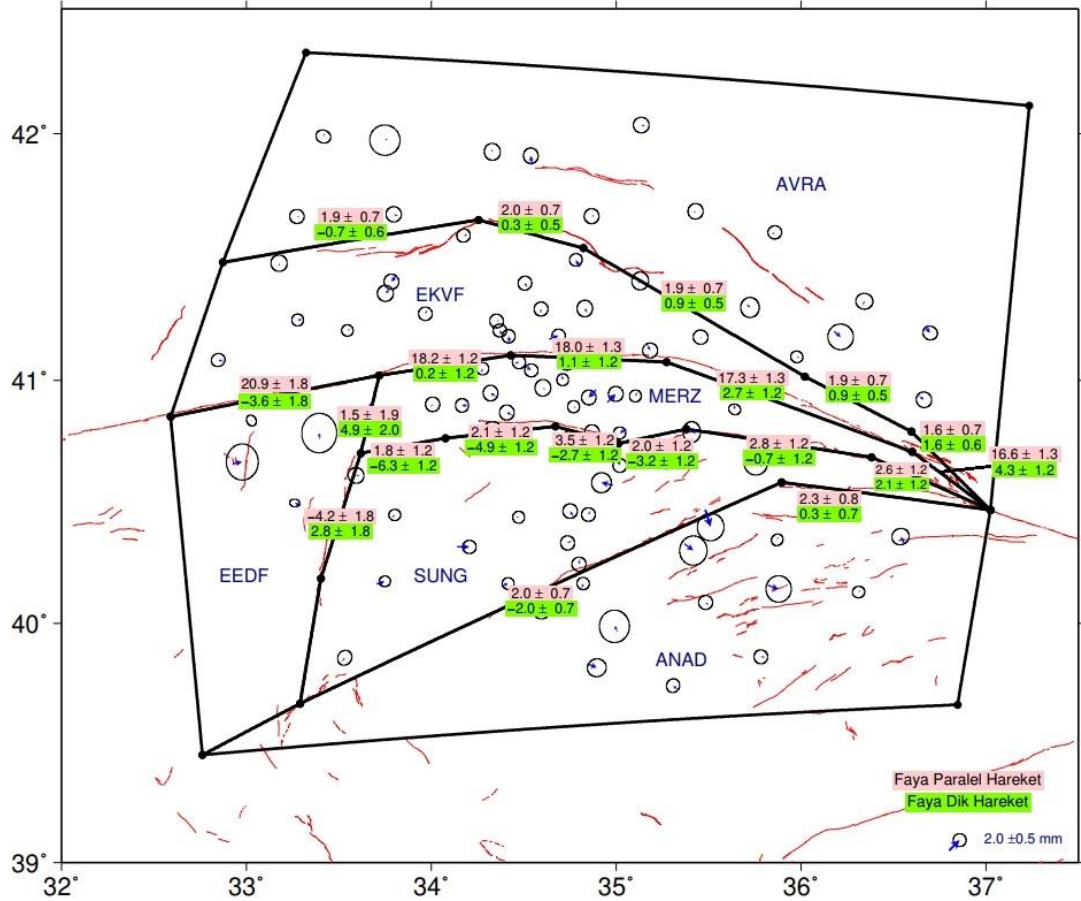


Şekil 5.21 Beş bloklu model (OKA5) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).

Şekil 5.21’de Esat vd. (2021) modeli ile için hesaplanan hızlar Esat vd. (2021) tarafından hesaplanan hızlardan farklılık göstermektedir. Ayrıca bu farklılık belirsizlik değerlerinde de gözlemlenmektedir. MERZ bloğunun kuzey kolu (KAFZ) üzerinde, faya paralel hızlar doğudan batıya artış göstererek 16.5 ± 0.9 mm/yıl ile 20.8 ± 0.9 mm/yıl arasında sağ yanal hareket olarak görülmektedir. Doğudan batıya KAFZ üzerinde açılma rejimi baskın olup 7.1 ± 0.7 mm/yıl ile 3.8 ± 1.0 mm/yıl arasında kayma hızları elde edilmiştir. EEDF bloğunun batı sınırında ise sıkışma rejimi gösteren 2.4 ± 1.1 mm/yıl değerler elde edilmiştir. Bu fay kayma hızları Esat vd. (2021)’de verilen hızlar ile uyum içerisinde olup fay kayma hızlarının belirsizlik değerlerinde 3 kata kadar iyileşmeler görülmektedir. Bu durumun tez çalışmasında kullanılan hız alanının çözünürlüğü ve hız belirsizliklerinin daha düşük olması ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Merzifon-Esençay Fayı ile tanımlanan MERZ bloğunun güney kolunda (SUNG bloğunun kuzey kolu) faya paralel olarak 4.6 ± 1.0 mm/yıl ile 2.9 ± 1.0 mm/yıl arasında sağ yanal hareket gözlemlenmiştir. En doğuda yer alan segmentte hesaplanan kayma hızı (0.6 ± 0.9 mm/yıl) ise anlamsızdır. Yine doğudan batıya doğru faya dik hızlarda ise 3.4 ± 1.0 - 6.2 ± 0.9 mm/yıl arasında değişen sıkışma değerleri elde edilmiştir. Bu fay kayma hızları, Esat vd. (2021) çalışmasında bloğun doğu segmentlerinde yalnızca 11.0 ± 6.0 mm/yıl ile 7.5 ± 4.8 mm/yıl gibi yüksek belirsizliklere sahip, diğer segmentlerde ise istatistiksel olarak anlamsız olarak hesaplanmıştır. Sungurlu Fayı ile sınırlandırılan SUNG bloğunun çizilen tüm segmentlerde 1.1 ± 0.6 - 1.6 ± 0.6 mm/yıl sağ yanal hareket ile 1.1 ± 0.6 mm/yıl açılma değerleri görülmektedir. Esat vd. (2021)’de bu değerler tamamen uyumsuz olup bu uyumsuzluğun Esat vd. (2021)’deki nokta yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Batıda Eldivan-Elmadağ Fayları ile kuzey güney uzantılı EEDF bloğunun kayma hızları incelendiğinde EEDF bloğunun fazla kırıklı olması ve kırıkları temsil eden GNSS nokta yoğunluğunun düşük olması nedeniyle Esat vd. (2021) çalışmasına göre farklı değerler hesaplanmıştır.

Esat vd. (2021) blok modeli, bu çalışmada kullanılan hız alanı nokta dağılımı, blok modeldeki artık hızlar, bölgenin jeolojik yapısı ve çizgisellikler göz önüne alınarak, Türkiye'deki aktif tektonik ve deprem araştırmalarıyla tanınan, deprem konusunda çok sayıda bilimsel çalışma gerçekleştiren Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR ile yapılan görüşmeler sonucunda geliştirilmiş ve yeni bir blok tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda KAFZ’ın

kuzeyinde kalan 10-15 km'lik zonda artık hızların yüksek olması nedeniyle Ekinveren Fayı takip edilerek EKVf isimli yeni bir blok tanımlanmıştır. Bununla birlikte MERZ bloğunun batı kısmı Emre vd. (2013)'de belirtilen faylar ve Eldivan-Elmadağ fayı ile D-B doğrultusunda birleştirilmiştir. Diğer bloklardaki kırıklı faylar sadeleştirilmiştir.



Şekil 5.22 Altı bloklu model (OKA6) GeodSuit çözümü. (Mavi oklar artık hızları temsil etmektedir).

Altı bloklu bu modelde, EKVf bloğunun kuzey sınırını oluşturan Ekinveren Fayı genelinde faya paralel hızlarda yaklaşık 2.0 ± 0.7 mm/yıl sağ yanal hareket görülmektedir. Fayın doğu tarafında faya dik hızlarda 1.6 ± 0.7 mm/yıl istatistiksel olarak anlamlı açılma hareketi batıya doğru azalarak devam etmektedir. KAFZ anakolu üzerinde, doğudan batıya doğru hızlanan ve 16.6 ile 20.9 ± 1.2 mm/yıl arasında değişen sağ yanal hareket gözlemlenmiştir. Bu fay üzerinde faya dik hızlarda sadece doğu segmentlerinde 4.3 ve 2.7 ± 1.2 mm/yıl açılma hareketleri görülmektedir. KAFZ ana kolun EEDF bloğunun sonrasında ise 3.6 ± 1.8 mm/yıl sıkışma rejimi dikkat çekmektedir.

MERZ bloğunun güney sınırını oluşturan Merzifon-Esençay Fayı'nda, faya paralel hızların yaklaşık $2-3 \pm 1.3$ mm/yıl civarında olduğu belirlenmiştir. Faya dik hızlar incelendiğinde, Esençay segmentinde 2.1 ± 1.2 mm/yıl'lık bir açılma hareketi gözlenirken, fay boyunca doğudan batıya doğru sırasıyla Suluova, Diphacı, Laçın ve İskilip segmentlerinde (3.2 ± 1.2 , 2.7 ± 1.2 , 4.9 ± 1.2 , 6.3 ± 1.2 mm/yıl) sıkışmanın giderek arttığı tespit edilmiştir.

SUNG bloğunun güney sınırını oluşturan ve Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun (KAFZ) güneyinde yer alan splay faylardan biri olan Sungurlu Fayı'nda, faya paralel hareketin yaklaşık 2 ± 0.7 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Faya dik hızlar incelendiğinde ise 2.0 ± 0.7 mm/yıl civarında bir sıkışma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir.

EEDF bloğunun batı sınırını oluşturan kuzey-güney doğrultulu Eldivan (Korgun) Fayı'nda, faya paralel hızın yaklaşık 4.2 ± 1.8 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Faya dik hareketler incelendiğinde ise 2.8 ± 1.8 mm/yıl civarında bir açılma rejiminin baskın olduğu tespit edilmiştir.

Esat vd. (2021) tarafından yapılan blok modelleme çalışmasında genel olarak benzer sonuçlar gözlemlenmiş olup özellikle KAFZ'ın batı segmentlerinde sıkışma bileşenleri hesaplanmıştır. Esat vd. (2021) tarafından yapılan blok modelleme çalışmasında genel olarak benzer sonuçlar gözlemlenmiş olup özellikle KAFZ'ın batı segmentlerinde sıkışma bileşenleri hesaplanmıştır.

