



**GNSS ÖLÇÜLERİ İLE ÇİVRİL GRABEN SİSTEMİNDEKİ
TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah TÜRK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2024

Bu tez çalışması 22.FENBİL.21 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GNSS ÖLÇÜLERİ İLE ÇİVRİL GRABEN SİSTEMİNDEKİ
TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Gülşah TÜRK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Gülşah TÜRK tarafından hazırlanan ‘‘Tez Onay Sayfası’’ adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 29 / 01 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliğı** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN
Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim SOLAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğıtim Meslek Yüksekokulu

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

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

21 / 02 / 2024

İmza
Gülşah TÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GNSS ÖLÇÜLERİ İLE ÇİVRİL GRABEN SİSTEMİNDEKİ TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Gülşah TÜRK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Çivril Graben Sistemi (ÇGS) Batı Anadolu genişlemeli tektonik rejimi içerisinde gelişmiş önemli tektonik yapılardan biridir. Toplam uzunluğu 100 km olan ÇGS, KD uzanımlı Baklan ve KB uzanımlı Dinar grabenlerinin oluşturduğu ters ‘V’ şeklinde bir geometriye sahiptir. Graben sistemi Dinar fayı, Çivril fayı ve Baklan fayından oluşmaktadır. Ana faylar ÇGS’nin kuzey kenarı boyunca uzanırken, güney kenarı bunların antitetik yapıları tarafından sınırlandırılmaktadır.

Bu araştırmada ÇGS üzerindeki hız ve gerinim alanlarının belirlenmesi amacıyla 33 noktadan oluşan bir GNSS ağı kurulmuş olup 2022 ve 2023 yılları arasında 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ayrıca ağda yer alan noktaların geçmiş yıllardaki GNSS verilerine de ulaşılmıştır. Tüm GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek bölgenin Avrasya sabit hız alanı elde edilmiştir. Hız verileri kullanılarak, iki boyutlu bir gerinim analizi gerçekleştirilmiştir. Bölgenin güncel gerinim alanı Çivril Graben Sistemi içerisinde KB-GD yönlü açılmaların baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca Çivril fayı üzerinde gerinim bileşenlerinin sağ yönlü normal fay mekanizmasıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Bölgenin güneyinde yer alan Acıgöl Grabeni içerisinde ise gerinimlerin minimum seviyelerdedir.

2024, viii + 58 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çivril Graben Sistemi, GNSS, Dinar fayı, Gerinim analizi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF TECTONIC MOVEMENTS IN ÇİVRİL GRABEN SYSTEM BY GNSS MEASUREMENTS

Gülşah TÜRK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

The Çivril Graben System (ÇGS) is one of the most important tectonic structures developed within the Western Anatolian extensional tectonic regime. With a total length of 100 km, the ÇGS has an inverted 'V' shaped geometry formed by the NW trending Baklan and NW trending Dinar grabens. The graben system consists of the Dinar, Çivril and Baklan faults. The main faults lie along the northern border of the ÇGS, while the southern border is bounded by their antithetic structures.

In this research, a GNSS network covering the ÇGS and consisting of 33 sites was established to determine the velocity fields and strain rates, and 3 campaign GNSS measurements were carried out between 2022 and 2023. In addition, the GNSS data of the sites in the network in the past years were obtained from local companies. All GNSS data were processed with GAMIT/GLOBK software and the Eurasian fixed velocity field of the region was calculated. Using the velocity field, a two-dimensional strain analysis was performed. The obtained strain field shows that NW-SE directional extensions are dominant within the ÇGS. In addition, it is seen that the strain components on the Çivril fault are compatible with the right-lateral normal fault mechanism. The strain rates are at minimal levels in the Acıgöl Graben located in the south of the region.

2024, viii + 58 pages

Keywords: Çivril Graben System, GNSS, Dinar fault, Strain analysis

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması ve akademik tüm konularda bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman saygı duyduğum ve duyacağım tez danışmanım Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na çok teşekkür ederim. Bu tez çalışmasının gelişmesi ve şekillenmesinde emeği olan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim SOLAK'a Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN'e teşekkür ederim. Geçmiş yıllardaki verilerini bizimle paylaşan kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör çalışanlarına teşekkür ederim. Tez kapsamında yapılan arazi çalışmalarına eşlik eden Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK'e, Eda Esma EYÜBAGİL'e teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 22.FENBİL.21 numaralı proje ile destekleyen AKÜ BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Yüksek Lisans süreci boyunca gösterdiği tüm desteği için sevgili eşim Ali TÜRK'e çok teşekkür ederim. Her zaman her konuda yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gülşah TÜRK
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE’DE YAPILAN TEKTONİK/JEODEZİK ÇALIŞMALAR	3
3. BATI ANADOLU ve ÇİVRİL GRABENİNİN TEKTONİK YAPISI.....	11
3.1 Çivril Fayı.....	15
3.2 Dinar Fayı	16
3.3 Baklan Fayı.....	18
4. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN UZAYSAL YÖNTEMLER	19
4.1 VLBI.....	19
4.2 SLR	22
4.3 InSAR	24
4.4 GNSS	26
4.4.1 GPS	28
4.4.2 GLONASS	31
4.4.3 GALILEO	33
4.4.4 BEIDOU	34
4.4.5 Diğer Uydu Sistemleri	36
5. UYGULAMA.....	39
5.1 Çalışma Bölgesinin Tanımı ve GNSS Ağının Tasarlanması	39
5.2 GNSS Ölçüleri	40
5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	43
5.4 GNSS Hız Alanının Hesaplanması	46
5.5 GNSS Gerinim Alanının Hesaplanması	47
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	49
6. KAYNAKLAR.....	51

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ÇGS	Çivril Graben Sistemi
ESA	European Space Agency
GAMIT	GPS Analysis MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovayasistema
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GNSS Service
ILRS	International Laser Ranging Service
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITU	The International Telecommunication Union
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVIC	NAVigation Indian Constellation
OKAF	Orta Kuzey Anadolu Fay Zonu
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı
SLR	Satellite Long Range
VLBI	Very Long Base Interfrometry

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Batı Anadolu’da bulunan Grabenler	12
Şekil 3.2 Bölgenin aletsel dönem (1900-2024) içerisindeki deprem aktivitesi.....	13
Şekil 3.3 Çivril Graben Sistemi.....	14
Şekil 3.4 Çivril Graben Sisteminin aktif fay haritası ve Dinar ve Çivril faylarının geometrik segmentasyonu	16
Şekil 4.1 Atacama Large Millimeter Array radyo teleskoplarından bazıları ve VLBI, Event Horizon Teleskobu tarafından görüntülenen bir kara deliğin ilk görüntüsü.....	20
Şekil 4.2 VLBI Tekniği.....	21
Şekil 4.3 VLBI İstasyonları	21
Şekil 4.4 SLR’nin temel işleyişi.....	23
Şekil 4.5 ILRS Ağı.....	23
Şekil 4.6 SEASAT, SAR genlik ve interferogram resimleri	24
Şekil 4.7 InSAR ölçüm prensibi	25
Şekil 4.8 IGS İstasyonları.....	27
Şekil 4.9 GNSS kullanım alanları	28
Şekil 4.10 GPS gelişim süreci.....	29
Şekil 4.11 GPS kontrol bölümü.....	30
Şekil 4.12 GPS Bölümleri.....	30
Şekil 4.13 GLONASS Uzay Birimi Modernizasyonu	31
Şekil 4.14 GLONASS yer kontrol istasyonları	32
Şekil 4.15 GALİLEO uygulama planı	33
Şekil 4.16 BeiDou-1 kapsama alanı ve BeiDou-2’nin 2012’deki kapsama alanı.....	35
Şekil 4.17 NavIC kapsama alanı	37
Şekil 4.18 Quasi-Zenith uydu yörüngesi.....	38
Şekil 5.1 Çalışma kapsamında kurulan GNSS ağı	39
Şekil 5.2 İlk kampanya GNSS ölçümlerine ait görüntüler.....	41
Şekil 5.3 Çalışma kapsamında gerçekleştirilen 2. kampanya ve 3. kampanya GNSS ölçümlerine ait görseller	43
Şekil 5.4 GAMIT ana klasör yapısı	44

Şekil 5.5 KARM ve CVRL noktalarına ait yıllık zaman serileri	46
Şekil 5.6 Avrasya sabit hız alanı	47
Şekil 5.7 Çalışma bölgenin güncel gerinim alanı.....	48



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Çivril Graben Sistemindeki Tarihsel dönem depremleri	14
Çizelge 3.2 Çivril Graben Sistemindeki Aletsel dönem depremleri	14
Çizelge 3.3 Çivril Graben Sistemindeki Fay Segmentlerine ait Bilgiler.	18
Çizelge 5.1 GNSS ağında yer alan noktalara ait bilgiler.....	40
Çizelge 5.2 GNSS ağında yer alan noktalara ait ölçü zamanlarını gösteren bilgiler.	42
Çizelge 5.3 Değerlendirme esnasında stabilizasyon için kullanılan IGS istasyonları. ..	45

1. GİRİŞ

Deprem verdiği büyük hasarlar ve nasıl oluştuğunun gizemi nedeniyle tarih boyunca en çok merak edilen doğa olaylarından birisi olmuştur. Eski inanışlara göre Dünya bir canlı üzerinde ve bu canlı hareket ettikçe yer sarsılmakta, Yunan mitolojisine göre Poseidon'un sebep olduğu gibi tanrılara dayandırılan bir olayken Roma döneminde doğa ile ilişkilendirilmiştir. Günümüzde deprem dediğimiz doğa olayı, yer kabuğundaki kırılmalar nedeniyle ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsması olarak tanımlanmaktadır. Bu olay, sanılan aksine, yer kabuğunun hareketsiz değil de hareketli olduğunun bir göstergesidir.

Alfred Wegener'in 19. yüzyılda ileri sürdüğü 'Kıtaların Kayma Teorisi' ile tektonik kuramını başlattığı kabul edilmektedir. Bu kuram yerbilimciler tarafından zamanla geliştirilerek günümüzde 'Levha Tektoniği' olarak adlandırılmaktadır. Levha tektoniğine göre yer yuvarı levhalardan oluşmaktadır. Çekirdekteki ısı değişimleri ile Astenosfer'de konveksiyon akımları oluşur buna bağlı olarak levhalar sürekli hareket halindedir. Bu hareketler sonucu levhaların birbirleriyle karşılaşması ile tektonik depremler meydana gelmektedir (Wegener 1912, McKenzie 1966, Sykes 1967, Mckenzie ve Parker 1967, McKenzie ve Morgan 1969). Yeryüzünde meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu tektonik kaynaklı depremlerdir.

Yerkabuğunu oluşturan 7 ana ve bazı küçük levhalar vardır. Bunlar birbirlerine göre çok yavaş hareket etmektedir. Ana levhalar Avrasya, Pasifik, Avustralya, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Afrika ve Antarktika levhalarıdır. Yaşadığımız coğrafya, tektonik hareketler bakımından Dünyanın en aktif bölgelerinden biridir. Kuzeyindeki Avrasya, doğusundaki Kafkas, güneydoğusundaki Arap ve güneyindeki Afrika levhalarının etkileşimi Anadolu ve çevresinde farklı bir fay sistemi ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Tiryakioğlu vd. 2010). Afrika levhası 18 mm/yıl hızla kuzeybatıya doğru hareket ederek Anadolu levhasına baskı uygulamaktadır. Anadolu levhasının Avrasya levhasıyla sınırını Kuzey Anadolu fay hattı belirlemektedir. Bu hatta Anadolu 25 mm/yıl hızla batıya doğru hareket etmektedir. Anadolu'nun Arap levhasıyla karşılaşma alanı ise Doğu Anadolu fay hattıdır (İnt.Kyn.1). Yerkabuğu hareketlerinin tespit

edilebilmesi için farklı alanlarda, çeşitli metotlarla birçok çalışma yapılmaktadır. Jeodezik çalışmalar da bu alanların içinde yer almaktadır. Jeodezik çalışmalar içerisinde yer alan GNSS (Global Navigation Sattelite System-Küresel Konum Belirleme Sistemleri) tekniği, 1980'li yıllardan sonra teknolojinin hızla gelişmesiyle milimetrik hassasiyette ölçüm yapabilir seviyeye ulaşmıştır. GNSS tekniğinin uygulanması diğer tekniklere göre daha az maliyetlidir. Yüksek hassasiyeti sayesinde hızlı sonuçlara ulaşabilmekte ve bu sayede zamandan tasarruf sağlamaktadır. GNSS tekniği bu özelliklerinden dolayı yalnızca mühendislik ve haritacılık çalışmalarına değil, kabuksal hareketlerin kinematığını ve jeodinamiğini anlamaya yönelik çalışmalara da önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Poyraz vd. 2015). GNSS tekniği aynı zamanda, deprem periyotlarındaki (ko-sismik, post-sismik, inter-sismik dönemleri) deformasyonların belirlenmesi için çok sık kullanılan bir yöntemdir (Aladoğan vd. 2017).

Bu çalışmada GNSS tekniği kullanılarak Batı Anadolu'da bulunan Çivril Graben Sisteminin tektonik yapısı hakkında bilgi edinmek amacıyla 33 noktalık ağ oluşturulmuştur. Kurulan ağda yer alan noktaların geçmiş dönem ölçülerine ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında 2022-2023 yıllarında 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ölçüler AKÜ BAP 22.FENBİL.21 numaralı proje ile desteklenmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve çalışma bölgesinin güncel hız alanı üretilmiştir. Hız alanı kullanılarak, Geodsuit yazılımında iki boyutlu gerinim analizi gerçekleştirilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE YAPILAN TEKTONİK/JEODEZİK ÇALIŞMALAR

Tektonik, yer kabuğunun yapısını, levhaların ilişkisini inceleyen yerbilim dalıdır. Yer kabuğu birçok parçadan ve sürekli hareket eden levhalardan oluşmaktadır. Hareket eden levhalar birbirlerine yaklaşabilir, uzaklaşabilir ya da birbiri altına girebilirler. Bu hareketlerin sonucunda tektonik depremler meydana gelir. Depremlerden dolayı meydana gelen hasarın en aza indirilebilmesi için depremin yerini ve zamanını tahmin edebileceğimiz çalışmalar yapılmalıdır. Bunun için GNSS ölçümleriyle tektonik hareketler incelenmekte ve deprem tahmini çalışmaları yapılmaktadır.

Tektonik hareket miktarları Satellite Long Range (SLR), Very Long Base Interferometry (VLBI), Global Navigation Satellite System (GNSS) yöntemleri ile tespit edilebilmektedir. GNSS yöntemi diğer yöntemlere göre zaman tasarrufu, kullanım kolaylığı ve ekonomik olarak daha uygun olması nedeniyle tercih edilmektedir (Tiryakioğlu 2012).

Global Positioning System (GPS) 1980'li yıllarda ABD tarafından geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda farklı ülkeler tarafından geliştirilen uydu sistemlerinin (GLONASS, GALILEO vb.) kurulmasıyla GNSS ifadesi küresel konumlama sistemlerinin genel adını almıştır (Tiryakioğlu 2012, Gezin 2021).

GNSS tekniği ile depremlere sebep olan aktif fay sistemleri boyunca deprem öncesi, anı ve sonrasında oluşan deformasyonlar belirlenebilmektedir. Bunun için fayın çevresinde GNSS ölçü noktaları tesis edilir ve jeodezik ağ kurulur. Ölçü noktalarında sürekli gözlemler ya da belirli dönemlerle kampanya tipi gözlemler yapılır. Ölçümler sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde yeryüzünün farklı yerlerinde bulunan koordinatları uzun süre ölçülen küresel noktalardan yararlanılır. Değerlendirme sonrasında epoklar arasındaki farklardan zaman içindeki yer değiştirme ve hız vektörleri belirlenir. Hız vektörleri ile kurulan ağın çevresinde oluşan gerilme ve sıkışma miktarları hesaplanır. Bu sayede deprem hakkında tahminler yürütülebilir (Tiryakioğlu 2012, Gezin 2021, Eyübagil 2021).

Ülkemizde yapılan ilk kapsamlı jeodezik çalışmalar McClusky vd. 2000 tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Anadolu plakasını da içine alan GPS gözlemleri yapılmış ve Anadolu plakasının ilk hız alanı elde edilmiştir. Daha sonra birçok bilim insanı tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Orta Kuzey Anadolu Fay Zonundaki (OKAF) levha hareketlerinin belirlenmesi için Yavaşoğlu (2003)'te GNSS ağı kurmuş, 2001 ve 2002 yıllarında ölçümler gerçekleştirmiştir (Yavaşoğlu 2003). Aktuğ (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise deprem dolayısıyla yüzeyde meydana gelen yer değiştirmelerin jeodezik ölçülerle belirlenmesi ve modellenmesinin önemi vurgulanmıştır. İzmit Depremi (17.08.1999) ters çözüm modellemesi için 'Simulated Annealing (Benzetimli Yaklaşma) yöntemi test edilmiştir. Deprem öncesi ölçüsü mevcut olan noktalarda ve sonrasında yapılan GPS ölçüleri ile 51 noktada yatayda 2 metreye varan, düşeyde bazı noktalarda 1.5 metreyi aşan yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca Afyon'un Çay ilçesinde 03.02.2002 tarihinde meydana gelen depremler için deprem öncesi ve sonrası yapılan GNSS ölçümleri ile 28 noktada yataydaki ve düşeydeki yer değiştirmeleri hesaplayıp faylanma mekanizmasını modellemiştir.

Poyraz (2009) çalışmasında, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu kesiminde (Tokat-Erzincan arasında) tekrarlı GPS ölçümleri ile hız alanı ve gerinim birikimi belirlenmiştir. Bunun için 36 noktalı GPS ağı kurmuş ve 2006-2007-2008 yıllarında tekrarlı GNSS ölçümleri yapmıştır. Çalışma sonucunda Avrasya Plakasının en güneyindeki hız değerini 22 ± 0.3 mm/yıl ve en kuzeyindeki hız değerini 4 ± 0.3 mm/yıl olarak elde etmiştir.

Çakmak (2010) ise Marmara bölgesinin GNSS verilerinden yararlanarak deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası dönem için modelleme çalışmaları yapmıştır. Görmüş (2011) çalışmasında, KAFZ üzerinde bulunan İsmetpaşa segmentinde daha önceden kurulmuş 6 noktalı mikro-jeodezik ağda 2008-2010 yılları arasında 2 kampanya GNSS ölçümü yapılmıştır. Elde ettiği verileri GAMIT/GLOBK ve BERNES yazılımları ile değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda Avrasya bloğunda ortalama 4.59 ± 0.35 cm, Anadolu bloğunda ortalama 2.67 ± 0.46 cm yer değiştirme gözlemlenmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemde segmentte 2.06 cm'lik krip harekete ulaşmış ve buna göre yıllık krip oranının 1.30 ± 0.39 olduğu belirtilmiştir.

Tiryakioğlu (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Güneybatı Anadolu bölgesindeki güncel hız verilerini tespit edip gerilme alanını belirlemek amacıyla GNSS ağı kurulmuştur. 2009 – 2010 yılları arasında GNSS ölçümleri yapılmıştır. Bu GNSS ağı 27 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ve 30 adet nokta olmak üzere 57 noktadan oluşmaktadır. Çalışma sonucunda Anadolu bloğu üzerindeki noktaların Avrasya bloğuna göre 10-15 mm/yıl hız ile Marmaris bloğu üzerinde 31-34 mm/yıl, Ege açılma bloğunda ise 26-29 mm/yıl hız değerinde hareket ettiğine ulaşılmıştır.

