

**SULTANDAĞI FAYINDA JEODEZİK GERİNİM (STRAIN) İLE
İSTATİSTİKSEL DEPREMSELLİK VERİLERİNİN İLİŞKİLENDİRİLMESİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga TOYDEMİR

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

Bu tez çalışması TÜBİTAK 115Y246 ve AKÜ BAP 14.FEN.BİL.22 numaralı projeleri
ile desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SULTANDAĞI FAYINDA JEODEZİK GERİNİM (STRAIN) İLE
İSTATİSTİKSEL DEPREMSELLİK VERİLERİNİN
İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Tolga TOYDEMİR

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

03/05/2019

Tolga TOYDEMİR

TEZ ONAY SAYFASI

Tolga TOYDEMİR tarafından hazırlanan “SULTANDAĞI FAYINDA JEODEZİK GERİNİM (STRAIN) İLE İSTATİSTİKSEL DEPREMSELLİK VERİLERİNİN İLİŞKİLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Hakan YAVAŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

İmza

Üye : Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza

Üye : Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**SULTANDAĞI FAYINDA JEODEZİK GERİNİM (STRAIN) İLE İSTATİSTİKSEL
DEPREMSELLİK VERİLERİNİN İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

Tolga TOYDEMİR
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) ilk olarak Koçyiğit (1984) tarafından adlandırılmış olup, doğuda Konya ili güneyi ile batıda Balıkesir arasında uzanan yaklaşık 500 km uzunluğunda bir zondur. Batı Anadolu'nun önemli fay sistemi içerisinde kalan bu sistemin genel olarak birbirine paralel uzanan çok sayıda horst ve graben türü yapılar bulunmaktadır.

Bu çalışmada ASFS'nin Afyon - Sultandağı arasında kalan kısımda, yer kabuğu hareketlerini belirleyebilmek için 2012 yılında 27 noktadan oluşan bir GNSS ağı kurulmuştur. 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya ölçüm yapılarak bölgeye ait hız vektörleri elde edilmiştir. Bu GNSS ölçüleri, GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bölgedeki deprem verileri yardımıyla bölgeye ait b parametreleri hesaplanmış ve jeodezik yamulmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 2002 Çay Eber depremlerinden sonra bölgenin batısına doğru jeodezik yamulmaların arttığı görülmüştür.

2019, ix + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), Afyon –
Sultandağı Fay Zonu, Kabuk Deformasyonu, GAMIT/GLOBK

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

THE DETERMINATION OF RELATIONS BETWEEN STATISTICAL SEISMICITY
DATA AND GEODETIC STRAIN ANALYSIS, IN SULTANDAĞI FAULT

Tolga TOYDEMİR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Aksehir-Simav Fault System (ASFS) was first named by Koçyigit (1984) and a 500 km long zone extending between the south of Konya and Balıkesir in the east. This fault system is located within the fault system of Western Anatolia. There are a number of horst and graben types of structures extending parallel to each other in this system.

In this study, a GNSS network consisting of 27 points was established in 2012 in order to determine the crustal movements in the part between Afyon and Sultandağı located in ASFS. 5-campaign of GNSS measurements were performed from 2012 to 2018 and the velocity vectors of the region were obtained. These GNSS measurements were evaluated using GAMIT / GLOBK software. In addition, the b parameters of the region were calculated using the earthquake data in the region and compared with the geodetic strains. As a result, it is observed that the geodetic strains have increased towards the west of the region after the 2002 Eber earthquakes.

2019, ix + 60 Page

Keywords: Global Navigation Satellite System (GNSS), Afyon-Sultandağı Fault Zone, Crust Deformation, GAMIT/GLOBK

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı başta tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na, , b parametre analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Jeodezi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç.Dr. Fatih BULUT'a sonsuz teşekkür ederim. Tezin arazi çalışmalarına 115Y246 proje numarası ile destek olan TUBİTAK'a ve de 14.FEN. BİL.22 proje numaralı AKÜ BAP' a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Tolga TOYDEMİR
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE AKŞEHİR – SULTADAĞI FAY ZONU... 4	
2.1 Levha Tektoniği	4
2.2 Depremlerin Oluşumu ve Faylanma Türleri	7
2.3 Faylanma Çeşitleri	8
2.3.1 Eğim Atımlı Faylar	9
2.3.2 Doğrultu Atımlı Faylar	10
2.3.3 Yanal Atımlı Faylar.....	10
2.4 Akşehir – Sultandağı Fay Zonu	11
3. GNSS YÖNTEMİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN İNCELENMESİ	16
3.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)	17
3.1.1 GPS	18
3.1.2 GLONASS	20
3.1.3 Galileo	21
3.1.4 Diğer Konumlama Sistemleri.....	22
3.2 GNSS ile Gözlenen Büyüklükler	22
3.2.1 Kod Pseudorange	22
3.2.2 Taşıyıcı Faz	23
3.2.3 GNSS Gözlemlerine Bağlı Fark Gözlemleri.....	24
3.3 GNSS Sisteminde Kullanılan Veri Formatları.....	26
3.4 GNSS Verilerinin Programlarla Değerlendirilmesi	28
3.4.1 GAMIT Yazılım Modülü	28
3.4.2 GLOBK Yazılım Modülü	29
4. YAMULMA (GERİNİM)	31
5. DEPREMSELLİK VE SİSMİK TEHLİKE	33

5.1 Frekans – Magnitud Bağıntısı	34
6. UYGULAMA	36
6.1 Çalışma Alanının Tanıtılması	36
6.2 GNSS Ağı ve Ölçüleri	36
6.3 GNSS Ağı ve Ölçülerinin Değerlendirilmesi	38
6.4 Bölgesel GNSS Hızlarının Hesaplanması.....	43
6.5 Yamulma Analizi	44
6.6 B Parametre Değerlerinin Hesaplanması	44
7. SONUÇLAR.....	50
8. KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	60



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AAG	Afyon – Akşehir Grabeni
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AOS	Astech Office Suite
ASFS	Afyon – Sultanağı Fay Sistemi
ASFZ	Afyon – Sultandağı Fay Zonu
CAST	China Academy of Space Technology
ESA	European Space Agency
GAMIT	GPS Analysis at MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GST	Galileo System Time
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KRDAE	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
LGO	Leica Geo Office
MC	Magnitude Of Completeness
MHZ	Mega Hertz
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PRN	Pseudo Random Numbers
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TGO	Trimble Geomatics Office
TTC	Trimble Total Control
UTC	Universal Time Coordinated
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
ZKÜ	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yerkürenin iç yapısı	5
Şekil 2.2 Dünya'mızın tektonik levha şekli	6
Şekil 2.3 Levha sınır tipi görseli	8
Şekil 2.4 Eğim atımlı normal ve ters fay	9
Şekil 2.5 Horst ve Graben oluşumu.	10
Şekil 2.6 Yanal atımlı fay şekli	11
Şekil 2.7 Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFSS)'nin Türkiye'nin ve yakın çevresinin neotektonik yapısı içerisindeki yerini gösteren büyük aktif fay sistemleri ve fay zonlarını gösteren harita.....	11
Şekil 2.8 Türkiye ve yakın çevresini etkileyen önemli fay sistemleri B) Akşehir Fay Zonu ve bu zon içerisinde gelişmiş önemli depremleri gösteren harita.	13
Şekil 2.9 Sultandağı Fayı boyunca son yüzyılda (1900-2014) meydana gelen yıkıcı depremlerin güneydoğudan kuzeybatıya doğru zaman içerisindeki göçünü gösteren harita.	14
Şekil 2.10 (1964-2014) meydana gelen 3 ve üzeri depremler ve sismik boşluk.....	15
Şekil 3.1 Alıcılar arasında tekli fark gözlemleri.....	24
Şekil 3.2 Alıcılar arasında ikili fark gözlemleri.	25
Şekil 3.3 Alıcı uydu arasındaki üçlü fark gözlemleri.....	26
Şekil 6.1 Gözlem yapılan noktalar haritası.	38
Şekil 6.2 2012 yılı günlük tekrarlılıkları	41
Şekil 6.3 DSLI ve GYNK noktaları yıllık tekrarlılıklar.....	42
Şekil 6.4 Avrasya plakası sabit alınarak elde edilen hızlar.	43
Şekil 6.5 Bölgenin yamulma alanı	44
Şekil 6.6 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.	46
Şekil 6.7 2003-2019 yılları arasındaki b parametre.	47
Şekil 6.8 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.	48
Şekil 6.9 2003-2019 yılları arasındaki b parametre ve gerinim.	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 6.1 Ölçüm yapılan noktaların yerleri	37
Çizelge 6.2 Değerlendirme için kullanılan IGS istasyonları	39
Çizelge 6.3 Değerlendirme stratejisi ve parametreleri	40



RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Hawaii’de bulunan Kaena Uydu İzleme İstasyonu 20



1. GİRİŞ

Yaşadığımız yerküre, yapısı ve şekli bakımından sürekli değişim gösteren bir yapıya sahiptir. Günlük yaşantımızda bu değişimlerin farkında olamayız. Yer altındaki ana tabakada zamanla kırılmalar ve çatlamlar meydana gelmektedir. Bu kırılma ve çatlamlarla oluşan titreşimlerin yeryüzüne ulaşmasıyla deprem olarak ifade ettiğimiz sarsıntılar sallanmalar meydana gelmektedir. Can ve mal kaybına neden olan depremler, birçok yerbilimci tarafından araştırma yapılan konuların başında yer almaktadır.

Alp-Himalaya tektonik kuşağı içerisinde bulunan Türkiye, yıkıcı/hasar yapıcı depremlerin en çok meydana geldiği ülkelerden birisidir. Aktif fay zonlarına sahip ülkemizde, geçmiş yıllarda meydana gelen depremler can ve mal kaybına sebebiyet verdiği gibi gelecek yıllarda da bu depremlerin yinelenmesi muhtemeldir.

Depremler, gelişen teknoloji sayesinde minimum düzeyde etkilenmek için birçok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur. Bu bilimsel çalışmalardan birisi de depremlerin jeodezik açıdan incelenmesidir. Depremlere bağlı yer değiştirmelerin jeodezik ölçülerle belirlenmesi ve modellenmesi iki olgu ile değerlendirilebilmektedir. Bunlardan birincisi jeodezik ağların söz konusu etkilerden arındırılması, diğeri ise depremin yüzeydeki etkilerinin cm duyarlılığında sayısal olarak değerlendirilerek diğer bilim dallarına güvenilir veri olarak sunulmasıdır (Aktuğ 2006).

Bölgede yapılan çalışmalar incelendiğinde 2 Şubat 2002'de meydana gelen gelen depremlerden sonra yoğunlaştığı görülmüştür. Özellikle deprem sonrası jeolojik çalışmalar dikkat çekmektedir (Demirtaş *et al.* 2002, Emre *et al.* 2003, Koçyiğit ve Özacar 2003, Özden *et al.* 2003, Yürür *et al.* 2003, Ulusay *et al.* 2004, Akyüz *et al.* 2006). Bu çalışmalarda özetle, 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri ile Maltepe ve Çay bölgelerinde meydana gelen yüzey kırıkları haritalanmış, depremi üreten fay segmentleri tanımlanmış ve bölgenin deprenselliği tartışılmıştır. Bölgede yapılan ilk ve tek paleosismoloji çalışmasını Akyüz vd. (2006)'i yapmıştır. Bu çalışmada, Maltepe ve Çay segmentleri üzerinde hendek çalışmaları açılmış, Maltepe hendeğinde, MS 1150 sonrasındaki bir tarihe yaşlandırılan ve 3 Şubat depremi ile benzer düşey yer değiştirmeye

sahip bir önceki depreme ait izler gözlemlenmiştir. Çay ilçesinde yapılan hendek çalışmasında ise MS 760 öncesi olarak tarihlendirilen bir olay tanımlanmıştır. Yine 3 Şubat 2002 Çay depremi sonrası yapılan bir başka çalışmada Demirtaş vd. (2002), kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün devam edeceğini açıklamışlardır. Benzer şekilde, Koçyiğit vd. (2002)'de Afyonkarahisar ili ve yakın çevresinde sismik boşluk özelliğini koruduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada Eber Gölü ve yakın çevresinde ise, 15 Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve onların artçıl şokları ile önemli miktarda enerji boşalımı gerçekleşmiş olup, bu bölge deprem tehlikesini büyük ölçüde atlatmış gözükmektedir. Ancak Afyonkarahisar ili yakın çevresinde yeni depremlerin beklendiğini belirtmektedir. Aktuğ 2010'da 03.02.2002 Sultandağı depreminin ilk çözümler depremin geçmişte yoğun depremselliğin yaşandığı Konya-Afyonkarahisar-Balıkesir hattı yakınında Eber ve Akşehir Gölleri arasında meydana geldiğini belirtmiştir. Koçyiğit vd. (2003) depremin Akşehir Fay Zonu olarak tanımlanan zonda meydana gelerek 2000 yılındaki Sultandağı Depremi'nin kuzey-kuzey-batıya doğru devamı şeklinde yorumlamıştır. Buna karşın Demirtaş vd. (2002) ise ilk depremin Sultandağ Fayı üzerinde diğerlerinin ise Eber Gölü'nün hemen güneyinde yer alan Üçkuyu Fayları üzerinde meydana geldiğini iddia etmektedir. Koçyiğit vd. (2002)'ye benzer şekilde depremin Akşehir-Afyonkarahisar Grabeninin batı ucunu oluşturan Çay-Eber Fayı üzerinde meydana geldiğini belirtmektedir. Gerek 2000 gerek 2002 yılında meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümleri normal bir faylanmaya işaret etmektedir.

Özkaymak vd. 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada Bolvadin civarında meydana gelen asismik yüzey deformasyonlarını incelemiştir. Bu çalışmada 2002 depreminden sonra Bolvadin şehir merkezinde Bolvadin Fayı üzerinde düşey yönde oluşan deformasyonların nedenleri araştırılmıştır.

Bölgede yapılan jeodezik çalışması ok denecek kadar azdır. Aktuğ vd. 2009'de Batı Anadolu'da kurdukları ağda yapılan GNSS ölçüleri ile Sultandağı Fayı üzerinde kayma hızı değeri 3.4 mm/yıl olarak hesaplamışlardır (Aktuğ *et al.* 2009, Duman *et al.* 2017). Tiryakioğlu vd. (2018)'de Sultandağı Fayı civarında yaptıkları GNSS ölçülerinden oluşturdukları gerinim alanları ile paleostres verilerini karşılaştırmışlardır. Sonuçları

incelendiğinde bölgenin güncel yamulma alanlarını jeolojik verilerle uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Yine Tiryakioğlu vd. (2013) yaptıkları GNSS ölçülerinde Aktuğ (2011)'a benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Bu çalışmada Sultandağı Fay Zonu'nun batı kısmında kalan alan üzerinde meydana gelen yer kabuğu hareketleri, 27 nokta içeren bir GNSS ağı kurulmuş ve 2012-2018 yılları arasında GNSS ölçümleri yapılmıştır. GNSS ölçüleri yardımıyla bölgenin güncel hız ve yamulma alanları hesaplanmıştır. 1980 - 2018 yılları arasında meydana gelen depremlerden b parametreleri hesaplanmış ve yamulma alanı ile karşılaştırılmıştır.



2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE AKŞEHİR – SULTADAĞI FAY ZONU

Yer kabuğu, sıcak ve akıŐkan olan magma tabası üzerinde s¼rekli hareket halindedir. Bu hareketlerin hızlı ve kısa s¼reli olmasından depremler, yavaş ve s¼rekli hareket halinde olmasında ise kıtaların yer değiştirmesi, kıvrılma ve kırılmalar, deniz ve dağ oluŐumları meydana gelmektedir.

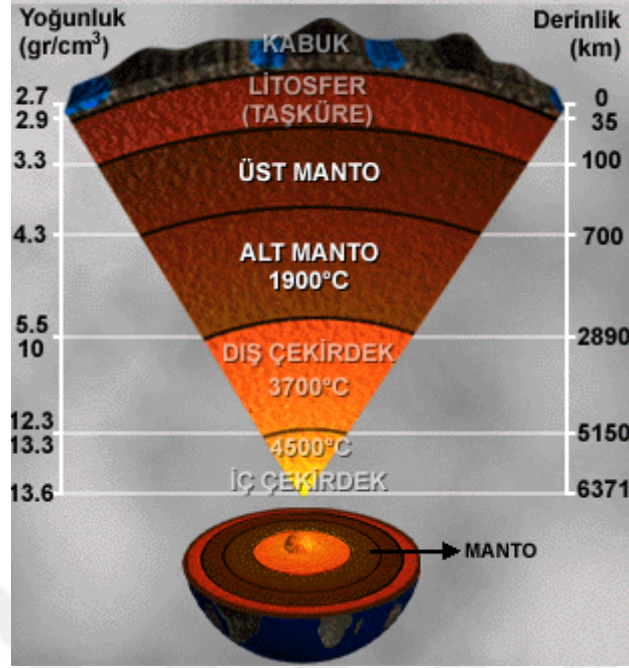
2.1 Levha Tektoniği

Bilim adamı Alfred Wegener, 1912 yılında t¼m kıtaların 250 milyon yıl önce tek bir parça olduğunu ve kıtaların birbirlerinden ayrılarak bug¼nk¼ halini aldığı tezini ortaya atmıŐtır. Bilim adamı Hary Hammond Hess ise, sadece kıtaların hareket etmediğini bununla beraber okyanus tabanlarının da hareket ettiğini savunmuŐtur (İnt. Kyn. 1).

D¼nya y¼zeyi kesintisiz gibi g¼r¼nmektedir, ancak yap-boz gibi birbirine geçmiş parçalardan oluŐmuŐtur. Bu parçalar levha olarak adlandırılmaktadırlar ve birbirlerine doğru çok yavaş biçimde hareket etmektedirler. Bir levha, yalnızca okyanusal ya da kıtasal litosferden oluŐabildiĐi gibi her iki litosfer t¼r¼n¼ de içerebilmektedir. Levhalar, levha kenarı ya da levha sınırı ile sonlanmaktadırlar. D¼nyada gerçekteŐen depremlerin hemen hemen b¼y¼k çoğunluğu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuŐaklar üzerinde oluşmaktadır.

Levha tektoniği, b¼y¼k ölç¼de okyanuslardan elde edilen veriler üzerine kurulmuş teoriden oluŐmuŐtur. Bu özelliği ile kendinden önceki teorilerden ayrılmaktadır. Levha tektoniğini daha iyi anlaşılabilmesi için yerk¼renin iç yapısının bilinmesi önem taşımaktadır.

Yerk¼re, en dış tarafından iç kısımlara doğru farklı yapı ve özellikteki b¼l¼mlerden oluşmaktadır. Bu b¼l¼mler içten dıŐa doğru Litosfer, Manto ve Çekirdek olarak nitelendirilen kısımlardan oluşmaktadır. Çekirdek, iç ve dış Çekirdek olmak üzere iki katmana ayrılırken, Manto alt ve üst¼ manto olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.



Şekil 2.1 Yerkürenin iç yapısı (İnt. Kyn.2).