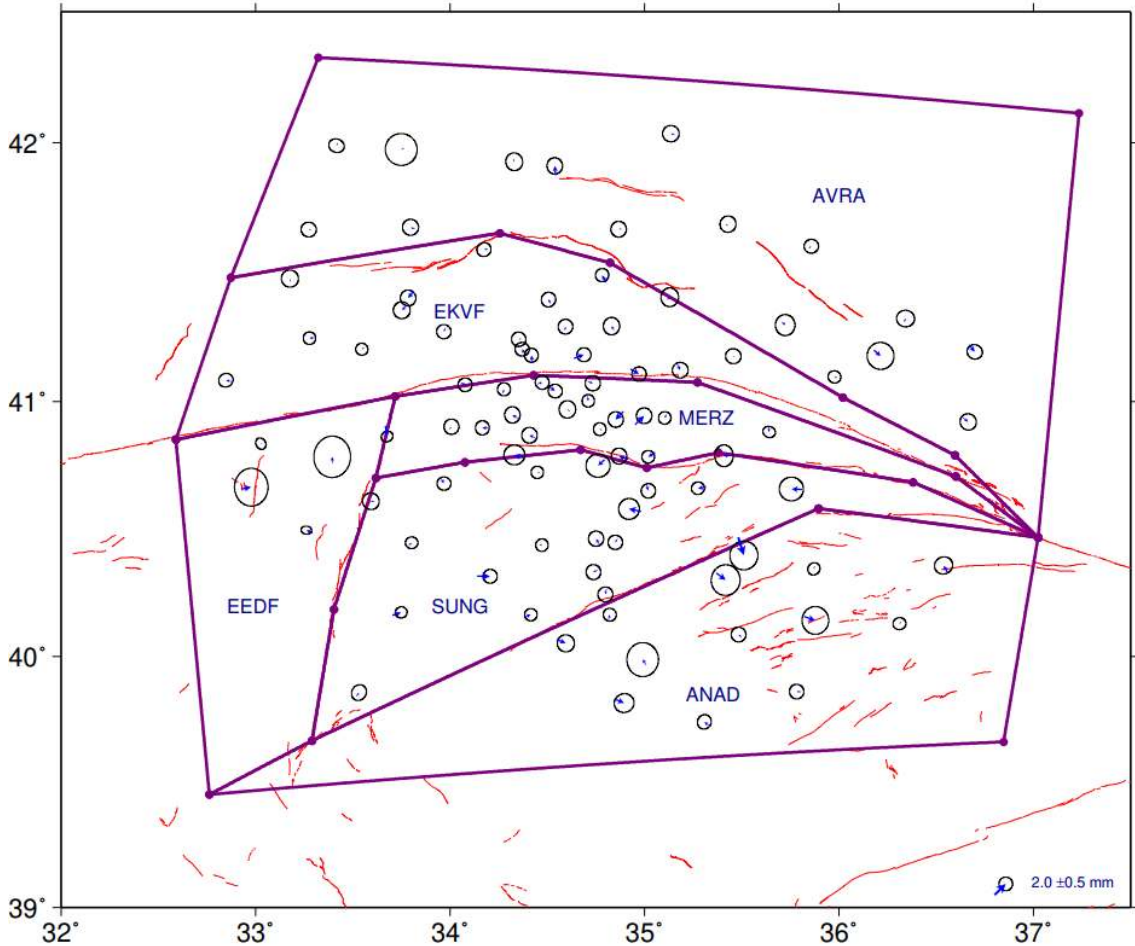
Çizelge 5.6 TDEFNODE ve GeodSuit yazılımları ile değerlendirilen blok geometrilerine ait istatistiksel sonuçlar.

Model No	Blok Sayısı	Veri Sayısı	TDEFNODE İndirgenmiş Chikare (X_n^2)	GeodSuit İndirgenmiş Chikare (X_n^2)
OKA2	2	194	2.6293	2.7151
OKA3	3	194	2.3671	2.6333
OKA4	4	194	2.2854	4.2112
OKA5	5	194	-----	3.6101
OKA6	6	194	-----	2.7185

Çizelge 5.6’da verilen istatistiksel sonuçlar (indirgenmiş X_n^2 değerleri) karşılaştırıldığında, model ve gerçek verinin en iyi uyum sağladığı modelin TDEFNODE yazılımında OKA4 olarak adlandırılan dört bloklu model olduğu görülmektedir. Ancak, bu modelin kinematik parametrelerine ait belirsizlik değerlerinin diğer modellere kıyasla oldukça yüksek olması, sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır (Şekil 5.19).

Çizelge 5.7 Blok rotasyon değerleri

Blok No	OmX (nanorad/yr)	OmY (nanorad/yr)	OmZ (nanorad/yr)	StdOmX ((nanorad/yr)	StdOmY (nanorad/yr)	StdOmZ (nanorad/yr)
AVRA	5.93	3.9	6.4	1.35	9.56	1.47
EKVF	5.05	3.24	5.01	3.11	2.07	3.28
MERZ	1.35	8.48	9.53	2.75	1.87	2.84
SUNG	3.05	2.1	2.83	5.48	3.81	5.79
ANAD	9.55	5.6	4.9	2.62	1.89	2.72
EEDF	-1.3	-8.7	-1.9	8.57	5.59	8.76



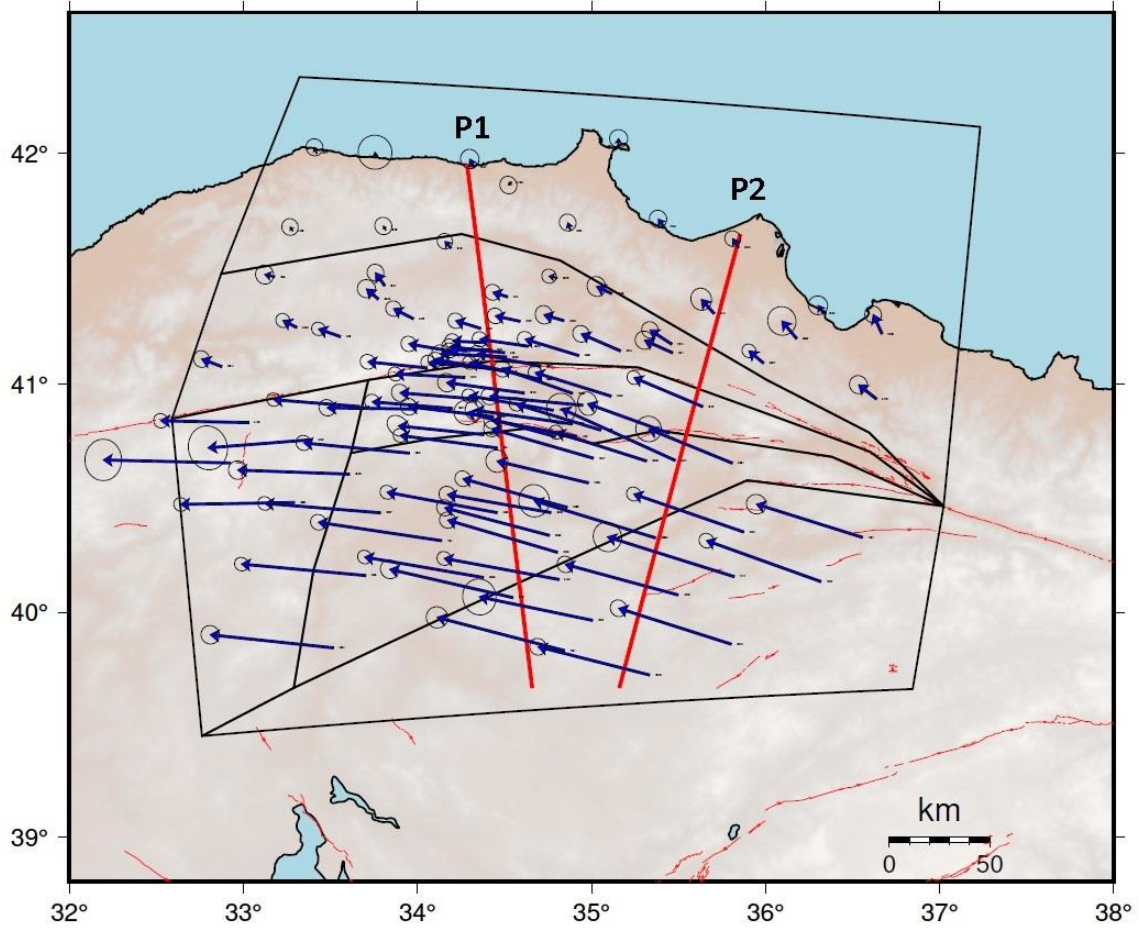
Şekil 5.23 Nihai blok modele ait artık (residual) hızlar. (Mor çizgiler blok sınırları, Mavi yazılar blok isimleri, Kırmızı çizgiler aktif fayları, Mavi oklar ve siyah daireler sırasıyla artık hızları ve belirsizliklerini göstermektedir.)

Elde edilen istatistiksel ve kinematik parametrelerin sonuçları değerlendirildiğinde, KAFZ orta kesimi için en uyumlu modelin OKA6 ile isimlendirilen ve KAFZ anakolunun kenarında pozitif çiçek yapısı olacak şekilde kuzeyde AVRA, EKVF, güneyde MERZ, SUNG, ANAD ve doğuda ise EEDF bloklarının bulunduğu 6 bloklu model olduğu sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen hızlar incelendiğinde, çalışma kapsamında tasarlanan blok modelin bölgenin tektonik hareketleriyle uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. GNSS hızları ile model hızları karşılaştırıldığında, literatürde yayımlanan bölgesel tektonik hareketlerle genel olarak örtüştüğü görülmektedir. Vektörlerin ağırlıklı olarak batıya yönelmesi, fay boyunca sağ yanal doğrultu atımlı hareketin varlığını desteklemekte ve Anadolu Plakasının batıya doğru hareketiyle uyum göstermektedir.

Artık hız vektörleri genel olarak bölgede meydana gelen deformasyonları ve tektonik hareketlerin farklarını temsil etmede önemli rol oynamaktadır. Nihai modelde, model ve gözlem hızları arasındaki farklar incelendiğinde herhangi bir sistematik hata gözlemlenmemiştir (Şekil 5.23). Buna göre Şekil 5.23 incelendiğinde tasarlanan blok modelde artık hızların 2.5 mm/yıl'dan küçük olduğu ve büyük çoğunluğunun ise 1 mm/yıl'dan küçük olduğu görülmektedir. Söz konusu sonuçlar model önerisinin uyumunu göstermektedir.