Gül (2016) çalışmasında Gediz grabeninin doğusunda yer alan Sarıgöl (Manisa) bölgesindeki kabuk deformasyonlarını ve bölgenin depremselliğini araştırmak amacıyla GNSS ağı kurmuştur. 10 adet noktadan oluşan ağda 2013 yılının Eylül ayında ve 2014 yılının Eylül ayında GNSS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme işlemlerinin ardından çalışma bölgesindeki yatay hızları 18-29 mm/yıl, düşey hızları ise -34 mm/yıl ile -108 mm/yıl olarak elde edilmiştir.

Aladoğan (2017) Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Bolu ve Çorum illeri arasında kalan bölgede hız alanını belirlemek amacıyla 52 noktalı bir GNSS ağı kurmuştur. Bu ağda 30 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ve 22 adet kampanya tipi nokta yer almaktadır. Kampanya tipi noktalarda periyodik olarak 2014-2015-2016 yılları arasında GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. GAMIT/GLOBK yazılımı ile ölçülerin değerlendirmesi ile çalışma bölgesine ait hız alanı elde edilmiştir. Çalışma sonucunda bölgede bulunan Destek segmentinde fay boyunca hızın yaklaşık 10 mm/yıl, İsmetpaşa segmentinde ise yaklaşık 14 mm/yıl batıya doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir.

Alkan (2018) çalışmasında KAF üzerinde bulunan İsmetpaşa ve Destek segmentlerindeki asismik kırık hareketleri belirlemek amacıyla GNSS ağı kurmuştur ve bu ağda 2014-2016 yıllarında 3 kampanya ölçüm gerçekleştirmiştir. Verileri GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirip ardından TDEFNODE yazılımı ile blok modelleme yapmıştır.

Dönmez (2018) çalışmasında Batı Anadolu Fay Zonunda bulunan Gediz fayının çevresinde 22 adet nokta ile GNSS ağı kurmuştur. 2016-2018 yılları arasında 3

kampanya GNSS ölçüsü yapmıştır. Çalışma bölgesinin hız ve yamulma alanlarını hesaplamıştır. Bunun sonucunda bölgede K-G yönlü açılmalar olduğunu gözlemlemiştir.

Toydemir (2019) çalışmasında ise Akşehir-Simav Fay Sisteminin Afyon-Sultandağı arasındaki bölgede tektonik hareketleri belirlemek amacıyla bir GNSS ağı kurulmuştur. 2012 yılında 27 adet nokta ile kurulan bu ağda 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçümü yaparak bölgenin hız alanı ve gerinim alanı hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler sonucunda Avrasya referans sistemine göre çalışma alanının yıllık 20-25 mm'lik hızla batı ve güneybatı yönünde hareket ettiği gözlemlenmiştir.

Umutlu (2019) çalışmasında Gediz grabeninin doğusunda yer alan Alaşehir (Manisa) bölgesindeki gerinim alanlarını belirlemek ve ayrıca bölgenin depremselliğini araştırmak amacıyla geçmiş yıllardaki verileri de kullanarak GNSS ağı kurulmuştur. 2013 yılında bölgede 10 noktalı kurulan GNSS ağına 2017 yılında 6 nokta daha ekleyerek 16 noktalı güncel bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağda 2017 ve 2018 yılları arasında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. GAMIT/GLOBK yazılımı ile ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bölgenin çalışma sonucunda elde ettiği hız alanına bakarak Avrasya referans sistemine göre yatayda 18-29 mm/yıl hız ile güneybatıya doğru hareket ettiği hesaplanmıştır. Gerinim alanları ile Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları elde edilmiştir. Bu haritaya göre bölgedeki 6'dan büyük depremlerin tekrarlamaya periyodunun 39 yıl ile 100 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Öztürk (2019) tarafından yapılan çalışmada Akşehir Simav Fay Zonunda olan Banaz fayının çevresinde 22 adet GNSS ölçü noktasından oluşan jeodezik ağ kurulmuştur. 2016, 2017, 2018, 2019 yıllarında 5 kampanya GNSS ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerden elde ettiği verilerle çalışma bölgesinin hız alanını hesaplamış ve Avrasya referans sistemine göre 20-29 mm/yıl hızla batı yönünde hareket gözlemlenmiştir. Hız vektörleri ile de bölgedeki fayların gerinim, gerilim miktarları ve yönleri tespit edilmiştir.

Kavak (2020) çalışmasında Batı Anadolu fay kuşağında bulunan Karaburun Fay Zonunda (Mordoğan Fayı) fayın kinematiğini belirlemek amacıyla 6 adet noktadan

oluşan bir GNSS ağı kurulmuştur. 2018 ve 2019 yılları arasında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. Daha önceden farklı çalışmalar için tesis edilen GNSS ölçü noktalarının eski ölçü verilerini de kullanarak 3 kampanya olacak şekilde noktaların hızlarını hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinin elde ettiği hız alanına bakarak Avrasya referans sistemine göre 20-25 mm/yıl hız ile batı-güneybatı yönüne hareket ettiği belirlenmiştir. Yamulma analizi sonucunda ise bölgede KD-GB baskın açılma KB-GD sıkışma rejiminin hâkim olduğuna ulaşılmıştır.

Eyübagil (2020) çalışmasında Gülbahçe fayındaki tektonik hareketleri belirlemek amacıyla İzmir'in Karaburun, Çeşme ve Urla ilçelerinin bir bölümünü içeren bölgede 17 adet nokta ile güncel bir GNSS ağı kurulmuştur. Kurduğu ağda 2019 ve 2020 yılları arasında 2 kampanya GNSS ölçüsü yapmış ve ölçü noktalarına ait eski yıllardaki verileri de ekleyerek 3 kampanyaya tamamlamıştır. Elde ettiği hızlar ile çalışma bölgesinin güncel gerinim alanlarını hesaplamış ve bunlara göre jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmiştir. Haritalara bakıldığında çalışma bölgesindeki deprem tekrarlama periyotlarının $M_w \geq 6$ depremler için 65-120 yıl arasında $M_w \geq 7$ depremler için ise 790-4330 yıl arasında değiştiğine ulaşılmıştır.

Solak (2020) çalışmasında deprem tehlikesi oldukça yüksek olan İzmir-Balıkesir Transfer Zonu'nun (İBTZ) özellikle kuzey tarafında daha çok olacak şekilde 62 adet noktadan oluşan bir GNSS ağı kurulmuştur. 2018 ve 2019 yılları arasında 2 kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Kurduğu ağdaki noktalara ait bulduğu eski ölçü verilerini de kullanarak çalışma bölgesine ait hız alanı üretilmiştir. Elde edilen hız alanı ve bölgede geçmiş yıllardaki çalışmalarda yayınlanan hız alanlarını birleştirerek 111 noktalık daha kapsamlı hız alanı oluşturulmuştur. Oluşturulan güncel hız alanı ile çalışma bölgesinin gerinim alanı ve jeodezik deprem tekrarlama periyotlarını hesaplamıştır. İBTZ'nin Avrasya referans sistemine göre 18-28 mm/yıl hız ile güneybatı yönünde hareket ettiğine ulaşılmıştır.

Gezgin (2020) çalışması kapsamında Orta Anadolu'da bulunan Tuz Gölü Fay Zonu'nun güneyinde yer alan 24 pilye tipi nokta ve 2 adet sürekli gözlem yapan GNSS istasyonu tesis edilerek Tuz Gölü ve çevresindeki tektonik yapının izlenmesi amacıyla güncel

GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağı bölgeye yakın 4 adet TUSAGA-Aktif ağından ve 16 adet TUTGA'dan nokta ekleyerek 46 noktalı jeodezik ağı oluşturulmuştur. 2018-2020 yılları arasında 3 kampanya GNSS ölçümü yapılmış ve elde edilen verileri GAMIT/GLOBK ile değerlendirip bölgeye ait güncel hız alanına ulaşılmıştır. Hız verilerini kullanarak Geodsuid yazılımı ile bölgenin gerinim alanlarını hesaplayıp blok modelleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda yatayda yaklaşık 3.2 mm/yıl ve düşeyde yaklaşık 1.5 mm/yıl kayma hızları elde edilmiştir.

Özarpacı (2020) çalışmasında iki ayrı çalışma bölgesinde krip eden fayları GNSS ölçümleri yardımıyla araştırmıştır. İlk araştırmasında KAF üzerindeki 1999 İzmit deprem kırığı çevresinde 32 ölçü noktasında 2014-2016 yılları arasında 5 kampanya GPS ölçümü yapmıştır. Bu ölçümlerden elde ettiği verilere çalışma alanının çevresindeki sürekli GPS istasyonlarından elde ettiği verileri de ekleyerek GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirmiştir. En yüksek asismik kaymanın deprem dış merkezine yakın 12.7 mm/yıl hız olduğu yerde krip derinliğini 1.3 km olarak ulaşılmıştır. Deprem öncesinde de GPS ölçüsü bulunan noktalarda tekrar ölçüm yapmıştır. Verileri tekrar değerlendirdiğinde 1999 İzmit deprem etkilerinin logaritmik biçimde azaldığını ve bölgede 2.5 mm/yıl hızla kaymanın olduğuna ulaşılmıştır. Diğer araştırmasını ise DAF üzerindeki Hazar Gölü-Palu segmenti çevresinde gerçekleştirmiştir. 27 ölçü noktasında 2015-2019 yılları arasında 7 kampanya GPS ölçümü yapmıştır. Verileri değerlendirip elde ettiği sonuçlara göre ilk defa bölgenin yüzeyinde asismik kayma olduğuna GPS verileri yardımı ile ulaşılmıştır. Hazar Gölü-Palu fayı boyunca yüzeyde yaklaşık 6 mm/yıl hızla krip olduğuna ve bu sığ kaymanın derinliğinin ortalama 6.1 km olduğuna ulaşılmıştır.

Akyar (2020) çalışmasında Banaz ve Elvanpaşa segmenti çevresinde 22 noktalı GNSS ağı kurmuştur. Ağdaki noktalara 2019 – 2020 yılları arasında 2 kampanya GNSS ölçümü yapıp elde ettiği verilere noktaların geçmiş yıllardaki verilerini de ekleyip GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirmeleri yapmıştır. Çalışma alanında Avrasya referans sistemine göre 20-26 mm/yıl hız elde etmiştir. Bu hızları kullanarak Geodsuid yazılımıyla bölgenin yamulma alanını hesaplamıştır. Elvanpaşa segmentinin doğusunda KB-GD açılmalar ile KD-GB sıkışmalar, güneyinde KB-GD açılmalara ulaşılmıştır.

Banaz segmentinin kuzeyinde sıkışma bileşenlerine, güneyinde ise KD-GB açılmalar ve KB-GD sıkışmalara ulaşılmıştır. Doğan (2021) çalışmasında Denizli bölgesindeki tektonik hareketleri belirlemek amacıyla 2018 ve 2019 yılları arasında 21 adet noktada GNSS ölçümü yapmıştır. 08.08.2019 tarihinde Denizli'nin Bozkurt ilçesi civarında AFAD verilerine göre Mw:6.0 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Bölgedeki deprem öncesi hızları ve gerinim alanlarını 2018 yılındaki ölçüleri kullanarak hesaplamıştır. Yapılan çalışmada gerinim analizlerinin geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerle uyumlu olduğunu gözlemlemiştir. Bölgede 2019 yılında yaptığı ölçümlerle 4-18 mm atımlar elde edilmiştir.

Özkan (2021) yaptığı çalışmasında Doğu Anadolu Fay Zonu ve çevresindeki diri fayların güncel kayma hızlarını belirlemek amacıyla jeodezik ağ kurmuştur. Bu ağ bölgedeki TUSAGA-Aktif ağına ait sürekli GPS gözlem istasyonlarından, belediyelere ait sürekli GPS gözlem istasyonlarından ve kampanya GPS noktalarından oluşturmuştur. GAMIT/GLOBK yazılımı ile GPS verilerini işleyip güncel hız alanlarına ulaşmıştır. Çalışmanın sonucunda bölgedeki diri fayların deprem potansiyeli ortaya koyulmuştur.

Erkoç (2022) çalışmasında, Türkiye'nin batı ve güney kıyılarında bulunan 8 mareograf istasyonundaki düşey yer kabuğu hareketlerini belirlemiş ve GNSS/InSAR yöntemleri elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır. Bunun için 26 GNSS istasyonundan oluşan jeodezik ağ tasarlamıştır. Uysal (2023) yaptığı çalışmasında Datça grabeni ve çevresinin güncel hız verilerini belirlemek amacıyla mikro-jeodezik ağ oluşturmuştur. 2018 ve 2021 yılları arasında 5 periyot GNSS ölçüsü gerçekleştirmiştir. GAMIT/GLOBK yazılımıyla verilerin değerlendirmesini yapmıştır.

Eyübagil vd. (2023) 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) depremleri için bölgedeki TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait RINEX verileri kullanarak statik değerlendirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Her iki depreme ilişkin GNSS gözlemlerine bağlı öncül jeodezik sonuçlar elde etmişlerdir. Yenice vd. (2023) tarafından 30 Ekim 2020 tarihinde gerçekleşen Sisam depremi (Mw:6.9) sonrasında İzmir bölgesinde yer alan kadastro noktalarının koordinat değişimlerinin incelenmesi

amacıyla 18 noktalı GNSS ağı oluşturulmuştur. Deprem öncesi ve deprem sonrası noktalardaki GNSS ölçüleri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Depreme yakın olan noktalarda maksimum koordinat farkları gözlemlenmiştir.

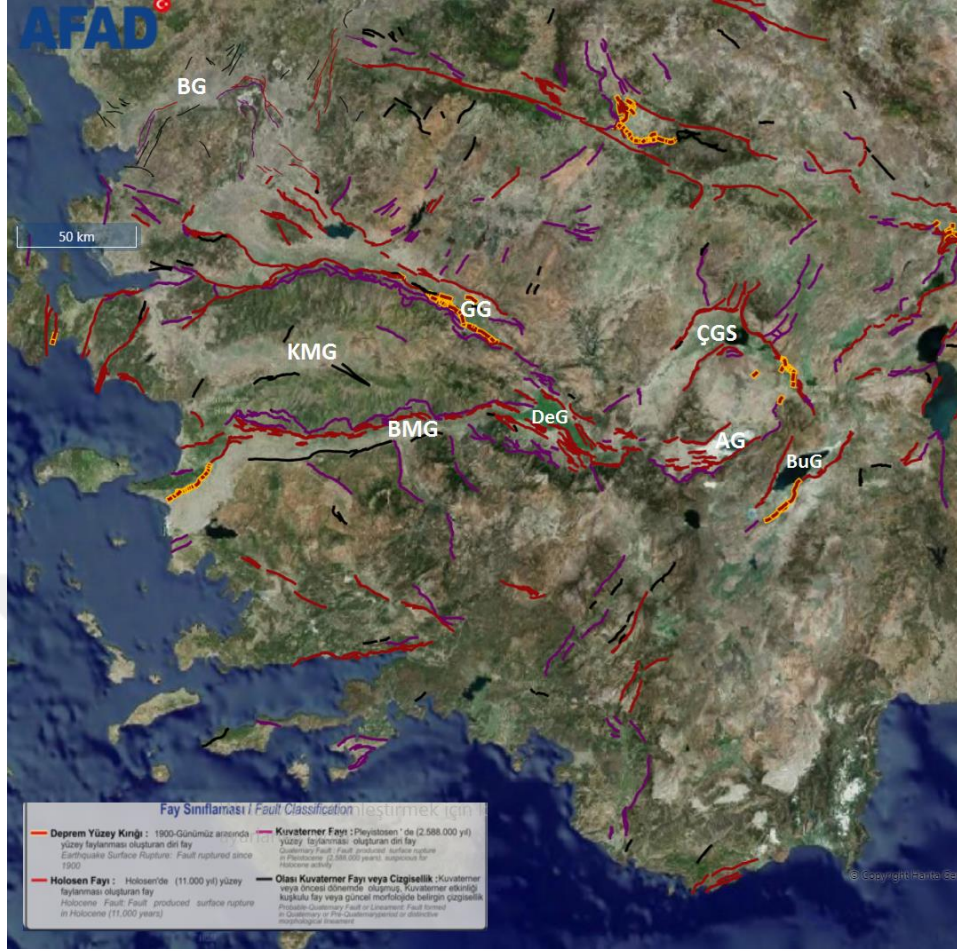


3. BATI ANADOLU ve ÇİVRİL GRABENİNİN TEKTONİK YAPISI

Anadolu levhasında bulunan Türkiye; Avrasya, Arap ve Afrika levha hareketlerinin etkisi altındadır. Anadolu levhası, Avrasya levhası sabit alındığında batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket sırasında Anadolu levhası, Batı Anadolu’da saat yönünün tersine dönme hareketi nedeniyle Ege Denizi’nde Helen Yayı boyunca Afrika levhasının üzerine itilmiştir ve Batı Anadolu’da güneybatıya doğru yön değiştirerek Ege Denizi ve Türkiye'nin güneybatısında genişleme tektoniği ve horst-graben sistemlerinin oluşmasına neden olmuştur. Yıllık GPS hızı 20 mm/yıl olan Batı Anadolu horst-graben sistemi, dünyanın en aktif genişleme tektoniği bölgelerinden biridir (Aktuğ vd. 2009). İç karmaşıklığına rağmen, bölgesel GPS ölçümleri Anadolu levhasının bir kütle olarak 15-30 mm/yıl hızla saat yönünün tersine batıya doğru hareket ettiği fikrini desteklemektedir (Özalp vd. 2018).

Türkiye’nin tarihsel ve aletsel dönem sismik aktivitelerine bakıldığında, Batı Anadolu’daki horst-graben sistemleri farklı faylanma türlerine ve yoğun sismik aktiviteye sahiptir (Tiryakioğlu 2012). Batı Anadolu’da K-G yönlü açılma tektoniğine bağlı olarak D-B ve BKB-DGD doğrultulu birçok graben bulunmaktadır. Bunlara Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gökova, Gediz fayları örnek verilebilir. Bunlarla beraber KD-GB doğrultulu olan doğrultu atımlı faylar da bölgede bulunmaktadır. Bölge için oldukça önemli olan ve karmaşık bir yapıya sahip Isparta Açısı, Kıbrıs ve Helenik yaylarının birleştiği yerdedir (Solak 2015).

Batı Anadolu’daki K-G yönlü açılma hareketinden kaynaklı gelişen BKB-DGD ve D-B doğrultulu birçok graben sistemi bulunmaktadır. Bunlara Bakırçay, Küçük Menderes, Büyük Menderes, Gediz, Çivril, Dinar Grabenleri örnek verilebilir. Kütahya ve Eskişehir fayları, Bergama-Foça fay zone, Tuzla Fayı, Fethiye-Burdur fay zone, Dinar fayı Batı Anadolu bölge tektoniğindeki önemli faylardır (Eyübagil 2020). Batı Anadolu’da bulunan graben sistemleri Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Batı Anadolu’da bulunan grabenler (İnt.Kyn.2- Emre vd. 2011).

