



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YALOVA HACİMEHMET OVASI'NDA
MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN
GNSS TEKNİĞİYLE İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cansu UYSAL

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 232306301 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Cansu UYSAL tarafından hazırlanan “**YALOVA HACİMEHMET OVASI'NDA MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN GNSS TEKNİĞİYLE İZLENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarkan TORUN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi:27/09/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazlıye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Cansu UYSAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, tezimin hazırlanıp bu aşamaya gelmesinde yardımlarını ve yönlendirmelerini esirgemeyen Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT'a sonsuz teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında karşılaştığım sorunların çözümünde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çalışmamda büyük katkısı olan Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN'e katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Yusuf KAYA'ya, Şeri OGUZ'a, Suna BOZKURT'a, Osman GÖK'e, Zafer KARTAL'a, Metin KANDEMİR'e, Yalova Adnan Menderes MTAL öğretmenleri ve Harita Tapu Kadastro bölümü öğrencilerime yürekten teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, her daim yanımda olduklarını hissettiren kıymetli annem Zeynep UYSAL'a, babam Yusuf UYSAL'a, kardeşim Hüseyin UYSAL'a sonsuz teşekkür ediyorum ve bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Cansu UYSAL
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3.KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ (GNSS UYDU SİSTEMLERİ)	8
3.1 Global Konum Belirleme Sistemi (GPS).....	8
3.1.1 GPS'in bölümleri	9
3.1.1.1 Uzay bölümü	10
3.1.1.2 Kontrol bölümü	11
3.1.1.3 Kullanıcı bölümü	12
3.2 GLONASS	13
3.3 GALILEO	14
3.4 Diğer Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri.....	15
4. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	17
4.1 Mutlak Konum Belirleme	17
4.2 Bağıl Konum Belirleme	18
4.2.1 Statik ölçme yöntemi.....	20
4.2.2 Hızlı statik ölçme yöntemi.....	20
4.2.3 Dur-git ölçme yöntemi	21
4.2.4 Tekrarlı ölçme yöntemi	21
4.2.4.1 Merkezsel baz.....	22
4.2.4.2 Travers ölçme yöntemi	22
4.2.5 Kinematik ölçme yöntemi	22
5. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ VE ANALİZİ	24
5.1 Deformasyon.....	24
5.2 Deformasyonların Sınıflandırılması	27
5.2.1 Kalıcı deformasyonlar	27
5.2.2 Elastiki deformasyonlar.....	28
5.3 Deformasyon Ölçüm Teknikleri.....	28
5.3.1 Jeodezik yöntemlerle deformasyonların izlenmesi	29
5.3.2 Jeodezik olmayan yöntemlerle deformasyonların izlenmesi.....	31
5.4 Deformasyon Analiz Modelleri.....	35
5.4.1 Statik deformasyon modeli.....	36
5.4.2 Dinamik deformasyon modeli	37
5.4.3 Kinematik deformasyon modeli.....	37
5.4.4 Uyum deformasyon modeli	38
6. UYGULAMA	39
6.1 Çalışma Bölgesi.....	43
6.2 Yalova Tektonik GNSS Ağı	45
6.3 GNSS Ölçüleri.....	46
6.4 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Hız Değerlerinin Belirlenmesi	48

6.5 Yalova Hacımehtmet Ovası GNSS Hız ve Gerinim Alanı	54
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ	73



YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALOVA HACİMEHMET OVASI'NDA MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN GNSS TEKNİĞİYLE İZLENMESİ

Cansu UYSAL

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT

ÖZET

Yalova Merkez Hacımehmet Ovası 17 Ağustos 1999 depreminde il genelinde depremde en çok etkilenen bölgeler arasında yer almaktadır. Depremden sonraki yıllarda bölgede yapılan mühendislik çalışmalarında bölge için deformasyonların medyana geldiği ve bölgede gözle görülür toprak kaymalarının mevcut olduğu gözlenmiştir. Bölgenin alüvyon zemin üzerine kurulmuş olması, Safran Deresi boyunca yapılaşmaların sıklaşması ve yaşanmış olan deprem felaketinde yıkıcı hasarların ve can kayıplarının çok fazla olmasından dolayı dikkatler sürekli bu bölge üzerinde olmuştur. Bu çalışmanın amacı yapılan ölçü ve analizler doğrultusunda bu alanda oluşan deformasyonlar konusunda sayısal bulgular sunmaktır.

Çalışmada Hacımehmet Ovası'na ait deformasyonun jeodezik ölçmelerle yüksek duyarlılık olarak belirlenmesi hedeflenmiş ve bu alanda 23 adet yeni yer noktası tesis edilmiştir. Kurulan ağ üzerinde 2022-2024 yılları arasında 3 kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi çevresinde bulunan Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı Aktif (TUSAGA-Aktif) noktasına ait ölçüler de çalışmaya dahil edilerek GNSS ölçüleri GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiş ve bölgenin güncel hız alanı elde edilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında bölgenin yaklaşık olarak B-GB yönünde 17-21 mm/yıl hareket ettiği görülmektedir. Bölgede farklı yönde ve hızda lokal deformasyonların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Hacımehmet Ovası, GAMIT/GLOBK, Kayma Hızı.

Eylül, 2024; 73 sayfa

M. Sc. THESIS

**MONITORING OF DEFORMATIONS IN YALOVA
HACİMEHMET PLAIN
WITH GNSS TECHNIQUE**

Cansu UYSAL

**Aksaray University
Institute of Science and Technology
Department of Geographic Engineering**

Supervisor: Assistant Professor Kemal YURT

ABSTRACT

The Hacı Mehmet plain in the Yalova Center was among the regions most affected by the earthquake in the province in the August 17, 1999 earthquake. In the engineering studies carried out in the region in the years following the earthquake, it was observed that deformations had reached the median for the region and that there were visible landslides in the region. Due to the fact that the region was established on alluvial ground, the density of constructions along the Safran Creek and the high number of devastating damages and loss of life in the earthquake disaster, attention was drawn to this region. The aim of this study is to present numerical findings on the deformations in this area in line with the measurements and analyzes made.

In the study, it was aimed to determine the deformation of the Hacı Mehmet plain with high precision by geodetic measurements and 23 new ground points were established in this area. 3 campaign GNSS measurements were carried out on the established network between 2022-2024. The measurements of the Turkish National Fixed GNSS Stations Network Active (TUSAGA-Active) point located around the study area were also included in the study and the GNSS measurements were evaluated with the GAMIT/GLOBK software suite and it was aimed to obtain the current velocity field of the region.

Within the scope of this study, it is observed that the region moves approximately 17-21 mm/year in the W-SW direction. It was determined that local deformations occurred in the region in different directions and speeds.

Keywords: GNSS, Hacı Mehmet Plain, GAMIT/GLOBK, Velocity.