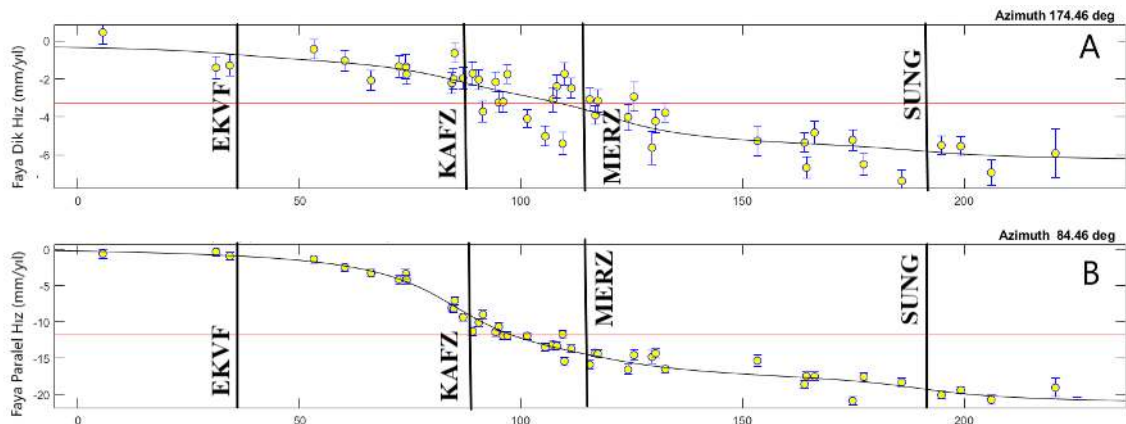
Gerinim birikimini modellemek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, fayları dik kesen ve üzerinde GNSS istasyonları bulunan profiller oluşturmaktır. Bu yöntemle, fayların yakınındaki ve daha uzak bölgelerdeki deformasyonlar incelenebilir ve analiz edilebilmektedir. Bu sebeple tasarlanan profiller boyunca Bölüm 5.2'de verilen stratejiye göre belirlenen GNSS gözlem istasyonları, çalışma bölgesi kapsamındaki fayların kinematik özelliklerinin belirlenmesine mümkün kılacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 5.24).

Şekil 5.24'de görüldüğü gibi model üzerinde 2 adet profil tanımlanmıştır. Tanımlanan profiller (yaklaşık 250 km uzunluk, 20 km genişlik) faylara göre belirlenmiştir.



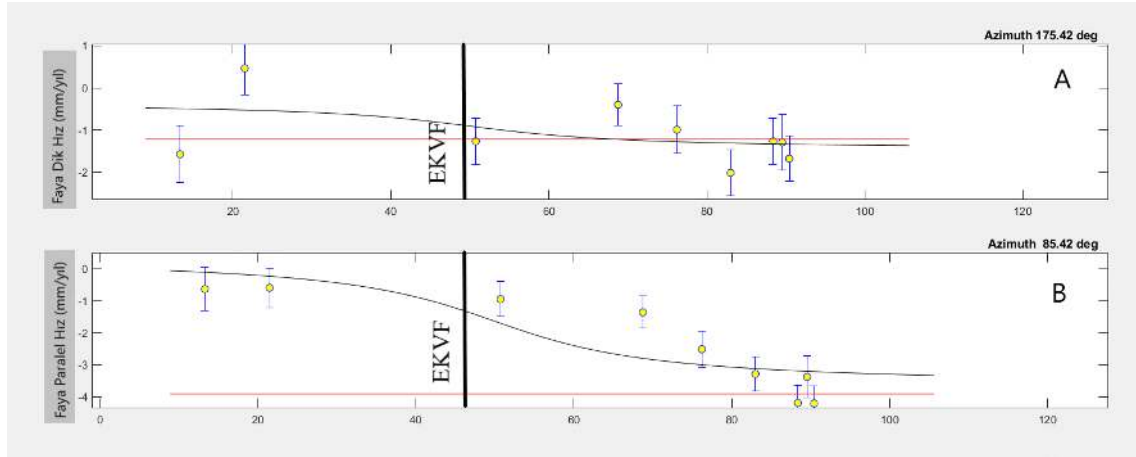
Şekil 5.24 P1 ve P2 Profilleri.

Şekil 5.24’de verilen P1 ile gösterilen 1 numaralı profil, 6 blok olarak tanımlanan bölgede yer alan Ekinveren Fayı, KAFZ anakolu, Merzifon-Esençay Fayı ile Sungurlu Fayı’nı kesecek şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 5.25 P1 Profili (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.).

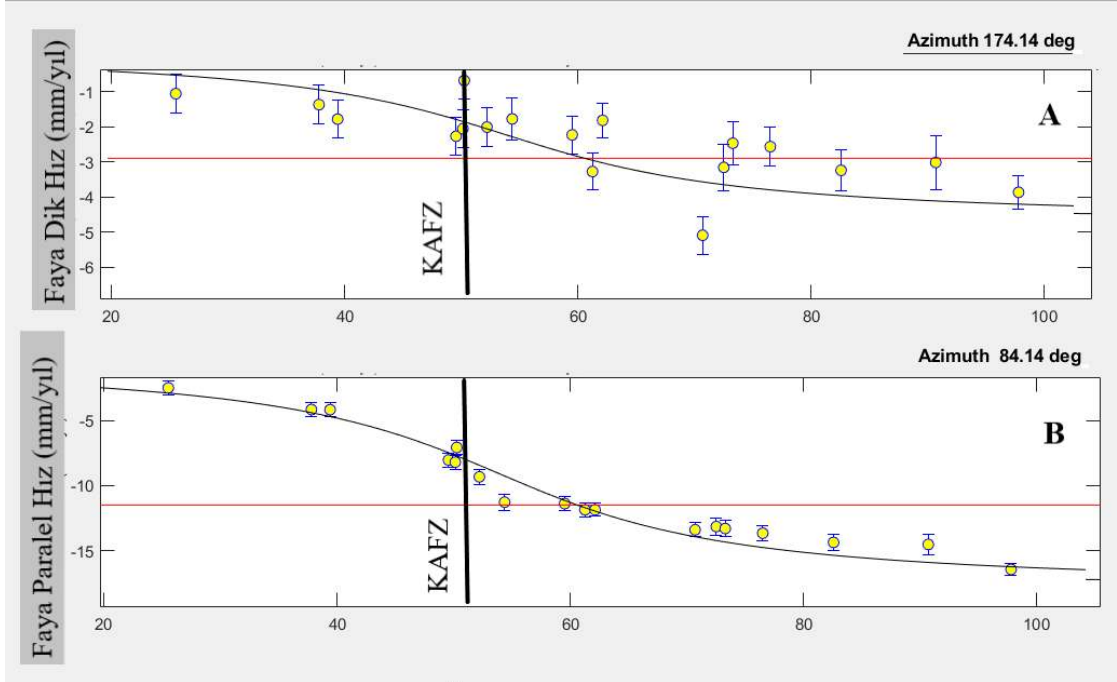
Şekil 5.25’de verilen B grafiğindeki faya paralel hızlar incelendiğinde, KAFZ’ın literatürde de verilen 20-22 mm/yıl sağ yönlü hareket gözlemlenmektedir. Ancak, profil boyunca dört farklı fay sistemini kesen profilde her bir fay için ayrı ayrı kayma hızları görülmektedir. Bu hızları daha net görebilmek için Profil-1 üzerinde bulunan her fay için ayrı ayrı kesitler yeniden tanımlanmış ve yorumlanmıştır (Şekil 5.26-29).



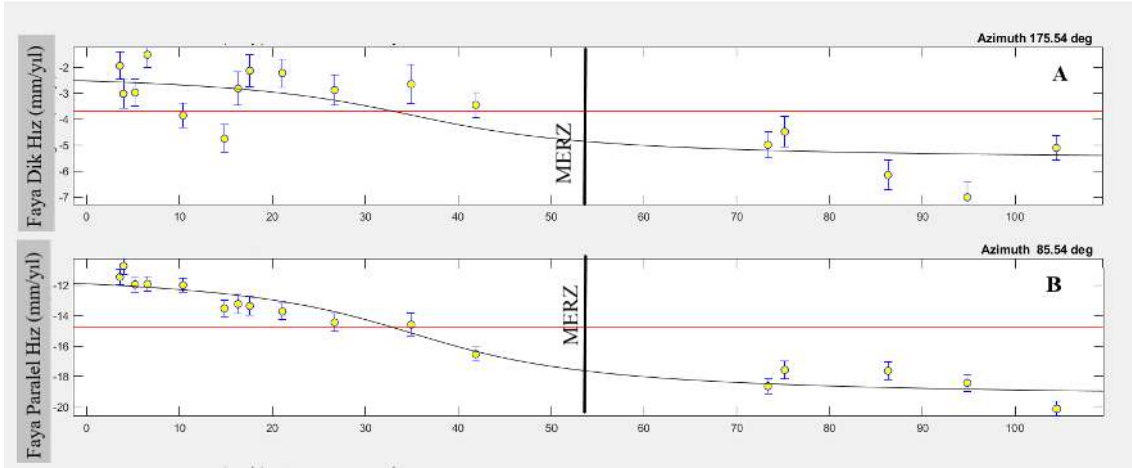
Şekil 5.26 P1 Profili üzerinde Ekinveren Fayı’nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)

Şekil 5.26 incelendiğinde Ekinveren Fayı için faya paralel hızın yaklaşık 2-3 mm/yıl civarında olduğu, faya dik hızlar ise neredeyse sıfır civarında olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 5.22’de verilen blok modelin faya dik ve faya paralel hızları ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Ekinveren Fayı’nın günümüzde yaklaşık 2 mm/yıl sağ yönlü bir hareketi olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.27’de sunulan B profili incelendiğinde KAFZ anakolu için faya paralel hızın yaklaşık 16-17 mm/yıl civarında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 5.27’deki A profilinde, faya dik hızların 2-3 mm/yıl civarında olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 5.22’de verilen blok model çözümündeki faya dik ve faya paralel hızlar ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu sonuç, KAFZ anakolu üzerinde literatürde belirtilen hızlardan (20-24 mm/yıl) daha düşük bir hıza sahip olduğunu göstermektedir (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Yavaşoğlu vd. 2011, Aktuğ vd. 2015, Kurt vd. 2023, Ayruk 2023).



Şekil 5.27 P1 Profili üzerinde KAFZ anakolunun gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)

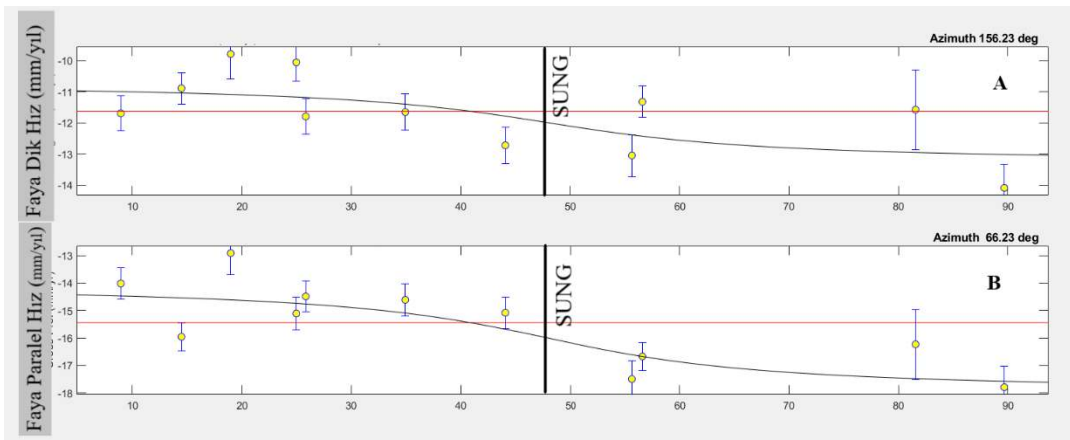


Şekil 5.28 P1 Profili üzerinde Merzifon-Esençay Fayı'nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)

Şekil 5.28'deki B profili incelendiğinde Merzifon-Esençay Fayı için faya paralel hızların yaklaşık 3-4 mm/yıl civarında olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca aynı şekilde verilen A profilinde, faya dik hızların 2-3 mm/yıl civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Şekil

5.22'de verilen blok modelin faya dik ve faya paralel hızları ile uyumlu olduğuna ve bu hızların birbirine yakın olması, Merzifon-Esençay Fayı için yanal bileşene sahip eğim atımlı fay olduğuna işaret etmektedir.

