

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT REFERANS İSTASYONLARININ YER DEĞİŞTİRMELERİ İLE DEPREM
VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ALİYAZICIOĞLU

OCAK 2016

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SABİT REFERANS İSTASYONLARININ YER DEĞİŞTİRMELERİ İLE DEPREM
VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ALİYAZICIOĞLU

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

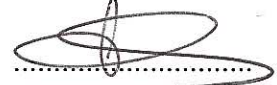
ZONGULDAK
OCAK 2016

KABUL:

Fatih ALİYAZICIOĞLU tarafından hazırlanan “Sabit Referans İstasyonlarının Yer Değiştirmeleri İle Deprem Verilerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 29/01/2016

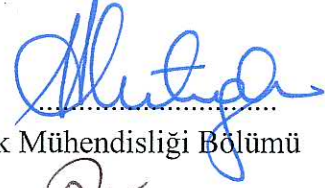
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



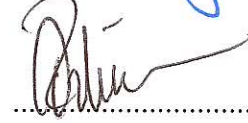
Üye: Prof. Dr. şenol Hakan KUTOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. M. Tefvik ÖZLÜDEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.../.../20...

Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Fatih ALİYAZICIOĞU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SABİT REFERANS İSTASYONLARININ YER DEĞİŞTİRMELERİ İLE DEPREM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ALİYAZICIOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

Ocak 2016, 57 sayfa

Depremler tarih boyunca ulusların karşılaştığı doğal afetlerin başında gelmiştir. Yaşatmış oldukları can kayıpları ile birlikte sebep oldukları maddi yıkımlar ise ülke ekonomilerinde büyük zararlara sebep olmuştur. Şüphesiz ki dünyadaki en önemli unsurun insan yaşamıdır ve bu durum her zaman bilim insanlarının çalışmalarının temelini oluşturmuştur.

Dünyada ve ülkemizde deprem yaratma potansiyeline sahip yüzlerce aktif fay bulunmaktadır. Ancak Dünyamızın sahip olduğu ve bugüne kadar keşfedilmemiş olan fay hatlarının varlığı da bilinmektedir. Gerçekleştirilecek olan çalışmalar ile yeni fay hatlarının belirlenmesi, bilinen fay hatlarının incelenmesi ve depremlerin önceden tespit edilebilmesi çalışmaları ile birlikte can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Bilim insanları tarafından eşsiz bir laboratuvar olarak isimlendirilen Kuzey Anadolu Fayı 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri ile birlikte ülkemizdeki deprem gerçeğinin önemi bir kez daha ortaya koymuştur. Bu tarihten itibaren çalışmalar olası Marmara depremine

ÖZET (devam ediyor)

yönelmiştir. Gerçekleşmesine bilimsel açıdan kesin gözü ile bakılan Marmara depreminin olası merkezinde İstanbul ve yakın çevresini kapsamaktadır. İstanbul'un güneyinde yer alan Bursa olası Marmara depreminden en çok etkilenecek olan deprem merkezlerinden biri konumundadır.

Bu çalışma kapsamında Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünden 2008-2010 yıllarına ait GNSS gözlem verileri temin edilmiştir. Bu veriler Avrupa kıtasında bulunan MATE, POLV, PENC, GRAZ ve ISTA isimli IGS istasyonlarına bağlı olarak günlük bazda hesaplanmıştır. Değerlendirmeler akademik bir yazılım olan GAMIT-GLOBK üzerinde tamamlanmıştır. Hesaplanan günlük çözümler ve aynı tarihlerde gerçekleşmiş olan deprem verileri birlikte değerlendirilmiş ve aralarında olabilecek olan ilişkiler incelenmiştir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde; zaman zaman ani konum değişiklikleri ile gerçekleşmiş olan depremler benzerlik göstermiş olsalar dahi geniş açıdan bakıldığında istenilen ilişkilendirme kurulamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Bursa, deprem, GAMIT-GLOBK

Bilim Kodu: 616.01.03

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF REFERENCE STATION LOCATION OF CONSTANT CHANGE WITH EARTHQUAKE DATA

Fatih ALİYAZICIOĞLU

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

January 2016, 57 pages

Earthquakes are top of natural disasters faced by the nations throughout history. With material destruction they caused casualties they had caused great harm lived in the country's economy. It is undoubtedly the most important aspects of people's lives around the world and this has always formed the basis of the work of scientists.

There are hundreds of active faults in the world and in our country have the potential to create earthquakes. However it is known that our world has undiscovered fault lines so far .The studies will be done aims to discover new fault lines,to survey existing lines,to predict future earthquakes and reduce loss of lifes and property.

North Anatolian Fault named as a unique laboratory by scientists, showed one againthe importance of the fact that our country has the reality of aearthquake by August 17 and November 12, 1999 . From this date the studies are directed to possible Marmara earthquake. Looking through the eyes of scientifically precise realization in the center of Istanbul and the

ABSTRACT (continued)

Marmara earthquake covers the immediate surroundings. Bursa, located in the south of Istanbul, is one of the locations that will be affected most by the possible Marmara earthquake.

As a part of this study, Gns observation data for the period 2008-2010 is supplied from Water and Sewerage Administration General Directorate which exists in the Osmangazi district in Bursa. These data are available in Europe MATE, POLVE, PENCE, GRAZ and ISTA depending on the IGS station is calculated on a daily basis. Reviews GAMIT the academic software / completed over the Globe. Calculated daily solutions and the data of earthquakes that have occurred the same dates were evaluated together and the relationship between them was examined

When examining the data obtained as a result of the calculations; sudden position changes from time to time if they have similar earthquakes that have occurred with the desired association has not been established even when viewed from wide angles.

Keywords: Bursa, Earthquake, GAMIT-GLOBK

Science Code: 616.01.03

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında ilk ve en büyük teşekkürü bana karşı bütün çalışma boyunca göstermiş olduğu sonsuz sabrından ve yardımlarından dolayı danışan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ'e sunmak isterim. Kendisi benim ile sadece tezim ile alakalı değil meslek hayatım boyunca ihtiyaç duyabileceğim bütün bilgiler ve yaklaşımlar hakkında her zaman yardımcı olmuş ve doğru yolu göstermiştir. İkinci büyük teşekkürü de şüphesiz bölüm başkanımız olan sayın hocam Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU hocama ediyorum. Bana karşı her zaman göstermiş olduğu desteği, en moralsiz günlerimde bile bana karşı olan yaklaşımını ve bizlerle paylaştığı etik değerleri ve dürüstlüğünü bir ömür boyu unutmayacağım. Tez çalışması aşamasında yardımcı olan, bilgisi ve ilgisi ile yol gösteren Sayın Doç. Dr. M. Tefvik ÖZLÜDEMİR'e hoşgörüsü için teşekkür ederim.

Arkadaşım Arş. Gör. Gökhan GÜRBÜZ'e ihtiyaç duyduğum ve çözmekte zorlandığım her anımda bana yardımcı olduğu için çok teşekkür ederim. Ayrıca verilerin elde edilmesinde bana çok yardımcı olan Harita Mühendisi Hüseyin Serkan BULUT'a ve BUSKİ kurumuna teşekkür ederim. Çalışmalarımı gerçekleştirdiğim süreç boyunca aynı evi ve ofisi paylaştığım arkadaşım Alpaslan EREN'e de bu süreç boyunca göstermiş olduğu destek ve yardımları için teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde şüphesiz ki en büyük paya sahip olan annem Gülay ALİYAZICIOĞLU, babam Şakir ALİYAZICIOĞLU ve ablam Elif ALİYAZICIOĞLU AKKİRAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak da eşim Pelin ALİYAZICIOĞLU ve ailesine, bana karşı göstermiş oldukları anlayış ve sahip oldukları sabır için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 TANITIM VE AMAÇ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.2 ÇALIŞMANIN AKIŞI	5
BÖLÜM 2 DEPREM VE FAY.....	7
2.1 DEPREM.....	7
2.2 DEPREM DALGALARI.....	7
2.2.1 Primer Dalgalar	8
2.2.2 Seconder Dalgalar	8
2.2.3 Love Dalgaları	8
2.3 DEPREM TÜRLERİ.....	9
2.3.1 Tektonik Depremler	9
2.3.2 Volkanik Depremler	9
2.3.3 Çöküntü Depremleri.....	10
2.4 PLAKA (LEVHA) TEKTONİĞİ	12
2.5 FAY.....	13
2.5.1 Normal Faylar	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.5.2 Ters Faylar	15
2.5.3 Doğrultu Atımlı Fay	16
2.6 KUZHEY ANADOLU FAYI.....	16
2.7 BURSANIN DEPREMSELLİĞİ.....	20
BÖLÜM 3 KÜRESEL UYDU KONUMLAMA SİSTEMİ (GNSS).....	23
3.1 UYDU BAZLI ALAN BÜYÜTME SİSTEMLERİ	24
3.2 GPS DESTEKLİ YER BÜYÜTMELİ NAVİGASYON (GAGAN) SİSTEMİ.....	25
3.3 GNSS İLE JEDOEZİK AĞ KONUMLAMASI VE IGS.....	25
3.4 AKADEMİK GPS YAZILIMLARI	27
3.4.1 GAMIT-GLOBK.....	28
BÖLÜM 4 UYGULAMA.....	31
4.1 BUSKİ REFERANS İSTASYONU.....	31
4.2 GÖZLEM VERİLERİNİN DÜZENLEMESİ	33
4.3 DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ	39
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye ve yakın çevresine ait plaka hareketleri.....	3
1.2. Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası.....	4
2.1. Deprem oluşumu.....	7
2.2. P ve S dalgalarının yayılımı.....	8
2.3. Yüzey ve cisim dalgaları.....	9
2.4. Deprem parametreleri.....	11
2.5. Devam eden kıta hareketleri sonucunda Dünyanın 50 milyon yıl sonraki durumu.....	13
2.6. Fay bileşenleri.....	14
2.7. Normal faylar.....	15
2.8. Ters faylar.....	15
2.9. Yanal atımlı faylar.....	16
2.10. Kuzey Anadolu ve San Andreas fayları.....	17
2.11. Kuzey Anadolu fayı ve kolları.....	18
2.12. Kuzey Anadolu Fayının Marmara bölgesindeki kolları ve GPS hızlarının göreceli farkından elde edilen kol başına hareket yüzdesi ve atım miktarları.....	19
2.13. Gemlik Körfezi, Bursa, İnegöl ve Yenişehir ovaları ve bölgenin jeoloji haritası.....	19
2.14. Bursa ili depremsellik haritası.....	21
2.15. Bursa ovasına ait InSAR görüntüleri.....	22
3.1. Dünya genelindeki IGS istasyonları.....	26
4.1. BUSK referans istasyonu.....	32
4.2. BUSK noktasına ait hava fotoğrafı.....	32
4.3. Verilerin kontrol edilmesi ve RINEX formatın çevrilmesi.....	33
4.4. Kontrolleri tamamlanan verilerin 24 saatlik gözlemlere çevrilmesi.....	33
4.5. 2008 001. GPS Günü BUSK istasyonunda gerçekleştirilen gözlem verisine ait uydu penceresi.....	35
4.6. Teqç üzerinde gerçekleştirilen kalite kontrolleri sonuçları.....	36
4.7. Ağ Geometrisi.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.8. BUSK noktasına ait 2008 yılı 061. GPS günü uydu pencereleri grafiği.....	41
4.9. 2008 yılı 061 GPS günü BUSK noktası histogram verisi	42
4.10. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük sağa koordinatının hesaplanan ilk güne ait X koordinatından olan farkları	43
4.11. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük yukarı koordinatının hesaplanan ilk güne ait Y koordinatından olan farkları	44
4.12. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük yükseklik (H) koordinatının hesaplanan ilk güne ait H koordinatından olan farkları.....	44
4.13. BUSK istasyonunun 2008-2010 yılları için günlük sağa bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri	46
4.14. BUSK istasyonunun 2008-2010 yılları için günlük sağa bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri	47
4.15. BUSK İstasyonunun 2008-2010 yılları için günlük sağa bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. IGS yörünge ürünleri.	26
4.1. Çalışma kapsamında kullanılan IGS istasyonlarının özellikleri	37
4.2. <i>sestbl</i> üzerinde tanımlanmış önemli parametreler.	38
4.3. Kullanılan IGS istasyonlarına ait station.info tablosu.	39
4.4. Kullanılan istasyonlara ait veri yollarının belirlenmesi.	40
4.5. GLOBK kullanımındaki önemli parametreler.	40
4.6. Proje alanı ve yakın çevresinde gerçekleşmiş olan depremler	45



KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

BUSKİ	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
EAPS	: Earth Atmospheric and Planetary Sciences
GAMIT	: GPS and MIT
GLOBK	: Global Kalman
GPS	: Global Positioning System
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
<i>gsoln.</i>	: Session Table
GSM	: Global System for Mobile Communications
GZK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
IGS	: International GNSS Service
InSAR	: Interferometric synthetic aperture radar
IRNSS	: Indian Regional Navigational Satellite System
ITRF	: International Terrestrial Reference System
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
NAVSTAR	: Navigation Satellite Timing And Ranging
NGS	: Antenna Calibration at the National Geodetic Survey
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
SBAS	: Satellite-based augmentation systems
<i>sestbl.</i>	: Session Table
<i>sittbl.</i>	: Site Control Table
SOPAC	: International GPS Service
UTM	: Universal Transverse Mercator



BÖLÜM 1

TANITIM VE AMAÇ

Dünyamız uzaydan bakıldığında her ne kadar bir küreye benzese de gerçekte ne düzgün bir geometrik şekli ne de homojen bir yapısı vardır. Gezegenimizin gerçek şekline “Geoit” denir. Geoit; durgun su yüzeylerinin karaların da altında devam ettiği düşünüldüğünde ortaya çıkan kapalı şekildir.

Geoit, geometrik şekli itibari ile düzensiz bir yapıya sahip olduğu gibi içyapısı itibari ile de aynı düzensizliği göstermektedir. Pekâlâ, ya yerkürenin her yeri aynı yoğunluğa sahip ve şekli tam bir küre olsaydı? O zaman yerçekimi ayak bastığımız her yerde sabit olurdu ve değişmezdi. Ama durum maalesef böyle değildir. Çünkü okyanusların altında yaklaşık olarak 10 kilometreye kadar dalan katı ve sert kabuk, kıtaların altına denk gelen bölgelerde yaklaşık olarak 32 kilometre kalınlığına ulaşır. Bu yüzden, yerkürenin bazı bölgeleri hafif malzemeler içerirken, bazıları ise bu bölgelere göre daha yoğundur. Yoğunluktaki bu değişimin nedeniyse mantodaki hareketliliktir. Yerkürenin sahip olduğu bu etkilerin bir sonucu olarak, yerçekimi bazı bölgelerde diğerlerine kıyasla daha güçlü hissedilir.

Yerkabuğunu oluşturan plakalar, yerkabuğunun bu düzensiz ve hareketli olan dinamik yapısından dolayı sürekli olarak hareket halindedirler. Bu durum plakaların konumlarına ve yoğunluklarına göre hızlı veya yavaş bir şekilde gerçekleşir. Bizler, günlük yaşamımızda bu hareketliliğin ve değişikliğin büyük bir bölümünden haberdar olamayız.

Kıta oluşturan hareketler olarak tanımlanan sürekli ve yavaş hareketlerin hissedilebilmesi mümkün olmamaktadır. Fakat saniyelerle ölçülecek süreler içinde gelişen ve büyük yıkımlara, can ve mal kayıplarına yol açan hızlı yerkabuğu hareketleri vardır ki bunlar da deprem olarak adlandırılırlar (Yürür 2005).

Gerek günümüzde gerekse geçmişte toplumları etkileyen ve korkutan en büyük doğal afetlerin başında her zaman depremler ve bu depremlerin ortaya çıkarmış olduğu yan etkiler gelmektedir. Bu bağlamda depremlerin ve sebep olabileceği paralel etkilerin önceden tahmin edilebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi adına neler yapılabileceği sorusu geçmişte olduğu gibi günümüzde de güncelliğini devam ettirmektedir.

Deprem ile ilgili araştırmalar, onunla mücadele edebilmek için bir takım sorulara cevaplar aramayı amaçlamaktadır. Bu sorular, depremlerin neden ve nasıl oluştuğu, nerede, hangi büyüklükte ve ne zaman deprem olacağı ve bu bilgilerin ışığında depremleri önlemenin ya da zararlarını azaltmanın mümkün olup olmayacağı şeklindedir (Doğru 2003).

Yeryüzünde yaşadığımızın bütün doğal felaketlerin özellikle de depremlerin mutlaka yerin fiziksel yapısı ile ilişkisi vardır. Hareket eden levhalar birbirleri üzerinde bir kuvvet oluştururlar. Bu kuvvete karşı yer kabuğu üzerindeki kayalar bir direnç gösterirler ve bu direnç belirli bölgelerde enerji birikimine yol açar. Biriken bu enerji, kayaların kırılma limitine ulaştığı anda faylanma gerçekleşir ve enerji açığa çıkar.

Ülkemizin üzerinde bulunduğu Anadolu Plakası, kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Afrika ve Arap Plakaları, doğuda Doğu Anadolu Bloğu ve batıda Ege bloğu ile çevrilidir. Bütün bu plakaların hareketlerine bakıldığında yurdumuzun dünya üzerindeki en aktif deprem kuşaklarının birinin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Geçmişte birçok büyük ve yıkıcı depremlere ev sahipliği yapmış olan ülkemiz bundan sonra da aynı tehditle karşı karşıyadır.

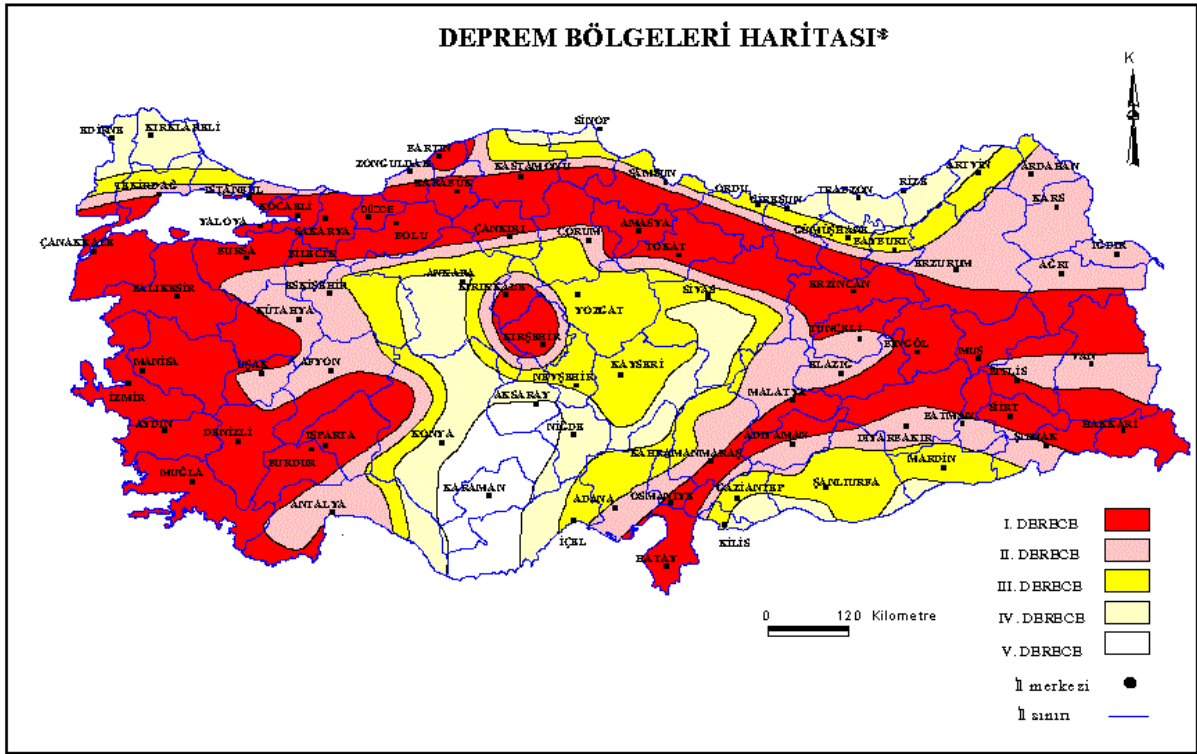
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Ülkemiz; sahip olduğu beş yüzden fazla fay sayısı ve bu fayların hareketliliği göz önünde bulundurulduğunda geçmişten günümüze her zaman bilimsel çalışmaların merkezlerinden biri konumunda olmuştur.

Dünyanın en aktif faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu, bilim adamları için eşsiz bir laboratuvarıdır. Afrika ve Arap levhalarının kuzey yönünde hareketinin sonucu oluşan baskı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batıya doğru ilerlemesine neden olmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), ürettiği depremlerin sebep olduğu can ve mal kayıpları nedeniyle ülkemizin en tehlikeli faylarından birisidir (Lenk vd 2003).

yapılarının da (baraj, köprü, tünel vb.) % 99'luk kısmı yine deprem riski altındaki bölgelerdedir. Bütün bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda KAF'ın önemi bir kat daha artmaktadır.