Büyük Menderes grabeni, D-B doğrultulu, doğrultu atım bileşenli normal faylanmalar içermektedir. 10-25 km genişliğinde ve 200 km uzunluğundadır. Grabenin ana fayı güneye doğru eğimlidir ve grabenin kuzey kenarı boyunca uzanmaktadır. Gökova fay zonu yaklaşık 180 km uzunluğundadır. Birbirlerine paralel ark şeklindeki normal faylardan oluşmaktadır (Solak 2015). Fethiye Körfeziyle Keçiborlu arasında kalan Fethiye-Burdur fayı yaklaşık 300 km KDGB yönünde uzanmaktadır. Bu fay sol yanallı normal bir faydır (Tiryakioğlu 2012). Yaklaşık 200 km uzunluğunda olan Gediz grabeni, Manisa’dan Pamukkale’ye kadar uzanmaktadır. Grabenin ana fayı güney kenarı boyunca uzanmaktadır (Umutlu 2019). Akşehir-Simav Fay Sistemi, batıda Balıkesir ile doğuda Konya ili güneyi arasında uzanmaktadır. KB-GD uzanımlı ve yaklaşık 500 km uzunluğunda olan sismojenik zondur (Öztürk 2019).

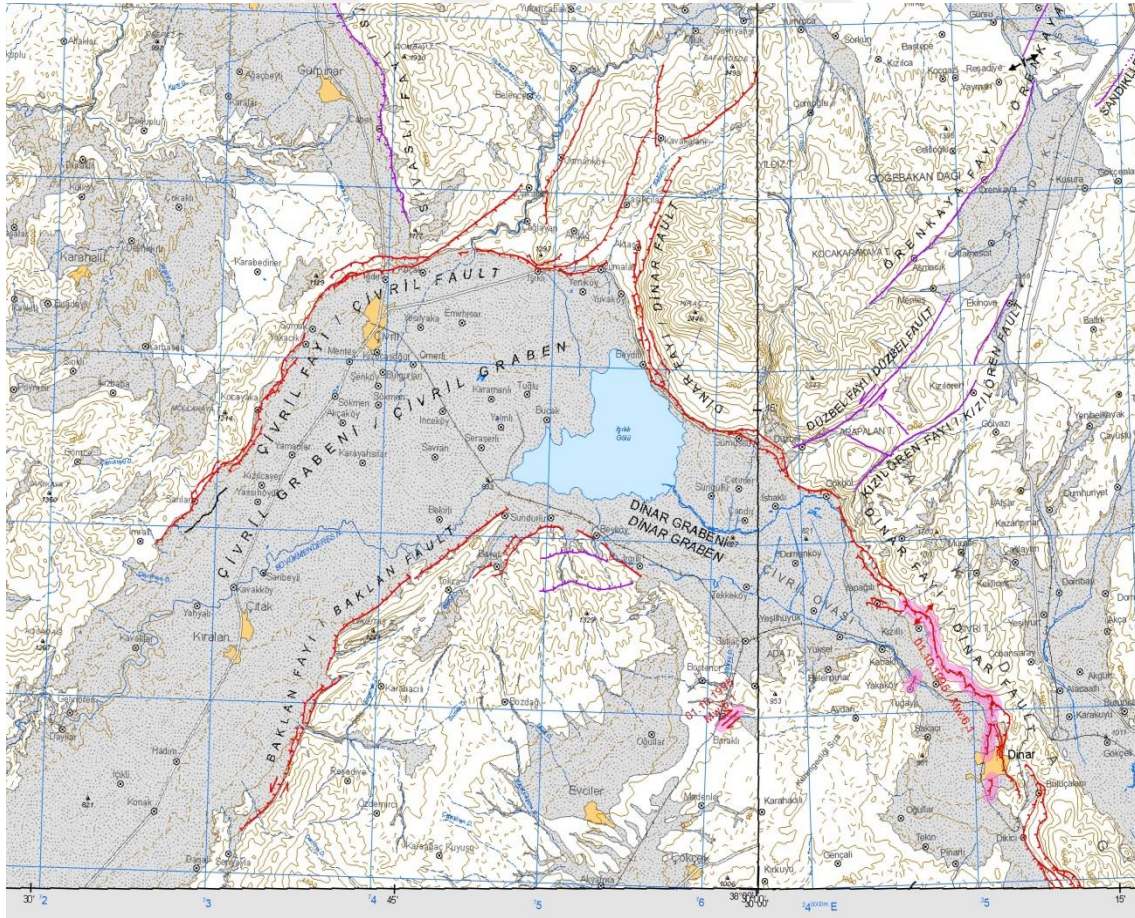
‘Graben Sistemi’ terimi, bir graben içinde birden fazla fay oluştuğunda veya

Çizelge 3.1 Çivril Graben Sistemindeki Tarihsel dönem depremleri (Baştürk vd. 2017).

Tarih	Yer	Enlem	Boylam	Şiddet
03.05.1875	Dinar- Çivril-Uşak	38,10	30,10	IX
25.09.1899	Çivril	38,29	29,73	

Çizelge 3.2 Çivril Graben Sistemindeki Aletsel dönem depremleri (Kadirioğlu vd. 2017).

Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklik
05.08.1925	05:01:00.00	38.1000	29.8000	10.0	5.0 (AY1981)
07.08.1925	06:46:37.00	38.1000	29.8000	20.0	5.9 (AY1981)
19.07.1933	20:07:10.00	38.19	29.79	40.0	5.7 (AY1981)
02.08.1936	22:41:04.00	38.1100	29.6500	10.0	4.8 (AY1981)
23.08.1966	01:35:45	39.3200	40.9700	30.0	4.6
29.04.1985	11:38:39.07	38.3547	29.7632	03.0	4.6 (ISC)
29.01.2005	14:48:02.00	38.2170	29.6911	10.0	4.0 (ISC)
01.10.1995	15:57:17	38.075	30.142	30.9	6.4



Şekil 3.3 Çivril Graben Sistemi (Emre vd. 2011 NJ 36-5 ve NJ 35-8 Paftalarından oluşturulmuştur).

Çivril Grabeninde bulunan Çivril fayı ve Baklan fayı Denizli ilinde, Sivaslı fayı Uşak ilinde ve Dinar fayı Afyon ilindedir. ÇGS bu üç ilin sınırında bulunan önemli bir tektonik yapıdır (Şekil 3.3).

3.1 Çivril Fayı

Çivril fayı ÇGS'nin kuzey batısında, 38 km uzunluğunda, KD-GB uzanımlı ve 40° - 75° GD eğimli, sağ yanal atımlı normal faydır. Aktarım rampaları ile birbirine bağlanan Işıklı, Akpınar ve Kocayaka adlı üç geometrik alt segmentten oluşur. Işıklı Gölü Fay Segmenti yaklaşık 14 km uzunluğunda, kuzey batıya doğru 70° eğimli, KD-GB doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı olan GB'da Sarıkaya tepenin kuzey ucundan başlayıp KD'da Işıklı gölünün içine kadar devam eden fay segmenti olarak tanımlanmıştır (Topaloğlu 2012). Diğer bir çalışmada ise Işıklı segmenti; Yuvaköy ve Koçak köyleri arasında uzanan, 10 km uzunluğunda 85° kuzey batı doğrultulu 45° - 80° GB eğimli olarak bahsedilmiştir (Özalp vd. 2018). Bu alandaki fay düzlemlerinde ölçülen değerlerin değerlendirilmesi, Işıklı segmentinin $N22^{\circ}E$ - $S22^{\circ}W$ yönlü gerilme etkisi altında geliştiğini ve küçük sağ yanal çarpma-kayma bileşeni ile normal karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Segmentin doğusunda, Dinar Fayı'nın Gümüşsu segmentinden ÇGS'nin genel yapısına dik bir transfer zonu ile geometrik olarak ayrılmaktadır. Doğuda Koçak köyü yakınlarında, onu bağlayan sağ atımlı bir aktarım rampası vardır.

Akpınar segmenti; 15 km uzunluğunda, 60° KD doğrultulu, ana fay düzleminin eğimi 50° - 70° GD olan Koçak köyünün kuzeyinden Akpınar köyünün güney batısına kadar uzanan fay segmentidir. $N20^{\circ}$ - $25^{\circ}W$ ve $S20^{\circ}$ - $25^{\circ}E$ gerilmelerinin kontrolü altında gelişmiştir ve Özalp vd. tarafından sağ yanal atım bileşenli normal bir fay olarak yorumlanmıştır. Segment, Kocayaka köyünün kuzeyinde sola atımlı bir aktarım rampası ile Kocayaka Segmenti'ne bağlanmaktadır (Özalp vd. 2018). Topaloğlu tarafından 2012 yılında Kocayaka bindirme fayı adıyla Sarılar köyü yakınlarında kuzeyden güneye doğrudur ve eğimi 30° - 45° olarak tanımlanmıştır. Kocayaka Segmenti; 15 km uzunluğunda, Çivril fayının en güneyindeki segmentini oluşturur. Kocayaka köyünün kuzeyinden Sarılar köyünün güneybatısına kadar uzanır. 40° KD doğrultulu segmentin ana fay düzleminin eğimi 45° - 60° GD'dir. Fay düzleminin görüldüğü kesimlerde

gelişmiş Düzbel ve Kızılören fayları ve bir aktarım rampası ile birbirinden ayrılır. Altunel vd. (1999) 1 Ekim 1995 depreminden sonra Dinar Fayı üzerinde yaptığı paleosismolojik çalışmalara göre, son 3500 yıl içinde bu fay iki büyük deprem yaratmış ve bu depremlerin 1995 depreminden daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır. Yazarlara göre büyük depremlerin yinelenme aralığı 1500-2000 yıl ve kayma hızı yaklaşık 1 mm/yıldır. Ancak, fayın diğer segmentleri için paleosismolojik veri bulunmamaktadır (Özalp vd. 2018). Gümüşsu Segmenti; Yuvaköy ve Gökgöl köyleri arasında uzanan segment 22 km uzunluğunda ve 30° KB genel doğrultulu olup ana fay düzlemi 40° ile 80° GB arasında eğimlidir. Bu düzlemler üzerinde ölçülen verilerin değerlendirilmesi, segmentin N11°E-S11°W gerilimi altında geliştiğini ve küçük sağ yanal çarpma-kayma bileşeni ile normal faylanma karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Segment, sisteme dik olarak gelişen Düzbel Fayı ile güneydeki Kızıllı segmentinden ayrılır (Özalp vd. 2018).

Kızıllı Segmenti; Gökgöl köyünden Dinar'a kadar uzanır. Uzunluğu 21 km olan segmentin genel doğrultusu 35° KB, ana fay düzleminin eğimi ise 40° ile 70° GD arasındadır. Fay düzlemleri üzerinde ölçülen verilerin değerlendirilmesinin sonuçları, Kızıllı Segmenti'nin küçük sol yanal doğrultu atımlı bileşeni olan normal faylanma mekanizmasına sahip olduğunu ve N38°E-S38°W doğrultulu stresin kontrolü altında geliştiğini göstermektedir. Bu segment, Dinar ile Yapağılı köyü arasında 10 km'lik bir yüzey yırtılması oluşturan 1 Ekim 1995 Dinar depreminin(Mw 6.2) kaynak fayıdır. Segment, Dinar ve Dikici köyleri arasında 3 km uzunluğunda ve 1 km genişliğinde sola basamaklı bir rampa ile güneydeki Dikici Segmenti'ne bağlanmaktadır (Özalp vd. 2018).

Dikici Segmenti; Keçiborlu ile Dinar arasında uzanan ve Dinar Fayı'nın güneydoğu ucundaki segmenti oluşturur. 16 km uzunluğundaki segmentin genel doğrultusu 25° KB, ana fay düzleminin eğimi ise 50°-80° GB'dir. Özalp vd. (2018) saha gözlemlerine göre segment N20°-25°W ve S20°-25°E doğrultulu stres altında gelişmiştir ve segmentin Keçiborlu yakınlarında sona erdiği kesimlerde artan sol yanal atım bileşenli normal bir fay gibi görünmektedir (Özalp vd. 2018).

Çizelge 3.3 Çivril Graben Sistemindeki Fay Segmentlerine ait Bilgiler (Duman vd. 2017).

Fay				Uzunluk	Doğrultu (RHR)		Eğim (mm/yıl)		Büyüklik (Mw)	
Segm ent	Tip	No	AC	(km)	Min.	Max.	Min.	Max.	Gözlenen	Est. Mw
Dinar Fayı	NN	104-1	H	28	108	231	45	80		6,77
		104-2-1	H	12	315	330	45	70		6,28
	NN	104-2-2	ER	12	109	231	45	75	1995/Mw 6.4	6,28
	NN	104-3	H	16	310	355	45	75		6,45
Baklan Fayı	NN	105-1	H	11	208	228	55	70		60,23
	NN	105-2	H	14	207	262	55	70		6,37
	NN	105-3	H	8	260	314	55	70		6,05
Çivril Fayı	NN	106-1	H	24	30	85	40	75		6,70
	NN	106-2	H	20	11	105	40	75		6,58

NN: Normal, AC: Aktivite, H: Holosen, ER: Deprem yüzey kırığı, Est. Mw: Hesaplanan deprem büyüklüğü

3.3 Baklan Fayı

Baklan Fayı, ÇGS'deki KD gidişli Baklan Grabeni'nin güneydoğu kenarını kontrol ederken, KB gidişli Dinar Grabeni'nin güneyindeki kesimde gözlenen güncel bir sınır fayı morfolojisi yoktur. Baklan Fayı güneyde Baklan İlçesi ile kuzeyde Işıklı Gölü arasında uzanır ve 27 km uzunluğunda, 30°-50° KD doğrultulu ve 65°-75° KB eğimli normal bir faydır (Özalp vd. 2018).

4. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN UZAYSAL YÖNTEMLER

Tektonik hareketlerin belirlenmesi için uzaktan algılama, jeodezi, jeofizik, jeoloji gibi birçok bilim dalı farklı çalışma yöntemleri geliştirmektedir. Jeodezik yöntemler yersel ve uzaysal yöntemler olmak iki sınıfa ayrılabilir. Yersel yöntemler eski teknoloji ürünlerine dayanmaktadır. Uzaysal yöntemler ise farklı teknikler ile sürekli değişim ve gelişim halinde bulunan yeni teknolojiye dayanmaktadır (Erdoğan 2005). Jeodezi bilimi, 1970’li yıllardan itibaren uzay jeodezisinin gelişmesiyle bu konuda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte maliyetler düştükçe ve ölçme doğruluğu arttıkça levha hareketlerinin belirlenmesinde uydu jeodezinin kullanımı yaygınlaşmıştır. 1970’li yıllarda uygulanmaya başlayan Çok Uzun Bazlı İnterferometri (Very Long Baseline Interferometry - VLBI) ve Uydulara Lazerle Uzaklık Ölçmeleri (Satellite Laser Ranging - SLR) yöntemleriyle birbirlerinden kilometrelerce uzaklıkta olan herhangi iki noktanın 3B konumlarının doğruluğu santimetre hassasiyetinden milimetreye düşmüştür. Fakat bu yöntemlerin yerini yüksek maliyeti ve istenilen her yerde ölçüm yapma imkanının olmaması sebebiyle Uydularla Küresel Navigasyon Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) almıştır. 1990’lı yıllarda öne çıkan Yapay Açıklı Radar İnterferometri (Interferometric Synthetic Aperture Radar - InSAR) tekniğinde deformasyonların belirlenmesi için kullanılan yöntemlerdendir (Yavaşoğlu 2009). Tektonik hareketlerin modellenmesinde VLBI, SLR, SAR ve GNSS yöntemleri kullanılmaktadır.

4.1 VLBI

Bilindiği üzere dünya sürekli hareket halindedir, günler hiçbir zaman tam olarak 24 saat değildir, gezegenimiz güneşin etrafında dönerken aynı zamanda kendi eksenini etrafında da dönmektedir. Bilim adamları bu bilgilere VLBI sayesinde ulaşmışlardır. İlerleyen süreçte kuasarların hareket etmediği fark edilince onları referans noktası olarak kullanıp teleskopların altındaki zeminin nasıl hareket ettiği keşfedildi. Çok Uzun Bazlı İnterferometri (VLBI), çapraz korelasyon yoluyla bir radyo kaynağından gelen sinyallerin varış zamanlarındaki farkı ölçen mikrodalga tabanlı bir uzay jeodezisi tekniğidir(İnt.Kyn.4).

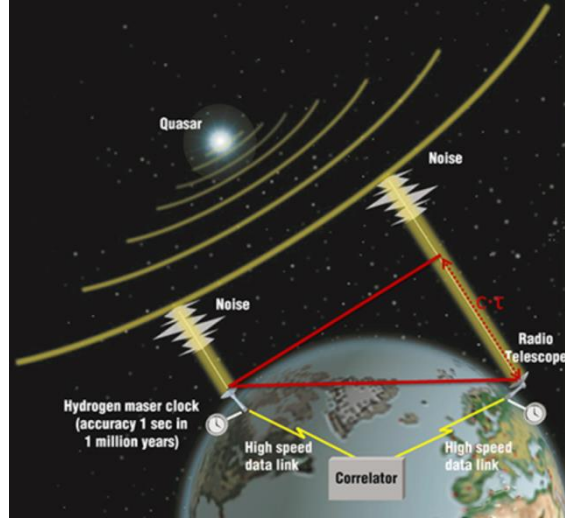


Şekil 4.1 Atacama Large Millimeter Array radyo teleskoplarından bazıları ve VLBI, Event Horizon Teleskobu tarafından görüntülenen bir kara deliğin ilk görüntüsü (İnt.Kyn.5).

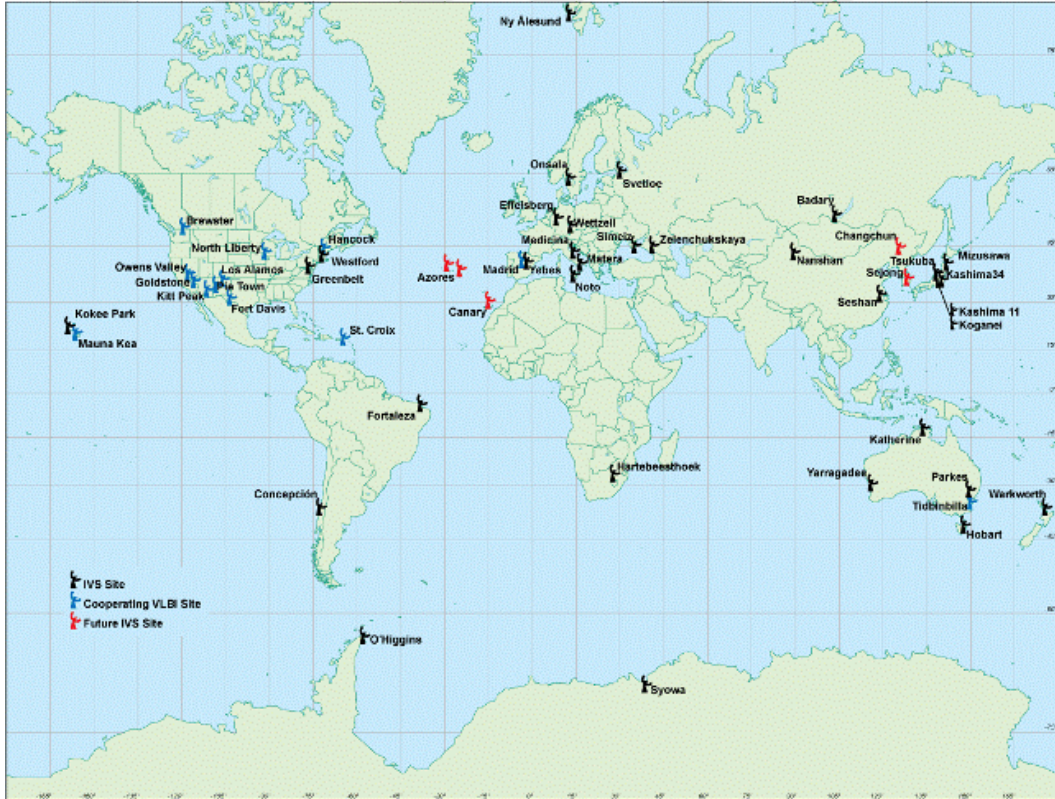
VLBI tarafından gözlemlenen kuasarlara ekstra galaktik radyo kaynakları da denilmektedir (Şekil 4.1). VLBI, 2 ya da daha fazla VLBI anteninden alınan ve kuasarlardan yayılan mikrodalga sinyallerinin (S ve X bandı) gelişindeki zaman farkını ölçmektedir. Çoğunlukla, jeodezik VLBI 24 saatlik oturumlardan oluşmakta ve bu sürede farklı kuasarlara gözlemlemektedir. Mikrodalgalar bulut, yağmur gibi hava koşullarından optik dalgalara göre daha az etkilendikleri için mikrodalga frekanslarında VLBI ölçümleri yapılmaktadır (Özel 2020).