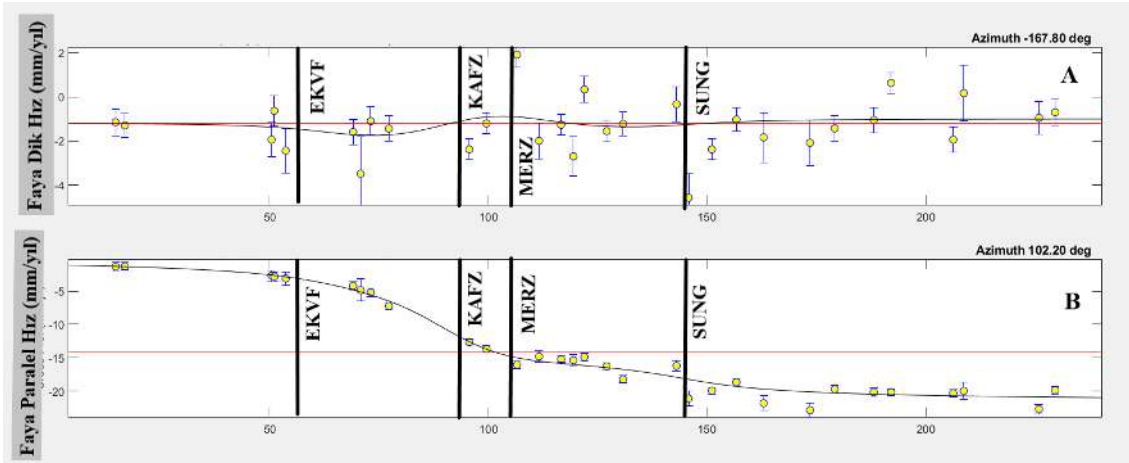
Merzifon-Esençay Fayı için elde edilen sonuçların, Emre vd. (2020) tarafından yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçları ile Peyret vd. (2013) tarafından sunulan InSAR sonuçlarından elde edilen 2.5 mm/yıl yatay hareket ve 1 mm/yıl bakış doğrultusundaki hareketle uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.29 P1 Profili üzerinde Sungurlu Fayı'nın gösterimi. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)

Şekil 5.29'da sunulan B profili incelendiğinde, Sungurlu için faya paralel hızın yaklaşık 2-3 mm/yıl civarında olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, Sungurlu Fayı için hesaplanan bu hızların, Yavaşoğlu vd. (2011) çalışmasında elde edilen 2 mm/yıl hız ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Profil-1 için belirtilen hususlar, genel olarak P2 ile isimlendirilen 2 numaralı profil için de geçerlidir. Profil-2'de de KAFZ'ın sağ yönlü hareketi ile birlikte splay faylara ait kayma hızları belirlenmiş ve her bir fay için benzer deformasyon özellikleri gözlemlenmiştir (Şekil 5.30). Elde edilen faya paralel ve faya dik hızlar, blok model çözümü ile uyumlu olup, bölgenin kinematik hareketlerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 5.30 P2 Profili. (A ile gösterilen profil faya dik hareket, B ile gösterilen profil faya paralel hareketi göstermektedir. Yatay eksen profil uzunluğunu, Düşey eksen yıllık hız değerini, Sarı noktalar GNSS noktalarının yerini, Mavi barlar hızların belirsizliklerini, Düşey yöndeki siyah düz çizgiler profilin kestiği fayları ifade etmektedir.)

Çizelge 5.8 Literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları.

Kaynak	KAFZ (mm/yıl)	MERZ (mm/yıl)	SUNG (mm/yıl)	EEDF (mm/yıl)	EKV (mm/yıl)	Yöntem
McClusky vd. 2000	24 ± 1.0	----	----	----	----	Jeodezik
Hubert vd. 2002	18 ± 3.5	----	----	----	----	Jeolojik
Hartleb vd. 2003	18 ± 3.0	----	----	----	----	Jeolojik
Reilinger vd. 2006	24.2 ± 2.0 (-8 ± 0.2)	----	----	----	----	Jeodezik
Kozacı vd. 2007	20.5 ± 8.5	----	----	----	----	Jeolojik
Yavaşoğlu vd. 2011	20.5 ± 1.8	----	2 ± ?	----	----	Jeodezik
Erturaç ve Tüysüz 2012	----	----	5 ± ?	----	----	Jeolojik
Peyret vd. 2013	20 ± 2	1 ± 1	----	----	----	InSAR
Aktuğ vd. 2015	22.5 ± 0.4 (-4.9 ± 0.6)	----	----	----	----	Jeodezik
Esat vd. 2021	14.4 ± 3.0, 20.7 ± 2.7 (-8.3 ± 2.1, 1.8 ± 2.0)	1.7 ± 3.9 (-1 ± 2.2)	0.5 ± 3.9 (4 ± 2.0)	6.6 ± 1.6 (8.7 ± 3.0)	----	Jeodezik
Seyitoğlu vd. 2022	19 ± 1.7, 22.4 ± 1.6 (-5.1 ± 1.8, 2.8 ± 0.9)	----	0.4 ± 1.3 (3.3 ± 1.4)	4.3 ± 1.6 (-2.1 ± 2.1)	----	Jeodezik
Kurt vd. 2023	23 ± 1.0	----	----	----	----	Jeodezik
Ayruk 2023	22	----	----	----	----	Jeodezik
Bu Çalışma	16.6 ± 1.3, 20.9 ± 1.8 (4.3 ± 1.2, -3.6 ± 1.8)	2-3 ± 1.2 (-3.2 ± 1.2)	2.0 ± 1.2 (-2.0 ± 0.7)	4.2 ± 1.8 (2.8 ± 1.8)	2.0 ± 0.7 (0.9 ± 0.5)	Jeodezik

Tez çalışması kapsamında ele alınan blok modeli oluşturan tüm fay segmentleri için literatürde belirtilen kayma hızları detaylı olarak incelenmiş ve karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmiştir (Çizelge 5.8).

6. SONUÇLAR

Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) orta kesimi ana fay zonundan ayrılarak farklı yönlerde dallanan splay (ayrılma) faylarla kontrol edilmektedir (Taymaz vd. 2007). Ekinveren Fayı, Merzifon-Esençay Fayı, Sungurlu Fayı ve Eldivan (Korgun) Fayı bölgede yer alan splay faylardır. Bölgede meydana gelen depremlerin dış merkez dağılımları, depremlerin KAFZ anakolundan ziyade genellikle splay faylar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Yolsal Çevikbilen vd. 2012). Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, KAFZ orta kesiminde yer alan KAFZ anakolu ile birlikte splay faylarını içeren jeodezik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, tez çalışması kapsamında bölgenin güncel kinematik özelliklerini belirleyebilmek için yüksek çözünürlüklü (105 nokta) GNSS ağına ait, yüksek doğruluğa sahip hız alanı (<2 mm/yıl) kullanılarak, 2 bloklu modelden başlayıp sırasıyla 3 blok, 4 blok ve 6 bloklu (nihai model) model tasarlanarak, ters çözüm yöntemi ve üç boyutlu elastik yarı uzaysal yer değiştirme modeli ile bloklara ait üç bileşendeki rotasyonel hareketler ve blok sınırlarını temsil eden faylara ait faya paralel ve dik hızlar TDEFNODE ve GeodSuit yazılımları ile hesaplanmıştır.

Tez çalışması kapsamında odaklanılan blok model çözümlerinin doğu sınırını Niksar (Tokat) civarında KAFZ üzerinde yer alan bir düğüm noktası, batıda ise Eldivan Fayı'nın sınırlandığı Kuzey-Güney uzanımlı ayrı bir blok oluşturmaktadır. Kuzey sınırını sıkışma bileşenli Ekinveren Fayı ve Güney sınırını KAFZ'in splay faylarından biri olan Sungurlu Fayı oluşturmaktadır. KAFZ'in orta kesimindeki splay faylar bir bütün olarak düşünüldüğünde pozitif çiçek yapısıyla açıklanabilmektedir (Ellero vd. 2015). Oluşturulan blokların üzerinde hesaplanan hızlar yardımıyla Amasya, Çorum, Çankırı, Kastamonu, Sinop ve Samsun illerini kapsayan bölgede yer alan splay faylar üzerindeki güncel deformasyonlar gösterilmiştir (Şekil 5.22).

Öncelikle çalışma bölgesinde yer alan fayları temsil edecek yoğunluk ve geometrik dağılıma sahip kampanya tipi 91 GNSS noktası ile 14 sabit GNSS istasyondan oluşan kapsamlı bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağa ait istasyonların geçmiş RINEX verileri ilgili kurum ve kuruluşlar ile bölgede faaliyet yürüten özel şirketlerden

temin edilmiştir. GNSS ağında yer alan noktalara ait mevcut RINEX verileri incelenmiş ve hızların hesaplanması ve güncellenmesi için ihtiyaç duyulan istasyonlarda 2023 ve 2024 yıllarında statik GNSS ölçümü yapılmıştır. Elde edilen bütün veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve Avrasya Plakası sabit alınarak ITRF2014 referans çerçevesinde güncel hız alanı hesaplanmıştır (Şekil 5.11).