Manto, çekirdek ile litosfer arasındaki katmandır. 100-2890 km'ler arasında bulunan mantonun yoğunluğu 3,3-5,5 g/cm³, sıcaklığı ise 1900-3700 °C arasında değişir. Manto, yer hacminin en büyük bölümünü oluşturur. Yapısında silisyum, magnezyum, demir ve nikel elementleri bulunmaktadır. Mantonun üst kısmı yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı plastiki özellik göstermektedir. Alt kısımları ise, sıvı haldedir. Bu nedenle mantoda sürekli olarak alçalıcı-yükselici hareketler görülür. Çekirdek kısmı, ağırlık ve yakınlık bakımından en ağır metallerin bulunduğu bölümdür. Dünya'nın en iç bölümünü oluşturan çekirdeğin 5120-2890 km'ler arasındaki kısmına dış çekirdek, 6371-5150 km'ler arasındaki kısmına iç çekirdek denir. İç çekirdekte bulunan demir-nikel karışımı çok yüksek basınç ve sıcaklık etkisiyle kristal haldedir. Dış çekirdekte ise bu karışım ergimiş haldedir. Litosfer, mantonun üst kısmında yer alan ve yeryüzüne kadar uzanan katmandır ve kalınlığı yaklaşık 100 km'dir. Taş kürenin yaklaşık 35 km'lik üst kısmına yerkabuğu denilmektedir. Daha çok silisyum ve alüminyum bileşimindeki taşlardan oluştuğundan dolayı sial de denilmektedir. Yerkabuğunun altındaki bölüme ise silisyum ve magnezyumdan oluştuğu için sima denir. Sial, okyanus tabanlarında incelmektedir ve yer yer kaybolmaktadır. Yeryüzünden yerin derinliklerine inildiğinde yaklaşık her 33 m'de bir sıcaklık 1 °C artmaktadır ve buna jeoterm basamağı denir (İnt. Kyn.3).

Dünyada tespit edilmiş 9 tane büyük, çok sayıda da küçük levha bulunmaktadır. Bu 9 levhanın 6'sı kıta isimleri ile ifade edilmektedir. Bunlar Antartika, Avrasya, Afrika, Avustralya, Kuzey Amerika ve Güney Amerika levhalarıdır. Diğer 3 levha ise okyanus levhaları olup Pasifik, Nazka ve Kokos levhalarıdır. Arap ve Hindistan levhaları başlıca küçük levhalardandır (Tiryakioğlu 2012).



Şekil 2.2 Dünya'mızın tektonik levha şekli (İnt. Kyn.4).

2.2 Depremlerin Oluşumu ve Faylanma Türleri

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır (İnt. Kyn.5). Depremlere neden olan olayların altında bir takım jeolojik olaylar yatmaktadır. Oluşum nedenlerine göre depremler tektonik nedenli, volkanik nedenli ve çöküntü nedenli depremler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Tiryakioğlu 2012).

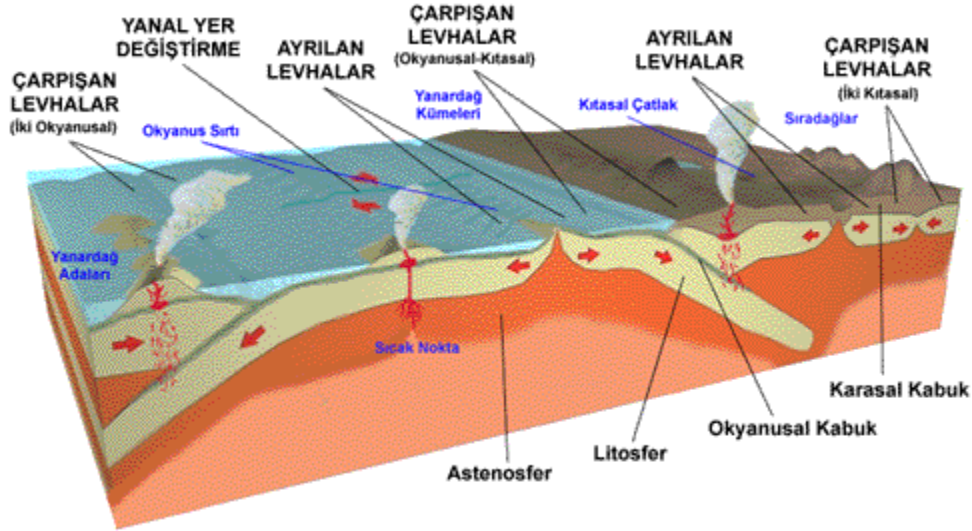
Tektonik Nedenli Depremler: Yer kabuğunu meydana getiren levhaların hareketlerinin sonucunda oluşan depremlerdir. Dünya üzerinde en çok görülen ve en etkili olan deprem türüdür. Kaliforniya'daki San Andreas fayı ve Kuzey Anadolu fayı üzerinde meydana gelen depremler bu grupta yer alan depremlerdir.

Volkanik Nedenli Depremler: Bu tür depremler volkanizma faaliyetleri sonucu oluşmaktadır. Magmanın yeryüzüne çıkarken tabakaları genişletip, parçalayarak sarsıntılara sebep olmaktadır. Bu tür depremler bölgesel alanda olacağı için önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da meydana gelen depremler volkanik depremlere örnek verilebilir. Ülkemizde aktif yanardağ bulunmadığı için bu tür depremler görülmemektedir.

Çöküntü Nedenli Depremler: Yer altındaki mağara tavanlarının veya büyük boşlukların çökmesi sonucu oluşan depremlerdir. Etki alanları yereldir ve enerjileri az olduğu için fazla zarar oluşturmazlar.

Dünya'da meydana gelen depremlerin büyük bir çoğunluğunun tektonik hareketlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Levha ve kıta hareketleri ile faylanmaların nedeni de tektonik hareketlerden kaynaklanmaktadır. Depremlerin meydana gelmesinde diri fay hatlarının etkisi fazladır. Levhalar ya sınırları boyunca birbirleri ile çarpışırlar, biri diğerinin üzerine bindirir veya altına dalar (konverjan levha sınırları); ya sınırları boyunca birbirlerinden uzaklaşırlar, aralarında bir açıklık bırakırlar (diverjant levha sınırları); ya

da birbirine doğru kayarlar (trans form faylı sınırlar). Bu üç hareketin her birinin meydana getirdiği sonuçlar farklıdır (Tüysüz 1999, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017) (Şekil 2.3).



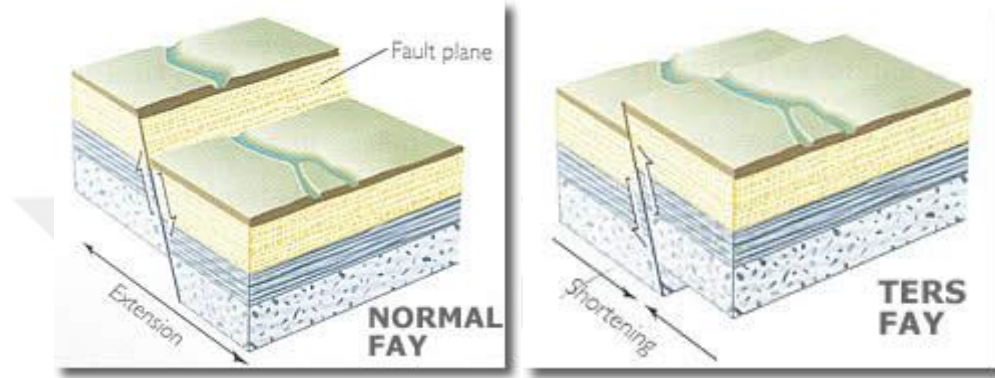
Şekil 2.3 Levha sınır tipi görseli (Ten Veen 2009, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017).

2.3 Faylanma Çeşitleri

Hareket eden levhalar birbirleri üzerine kuvvet uygularlar. Bu kuvvet yer kabuğundaki kayaların direnç göstermesi yüzünden belli bölgelerde enerji birikimine yol açar. Bu enerji, kayaların kırılma sınırını aştığı anda da kırılma (faylanma) olur. Bu olay sonucunda oluşan şekle ise fay denir. Faylar yer kabuğundaki jeolojik tabakaları hareket ettirerek üzerinde gözlemlenebilen veya ölçülebilen hareket bulunan kırıklardır. Faylarda kayma hareketinin olduğu düzleme fay düzlemi (fay aynası) denir. Bununla birlikte kırılma yüzeyinin ayırdığı ve yüzeyin her iki tarafında bulunan kayaç topluluklarına blok adı verilmektedir. Fay düzlemi üzerine yaslandıığında üstte kalan bloğa tavan, altta kalan bloğa ise taban bloğu denilmektedir. Faylar, blokların hareket yönü ile fay düzlemi arasındaki geometrik ilişkiye göre eğim, doğrultu ve yanal atımlı faylar olarak gruplandırılır.

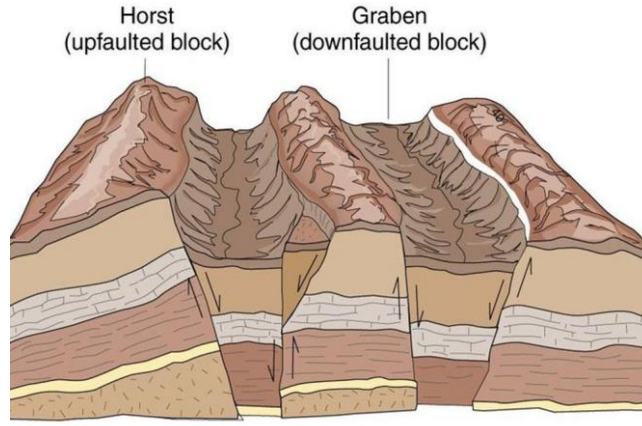
2.3.1 Eğim Atımlı Faylar

Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı doğru kayması sonucu oluşan faylara eğim atımlı normal fay denir. Düzlem üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarıya doğru hareket etmesi sonucu oluşan faylara ise eğim atımlı ters fay denir.



Şekil 2.4 Eğim atımlı normal ve ters fay (İnt. Kyn. 6).

Fay düzleminin altında kalan bloğa taban bloğu, fay düzleminin üzerinde kalan bloğa ise tavan bloğu denilmektedir. Bazen iki yanı da normal faylar tarafından düşürülmüş olan tavan blokları, çevrelerini sınırlayan taban bloklarına göre derin vadiler oluşturabilirler. Her iki yanı normal faylarla sınırlandırılmış olan bu tür çöküntü alanlarına graben adı verilir. Bunun karşıtı olarak da her iki yanı normal faylarla sınırlandırılmış yükselti alanları ise horst olarak adlandırılır. Ege bölgesinin iç kesimlerinde gelişen büyük akarsu vadileri ve bu vadiler arasında yer alan faylarla sınırlandırılmış yüksek sırtlar ile kıyılarıdaki koy-körfez ve aralarındaki yarım adalar, gerilme rejimi altında gelişen horst-graben sisteminin bir ürünüdürler.



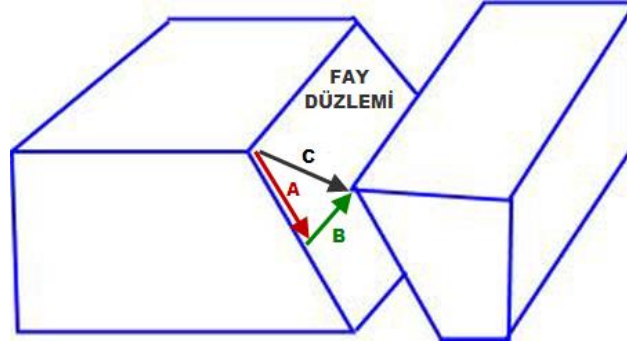
Şekil 2.5 Horst ve Graben oluşumu (İnt. Kyn. 7).

2.3.2 Doğrultu Atımlı Faylar

Fay düzlemine göre düzlemin her iki tarafındaki blokları, yatay olacak şekilde birbirinden ters yönde hareket etmiş olan faylara doğrultu atımlı fay denir. Doğrultu atımlı faylarda her iki blok birbirinden yatay yönde uzaklaşmaktadır. Bu faylarda yatay atım söz konusudur. Kayma ve atım yönüne göre bu faylar sağ veya sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak isimlendirilmektedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı faylarda, bloklardan biri üzerinde durup karşı bloğa bakan bir kimseye göre karşı blok sağa doğru hareket etmektedir. Sol yönlü doğrultu atımlı faylarda ise karşı blok sol yönlü olarak hareket etmektedir. Ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayı (KAF) doğrultu atımlı faylara örnek gösterilebilir (Tiryakioğlu 2012).

2.3.3 Yanal Atımlı Faylar

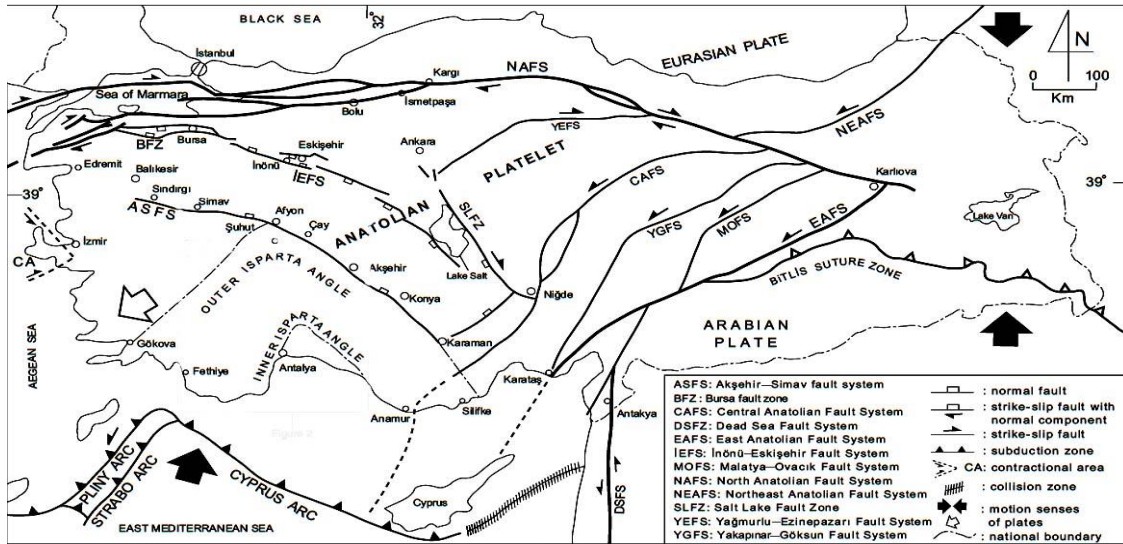
Yanal atımlı faylar doğrultu atımlı ve eğim atımlı fayların bileşkesi durumudur. Kayma hareketi ne fay düzleminin eğimi yönünde ne de doğrultusu istikametindedir. Bu tür faylar yanal, verrev ve oblik isimleri ile de bilinmektedir. Eğim atımlı faylar gibi tavan ve taban bloğunun birbirine göre hareketiyle ters ve normal fay adını almaktadır. Birçok eğim ve doğrultu atımlı faylar incelendiğinde aslında yanal atımlı fay olukları görülmüştür. Bu tür fayları belirlemek için fay aynalarındaki fay çizikleri dikkatle incelenmelidir (Karaman 2006, Tiryakioğlu 2012). Şekil 2.6'da yanal atımlı bir fayda A eğim atım bileşenini, B yanal atım bileşenini, C net atım bileşenini göstermektedir.



Şekil 2.6 Yanal atımlı fay şekli (Tiryakioğlu 2012).

2.4 Akşehir – Sultandağı Fay Zonu

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) ilk olarak Koçyiğit (1984) tarafından adlandırılmış olup, doğuda Konya ili güneyi ile batıda Balıkesir arasında uzanan yaklaşık 500 km uzunluğunda bir zondur (Şekil 2.7). Fay sistemi içerisinde, sistemin genel gidişine paralel çok sayıda horst ve graben türü yapılar bulunmaktadır. Oblik/eğim atımlı normal fay segmentleri ise fayın temel yapısını oluşturmaktadır. Konya, Afyon-Akşehir, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenleri, ASFS sistemi içerisinde gelişen önemli neotektonik yapılardır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit *et al.* 2002, Koçyiğit ve Deveci 2007).



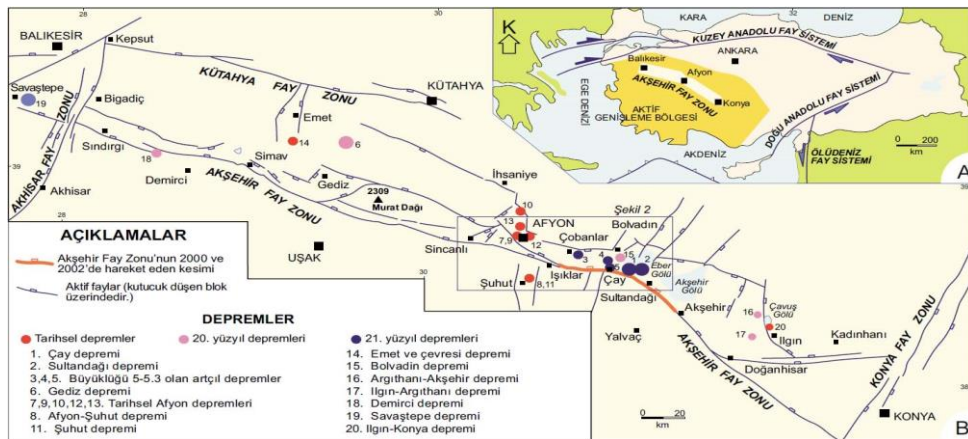
Şekil 2.7 Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)'nin Türkiye'nin ve yakın çevresinin neotektonik yapısı içerisindeki yerini gösteren büyük aktif fay sistemleri ve fay zonlarını gösteren harita (Demirtaş, R., Ercan, S., Demir, B., Aktan, M., 2008).

Tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları bu sistem içerisinde yüzey kırığı oluşturmuş çok sayıda depremin varlığına işaret etmektedir. Tarihsel dönemde şiddetleri VI ile X arasında değişen ve ilki M.S. 94 yılında kayıt altına alınan tarihsel dönem deprem verileri, bu depremlerin baskın olarak Afyon-Akşehir Grabeni'nin batı bölümünde yer alan Afyonkarahisar ve daha güneydeki Şuhut'da meydana geldiğine işaret etmektedir. ASFS içerisindeki en son yıkıcı deprem 2011 yılında Simav'da meydana gelmiştir Bu depremin büyüklüğü Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından M=5.9 olarak belirlenmiştir. ASFS'nin kuzeybatı kesiminde meydana gelen 1928 Emet (M:6.2), 1944 Şaphane (6.2), 1969 Demirci (M:5.9), 1970 Gediz (M:7.2), 1979 Çavdarhisar (M:5.9) ve 2011 Simav (M:5.9) depremleri (Ergin vd. 1967, Soysal vd. 1981, Eyidoğan vd. 1991, Ambraseys ve Finkel 1995) sistemin günümüzde de aktif olduğunun bir göstergesidir (Şekil 2.7).

