T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUZEY ANADOLU FAYI ORTA SEGMENTİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELERİN VE HIZLARIN BAĞIL VE PPP ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Hatice Nur TAŞ SÜER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Programı

Danışman

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Mart, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUZEY ANADOLU FAYI ORTA SEGMENTİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELERİN VE HIZLARIN BAĞIL VE PPP ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Hatice Nur TAŞ SÜER tarafından hazırlanan tez çalışması 12.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üye. Deniz ÖZ DEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Bihter EROL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmentindeki Yer Değiştirmelerin ve Hızların Bağıl ve PPP Analiz Yöntemleri ile Belirlenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hatice Nur TAŞ SÜER

İmza

.



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde değerli bilgi, görüş ve rehberliği ile bana yol gösteren, tüm çalışma ve yükseköğrenim hayatım boyunca sabırla dinleyen, umutsuzluk anlarımda bile beni ayağa kaldırıp yüreklendiren tez danışmanım Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Hasan DOĞAN'a en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Beni her daim destekleyen ve güç veren Elif İNCEİSMAİL'e ve Ömer Faruk SÜER'e, tezimi yazarken yollarımın kesiştiği Duygu ARICAN ÜSTEL'e ve Elif ARIKAN'a, motive edici konuşmaları ve yardımları için tüm dostlarıma çok ama çok teşekkür ederim.

Son olarak sadece tez çalışmam boyunca değil, eğitim hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, daima yanımda olan, tükenmez sabrı ve koşulsuz sevgisiyle her koşulda beni destekleyen sevgili anneme, babama ve kardeşime en derin teşekkürlerimi sunarım.

Hatice Nur TAŞ SÜER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 5

1.3 Hipotez 6

2 LEVHA TEKTONİĞİ, FAYLAR VE KAF 7

2.1 Levha Tektoniği 7

2.2 Faylar 10

2.3 Depremler ve Kuzey Anadolu Fayı 13

3 GNSS 17

3.1 Mutlak Konum Belirleme 19

3.1.1 Tek Nokta Konumlama (Single Point Positioning, SPP)..... 20

3.1.2 Hassas Mutlak Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP)... 20

3.2 Bağıl Konum Belirleme 23

3.2.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme..... 23

3.2.2 Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK, Real-Time Kinematic, RTK) Ölçme Yöntemi..... 25

3.3 GNSS Ağları 27

3.3.1 TUTGA..... 27

3.3.2 TUSAGA-Aktif..... 28

4 UYGULAMA 30

4.1 Çalışma Alanı..... 30

4.2 Verilerin Elde Edilmesi ve Kullanılan Formatlar 31

4.3 Bernese Yazılımı ile GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi 36

4.3.1 Bağıl Yöntem ile GPS verilerinin değerlendirilmesi..... 37
4.3.2 PPP Yöntemi ile GPS verilerinin değerlendirilmesi..... 38
4.4 Çalışma Bölgesindeki Hız ve Yer Değiştirme Vektörlerinin Belirlenmes.39
4.4.1 Çalışma Bölgesindeki Yer Değiştirme Vektörlerinin Belirlenmesi.....40
4.4.2 Çalışma Bölgesindeki Hız Vektörlerinin Belirlenmesi.....50

5 SONUÇ **60**

KAYNAKÇA **62**

A BAĞIL YÖNTEMLE ANALİZ SONUCU OLUŞAN ZAMAN SERİLER 68

B PPP YÖNTEM İLE ANALİZ SONUCU OLUŞAN ZAMAN SERİLERİ 86

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **105**

SİMGE LİSTESİ

$t_{f,1-\alpha}$	α güven aralığına gelen t dağılımı değeri
S_0^2	Bernese yazılımından elde edilen sonsal varyans
$\boldsymbol{Q_{xx}}$	Bernese yazılımından elde edilen kofaktör matrisi
$\hat{\boldsymbol{x}}$	Bilinmeyen vektörü
λ	Boylam
Δe	Doğu-batı doğrultusundaki toposentrik koordinat farkı
$\boldsymbol{x(t)_e, x(t)_n}$	Doğu ve kuzey yönlü toposentrik koordinatları içeren vektör
$\boldsymbol{R}$	Dönüşüm matrisi
s_u	Düşey bileşeninin standart sapması
Δu	Düşey doğrultudaki toposentrik koordinat farkı
φ	Enlem
α	Güven aralığı
S_{ve}	Hızların standart sapması
$\boldsymbol{Q_{ve}}$	Hız modelinin kofaktör matrisi
$\boldsymbol{V}$	Hız modeline ilişkin düzeltme vektörü
$\boldsymbol{u}(t_0)$	Hız vektörü
X_0, Y_0, Z_0	İlk periyodun kartezyen koordinatları
$\boldsymbol{C_{kar}}$	Kartezyen koordinat sistemindeki kovaryans matrisi
$\mathbf{A}$	Katsayılar matrisi
$\boldsymbol{F}$	Katsayılar matrisi
$\boldsymbol{C}$	Kovaryans matrisi
Δn	Kuzey-güney doğrultusundaki toposentrik koordinat farkı
mm	Milimetre
n	Ölçü sayısı
m	Parametre sayısı
f	Serbestlik derecesi
T	Test değeri
$\boldsymbol{l}$	Toposentrik koordinatları içeren matris
$\boldsymbol{C_{topo}}$	Toposentrik koordinat sistemindeki kovaryans matrisi
s_b	Yatay bileşenin standart sapması
q_{ve}	$\boldsymbol{Q_{ve}}$ hız modelinin kofaktör matrisinin köşegen elemanı
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	X, Y, Z bileşenleri kartezyen koordinat farkı

KISALTMA LİSTESİ

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CDDIS	The Crustal Dynamics Data Information System
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
CORS	Continuously Operating Reference Stations
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
GLONASS	GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GMF	Global Mapping Function
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPT	Global Pressure and Temperature
GZK	Gerçek Zamanlı Kinematik
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IGS	International GNSS Service
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
İHA	İnsansız Hava Aracı
QIF	Quasi Ionosphere Free
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
NAF	North Anatolian Fault
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NNR	No Net Rotation
PPP	Precise Point Positioning
PPK	Post Process Kinematic
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTK	Real-time Kinematic
SPP	Single Point Positioning
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Levha hareketleri 9
Şekil 2.2 Yanal hareket eden levha sınırları 9
Şekil 2.3 Fay mekaniği ile ilgili terimler 10
Şekil 2.4 Fayların sınıflandırılması 11
Şekil 2.5.a Eğim atımlı normal fay; **b** Eğim atımlı ters fay 11
Şekil 2.6 Oblik fay 12
Şekil 2.7.a Sağ yanal doğrultu atımlı fay; **b** sol yanal doğrultu atımlı fay 12
Şekil 2.8 KAF'da meydana gelmiş büyük ölçekli depremler 13
Şekil 2.9 Depremlerin doğudan batıya göçü 14
Şekil 3.1 Uydu takımları 17
Şekil 3.2 YTÜ İnşaat Fakültesi YLDZ00TUR referans istasyonu 18
Şekil 3.3 Uydularla Konum Belirleme Sistemleri 19
Şekil 3.4 Tek Nokta Konumlama 20
Şekil 3.5 SPP, PPP ve bağıl konumlama yöntemleri 21
Şekil 3.6 PPP tekniği 22
Şekil 3.7 Bağıl konumlama 23
Şekil 3.8 Gerçek Zamanlı Konumlama 27
Şekil 3.9 Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı 28
Şekil 3.10 TUSAGA-Aktif. 29
Şekil 4.1 Uygulama alanı 31
Şekil 4.2 2014-2015 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 45
Şekil 4.3 2014-2015 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 46
Şekil 4.4 2015-2017 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 47
Şekil 4.5 2015-2017 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 48
Şekil 4.6 2015-2021 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 49
Şekil 4.7 2015-2021 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları 50
Şekil 4.8 Bağıl çözümle elde edilen yatay hız alanı 56
Şekil 4.9 PPP çözümüyle elde edilen yatay hız alanı 57
Şekil 4.10 Bağıl çözümle elde edilen düşey hız alanı 58

Şekil 4.11 PPP çözümüyle elde edilen düşey hız alanı 59

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 İstasyonlara ait il ve yaklaşık enlem-boylam koordinat bilgileri.....32
Tablo 4.2 TUTGA noktaları ölçü günleri 34
Tablo 4.3 TUSAGA-AKTİF noktaları ölçü günleri.....35
Tablo 4.4 Yer Değiştirmelerin yatay düzlemdeki t-testi sonuçları (Bağıl).....41
Tablo 4.5 Yer değiştirmelerin yatay düzlemde t-testi sonuçları (PPP).....42
Tablo 4.6 Yer değiştirmelerin düşey düzlemde t-testi sonuçları (Bağıl) 43
Tablo 4.7 Yer değiştirmelerin düşey düzlemde t-testi donuçları (PPP).....44
Tablo 4.8 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (Bağıl).....51
Tablo 4.9 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (PPP).....52
Tablo 4.10 Hızların düşey doğrultudaki t-testi sonuçları (Bağıl) 54
Tablo 4.11 Hızların düşey doğrultudaki t-testi Sonuçları (PPP).....55

ÖZET

Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmentindeki Yer Değiştirmelerin ve Hızların Bağıl ve PPP Analiz Yöntemleri ile Belirlenmesi

Hatice Nur TAŞ SÜER

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Tektonik hareketler, yer kabuğunun sürekli hareket etmesi sonucu meydana gelir ve günümüzde levha tektoniği kuramı ile açıklanmaktadır. Yer kabuğunda meydana gelen hareketler fay hatlarını oluşturur. Levha hareketleri ile meydana gelen depremler can ve mal kaybı gibi sosyolojik ve ekonomik sonuçlar doğurur. Bu sebeple, ülkemizin doğusundan batısına uzanan Kuzey Anadolu Fayının (KAF) tektonik hareketlerinin incelenmesi, alınacak önlemler açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada KAF'ın orta kesimindeki yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak bağıl ve hassas mutlak konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemleri ile bölgenin tektonik özelliklerini yansıtan ve bölgede mevcut olan TUTGA, TUSAGA-Aktif ve Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonlarından oluşan, 37 noktalı bir ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir. İstasyonların 2009-2021 yılları arasındaki verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen hız ve yer değiştirme sonuçlarına t-testi uygulanmıştır. Analizi gerçekleştirilen tüm noktalar dikkate alındığında bağıl çözüm sonuçlarına göre noktaların, yaklaşık 15.26±1.27 mm/yıl kuzeybatı

yönünde, 1.12±4.47 mm/yıl aşağı yönde hareket ettiği görülmüştür. Benzer şekilde PPP çözüm sonuçlarına göre ise noktaların, yaklaşık 20.51±2.38 mm/yıl kuzeydoğu yönünde ve 1.51±4.94 mm/yıl yukarı yönde hareket ettiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda bağıl çözüm ile belirlenen değerler, Avrasya plakası (BUCU) sabit alınarak hesaplanan hızlardır ve konu ile ilgili diğer çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir. PPP çözümü ile elde edilen sonuçlar NUVEL-1A modeli ile uyumludur.

Anahtar Kelimeler: KAF, Bernese v5.2, PPP, bağıl konumlama, tektonik hareketler.

ABSTRACT

Determination of Displacements and Velocities in the Central Segment of the North Anatolian Fault by Relative and PPP Analysis Methods

Hatice Nur TAŞ SÜER

Department of Geomatic Engineering

Master of Science

Supervisor: Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Tectonic movements occur as a result of the continuous movement of the Earth's crust and are explained today by the theory of plate tectonics. Movements in the Earth's crust form faults. Earthquakes caused by plate movements lead to sociological and economic consequences, such as loss of life and property. Therefore, studying the tectonic movements of the North Anatolian Fault (NAF), which extends from the east to the west of our country, is significant for the precautions to be taken. This study aims to determine the movements of the Earth's crust in the central section of the NAF. In this context, an analysis has been conducted using relative and precise point positioning (PPP) methods with the Bernese v5.2 software. A network design consisting of 37 points, which reflects the tectonic characteristics of the region and includes existing TUTGA, TUSAGA-Active, and International GNSS Service (IGS) stations in the area, has been implemented. Data from these stations between 2009-2021 were evaluated. The t-test was applied to the velocity and displacement results obtained. Considering all the stations analyzed, according to the relative solution results, it is obtained that the stations moved approximately 15.26±1.27 mm/year northwest and 1.12±4.47

mm/year downward. Similarly, according to PPP solution results, it is seen that the stations moved approximately 20.51±2.38 mm/year northeast and 1.51±4.94 mm/year upward. The values determined according to this study are the velocities, which are computed by taking Eurasian plate (BUCU) as fixed and are consistent with other related studies. The results obtained with the PPP solution are compatible with the NUVEL-1A model.

Keywords: NAF, Bernese v5.2, PPP, relative positioning, tectonic movements.

1
GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte Küresel Navigasyon ve Uydu Sistemleri'nin (Global Navigation and Satellite Systems, GNSS), yer bilimlerindeki uygulama alanları genişlemiştir. Özellikle tektonik hareketlerin izlenmesi, deprem araştırmaları, yer kabuğu deformasyonlarının analizi, çevre felaketlerinin ve doğal afetlerin izlenmesi, deniz seviyesi değişimleri ve atmosfer bilimlerinde kullanılmaktadır. GNSS verileri, yüksek doğruluklu konum belirleme ve sürekli gözlem imkanları sunmakta, karmaşık jeolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına ve doğru şekilde modellenmesine olanak sağlamaktadır.

Deprem, ülkemizin karşılaştığı önemli doğal afetlerden biridir ve geçmişte yaşanılan maddi ve manevi kayıplar, bu konuda yapılan araştırmaların ve önlemlerin hayati önem taşıdığını göstermektedir. Yer kabuğu hareketlerinin riskli bölgelerde yakından takip edilmesi, depremlerin yol açtığı zararların minimize edilmesi ve bu doğa olayı ile daha etkin bir şekilde mücadele edilmesi açısından da büyük önem arz etmektedir.

1.1 Literatür Özeti

KAF, Türkiye'nin kuzeyindeki birçok il merkezinden geçmektedir. Bu bölgelerde yapılaşmanın ve nüfusun yoğun olması, gerçekleşen depremlerde çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuştur. 1948 yılında İhsan Ketin tarafından keşfedilen KAF, tüm dünyadaki bilim insanları tarafından ilgiyle takip edilmektedir (Demirtaş, 2019). KAF Anadolu'nun iç kesimlerine doğru uzanan dallara bölünmüştür. Ancak asıl aktivite hala ana kol üzerindedir (Yavaşoğlu vd., 2011).

GNSS deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrasında meydana gelen hareketlerin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir (Yavaşoğlu ve Tarı, 2010). Ülkemizde 1999 yılında kurulumu tamamlanan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) ve 2009 yılında tamamlanan Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemlerinin de aktif çalışmaya başlamasıyla birlikte, tektonik hareketlerin belirlenmesi çalışmalarındaki hassasiyet artmıştır (Kurt vd., 2020).

Özener vd. (2010) çalışmasında Dünya'nın en sismik ve aktif faylarından olan KAF'ın doğu kısmının kinematiğinin belirlenmesini amaçlamıştır. Deformasyon

bölgesi dışına tesis edilen 14 yeni istasyonun jeodezik gözlemleri, 3 GPS ölçü kampanyası olacak şekilde, 12 aylık aralıklarla yaklaşık 70 000 km2'lik alanda ölçüm ile gerçekleştirilmiştir. Avrasya plakası sabit belirlenen hızların yatay bileşende 16 ile 24 mm/yıl arasında değiştiği belirtilmiştir.

Tatar vd. (2012) çalışmasında KAF'ın doğu kısmının GPS ölçümleriyle kabuk deformasyonunun ve kinematiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. GPS hızlarının ve KAF'ın doğu kısmındaki kayma oranının araştırılması için, fay bölgesinin her iki tarafına (Tokat ile Erzincan arasında) 36 noktadan oluşan bir GPS ağı kurulmuş ve istasyonlar 2006 ile 2008 yılları arasında ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, KAF'ın kayma oranının yaklaşık 400 km içinde 16.3±2.3 mm/yıldan 24.0±2.9 mm/yıla doğru arttığını göstermektedir.

Yavaşoğlu ve Tarı (2010) çalışmasında KAF'ın orta kesiminde yer alan ve nispeten en büyük yan kolların hareketlerini, GPS ve Yapay Açıklıklı Radar İnterferometri (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) yöntemleri kullanarak belirlemiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Bu amaçla 16 noktadan oluşan bir GPS ağı oluşturulmuş ve 4 yıllık gözlem verileri değerlendirilmiştir. Noktaların gözlem süresi 24 saattir. Analiz aşamasında 11 IGS noktası da ağa dahil edilmiş ve veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen hızlar, Avrasya plakası referans alınarak hesaplanmıştır. InSAR metodunun atmosferik etkiler ve topografya sebebiyle beklenen sonuçları veremediği görülürken, GPS verilerinin analizi, yan kolların ana koldan nispeten daha yavaş hareket ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, KAF'ın ana kolundaki hareket hızı yılda 20.5±1.8 mm/yıl olarak tespit edilmiştir.

Yavaşoğlu vd. (2011) çalışmasında KAF'ın orta kısmının tektonik hareketinin modellenmesini amaçlamışlardır. Bunun için 4 yıl boyunca 16 noktanın toplam 4 kampanya ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanının çevresindeki Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) ağına dahil noktalara göre çözümler gerçekleştirilmiştir. Avrasya plakası sabit alınarak bölgenin hız alanı oluşturulmuştur. Sonuçlar KAF'ın orta kısmına ait hızın 20.5±1.8 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Karabacak vd. (2011) çalışmasında KAF'ın İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde krip oranları LIDAR kullanılarak belirlenmiştir. Fay üzerinde üç insan yapımı

duvar, Haziran 2007 ile Kasım 2009 arasındaki 3 yıl boyunca LIDAR kullanılarak izlenmiştir. Yapılan araştırmalar İsmetpaşa yakınlarındaki iki istasyonda yılda 6.8–10.0±4.0 mm ve 9.1–10.1±4.0 mm, Destek segmentinde ise yılda 6.0–7.2±4.0 mm krip oranları belirlemiştir. LIDAR kullanılarak hesaplanan krip oranları, hem İsmetpaşa hem de Destek sahalarında jeomorfik ve jeodezik krip oranlarından (20-25 mm/yıl) daha düşüktür.

Özener vd. (2013) çalışmasında İsmetpaşa segmentindeki hareket araştırılmıştır. Bu amaçla arazide mevcut 5 noktadan oluşan bir ağ tasarlanmıştır. Ağdaki noktalara 2005-2011 yılları arasında toplam 6 kampanya ölçümü yapılmıştır. Noktaların gözlem süresi 10 saattir. Veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile analiz edilmiştir. Avrasya sabit çözüm sonucu noktaların 15.8±1 mm/yıl kuzeybatı yönüne hareket ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tiryakioğlu vd. (2017) çalışmasında GNSS verilerini, 24 Mayıs 2014 tarihinde meydana gelen Gökçeada-Samothraki depreminin (Mw: 6.9) deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası deformasyonunu ve hızını araştırmak için kullanmıştır. Çalışma alanında TUSAGA-AKTİF ağı GNSS istasyonlarından elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Çalışma boyunca 12 istasyonun günlük koordinat zaman serileri oluşturulmuş, istasyonların yer değiştirmelerinin belirlenmesi için değerlendirilmiştir. Deprem sırasında, YENC ve CANA istasyonlarında sırasıyla kuzeybatı yönünde yaklaşık 7 ve 30 mm'lik, IPSA istasyonunda ise kuzeydoğu yönünde 20 mm'lik bir deformasyon gözlenmiştir. Deprem sırasında diğer istasyonlarda önemli bir değişikliğin olmadığı vurgulanmıştır.

Alçay vd. (2019) çalışmasında geliştirilmiş bir yer değiştirme simülatörü cihazı kullanarak bağıl ve PPP yöntemlerinin, yatay ve düşey yer değiştirme izleme performansını ve yer değiştirmelerin yönünün belirlenmesini araştırmıştır. 20 simüle edilmiş yer değiştirme testi yapılmıştır. Veri süresinin etkisini incelemek için 24, 12, 8, 4 ve 2 saatlik veri setleri analiz edilmiştir. Analizler her veri seti için bağıl ve PPP uygulamalarında sırasıyla GAMIT/GLOBK ve GIPSY/OASIS bilimsel yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen yer değiştirmeler, simüle edilen (gerçek) yer değiştirmelerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra istatistiksel anlamlılık testi uygulanmıştır. Deney sonuçları, 24 saatlik veri setleri kullanılarak bağıl yöntemin 6.0 mm yatay ve 12.3 mm düşey yer değiştirme tespit edebileceğini, PPP yönteminin ise sırasıyla 8.1 mm ve 19.2 mm yatay ve düşey yer

değiştirmeleri tespit edebileceğini göstermektedir. Minimum tespit edilen yer değiştirmelerin, zaman aralıkları kısaldıkça büyüdüğü ortaya koyulmuştur.

Gelişkan vd. (2018) çalışmasında oluşturulan bir mekanizma üzerinde, GNSS alıcısını doğu-batı yönünde 1 cm aralıklarla kaydırarak PPP yöntemiyle nokta konumlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Ham veriler, Bernese v5.2 yazılımı ve internet tabanlı PPP hizmetleri (CSRS PPP ve Magic GNSS) ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrasında elde edilen koordinatlar, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm ve 5 cm farklılıklarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, 1 cm, 2 cm, 3 cm ve 5 cm'de en iyi sonuçlar sırasıyla CSRS PPP, Magic GNSS ve Bernese v5.2 GNSS yazılımı ile elde edilmiştir. Ayrıca, 4 cm için en iyi sonuçları sırasıyla Magic GNSS, Bernese v5.2, ve CSRS PPP vermiştir.

Güneş vd. (2022) çalışmasında, Marmara Bölgesi'ndeki 8 GNSS istasyonundan oluşan ağdan edinilen 4 yıllık bir veri setini incelemiştir. Her yıl için seçilen 7 günlük veri setleri kullanılarak yapılan analizlerde, bağıl çözümler Bernese yazılımı aracılığıyla Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilmiş, PPP çözümleri ise APPS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Her iki çözümün sonuçları, Avrasya plakası sabit Bernese çözümleriyle karşılaştırılmıştır. Sayısal değerlerin karşılaştırılması; kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerindeki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, seçilen bölgedeki tektonik çalışmaların büyük bir kısmında kullanılan Avrasya plakası sabit; kuzey, doğu ve yukarı yer değiştirme/hız bileşenlerinin PPP ile doğrudan elde edilebileceğini göstermektedir. Ancak, bu durumun Marmara Bölgesi'nin her alanı için geçerli olmayabileceği belirtilmiştir.

NUVEL-1A, levha tektoniği çalışmalarında kullanılan bir referans modelidir ve Dünya'nın katı litosferik levhalarının hareketini tanımlar. Bu model, levhaların açısal momentumunun sıfır olduğu sıfır-net dönüklük (No Net Rotation, NNR) koşulu temel alınarak oluşturulmuştur ve yaklaşık son 3 milyon yıl içindeki manyetik deniz tabanı yayılımı anomalilerine dayanır. Söz konusu model, elde hiçbir nokta hız bilgisi olmadan, eski nokta konumlarından yeni nokta konumlarının üretilmesinde kullanılabilmektedir. NUVEL-1A, katı levhaların hareketlerini anlamada ve eski nokta konumlarından yeni nokta konumları üretmede kullanılabilir, yani levha hareketlerini zaman içinde izlemek için bir araçtır (Kurt, 2009).

TUTGA noktalarında kampanya tipi ölçüm yapılmaktadır ve bu sebeple bazı noktalarda homojen ölçü aralıkları oluşamamaktadır. Bu durum ilgili noktaların hızlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple Kurt vd. (2020) çalışmasında Türkiye ve çevresindeki GNSS noktalarının yüksek duyarlıklı koordinatları ve hızlarını belirlemek amacıyla, 2015-2018 yıllarında tüm TUTGA'ları (654) kapsayan kampanya ölçümleri gerçekleştirmiştir. Daha sonra 1992-2019 yılları arasındaki tüm TUTGA kampanya ölçümleri ile TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük verileri yeniden analiz edilmiştir. Önceki analizlere oranla daha fazla epok veri bulunması, ilgili günlere ait yörünge ve yer dönüklük parametrelerinin iyileştirilmesi, değerlendirme stratejilerindeki gelişmeler sebebiyle analizlerde doğruluk artmıştır. Veri analizinde GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır.

Kabuk deformasyon çalışmaları için, hızların ITRF2014 gibi bir referans çerçevesinde değil, Avrasya gibi plaka sabitli bir referans çerçevesinde ele alınması daha bilgilendiricidir. Plaka sabitli bir referans çerçevesi tanımlamak için farklı yaklaşımlar tutarlı hız alanları üretebilir ve bir bölge üzerinde tektonik deformasyonu analiz etmek için yeterli olabilir. Ancak, farklı çalışmalardan gelen hızları birleştirmek, referans çerçevesi tanımlamalarından kaynaklanan farklılıklar nedeniyle dikkat gerektirir. Farklı kaynaklardan gelen hızları karşılaştırmak veya birleştirmek için, önceki sonuçlarla aynı stratejiyi kullanmak veya hız alanları arasında uygun dönüşümler yapmak tavsiye edilmektedir (Kurt vd., 2023). Kurt vd. (2023) çalışmasında, Kurt vd. (2020) çalışmasında kullanan verilere 186 istasyon daha ekleyerek ve toplamda 836 istasyonun verilerini kullanarak hız alanı belirlemiştir. Veri analizinde GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Modellenen kayma hızları, KAF için yılda 20 ile 26 mm/yıl arasındadır.

1.2 Tezin Amacı

GNSS ile farklı ölçü süresi, ölçüm yöntemi, alıcı ve analiz yazılımına bağlı olarak farklı hassasiyette sonuçlar elde edilebilir. Bu tez çalışmasının amacı, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) orta kesimindeki olası hareketi, gerçekleştirilen statik ölçümleri bağıl ve hassas mutlak konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemleri ile değerlendirerek belirlemektir. Analiz, GNSS teknolojisinin sağladığı yüksek doğruluklu verileri kullanarak gerçekleştirilmiştir. Fay hattı boyunca

meydana gelen yer hareketlerinin hızını, yönünü ve zaman içindeki değişimlerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı ve elde edilen bulgular ile bölgedeki deprem risklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, aynı zamanda, KAF'ın diğer bölgelerine göre daha az çalışma bulunan orta kesimindeki yer değiştirmeleri ortaya koymayı hedeflemektedir.

1.3 Hipotez

Tektonik plakaların sabit ve durağan olmaması ve sürekli hareket ediyor olması tektonik plakalar üzerinde bulunan GNSS istasyonlarının konum bilgilerinin değişmesine neden olmaktadır. Literatürdeki tektonik çalışmalarda GNSS statik ölçümlerin sıklıkla bağıl yöntem ile değerlendirildiği görülmektedir. GNSS istasyonlarının uzun süreli zaman serileri analizleri ile de tektonik plakaların hız ve yön bilgileri elde edilebilmektedir. Ancak bu hız ve yön bilgileri GNSS çözüm stratejisi ile doğrudan ilgilidir. Bağıl yöntemde referans olarak seçilen nokta veya noktalar analiz sonuçlarına da etki etmektedir. Bu nedenle mutlak ve bağıl değerlendirme yöntemleri sonucunda elde edilen hız bilgisinin farklı büyüklükte ve yönde olması beklenmektedir. Ayrıca, Avrasya plakasında yer alan GNSS istasyonlarının Avrasya sabit bağıl çözümlerde elde edilecek hız büyüklükleri, diğer istasyonlara göre daha küçük olmalıdır.

2
LEVHA TEKTONİĞİ, FAYLAR VE KAF

Yer bilimciler, Dünya'nın yüzeyinde meydana gelen deprem, okyanus havzaları, volkanik patlama, dağ oluşumu gibi dinamik ve jeolojik olayları anlamak amacıyla uzun yıllardır çalışmalar yapmaktadır. Jeolojik araştırmaların temelini, Dünya'nın dinamik yapısını kavramak oluşturur. Bu anlayışın merkezinde, Dünya'nın katmanlı yapısı ve bu yapının sürekli hareket halindeki levhalarla nasıl şekillendiği yatmaktadır. Tarih boyunca bilim insanları, Dünya yüzeyindeki değişimleri ve iç yapısını açıklamaya yönelik çeşitli teoriler geliştirmişlerdir. Levha hareketlerinin ve bu hareketlerin yerküreyi nasıl şekillendirdiğinin anlaşılması, levha tektoniği teorisinin gelişimine kadar uzanır. Bu teori, kıtaların ve okyanus tabanlarının nasıl oluştuğunu, nasıl değiştiğini ve Dünya'nın yüzeyindeki jeolojik olayların altında yatan nedenleri açıklamaktadır (Rogers ve Santosh, 2004). Bu bölümde, öncelikle levha tektoniğinin kendisi ve levha hareketleri ele alınacak, ardından fay kavramı, fay çeşitleri, depremler ve KAF üzerinde durulacaktır.

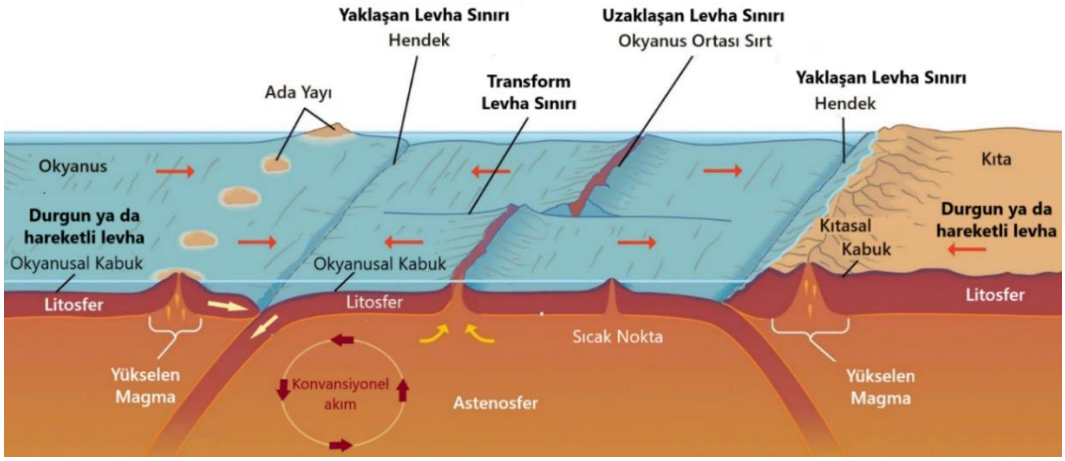
2.1 Levha Tektoniği

Levha Tektoniği Kuramı, aslında kendinden önceki birkaç jeolojik kuramın birleşimi şeklinde düşünülebilir. Alfred Wegener 1915'te, bir zamanlar var olan tek kara parçası Pangea ve çevresindeki Pantalassa Okyanusu fikrini ileri sürerek kıtaların kayması hipotezini geliştirmiştir (Wegener, 1915). 1928'de Arthur Holmes, hem kıtaların hem okyanusların hareket ettiğini ve bunun mantodaki konveksiyonel akımdan kaynaklandığını öne sürmüştür (Holmes, 1928). 1961'de Hess ve Dietz, Deniz Tabanı Yayılması Kuramı'nı ortaya koymuş, bu kuram kıtaların okyanusla birlikte hareket ettiğini savunmuştur (Hess, 1962; Dietz, 1961). 1965'te Wilson, dünya üzerindeki hareketli kara parçalarını ilk kez tanımlamış ve levha adını vererek Levha Tektoniği Teorisi'ni geliştirmiştir. Ayrıca Wilson, okyanus ortası sırtları ve hendeklerin sonlandığı bölgelerde, hareketin yanal atımlı faylar aracılığıyla farklı bir şekilde gerçekleştiğini göstererek bu faylara transform fay adını vermiştir (Wilson, 1965). 1967-1968 yıllarında McKenzie, Parker ve Morgan levha tektoniği modelini daha da geliştirerek ters faylanma ve levha hareketlerinin kinematiği gibi kavramları üretmişlerdir (McKenzie ve Parker, 1967;

Morgan, 1968). Bu kuramlar, Dünya'nın jeolojik yapısı ve yüzeyindeki değişimler hakkında önemli fikirler sunarak Levha Tektoniği Teorisi'nin temelini oluşturmuşlardır. Günümüzde Levha Tektoniği; Dünya'nın katı dış tabakası olan litosferin altındaki sıcak ve akışkan astenosfer üzerinde çeşitli kuvvetler (konveksiyonel akım vb.) aracılığıyla hareket ederek parçalara bölündüğünü öne süren teoridir ve modern jeolojinin temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca levha olarak adlandırılan bu parçaların büyüklükleri binlerce kilometrekareye ulaşabilir (Frisch vd., 2011; Meinhold ve Şengör, 2019; Köksal, 2011).

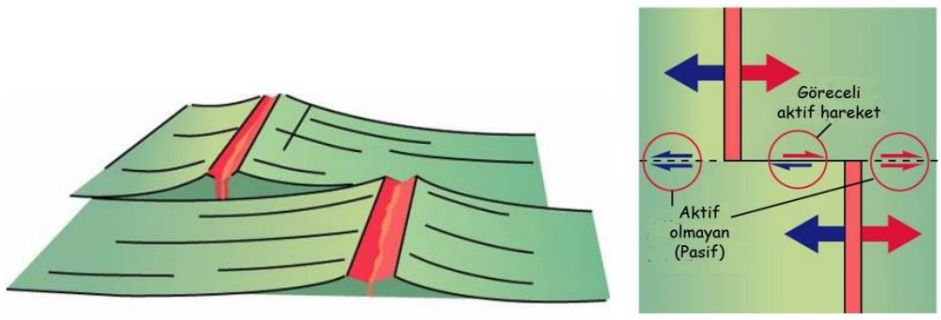
Dünya üzerinde yedi büyük levha ve çok sayıda küçük levha bulunur. Büyük levhalar; Avrasya, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Afrika, Avustralya, Antarktika ve Pasifik Levhalarıdır ve genellikle üzerinde bulundukları kıtalara göre isimlendirilirler. Küçük levhalar arasında Anadolu, Karayip, Nazca, Arap ve Ege Denizi Levhaları bulunmaktadır (StMUG, 2012).

Levhaların hareketi; uzaklaşan, yaklaşan ve yanal hareket eden levhalar olarak üç ana kategoriye ayrılabilir (Şekil 2.1). İki levha birbirinden uzaklaştığında, yer kabuğu incelir ve manto yüzeye çıkarken levhalar arasındaki boşluğu simetrik şekilde doldurur. Bu süreç yarıkların, okyanus ortası sırtlarının veya yeni bir okyanusun oluşumuna sebep olabilir (Frisch vd., 2022; StMUG, 2012). Diğer yandan levhalar birbirine doğru yaklaştığında bu hareket, sıkışma ya da çarpışma ile sonuçlanabilir. Çarpışma olması durumunda bir levha diğerinin altına dalar, çarpışma olmadığı durumda ise sıkışma meydana gelir. Levhaların birbirine yaklaşması genellikle volkanizma, dağ oluşumu ve volkanik ada yayları gibi jeolojik olayların meydana gelmesine yol açar (Frisch vd., 2011; StMUG, 2012).



Şekil 2.1 Levha hareketleri (Rafferty, 2024'ten değiştirilerek.)

Levhalar; fay hatları boyunca birbirine ters, yanal (transform) yönde hareket edebilir (Şekil 2.2). Levhalar birbirinden uzaklaşmadığı için alta dalarak kaybolan ya da uzaklaştığı için yüzeye çıkan litosfer bulunmaz, başka bir deyişle yanal hareket eden faylarda fay yüzeyi oluşmaz (StMUG, 2012). Ancak bu durum zemin çatlakları ve deprem oluşumuna yol açmaktadır. Yanal hareket eden levhalar, hareket şekli olarak doğrultu atımlı faylara benzerler, sağ yanal ve sol yanal olabilirler ancak çalışma prensipleri doğrultu atımlı faylardan farklıdır (Bhattacharya, 2022). Ayrıca bütün yanal hareket eden levha sınırları doğrultu atımlıdır ancak doğrultu atımlı fay daha genel bir kavramdır. Yanal hareket tektonik plaka içinde veya dışında da olabilir. Yanal hareket eden levhalar genellikle daha büyük ölçeklidir ve daha uzun fay hatları oluşturur. Doğrultu atımlı faylar ise daha küçük ölçekli olabilir ve çeşitli boyutlarda görülebilir. Yanal hareket eden levhalar, sonlandıkları yerde başka bir tür levha sınırına dönüşmektedir (Frisch vd., 2022). San Andreas Fayı ve KAF, iki yanal hareket eden kıtasal levha arasında oluşmuştur (Aladoğan, 2017).

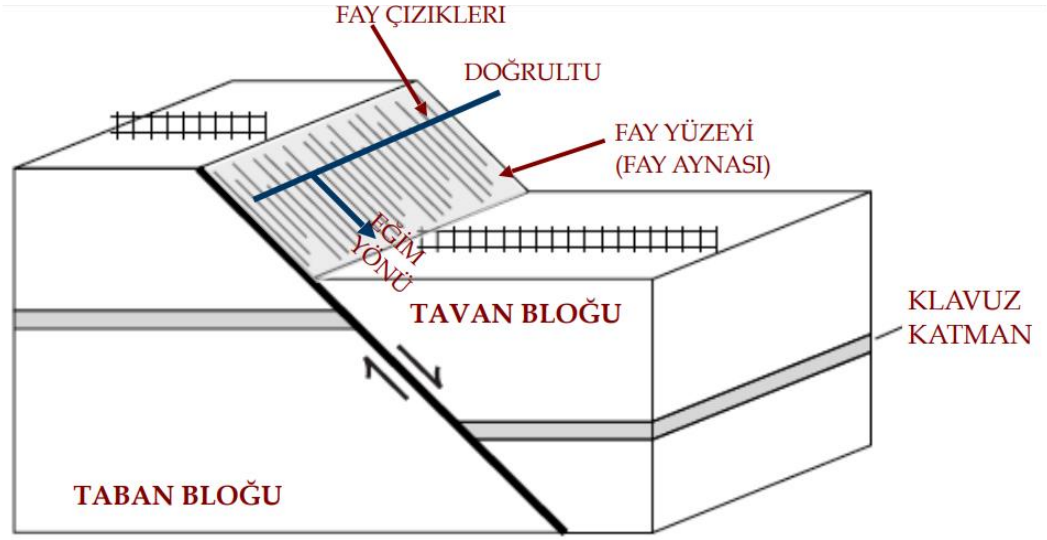


Şekil 2.2 Yanal hareket eden levha sınırları (Işık, 2023)

2.2 Faylar

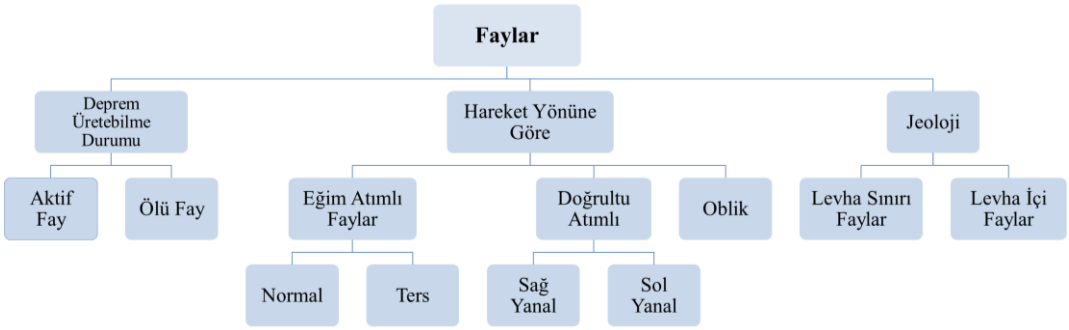
Levhalar, Dünya'nın yer kabuğunu oluşturan büyük, katı bloklardır ve sürekli olarak hareket ederler. Bu hareket, birbirine temas eden levhalar arasında gerilme ve sıkışma olaylarına yol açar ve levhalar üzerinde yüzyıllarca devam eden enerji birikmesine sebep olur (Tiryakioğlu, 2012). Bir levhanın diğer levhanın hareketini engellemesi ve bu kuvvetin sürtünme kuvvetini aşması durumunda, yer kabuğunda bir kırılma meydana gelir. Kayaçların kırılarak ve birbirine göre kayarak yer değiştirdiği bu süreç, faylanma olarak adlandırılır. Faylanma sırasında oluşan kırılma yüzeyleri boyunca iki kaya bloğu, bu yüzeylerin birinde veya her ikisinde de kayarak birbirine göre yer değiştirir. Kırılmanın meydana geldiği bu kısma fay veya fay hattı, çok sayıda küçük faydan oluşan bölgeye fay zonu denir. Fay hatları, depremler gibi doğal olaylarla ve Dünya'nın yüzey şekillerinin oluşumuyla yakından ilişkilidir ve gezegenin jeolojik dinamiklerinin temel bir bileşenidir (Ketin, 1973).

Faylanma sürecinde, hareketin meydana geldiği bloklar arasındaki düzlem fay düzlemi olarak adlandırılır. Bu düzlemin üzerinde kalan kısma tavan blok, altında kalan kısma ise taban blok adı verilir (Şekil 2.3) (Kartal 2020). Bu bloklar, fay düzlemi ile ayrılmış ve kuvvetin uygulandığı yönlerde hareket eden kayaçlardır.



Şekil 2.3 Fay mekaniği ile ilgili terimler (URL-1)

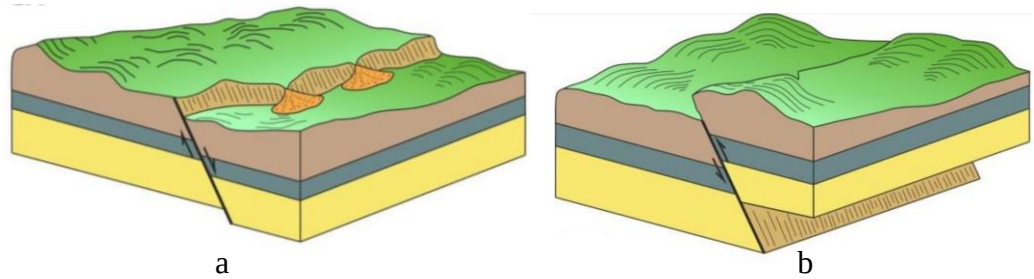
Faylar; deprem üretebilme kabiliyetlerine, hareket yönlerine ve jeolojilerine göre sınıflandırılırlar (Köksal, 2011). Bu sınıflandırma Şekil 2.4'te özetlenmiştir.



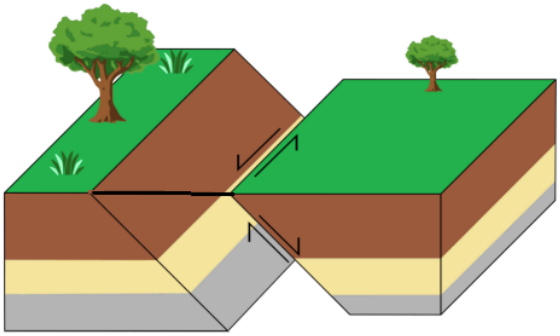
Şekil 2.4 Fayların sınıflandırılması (URL-1**;** Alden, 2020; Kartal, 2020'den değiştirilerek.)

Deprem üretebilme potansiyellerine göre faylar, aktif ya da diri fay ve ölü fay olarak gruplandırılabilirler. Yakın geçmişte kırılmış ve gelecek zamanda da deprem üretme potansiyeli yüksek olan faylara aktif ya da diri fay, uzun zamandır deprem üretmemiş faylar ise ölü fay şeklinde adlandırılmaktadır (Afad, t.y., Köksal, 2011).