17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonraki süreçte Marmara Bölgesi ve çevresinde, Marmara Denizinin altında olduğu düşünülen ve 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleri ile kırılmayan fayın yaratabileceği depremin yeri, zamanı ve büyüklüğünü belirlemeye yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Görmüş 2011).



Şekil 1.2 Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası (Özmen vd. 1997).

Bu çalışmada Bursa ilinde bulunan ve 2008 yılından beri yılın 365 günü, günün 24 saati gözlem yapan sabit GPS istasyonu verilerinin yaklaşık olarak 3 yıllık bir kısmı akademik GNSS yazılımı GAMIT-GLOBK ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu elde edilen hassas koordinatlardaki değişimlerin meydana gelen depremler ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 ÇALIŞMANIN AKIŞI

Bu çalışma kapsamında ikinci bölümde yeryüzünün şekli ve yapısı, plaka tektoniği, en büyük doğal afetlerden biri olan depremler ve Bursa ilinin deprenselliği ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

Üçüncü bölümde deprem türleri ve etkileri, fay hatlarının çeşitlilikleri ve son olarak da KAF ve Bursa ve yakın çevresinin deprenselliğine değinilecektir.

Dördüncü bölümde gelişen teknolojinin de sayesinde her gün hayatımızın farklı bir alanında hizmet göstermeye başlayan GNSS teknolojisinin tektonik çalışmalardaki konumu ve önemine değinilecektir.

Bir sonraki bölümde gerçekleştirilen uygulama ele alınarak elde edilen bulgular verilecektir. Son bölümde ise tezde ulaşılan sonuçlar tartışılacaktır.



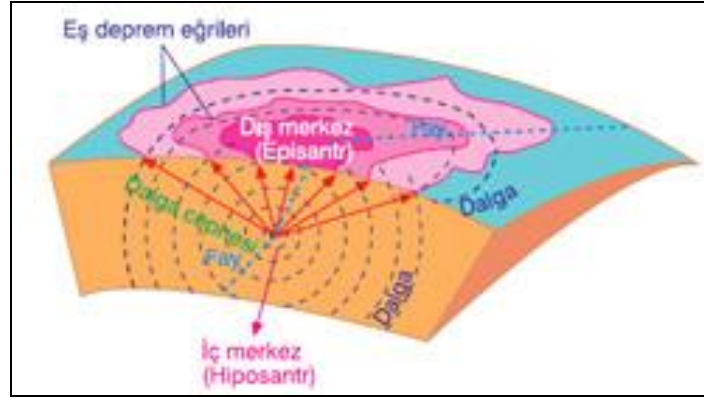
BÖLÜM 2

DEPREM VE FAY

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak depremler ve faylar çeşitleri hakkındaki temel bilgilere değinilecektir. Daha sonraki aşamada Kuzey Anadolu Fay hattı tanıtılacaktır. Son olarak da çalışmaya konu olan Bursa bölgesinin depremselliği hakkında bilgiler verilecektir.

2.1 DEPREM

Deprem; yer yüzeyini oluşturan katmanların içerisindeki faylar üzerinde zaman içinde biriken enerjinin saniyeler içinde açığa çıkması sonucu oluşan titreşimlerin geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsması olayına denir. Depremlerin oluşmasındaki en büyük etkenlerden biri de şüphesiz ki plaka hareketleridir.



Şekil 2.1 Deprem oluşumu (URL-1 2016).

2.2 DEPREM DALGALARI

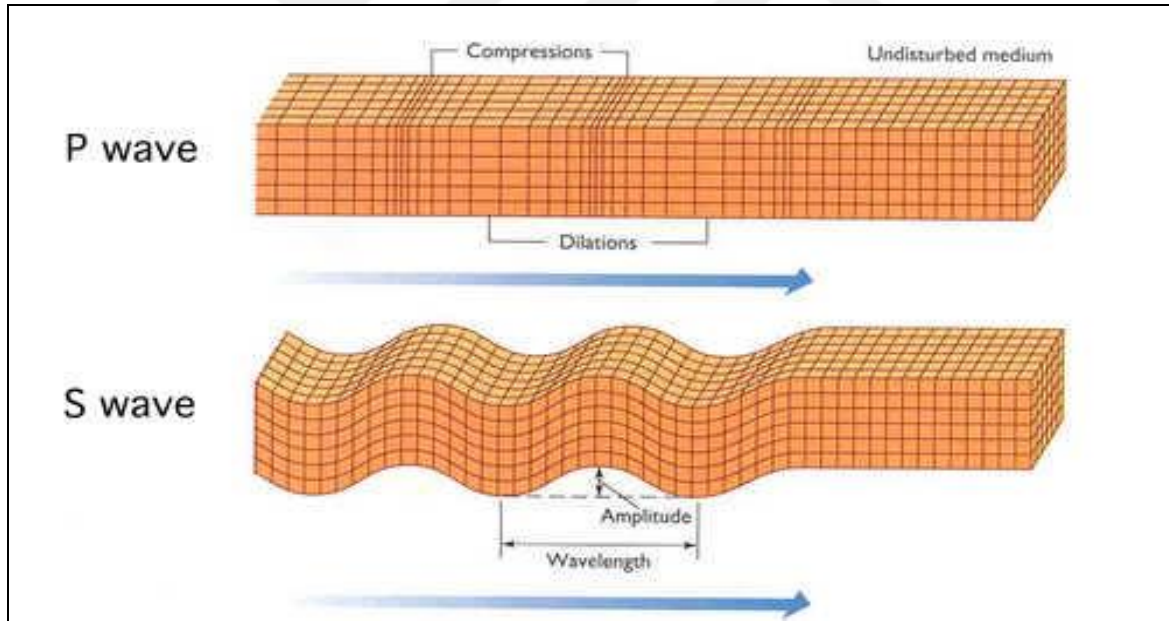
Deprem sırasında ortaya çıkan enerji, sismik dalgalar adı verilen dalgalar halinde yayılır. Sismik dalgalar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu dalgalardan ilki olan cisim dalgaları da Primer dalgalar ve Seconder dalgalar olmak üzere ikiye ayrılır. Bir diğer tür olan yüzey dalgaları da aynı şekilde Love ve Rayleigh dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

2.2.1 Primer Dalgalar

Primer dalgalar ya da diğer bir ismi ile P dalgaları, en hızlı (6–72 km/sn) yayılan deprem dalgasıdır. Bu özelliğinden dolayı dış merkeze ve deprem kayıt istasyonlarına ilk gelen deprem dalgalarıdır. P dalga türleri boyuna hareket eden dalga türleridir ve ileriye-geriye doğru titreşim hareketi yaratırlar. En önemli özelliklerinden biri de zemin yapısı itibari ile katılığı sıfır olan sıvı ve gaz ortamlarda dahi yayılımını devam ettirebilmeleridir.

2.2.2 Seconder Dalgalar

Seconder dalgalar ya da diğer bir ismi ile S dalgaları, depremin dış merkezine ve deprem kayıt istasyonlarına ikinci olarak ulaşan deprem dalgalarıdır. S dalgaları P dalgalarının aksine enine hareket eden dalgalardır ve yalnızca katı tanecikli yüzeylerde yayılım yapabilirler. Bu özellikleri sayesinde zemin yapısının tespitinde önemli rol oynarlar.

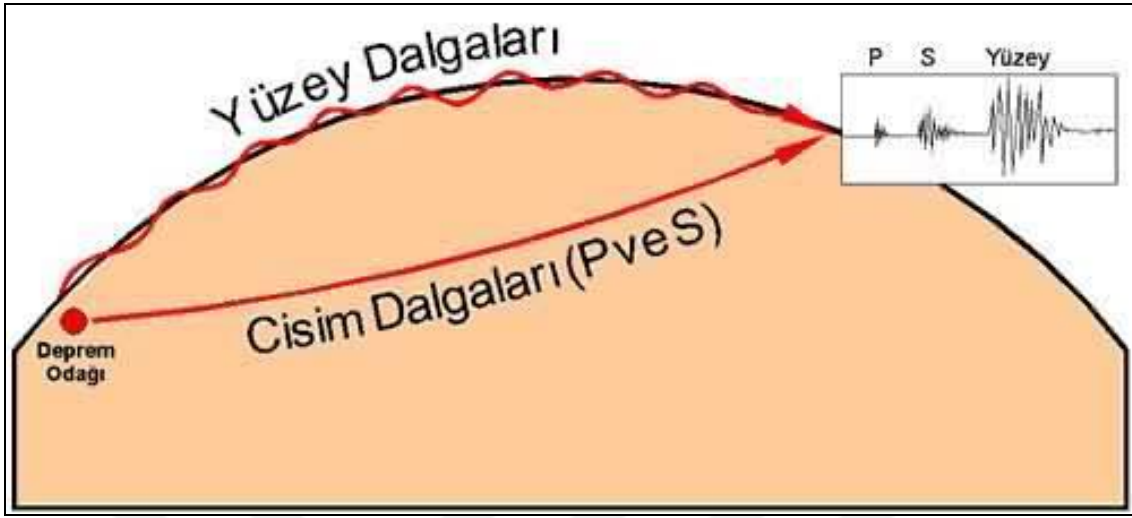


Şekil 2.2 P ve S dalgalarının yayılımı (URL-2 2016).

2.2.3 Love Dalgaları

Deprem dış merkezine ve deprem kayıt istasyonlarına en geç ulaşan dalga türüdür. Özellikleri gereği S dalgalarına çok benzeyen L dalgaları depremde en ağır hasarı veren, mal ve can kaybına neden olan dalga türleridir. S dalgalarına oranla daha uzun periyotlarda ve daha büyük dalga boylarında gerçekleşmelerine rağmen hızları S dalgalarına oranla çok daha azdır.

Cisim dalgalarının hareket yüzeyi yeryüzüne çok yakındır. Bu nedenle de bunlar yüzey dalgaları olarak da bilinir.



Şekil 2.3 Yüzey ve cisim dalgaları (URL-3 2016).

2.3 DEPREM TÜRLERİ

Depremler oluş şekillerine göre değişik türlerde olabilirler. Bu türler tektonik depremler, volkanik depremler ve çöküntü depremleri olmak üzere üç farklı şekilde gruplandırılabilirler.

2.3.1 Tektonik Depremler

Plaka hareketlerinin sonucunda oluşan depremlerdir. Yeryüzünde oluşan depremlerin % 90'nı, ülkemizdeki depremlerin ise tamamına yakını tektonik depremler sınıfındadırlar. Oluşumlarının nedeni plaka hareketleri olduğu için genellikle plaka sınırlarında meydana gelirler. Etkileri bakımından geniş alanlarda etkili olurlar ve yıkıcı etkiye sahiptirler. Bir depremin zarar derecesi şiddeti, süresi, arazinin ve binaların yapısı ve deprem merkezine olan uzaklığı gibi parametrelerle orantılı olarak değişiklik gösterir.

2.3.2 Volkanik Depremler

Bu tür depremler volkanik hareketlerin arkasından oluşurlar. Yerkürenin derinliklerinden gelen erimiş olan maddenin yeryüzüne çıkışı sırasında sebep olduğu fiziksel ve kimyasal patlamaların sonucunda meydana gelirler. Genel itibarıyla yerel bir bölgede gerçekleşirler ve

yıkıcı etkileri yok denecek kadar azdır. Ülkemizde volkanik faaliyetler bulunmadığından dolayı bu tip depremlerle karşılaşmamaktadır.

2.3.3 Çöküntü Depremleri

Yeraltındaki boşlukların; kömür ocaklarındaki galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır ve fazla zarar getirmezler. Özellikle karstik yapıya sahip sahalarda görülürler. Ülkemizde en çok Akdeniz Bölgesindeki karstik mağaraların tavan kısımlarının çökmesi ile meydana gelirler.

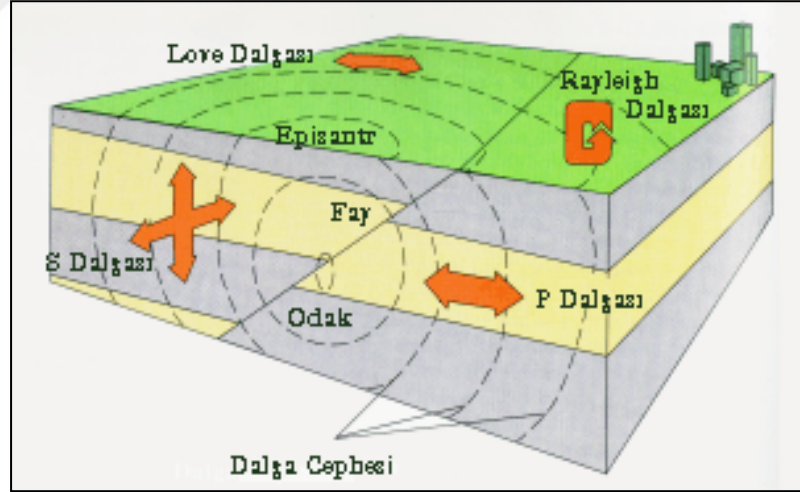
Depremin boyutu ya da “gücü” iki farklı yol ile ölçülür. Bunlardan ilki depremin “şiddetini” ölçmek, diğeri ise depremin “büyüklüğünü” ölçmektir. Günlük hayatta bu iki kavram sık sık karıştırılır ve yanlış kullanılır.

Depremin ne tür ve ne kadar zarar verdiğini ölçmeye amaçlayan, yani depremin insanlar, binalar ve doğa üzerindeki etkilerini saptayan yöntem, aslında “şiddet” ölçümüdür. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında matematiksel bir bilgi vermez, yalnızca deprem nedeniyle oluşan yerkabuğundaki hasarı yansıtır (Buğdaycı 1999).

Şiddetin ölçü birimi olarak kullanılmaya başlaması; sismografların icat edilmediği dönemlerde, depremin ölçüsünü belirlemek amacıyla depremlerin canlılar, yapılar ve toprak üzerindeki etkilerinin sınıflandırılması ile olmuştur. Depremin büyüklüğü ise odak noktasından belirli uzaklıklarda bulunan özel nitelikli sismografların kaydettiği yer hareketlerinin genliğinin mikron cinsinden Logaritması, $M=Richter$ büyüklüğü olarak ifade edilebilir. Gerçekleşmiş olan depremlerin büyüklüklerinin tanımlanabilmesi ve tarif edilebilmesi için bazı ölçütlere ihtiyaç duyulur. İhtiyaç duyulan bu ölçütlere Deprem Parametreleri denir ve bu sayede depremler daha anlaşılabilir kılınırlar. Aşağıda bu parametreler hakkında kısa açıklamalarda bulunulmuştur.

- **Odak Noktası** diğeri bir adı ile iç merkez; enerjinin ortaya çıktığı alana denir. Gerçekte bir alana karşılık gelen bu bölge pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilir.

- **Dış Merkez;** odak noktasına en yakın olan yeryüzü üzerindeki alandır. Bu nokta aynı zamanda depremden en çok etkilenen ve en ağır hasara maruz kalan noktadır. Dış merkezin büyüklüğü depremin şiddeti ile doğru orantılıdır.
- **Odak Derinliği;** enerjinin ortaya çıktığı noktanın yeryüzüne olan en kısa olan uzaklığına denir. Odak derinliğine göre depremler 3 ana sınıfta toplanır. 0 ile 60 km arasındaki depremler sığ, 70 ile 300 km arasındaki depremler orta derinlikte, 300 km ve üzerindeki derinliklerde meydana gelen depremler ise derin depremler olarak isimlendirilirler. Ülkemizdeki gerçekleşen depremler genellikle sığ depremlerdir.
- **Şiddet;** enerjinin yeryüzü üzerinde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Depremlerin şiddeti sahip olduğu diğer parametrelerle de doğrudan ilişkilidir.
- **Eş şiddet Eğrileri;** Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eş şiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.



Şekil 2.4 Deprem parametreleri (URL-4 2016).

Dünyanın varoluşundan bugüne, aktif faylar üzerinde bulunan bölgelerde depremlerin sıklıkla gerçekleştiği ve bu depremler sonucunda da milyonlarca insanın hayatının ve barınaklarının yok olduğu bilinmektedir.

Ülkemizde son 58 yıl içerisinde gerçekleşen depremlerde, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır (URL-5).

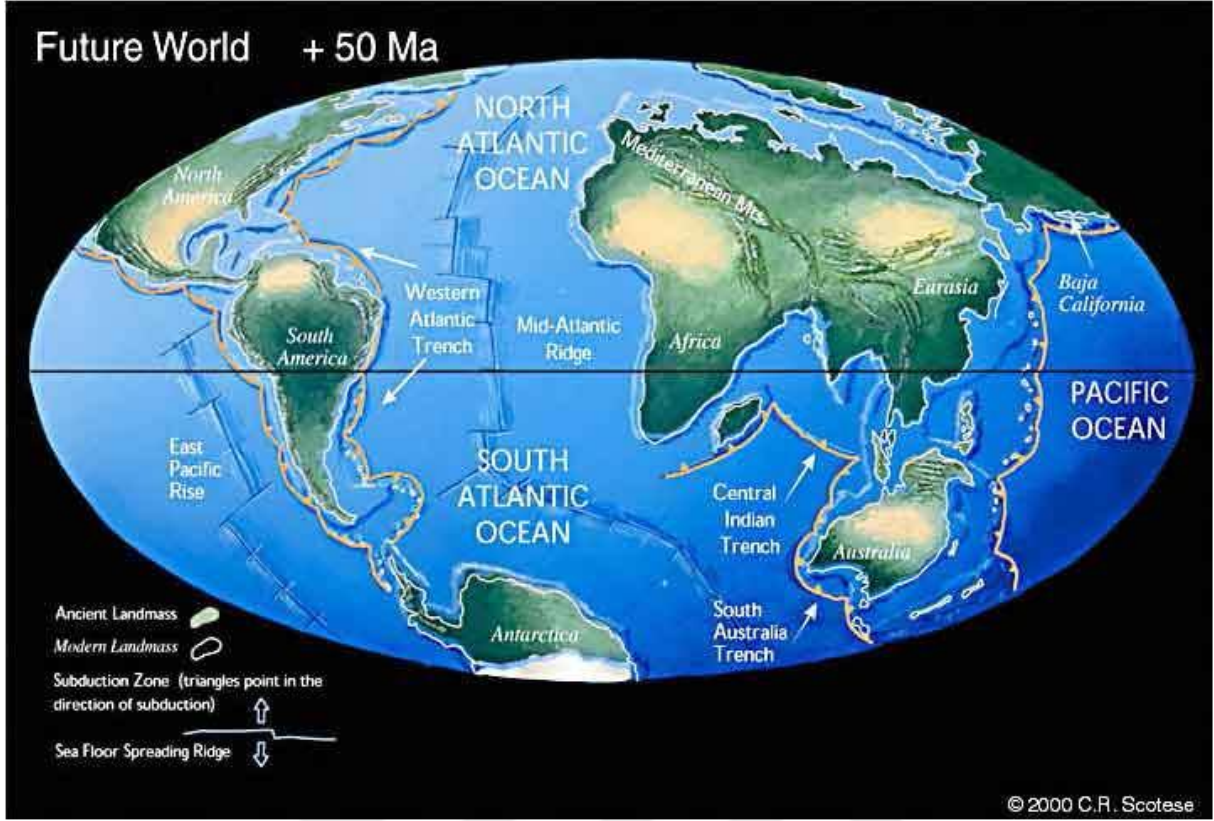
2.4 PLAKA (LEVHA) TEKTONİĞİ

Yerkürenin iç yapısını ve hareketlerini tüm olarak konu edinen “Plaka Tektoniği” akımına göre; yerin en dış kısmını oluşturan 70-100 km kalınlıktaki katı yer kabuğu, üst mantonun litosfere oranla daha yumuşak ve kısmen akıcı bir bölgesi olan astenosfer üzerinde, birbirine göre çeşitli yönlerde kayarak hareket etmekte olan çok sayıda büyük ve küçük plakadan meydana gelmektedir (Gündoğdu 2010).

Yerküre soğumasını tamamladıktan sonra üzerinde tek bir kara parçası kalmıştır. Bütün kıtaların oluşturduğu bu kara parçası Pangea olarak adlandırılmıştır. Süper kıta Pangea'nın, bundan 225 ile 250 milyon yıl önce parçalanmaya başladığı ve bu hareketliliğin sonucunda kıtaların günümüzdeki şeklini aldığı düşünülmektedir.

Alfred WEGENER; kıtaların kayması düşüncesini modern bir kuram olarak ortaya koymuş ve ilk defa 1915 yılında yayınlanan Kıtaların ve Okyanusların Kökeni (The Origin of Continents and Oceans) adlı tarihi kitabında kuramını açıklamıştır. Wegener'e göre Pangea, zaman içerisinde mantodaki konveksiyon akımlarının hareketleri ve yerin kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu ortaya çıkan merkezkaç kuvvetlerinin etkisi altında kalarak kırılmış ve kutuplardan uzaklaşarak ekvatora doğru kaymaktadır.