ASFS'nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon-Akşehir grabeni 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir bölgedir (Koçyiğit 1984, Koçyiğit *et al.* 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003). Aletsel dönemde meydana gelen orta büyüklükteki depremler baskın olarak Afyon-Akşehir Grabeni'nin doğu ve orta bölümlerinde yer alan Sultandağı Fayı üzerinde yoğunlaşmıştır. Afyon-Akşehir grabeni içerisinde yer alan ve grabenin güney kenar faylarından bir tanesi olan Sultandağı Fayı yaklaşık 90 km uzunluğunda eğim atımlı normal faydır. Batıda Çay ile doğuda Doğanhisar arasında morfolojik olarak belirgin sarplıklar boyunca takip edilebilir. Grabenin kuzey kenar faylarından birisi olan Bolvadin Fayı, yaklaşık 10 km uzunluğunda, KD-GB uzanımlı, eğim atımlı normal fay karakterinde çalışan aktif bir faydır. Kuzeydoğusu boyunca morfolojik olarak belirgin çizgisellik sunan fay, güneybatısında alüvyon zemin üzerine kurulu olan Bolvadin yerleşim alanı içerisine girer ve bu noktadan itibaren takip edilemez. Afyon-Akşehir grabeni içerisinde meydana gelen orta büyüklükteki aletsel dönem depremlerin zaman ve dışmerkez dağılımları, Sultandağı Fayı üzerinde güneydoğudan kuzeybatıya doğru bir deprem göçünün varlığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 2.7) (Demirtaş *et al.* 2002, Emre *et al.* 2003). Sultandağı Fayı'nın doğusunda, 1921 'de Argitanlı-Akşehir depremi ile başlayan, 1946'da Argitanlı, 2000 yılında ise Sultandağı güneydoğusunda etkili olan sismik hareketlilik son olarak 3 Şubat 2002'de Sultandağı ve Çay bölgelerinde yüzey kırığı oluşturmuştur. 3 Şubat 2002

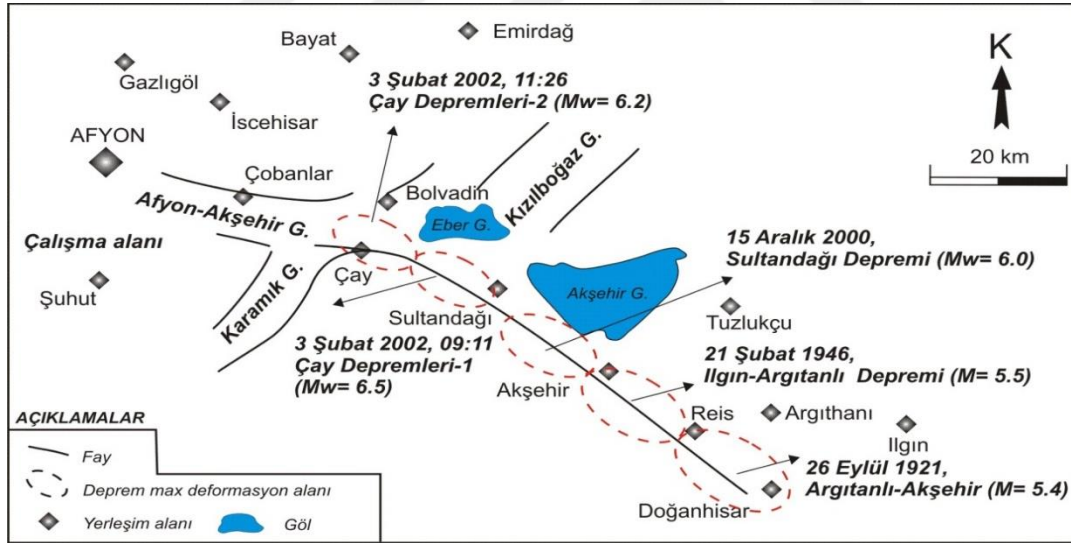
tarihinde meydana gelen Çay depremleri ise, Çay ile Sultandağı arasında ve Çay batısında 30 cm'e varan düşey yerdeğiştirmeye sahip yaklaşık 20 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturmuştur, ilk deprem (Mw: 6.5) Eber gölü güneyinde saat 09:11'de, ikinci deprem ise 11:26'da Çay batısında meydana gelmiştir (Mw: 6.2). Son depremlerden sonra, bu deprem göçünün KB'ya doğru mu devam edeceği yoksa Sultandağı fayı ile sınırlı mı kalacağı? Ya da farklı bir doğrultuda mı devam edeceği? soruları bir çok araştırmacı tarafından tartışılmıştır ve yakın gelecekte fayın Çay'ın batısında kalan parçasında yüksek sismik riske dikkat çekmişlerdir (Koçyiğit ve Özacar 2003, Yürür *et al.* 2003, Ulusay *et al.* 2004, Akyüz *et al.* 2006).

Graben içerisindeki aktif tektonik konulu çalışmalar azdır ve 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri sonrası yoğunlaşmıştır (Demirtaş *et al.* 2002, Emre *et al.* 2003, Koçyiğit ve Özacar 2003, Özden *et al.* 2002, Yürür *et al.* 2003, Ulusay *et al.* 2004, Akyüz *et al.* 2006). Bu çalışmalarda özetle, 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri ile Maltepe ve Çay bölgelerinde meydana gelen yüzey kırıkları haritalanmış, depremi üreten fay segmentleri tanımlanmış ve bölgenin depremselliği tartışılmıştır. Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde yer alan diri faylar üzerinde yapılan ilk ve tek paleosismoloji çalışmasını Akyüz vd. (2006) yapmıştır. Araştırmacılar, Akşehir Fay Zonunun Maltepe ve Çay segmentleri üzerinde hendek çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Maltepe hendeğinde, MS 1150 sonrasındaki bir tarihe yaşlandırılan ve 3 Şubat depremi ile benzer düşey yerdeğiştirmeye sahip bir önceki depreme ait izler tanımlanmışlardır. Çay ilçesinde açılan bir diğer hendek çalışmasında ise MS 760 öncesi olarak tarihlendirilen bir olay tanımlanmıştır.



Şekil 2.8 A) Türkiye ve yakın çevresini etkileyen önemli fay sistemleri B) Akşehir Fay Zonu ve bu zon içerisinde gelişmiş önemli depremleri gösteren harita (Koçyiğit *et al.* 2002).

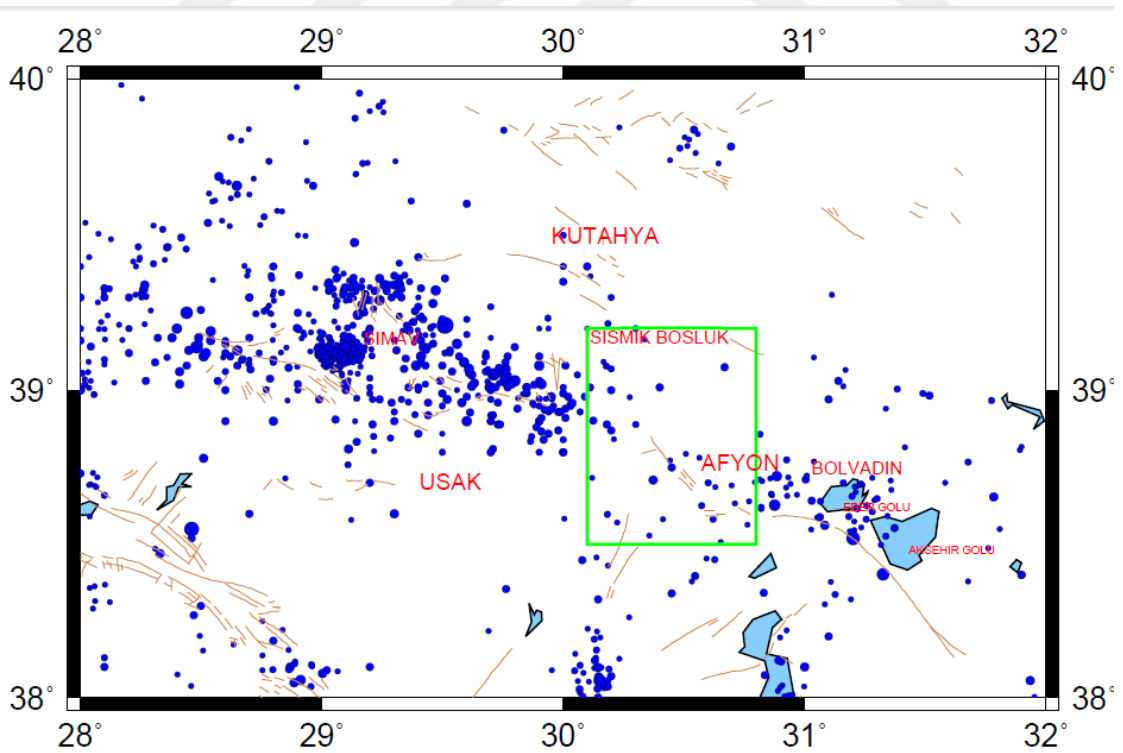
Akyüz vd. (2006) Akşehir fayı üzerindeki kırılmamış fay parçalarının olduğunu ve yer belirtmeden gelecekte benzer büyüklüklerde depremlerin beklendiğini ifade etmişlerdir. Yine 3 Şubat 2002 Çay depremi sonrası yapılan bir başka çalışmada Demirtaş vd. (2002), kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün devam edeceğini ve gelecekte Çayın batısında (Maltepe batısı-Çobanlar güneyi) kalan parçasında da benzer büyüklükte bir deprem olma olasılığının yüksek olduğunu açıklamışlardır. Benzer şekilde, Koçyiğit vd. (2002) hazırladıkları raporda Afyonkarahisar ili ve yakın çevresinde sismik boşluk özelliğini koruduğunu belirtmektedir. Daha doğuda yer alan Doğanhisar-Argıthanı-İlgın çevresinde sırayla $M_s = 5.4$ ve 5.5 büyüklüğündeki 1921 ve 1946 depremleriyle önemli miktarda enerji boşalımı (serbestlemesi) olduğunu belirtmiştir. Eber Gölü ve yakın çevresinde ise, 15 Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve onların artçıl şokları ile önemli miktarda enerji boşalımı gerçekleşmiş olup, bu bölge deprem tehlikesini büyük ölçüde atlatmış gözükmektedir. Ancak Afyonkarahisar ili yakın çevresinde yeni depremlerin beklendiğini belirtmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Sultandağı Fayı boyunca son yüzyılda (1900-2014) meydana gelen yıkıcı depremlerin güneydoğudan kuzeybatıya doğru zaman içerisindeki göçünü gösteren harita Demirtaş vd. (2002) 'den değiştirilmiştir.

Aktuğ (2009)'da 03.02.2002 Sultandağı depreminin ilk çözümler depremin geçmişte yoğun depremselliğin yaşandığı Konya-Afyonkarahisar-Balıkesir hattı yakınında Eber ve Akşehir Gölleri arasında meydana geldiğini belirtmiştir. Koçyiğit vd. (2002) depremin Koçyiğit (1984)'de Akşehir Fay Zonu olarak tanımlanan zonda meydana gelerek 2000 Sultandağ Depremi'nin kuzey-kuzey-batıya doğru devamı şeklinde yorumlamıştır. Buna

karşın Demirtaş vd. (2003) ise ilk depremin Sultandağ Fayı üzerinde diğerlerinin ise Eber Gölü'nün hemen güneyinde yer alan Üçkuyu Fayları üzerinde meydana geldiğini iddia etmektedir. Koçyiğit vd. (2002)'ye benzer şekilde depremin Akşehir-Afyonkarahisar Grabeninin batı ucunu oluşturan Çay-Eber Fayı üzerinde meydana geldiğini belirtmektedir. Gerek 2000, gerekse 2002 yılında meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümleri normal bir faylanmaya işaret etmektedir. Bununla beraber Çay bölgesini de içine alan doğuda Fethiye-Burdur Fay Zonu batıda Akşehir Fay Zonu ile sınırlanan Isparta açısının neotektonik rejimi hakkında farklı görüşler mevcuttur (Barka *et al.* 1995, Koçyiğit 1984, Şaroğlu *et al.* 1987, Koçyiğit 2005). Dışmerkezinin Çay ilçesi civarında yer aldığı bu deprem sismik etkinliği uzun zamandır bilinen Afyonkarahisar-Akşehir grabeninin güney kenar fayı veya faylarından kaynaklanmıştır. Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda uzanan Sultandağları yapısal olarak bir horst durumunda olup, Akşehir ovasını sınırlayan yamacı bir eğim atımlı normal fay karakterindedir (Gökten *et al.* 2003). Yapılan GNSS ölçüleri ile bölgede 2002 depreminin meydana getirdiği deformasyon miktarını hesaplamıştır.



Şekil 2.10 (1964-2014) meydana gelen 3 ve üzeri depremler ve sismik boşluk.

3. GNSS YÖNTEMİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN İNCELENMESİ

Depremler, geçmişten günümüze birçok can ve mal kayıplarına neden olmuş doğal bir afettir. Bu nedenle depremler, önceden tahmin edilebilir gerekli tedbirlerin alınabilmesi için çoğu bilim insanının araştırma konusu olmuştur.

Depremlerin önceden tahmin edilmesi için kullanılan yöntemlerden bazıları, radon gazı ölçümleri, deniz seviyesindeki hareketlerin izlenmesi, yer altı su seviyeleri değişimlerinin araştırılması, sismisite çalışmaları, gravite çalışmaları, teknomanyetik çalışmalar ve yer kabuğu hareketlerinin ölçülmesi gibi yöntemlerdir (Özmen 1995).

Yer kabuğundaki gerilmelere ve depremlere neden olan hareketlerin yeri, yönü ve büyüklüğünün bulunması jeodezik ölçümlerle yapılmaktadır. Arazide belirgin olan fay kırıklarının olduğu yerlere tesis edilen ölçüm noktaları arasında bir kontrol ağı oluşturularak her yıl belirli periyotlarla yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu yer kabuğu hareketleri jeodezik olarak incelenmiş olur.

Jeodezik ölçmelerle tektonik hareketler arasında bağ kurulan ilk çalışma 1892 yılında J.J.A. Müller tarafından Tapanuli, Sumatra depreminde yapılmıştır. J.J.A. Müller, deprem öncesinde yapılan açı ölçümleri ile deprem sonrası yapılan açı ölçümleri arasındaki farklılığın depremden kaynaklandığını tespit etmiştir (Yeats *et al.* 1997).

Jeodezik yöntemlerle geniş alanda yapılan ilk çalışma ise, deprem öncesinde San Andreas fayı üzerinde 1851-1865, 1874-1892 yılları arasında ve deprem sonrasında 1906 yılında yapılan ve de H.F. Reid'in elastik yer değiştirme teoresine altlık oluşturan çalışmadır. Bu çalışmada deprem öncesinde yapılan iki grup ölçme ile deprem sonrasındaki üçüncü grup ölçümler karşılaştırılmış olup; San Andreas Fayının batı kısmının doğu kısmına göre 3.2 metre kuzeye doğru hareket ettiği ortaya çıkmıştır. H.F. Reid, bu çalışmalar sonucunda deprem olmadan önce yer kabuğu üzerinde biriken elastik gerilimin depremle beraber boşaldığı tezini ortaya koymuştur (Çakmak 2001).

Klasik jeodezik yöntemlerde de teknolojik gelişmelere paralel olarak zaman içinde gelişmeler olmuştur. Jeodezik ölçümler ilk olarak klasik açı ve mesafe ölçümü ile başlamış, sonrasında elektronik uzunluk ve açı ölçmeleri ve son olarakta 1980'li yıllarda sivil kullanıma da açılan uzay jeodezi ile günümüze kadar birçok gelişme yaşanmıştır.

Yer kabuğu hareketlerinin incelenmesiyle günümüzde büyük depremlerin nerelerde olacağı konusunda önceden tahminler yapılabilmektedir. Yer kabuğu hareketlerinden dolayı litosfer kısmındaki levhalarda deformasyonlar oluşmaktadır. Deformasyonlar sonucunda levha ve faylardaki iki nokta arasındaki miktar yıllık 100 mm'ye kadar çıkabilmektedir (Herring 1999). Bu miktarlar uzay jeodezisinin gelişmesiyle VLBI (Very Long Base Interferometry), SLR (Satellite Long Range) ve GNSS yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. GNSS yöntemi VLBI ve SLR yöntemlerine göre daha ekonomik, kullanım kolaylığı, zaman konusunda daha avantajlı ve her türlü hava şartında ölçüm yapabileme imkanı sağladığı için daha çok tercih edilmektedir.

Uydu jeodezi levha hareketlerinin incelenmesinde önemli bir role sahiptir. GNSS teknolojisi, tektonik hareketlerin zamana bağlı hareketlerini incelenmesine ve bu sayede deprem riskinin değerlendirilmesi açısından fikir sahibi olunmasına katkı sağlamaktadır. GNSS ile tektonik hareketler incelenirken, fay kırıkları ile ayrılan blokların tamamını temsil edecek şekilde faya yakın ve uzak çevresine yeteri kadar GNSS noktası tesis edilerek bir ağ tasarlanır. Bu ağdaki noktalarda sürekli ya da belli aralıklarla kampanya tipi gözlemler yapılır. Bu gözlemlerden elde edilen ölçüler, yeryüzüne yayılmış ve koordinatı çok uzun süreler boyunca ölçülen global noktalardan faydalanılarak değerlendirilir. Değerlendirme neticesinde epoklar arasındaki değişimlere göre hesaplanan yer değiştirme vektörleri ile bölgede oluşan gerilme ve sıkışma miktarları doğrultusunda olası bir deprem hakkında bilgi sahibi olunması mümkündür.

3.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)

İnsanoğlu geçmişten bu yana konumunu belirleyebilmek için birçok yöntem kullanmıştır. Bunlardan bazıları rüzgar yönleri, yıldızlar, kaba zaman ölçümleri, deniz fenerleri ve haritalara işlenmiş arazi işaretleri gibi yapay navigasyon araçlarıdır. Bunlardan en önemlisi de günümüz uzay tabanlı yapay uydu sistemlerinin gelişimine ışık tutan gök cisimlerine bakarak yön tayininin yapılmasıdır.

Uydu jeodezisinde gelişmeler, 1957 yılında ilk Rus uydusu Sputnik-1'in uzaya gönderilmesi ile başlamıştır. Uydu ile yeryüzünde bulunan sabit bir relatif hareketin meydana getirdiği Doppler frekansı değişiminin analizi ile uydu için bir yörünge belirlenmiştir. Yörüngede oluşan değişiklikler daha sonra yerin çekim alanının

belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra bunu, önceden belirlenmiş olan uydu yörüngelerinden yararlanılarak herhangi bir gözlem yerinde Doppler frekans değişiminin ölçülmesi ile o yerin konumunun bulunması takip etmiştir (Gökgöz 1982).

Doppler sistemi, ABD Deniz Kuvvetleri için kesin bir navigasyon sistemi için geliştirilmiş ve 1964 yılında işlemeye başlamıştır. Üç yıl sonra 1967 yılında ABD Navigasyon Uydu Sistemi ya da Transit olarak adlandırılan herkesin kullanabileceği bir sistem haline getirilmiştir. Transit'ten yola çıkılarak hassas konum belirlemeye olanak sağlayan yeni sistemlere ihtiyaç duyulmaya başlandığı ortaya çıkmıştır. 1980'li yıllara gelindiğinde ABD'nin geliştirdiği GPS (Global Positioning System) kullanılmaya başlanmıştır. Askeri amaçlı kullanılan bu sistem daha sonra sivil kullanıcılara da açılmıştır. GPS'in ardından Rusya GLONASS (Global Navigation Satellite System)'ı, Avrupa Birliği ülkeleri de GALİLEO uydu konumlama sistemini kurmuştur.