Faylar hareket yönlerine göre; eğim atımlı, doğrultu atımlı ve oblik olarak sınıflandırılabilirler. Hareketin eğim doğrultusunda gerçekleştiği faylara eğim atımlı (dip-slip) faylar denir. Normal ve ters faylar eğim atımlı faylardır. Normal fay, fay düzleminin yer çekimi ile aynı yönde, yani taban bloğunun aşağı yönlü hareket ettiği fay çeşididir (Şekil 2.5.a). Bu faylara normal fay denmesinin sebebi, fay düzleminin yer çekimi yönünde hareket etmesidir (Alden, 2020). Ters/bindirme fay (Şekil 2.5.b) ise yakınlaşan levhalar arasında gerçekleşir. Taban bloğu yukarı yönlü hareket ederken diğer taban bloğu hareket etmez (Köksal, 2011). Oblik (eğik/yanal/verev) faylar ise hem yatay yönde hem düşey yönde atımın gerçekleştiği fay tipidir (Şekil 2.6) (Alden, 2020; Köksal, 2011; Frisch vd., 2011).

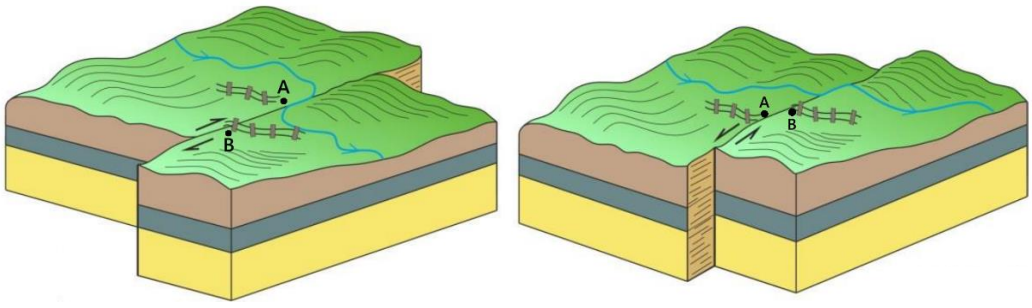


Şekil 2.5.a Eğim atımlı normal fay; **b** Eğim atımlı ters fay (Işık, 2023)



Şekil 2.6 Oblik fay (Andrei, 2023)

Doğrultu atımlı/yanal faylarda blok hareketleri ters yönlüdür ve hareket yatay düzlemde gerçekleşir (Şekil 2.7) (Köksal, 2011). Düşey yönlü bir hareket olmadığı için tavan ve taban blok yoktur. Doğrultu atımlı faylar; yönlerine göre sağ yanal doğrultu atımlı faylar ve sol yanal doğrultu atımlı faylar olarak belirtilir. Fay yönü, bulunulan blok sabit kabul edildiğinde diğer bloğun hareket yönüne bakılarak tayin edilir. Örneğin Şekil 2.7.a, sağ yanal doğrultu atımlı fayı gösterir, bunun sebebi A noktasında durulduğunda B noktası sağa doğru hareketli, B noktasında durulduğunda ise A noktası sağa doğru hareketli gibi görülmesidir. Genellikle yanal hareket (Transform Plate Boundary) yapan levha sınırlarında görülür. En ünlü faylardan biri olan California'daki San Andreas Fayı ve bu tez çalışmasının konusu olan KAF, sağ yanal doğrultu atımlı faylardır (Köksal, 2011; Aladoğan, 2017; Kartal, 2020). San Andreas Fayı, Pasifik ve Kuzey Amerika levhalarının sınırında yer alır ve iki okyanus sırtını birbirine bağlar (Ketin, 1976).



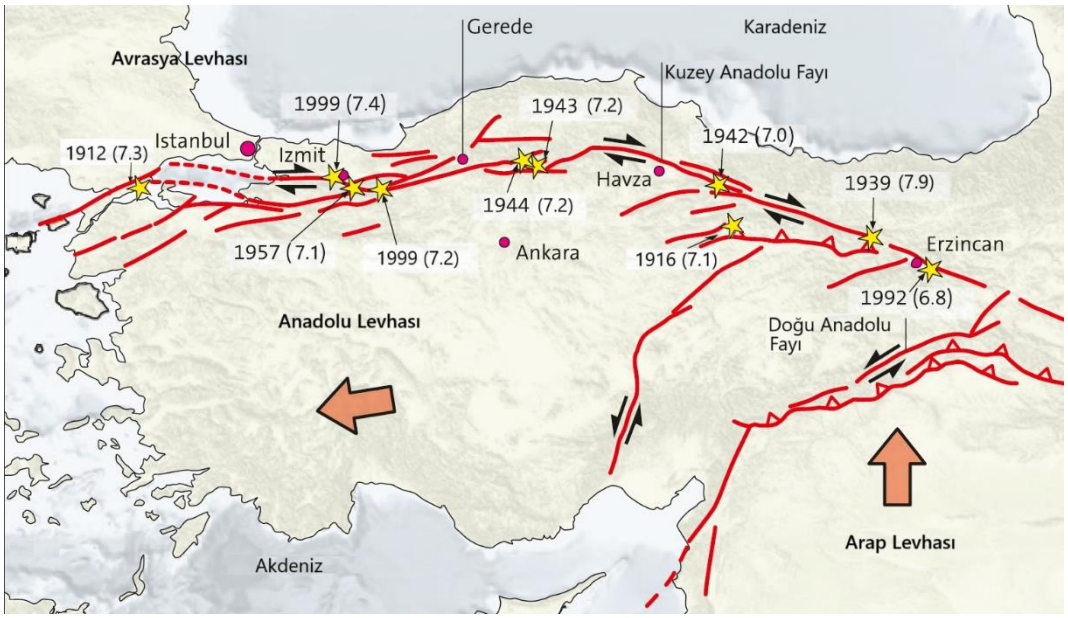
a b

Şekil 2.7.a Sağ yanal doğrultu atımlı fay; **b** sol yanal doğrultu atımlı fay (Işık, 2023)

2.3 Depremler ve Kuzey Anadolu Fayı

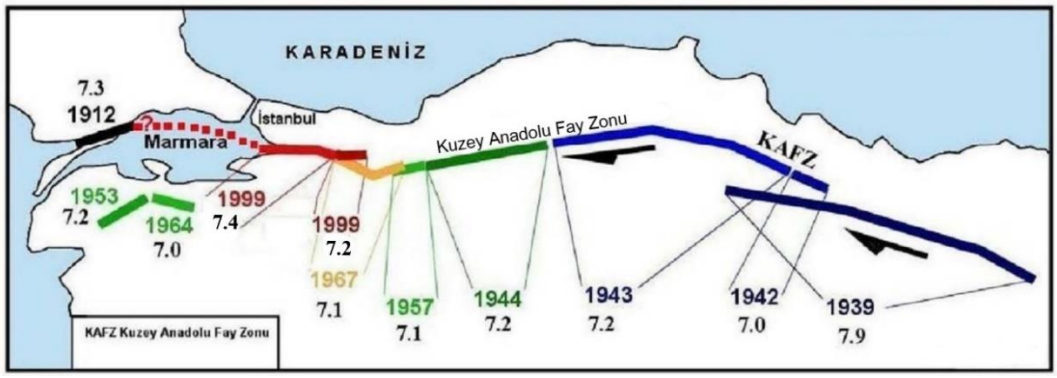
KAF, karmaşık davranışı ve sismik geçmişiyle dikkat çeken, dünyanın en önemli ve üzerinde en çok çalışılmış doğrultu atımlı aktif faylarından biridir. Türkiye'nin kuzeyinde yaklaşık 1200 kilometre boyunca uzanan KAF (Şekil 2.8), doğuda Bingöl Karlıova'dan başlayarak Saros Körfezi boyunca bir yay şeklinde uzanmaktadır (Demirtaş, 2019). Bu hat aynı zamanda Anadolu Levhası ile Avrasya Levhası arasındaki sınırı oluşturmaktadır. Anadolu Plakası, Arabistan Plakasının itmesiyle, iki parmak arasındaki bir çekirdeği sıkıştırır gibi batıya doğru sıkışır. Bu sürece kıtasal kaçış veya blokların tektonik kaçışı denir (Frisch vd., 2022).

1939 Erzincan depremi sonrası araştırmalara konu olan KAF, ilk kez 1948 yılında Türk jeolog İhsan Ketin tarafından ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (Demirtaş, 2019). KAF; doğudan batıya uzanırken önce Bolu civarında bir kola sonra da Geyve'nin batısında üç kola ayrılmaktadır (Şengör, 1996). Bu güzergaha ek olarak ana kollardan doğu, orta ve batı kısımlardan Anadolu'nun iç kısımlarına ağaç dalları şeklinde yayılmaktadır. KAF diri bir faydır ve ana aktivitesi ana kol üzerindendir. Özellikle orta kesimindeki yan kollar, bu kesimi bloklara ayırır (Yavaşoğlu ve Tarı, 2010). Bu fay hem uzunluğu hem de aktivitesi açısından önemli olup, sismoloji ve deprem tehlikesi analizinde kritik bir çalışma alanıdır.



Şekil 2.8 KAF'da meydana gelmiş büyük ölçekli depremler (Frisch vd., 2022; URL-2'den değiştirilerek.)

KAF'ın sismik tarihi, özellikle 20. yüzyılda ve 21. yüzyılın başlarında meydana gelen birçok yıkıcı depremle belirginleşmiştir. Yaşanmış büyük depremler arasında 1912 Şarköy-Tekirdağ (7.3 Mw), 1916 Teknecik-Tokat (7.1 Mw), 1939 Erzincan (7.9 Mw), 1942 Erbaa-Tokat (7.0 Mw), 1943 Ilgaz-Çankırı (7.2 Mw), 1944 Ulumescit-Bolu (7.2 Mw), 1957 Gölyaka-Düzce (7.1 Mw), 1949 Erzincan (6.7 Mw), 1992 Erzincan (6.8 Mw), 1999 Başiskele-Kocaeli (7.4 Mw) ve Uğur-Düzce (7.2 Mw) depremleri bulunmaktadır (Şekil 2.8) (URL-2). Bu olaylar, fayın yırtılma yayılımının ve deprem tekrarlama modellerinin anlaşılmasında ilerlemelere yol açan kritik veriler sağlamıştır. Ayrıca kayıt altına alınmış depremlere göre 1939 Erzincan depremi sonrasında KAF'ın ana kırık hattı boyunca yaklaşık on yıl arayla ve batıya doğru düzenli şekilde ilerleyen bir dizi büyük depremler gerçekleşmiştir (Şekil 2.9) (Kalafat, 2011).



Şekil 2.9 Depremlerin doğudan batıya göçü (Kalafat, 2011; URL-2'den değiştirilerek.)

Deprem tahmininde, levha sınırlarında meydana gelen fay çizgilerinin araştırılması ve takip edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu kapsamda, çeşitli disiplinlerin iş birliği ve bilimsel bilginin ortaklaşa değerlendirilmesi büyük bir değer taşımaktadır (Yavaşoğlu ve Tarı, 2010).

KAF aynı zamanda jeoloji bilimi için de çok önemlidir. Doğrultu atımlı fayların mekaniğini ve deprem oluşum dinamiklerini anlamak için eşsiz bir doğal laboratuvar sağlamaktadır. Devam eden araştırmalar, deprem tahmin modellerini iyileştirmeyi ve depremlere dayanabilecek daha sağlam bina tasarımları geliştirmeyi amaçlamaktadır. KAF'ın orta kısmı gibi sismik bölgelerdeki kentsel gelişim devam ettikçe, bu fayların davranışını anlamak, afet riskini azaltmada ve yönetim stratejilerinde hayati bir bileşen olmaya devam edecektir.

Bu bağlamda KAF üzerinde yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir:

- 1939: Erzincan'da gerçekleşen deprem, fayın varlığına dair farkındalığın artmasını ve bilimsel olarak incelenmeye başlamasını sağlamıştır (Demirtaş, 2019).
- 1940'lar: KAF'ın önemli bir sismik özellik olarak tanınması, esas olarak İhsan Ketin'in 1940'lardaki öncü çalışmaları sayesinde olmuştur. Ketin'in KAF'ı tanımlaması ve betimlemesi, bölgede gelecekte yapılacak sismik çalışmaların temelini oluşturmuştur (Demirtaş, 2019).
- 1950-1970'ler: KAF'ın detaylı haritalamasının ve jeolojik çalışmaların başlangıcıdır. Fayın kinematiği ve tektoniği hakkında daha derin bilgiler elde edilmiştir. 1979 yılında KAF, levha tektoniği kuramına oturtulmuştur (Kurtuluş, 1999).
- 1980'ler: GPS teknolojisinin gelişimi ve yaygınlaşması, KAF üzerindeki çalışmaları önemli ölçüde ilerletmiştir. Fay boyunca gerilme birikimi ve hareket dinamikleri daha kesin olarak ölçülmeye başlanmıştır (Kurtuluş, 1999).
- 1990'lar: Aykut Barka'nın 1990'lı yıllarda, özellikle 1999 İzmit depremi ile ilgili yaptığı çalışmalar, KAF'ın sismik davranışının anlaşılmasında önemli ilerlemeler sağlamıştır. Fayın segmentasyonu ve bunun deprem yayılımı üzerindeki etkileri üzerine yaptığı çalışmalar oldukça önemlidir (Kurtuluş, 1999; Demirtaş, 2019).
- 2000'ler: 1999 depremlerinden elde edilen veriler ile KAF boyunca deprem olasılıklarını tahmin eden modeller geliştirilmiştir (Demirtaş, 2019).
- 2010–günümüz: Mevcut araştırmalar, fay hareketlerini analiz etmek ve sismik riskleri tahmin etmek için uydu-radar görüntüleri ve makine öğrenimi gibi gelişmiş teknolojileri kullanarak bilim insanları tarafından atılan temeller üzerine inşa edilmeye devam etmektedir.

KAF boyunca yaşanan sismik faaliyetlerin sosyo-ekonomik yansımaları da çok derin olmuştur. Örneğin 1999 İzmit depremi yaklaşık 17 000 kişinin ölümüne, altyapının ve jeodezik ağın büyük ölçüde zarar görmesine yol açarak etkili depreme hazırlık ve risk azaltma stratejilerine duyulan acil ihtiyacın altını çizmiştir. Bu yaşananlardan sonra Türkiye'deki çalışmalar bina yönetmeliklerinin, kamu

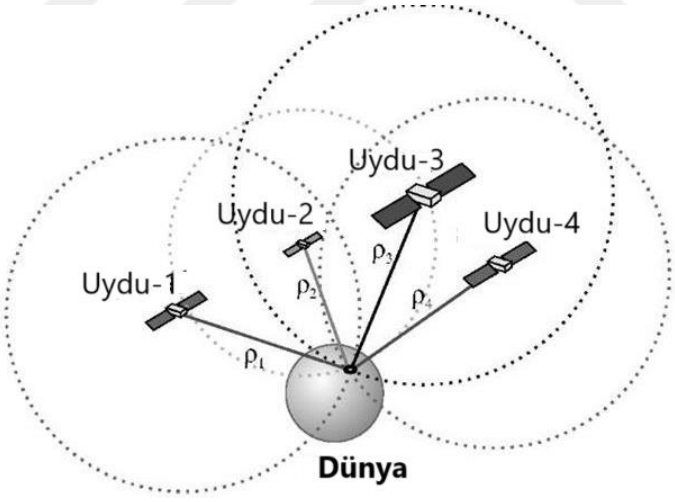
bilincinin ve acil durum mekanizmalarının geliştirilmesine odaklanmıştır (Özmen, 2000).

Tüm dünyada dikkatle izlenen KAF'ın, özellikle de Marmara Bölgesi'ni içine alan batı kısmı, oldukça fazla sayıda çalışmaya konu olmasına karşın orta kesiminde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında, KAF'ın orta kısmı incelenecektir.

3
GNSS

GNSS, tektonik hareketlerin belirlenmesi de dahil; kara, deniz ve hava navigasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), afetle mücadele, tarım, askeri güvenlik gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan hassas konum bilgisini sağlayan, günümüz yaşantısının temel bir teknolojisi olarak ön plana çıkmaktadır.

GNSS teknolojisinin tarihi, 1957 yılında Spunik-1 uydusunun Sovyet Rusya tarafından fırlatılmasına dayanmaktadır. Bu, konum belirleme ve navigasyon alanında bir devrim olarak kabul edilir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri'nden Sovyet Rusya'nın GLONASS sistemi 1982'de ve Avrupa Birliği'nin Galileo sistemi ise 2016'da hizmete girmiştir (Tekiç Rahmanlar, 2019). Bu sistemlerin her biri, yörünge yapıları, sinyal özellikleri ve kapsama alanları açısından farklılık gösterse de temel olarak aynı prensipte çalışırlar (National Research Council, 1995). GNSS, esas olarak Dünya'nın etrafında farklı yörüngelerde dönen ve düzenli olarak farklı frekanslarda veri mesajları gönderen uydu takımlarına dayanan bir sistemdir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Uydu takımları (Bmarx, 2015)

GNSS kullanarak konum belirlemenin ana fikri, uydu ve alıcı arasındaki mesafenin belirlenmesi esasına dayanır. Temelde GNSS alıcıları ışık hızı ve sinyalin alıcıya ulaşma süresi ile bu mesafeyi hesaplar. Bunu belirleyebilmek için yaklaşık 22 000 km irtifadaki en az 4 uydudan sinyal alınmalıdır. Sinyal alınan uydulardan 3'ü doğrudan konum belirleme için ve dördüncü uydu zaman belirsizliğini çözmek için

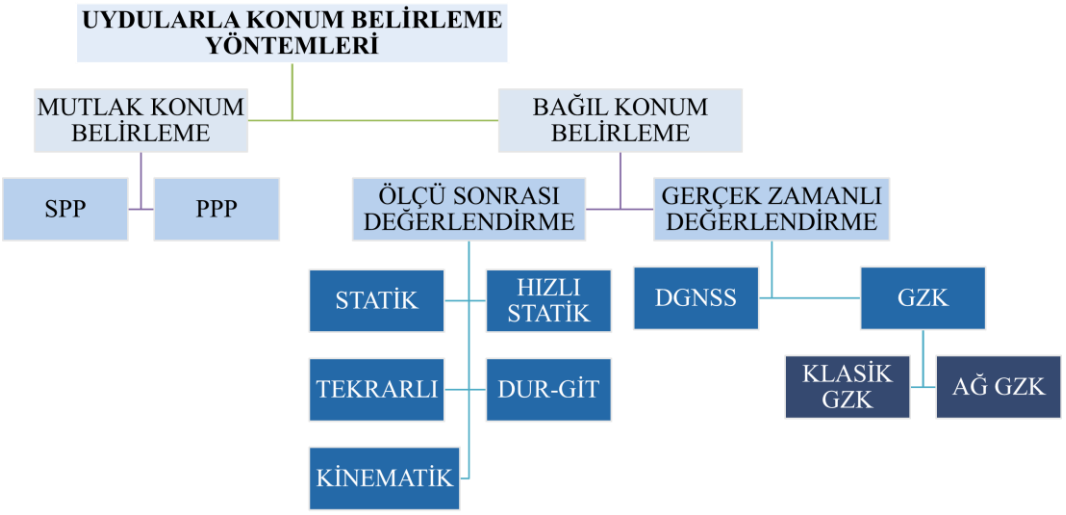
kullanılır (alıcıdaki ve uydulardaki saat hataları nedeniyle). Bununla birlikte, 4 uydu sadece asgari bir gerekliliktir ve daha fazla uydu aynı anda gözlemlendiğinde daha yüksek konum doğruluğu elde edilir (Paziewski vd., 2021).

GNSS alıcıları L1, L2 ve L5 gibi farklı frekanslarda sinyal alabilir. Bu frekanslar, atmosferik etkiler gibi hataları azaltmaya yardımcı olur ve daha doğru konumlandırma sağlar. L1 ve L2 frekansının yanı sıra L5 frekansını da ileten son nesil uydularla konum doğruluğu iyileştirilmiştir. Uygun koşullarda yapılan (açık gökyüzü, sinyal engeli olmayan ortam vb.) ölçümlerde bir konuma sabitlenmiş jeodezik GNSS alıcısı (Şekil 3.2) ile santimetre altı doğruluk elde edilebilir (Kahveci vd., 2011).



Şekil 3.2 YTÜ İnşaat Fakültesi YLDZ00TUR referans istasyonu (URL-3)

GNSS, yer kabuğu deformasyonlarının izlenmesinde, volkanik aktivitelerin tespitinde, heyelanların izlenmesinde, yüzey hareketlerini yüksek hassasiyetle tespit edebilmektedir. Uluslararası ve bölgesel sistemlerin entegrasyonu, GNSS tabanlı uygulamaların doğruluğunu artırarak, yer kabuğu hareketlerinin ve ihtiyaç duyulan diğer jeodezik uygulamaların daha hassas bir şekilde izlenmesini ve jeodezik verilerin daha güvenilir olmasını sağlamıştır. GNSS teknolojisi ve bu teknolojiyi iyileştiren sistemler, jeodezide ve yer kabuğu deformasyonlarının izlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu sistemlerin sağladığı doğruluk ve güvenilirlik, bu alandaki çalışmaların temel taşını oluşturur.



Şekil 3.3 Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (Kahveci ve Yıldız, 2017)

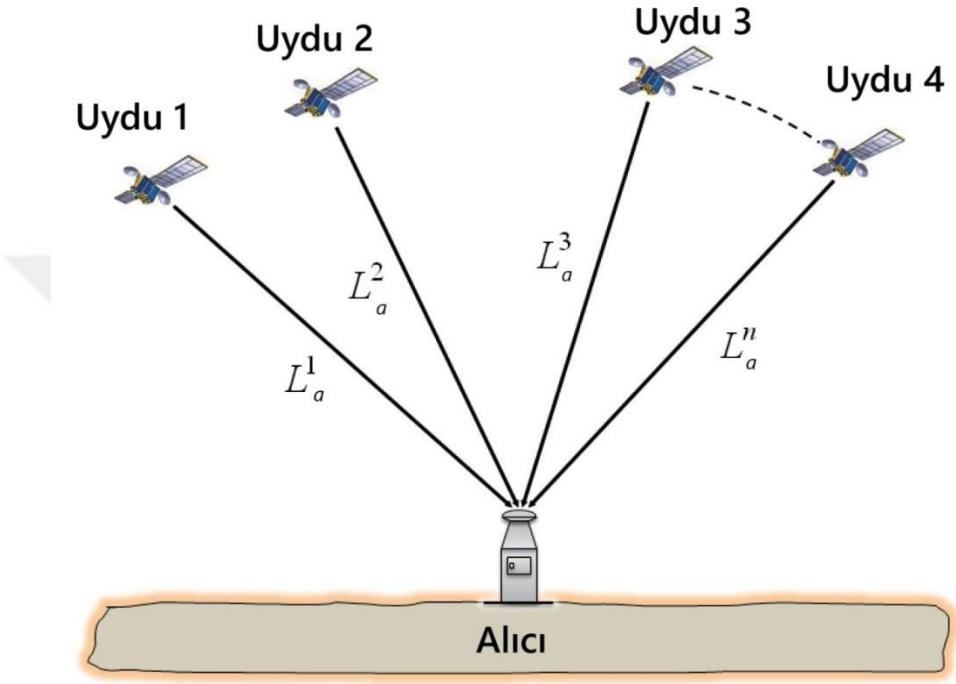
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi GNSS uyduları aracılığıyla konum belirleme kapsamında yöntemler, mutlak ve bağıl konumlama olmak üzere gruplanabilir. Mutlak konumlama, tüm etkilerin modellenmesini ifade ederken, bağıl konumlama bir referans istasyonunun düzeltme verileri temel alınarak yapılır. Her iki konumlama yönteminin de uygulama alanları, gereksinimleri ve sınırlamaları olmaktadır. Şekil 3.3'te genel bir bakış olarak verilen konular ilerleyen bölümlerde detaylarıyla açıklanmıştır.

3.1 Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme; jeodezi, haritacılık, navigasyon ve uzaktan algılama dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalar için temeldir. Yöntem, GNSS sinyallerinin uydulardan alıcıya ulaşması için geçen süreye bağlı olarak alıcının konumunun en az dört GNSS uydusuna olan mesafesinin ölçülmesiyle belirlendiği bir uzay geriden kestirme yöntemidir. Bu mesafeler, alınan uydu sinyallerinin zaman gecikmesinden hesaplanır. Alıcı bu veriler ile uzay geriden kestirme yöntemini kullanarak Dünya üzerindeki mutlak konumu hesaplamaktadır. Ancak bu yöntemin doğruluğu; atmosferik etkiler, uydu saat hataları ve sinyallerin alıcıya ulaşmadan önce yüzeylerden yansıyabileceği çok yolluluk etkisi (multipath) gibi çeşitli hataların düzeltilmesine bağlıdır. Mutlak konum belirleme alanında gelecekteki gelişmelerin, doğruluk ve güvenilirliği artırmak için GNSS'i tamamlayıcı teknolojilerle entegrasyona odaklanmıştır.

3.1.1 Tek Nokta Konumlama (Single Point Positioning, SPP)

SPP, GNSS alıcısının konumunu belirlemek için kullanılan temel bir GNSS tabanlı yöntemdir (Şekil 3.4) ve göreli değildir. SPP yöntemi; atmosferik (iyonosferik ve troposferik) gecikmeler, alıcı saat hataları ve çok yolluluk etkisi gibi faktörlerden etkilendiği için doğal olarak bunlardan kaynaklanan hataları da içinde barındırır (Öcalan, 2015; Li vd., 2021).



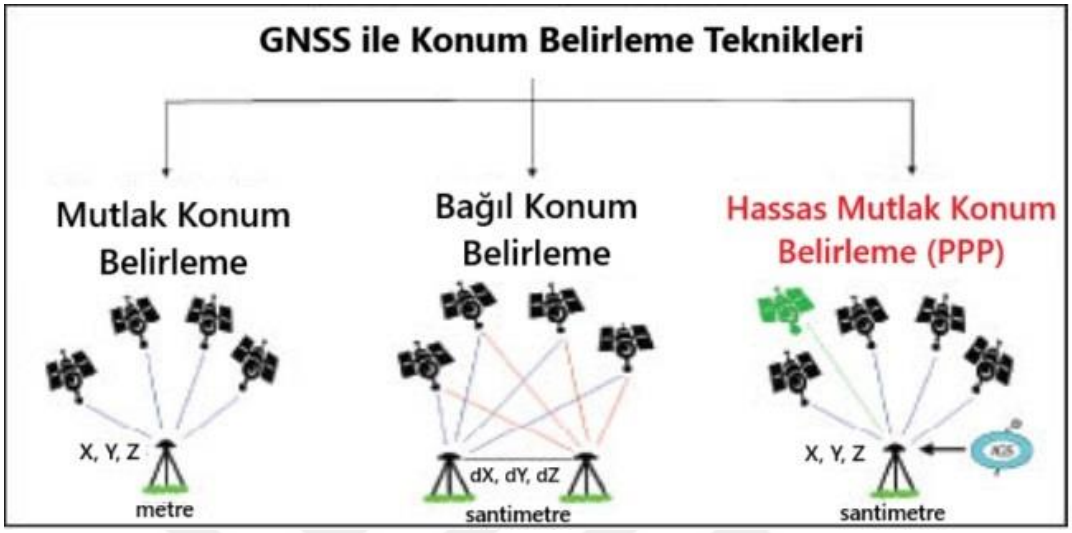
Şekil 3.4 Tek Nokta Konumlama (Choi vd., 2011'den değiştirilerek)

SPP, tek frekanslı tek bir alıcı ve kod gözlemleri kullanması sebebiyle doğruluğu (S/A olmadığında) 10-20 m düzeyindedir (Öcalan, 2015). Bu yöntem ile yalnızca GNSS uydularından elde edilen veriler ile konum hesaplanmakta, GNSS'in temel hata kaynakları elimine edilememektedir (Reyes vd., 2017). Günümüzde çoğu araç navigasyon sistemi, konum ve rota belirlemek için SPP yöntemini kullanır.

3.1.2 Hassas Mutlak Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP)

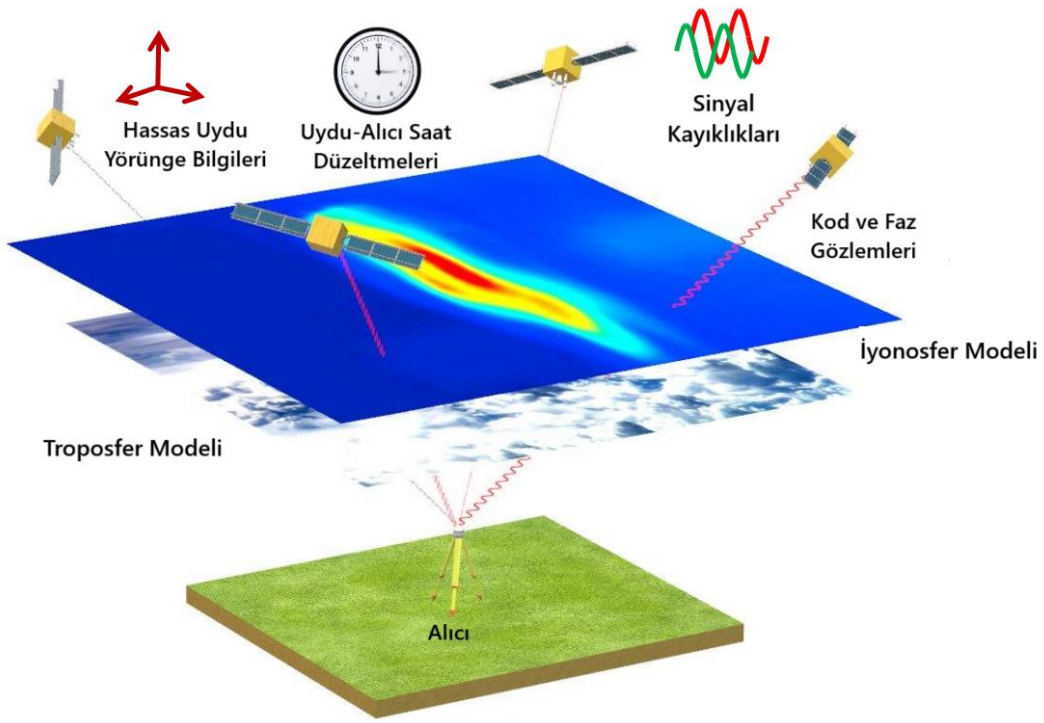
PPP, tek bir GNSS alıcısının konumunu santimetre hassasiyetinde belirlemek için GNSS sinyallerinden yararlanan uydu jeodezisi alanında gelişmiş bir tekniği temsil eder. Bu yöntem, SPP gibi mutlak konum belirleme tekniğidir ancak SPP'de sadece kod gözlemleri kullanılırken PPP'de hem kod hem faz gözlemleri kullanılır ve SPP'de tek frekanslı alıcı kullanılırken PPP'de çift frekanslı alıcı kullanılmaktadır. Referans istasyon ağı gerektiren geleneksel Diferansiyel GNSS (DGNSS) ya da

Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) yöntemlerinin aksine PPP, küresel olarak dağılmış bir uydu takımından gelen düzeltmeleri kullanarak bağımsız olarak çalışabilir. Bu durum konum doğruluğunu arttırır (Öcalan, 2015). SPP, PPP ve bağıl konumlama yöntemleri Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 SPP, PPP ve bağıl konumlama yöntemleri (Hausler, 2015'ten değiştirilerek)

PPP metodolojisi (Şekil 3.1) özünde GNSS sinyallerinde bulunan çeşitli hataların düzeltilmesine dayanır. Bu yöntemin temel özellikleri arasında uydu ve alıcı saat hatalarının düzeltilmesi ve hassas yörünge bilgilerinin kullanılması yer alır. Ayrıca, atmosferik gecikmeler ve çok yolluluk etkisi gibi faktörler de yöntemin doğruluğunu etkilemektedir. Gelgit etkisi, kuru troposfer gecikmesi ve benzeri diğer etmenler için de gelişmiş algoritmalar ve modeller kullanır (Öcalan, 2015; Li vd., 2022). Tüm bu gelişmiş düzeltmeler ve teknolojik alıcılar kullanılmasına karşın yakınsama süresinin uzun olması sistemin dezavantajlarından biridir.



Şekil 3.6 PPP tekniği (Higgins, 2019'den değiştirilerek.)

Ayrıca IGS'in yürütmekte olduğu Çoklu GNSS Projesi (Multi-GNSS Experiment, MGEX) ile PPP çözümlerinde farklı uydu sistemleri birlikte çalışmaya başlamış, görülen uydu sayısının artması da PPP çözümlerinin doğruluğunu arttırmıştır (Bahadur ve Nohutçu, 2018).

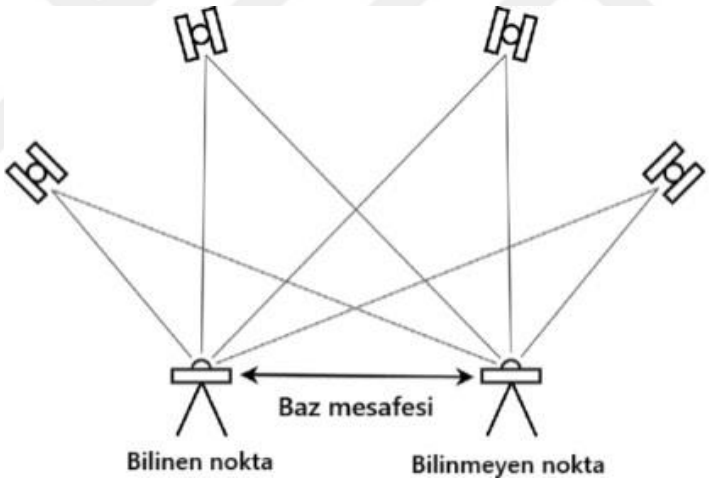
PPP tekniğinde veri işleme iki şekilde gerçekleştirilebilir: gerçek zamanlı ve ölçü sonrası değerlendirme. Gerçek zamanlı PPP, acil durum müdahalesi gibi anlık veri gerektiren uygulamalarda anlık konum bilgisi sağlar. Ölçü sonrası değerlendirmeyle gerçekleştirilen PPP yöntemi ise, GNSS verilerinin geriye dönük analizini içerir ve uzun süreli veri entegrasyonu ve kapsamlı hata modellemesi yoluyla yüksek doğruluk sağlar.

PPP ile elde edilebilecek doğruluk, GNSS alıcılarının özellikleri, gözlem süresi ve uygulanan hata düzeltmelerinin bütünlüğü gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Optimal koşullar altında PPP ile, santimetre mertebesinde konumsal doğruluklar elde edilebilir. Bununla birlikte, PPP'nin bu hassasiyet seviyesine ulaşabilmesi için, genellikle 15-30 dakikalık yakınsama süresi gerekmektedir (Li vd., 2022).

Ayrıca PPP, otonom navigasyon, tarım, inşaat, madencilik ve santimetre ölçeğinde hassasiyetin gerektiği alanlarda yaygın olarak kullanılabilir (Chen, 2023).

3.2 Bağıl Konum Belirleme

GNSS tabanlı bağıl konum belirleme (Şekil 3.7), çeşitli ölçüm sonrası ve anlık konum belirleme yöntemleri kullanılarak bir noktanın diğerine göre konumunun belirlenmesidir. Birden fazla GNSS alıcısı kullanılır ancak konum doğruluğu referans istasyonun doğruluğuyla ve referans istasyon ile alıcı arasındaki mesafe ile benzer atmosferik koşulları modellemesi açısından yakından ilişkilidir. Çünkü referans istasyonun ve alıcının aynı uyduya eşzamanlı gözlem yapması gerekir ve aralarındaki mesafe arttıkça aynı uyduya eş zamanlı gözlem yapmak zorlaşır. Ayrıca yakın mesafelerde atmosferik gecikmelerin ihmal edilmesi hesaplama kolaylığı sağlar. Mesafe arttığında bu gibi değişkenler de önemli konum değişimlerine sebep olabilir. Bağıl konum belirlemede yüksek hassasiyet elde etmek için çeşitli teknikler kullanılır ve her biri belirli doğruluk, süre ve hareketlilik gereksinimlerini karşılar. Bu tekniklerle ilgili detaylı açıklamalar ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 3.7 Bağıl konumlama (Jamieson ve Gillins, 2018'den değiştirilerek)

3.2.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme

3.2.1.1 Statik Ölçme Yöntemi

Bu yöntem, uydu sinyallerinin kapsamlı bir şekilde büroda işlenmesine, atmosferik, yörüngesel ve saat hataları dahil olmak üzere birçok hatanın düzeltilmesine olanak tanıyarak santimetre altı düzeyde doğruluk sağlar. Ancak bağıl bir yöntem olduğu için hesaplanan koordinatlar görelidir ve bilinen noktanın konum hatasını barındırır. Ölçü süresi 1 saat ile 24 saat arasında değişebilir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Statik ölçme yöntemi ile toplanan veriler akademik ve ticari yazılımlarla değerlendirilebilir. Kısa bazları ve kısa süreli ölçümleri ticari yazılımlarla değerlendirmek daha ekonomik olabilirken, bilimsel araştırmalarda daha karmaşık matematiksel modeller içeren akademik yazılımlar tercih edilir. Tektonik hareketlerin belirlenmesi gibi yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda sıklıkla statik ölçüm yöntemi kullanılır. KAF'ın Şekil 4.1'de gösterilen kısmındaki noktalarda Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak statik ölçüm ile elde edilen veriler analiz edilmiş ve ayrıntılı sonuçlar Bölüm 4'te verilmiştir.

3.2.1.2 Hızlı Statik Ölçme Yöntemi

Hızlı statik ölçme yöntemi, geleneksel statik ölçme yöntemine kıyasla gözlem süresini azaltarak doğruluk ve verimlilik arasında bir denge kurar. Bu yöntemde ağdaki tüm noktalara eş zamanlı ve 1 saatin üzerinde gözlem yapmak yerine referans noktaya sürekli alım yapan bir alıcı kurulur, diğer noktalara ise alıcılar daha kısa sürelerle kurulur. Böylece ağdaki tüm noktalarda, referans noktayla eş zamanlı ancak daha kısa süre gözlem yapılmış olur (Kahveci ve Yıldız, 2017). Ölçüm doğruluğu baz uzunluğu ile sınırlıdır, çok yolluluk etkisi giderilmiş ve uydu geometrisinin uygun olması gerekir (Tut, 2009). Bu yöntem, zaman verimliliğinin önemli olduğu yüksek hassasiyet gerektiren projeler için uygundur.

3.2.1.3 Tekrarlı Ölçme Yöntemi

Bu yaklaşım, aynı noktada farklı zamanlarda birden fazla GNSS ölçümünün yapılmasını içerir. Ölçüm süresi en az 10 dakika olmalı ve iki ölçüm arası en az 1 saat en fazla 4 saat olmalıdır. İki ölçüm arasındaki zaman farkı değişen uydu geometrisinden yararlanmak içindir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

3.2.1.4 Dur-Git Ölçme Yöntemi

Dur ve git yöntemi, ölçüm noktaları arasındaki mesafenin oldukça kısa olduğu durumlarda kullanılır ve iki alıcı gerektirir. Birinci alıcı sabit ve bilinen bir konumda ölçüm yaparken, diğer alıcı bilinmeyen bir noktada kısa süreli gözlem yaparak başlangıç fazı belirsizliğini giderir. Gezici alıcı, daha sonra bu belirsizlik çözümünü başka noktalara aktararak, bilinmeyen diğer noktalarda kısa süreli gözlemler gerçekleştirir (Doğan, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2017).

3.2.1.5 Kinematik Ölçme Yöntemi

Kinematik GNSS ölçümü, veri toplanırken GNSS alıcısının sürekli hareket etmesiyle gerçekleştirilir. Bu yöntem, yukarıda anlatılan ölçüm teknikleri arasında en dinamik olanıdır ve hareket halinde veri toplanmasına olanak sağlar. Yöntem hız ve verimlilik avantajı sunarken, çok yolluluk ve atmosferik gecikme gibi GNSS hatalarını dinamik olarak düzeltmenin zorlukları nedeniyle, statik yöntemlere kıyasla daha düşük doğruluk sunar. Dur ve git yönteminde olduğu gibi faz başlangıç belirsizliğini gidermek için alıcılardan biri referans yani konumu bilinen bir noktaya kurulur, ikinci alıcı ise gezici rolündedir. Faz başlangıç belirsizliği çözüldükten sonra ölçüme başlanır, güzergâh üzerinde 1-2 saniyelik ölçüm alıcının konumunun belirlenmesi için yeterlidir (Kahveci ve Yıldız, 2017). Bu yöntem genellikle insansız hava aracı (İHA) fotogrametrisinde kullanılmaktadır. İHA fotogrametrisinde gezici alıcı İHA'dır. Ölçü sonrası kinematik değerlendirme yöntemi (Post Process Kinematic, PPK) sahada hızlı bir şekilde gerçekleştirilir, ancak kullanılabilir olması için ölçü sonrasında değerlendirilmesi gerekmektedir (Günaydın, 2023).

Bağıl konum belirlemede uygun yöntemin seçimi, planlanan projenin özel hedeflerine ve kısıtlamalarına bağlıdır. GNSS teknolojisi gelişmeye devam ettikçe, bu yöntemler giderek daha kapsamlı hale gelmekte, daha hassas ve verimli konum bilgisi elde etmeye olanak sağlamaktadır.

3.2.2 Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK, Real-Time Kinematic, RTK) Ölçme Yöntemi

GZK ölçme yöntemi, konumlandırma ve navigasyon bilgilerini gerçek zamanlı olarak, genellikle minimum gecikmeyle sağlamak için GNSS teknolojisinin kullanılmasını ifade eder. Gerçek zamanlı bir GNSS sisteminde GNSS alıcıları, gelen uydu sinyallerini aldıkça işler ve kullanıcının konumunu ve hızını anında hesaplayarak konum verilerinin anlık ve sürekli olarak güncellenmesine olanak tanır. GZK konumlandırmasında yüksek doğruluk elde etmek için, düzeltme verileri genellikle atmosferik koşullar ve uydu saati gibi hataları azaltmak için kullanılır (Alkan vd., 2020).

Gerçek zamanlı GNSS, kullanıcılara sürekli ve güncellenmiş konumlandırma bilgileri sağlayarak hareketlerin gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanır. Araç

navigasyonu, hassas tarım, hassas ölçüm, haritalama, inşaat sektörü uygulamaları ile acil müdahale gerektiren afet durumlarında anlık ve doğru konum verileri gerektiren uygulamalarda güvenlik ve verimlilik konuları açısından oldukça önemlidir (Li vd., 2022). Çünkü gerçek zamanlı uygulamalara gereksinim duyulmasının sebebi anlık farkındalık sağlamak ve anlık eyleme geçilebilmesidir.

Özetle, gerçek zamanlı GNSS teknolojisi, geniş bir uygulama yelpazesi için zamanında ve doğru konumlandırma sağlanmasında hayati bir rol oynamakta ve bu da onu çeşitli endüstrilerde ve sektörlerde önemli bir araç haline getirmektedir.

3.2.2.1 DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System)

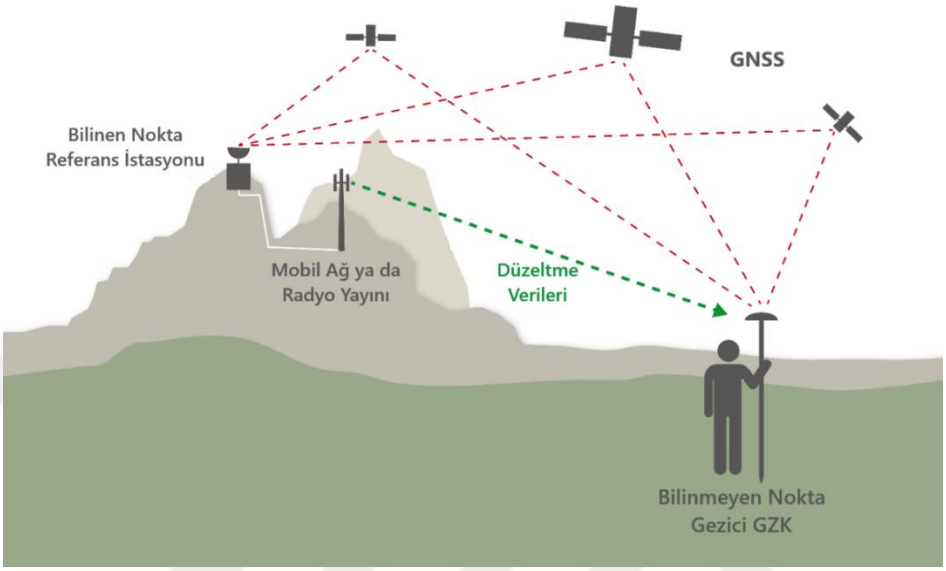
DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System), sabit referans istasyonlarından oluşan bir ağ kullanarak standart GNSS'in konumsal doğruluğunu artırmak için kullanılmaktadır. Bilinen koordinatlara yerleştirilen bu istasyonlar GNSS uydu sinyallerini sürekli olarak izler. Bu istasyonlar bilinen konumlarını, hesapladığı konumlarla karşılaştırarak diferansiyel düzeltmeleri hesaplar. Bu düzeltmeler geziciler tarafından alınır ve konum doğruluklarının iyileştirmelerini sağlar (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Bu teknik, standart GNSS'in hata aralığını birkaç metreden bir metrenin altına düşürmüştür. Ancak sadece kod ölçüleri kullanıldığı için doğruluk daha fazla arttırılamamıştır. (Kahveci ve Yıldız, 2017). Bununla birlikte, DGNSS'nin doğruluğu referans istasyonlarından uzaklaştıkça azalır (Mutlu, 2019). Ancak desimetre mertebesinde doğruluğun yeterli olduğu uygulamalarda DGNSS uygulamaları daha ekonomik olacaktır.