Elde edilen sonuçlar, KAFZ'ın güneyinde (doğu bileşeninde) 13 ile 27 mm/yıl arasında değişen hızlarla B-KB yönünde hareket ettiğini, göstermektedir. Bu hareketler, KAFZ'ın orta kesiminde yer alan splay faylarla ayrılmış bölgede, saatin tersi yönünde bir dönme hareketine işaret etmektedir (Kurt vd. 2023). Bölgede yer alan KAFZ anakolunun kuzeyinde kalan noktalara ait hızlar B-KB yönlü iken fayın güneyine doğru inildikçe doğu bileşeni batı yönünde vektörel olarak artarken kuzey bileşeni ise kuzey yönünde vektörel olarak artmaktadır (Şekil 5.11). Elde edilen güncel hız alanının literatürde yer alan çalışmalarda yayımlanan hız alanları ile genel olarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Blok model kombinasyonlarının test edilmesi için en basit geometri olan (Şekil 5.15-16) KAFZ anakolunun ayırdığı 2 bloklu model çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu çözüm sonuçları incelendiğinde literatürdeki iki bloklu çözüm sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Çizelge 5.1'de verilen jeodezik çalışmalarda, Yavaşoğlu vd. (2011) tarafından kurulan ağa ait hızlar ile TUTGA noktalarına ait hızlar kullanılmış ve nokta yoğunluğu KAFZ orta segmentindeki fayları temsil etmeye yeterli olmadığı görülmüştür. Çalışma bölgesindeki bütün fayları kapsayan yoğun bir GNSS ağı ve güncel hızlar ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. Bu sebeple elde edilen sonuçlar arasında bir fark oluşması olasıdır fakat bu farkların sayısal olarak birbirlerine yakın olması yapılan çalışmaların doğruluğunu göstermektedir.

Çalışma bölgesinde yer alan Sungurlu Fayı'nı da dâhil ederek 3 bloklu model çözümü gerçekleştirilmiş, devamında Merzifon-Esençay Fayı eklenerek 4 bloklu model çözümü ve Ekinereven fayı ile Eldivan fayları da dâhil edilerek en karmaşık geometri olan 6 bloklu model çözümü gerçekleştirilmiştir. Yapılan farklı modellerin, istatistiksel olarak elde edilen sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.6). Bu sonuç

bölge için en uyumlu blok modele karar verme sürecini zorlaştırmıştır. Bölüm 5.5.3’de anlatıldığı gibi, TDEFNODE yazılımı ile özellikle mikro bloklarda hesaplanan faya dik ve paralel hareketlere ait belirsizliklerin, hızların güvenilirliğini düşürmesi, programın mikro bloklar üzerinde uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Bu sebeple küçük bloklarla yapılan model çözümü için GeodSuit programının çözümleri kullanılmıştır.

Yapılan 6 bloklu nihai model sonucunda KAFZ’ın anakolu için sağ yanal hareketin olduğu ve bu hareketin, doğudan batıya doğru (16.6 ± 1.3 , 17.3 ± 1.3 , 18.0 ± 1.3 , 18.2 ± 1.2 , 20.9 ± 1.8 mm/yıl) bir artış sergilediği görülmektedir (Şekil 5.22). Bu sonuçlar, Hubert vd. (2002), Hartleb vd. (2003), Peyret vd. (2013), Esat vd. (2021) ve Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarındaki sonuçlarla uyum içerisindedir. KAFZ anakolu üzerindeki faya dik hareketler incelendiğinde, Emre vd. (2020)’de verilen ve KAFZ’a paralel uzanan Merzifon-Esençay Fayı’nın bitimine kadar olan kesiminde, doğudan batıya doğru azalarak devam eden (4.3 ± 1.2 , 2.7 ± 1.2 , 1.1 ± 1.2 mm/yıl) açılma rejimi görülmektedir.

Literatürdeki birçok jeodezik çalışmada KAFZ anakolunun orta segmenti üzerinde 2 bloklu model çözümü gerçekleştirdiği için faya paralel hızları 20-24 mm/yıl civarında belirlenmiştir (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2015, Kurt vd. 2023). Bölgede yer alan splay fayların da dâhil edildiği blok model çözümünde anakola yüklenen yanal hareketin bir kısmının splay faylara dağıldığı gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda belirlenen KAFZ anakolunun fay kayma hızı literatürde yer alan çalışmalara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca bu sonucun yapılan deprem tehlike analizlerini büyük ölçüde değiştireceği değerlendirilmektedir.

KAFZ’ın kuzey kesimindeki splay faylardan biri olan Ekinveren Fayı’nın faya paralel hızı, ortalama 2.0 ± 0.7 mm/yıl olarak hesaplanmış ve bu değer, fayın sağ yönlü doğrultu atım özelliği gösterdiğine işaret etmektedir. Bu durum Yıldırım vd. (2011)’de belirtildiği gibi Ekinveren Fayı’nın aktif olduğunu kanıtlamaktadır.

KAFZ’ın güney kesiminde yer alan Merzifon-Esençay Fayı’nın faya paralel hızlarının yaklaşık $2-3 \pm 1.3$ mm/yıl civarında olduğu belirlenmiştir. Bu değer, fayın sağ yanal hareket özelliği gösterdiğini ve Emre vd. (2020) tarafından yapılan paleosismolojik

çalışmanın sonuçları ile Peyret vd. (2013) tarafından sunulan InSAR analizi ve Rojay ve Koçyiğit (2011) tarafından gerçekleştirilen kinematik analizlerin sonuçlarını desteklediğini göstermektedir. Faya dik hızlar incelendiğinde Esençay Segmentinde 2.1 ± 1.2 mm/yıllık bir açılmanın olduğu, fay üzerinde doğudan batıya doğru sırasıyla Suluova, Diphacı, Laçın ve İskilip segmentlerinde artarak devam eden (3.2 ± 1.2 , 2.7 ± 1.2 , 4.9 ± 1.2 , 6.3 ± 1.2 mm/yıl) sıkışma rejiminin hâkim olduğu görülmekte olup tüm bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, Merzifon-Esençay Fayı'nın yanal bileşene sahip eğim atımlı bir fay yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

KAFZ'ın güneyinde yer alan splay faylardan biri olan Sungurlu Fayı'nda, faya paralel hareketin fayın doğusundan batısına doğru ($3-2 \pm 0.7$ mm/yıl) azaldığı ve bununla birlikte fayın sağ yanal doğrultu atım özelliği taşıdığı görülmektedir. Sungurlu Fayı için hesaplanan doğudan batıya doğru azalan bu hızların, Yavaşoğlu vd. (2011) ile Erturaç ve Tüsyüz (2012) çalışmalarıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Esat vd. (2021) tarafından yapılan blok model analizine göre, Sungurlu Fayı'nın yanal hızının doğudan batıya doğru sırasıyla 6.4 - 7.2 ve 8.2 mm/yıl olarak arttığı ve fayın sağ yönlü eğim atımlı bir özellik sergilediği belirlenmiştir. Ancak, hesaplanan bu hızların, bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlarla uyumsuzluğunun, kullanılan GNSS noktalarının yoğunluğundaki farklılıktan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen faya dik hareketler incelendiğinde ise Sungurlu Fayı'nda, 2.0 ± 0.7 mm/yıl civarında bir sıkışma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen fay kayma hızları birlikte değerlendirildiğinde, Sungurlu Fayı'nın sağ yanal ve ters bileşen içeren bir yapıya sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Koçbulut vd. (2015), Sungurlu Fayı'nın sağ yanal doğrultu atımlı ve sıkışma bileşenli hareketler gösterdiğini ileri sürmekte olup, bu sonuçların mevcut güncel deformasyon bulgularıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanının batısında yer alan K-G doğrultulu Eldivan (Korgun) fayı üzerinde yapılan hesaplamalar, faya paralel hızın yaklaşık 4.2 ± 1.8 mm/yıl civarında olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, fayın sol yanal doğrultu atım özelliği taşıdığını ortaya koymaktadır. Faya dik hareketler incelendiğinde 2.8 ± 1.8 mm/yıl civarında açılma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların Esat

vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları ile (Faya paralel hareket 6.6 mm/yıl, faya dik hareket 8.7 mm/yıl) tutarlı olmadığı görülmektedir. Bu turarsızlığın temel nedeni, çalışma kapsamında oluşturulan EEDF bloğundaki nokta sayısının yetersizliğinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

KAFZ orta kesiminde yer alan splay faylardaki güncel gerinim birikimini belirlemek amacıyla fayları dik kesen profiller oluşturulmuştur (Şekil 5.25-30). Bu aşamada oluşturulan profiller fay üzerindeki deformasyon birikimini göstermektedir. Deformasyon birikiminin KAFZ anakolunda da, splay faylara göre çok daha yüksek miktarda devam ettiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bilgiler ışığında bölgenin tektoniği ve tektonik çalışmalarda GNSS teknolojisinin kullanımı ile ilgili aşağıda sıralanan öneri ve değerlendirmeler yapılmıştır.

1. Genel olarak deformasyon çalışmalarında beklenen ve gerçekleşen deformasyon miktarları küçük olabilmektedir. Bu nedenle, GNSS ölçümlerinin yüksek hassasiyetle yapılması gerekmektedir. GNSS tabanlı deformasyon çalışmalarında konumlama doğruluğunun yüksek olmasını sağlamak için zorunlu merkezleştirmeli (pilye, zincirli tripod vb.) tesislerin kullanılması, sonuçların kalitesini artıracaktır.
2. Hesaplanan GNSS hız alanının güncelliğini korumak, doğruluğunu daha da arttırmak, oluşturulan blok modelin geliştirilmesini sağlamak ve yeni projelere çözünürlüğü yüksek bir veri seti sağlayabilmek amacıyla mümkün olduğunca daha yoğun, sabit GNSS istasyonları tesis edilmeli ve bu istasyonlar ağı dâhil edilerek GNSS gözlemleri devam ettirilmelidir.
3. Çalışma kapsamında kullanılan güncel GNSS verilerine ek olarak paleosismolojik ve sismoloji çalışmaları dâhil edilerek oluşturulan modelin doğruluğunu kanıtlamak ve modeli daha da geliştirmek açısından büyük önem arz etmektedir.
4. Çalışma kapsamında oluşturulan ağın batı kısmında GNSS nokta sayısının yetersiz olması sebebiyle anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Bu GNSS ağı yeni noktalarla genişletilerek hız alanının güncel tutulması ve kinematik hareketlerin belirlenmesi, ülke tektonik altyapısına büyük katkı sağlayacaktır.

5. Sungurlu Fayı'nın yanal hareketinin doğudan batıya doğru azaldığı görülmekte fakat aktivitesinin nereye kadar devam ettiği bilinmemektedir. Bu fayın bütün olarak kinematik özelliklerinin belirlenebilmesi için batı tarafında yeni noktalar tesis edilerek GNSS ağı genişletilmeli ve periyodik olarak takip edilmelidir.
6. Yapılan çalışmalar, deprem gerçeğini değiştirmeyecek olsa da, çalışmaların sonuçlarına dayanarak alınacak tedbirlerle depremin bir doğal afet değil, yalnızca bir doğa olayı olduğu vurgulanmalıdır. Bu bilgilendirme yalnızca bilimsel yayınlarla değil, aynı zamanda konferanslar, seminerler ve diğer halka açık toplantılar düzenlenerek vatandaşlara aktarılmalıdır.