GNSS, ABD'nin GPS, Rusya'nın GLONASS, Avrupa Birliği'nin GALİLEO, Çin Halk Cumhuriyeti'nin BEİDOU ve benzer uydu sistemlerini kapsayan, yaklaşık 80 uyduya sahip konum belirleme sisteminin genel adıdır.

3.1.1 GPS

GPS, yeryüzü üzerinde her türlü hava şartında, yüksek doğrulukta konum bilgisi veren, önceleri askeri amaçlı kullanılan sonrasında sivil kullanıma açılan ABD tarafından geliştirilen uzay tabanlı konum belirleme sistemidir.

GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür. Uzay bölümü, Ekvator ile 55° eğim yapan 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiş 32 GPS uydusundan oluşmaktadır ve sistemin merkezidir. İçerisinde sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilator ve mikro işlemci bulunan uydular yaklaşık 430 kg ağırlığındadır. Uydular, yeryüzünden yaklaşık 20 200 km uzaklıktadır ve 11 saat 58 dakikada tam bir devir yaparlar. Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda en az 4, en fazla 10 adet uydu görülmektedir. Uydular, güneş enerjisi ile çalışırlar. Güneş enerjisinde oluşabilecek kesintilere karşı yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de ateşleyici roketleri vardır. Uydular saatte yaklaşık 11265 km hızla hareket etmektedirler (Zorlu 2010).

Uydu sinyalleri temel frekans olan 10.23 MHz'den ve temel frekans olan atomik saatlerden üretilmiştir. Temel frekansın 154 ile çarpılmasından L1 taşıyıcı dalga frekansı ($L1=1575.42$ MHz), 120 ile çarpılmasından ise L2 taşıyıcı dalga frekansı ($L2=1227.60$ MHz) elde edilir. Taşıyıcı dalga frekansları, yörünge parametreleri, uydu saat düzeltmeleri gibi verilerin yeryüzündeki alıcıya ulaştırılabilmesi için kodlarla ve navigasyon mesaj verileri ile entegre edilmiştir. Bu entegre işlemi ile her uyduya tek anlamlı PRN (Pseudo Random Numbers) kod numarası verilmiştir. Tüm uydular aynı taşıyıcı frekansta veri yayını yapmasına rağmen farklı PRN kod modülasyonu sayesinde birbiri ile karışmamaktadır. L1 taşıyıcı frekansı, P kod, C/A kod ve uydu mesajlarını taşırken, L2 taşıyıcı frekansı ise sadece P kod ve uydu mesajlarını taşımaktadır. GPS'in elektromanyetik spektrumunda 1381.05 MHz frekansında olan L3 taşıyıcısı da bulunmaktadır. Ayrıca GPS modernizasyonu kapsamında uydulara L2C ve L5 sinyalleri de eklenmiştir. L5 sinyalinin taşıyıcı frekansı 1176.45 MHz'dir (Derelioğlu 2007, Tiryakioğlu 2012).

Kontrol bölümünde, GPS uyduları sürekli izlenerek doğru yörünge ve zaman bilgileri sağlanmaktadır. GPS uydularının izlenebilmesi için yeryüzünde beş adet istasyon bulunmaktadır. Bunların dört tanesi insansız, bir tanesi ise insanlı kontrol merkezidir. İnsansız kontrol merkezleri, topladıkları verileri ana merkeze gönderir ve ana merkezde bu veriler değerlendirilerek gerekli düzeltmeler uydulara gönderilir (Hofmann-Wellenhof 2008, Zorlu 2010).



Resim 3.1 Hawaii’de bulunan Kaena Uydu İzleme İstasyonu (İnt. Kyn. 8).

Kullanıcı bölümü ise, yerdeki alıcılardır. Çeşitli amaçlar doğrultusunda GPS kullanarak konum belirlemek isteyen kişi sistemin kullanıcı kısmını oluşturmaktadır.

3.1.2 GLONASS

GLONASS (Global Navigation Satellite System) Sovyetler Birliği tarafından 1970’de güvenlik amacıyla tasarlanan özellikle Ortadoğu, Balkanlar, Orta Asya ve Kuzey Avrupa’yı kapsayan bir uydu sistemidir. GLONASS, ABD’nin geliştirdiği GPS sistemine karşılık yapılmış bir proje olup, eski Rus Doppler sistemi olan TSICADA’nın yerine geliştirilmiştir. Dünyanın ikinci GNSS sistemi olan GLONASS, 1980’li yılların başlarında tasarlanmıştır ve sistemin ilk uydusu Sovyetler Birliği tarafından 12 Ekim 1982 yılında uzaya gönderilmiştir. Sistem, 1995 yılında sivil kullanıcıların kullanımına açılmak istenmiş; ancak mali problemlerden dolayı 24 uyduluk plana ulaşamamış ve sistemin geliştirilmesine ara verilmiştir. GLONASS sistemi, 2003 yılında GLONASS M, 2005 yılında da GLONASS K uydularının uzaya gönderilmesiyle 3 yörüngesel düzleme yerleştirilmiş 21’i aktif, 3’ü yedek olmak üzere toplamda 24 uydudan oluşmaktadır. GLONASS sistemi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere 3

bölümden oluşmaktadır. GLONASS sistemi, 19 100 km yükseklikte olup, ekvator ile 64.8° eğim açısına sahip yaklaşık daireseldir. Uydular 11 saat 15 dakika yörünge periyoduna sahiptirler.

GLONASS sisteminde iki farklı frekansta yayın yapılmaktadır. Bu frekanslar L1 (2005 yılının sonuna kadar 1602.5625-1615.5 MHz) ve L2 (7/9 L1) frekanslarıdır. P kod L1 ve L2 her iki frekans üzerinden, C/A kod ise yalnız L1 frekansı üzerinden yayınlanmaktadır. GLONASS, 2.5 dakikada navigasyon mesajını yayınlar; ancak efemeris ve saat bilgileri 30 saniyede bir tekrar edilmektedir. P kod ise 12 dakikada yayınlanmaktadır, efemeris ve saat bilgileri 10 saniyede bir tekrar etmektedir (Kaplan 2006, Yalçın 2007, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017).

3.1.3 Galileo

Galileo, ABD'nin geliştirdiği GPS sisteminin Avrupa kaynaklı alternatifi olarak tasarlanmış bir navigasyon sistemidir. Galileo'nun geliştirilmesi için 26 Mart 2002 tarihindeki Avrupa Ulaştırma Bakanları Kurulu toplantısında 450 Milyon avro'luk bir bütçe ayrılmıştır. Bu nedenle bugüne kadar Avrupa kurumları ile Avrupa Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency) tarafından yürütülen en büyük proje olma özelliğindedir (Kahveci ve Yıldız 2009). Galileo 2000 yılında tasarlanmıştır, 2002–2005 yılları arasında geliştirilmesi, yer istasyonları ile altyapı tesislerinin yapılması ve test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sistemin ilk uydusu olan Giove uydusu, 28 Aralık 2005 tarihinde Kazakistan Baykonur Uzay Üssü'nden fırlatılmıştır. 21 Ekim 2011 tarihinde dört operasyonel uydudan ilk ikisi sistemi doğrulamak için devreye alınmıştır. Sonrasında gönderilen iki uydu ise Galileo'yu uçtan uca kontrol etmek için 2 Ekim 2012 tarihinde devreye alınmıştır. Sadece Galileo uydularından yayılan sinyallerle bir pozisyonun ilk belirlenmesi 12 Mart 2013 tarihinde gerçekleştirilmiştir. 30 uydudan oluşan Galileo sisteminin 2019 yılında tamamlanması beklenilmektedir (İnt. Kyn. 9).

Galileo sisteminde her biri yaklaşık 675 kg ağırlığında ve boyutları 2.7 m x 1.2 m x 1.1 m olan 27'si asil, 3'ü yedek olmak üzere toplam 30 adet uydudan oluşmaktadır. Galileo uydularının yörünge yüksekliği yaklaşık olarak 23616 km'dir ve yörüngeler ekvatorla 56°'lik açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bir uydunun dolanım süresi 14 saat 4 dakika olacak şekilde hesaplanmıştır. Galileo uyduları 6 navigasyon sinyali gönderecek ve bu

sinyalleri 6 frekans bandında üretilecektir. Bu sinyaller L1F, L1P, E5a, E5b, E6C ve E6P'dir. Bu sinyallerin taşıyıcı frekansları olan E5 sinyali için 1164-1215 MHz, E6 sinyali için 1260-1300 MHz ve L1 sinyali için 1559-1592 Mhz olarak belirlenmiştir (Kaplan 2006, Pratt 2004, Tiryakioğlu 2012).

Galileo sistemi GPS referans koordinat sistemi WGS84'den farklı olarak GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) kullanmaktadır ve referans zamanı olarak da GST (Galileo System Time) kullanmaktadır (Kaplan 2006, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017).

3.1.4 Diğer Konumlama Sistemleri

BeiDou, Çin'deki deniz araçlarının navigasyonunu sağlamak için 1983 yılında Çin Uzay Teknolojisi (CAST: China Academy of Space Technology) tarafından geliştirilen uzay tabanlı navigasyon ağı sistemidir. BeiDou'nun küresel konumlama sistemlerine entegre olması için 2007 yılında meydana gelen planlama değişikliği ile COMPASS ismini almıştır ve 2020 yılına kadar 35 uyduya sahip olması hedeflenmektedir. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık 21500 km olacaktır. Bir uydunun yörünge düzleminde tam dolanım süresi 12 saat 35 dakikadır ve yörüngeler ekvatorla 55° açı yapmaktadır. COMPASS uydu ağının sinyalleri B1, B1-2, B2 ve B3 olmak üzere 4 frekans bandında üretilmiştir. B1 sinyali 1561.10 MHz, B1-2 sinyali 1589.74 MHz, B2 sinyali 1207.14 MHz ve B3 sinyali 1268.52 MHz sinyalinin taşıyıcı frekansından yayınlanmaktadır (Tiryakioğlu 2012).

3.2 GNSS ile Gözlenen Büyüklükler

GNSS ile iki temel büyüklük gözlenmekte olup, bu gözlemler Kod Pseudorange (Kod ön uzunluğu) ve Taşıyıcı Dalga Fazı (Carrier Beat Phase) olarak adlandırılmaktadır. Jeodezik çalışmalar gibi yüksek doğruluk isteyen bilimsel çalışmalarda faz ölçüleri kullanılırken, hassasiyet gerektirmeyen navigasyon amaçlı anlık uygulamalarda ise kod (pseudorange) ölçüleri kullanılmaktadır.

3.2.1 Kod Pseudorange

Pseudorange, GNSS uydularının yayınladığı sinyalin uydudan çıktığı an ile alıcıya ulaştığı an arasındaki ölçülen mesafedir. Ölçülen mesafe, alıcı ile uydu saatlerindeki zaman hatalarından, sinyal gecikmelerinden ve çeşitli etkilerden dolayı hatalı olacaktır

(Karaburun 1998). Bu nedenle model oluşturulamayan saat hatalarının sebep olduğu sapmalardan dolayı ölçülen uydu-alıcı arasındaki mesafe pseudorange (ham uydu-alıcı uzaklığı) olarak adlandırılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009). Ölçülen mesafenin hatalı olmasına sebep olan etkenler dikkate alındığında pseudorange;

$$R_i^k(t_r, t_e) = \rho_i^k(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_k)c + \delta_{ion} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c \quad (3.1)$$

formülü ile ifade edilmektedir.

ρ_i^k	: Uydu alıcı arasındaki geometrik mesafe
i	: Frekans indeksi
t_r, t_e	: Sinyalin uydudan ayrılış zamanı ve alıcıya geliş zamanı
$\delta t_r, \delta t_k$: Alıcı ve uydu saat hataları
c	: Işık hızı
$\delta_{ion}, \delta_{trop}$: İyonosferik ve troposferik etki
$\delta_{tide}, \delta_{rel}$: Gelgit ve rölativistik etki
ε_c	: Diğer etkiler, olarak tanımlanmaktadır (Ray 2000, Xu 2007).

3.2.2 Taşıyıcı Faz

Taşıyıcı fazda uydular konum belirlemek amacıyla yeryüzüne sürekli sinyaller gönderirler. Alıcı, sinyal alması için açıldıktan sonra sürekli olarak faz üretmeye başlar. Alıcı sinyaller, uydunun yayınlamış olduğu sinyalin tam devri ile beraber sayılmaya başlanır ve uydu görüntüden çıkıncaya kadar sayılmaktadır. Faz modelinin matematiksel ifadesi aşağıdaki formülde belirtilmiştir.

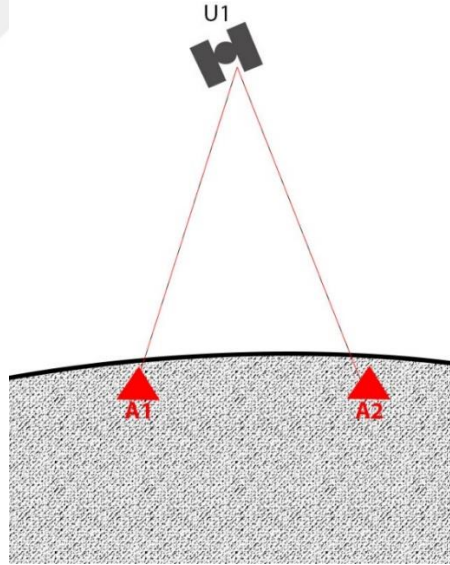
$$\lambda \Phi_i^k(t_r, t_e) = \rho_i^k(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_k)c + \lambda N_i^k - \delta_{ion} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c \quad (3.2)$$

Formülde gösterilen N_i^k uydu ve alıcıya ilişkin (i alıcı, k uydu) faz belirsizliklerini, λ ise dalga boyunu belirtmektedir. Taşıyıcı dalga fazı iyonosferden geçtiğinde hızlandığından için iyonosferden dolayı faz gözlemlerinde getirilecek olan düzeltme “-“ işaretlidir. Kod ölçüleri yavaş hareket ettiğinden dolayı iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri “+” işaretle gösterilir (Kahveci ve Yıldız 2009).

3.2.3 GNSS Gözlemlerine Bağlı Fark Gözlemleri

Kod ve faz gözlemlerinden yararlanarak oluşturulan farklar yardımıyla alıcı saati hataları, uydu saati hataları ve faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) gibi birçok hata kaynağı giderilebilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları alıcılar arasında, uydular arasında, ölçek epokları arasında ya da L1 ve L2 frekansları arasında gibi şekillerde yapılmaktadır.

Tekli farklar, iki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklardan oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Alıcılar arasında tekli fark gözlemleri.

Sırasıyla A1 ve A2 noktalarından k uydusu için t anında ölçülen faz için;

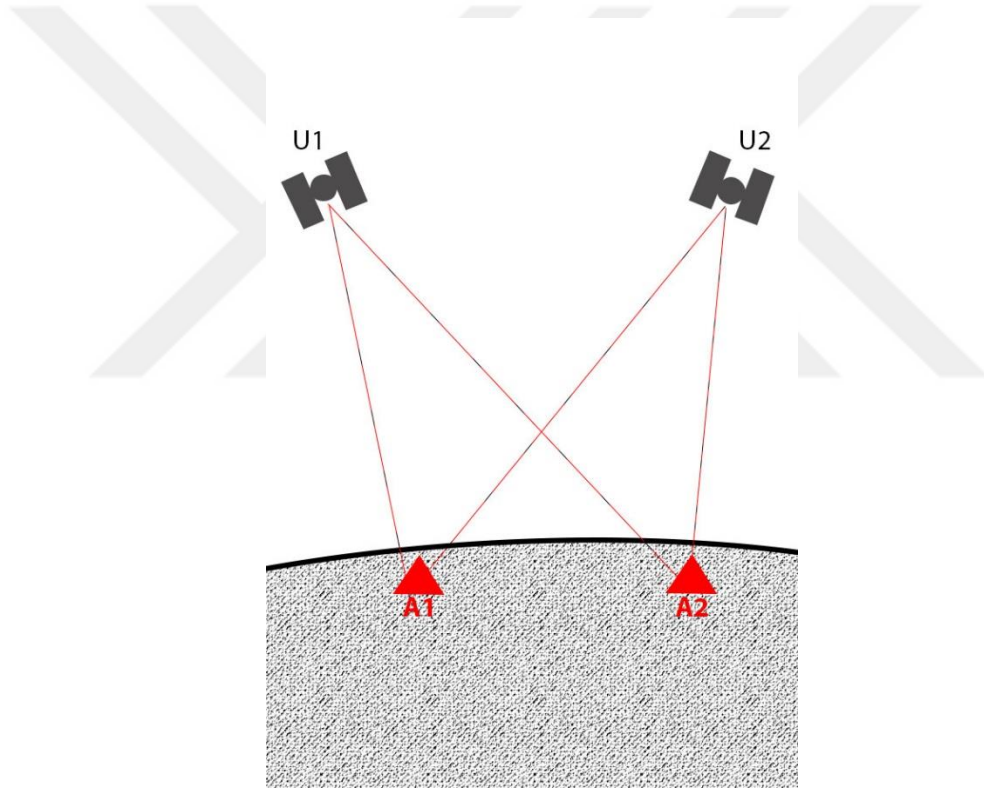
$$\Phi_{A1}^{U1}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{A1}^{U1}(t) + N_{A1}^{U1} + \Phi^{U1}(t) - \Phi_{A1}(t) + \varepsilon_c \quad (3.3)$$

$$\Phi_{A2}^{U1}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{A2}^{U1}(t) + N_{A2}^{U1} + \Phi^{U1}(t) - \Phi_{A2}(t) + \varepsilon_c \quad (3.4)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikleri taraf tarafa çıkarılarak tekli fark tekniğiyle uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı alıcı için oluşturulduğunda alıcı saati hataları giderilmiş olacaktır.

$$\Phi_{A1A2}^{U1}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{A1A2}^{U1}(t) + N_{A1A2}^{U1} + \Phi_{A1A2}^{U1}(t) + \varepsilon_c \quad (3.5)$$

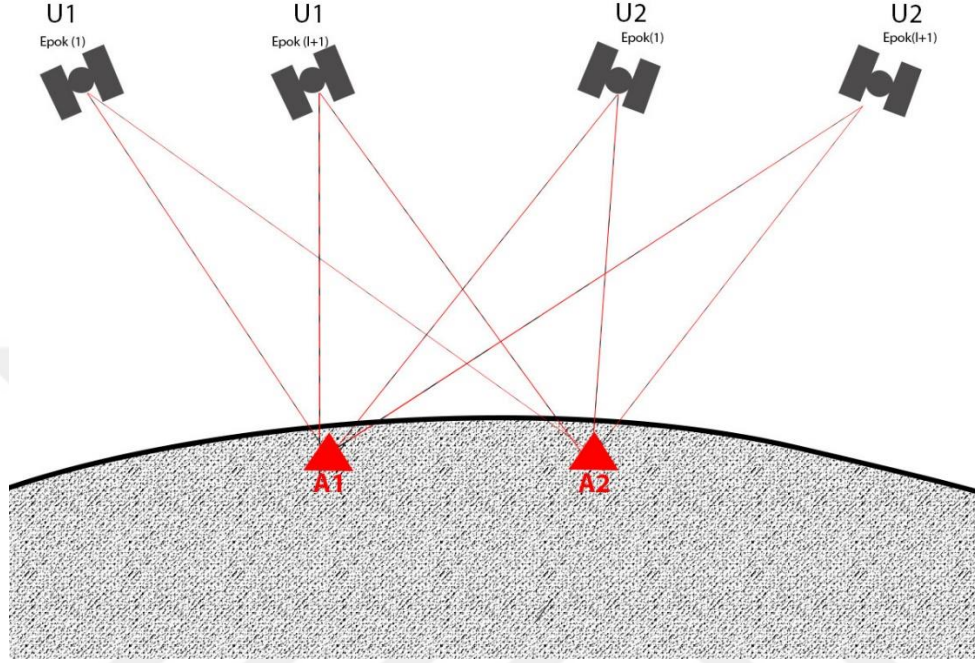
İkili farklar, iki tekli farkın farkının alınmasıyla meydana gelen fark olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle, aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır.