Yeryüzündeki radyo teleskoplar kuasarlara izlemekte ve sinyal yayımladıklarında kaydetmektedirler. Kaydedilen bu sinyaller kaydedilme zamanları hariç birbirleriyle aynıdır. Sinyallerin bir istasyonda diğerinden daha geç kaydedilmesi sayesinde bu iki istasyon arasında uzaklık ilişkisinin kurulmaktadır (Şekil 4.2). Radyo sinyalleri ile bulunan istasyon konumları 1 cm'nin altında doğrulukla belirlenebilmektedir (Başçiftçi 2020).

NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından 1977 yılında başlatılan VLBI ölçmeleri 1990 senesine gelindiğinde küresel bir ağı haline dönüşmüştür (Erdoğan 2005). Günümüzde ise Şekil 4.3'te görüldüğü gibi dünyada farklı ülkelere dağılmış sabit ve gezici olarak birçok istasyondan oluşmaktadır.



Şekil 4.2 VLBI Tekniği (İnt.Kyn.6).



Şekil 4.3 VLBI İstasyonları (İnt.Kyn.7).

VLBI yöntemi uzay jeodezisinde en doğru sonuçları veren tekniktir. Dünyanın dönme oranı ve dönme eksenini, tektonik hareketlerin belirlenmesi, sismik deformasyonlar gibi konularda da bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadır. En büyük dezavantajı sıradan bir jeodezici için kolaylıkla elde edilemeyen ve taşınamayan bir teknik olmasıdır (Erdoğan 2005).

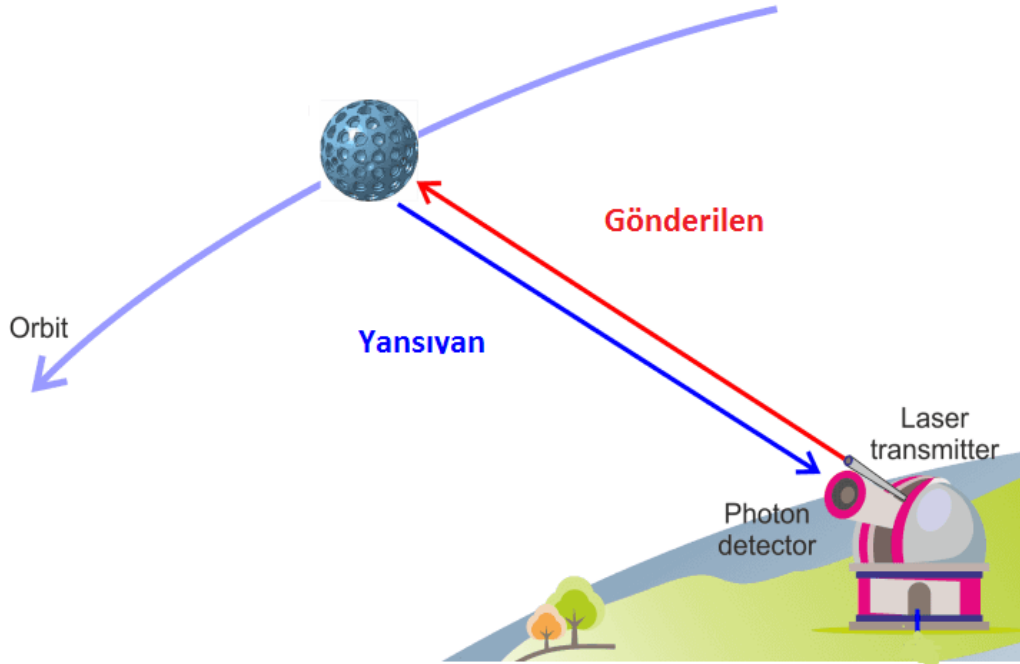
4.2 SLR

Lazer uzaklığı (Laser ranging) yörüngedeki hedeflerin seyahat sürelerini ölçmek için kullanılan lazerlerdir. Bu teknoloji, retroreflektörlerle donatılmış hedeflere lazer ışınlarını göndererek gidiş dönüş süresini hesaplamaktadır. Lazer uzaklığı, hem Dünya yörüngesindeki hedeflere (SLR) hem de Ay yüzeyindeki hedeflere (LLR) uygulanabilmektedir. SLR, hassas uydu yörüngeleri, istasyon konumu ve hareketinin zaman geçmişleri ve diğer birçok jeofizik parametre sağlamak için küresel ağ üzerinde toplanabilen mm hassasiyetinde kesin mesafe ölçümleri sağlamaktadır. Bu teknik, optik bölgede çalışır ve yüksek derecede doğruluk sağlamaktadır. Uyduları 300 km'den jeosenkron yüksekliğe kadar destekler ve kullanıcılara neredeyse gerçek zamanlı olarak veri sağlamaktadır. SLR, Dünya'nın kütle merkezini ve ölçeğini belirlemesi sayesinde Uluslararası Yersel Referans Sistemine (ITRF) önemli derecede katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, Dünya'nın yerçekimi alanında zaman içindeki değişimlerini ölçmek, jeomerkeze göre ağ hareketini izlemek ve yükseklik değişimlerini izlemek gibi yeteneklere sahip olduğu için buzul sonrası toparlanma, deniz seviyesi ve buz hacmi değişimi gibi iklim değişikliği göstergelerini takip edebilmektedir (İnt.Kyn.8).

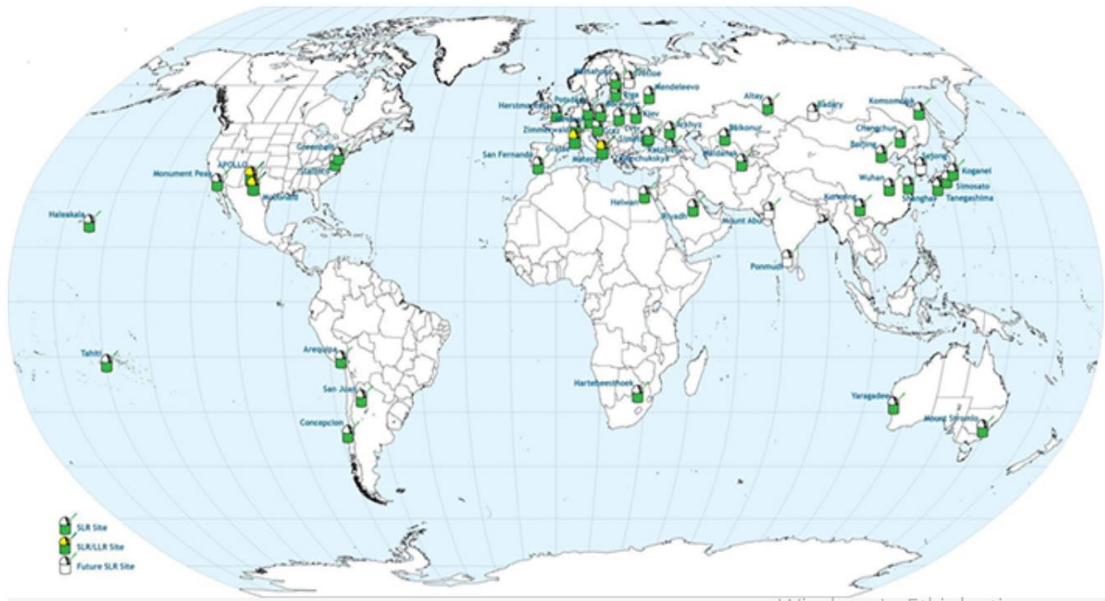
SLR ölçmelerine ait yer istasyonlarında; uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafeler, istasyon noktasının ölçme uzayında bulunan uydu konumları, ölçülen zamanlar olmak üzere üç farklı veri saklanmaktadır. Elde edilen bu verilerden iki farklı yöntemle faydalanılmaktadır. İlk yöntemde kaydedilen veriler, eşzamanlı olarak aynı SLR uydusuna yöneltme yapan diğer istasyon noktaları ile karşılaştırılmakta ve buna göre iki istasyon noktası arasındaki mesafe büyük bir doğrulukla hesaplanabilmektedir. Diğer yöntemde ise, istasyon konumlarını belirlemek amacıyla yeryüzündeki bütün SLR istasyonlarının verileri kullanarak uydu yörüngeleri periyodik olarak hesaplanabilmektedir (Yavaşoğlu 2003).

SLR istasyonları, IAG'nin (Uluslararası Jeodezi Birliği) bir hizmeti olan Uluslararası Lazer Menzilleme Hizmeti (ILRS) altında organize edilen küresel bir ağın parçası olarak faaliyet göstermektedir. Hizmet, tümü GNSS ve bazıları VLBI ve DORIS ile birlikte konumlandırılmış 40'tan fazla istasyon içerir. ILRS, ağ işletimi için standartları belirlemekte, verileri toplayıp doğrulamakta ve CDDIS (Goddard) ve EDC'deki (DGFI) iki resmi Veri Merkezi aracılığıyla kullanıcılara sunmaktadır (İnt.Kyn.10).

NASA tarafından SLR istasyonlarının ekipmanları gezici bir araç içerisinde monte edilip taşınabilir hale getirilmiştir. Uyduları uzun ömürlüdür. Bunlar SLR tekniğinin avantajları iken olumsuz hava koşulları ve yüksek maliyeti dezavantajıdır (Yavaşoğlu 2003).



Şekil 4.4 SLR'nin temel işleyişi (İnt.Kyn.9).

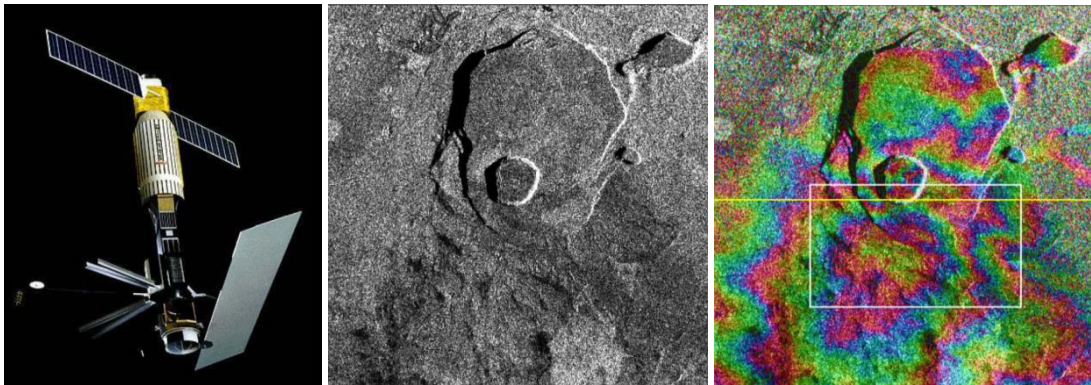


Şekil 4.5 ILRS Ağı (İnt.Kyn.10).

4.3 InSAR

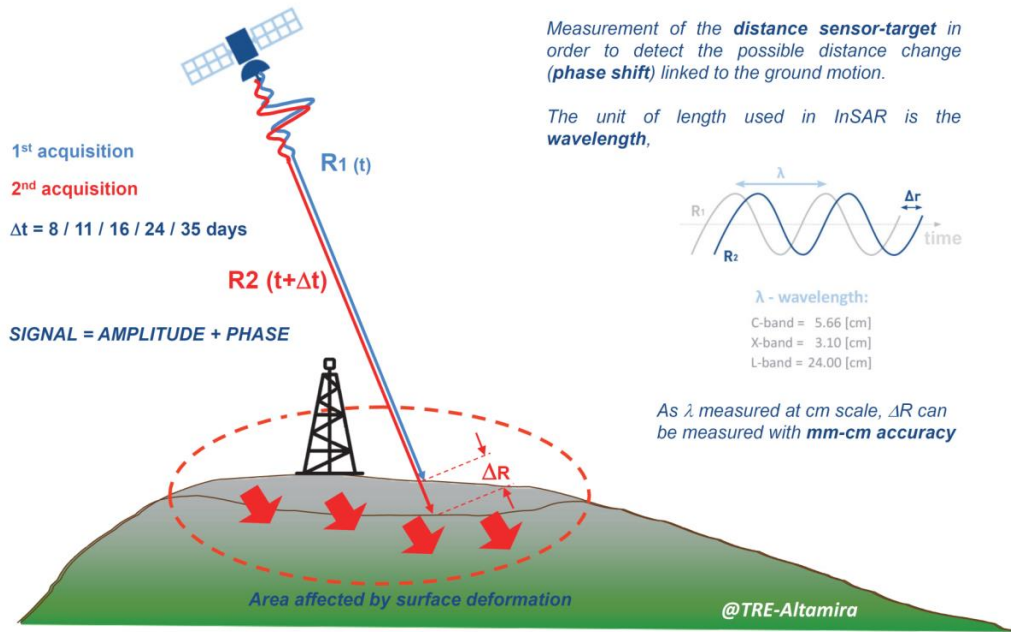
SAR (Yapay Açıklıklı Radar) elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde çalışan uzaktan algılama yöntemidir. Bu yöntem uyduya veya uçağa monte edilmiş biçimde elektromanyetik dalgalar yayınlar ve yeryüzündeki nesnelerden geri yansıyan bu dalgaların fazlarını ve genliklerini kaydeder. Ardından karmaşık sayılardan oluşan görüntüler oluşturur. Yeryüzü deformasyonları (su-petrol çıkarılması, deprem gibi sebeplerden oluşan yer çökmeleri), SAR görüntülerinin deformasyon öncesi ve sonrasındaki faz bilgilerinin karşılaştırılmasıyla belirlenebilmektedir. Buna Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR) denilmektedir. Diğer jeodezik teknikler düzensiz biçimde dağılmış ve kesikli ölçüler sağlamaktadır fakat InSAR, SAR görüntülerinin kapsadığı alan içinde piksel tabanlı deformasyon bilgisi sağlamaktadır (Şengün 2010).

İlk yıllarda Insar genellikle topografik çalışmalar için kullanılmıştır. Gabriel (1989) çalışmasında yeryüzündeki deformasyonların belirlenebileceğini ortaya çıkarmış ve cm'lik yükseklik belirlemiştir (Yavaşoğlu 2009). InSAR yönteminin deprem araştırmalarındaki ilk kullanımı 1992 yılında Kaliforniya'da gerçekleşen Landers depremi olmuştur. Bu çalışmalar, InSAR yönteminin kosismik deformasyonların belirlenmesindeki katkısını göstermiştir (Massonnet vd., 1993; Zebker vd., 1994). Büyük depremlerin kayma dağılımı bu yöntem ile belirlenebilmektedir. (Doğru ve Özener 2011). SAR uyduları dünyanın her yerini görüntülemesi ve bilinmeyen yüzey şekillerini ortaya çıkarmasıyla öne çıkmaktadır. İlk radar uydusu olan SEASAT 1978 yılında fırlatılmıştır (Doğru ve Özener 2011). SAR uyduları (RADARSAT, COSMO-SKYMED, TERRASAR-X vb.) 500 ila 800 km arasında değişen bir yükseklikte kutba yakın bir yörüngede Dünya'nın yörüngesinde dönmektedir (İnt.Kyn.11).



Şekil 4.6 SEASAT, SAR genlik ve interferogram resimleri (İnt.Kyn.12).

Radar sensörleri mikrodalga alanı (cm) içinde belirli bir frekansta (GHz) elektromanyetik dalgalar yayar ve yansıyan sinyalleri analiz eder. Bir SAR görüntüsü genlik ve faz bilgilerinin bir kombinasyonudur. Genlik verileri sensör parametrelerine ve hedefin fiziksel özelliklerine bağlıdır ve her bir yer yüzeyi pikseli tarafından geri saçılan enerji miktarını tanımlar. Faz bilgisi ise radar anteni ile yer yüzeyindeki hedef arasındaki sinyal hareketiyle ilgilidir. InSAR tekniği, faz ölçümü ve görüntü verilerinin karşılaştırılmasına dayanır. İlgili çalışma alanı üzerinde, yerdeki bir nokta (piksel) hareket ettiğinde, radar-yer mesafesi değişir ve faz bilgisini etkiler. Sonuç olarak, yer hedefinin herhangi bir yer değiştirmesi bir faz kayması yaratır ve belirli bir algoritma ile tespit edilebilir (Şekil 4.7) (bir referans noktasına göre farklı zamanlarda elde edilen faz değerlerinin analizi ve karşılaştırılması). Yer pikselinin boyutu uyduya bağlıdır: Örneğin COSMO-SKYMED için $3 \times 3 \text{ m}^2$, SENTINEL için $5 \times 20 \text{ m}^2$ (İnt.Kyn.11)



Şekil 4.7 InSAR ölçüm prensibi (İnt.Kyn.11).

InSAR yöntemi optik alıcılardan farklı olarak gece veri toplanabilmekte ve bulutlu alanların üstünde de ölçüm yapılabilmektedir. Deformasyon ölçüleri için GNSS ölçümleri, yüksek zamansal çözünürlüğe ve 3 boyutta mm seviyesinde doğruluğa sahipken, alansal çözünürlüğü düşük ve sabit tesislere ihtiyaç duyan bir ölçü sistemidir. InSAR ise yüksek konumsal çözünürlüğe sahip, uzaktan ölçen ve bir tesise ihtiyaç duymamasına karşın zamansal çözünürlüğü düşük, tek boyutta skalar ölçü sağlayan görüntü korelasyonsuzluğunun mümkün olabileceği bir tekniktir (Şengün, 2010).

4.4 GNSS

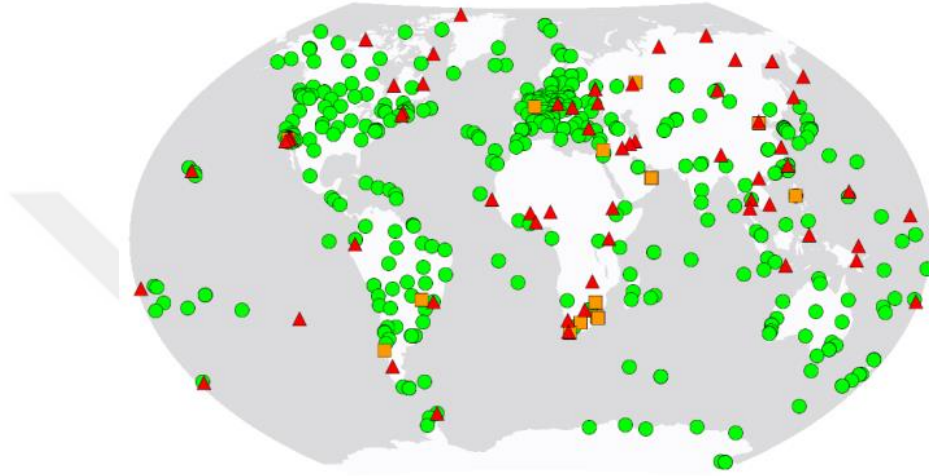
GNSS birçok konumlama sisteminin birleşmiş halidir. Bilimsel, askeri, sivil gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Her geçen gün kullanıcı sayısı ve uygulama alanı artmaktadır. GNSS teknolojisi araçlar, akıllı saatler, telefonlar, bilgisayarlar gibi birçok teknolojik ürünün içinde yer almaktadır. Arama kurtarma çalışmalarında, kazalarda, felaket durumlarında konum belirleme sayesinde ulaşımı hızlanarak hayat kurtarmaktadır. Ayrıca deprem izleme, çevre koruma ve hava durumu tahminleri gibi bilimsel araştırmaların gelişimine katkıda bulunmaktadır. GNSS ulusal güvenlik içinde oldukça önemlidir. Birçok askeri malzeme, araç ve cephanelerde kullanılmaktadır (Koca 2019).