Astenosfer, sahip olduğu bu hareketli yapıyı devam ettiği takdirde, 50 milyon yıl içinde Atlantik ve Hint okyanuslarının büyümeye devam etmesi ve Avustralya ile Japon adalarının çarpışması ön görülmektedir.



Şekil 2.5. Devam eden kıta hareketleri sonucunda dünyanın 50 milyon yıl sonraki durumu (Scotese 2000).

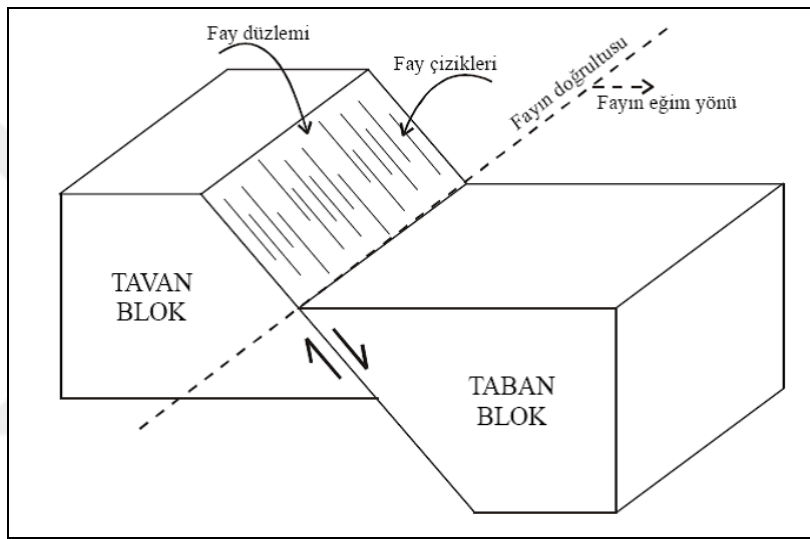
2.5 FAY

Yerkürenin üst katmanları, bir bütün halinde olmayıp, sürekli hareket halinde olan levhalardan oluşur. Yeryüzü üzerinde yaklaşık olarak 10 adet büyük levha ve çok sayıda da küçük levha bulunmaktadır. Bu levhalar, üzerlerinde bulunan kıtalarla birlikte, Astenosfer yani yumuşak üst manto üzerindeki ısı akımlarının etkisi ile serbest bir şekilde ve insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket ederler. Depremler yeryüzünde; plakaların birbirleri ile sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri alanlarda oluşmaktadır.

Hareket eden levhalar birbirleri üzerinde bir kuvvet oluştururlar. Bu kuvvetler yerkabuğundaki kayaçların direnç göstermesi sonucunda belirli bölgelerde enerji birikimine yol açarlar. Bu enerji, kayaçların kırılma sınırını aştığı zaman açığa çıkar ve sonucunda da bir hareket oluşturur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar

geçtiği ortamları sarsar ve depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve FAY adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemezler, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilirler.

Blokların fay düzlemi boyunca birbirinden uzaklaşma miktarına atım veya ötelenme denir. Fay düzlemleri iki bloğu birbirinden ayırır. Bu iki blok, fay düzlemi üzerinde birbirine nazaran hareket ederler. Bu bloklardan fay düzleminin üzerinde bulunan bloğa tavan bloğu, fay düzleminin altında bulunan bloğa ise taban bloğu adı verilir (Dirik 2006).

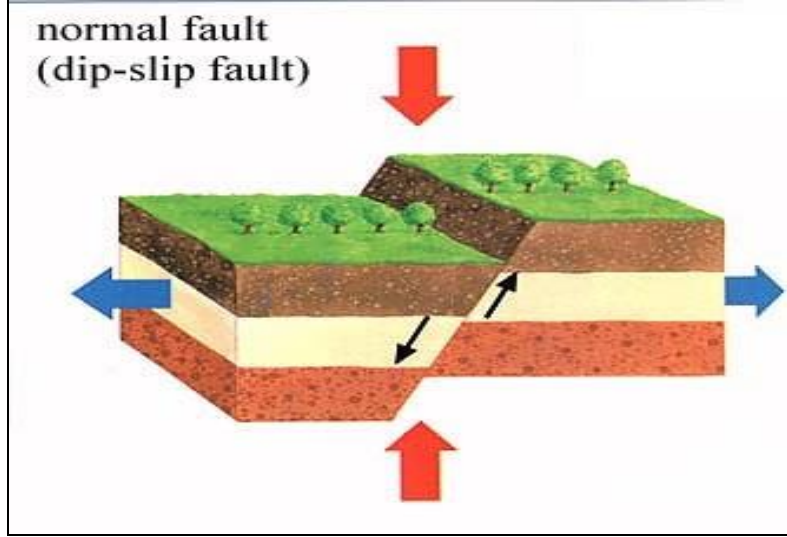


Şekil 2.6 Fay bileşenleri (Dirik 2006).

Faylar kırılma şekillerine Eğim Atımlı Normal Faylar, Ters Faylar, Bindirmeler ve Doğrultu Atımlı Faylar olarak sınıflandırılırlar.

2.5.1 Normal Faylar

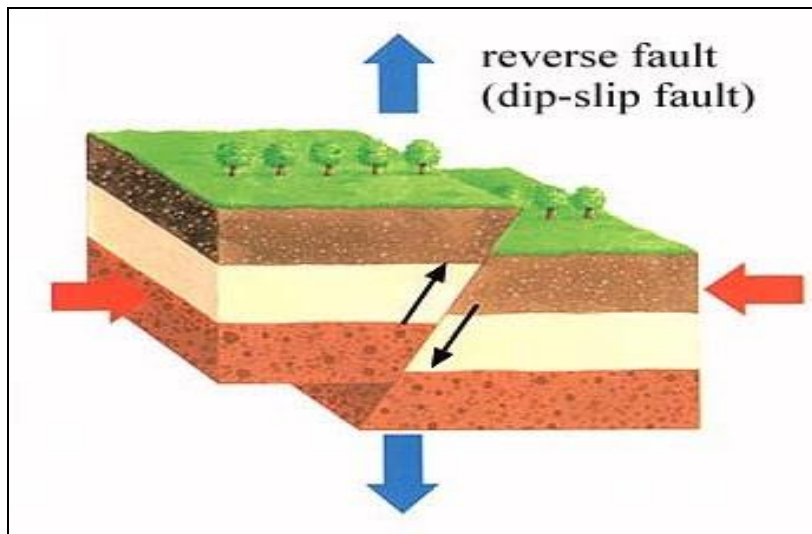
Gerilmeli bölgelerde, eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı doğru hareket etmesi yani kayması sonucu gelişen faylara Eğik Atımlı Normal Faylar adı verilir. Daha önce vurgulandığı gibi fay düzleminin altında kalan bloğa Taban Bloğu, fay düzleminin üzerinde kalan bloğa ise Tavan Bloğu denir (URL-6).



Şekil 2.7 Normal faylar (URL-7 2016).

2.5.2 Ters Faylar

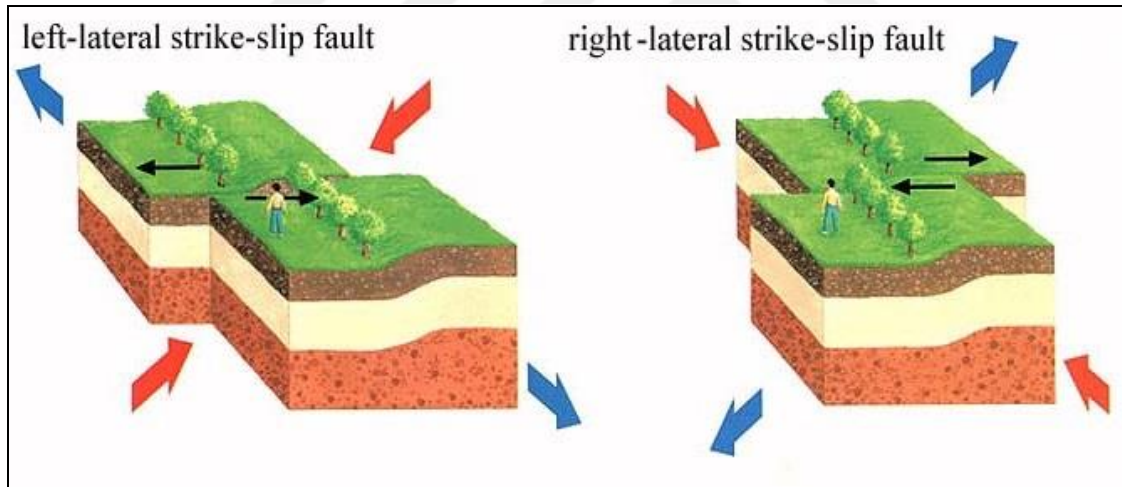
Sıkışmalı bölgelerde gelişen Ters Faylar, eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarı doğru hareket etmesi, yani yükselmesi sonucu gelişirler. Bu tür fay gelişmelerinde fay düzleminin yataya yakın olduğu ve yükselen tavan bloğunun, taban bloğu üzerinde uzun mesafelerde ilerlemesi sonucu gelişen özel tür ters fay, bindirme olarak adlandırılır. Bu tür faylar sıkışmalı bölgelerde geliştiğinden fayın her iki bloğundaki tabakaların da, ilksel şekillenmeleri kıvrılarak bozulur ve kıvrımlı yapılar gelişir. Bu tür fayların yükselen ve kıvrımlanan tavan blokları yeryüzündeki dağ kuşaklarını oluştururlar (URL-6).



Şekil 2.8 Ters faylar (URL-7 2016).

2.5.3 Doğrultu Atımlı Fay

Doğrultu Atımlı Faylar, fay düzlemi boyunca blokların birbirine oranla yanıl yönde hareket etmesi sonucu oluşurlar. Bu tür faylarda bloklar birbirlerine göre sağa veya sola doğru hareket ederler. Fayın hareket yönü, dere, yol, duvar gibi daha önce ötelenmemiş olan bir doğrusal hattın, faylanma sonrası göreceli olarak hangi tarafa doğru ötelenmiş olduğunun belirlenmesi yoluyla bulunur. Buna göre, gözlemcinin karşısında duran bloktaki obje (yol, duvar vs.) fay hareketinin ardından sağa doğru kaymışsa, söz konusu fay Sağ Yanal Doğrultu Atımlı Fay, sola doğru kaymışsa Sol Yanal Doğrultu Atımlı Fay olarak adlandırılır. Dünyadaki en önemli fay zonlarından ikisini; ABD’de bulunan San Andreas Fayı ve ülkemizde doğuda Karlıova’dan başlayıp, Anadolu’yu Karadeniz kıyısına paralel olarak kat ederek Marmara Denizi içirisine oradan da Ege Denizine ulaşan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) oluşturur. Her ikisi de sağ yanıl doğrultu atımlı nitelikte olan bu faylar, oluşturdukları 7 ve üzerindeki büyüklüğe sahip depremler nedeniyle son derece yıkıcı özelliğe sahiptirler (URL-6).



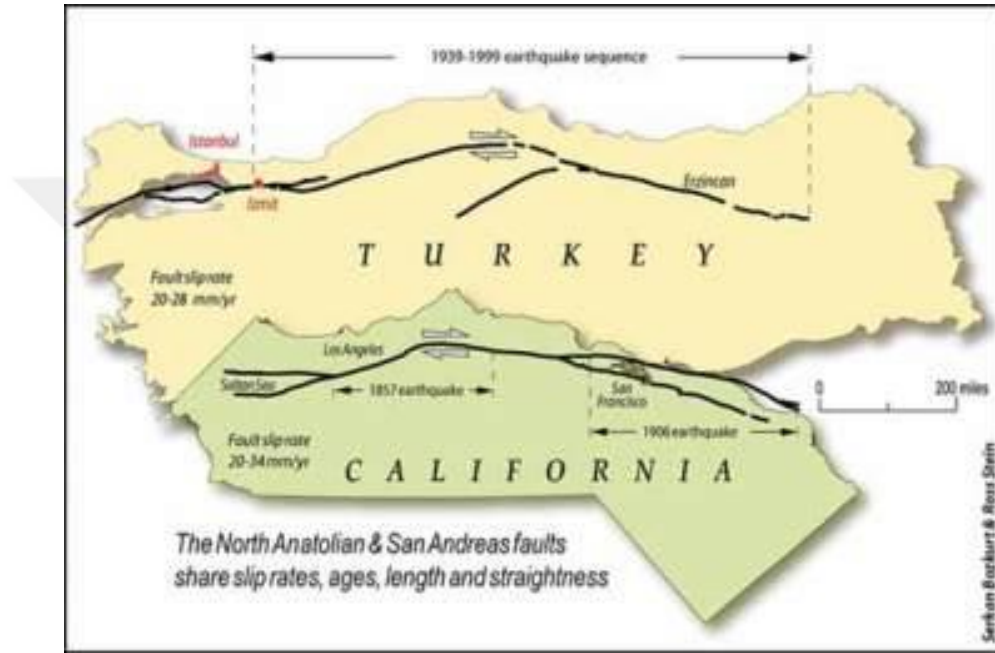
Şekil 2.9 Yanıl atımlı faylar (URL-7 2016).

2.6 KUZEY ANADOLU FAYI

Alpin sistem içirisinde boyları bin kilometreyi geçen doğrultu atımlı büyük aktif fayların mevcudiyeti ve bunların yer kabuğunun tektonik yapısındaki önemleri, son on yıl içirisinde birçok jeolog ve jeofizikçi tarafından belirtilmiş ve bu konu üzerinde oldukça zengin bir literatür ortaya konmuştur. Kaliforniya’da San Andreas fayı, Meksika’da Baja, Kaliforniya’da Agua Blanca fayı, Alaska’da Denali fayı, Yeni Zelanda’da Alpin fayı, Filipinler-Tavvan fayı

ve Güney Amerika'da, Şili'deki Atacama fayı bu çeşit aktif yırtılma (de kroşman) hareketlerinin tipik örnekleridir (Ketin 1969).

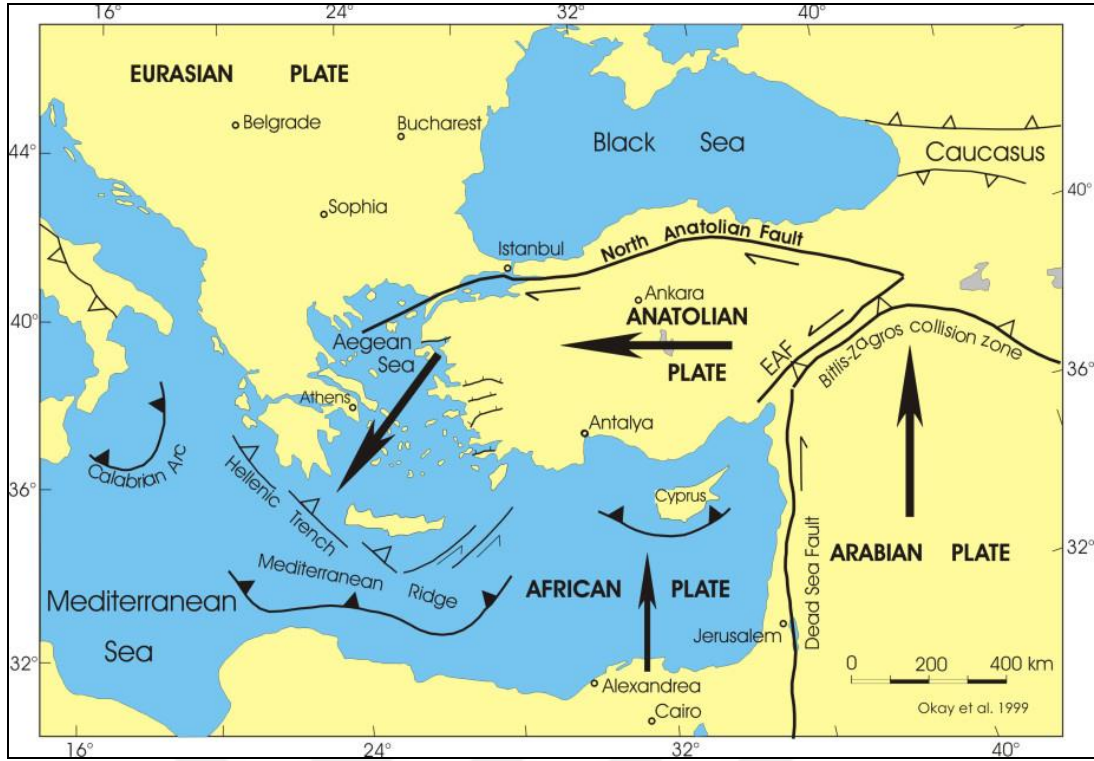
Kuzey Anadolu fayı ortalama 1500 km uzunluktadır. Sağ yönlü yatay hareket gösteren doğrultu atımlı ve diri fay topluluğunu barındıran bir kuşaktır. Kuşak içerisindeki kırıklar kademeli olarak sıralanır. Bu kırıklar kimi yerlerde 500-1000 m ile 8-10 km genişlikte uzanırlar (Eyidoğan vd. 1991).



Şekil 2.10 Kuzey Anadolu ve San Andreas fayları (URL-8 2016).

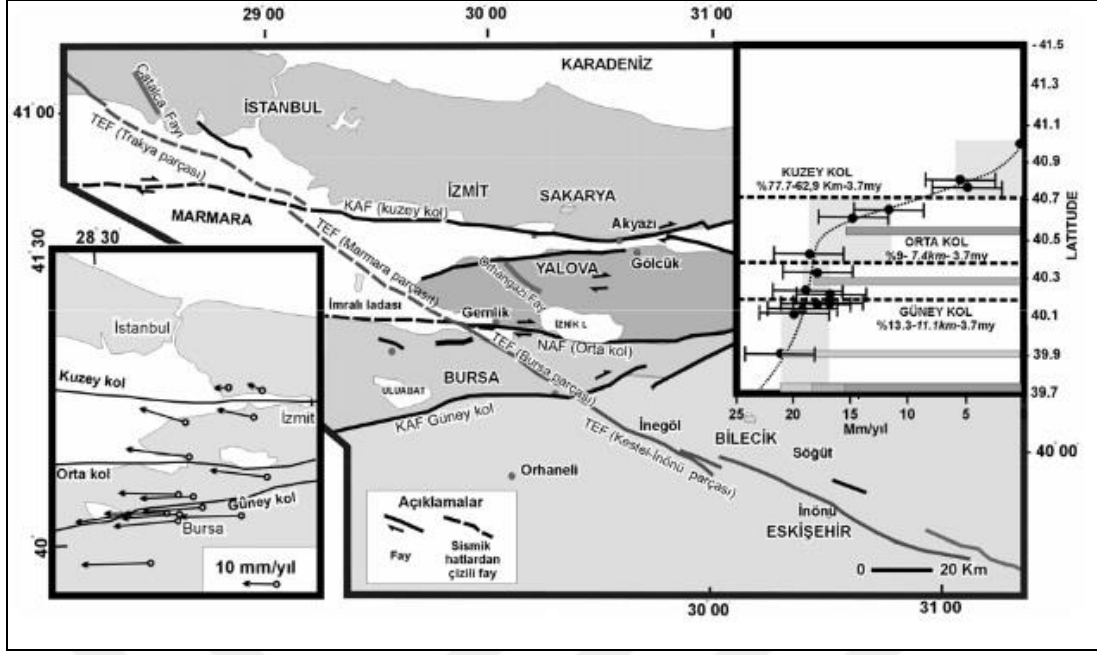
Karadeniz kıyı kesimine hemen hemen paralel şekilde, Anadolu'yu batı-doğu doğrultusunda boydan boya kesen Kuzey Anadolu Fayı'nın, batıda Sakarya nehri (Geyve) ile doğuda Van Gölü (Bulanık) arasında kalan ve yeryüzünde kesintisiz olarak gözlenebilen uzunluğu, yaklaşık olarak 1200 km; Ege denizi ile İran sınırı arasında, uzantıları ile birlikte yaklaşık 1600 kilometredir (TJK 1976).

Kuzey Anadolu Fayı; Avrupa Asya levhası ile Anadolu Yarımadası arasında kalan sağ atımlı bir faydır. Sahip olduğu bütün parçaları bu özelliği göstermekle beraber küçük ölçüde düşey hareketler de gözlenmiştir. KAF üzerinde kırılan herhangi bir segment bir sonraki segmenti tetikler.