3.2.2.2 Klasik GZK

Klasik GZK yönteminde koordinatları bilinen en az bir referans noktasına ihtiyaç vardır. Klasik GZK ve DGNSS, genel işleyiş açısından birbirine benzese de klasik GZK yönteminde faz gözlemlerinin kullanılması doğruluğunu büyük ölçüde arttırır ve santimetre seviyesinde hassasiyet sağlanır (Mutlu, 2019). Sistem, DGNSS yöntemi ile benzer şekilde sabitlenmiş bir baz istasyonunun hesaplanan konum hatasına dayalı düzeltmeleri diğer noktalara iletmesi prensibiyle çalışır. Bu düzeltmeleri alan gezici, konum hesaplamalarını buna göre ayarlar. Teknik, uydu geometrisi, sinyal çok yolluluk etkisi ve atmosferik koşullar gibi faktörlerden etkilenen karmaşık bir süreç olan taşıyıcı faz belirsizliklerinin çözümüne dayanır.

GZK'nın gerçek zamanlı yönü, anlık geri bildirim ve konumsal güncellemeler sağlayan en önemli avantajıdır (Li vd., 2022). Ancak bu ölçüm yöntemini kullanabilmek için referans noktasından en fazla 15-20 km uzaklaşılabilir (İnal vd., 2014).



Şekil 3.8 Gerçek Zamanlı Konumlama (Pestarini, 2016'dan değiştirilerek)

3.2.2.3 Ağ GZK

Ağ GZK yönteminde tek bir referans noktası yerine, referans istasyonlarından oluşan ağ kullanılır. Ağ GZK, geniş alanlarda tutarlı doğruluk sunarak büyük ölçekli ölçme projeleri için uygun bir yöntemdir.

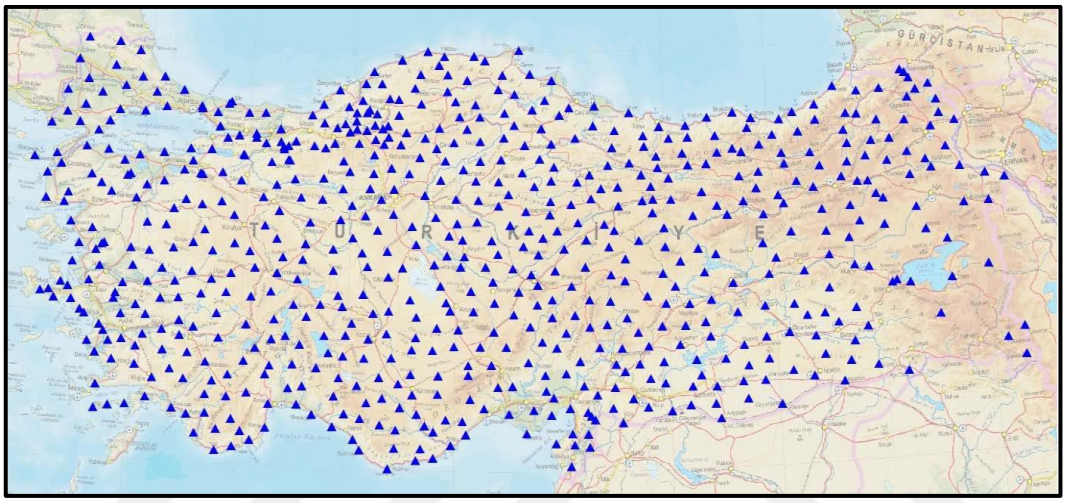
GNSS teknolojisi geliştikçe, GZK ve DGNSS'nin doğruluğu, güvenilirliği ve uygulanabilirliği ilerlemeye devam etmekte, yüksek hassasiyetli konumlandırma ve navigasyon için önemi daha da artırmaktadır.

3.3 GNSS Ağları

3.3.1 TUTGA

Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA), jeodezik veri toplama ve işlemede kullanılan, ülke genelinde yer alan bir dizi GNSS istasyonundan oluşur. Bu ağ, özellikle yüksek doğruluk gerektiren jeodezi ve haritacılık çalışmaları için kritik önem taşır. TUTGA sistemi, Türkiye'nin çeşitli coğrafi bölgelerinde stratejik ve homojen olarak konumlandırılmış 654 GNSS istasyonundan oluşur (Şekil 3.9) (Kurt vd., 2020; URL-4). Bu istasyonlar Türkiye'nin jeodezik referans koordinat

sisteminin oluşturulması ve güncellenmesinde kullanılır. Ölçümler kampanya tipi gerçekleştirilir ve elde edilen koordinatlar ve hızları Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) datumunda hesaplanır. İstasyonlar hem tektonik hareketlerin izlenmesinde, yer kabuğu deformasyonlarının detaylı analizinde hem de çeşitli haritacılık ve kadastro faaliyetlerinde kullanılır. Ayrıca, istasyon koordinatları belirli zaman aralıklarında hassas uydu-yörünge parametreleri, yer dönüklük parametreleri ve geliştirilmiş matematiksel modeller ile tekrar analiz edilir (URL-5).

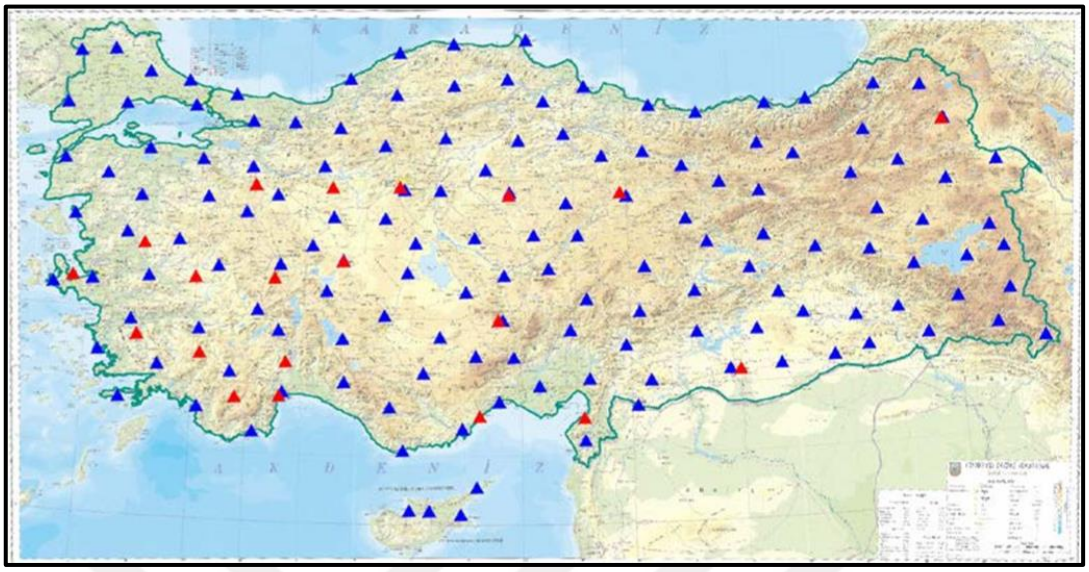


Şekil 3.9 Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı 2019 (URL-5)

3.3.2 TUSAGA-Aktif

Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif/CORS-TR) Projesi, Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde jeodezik amaçlar için kurulmuş bir GNSS referans istasyonları ağıdır. Bu proje, Türkiye'de 168 (KKTC'de 4 adet dahil) sabit GPS istasyonundan oluşur, ağ-GZK düzeltme verileri üretir (URL-6). Bu veriler, santimetre mertebesinde konum belirlemek için kullanılır. TUSAGA-Aktif sistemi; coğrafi konumların gerçek zamanda (real-time) veya ofiste değerlendirme (post-processing) yoluyla hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukta belirlenmesine olanak tanır. İstasyonların dağılımında, Türkiye'nin geniş coğrafi yapısı ve jeolojik özellikleri dikkate alınmıştır (Cingöz vd., 2013). Bu ağ, özellikle atmosferik koşulların modellemesi, daha hassas meteorolojik tahminler ve sinyal iletişim çalışmaları için değerli veriler sağlar. Ayrıca, bu sistem, tektonik hareketlerin ve yer kabuğu deformasyonlarının sürekli ve hassas bir şekilde izlenmesine imkân

tanır, bu da deprem tahmini ve erken uyarı sistemlerine önemli katkılar sağlar (Yıldırım vd., 2011).



Şekil 3.10 TUSAGA-Aktif (Kurt vd., 2021).

TUSAGA-Aktif sistemi, Türkiye'nin jeodezik altyapısını modernize etmiş ve jeodezik veri toplama, işleme ve analiz kapasitesini önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu sistem, yüksek doğruluklu ve güvenilir veriler sağlayarak, Türkiye'de jeodezik araştırmaların yanı sıra kadastro, haritacılık ve güvenlik gibi çeşitli alanlarda kritik rol oynamaktadır (Şekil 3.10).

4
UYGULAMA

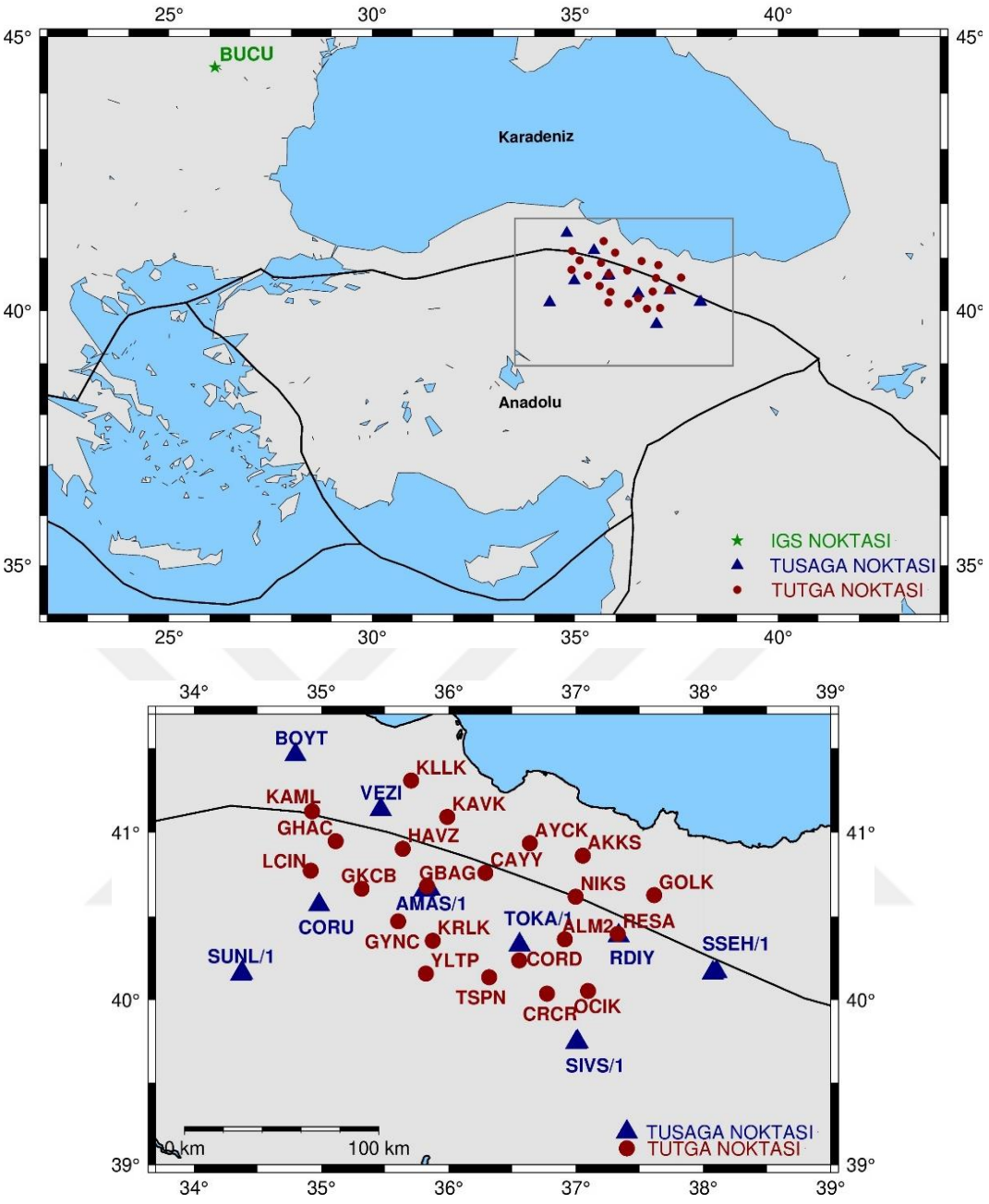
Bu çalışmada, 2009–2021 yılları arasındaki TUTGA ve TUSAGA-Aktif ağlarına ait noktalarının yer değiştirmeleri ve hızlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu ağlarda KAF'ın orta kesiminde yer alan istasyon verileri hem bağıl hem de PPP analiz yöntemleri kullanılarak Bernese v5.2 yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Bernese v5.2 yazılımı ile analiz sonucunda kartezyen koordinat sisteminde (X, Y, Z) koordinatlar ve standart sapmalar elde edilmiştir. Sonrasında ise yer değiştirmeleri daha iyi anlayabilmek amacıyla toposentrik koordinatlara (e, n, u) dönüşüm yapılmıştır. Toposentrik koordinatlar oluşturulurken her nokta için ilk epok sonucu referans koordinat olarak alınmıştır. Ayrıca noktaların zaman serisi grafikleri çizdirilmiş, EK-A ve EK-B'de verilmiştir.

TUSAGA-Aktif noktalarının ve 2 epoktan fazla ölçüsü olan TUTGA noktalarının hızları hesaplanmış, 2 epok ölçüsü olan TUTGA noktalarının ise yer değiştirme büyüklükleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu hız ve yer değiştirme vektörleri yatay düzlem ve düşey doğrultuda olacak şekilde t-testi ile test edilmiştir. Analiz sonucunda noktaların hız ve yer değiştirme büyüklüklerinin grafikleri çizdirilmiştir.

4.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı 39 ile 41.5 derece kuzey enlemleri ve 34 ile 39 derece doğu boylamları arasında yer almakta olup, Tokat ve Amasya illerinin tamamını, Çorum, Ordu ve Samsun illerinin ise bazı kısımlarını kapsamaktadır. Çalışma alanı bu yönüyle KAF'ın orta kesiminde yer almaktadır. Bölgenin tektonik yapısını karakterize edebilmek için, arazide mevcut olan TUTGA ve TUSAGA-Aktif ağlarına ait noktalardan oluşan toplam 36 noktalı bir ağ tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Ağın; KAF'ın kuzeyinde 9, güneyinde 27 noktası vardır. Çalışmada 2009 ve 2021 yılları arasındaki veriler incelenmiştir.



Şekil 4.1 Uygulama alanı

4.2 Verilerin Elde Edilmesi ve Kullanılan Formatlar

GNSS ölçümleri ile 3 boyutlu konum ve zaman bilgisi elde edilebilir. Çalışmada GNSS verileri alıcıdan bağımsız RINEX formatında kullanılmıştır. RINEX verileri hem bağıl hem de PPP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Uygulamadaki 22 TUTGA noktası Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) RINEX formatında temin edilmiştir. Yine uygulamada kullanılan tek IGS noktası olan BUCU (Bükreş, 44.46395˚, 26.12574˚) noktası NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration)

The Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) internet adresinden indirilmiştir (URL-7). 14 TUSAGA-Aktif noktası ise kendi internet adresinden (URL-6) RINEX formatında indirilmiştir. Kullanılan noktaların yerleri Şekil 4.1'de ve yaklaşık koordinatları Tablo 4.1'de belirtilmiştir. AMAS, SIVS, SSEH, SUNL ve TOKA istasyonları zamanla tahrip olmuş, bu sebeple yine o istasyonlara yakın konumda tesis edilen sırasıyla AMA1, SVS1, SSE1, SUN1 ve TOK1 istasyonları analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 4.1 İstasyonlara ait il ve yaklaşık enlem-boylam bilgileri

TUSAGA İstasyonları	İl	φ (enlem) (˚)	λ (boylam) (˚)	TUTGA İstasyonları	İl	φ (enlem) (˚)	λ (boylam) (˚)
AMAS	Amasya	40.66569	35.84930	**AKKS**	Ordu	40.86314	37.05369
AMA1	Amasya	40.65693	35.80953	**ALM2**	Tokat	40.36393	36.91241
BOYT	Sinop	41.46104	34.79666	**AYCK**	Samsun	40.93667	36.63746
CORU	Çorum	40.57041	34.98220	**CAYY**	Amasya	40.76076	36.28867
RDIY	Tokat	40.38523	37.33567	**CORD**	Tokat	40.23744	36.55387
SIVS	Sivas	39.74370	37.00249	**CRCR**	Sivas	40.03743	36.77261
SVS1	Sivas	39.74759	37.01226	**GBAG**	Amasya	40.68147	35.82967
SSEH	Sivas	40.16247	38.07490	**GHAC**	Amasya	40.94945	35.11299
SSE1	Sivas	40.16911	38.10502	**GKCB**	Çorum	40.66639	35.31591
SUNL	Çorum	40.15398	34.36891	**GOLK**	Ordu	40.62802	37.61475
SUN1	Çorum	40.16357	34.37669	**GYNC**	Amasya	40.47108	35.60356
TOKA	Tokat	40.33105	36.55714	**HAVZ**	Amasya	40.90389	35.63904
TOK1	Tokat	40.33098	36.55747	**KAML**	Çorum	41.12601	34.9274
VEZI	Samsun	41.13800	35.46666	**KAVK**	Samsun	41.09313	35.98921
				KLLK	Samsun	41.30835	35.70487

Tablo 4.1 İstasyonlara ait il ve yaklaşık enlem-boylam koordinat bilgileri (devamı)

KRLK	Tokat	40.35499	35.87503
LCIN	Çorum	40.77350	34.91580
NIKS	Tokat	40.61849	36.99748
OCIK	Sivas	40.05325	37.09463
RESA	Tokat	40.39557	37.32821
TSPN	Tokat	40.13619	36.31802
YLTP	Tokat	40.15786	35.82072

TUSAGA-Aktif, sürekli gözlem yapan istasyonlardan oluşmaktadır. TUTGA noktalarında ise kampanya tipi ölçüm yapılmakta ve TUTGA'dan geçmişe yönelik sürekli veri elde etmek mümkün olmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında 2009 ve 2021 yılları arasında sürekli gözlem yapan 14 tane TUSAGA-Aktif istasyonu, BUCU IGS istasyonu ve 22 TUTGA noktası olmak üzere 37 noktanın çözümü gerçekleştirilmiştir. Çözüm gerçekleştirilirken yalnızca GPS ölçümleri kullanılmıştır. GPS veri setleri; TUSAGA-Aktif ve BUCU istasyonları için 24 saatlik veri setleridir. TUTGA noktaları için ise veriler kampanya tipi ölçüm şeklindedir ve veri süresi 5-9 saat arasında değişmektedir (Tablo 4.2). TUSAGA-Aktif verileri 4 ayda 1 olacak şekilde seçilmiştir, ancak TUTGA kampanya ölçülerinin olduğu günlerin de TUSAGA-Aktif verileri kullanılmıştır (Tablo 4.3). Ayrıca 2009-2013 ve 2018-2020 yılları arasında TUTGA ölçümü bulunmamaktadır. Çalışmada kullanılan noktalara ait dengeli koordinatlar ITRF2014 sisteminde hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 TUTGA noktaları ölçü günleri

TUTGA Noktaları	EPOK	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	AKKS	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
	ALM2	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-
	AYCK	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	CAYY	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
	CORD	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	CRCR	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	GBAG	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	GHAC	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	GKCB	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	GOLK	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	GYNC	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	HAVZ	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	KAML	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	1
	KAVK	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	KLLK	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-
	KRLK	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1
	LCIN	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1
	NIKS	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	OCIK	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-
	RESA	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	TSPN	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	YLTP	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.3 TUSAGA-AKTİF noktaları ölçü günleri

TUSAGA-Aktif İstasyonları ve BUCU İstasyonu	EPOK	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	AMA1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	3	3	17
	AMAS	3	3	3	3	3	7	25	7	8	-	-	-	-
	BOYT	3	3	3	3	3	8	26	6	11	4	3	3	17
	BUCU	3	3	3	3	3	8	26	7	11	4	3	3	15
	CORU	3	3	3	3	3	7	25	7	10	4	3	3	17
	RDIY	3	3	3	3	3	8	26	7	11	4	3	3	17
	SIVS	3	3	3	3	3	7	25	7	9	4	3	3	-
	SVS1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
	SSE1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	3	3	17
	SSEH	3	3	3	3	3	7	25	6	9	-	-	-	-
	SUN1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	16
	SUNL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	-
	TOK1	-	-	-	-	-	7	26	7	11	4	3	3	17
	TOKA	3	3	3	3	2	1	-	-	-	-	-	-	-
	VEZI	3	3	3	3	3	8	26	7	11	4	3	3	17

Başlangıçta toplam 94 epok gözlem planlanmıştır. 2017 yılının 144. gününde veri bozuk olduğundan, 2021 yılının 160. ve 161. günlerinde BUCU noktasının verileri olmadığından bu günlerin çözümü yapılamamıştır. Bu sebeple toplam 91 epok gözlem sonucu değerlendirilmiştir. Ayrıca 2016 yılının 172. gününde BOYT; 2017 yılının 141. gününde BOYT, RDIY, TOK1 ve VEZI noktalarındaki veriler 20 dakikadan az olduğu için değerlendirmeden çıkarılmıştır. 2017 yılının 143. gününde ise VEZI noktasına ait veri bozuk olduğu için değerlendirmeden çıkarılmıştır.

Uygulamada kullanılan iyonosfer dosyası, hassas efemeris bilgileri ve yer dönüklük parametreleri, Center for Orbit Determination in Europe'nin (CODE) ürünleridir. İyonosfer dosyaları, .ION ya da .ION.Z uzantılı olarak ölçüm yapılacak her gün için

indirilmiştir. Bu dosyalar GPS haftası ve GPS günü ile isimlendirilmektedir. İlk üç hane COD, 4-7 hane GPS haftası ve 8. hane GPS gününü ifade etmektedir. Hassas efemeris bilgileri .PRE uzantılı olarak ölçüm yapılacak her gün için indirilmiştir. GPS haftası ve GPS günü ile isimlendirilmektedir. İlk üç hane COD, 4-7 hane GPS haftası ve 8. hane GPS gününü ifade etmektedir. Yer dönüklük parametreleri .ERP uzantılıdır. Ölçüm yapılacak her hafta için indirilmektedir. İlk üç hane COD, 4-7 hane GPS haftası ve 8. hane GPS günüdür ancak 8. hane haftalık anlamına geldiği için 7 olmalıdır.

Troposferin modellenmesinde önsel gecikme değerleri, Global Pressure and Temperature (GPT) ve Global Mapping Function (GMF) kullanılarak elde edilmiştir (Böhm vd., 2006). Değerlendirmelerde ıslak ve kuru GMF (Küresel İzdüşüm Fonksiyonu/Global Mapping Function) kullanılmıştır. Okyanus yüklemesi dosyası ise (FES2004) Lyard vd. (2006) çalışmasından alınmıştır.

4.3 Bernese Yazılımı ile GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GNSS veri değerlendirme yazılımları, ticari ve bilimsel olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Ticari yazılımlar, genellikle GNSS alıcılarıyla birlikte sunulan ve klasik mühendislik uygulamalarında kullanılan yazılımlardır. Ticari yazılımlar ile yaklaşık 20 km uzunluğundaki bazlar çözülebilmektedir (Doğan, 2017). Öte yandan, ulusal jeodezik ağların kurulması, datum parametrelerinin belirlenmesi, tektonik hareketlerin incelenmesi gibi uzun baz mesafelerinin analizini gerektiren durumlarda akademik yazılımların kullanımı daha uygun olmaktadır. GAMIT/GLOBK, GIPSY-OASIS/Gipsy-X, RTKLIB, PANDA ve bu çalışmada kullanılan Bernese, akademik GNSS veri değerlendirme yazılımlarıdır. Akademik yazılımlar ile daha karmaşık veri setleri işlenebilir, işleme müdahale edilebilir, jeodezik ve jeofiziksel analizler yapılabilir. Bu yazılımlar, PPP ve bağıl konumlama gibi jeodezik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak PPP ve bağıl yöntem ile çözüm yapılmış, elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Bernese klasör tabanlı bir yapıya sahiptir. Çalışma klasörü, kampanya klasörü olarak isimlendirilmekte ve aşağıda belirtilen klasörleri içinde barındırmaktadır. Bernese v5.2 ile analize başlamadan önce gerekli verilerin istenilen formatta bu

klasörlerde bulunması gerekmektedir. Klasörlerdeki dosyaların elde edilme şekilleri Bölüm 4.2'de belirtilmiştir. Klasör isimleri ve içerisinde bulunması gereken dosyalar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- ATM : Bernese formatındaki iyonosfer dosyaları saklanır.
  - Bu çalışmada .ION uzantılı iyonosfer dosyası kullanılmıştır.
- BPE : Komut geçişi ve hata mesajları saklanır.
- GRD : Grid dosyaları saklanır.
- MSC : BPE ile ilgili verileri içerir.
- OBS : Bernese ile analiz sonucu oluşturulmuş gözlem dosyaları bulunur.
- ORB : Uydu yörünge bilgileri saklanır.
  - Bu çalışmada hassas efemeris bilgileri içeren .PRE uzantılı dosyalar ve yer dönüklük parametrelerini içeren .ERP uzantılı dosyalar kullanılmıştır.
- ORX : Orijinal RINEX dosyalarını içerir.
- OUT : Yazılımın çıktılarının saklandığı klasör. İşleme sonuçları, raporlar ve analiz çıktıları burada yer alır.
- RAW : RINEX verileri bulunur. Dosyalar .YYO uzantılıdır.
- SOL : Çözüm dosyaları saklanır.
- STA : GNSS istasyonlarıyla ilgili bilgileri içerir. İstasyonların konumları ve istasyona özgü bilgiler bu klasörde saklanır. Bu çalışmada aşağıdaki dosyalar kullanılmıştır.
  - Okyanus yüklemesi dosyası .BLQ
  - Yaklaşık nokta koordinatları içeren .CRD dosyası
  - Noktaların isim kısaltmaları içeren .ABB dosyası
  - Kampanya oturum tablosu .SES dosyasıdır (Dach vd., 2015; Gündüz 2019).

4.3.1 Bağıl Yöntem ile GPS verilerinin değerlendirilmesi

Bernese v5.2 yazılımı ile bağıl konum belirlemede işlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Gerekli verilerin edinilmesi ve Bernese v5.2 ile işleme uygun hale getirilmesi
2. Kampanya klasörünün hazırlanması
3. Yörünge dosyalarının oluşturulması
4. Saat hatalarının düzeltilmesi
5. Bazların oluşturulması

6. Faz sıçramalarının belirlenmesi
7. İlk çözüm ve kaba hatalı ölçülerin ayıklanması
8. Yaklaşık çözüm ve tamsayı belirsizliğinin çözümü
9. Kesin çözüm (Doğan 2017).

Bu kısımda verilerin tamamı bağıl yöntemle Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Veri değerlendirmeleri sırasında, kod ve faz ölçüleri oluşturulurken veri kayıt aralığı 30 saniye olarak belirlenmiştir. Bazlar, BUCU referans istasyonuna göre, star stratejisi kullanılarak, faz ölçüleri ile oluşturulmuştur. Baz oluşturmak için kullanılan star stratejisi, bir noktayı referans seçerek bazları sadece referans noktasına göre oluşturmaktadır. Faz sıçramaları, tekli farklar yardımıyla düzeltilmiştir. İlk aşamada, uydu yükseklik açısı 5 derece, veri kayıt aralığı 180 saniye olarak seçilmiştir. Ayrıca, zorlamasız çözüm tekniği ile değerlendirme yapılmıştır. Yaklaşık çözüm aşamasında, uydu yükseklik açısı 5 derece, veri kaydı 180 saniyede bir yapılmıştır. İlk çözümden farklı olarak, bu aşamada zorlamalı çözüm yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. Tamsayı belirsizliği çözümlemesinde ise QIF (Quasi Ionosphere Free) stratejisi izlenmiş ve yaklaşık çözüm sonuçlarından elde edilen nokta koordinat bilgileri kullanılmıştır. Bu çözümlemede uydu yükseklik açısı 10 dereceye çıkarılırken, veri kayıt aralığı 30 saniyeye indirilmiştir. Bu aşamada da zorlamalı çözüm tekniği tercih edilmiştir. Kesin çözüm aşamasında, tamsayı belirsizliği çözümünde kullanılan yaklaşık çözüm sonuçlarındaki koordinat bilgileri esas alınmıştır. Bu aşamada da uydu yükseklik açısı 5 derece ve veri kayıt aralığı 180 saniye olarak belirlenmiş, zorlamalı çözüm tekniği kullanılmıştır. Tüm çözüm aşamalarında, iyonosfer modellemesi için CODE'nin global iyonosfer modeli ve uydu yörüngesi bilgileri için CODE'nin sağladığı hassas uydu yörünge bilgileri kullanılmıştır (Doğan, 2017).

4.3.2 PPP Yöntemi ile GPS verilerinin değerlendirilmesi

Bu kısımda verilerin tamamı PPP yöntemi ile Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz Process Control File (PCF) dosyası ile yapılmıştır. Bu sebeple Bernese ile PPP çözümlerinin yapılabilmesi için öncelikle hassas uydu yörünge ve saat dosyalarının DATAPOOL klasöründe yer alan ilgili klasörlere eklenmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak .ERP, .ION, ve .BLQ dosyalarının da yine ilgili klasörlerde bulunması gerekmektedir. Bernese v5.2 PPP çözümünü

gerçekleştirebilmek için diferansiyel kod hatası dosyasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dosyanın da indirilerek gerekli klasörlere eklenmesi gerekmektedir.

PPP çözümüne başlanırken öncelikle ilgili dosyalar uygun formatta kampanya klasörüne aktarılmıştır. Veri kayıt aralığı 300 saniye olacak şekilde yumuşatılmış RINEX dosyaları oluşturulmuştur. Kod ölçülerine bağlı saat senkronizasyonu tamamlandıktan sonra yaklaşık koordinatlar elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada faz sıçramaları giderilmiş ve parametre kestirimi işlemi tamamlanıştır. Parametre kestirim aşamasında uydu yükseklik açısı 5 derece seçilmiştir. Sadece GPS uydularına ait gözlemler kullanılmıştır. Tam sayı belirsizlikleri yaklaşık olarak çözülmüştür. Önsel troposferik gecikme değeri GPT modelinden elde edilmiş, troposferik izdüşüm fonksiyonu için ise GMF seçilmiştir.

4.4 Çalışma Bölgesindeki Hız ve Yer Değiştirme Vektörlerinin Belirlenmesi

Bernese v5.2 ile elde edilen kartezyen koordinatlar 4.1, 4.2 ve 4.3 eşitlikleriyle toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür.

$$\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\\ \Delta Z\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}X_i - X_0\\ Y_i - Y_0\\ Z_i - Z_0\end{bmatrix} \tag{4.1}$$

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} -sin\,(\lambda) & cos\,(\lambda) & 0\\ -sin(\lambda)\,cos\,(\lambda) & -sin(\varphi)\,sin\,(\lambda) & cos\,(\varphi)\\ cos(\varphi)\,cos\,(\lambda) & cos(\varphi)\,sin\,(\lambda) & sin\,(\varphi)\end{bmatrix} \tag{4.2}$$

$$\boldsymbol{R}\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\\ \Delta Z\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\Delta e\\ \Delta n\\ \Delta u\end{bmatrix} \tag{4.3}$$

Burada; X_0, Y_0, Z_0 tüm noktalar için ilk periyot koordinatlarını; $\boldsymbol{R}$, dönüşüm matrisini; φ ve λ elipsoidal koordinatları; ΔX, ΔY ve ΔZ iki periyot arasındaki kartezyen koordinat farklarını; Δe, Δn ve Δu, toposentrik koordinat sistemindeki koordinat farklarını göstermektedir.

Daha sonra değerlendirme sonucu kartezyen koordinat sisteminde elde edilen standart sapmalara 4.4 ve 4.5 eşitliklerindeki kovaryans yayılma kuralı uygulanarak toposentrik sistemdeki standart sapmalar elde edilmiştir.

$$\boldsymbol{C_{topo}} = \boldsymbol{R}\ \boldsymbol{C_{kar}}\ \boldsymbol{R^T} \tag{4.4}$$

$$\boldsymbol{C_{kar}} = S_0^2\ \boldsymbol{Q_{xx}} \tag{4.5}$$

Burada $\boldsymbol{C_{topo}}$ ve $\boldsymbol{C_{kar}}$, sırasıyla toposentrik ve kartezyen koordinat sistemindeki kovaryans matrisini; S_0^2 ve $\boldsymbol{Q_{xx}}$, sırasıyla Bernese yazılımından elde edilen sonsal varyansı ve kofaktör matrisini ifade etmektedir.

Daha sonra yer değiştirme ve hız büyüklükleri için t-testi uygulanarak, bu vektörel büyüklüklerin anlamlılığı istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu testler, ölçümler arasındaki uyumun ve koordinat değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, t dağılımının kritik değerleri ile karşılaştırılarak %99 güven aralığında değerlendirilmiştir.

Analiz sonucu elde edilen yatay düzlemdeki yer değiştirme büyüklüğü ve hızlar, yatay ve düşey bileşen için ayrı ayrı test edilmiştir. Yatay bileşen ve standart sapma büyüklükleri 4.6 ve 4.7 eşitlikleri ile elde edilmiştir.

$$s_b{}^2 = \boldsymbol{F}\ \boldsymbol{C}\ \boldsymbol{F^T} \tag{4.6}$$

$$T = \frac{\sqrt{(\Delta e^2 + \Delta n^2)}}{s_b} \sim t_{f,1-\alpha} \tag{4.7}$$

Burada s_b yatay bileşenin standart sapmasını, $\boldsymbol{F}$ katsayılar matrisini, $\boldsymbol{C}$ kovaryans matrisini, T test değerini, α güven aralığını ve f serbestlik derecesini göstermektedir. Daha sonra f serbestlik derecesi ve α = 0.01 güven aralığına göre t dağılımının kritik değeri hesaplanmıştır.

Karşılaştırılan test değeri, t dağılımının kritik değerinden büyük olduğunda, gözlemlenen yer değiştirmenin %99 güven aralığında anlamlı olduğu kabul edilir. Test değeri, t dağılımının kritik değerinden küçük olduğunda ise yer değiştirmenin rastgele olabileceğini ve belirlenen güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığını gösterir. Anlamlı bulunmayan değerler Tablo 4.4-7'te koyu renkle gösterilmiştir.

4.4.1 Çalışma Bölgesindeki Yer Değiştirme Vektörlerinin Belirlenmesi

2 epok ölçüsü olan noktaların hızları dengeli olarak belirlenememektedir. Bu sebeple uygulamada yalnızca 2 epok ölçümü olan TUTGA noktalarının yer değişimleri hesaplanmıştır. Buna göre bir noktanın t_0 anındaki konumu x_0, t_1

anındaki konumu x_1 ve konum farkı Δx'tir. t_0 ve t_1 zamanları arasındaki yer değişimi 4.8 eşitliği ile hesaplanabilir.

$$\Delta x = x_1 - x_0 \tag{4.8}$$

Hesaplanan yer değiştirme büyüklüklerine t-testi uygulanmıştır.

Tablo 4.4 bağıl yöntem ile elde edilen yer değiştirmelerin, Tablo 4.5 ise PPP yöntemi ile elde edilen yer değiştirmelerin yatay düzlemde anlamlı olup olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.4 Yer değiştirmelerin yatay düzlemdeki t-testi sonuçları (Bağıl)

İstasyon İsmi (bağıl)	Δe (mm)	Δn (mm)	Yer Değiştirme	s_b	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AKKS	-5.94	13.49	14.74	2.31	6.38	2.33
ALM2	-35.90	13.91	38.50	2.87	13.43	2.33
AYCK	-30.70	28.31	41.76	2.97	14.06	2.33
CAYY	-15.74	16.28	22.64	2.30	9.83	2.33
CRCR	-110.73	51.94	122.30	1.85	66.20	2.33
GHAC	-63.44	41.60	75.86	2.47	30.69	2.33
GKCB	-86.52	37.34	94.23	1.76	53.40	2.33
GOLK	-3.51	42.26	42.41	2.38	17.79	2.33
GYNC	-94.53	39.46	102.44	3.27	31.34	2.33
HAVZ	-60.23	42.66	73.80	2.67	27.61	2.33
KAVK	-2.06	30.27	30.34	2.21	13.72	2.33
KLLK	-5.95	11.24	12.72	3.86	3.29	2.33
KRLK	-118.08	53.07	129.45	2.47	52.43	2.33
NIKS	-40.52	28.85	49.74	2.73	18.24	2.33
OCIK	-20.11	23.76	31.13	3.33	9.34	2.33
TSPN	-116.58	55.76	129.22	1.79	72.12	2.33
YLTP	-22.73	24.29	33.26	2.18	15.26	2.33

Bağıl çözümle elde edilen yatay yer değiştirmelerin t-testi sonucunda %99 güven aralığında anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5 Yer değiştirmelerin yatay düzlemde t-testi sonuçları (PPP)

İstasyon İsmi (PPP)	Δe (mm)	Δn (mm)	Büyüklük	s_b	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AKKS	42.29	31.62	52.80	4.12	12.81	2.33
ALM2	21.59	49.68	54.16	2.77	19.53	2.33
AYCK	89.59	85.42	123.78	3.21	38.55	2.33
CAYY	4.82	48.39	48.63	1.68	28.91	2.33
CRCR	8.92	119.97	120.30	2.09	57.48	2.33
GHAC	80.82	107.70	134.65	2.41	55.83	2.33
GKCB	41.39	109.14	116.73	2.23	52.24	2.33
GOLK	117.58	96.44	152.08	3.88	39.20	2.33
GYNC	30.38	93.29	98.11	2.25	43.63	2.33
HAVZ	53.53	97.10	110.88	2.89	38.43	2.33
KAVK	155.95	98.66	184.53	6.09	30.31	2.33
KLLK	28.20	37.07	46.57	5.96	7.82	2.33
KRLK	-21.87	124.11	126.02	2.09	60.25	2.33
NIKS	65.16	87.95	109.46	3.37	32.46	2.33
OCIK	46.75	52.18	70.06	4.55	15.39	2.33
TSPN	3.33	109.69	109.74	2.04	53.90	2.33
YLTP	11.38	31.90	33.87	2.47	13.71	2.33

PPP çözümüyle elde edilen yatay yer değiştirmelerin t-testi sonucunda %99 güven aralığında anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.6 bağıl yöntem ile, Tablo 4.7 ise PPP yöntemiyle elde edilen yer değiştirmelerin düşey düzlemde anlamlı olup olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.6 Yer değiştirmelerin düşey düzlemde t-testi sonuçları (Bağıl)

İstasyon İsmi (bağıl)	Δu (mm)	s_u	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AKKS	**-14.64**	**8.20**	**1.79**	**2.33**
ALM2	21.40	8.51	2.52	2.33
AYCK	**-10.80**	**9.34**	**1.16**	**2.33**
CAYY	**-5.60**	**7.99**	**0.70**	**2.33**
CRCR	-33.09	6.93	4.77	2.33
GHAC	**-13.73**	**7.52**	**1.83**	**2.33**
GKCB	-50.83	7.03	7.23	2.33
GOLK	**18.02**	**9.78**	**1.84**	**2.33**
GYNC	-37.43	7.26	5.16	2.33
HAVZ	**-6.63**	**8.31**	**0.80**	**2.33**
KAVK	**-8.84**	**8.43**	**1.05**	**2.33**
KLLK	-49.01	12.96	3.78	2.33
KRLK	**5.65**	**7.11**	**0.79**	**2.33**
NIKS	**7.41**	**8.45**	**0.88**	**2.33**
OCIK	**-6.40**	**9.06**	**0.71**	**2.33**
TSPN	-24.89	6.79	3.66	2.33
YLTP	19.64	8.17	2.41	2.33

Bağıl çözümle elde edilen düşey yer değiştirmelerin test değeri ve karşılaştırma değeri %99 güven aralığında kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre AKKS, AYCK, CAYY, GHAC, GOLK, HAVZ, KAVK, KRLK, NIKS ve OCIK noktalarının test

değerlerinin karşılaştırma değerinden küçük olduğu ve yer değiştirmelerin istatistiksel olarak anlamsız olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.7 Yer değiştirmelerin düşey düzlemde t-testi sonuçları (PPP)

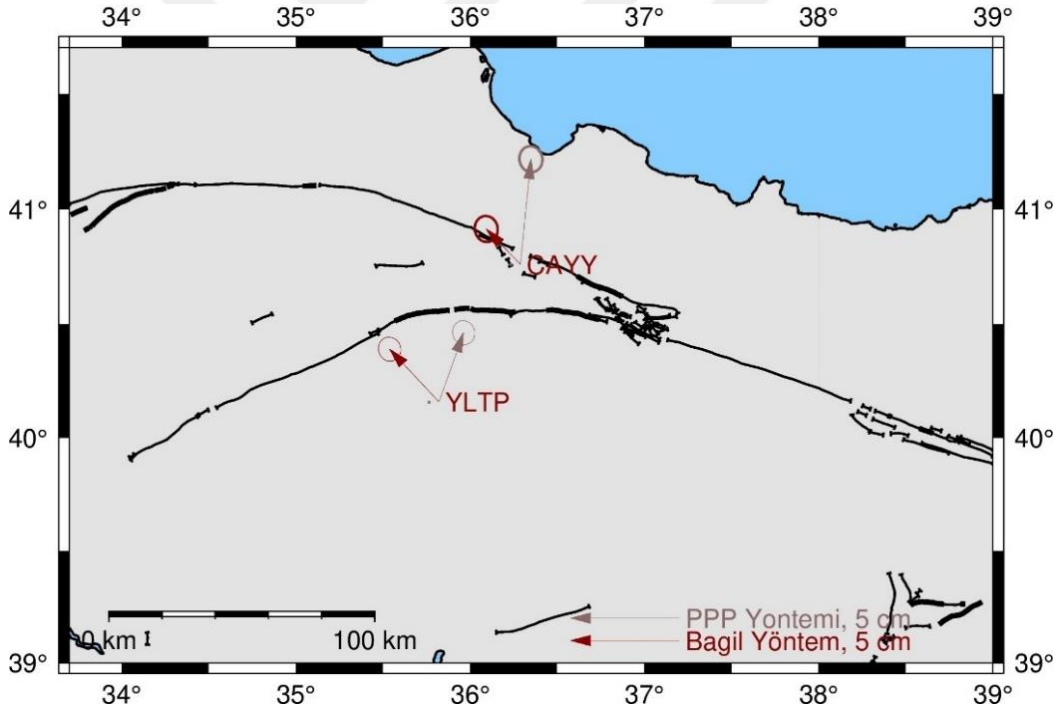
İstasyon İsmi (PPP)	Δu (mm)	s_u	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AKKS	-17.58	6.06	2.90	2.33
ALM2	**17.51**	**7.78**	**2.25**	**2.33**
AYCK	20.00	6.65	3.01	2.33
CAYY	-46.53	5.99	7.77	2.33
CRCR	**-13.17**	**7.76**	**1.70**	**2.33**
GHAC	**5.76**	**5.17**	**1.11**	**2.33**
GKCB	**-9.14**	**6.52**	**1.40**	**2.33**
GOLK	33.24	7.18	4.63	2.33
GYNC	**-5.65**	**6.44**	**0.88**	**2.33**
HAVZ	42.14	7.68	5.48	2.33
KAVK	-19.22	7.97	2.41	2.33
KLLK	-41.30	14.64	2.82	2.33
KRLK	19.55	6.59	2.97	2.33
NIKS	61.16	7.10	8.62	2.33
OCIK	-30.07	7.32	4.11	2.33
TSPN	-18.43	7.33	2.51	2.33
YLTP	44.49	7.37	6.04	2.33

PPP çözümüyle elde edilen düşey yer değiştirmelerin test değeri ve karşılaştırma değeri %99 güven aralığında kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre ALM2, CRCR,

GHAC, GKCB ve GYNC noktalarının test değerinin karşılaştırma değerinden küçük olduğu ve yer değiştirmelerin istatistiksel olarak anlamsız olduğu sonucuna varılmıştır.