7. KAYNAKLAR

- AFAD, 2023, 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. The Disaster and Emergency Management Presidency, March, Istanbul.
- Aktug B, 2006, Jeodezik Ölçüler ile Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingoz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, Lenk O, Gurdal M A, Kılıçoğlu A, Akdeniz H, Tekgul A, 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research*, 114, B10404.
- Aktuğ B, Doğru A, Özener H, Peyret M, 2015, Slip rates and locking depth variation along central and easternmost segments of North Anatolian Fault. *Geophys J Int*. 202(3), 2133-2149.
- Aktuğ B, 2017, Jeodezik Deprem Tehlike Haritası, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16, Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Aladoğan K, Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H, Alkan R M, 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17(3), 998-1003.
- Alkan N M, 2018, Kuzey Anadolu Fayı (Kaf) Bolu-Çankırı ve Amasya Bölgelerindeki Asismik Tektonik Yapının Periyodik GPS Ölçümleri İle Belirlenmesi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ambraseys N N and Finkel C F, 1995, The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas-a Historical Review, 1500-1800. Eren, İstanbul, 240.
- Arpat A E, Şaroğlu F, 1975, Türkiye'deki bazı genç tektonik olaylar. *TJK Bülteni* 18(1):91-101
- Atabey E, 2000, Deprem, MTA Yayınları Eğitim Serisi, 34, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Aydın A, Nur A, 1982, Evolution Of Pull-Apart Basins And Their Scale İndependence, *Tectonics* I, 91 – 105
- Ayruk E T, 2023, Kuzey Anadolu Fayı Boyunca Gerinim Birikiminin Blok Modelleme İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ballato P, Parra M, Schildgen T F, Dunkl I, Yıldırım, C., Özsayın, E, Sobel E R, Echtler H, Strecker M R, 2018, Multiple exhumation phases in the Central Pontides (N Turkey): New temporal constraints on major geodynamic changes associated with the closure of the Neo-Tethys Ocean. *Tectonics*, 37(6), 1831-1857. <https://doi.org/10.1029/2017TC004808>
- Barka A A, and Kadinsky C K, 1988, Strike-Slip Fault Geometry İn Turkey And İts Influence On Earthquake Activity. *Tectonics*, 7: 663-684.
- Barka A A, Gülen L, 1989, Complex Evolution of The Erzincan Basin (Eastern Turkey), *J. Struct. Geol.* II, 275- 283.
- Barka, A A, 1996, Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with large earthquakes of period 1939 to 1967. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, 5, 1238-1254
- Barka A A, and Reilinger R, 1997, Active Tectonics Of The Eastern Mediterranean Region: Deduced From GPS, Neotectonic and Seismicity Data. *Annals of Geophysics*, 40(3): 587-610.
- Barka A A, Akyüz S H, Cohen H A, Watchorn F, 2000, Tectonic Evolution of the Niksar and Tasova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block, *Tectonophysics* 322, 243- 264.
- Barka A A, Akyuz H S, Altunel E, Sunal G, Çakır Z, Dikbas A, Yerli B, Armijo R, Meyer B, Chabalier J B, Rockwell T K, Dolan J, Hartleb R D, Dawson T E, Christofferson S A, Tucker A Z, Fumal T E, Langridge R M, Stenner H D, Lettis W R, Bachhuber J, Page W D, 2002, “The Surface Rupture And Slip Distribution Of The 17 August 1999 İzmit Earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 92, pp. 43–60.

- Bohnhoff M, Martínez-Garzón P, Bulut F, Stierle E, Ben-Zion Y, 2016, Maximum Earthquake Magnitudes Along Different Sections of The North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*. 674, 147–165.
- Bozkurt E, and Koçyiğit A, 1995, Almus Fault Zone: Its age, total offset and relation to The North Anatolian Fault Zone. *Turk. J. Earth. Sci.*, 4: 93-104
- Bozkurt E, and Koçyiğit A, 1996, The Kazova Basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 265, 239-254.
- Bozkurt E, and Mittwede S, 2001, Introduction to the geology of Turkey - a synthesis. *International Geology Review*, 43(7): 578-594.
- Bozkurt E, 2001, Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Chui C K, Chen G, 1991, Kalman Filtering: With Real- Time Applications, Springer, Berlin.
- Çakır Z, 2010, Türkiye Diri Fayları Boyunca Meydana Gelen Kabuk Deformasyonunun Yapay Açıklık Radar İnterferometrisi (InSAR) Yöntemiyle İncelenmesi. 107Y281 TÜBİTAK Proje Raporu.
- Cakir Z, Ergintav S, Akoglu A M, Çakmak R, Tatar O, Meghraoui M, 2014, Insar velocity field across the north anatolian fault (eastern turkey): Implications for the loading and release of interseismic strain accumulation,” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 119, pp. 7934–7943, 10.
- Çakmak R, 2010, Jeodezik Çalışmalarla Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün Belirlenmesi Ve Modellerle Açıklanması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirtaş R, 1998, 14 Ağustos 1996 Salhançayı (Çorum-Amasya) Depremi, Deprem Araştırma Bülteni, 76, 31-46.
- Dewey J F, Hempton M R, Kidd W S F, Saroglu F, ve Şengör A M C, 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 19, 1–36

- Dirik K, 1993, Geological history of the northward arched segment of the North Anatolian Transform fault Zone, *Geol J.* 28. 251 - 266.
- Dirik K, 2005, Levha Tektoniği ders notları, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, Ankara.
- DiZio L, 2016, Elastic Block Modeling of Fault Slip Rates across Southern California. *Macalester Journal of Physics and Astronomy*, 4, 3.
- Durmuş H, ve Utkucu M, 2021, Coseismic slip distributions and stress interactions of the November 12, 2017, Sarpole-Zahab (Western Iran) earthquake ($M_W=7.3$) and its aftershocks: seismotectonic implications. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(12), 1188. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07509-1>
- Ellero A, Ottria G, Marroni M, Pandolfi L, Göncüoğlu MC, 2015, Analysis of the North Anatolian Shear Zone in Central Pontides (northern Turkey): Insight for geometries and kinematics of deformation structures in a transpressional zone. *Journal Of Structural Geology*, 124–141. <https://hdl.handle.net/11511/30903>
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F, (2013), Active fault map of Turkey with an explanatory text [Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası]. 1:1,250,000 Scale. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-30, Ankara
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H, Çan T, 2018, Active fault database of Turkey. *Bull Earthquake Eng.* 16, 3229–3275.
- Emre Ö, Elmacı H, Özalp S, 2020, Correction to: Merzifon–Esençay splay fault within the North Anatolian Fault system: segmentation and timing of the last two surface faulting events on Esençay segment. *Med. Geosc. Rev.* 2, 383.
- Emre Ö, Kondo H, Özalp S, Elmacı H, 2021. "Fault geometry, segmentation and slip distribution associated with the 1939 Erzincan earthquake rupture along the North Anatolian fault, Turkey", *Characterization of Modern and Historical Seismic–Tsunami Events, and Their Global–Societal Impacts*, Y. Dilek, Y. Ogawa, Y. Okubo
- Erturaç, M K, 2009, Amasya ve Çevresinin Morfotektonik Evrimi. Doktora Tezi, İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Erturac MK, Tüysüz O, 2012, Kinematics and basin formation along the Ezinepazar-Sungurlu fault zone, NE Anatolia, Turkish Journal of Earth Sciences. 497 - 520.
- Erturaç M K, Erdal O, Sunal G, Tüysüz O, Şen Ş, 2019, Quaternary evolution of the Suluova Basin: implications on tectonics and paleoenvironments of the Central North Anatolian Shear Zone. Can J Earth Sci 56(11):1239–1261. <https://doi.org/10.1139/cjes-2018-0306>
- Esat K, Seyitoğlu G, Aktuğ B, Kaypak B, Ecevitoglu B, 2021, The Northwest Central Anatolian Contractional Area: A neotectonic deformation zone bounded by major strike-slip fault zones in the Anatolian Plate, Tectonophysics, 805, 228776. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.228776>
- GeodSuit, 2017, GeodSuit Kullanım kılavuzu, Ankara
- Gezgin C, 2020, GNSS ve INSAR Teknikleri ile Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Gezgin C, Ekercin S, Tiryakioğlu I, Aktug B, Erdoğan H, Gürbüz E, Osman O, Bilgilioglu S S, Torun A T, Gündüz H İ. Oktar O, Türkmen C, Kaya E, 2022, Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in Central Anatolia (Turkey) with GNSS observations. Turkish Journal of Earth Sciences. 31(1), 20-33.
- Galgana, G, Hamburger M, McCaffrey R, Corpuz E, ve Chen Q, 2007, Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms. Tectonophysics, 432, 63–87.
- Halıcıoğlu K, Özener H, ve Ünlütepe A, 2009, Fay Parametreleri ve Kontrol Ağlarının Tasarımı. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Hartleb R D, Dolan J F, Akyüz H S, Yerli B A, 2003, 2000 year-long paleoseismologic record of earthquakes along the central North Anatolian Fault, from trenches at Alayurt, Turkey. Seismological Society of America Bulletin. 93, 1935–1954.
- Hempton M R ve Dunne L A, 1984, Sedimentation in pull-apart basins: active examples in eastern Turkey, J. Geol. 92. 513- 530.

- 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, McClusky S C, 2018, Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10,7, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. of Technol.
- Hubert-Ferrari A, Armijo R, King G, Meyer B, Barka A A, 2002, Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. Journal of Geophysical Research. 107 (B10), 9/1–9/33.
- Hussain E, Wright T J, Walters R J, Bekaert D, Hooper A, Houseman G A, 2016, Geodetic observations of postseismic creep in the decade after the 1999 izmit earthquake, Turkey: Implications for a shallow slip deficit, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol. 121, pp. 2980–3001, 4 Apr.
- İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP), 2021, Amasya Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, <https://amasya.afad.gov.tr/kurumlar/amasya.afad/planlar/AMASYAIRAP.pdf>
- İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP), 2021, Çorum Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, https://corum.afad.gov.tr/kurumlar/corum.afad/Haberler/2022/nisan/Corum_I%CC%87RAP_SON.pdf
- İşseven T, ve Tüysüz O, 2006, Palaeomagnetically defined rotations of fault-bounded continental blocks in the North Anatolian Shear Zone, North Central Anatolia, Journal of Earth Sciences, 28, 469-479
- Kahveci M, ve Yıldız F, 2009, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama. Ankara, Türkiye: Nobel.
- Kaduri M, Gratier J P, Renard F, Çakır Z, Lasserre C, 2017, The implications of fault zone transformation on aseismic creep: Example of the North Anatolian Fault, Turkey, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122, 4208-4236.
- Karaman EM, 2006, Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi.