Teknolojideki gelişmelerle birlikte düşen maliyet oranları GNSS'in kullanım alanlarını genişletmiştir. Günümüzde tektonik hareketlerin belirlenmesinde de kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. 1990'lı yıllarda yapılan çalışmalarda 10-15 noktadan oluşan GNSS ağları yerini günümüzdeki çalışmalarda 50-60 noktadan oluşan ve sürekli gözlem yapan GNSS ağlarına bırakmıştır (Tiryakioğlu 2012).

SLR, VLBI gibi uzaysal yöntemler pahalı, geniş hacimli ve karışık düzeneklere sahiptirler. Bu dezavantajlarından dolayı uygun kampanya planları yapılamamaktadır. GNSS yöntemi ise kolay taşınabilir alıcı ve antenden oluşmakta ayrıca diğer yöntemlere göre daha ucuzdur. 24 saat istenilen her yerde ve hava koşulunda ölçüm yapabilmektedir ve çok fazla insan gücüne ihtiyaç duymaz. Doğru ölçme tekniği ve veri işleme yazılımı kullanıldığında cm altında hassas sonuçlar vermektedir. SLR ve VLBI yöntemlerinden; kütleçekim parametrelerinin, gelgitlerin belirlenmesinde, büyük ölçekteki tektonik hareketlerin modellenmesinde yararlanılmaktadır. Bu tekniklerle elde edilen veriler GNSS yönteminde altlık olarak kullanılarak istenilen doğruluğa ulaşılmaktadır. Tektonik hareketlerin belirlenmesi çalışmalarında yüksek doğruluk sağlamaktadır (Yavaşoğlu 2003).

GNSS ile tektonik hareketleri belirleyebilmek için Dünya çapında birçok ağ kurulmuştur. Japonya'da 1993 yılında tesis edilen ve 1200 istasyondan oluşan GEONET (GPS Earth Observation Network), Fransa Alplerindeki hareketleri

gözlemlemek için kurulan REGAL, İtalya'daki tektonik hareketleri gözlemlemek için kurulan GEODAF, SCIGN (Güney Kaliforniya GPS Ağı) bu anlamda tesis edilen ağlardan bazılarıdır. Uluslararası GPS Ağı (IGS - International GPS Services for Geodynamics) bu ağlardan en büyüğüdür. IGS 1993 yılında IAG (Uluslararası Jeodezi Birliği) tarafından kurulmuş ve 1994 yılında resmi faaliyete geçmiştir. 500'den fazla istasyona sahip olan IGS küresel bir ağ niteliği taşımaktadır (Şekil 4.8) (Poyraz 2009).



Şekil 4.8 IGS İstasyonları (İnt.Kyn.13).

1934 yılından itibaren Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından temel jeodezik ağların kuruluş çalışmaları başlatılmıştır. 1950'li yıllara kadar yapılan çalışmalarla TUD-54 (Türkiye Ulusal Datumu-1954) oluşturulmuştur. Ülkemizde tektonik hareketlerin belirlenmesi için birçok projede GNSS ağı tesis edilmiştir. Bunlardan bir kısmı sürekli istasyonlar olarak kurulmuş bir kısmı ise kampanya zamanında kullanılmak üzere tesis edilmişlerdir. HGM tarafından Türkiye genelinde kurulan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA), Marmara bölgesindeki hareketleri incelemek için kurulan MAGNET GPS Ağı, Türkiye Deprem Projesi (TURDEP), TUSAGA-AKTİF GPS Ağı bunlara örnek verilebilir (Poyraz 2009).

Ölçme ve navigasyon amaçlı konum belirleme sistemleri; ülke yönetimi, çevre ve şehir planlaması, arazi kullanımı ve tarım politikalarının belirlenmesi, mühendislik ve altyapı hizmetleri, orman ve doğal kaynakların değerlendirilmesi ve korunması, çok amaçlı kadastro, e-devlet, e-belediye, e-ticaret kişisel mobil uygulamalar gibi birçok hizmet alanı için etkin şekilde kullanılmaktadır (Şekil 4.9).

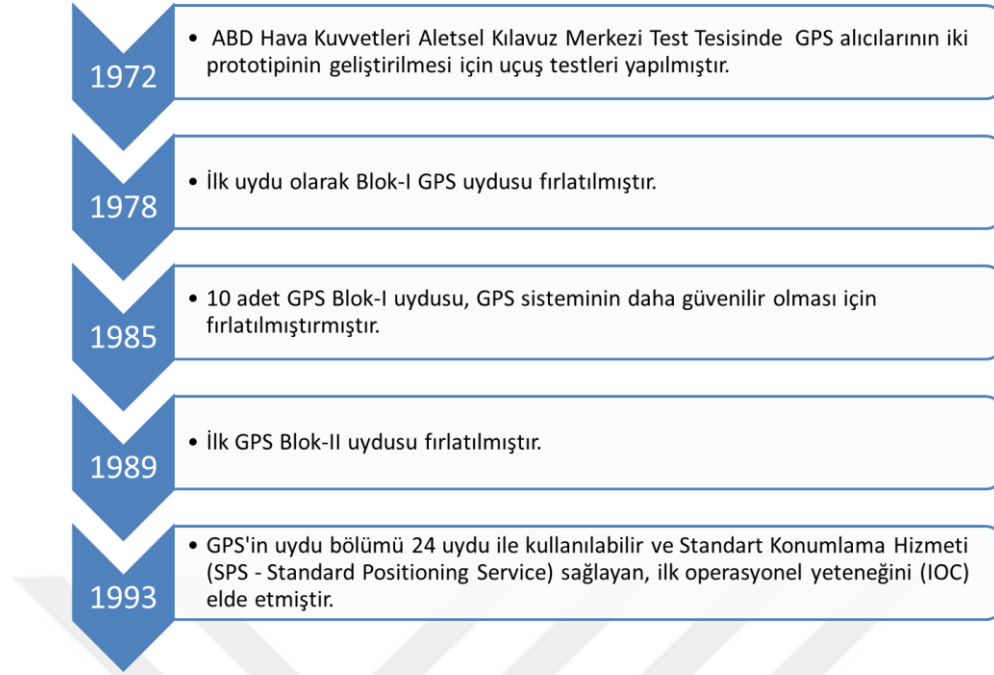


Şekil 4.9 GNSS kullanım alanları.

GNSS, Uydularla Küresel Navigasyon Sistemleri anlamına gelen global olarak kullanılan bir terimdir. Günümüzde farklı ülkelere ait konum belirleme sistemleri bulunmaktadır. ABD (GPS), Rusya (GLONASS), Avrupa Birliği (GALILEO), Çin (BEIDOU/COMPASS), Japonya (QZSS) ve Hindistan (IRNSS /NAVIC) bunların birleşmiş hali GNSS olarak adlandırılmaktadır.

4.4.1 GPS

GPS (Global Positioning System - Küresel Konumlandırma Sistemi) ABD silahlı kuvvetleri tarafından kurulan ve NASA tarafından geliştirilen askeri ve sivil amaçlı kullanılan uzay tabanlı uydu navigasyon sistemidir. ABD Savunma Bakanlığı 1974 yılında askeri navigasyon ihtiyacını karşılamak için NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging) projesini başlatmıştır. GPS'in 1983 yılında Savunma Bakanlığı tarafından sivil kullanımına izin verilmiştir (Yavaşoğlu 2009). GPS uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bölümden oluşur. GPS uydularından oluşan uzay bölümü, başlangıçta 24 uydu ile tasarlanmış ve 2009 yılı itibari ile 32 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular ekvator ile 55° eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerinde bulunmaktadır. Uydular yeryüzünden ~20200 km uzaklıkta ve 11 saat 58 dakikada Dünya etrafında tam devir yapmaktadırlar (Tiryakioğlu 2012). Yörüngeler üzerinde dörder uydu bulunmaktadır. Bunlar 2 modüle edilmiş frekansta yayın yapmakta ve uydularda var olan atomik saatlerle kontrol edilmektedir. Ayrıca uydular navigasyon bilgilerini içeren mesajlarda göndermektedir. Her an dünyanın her yerinden en az 4 uydu gözlemek mümkündür (Yavaşoğlu 2009).



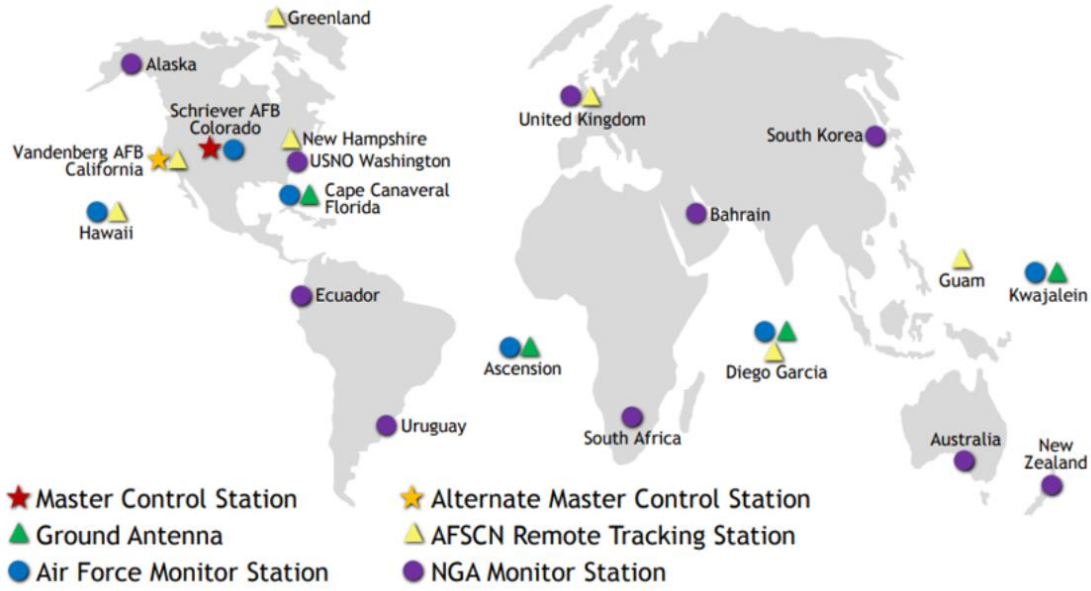
Şekil 4.10 GPS gelişim süreci (Koca 2019).

Şekil 4.10'da GPS'in tarihsel gelişim süreci gösterilmiştir. Tüm uydu sinyalleri atomik saatlerden üretilen temel frekans 10.23 MHz'den üretilmiştir (Yavaşoğlu 2009). GPS sinyalleri aşağıda verilmiştir.

L1 Bandı: 10.23×154 hesabından 1575.42 MHz taşıyıcı frekansındadır. Navigasyon için en önemli banttır. Günümüzde yeryüzündeki uygulamaların birçoğu bu frekanstan iletilen sinyallerle yapılmaktadır. GPS ile 3 sinyal kodu iletilmektedir. Bunlar L1:C/A kodu, P(Y) kodu ve M kodudur. İlerleyen yıllarda yeni bir sivil sinyal (L1C) de iletilecektir (Koca 2019).

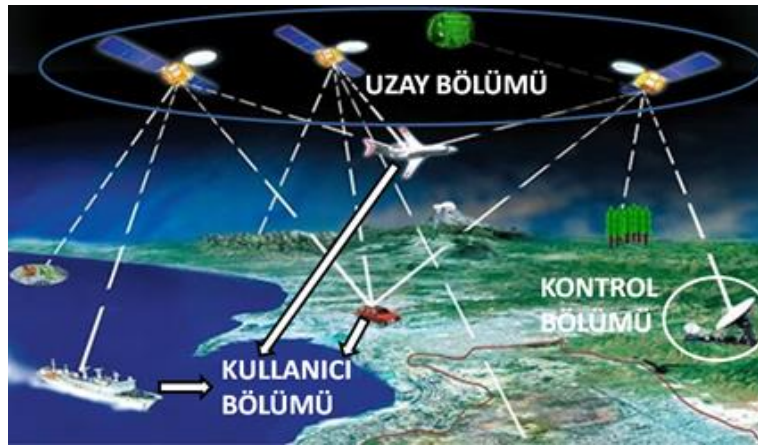
L2 Bandı: 10.23×120 hesabından 1227.60 MHz taşıyıcı frekansındadır. L2C sinyali M kodu ve P(Y) koduyla birlikte iletilmektedir. Parametreleri ve özellikleri L1 bandına benzer. L5 Bandı: 1176.45 MHz taşıyıcı frekansındadır. Yeni Sivil Sinyaller: L2C, L5 ve L1C sinyalleri uydu sistemi için sivil amaçlı tasarlanan sinyallerdir. Bu sinyaller ve L1'deki (L1C/A) sivil sinyal ile ilerleyen yıllarda 4 sivil GPS sinyal yayını yapılması planlanmaktadır. Kullanıcılar alıcıları güncelleyerek bu yeni sinyallerde yararlanabileceklerdir (Koca 2019). İkinci bölüm olan kontrol bölümü Dünyada farklı bölgelere dağılmış ana kontrol, alternatif kontrol, izleme istasyonları ve yer

antenlerinden oluşmaktadır. Bu istasyonların görevi uyduların düzenli bir şekilde çalışmasını sağlamak, uydu yörüngelerini belirlemek ve uydu saat düzeltmelerini hesaplamaktır. Ana kontrol istasyonu ABD-Colorado'dadır. Bu istasyon tüm sistemin kontrolünden sorumludur (İnt.Kyn.14).



Şekil 4.11 GPS kontrol bölümü (İnt.Kyn.14).

GPS sisteminin üçüncü bölümü kullanıcı bölümüdür. Uydular tarafından gönderilen verileri alabilen GPS alıcısı bulunanlar kullanıcı bölümünü oluşturmaktadır. GPS alıcısı; sensör (algılayıcı), alıcı anteni, kontrol ünitesi, ve güç kaynağından oluşmaktadır (Erdoğan 2005).

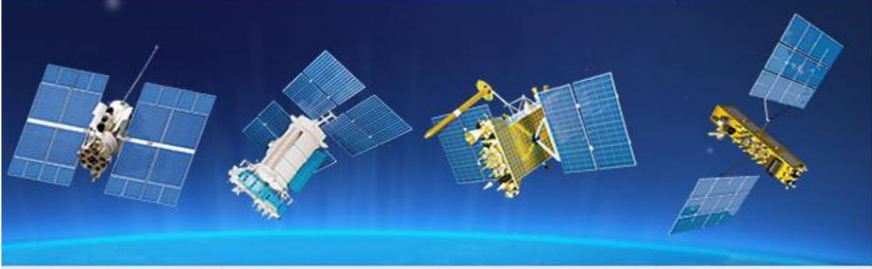


Şekil 4.12 GPS Bölümleri.

4.4.2 GLONASS

GLONASS (Globalnaya navigatsionnaya sputnikovayasistema - GLObal NAvigation Satellite System), Sovyet Rusya tarafından 1980'li yıllarda GPS'e karşı tasarlanmıştır. Bu sistemin ilk uydusu (COSMOS) 1982 yılında fırlatılmıştır fakat Sovyet Rusya'nın dağılmasıyla 1990'lı yıllara kadar askıya alınmıştır (Tiryakioğlu 2012). 1995 yılında ise 24 uyduyla yeterli düzeyde çalışır hale ulaşmıştır. 2007 yılında Rusya Devlet Başkanının GLONASS sistemi için kararname imzalaması ile sistemin sivil navigasyon sinyallerine erişim yetkisi yabancı ve Rus tüketicilere sınırsız ve ücretsiz sağlanmaya başlamıştır. GLONASS, gerçek zamanlı uydu verilerini kullanarak yeryüzünde bulunan herhangi bir yerin konumunu hızlı bir biçimde bulmak için tasarlanmıştır (Koca 2019).

2001 yılında sistemde bulunan uydu sayısının, yer kontrol birimlerinin takip edilmesi, atom saatlerinin performansı gibi etkenlerden dolayı Rusya GLONASS'ı iyileştirme çalışmalarına başlamıştır. GLONASS'ın uzay bölümü güncelleme çalışmalarına, ikinci sürüm olan GLONASS-M uyduları ile başlamıştır. Şekil 4.13'te uzay birimi modernizasyonu görülmektedir (Koca 2019).

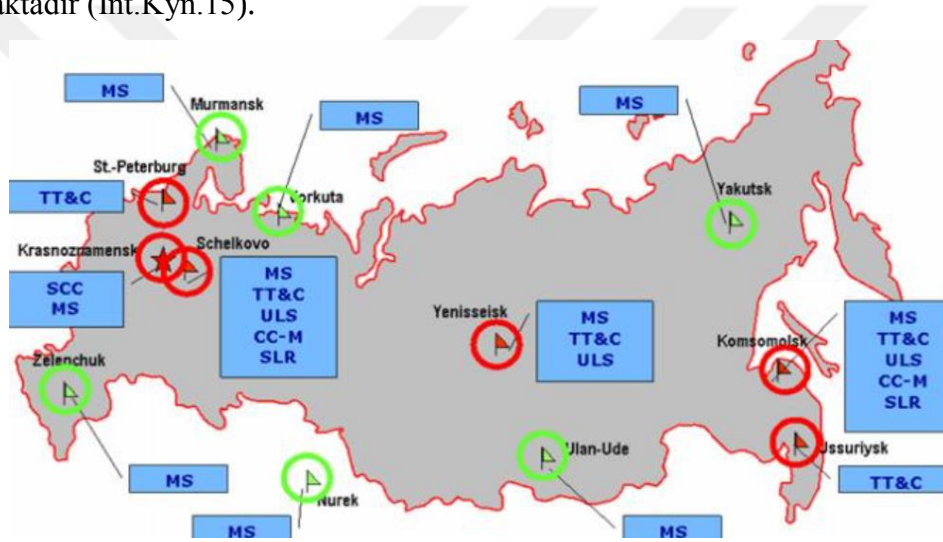


GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-K2
1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017+
3 yıllık tasarım ömrü - Saat hassasiyeti $5 \cdot 10^{-13}$ - Sinyaller: L1SF, L2SF, L1OF, (FDMA) - Toplam 81 uydu fırlatıldı - Aktif işletme ömrü 4.5 yıl	7 yıllık tasarım ömrü - Saat hassasiyeti $1 \cdot 10^{-13}$ - Sinyaller: Glonass + L2OF (FDMA) - Toplam 39 uydu fırlatıldı	10 yıllık tasarım ömrü - Platform Tasarımı: Basıncısız - Beklenen saat hassasiyeti $\sim 10 \dots 5 \cdot 10^{-14}$ - Sinyaller: Glonass-M + L3OC (CDMA) - Search And Rescue (SAR)-Arama Kurtarma	10 yıllık tasarım ömrü - Platform Tasarımı: Basıncısız - Beklenen saat hassasiyeti $\sim 5 \dots 1 \cdot 10^{-14}$ - Sinyaller: Glonass-M + L1OC, L3OC, L1SC, L2SC (CDMA) - Search And Rescue (SAR)-Arama Kurtarma

Şekil 4.13 GLONASS Uzay Birimi Modernizasyonu (Koca 2019).