September, 2024; 73 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. GPS uyduları.....	9
Şekil 3.2. GPS'in bölümleri	10
Şekil 3.3. Uzay bölümü.....	11
Şekil 3.4. GPS kontrol bölümü.....	12
Şekil 4.1. Mutlak konum belirleme yöntemi.....	18
Şekil 4.2. Bağlı konum belirleme yöntemi	19
Şekil 5.1. Türkiye ve çevresinin tektonik haritası	25
Şekil 5.2. Deformasyonların sınıflandırılması	27
Şekil 5.3. İnklinometre aleti	32
Şekil 5.4. Piezometre örnekleri	33
Şekil 5.5. Klinometre örnekleri	33
Şekil 5.6. Çatlak, derz ölçer	34
Şekil 5.7. Deformasyon modelleri.	36
Şekil 6.1. Yalova heyelana duyarlı alanlar	41
Şekil 6.2. Çalışma noktalarımızın yakınındaki yol üzerinde meydana gelen deformasyon.	43
Şekil 6.3. Yalova ilinden geçen diri fay hattı haritası.....	45
Şekil 6.4. Yalova Hacımehmet Ovası tesis edilen yer noktalarının konumları.....	46
Şekil 6.5. Statik ölçme oturumları uygulamasından görüntü.....	47
Şekil 6.6. Topcon Receiver Utility programı veri aktarım arayüzü.	49
Şekil 6.7. GAMIT ana klasör yapısı.	51
Şekil 6.8. CA02, CA07, CA08 ve CA18 noktalarına ait yıllık zaman serileri.....	53
Şekil 6.9. Hız alanı.	54
Şekil 6.10. Güncellenen hız alanı.	55
Şekil 7.1. CA14 noktası sabit alınarak hesaplanan rölatif hızlar.....	58
Şekil 7.2. CA23 noktası sabit alınarak hesaplanan rölatif hızlar.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Uydu sistemlerinin karşılaştırılması	16
Çizelge 5.1. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması.	38
Çizelge 6.1. GNSS ağında yer alan noktalara ait ölçü zamanlarını gösteren bilgiler.	48
Çizelge 7.1. CA14 ile diğer noktalar arası mesafeler.....	59
Çizelge 7.2. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (X) statik ölçü farkları.	62
Çizelge 7.3. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Y) statik ölçü farkları.	63
Çizelge 7.4. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Z) statik ölçü farkları.	64



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CORS	Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonu
D-B	Doğu-Batı
GALILEO	Global Navigation Satellite System
GAMIT	GPS Analysis Massachussets Institute of Technology
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	GNSS Global Navigation Satellite Systems
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GZK	Gerçek Zamanlı Kinematik
InSAR	İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ISRO	Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
K-G	Kuzey-Güney
KML	Keyhole Markup Language
TOKİ	Toplu Konut İdaresi
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
NAVIC	Navigation Indian Constellation
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing and Ranging
QZSS	Quasi; Zenith Satellite System
RİNEX	Receiver Independent Exchange Forma
RTK	Real Time Kinematic
SAR	Synthetic Aperture Radar
Sn	Saniye
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
X	Konum Koordinatı-Boylam
Y	Konum Koordinatı-Enlem
Z	Konum Koordinatı-Yükseklik
°	Derece

1. GİRİŞ

Yerkabuğunda, çeşitli mühendislik yapılarında ve makine tesislerinde zamanla meydana gelen kalıcı veya geçici etkiler oluşturan şekil değişikliklerine “deformasyon” denir. Zaman içerisinde deformasyonlar çeşitli ölçme yöntem ve teknikleri ile tespit edilerek gerekli önlemler alınması konusunda çalışmalar yürütülmüştür. Deformasyon ölçmelerinde oluşan veya oluşabilecek tehlikelerin tespit edilmesi ve gerekli tedbirlerin alınması ile deformasyon ölçmeleri amacına ulaşmış olacaktır. Yeryüzü düşey ve yatay yönde sürekli hareket halindedir. Deformasyon ölçmeleri geçmişten günümüze kadar araştırmacıların üzerinde çalıştığı önemli konulardan biri olarak her zaman ilk sıralarda yer almaktadır. İnsanlar tarih boyunca toplumlar için tehlike yaratacak deprem, sel, heyelan vb. birçok doğal afetle karşı karşıya kalmıştır. İnsanlar yaşam boyunca bu doğal afetlerin etkilerine karşı tedbir almayı hedeflemiş ve çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır. Ancak afetleri önlemek imkansız olduğu için hem dünyada hem de ülkemizde zaman içerisinde önleyici planlama ve risk analizleri yapmaya başlanmıştır. Buradaki amaç sürdürülebilir ve afetlere dirençli kentler oluşturmaktır. Bu konuda yapılan çalışmalar arasında doğal ve insan kaynaklı tehlikelerin kent üzerindeki etkilerini araştırıp olası riskler karşısında önlemler almak hedeflenmiştir. Afetle karşı karşıya olan yerleşimlerde afet tehlikesi ve riskleri tespit ederek stratejik planlama yöntemleri kullanılarak dirençli toplumlar meydana getirmek bir gereklilik olmuştur (İRAP, 2022).

Bu afetlerden tahmin edilmesi ve hazırlanması en güç olan deprem de ülkemizde her yıl yüzlerce kez meydana gelmektedir ve bu depremlerde çok fazla can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Bu yüzden deprem çalışmaları ülkemiz için çok fazla önem taşımaktadır. Depremleri meydana getiren yer kabuğu hareketleri üzerine geçmişten günümüze farklı bilim dallarında farklı tekniklerle çalışmalar yapılmıştır. Jeodezi alanı bu bilim dallarından bir tanesini oluşturmaktadır ve önceki yıllarda geleneksel açı, uzunluk ve seviye ölçme teknikleri ile yürütülen çalışmalar, özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde gelişen uzay jeodezisi teknolojisi ile birlikte yerini Küresel Konum Belirleme Sistemleri’ne bırakmıştır. GNSS’in kullanımı, yüksek konum hassasiyeti, zamandan büyük ölçüde tasarruf edilmesi, maliyetlerin düşük olması vb.

birçok yönden avantaj sağlamasından dolayı tektonik hareketlerin belirlenmesinde son derece yaygınlaşmıştır (Gezgin, 2020).

Depremlerin meydana getireceği muhtemel zararlar; ilgili alandaki zemin durumu, bina envanteri (yapılış tarihleri, yapılış türleri ve deprem dayanımları) ve faylara olan uzaklıkları açısından üç kritere bağlı olarak incelenmektedir. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda; Yalova ili de, denize cephe olacak şekilde konumlandırılmıştır. İl merkezi ve tüm ilçeleri Marmara Denizi içerisinde deprem üretme potansiyeli bulunan faylara paralel olması nedeniyle, olası bir depremde ilin çok fazla etkilenmesi beklenmektedir. Deprem etkisinin çok fazla olmasının sebepleri arasında nüfusun sahil şeridinde yoğunlaşmış olması da yer almaktadır. Yalova ili Altınova ilçesinden, Armutlu ilçesine kadar tüm ilçeleri dahil genç alüvyonal zemin üzerindeki sahil şeridine yerleşim sağlamıştır. Zemin büyütme değerleri sebebiyle olası bir deprem etkilerini çok şiddetli hissedecektir. Sahil şeridinden şehrin iç kısımlarına doğru gidildikçe depremin hissedilen etkisinin daha azalacağı öngörülmektedir. İlin genç alüvyonal zemin üzerindeki yapılaşan kısmı dışında kalan kesimi, önlem şartlı alanlar (bu alanların da çoğu, önlem alınabilecek nitelikte stabilite sorunlu alanlar) ve önlem alınabilecek nitelikte, şişme, oturma vb. sorunlu yerleşim alanları kurulabilecek şekilde yerleşime açılmıştır. İl merkezinde Fevzi Çakmak Mahallesi, Rüstempaşa Mahallesi, Süleymanbey Mahallesi ve Bahçelievler Mahallesi eski ve yüksek katlı yapı stoğu ve zemin büyütme değerlerinin yüksek olması sebebiyle şiddeti yüksek herhangi bir depremde olumsuz etkilerinin en çok görüleceği mahalleler arasında olmaları öngörülmektedir (İRAP, 2022).