- Karasözen E, 2010, Earthquake Focal Mechanism And Stress Tensor Analysis Along The Central Segment Of The North Anatolian Fault. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Ens. Ankara.
- Kaymakci N, 2000, Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı basin (Central Anatolia Turkey), PhD, Thesis Univ Utrecht, Geologica Ultraiectina, No:190, 247 p.
- Kaymakci N, White SH, Van Dijk PM, 2000, Paleostress inversion in a multiphase deformed area: kinematic and structural evolution of the Cankiri Basin (central Turkey): Part 1. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J. (Eds.), Tectonics and Magmatism in Turkey and its Surroundings, Spec. Publ. - Geol. Soc.Lond, Vol. 173, pp. 445– 473.
- Kaymakci N, Özçelik, White SH, Van Dijk PM, 2001, Neogene tectonic development of the Çankırı basin (Central Anatolia, Turkey). Turkish Association of Petroleum Geologist Bulletin, 13, 1, 27-56.
- Kaymakci N, Özmutlu Vandijk P M, and Özçelik Y, 2010, Surface and Subsurface Characteristics of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey): Integration of Remote Sensing, Seismic Interpretation and Gravity. Turkish Journal of Earth Sciences, 19: 79-100
- Keller E A, 2005, Çevre Jeolojisine Giriş, Gazi Kitapevi, 545.
- Ketin, İ., 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı. İTÜ Dergisi, 15:2, 49–52.
- Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 72(72), 1-27.
- Ketin İ, 2016, Genel Jeoloji: Yerbilimlerine Giriş (9. Baskı). İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları.
- King R W, ve Bock Y, 2000, Documentation for the GAMIT GPS analysis software. (Program Manual). Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Koçbulut F, 2004, Göynücek-Gediksaray Kuzeyinde (GB Amasya) Ezinepazarı-Sungurlu Fayı'nın Neotektonik Özellikleri, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

- Koçbulut F, Kavak K Ş, ve Tatar O, 2015, Analysis of Ezinepazarı–Sungurlu Fault Zone (Turkey) using Landsat TM data and its kinematic implications. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 6425-6439. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1660-z>.
- Koçyigit A, 1988, Tectonic setting of the Geyve basin: age and total displacement of the Geyve fault zone, *METU Pure Appl. Sci.* 21, 8 1- 104
- Koçyigit A, 1989, Suşehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 167, 13-29.
- Koçyigit A, Türkmenoğlu A, Beyhan A, Kaymakçı N, Akyol E, 1995, Post-collisional tectonics of Eskişehir–Ankara–Erzincan Suture zone (IAESZ): Ankara Orogenic Phase. *TPJD Bull* 6(1):69–86
- Koçyigit A, Rojay B, Cihan M, Özacar A, 2001, The June 6, 2000 Orta (Çankırı, Turkey) earthquake: sourced from a new antithetic sinistral strike-slip structure of the North Anatolian Fault system, the Dodurga Fault Zone. *Turk. J. Earth Sci.* 10:69–82
- Kozacı O, Dolan J F, Finkel R, Hartleb R, 2007, Late Holocene slip rate for the North Anatolian Fault, Turkey, from cosmogenic ³⁶Cl geochronology: Implications for the constancy of fault loading and strain release rates. *Geology* 35, 867– 870.
- Köksal E, 2011, Yüzey Deformasyonlarının Diferansiyel İnşar Tekniği İle Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği. Doktora Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Ens. Zonguldak.
- Kurt A, Özbakır A, Cingöz A, Ergintav S, Dogan 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*. 31. 10.55730/yer-2203-13.
- Kutoğlu H Ş, Akçın H, Görmüş S, ve Kemaldere H, 2009, Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentinde Gerçekleştirilen Jeodezik Çalışmalar. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Loveless J P, ve Meade B J, 2011, Partitioning of localized and diffuse deformation in the Tibetan Plateau from joint inversions of geologic and geodetic observations, *Earth and Planetary Science Letters*, 303, 11–24.

- Meade B J, ve Hager B H, 2005, Block models of crustal motion in southern California constrained by GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110
- Meade B J, 2007, Present-day kinematics at the India-Asia collision zone. *Geology*, 35, 81–84.
- McCaffrey R, 2002, Crustal block rotations and plate coupling. *Plate Boundary Zones, Geodyn. Ser*, 30, 101–122
- McCaffrey R, 2005, Block kinematics of the Pacific-North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110, 1–27
- McCaffrey R, 2009, Time-dependent inversion of three-component continuous GPS for steady and transient sources in northern Cascadia. *Geophysical Research Letters*, 36, 1–5
- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Georgiev I, Hamburger M, Hurst K, Kahle H, Kastens K, Kekelidze G, King R, Kotzev V, Lenk O, Mahmoud S, Mishin A, Nadariya M, Ouzounis A, Paradisis D, Peter Y, Prilepi M, Reilinger R, Sanli I, Seeger H, Tealeb A, Toksoz M N, Veis G, 2000, GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for Plate Dynamics, *JGR*, 105(B3), 5695-5719
- Nuriel P, Craddock J, Kylander-Clark, A R, Uysal T, Karabacak V, Dirik R K, Hacker B R, and Weinberger R, 2019, Reactivation history of the North Anatolian fault zone based on calcite age-strain analyses, *Geology*, 47, 465–469.
- Ocakoğlu N, İşcan Y, Kılıç F, Özel O, 2018, Morphologic and seismic evidence of rapid submergence offshore Cide-Sinop in the southern Black Sea shelf. *Geomorphology*, 311, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.008>
- Okada Y, 1985, “Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 75, no. 4, pp. 1135–1154.
- Okay A I, Demirbağ E, Kurt H, Okay N, Kuşçu I, 1999, An active, deep marine strikeslip basin along the North Anatolian Fault in Turkey, *Tectonics* 18, 129-148.

- Oral M, Reilinger R E, Toksöz M N, King R W, Barka A A, Kınık I, and Lenk O, 1995, Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *Eos Trans*, AGU 76(2): 9-11.
- Özkan A, 2021, Kuzeydoğu Akdeniz Bölgesindeki Diri Fayların Kinematığının GPS Gözlemleri ve Elastik Yarı Uzaysal Yer Değiştirme Modeli İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Uzunca F, 2024, Lut Bloğu'nda (İran) Meydana Gelen Depremlerin Zamana Bağlı Gerilme Değişimlerinin Modellenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Parlak O, 2015, Kuzeybatı Orta Anadolu'nun Neotektoniği ve Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasının Kuzey Anadolu Fayı ile İlişkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Peyret M, Masson F, Yavasoglu H, Ergintav S, Reilinger R, 2013, Present-day strain distribution across a segment of the central bend of the North Anatolian Fault Zone from a Persistent-Scatterers InSAR analysis of the ERS and Envisat archives, *Geophysical Journal International*, Volume 192, Issue 3, Pages 929–945, <https://doi.org/10.1093/gji/ggs085>
- Press W H, Flannery B P, Teukolsky S A, ve Vetterling W T, 1986, Numerical recipes, edn, Vol. 547, pp. Pages. Cambridge Univ Press.
- Provost A, Chéry J, and Hassani R, 2003, 3D mechanical modeling of the GPS velocity field along the North Anatolian fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 209(3-4): 361-377
- Pollitz F F, 1992, Postseismic relaxation theory on the spherical earth. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1), 422–453. <https://doi.org/10.1785/BSSA0820010422>
- Racano S, Schildgen T, Ballato P, Yıldırım C, Wittmann, H, 2023, Rock-uplift history of the Central Pontides from river-profile inversions and implications for development of the North Anatolian Fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 616, 118231. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118231>

- Rojay F B, 1993, Tectonostratigraphy and Neotectonic Characteristics of the Southern Margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Rojay B, Koçyiğit A, 2011, An active composite pull-apart basin within the central part of the North Anatolian Fault System: the Merzifon–Suluova Basin, Turkey. *Turk J Earth Sci* 21:473–496. <https://doi.org/10.3906/yer-1001-36>
- Reid H F, 1911, The elastic-rebound theory of earthquakes. *Univ. Calif. Publ.. Bull. Dept. Geol.*, 6, 413–444.
- Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrance S, Ergintav S, Cakmak R, Ozener H, Kadirov F, Guliev I, Stepanyan R, Nadariya M, Hahubia G, Mahmoud S, Sakr K, ArRajehi A, Par adissis D, AlAydrus A, Prilepin M, Guseva T, Evr en E, Dmitrotsa A, Filikov S, V, Gomez F, AlGhazzi R, Karam G, 2006, GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa Arabia Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions, *J Geophys. Res.*, 111, B05411.
- Savage J C, 1983, A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88, 4984–4996.
- Serpelloni E, Bürgmann R, Anzidei M, Baldi P, Mastrolembo Ventura B, ve Boschi E, 2010, Strain accumulation across the Messina Straits and kinematics of Sicily and Calabria from GPS data and dislocation modeling. *Earth and Planetary Science Letters*, 298, 347–360.
- Seyitoğlu G, Aktuğ B, Karadenizli L, Kaypak B, Şen Ş, Kazancı N, Işık V, Esat K, Parlak O, Varol B, Saraç G, İleri, İ, 2009, A Late Pliocene-Quaternary Pinched Crustal Wedge in NW Central Anatolia, Turkey: A Neotectonic Structure Accommodating the Internal Deformation of the Anatolian Plate/KB Orta Anadolu’da Geç Pliyosen–Kuvaterner Kısıtlanmış Kabuksal Tektonik Kama: Anadolu Levhasının iç Deformasyonunu Üstlenen Bir Neotektonik Yapı. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52(1), 121-154.