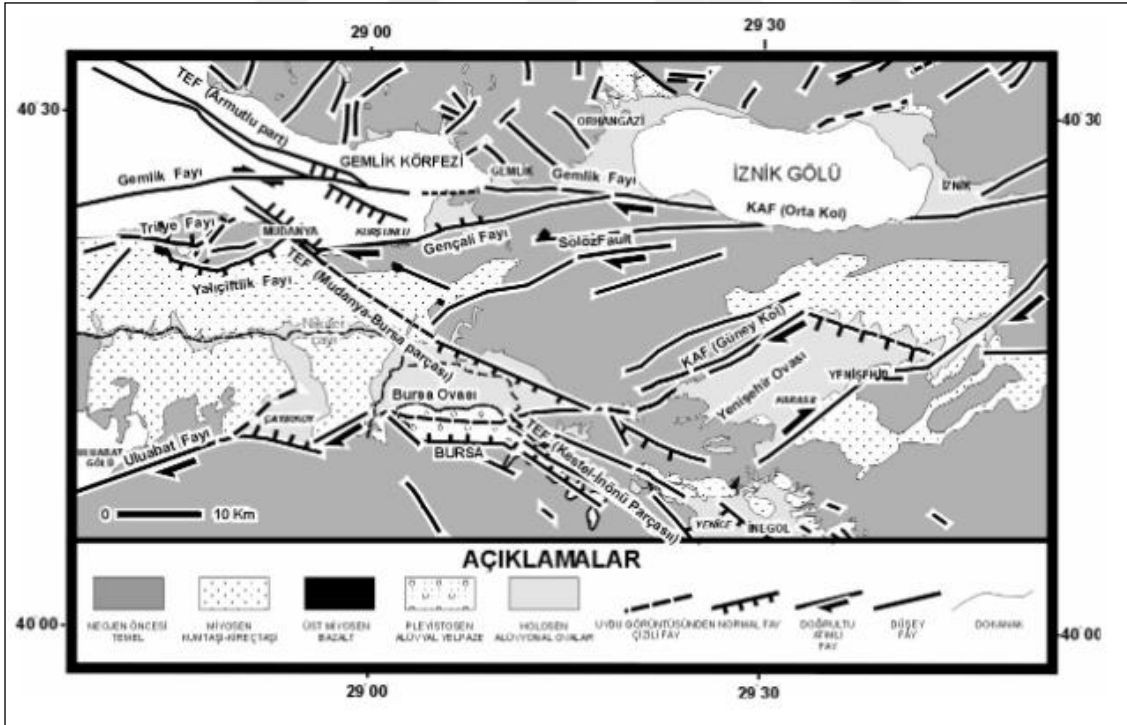


Şekil 2.11 Kuzey Anadolu fayı ve kolları (URL-9 2016).

Anadolu ve Avrasya plakaları arasındaki sınırı oluşturan Kuzey Anadolu Fayı doğuda Karlıova'dan başlamaktadır. Batı ucunun ise nerede sona erdiği bilinmemekle birlikte değişik varsayımlar bulunmaktadır. Bu fay üzerinde Marmara Denizi'nin kuzey kesiminde yaklaşık 200 m derinlikte üç çukurluk vardır. KAF buradan Mudurnu Suyu vadisi-Abant Gölü-Bolu-Gerede üzerinden Çerkeş-Ilgaz yöresini izleyen Yeşilirmak-Niksar üzerinden Kelkit vadisine ulaşır. Daha sonra da Erzincan ovasını geçip Fırat'ı keserek Karlıova-Varto alanına gelir (Eyidoğan vd, 1990). Karlıova'dan Mudurnu'ya kadar genelde tek bir hat izleyen Kuzey Anadolu Fayı, Marmara ve Kuzey Ege bölgesinde birbirine paralel üç kola (güney, orta, kuzey) ayrılmaktadır ve Şekil 2.12 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Kuzey Anadolu fayının Marmara bölgesindeki kolları ve GPS hızlarının göreceli farkından elde edilen kol başına hareket yüzdesi ve atım miktarları (Yaltrak 2000, Straub vd. 1997).



Şekil 2.13 Gemlik Körfezi, Bursa, İnegöl ve Yenişehir ovaları ve bölgenin jeoloji haritası (Yaltrak vd. 2000).

Bölgede sağ yanal atımlı faylar genelde güney-batı yönde uzanmakta ve Ege bölgesindeki genişlemeye paralel olarak doğu-batı yönünde normal faylanmaların bulunduğu görülmektedir. Bölge içinde fay kolları aşağıdaki görüntüyü verir (Barka 1992).

Güney kol; Yenişehir, Bursa, M. Kemalpaşa, Gönen, Edremit arasında uzanmakta olup Bursa-Gönen arasında normal faylar, diğer bölgelerde ise yanal atımlı faylar bulunmaktadır.

Orta kol; Geyve, İzmit, Gemlik, Bandırma, Bayramiç arasında uzanmaktadır. Orta kol çoğunlukla yanal atımlı faylardan oluşmakta olup Gemlik-Bandırma arasındaki bölgede fayın durumuna ilişkin araştırmalar sürmektedir.

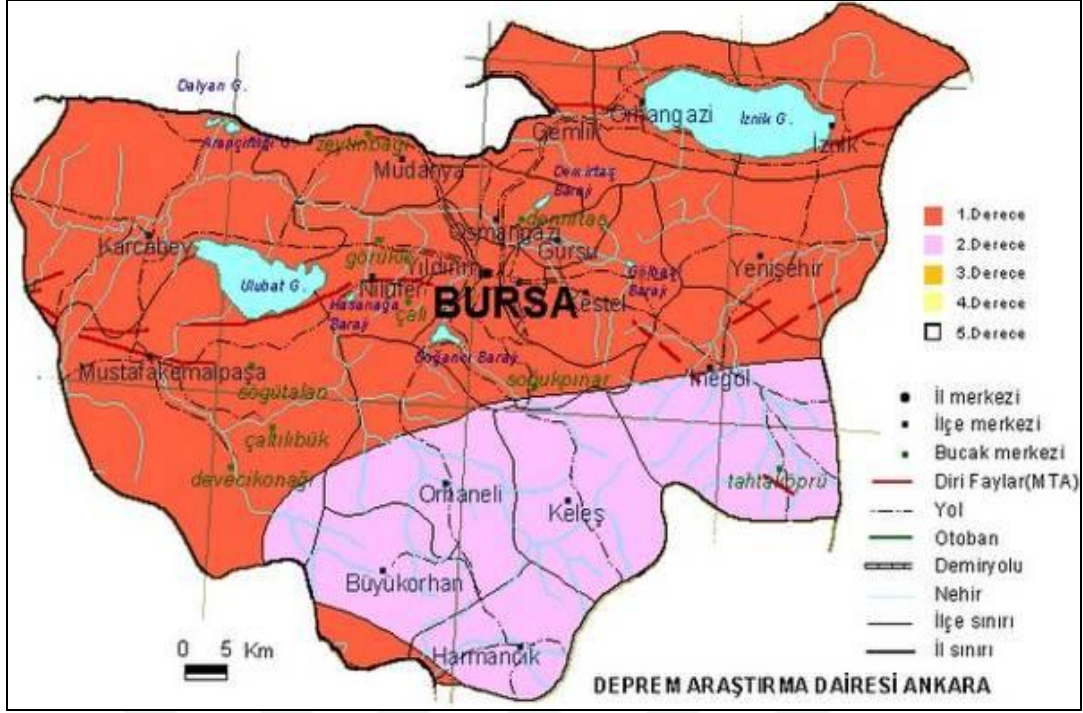
Kuzey kol ise; Sapanca Gölü, İzmit Körfezi, Kuzey Marmara Denizi Tekirdağ'ın güneyi ve Saros Körfezi boyunca uzanmaktadır, Büyük bir kesimi deniz altında olan Kuzey kolun Marmara Denizi'ndeki kesiminde normal faylanmalar, diğer bölgelerinde ise yanal atımlı faylanmalar olduğu belirtilmektedir

GNSS çalışmaları, Kuzey Kol için diğer kollara göre çok daha büyük fay kayma hızı önermektedir (Flerit vd. 2003, Reilinger vd. 2006, Pondard vd. 2007). Kuzey, Orta ve Güney Kollar için hesaplanan fay kayma hızları sırasıyla 20, 3 ve 2 mm/yıldır.

2.7 BURSANIN DEPREMSELLİĞİ

Sahip olduğu 3 milyon nüfusu ile Türkiye'nin dördüncü büyük şehri olan Bursa Marmara bölgesinin güneyinde yer almaktadır. Sanayi istatistiklerine göre Türkiye'nin en büyük sanayi kenti ve otomotiv üretim merkezi konumunda bulunan Bursa sahip olduğu kültürel ve doğal güzellikleri ile de önem taşımaktadır.

Bursa konum itibari ile Kuzey Anadolu Fayının orta kolu üzerinde bulunur. Bununla birlikte Kuzey ve Güney kollarının da etkisi altındadır. Bu fayların şehir geneline yayıldığı göz önünde bulundurulursa Bursa şehrinin %75'i birinci derece, kalan % 25'lik kısmı ise ikinci derece deprem bölgesi içinde bulunmaktadır. Nüfus yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda ise şehir nüfusunun %92'si birinci dereceden deprem bölgesi üzerinde yaşamaktadır.

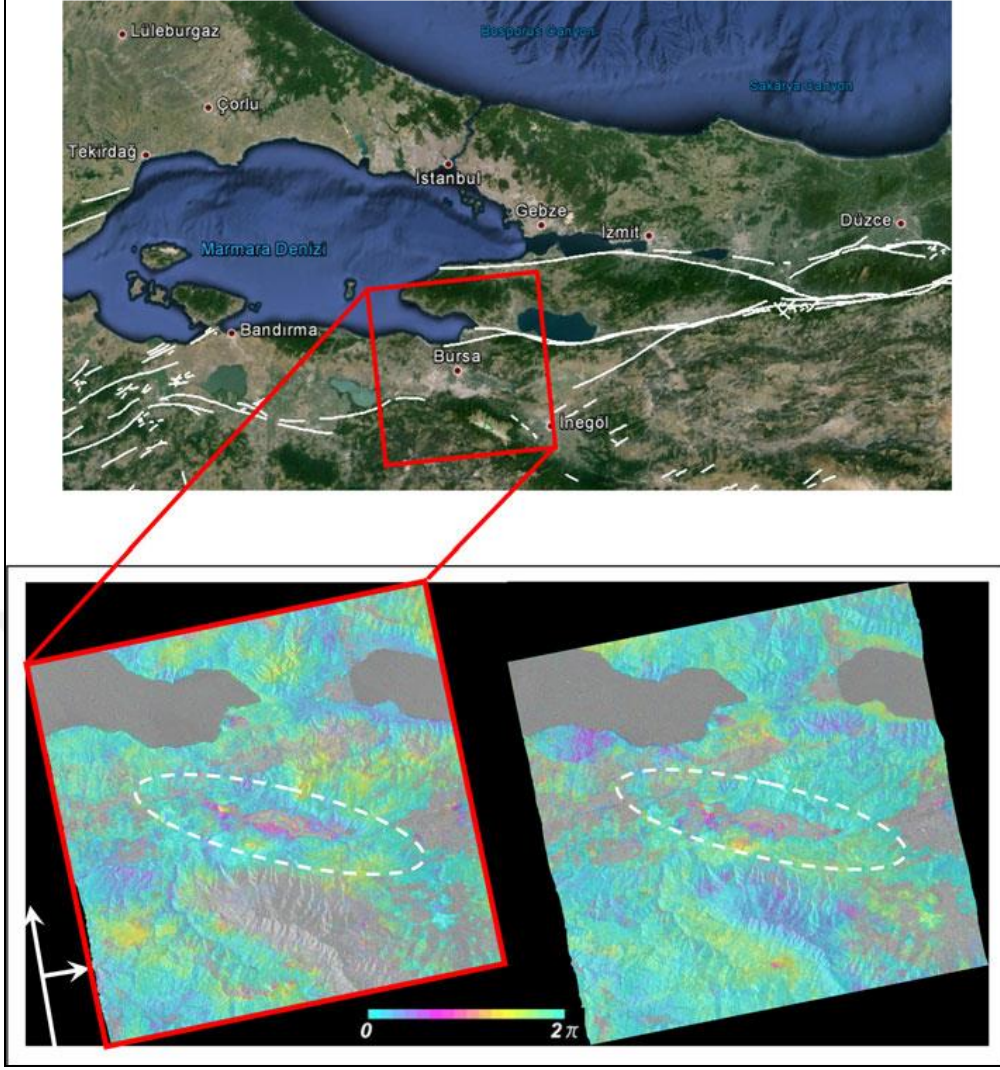


Şekil 2.14 Bursa ili depremsellik haritası (URL-10 2016).

Her ne kadar Bursa'nın Kuzey Anadolu Fayının orta kolu üzerinde bulunduğu bilinse de bu kolun sahip olduğu fayların Bursa Ovası üzerindeki konumları yakın zamana kadar kesin olarak bilinmemektedir. Bursa' da gerçekleştirilen InSAR çalışmaları sonucunda bölgenin sahip olduğu faylar belirlenmiştir. Belirlenen bu faylar, Maden Tetkik ve Arama tarafından da bölgenin fay haritası üzerinde gösterilmiştir (Kutoğlu vd. 2013).

Bu derece aktif faylar arasında konumlanmış olan Bursa tarih boyunca da büyük depremlere ev sahipliği yapmıştır. Bursa ve çevresini etkileyen depremlerin kaydı günümüzden yaklaşık olarak 2500 yıl öncesine kadar gitmektedir. Ancak antik Bursa'nın büyük bir kent olmaması yüzünden verilen bilgiler dolaylı olarak anlatılmıştır.

Tarihte yaşanan bu depremlerden en önemli olanı 1855 yılında gerçekleşmiş olan 7,2 büyüklüğündeki deprem olarak gösterilmektedir. Bunun dışında 1894 yılında gerçekleşen Marmara depremi ve Gemlik ile Mudanya arasında 1064 yılında meydana gelen 10 şiddetindeki deprem de geçmişte meydana gelen önemli depremlerdir (Özmen 2008).



Şekil 2.15 Bursa ovasına ait InSAR görüntüleri (Kutoğlu vd. 2013).

Geçmişinde bu denli büyük depremler olan Bursa’da gelecekte olması muhtemel depremlerin araştırılması çok önemlidir.

BÖLÜM 3

KÜRESEL UYDU KONUMLAMA SİSTEMİ (GNSS)

GNSS (Global Navigation Satellite System) yani Küresel Uydu Konumlama Sistemi, yeryüzünün herhangi bir yerinde bulunan ve gökyüzünü gören noktanın konumunun uydu gözlemleri ile hesaplanmasına olanak sağlayan bir konumlama sistemidir.

Bu sistem ilk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. 1978 yılında kullanımına başlanıldığı ilk zamanlar NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) olarak isimlendirilen bu sistem daha sonradan GPS (Global Positioning System) ismi ile kullanılmaya başlanmıştır.

Küresel Uydu Konumlama Sistemleri her geçen gün gelişmeye devam etmekte olup günümüzde ABD'nin sahip olduğu GPS'nin dışında; Rusya'nın GLONASS, AB'nin Galileo, Çin'in BeiDou sistemleri bulunmaktadır.

Alternatif sistemlerden ilki GLONASS'dır. GLONASS Rusya hükümeti tarafından geliştirilmiş bir uydu sistemidir. Bu sistem günümüzde aktif olarak kullanılabilir. Sistemin çalışma şekli GPS ile hemen hemen aynı sayılabilir. Sistem uzay, kontrol ve kullanıcı bölümü olarak üç ana bileşenden oluşmaktadır. Uzay bölümünde 3 yörünge ve her bir yörüngede 8 uydu olmak üzere 24 uydu olacak şekilde planlanmıştır. 12 Mart 2013 tarihinde ilk defa bir noktanın konumu yalnızca Galileo uydularından yararlanılarak belirlenmiştir. Bu sistem, uyumlu alıcılar ile beraber GPS sistemi ile kombine olarak daha iyi uydu dağılımı ve daha iyi hassasiyet sağlamaktadır.

GPS ve GLONASS sistemlerine diğer bir alternatifi ise Avrupa Birliği tarafından tasarlanan Galileo sistemidir. Galileo tasarısı 1999 yılında Almanya, Fransa, İtalya ve İngiltere'den gelen dört farklı tasarı önerisinin değerlendirilmesiyle başlamıştır. 26 Mayıs 2003

tarhinde Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı tasarıyı resmi olarak üstlenmiştir. Sistemin uzay bölümü 27'si aktif ve 3'ü yedek olmak üzere 30 uydudan oluşacaktır. Günümüzde 23 uydu aktif olarak kullanıma açıktır (URL-11 2015).

Ayrıca Çin Hükümetinin, Asya ve Batı Pasifik kesimi için geliştirdiği BeiDou sistemi navigasyon ihtiyaçlarını karşılamak için hem GPS hem de GLONASS sinyallerini barındıracak şekilde planlanmıştır. Sistemde, Çin üzerinde yeryüzünden 36000 km uzaktaki yörüngelerinde 8 adet uydu aktif olarak görev yapmaktadır. Sistemin devamı niteliğinde olan küresel çözüm sağlayacak olan COMPASS (BeiDou-2) için yer sabit 5 yörüngeye 35 uydu fırlatılması düşünülmüş ve sistemin tam operasyonel hale 2020'den sonra geçmesi planlanmıştır (URL-12 2015).

Bu sistemlerin haricinde Hindistan hükümetinin Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) ve Japonların Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) teknolojileri de mevcuttur. IRNSS, Hindistan ve yakın çevresinde çözüm sağlayacak ve Haziran 2016 yılından itibaren operasyonel hale gelmesi planlanan bir sistemdir. QZSS ise Japonya etrafında kullanılmakta olup ilk uydusu 2010 yılında yörüngesine yerleştirilmiş ve 2017 yılında tam operasyonel hale geçmesi planlanmaktadır (URL-13 2015, URL-14 2015).

3.1 UYDU BAZLI ALAN BÜYÜTME SİSTEMLERİ

Uydu sistemlerindeki son gelişmelerden bir tanesi de SBAS (Satellite-based augmentation systems) yani Uydu Bazlı Alan Büyütme sistemleridir. Bu sistemde yeryüzünde geniş bir coğrafyada konumlandırılmış olan referans istasyonları gözlemde buldukları uydulara ait verileri kontrol merkezlerine iletirler. Kontrol merkezinde tüm referans istasyonlardan gelen bilgilerle uydulara ait düzeltme verileri ve iyonosferik gecikme miktarları hesaplanır. Bu bilgiler sonradan kullanıcıya bir SBAS uydusuyla gönderilir ve kullanıcı bu değerleri kendi hassas konumunu hesaplamada kullanır (Mekik 2010).

Günümüzde mevcut SBAS sistemleri WAAS, EGNS ve MSAS'tır. Bunlar farklı ülkeler tarafından işletilmektedir. Bunların yanı sıra ticari amaçlı işletilen OmniSTAR, Globalstar ve Starfire sistemleri de bulunmaktadır (Kahveci 2009).

3.2. GPS DESTEKLİ YER BÜYÜTMELİ NAVİGASYON (GAGAN) SİSTEMİ

Hindistan hava sahasındaki uçuşlarda kesintisiz navigasyon hizmeti sağlamak amacıyla Hintliler tarafından geliştirilmiş bir sistemdir. Sistem GPS uydularını izleyip bunlara ilişkin düzeltmeleri hesaplayıp doğruluk konum belirlemesi sağlamaktadır. Sistemde 8 yer referans istasyonu, bir ana kontrol merkezi ve uydulara navigasyon verisi yükleyen bir istasyondan oluşur.

Sistem WAAS, EGNOS ve MSAS ile uyumlu çalışacak biçimde tasarlanmıştır (Mekik 2010).

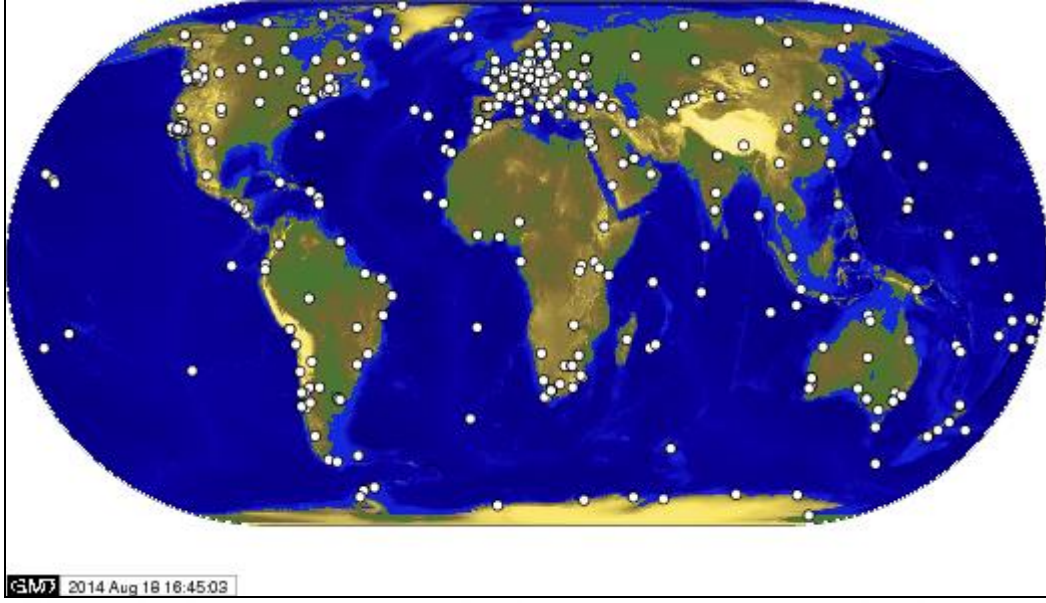
3.3. GNSS İLE JEODEZİK AĞ KONUMLAMASI VE IGS

Günümüzde GNSS sistemlerinin kullanım alanı her geçen gün genişlemekte ve sahip oldukları konum doğrulukları artmaktadır. Bu sayede GNSS sistemleri uzun zamandan beri yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda kullanılabilir.