Potansiyel bir deprem tehlikesinden sonra Yalova ilini en çok etkileyen afetin heyelan olduğu bilinmektedir. Yalova ilinin jeomorfolojik ve jeolojik yapısı incelendiğinde heyelan afeti bakımından riskli alanların çok fazla olduğu bölgelere sahip bir il olduğu görülmektedir. Altyapı ve yer altı su kaçakları, köylerdeki jeolojik etüt eksikliği ve il genelindeki kaçak yapılaşma heyelanı tetikleyen etkiler olarak belirtilmiştir. Ayrıca eğimli arazi fazlalığı ve ilin yoğun yağış alması da heyelanı tetikleyen diğer sebepler arasında gösterilmektedir. Yalova ilinin aktif Kuzey Anadolu Fay Hattının yakınından geçmesi ve jeolojik yapısı açısından kütle hareketlerine elverişliliği gibi sebeplerden dolayı heyelanların sık yaşanmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. İl genelinde her yıl irili ufaklı heyelanların meydana

geldiği görülmektedir. İl genelinde eğimin nispeten yüksek olduğu alanlar ayrışmaya müsait formasyonlardan oluşmaktadır. Eğimin düşük olduğu yerlerde ise alüvyon çökellerce zengin zonları barındırmasından dolayı lokal heyelanlar oluşmaktadır. Yalova ilinde son 20 yılda 55 lokal heyelan tespit edilmiştir (İRAP, 2022).

Bu tez çalışmasında çalışma bölgesi olarak seçilen Hacımehmet Ovası günümüzde Yalova ilinin merkezi haline gelmeye başlamıştır. Çok fazla yaşam alanı oluşturularak bölgenin gelişimine katkı sağlanmıştır. Ancak bu bölgede yukarıda da belirtildiği üzere bazı alanlarda toprak kaymaları, düşey ve yatay yönde deformasyonların meydana gelmesi söz konusu olmuştur. Bölgenin hızla gelişmesi ve geniş bir nüfus barındırması göz önünde bulundurularak potansiyel deprem ve heyelan tehditlerini daha sağlıklı bir biçimde sayısal verilerle analiz etmek amacıyla bu çalışmada ilgili bölgede oluşturulan bir ağ ile deformasyon ölçmeleri yapılması hedeflenmiştir. Çalışmada yaklaşık 15 km²'lik bir alanda gerçekleştirilecek ölçmeler ile kayma ve çökmelerin yoğun olarak bulunduğu bölgeyi taramak amaçlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen veriler doğrultusunda bölgede oluşabilecek potansiyel risk faktörlerinin önceden tespit edilmesi ve risk teşkil eden durum var ise önlemlerin alınması konusunda literatüre ve karar verici kurum/kuruluşlara katkı sağlanması hedeflenmiştir. Tez çalışması kapsamında öncelikle bölgenin topografik yapısı ile ilgili bir ön araştırma yapılmıştır. Özellikle deformasyon olması muhtemel alanları kapsayacak şekilde yaklaşık 15 km²'lik bir sahada istikşaf çalışması yapılmıştır. Bölgede 23 adet yer noktası tesis edilmiştir. Ayrıca Safran Köyünün içerisinden geçen fay hatlarının KB segmentlerine (Orhangazi ve Yalova) dik profil oluşturacak şekilde ağ planlaması yapılarak bu segmentlerin ayırdığı blokların hız farklarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bölgede 2022-2024 yılları arasında günlük minimum dört saat olmak üzere eş zamanlı üç adet kampanya ölçüsü tamamlanmıştır. Ölçümler Topcon marka GNSS uydu alıcıları ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapılan tüm kampanya ölçülerine ait veriler bir araya getirilerek GAMIT/ GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilerek oluşan deformasyonlar ve noktaların hareketlerine dair bilgiler ve bölgenin hız alanı elde edilerek yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez çalışması kapsamında değinilen potansiyel heyelan ve tektonik deformasyon ile ilgili bölgede ulusal/uluslararası literatürde bulunan çalışmalar derlenerek aşağıda sunulmuştur.

Denli (1998) çalışmasında GPS teknolojisi ile Marmara Bölgesi'ndeki yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi konusunda araştırmalar yapmıştır. Global plaka tektoniğine göre irili ufaklı on üç plakadan oluşan yerkabuğunda, Kuzey Anadolu Fayı, başlıca Arabistan Plakasının etkisi altında olduğunu ifade etmektedir. Çalışmasının sonucunda Marmara Bölgesinin Avrasya Plakasına göre batıya doğru önemli bir hareketinin olduğunu tespit etmiştir.

Poyraz (2009) yaptığı çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonun (KAFZ) Tokat-Erzincan arasında 36 noktadan oluşmak üzere bir ağ oluşturmuştur. 2006, 2007 ve 2008 yıllarında GNSS ölçülerini tamamlamıştır. Avrasya ve Anadolu Plakasındaki noktalarda hız alanı kuzeyden güneye doğru artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Anadolu Plakasındaki noktalarda hız alanı ise doğudan batıya doğru artış göstermektedir. Avrasya Plakasına göre Anadolu Plakasındaki noktalarda doğudan batıya doğru hız artışı olduğu tespit edilmiştir. Kelkit GPS ağının doğusunda kalan MUTU noktasında 15 mm/yıl, KMAH noktasında 13 mm/yıl, ağın batısında kalan SIVA, CRDK ve SINC noktalarında bu hız 20 mm/yıl ile 22 mm/yıl arasında değişmekte olduğunu ifade etmektedir. Avrasya Plakasında faydan kuzeye doğru gidildikçe hızlar azalmakta ve faydan uzaklaştıkça bu değerler sifıra yaklaşımakta olduğunu ifade etmektedir. Fayın en kuzeyinde bulunan GURE noktasında yaklaşık hız 4 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Bu durum ise Avrasya Plakasındaki deformasyon zonunun genişliğini ortaya koymakta aynı zamanda bölgedeki elastik deformasyonun her iki plakayı kapsayacak şekilde geniş bir alana yayıldığını ifade etmektedir.

Tiryakioğlu (2012) yaptığı doktora tez çalışmasında Anadolu Bloğu üzerinde bulunan noktaların Avrasya Bloğuna göre 10-15 mm/yıl (± 0.5 mm/yıl) hız ile hareket ettiğini gözlemlemiştir ve bu hız değeri Ege açılma bloğunda 26-29 mm/yıl (± 0.5 mm/yıl), Marmaris Bloğu üzerinde ise 31-34 mm/yıl (± 0.5 mm/yıl) kadar ulaştığını ifade etmiştir. Aynı zamanda Güneybatı Anadolu'nun gerilme analizi

sonunda Fethiye-Burdur Fay Zonu çevresinde anlamlı yamulma ve gerilmeler tespit etmiştir.

Aladoğan (2017) yapmış olduğu çalışmada KAFZ üzerinde Bolu-Çorum Segmentinde 22 noktadan oluşmak üzere bir ağ oluşturmuştur. 2008 yılında kurulan 30 adet TUSAGA-Aktif istasyonu oluşturulan bu ağa dahil edilmiştir. 2014-2015-2016 yıllarında GNSS ölçülerini tamamlamıştır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen hız alanı çalışma alanının Avrasya referans sistemine göre yıllık 15-20 mm'lik bir hız ile batı yönünde hareket halinde olduğu tespit edilmiştir. KAFZ'ın üst (Kuzey) kısmında yer alan noktaların hızları 2-3 mm olarak tespit edilirken, altında kalan kısımda güneye doğru gidildikçe hız değerlerinin büyüdüğü tespit edilmiştir.