TUTGA noktalarının yer değiştirme grafikleri, epokların birbirine eşit olmaması sebebiyle yıllara göre gruplandırılarak çizilmiştir (Şekil 4.2-7).

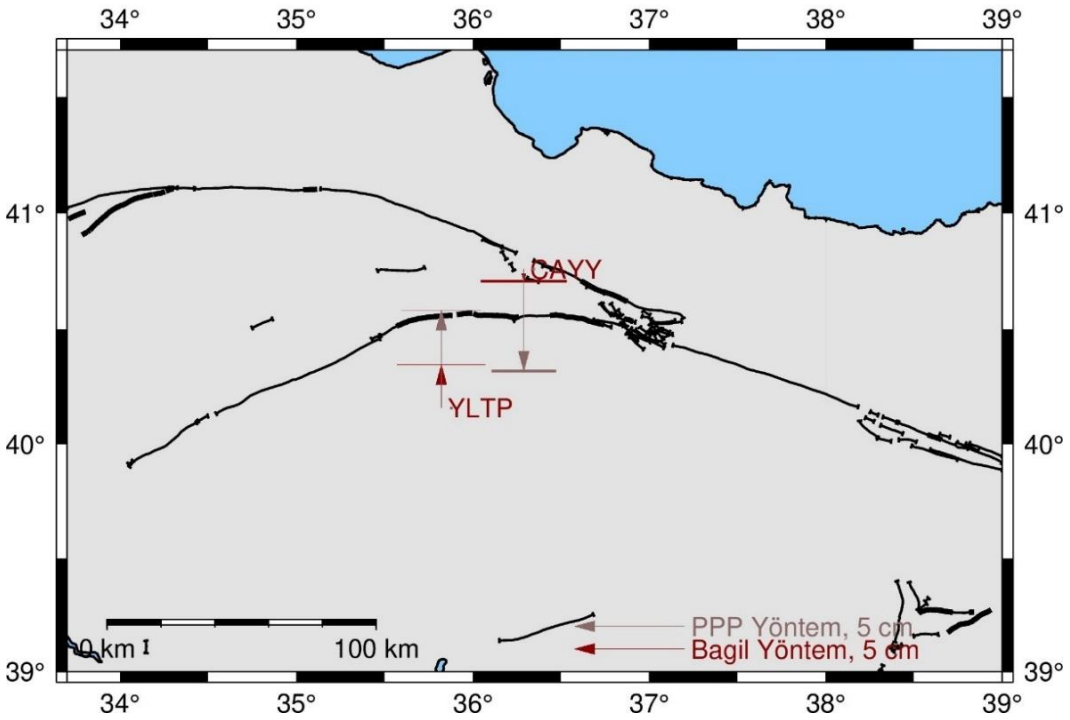
2014-2015 yılları arasında yatay düzlemde bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre CAYY noktasının yer değiştirme miktarı kuzeybatı yönünde 22.64 mm; YLTP noktasının yer değiştirme miktarı ise kuzeybatı yönünde 33.26 mm'dir. Aynı yıllar içinde PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre CAYY noktasının yer değiştirme miktarı kuzeydoğu yönünde 48.63 mm; YLTP noktasının yer değiştirme miktarı ise kuzeydoğu yönünde 33.87 mm'dir (Şekil 4.2). Ayrıca bu noktaların t-testi sonuçları incelendiğinde istatistiksel olarak belirtilen hareketlerin anlamlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2 2014-2015 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

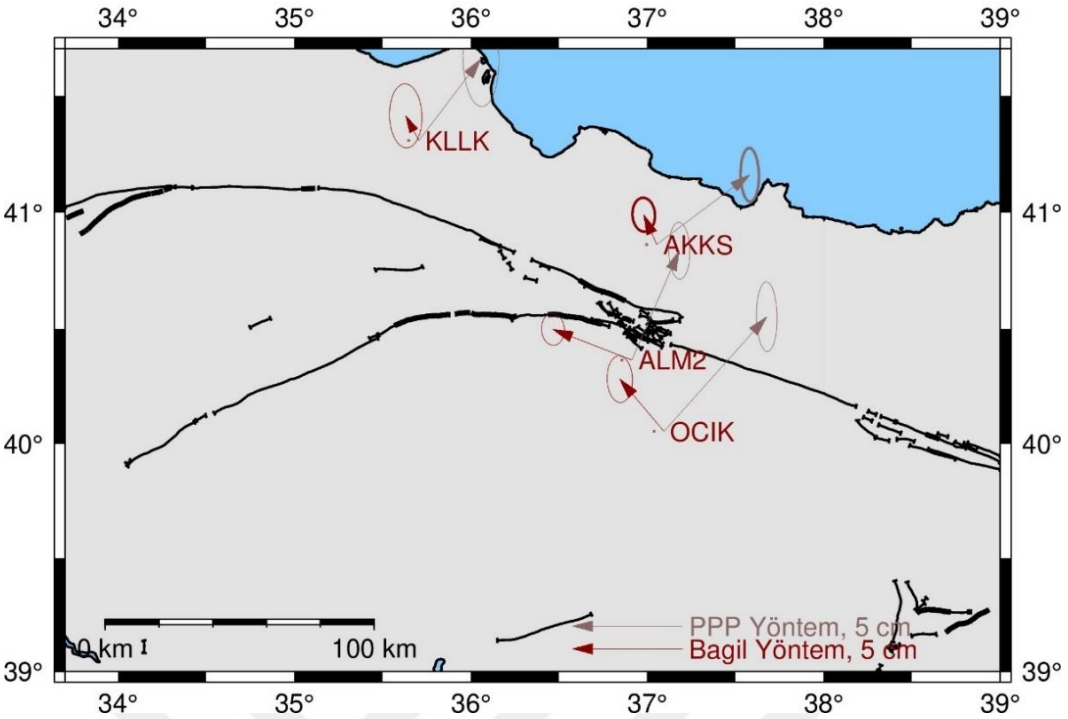
2014-2015 yılları arasında düşey doğrultudaki yer değiştirme miktarları; CAYY noktasında bağıl çözümle elde edilen sonuçlara göre aşağı yönde 5.60 mm, PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre aşağı yönde 46.53 mm'dir. Sonuçlar incelendiğinde CAYY noktasının bağıl çözüm sonucu hesaplanan yer değiştirme

miktarı t-testine göre istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmüştür. YLTP noktasında bağıl çözümle elde edilen sonuçlara göre yukarı yönde 19.64 mm, PPP çözümüyle elde edilen sonuçlara göre ise yukarı yönde 44.49 mm hareket ettiği görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde YLTP noktasının yer değiştirme miktarı t-testine göre anlamlıdır. (Şekil 4.3).



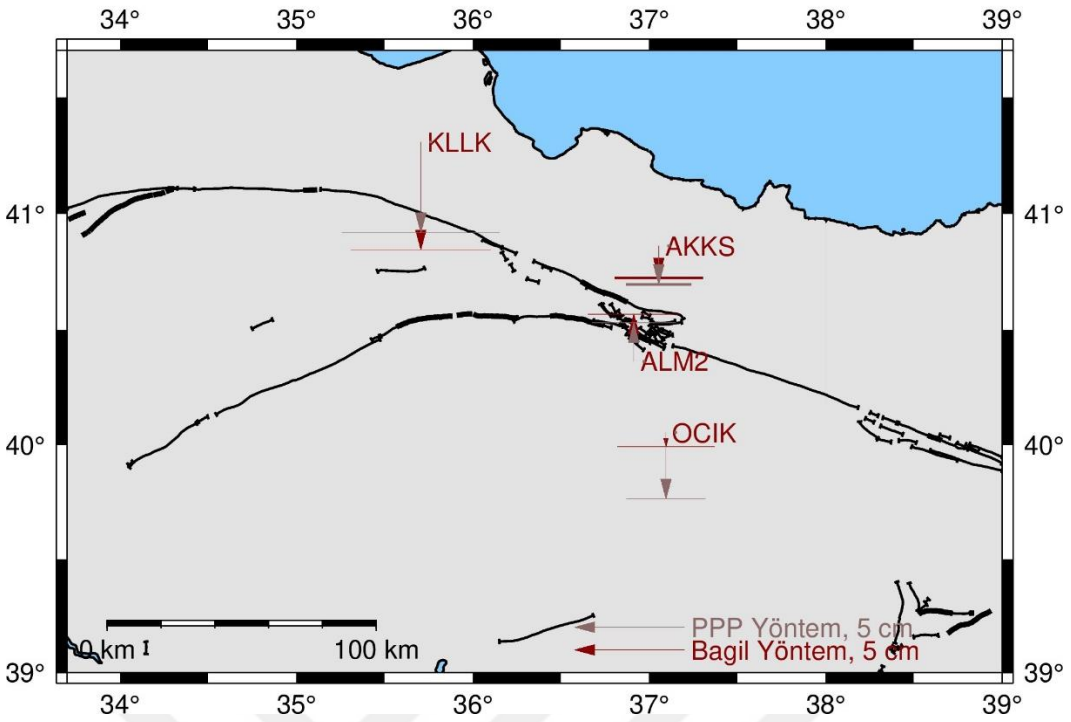
Şekil 4.3 2014-2015 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

2015-2017 yılları arasında yatay düzlemde hem bağıl yöntem hem PPP yöntemiyle çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler ALM2 ve OCIK noktalarında gerçekleşmiştir. ALM2 noktasının bağıl çözümle elde edilen sonuçlara göre kuzeybatı yönünde 38.50 mm, PPP çözümüyle elde edilen sonuçlara göre kuzeydoğu yönünde 54.16 mm yer değiştirdiği belirlenmiştir. OCIK noktasının bağıl çözümle elde edilen sonuçlara göre kuzeybatı yönünde 31.13 mm, PPP çözümüyle elde edilen sonuçlara göre kuzeydoğu yönünde 70.06 mm yer değiştirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.4). Noktaların t-testi sonuçları incelendiğinde istatistiksel olarak belirtilen hareketlerin anlamlı olduğu görülmüştür.



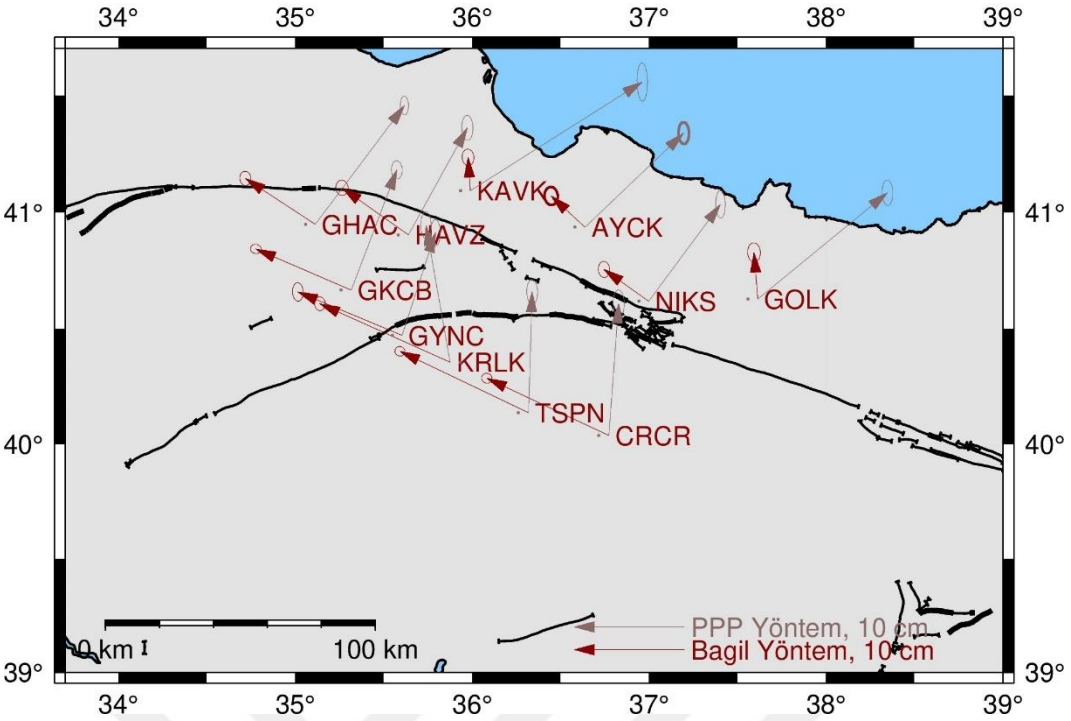
Şekil 4.4 2015-2017 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

2015-2017 yılları arasında düşey doğrultuda bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler ALM2 noktasında yukarı yönde 21.40 mm, KLLK noktasında aşağı yönde 49.01 mm'dir. Aynı yıllarda PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler OCIK noktasında aşağı yönde 30.07 mm, KLLK noktasında aşağı yönde 41.30 mm'dir (Şekil 4.5).



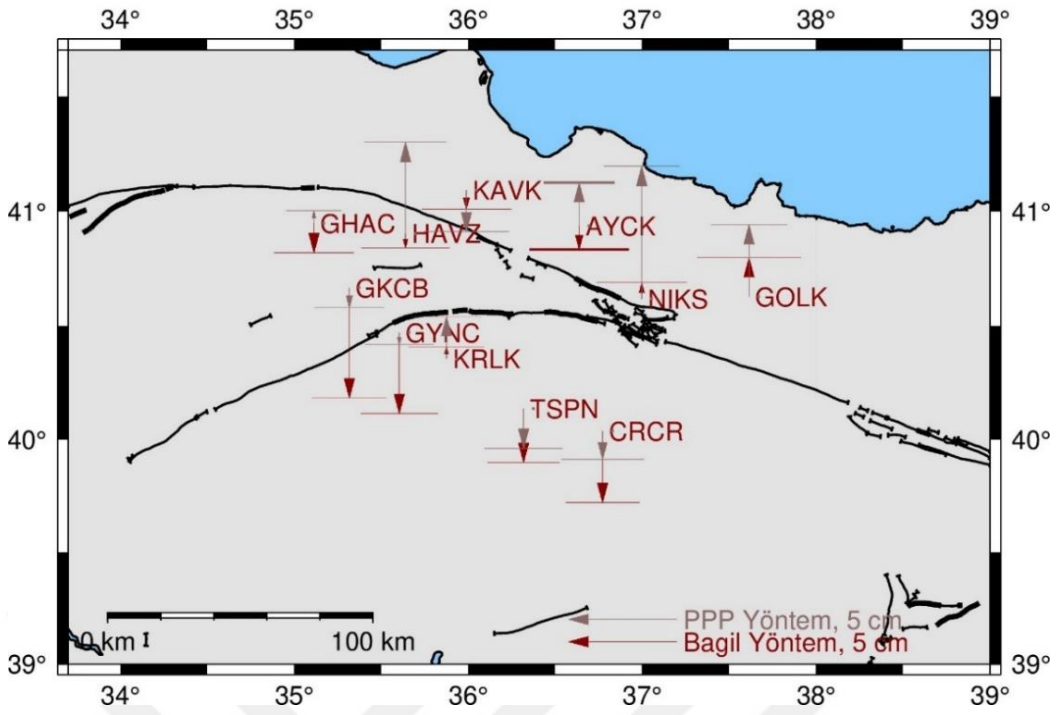
Şekil 4.5 2015-2017 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

2015-2021 yılları arasında yatay düzlemde bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler KRLK noktasında kuzeybatı yönünde 129.45 mm ve TSPN noktasında kuzeybatı yönünde 129.22 mm'dir. Aynı yıllar içinde PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler GOLK noktasında kuzeydoğu yönünde 152.08 mm ve KAVK noktasında kuzeydoğu yönünde 184.53 mm'dir. Tüm sonuçlar t-testine göre anlamlıdır (Şekil 4.6). Ayrıca ilgili büyüklükler Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.6 2015-2021 yılları arasındaki yatay yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

2015-2021 yılları arasında düşey doğrultuda bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirmeler GKCB noktasında aşağı yönde 50.83 mm ve GYNC noktasında aşağı yönde 37.43 mm'dir. PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre en büyük yer değiştirme HAVZ noktasında yukarı yönde 42.14 mm ve NIKS noktasında yukarı yönde 61.16 mm'dir. Belirtilen yer değiştirmeler t-testine göre anlamlıdır (Şekil 4.7). Ayrıca ilgili büyüklükler Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'te detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.7 2015-2021 yılları arasındaki düşey yer değiştirmelerin bağıl ve PPP çözüm sonuçları

4.4.2 Çalışma Bölgesindeki Hız Vektörlerinin Belirlenmesi

En az 3 epok ölçümü bulunan noktaların hızları hesaplanabilir. Uygulamada tüm TUSAGA-Aktif noktalarına ek olarak KAML ve LCIN TUTGA noktalarının da hızları hesaplanmıştır. Buna göre 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12 eşitlikleriyle 3 ve daha fazla ölçüsü bulunan noktaların doğrusal kinematik hız modeli oluşturulmuş ve ivme ihmal edilmiştir.

$$\boldsymbol{x(t)} = \boldsymbol{x}(t_0) + (t - t_0)\,\boldsymbol{u}(t_0) \tag{4.9}$$

$$\boldsymbol{l} = [\boldsymbol{x(t)_e}\ \ \boldsymbol{x(t)_n}] \tag{4.10}$$

$$\boldsymbol{Q_{ve}} = (\boldsymbol{A^T A})^{-1} \tag{4.11}$$

$$\hat{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{Q_{ve}}\,\boldsymbol{A^T}\,\boldsymbol{l} \tag{4.12}$$

Eşitliklerdeki $\boldsymbol{x(t)}$, t zamanına ilişkin koordinat vektörü; $\boldsymbol{x(t_0)}$, t_0 zamanına ilişkin koordinat vektörü ve $\boldsymbol{u}(t_0)$, hız vektörüdür. $\boldsymbol{l}$ vektörü toposentrik koordinatları içeren matrisi, **A** katsayılar matrisini, $\boldsymbol{Q_{ve}}$ hız modelinin kofaktör matrisini, $\hat{\boldsymbol{x}}$ bilinmeyen vektörünü belirtir. Bilinmeyenler vektörünün 2. satır elemanı hız değerleridir.

4.13, 4.14 ve 4.15 eşitlikleri ile de hızlara getirilecek düzeltme değerleri, sonsal standart sapma (s_0) ve hızların standart sapması (S_{ve}) hesaplanmıştır. Eşitliklerdeki $\boldsymbol{V}$, hız modeline ilişkin düzeltme vektörü ve q_{ve}, $\boldsymbol{Q_{ve}}$ hız modelinin kofaktör matrisinin köşegen elemanıdır. Ayrıca n ölçü sayısını, m parametre sayısını ifade eder.

$$\boldsymbol{V = A\,\hat{x} - l} \tag{4.13}$$

$$s_0 = \sqrt{\frac{V^T V}{n-m}} \tag{4.14}$$

$$S_{ve} = s_0 \sqrt{q_{ve}} \tag{4.15}$$

Hesaplanan hız büyüklüklerine t-testi uygulanmıştır. KAML ve LCIN noktalarının ölçü sayısı az olduğu için karşılaştırma değeri büyük çıkmıştır. Tablo 4.8 bağıl yöntem ile elde edilen hızların, Tablo 4.9 ise PPP yöntemi ile elde edilen hızların yatay düzlemde anlamlı olup olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.8 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (Bağıl)

İstasyon ismi (Bağıl)	Hız_n	Hız_e	Yatay Hız	S_{ve}	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AMA1	7.27	-14.50	16.22	0.38	42.90	2.49
AMAS	9.22	-12.86	15.83	0.10	156.49	2.39
BOYT	2.60	-1.41	2.96	0.05	54.83	2.37
CORU	5.54	-15.34	16.31	0.05	299.68	2.37
KAML	**3.60**	**-10.99**	**11.56**	**1.80**	**6.44**	**6.96**
LCIN	5.99	-16.67	17.72	0.52	34.19	31.82
RDIY	7.37	-10.15	12.54	0.10	131.00	2.37
SIVS	9.68	-16.92	19.49	0.12	168.25	2.38
SSE1	6.99	-11.52	13.48	0.46	29.38	2.49
SSEH	8.68	-11.02	14.03	0.11	122.54	2.39
SUN1	1.68	-20.20	20.27	1.85	10.94	2.62

Tablo 4.8 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (Bağıl) (devamı)

SUNL	4.83	-18.83	19.44	0.57	33.86	2.45
SVS1	**14.97**	**13.38**	**20.08**	**13.73**	**1.46**	**2.72**
TOK1	8.60	-17.47	19.47	0.10	203.38	2.38
TOKA	8.95	-16.50	18.77	0.35	54.18	2.65
VEZI	4.29	-4.19	6.00	0.07	88.12	2.37

KAML ve SVS1 noktalarının test değeri, karşılaştırma değerinden küçüktür. Bu durum hareketlerinin 0.99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.9 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (PPP)

İstasyon ismi (PPP)	**$Hız_n$**	**$Hız_e$**	**Yatay Hız**	**S_{ve}**	**Test Değeri**	**Karşılaştırma Değeri**
AMA1	19.01	9.86	21.41	0.68	31.28	2.49
AMAS	18.15	11.27	21.36	0.33	64.36	2.39
BOYT	12.48	22.47	25.71	0.20	127.74	2.37
CORU	15.37	8.63	17.63	0.16	111.82	2.37
KAML	15.75	13.07	20.47	2.27	9.00	6.96
LCIN	**16.12**	**3.26**	**16.44**	**1.65**	**9.95**	**31.82**
RDIY	16.51	13.64	21.41	0.21	104.24	2.37
SIVS	18.56	7.39	19.98	0.25	80.98	2.38
SSE1	17.48	13.06	21.81	0.62	35.05	2.49
SSEH	16.97	13.73	21.83	0.33	65.35	2.39
SUN1	13.61	0.50	13.61	2.15	6.34	2.62

Tablo 4.9 Hızların yatay düzlemde t-testi sonuçları (PPP) (deamı)

SUNL	15.19	8.00	17.17	0.78	22.02	2.45
SVS1	**-17.53**	**-8.58**	**19.51**	**28.95**	**0.67**	**2.72**
TOK1	18.65	6.03	19.60	0.19	102.72	2.38
TOKA	18.94	6.85	20.14	1.33	15.14	2.65
VEZI	13.93	19.93	24.32	0.19	127.33	2.37
BUCU	12.31	23.13	26.20	0.15	174.16	2.37

LCIN ve SVS1 noktalarının test değeri, karşılaştırma değerinden küçüktür. Bu durum hareketlerinin 0.99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir.

SVS1 noktasının 60 gün içerisinde 13 epok gözlemi bulunmaktadır ve ölçüm aralıkları birbirine çok yakındır. Ayrıca hem PPP hem bağıl yöntem ile elde edilen hızlar, test değeri karşılaştırma değerinden küçük çıktığı için, istatiksel olarak anlamlı değildir. Bu sebeple grafiklerde gösterilmemiştir.

SUN1 noktasının tüm gözlemleri 1 yıl içinde gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple hareketi, t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı çıkmasında rağmen ölçüm aralıklarının birbirine çok yakın olması sebebiyle SUN1 noktası grafiklerde gösterilmemiştir.

KAML ve LCIN noktalarının ise ölçü süresi yaklaşık 7 saattir. Ayrıca 7 yıl içerisinde KAML noktasının 2'si ardışık olmak üzere toplam 4 epok, LCIN noktasının ise 3 epok gözlemi bulunmaktadır. Bu durum, hız hesaplaması için yeterlidir ancak veri miktarının az olması standart sapmanın artmasına neden olmuştur. Bu nedenle, gözlemlenen hareket istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 4.10 bağıl yöntem ile elde edilen hızların, Tablo 4.11 ise PPP yöntemi ile elde edilen hızların düşey düzlemde anlamlı olup olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.10 Hızların düşey doğrultudaki t-testi sonuçları (Bağıl)

İstasyon İsmi (Bağıl)	$Hız_u$	S_u	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AMA1	**-2.32**	**1.22**	**1.90**	**2.49**
AMAS	-4.83	0.42	11.46	2.39
BOYT	-3.00	0.25	12.22	2.37
CORU	-3.53	0.21	16.68	2.37
KAML	**3.05**	**3.80**	**0.80**	**6.96**
LCIN	**-11.84**	**3.31**	**3.58**	**31.82**
RDIY	-4.95	0.39	12.83	2.37
SIVS	-3.45	1.31	2.65	2.38
SSE1	**-1.83**	**1.55**	**1.18**	**2.49**
SSEH	-6.37	0.54	11.79	2.39
SUN1	**2.72**	**7.03**	**0.39**	**2.62**
SUNL	-3.03	1.04	2.92	2.45
SVS1	**34.48**	**48.37**	**0.71**	**2.72**
TOK1	-3.93	0.29	13.33	2.38
TOKA	-5.51	1.57	3.51	2.65
VEZI	-3.54	0.26	13.57	2.37

AMA1, KAML, LCIN, SSE1, SUN1 ve SVS1 noktalarının test değeri, karşılaştırma değerinden küçüktür. Bu durum hareketlerinin 0.99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir.

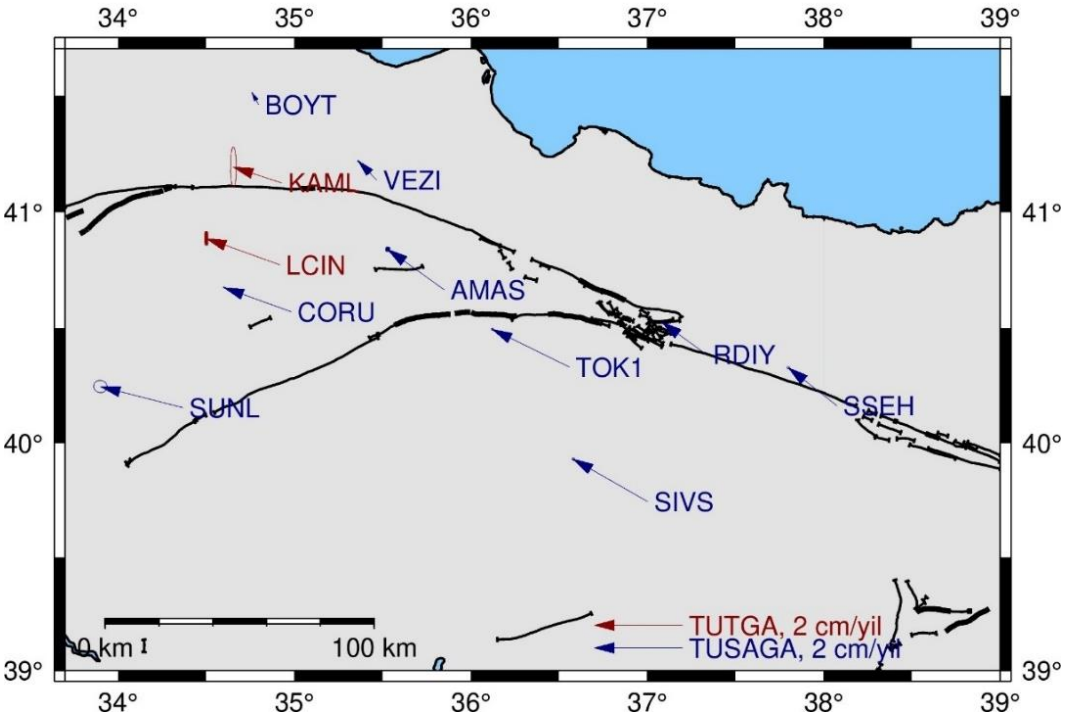
Tablo 4.11 Hızların düşey doğrultudaki t-testi sonuçları (PPP)

İstasyon İsmi (PPP)	$Hız_u$	S_u	Test Değeri	Karşılaştırma Değeri
AMA1	-4.37	1.24	3.54	2.49
AMAS	**0.96**	**0.64**	**1.48**	**2.39**
BOYT	**0.11**	**0.28**	**0.39**	**2.37**
BUCU	**0.50**	**0.30**	**1.69**	**2.37**
CORU	**-0.61**	**0.29**	**2.12**	**2.37**
KAML	**0.91**	**5.32**	**0.17**	**6.96**
LCIN	**-13.02**	**0.57**	**22.69**	**31.82**
RDIY	**-0.98**	**0.45**	**2.18**	**2.37**
SIVS	**1.91**	**1.24**	**1.54**	**2.38**
SSE1	**-0.38**	**0.86**	**0.44**	**2.49**
SSEH	**0.74**	**0.62**	**1.20**	**2.39**
SUN1	**-6.49**	**6.27**	**1.04**	**2.62**
SUNL	**6.50**	**3.21**	**2.02**	**2.45**
SVS1	**38.61**	**59.92**	**0.64**	**2.72**
TOK1	-1.99	0.34	5.76	2.38
TOKA	**3.09**	**2.09**	**1.48**	**2.65**
VEZI	**0.18**	**0.34**	**0.54**	**2.37**

AMA1 ve TOK1 noktalarının test değeri, karşılaştırma değerinden büyüktür. Bu durum AMA1 ve TOK1 noktalarının hareketlerinin 0.99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

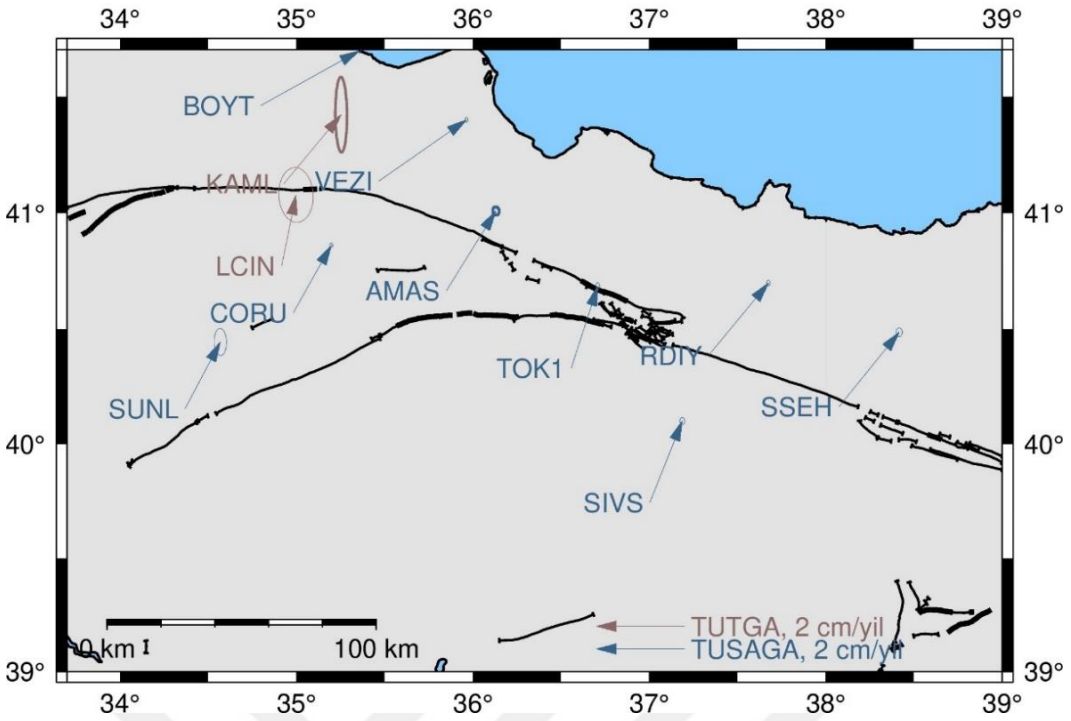
TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarına bağlı olarak belirlenen yatay hız alanları ve hata elipsleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. KAML, LCIN ve SUNL noktalarının ölçü sayısının az olması, hata elipslerinin hem bağıl hem PPP yönteminde daha büyük olmasına sebep olmuştur.

Bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yatay hız değerinin TOK1 ve SIVS noktalarında olduğu görülmüştür. TOK1 noktasının hızı kuzeybatı yönünde 19.47 mm/yıl, SIVS noktasının hızı ise kuzeybatı yönünde 19.49 mm/yıl'dır. Belirtilen noktalardaki hızlar istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4.8). İlgili büyüklükler Tablo 4.8'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.8 Bağıl çözümle elde edilen yatay hız alanı

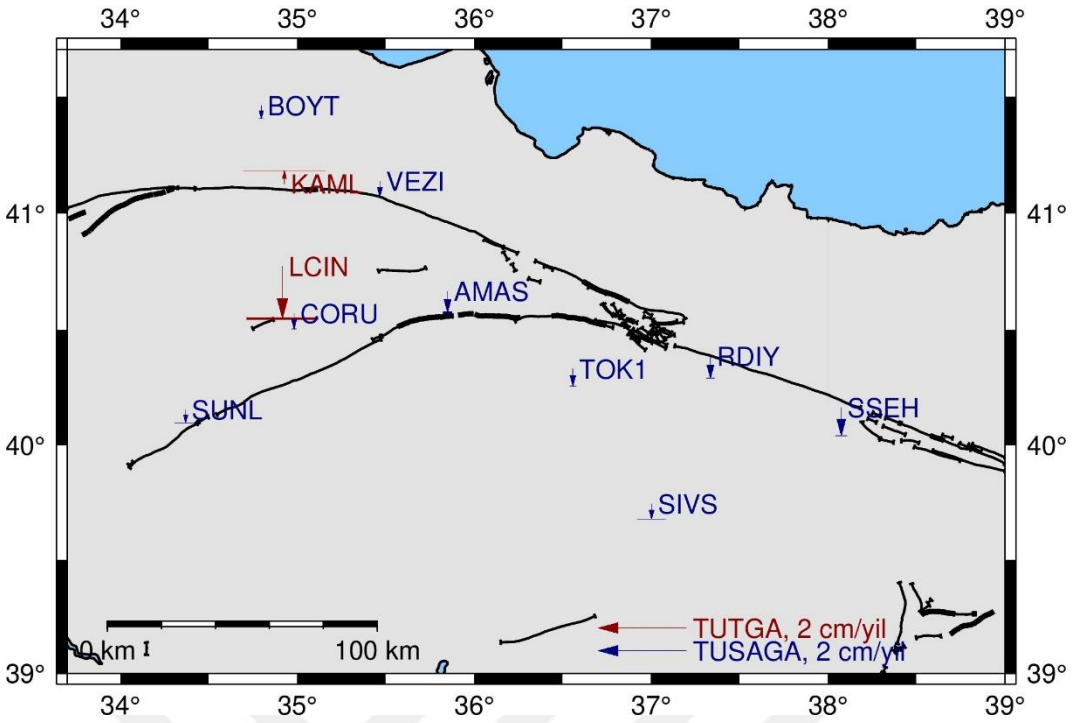
PPP çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük yatay hız değerinin BOYT ve VEZI noktalarında olduğu görülmüştür. BOYT noktasının hızı kuzeydoğu yönünde 25.71 mm/yıl, VEZI noktasının hızı ise kuzeydoğu yönünde 24.32 mm/yıl'dır. Belirtilen noktalardaki hızlar istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4.9). İlgili büyüklükler Tablo 4.9'da detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.9 PPP çözümüyle elde edilen yatay hız alanı

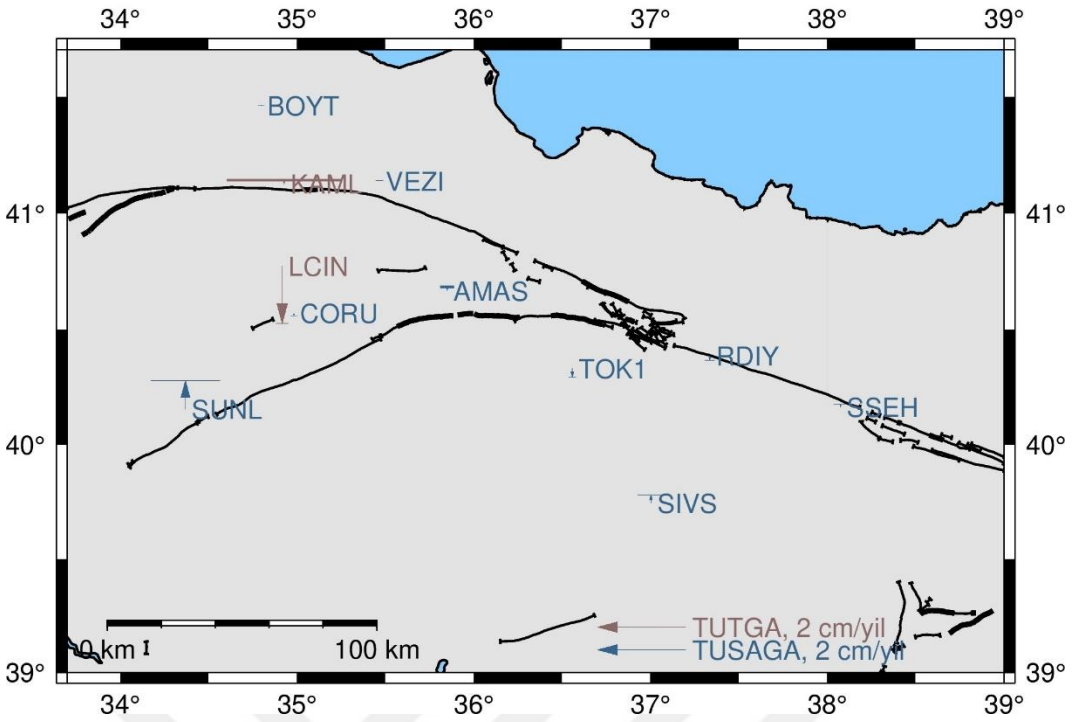
TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarına bağlı olarak belirlenen düşey hız alanı ve hata elipsleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Bağıl çözümden elde edilen sonuçlara göre en büyük hız SSEH noktasında aşağı yönde 6.37 mm/yıl ve RDIY noktasında aşağı yönde 4.95 mm/yıl'dır (Şekil 4.10). SSEH ve RDIY noktalarındaki hızlar istatistiksel olarak anlamlıdır. LCIN noktasının hızı ise istatistiksel olarak anlamsızdır. İlgili büyüklükler Tablo 4.10'da detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.10 Bağıl çözümle elde edilen düşey hız alanı

PPP çözümünden elde edilen sonuçlara göre en büyük düşey hız değerinin LCIN, SUNL ve TOK1 noktasında olduğu Şekil 4.11'de görülmektedir. Ancak LCIN ve SUNL noktalarındaki hızlar, t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamsızdır. TOK1 noktasının 1.99 mm/yıl aşağı yönde hareket ettiği görülmüştür ve hesaplanan hız değeri istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4.11). İlgili büyüklükler Tablo 4.11'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.11 PPP çözümüyle elde edilen düşey hız alanı

5
SONUÇ

Bu çalışmada TUSAGA-Aktif ve TUTGA ağlarına ait 36 noktanın 91 epok ölçümünün Bernese v5.2 yazılımı ile analizi gerçekleştirilmiştir. İstasyonların 2009-2021 yılları arasındaki verileri değerlendirilmiştir. Analizler bağıl ve PPP yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. İki analizde de elde edilen kartezyen koordinatlar ve standart sapmaların, toposentrik koordinatlar ve standart sapmalarına dönüştürülmüştür. Elde edilen hız ve yer değiştirme verilerine istatistiksel bir yaklaşım olarak t-testi uygulanmıştır.

Tüm noktalar dikkate alındığında Avrasya sabit bağıl çözüm sonuçlarına göre noktalar yaklaşık ortalama 15.26±1.27 mm/yıl kuzeybatı yönünde, 1.12±4.47 mm/yıl aşağı yönde hareket ettiği görülmüştür. Ayrıca az sayıda verisi olan KAML ve LCIN TUTGA noktalarının ve SUNL TUSAGA-Aktif noktasının hata elipslerinin büyük olduğu görülmüştür.

Benzer şekilde PPP çözüm sonuçlarına göre ise noktaların, yaklaşık ortalama 20.51±2.38 mm/yıl kuzeydoğu yönünde, 1.51±4.94 mm/yıl yukarı yönde hareket ettiği görülmüştür. KAML, LCIN ve SUNL noktalarının hata elipslerinin bu çözüm sonucunda da büyük olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda bağıl çözüm ile belirlenen değerler, Avrasya plakası (BUCU) sabit alınarak hesaplanan hızlardır ve konu ile ilgili diğer çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir. PPP çözümü ile elde edilen sonuçlar NUVEL-1A modeli ile uyumludur. Ancak farklı model yaklaşımları kullanıldığı için Avrasya plakası sabit alınan bağıl çözüm sonuçları ve PPP çözümü ile elde edilen sonuçların yön açısından birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında KAF'ın orta kesiminde belirlenen tarihlerde herhangi bir arazi gözlemi gerçekleştirilmemiş, bölgedeki TUTGA ve TUSAGA-Aktif noktalarının arşiv verileri kullanılmıştır. Bölgedeki istasyonlarda bağıl ve PPP çözümlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte, özellikle TUTGA noktalarında ölçüm yapılan epok sayısı azdır. Avrasya plakası sabit alınarak gerçekleştirilen bağıl çözümler ile PPP çözümleri farklı modeller kullanıldığından farklı doğrultularda sonuçlar elde edilmiştir. Yine de sonuçlar dikkate alındığında bölgede daha kapsamlı, bölgedeki fayın karakteristiğini ortaya

koyacak bir izleme ağının kurulması ve periyodik olarak ölçülmesi gerektiği görülmektedir.

KAYNAKÇA

Afad (t.y.). *Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü*. (Erişim tarihi: 1 1 2024). https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu.

Aladoğan, K. (2017). *Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin Gnss Yöntemiyle İzlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kovatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.

Alçay, S., Ogutcu, S., Kalayci, I., & Yigit, C. O. (2019). Displacement monitoring performance of relative positioning and Precise Point Positioning (PPP) methods using simulation apparatus. *Advances in space research*, 63(5), 1697-1707.

Alden, A. (17 1 2020). *Reverse, Strike-Slip, Oblique, and Normal Faults.* https://www.thoughtco.com/fault-types-with-diagrams-3879102

Alkan, R. M., Erol, S., İlçi, V., Ozulu, İ. M. (2020). Comparative analysis of real-time kinematic and PPP techniques in dynamic environment. *Measurement*, 163, 107995.

Andrei, M. (1 5 2023). *The San Andreas fault — what it is, why it matters, and what you should know about its earthquakes.* https://www.zmescience.com/science/geology/the-san-andreas-fault-what-it-is-why-it-matters-and-what-you-should-know-about-its-earthquakes/

Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına etkisi. *Harita Dergisi*, 84(160), 1-11.

Bmarx. (4 12 2015). *GNSS Positioning for Machine Control: More Satellites - Higher Precision?* https://mobacommunity.com/blogs/entry/GNSS-Positioning-for-Machine-Control-More-Satellites-%C3%A2-Higher-Precision

Bhattacharya, A.R. (2022). *Strike-Slip Fault*s. In: Structural Geology. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer, Cham.

Böhm, J., Werl, B., & Schuh, H. (2006). Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111*(B2).

Chen, M. (24 4 2023). *What is the PPP?* https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/what-is-the-ppp

Choi, B. K., Back, J. H., Cho, S. K., Park, J. U., & Park, P. H. (2011). Development of precise point positioning method using global positioning system measurements. *Journal of Astronomy and Space Sciences, 28(3)*, 217-223.

Cingöz, A., Erkan, Y., Kurt, A. İ., & Peker, S. (2013). Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (Tusaga Aktif Sistemi), TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 14-17.

Dach, R., Lutz, S., Walser, P., & Fridez, P. (2015). *Bernese GNSS software version 5.2*.