GNSS sistemlerinin kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda sistem kendi içinde bazı sorunları barındırmaktaydı. Bu sorunların başında uzun bazlarda istenilen doğruluğun sağlanamamasıydı. Bu sorunun üstesinden gelinmesi amacıyla dünya geneline yayılmış ve plaka hareketlerinden mümkün olduğunca az etkilenen noktalara International GNSS Service (IGS) istasyonları kurulmuştur. 1993 yılında kurulmasına karar verilen bu istasyonlar ilk olarak 1 Ocak 1994 yılında veri sağlamaya başlamıştır. Bu istasyonların görevi ilk zamanlarda sadece konum doğruluğunu artırma amaçlı olarak uzun bazlara ait hassas yörünge bilgilerinin hesaplanmasıydı.

Günümüzde IGS istasyonları;

- GPS uydu efemerisi
- GNSS uydu efemerisi
- Yer dönme parametreleri
- IGS izleme istasyonları koordinatları ve bu noktalara ait hız vektörleri
- GPS uydu ve IGS izleme istasyonlarına ilişkin saat bilgileri
- Zenit gecikmeleri
- Global iyonosfer haritaları bilgilerini de sağlamaktadır (URL-16 2015).



Şekil 3.1 Dünya genelindeki IGS istasyonları (URL-15 2016).

İzleme istasyonlarından elde edilen veriler 3 global ve 6 bölgesel veri merkezinde arşivlenmektedir. 8 ayrı analiz merkezinde, söz konusu veriler düzenli olarak değerlendirilmekte ve merkez analiz koordinatörüne gönderilmekte, burada irdelenerek kullanıcılara yayınlanmaktadır (Görmüş 2011).

IGS tarafından oluşturulan hassas yörüngeler üç farklı tipte olup bunlar, IGS sonuç (IGS final), IGS hızlı (IGS rapid), IGS Kestirim (IGS Predicted/IGS Ultra Rapid) olarak sıralanabilir. Bu farklı yörünge tiplerine ilişkin doğruluk ve diğer bilgiler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir (Soycan ve Soycan 2002).

Çizelge 3.1 IGS yörünge ürünleri

Efemeris	Doğruluk	Süre	Güncelleme	Örnekleme Aralığı
Yayın Efemerisi	~260 Cm	Anlık	-	Günlük
Ultra Hızlı	~25 Cm	Anlık	Günde 2 Kere	15 Dk
Hızlı	5 Cm	17 Saat	Günde 2 Kere	15 Dk
Final	<5 Cm	~13 Gün	Haftada 1 Kere	15 Dk

Uyduların yörüngelerinin hesabında ilgilenilen günden önceki ve sonraki gün verilerinin de dikkate alınmasıyla daha hassas IGS uydu bilgilerinden yararlanılmaktadır. Nihai (Final) olarak isimlendirilen bu yörünge bilgisi 13 günlük bir gecikmeyle kullanıma sunulmaktadır. IGS'nin diğer yörünge bilgilerinde olduğu gibi bu da yine IGS'nin kendi geliştirdiği SP3 formatında olup tüm GPS uydularının 15 dakika aralıklı olarak Uluslararası Yersel Referans Sisteminde (ITRF) koordinatlarını vermektedir. Yörünge koordinatlarının iç doğruluğu 1 cm civarında olup, lazer ölçümünü olanaklı kılan reflektörler taşıyan iki adet Block IIA uydusuna yapılan gözlemlerle dış doğruluk 5 cm olarak verilmiştir (Koçak ve Ayan 2002).

3.4. AKADEMİK GPS YAZILIMLARI

GPS yazılımlarını en genel olarak GNSS sistemlerine yapılan jeodezik gözlemlerin değerlendirilmesine yarayan yazılımlar şeklinde tanımlayabiliriz. Bu yazılımlar; ticari yazılımlar ve akademik yazılımlar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

Ticari yazılımlar genelde GPS üreticileri (Topcon, Leica vb.) tarafından geliştirilmekte olan yazılımlardır. Akademik yazılımlara oranla daha kısa baz mesafelerinin değerlendirilmesi için tasarlanmışlardır. Ticari yazılımlar genel olarak önceden tanımlanmış temel ayarları bünyesinde barındırırlar ve bu ayarlara çok fazla erişim izni vermezler. Görşellik bakımından daha iyi bir ara yüze sahiptirler ve bu özellikleri sayesinde de kullanıcılarına 1000 km kadar olan bazlarda hızlı ve kolay çözümler sağlamayı amaçlarlar.

Akademik yazılımlar ise isimlerinden de anlaşılacağı üzere herhangi bir ticari kaygı gütmenden daha çok bilimsel amaçlar için kullanılmak üzere geliştirilmiş GPS değerlendirme yazılımlarıdır (GAMIT-GLOBK, Bernese vb.). Bünyelerinde barındırdıkları matematiksel modellerin gerçekleştirilen projenin amacına ve kapsamına göre özelleştirilebilmesine olanak sağlarlar. Baz mesafeleri bakımından herhangi bir kısıtlaması olmayan bu akademik yazılımlar ticari yazılımlarla kıyaslandığında daha karmaşık bir ara yüze sahiptirler ve bu özellikleri de kullanımlarını zorlaştıran unsurlardan biridir.

Değerlendirmelerinde akademik yazılımı tercih eden kullanıcıların dikkat etmeleri gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bu hususların başında da şüphesiz uygulamaya özel olarak belirlenecek ve seçilecek olan parametrelerin uygun şekilde tanımlanmaları ve programa tanıtılması gelmektedir.

Sahip oldukları karmaşık yapıya rağmen akademik yazılımların da sahip olduğu avantajlar bulunmaktadır. Örneğin günümüzde kullanılmakta olan bazı akademik GPS yazılımları bize verileri otomatik olarak değerlendirme (GAMIT-GLOBK veya Bernese) imkânı sağladığı gibi bazı programlar da ihtiyaç duyulan verileri internet üzerinden kendileri temin edebilme (GAMIT-GLOBK) özelliklerine sahiptirler.

Bu tarz özelliklere sahip olan programların kullanımında çok dikkatli olunması gereken bazı durumlar söz konusudur. Bu tarz işlemlerde değişkenlerin programa doğru ve düzgün bir şekilde tanıtılması çok önemlidir. Çünkü otomatik değerlendirme esnasında yazılım bütün işlemleri kendi yapacağı için işlem anında müdahale şansı tanımaz ve dolayısı ile olası bir yanlışlık durumunda program ister istemez verileri hatalı parametrelere bağlı olarak yanlış değerlendirecektir. Böylesi durumlarda program kullanıcılarına sanılanın aksine zaman kaybettirirler. Ayrıca hatanın fark edilememesi durumunda ise elde edilen hatalı sonuçlar yanlış yorumlanarak yanlış kararlar vermeye sebep olabilirler.

Değerlendirmelerin ilk adımında istasyon koordinatları, istasyonlara ait zenit gecikmeleri, atmosfer gradyentleri ve yerküre dönme parametreleri çift farklı GPS faz ölçmelerinden elde edilir. Bu aşamada değerlendirmeye her periyotta uygun sayıda IGS istasyonu dahil edilerek bölgesel ve global ağın ilişkilendirilmesi sağlanır. Bu adımda hiçbir parametreye zorlama uygulanmaz (Görmüş 2011).

İkinci adımda her bir ölçü günü için zorlama yapılmadan elde edilen istasyon koordinatları, uydu koordinatları ve kovaryans matrisleri, kesin hız ve koordinatların elde edilmesi için Kalman filtrelemesinden geçirilir. Bu aşamada stabilizasyonu sağlamak için bölgesel çözümlerle SOPAC tarafından yayımlanan günlük global IGS çözümleri beraber değerlendirilebilir (McClusky et al. 2000).

3.4.1. GAMIT-GLOBK

GAMIT / GLOBK yazılımı akademik yazılımlar denince akla ilk gelen GNSS gözlemleri ile yüksek doğrulukla bağıl konum belirleme programlarından biridir. Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır ve akademik kullanımlar için ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmaktadır.

GAMIT (GPS Analysis Massachussets Institute of Technology) / GLOBK yazılımı birden fazla programı bünyesinde bulunduran bir yazılım takımı olarak düşünülebilir. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Üniversitesi, Atmosfer ve Gezegen Bilimleri (Earth Atmospheric and Planetary Sciences-EAPS) biriminde görevli olan Prof.Dr. T.A. Herring, Dr. R.W. King, ve Dr. S.C. McClusky tarafından yazılmış olan bu yazılımın her geçen gün geliştirilmesine devam edilmektedir.

Yazılım iki etapta ele alınmalıdır. Birinci etap olan GAMIT kısmının asıl fonksiyonu, taşıyıcı fazlardaki tamsayı devir belirsizliği ile atmosferik etkileri ve saat hatalarını da hesaba katarak gözlemlenen ve gözlem farklarına dayanan uydu yörüngelerini ve nokta koordinatlarını lineer kestirimle dengelemektir (Tari et al. 1999). Faz belirsizliklerini çözebilmek için genel olarak tek bir oturumdan lineer olarak bağımsız faz ölçmelerinin çiftli farkları kullanılarak birden fazla sayıda dengeleme işlemi yapılır (Dong et al. 1998).

GAMIT, değişik alıcılardan toplanmış ölçmeler üzerinde işlemler yapmak, uydu yörüngelerini sayısal olarak integre etmek ve faz ve pseudorange ölçmelerini modellemek gibi özelliklere sahiptir. Asıl fonksiyonu, taşıyıcı fazlardaki tamsayı devir belirsizliği ile atmosferik etkileri ve saat hatalarını da hesaba katarak gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçmelerin farklarına dayanan uydu yörüngelerini ve nokta konumlarını lineer kestirimle dengelemektir (Herring vd. 2009a).

Yazılımın birinci bölümü olan GAMIT kısmında çözümlenmek istenen ağ üzerinde serbest dengeleme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem ile elde edilen dengeleme çıktıları, programın ikinci bölümü olan GLOBK kısmında gerekli görülmesi durumunda dayalı dengelemeye sokulabilirler.

GAMIT programı ile tek başına hassas koordinat belirlemek mümkün değildir. Kullanıcı uygulamak istediği strateji doğrultusunda program üzerinde hangi limit değerlerini veririrse versin, GAMIT her seferinde nihai çözümde bu limitleri göz ardı edip loose (serbest) çözüm uygular. Bu nedenden dolayı da hassas koordinat belirlemek için muhakkak olarak programın ikinci etabı olan GLOBK kısmına geçiş yapılması gerekmektedir.

Değerlendirmede ilk olarak uydu saatleri ve yayın efemerisi (broadcast ephemeris) bilgileri elde edilir, efemeris ve pseudorange bilgileri ile öncül nokta koordinatlarına dayalı olarak ilgili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanır (MIT 1999a).

Programın ikinci etabı ise GLOBK kısmıdır. GLOBK aşamasında ise uydu jeodezisi teknikleri ile gerçekleştirilmiş ölçmelerin değerlendirilmesinden elde edilen çözümler bir araya getirilerek Kalman Filtresi uygulanması işlemi yapılır (Görmüş 2011). Yazılımda kullanılan veri, asıl ölçmelerin analizinden üretilen nokta koordinatları, yörünge parametreleri ve yerin dönüş parametrelerinin değerlendirilmiş değerleri ile ilgili kovaryans matrislerini içermektedir. Bahsedilen asıl çözümlerin birleşik çözümler içinde kısıtlamaların eşit şekilde uygulanmalarını sağlayacak şekilde küçük ağırlıklar ile elde edilmiş olmaları gerekir (Herring 1997).

GLOBK'da kullanılan Kalman filtrelemesi, parametrelerin ardışık olarak kestirimini sağlayan bir yöntemdir. Verilen bir başlangıç durum vektörü ve kovaryans için Kalman filtresi, durum vektörü ve kovaryansın kestirimini iyileştirmek için ek bilgileri kullanabilir (Herring 1997). Ayrıca, Kalman filtresinin ek bilgi olarak kabul ettiği kısıtlamaların yüksek öncül varyanslı bir durum vektörüne uygulanması durumunda Kalman filtresi kısıtlamaların etkilerini yansıtan iyileştirilmiş bir durum vektörü ve kovaryans üretir (Tari et al. 1999, Herring 2004).

Yazılımın GLOBK kısmında genel olarak iki tip Kalman filtresi dengelemesi gerçekleştirilir. İleri ve geri çözüm olarak adlandırılan bu dengeleme işlemlerinden ileri çözüm, ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık kestirimlerini verir, geri çözüm ise ileri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin saptanmasını sağlar (Herring 1990, MIT 2002c).

GAMIT ile elde edilen nokta ve uydu vektör sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahiptir, fakat yüksek oranlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik bağılıklarının devamına olanak sağlar (MIT 1999b).

Yazılımın bu yaklaşımı, koordinatların eş zamanlı saptanması için birden fazla oturumdan gelen dengelemeleri birleştirme özelliğine sahiptir ve nokta ile uydu parametrelerindeki farklı öncül kısıtlamaların kullanımının etkisini test etmek için etkin bir yöntem sağlar (MIT 2002c).

BÖLÜM 4

UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan BUSKİ Sabit GNSS istasyonunda 2008 – 2010 yılları arasında gerçekleştirilmiş gözlem verileri akademik GNSS yazılımı olan GAMIT-GLOBK ile değerlendirilerek yüksek doğrulukla günlük çözümler elde edilmiştir. Elde edilen bu çözümler daha sonradan kullanılarak koordinat farkları hesaplanmış ve hesaplanan bu koordinat farkları bu süreç içinde gerçekleşmiş olan depremlerle ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

4.1 BUSKİ REFERANS İSTASYONU

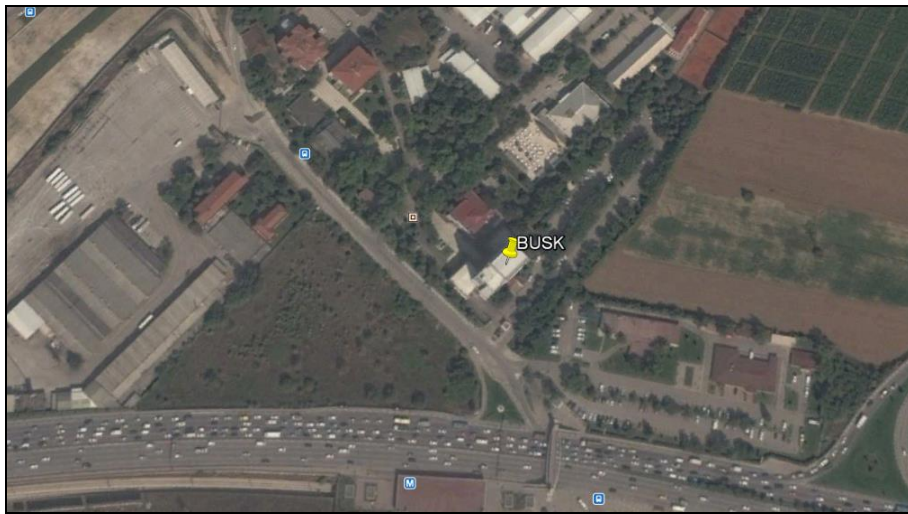
Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Merkez Binası çatısında bulunan BUSK noktası ilk olarak 1994 yılında Ashtech marka GPS alıcıları ile tesis edilmiştir. 2000 yılında istasyonda Zeiss marka GPS alıcısının kullanılmasıyla ilk kez yenilenmesi gerçekleştirilmiş oldu. 2007 yılında ise istasyon üzerinde ikinci bir yenileme gerçekleştirilmiş ve alıcı tipi Leica 1200 serisi ile güncellenmiştir.

BUSK noktası, Türkiye’de bir resmi kurum tarafından tesis edilmiş olan ilk GNSS istasyonlarından bir tanesidir. Tesis edildiği ilk zamanlarda sadece arazi çalışmaları sırasında veri toplama kapasitesine sahip olan istasyon, zaman içerisinde gerçekleştirilen yenilemeler ile birlikte bugün sürekli gözlem yapabilen bir referans istasyonu özelliğine kavuşturulmuştur. Şu an için 30 km çapındaki bir alanda GSM modem üzerinden Gerçek Zamanlı Kinematik Ölçü (GZK) hizmeti vermekte olan istasyonun, 2014 yılı başında genişleyen büyükşehir belediyeleri hizmet alanı kapsamında, 6 adet yeni istasyon ile genişletilmesi çalışmaları sona ermiştir.



Şekil 4.1 BUSK referans istasyonu.

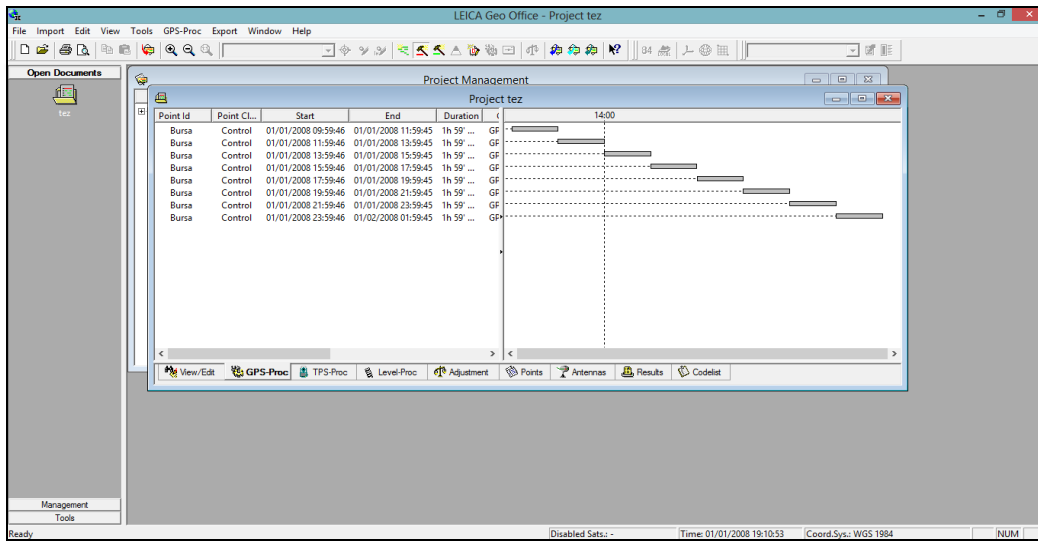
BUSK referans istasyonunun tesis edildiği binanın çatı yüzeyi yansıtıcı bir yüzeye sahiptir. Bu nedenle istasyon, çevresinde bulunan olumsuz koşullardan mümkün olduğunca az etkilenmesi için yerden 1.5 metre yükseğe jalon yardımı ile tesis edilmiştir. Şekil 4.1’de şekli verilen tesis için ekstra bir sabitleme düzeneği sağlanmamıştır. Özellikle Bursa gibi mevsimsel etkilerin oldukça çok olduğu bir yerde tesisin bu şekilde tamamlanmış olması bir dezavantaj oluşturmaktadır. İstasyon, özellikle sonbahar ve kış aylarında rüzgarların da etkisi ile titreşim hareketi göstermektedir. Bu durum elde edilen verinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yerden yaklaşık olarak 35 metre yüksekte olan noktanın ortometrik kotu 146.06 metredir.



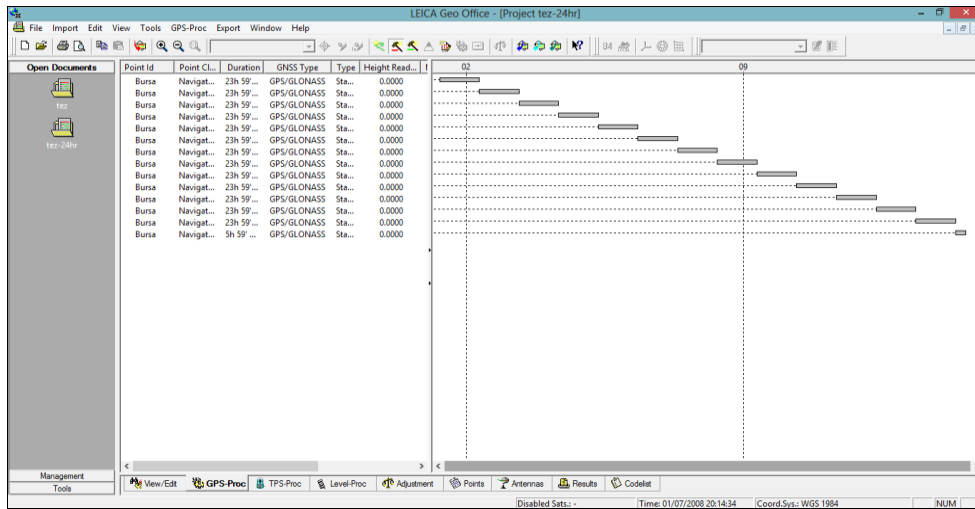
Şekil 4.2 BUSK noktasına ait hava fotoğrafı.