Dönmez (2018) Gediz Fayı üzerinde yaptığı çalışmada 20 noktalı bir GNSS ağı kurmuştur. 2016-2018 yılları arasında GNSS ölçülerini tamamlamıştır. 2008 yılında kurulan iki tane TUSAGA-Aktif istasyonunu da bu ağa dahil etmiştir ve toplam 22 noktaya ulaşmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Avrasya referans sistemine göre yıllık 20-25 mm'lik hızla batı-güneybatı yönlerine doğru hareketlenmeler gözlemlenmiş ve sonuçların bölgede yapılan diğer çalışmalar ile uyum içerisinde olduğunu belirtmiştir.

Yalçın (2019) Bolvadin fayı yüzey deformasyonlarını incelemek için bölgede sekiz adet dik profil şeklinde nivelman ağı oluşturmuştur. Elde edilen verilerin analizleri doğrultusunda ağda gidiş- dönüş nivelman ölçüleri arasında en fazla 2-3 mm fark olduğunu gözlemlemiştir. 2017 yılında kuzey doğudaki noktaların yıllık değişim miktarı -10 mm, 2018 yılında ise bu değer -40 mm değerlerine yükseldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda güney batıda ise bu değerler -63 mm'ye kadar çıkmakta olduğu gözlemlenmiştir. Yalvaç çalışmasında deformasyonların homojen olmadığını ve çeşitlilik gösterdiğini ifade etmektedir.

Gezgin (2020), Tuz Gölü Fay Zonu'nun GPS ve INSAR teknikleri kullanılarak kinematik deformasyon analizini gözlemlemiştir. 2018-2020 yılları içerisinde oluşturduğu jeodezik ağda bölgenin GNSS gözlemlerini yapmıştır. Çalışmaya ek olarak 2014-2020 yılları arasında SENTINEL-1 görüntülerini kullanarak bölgedeki değişimleri incelemiştir. Gezgin yaptığı çalışmada Tuz Gölü Fay Zonu için yatayda 3,2 mm/yıl düşeyde 1,5 mm/yıl kayma miktarı hız sonucu elde etmiştir.

Eyübagil (2020) Gülbahçe fayının kinematığı hakkında yaptığı çalışmada merkezi Urla ilçesi olmak üzere Karaburun ilçesi ve Çeşme ilçesinin bir kısmını kapsayan bir çalışma bölgesinde toplam 17 noktalı bir GNSS ağı oluşturarak ölçümlerini tamamlamıştır. Çalışma bölgesinde elde edilen sonuçlara göre noktaların Avrasya sabit yaklaşık 20-25 mm/yıl hızlarla batı ve güney-batı yönlerine doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir.

Güvenaltın (2021) çalışmasında Doğu Marmara (İzmit) Körfezi ve çevresinde jeolojik, antropolojik, topografik ya da sismik sebeplerden oluşan yatay ve düşey yöndeki kabuk deformasyonlarını farklı GNSS tekniklerini kullanarak gözlemlemiştir. Çalışmasında farklı yöntemlerin ihtiyaca göre değerlendirildiğinde birbirinden farklı avantaj sağlayabileceklerini ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan 4 farklı tekniğin bu durumu kanıtladığı gözlemlenmektedir. Deformasyon izlenmesine karar verilmeden önceki aşamalarda hangi hareketlerin önemsendiğine karar verilmesi ölçme ve analiz stratejisinin de tespiti göre oluşturulması gerektiğini ifade etmektedir.

Türk (2024) Çivril Graben sistemi üzerinde yapmış olduğu çalışmada 33 noktalı bir GNSS ağı tasarlamıştır. Türk 2022 ve 2023 yıllarında 3 kampanya ölçüsü çalışma bölgesinde gerçekleştirmiştir. Avrasya plakası sabit güncel hız alanı 18- 27 mm/yıl arasında sonuçlar elde etmiştir. Bölgedeki hız incelendiğinde BGB yönlü bir hareket meydana geldiğini gözlemlemiştir. Genel olarak, hız standart sapmalarının 0.4-5 mm/yıl arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

Civcık (2024) yaptığı çalışmada Konya şehir merkezindeki düşey yönlü oluşan deformasyonları incelemiştir. Çalışmada 1973, 2004, 2015 yıllarındaki yapılmış olan geometrik nivelman ölçülerinin analizlerini gerçekleştirmiştir. Civcık incelediği noktalar için ölçü farklarından (dh) anlaşılabileceği üzere noktalar arasındaki ölçülerde tecviz sınırlarını aşan miktarlarda değişiklik olduğunu ifade etmektedir. Deformasyon analiz sonuçlarına göre ağda deformasyon olduğunu gözlemlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda noktalarda aynı oranda olmamak üzere genelde 50 cm. ye varan ölçülerde farklılık olduğunu tespit etmiştir.

Taş ve Coruk (2024) yılında Yalova ili Çınarcık ilçesinde meydana gelen 20 adet heyelanın incelendiği bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bölgede jeoloji, yağış, eğim,

arazi kullanımı, yükseklik, bakı, yollardan uzaklık ve faydan uzaklık olmak üzere 8 farklı parametreden oluşan katman haritaları ve heyelan envanteri incelenerek analizler yapılmıştır. Analiz ve değerlendirmeler sonucunda Yalova / Çınarçık bölgesi yüksek veya çok yüksek riskli heyelan duyarlılık sınıfında yer aldığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda bölgenin heyelan bakımından duyarlılık analizi elde edilmiştir. Elde edilen duyarlılık analizi verileri ile yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındaki bölgeler için gerekli önlemlerin mutlaka alınması gerektiğini belirtmişlerdir.



3. KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ (GNSS UYDU SİSTEMLERİ)

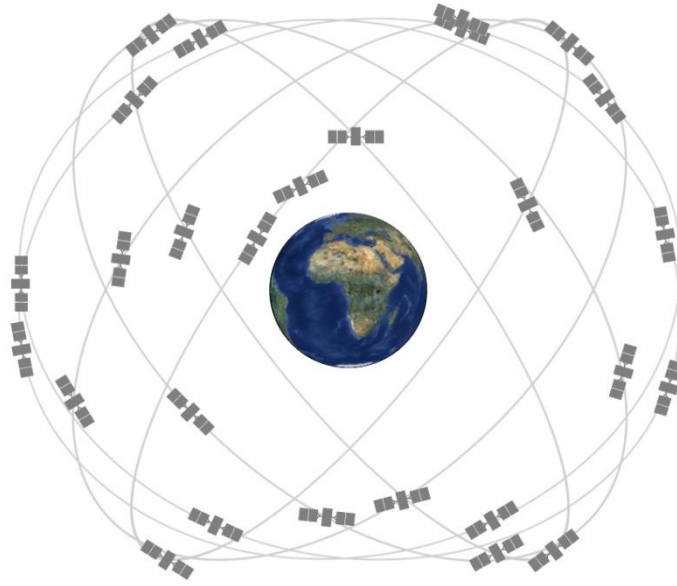
Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) farklı ülkelere ait olan uydu sistemlerinden konum ve zaman verileri elde etmemizi sağlayan sistemlerin ortak adıdır. Bu sistemdeki GNSS alıcıları ile küresel ve bölgesel bazda konum belirlenmektedir. GPS, Amerika Birleşik Devletleri tarafından üretilmiş olan en yaygın kullanılan GNSS sistemidir daha sonraki süreçlerde diğer ülkelerin geliştirmiş oldukları uydu sistemleri aşağıda verilmiştir.