Şekil 3.2 Alıcılar arasında ikili fark gözlemleri.

İkili farklar ile uydu ve alıcı saat hatalarının her ikisi birden giderilmektedir. Genellikle GNSS ölçüm verilerinin değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde kısa baz mesafelerinde troposferik ve iyonosferik etkiler de ortadan kaldırılabilenkte veya minimum seviyeye indirilebilmektedir. (Leick 2004, Kahveci ve Yıldız 2009).

Üçlü fark, iki farklı epokta oluşturulmuş olan iki ikili fark arasındaki fark olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 3.3 Alıcı uydu arasındaki üçlü fark gözlemleri.

Üçlü fark gözlemlerinin oluşturulmasındaki amaç, taşıyıcı dalga faz başlangıcı belirsizliğinin (ambiguity) giderilebilmesidir.

3.3 GNSS Sisteminde Kullanılan Veri Formatları

GNSS sisteminde iki adet veri formatı geliştirilmiştir. Bunlardan ilki diferansiyel konumlama sisteminde ölçümden sonra değerlendirme (post-processing) çalışmaları ile veri arşivleme için geliştirilmiş RINEX formatıdır, diğeri ise gerçek zamanlı (real-time) çalışmalar için geliştirilmiş olan RTCM formatıdır. GNSS alıcısı üreten firmalar, gözlem verilerini genelde kendilerine özgü, yani binary veri formatını kaydedilmesini sağlamaktadır. Bazı firmalar ise, ASCII formatında veri kaydına olanak vermektedirler. GNSS alıcısı üreten firmalar, ölçüm verilerinin kendi yazılımlarının kullanılarak değerlendirilmesini istemektedirler. Farklı birçok noktada yapılan GNSS kampanyalarındaki verilerin tek bir yazılımla değerlendirilebilmesi için ölçümde kullanılan alıcıların aynı tip olması gerekecektir. Aksi takdirde her farklı GNSS alıcısına

ait yazılımın özel dosya formatı olduğu için farklı alıcılarda toplanmış verilerin değerlendirilmesi için verilerin alıcıdan bağımsız formata dönüştürülmesi gerekecektir. Bu nedenle alıcıların topladığı veriler, alıcıdan bağımsız formata dönüştürülerek farklı yazılımlarla değerlendirilebilmektedir. 1989 yılında Las Cruces’de gerçekleştirilen 5. Uluslararası Uydularla Konum Belirleme Jeodezi Sempozyumu’nda, alıcıdan bağımsız değişim formatı (RINEX ; Receiver Independent Exchange format) jeodeziciler için uluslararası standart veri değişimi formatı olarak kabul edilmiştir. Böylece günümüzdeki GNSS kullanıcıları farklı alıcılarda gerçekleştirdiği GNSS ölçülerini, RINEX formatını girdi kabul eden tek bir yazılımla değerlendirme olanağı bulmuştur.

RINEX formatı 4 farklı ASCII dosyasından oluşmaktadır. RINEX dosya isimlendirilmesinde BBBBcccy.xxt şeklinde standart bir yapı kullanılmaktadır.

BBBBcccy.xxt

BBBB : 4 karakterli ölçüm yapılan nokta adı

ccc : Yılın günü (DOY: Day Of Year)

y : Aynı gün içerisindeki dosya sıra numarası

xx : Yıl

t : Dosya tipi (O: gözlem -observation- dosyası, N: GPS navigasyon dosyası, M:meteorolojik veri dosyası, G: Glonass navigasyon dosyası) (Kahveci ve Yıldız, 2012).

Günümüzde hemen tüm ticari ve bilimsel yazılımlar gerek RINEX formatını okumayı gerekse RINEX formatına dönüştürmeyi yapabilmektedirler.

RTCM (The Radio Technical Commission for Maritime Services), GNSS firmaları, kullanıcıları ve Amerika Birleşik Devletleri yöneticilerinden oluşan ekip tarafından kurulmuş olup, bu ekip RTCM mesajlarını geliştirmişlerdir (Bagge 2001). RTCM, gerçek zamanlı veri iletişimi için geliştirilmiştir. Bundan dolayı RTCM, özellikle DGNSS ve RTK çalışmalarında kullanılan önemli bir veri formatı olmuştur (Öcalan ve Soycan 2011, Aladoğan 2017).

3.4 GNSS Verilerinin Programlarla Değerlendirilmesi

GNSS verilerinin analizi, GNSS alıcı üreticileri tarafından yapılan ticari programlar ve bilimsel kuruluşlar tarafından geliştirilen programlarla yapılabilmektedir. Ticari programların kullanımları kolaydır; ancak programlara kullanıcı müdahalesi yok denecek kadar azdır. Bu tür programlar pratik mühendislik faaliyetlerinde tercih edilmektedir. Ticari programlara AOS (Astech Office Suite), Pinnacle, SKI, Ski Pro, TGO (Trimble Geomatics Office), TTC (Trimble Total Control), LGO (Leica Geo Office) gibi programlar örnek olarak verilebilir. Bilimsel programlar ise, tektonik hareketler, deprem araştırmaları ve jeodezik amaçlı yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalar için üniversitelerin ve enstitülerin kullanması amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde birçok bilimsel çalışmada kullanılan GAMIT/GLOBK (GPS at Massachusetts Institute of Technology), BERNESE (University of Bern) ve GIPSY (GPS Inferred Positioning System), GEONAP (Geodetic Navstar Positioning) gibi programlar bilimsel programlara örnek olarak verilebilir.

Bilimsel amaçlı yazılımları kullanarak analiz yapan kişinin GPS ve yazılım konusunda bilgi ve deneyim sahibi olması gerekmektedir. Çünkü bu yazılımlarla yapılacak analizlerde değiştirilecek her bir parametre ya da modellendirmede (alıcı saati modellendirmesi, troposferik modellendirme, faz belirsizliği çözümü vb.) kullanılacak yanlış seçimlerden dolayı elde edilecek sonuçlarda farklılar oluşacaktır (Kahveci ve Yıldız 2005, Maraş 2010).

3.4.1 GAMIT Yazılım Modülü

GAMIT, MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilmiş bilimsel bir yazılımdır. GAMIT yazılımı ile GNSS verilerinin değerlendirilmesi için, ilk olarak farklı markalardaki alıcılarla toplanan verilerin belli bir standarda indirgenmesi için alıcıdan bağımsız değişim formatı olan RINEX (Receiver Independent Exchange Format) veri formatına dönüşümü sağlanmalıdır. GAMIT modülü ile GNSS verilerinin analizinde genel olarak taşıyıcı dalga faz ölçmeleri ve Pseudo-range gözlemleri kullanarak, üç boyutlu koordinatların, atmosferik zenit gecikmelerinin, uydu yörüngelerinin ve dünya dönüklük parametrelerinin kestirimi yapılabilmektedir. Bu işlemler yapılırken faz belirsizliklerinin çözümü için ikili faz farkı yöntemi kullanılmaktadır.

GAMIT yazılımında GNSS verilerinin değerlendirmesinde birçok aşama bulunmaktadır. Bu aşamalar `sh_gamit` komutuyla otomatik yapıldığı gibi tek tek manuel olarak da yapılabilmektedir. Bu komut tek tek yapılan işlem adımlarının sırasıyla otomatik olarak çalışması için geliştirilmiştir. Her iki seçenekte de verilere aynı işlem uygulandığı için herhangi bir değişiklik olmamaktadır.

Bu programların çalıştırılması sonucu FIXDRV’de kullanılacak girdi verisi dosyaları oluşacaktır. FIXDRV ile girdi dosyaları düzenlenir, uydu ve alıcı saatine ait değerleri içeren B ve I dosyaları oluşur. I dosyası her istasyon ve oturum için saat farklarını ve oranlarını içeren bilgilerden oluşur. B dosyası ise, analiz boyunca kontrolü sağlayan bilgilerden oluşmaktadır. ARC ve MODEL programlarının çalışması ile yörünge efemerisleri ve türevlerine ait dosyalar oluşturulur, gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçme değerlerinin farkları hesaplanır. Bunun akabinde AUTCLN programında kullanılmak için C-dosyaları oluşur ve devir kesiklikleri (cycle-slips) ile kaba hataları otomatik olarak düzenlenmesi işlemine geçilir. SOLVE programında tüm parametre değerleri (istasyon konumlarına ve uydu yörüngelerine ait) en küçük kareler yöntemi ile dengelenir ve öncül çözümlere ulaşılır. MODEL, AUTCLN ve SOLVE programlarında elde edilen öncül çözümler yeniden kullanılarak soncul çözümler elde edilir ve bunun sonucunda Q ile H sonuç dosyaları oluşur. Q dosyalarında SOLVE programı sonucu elde edilen tam sayı belirsizliklerinin çözümü ve sonuçların hataları bulunmuş olunur. Bu dosya sayesinde veri işlemin nasıl gerçekleştirildiği adım adım incelenebilmektedir. H dosyaları ise, dengeleme sonrası türetilmiş ölçüler ve kovaryans matrislerinden oluşmaktadır (Çakmak 2001, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015).

3.4.2 GLOBK Yazılım Modülü

GLOBK aşamasında uydu jeodezisi teknikleri ile elde edilen ölçüm verilerinin analizi sonucu ortaya çıkan çözümlerin bir araya getirilmesiyle Kalman Filtresi uygulanması işlemi yapılır. GAMIT modülü tarafından türetilen H dosyaları GLOBK yazılımı için girdi verisi olarak kullanılır. GLOBK yazılımında kullanılan veri; nokta konumları, yörünge parametreleri ve yerin dönüş veri ile ilgili kovaryans matrislerden oluşmaktadır (Herring *et al.* 2015).

GLOBK kısmında genel olarak iki tip Kalman filtresi dengelemesi yapılmaktadır. İleri ve geri çözüm olarak isimlendirilen bu dengeleme işlemlerinden ileri çözüm, ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık kestirimlerini vermektedir. Geri çözüm ise, ileri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin bulunmasını sağlamaktadır. (Herring 1990, MIT 2002c).

GAMIT yazılımı ile oluşturulan nokta ve uydu vektörü sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahiptir. Ancak yüksek oranlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin sürdürülebilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem, koordinatların aynı anda saptanması için birden fazla oturumdan gelen dengelemeleri birleştirme kapasitesine sahip olup, hem nokta hem de uydu parametrelerindeki farklı apriori kabullerin kullanımından ortaya çıkan etkileri test edebilmek için uygulanan bir yöntemdir. Bu olanaklar özellikle güvenilir farklı ağların kullanılması sonucu elde edilen dengelemelerin standart olarak birleştirilmesinde uygundur (Yavaşoğlu 2003, Herring *et al.* 2015).

4. YAMULMA (GERİNİM)

Yamulma, bir cismin komşu noktaları arasındaki fiziksel ve mekanik bağlar birbirinden ayrılmadan, gerilmelerin etkisiyle oluşan yer değiştirme hareketleri olarak ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle, bir kütle üzerindeki herhangi bir noktanın yapmış olduğu hareketin vektörel büyüklüğü yer değiştirme olarak belirtilir. Kütle hareketleri, kütlelerin bir bütün olarak yer değiştirmesi (dönmesi, kayması) ve kütle üzerindeki noktaların birbirlerine göre bağıl hareketi olmak üzere iki kısımda düşünülebilir (Tiryakioğlu 2012).

Kütlelerin kayma hareketi, katı blok hareketi olarak da ifade edilebilir. Bu hareket, ideal katı bloğa ya da homojen olarak deforme olabilen kütlelerde görülebilmektedir. Kütle üzerindeki noktaların birbirlerine göre yapmış olduğu hareketlere deformasyon denilmektedir.

Yamulma, kütle üzerinde bulunan noktaların birbirlerine göre yapmış olduğu bağıl hareketleri kapsayan geometrik bir büyüklüktür. Gerilimde olduğu gibi yamulmada da normal ve kayma yamulması olmak üzere iki sınıfta gruplandırılabilir.

Normal yamulma, iki nokta arasındaki uzunluk değişiminin, orijinal uzunluğa bölümü ile elde edilmektedir (Means 1976, Tiryakioğlu 2012). Başlangıç durumunda birbirlerine dik olan iki doğrultu arasındaki açısal değişim kayma yamulması olarak ifade edilir. Dolayısıyla, yamulmada hem açısal değişim hem de boy olarak değişim görülebilmektedir.

Yamulma, kütle üzerindeki noktaların birbirlerine göre bağıl hareketleri ile ilgili geometrik bir büyüklüktür.. Normal yamulma, iki nokta arasındaki uzunluktaki değişimin, orijinal mesafeye bölümüdür. Kayma yamulması ise, başlangıçta birbirlerine dik olan iki doğrultu arasındaki açısal değişimdir. Buradan yola çıkarak yamulmanın boy değişimi ve açı değişimi olarak kendisini iki şekilde göstermektedir. Boyca değişim basma ve çekme gerilimi etkisi altında cisimde meydana gelen boy değişiminin birim uzunluğa düşen miktarıdır.

Birim cismin komşu noktalar arasında fiziksel ve mekanik bağ koptuğu takdirde bu parçalar kuvvetlerin etkisinde öteleme hareketi yaparlar. Aynı şekilde cisim bir bütün halinde şekil değiştirmeksizin ötelenabilir. Anlaşılacağı üzere her yer değiştirme mutlaka

bir biçim değişikliği doğurmaz. Yer değiştirme; yamulma, birim deformasyon, öteleme, dönme ve biçim değişikliğinin genel adıdır. Birim deformasyon birimsiz olması ve temelde bir oranı ifade edemediği için bu adı almıştır. Yer değiştirmelerin izlenmesi için deformasyon alanını en uygun şekilde temsil edecek noktalar seçilmelidir. Yer değiştirmeler ile hesaplanacak gerinim elemanları için gerinimin homojen olduğu kabul edilmelidir. Bu yaklaşımlar sonucunda gerinim problemi, aslında bir dönüşüm problemine dönecektir. Yer değiştirme, aynı noktanın iki farklı zamanda hesaplanan kartezyen koordinatları arasındaki fark olarak düşünülebilmektedir. Bir noktanın t_1 zamanındaki koordinatının homojen deformasyona uğrayarak t_2 zamanında koordinatına haline gelmesi arasındaki ilişki basit bir afin dönüşüm eşitliği ile açıklanabilmektedir.

Genel olarak yamulma analizinde gerekli olan matematiksel işlemler yapıldıktan sonra

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yy} \\ w \\ t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

elde edilir. Burada u_x ve u_y mutlak yer değiştirme elemanlarıdır. Yamulma parametreleri En Küçük Kareler Yöntemine göre belirlenir. Bu parametrelerden yararlanarak da gerinim elips parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

Maksimum ve minimum asal gerinimler,

$$\varepsilon_{mak} / \varepsilon_{min} = \frac{1}{2} \left[(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) \pm \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \right] \quad (4.2)$$

ile hesaplanır (Doğan 2002, Lambek 1988, Brunner 1979, Kakuri and Chen 1992, Deniz 1990).

5. DEPREMSELLİK VE SİSMİK TEHLİKE

Depremsellik kavramı, deprem oluşumunun uzay ve zaman içerisindeki dağılımı ile ilgili detayları kapsamaktadır. Depremsellik çalışmalarının ilk olarak Thomas Oldham ve Montessus de Ballore tarafından yapılmaya başlandığı düşünülmektedir (Purcaru 1975, Richter 1958). Bu bilim adamları, depremlerin uzay ve zaman içerisindeki büyüklüklerini tanımlayabilmek için episantr (dış merkez) haritalarını hazırlamışlardır. Bu çalışmalar depremsellik çalışmalarına ışık tutmuş olup, bu çalışmalardan sonra depremsellik ile ilgili araştırmalar hızlanmıştır. Richter Magnitüd Ölçeğinin ortaya çıkmasıyla birlikte depremsellik çalışmalarında büyük bir ilerleme kaydedilmiştir.

Depremsellik ile ilgili çalışmalar, tarihsel olarak incelendiğinde üç safhada gelişim göstermiştir (Purcaru 1975):

- Benioff tarafından başlatılan **strain boşalımı** ve bununla ilgili olarak St. Amand tarafından ortaya çıkan **tektonik akı** kavramının depremselliğin tanımlanmasında kullanılmıştır (Benioff 1951, St.Amand 1956)
- Depremlerin meydana gelmesinden açığa çıkan, birim alan ve zamana karşılık gelen toplam **sismik enerji** ifadesinin depremsellik kavramının tanımlanmasında kullanılmasıdır (Bath 1956). Sonradan Ullmann ve Maaz deprem enerjisini kullanarak depremselliği farklı bir şekilde tanımlamışlardır (Ullmann and Maaz 1966).
- Depremlerdeki magnitüd-frekans bağıntılarının Gutenberg ve Richter tarafından incelenmesidir (Gutenberg and Richter 1944). Buna bağlı olarak daha sonra depremlerde **enerji-frekans bağıntıları** incelenmiştir (Riznichenko 1958).

Yukarıda belirtilen depremsellik yaklaşımlarında kendilerine özgü yöntemler bulunmaktadır. Ancak bunlar sadece belirli ölçüde depremselliği yansıtabilirler, yani bugünkü depremselliği tam olarak yansıtamazlar.

Depremselliğin günümüzdeki ifadesi, deprem olaylarını ve bunların etkilerini içeren sismik alanın tamamı şeklindedir. Sismik alanı tanımlayan değişkenler, sismik faaliyet, deprem odakları dağılımı, depremsellik düzeyi, sismik faaliyet indeksi, spesifik depremsellik, deprem oluşum frekansı gibi değişkenlerdir.

Depremsellik çalışmalarında deprem kataloğu, depremlerin zaman ve uzay içerisindeki dağılımlarının tanımlanmasında önem arz eden bir parametredir. Bundan dolayı depremsellik analizlerinde katalogların seçimi önemlidir. Katalog seçimlerinde belli kriterler dikkate alınarak uygun deprem kataloğu seçilir.

Bir bölgenin depremselliği, uzaydaki konumuyla bağlantılı olduğu kadar zaman kavramıyla da doğrudan ilişkilidir. Depremsellik çalışmalarında istatistiksel hesaplamalar önemli olduğu için çalışma bölgesindeki geçmiş yıllara ait deprem verileri yapılacak analizlerde kullanılırlar. Bu verilerin zamana göre dağılımı genellikle yıllık periyotlar halinde incelenir ve histogramlar halinde grafik çizimleri yapılır. Bu deprem verileri, magnitüdü dikkate alınmadan grafiklenebildiği gibi, belirli magnitüd değerleri arasındaki depremler ya da belirli bir magnitüd değerinden küçük veya büyük depremler için de grafiklenebilir. Grafiklerle oluşturulan deprem oluş dağılımları, araştırma bölgesinin aktif ve sakin dönemlerini, varsa bunun dönemselliğini, özellikle büyük depremler için belirli bir tekrarlama döneminin olup olmadığını ve şayet varsa bunun oluşum süresinin tespit edilebilmesinde de kullanılır (Wang and Diao 1994).