4.2. GÖZLEM VERİLERİNİN DÜZENLEMESİ

Çalışmada kullanılan gözlem verileri ilgili idarenin izni doğrultusunda temin edilmiştir. Gözlem verileri 2008-2010 yılları arasında kaydedilmiş olan ham verilerdir. Veriler ilgili idareden alındıktan sonra düzenleme işlemi yapılmıştır. Referans istasyonu verileri ham veri formatında 2 saatlik epoklar halinde depolamaktadır (Şekil 4.3). Düzenleme kısmının ilk aşamasında bu veriler günlük olarak (24 saat) birleştirildikten sonra RINEX formatına dönüştürülmüştür. Dönüşüm sırasında gözlem dosyalarındaki sinyal kesiklikleri de kontrol edilmiştir.



Şekil 4.3 Verilerin kontrol edilmesi ve RINEX formatın çevrilmesi.



Şekil 4.4 Kontrolleri tamamlanan verilerin 24 saatlik gözlemlere çevrilmesi.

Ham verilerin RINEX dönüşümünde, 2 saatlik epoklar halinde depolanan gözlemler birleştirilerek çok uzun süreli (1-2 ay) dosyalar elde edilmektedir. Bu dosyaların 24 saatlik gözlem sürelerine bölünmesiyle günlük çözüm için hazır hale getirilmiş olan veriler Şekil 4.4'de gösterilmiştir. RINEX dosyalarının günlük verileri elde edilirken saat ötelenmesi olmamasına dikkat edilmiştir. BUSK istasyonu gözlem verileri değerlendirilirken IGS istasyonlarından yararlanılacağından dolayı gözlem verilerinin uyumlu olmasına dikkat edilmiştir.

RINEX formatına dönüştürülen gözlem verilerinin günlük olarak kalite kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kalite kontrolleri UNAVCO tarafından geliştirilen TEQC yazılımı ile yapılmıştır.

TEQC, GNSS verilerinde, çeviri (Translating), düzenleme (Editing) ve kalite kontrol (Quality Check) gibi temel işlemleri yerine getiren basit ve güçlü bir ön-analiz programıdır. Gözlem verilerinin ön değerlendirilmesi jeodezik uygulamalar açısından çok önem taşımaktadır. Arazide veriler toplandıktan sonra TEQC yazılımı ile kalite kontrolü yaparak ölçümlerin kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığı elde edilebilir (URL-17 2015).

Bu yazılımla 18'den fazla alıcının binary ve yerli-binary formatları RINEX formatlarına dönüştürülebilmektedir. Düzenleme kısmı genel olarak RINEX veri dosyasında bulunan eksik bilgilerin eklenmesi, dosyaların birleştirilmesi ya da yanlış bilgilerin düzeltilmesi işlemlerini kapsar (URL-17 2015).

TEQC programının en önemli özelliği GNSS verilerinin kalite kontrolü işlemlerinin yerine getirilmesidir. Programın *.yrS uzantılı sonuç dosyalarında yer alan mp1 (Moving Average-1) ve mp2 (Moving Average-2) değerleri önemlidir. Bu değerlerden, mp1'nin 50 cm, mp2'nin 65 cm'den düşük olması istenir (URL-17 2015).

```

SV+---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----+ SV
 1|_  _  _Looooooooooooooooo-  _  _-ooo-  _  |  1
 2|oo-  _  _-ooooooooooooo+  _  _Looooooooooooo|  2
 3|_  _-oooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  |  3
 4|  _  _-oooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  |  4
 5|ooooooooo+  _  _  _  _  _  _Looooooooooooo|  5
 6|ooooooooooooo+  _  _  _  _  _  _Looooooooo  |  6
 8|_  _  _Loooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  |  8
 9|_  _  _-oooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  |  9
10|oooooooo-  _  _  _  _  _-oooooooooooooooo+  _  _LI| 10
11|_  _-oooooooooooooooooooo+  _  _-oooooooooooooooo  | 11
12|oooo+  _  _  _  _  _Loooooooooooooooooooo  | 12
13|_  _  _Loooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  | 13
14|_  _  _Loooooooooooooooo-  _  _  _-ooooo+  _  | 14
15|_  _-oooo-  _  _Loooooooooooooooooooo+  _  _  | 15
16|_  _-oooooooooooooooooooo+  _  _Loooooo-  _  _  | 16
17|_  _-oooooooooooo+  _  _Loooooooooooooooooooo-  _  | 17
18|_  _Loooooooooooooooo-  _  _  _-ooo-  _  _  | 18
19|_  _-oooooooooooooooooooo+  _  _-oo-  _  _-  _  | 19
20|_  _Loooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  _  | 20
21|ooooooooooooo+  _  _  _  _  _  _  _Loo  | 21
22|_  _Loooooooooooooooooooo-  _  _  _  _  _  | 22
23|_  _Loooooooooooooooooooo++  _  _  _  _  _  | 23
24|oooooooooooo-  _  _  _  _  _  _Looooo  | 24
25|_  _  _Loooooooooooooooooooo-  _  _  _  _  _  | 25
26|_  _-oo-  _  _-oooooooooooooooooooo+  _  _  _  | 26
27|_  _Loooooooooooooooooooo+  _  _  _  _  _  _  | 27
28|_  _  _Loooooooooooooooooooo-  _  _  _  _  _  | 28
30|oooooooooooo+  _  _  _  _  _-ooooooooooooo  | 30
31|oooooooooooo+  _  _Looooooooooooo-  _  _  _  _  | 31
R 6|~~~~~II  L~~~~~M~~~~  MI~~~  |R 6
R23|~~~~~II  L~~~~~M~~~~  2~~~~~  |R23
R 7|L~~~~~  L~~~~~  L~~~  |R 7
R 8| I~I~~LI~~I~~II  L~~LI~~~~~I  |R 8
R14| L~~~~~  L~~~~~  L~~~  |R14
R24| L~~~~~I  L~~~~~  L~~~~~2I  |R24
R 1| I~~~~~I  MI~~~I~I  |R 1
R15| L~~  L~~~~~  |R15
R17| M22222222222  2222~  |R17
R 4| L~~~~~  L~~~~~  |R 4
R19| LL~~~~~  L~~~~~  |R19
R10| L~~~~~I~  |R10
R20| IM2M2M  |R20
+dn|  +  +  +  +  +  +  +  |+dn
+dn| 11  1111 111  11  11 1 11 11  11  1111 1 1 111 1 1 1111|+dn
+10|9999aa998899a987888776788898887788889999999aa997788998877988878889aa889abbba|+10
Pos|ooooo  o  oo  ooo  |Pos

```

Şekil 4.5 2008 001. GPS günü BUSK istasyonunda gerçekleştirilen gözlem verisine ait uydu penceresi.

Yukarıda gösterilmiş olan uydu penceresindeki gösterime ait şekillerin açıklaması aşağıda belirtilmiştir.

- ++ : Kod ölçmeleri durumu
- -- : İzlenen uydunun artık gözlemlenemediği durumu
- oo: L1, L2, P1, P2 gözlemleri başarı ile kaydedildi
- R: GLONASS verileri

```
|qc - header| position : 37 m
Observation interval : 5.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 42
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 7 29 32
NAVSTAR GPS SVs w/o NAV :
  GLONASS SVs w/o OBS : 2 3 5 9 11 12 13 16 18 21 22
  GLONASS SVs w/o NAV : 6 23 7 8 14 24 1 15 17 4 19 10
  20
Rx tracking capability : 26 SVs
Poss. # of obs epochs : 17280
Epochs w/ observations : 17280
Epochs repeated : 0 (0.00%)
Possible obs > 0.0 deg: 178206
Possible obs > 10.0 deg: 139684
Complete obs > 10.0 deg: 139450
  Missed obs > 10.0 deg: 224
  Deleted obs > 10.0 deg: 10
Obs w/ SV duplication : 0 (within non-repeated epochs)
Moving average MP1 : 70.754193 m
Moving average MP2 : 11.986924 m
Points in MP moving avg : 50
```

Şekil 4.6 TEQC üzerinde gerçekleştirilen kalite kontrolleri sonuçları.

Kontroller sırasında zaman zaman hareketli ortalamanın (Moving Avarage) yüksek olduğu veriler ile karşılaşmıştır (Şekil 4.6). Hareketli ortalamanın yüksek çıkmasının en önemli sebebi referans istasyonunun yeterli şekilde sabitlenmemesidir. Mevsimsel koşullar altında istasyon salınım hareketi göstermekte ve hareketli ortalamayı yükseltmektedir.

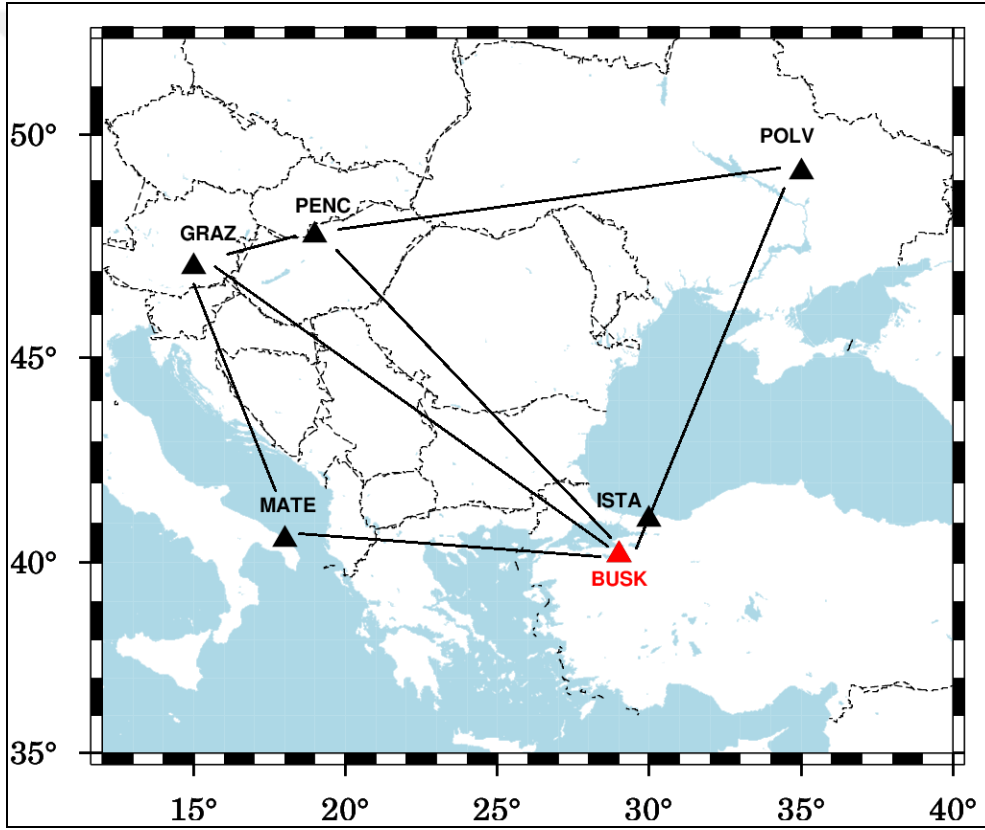
4.3 DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ

Çalışma kapsamında elde edilen GNSS verilerinin hassas bir şekilde değerlendirilebilmesi için akademik yazılımların kullanılması gerekmektedir. Kurulan jeodezik ağın sahip olduğu uzun baz mesafeleri yüzünden ağımız ticari yazılımlar ile değerlendirmeye uygun değildir. GAMIT-GLOBK veya Bernese gibi akademik GNSS yazılımlarının, ticari yazılımlara göre en önemli avantajlarından bir tanesi şüphesiz ki sahip oldukları dengeleme parametrelerinin ihtiyaca uygun olarak düzenlenebilmesine fırsat vermeleridir.

Uygulama kapsamında BUSK noktasına ait kampanya gözlemleri IGS istasyonlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 5 farklı IGS istasyonunda yararlanılmıştır. Bu istasyonlar ve özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışma kapsamında kullanılan IGS istasyonlarının özellikleri (ITRF 2014).

İstasyon	POLV	PENC	MATE	GRAZ	ISTA
Tesis Cinsi	Pilye	Pilye	Pilye	Pilye	Pilye
Tesis Yeri	Bina Çatısı	Bina Çatısı	Bina Çatısı	Bina Çatısı	Bina Çatısı
Alıcı Tipi	LEICA GR10	LEICA GRX1200GGPRO	LEICA GRX1200GGPRO	LEICA GRX1200+GNSS	ASHTECHZ-XII3
Anten Tipi	LEIAR 10	LEIAT504GG	LEIAT504GG	3. LEIAR25.R3	ASH700936D_M
Jeolojik Karakter	Sağlam Kaya	Kil	Sağlam Kaya/Kil	Sağlam Kaya/Kil	Sağlam Kaya/Kil
ITRF Çözümü	05	05	05	05	05
Tektonik Levha	Avrupa	Avrupa	Avrupa	Avrupa	Avrupa



Şekil 4.7 Ağ Geometrisi.

Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonlarının seçimi sırasında gözlem sürelerine, buldukların bölgelerin deformasyondan uzakta olmalarına ve BUSK referans istasyonu ile oluşturacakları baz mesafelerine dikkat edilmiştir.

BUSK istasyonu gözlem verilerinin değerlendirilmesi için kurulan ağ GAMIT-GLOBK ile de çözülmüştür. Programın ilk aşamasında günlük çözümler elde edilmiştir. İkinci aşamada ise GLOBK modülü kullanılarak parametre kestirimi yapılmıştır.

Bu aşamada GAMIT üzerinde elde edilen çıktı dosyaları yardımı ile dengelemeye söz konusu olan noktaların gerçek koordinatları ve noktalara ait hız bilgileri, uydu yörünge bilgilerine ve yer dönme parametreleri hesaplanır.

Parametre tahmini sırasında L1 ve L2 faz gözlemlerinin çiftli farkları üretilmiş, iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları kullanılarak her gün için ağırlıklandırılmış en küçük kareler çözümleri oluşturulmuştur. Koordinat kestirimleri, zenit gecikmeleri ve gerçek tamsayı bilinmeyenleri çözülmüş, saat ve iyonosfer hataları elimine edilmiştir. Sonrasında autcln, solve ve track modülleri sayesinde, artık hatalar, faz kayıklıkları onarılmıştır. AUTCLN modülü faz kayıklıklarını %99 oranda temizleyebilmektedir (Görmüş 2011).

GAMIT-GLOBK programının sahip olduğu tablo yapısı aslında iki farklı grupta değerlendirilebilir. Birinci tip tablolar üzerinde tanımlanacak olan parametreler dengeleme işleminin temel mantığını oluştururlar. Tanımlanması gereken *sesstbl* (session control Table) ve *sittbl* (Site Control Table) dosyaları bu grupta değerlendirilirler.

Çizelge 4.2. *sesstbl* üzerinde tanımlanmış önemli parametreler.

Parametre Adı	Parametre
Choice Of Experiment	RELAX
Satellite Constraint	Y 0.01
Ion. Constrains	0.0 mm+8.00 ppm
Interval Zen	2
Zenith Constraints	0.50
Elevation cutoff	0
Atmospheric grad.	YES
Number Grad	2
Gradient Constraints	0.01
Station Constraint	Y
Tides applied	31

“*sestbl*” dosyası GAMIT’in sahip olduğu analiz komutlarını içinde bulunduran dosyadır. Sahip olduğu bu analiz komutları sekiz gruptan meydana gelmektedir. Bunlar;

1. Analiz kontrolleri (Analysis controls)
2. Veri ağırlıklandırma (Data weighting)
3. Belirsizlik çözünürlüğü (Ambiguity Resolution)
4. Atmosferik parametreler (Atmospheric Parameters)
5. Yörünge parametreleri (Orbit parameters)
6. Model parametreleri (MODEL parameters)
7. Çözüm parametreleri (SOLVE parameters)
8. Temizleme parametreleridir. (Cleaning parameters)

“*station.info*” dosyası bütün alıcı ve anten bilgilerini içeren dosyadır. Bu dosyanın “*makexp*, *makex* ve *model*” modüllerinin çalıştırılabilmesi için eksiksiz ve güncel bilgileri içeriyor olması gerekir. Ayrıca en önemli noktalarından bir tanesi de anten yüksekliklerinin nasıl ölçüldüklerinin (düşey veya eğik) yine bu tablo üzerinde tanımlanmasıdır.

Çizelge 4.3’de gösterilmiş olan *station.info* tablosu, değerlendirme işlemi sırasında kullanılacak olan IGS istasyonlarının sahip oldukları alıcı tiplerinden oluşmaktadır.

Çizelge 4.3 Kullanılan IGS istasyonlarına ait *Station.Info* tablosu.

*SITE	Station Name	Session Start	Ant Ht	Receiver Type
GRAZ	Graz-Lustbuehel	2011	1.9640	LEICA GRX1200+GNSS
MATE	Matera	2012	0.1010	LEICA GRX1200GGPRO
ISTA	Istanbul / Turkey	2007	0.0610	ASHTECH Z-XII3
PENC	FOMI Satellite G	2012	0.0300	LEICA GRX1200GGPRO
POLV	Poltava	2013	0.0700	LEICA GR10
BUSK		2007	0.0000	LEICA GRX1200GGPRO

Dengeleme hesabına katılacak olan verilere hangi dizin üzerinden ulaşılacağı *Sites.defaults* dosyası üzerinden tanımlanır. Söz konusu veriler eğer herhangi bir sunucu üzerinden yayın yapıyorsa GAMIT bunlara doğrudan ulaşma imkânına sahiptir. Çizelge 4.4’te uygulamada kullanılacak olan verilere nereden ulaşılacağı program üzerinde tanımlanmıştır. Kullanılacak olan

5 IGS istasyonunun verileri internet üzerinde otomatik olarak program tarafından indirilmiştir. BUSK noktasına ait olan gözlem verileri ise yerel sürücü üzerinden programa aktarılmıştır.

Çizelge 4.4 Kullanılan istasyonlara ait veri yollarının belirlenmesi.

*site	expt	session start
graz	fa08	ftprnx
mate	fa08	ftprnx
ista	fa08	ftprnx
penc	fa08	ftprnx
polv	fa08	ftprnx
busk	fa08	localrnx

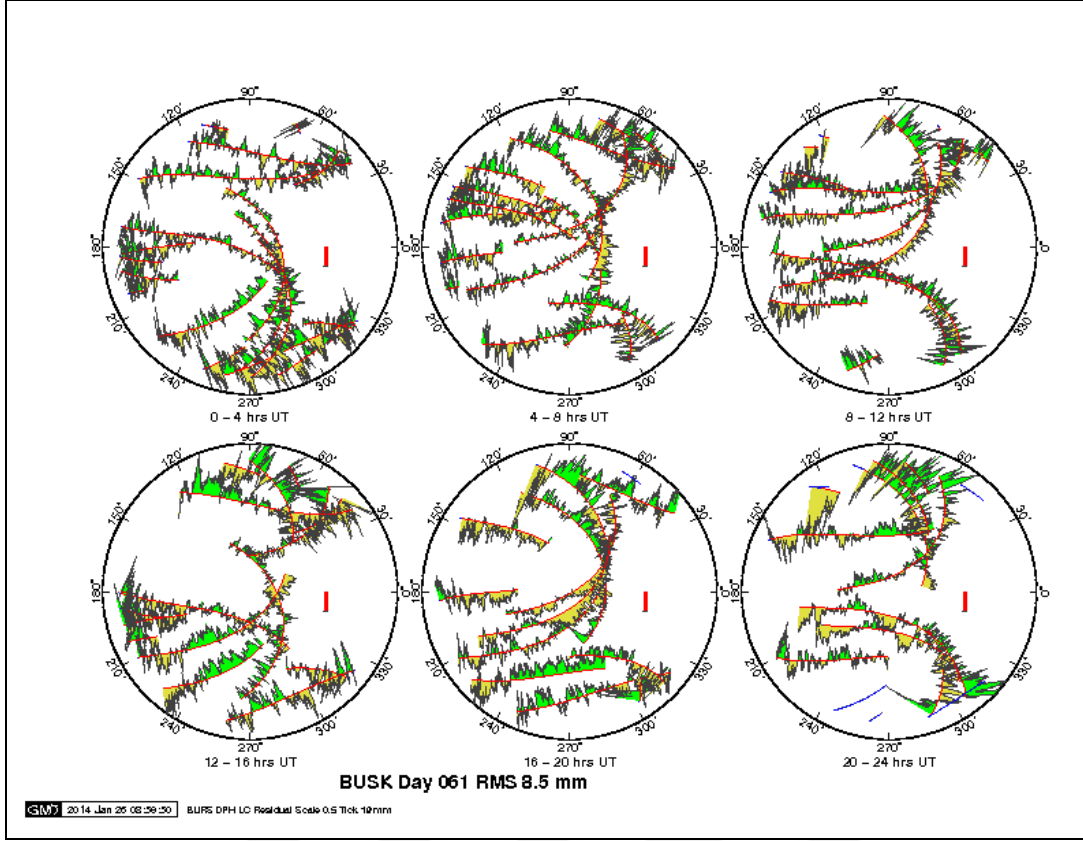
Programın ilk kısmında elde edilen sonuç dosyalarından olan “h” dosyaları GLOBK kısmında kullanılan temel dosyalardır. Günlük çözümlerde her gün için ayrı bir “h” dosyası elde edilmiştir. Bu dosyalar GLOBK kısmındaki “glorg” modülü ile daha önceden seçmiş olduğumuz IGS noktalarının bilinen koordinatları kullanılarak BUSK istasyonuna ait hassas koordinatlar elde edilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 GLOBK kullanımındaki önemli parametreler.