- GPS (Global Positioning System-ABD)
- GLONASS (Global Navigation Satellite System- RUSYA)
- Galileo (Avrupa Birliği)
- BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System- ÇİN)
- IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System- HİNDİSTAN)
- QZSS (Quasi; Zenith Satellite System-JAPONYA)

GNSS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılan bu sistem sivil ve askeri birçok alanda kullanılan Küresel Uydu Konum Belirleme sistemidir. Bu sistem çeşitli ülkeler tarafından gün geçtikçe geliştirilmekte ve her geçen gün daha fazla kullanıcıya hizmet vermektedir (URL-1).

3.1 Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)

İnsanoğlunun yaşamı boyunca merak ettiği en önemli olgulardan bir tanesi de bulunduğu yerin konumunu belirlemek olmuştur. Bu konu üzerinde yapılan araştırmalardan yola çıkacak olursak ilk insanlar avlanmaya gittikleri zaman tekrar yaşadıkları yere geri dönmek için geçtikleri yerlere birtakım işaretler koyarak yaşadıkları yerlere geri dönebildikleri bilgileri edinilmiştir. Sonraki süreçlerde konumlarını bulmak için yıldızları ve güneşi baz aldıkları bilgileri edinilmiştir. Geline son noktada ise konum ve zaman belirlemesine yönelik çalışmalar; haberleşme, meteoroloji, askeri ve sivil amaçlı çalışmalar olmak üzere GPS teknolojisi ile gelişmelerini son hız sürdürmüştür (Akçın, 1998). GPS uyduları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. GPS uyduları (URL-8).

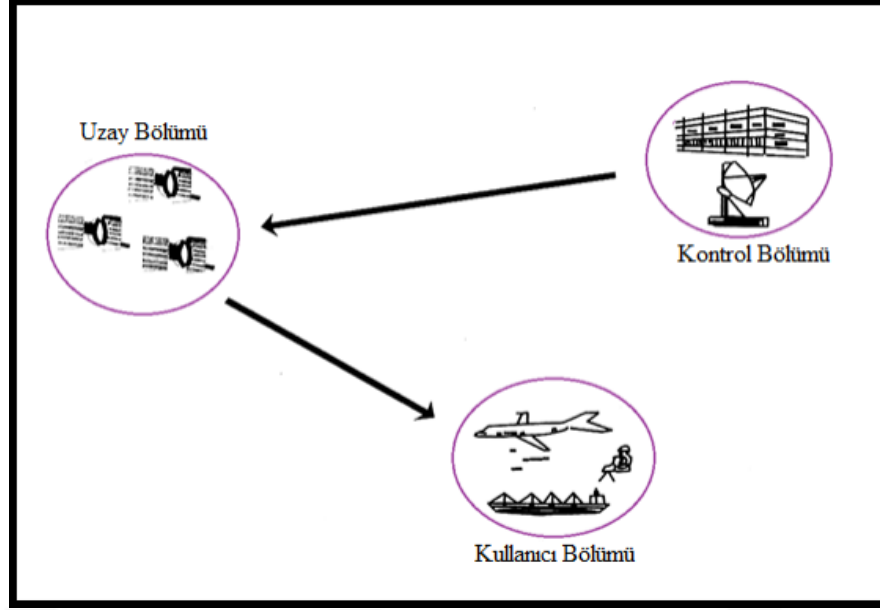
1973 yılında Amerika Birleşik Devletleri Savuma Bakanlığı tarafından askeri amaçlarla kullanılmak üzere çalışmalarına başlanan NAVSTAR (Navigation System Using Time And Ranging) GPS uydularından yararlanarak konum belirleme fırsatı sunan bir sistemdir. Bu sistem GPS uydularından yayınlanan radyo sinyalleri ile 7 gün 24 saat her türlü hava koşullarında, noktalar arası görüş mesafesi aranmaksızın, doğru ve ekonomik olarak veri elde etmemizi sağlayan üç boyutta konum belirleme sistemidir. Sistem konumlanmanın yanı sıra bizlere zaman ve hız belirleme olanakları da sunmaktadır (Wells vd., 1987).

3.1.1 GPS'in bölümleri

GPS sistemi 3 ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.2).

Bunlar;

- Uzay Bölümü (uydular)
- Kontrol Bölümü (yer istasyonları)
- Kullanıcı Bölümü (GPS alıcısı)'dür (Kahveci ve Yıldız, 2022).



Şekil 3.2. GPS'in bölümleri (Kahveci ve Yıldız, 2022).

3.1.1.1 Uzay bölümü

Amerika Birleşik Devletleri'ne ait 31 adet GPS uyduları 20.200 km (12.550 mil) yükseklikte Dünya yörüngesinde dolaşmaktadır ve 7 gün 24 saat yeryüzündeki koordinat ve zaman bilgilerini kesintisiz olarak kullanıcılara sunmaktadır. Uyduların dünya etrafındaki bir tam turları 11 saat 58 dakikayı bulmaktadır. GPS uyduları Dünya üzerinde 55° yörüngesel açıya sahip olacak şekilde 6 farklı yörüngeye konumlandırılmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

Uzay bölümü L1 ve L2 frekansı yardımıyla faz, kod ölçülerini yayınlayan ve kendine ait yörünge bilgilerini ulaştıran uydulardan meydana gelmektedir. Sonraki süreçlerde GPS'e L2C, L5 ve L1C frekans bantları eklenerek sinyaller daha güçlü hale getirilmiştir. Bütün uydular frekanslar üzerinden; eşzamanlı sinyalleri aynı zamanda navigasyon bilgilerini kullanıcılara iletirler (Deveci, 2006).

GPS uydularının Dünya yörüngesine ilk yerleştirilmesinde en az 4 uydu izlenebilecek şekilde veriler elde edilmekteydi ancak günümüzde kullanıcılar yeterli sayıda uydudan faydalanabilecek duruma gelmiştir (Şekil 3.3). Bu sayede daha fazla uydu ile daha hassas konum bilgisine sahip olmak mümkün olmuştur (Deveci, 2006).



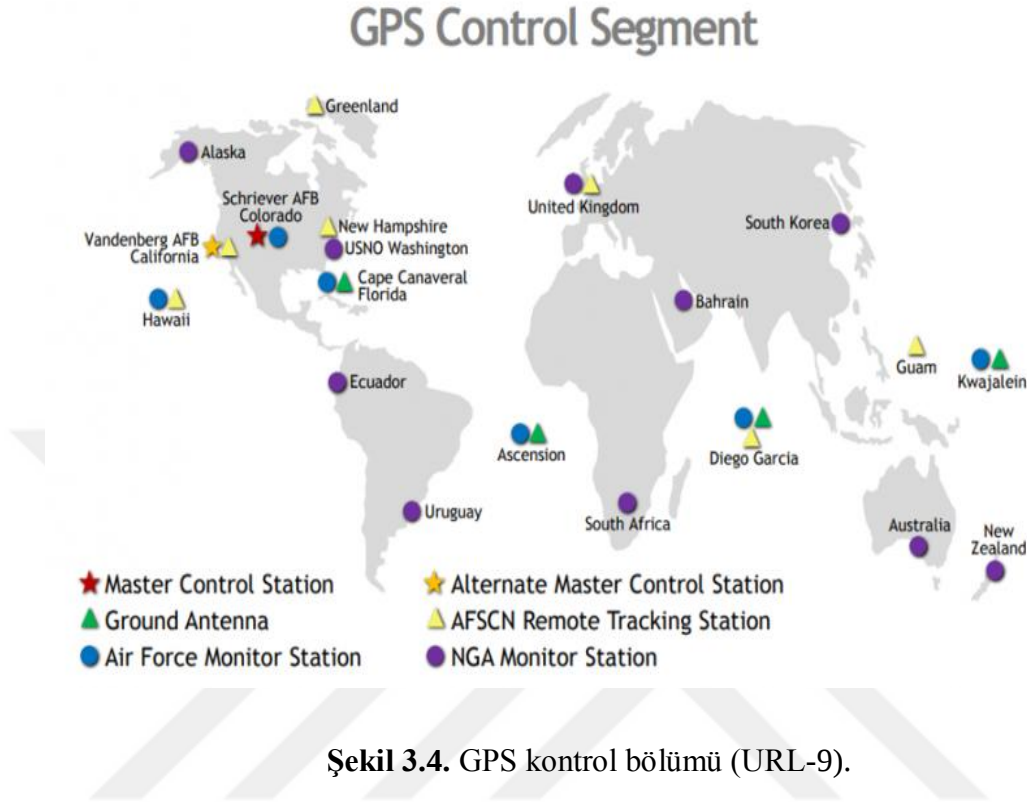
Şekil 3.3. Uzay bölümü (URL-10).