GLONASS'ın uyduları orta dairesel yörüngede yer alır ve yüksek enlemlerde GPS sinyali almanın zor olabileceği durumlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. GLONASS'ın yörüngesi, 19.100 km yükseklikte ve 11 saat 16 dakikalık bir periyotta dönen 64.8° eğimli uydulardan oluşur. Alıcının bir konum tespiti yapabilmesi için en az dört uyduya ihtiyacı vardır (İnt.Kyn.15).

GLONASS sisteminin yer kontrol bölümleri Brezilya ve Nikaragua hariç eski Sovyetler Birliği topraklarında yer almaktadır (Şekil 4.14). Yer kontrol bölümleri 1 sistem kontrol merkezi, 5 telemetri izleme ve komuta merkezi, 1 merkezi saat düzeltim istasyonu, 3 yükleme istasyonu, 2 lazer menzilleme istasyonu, 10 izleme ve ölçüm istasyonundan oluşmaktadır (İnt.Kyn.15).



Şekil 4.14 GLONASS yer kontrol istasyonları (İnt.Kyn.15).

GLONASS koordinat sistemi olarak PZ-90 (Earth Parameter System 1990)'ı kullanmakta iken (Tiryakioğlu 2012) daha sonra diğer GNSS sistemleri ile uyumlu şekilde çalışabilmek için ITRF (International Terrestrial Reference System) sistemine bağlanmıştır (Koca 2019).

GLONASS-K uydusu, L1 ve L2 üzerindeki eski FDMA sinyallerini ve L1, L2 ve L3 üzerindeki CDMA sinyallerini iletmektedir. Ayrıca 1176,45 MHz'de GPS L5 frekansında CDMA sinyalleri gönderebilmektedir. GNSS doğruluk verileri, üçüncü sivil sinyallerde, küresel diferansiyel efemerisinde ve zaman düzeltmelerinde de yayınlanabilmektedir (Koca 2019).

4.4.3 GALILEO

Galileo uydu sistemi Avrupa Birliği (AB) tarafından GPS ve GLONASS'a alternatif olarak tasarlanmıştır. Bu sistemin tasarısı 1999 yılında Birleşik Krallık, Fransa, Almanya ve İtalya'dan gelen önerilerin değerlendirilmesiyle başlamıştır. 2003 yılında Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tasarımı resmi olarak üstlenmiştir. ABD ordusunun kontrolünde olan GPS sistemi herhangi bir savaş durumunda uyduları kullanım dışı bırakabilmekte veya yerini değiştirebilmektedir. Galileo'da AB ya da ESA böyle bir karar almayacaktır. Galileo sisteminin toplamda 30 adet uydu ile Dünya'nın yörüngesine yerleştirilmesi planlanmaktadır. 2005 yılında Kazakistan uzay istasyonundan sistemin ilk uydusu olan Giove uydusu fırlatılmıştır (Şekil 4.15) (İnt.Kyn.16).



Şekil 4.15 GALILEO uygulama planı (İnt.Kyn.17).

Galileo navigasyon sistemindeki uyduların ağırlığı ~675 kg ve boyutları 2.7 m x 1.2 m x 1.1 m olarak tasarlanmıştır. Uyduların yörünge yüksekliği ~23616 km'dir ve yörüngeler ekvatorla 56°'lik açıda olacaktır. Herhangi yer ve zamanda yeryüzünde en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır. Galileo uyduları L1F, L1P, E5a, E5b ve E6C olmak üzere 6 navigasyon sinyali gönderecektir. Bu sinyaller 6 frekans bandında üretilecektir. Navigasyon sinyallerinin taşıyıcı frekansları L1 sinyali için 1559-1592 Mhz, E6 sinyali için 1260-1300 MHz ve E5 sinyali için 1164-1215 MHz olarak belirlenmiştir (Tiryakioğlu 2012).

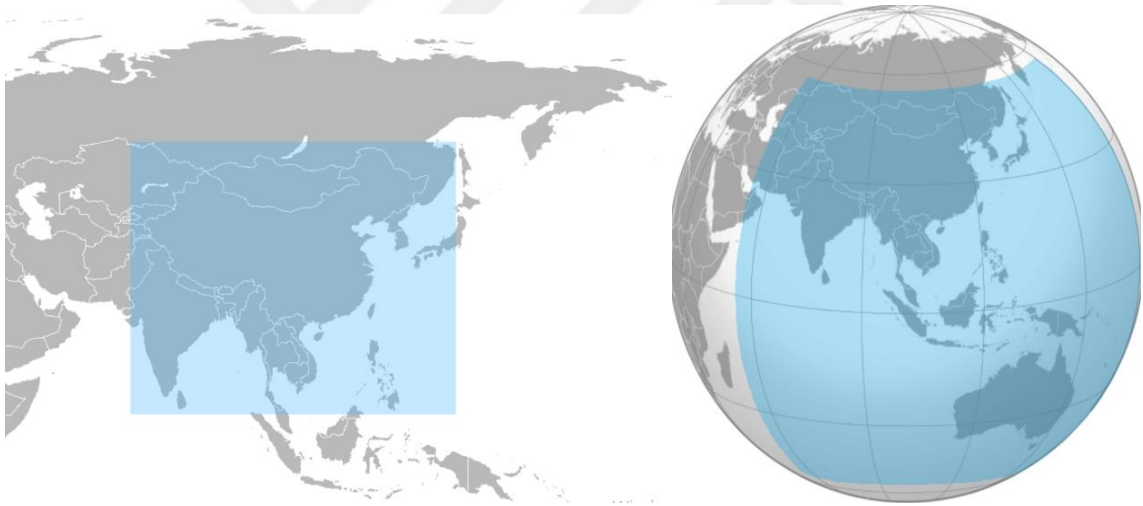
Ocak 2017'de pasif hidrojen maserleri (PHM) ve rubidyum atom saatlerinin (RAFS) birkaçının arızalandığı bildirilmiştir. Tam işlevsel uydu sayısı dört olmasına rağmen her bir uydu en az bir saatini kaybetmiştir. Her uydu dört saatle (2 PHM ve 2 RAFS) fırlatıldığı için operasyon etkilenmemiştir. ESA'ya göre, rubidyum atomik saatler için endüstriyel ortaklarıyla bazı uygulamalı test ve operasyonel önlemlerin gerekli olduğu sonucuna varmışlardır. Temmuz 2017'de Avrupa Komisyonu, arızaların ana nedenlerinin tespit edildiğini ve hâlihazırda uzayda bulunan uyduların daha fazla arıza yapma olasılığını azaltmak için önlemler alındığını bildirmiştir. Avrupalı kaynaklara göre ESA, rubidyum saatlerinde kısa devreye neden olabilecek hatalı bir bileşeni değiştirerek ve hala fırlatılacak uydularda pasif hidrojen maser saatlerini iyileştirerek tespit edilen her iki sorun grubunu da düzeltmek için önlemler almıştır (İnt.Kyn.18). 11 Temmuz'dan 18 Temmuz 2019'a kadar, tüm sistemde 'açıklanamayan' bir sinyal kesintisi yaşanmıştır ve tüm aktif uydular Galileo durum sayfasında 'kullanılmaz' durumunu göstermiştir. Olayın nedeni, Galileo yer altyapısında zaman ve yörünge tahminlerinin hesaplanmasını etkileyen bir ekipman arızasıdır. 14 Aralık 2020'de, 0:00 UTC'den başlayarak, Galileo'da 6 saat süren sistem çapında bir performans düşüşü yaşanmıştır. Galileo verilerindeki 'marjinal' durum ibaresini görmezden gelen GNSS alıcıları, neredeyse 80 km'ye varan bir pseudorange menzil hatası yaşayabilirdi. Sorun, sistemin zaman belirleme işlevindeki bir yer segmenti atomik saatinin anormal davranışıyla ilgiliydi. Fucino ve Oberpfaffenhofen Galileo Kontrol Merkezlerindeki paralel çalışan Hassas Zamanlama Tesislerinde, Oberpfaffenhofen'deki paralel sistemde bakım yapılırken Fucino'da bir sorun meydana gelmiştir (İnt.Kyn.18). Galileo projesi her ne kadar AB tarafından yapılan bir proje olsa da bu projeye zamanla Avrupa ülkesi olmayan devletlerde katılmıştır. 2003 yılında Çin, 2004 yılında İsrail, 2005 yılında Ukrayna, Fas ve Hindistan, 2006 yılında Güney Kore ve Norveç'te katılmıştır. 2007 yılında AB üyesi olan 27 ülke toplu olarak projeye katılmışlardır. (Koca 2019)

4.4.4 BEIDOU

BeiDou konumlama sistemi (BeiDou-2) Çin'in bağımsız ikinci nesil uydu tabanlı konumlama sistemidir. BeiDou sistemi, 2000 yılından beri faaliyet gösteren sınırlı test sistemi ve günümüzde yapım aşamasında olan tam ölçekli küresel navigasyon sistemi olarak iki ayrı uydu takımından oluşmaktadır (Koca 2019).

İlk BeiDou konumlama sistemi (BeiDou-1) deneysel amaçlı geliştirilmiştir. BeiDou-1 üç uydudan oluşmaktadır. Uydular 1000 kg fırlatma ağırlığına sahiptir. Son uydusunu 2003 yılında fırlatılmıştır. GPS, GLONASS ve Galileo sistemlerinden farklı olarak orta yörünge uyduları olarak kullanılır, sınırlı uygulama ve kapsama alanına sahiptir. Hizmet alınabilen alan 5°N-55°N enlemleri ve 70°E-140°E boylamları arasındadır. 2000 yılından beri Çin ve komşu bölgeleri için konumlandırma hizmeti yapmaktadır. Sistemin tek frekansı 2491,75 MHz'dir (Koca 2019).

2008 Sichuan depreminden sonra 1000'den fazla BeiDou-1 istasyonu kullanılmış ve afet bölgesinden bilgi sağlanmıştır. Ekim 2009 itibariyle, Yunnan'daki tüm Çin sınır muhafızları BeiDou-1 cihazlarıyla donatılmıştır. BeiDou-1, BeiDou-2 sisteminin (Şekil 4.16) faaliyete geçmesinin ardından 2012 yılı sonunda devre dışı bırakılmıştır (İnt.Kyn.19).



Şekil 4.16 BeiDou-1 kapsama alanı ve BeiDou-2'nin 2012'deki kapsama alanı (İnt.Kyn.19)

Sistemin ikinci kuşağı olan BeiDou Uydu Konumlandırma Sistemi (COMPASS/BeiDou-2) 2011 yılı itibariyle yapım aşamasındadır. Bu sistem 2012 Aralık ayında 10 uydu ile Çin'de ve 2013 Aralık ayında Asya-Pasifik bölgesinde faaliyete geçmiştir. Bu sistem diğer GNSS sistemleri ile benzer yapıdadır. 5 jeostatik yörünge (GEO) ve 30 orta yörünge (MEO) uyduları ile toplamda 35 uyduluk yeryüzünün tamamıyla kapsanması sağlayacak uydu sistemi olması planlanmaktadır (Koca 2019).

BeiDou Uydu Konumlandırma Sistemi (BDS) sivil ve askeri olarak iki şekilde hizmet verecektir. Sivil hizmetin ücretsiz ve 10 m'lik konum doğruluğu sunması, askeri hizmetin ise kısıtlı ve 10 cm'lik bir konum doğruluğu sunması planlanmaktadır. Askeri hizmet bugüne kadar sadece Pakistan ordusu ve Çin Halk Kurtuluş ordusuna verilmiştir (Koca 2019).

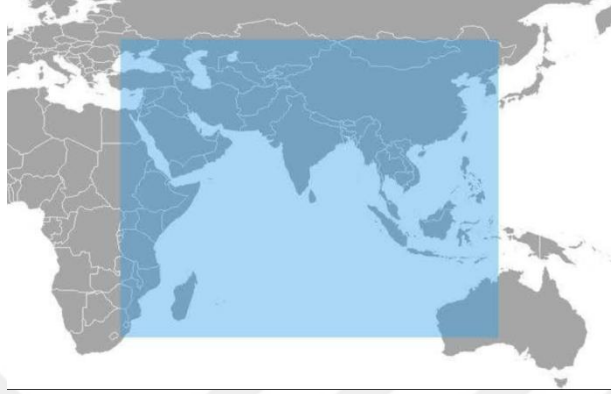
COMPASS sistemi için tahsis edilen frekanslar (E1, E2, E5B ve E6) Galileo sistemiyle örtüşmektedir. Bu durum alıcı tasarımı açısından uygun olabilir, ancak bu frekans aralıklarında kamu tarafından Galileo sistemi için tahsis edilen sistem parazit sorunlarına neden olabilir. ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) politikaları gereği, belirli bir frekansta yayın yapmaya başlayan ülke o frekansa öncelik verir ve sonraki kullanıcılar izin almadan bu frekansı kullanamaz ve yayınlarının ilk ülkenin yayınlarına müdahale etmemesi gerekmektedir. 2009'da Çin'in COMPASS uydularının Galileo uydularından önce bu frekans aralıklarında yayın yapacağı ve bu nedenle birincil haklara sahip olacağı belirtilmiştir. Aralık 2017 itibarıyla, 150 milyon Çinli akıllı telefon (pazarın %20'si) BeiDou'yu kullanacak şekilde donatılmıştır (İnt.Kyn.19).

BeiDou sisteminin üçüncü aşaması (BDS-3), yeni sinyal frekansları B1C/B1I/B1A (1575.42 MHz), B2a/B2b (1191.79 MHz), B3I/B3Q/B3A (1268.52 MHz) ve Bs test frekansını (2492.02 MHz) tanıtan üç GEO uydusu, üç IGSO uydusu ve yirmi dört MEO uydusunu içermektedir. Yeni açık sinyallere ilişkin arayüz kontrol belgeleri 2017-2018 yıllarında yayınlanmıştır. 23 Haziran 2020'de, son uydunun Xichang Uydu Fırlatma Merkezi'nde başarıyla fırlatılmasının ardından BDS-3 uydu sistemi tamamen tamamlanmıştır. BDS-3 uyduları ayrıca SBAS (B1C, B2a, B1A - GEO uyduları), Hassas Nokta Konumlandırma (B2b - GEO uyduları), ve arama ve kurtarma transponder (6 MEOSAR) yeteneklerini de içerir. (İnt.Kyn.19)

4.4.5 Diğer Uydu Sistemleri

IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System): Hint Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi, Hint Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO) tarafından çalışmaları yürütülmekte olan bölgesel uydu tabanlı konumlama sistemidir. 2016 Nisan ayında, sisteminin son uydusunun fırlatılması ile IRNSS sisteminin adı, Hindistan Başbakanı tarafından

NAVIC (NAVigation Indian Constellation – Hint Navigasyon Sistemi) olarak değiştirilmiştir. Sistem, Hindistan'ı ve çevresinde 1.500 km uzanan bir bölgeyi kapsamaktadır ve genişletilmesi planlanmaktadır (Koca 2019).



Şekil 4.17 NavIC kapsama alanı (İnt.Kyn.20)

Sistem, sivil kullanıma açık olan ‘standart konumlandırma hizmeti’ ve yetkili kullanıcılar için ‘kısıtlı hizmet’ olarak iki düzeyde hizmet sağlamaktadır. NavIC tabanlı takip cihazları Hindistan’daki ticari araçlarda zorunludur ve bazı tüketici cep telefonları da NavIC’i desteklemektedir. IRNSS 7 uydudan oluşmaktadır. Bunlardan üçü Dünya yüzeyinden yaklaşık 36.000 km yükseklikte 32.5° D, 83° D ve 131.5° D boylamlarında yer sabit yörüngede (GEO) bulunmaktadır. Diğer dört uydu ise eğimli jeosenkron yörüngede (GSO) bulunmaktadır. Bunlardan ikisi ekvatoru 55° D’de, ikisi de 111.75° D’de kesmektedir (İnt.Kyn.20). Hindistan Uzay Bakanlığı’nın 12. Beş Yıllık Planı, takımyıldızdaki uydu sayısını 7’den 11’e çıkarmayı hedeflemektedir. Bu dört yeni uydu, 12. Plan döneminde fırlatılacak ve 13. Plan başlangıcında 42 derecelik jeosenkron yörüngede yer alacaktır. Aynı zamanda, tamamen optik bir atomik saat geliştirme çabasıyla birlikte, uzay kalitesine sahip Hindistan yapımı atomik saatlerin geliştirilmesi başlatılmıştır. ISRO, beş yeni nesil uydulla birlikte yeni görev yükleri fırlatmayı planlamaktadır. NVS-01, NVS-02, NVS-03, NVS-04 ve NVS-05 olarak adlandırılan bu yeni uydular, mevcut uydu takımyıldızını tamamlayacak ve güçlendirecektir. Yeni uydular L5 ve S bantlarına sahip olacak ve navigasyon yükünde L1 bandında yeni bir ortak çalışabilir sivil sinyal sunacaktır. Bu yeni L1 bandının tanıtımı, giyilebilir akıllı ve IoT cihazlarında düşük güçlü navigasyon sistemine sahip NavIC’in yaygınlaşmasını kolaylaştıracaktır. NVS-01, IRNSS-1G uydusunun yerini alacak ve 2023 yılında GSLV roketiyle fırlatılacaktır (İnt.Kyn.20).

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System): Japonya ve çevresine hizmet vermesi amacıyla Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından projelendirilmiş uydu tabanlı konumlama sistemidir. Dünyadan 32.000-40.000 km uzaklıkta bulunan 4 uydudan oluşmaktadır (Koca 2019). Sistemin ilk uydusu olan ‘Michibiki’ 11 Eylül 2010 tarihinde fırlatılmıştır. Mart 2013'te QZSS'nin üç uydudan dörde çıkarılacağı duyurulmuştur. Üçüncü uydu 2017 yılında fırlatılmış ve dördüncü uydu ise 2017 yılının Ekim ayında fırlatılmıştır. Dört uydulu temel sistemin faaliyete geçişi ise 1 Kasım 2018'de gerçekleştirilmiştir. Mayıs 2023'te sistemin on bir uyduya genişleyeceği açıklanmıştır (İnt.Kyn.21). QZSS uydularının hareketinin zemindeki izdüşümü Şekil 4.18'de görüldüğü gibi asimetrik ‘8’ şeklindedir. Bu konum uyduların sürekli Japonya üzerinde dikey kesiti 60° ya da daha fazla olacak şekilde tasarlanmıştır (Koca 2019).



Şekil 4.18 Quasi-Zenith uydu yörüngesi (İnt.Kyn.21).

Çizelge 5.1 GNSS ağında yer alan noktalara ait bilgiler.