Demirtaş, R. T. (2019). *Türkiye Diri Fayları ve Deprem Etkinlikleri Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri*. Ankara.

Dietz, R. S. (1961). *Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor*. Nature 190, 854–7.

Doğan, A. H. (2017). *GPS Baz Çözümlerinde Varyans Kovaryans Matrisinin Güvenirliğinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Frisch, W., Meschede, M., Blakey, R. C., Frisch, W., Meschede, M., & Blakey, R. (2011). *Plate tectonics and mountain building* (pp. 149-158). Springer Berlin Heidelberg.

Frisch, W., Meschede, M., & Blakey, R. C. (2022). *Transform faults.* In Springer textbooks in earth sciences, geography and environment (ss. 147–157).

Gelişkan, Seyda & Inal, Cevat & Bülbül, Sercan, Gunduz, Ahmet. (2018). The Comparison of Accuracies of Results Obtained from Bernese v5.2 Software and Web-Based PPP Services. *FIG Kongresi,* İstanbul.

Günaydın, E. (2023). *Buzul Alanlarda İnsansız Hava Aracı Verileri ile Üretilen Fotogrametrik Ürünlerin Konumsal Doğruluğunun İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gündüz, A. M. (2019). *TUSAGA-Aktif Noktalarının Deformasyon Belirlemede Kullanılabilirliği.* (Doktora Tezi). Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

Güneş, Ö., Öz Demir, D., & Aydın, C., (2022). *Reference Frame of GPS-PPP Solutions in Marmara Region-Turkey*. FIG Working Week 2022 (ss.1-11). Warszawa, Poland

Hausler, G. (21 3 2015). *GNSS Next: Is PPP the Next Flavor of the Month?* https://www.xyht.com/professional-surveyor-archives/gnss-next-is-ppp-the-next-flavor-of-the-month/

Hess, H. H., (1962). *History of ocean basins. In Petrologic Studies: A Volume in Honor of A. F. Buddington* (eds A. E. J. Engel, H. L. James & B. F. Leonard), pp. 599–620. New York: Geological Society of America.

Higgins, M. (2019). *The Development of Precise Positioning Capabilities in Mass Market Devices* (Konferans Sunumu). UN ICG Workshop, Fiji.

Holmes, A., (1928). *Radioactivity and Continental Drift.* Geological Magazine 65, 236–38.

İnal, C., Gündüz, A. M., & Bülbül, S. (2014). *Klasik RTK Ve Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması.* Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 2(2), 21-30.

Işık, V., (2023) *Yapısal Jeoloji Ders Notları*. Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/125138/mod_resource/content/0/9_JEM%20203_213_Veysel%20Isik_FAY%202.pdf

Jamieson, M., & Gillins, D.T. (2018). Comparative Analysis of Online Static GNSS Postprocessing Services. *Journal of surveying engineering, 144(4*), 05018002.

Kahveci, M., & Yıldız, F. (2017). *GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori–Uygulama*, 8. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti, (363).

Kalafat, D. (2011). *Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi,* Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (TDMSK), 11s., 1-14 Ekim 2011, ODTÜ-Ankara.

Karabacak, V., Altunel, E., & Çakır, Z. (2011). *Monitoring aseismic surface creep along the North Anatolian Fault (Turkey) using ground-based LIDAR.* Earth and Planetary Science Letters, 304(1-2), 64-70.

Kartal, A. (2020). *Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Doğu Kesimindeki Tektonik Hareketlerin Blok Modelleme İle İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Kahveci, M., Karagöz, H., & Selbesoğlu, M. O. (2011*).* Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, (104), 3-13.*

Ketin, İ. (1973) Uluslararası Tektonik Sözlüğü Türkçe Adlama üzerine bir eleştiri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi,* 82(82).

Ketin, İ. (1976). San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında bir Karşılaştırma. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,* 19(2), 149-154.

Köksal, E. (2011). *Yüzey deformasyonlarının Diferansiyel InSAR Tekniği ile Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği*. (Doktora Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Kurt, A. İ. (2009). *Sabit GPS istasyonları zaman serileri analizinden yararlanarak kampanya tipi GPS ölçülerinin hızlarının iyileştirilmesi*.(Doktora Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurt, A., Cingöz, A., Özdemir, S., Simav, M., Peker,S., & Özel, Ö. (2020). Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması. *Harita Dergisi,* 86(164), 1-17.

Kurt, A., Özbakır, A., Cingöz, A., Ergintav, S., & Doğan, U. (2021). *Güncel TUREF Hız Alanı Modelinin Uzun Dönemli GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesiyle Oluşturulması.* TUJK 2021 Bilimsel Toplantısı: Yapay Zekâ Çağında Jeodezi, Ankara.

Kurt, A. İ., Özbakır, A. D., Cingöz, A., Ergintav, S., Doğan, U., & Özarpacı, S. (2023). Contemporary velocity field for Turkey inferred from combination of a dense network of long term GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 275-293.

Kurtuluş, Ö. (1999). Kuzey Anadolu Fayı'nda Gerilme Aktarımı Depremin Batıya Göçü. *Bilim Teknik (Eylül),* s. 22-25.

Li, X., Hao, X., Yin, L., Liu, L., Ma, Y., Yang, R., & Song, Q. (2021). Validation of GPS-Based Monitoring and Remote Sensing of Ice-Shelf and Ice-Sheet Movement Changes. *Sensors*, 21(23), 7822.

Li, X., Huang, J., Li, X., Shen, Z., Han, J., Li, L., & Wang, B. (2022). Review of PPP–RTK: Achievements, challenges, and opportunities. *Satellite Navigation*, 3(1), 28.

Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., & Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean dynamics*, 56, 394-415.

McKenzie, D. P., & Parker, R. L. (1967). The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. *Nature*, 216(5122), 1276-1280.

Meinhold, G., & Şengör, A. C. (2019). A historical account of how continental drift and plate tectonics provided the framework for our current understanding of palaeogeography. *Geological Magazine*, 156(2), 182-207.

Morgan, W. J. (1968). Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research*, 73(6), 1959-1982.

Mutlu, İ., (2019) *GNSS Uydu Dağılımının Statik GNSS Ölçülerinde ve Gerçek Zamanlı Konum Belirlemedeki Önemi.* (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

National Research Council. (1995). *The global positioning system: A shared national asset.* National Academies Press.

Öcalan, T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımlı Çözümler* (Doktora Tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B., & Dogan, U. (2010). Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Journal of geodynamics*, 49(3-4), 141-150.

Özener, H., Dogru, A., & Turgut, B. (2013). Quantifying aseismic creep on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by 6 years of GPS observations. *Journal of Geodynamics*, 67, 72-77.

Özmen, B. (2000). 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), TDV/DR 010-53, Türkiye Deprem Vakfı. Ankara.

Paziewski, J., Fortunato, M., Mazzoni, A., & Odolinski, R. (2021, 4). An analysis of multi-GNSS observations tracked by recent Android smartphones and smartphone-only relative positioning results. *Measurement, 175*, s. 109162.

Pestarini, S. (2016). Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura. *Universidad Nacional de Rosario*, Rosario-Argentina.

Rafferty J. P. (18 3 2024). *Deep-sea trench.* https://www.britannica.com/science/deep-sea-trench

Reyes, R. B., Iihoshi, A., Franco, J. C., Colegio, C. C., & Rada, W. M. (2017). Performance Analysis of Single Point Positioning (SPP) and MADOCA-Precise Point Positioning (MADOCA-PPP) in Road/Lane Identification. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 5(6). s. 167-176.

Rogers, J. J., & Santosh, M. (2004). *Continents and supercontinents*. Oxford University Press.

StMUG (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit) ISB (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung) (2012) Plattentektonik. *LernortGeologie*. 90-95.

Şengör, A. M. C. (1996). Kuzey Anadolu Fayı'nın keşfi. *Bilim ve Teknik*, 338, 8-15.

Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu K. Ö., Polat, A., Mesci, B. L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, E. İ., Çakmak, R., Belgen, A. & Yavaşoğlu, H. (2012). Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518, 55-62.

Tekiç Rahmanlar, S. (2019). *Doğru Hiz Kestirimi için Aylık GPS Kampanyalarının Performansı Üzerine Bir İnceleme.* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Tiryakioğlu, İ. (2012). *Gnss Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri Ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tiryakioglu, I., Yigit, C. O., Yavaşoğlu, H., Saka, M. H., & Alkan, R. M. (2017). The determination of interseismic, coseismic and postseismic deformations caused by the Gökçeada-Samothraki earthquake (2014, Mw: 6.9) based on GNSS data. *Journal of African Earth Sciences*, 133, 86-94.

Tut, İ. (2009). *Hızlı Statik GPS Çözümlerinin Güvenirliği* (Yüksek Lisans Tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yavaşoğlu, H., & Tarı, E. (2010). Kuzey Anadolu Fayı'nın orta bölümündeki güncel tektonik aktivitenin belirlenmesi. *İtüdergisi/d*, 9(6).

Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z., & Ergintav, S. (2011). Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geodynamics*, 51(5), 339-343.

Yıldırım, Ö., Mekik, Ç., & Bakıcı, S. (2011). TUSAGA-AKTİF(CORS-TR) Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104.2), 134-139

Wegener, A., (1915). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, 1st edition. Friedrich Vieweg & Sohn, 94 pp. Braunschweig.

Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 5556–5564.

Wilson, J. T., (1965). *A new class of faults and their bearing on continental drift.* Nature 207, 343–7.

URL-1: https://jeoloji.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2019/03/DERS_4-1.pdf. (Erişim tarihi: 1 1 2024).

URL-2: http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/. (Erişim tarihi: 28 5 2023).

URL-3: https://epncb.oma.be/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=YLDZ00TUR. (Erişim tarihi: 31 12 2023).

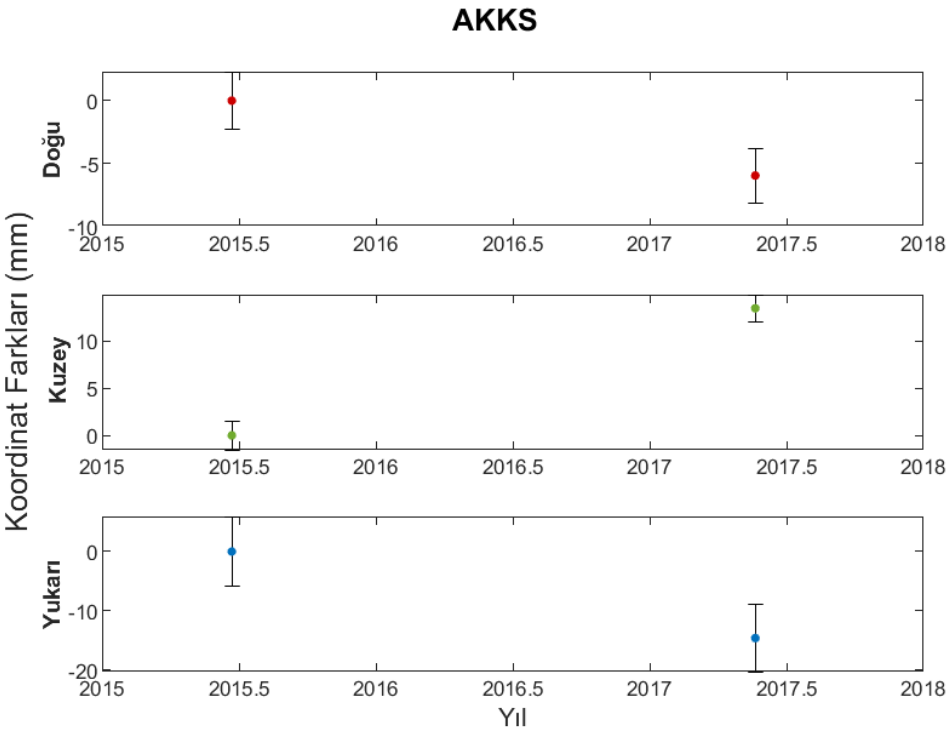
URL-4: https://www.harita.gov.tr/jeodezik-faaliyetler2. (Erişim tarihi: 23 12 2023).

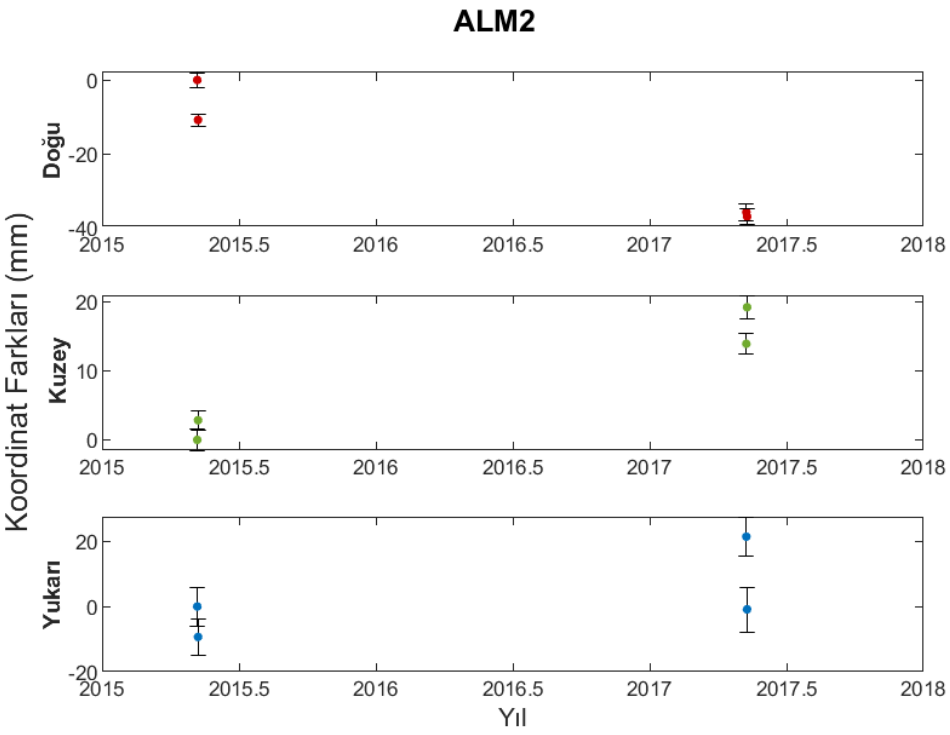
URL-5: https://www.harita.gov.tr/ekler/TUTGA_10Mart2020.pdf (Erişim tarihi: 24 5 2023).

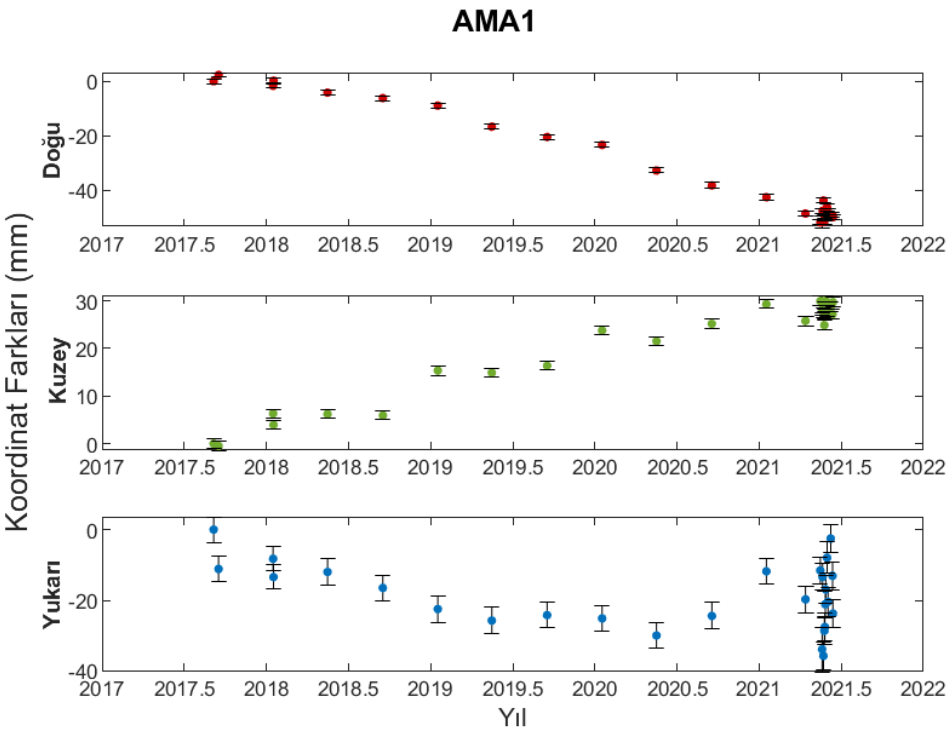
URL-6: https://www.tusaga-aktif.gov.tr (Erişim tarihi: 24 5 2023).

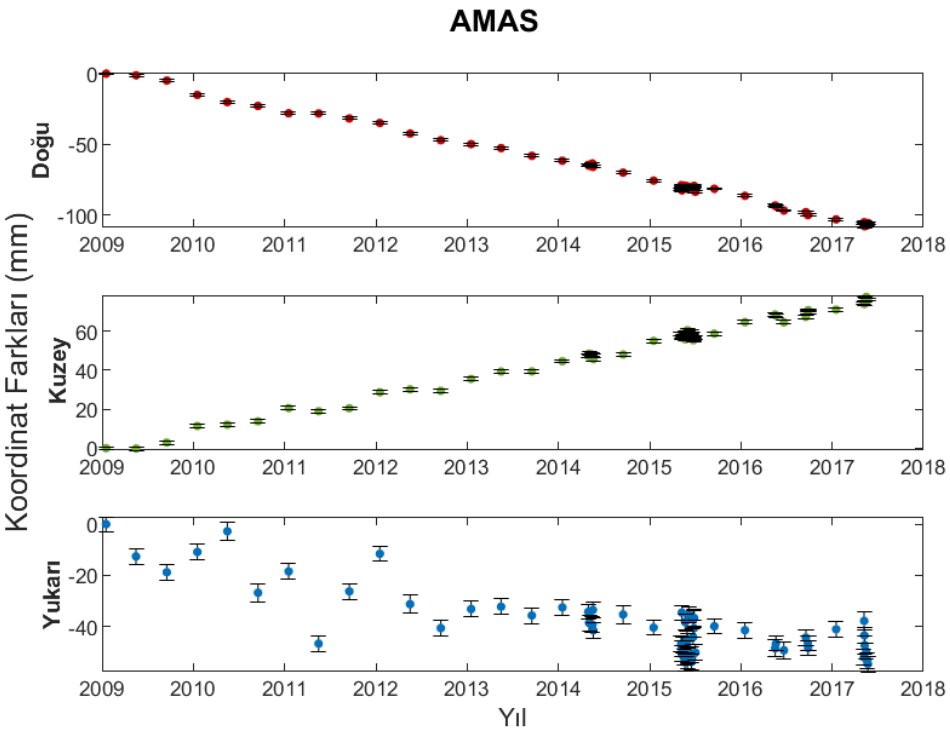
URL-7: https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/. (Erişim tarihi: 28 12 2023).

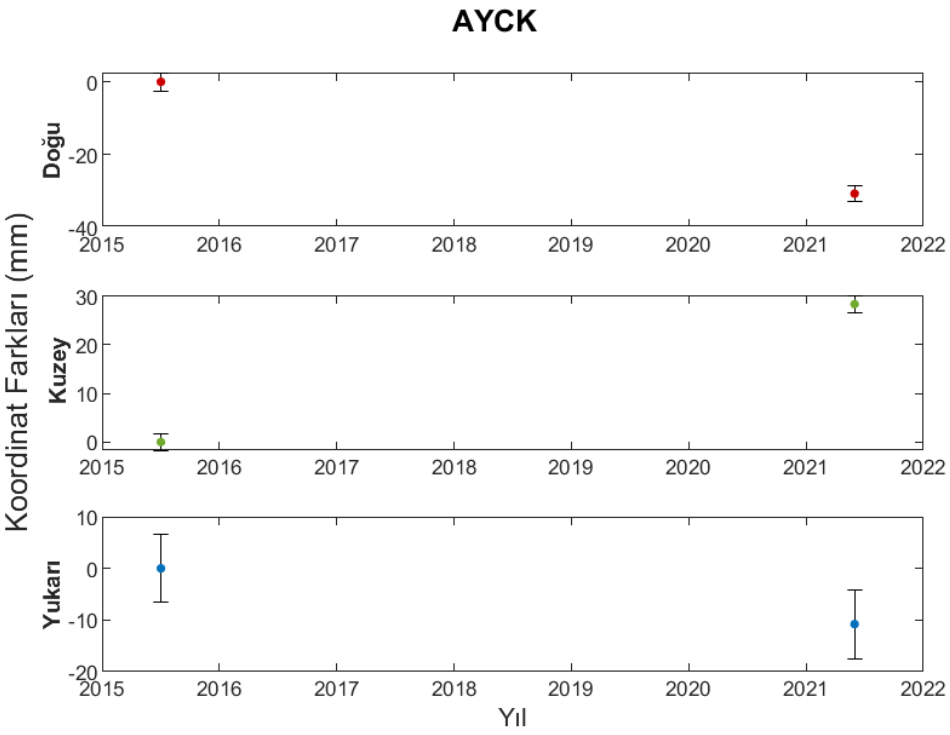
A
BAĞIL YÖNTEM İLE ANALİZ SONUCU OLUŞAN ZAMAN SERİLERİ

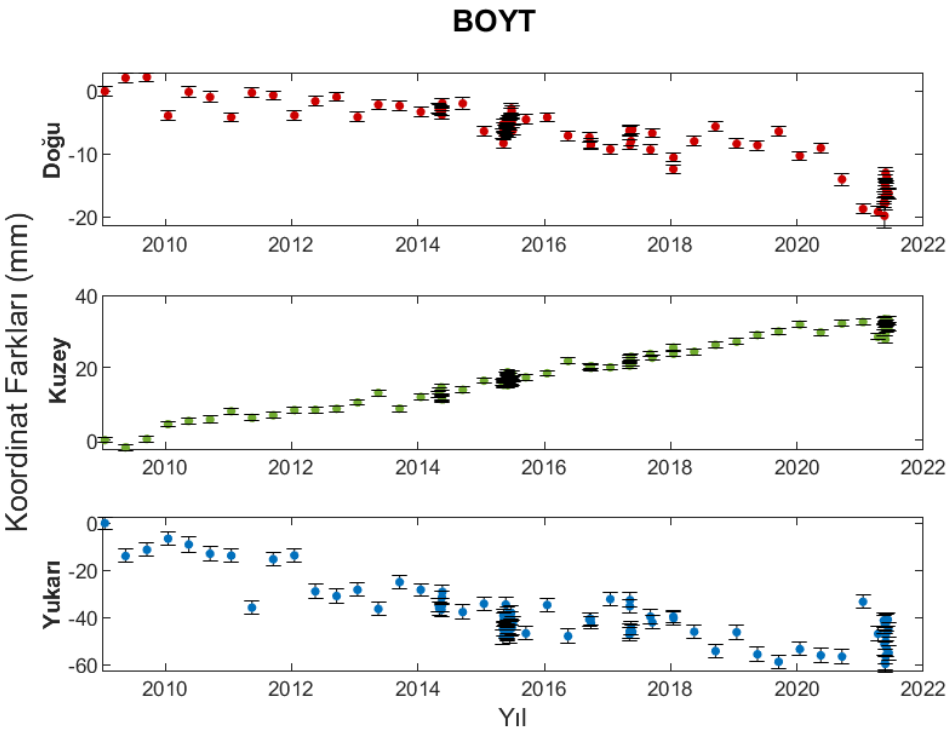


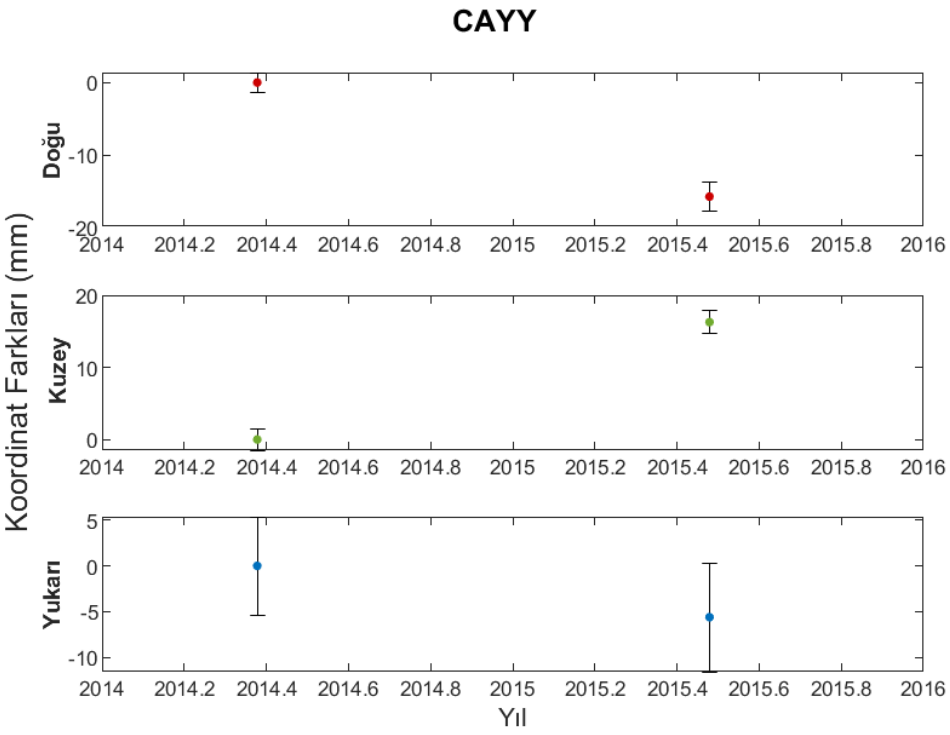


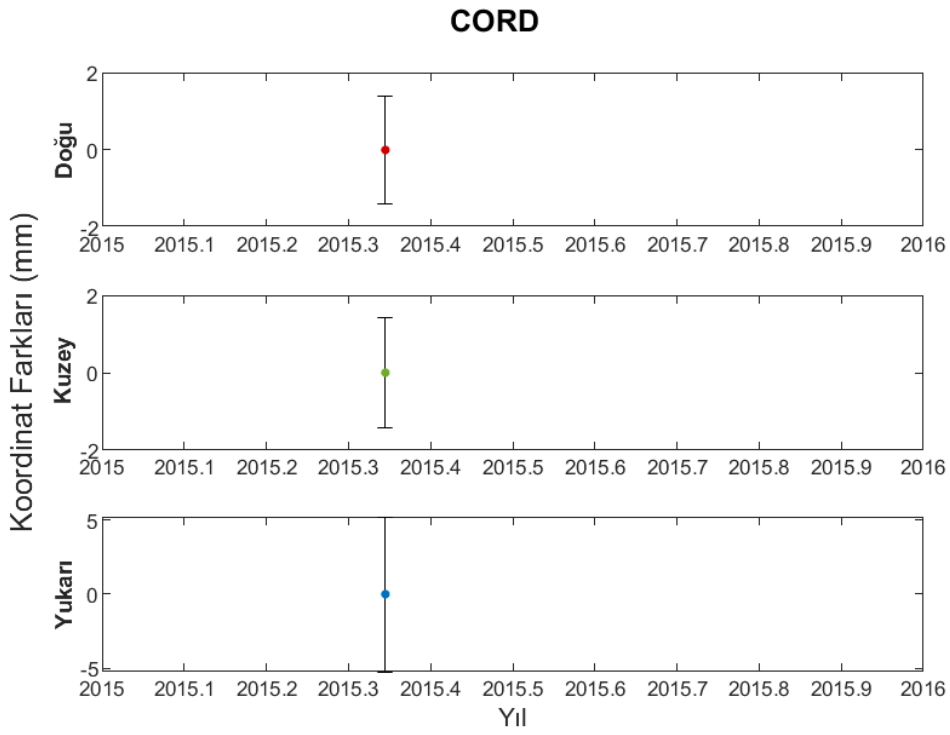

AMA1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

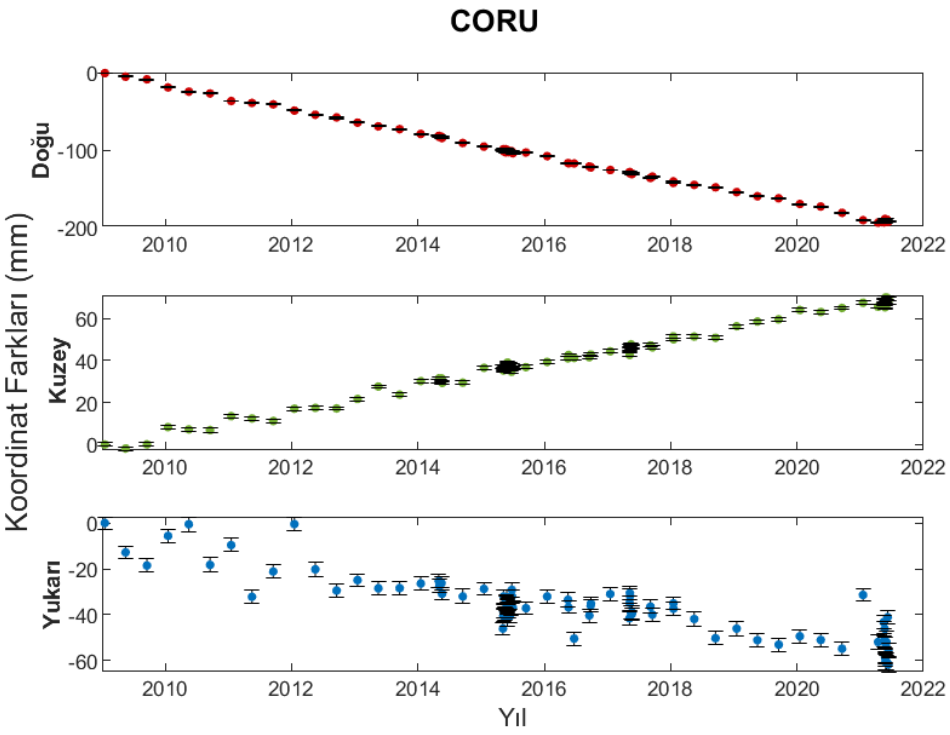

AMAS
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

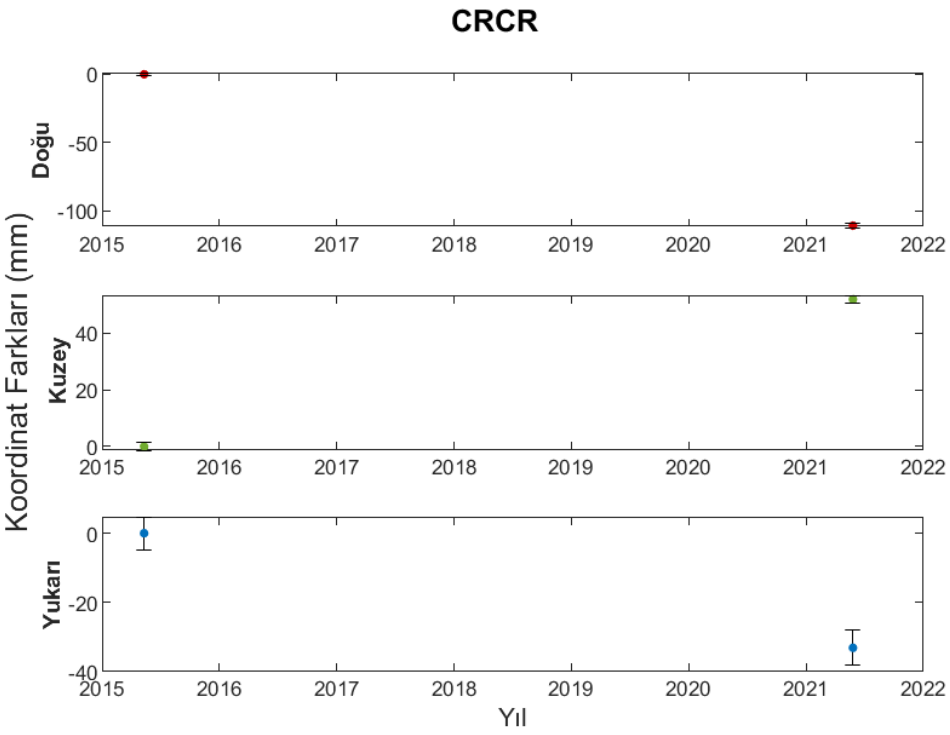

AYCK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
0
-20
-40
30
20
10
-10
-20
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

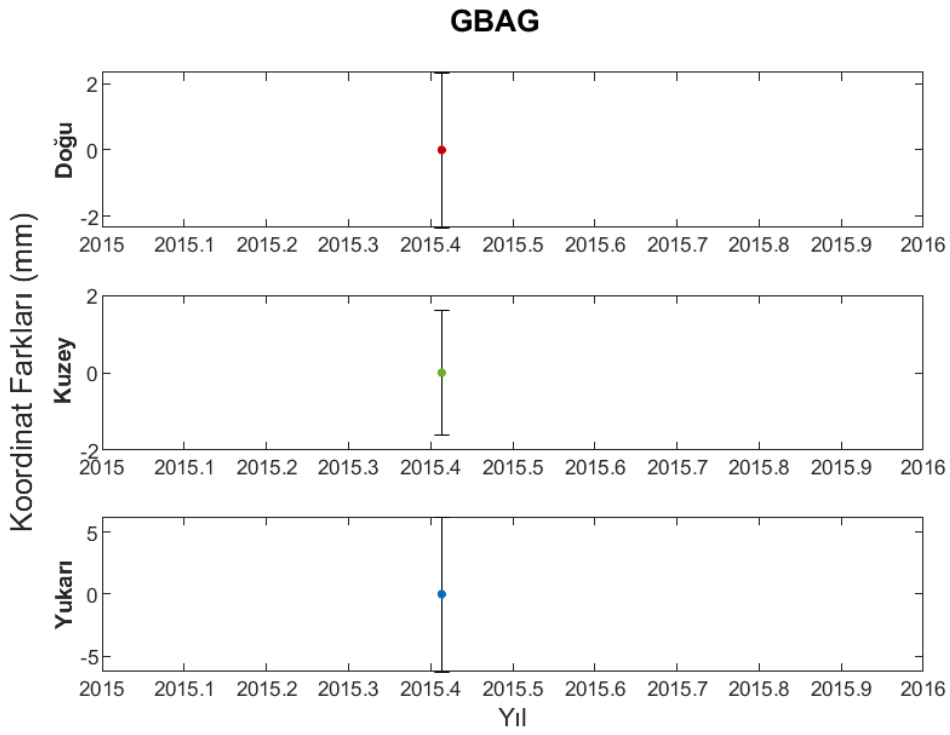

BOYT
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
0
-10
-20
40
20
-40
-60
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