1978 ile 1985 yılları arasında dünya üzerindeki yörüngelerine yerleştirilmiş olan ilk grup uydulara Block I, sonradan fırlatılan uydulara sırasıyla Block II, Block IIA ve Block IIR isimleri verilmiştir. Fırlatılan bütün uydular bir öncekine göre daha ileri teknoloji ile donatılmıştır ve daha uzun ömre sahip olacak şekilde geliştirilmiştir. Modernizasyon çalışmaları günümüzde sürmekte olup 12 adet Block IIR uydusunun güncellenmesi ile bu çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu uydularda L1 ve L2 üzerine askeri M kodu yerleştirilecek ve bu uydular Block IIR-M ismini alacaklardır. Block IIF uydularına yeni L5 sinyali eklenecek ve bu uydular genellikle can güvenliği hizmetlerinde kullanılması hedeflenmektedir (Deveci, 2006).

3.1.1.2 Kontrol bölümü

Dünyanın farklı yerlerinde GPS uydularını sürekli izleyerek doğru çalışıp çalışmadığı ile ilgili bilgiler edinilen yer istasyonlarından oluşmaktadır. Dünyanın farklı yerlerinde bulunmak üzere 5 adet takip istasyonu (Ascencion, Hawaii, Colorado Springs, Kwajalein, Diego Garcia), 1 adet ana kumanda istasyonu, 3 adet uydulara veri transmisyonu bilgilerini ulaştıran istasyon bulunmaktadır (Şekil 3.4). Takip istasyonundan elde edilen veriler ana kumanda merkezine bildirilir gönderilen

bilgiler sonucunda uyduların yörüngeleri ve saat düzeltme bilgileri elde edilir son olarak ilgili uydulara mesaj olarak iletilir (Kahveci ve Yıldız, 2022).



Şekil 3.4. GPS kontrol bölümü (URL-9).

Kontrol bölümündeki istasyonların asıl görevi 7 gün 24 saat uyduların sağlıklı bir şekilde çalışmalarını sağlamak, uydu saat düzeltmelerini yapmak, elde edilen verilere göre uydu yörüngelerini belirlemek ve SA (Selective Availability) etkilerini belirleyip uydulara yüklemektedir. Ana kumanda istasyonu ise uydu efemeris bilgilerini, saat düzeltme hesaplarını uydular için hesaplamaktan sorumludur. Diğer 5 istasyon, gözleme istasyonu olarak görevini sürdürür, uydu efemerislerinin belirlenmesi için gerekli verileri toplarlar (Aydın, 2004).

3.1.1.3 Kullanıcı bölümü

Dünya üzerindeki herhangi bir yerde çeşitli amaçlar için konumunu öğrenmek isteyen herhangi bir kişi GPS'in kullanıcı bölümünü ifade etmektedir. Kullanıcı bölümü uygulamaya ait donanım, hesaplama teknikleri gibi geniş bir aralığı ifade etmektedir. Bu bölüm genel olarak alıcı ve antenden oluşmaktadır. Askeri ve sivil kullanıcılar teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde daha kısa sürede daha doğru veriler elde etme imkanına sahip olmuştur.

Alıcılar aşağıda verilmiş olan kriterlere göre sınıflandırılırlar (Aydın, 2004) ;

- Kullanım amacına göre:
 - Bilimsel amaçlı alıcılar
 - Pratik amaçlı alıcılar
- Kullanım alanlarına göre:
 - Askeri amaçlı alıcılar
 - Sivil tip alıcılar
- Yapılarına göre:
 - Kanal sayısına göre.
 - Frekanslarına göre

3.2 GLONASS

GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi Rusya tarafından geliştirilip kullanıma sunulan dünya çapında yüksek doğrulukta konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmeti sunan bir uydu sistemidir. GPS'ten sonra dünyanın en çok kullanmış olduğu uydu sistemidir (Koca, 2019).

1976 yılında Sovyetler Birliğinde yaklaşık 20.000 km uzaklıkta yörüngeye konumlandığı GLONASS'ın test çalışmaları, Kosmos-1413, Kosmos-1414 ve Kosmos-1415 uydularının yörüngelerine tam olarak yerleştirilmesi sonucunda 12 Ekim 1982'de başlamıştır. Ancak sistem tam olarak 1995 yılında 27 uydu ile yeterli düzeyde verim alınarak çalışır hale gelmiştir (Koca, 2019).

1991 yılında SSCB'nin ekonomisinin çökmesi, uzay sanayi harcamalarının azalması nedeniyle sistemde birtakım aksaklıklar yaşanmıştır bu süre içerisinde sistem, hizmetine yalnızca 7 uydu ile devam etmiştir. Sistem 2000'li yılların başında tekrar restore edilip finansman olarak büyük ölçüde desteklenmiştir. Rusya Devleti tarafından 2007 yılında kullanıcılarına ücretsiz olarak sunulmuştur. GLONASS uydu navigasyon sisteminin sivil navigasyon sinyallerine erişim yetkisi Rusya ve yabancı tüketicilere ücretsiz ve sınırsız olarak sağlanmaya başlamıştır. GLONASS uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere 3 ana bölümde incelenmektedir (URL-2).

Uzay bölümü; Ekvator ile yaklaşık 64.8°lik açı yapacak şekilde 3 dairesel yörünge düzlemine eşit olarak dağıtılmış bütün yörüngelerde 8 uydusu bulunan toplam 24 uydudan meydana gelmektedir. GLONASS uydularının yörünge yükseklikleri yaklaşık olarak 19100 km' dir. Uyduların yörüngelerinde bir tam tur süreleri 11 saat 15 dakika 44 saniye sürmektedir. Uyduların yörüngelerindeki dönüş hızları yaklaşık 4 km/sn'dir (URL-3).

Kontrol Bölümü; Rusya genelindeki uyduların sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol eder ve efemeris düzeltmeleri ile uyduların saat bilgilerini kontrol eder. Uydular üzerindeki güncellemeleri günde iki defa yapılmaktadır. Rusya sınırlarında 8 adet kontrol istasyonu bulunmaktadır (URL-4).