- Seyitoğlu G, Aktuğ B, Esat K, Kaypak B, 2022, Neotectonics of Turkey (Türkiye) and surrounding regions: a new perspective with block modelling. *Geologica acta*, 20, 1-21. <https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2022.20.4>
- Shen ZK, Jackson DD, Ge XB, 1996, Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements, *Journal of Geophysical Research*, 101(B12), 27957-27980.
- Shen N, Chen L, Liu J, Wang L, Tao T, Wu D, Chen R, 2019, A Review of Global Navigation Satellite System (GNSS)-Based Dynamic Monitoring Technologies for Structural Health Monitoring. *Remote. Sens.*, 11, 1001.
- Solak H İ, 2020, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemi İle İncelenmesi, Doktora Tezi, A.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Stein S, ve Wyssession M, 2003, *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure* (First published). Blackwell Publishing.
- Şafak Ş, Tiryakioğlu İ, Erdoğan H, Solak Hİ, Aktuğ B, 2020, Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities, *Measurement*, 164(108003).
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A, 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8174, 394 s.
- Şengör A M C, 1979, The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London* 136:269–82
- Şengör A M C, ve Yılmaz Y, 1981 Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics* 75. 181 -241.
- Şengör A M C, Görür N, and Polat A, 1989, The Kırıkkale-Erbaa Fault Zone and the Alaca pull-apart basin: An inactive branch of North Anatolian Fault, Central Turkey, *International Workshop on Active and Recent Strike-Slip Tectonics*,
- Şengör A M C, Özeren S, Genç T, Zor E, 2003, East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophys. Res. Lett.* 30: 8045

- Şengör A M C, Tüysüz O, İmren C, Sakıncı M, Eyidoğan H, Görür N, Le Pichon X, Claude Rangin C, 2005, The North Anatolian Fault: A new look. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 33: 37–112.
- Takcı V, 2015, 1943 Tosya-Lâdik Deprem Kırığının Lâdik Kuzeyindeki Bölümünün Paleosismik İncelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Sivas.
- Taskin, G, Uskurlu S, Saygin H, Ergintav S, 2003, Optimization of GPS observation strategy for improvement of tectonic measurements. The IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, Marbella, Spain.
- Tatar O, Piper J D A, Park R G, Gürsoy H, 1995, Palaeomagnetic study of block rotations in the Niksar overlap region of the North Anatolian Fault Zone, central Turkey, *Tectonophysics* 244. 25 1- 266.
- Tatar O, Kavak K S, Polat A, Gürsoy H, Koçbulut T F, Sezen L, Mesli Z, Akpınar Z, Kıratık L O, 2006, Kuzey Anadolu Fay Zonu 1942 Erbaa-Niksar Depremi Yüzey Kırığı, yeni gözlemler. *Aktif Tektonik Çalışma Grubu 10. Toplantısı*, 2-4 Kasım 2006, Dokuz Eylül Üniv. İzmir.
- Tatar O, Poyraz F, Gürsoy H, Cakir Z, Ergintav S, Akpınar Z, Koçbulut F, Sezen F, Türk T, Hastaoglu KO, Polat A, Mesci BL, Gürsoy Ö, Ayazlı IE, Çakmak R, Belgen A, Yavasoglu H, 2012, Crustal deformation and kinematics of the eastern part of the north anatolian fault zone (turkey) from gps measurements, *Tectonophysics*, vol. 518-521, pp. 55–62, Jan.
- Taymaz T, Wright T, Yolsal S, Tan O, Fiedling E, and Seyitoglu G, 2007, Source characteristics of the 6 June 2000 Orta Cankiri (central Turkey) earthquake: a synthesis of seismological, geological and geodetic (InSAR) observations, and internal deformation of the Anatolian plate. *Geological Society London Special Publications*, 291(1): 259-290.
- Thatcher W, 2009, How the continents deform: The evidence from tectonic geodesy. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37, 237–262.
- Tilki M, 2013, Çorum Havzası ve Yakın Çevresi'nde Doğal Afetler, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155s, İstanbul.
- Tiryakioğlu I, Yavaşoğlu H, Uğur M A, Özkaymak Ç, Yılmaz M, Kocaoğlu H, Turgut B, 2017, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series, *Earth Science Research Journal*, 21(3), 147-156.
- Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Yiğit C Ö, Yavaşoğlu H. H, Sözbilir H, Özkaymak Ç, Poyraz F, Taneli E, Bulut F, Doğru A, Özener H, 2018, Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, *Geodinamica Acta*, 30:1, 1-14.
- Tokay M, 1973, Geological observations on the North Anatolian Fault Zone between Gerede and Ilgaz. in: *Proceedings of Symposium on North Anatolian Fault Zone and Earthquake Belt*. Min. Res. Expl. Inst. Publ., Ankara, 12-29.
- Toprak V, 1988, Neotectonics characteristics of the North Anatolian Fault Zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci.*, 21, 155-168
- Tüysüz O, 1996, Amasya ve Çevresinin Jeolojisi. *Türkiye 11. Petrol Kongresi Kitabı*, pp 32–48
- Wallace L M, Beavan J, McCaffrey R, Darby D, 2004, Subduction zone coupling and tectonic block rotations in the North Island, New Zealand. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109, 1–21.
- Walters R J, Holley R J, Parsons B, Wright T J, 2011, Interseismic strain accumulation across the North Anatolian Fault from Envisat InSAR measurements. *Geophysical Research Letters*, 38, 1–5
- Wang K, Wells R, Mazzotti S, Hyndman R D, Sagiya T, 2003, A revised dislocation model of interseismic deformation of the Cascadia subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108, 1–13.
- Wells D L, & Coppersmith K J, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

- Wessel P, Smith W H F, Scharroo R, Luis J F, Wobbe F, 2013, GMT 5: A major new release of the Generic Mapping Tools. *Eos Trans. AGU*, 94, 409–410.
- Westaway R, 2003, Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 5–46
- Wright T, Parsons B, Fielding E, 2001, Measurement of interseismic strain accumulation across the north anatolian fault by satellite radar interferometry, *Geophysical Research Letters*, vol. 28, no. 10, pp. 2117–2120.
- Yaltırak C, 1996, Tectonic history of the Ganos Fault System, *Turkish Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 8, 137-156.
- Yavaşoğlu H, Tarı E, Tüysüz O, Çakır Z, Altın M U, Tarı U, 2009, Description of Kinematics of the Central Part of North Anatolian Fault with Using Geodetic Measurements. 62. Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009. MTA- Ankara, Türkiye.
- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler Ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavasoglu H, Tari E, Tuysuz O, Cakir Z, Ergintav S, 2011, Determining and modelling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geophysical Research*. 51(5): 339–343.
- Yavaşoğlu H H, Alkan M N, Bilgi S, Alkan Ö, 2020, Monitoring aseismic creep trends in the İsmetpaşa and Destek segments throughout the North Anatolian Fault (NAF) with a large-scale GPS network, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.* 2020; 9, 25–40, <https://doi.org/10.5194/gi-9-25>.
- Yildirim C, Schildgen T F, Echtler H, Melnick D, Strecker M R, 2011, Late Neogene and active orogenic uplift in the Central Pontides associated with the North Anatolian Fault: Implications for the northern margin of the Central Anatolian Plateau, Turkey, *Tectonics*, 30, TC5005, <https://doi.org/10.1029/2010TC002756>
- Yolsal Çevikbilen S, Biryol CB, Beck S, Zandt G, Taymaz T, Adiyaman HE, Özacar AA, 2012, 3-D crustal structure along the North Anatolian Fault Zone in north-central

Anatolia revealed by local earthquake tomography. GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL, 819–849. <https://hdl.handle.net/11511/38088>

İnternet Kaynakları

- 1- <https://education.nationalgeographic.org/resource/plate-tectonics/>, 04.05.2024
- 2- <https://www.worldatlas.com/what-is-pangaea.html> ,06.05.2024
- 3- https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya%27n%C4%B1n_yerkabu%C4%9Fu, 06.05.2024
- 4- http://cografyaharita.com/dunya_jeoloji_haritalari.html ,06.05.2024
- 5- <https://www.britannica.com/science/plate-tectonics> ,07.05.2024
- 6- <https://evrimagaci.org/levha-hareketleri-plaka-tektonigi-dunya-yuzeyini-olusturan-plakalar-nelerdir-566> ,07.05.2024
- 7- <https://www.statista.com/statistics/263105/development-of-the-number-of-earthquakes-worldwide-since-2000/#statistic>, 24.05.2024
- 8- <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bilgi/depremnedir/index.htm#KONU4>, 27.05.2024
- 9- https://robmccaffrey.github.io/TDEFNODE/manual/tdefnode_manual.html, 22.06.2024
- 10- <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> , 16.08.2024
- 11- https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/ , 16.08.2024
- 12- https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/Two_new_satellites_added_to_Galileo_constellation_for_increased_robustness 02.11.2024

Köse Z, Aladoğan K, Alkan M N, 2023, Hassas Geometrik Nivelman ile Hassas Trigonometrik Nivelmanın Hassasiyetlerinin Karşılaştırılması; Obruk Barajı Örneği. 4.Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi Yıl:2023 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Aladoğan K, Alkan M N, Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H H, Özkan A, Solak H İ, 2021, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Orta Kesimindeki Güncel Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemi ile Belirlenmesi, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2021 Yılı Bilimsel Toplantısı.

Alkan M N, Aladoğan K, Köse Z, Alkan Ö, 2020, 2D and 3D Positioning Performance of UAV-Based Photogrammetry in Residential Regions. Hittite Journal of Science Engineering, 7(2), 115-123., <https://doi.org/10.17350/HJSE19030000180>.

Köse Z, Aladoğan K, Boyacı Ö, 2018, Mimarlık Ve Şehir Planlama Bölümü Alan Derslerinde Kullanılmak Üzere Koordinat Hesaplama Yazılımı Tasarımı. III. Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Köse Z, Boyacı Ö, Aladoğan K, 2018, Ölçme Uygulamaları Dersinde Geriden Kestirme Hesapları İçin Yazılım Tasarımı. III. Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Aladoğan K, Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H, Alkan R M, Alkan M N, Köse Z, İlçi V, Ozulu İ M, Tombuş F E, Şahin M, 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu - Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 997-1003., Doi: 10.5578/fmbd.60762.

Köse Z, Baybura T, Alkan R M, Gülal V E, Aladoğan K, Alkan M N, İlçi V, Ozulu İ M, Tombuş F E, Sahin M, 2017, Hassas Nivelman Yöntemi İle Deformasyon İzleme: Çorum Obruk Barajı Örneği. Avrasya Zirvesi, Uluslararası EJONS Matematik-Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Yavasoglu H, Alkan M N, Aladogan K, Ozulu I M, Ilci V, Tombus F E, Sahin M, Tiryakioğlu İ, Kıvrak S O, 2016, Ismetpasa and Destek Regions: Creeping or Accumulating Strain, European Geosciences Union General Assembly (EGU2016), Vienna, Austria, (Poster).

Gülal V E, Alkan R M, Alkan M N, İlçi V, Ozulu İ M, Tombuş F E, Köse Z, Aladoğan K, Şahin M, Yavaşoğlu H, Oku G, 2016, Measurement of Dam Deformations: Case Study of Obruk Dam(Turkey). European Geosciences Union General Assembly(EGU 2016) (Özet Bildiri/Poster).

Yavasoglu H, Alkan M N, Ozulu I M, Ilci V, Tombus F E, Aladogan K, Sahin M, Tiryakioğlu I, Kıvrak S O, 2015, Recent Tectonic Features of the Central Part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault, Hittite Journal of Science and Engineering, 2 (1): 77-83.

Yavaşoğlu H, Alkan M N, Ozulu İ M, İlçi V, Tombuş F E, Aladoğan K, Şahin M, 2014, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Oluşan Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Yöntemiyle İzlenmesi, 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Hitit Üniversitesi, Çorum

Taktak F, Demir H, Aladoğan K, 2011, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Hakemli Dergisi Örneğinde Sosyal Ağ Analizi (SNA), Hkm Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi, (3): 80-84