NOKTA ADI	GPS NOKTA ADI	ENLEM	BOYLAM	İL/İLÇE	NOKTA TÜRÜ
Dinar	DINA	38.06	30.16	Afyon/Dinar	CORS
Tekin	TKIN	38.01	30.11	Afyon/Dinar	TUTGA
Gökgöl	GOKG	38.19	30.06	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Aktaş	AKTA	38.33	29.91	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Belence	BLNC	38.4	29.87	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Örencik	OREN	38.48	29.87	Afyon/Hocalar	22.FENBİL.21
Evciler	EVCİ	38.02	29.86	Afyon/Evciler	22.FENBİL.21
Emirhisar	EMRH	38.31	29.82	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Karamanlı	KARM	38.26	29.81	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Işıklı Gölü	ISKG	38.21	29.81	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Bozdağ	BZDN	38.08	29.8	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Gemiş	GEMI	37.77	29.8	Denizli/Çardak	Doğan vd. (2021)
Yeşilyaka	YEYA	38.28	29.75	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Çivril	CVRL	38.3	29.74	Denizli/Çivril	Sabit GNSS İstasyonu
İğdir	IGDR	38.32	29.73	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Gürpınar	GURN	38.4	29.71	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Sivaslı	SVSL	38.45	29.71	Uşak/Sivaslı	TUTGA
Beycesultan	BLGR	38.25	29.7	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Sarıbeyli	SARB	38.17	29.66	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Kocayaka	KYAK	38.24	29.63	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Kıralan	KRAL	38.12	29.62	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Sarılar	SARL	38.19	29.61	Denizli/Çivril	22.FENBİL.21
Bozkurt	BZKR	37.8	29.6	Denizli/Bozkurt	TUTGA
Konak	KONK	38.02	29.59	Denizli/Baklan	Doğan vd. (2021)
Bozkurt	BZKT	37.84	29.58	Denizli/Bozkurt	Doğan vd. (2021)
Yayalar	YAYL	38.44	29.58	Uşak/Sivaslı	22.FENBİL.21
Süller	SLLR	38.15	29.55	Denizli/Baklan	TUTGA
Clandras	CLAN	38.4	29.49	Uşak/Karahallı	22.FENBİL.21
Uşak	DDTP	38.63	29.42	Uşak/Merkez	TUTGA
Uşak	USK1	38.67	29.39	Uşak/Merkez	CORS
Ulubey	ULUB	38.41	29.23	Uşak/Ulubey	TUTGA
Denizli	DNZ1	37.77	29.04	Denizli/Merkez	CORS
Afyonkarahisar	RES2	30.17	38.41	Afyon/Sandıklı	TUTGA

5.2 GNSS Ölçüleri

Çalışma kapsamında 2022-2023 yıllarında 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ölçüler AKÜ BAP 22.FENBİL.21 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. 27.05.2022-05.06.2022 tarihleri arasında 1. Kampanya (2022_1) GNSS ölçüleri tamamlanmıştır. 1. kampanya ölçüleri 6 kişiden oluşan 3 arazi ekibi ile yapılmıştır.

Ölçüler minimum 8 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçülerde yükseklik açısı 5 derece kayıt aralığı 15 saniye olarak seçilmiştir. İlk kampanya ölçüleri görüntüleri Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 İlk kampanya GNSS ölçümlerine ait görüntüler.

18.11.2022-20.11.2022 tarihleri arasında 2. Kampanya (2022_2) GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Havalarda yağışlı olduğu için araziye uygun araç kiralanmıştır. Birinci kampanyaya benzer şekilde ölçü planı stratejisi belirlenmiştir. 3. Kampanya (2023_1) GNSS ölçümleri ise 07.05.2023-13.05.2023 tarihleri arasında tamamlanmıştır (Şekil 5.3). Benzer ölçü stratejileri bu kampanyada da uygulanmıştır. Tüm ölçü zamanlarını gösteren bilgiler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 GNSS ağında yer alan noktalara ait ölçü zamanlarını gösteren bilgiler.

NOKTA ADI	Eski Ölçü	1. Kampanya (2022_1)	2. Kampanya (2022_2)	3. Kampanya (2023_1)
DINA	X	X	X	X
TKIN	X			
GOKG	X	X		X
AKTA	X	X		X
BLNC	X	X	X	
OREN		X		X
EVCİ	X	X		
EMRH	X	X		X
KARM		X		X
ISKG	X	X		
BZDN	X	X		
GEMI	X			
YEYA	X	X		
CVRL	X	X	X	X
IGDR	X	X		X
GURN	X	X		X
SVSL	X			
BLGR	X	X		
SARB	X	X		
KYAK	X	X		
KRAL	X	X		
SARL		X	X	X
BZKR	X			
KONK	X			X
BZKT	X			
YAYL		X	X	X
SLLR	X			
CLAN	X	X		X
DDTP	X			
USK1	X	X	X	X
ULUB	X			
DNZ1	X	X	X	X
RES2	X	X		

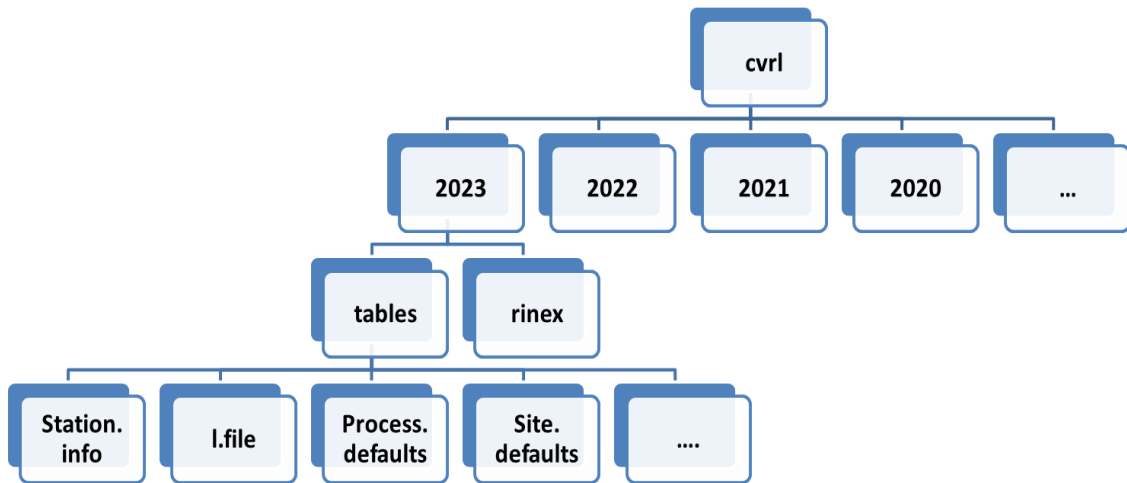


Şekil 5.3 Çalışma kapsamında gerçekleştirilen 2. kampanya ve 3. kampanya GNSS ölçümlerine ait görseller.

5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında yapılan ve elde edilen tüm GNSS ölçüleri GAMIT/ GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiştir. Bu yazılım genel olarak taşıyıcı faz ve pseudorange ölçülerinin değerlendirilerek ölçü yapılan noktanın 3 boyutlu koordinatının hesaplanmasını sağlamaktadır. Yazılımın ikinci kısmında ise elde edilen koordinatlar yardımıyla Kalman Filtreleme tekniğini kullanarak tektonik plaka bazlı hızların üretilmesi sağlanmaktadır. Bu yazılım takımında öncelikle değerlendirilecek verilerin hazırlanması gerekmektedir.

GAMIT yazılımı Linux işletim sisteminde daha stabil çalıştığı için önce bilgisayara sanal makine kurulmuştur. Verilerin prosesine başlamadan ilk olarak tüm veri formatlarının aynı olması için veriler uluslararası standart veri formatı olan RINEX'e dönüştürülmüştür. Dönüşümü yapılan veriler hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç aşamalarından geçerek işlenir. Hazırlık aşamasında ilk önce GAMIT'in yapısına uygun ana klasör ağ yapısı oluşturulmuştur. Klasör ağı oluşturulurken en dış klasöre 'cvrl' adlı 4 karakterli proje adı verilmiştir. 'cvrl' klasörünün içine ilk kampanya ölçüm yılı olan '2022' adlı yıl klasörü açılmıştır. Yıl klasörünün içine ise 'rinex' klasörü açılmıştır. Ölçümü ve dönüşümü yapılan veriler 'rinex' klasörüne yüklenmiştir. Proses yapılırken rinex dosyalarının hata vermemesi için klasör içindeki terminal komut satırına 'sh_casfold' komutu yazılarak büyük harfler küçük harflere çevrilmiştir. GAMIT yazılımında değerlendirme aşamasında kullanılmak üzere standart girdi dosyalarına ihtiyaç vardır. Bunun için yıl klasörü içinde 'sh_setup-year' komutu çalıştırılarak otomatik 'tables' klasörü oluşturulmuştur. 'tables' klasörü içindeki; station.info dosyasında ölçümleri yapılan noktaların bilgileri ve sites.defaults dosyasında değerlendirme aşamasında kullanılacak olan IGS nokta bilgileri düzenlenmiştir. GAMIT/GLOBK yazılımında gerçekleştirilen değerlendirmeler için oluşturulan ana klasör yapısı Şekil 5.4'de yer almaktadır.



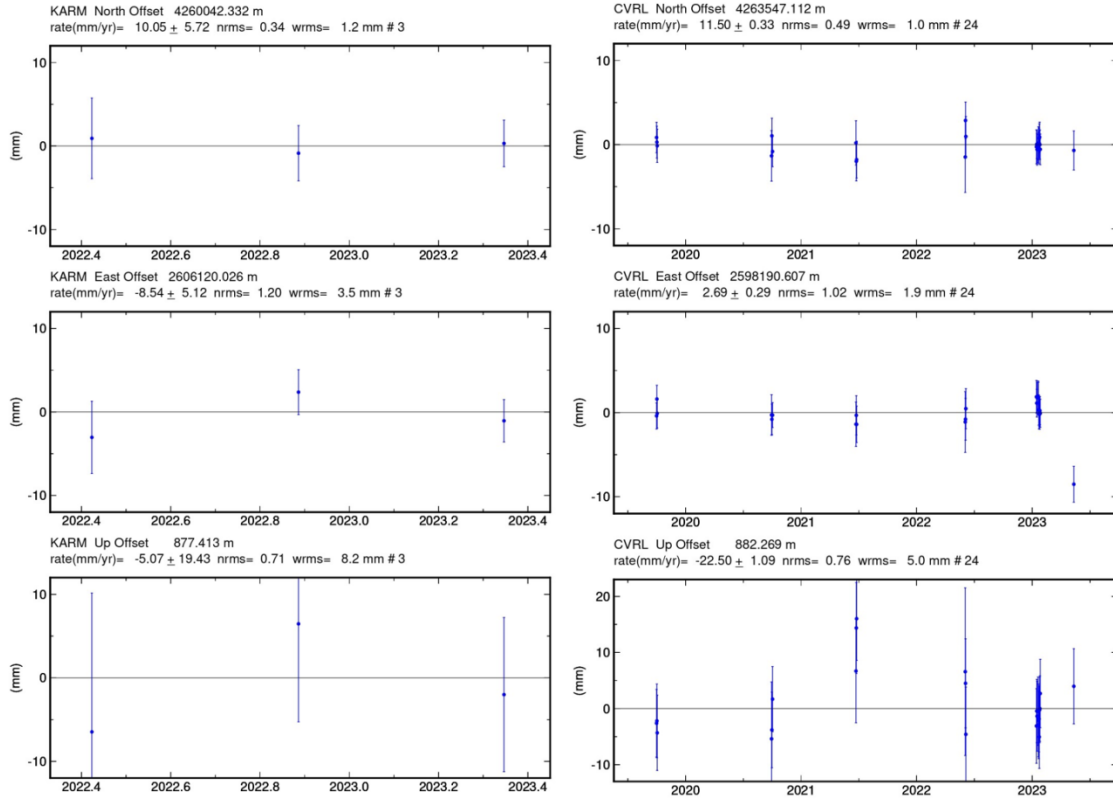
Şekil 5.4 GAMIT ana klasör yapısı.

Çalışmada daha önce birçok çalışmada kullanılan uzun dönem zaman serilerine sahip 27 adet IGS istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonların isimleri ve bilgileri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Değerlendirme esnasında stabilizasyon için kullanılan IGS istasyonları.

No	Nokta Adı	Enlem	Boylam	No	Nokta Adı	Enlem	Boylam
1	ADIS	32.76	39.89	11	MATE	16.70	40.65
2	BAKU	49.81	40.37	12	NICO	33.40	35.14
3	BOR1	17.07	52.28	13	NOT1	14.99	36.88
4	BUCU	26.13	44.46	14	NSSP	44.50	40.23
5	CRAO	33.99	44.41	15	ONSA	11.93	57.40
6	GLSV	30.50	50.36	16	POLV	34.54	49.60
7	GRAS	6.92	43.75	17	RAMO	34.76	30.60
8	GRAZ	15.49	47.07	18	SOFI	23.39	42.56
9	KOSG	5.81	52.18	19	VILL	356.05	40.44
10	LAUG	35.67	34.11	20	ZECK	41.57	43.79

Ayrıca l.file dosyasına değerlendirmeye alınacak noktaların başlangıç koordinatları girilmiş ve process.defaults dosyası düzenlenmiştir. Hazırlık aşaması tamamlanmıştır. Değerlendirme aşamasında prosese başlamak için yıl klasörü içinde sh_gamit komutu çalıştırılmıştır. Bu komut ile veriler otomatik değerlendirilmiştir. Ardından yıl klasörü içinde gerekli klasörler ve GNSS ölçülerinin gün klasörleri otomatik olarak oluşmuştur. Değerlendirme aşamasının ardından kontrol ve sonuç aşamasına geçilmiştir. Gün klasörlerinin içindeki sonuç dosyaları kontrol edilmiştir. Daha sonra yıl klasörü içinde ‘sh_glred’ komutu çalıştırılarak GNSS ölçü noktalarına ait zaman serileri oluşturulmuştur. GAMIT günlük koordinatlar üretildikten sonra hız belirlemek için GLOBK aşamasına geçilmiştir. GLOBK aşamasında GAMIT aşamasındaki geçmiş yıllarda ölçüsü olan noktaların Kalman Filtreleme Tekniği ile birleştirilmesi yapılmıştır. Ana klasörümüz olan ‘cvrl’ klasörünün içine ‘vsoln’ klasörü açılıp bu klasörün içinde ‘sh_plotcrd’ komutu çalıştırılarak zaman serileri üretilmiştir. ‘vsoln’ klasörünün içinde ‘cvrl.gdl’ uzantılı boş metin belgesi oluşturulmuştur. ‘sh_glred’ komutu çalıştırılarak günlük tekrarlılıklar üretilmiş ve yıl dosyaları içindeki ‘glbf’ klasörleri içinde ölçü günlerine ait .glx uzantılı dosyalar cvrl.gdl metin belgesinin içine yazılmıştır. Şekil 5.5’te yıllık zaman serisi örnekleri verilmiştir.

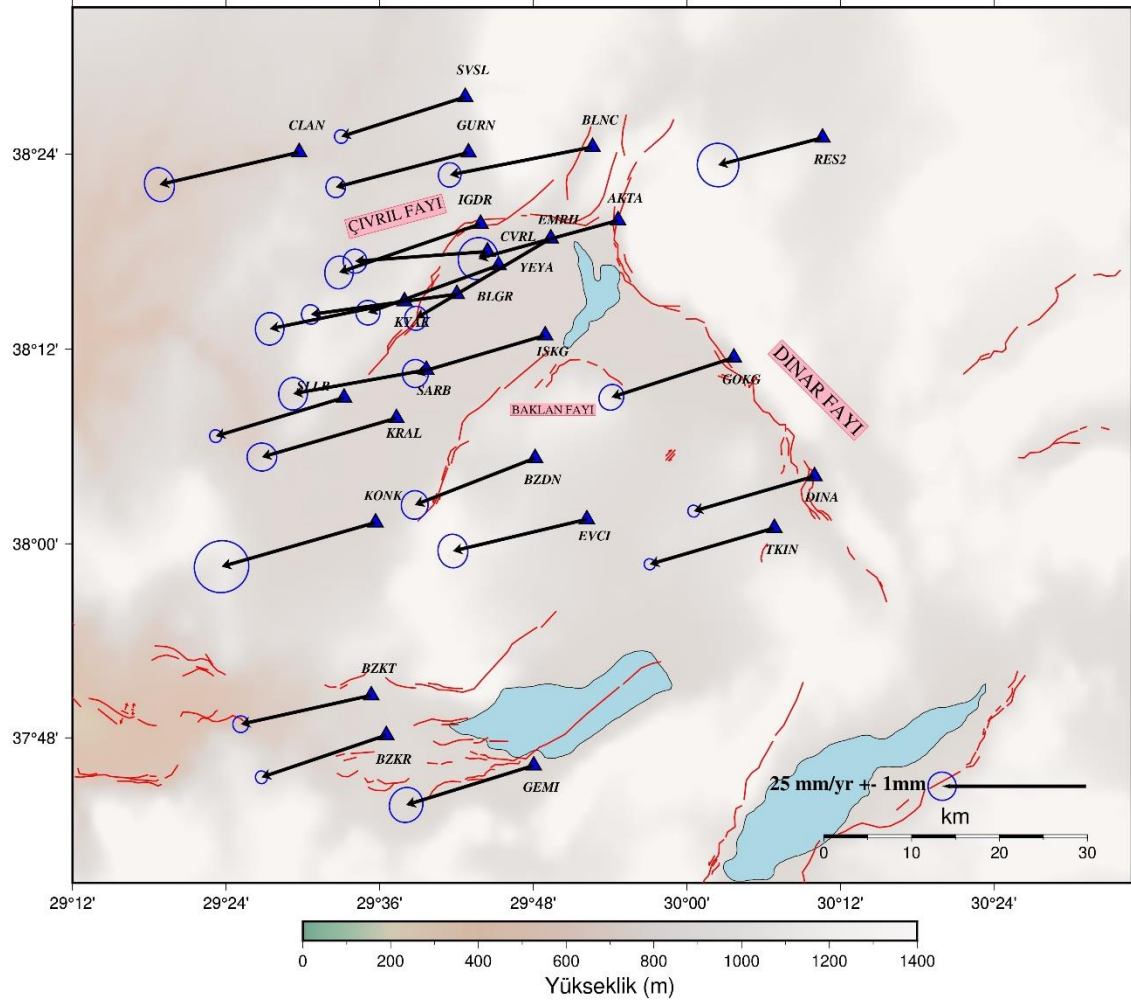


Şekil 5.5 KARM ve CVRL noktalarına ait yıllık zaman serileri.

5.4 GNSS Hız Alanının Hesaplanması

GLOBK aşamasında farklı tektonik plakalara göre hız üretimleri yapılabilmektedir. Bu amaçla vsoln klasörünün içine hız hesaplama komut dosyaları olan globk_vel.cmd ve glorg_vel.cmd oluşturulmuştur. globk_vel.cmd içerisine Avrasya Plakası sabit olacak şekilde tanımlamalar yapılmıştır. Bu aşamada GAMIT aşamasından daha önce seçilen 11 adet IGS noktasının tanımları da bu dosyalar içine eklenmiştir. Avrasya sabit hız alanını üretmek için globk 6 komutu çalıştırılmıştır. Avrasya sabit olarak elde edilen ITRF14_EURA hız alanı Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6'da görüldüğü üzere çalışma bölgesinin hız alanı 18-27 mm/yıl arasındadır. Bu noktalarda bölge ile uyumsuz hızı sahip olan noktalar gelecek çalışmalarda yeni ölçüleri yapıldıktan sonra kullanılmak üzere ağdan çıkarılmıştır. Güncel hız alanı incelendiğinde bölgede BGB yönlü bir hareket gözlemlenmektedir. Hız değerleri vektörel olarak bileşen bazında incelenmiştir. Buna göre kuzey ve doğu bileşenlerin negatif değerler aldığı görülmüştür. Kuzey bileşende vektörel anlamda en küçük hız, CVRL noktasında 1 mm/yıl en büyük hız ise EMRH Noktasında 13 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Doğu bileşen içinse en küçük hız

RES2 noktasında 18 mm/yıl en büyük hız ise KONK noktasında 26 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Genel olarak vektörel anlamda hız büyüklükleri, Çivril Fayı'nın Işıklı Segmenti ile Dinar Fayının kesiştiği bölgeden güneye doğru inen kesimde ve Dinar Fayı'nın en güneyinde yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu noktalardan bazılarının standart sapmaları diğerlerinden daha büyüktür. Bunun nedeni bu noktalarda bir yıl içerisinde 3 kampanya gerçekleştirilmiş olmasıdır.