Çalışma bölgesinin enlem ve boylamları çizilmiş, ölçekli ve episantr koordinatlarına göre depremlerin işaretlenmesi ile elde edilen haritalara dış merkez haritaları denilmektedir. Bu haritalarda çalışma alanında meydana gelmiş tüm depremler işaretlenebildiği gibi, tarihsel ve aletsel dönemlerin ayrı ayrı haritalanması, belirli bir magnitüdden büyük veya küçük depremlerin haritalanması ya da hem süre bazlı hem de magnitüd bazlı sınırlamaların olduğu haritalamalar yapılabilmektedir.

5.1 Frekans – Magnitüd Bağıntısı

Frekans – magnitüd bağıntıları, deprem oluşumunun fiziği ile doğrudan bağlantılı olduğundan depremsellik çalışmalarında önemli bir yere sahiptir ve depremselliğin tanımlanmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Mogi 1962). Depremsellik çalışmalarının temel bağıntısı olarak kabul edilen Gutenberg-Richter bağıntısı, deprem çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

$$\text{Log}N=a-bM \quad (5.1)$$

Burada bulunan N ; magnitudü M veya daha büyük olan bir yıl içinde meydana gelen depremlerin sayısını, M ; magnitudü, a ve b ise matematiksel parametreleri ifade etmektedir.

Bu bağıntıdaki a katsayısı, çalışma bölgesinin büyüklüğüne, gözlem süresine ve gözlem süresindeki deprem etkinliğine bağlı olup; ortalama yıllık sismisite aktivitesinin indeksi olarak kabul edilmektedir ve sismik aktivitenin seviyesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Bayrak 2012). b katsayısı ise, araştırma bölgesinin tektonik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. b katsayısı deprem oluşumunun fiziği ile bağlantılı olduğundan depremlerin matematiksel olarak analiz edilmesinde önemli bir parametre olarak kabul görmektedir (Mogi 1962, Scholz 1968). Kayaçalarda meydana gelen deformasyon ve dolayısıyla deprem oluşumunun fiziği ile ilgili olarak b değerlerinin bölgeye ve zamana göre değişimleri, bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. b parametresindeki değişimler sismotektonik bölgelendirme ve depremlerin önceden tahmin edilebilmesinde kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda b değerinin büyük olması zayıf bir gerilme azalımını, b değerinin küçük olmasının da yüksek bir gerilme azalımını gösterdiği tespit edilmiştir (Lomnitz and Singh 1976). Mevcut durumdaki tektonik gerilmeler ana şok ile boşaldığından dolayı, büyük b değerlerini artçı depremler oluşturmaktadır. Okyanus sırtlarındaki depremlerin yitim kuşaklarındaki depremlerden daha büyük b değerine sahip olmaları okyanus sırtlarındaki gerilme birikiminin daha az olmasından kaynaklandığı söylenebilir (Lomnitz and Singh 1976).

Gutenberg-Richter bağıntısındaki a ve b parametrelerinin belirlenmesi için birçok metod bulunmaktadır. Bu metodlardan bazıları şunlardır:

- Gözle doğru uydurma yöntemi
- En küçük kareler yöntemi
- Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi
- En büyük olasılık yöntemi
- Kaltek yöntemi
- Maximum likelihood yöntemi

6. UYGULAMA

Bu tez kapsamında 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçümleri yapılmıştır. Projenin konusu, Afyon – Akşehir grabeni boyunca GNSS ölçme tekniğini kullanılarak bölgedeki faylar çevresindeki yer kabuğu hareketleri ile deformasyon anomalilerinin belirlenmesi için toplanan GNSS verileri ile bölgeye ait b parametrelerinin karşılaştırılmasıdır. Bu projede yapılan GNSS ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi yürütücülüğünde, Afyon Kocatepe Üniversitesi'ndeki araştırmacı ve bursiyerlerin katılımlarıyla gerçekleştirilmiş olup, bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

6.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma bölgesi doğuda Akşehir İlçesi, batıda Afyon ve ilçeleri olmak üzere toplamda 5 merkezi kapsamaktadır (Afyon, Akşehir, Sultandağı, Çay, Bolvadin). Çalışma bölgesi, jeolojik yapısı ve tektonik hareketler sonucu fay hatlarından dolayı jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengindir. Özellikle Afyon şehri jeopolitik konumu bakımından doğu şehirlerini batı şehirlerine bağlayan kavşak noktası olmasından ve jeotermal kaynakları bakımından gelişmiş turistik şehirlerden biridir. Bölgedeki diğer şehirler, daha çok hayvancılık ve tarım alanında gelişim göstermektedir.

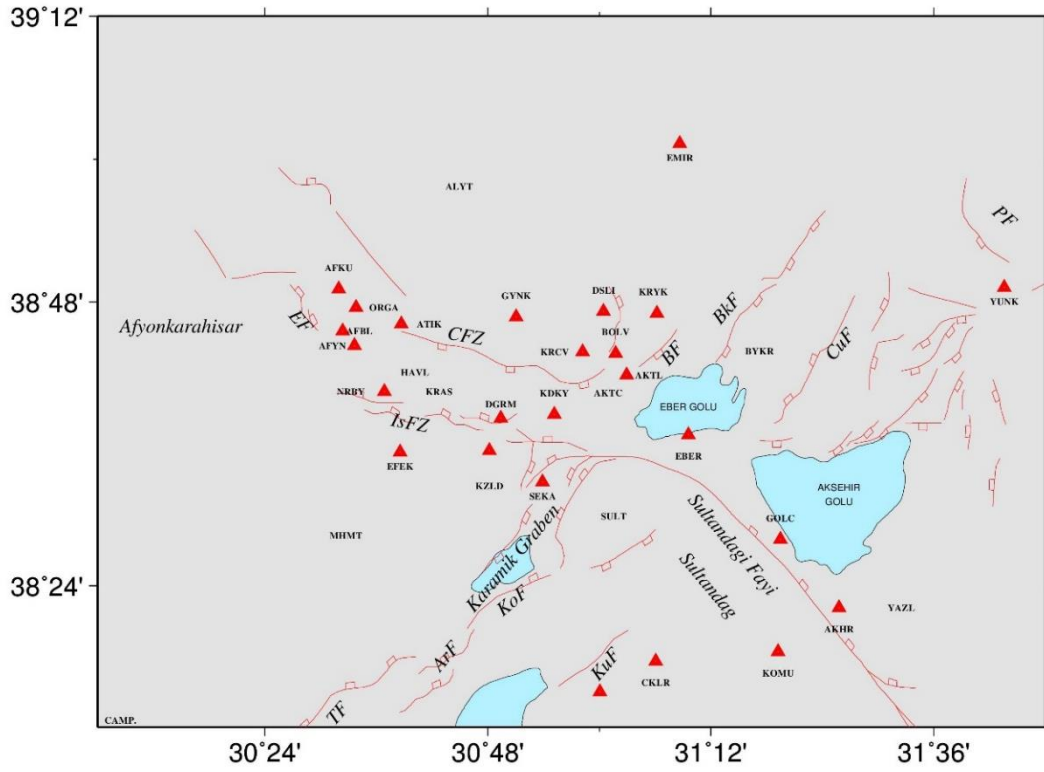
6.2 GNSS Ağı ve Ölçümleri

Akşehir - Sultandağı fayı 27 GNSS noktası tesis edilmiştir. Bu GNSS ağı AKÜ BAPK tarafından desteklenen 12.TEMATİK.02-14.MUH.52 No'lu projeleri ile kurulmuştur. Bu projeler kapsamında 2012 – 2015 yılları arasında 3 kampanya ölçüm yapılmıştır. Daha sonra TÜBİTAK 115Y246 Nol'lu proje ile 2 kampanya daha GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ölçü yapılacak noktaların belirlenmesinde bölgedeki blok sınırları, bölgenin jeolojik

yapısının ve ölçme tekniğine uygunluğu göz önünde bulundurulmuştur. Noktaların yerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Ölçüm yapılan noktaların yerleri.

NOKTA ADI	İL	İLÇE	ENLEM (°)	BOYLAM (°)	TESİS TÜRÜ
AFBL	Afyonkarahisar	Merkez	38.759	30.54	Sabit GNSS
AFKU	Afyonkarahisar	Merkez	38.818	30.533	Sabit GNSS
AFYN	Afyonkarahisar	Merkez	38.738	30.561	Sabit GNSS
AKHR	Konya	Akşehir	38.369	31.43	Sabit GNSS
AKTL	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.697	31.049	Pilye
ATIK	Afyonkarahisar	Merkez	38.769	30.644	Pilye
BOLV	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.728	31.029	Pilye
BYKR	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.731	31.227	Kayada
DGRM	Afyonkarahisar	Merkez	38.636	30.823	Pilye
DSLİ	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.787	31.008	Pilye
EBER	Afyonkarahisar	Çay	38.613	31.16	Pilye
EFEK	Afyonkarahisar	Şuhut	38.589	30.642	Pilye
EMİR	Afyonkarahisar	Emirdağ	39.022	31.144	Sabit GNSS
GYNK	Afyonkarahisar	Çobanlar	38.779	30.851	Pilye
HVAL	Afyonkarahisar	Merkez	38.711	30.62	Pilye
HOYK	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.693	31.035	Pilye
KDKY	Afyonkarahisar	Çay	38.642	30.919	Pilye
KRAS	Afyonkarahisar	Merkez	38.674	30.652	Kayada
KRCV	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.73	30.97	Pilye
KRYK	Afyonkarahisar	Bolvadin	38.784	31.104	Kayada
KZLD	Afyonkarahisar	Merkez	38.591	30.803	Pilye
SHUT	Afyonkarahisar	Şuhut	38.501	30.546	Sabit GNSS
NRBY	Afyonkarahisar	Merkez	38.674	30.615	Pilye
ORGA	Afyonkarahisar	Merkez	38.792	30.563	Pilye
SEKA	Afyonkarahisar	Çay	38.547	30.898	Pilye
SULT	Afyonkarahisar	Çay	38.519	31.026	Kayada
YUNA	Konya	Yunak	38.82	31.726	Sabit GNSS



Şekil 6.1 Gözlem yapılan noktalar haritası.

6.3 GNSS Ağı ve Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında GAMIT/GLOBK yazılımında yapılan işlemler aşağıda sırasıyla anlatılmıştır. İlk önce girdi olarak farklı alıcılardan elde edilen ham verilerin, alıcıdan bağımsız olması için RINEX formatına dönüştürülmesi işlemi yapılmıştır. Verilerin RINEX formatına dönüştürülmesi için geliştirilmiş birçok program vardır. Çalışmada verilerin formatını değiştirmek için TEQC programı kullanılmıştır. GAMIT yazılımın çalışması için gerekli olan klasör yapısı oluşturulmuştur. GAMIT yazılımında üç girdi dosyası hazırlanır, bunlar tables klasörü içinde bulunan station.info, process.defaults, site.defaults” dosyalarıdır. “station.info” dosyası IGS istasyonları ve ölçü yapılan noktalara ait bilgileri içeren dosyadır. Bu dosya sırası ile nokta adı (4 karakter), nokta tanımı, GPS oturumu başlangıç ve bitiş saati, anten yüksekliği, anten yüksekliği ölçüm noktası, alıcı modeli, anten modeli gibi önemli bilgileri içerir. “sites.defaults” dosyası içinde ise, tekrarlılık analizi ve stabilizasyon için kullanılacak noktaların isimleri bulunmaktadır. GAMIT modülü ile değerlendirme yapılırken; günlük nokta koordinatları, her bir nokta için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri,

değerlendirme aşamasında kullanılan parametrelerin hiçbirinde kısıtlama yapılmadan elde edilmektedir. Bu aşamada, hem lokal ağı global bir ağ ile ilişkilendirmek, hem de milimetre duyarlılığındaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge ve Dünya dönme parametrelerinin daha hassas hesaplanmasını sağlamak amacıyla IGS global ağına bağlı noktalardan faydalanılması gerekmektedir. Kullanılacak IGS istasyonlarının seçimi GNSS hızlarının hesaplanması konusunda detaylı olarak anlatılacaktır. Değerlendirmelerde kullanılan IGS istasyonlarının isimleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

GAMIT tables klasöründe hazırlanması gereken son dosya process.defaults dosyasıdır. Bu dosyada sadece SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS altında bulunan mail adresi kısmında düzeltme yapılması yeterli olmaktadır.

Çizelge 6.2 Değerlendirme için kullanılan IGS istasyonları.

Nokta Adı	Şehir/Ülke	Nokta Adı	Şehir/Ülke
MATE	Matera, İtalya	SOFI	Sofya Bulgaristan
NICO	Nicosia, Güney Kıbrıs	GLSV	Kiev Ukrayna
ZECK	Zelenchukskaya Rusya	RAMO	Mitzpe Ramon İsrail
LAUG	Lübnan	BUCU	Bükreş Romanya
CRAO	Simeiz Ukrayna	TELA	Telaviv İsrail
ANKR	Ankara Türkiye		

Bu girdilerin hazırlanmasıyla GAMIT programının tüm kontrol aşamasını içeren komutların bulunduğu sestbl. dosyası hazırlanmış olur. Bu dosya ile verilerin değerlendirilmesini sağlayacak olan stratejiler hazırlanmaktadır. Bu stratejiler, ölçülerin ağırlıklandırılması, tamsayı belirsizliği çözümü, atmosferik parametrelerin ve yörünge parametrelerinin belirlenmesi ve model parametreleri (yer dönüş, yeryuvarı gel-git ve anten faz merkezi parametreleri) için yapılan kestirimlerden oluşmaktadır.

sestbl. dosyası içinde radyasyon modeli için BERN1, BERN2, SPHRC gibi farklı modeller, çözümü yapılacak ölçme türü içinde L1_ONLY, L2_ONLY, LC_ONLY, L1,L2_INDEPEND ve LC_HELP gibi farklı değerlendirme stratejileri çalışma seçenekleri bulunmaktadır. Ayrıca sestbl. dosyasının zenit gecikmesi kestirimi büyük ölçekli ağlarda atmosfer parametrelerin özellikle zenit gecikme parametrelerinin

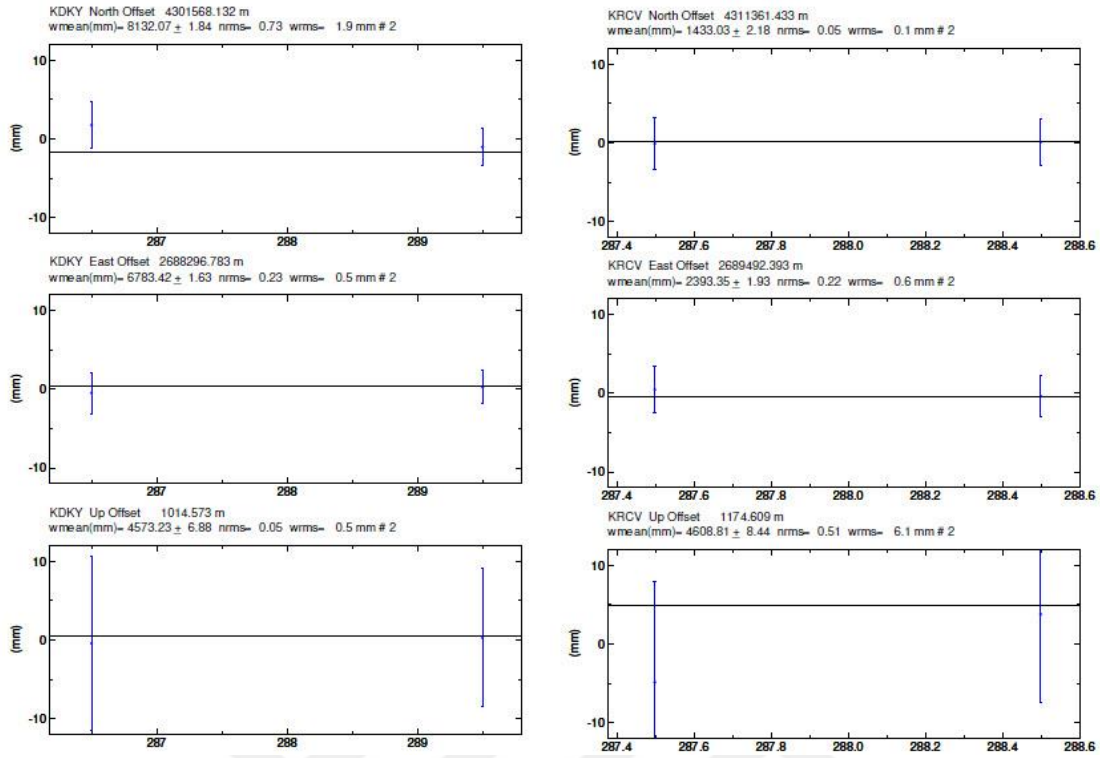
kestirimi için gereklidir. Atmosferik gecikmeler, faz merkezi değişimleri ve istasyon nokta yükseklikleri, uydudan alıcıya gelen sinyalin yükseklik açısına bağlı olarak değişirler. GAMIT kontrol dosyası olan oturum tablosunda bu kontrol satırlarının yanı sıra yer dönme parametreleri, uydu yörünge parametreleri ve ölçüleri ağırlıklandırma ile ilgili kontrol satırları bulunmaktadır. Çalışma için seçilen ve sestbl. dosyasına girilen çözüm stratejileri Çizelge 6.3 de verilmiştir.

Bundan sonraki ilk aşama GNSS ölçümü yapılan noktalara ait günlük ve yıllık tekrarlılıklar (zaman serileri) üretilmelidir. Sh_glred komutu gsoln klasörünün içinde günlük tekrarlılıkları ve GAMIT çözümünde GLOBK çözümüne geçmek için kullanılan H dosyalarını üretmek için kullanılmaktadır. Bu komut çalıştırıldıktan sonra gsoln klasörü içinde gün sayısı kadar glr, org, prt dosyaları oluşmaktadır. Ayrıca GLOBK aşamasına geçmek için kullanılan H dosyaları ile zaman seri analizlerini incelemek için psbase_XXXX.SITE dosyaları oluşmaktadır (XXXX proje adı, SITE nokta adı).

Çizelge 6.3 Değerlendirme stratejisi ve parametreleri.