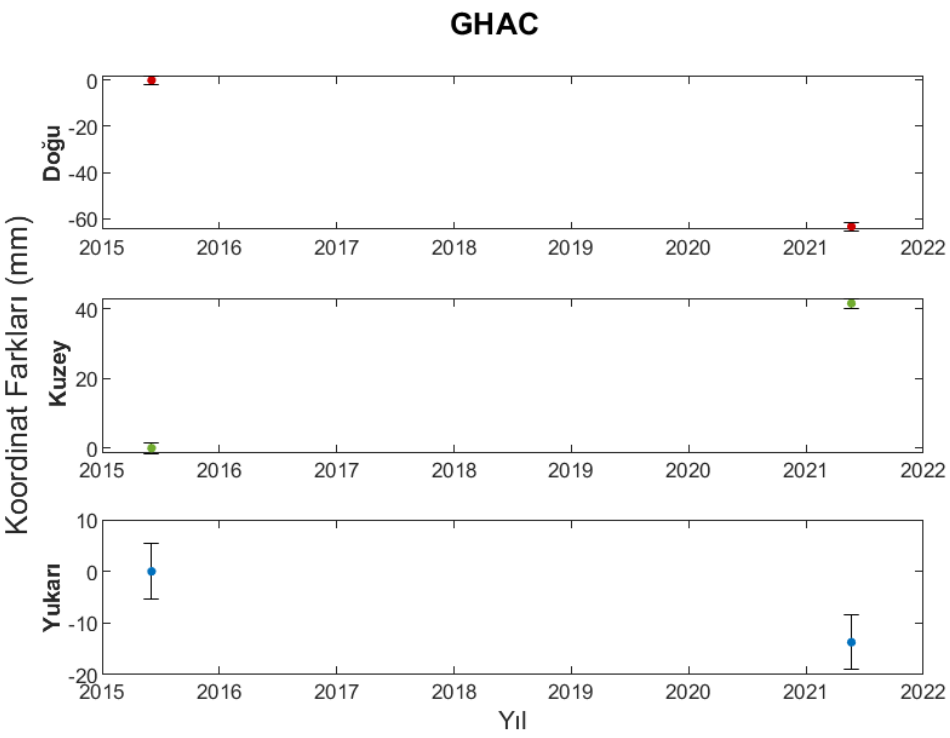

CAYY
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

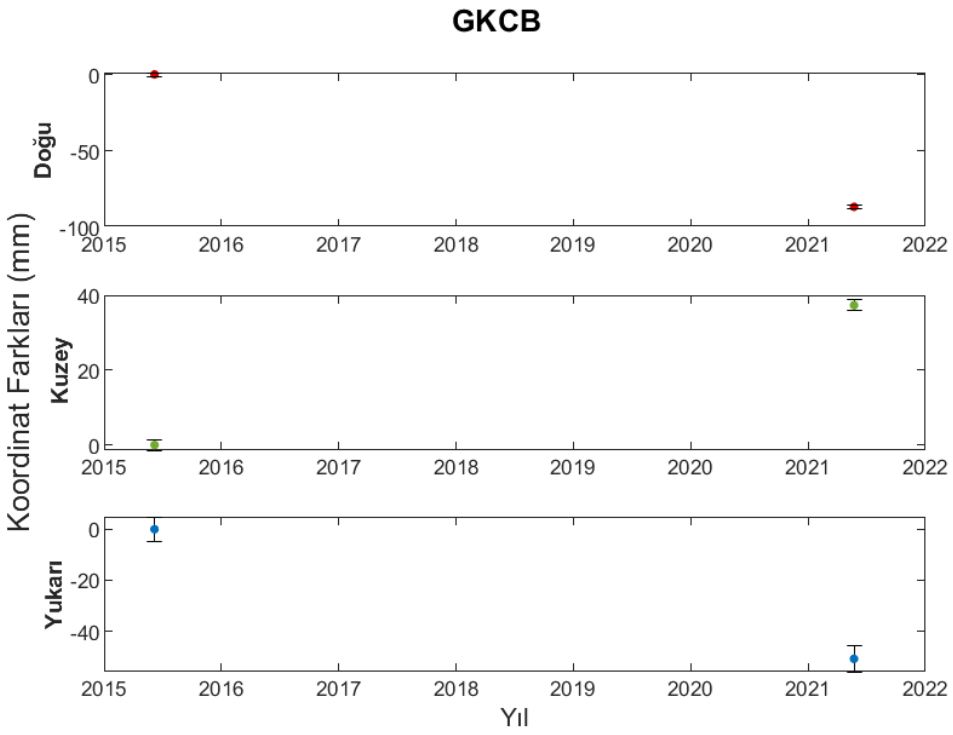

CORD
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

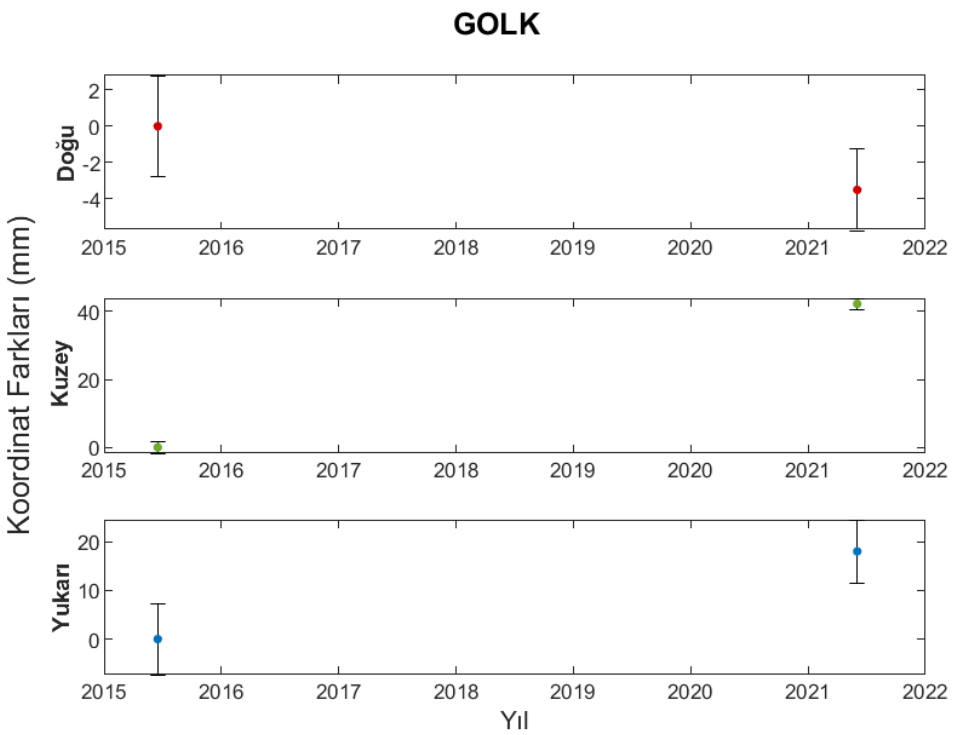

CORU
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

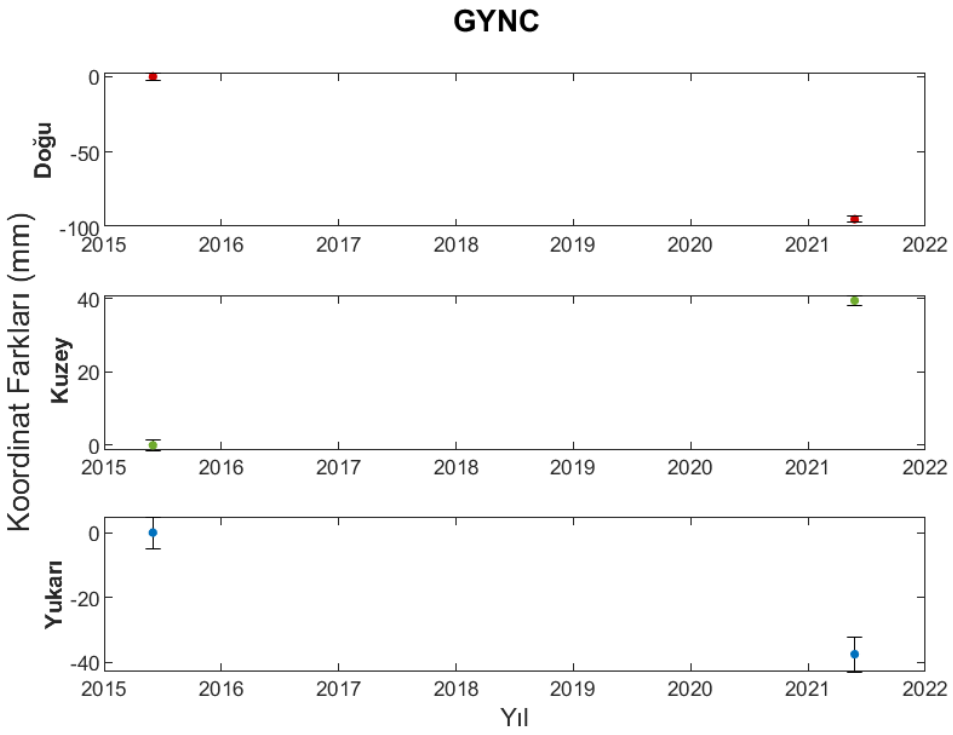

CRCR
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

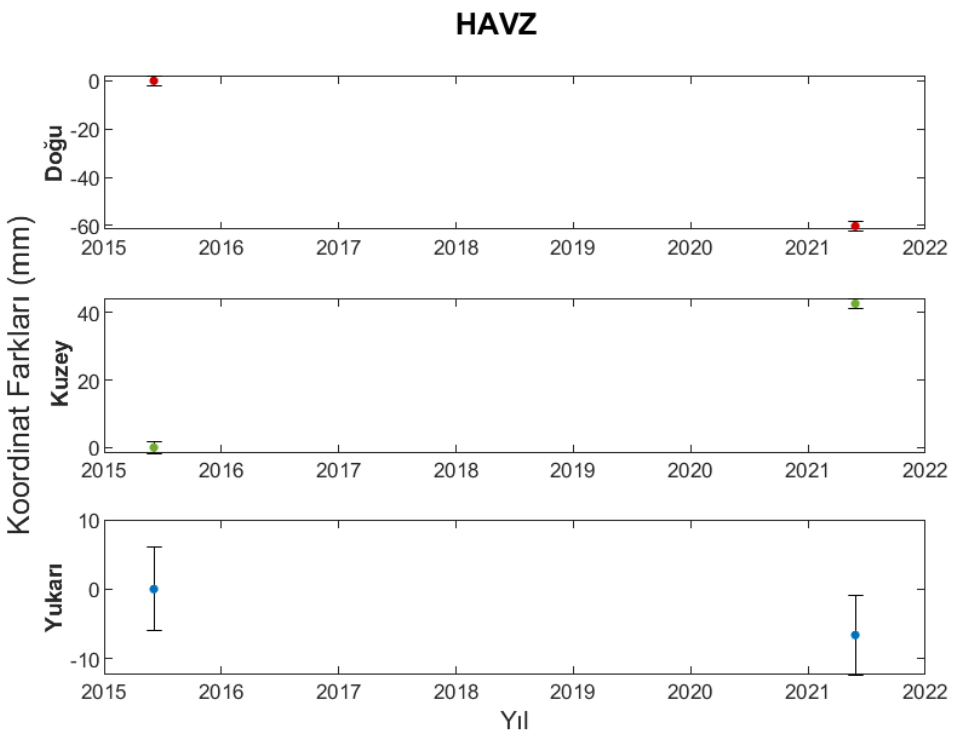

GBAG
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

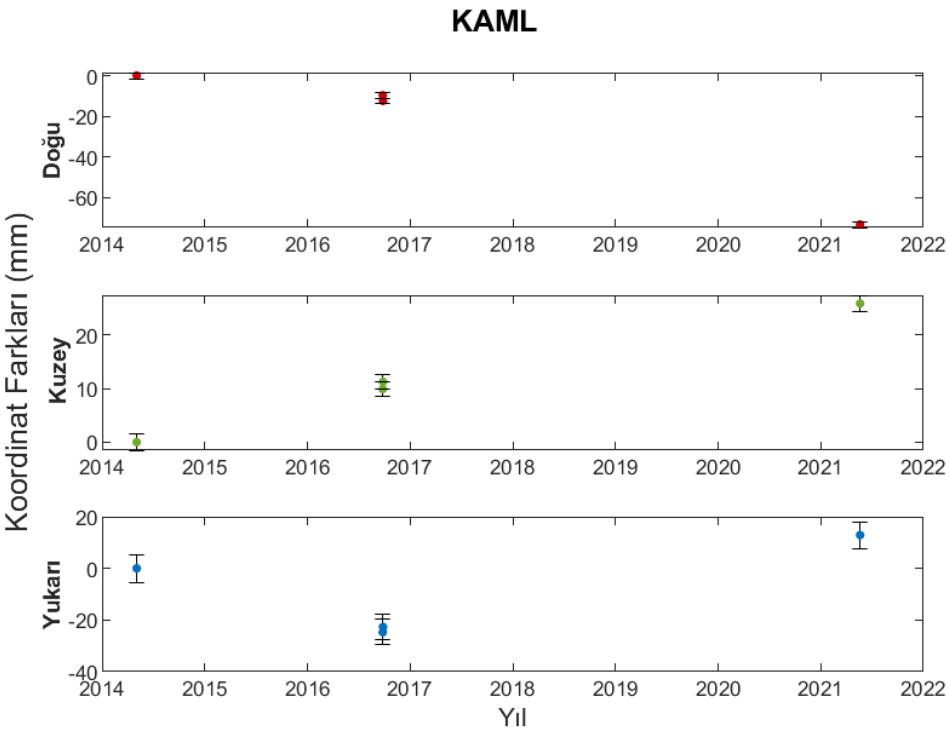

GHAC
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

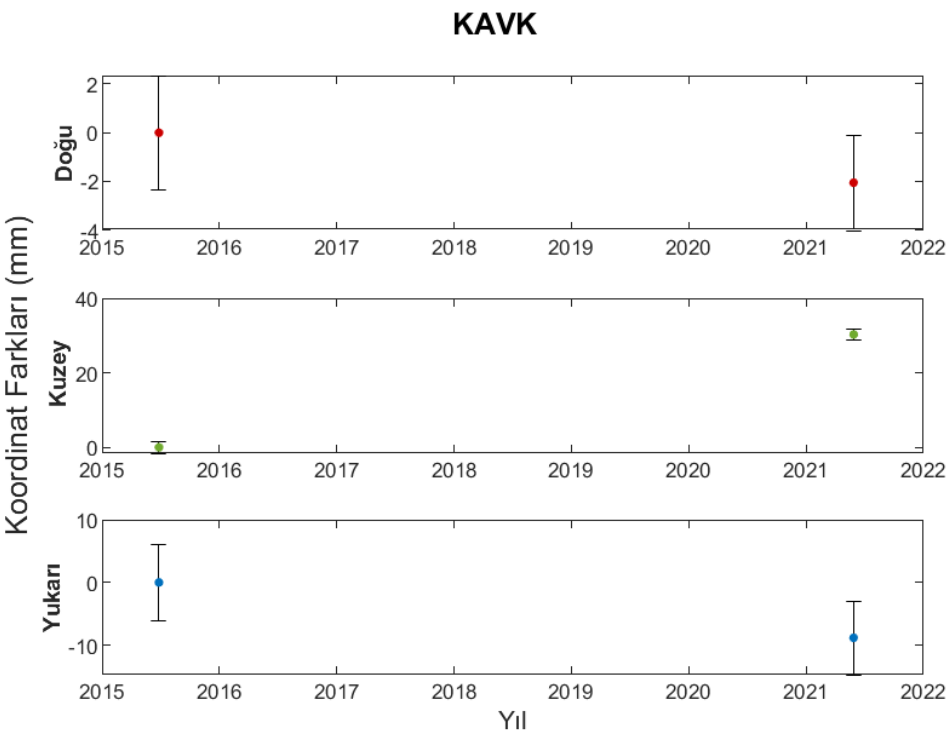

GKCB
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

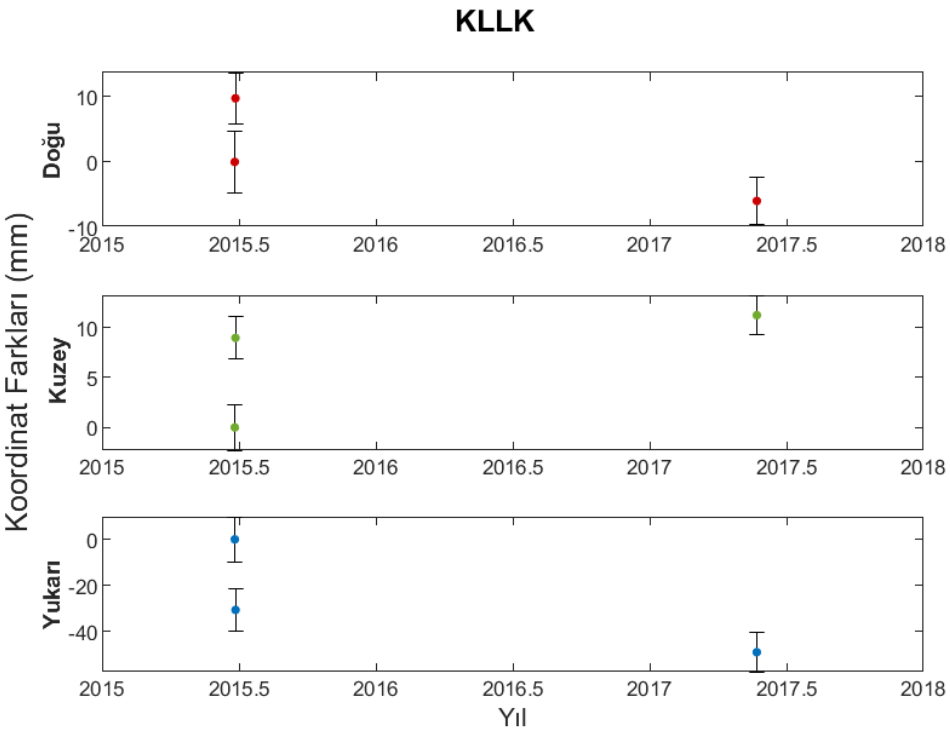

GOLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

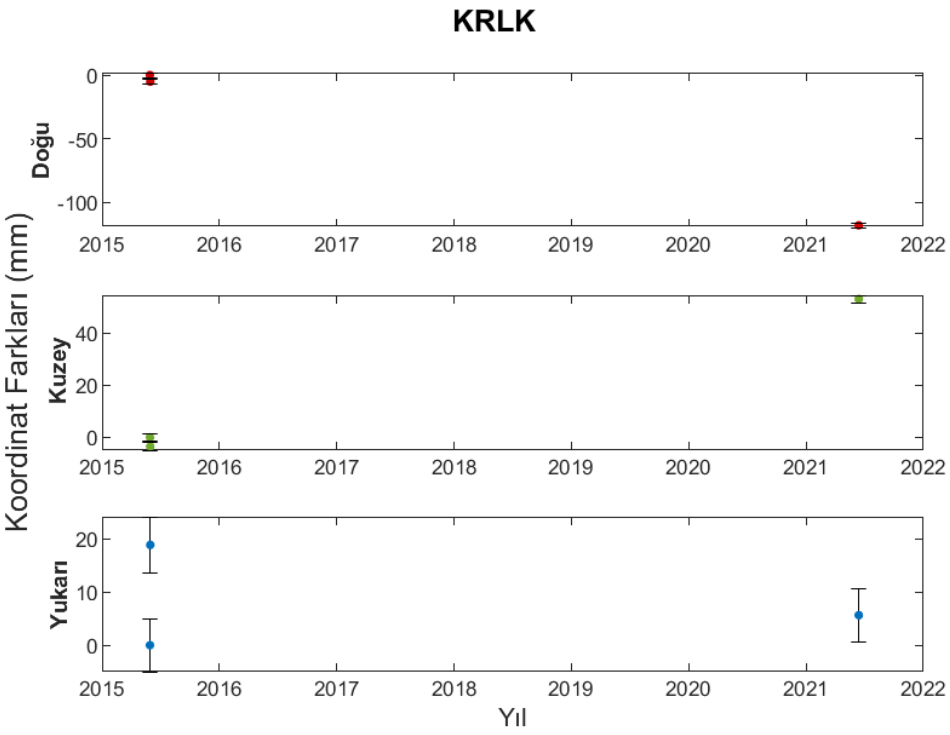

GYNC
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

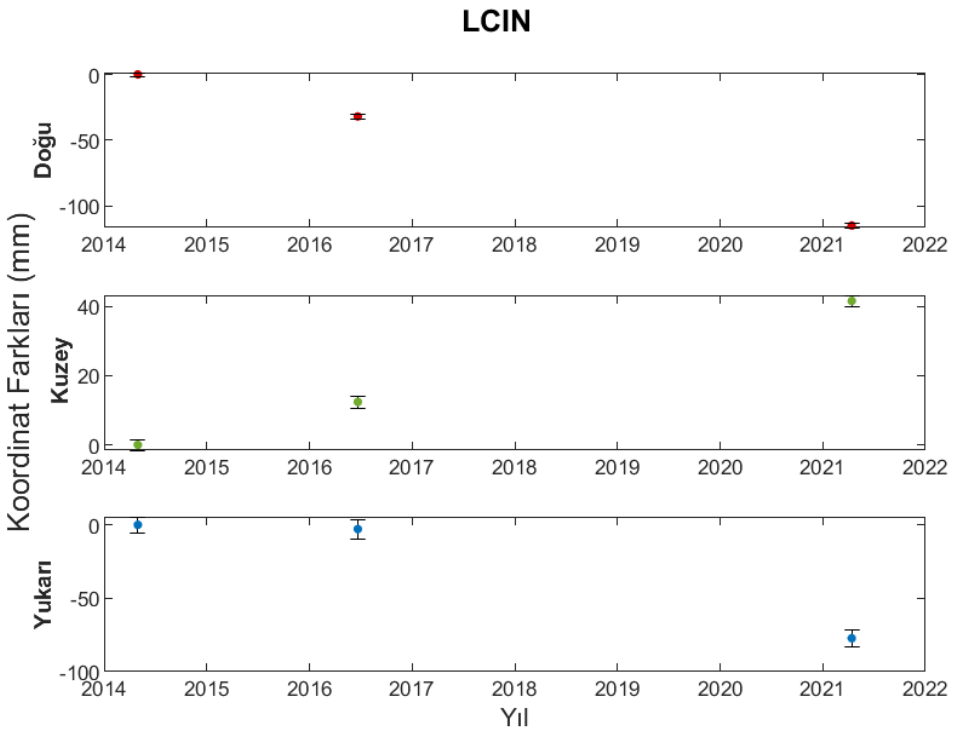

HAVZ
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

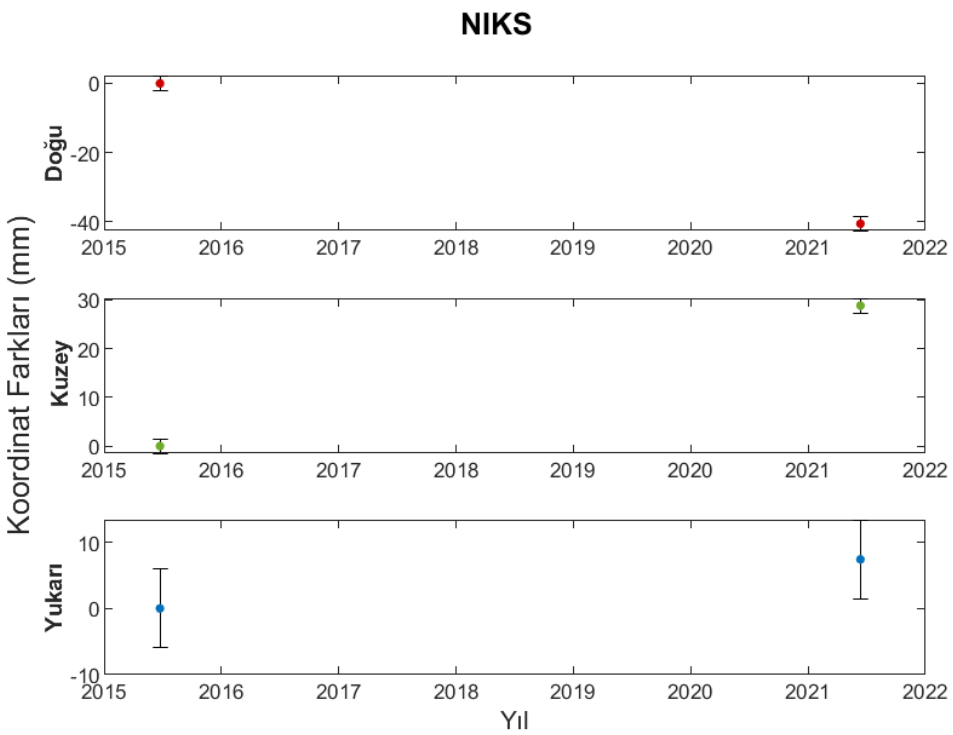

KAML
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

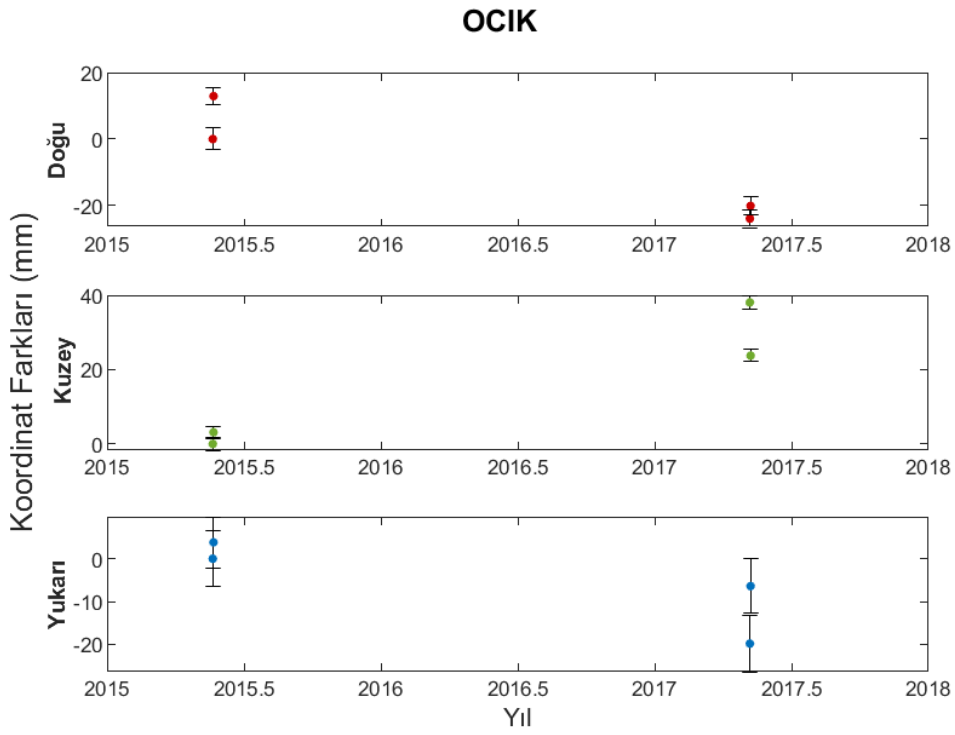

KAVK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

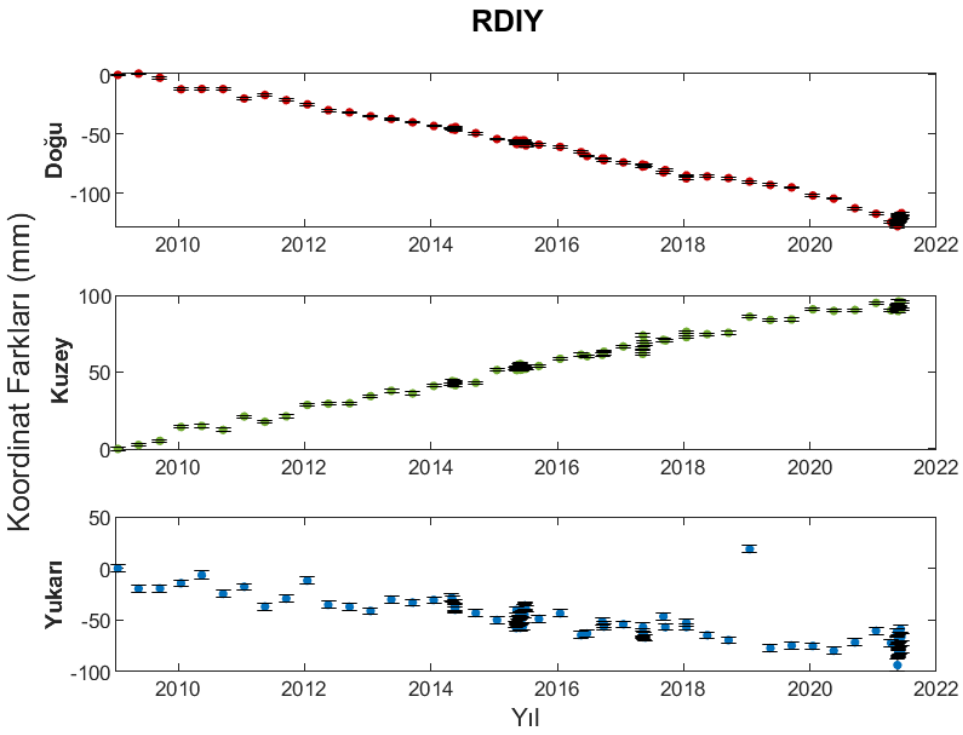

KLLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.5
2016
2016.5
2017
2017.5
2018

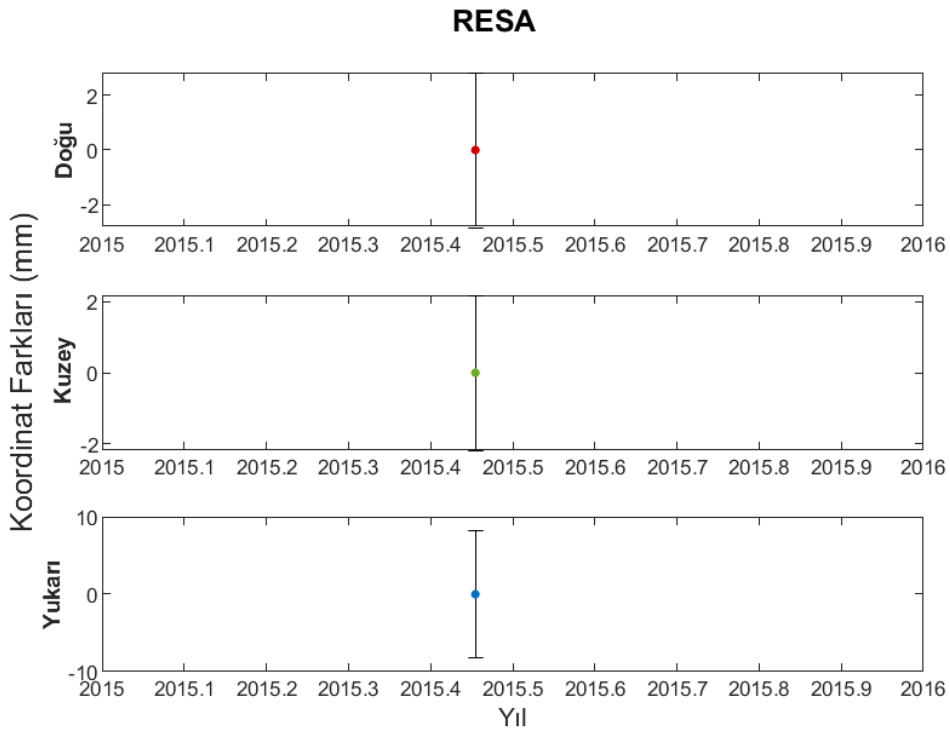

KRLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

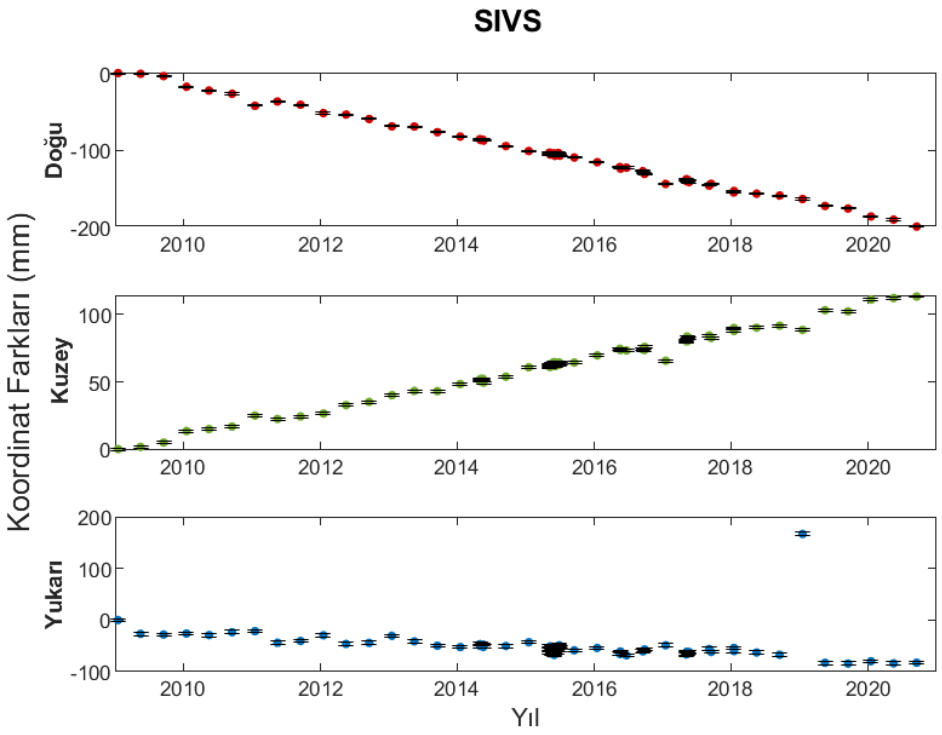

LCIN
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
0
-50
-100
40
20
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

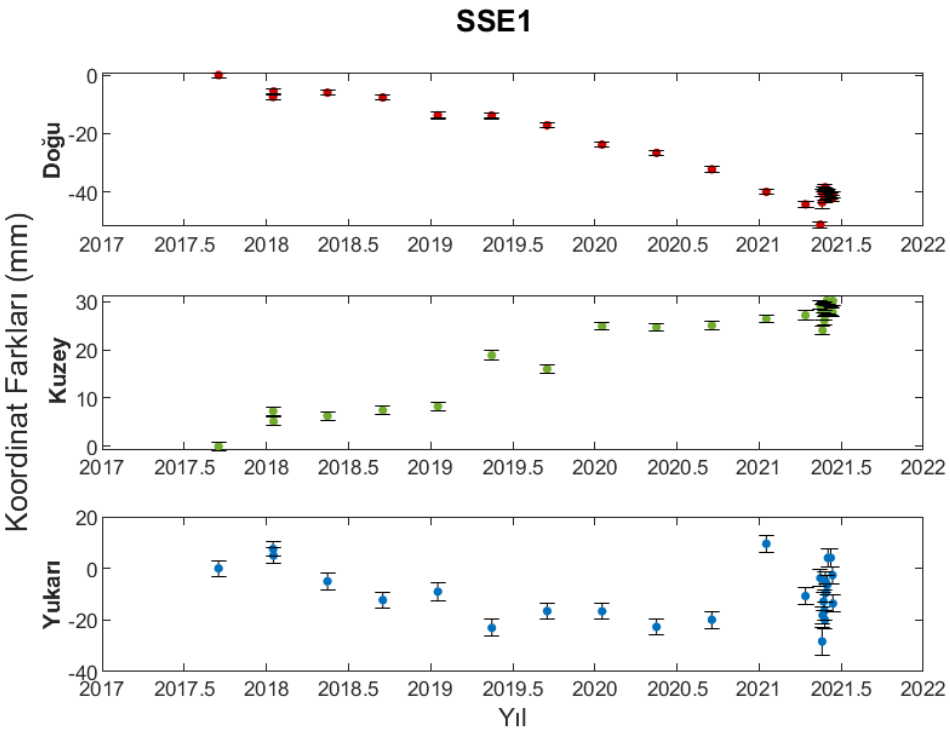

NIKS
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
0
-20
-40
30
20
10
-10
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

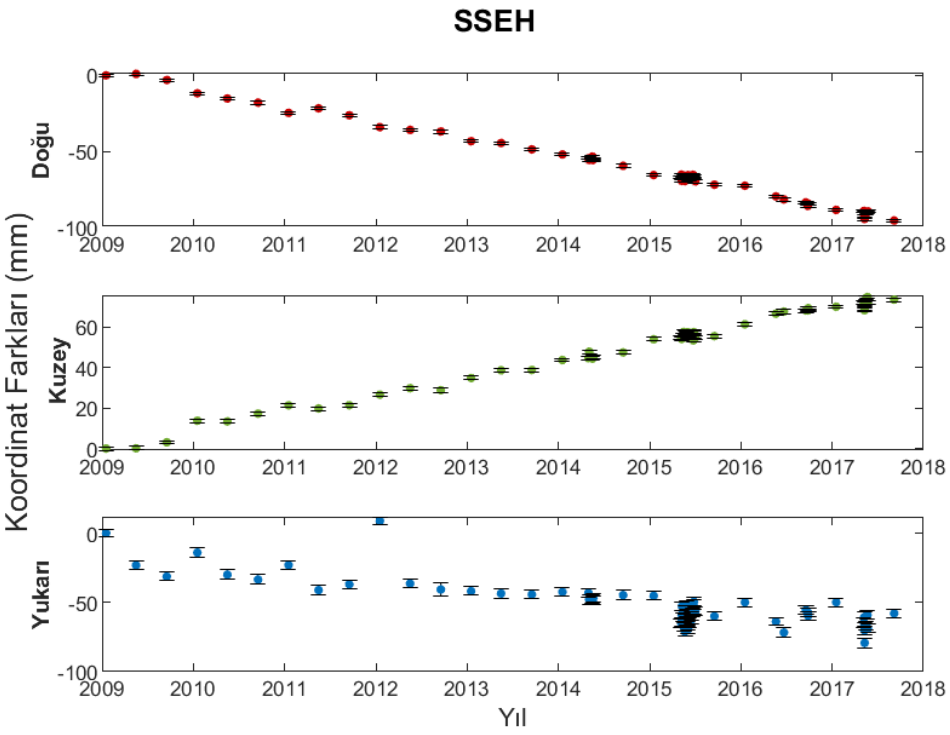

OCIK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

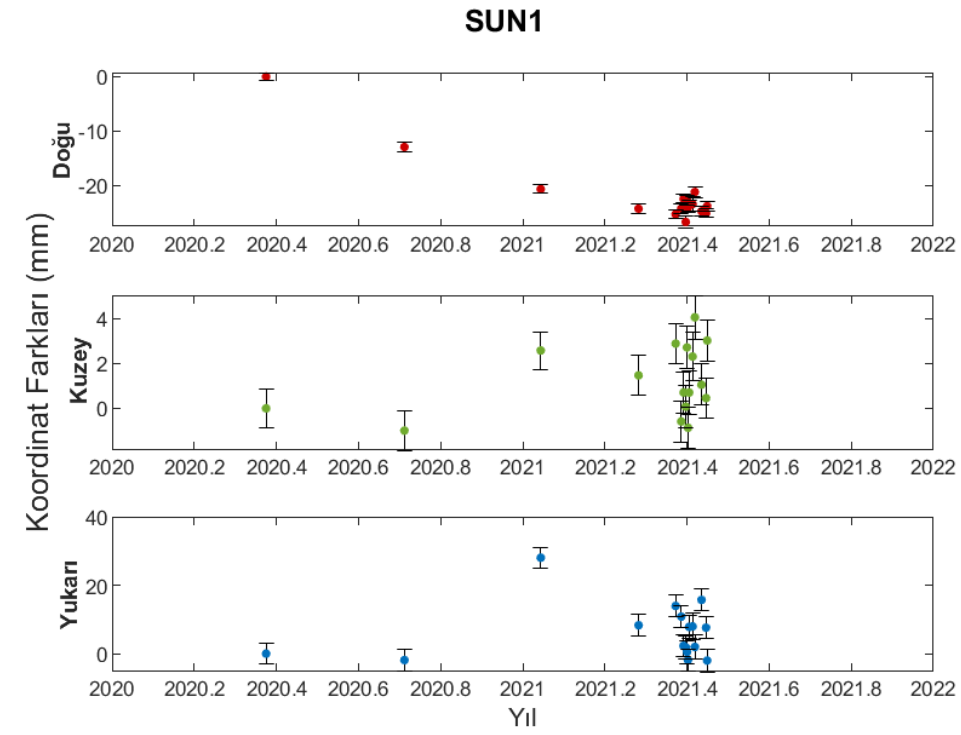

RDIY
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

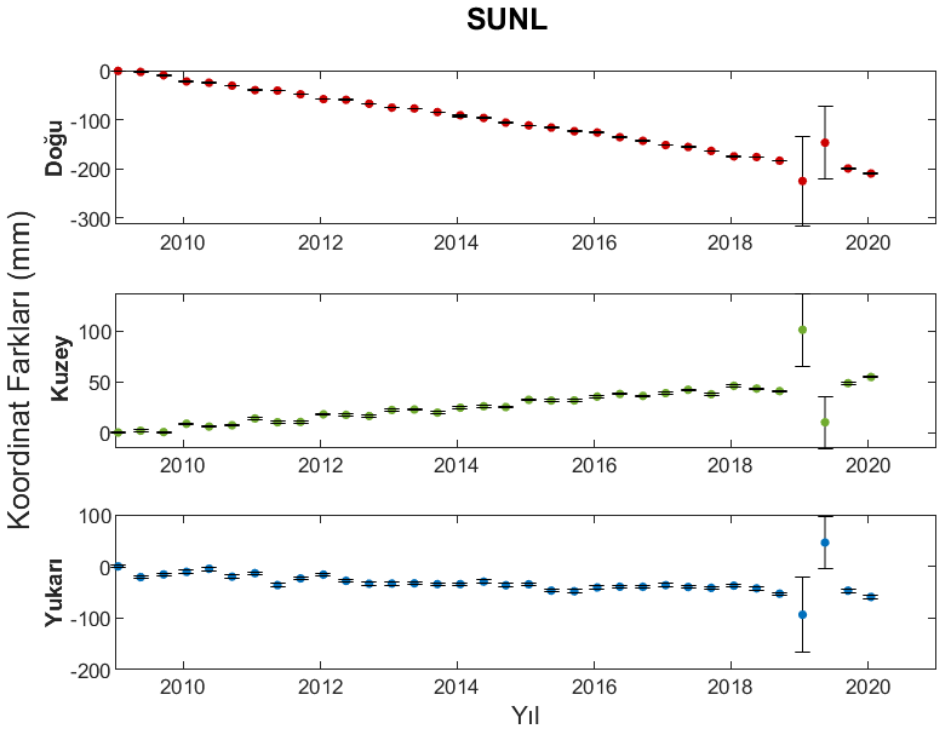

RESA
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
2015
2015.1
2015.2
2015.3
2015.4
2015.5
2015.6
2015.7
2015.8
2015.9
2016

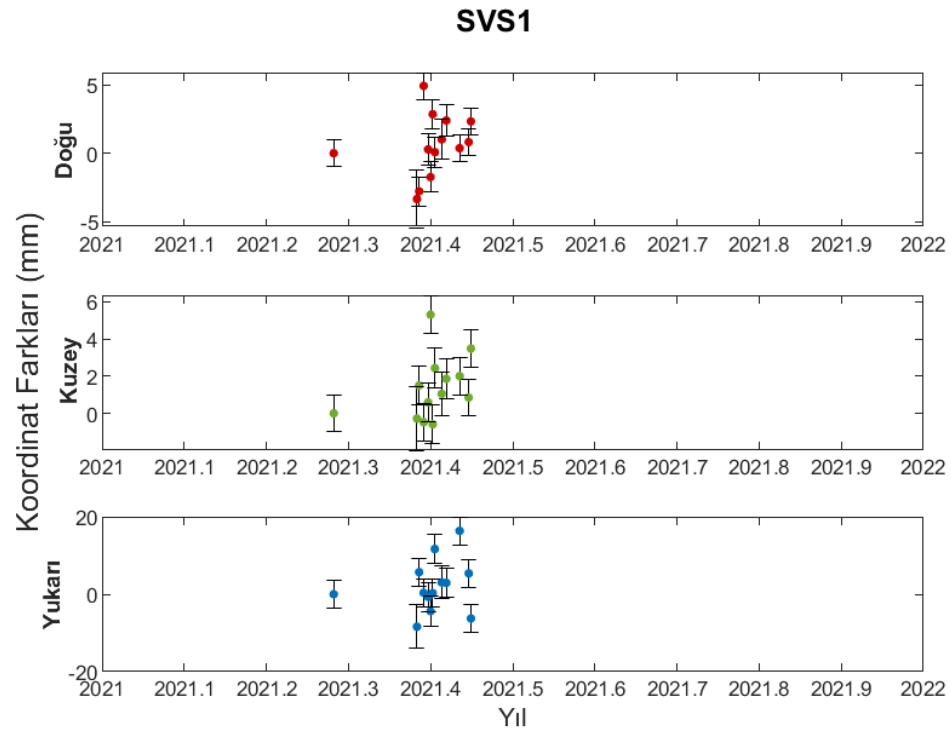

SIVS
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
2010
2012
2014
2016
2018
2020

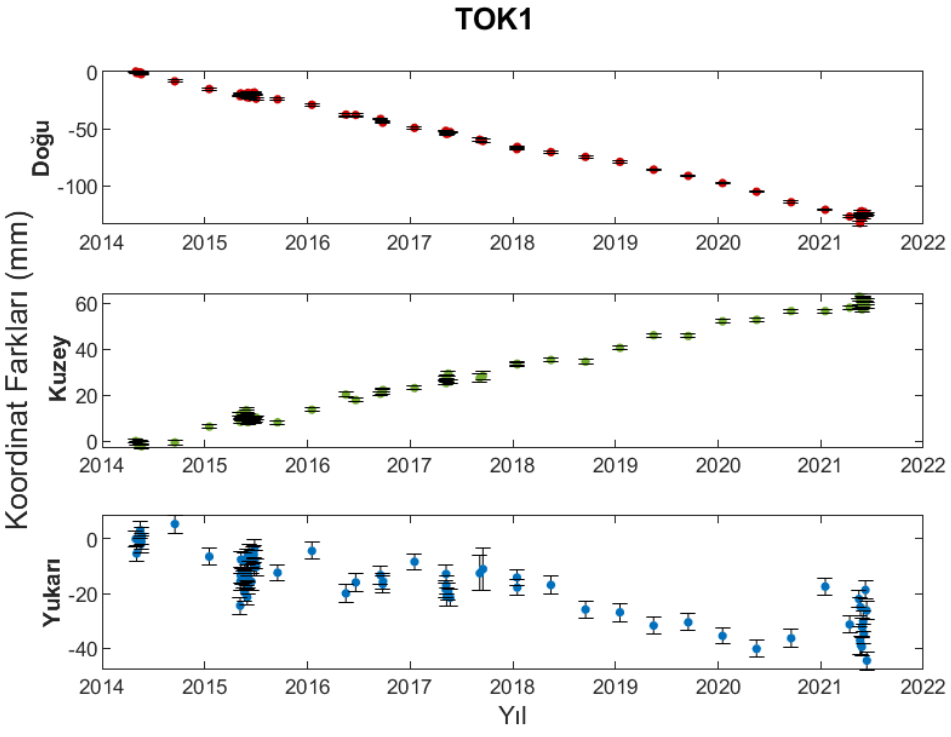

SSE1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

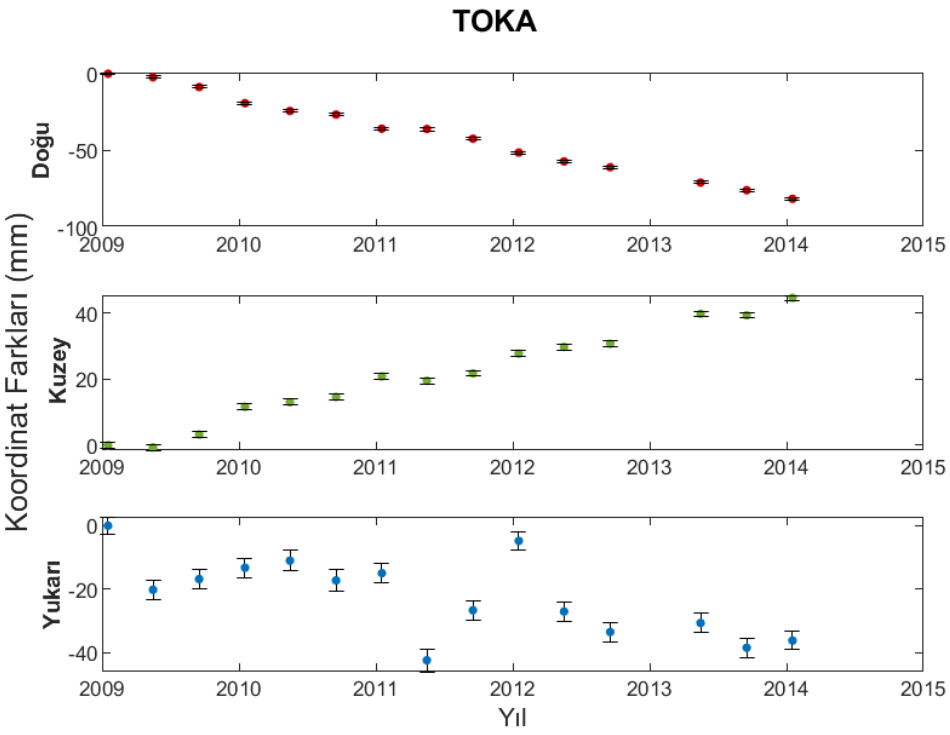

SSEH
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

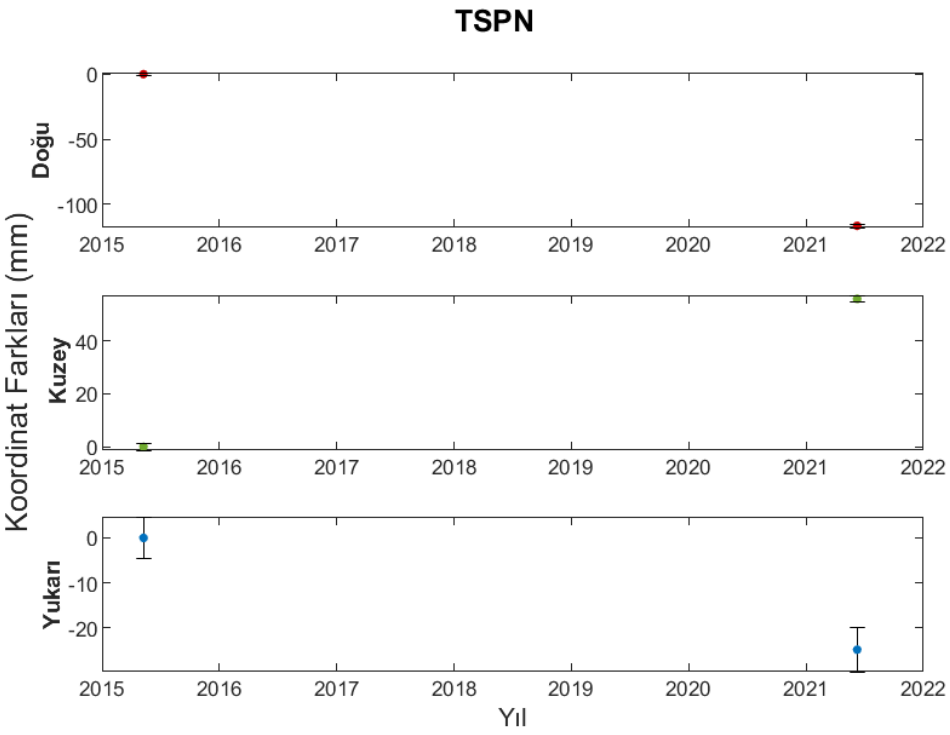

SUN1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

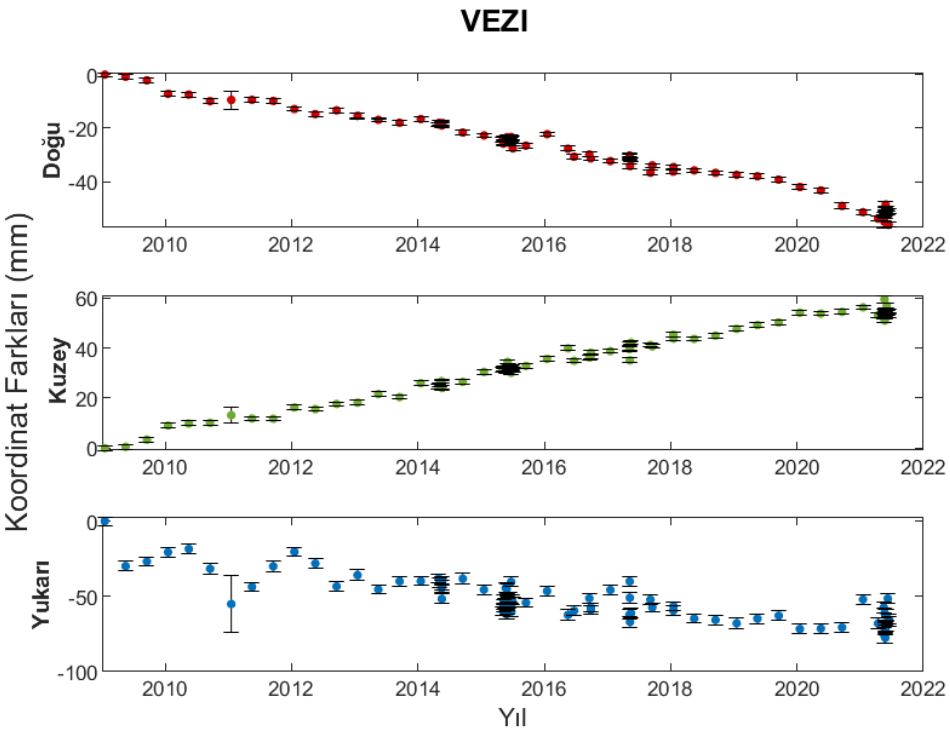

SUNL
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

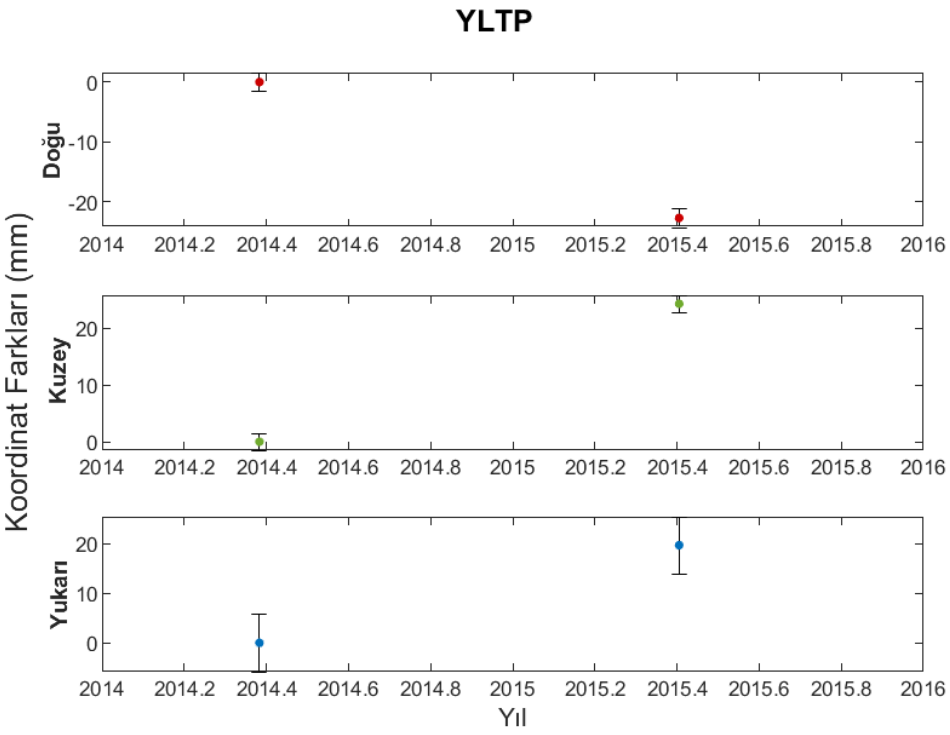

SVS1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


TOK1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


TOKA
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
0
-50
-100
40
20
-20
-40
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015