Glog Modülü	Parametre Değeri
apr_file	itr05.apr
stab_site	MATE, POLV, PENC, GRAZ, ISTA
pos_org	xrot yrot zrot xtran ytran ztran scale

Şekil 4.8’de uyduların 4’er saatlik periyotlar halinde üzerlerinde hareket etmeleri gereken yörüngelerden olan sapmaları gösterilmektedir. Bu sapmalarda; sarı renk ile gösterilenler pozitif düzeltmeleri, yeşil renk ile gösterilenler ise negatif düzeltmeleri göstermektedir.

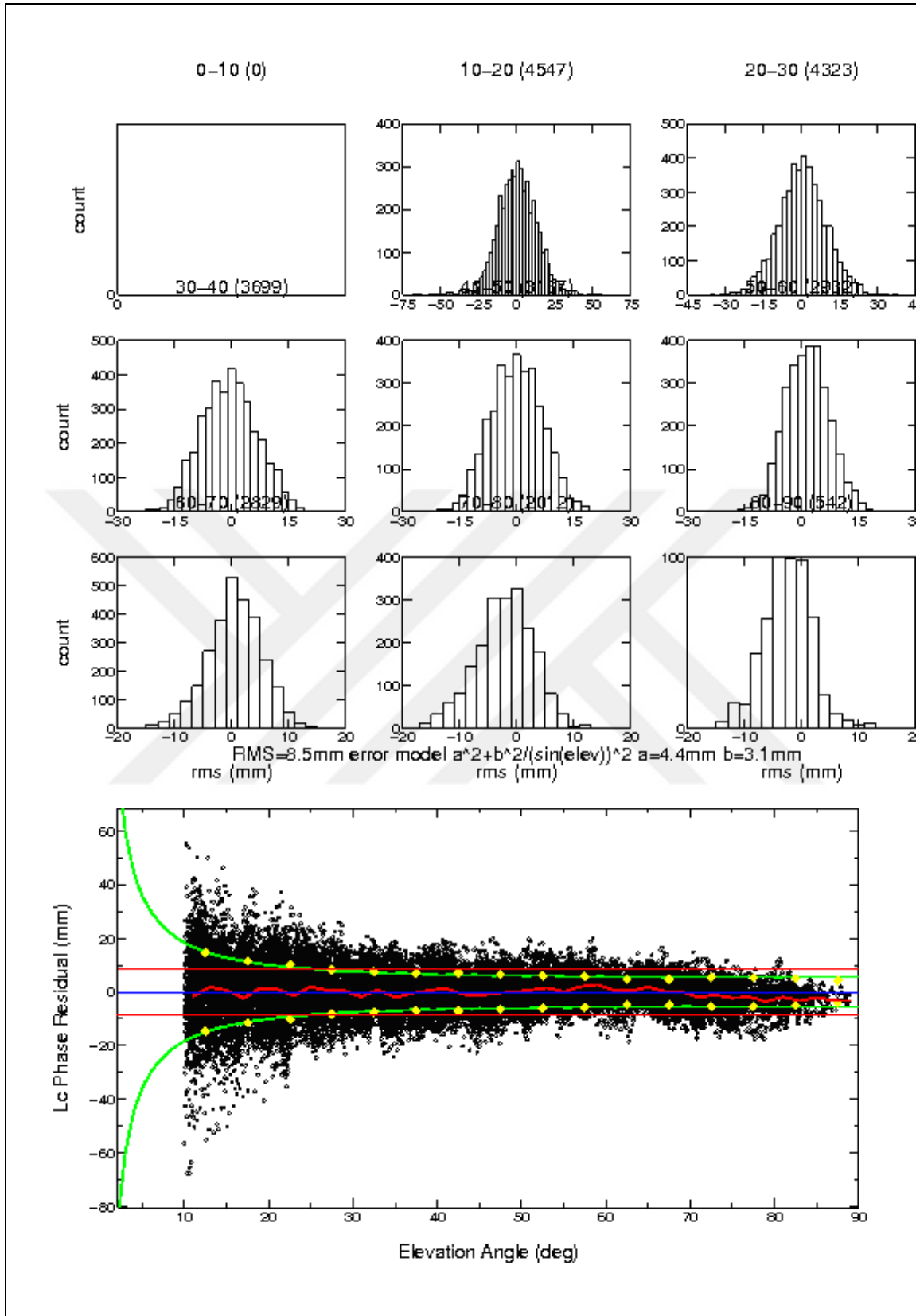
Grafikler incelendiğinde, her dairenin merkezi azimut doğrultusudur. Grafikler üzerindeki kalın kırmızı çizgiler ise 10 mm’lik hata ölçeğini göstermektedir. Düzeltme değerleri azimut doğrultusundan ekvatora doğru yaklaştıkça artmaktadır.



Şekil 4.8 BUSK noktasına ait 2008 yılı 061. GPS günü uydu pencereleri grafiği.

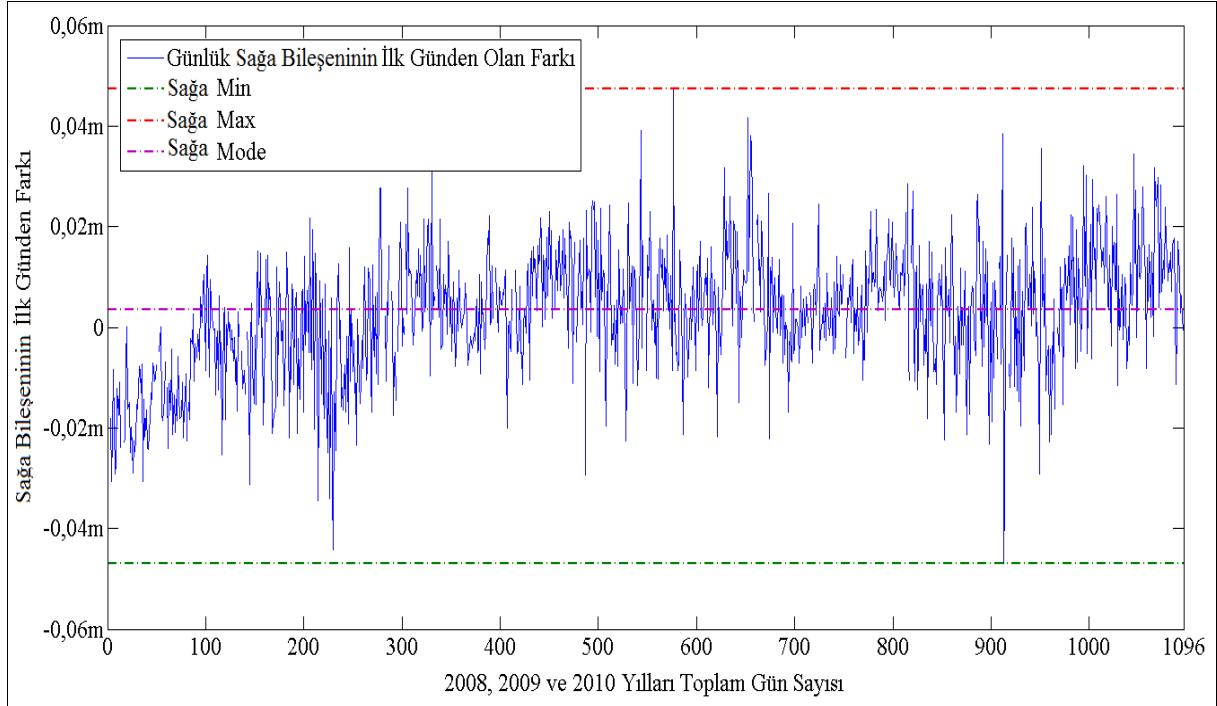
Şekil 4.9’de BUSK noktasına ait olan 2008 yılı 061. GPS günü histogram verileri görülmektedir. Gözlem parametrelerinin belirlenmesi esnasında maskeleye açısı 10 derece seçildiği için grafiklerde 0-10 arasında uydu açısının altında olduğu için veri yoktur. Ayrıca verilerin olduğu histogramların normal dağılıma yakın olması beklenir.

Şekil üzerinde gözükten histogramlarda veri dağılımları 0 ile 90 derece arasında 10’ar derece aralıklarla incelenmiştir. Burada gerçekleştirilen düzeltmeler dikkate alındığında en az düzeltmenin zenit doğrultusunda olduğu gözükmedir. Ayrıca şekil üzerinde faz sıçramaları da gözükmemektedir. Faz sıçramaları grafiği sinüs eğrisine benzer bir eğilim sergilemiş ise anten parametreleri kontrol edilmelidir. Kullanılan GNSS alıcılara ait anten faz bilgilerinin doğru tanımlanması değerlendirme açısından çok önemlidir. Herhangi bir hata ile karşılaşılması durumunda bu bilgiler NGS tarafından yayınlanan güncellemeler ile giderilebilir.



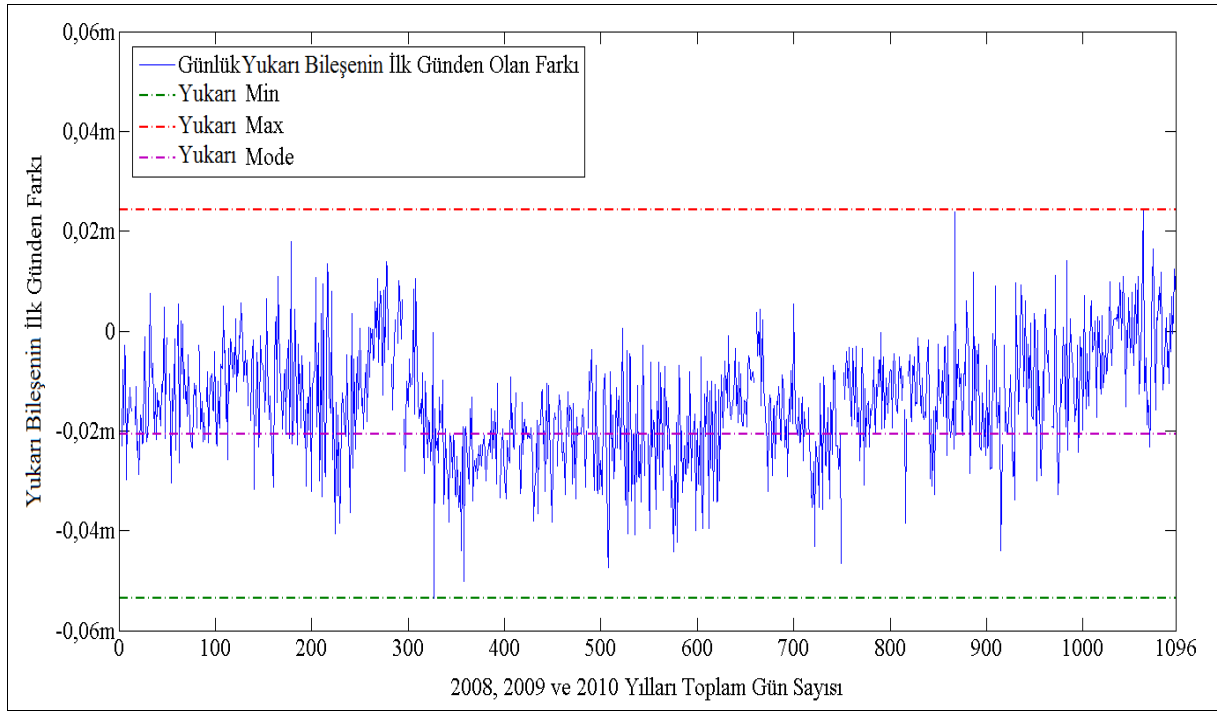
Şekil 4.9 2008 yılı 061 GPS günü BUSK noktası Histogram verisi.

Dengeleme hesabı sonrasında 2008-2010 yıllarına ait günlük çözümler elde edilmiştir. Elde edilen günlük çözüm sonuçları “gsoln” klasöründe .org uzantılı olarak saklanırlar. GAMIT üzerinde hesaplanan koordinatlar kartezyen koordinatlarıdır. Bu koordinatlar üzerinde gerekli dönüşümler yapılarak 3^o’lik UTM koordinatlar elde edilmiştir.

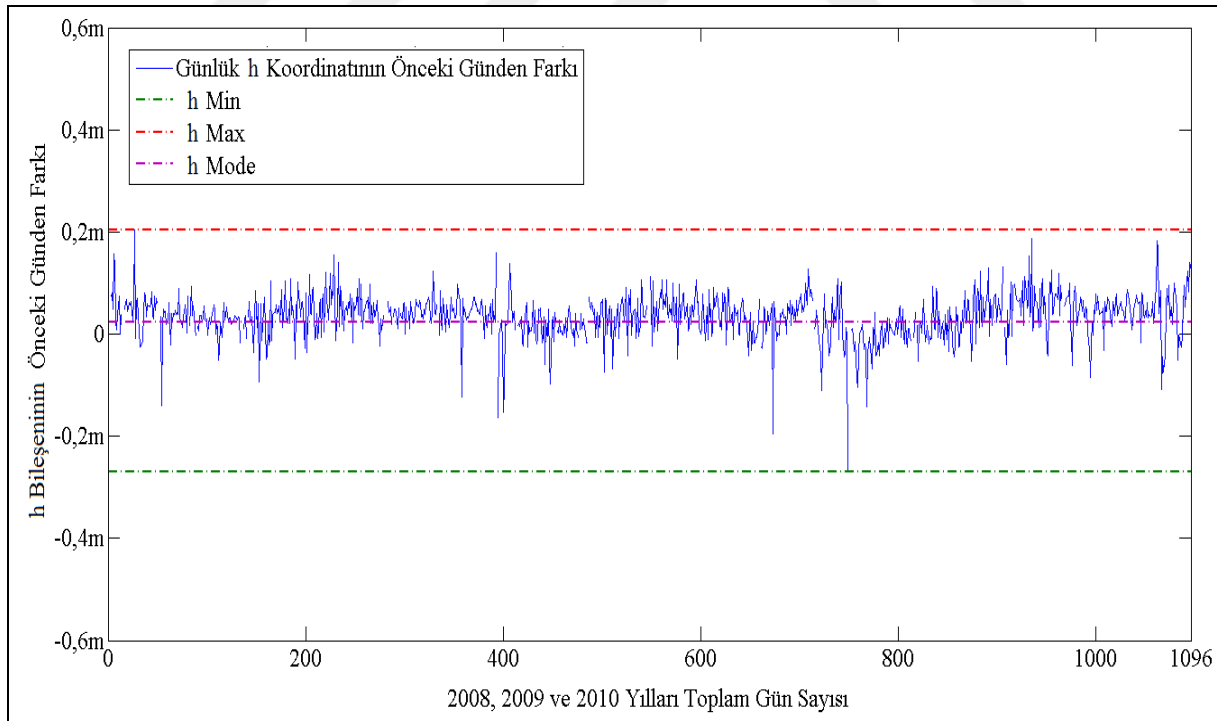


Şekil 4.10. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük sağa bileşenin hesaplanan ilk güne ait sağa bileşeninden olan farkları

Şekil 4.10’da Y eksenini, günlük olarak elde edilmiş olan sağa koordinatının ilk güne ait olan sağa koordinatından olan farkları göstermektedir. Yine aynı şekilde Şekil 4.11. ve Şekil 4.12. üzerinde ise yukarı ve yükseklik (h) koordinatlarının ilk güne ait olan değerlerden farkları gösterilmiştir. X eksenini ise 2008 yılından başlamak üzere 2010 yılı 31 Aralık tarihine kadar geçen gün sayısını ifade etmektedir.



Şekil 4.11. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük yukarı bileşenin hesaplanan ilk güne ait yukarı bileşeninden olan farkları



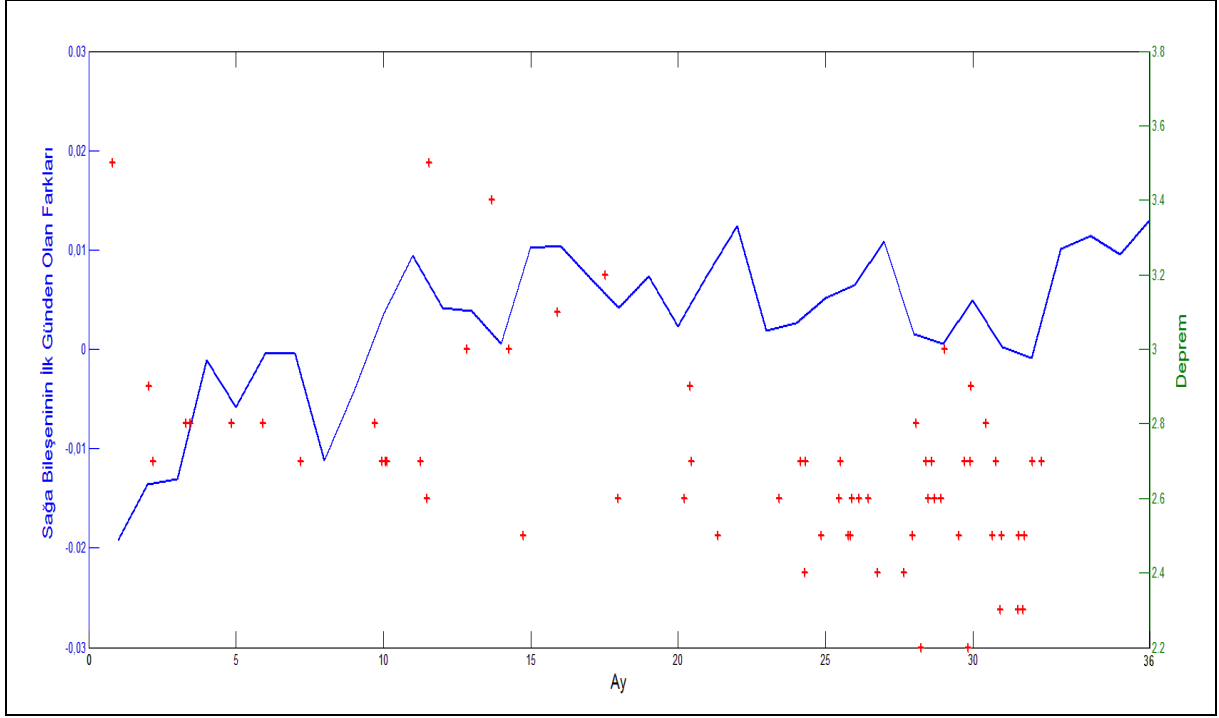
Şekil 4.12. BUSK istasyonunun 3 yıl için günlük yükseklik bileşenin hesaplanan ilk güne ait yükseklik bileşeninden olan farkları

Elde edilen grafikler dikkatlice incelendiğinde herhangi bir bileşen üzerinde belirgin bir trend görülmemiştir. Bu sebeple elde edilen çözümler tekrar değerlendirilmiş ve bu kez ilk günden olan farklar aylık ortalama değerler yardımı ile tekrar çizdirilmiştir.

Çizelge 4.6 Proje alanı ve yakın çevresinde gerçekleşmiş olan depremler.