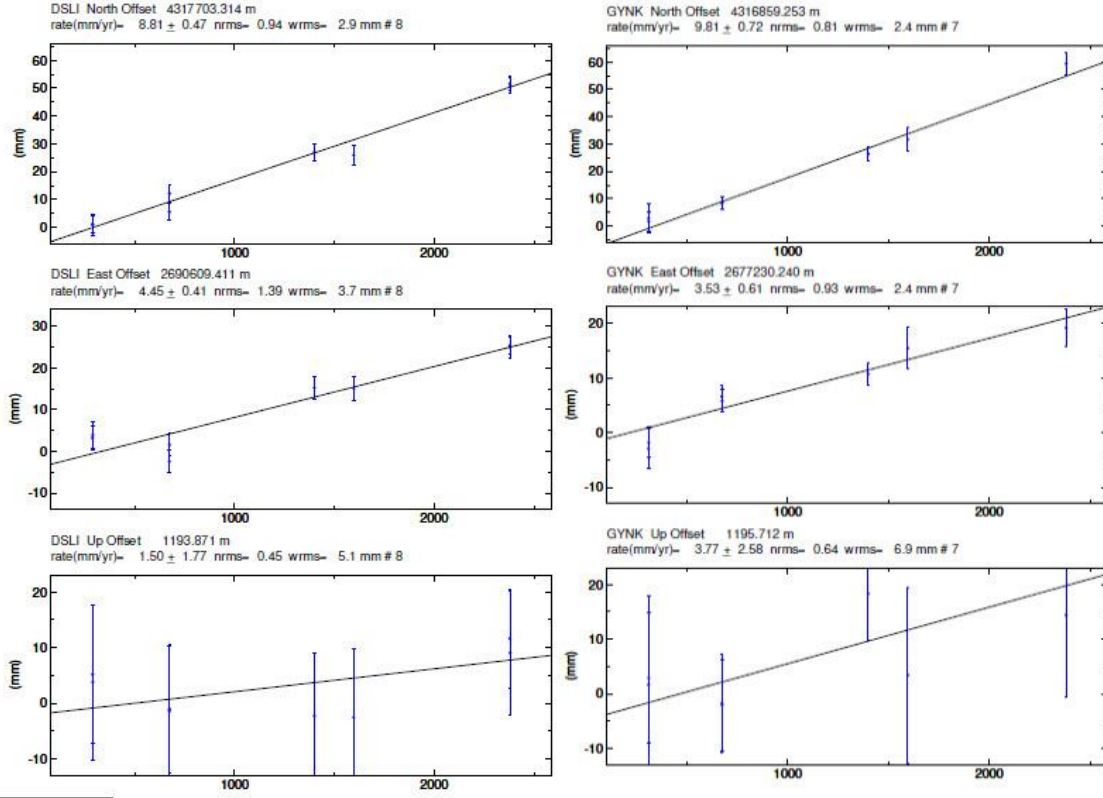
Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10 °
Yörünge Bilgisi	IGS-F
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yükseklığe Bağlı Model (IGS14_2022_plus.atx)
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Model	Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak 2 saat
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

Çalışması için yapılan gün çözümlerinden elde edilen KDKY ve KRCV noktalarının günlük tekrarlılık grafikleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Tekrarlılık grafiklerinde her bir noktanın o güne ait konum bileşeni, noktanın üzerinde bulunduğu çubuk ise o konumun belirsizliğinin bilgisini içerir.



Şekil 6.2 2012 yılı günlük tekrarlılıkları.

Bu aşamadan sonra GLOBK aşamasına geçilir. GLOBK farklı zamanlarda yapılan yersel ya da uzaysal ölçüleri Kalman Filtreleme Tekniği kullanarak birleştirme işlemini yapmaktadır. GLOBK aşamasının ilk adımı yıllık tekrarlılıkların yani uzun dönem zaman serilerinin üretilmesidir. Noktalara ait hız analizine geçmeden önce zaman seri grafikleri üretilip noktaların tektonik açıdan yorumlanmaya uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir (Şekil 6.3). Zaman serisi çalışmalarını yapmak üzere yıllarla aynı seviyede bir adet vsoln klasörü açılmalıdır. Bu klasörün içine girildikten sonra sh_plotcrd komutu ile zaman serileri üretilebilmektedir. Özellikle sürekli gözlen yapan GNSS istasyonlarında zaman serisi grafikleri incelenerek noktanın uzun dönem hareketleri hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Kalman filtresi kullanılarak yapılan ileri ve geri çözümlerin hataları tüm zaman serileri boyunca yayması nedeniyle serilerden elde edilen her görüntü dikkatle izlenmeli ve yorumlanmalıdır.

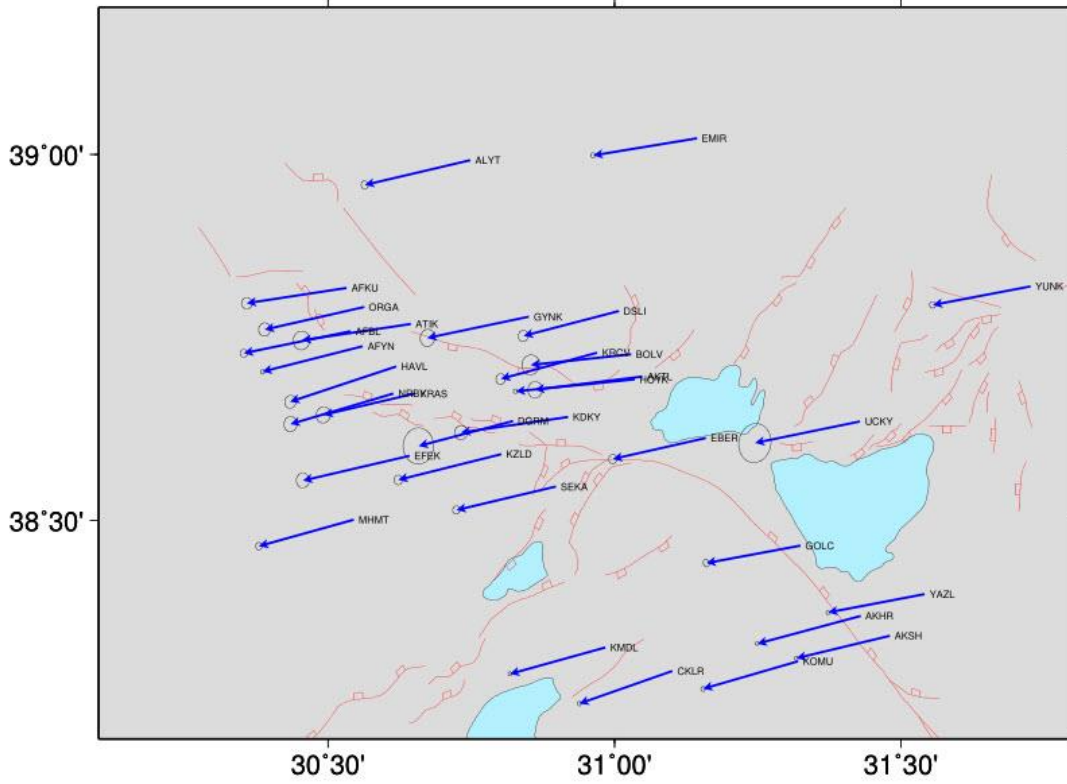


Şekil 6.3 DSLI ve GYNK noktaları yıllık tekrarlılıklar.

Elde edilen H dosyaları kullanılarak hız çözümlerinin yapmak için oluşturulan Vsoln klasörünün içine proje adı ile başlayan bir gdl uzantılı boş bir metin belgesi oluşturulur. Sh_glred komutu ile günlük tekrarlılıklar üretildikten sonra yıl dosyaları içinde ki glbf klasörleri içinde her ölçü gününe ait bir tane hyymmdd1200_XXXX.glx dosyası oluşur (yy:yıl, mm:ay, dd:gün, XXXX:proje adı). gdl dosyaları oluşturulduktan sonra gamit klasörü altında bulunan tables klasöründen GLOBK modülünü yönetecek olan globk_vel.cmd, glorg_vel.cmd dosyaları kopyalanılır. Bu komut dosyaları sayesinde IGS tarafından belirlenen genel referans sistemine dönüşüm için kullanılan istasyon noktalarına, uydu yörünge parametrelerine ve yer dönüş parametrelerine kısıtlamalar getirilir. GLOBK modülü referans sistemini tanımlamadan birleştirme işlemini yapmaktadır. Bu nedenle globk_vel.cmd dosyasındaki düzenlemelerin başında hızları belirlemek istediğimiz referans çatıyı seçmek gerekir.

6.4 Bölgesel GNSS Hızlarının Hesaplanması

Stabilizasyon çalışmaları, GLOBK için önemli bir yer tutan aşamalardan birisidir. Stabilizasyon işlemi global ya da bölgesel olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Global stabilizasyon çalışmalarında daha önceden tanımlamaları yapılmış büyük plakalara göre hız belirlemeleri yapılmaktadır. Bölgesel stabilizasyon çalışmalarında ise, birçok noktanın birbirlerine göre hızlarını hesaplanmaktadır.

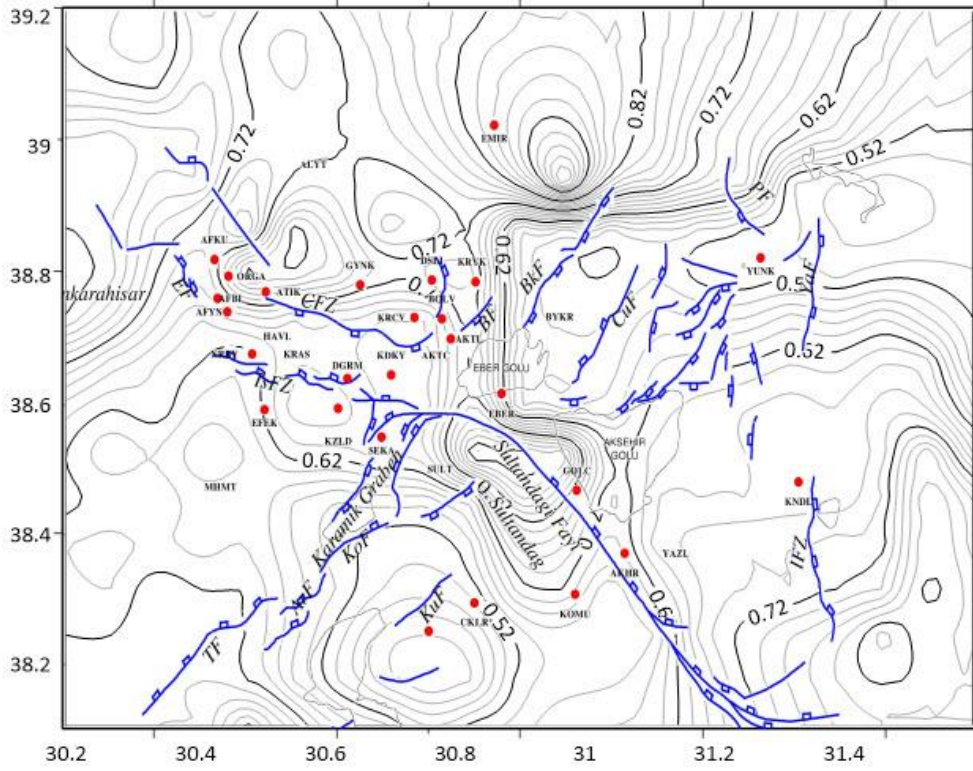
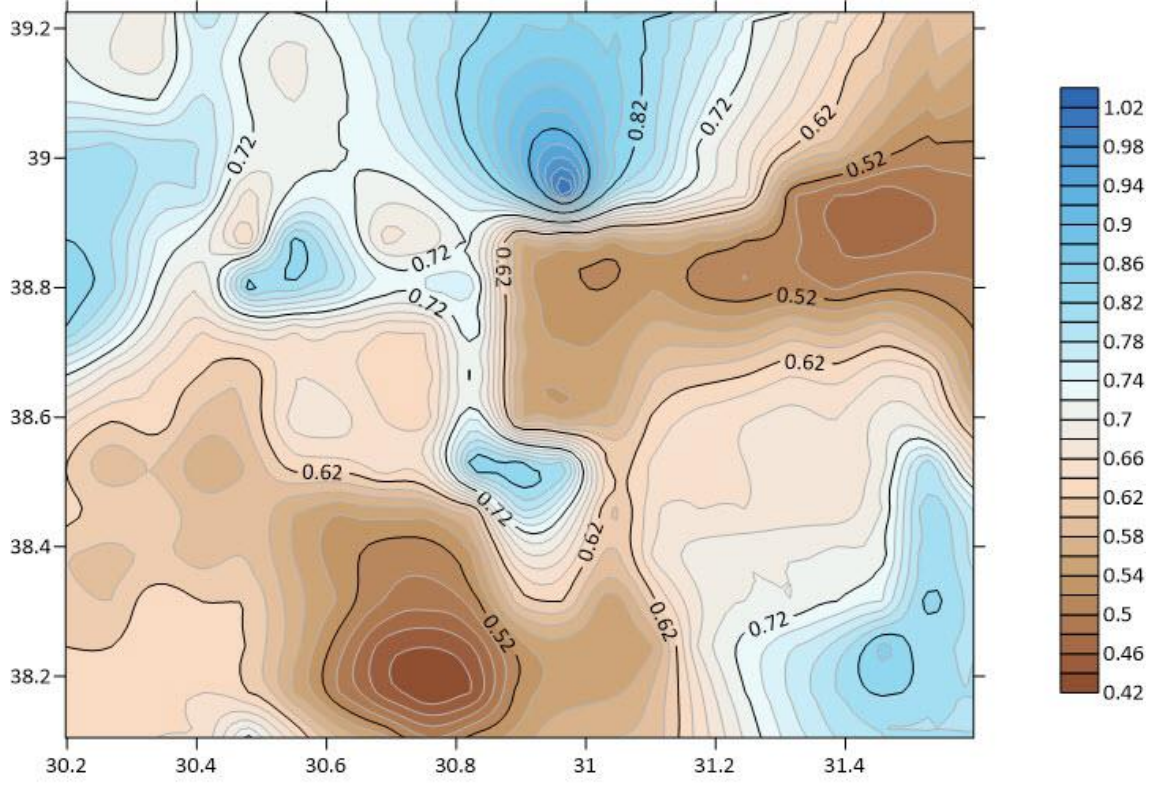


Şekil 6.4 Avrasya plakası sabit alınarak elde edilen hızlar.

GLOBK programı stabilizasyon için seçilen tüm noktaları kullanmayabilir. Değerlendirmede gerçekleştirilen 5 iteratif çözüm sonucunda en iyi sonuç veren noktalar stabilizasyon için kullanılmıştır. İterasyon sonucu stabilizasyon için kalan nokta sayısının 7'den az olması önerilmemektedir. GLOBK stabilizasyon sonrası hesaplanan hız değerlerinin post RMS değerleri Avrasya plakası için 0.30 mm/yıl, olarak elde edilmiştir. Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen hız haritası şekil 6.4'de verilmiştir.

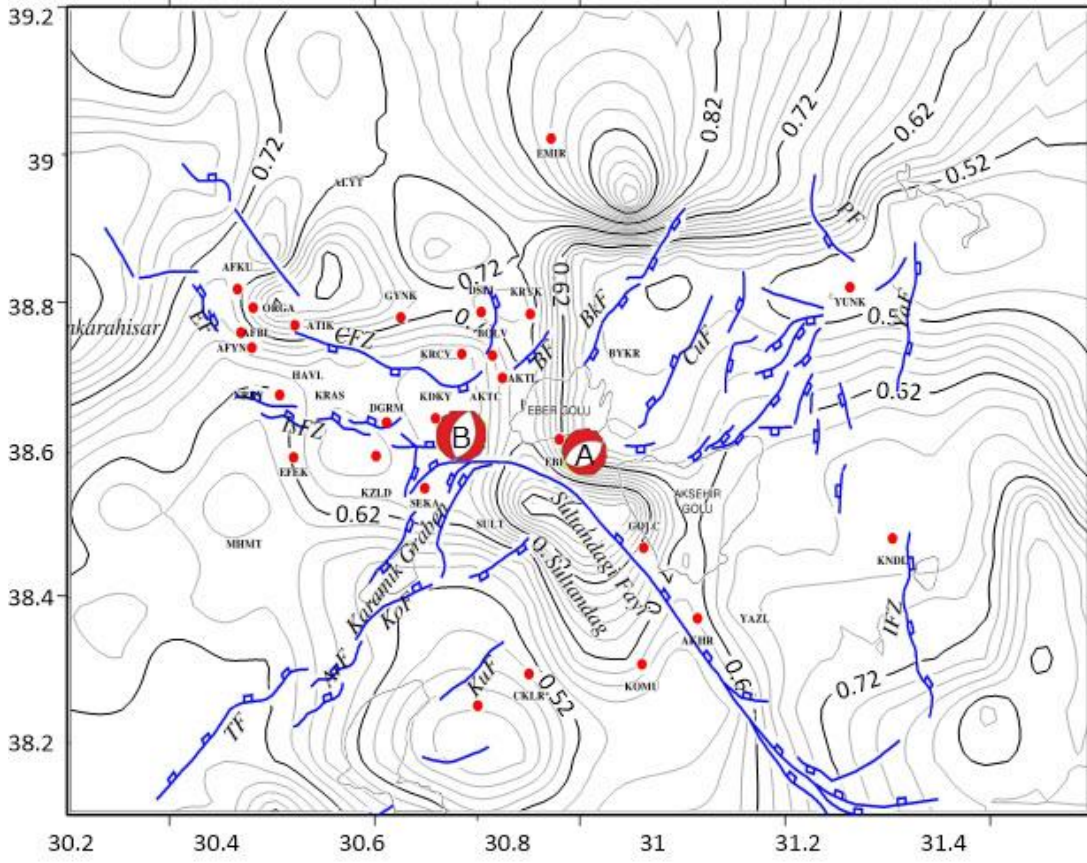
teknolojisinin yetersiz olduğu bilinmektedir. Bu nedenle 1980 6ncesindeki deprem kayıtlarının gerek b6y6kl6k gerekse odak merkezi 6z6mlerinin doğruluğunu azaltmaktadır. Bu 6alışmada Kandilli Rasathanesi deprem katalogu kullanılmıştır. Kandilli deprem katalogunda bulunan 1980-2019 yıllarını kapsayan b6y6kl6kleri 2.5-6.5 arasında olan 2859 adet deprem se6ilmiştir. Maximum likelihood y6ntemine g6re b parametreleri 1980-2002, 2003-2019 yıllarını kapsayacak şekilde 2 farklı d6nemde hesaplanmıştır. 2002 yılı şubat ayında meydana gelen 6.3 ve 6.2 depremleri ve art6ılarının sonu6lara etkisini azaltmak i6in 2002 yılında meydana gelen depremler katalogdan 6ıkarılmıştır.