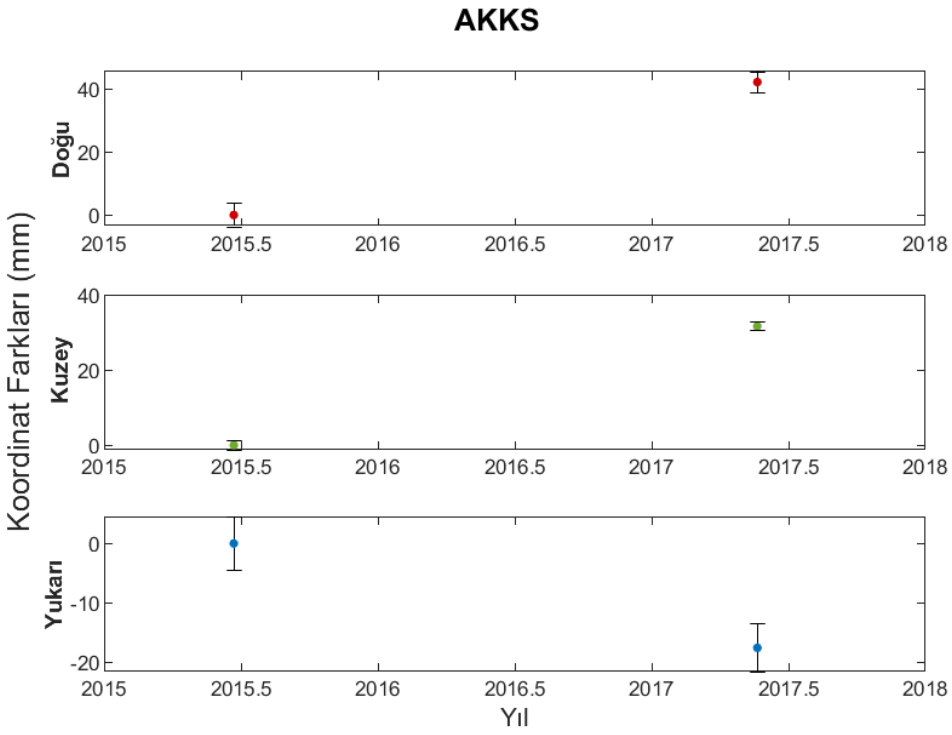

TSPN
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
0
-50
-100
40
20
-10
-20
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

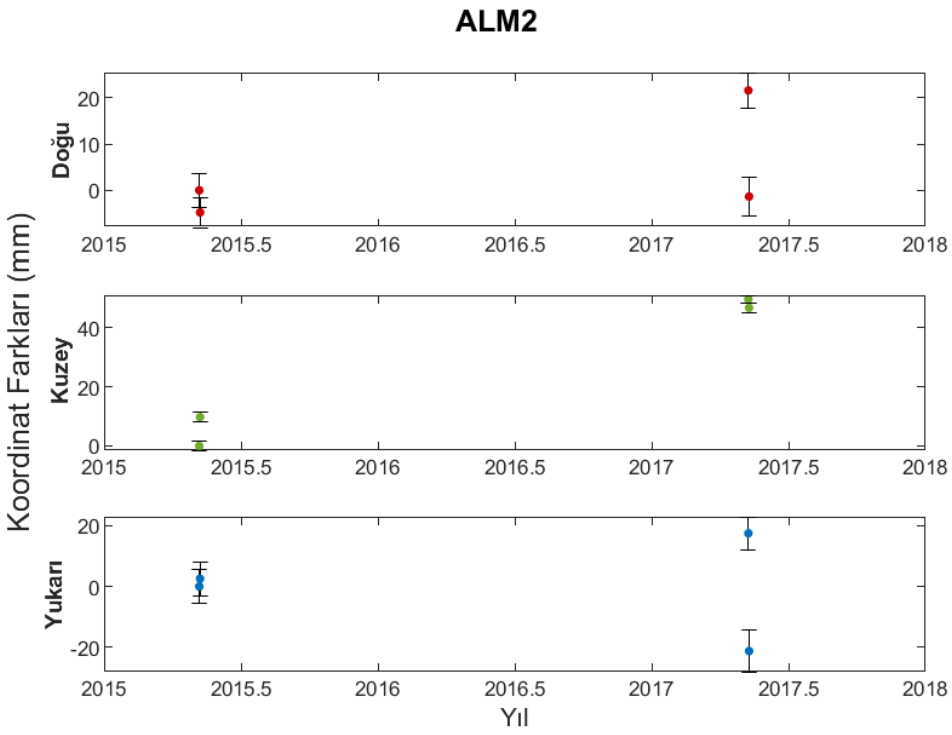

VEZI
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
0
-20
-40
60
40
20
-50
-100
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

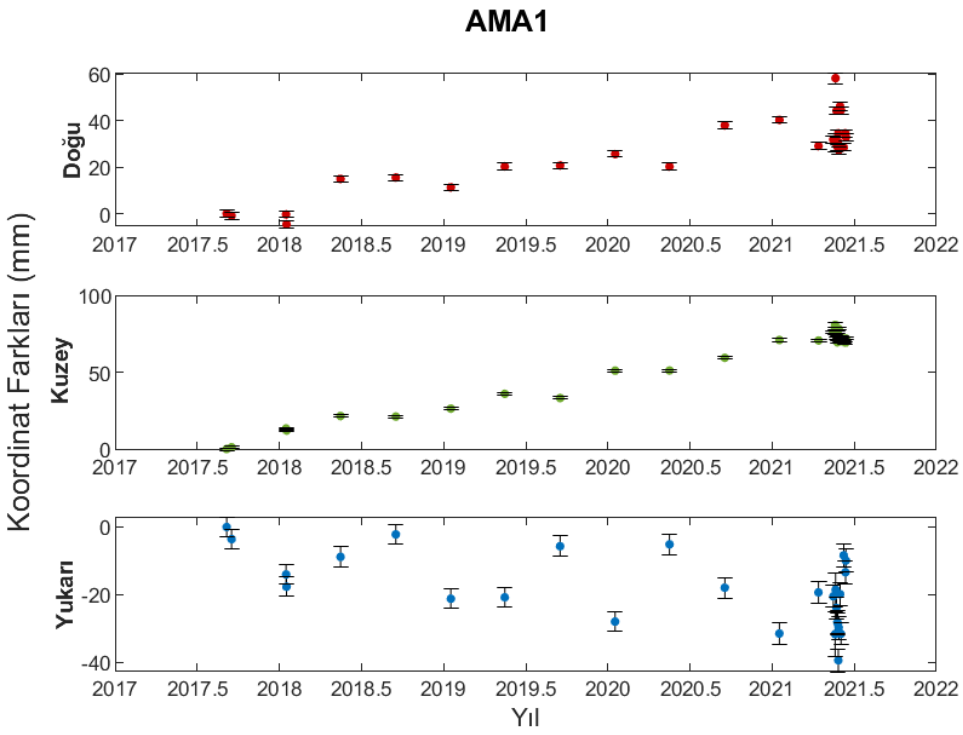

YLTP
Doğu
Kuzey
Yukarı
Koordinat Farkları (mm)
Yıl
0
-10
-20
10
20
2014
2014.2
2014.4
2014.6
2014.8
2015
2015.2
2015.4
2015.6
2015.8
2016

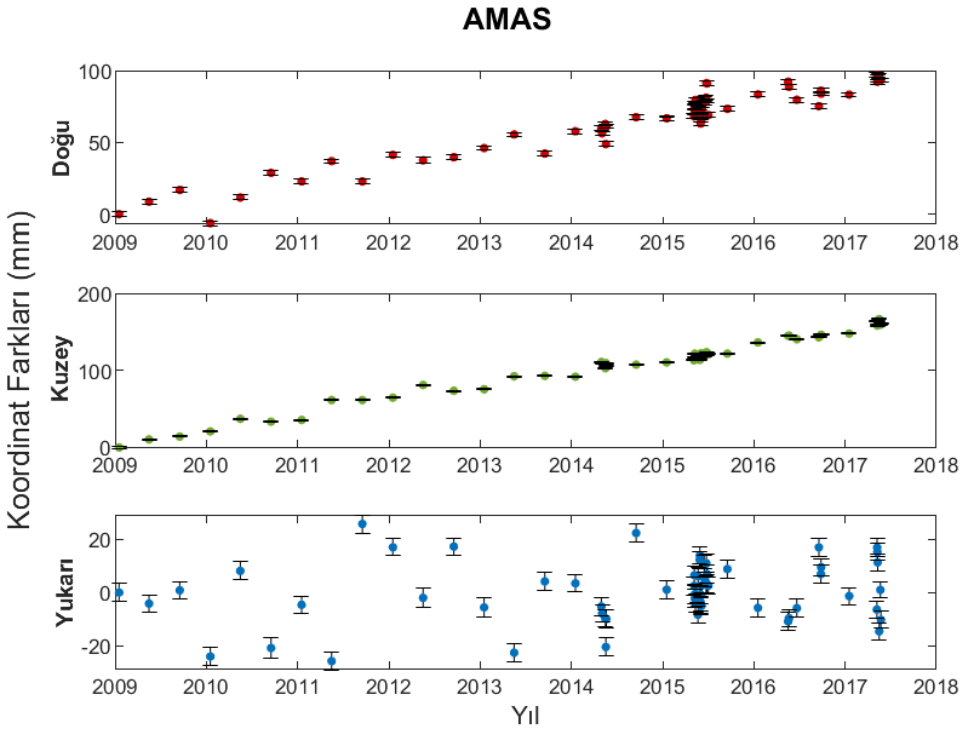
B

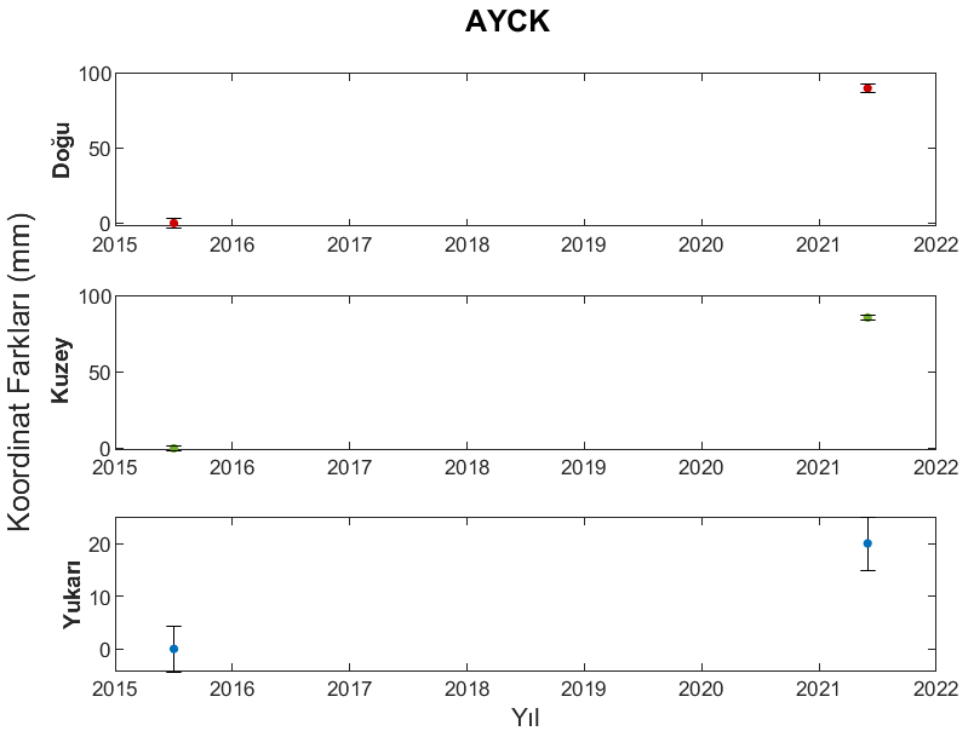
PPP YÖNTEM İLE ANALİZ SONUCU OLUŞAN ZAMAN SERİLERİ

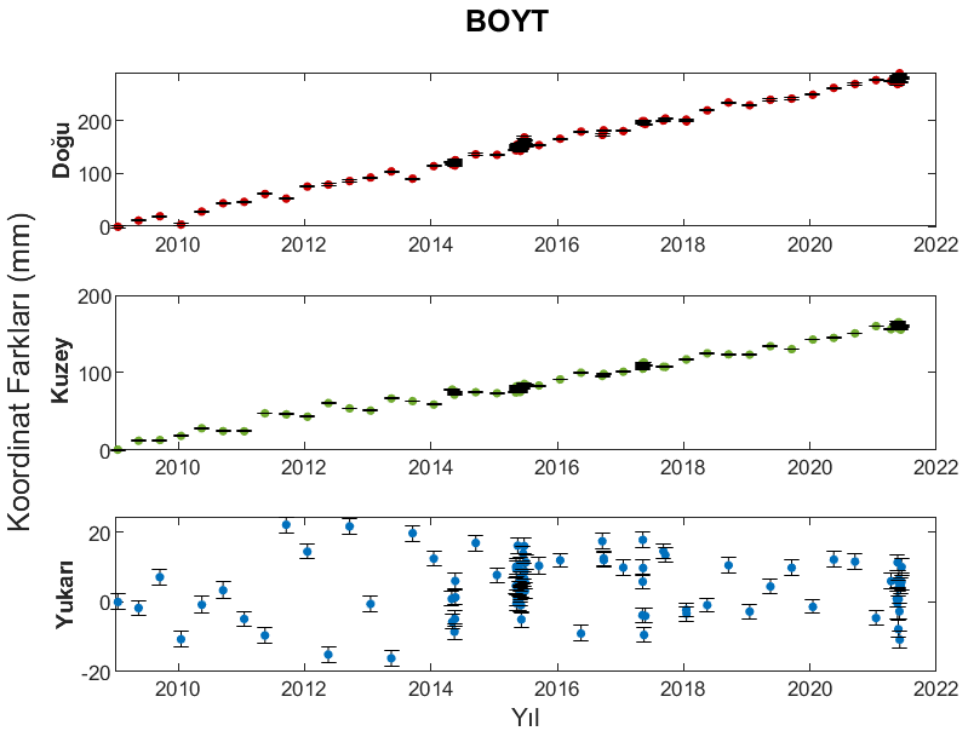


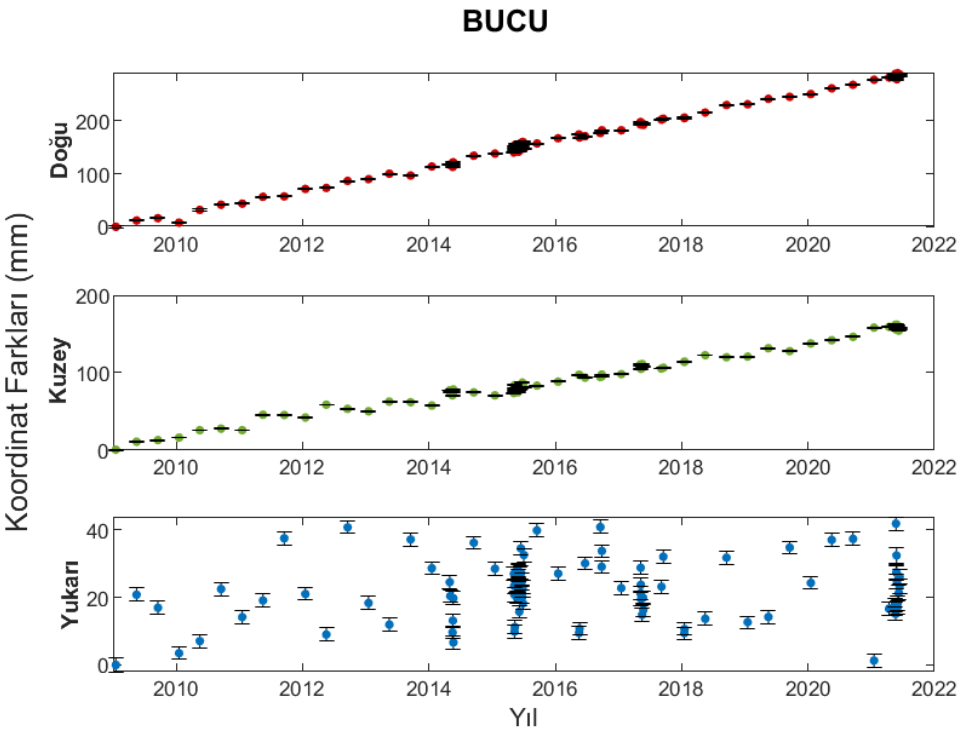


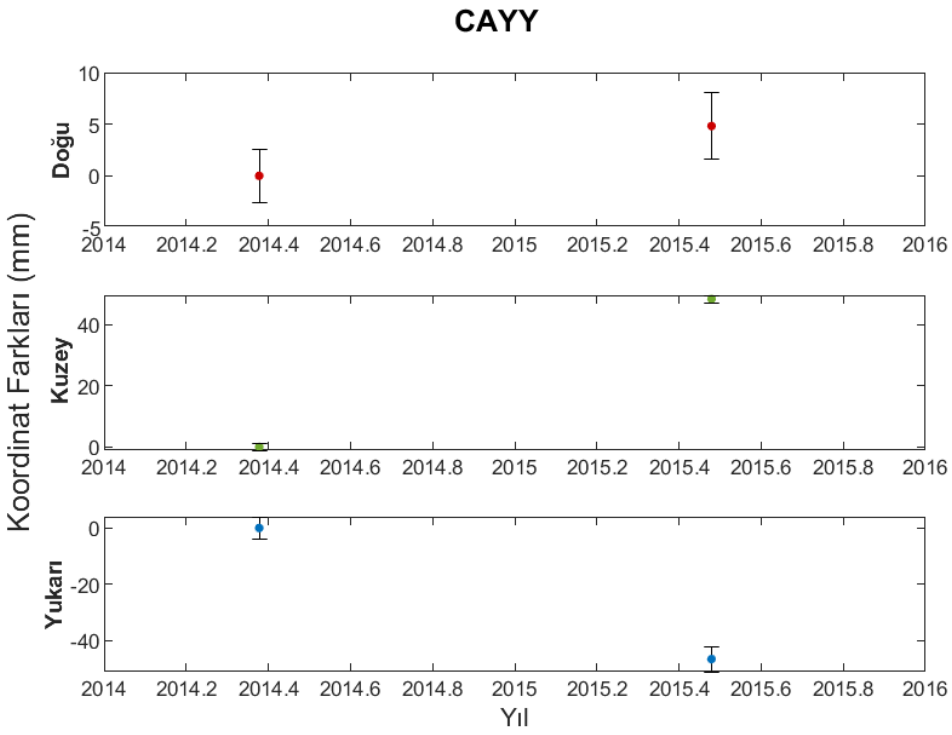

AMA1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

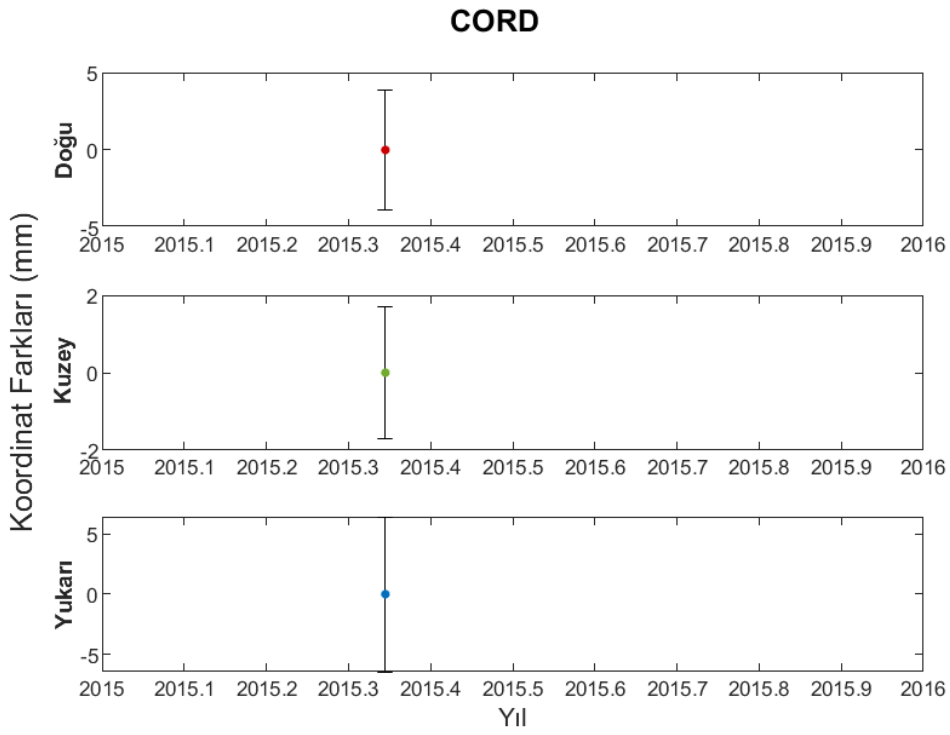

AMAS
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

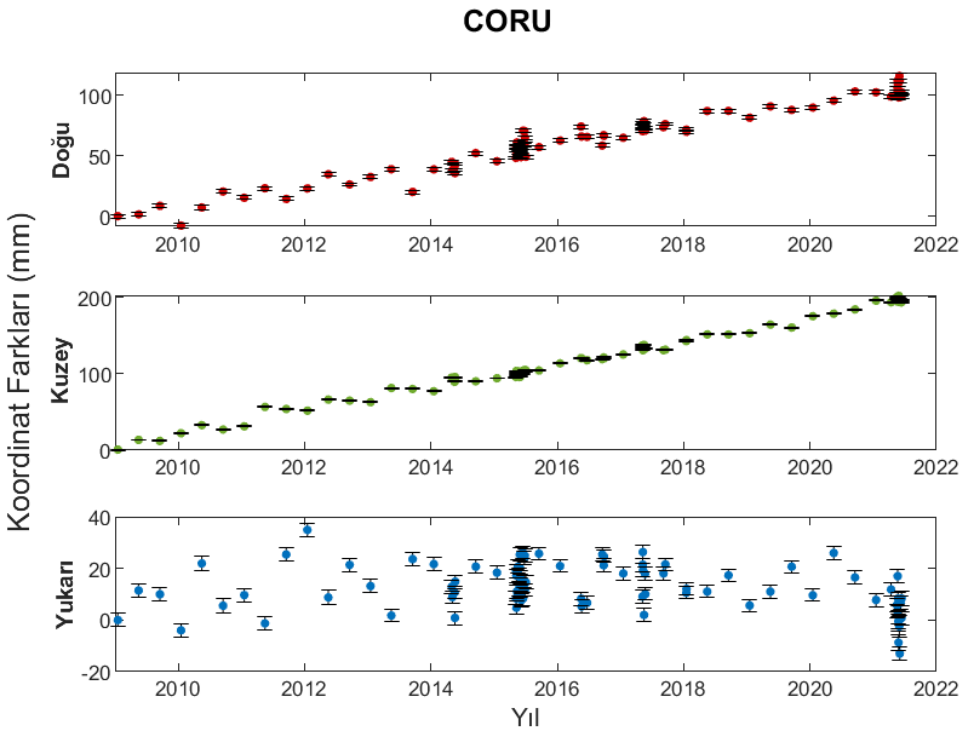

AYCK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
100
50
0
20
10
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

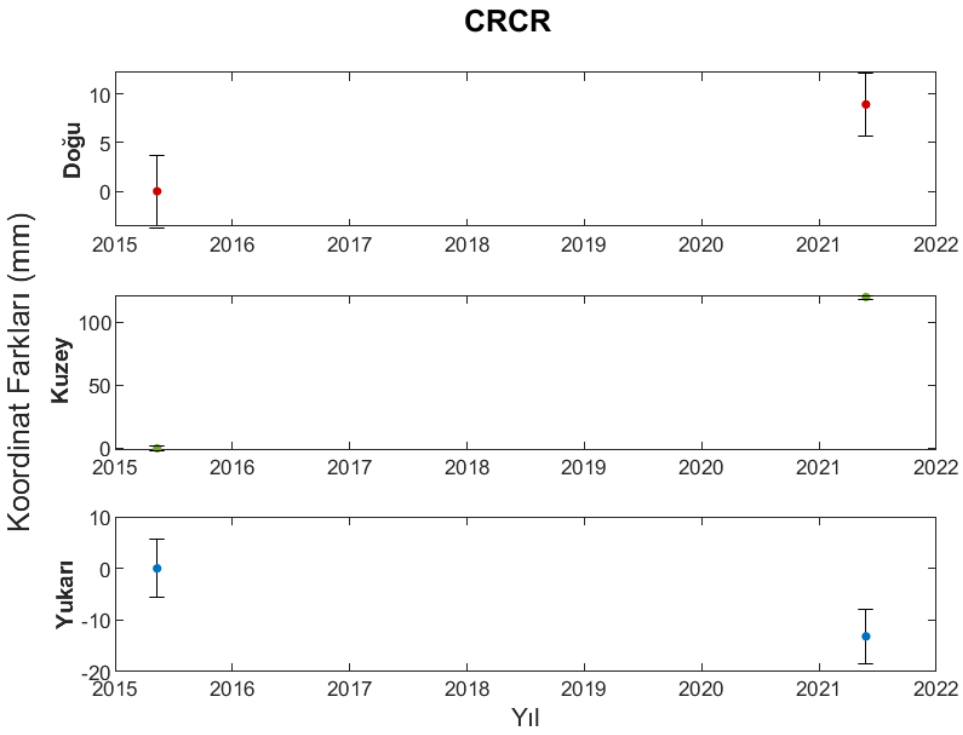

BOYT
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
200
100
0
20
-20
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

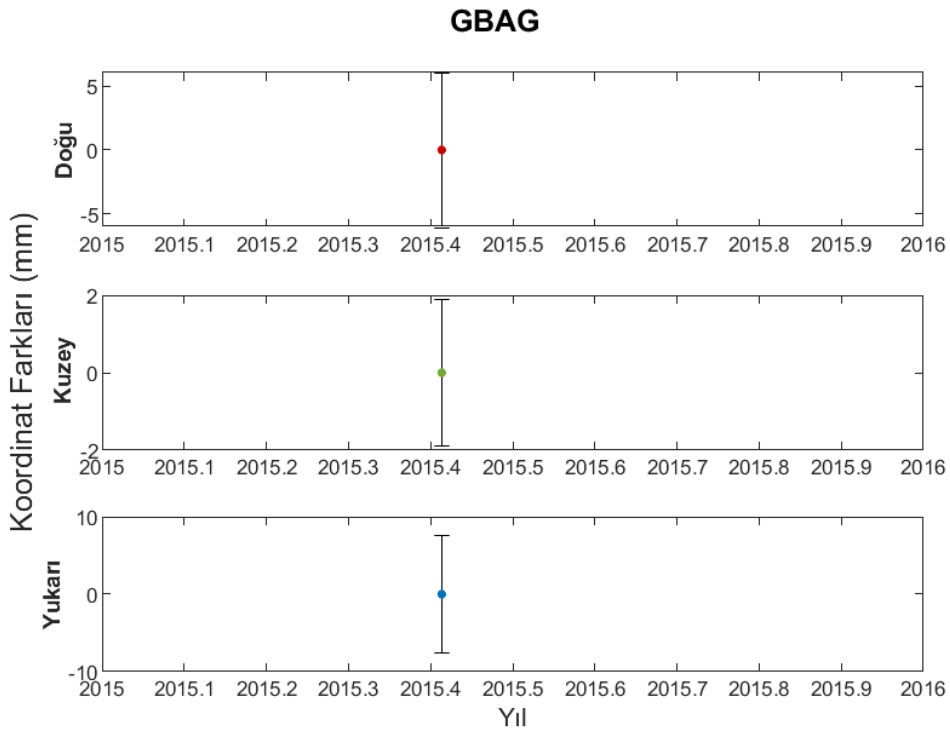

BUCU
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

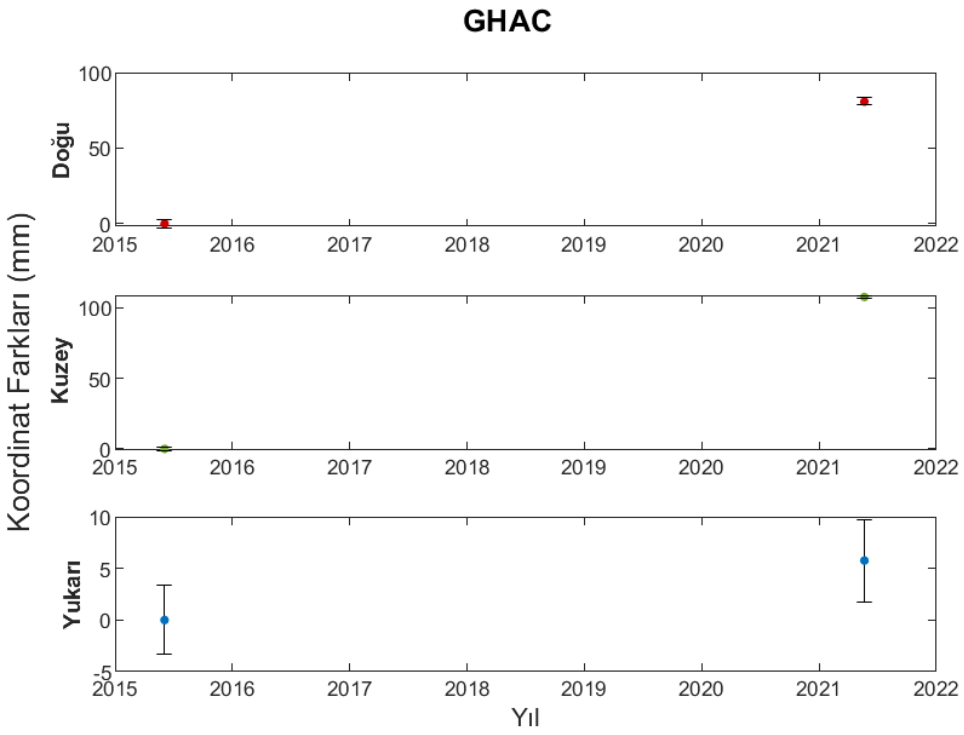

CAYY
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

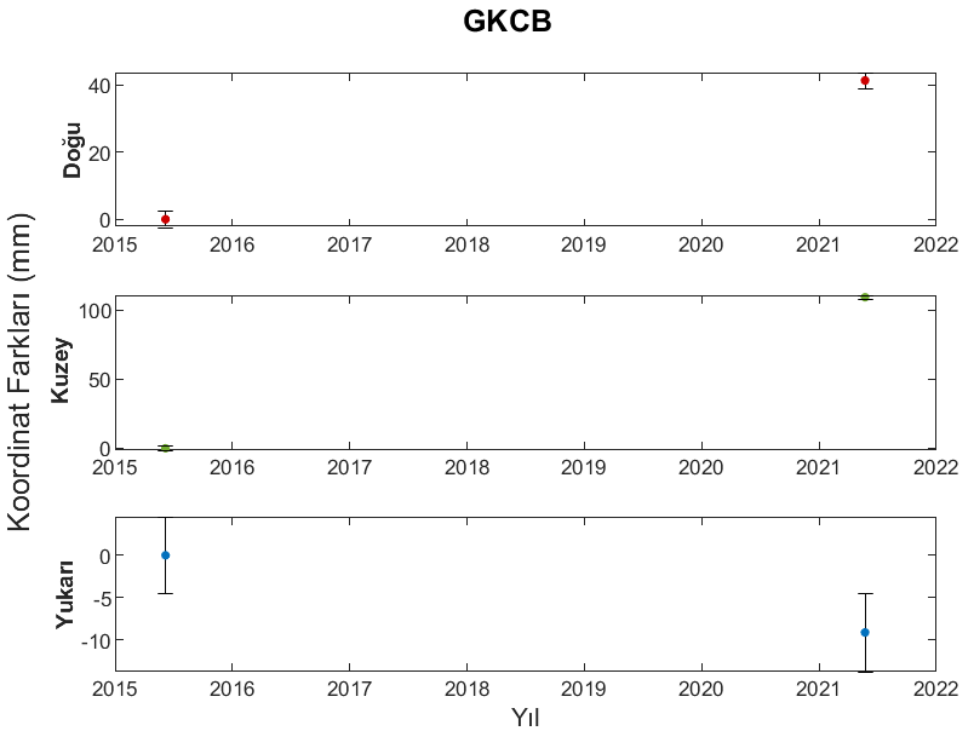

CORD
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.1
2015.2
2015.3
2015.4
2015.5
2015.6
2015.7
2015.8
2015.9
2016

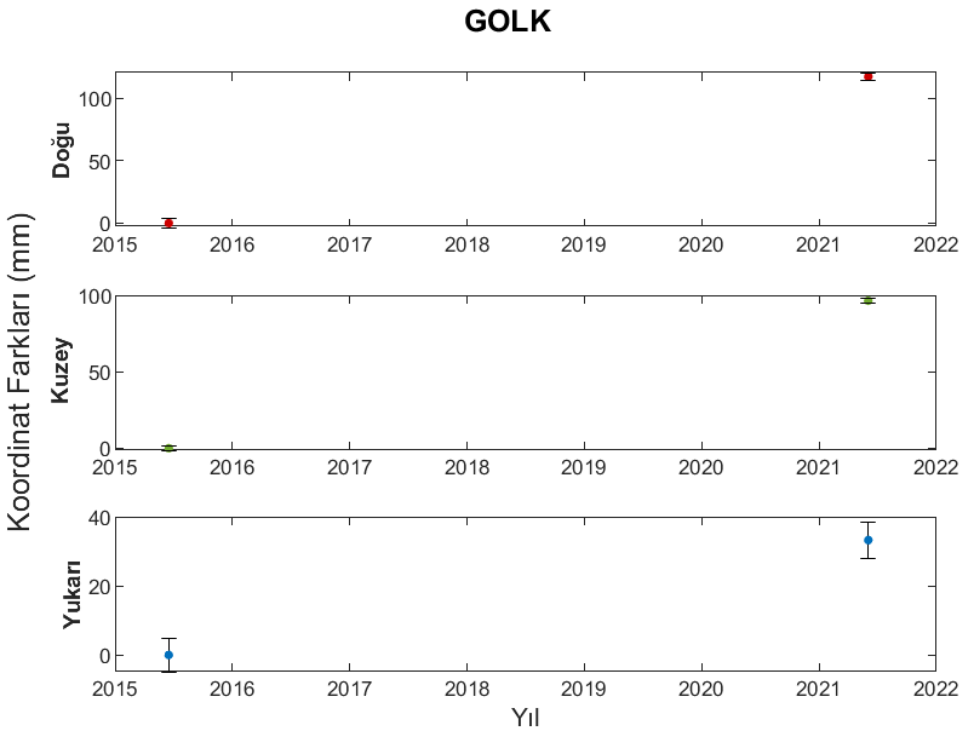

CORU
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

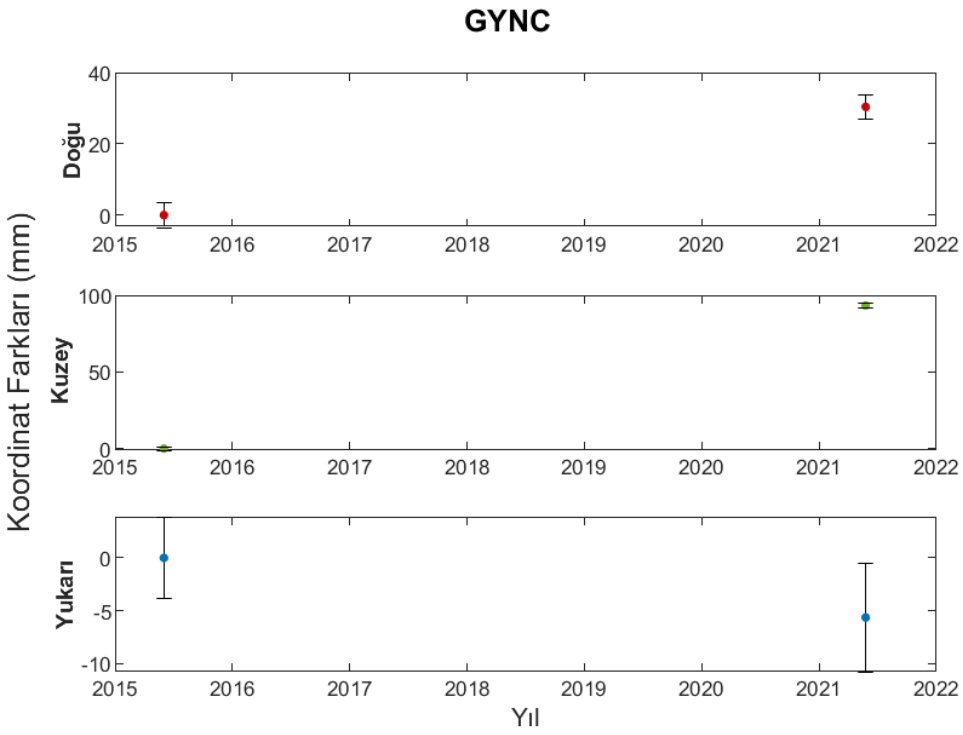

CRCR
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

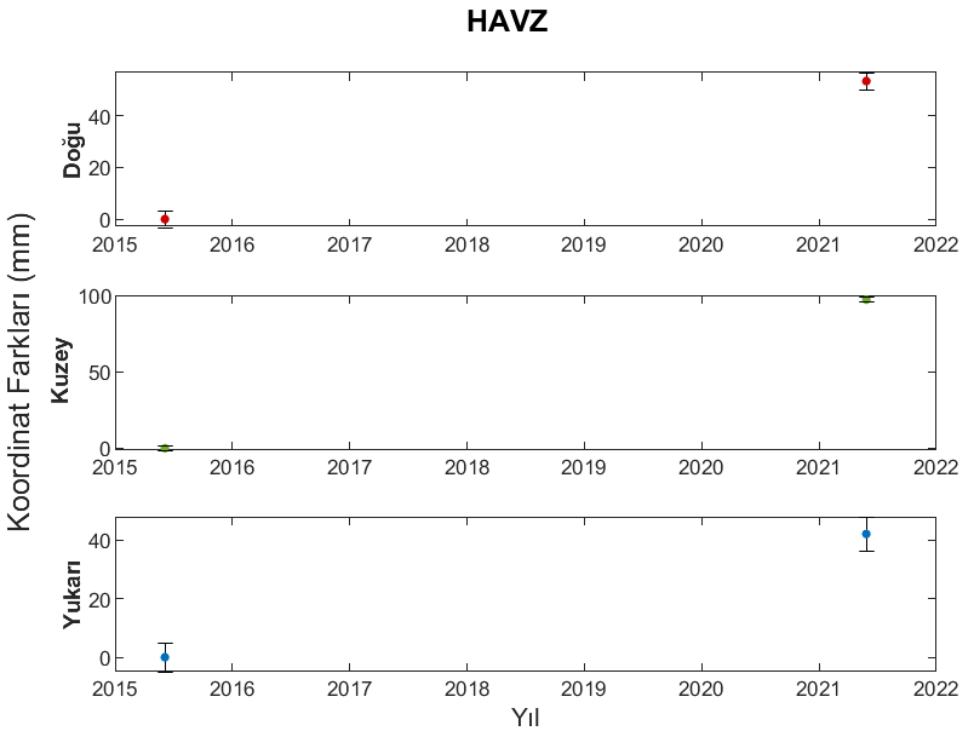

GBAG
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.1
2015.2
2015.3
2015.4
2015.5
2015.6
2015.7
2015.8
2015.9
2016