Kullanıcı Bölümü; 1996 yılında kullanıcılara sunulan sistem şu anda aktif olarak kullanılmaktadır. GPS'te seçimli doğruluk erişimine izin veren bir kısıtlayıcı sistem mevcuttur fakat GLONASS'ta tüm bilgiler açık olarak sunulmaktadır. Kullanıcılar yalnızca C/A kodunu veya her iki frekansta P-kodunu kullanabilir. GLONASS uyduları GPS ile genellikle uyumludur. GLONASS uydularının bilgilerine erişebilmek için yeryüzündeki alıcılardan faydalanması gerekmektedir (Zarraoa vd., 1997).

3.3 GALILEO

GPS ve GLONASS uydu sistemleri dışında sivil ve ticari kullanıma yönelik olarak geliştirilen GALILEO global navigasyon uydu sistemi olarak üçüncü sırada dünya üzerindeki kullanıcılara hızlı ve güvenilir hizmet sunma yolunda hızla ilerlemektedir. Uydu navigasyon alıcılarının üretim maliyetinin azalması, boyutlarının küçültülmesi ile birlikte iletişim ağlarının ve coğrafi bilgi sistemlerinin hızla artması, müşteri yoğunluğunun yüksek olduğu bir pazar içerisine girilmiştir. GALILEO global konum belirleme hizmeti yüksek doğruluk sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Avrupa'nın global navigasyon uydu sistemidir. Sistem, GPS ve GLONASS uydu navigasyon sistemleri ile birlikte kullanılabilir. Galileo, standart olarak çift frekans sunarak metre aralığına kadar gerçek zamanlı konumlandırma doğruluğu sağlayabilir (Gökalp ve Boz, 2006).

2005 ve 2008 yıllarında GIOVE-A ve GIOVE-B uyduları ilk olarak fırlatılmıştır. Bu uydular Galileo teknolojilerinin test edilmesi ve frekanslarının güvence altına alınması için kullanılmıştır. Mevcut Galileo uydu sistemi toplam 28 uydudan meydana gelmektedir ve bu uydulardan iki tanesi hariç olmak üzere hepsi Dünya'nın 23.222 km uzağındaki üç dairesel Orta Dünya Yörüngesi (MEO) üzerine yerleştirilmiştir. Uydular ekvator ile 56° bir açı oluşturacak şekilde yörüngeye yerleştirilmiştir. Diğer 2 uydu ise uyduların hatalı fırlatılması nedeniyle yanlış yörüngelere yerleştirilmiştir şu anda arama kurtarma için kullanılmaktadır (URL-5).

3.4 Diğer Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri

IRNSS Uydu Sistemini, Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO) geliştirmiştir. Hindistan ülkesinin geliştirmiş olduğu bu bölgesel navigasyon sistemi ikisi yedek olmak üzere dokuz uydudan meydana gelmektedir. Nisan 2016'da, uydu sisteminin son uydusunun fırlatılmasıyla birlikte, IRNSS, Hindistan Başbakanı Narendra Modi tarafından Navigation Indian Constellation (NAVIC) olarak yeniden adlandırılmıştır (Koca ve Ceylan, 2018).

IRNSS, Hindistan çevresindeki 1500 kilometrelik bir alanda çalışan uydu tabanlı navigasyon sistemidir. Kişisel navigasyon olmak üzere çeşitli uygulamalara sahip bir sistemdir. NAVIC sistemi tam olarak hizmete sokulduğunda GEO yörüngede 3 uydu ve GSO yörüngede 4 uydu olmak üzere toplam 7 uydu ile yeryüzü üzerinden yaklaşık 36.000 km uzakta hizmet vermesi düşünülmektedir (URL-6).

QZSS Sistemi: Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), Japonya'yı kapsayacak şekilde Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından tasarlanmıştır ve uydu tabanlı navigasyon sistemi olarak kullanılmaktadır. 2010 yılında İlk uydusu uzaya fırlatılmıştır. QZSS sistemi, 32000-40000 km yükseklikteki 4 uydudan meydana gelmektedir (Koca ve Ceylan, 2018).

QZSS hizmet bölgesi Doğu Asya ve Okyanusya bölgesini kapsar QZSS sistemi GNSS sistemine entegre olan uydulardan gelen veriler ile birlikte çalışabilmektedir. QZSS sistemi uzay bölümü, Highly Elliptical yörüngede (HEO) üç uydu ile ek olarak geo-stationary yörüngesinde bir uydu da dahil olarak toplamda dört uydudan meydana gelmektedir. HEO'daki uyduların yaklaşık yeryüzüne olan mesafeleri

32.000 km ile tepe noktası yüksekliği ortalama 40.000 km'dir. Bütün uyduların yeryüzü rotası aynıdır. QZSS sistemi, üç uydusundan en az bir tanesi Japonya üzerindedir. Bu sistemdeki uyduların tasarım ömürleri 10 yıldır (URL-7).

BeiDou 1983 yılında Çin Uzay Teknolojisi Akademisi (CAST: China Academy of Space Technology) tarafından Çin'deki deniz araçlarının navigasyonunu takip etmek için geliştirilen, Çin'in ilk navigasyon ağıdır. 2007 yılında BeiDou'nun uydu sistemlerine entegre olması için ismi değiştirilerek COMPASS adı verilmiştir ve daha sonraki yıllarda 35 uydu ile sisteme hizmet vermesi planlanmıştır. Uyduların yaklaşık yörünge yükseklikleri 21500 km, uyduların yörünge düzlemindeki bir periyot dolanımları yaklaşık 12 saat 35 dakika olarak kaydedilmiştir. Yörüngelerin ekvatorla yaptıkları açı 55° olacak şekilde planlanmıştır. Uyduların sinyalleri 4 frekans bandında, B1, B1-2, B2 ve B3 sinyalleri şeklinde üretilmiştir. COMPASS kullanıcılarına 10 servis sunmaktadır, servislerin beş tanesi açık servisler geri kalan beş servis ise kısıtlı yetkili servisleri olarak planlanmıştır. GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS/Navic uydu sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.1'de verilmiştir (Aladoğan, 2017).

Çizelge 3.1. Uydu sistemlerinin karşılaştırılması (Pırtı vd., 2022).

	Kurucu	Kapsam	Rakım (m)	Uydu Sayısı
GPS	ABD Uzay Kuvvetleri	Küresel	20.180	32
GLONASS	Roskosmos	Küresel	19.130	24
Galileo	GSA ve ESA	Küresel	23.222	30
BeiDou	CNSA	Küresel	21.528 35.786	35
QZSS	JAXA	Bölgesel	32.000 40.000	4
IRNSS/Navic	ISRO	Bölgesel	36.000	8 (7 tanesi yörüngede)

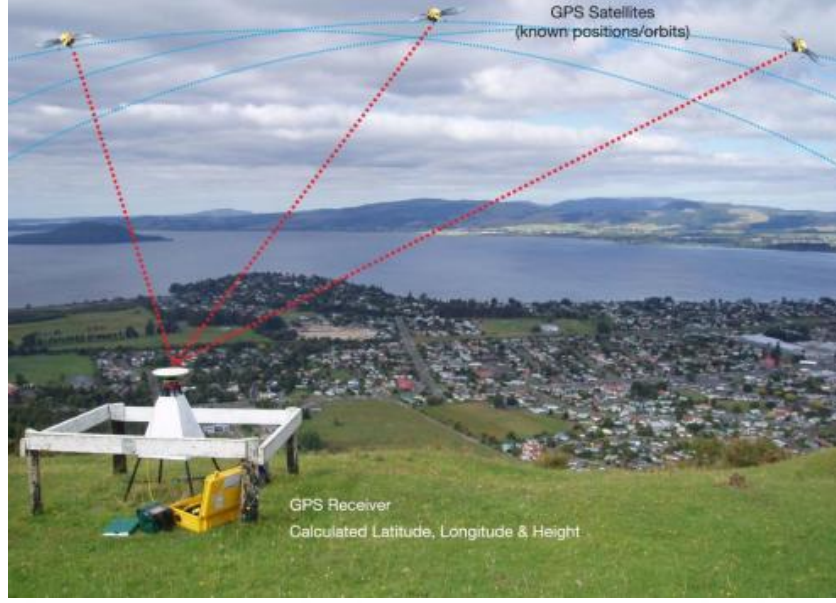
4. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