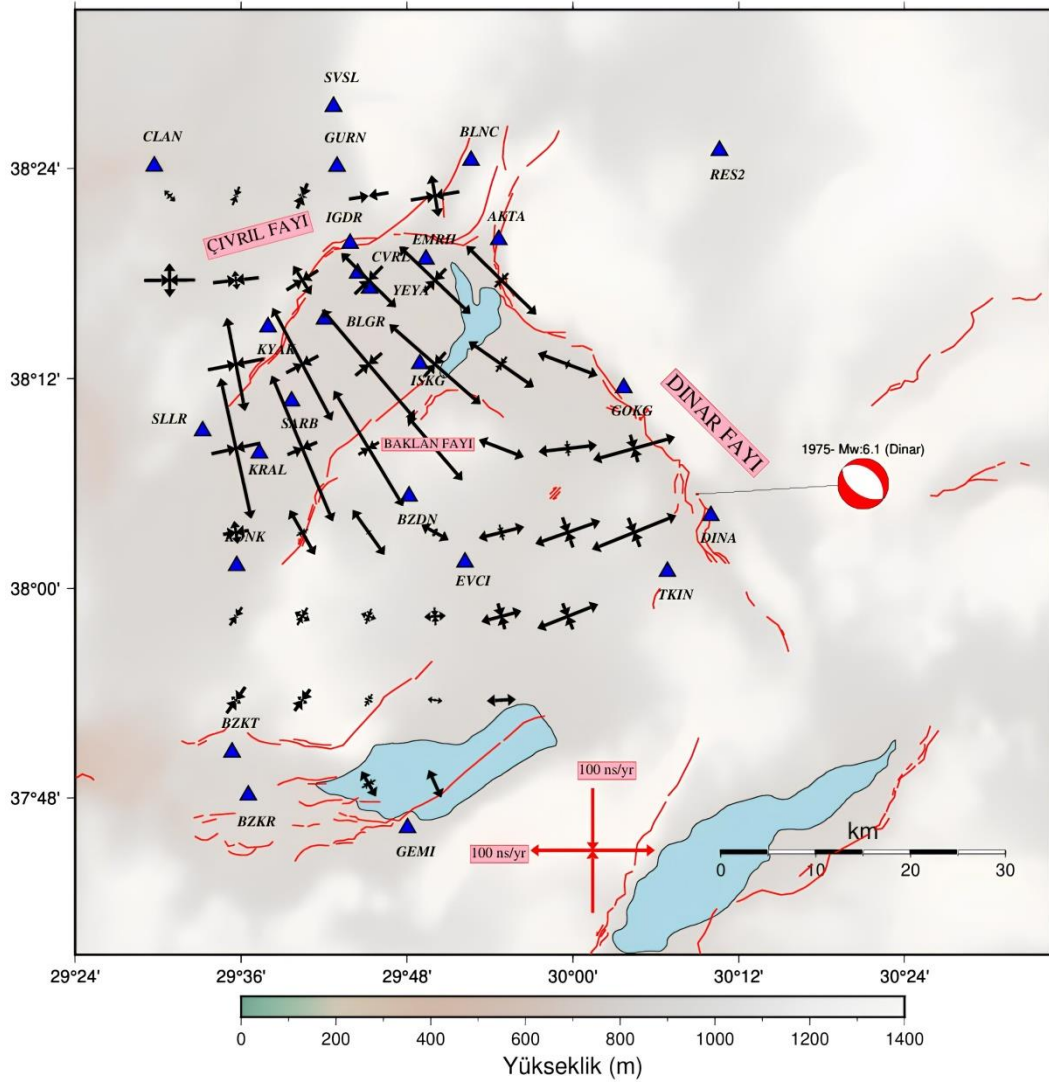


Şekil 5.6 Avrasya sabit hız alanı.

5.5 GNSS Gerinim Alanının Hesaplanması

Çalışma bölgesindeki güncel gerinim alanının hesaplanması GAMIT/GLOBK yazılım değerlendirmeleri sonucunda elde edilen noktasal hızlar kullanılarak GeodSuit programında gerçekleştirilmiştir. Plaka hareketleri, kabuk deformasyonu, gerinim birikimi, fay geometrisi, fay kayma oranları dâhil olmak üzere çeşitli jeodinamik parametreler için jeodezik hızları analiz etmek için GeodSuit yazılımı kullanılmaktadır

(GeodSUIT Manual 2017). Yazılımda gerinim analizi gerçekleştirilirken temel girdi verisi GNSS verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilen noktasal hız değerleri ve bu değerlere ait karesel ortalama hata değerleridir. Yazılımın matematiksel modeli Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009) çalışmalarında açıklanmaktadır. GNSS verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilen koordinatlarda yükseklik (up) bileşeni için istenilen hassasiyet değerlerine ulaşılamamaktadır. Bu sebeple GeodSUIT yazılımı yardımıyla 2 boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Tez kapsamında ele alınan çalışma bölgesi “0.1°x0.1°” gridlere ayrılmıştır. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda elde edilen güncel hız değerleri ve hız bilgileri analiz edilmiştir. RES2, KONK ve AKTA noktalarında standart sapma değerleri 1 mm üzerinde olduğundan bu noktalar gerinim analizine dâhil edilmemiştir. GeodSUIT yazılımı kullanılarak Çivril grabeni ve çevresine ait güncel gerinim alanı hesaplanmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Çalışma bölgesinin güncel gerinim alanı Dinar deprem odak mekanizma çözümü Pınar 1998’de alınmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Çivril Graben Sistemi'ni incelemek amacıyla, 33 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda 2022 ve 2023 yıllarında toplam 3 kampanya ölçü gerçekleştirilmiştir. GNSS verilerinin GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirilmesi sonucu çalışma bölgesinin Avrasya plakası sabit güncel hız alanı 18-27 mm/yıl arasında elde edilmiştir. Hız alanı incelendiğinde, BGB yönlü bir hareket olduğu görülmektedir. Genel olarak, hız standart sapmalarının 0.4-5 mm/yıl arasında değiştiği görülmektedir. Standart sapmaları 3 mm'den büyük olan SARL, YAYL, KARM noktaları görselleştirme esnasında kullanılmamıştır. Ayrıca 1-2 mm/yıl standart sapmaları olan AKTA, RES2, KONK noktalarının geçmiş yıllarda GNSS verisi bulunmamaktadır. Bu noktaların 2022 ve 2023 yıllarında yapılan GNSS kampanyaları kapsamında ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Hız alanı kullanılarak, Geodsoft yazılımında iki boyutlu gerinim analizi gerçekleştirilmiştir. AKTA, RES2, KONK, noktalarına ait hızlar, gerinim analizi esnasında hız standart sapmaları büyük olduğu için kullanılmamıştır. Ek olarak, bölgeyle uyumsuz hareket eden CVRL isimli nokta da gerinim analizine dâhil edilmemiştir. Bölgenin güncel gerinim alanı incelendiğinde, en büyük gerinim bileşenlerinin Çivril ile Baklan fayları tarafından sınırlanan ÇGS (Baklan Grabeni) içerisinde olduğu görülmektedir. KB-GD yönlü açılma bileşenleri bölgeye hâkim durumdadır. Bununla birlikte küçük miktarlarda KD-GB yönlü sıkışma bileşenleri de görülmektedir. Çivril fayı özelinde, en büyük bileşenler Akpınar segmenti üzerinde görülmektedir. Çivril fayının kuzeyinden güneyine doğru sırasıyla; Işıklı, Akpınar ve Kocayaka segmentleri üzerindeki gerinim bileşenleri sağ yönlü normal fay mekanizmasını işaret etmektedir. Bu durum, Özalp vd. (2018)'de net bir şekilde belirtilmiştir. Elde edilen bu sonuç jeolojik literatürle uyumludur. ÇGS'nin güneydoğu sınırını oluşturan Baklan fayı civarındaki gerinimler graben tektonik yapısına uygun şekilde KB-GD yönlü açılma bileşenleri olarak görülmektedir.

Bölgenin gerinim paternleri, çalışma alanının en doğusunda bulunan Dinar fayı üzerinde yön değiştirerek KD-GB yönlü açılma şeklinde görülmektedir. Bu durum, 02.10.1995 tarihinde meydana gelen Mw:6.2 Dinar depreminin odak mekanizma çözümleri ile uyum içerisinde (Şekil 5.7).

Çalışma bölgesinin en küçük gerinim bileşenleri ise Acıgöl Grabeni'nin içerisinde Bozkurt civarında görülmektedir. Bu bölgedeki hızlar 2019 yılı Bozkurt depreminden sonra yapılmıştır. Bölgede 08.08.2019 tarihinde meydana gelen Mw:5.9 depremi nedeniyle gerinim boşalımı olduğu düşünülmektedir. Doğan vd. (2020) tarafından yapılan gerinim analizinde deprem öncesi gerinim değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir.

Acıgöl Grabeni içerisinde, KB-GD yönlü açılma bileşenleri baskındır. Grabenin kuzeyinde ise KD-GB yönlü açılma ve küçük miktarda KB-GD yönlü sıkışma bileşenleri görülmektedir.

Çalışma bölgesinin gerinim miktarları maksimum 100 ns/yıl değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum, bölgedeki ağın tüm noktalarının hız alanlarının standart sapmalarının 1 mm/yıl altına düşmesiyle değişebileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar, her ne kadar jeolojik sonuçlarla uyum içerisinde olsa da jeodezik anlamda daha anlamlı sonuçlar elde edebilmek için GNSS ölçülerine devam edilmelidir. Bununla birlikte, bölgede yapılacak paleosismolojik çalışmalarından elde edilecek sonuçlar ile bölgenin jeodezik deprem potansiyelleri hakkında bilgi elde edilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Aktuğ B, 2006, Jeodezik Ölçüler ile Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 93s, İstanbul.
- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingöz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, vd., 2009, Deformation of Western Turkey from a Combination of Permanent and Campaign GPS Data: Limits to Block-like Behavior, Journal of Geophysical Research, 114, 1978-2012.
- Akyar B E, 2020, Deprem Tekrarlama Periyotlarının Jeodezik Verilerle Belirlenmesi: Banaz ve Elvanpaşa Segmenti, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Afyonkarahisar.
- Aladoğan K, 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Afyonkarahisar.
- Aladoğan K, Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H, Alkan R M, Alkan M N, Köse Z vd. 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 997-1003.
- Alkan M N, 2018, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Bolu-Çankırı ve Amasya Bölgelerindeki Asismik Tektonik Yapının Periyodik GPS Ölçümleri ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 187s, İstanbul.
- Başarır Baştürk N, Özel N M, Altınok Y ve Duman T Y, 2017. Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş tarihsel dönem (MÖ 2000 - MS 1900-) deprem katalogu. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-34, 239 s. Ankara-Türkiye.
- Başçıftçi F, 2020, Tektonik Hareketlerin Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Güncel Araştırmalar, 34-55.

- Çakmak R, 2010, Jeodezik Çalışmalarla Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün Belirlenmesi Ve Modellerle Açıklanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127s, İstanbul.
- Doğan O, 2021, Denizli Bölgesinin Gerinim Alanlarının Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44, Afyonkarahisar.
- Doğan O, Solak H İ, Eyübagil E, Özkaymak Ç, Tiryakioğlu İ, 2021, Bozkurt (Denizli) Depremi Sonrası (Mw=6.0, 08.08.2019) GNSS Ölçüleri ile Kosismik Deformasyonların Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(2), 362-373.
- Doğru A, Özener H, 2011, GPS ve Insar ile Yerdeğiştirmelerin Belirlenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Dönmez E, 2018, Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin Gnss Gözlemleri ile İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Afyonkarahisar.
- Duman T Y, Emre Ö, Özalp S, Çan T, Olgun Ş, Elmacı H, Şaroğlu F, 2017, Türkiye ve yakın çevresindeki diri faylar ve özellikleri. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s. Ankara-Türkiye.
- Gezgin C, 2020, GNSS ve INSAR Teknikleri ile Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 157s, Aksaray.
- Gül D, 2016, Sarıgöl (Manisa) Bölgesindeki Tektonik Hareketlerin Gnss Tekniği ile Belirlenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Sivas.
- Emre Ö, Duman, T Y Özalp, S Olgun, Ş Elmacı H, 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Afyon (NJ 36-5) Paftası, Seri No:16, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye

- Emre Ö, Özalp, S Duman, T Y, 2011, Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Uşak (NJ 35-8) Paftası, Seri No:11, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- Erdoğan S, 2005, Burdur Fethiye Fay Zonunun GPS ile İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 115s, İstanbul
- Erkoç M H, 2022, Türkiye'nin Batı ve Güney Kıyılarındaki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Uydu Altimetresi, Mareograf, GNSS ve InSAR Ölçmeleriyle Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 94s, İstanbul.
- Eyübagil E E, 2020, GNSS Ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Afyonkarahisar.
- Eyübagil E E, Şafak Yaşar Ş, Çakanşimşek E B, Duman H, Solak H İ, Özkan A vd. 2023, 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 160-176.
- Görmüş K S, 2011, Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentindeki Krip Hızı Değişiminin İzlenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 97s, Zonguldak.
- Kadirioğlu F T, Kartal R F, Kılıç T, Kalafat D, Duman T Y, Eroğlu Azak T, Özalp S ve Emre Ö, 2017, Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş aletsel dönem (1900 - 2012) deprem kataloğu ($M \geq 4,0$). Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 1246 s. Ankara-Türkiye.
- Kavak U S, 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45s, Afyonkarahisar.
- Koca B, 2019, GNSS Sistemlerindeki Güncel Durum ve Son Gelişmelerin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109s, Konya.

- Özalp S, Emre Ö, Şaroğlu F, Özaksoy V, Elmacı H, Duman T Y, 2018, Active Fault Segmentation of the Çivril Graben System and Surface Rupture of the 1 October 1995 Dinar Earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 166, 136-151.
- Özarpacı S, 2020, Krip Eden Fayların GPS Ölçüleriyle İzlenmesi: İzmit Ve Hazar Gölü - Palu Fayından Örnekler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 111s, İstanbul.
- Özel Ö, 2020, Okyanus Gelgit Yüklemesi Konum Değişimlerinin VLBI Ölçülerinden Kestirimi Ve Global Okyanus Gelgit Modelleri ile Doğrulanması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 328s, Ankara.
- Özkan A, 2021, Kuzeydoğu Akdeniz Bölgesindeki Diri Fayların Kinematığının GPS Gözlemleri ve Elastik Yarı Uzaysal Yer Değiştirme Modeli ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, 167s, İstanbul.
- Öztürk M, 2019, Banaz Fayının Tektonik Hareketlerinin Gnss Yöntemiyle Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Afyonkarahisar.
- Pınar A, 1998, Source inversion of the October 1, 1995, Dinar earthquake (Ms=6.1): a rupture model with implications for seismotectonics in SW Turkey, Tectonophysics, 292, 255-266.
- Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 128s, İstanbul.
- Poyraz F, Hastaoğlu K Ö, Tiryakioğlu İ, Tatar O, Gürsoy Ö, Koçbulut F vd. 2015, Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, 17-28.
- Solak H İ, 2015, GNSS Hızları ile Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Afyonkarahisar.

- Solak H İ, 2020, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemi ile Güncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 147s, Afyonkarahisar.
- Şengün Y S, 2010, InSAR Ölçülerinin Doğruluk Araştırması, Harita Dergisi, 143, 19-25
- Tiryakioğlu İ, Dereli M A, Erdoğan S Güla, 2010, Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 32-38.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155s, İstanbul.
- Topaloğlu S, 2012, Baklan Grabenindeki Fayların Uydu Görüntüleri Kullanılarak Çizgiselliklerinin ve Morfotektonik Özelliklerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Denizli.
- Toydemir T, 2019, Sultandağı Fayında Jeodezik Gerinim (Strain) ile İstatistiksel Depremsellik Verilerinin İlişkilendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Afyonkarahisar.
- Türbedaroğlu T, 2023, Çivril Ovası'nda (Denizli) Paleocoğrafya Araştırmaları, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 200s, İzmir.
- Umutlu A İ, 2019, Alaşehir (Manisa) Bölgesindeki Gerinim Alanların Jeodezik Verilerden Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44s, Afyonkarahisar.
- Uysal F, 2023, Datça Grabeni ve Çevresinin Güncel Hız Alanının Gnss Verileri ile Belirlenmesi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, 119s, Konya.
- Yavaşoğlu H, 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.

Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, İstanbul.

Yenice E, Tiryakioğlu İ, Yılmaz M, Solak H İ, 2023, Büyük Depremler Sonrası Kadastral Noktalardaki Değişimlerin İzlenmesi: 30.10.2020 Sisam Depremi (Mw:6.9) örneği, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 810-815.

İnternet Kaynakları

- 1- https://tr.wikipedia.org/wiki/Anadolu_levhası, 20.01.2022
- 2- <https://deprem.afad.gov.tr/map>, 15.12.2023
- 3- <https://deprem.afad.gov.tr/event-instrumental>, 19.02.2024
- 4- <https://www.vlbi.at/what-is-vlbi/>, 17.12.2023
- 5- https://en.wikipedia.org/wiki/Very-long-baseline_interferometry, 17.12.2023
- 6- <https://space-geodesy.nasa.gov/techniques/VLBI.html>, 17.12.2023
- 7- <https://ivsc.gsfc.nasa.gov/stations/ns-map.html>, 17.12.2023
- 8- <https://space-geodesy.nasa.gov/techniques/SLR.html>, 18.12.2023
- 9- <https://ggos.org/item/slr-llr/>, 18.12.2023
- 10- <https://space-geodesy.nasa.gov/techniques/SLR.html>, 18.12.2023
- 11- <https://www.geostockgroup.com/en/interferometric-synthetic-aperture-radar-insar-technology/>, 19.12.2023
- 12- https://en.wikipedia.org/wiki/Interferometric_synthetic-aperture_radar, 19.12.2023
- 13- https://network.igs.org/?_ga=2.136118961.1068393666.1703366727-68515285.1703366727&_gl=1*1io0554*_ga*Njg1MTUyODUuMTcwMzM2NjcyNw..*_ga_Z5RH7R682C*MTcwMzM2ODYxNC4yLjEuMTcwMzM2OTMxNy41Ny4wLjA, 20.12.2023

- 14-https://gssc.esa.int/navipedia//index.php/GPS_Ground_Segment, 20.12.2023
- 15-<https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>, 21.12.2023
- 16-https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumland%C4%B1rma_sistemi, 21.12.203
- 17-<https://www.inta.es/CPA/en/prs/evolucion/> 21.12.2023
- 18-[https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)) 22.11.2023
- 19-<https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>, 22.12.2023
- 20-https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System,
22.12.2023
- 21-https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System 23.12.2023