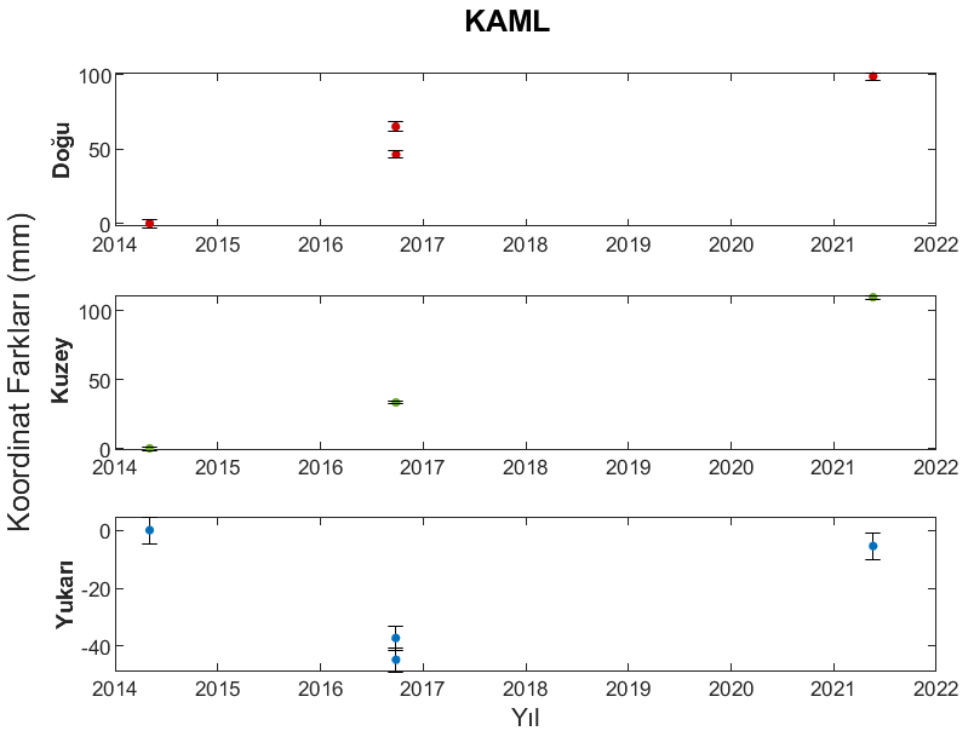

GHAC
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

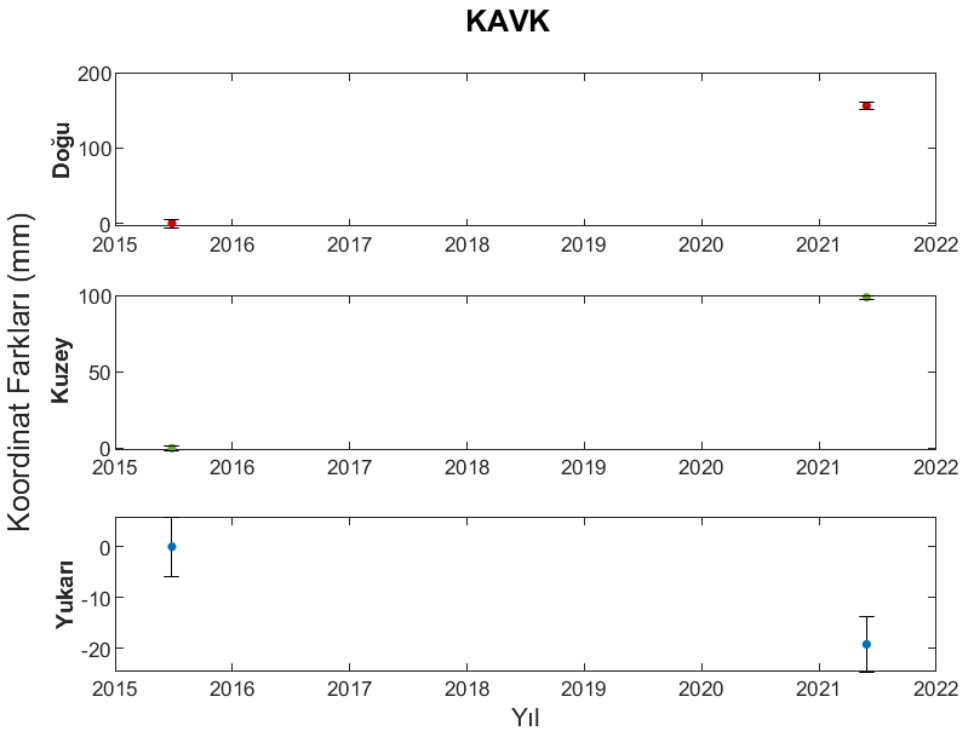

GKCB
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

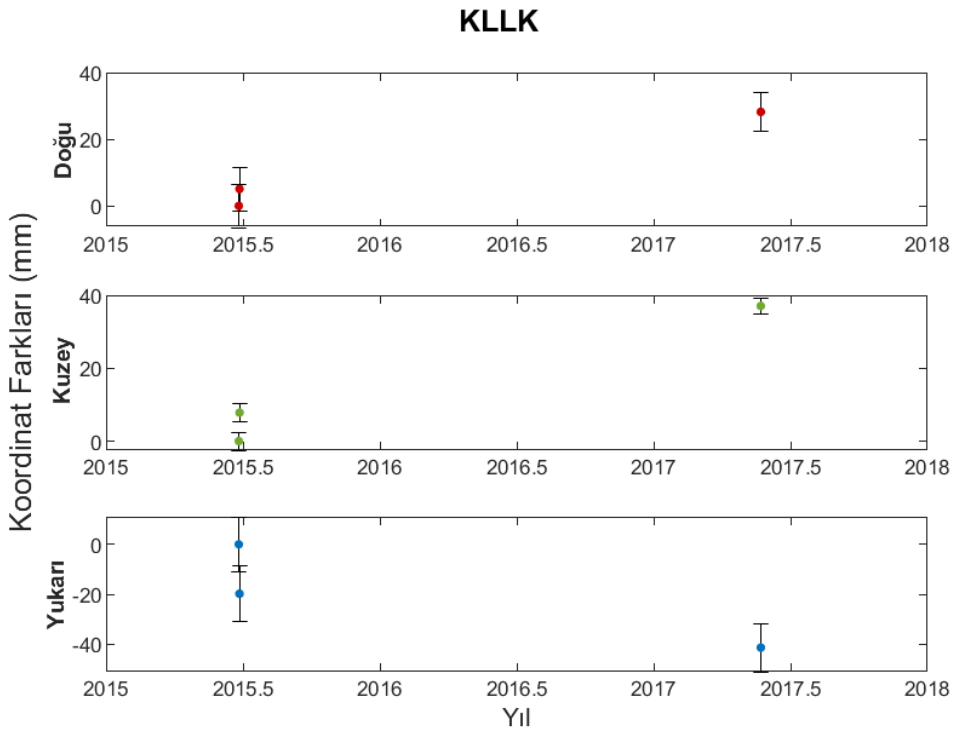

GOLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

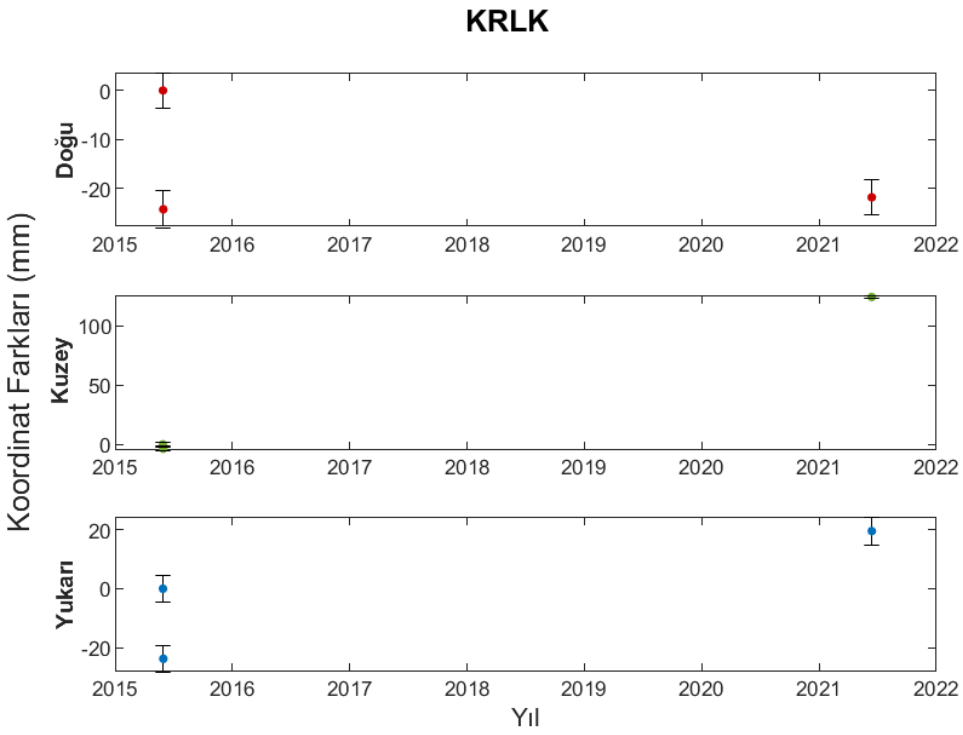

GYNC
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

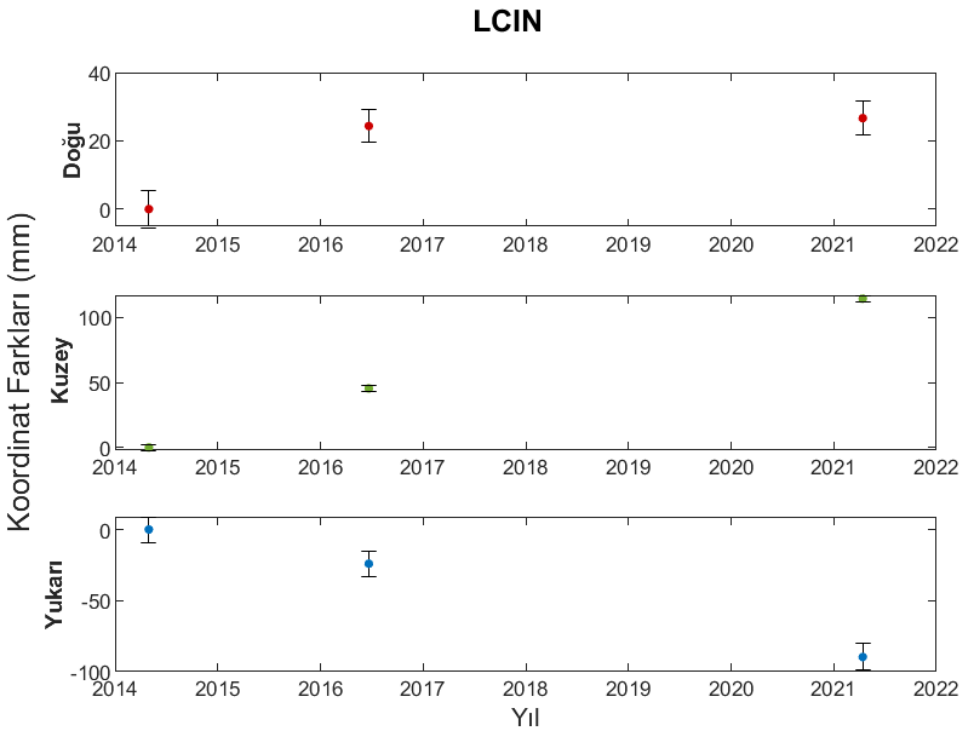

HAVZ
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

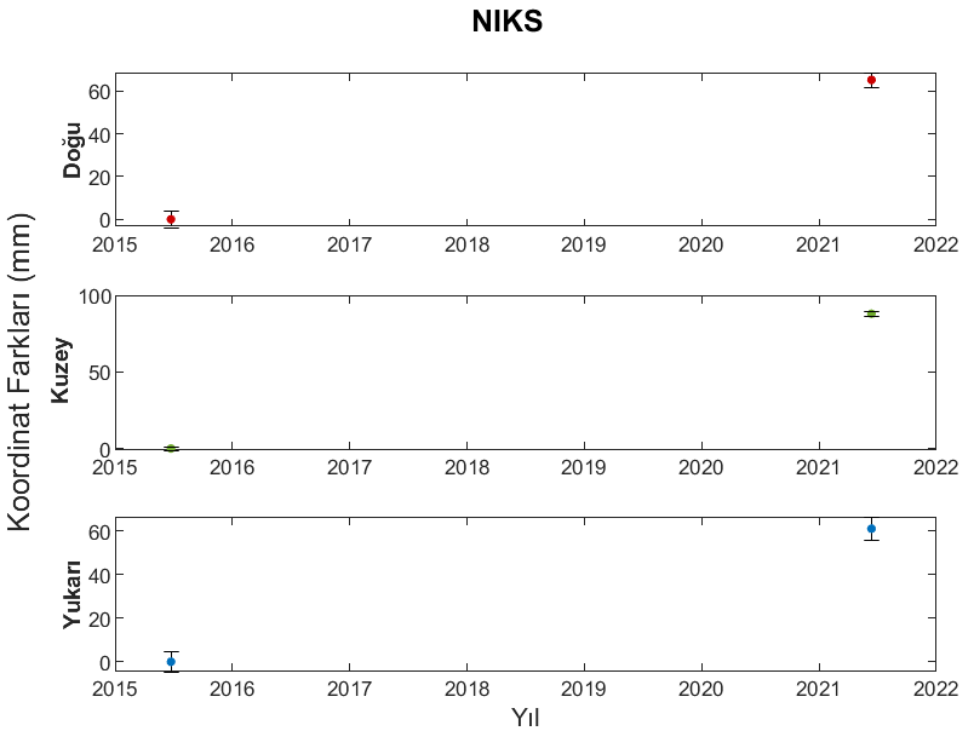

KAML
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

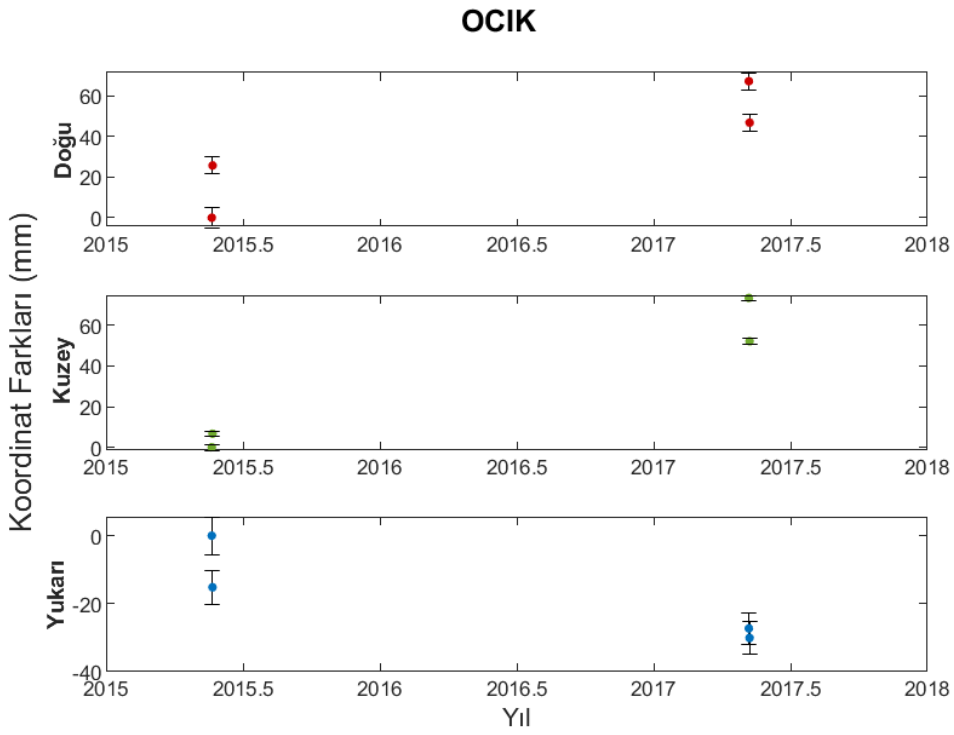

KAVK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

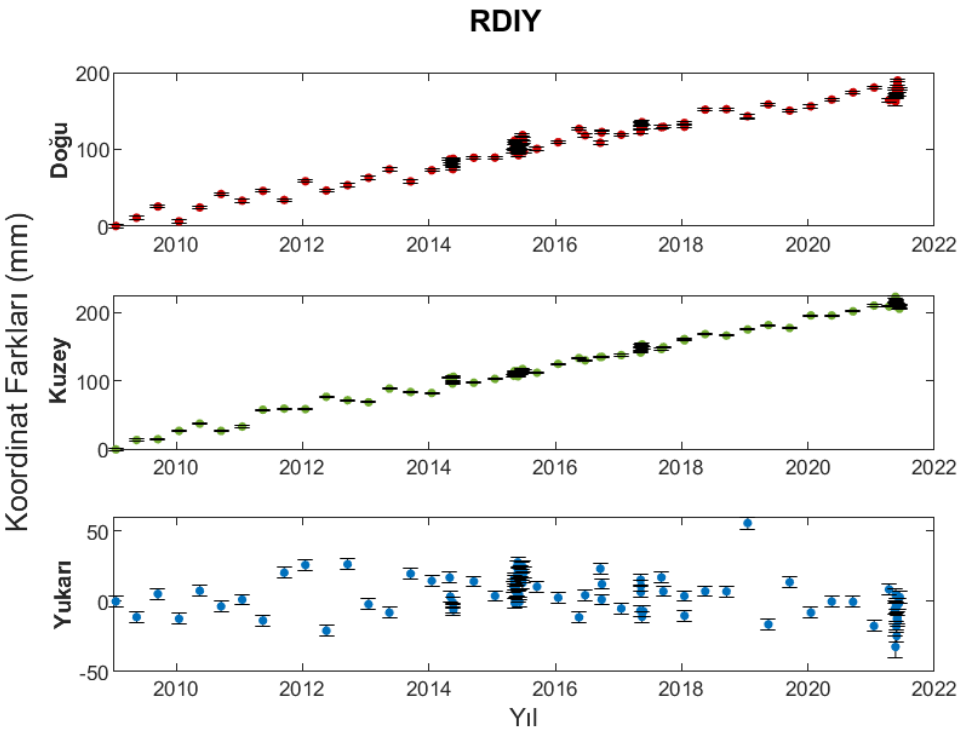

KLLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.5
2016
2016.5
2017
2017.5
2018

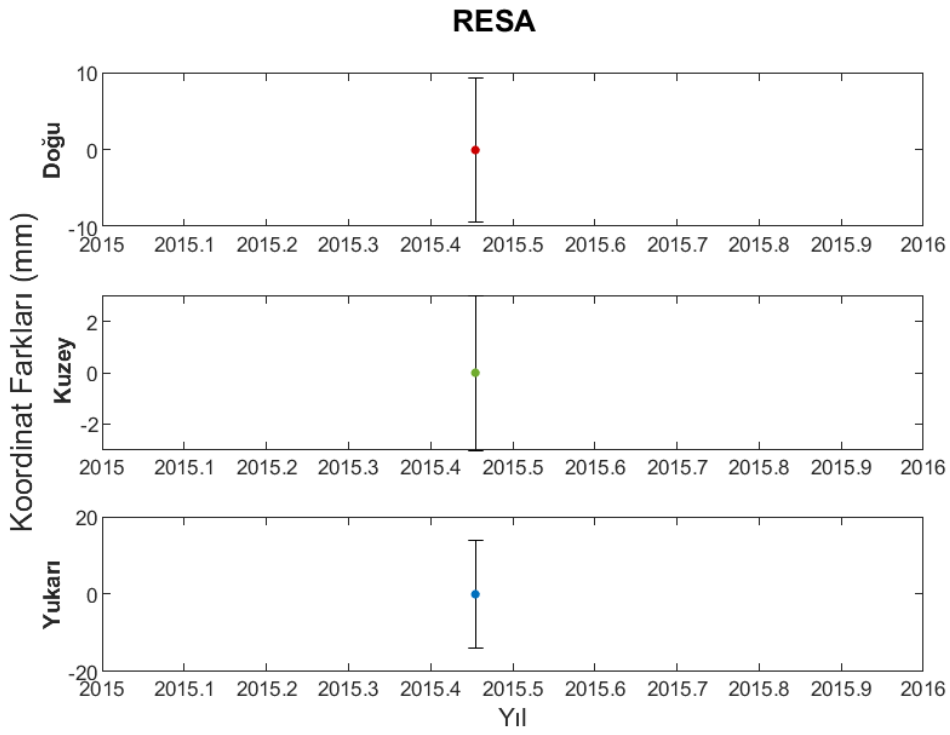

KRLK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

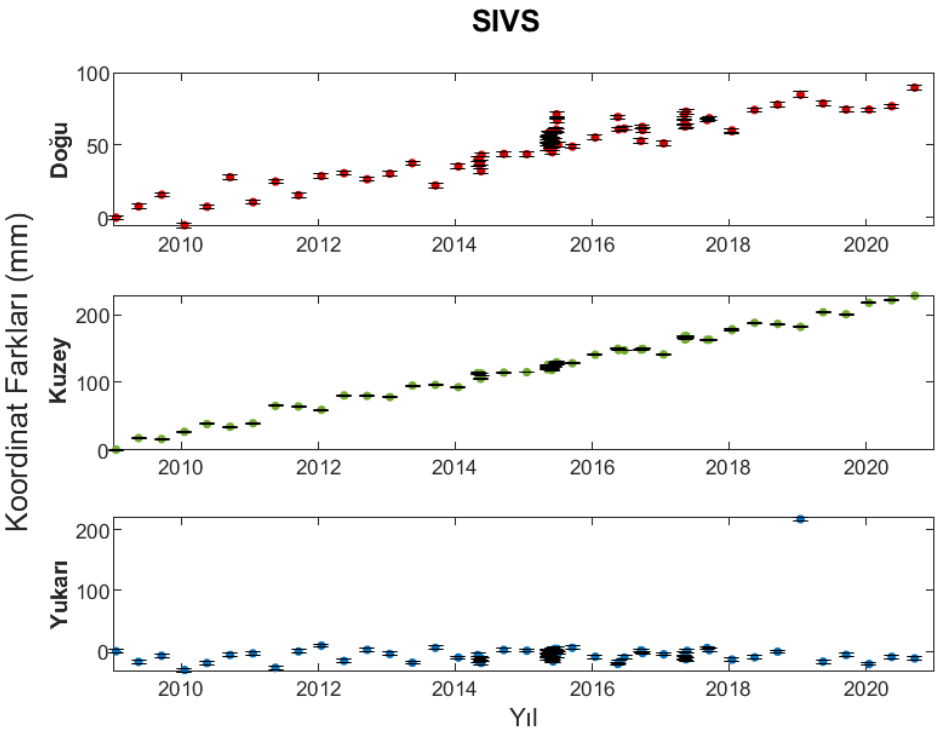

LCIN
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

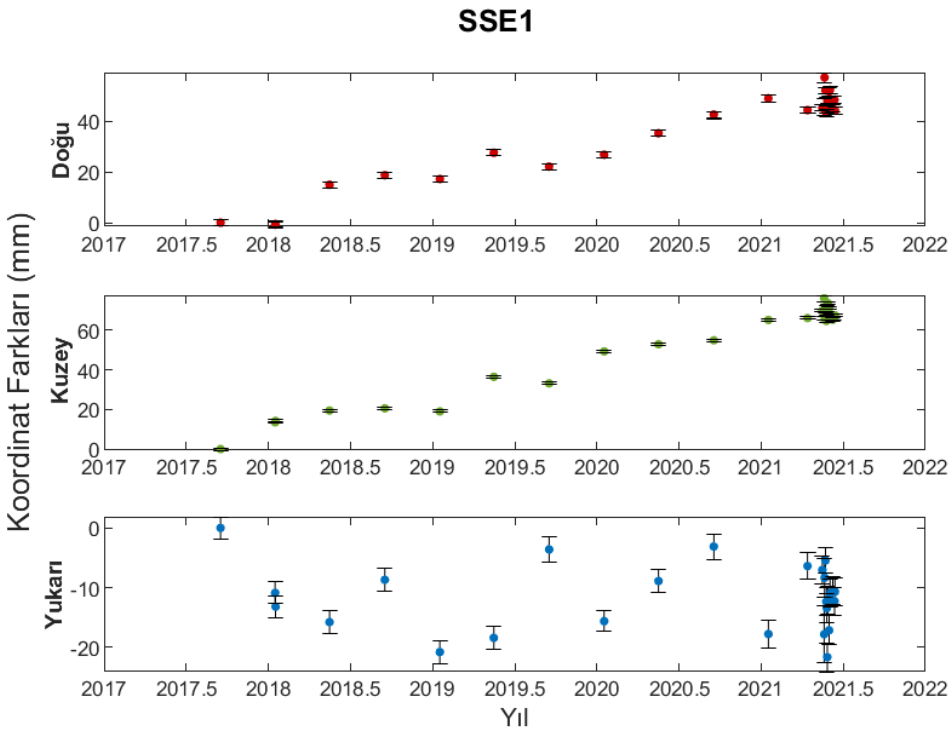

NIKS
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022

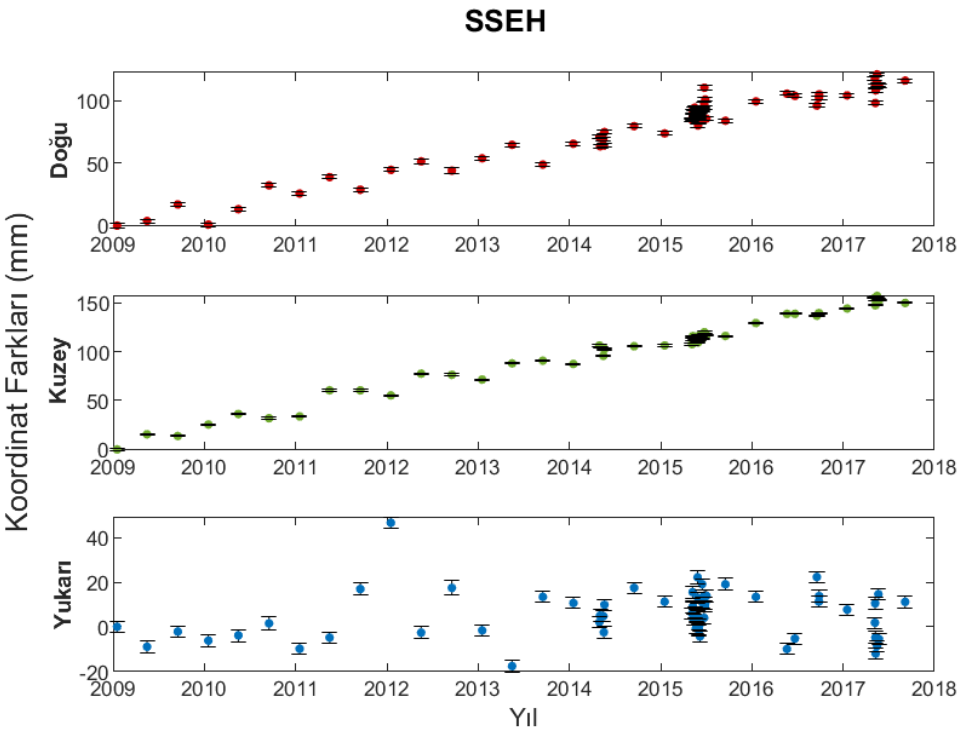

OCIK
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.5
2016
2016.5
2017
2017.5
2018

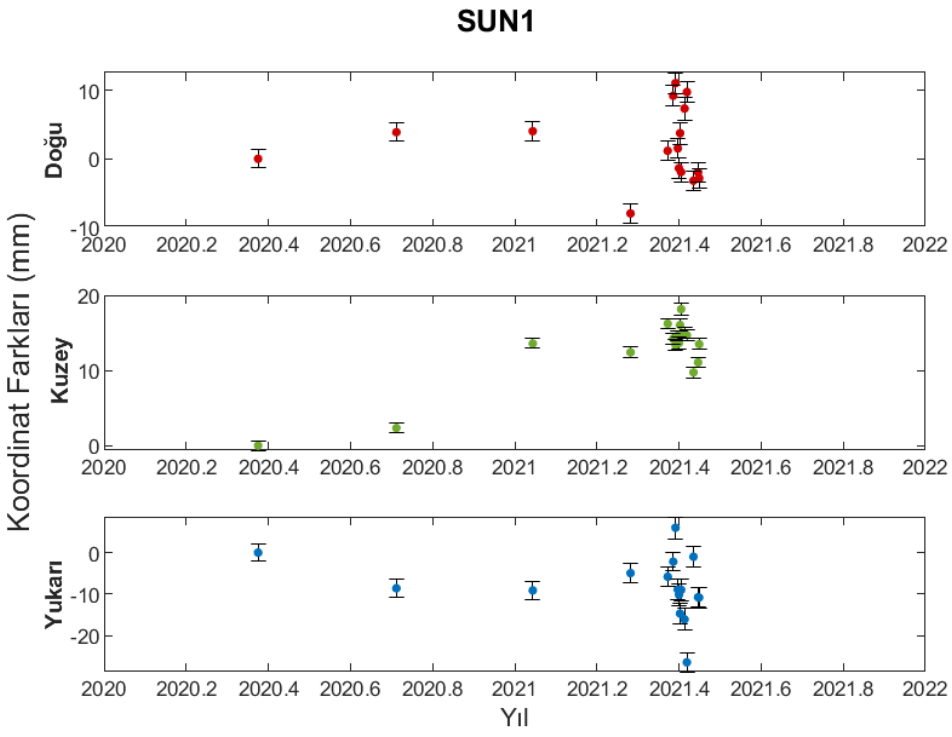

RDIY
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

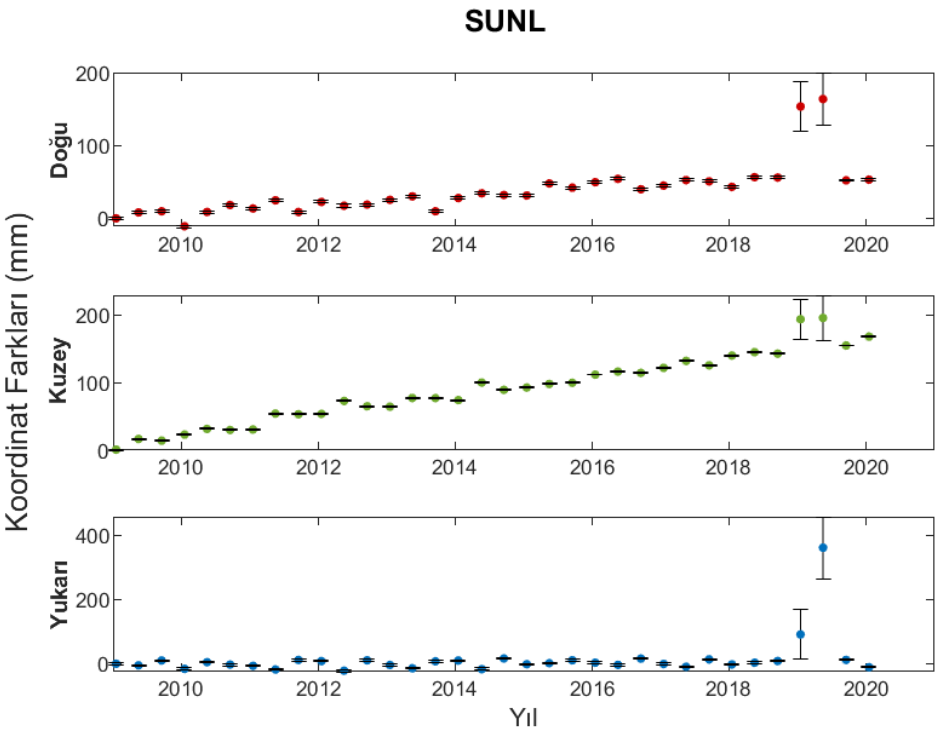

RESA
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2015
2015.1
2015.2
2015.3
2015.4
2015.5
2015.6
2015.7
2015.8
2015.9
2016

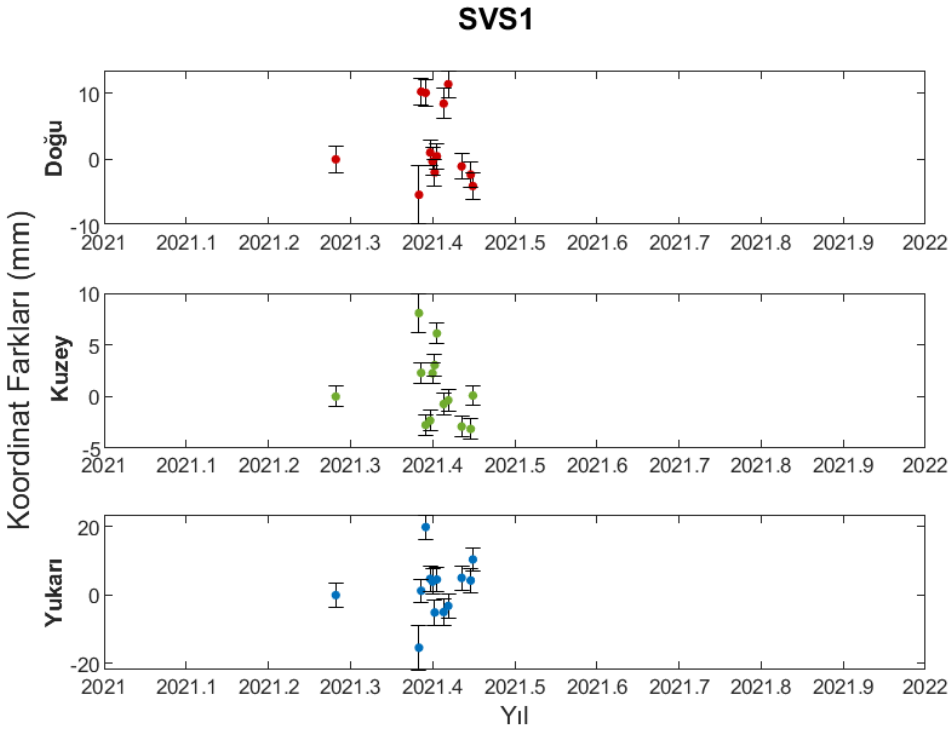

SIVS
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2010
2012
2014
2016
2018
2020

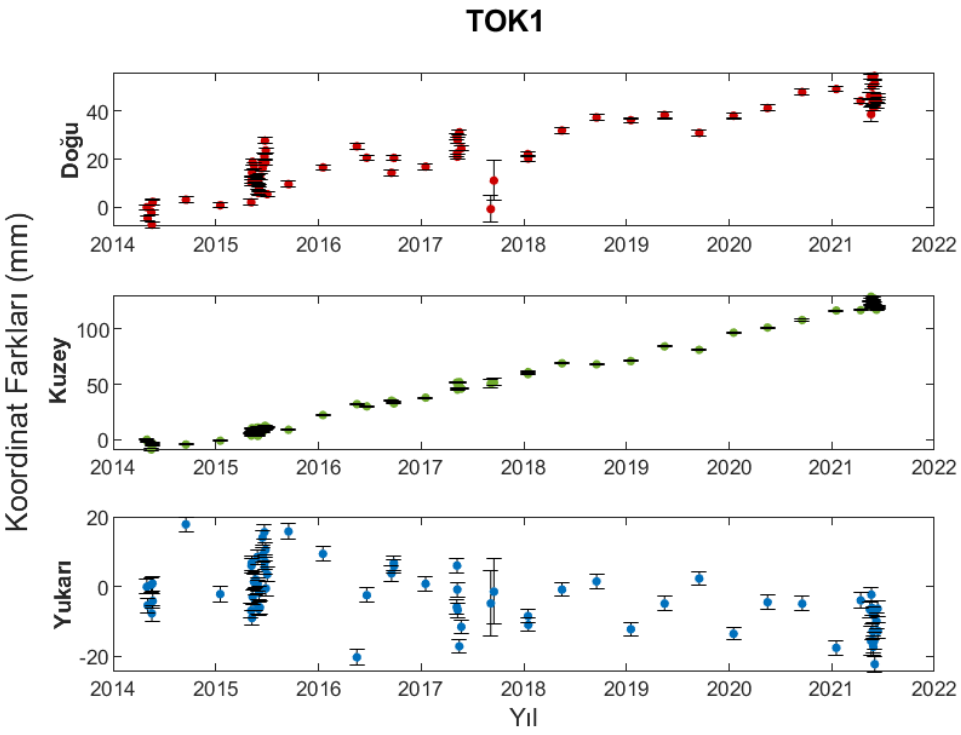

SSE1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2017
2017.5
2018
2018.5
2019
2019.5
2020
2020.5
2021
2021.5
2022

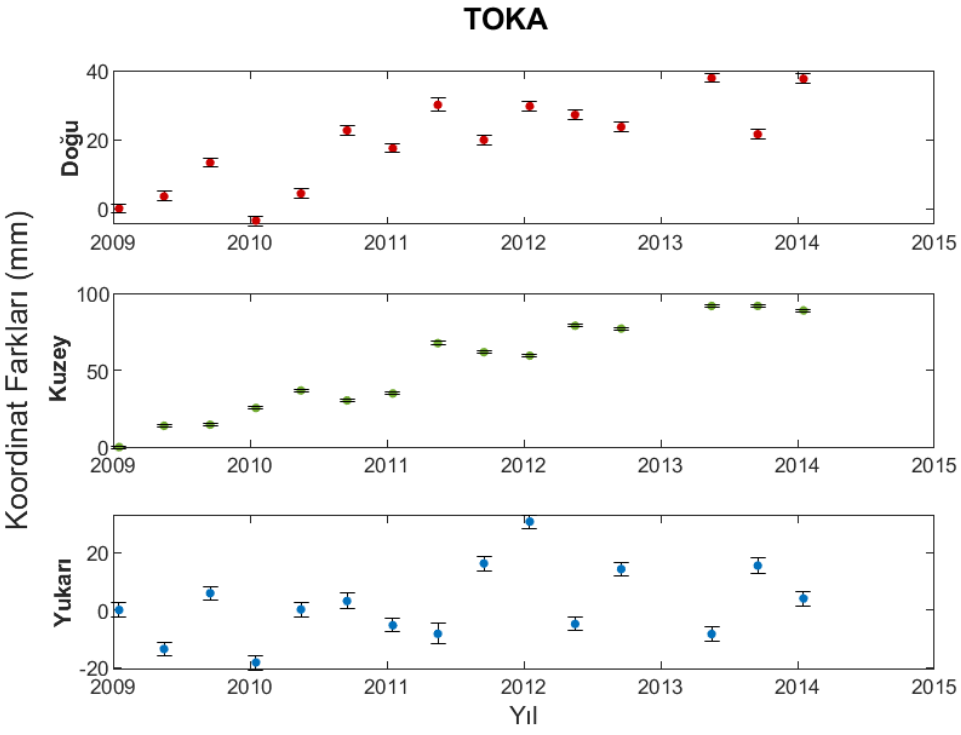

SSEH
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

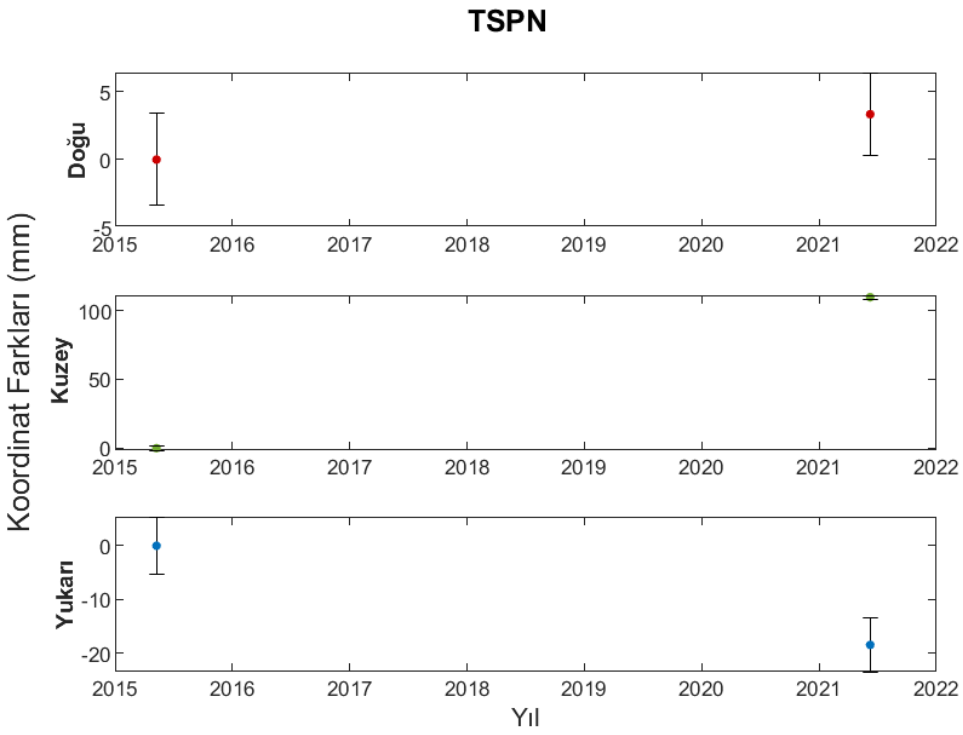

SUN1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

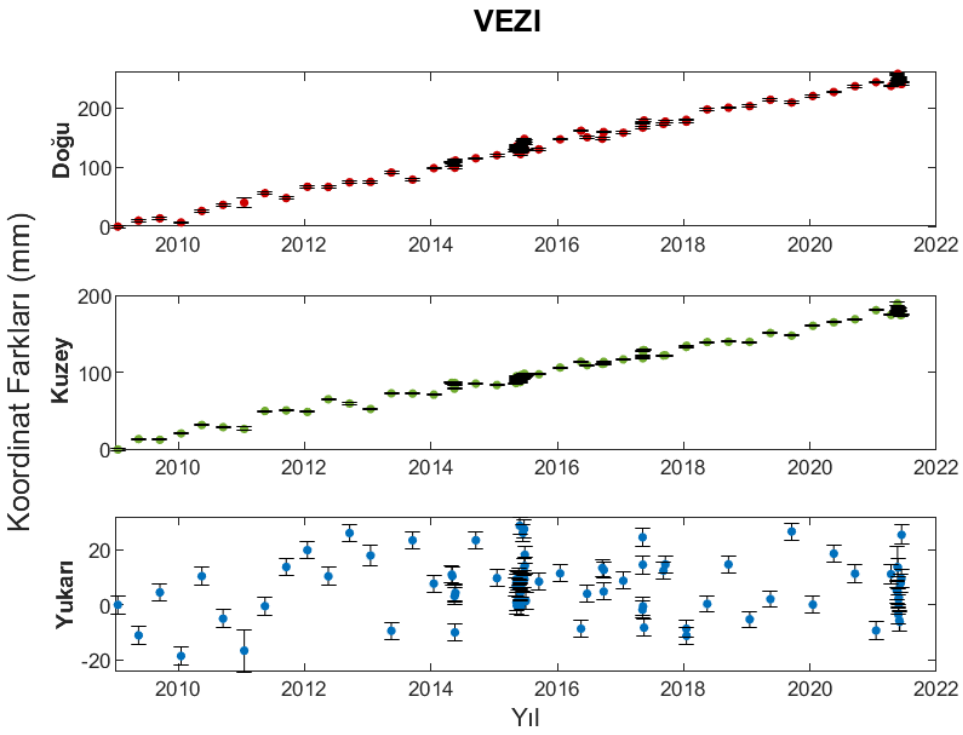

SUNL
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl

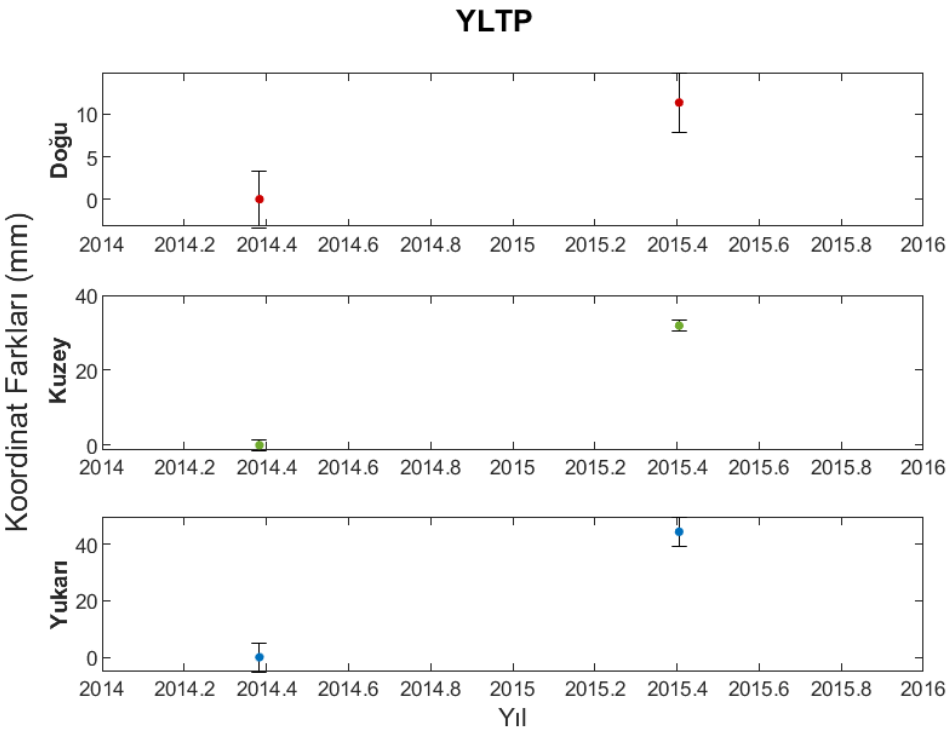

SVS1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


TOK1
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


TOKA
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


TSPN
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


VEZI
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl


YLTP
Koordinat Farkları (mm)
Doğu
Kuzey
Yukarı
Yıl
2014
2014.2
2014.4
2014.6
2014.8
2015
2015.2
2015.4
2015.6
2015.8
2016

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Poster Bildiri

Taş, H. N., Doğan, A. H., & Erdoğan, B., (2023). Analysis of the tectonic activities along the central part of the north anatolian fault zone using GNSS measurements. XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) (pp.1). Berlin, Germany