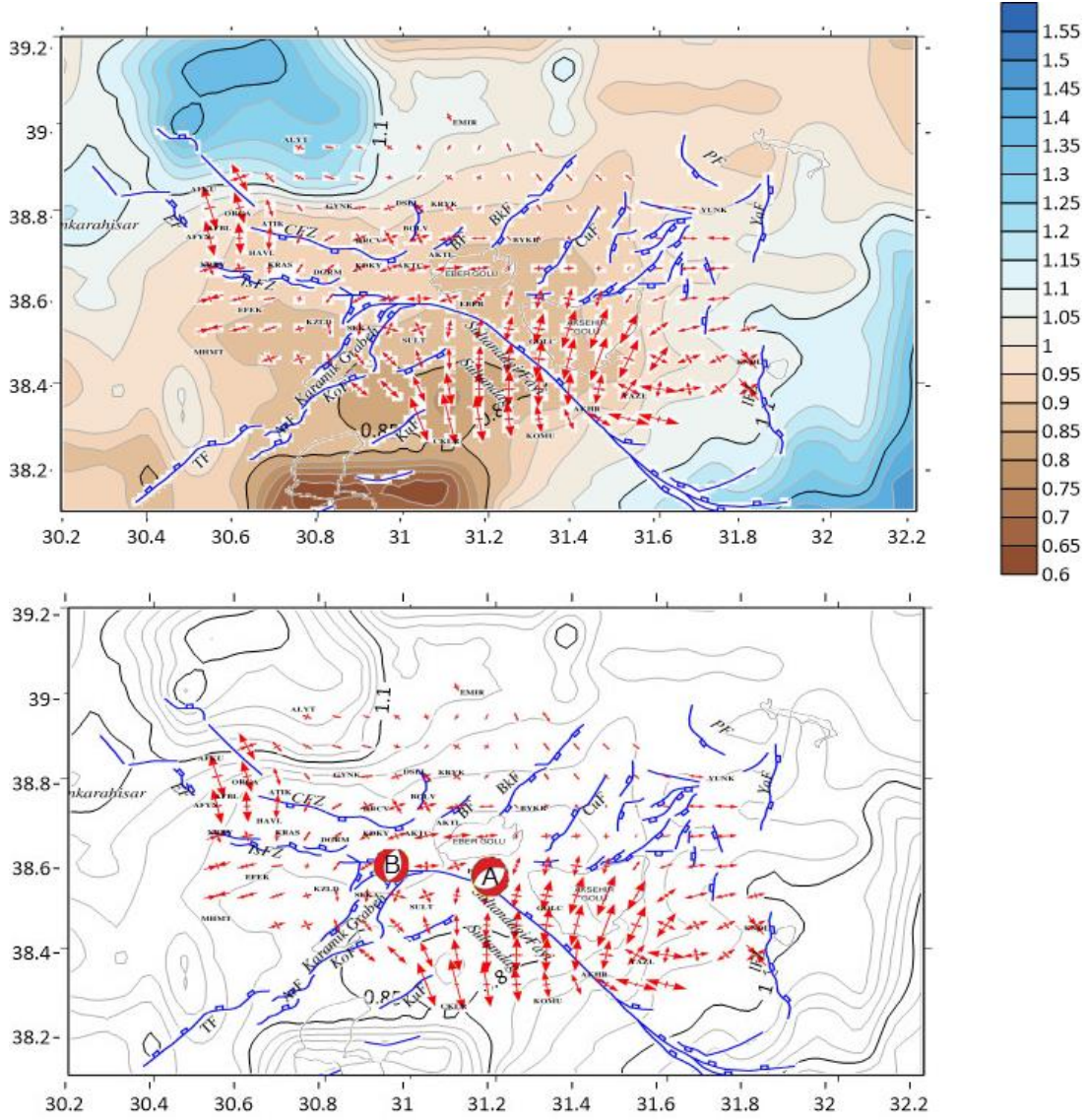
Şekil 6.6 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.

göstermektedir. Bu depremler 1980-2002 yılları arasında hesaplanan ortalama b değerleri olan 0.65 daha küçük değerine sahip olan bölgede meydana gelmiştir.



Şekil 6.8 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.

2002 yılında meydana gelen depremlerden sonra bölgede bir enerji boşaldığı bilinmektedir. Kurulan jeodezik ağda ilk GNSS ölçüleri 2012 yılında yapılmıştır. Elde edilen gerinim sonuçları 2002 depreminden sonraki zaman dilimine aittir. Yani bölgede meydana gelen güncel yamulma alanlarını göstermektedir. 2002-2018 yılları arasında hesaplanan b parametreleri ile yamulma değerleri şekil 6.9'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.9 2003-2019 yılları arasındaki b parametre ve gerinim.

Şekil 6.9 incelendiğinde anlamlı gerilme alanları ile ortalama b değerinden düşük alanlar koyu renkli bölgelerin (riskli bölgeler) büyük oranda oranında uyum içinde olduğu görülmektedir. b parametrelerinin özellikle Afyon Akşehir grabeni Sultandağları civarında ortalama değerin (0.93) altında kaldığı (riskli bölge) bölgelerde yamulma alanlarının büyüklüğü dikkat çekmektedir. 2002 depreminin olduğu bölgelerde (Eber Bolvadin civarı) ise yamulma alanlarının çok küçük olduğu görülmektedir. Yine bu bölgelerde b parametre değerlerinde ortalama değerden büyük olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR

ASFZ üzerinde Sultandağı Segmentinde hız alanı belirlemek için 27 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. 2012-2018 yılları arasında GNSS ölçüleri yapılarak bölgenin hız alanı elde edilmiştir.

Elde edilen hız alanı incelendiğinde çalışma bölgesinin Avrasya referans sistemine göre yıllık 20-25 mm'lik hızlarla batı ve güneybatı yönünde, Anadolu'nun batıya kaçış hareketi ile uyumlu bir hareket sergilediği görülmüştür. GLOBK stabilizasyon sonrası hesaplanan hız değerlerinin post RMS değerleri Avrasya plakası için 0.30 mm/yıl, olarak elde edilmiştir. Hız doğrulukları 0.2 – 1 mm arasında değişmektedir. Bu hareket, bölgede yapılan diğer çalışmalarla (Aktuğ vd. 2006-2009) uyum içinde görülmektedir. Avrasya plakası sabit alınarak hesaplanan hızlarla GEODSUID yazılımı ile yamulma analizi yapılmıştır.

Çalışma bölgesi 10 x 10 km'lik gridlere ayrılarak her grid köşesine ilişkin yamulma alanları hesaplanmıştır. Elde edilen yamulma alanları Şekil 6.5'de gösterilmektedir.

Bölgede en büyük yamulma alanı Sultandağı Fayı üzerinde görülmüştür. Bu bölgede kuzey güney açılmalar oldukça baskındır. Bu bölgelerde bu hareket normal fayların baskın olduğunu göstermektedir. Tiryakioğlu vd. (2018)'de bu hareket geçmiş deprem çözümleri ve paleostres sonuçları ile de desteklenmiştir.

2002 yılı depremlerinin olduğu alana doğru gelindiğinde bu kuzey güney açılmalar büyüklüklerini azaltarak yerini minimum seviyede doğu batı açılmalarına bırakmaktadır. Özellikle Eber, Bolvadin civarında bu hareketler görülmektedir. Yapılan literatür incelemelerinde Eber Gölü ve yakın çevresinde, 15 Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve onların artçı şokları ile önemli miktarda enerji boşalımı gerçekleşmiş olup, bu bölge deprem tehlikesini büyük ölçüde atlattığı belirtilmektedir Akyüz vd. (2006). Bu sonuç elde edilen yamulma alanları ile örtüşmektedir.

Fay zonunun batı tarafında Çobanlar Fayı ile Afyon arasında yamulma alanları tekrardan artarak kuzey güney yönlü açılmaları göstermektedir. Yine Akyüz vd. (2006) ve Demirtaş vd. (2002)'de kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün devam edeceğini ve gelecekte Çayın batısında (Maltepe batısı-Çobanlar güneyi) kalan parçasında da benzer büyüklükte

bir deprem olma olasılığının yüksek olduğunu açıklamışlardır. Benzer şekilde, Koçyiğit vd. (2002) hazırladıkları raporda Afyonkarahisar ili ve yakın çevresinde sismik boşluk özelliğini koruduğunu belirtmektedir. Yamulma alanlarından bulunan sonuçlar yukarıda belirtilen hususları destekler niteliktedir.

b parametresi değerleri "maximum likelihood" yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Meydana gelen depremlerden elde edilen b parametre değerleri ile GNSS hızlarından elde edilen gerilme alanları verileriyle birleştirilmiştir. 2002 yılında meydana gelen depremlerden sonra bölgede bir enerji boşaldığı için yamulma sonuçları 2002 depreminden sonraki zaman diliminde elde edilen b parametreleri ile yamulma değerleri şekil 6.9'da karşılaştırılmıştır.

Şekil 6.9 incelendiğinde anlamlı gerilme alanları ile ortalama b değerinden düşük alanlar koyu renkli bölgelerin (riskli bölgeler) büyük oranda oranında uyum içinde olduğu görülmektedir. B parametrelerindeki sonuçlara etki eden en büyük hata meydana gelen deprem sayısındaki azlıktır. B parametrelerinin güvenli sonuç vermesi için uzun dönemleri kapsayan deprem katalogları incelenmelidir. Kısa dönemden elde edilen b parametre değerlerinde hatalar olabilir. Yamulma alanları ile b parametreleri arasında uyumsuz olan bölgelerin nedeninin bu olduğu düşünülmektedir.

Tez çalışması sonunda bölgede yamulma alanları, b parametre değerleri, sismik boşluk, deprem göçü vb. bilimsel çalışmaların sonuçlarına göre Sultandağı Fay Zonu batı kesiminde gelecek yıllarda olası bir deprem tehlikesi olduğu görülmektedir. Günümüzde depremlerin oluş zamanlarının tam olarak bilinmesi mümkün değildir. Ancak yapılan bilimsel çalışmalarla deprem riski olan bölgeler yaklaşık olarak bilinmektedir. Bu nedenle çalışma alanında gelecekte deprem olabilme ihtimaline karşı aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması gerekmektedir.

- Sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının bölgede sıklaştırılması ile online izleme ağları, kampanya ağları ile desteklenmelidir.
- Bölgede kurulan ağda yeni tesis edilen noktaların sonuçlarının iyileştirilmesi için GNSS ölçülerine devam edilmelidir.
- Bölgede faylara ilişkin jeolojik çalışmalar yapılmalıdır.

- Aletsel dönemdeki deprem kataloglarındaki yetersizlik nedeniyle jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmelidir.



8. KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F. (1995). The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review”, 1500–1800. Eren publishing ve booktrade, İstanbul.
- Aktuğ, B. (2006). Jeodezik Ölçüler İle Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Aktuğ, B., Nocquet, J.-M., Cingo, A., Parsons, B., Erkan, Y. & England, P. (2009). Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behavior. *Journal of Geophysical Research*, **114**: 1–22.
- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö. (2006). 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, **27**: 1, 41-52.
- Aladoğan, K. (2017). Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin Gns Yöntemiyle İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, AKÜ, Fen Bilimleri Ens. Afyonkarahisar.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F., and Şengör, A.M. C. (1995). The Isparta Angle, its importance in the neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. *Proceeding of the International Earth Science, Colloquium on the Aegean Region*, **1**: 3-18.
- Bath, M. (1956). A note on the Measure of Seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **46**: 217-218.
- Bayrak, E. (2012). Batı Anadolu Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Farklı Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Ens. Trabzon.
- Benioff, H. (1951). Earthquakes and Rock Creep, Part I: Creep characteristics of Rocks and Origin of Aftershocks, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **41**: 31-62.
- Çakmak, R. (2001). Marmara Bölgesi’nde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirtaş, R., İravul, Y., ve Yaman M. (2002). 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. *Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni*, **1**: 58 – 63.
- Demirtaş, R., Ercan, S., Demir, B. ve Aktan., M. (2008). Ege Çöküntü Bölgesi’nde Alüvyal Havzalarda Son 20 Yılda Oluşmuş Yüzey Deformasyonlarının Oluşum Mekanizması. ATAG 12 Bildiri Özleri Kitabı, 42-44
- Derelioğlu, B. (2007). GPS ve GPRS Tabanlı Geniş Alan Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Duman, T.Y., Elmacı, H., Özalp, S., Olgun, Ş., Emre, Ö. (2013). Simav Fay Zonunda İlk Paleosismolojik Bulgular. 66th Geological Congress of Turkey, p28-29. 1-5 Nisan/April 2013, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşcu, İ. (2003). Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, **74**: 4, 382-392.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z. (1967). Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, No 28.
- Eyidoğan, H., Utku, Z., Güçlü, U., Değirmenci, E. (1991). Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988), İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198.
- Gökgöz, R. (1982). Uydu Doppler Tekniği, *Harita Genel Komutanlığı*, **88**: 59.
- Gökten, E., Seyitoglu, G., Varol, B. ve Isık, V. (2003). 03.02.2002 Çay (Afyon) depreminin mekanizması: bölgenin deprem etkinliği. Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, 12-14 Mart 2003, Kocaeli Üniversitesi Bildiri Özetleri, s. 24.
- Gutenberg, B., Richter, C.F. (1944) Seismicity of the Earth. Princeton Univ. Pres, *Princeton, N, J.*, **2**.
- Herring, T. A. (1990). Geodesy by radio interferometry: the application of kalman filtering to very long baseline interferometry. *Journal of Geophysical Research*, **95**: 12561-12581.
- Herring, T. A. (1999). Geodetic Applications Of GPS. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, **87**: 1.
- Herring T.A., Floyd, M. A., King, R.W., and McClusky, S.C. (2015). Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program 10.6. Department of Earth. *Atmospheric, and Planetary Sciences*, Massachusetts Institute of Technology.
- Hofmann-Wellenhof, B. and Lichtenegger, H. and Wasle, E. (2008). GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer Wien New York, 309-466.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. (2005). GPS Teori ve Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.

- Kalyoncuoğlu, U.Y. (2007). Evaluation of seismicity and seismic hazard parameters in Turkey and surrounding area using a new approach to the Gutenberg–Richter relation. *Journal of Seismology* **11**: 131–148.
- Kaplan, D. E. and Hegarty, C. J. (2006). Understanding GPS Principles and Application. *Artech House*, Second Edition, Boston.
- Karaburun, A. (1998). Gps İle Elektronik Ölçerlerin Ölçeklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karaman, E. (2006). Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi, Ankara.
- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27**: 1, 1- 15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. and Saraç, G. (2000). Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. and Piper, J.D.A. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, Special Publications, 173, 405-421.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N. ve Şaroğlu, F. (2002). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir fay zonu, (Ön jeolojik rapor), 19s, Ankara.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A. (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences* **12**: 67–90.
- Koçyiğit, A. (2005). 2005.01.25, Mw=5.9 Söğüt (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Koçyiğit, A. ve Deveci, Ş. (2007). A N-S-trending Active Extensional Structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of the Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **16**: 391-416.
- Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. 3. Basım, John Wiley & Sons, Hoboken New Jersey.
- Lomnitz, C. and Singh, S.K. (1976). Earthquakes and Earthquake Prediction; in *Seismic Risk and Engineering Decisions*, Lomnitz and Rosenblueth, *Elsevier Publishing Co.*, 3-30.
- Means, W. D. (1976). *Stress and Strain: Basic Concepts of Continuum Mechanics for Geologists*, Springer-Verlag, Berlin.

- Mogi, K. (1962). Magnitude-frequency Relationship for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes. *Bulletin of the Earthquake Research Institute The University of Tokyo*, **40**: 831-883.
- MIT. (2002). GAMIT-GLOBK Tutorial, *GLOBK Velocity and Coordinate Solutions*, 10-26.
- Maraş, S.(2010). Web Tabanlı Otomatik GPS Veri İşleme Sistemi Tasarımı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Konya.
- Öcalan, T. ve Soycan, M. (2011). GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler. *HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Özel Sayı **2(104)**: 123-133.
- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H. (2003). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **45**: 2, 49-56.
- Özmen, B. (1995). Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler (Yayınlanmamış). Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Seminer Dersi, 45 s.
- Poyraz, F. (2009). Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pratt, A. R. and Owen, J. J. R. (2004). Performance of GPS/Galileo Receivers Using m-PSK BOC Signals. *Proceedings of the 2004 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, 26 - 28 Ocak 2004, San Diego.
- Purcaru, G. (1975). A new quantitative measure of seismicity and some related problems, *Physikd. Erde* Nr. 31. Teil. 1.
- Ray, J. K. (2000). Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System. *Phd Thesis*, University of Calgary.
- Riznichenko, Y.V. (1958). The study of seismic conditions. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR Geophys*, **3**: 615-622.
- Richter, C.F. (1958). *Elementary seismology*, W, H, Freeman and Co., San Francisco.
- Soysal H, Sipahioğlu S, Kolçak D, Altınok Y. (1981). A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900). Final report, Project number Tbag 341, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara.
- St Amand, P. (1956). Two proposed Measures of Seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **46**: 41- 45.

- Scholz, C. H. (1968). The Frequency–magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**: 399 - 415.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987). Türkiye'nin diri faylar› ve depremsellikleri. MTA Rapor No. 8174 (yayımlanmamış).
- Yeats, R. S., Sieh, K. and Allen, C. R. (1997). *The Geology Of Earthquakes*, Oxford University, New York.
- Ten Veen, J. H. ten, Boulton, S. J. ve Alçıçek, M.C. (2009). From Palaeotectonics To Neotectonics In The Neotethys Realm: The Importance Of Kinematic Decoupling and Inherited Structural Grain In SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, **473(1-2)**: 261-281.
- Tiryakioğlu, İ. (2012). GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Doktora tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S., Reilinger, R. (2013). GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta Angle Region of SW Turkey. *Geophysical Journal International*, **195**: 1455–1463.
- Tiryakioğlu, İ., Baybura. T., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Sandıkcıoğlu, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ., Uysal, Murat., Yılmaz, M., Yıldız, A., Dereli, M.A., Yalçın, M., Dumlupınar, İ., Yalın, H.A., Ertuğrul, O. (2015). Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8-9.
- Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H., Uysal, M. (2018). Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey. *Annals of Geophysics*, **61**: 3, 1-14.
- Tüysüz, O. (1999). Yeryuvarının İç Yapısı Depremler ve Türkiye, Ders Notları, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulmann, W., Maaz, R. (1966). A new method for computation of Seismicity, Publication No:25, Institut für Geodynamik, 69 Jena (GDR), Burgweg 11.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. ve Kaya, Z. (2004). An overview of geotechnical aspects of the C ay-Eber (Turkey) earthquake. *Engineering Geology*, **73**: 51–70.
- Wang, J.H., Diao, S. (1994). The time and space dynamic evolution of three seismicity parameters before and after the Heze M= 5.9 earthquake. *North China Earthquake Science* **12**: 54–61.

- Xu, G. (2007). GPS Theory, Algorithms and Applications, Springer, Berlin.
- Yalçın, B. (2007). Yerel Bir Ağda GPS Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yavaşoğlu, H. (2003). Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Yıldız, F. ve Kahveci, M. (2009). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. ve Selçuk, L. (2003). Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism, *Geodynamica Acta*, **16**: 83-87.
- Zorlu, N. (2010). Küresel Uydu Yönbulum Sistemlerine (GNSS) Genel Bir Bakış, Avrupa'nın Galileo Yönbulum Sistemi, Türkiye İçin Çıkarımlar. Yüksek Lisans Tezi. Hava Harp Okulu Komutanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.

8.1 İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.karmabilgi.net/yer-kabugunu-etkileyen-levha-hareketleri> 12.11.2017
- 2) <https://sites.google.com/site/cografyaderslerim/yerin-sekillenmesi-ic-kuvvetler/yerin-yapisi> 15.11.2017
- 3) <http://www.cografya.gen.tr/egitim/fiziki/yerin-ic-yapisi.htm> 15.11.2017
- 4) <http://cografyalise.blogcu.com/levhalar-ve-levha-tektonigi-kurami/3856769> 18.11.2017
- 5) <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Personel/comoglu/depremnedir/index.htm> 19.11.2017
- 6) <http://tag.eng.ankara.edu.tr/deprem.htm> 25.11.2017
- 7) <http://www.everythingselectric.com/geology-1/> 25.11.2017
- 8) <http://www.schriever.af.mil/News/Article-Display/Article/736118/kaena-point-satellite-tracking-station-celebrates-55-years> 10.03.2017
- 9) https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konu%20land%C4%B1rmasistemi 11.03.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga TOYDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Merkez/Afyonkarahisar – 04.01.1989
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0535 590 05 41- tolgatoydemir03@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyonkarahisar Milli Piyango Anadolu Lisesi,
(2003-2007)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü, (2009-2013)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2013-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Akxa Afyon Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.
(2013 – Devam Ediyor.)