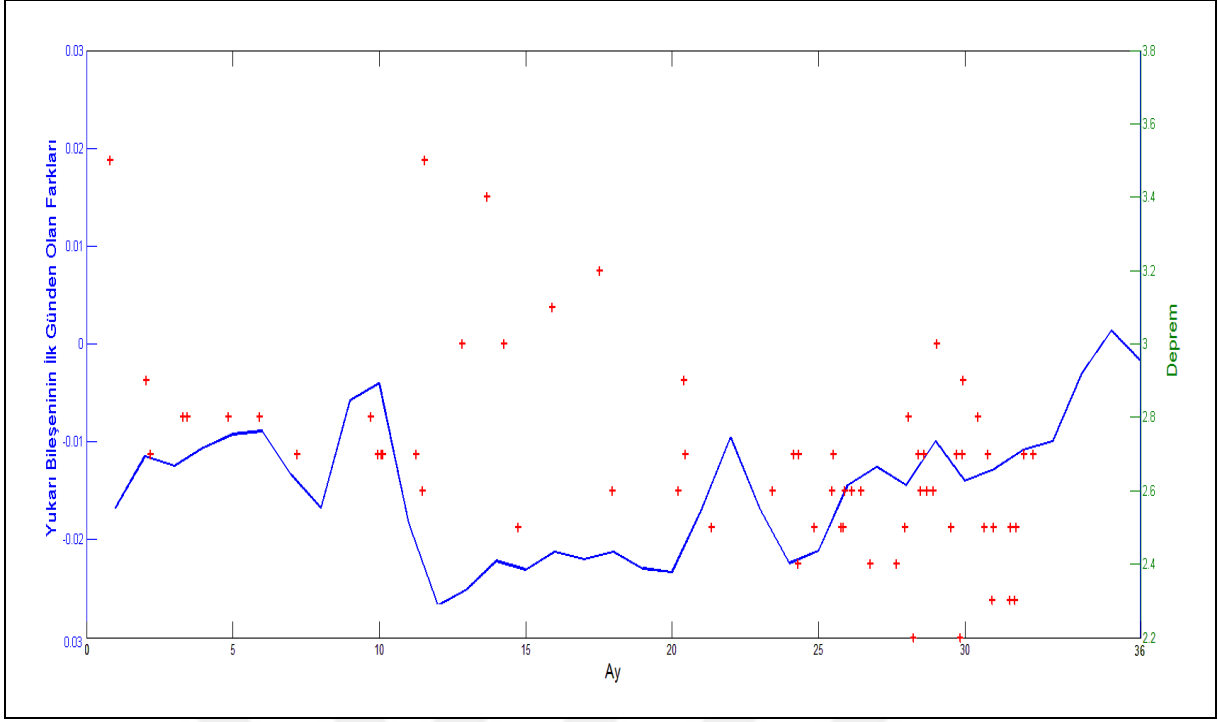
Gerçekleşme Tarihi	Enlem	Boylam	Mag	Derinlik	Yer
28.1.2008 02:50	40.1300	28.9567	3.5	5.0	Çalı-Nilüfer (Bursa)
8.3.2008 23:01	40.1238	29.0193	2.9	5.6	Bursa
13.3.2008 14:54	40.3135	29.1063	2.7	7.3	Osmangazi (Bursa)
20.4.2008 22:10	40.2297	29.2292	2.8	2.9	Gürsu (Bursa)
25.4.2008 16:22	40.2497	29.1728	2.8	6.7	Gürsu (Bursa)
12.6.2008 14:06	40.3057	29.1255	2.8	8.0	Osmangazi (Bursa)
18.7.2008 22:23	40.2738	28.7843	2.8	3.6	Görükle- Nilüfer (Bursa)
31.8.2008 03:25	40.2433	28.9705	2.7	4.1	Çalı-Nilüfer (Bursa)
24.11.2008 07:24	40.1848	28.9043	2.8	3.9	Çalı-Nilüfer (Bursa)
2.12.2008 15:27	40.3015	29.074	2.7	20	Osmangazi (Bursa)
6.12.2008 21:19	40.3125	29.327	2.7	10	Gürsu (Bursa)
8.12.2008 15:26	40.3195	29.261	2.7	7.6	Gürsu (Bursa)

Çalışmada kullanılan verilerin ait olduğu dönemlerde gerçekleşen depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Kurum web sitesi üzerinde aylık olarak gerçekleşen depremler kaydedilmiştir. Her bir dönem için ayrı ayrı aylık olarak kaydedilen veriler birleştirilerek yıllık bazda tek bir dosya olarak saklanmıştır. Bursa ve yakın çevresindeki verileri kullanacağımız için düzenlenmiş olan yıllık deprem verileri filtrelenmiş ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

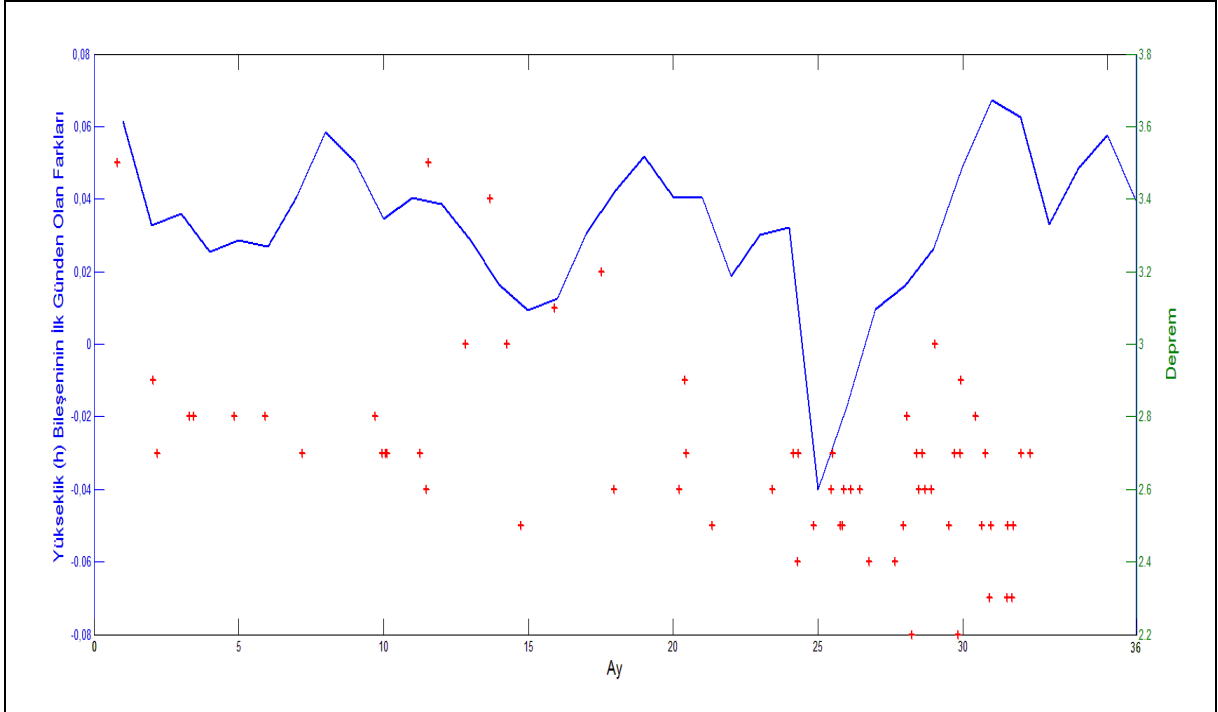


Şekil 4.13. BUSK istasyonunun 2008-2010 yılları için günlük sağa bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri

Yukarıda Şekil 4.13 üzerinde 2008-2010 yılları için hesaplanmış günlük çözümlerin sağa bileşeninin ilk güne ait sağa bileşeninden olan farklarının aylık ortalama değerlerine ait garik bulunmaktadır.



Şekil 4.14. BUSK istasyonunun 2008-2010 yılları için günlük yukarı bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri



Şekil 4.15. BUSK istasyonunun 2008-2010 yılları için günlük yükseklik (h) bileşeninin ilk günden olan farklarının aylık ortalama değeri

Yukarıda Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 üzerinde aynı şekilde 2008-2010 yılları için hesaplanmış günlük çözümlerin yukarı ve yükseklik (h) bileşenlerinin ilk güne ait yukarı ve yükseklik (h) bileşenlerinden olan farklarının aylık ortalama değerlerine ait garikler bulunmaktadır.

Ayrıca değerlendirme yılında gerçekleşmiş olan ve Çizelge 4.6'da belirtilmiş olan deprem verileri gerçekleşme günü ve şiddetine bağlı olarak grafik üzerine işlenmiştir. Koordinat farklarında gerçekleşen ani değişimler ile gerçekleşmiş olan depremlerin arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Hesaplanan koordinatlar ve oluşturulan grafikler, deprem verileri ile birlikte incelenmiş ve yorumlanmaya çalışılmıştır. Grafikler üzerinde öne çıkan ani değişimler detaylı şekilde incelenmiştir. İnceleme sonucunda yaşanan değişimlerin herhangi bir tektonik hareketten kaynaklanmadığı anlaşılmıştır.

Hesaplanmış olan referans istasyonunun günlük yer değiştirmelerinde ki önemli etkilerden bir tanesi de istasyonun tesisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca gözlem süresin boyunca gerçekleşen depremler tamamı küçük depremlerdir. Çoğu yalnızca sismograflar tarafından ölçülebilen ve hissedilemeyen bu küçük depremlerin referans istasyonundan uzakta ve yerin kilometrelerce derinliklerinde gerçekleşmiş olmaları da çalışma açısından olumsuz bir etki göstermektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanlık tarihinin var olduğu ilk günden bu güne dek geçen sürede toplumları etkileyen doğal afetlerin ilk sırasında depremler her zaman birinci sırada olmuşlardır. Bu sebepten dolayı oluşacak depremlerin önceden belirlenebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sürekli olarak insanların gündeminde olan bir konudur.

Bu alanda yapılmaya başlanılan ilk çalışmalar genellikle ay ve yıldızlar gibi göksel gözlemler ile mevsimler, bulutlar ve fırtınalar gibi atmosferik olayları yeryüzünde gerçekleşen olaylar ile ilişkilendirmek şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Her ne kadar depremlerin önceden tahmin edilebilmesi ile alakalı olan çalışmalar uzun zamandır devam etse de bilimsel anlamda gerçekleştirilmeye başlanan çalışmalar sanılanın aksine oldukça yenidirler.

Bu alanda gerçekleştirilmiş olan ilk çalışmalarda kullanılan bilimsel yöntemlere sismisite, P ve S dalga hızlarının veya varış zamanlarının ölçülmesi, yer altı su seviyelerindeki değişimlerin izlenmesi ve tektomanyetik çalışmalarını sayabiliriz.

Depremleri önceden tahmin etme konusunda Dünya'da tek sayılabilecek çalışma 1975 yılında Haicheng'te (Mançurya/ÇİN) meydana gelen depremdir. Şehrin %90'ının yıkılmasına karşın can kaybı olmamıştır.

Gelişen teknoloji ile hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline dönüşen GNSS sistemleri özellikle son yıllarda depremlerin önceden belirlenebilmesi konusundaki çalışmaların da merkezinde yer almaktadır.

GNSS sistemleri yardımı ile bu çalışmada da değinildiği gibi çalışma alanlarında tesis edilen sabit istasyonlarda uzun süreli gerçekleştirilen gözlemler yardımı ile yer kabuğu hareketleri ve bu hareketlerin karakterleri belirlenebilir, bu hareketler jeofiziksel ve jeolojik bilgiler yardımı ile birlikte yorumlanarak olası muhtemel depremler hakkında bilgi elde edilebilir.

1975 yılında Çin'de gerçekleştirilen çalışmanın benzerleri ve güncelleri günümüzde GNSS sistemlerine dayalı olarak Japonya da gerçekleştirilmeye başlamıştır. Şubat 2013 yılında JESEA (<http://www.jesea.co.jp/>) ismiyle kurulan şirket sahip oldukları GNSS verilerini belirli periyotlar halinde incelemektedir. Bu sayede şirket yer kabuğu üzerindeki değişimleri gözlem altında tutarak hareketlerdeki olası deprem izlerini belirleme ve yorumlamayı amaçlamaktadırlar. Elde ettikleri bilgileri ise üyeleri ile paylaşmaktadırlar. Bu sayede 2013 yılı içinde gerçekleşmiş olan sekiz deprem üyelere önceden bildirilmiş ve önlem almaları konusunda uyarılmışlardır.

Bu çalışma kapsamında Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) ait GNSS istasyonuna ait üç yıllık (2008 ve 2010 yılları arası) veriler akademik GNSS dengeleme yazılımı olan GAMIT-GLOBK ile değerlendirilmiştir ve elde edilen günlük istasyon koordinatları yardımı ile noktanın günlük hareketleri belirlenmiştir.

Ulaşılan sonuçlar aynı zaman aralığında gerçekleşen depremler ile birlikte incelenmiş ve yorumlanmıştır. İncelenen veriler zaman zaman ilişkilendirilebilir şekilde gözükse de çözümün geneline bakıldığında istenilen düzeyde bir sonuca ulaşılamamıştır. Bu durum karşısında gerçekleştirilen uygulamalar tekrar gözden geçirilmiş ve sebepleri araştırılmıştır.

Öncelikle insanoğlunun binlerce yıldan beri cevap bulmaya çalıştığı deprem ve diğer doğal afetlerin öncül belirtilerinin saptanmasında üç yıllık veri yeterli değildir. Çok daha uzun zamanlı gözlemler gerçekleştirilmelidir. Kısa zamanda elde edilen veriler yardımı ile sonuçlar hakkında fikir sahibi olunabilir ancak daha gerçekçi çıkarımlar için gözlem süresi mümkün olduğunca uzun tutulmalıdır hatta yaşayan bir proje olarak ele alınıp sürekli olarak değerlendirilmeye devam edilmelidir.

Uygulamada karşılaşılan bir diğer olumsuz koşul ise kullanılan istasyonun sahip olduğu tesis özelliklerinden ileri gelmektedir. BUSKİ noktası Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü binası çatısında yer almaktadır. Bina yapısal olarak ince ve uzun bir geometriye

sahiptir. Binanın bu yapısı ile Uludağ'dan gelen mevsimsel koşullar altında titreşim hareketi göstermektedir. Ayrıca istasyon zeminden 1.5 m yükseklikte ve 2.5 cm yarı çapına sahip bir boru üzerinde bulunmaktadır. Etrafında herhangi bir sabitleme halatı bulunmayan istasyon gerçekleşen en ufak bir esintide bile titremektedir. Verilerin kalite kontrolleri sırasında elde edilen hareketli ortalamaların zaman zaman yüksek çıkması bu durumun bir göstergesidir.

Gerçekleşen depremlerin referans istasyonundan uzakta olmaları, küçük depremler olmaları ve yerin kilometrelerce altında gerçekleşmiş olmaları da veriler arasında ilişki kurmayı güçleştirmiştir.

Bu proje kapsamında küçük ölçekte ve sahip olunan bazı olumsuz koşullar üzerinden belirlenmeye çalışılan bölgenin karakteristik yapısı, imkânlar dâhilinde daha uzun süreli, daha sağlam şekilde tesis edilmiş ve daha fazla sayıda sabit GNSS istasyonları üzerinde gerçekleştirilerek büyük ölçeklere aktarılabilir. Bu sayede elde edilecek olan bölgenin hız alanı karakteristik yapısı hiç şüphe yok ki daha hassas ve daha gerçekçi olacaktır. Elde edilecek olan karakteristik yapı gerçekleşen depremler ile birlikte değerlendirilerek gelecekte olması muhtemel olan depremler hakkında bilgi verebilir.

Dünyadaki en önemli şeyin insan hayatı olduğu gerçeği düşünüldüğünde bu ve benzer çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler sayesinde bir kişinin dahi hayatta kalabiliyor olması bu alanda gerçekleştirilen çalışmaların ne kadar anlamlı olduğunun bir göstergesi olacaktır.



KAYNAKLAR

- Barka A A** (1992) The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6: 164-195.
- Dirik K** (2006) Fiziksel Jeoloji I Ders Notları (Yayımlanmamış). Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Bölümü, Ankara
- Dong D, Herring T A and King R W** (1998) Estimating Regional Deformation From a Combination of Space and Terrestrial Geodetic Data. *Journal of Geodesy*, 72: 200214.
- Doğru G A** (2003) *Jeodezinin Deprem Araştırmalarındaki Yeri ve Önemi*. BÜ Kandilli Rasathanesi DAE, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, 3 s.
- Eyidoğan H, Güçlü U, Utku Z ve Değirmenci E** (1991) *Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi*. (1900-1988), İstanbul Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198 s.
- Görmüş S** (2011) Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentindeki Krip Hızı Değişiminin İzlenmesi. *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 113 s.
- Gündoğdu O, Görmüş K S** (2010) Kişisel Görüşme. ZKÜ Müh. Fak., Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Herring T A** (1990) Geodesy by Radio Interferometry: the Application of Kalman Filtering To Very Long Baseline Interferometry. *J. Geophys. Res.*, 95: 12561-12581.
- Herring T A** (1997) *GAMIT/GLOBK Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program; Version 4.1*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 182 p.
- Herring T A** (2004) *GLOBK: Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, ABD, 91 p.
- Kahveci M ve Yıldız F** (2005) *Global Konum Belirleme Sistemi Teori ve Uygulama*. Nobel Yayın Dağıtım, ISBN 975-591-203-7, 215 s.
- Kahveci M** (2009) Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Zerpa Turiz Yayıncılık, Ankara
- Koçak M G ve Ayan T** (2002) Anadolu Plakası ile Komşu Plakalardaki IGS Sabit İstasyonlarında GPS Zaman Serilerinin Elde Edilmesi ve Aanalizi. *TUJK Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, s:23-29.
- Kutoglu S H, Kemaldere H, Deguchi T and Berber M** (2014) Discovering a Pull-Apart Basin Using InSAR in Bursa, Turkey. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, v.71: 871-880.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- McClusky S, Balassanian S, Barka A A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, Gurkan O, Hamburger M, Hurst K, Kahle H, Kastens K, Kekelidze G, King R, Kotsev V, Mahmoud S, Nadariya M, Ouzounis A, Paradissis D, Peter Y, Prilepin M, Reilinger R, Sanli İ, Seeger H, Tealeb A, Toksoz M N and Veis G** (2000) Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.* 105: 5695-5719.
- MIT** (1999a) *Appendix 1, Summary of GAMIT Processing*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, 5 p.
- MIT** (1999b) *Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Thursday, 91 p.
- MIT** (2002c) *GLOBK Velocity and Coordinate Solutions*. GAMIT-GLOBK Tutorial 10, 26 p.
- Özmen B** (2008) Bursa İlinin Depremselliği (Yayımlanmamış). Jeoloji Mühendisleri Odası Bursa İl Temsilciliği, Bursa İlinin Depremselliği ve Tarihi Paneli, Bursa.
- Soycan M ve Soycan A** (2002) Yayın ve IGS Hassas Efemerislerinin Bir GPS Test Ağında Karşılaştırılması ve İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya, 87-96.
- Tarı E, Baykal O and Şahin M** (1999) *GNSS Data Processing For Geodynamics At ITU With GAMIT/GLOBK Software*. İstanbul, 335-347
- TJK** (1976) *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, e. 19: 149-154.
- URL-1** <<http://www.cografyatutkudur.com/deprem/deprem.html>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-2** <<http://resilience.abag.ca.gov/students/seismic-waves>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-3** <http://www.sismo.sakarya.edu.tr/depremler_faylar.htm>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-4** <<http://www.ctoraman.gen.tr/deprem/dparametre.html>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-5** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Personel/comoglu/depremnedir/>>, Ziyaret tarihi: 11.03.2015.
- URL-6** <http://www.jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/Fay.Nedir?.Fay.Cesitleri_Nelerdir>, Ziyaret tarihi: 16.03.2015.
- URL-7** <<http://www.hp1039.jishin.go.jp/eqchreng/af1-2.htm>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-8** <<http://www.geology.um.maine.edu/geodynamics/AnalogWebsite/UndergradProjects2010/PeterStrand/html/BackgroundPage.html>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-9** <<https://geos309.community.uaf.edu/2014/09/>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-10** <<http://www.e-sehir.com/turkiye-haritasi/bursa-deprem-fay-hatti-riskharitasi.html>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2016.
- URL-11** <[http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation))>, Ziyaret tarihi: 18.03.2015.
- URL-12** <https://geodesy.noaa.gov/PUBS_LIB/ppt/GPS_Orbit_Determination.ppt>, Ziyaret tarihi: 01.04.2015.
- URL-13** <https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System, Wikipedia,>, Ziyaret tarihi: 15.04.2015.
- URL-14** <https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System>, Ziyaret tarihi: 15.04.2015.
- URL-15** <<https://igsb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>>, Ziyaret tarihi: 19.06.2015.
- URL-16** <<http://igsb.jpl.nasa.gov/overview/viewindex.html>>, Ziyaret tarihi: 19.04.2015.
- URL-17** <http://www.sismikaktivite.org/forum/forum_posts.asp?TID=577&FID=57&PR=3&PD=0>, Ziyaret tarihi: 06.05.2011.
- Yürür T** (2005) *Understanding Earth*, Frank Press ve Raymond Siever. ISBN-13: 978-0716796176, Freeman yayıncılık, New York, 568 p.



ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Zonguldak'ta tamamladıktan sonra 2004 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1 sene İngilizce Hazırlık aldı ve 2009 yılında mezun oldu. Aynı yıl 2 yıllığına Amerika Birleşik Devletlerine gitti. 2011 yılında BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Şubat 2012'de Üniversitenin açtığı Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. Yabancı dili İngilizcedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Demirci Mah. Suna Sk No:3 Daire:7 Nilüfer/BURSA.
Tel : (+90) 532 717 6167
E-posta : fatihaliyazicioglu@gmail.com