GNSS ile konum belirleme bir geriden kestirme probleminin çözümüdür konum belirleme işlemi esnasında uydu-alıcı mesafelerinin hesaplamalarından yararlanılır. Yani GPS sinyali içerisinde azimut ve yükseklik bilgileri bulunmaktadır. Konum belirlemedeki temel prensip tüm yönlerden gelen sinyalleri kaydedip daha sonra bunlardan faydalanılarak uydu ve alıcı arasındaki mesafenin hesaplanmasıdır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

GNSS ile konum belirlemede geometrik olarak şu şekilde ifade edilebilir. Uydu - alıcı arasındaki mesafe 20.000 km olarak kabul edilirse, uydudan 20.000 km mesafedeki nokta ile merkezi uydu arasında hayali bir küre oluşturulmuştur. Fakat başlangıçta bu kürenin neresinde olduğumuz bilinmemektedir. Elimizdeki veri sadece uyduya 20.000 km'den daha yakın veya uzak olmadığımızdır. Uydulardan elde edilen bilgiler içerisinde doğrultumuza ait herhangi bir bilgi bulunmamaktadır bu yüzden yönümüz de belli değildir. Bu belirsizlik ikinci uyduya olan mesafe ölçüsü ile biraz daha daraltılabilir. İkinci uydudan mesafemiz 22.000 km olduğu varsayılırsa birinci uydudan 20.000 km ve ikinci uydudan 22.000 km mesafede oluşan bir alanda iki noktanın arakesitinde oluşan daire üzerinde noktamız bulunacaktır. Ancak hala bu oluşan arakesitin neresinde olduğumuz belirsizdir. Bundan dolayı uzaklığı 21.000 km olan üçüncü bir uydunun hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Bu üç uyduya ait kürelerin kesim noktası uzayda iki nokta tanımlamaktadır. Bulunulan nokta bu iki noktadan birisidir hangi nokta olduğunu belirlemek için birçok varsayım yapılabilmektedir ancak en uygun ve kesin olan çözüm yöntemi ise dördüncü bir uydudan daha faydalanılarak noktaya gözlem yapmaktır. GNSS ölçülerinde temel olarak zaman ölçüldüğü için dördüncü uydu alıcı saati hatasının giderilmesi için kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.1 Mutlak Konum Belirleme

Dünya üzerinde herhangi bir yerde nokta üzerine kurulmuş olan tek bir GNSS alıcısı ile en az dört veya daha fazla uydu alıcısı ile bağlantı kurarak kod gözlemleri yaparak üzerinde alıcı kurulan noktanın koordinatlarının belirlenmesi yöntemidir (Şekil 4.1).



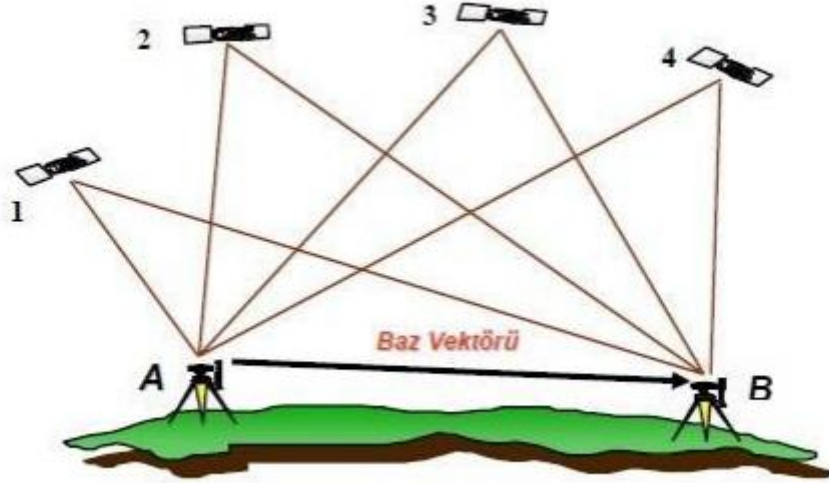
Şekil 4.1. Mutlak konum belirleme yöntemi (Yozgatlı, 2016).

Mutlak konum belirleme yönteminde sinyalin uydudan çıkıp alıcıya ulaşana kadar geçmiş olan süre ile ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu ve alıcı uzaklıkları ile uyduların bilinen koordinatları geriden kestirme hesabı ile elde edilmektedir. Uydu alıcısı koordinatları, kullanılan kod bilgisi ile uydu geometrisine bağlı olarak anında belirlenebilmektedir. Mutlak konum belirleme yönteminde alıcı sabit ise statik konum belirleme, alıcı hareketli ise kinematik konum belirleme olarak ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2 Bağlı Konum Belirleme

Bağlı konum belirleme ise koordinatları belirli olan bir noktaya göre diğer noktanın koordinatının belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bağlı konum belirlemede her iki alıcı arasındaki baz vektörü bilinmektedir (Yıldırım, 2007).

Dünya üzerindeki farklı iki noktaya kurulmuş olan alıcılar ile aynı uydulara aynı zamanda faz ya da kod gözlemleri yapılmaktadır. Mutlak konum belirleme yöntemine göre bağlı konum belirleme yöntemi daha hassas bir yöntemdir (Şekil 4.2). Alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi gözlenen uydu sayısı, uydu geometrisi ve kullanılan efemeris bilgisine bağlı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir (Yıldırım, 2007).



Şekil 4.2. Bağıl konum belirleme yöntemi (Yozgatlı, 2016).

Kod gözlemleri için anlık konum bilgisine ulaşmak için yeteri kadar doğru bilgi elde edilmektedir ve bilgilere ulaşmak çok pratik olması açısından büyük önem ifade etmektedir. Fakat mühendislik çalışmalarında daha fazla duyarlılık gerektiren yöntemlere ihtiyaç vardır. Bunun için faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılan yöntemde ise beş farklı yöntem mevcuttur (Yıldırım, 2007).

Bunlar;

- Statik Ölçü yöntemi
- Hızlı Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı Ölçü Yöntemi
- Dur- Git Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

Günümüzde ise yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda (jeodezik, jeofizik) statik ölçme yöntemi kullanılmaktadır. Diğer yöntemler (kinematik ölçü yöntemi hariç) çok özel çalışmalar dışındaki çalışmalarda genelde tercih edilmemektedir. Kullanılmayan bu yöntemlerin yerini günümüzde gerçek zamanlı sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonları (CORS) ağı ölçüleri almıştır. Türkiye’de bu amaçla kurulmuş ağın adı TUSAGA-Aktif olup, gerçek zamanlı üç boyutlu koordinat elde edebilmemiz için bu ağ üzerinden yapılan ölçüler kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2.1 Statik ölçme yöntemi

Klasik GPS ölçü yöntemi olan statik ölçü yöntemi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda ve uzun nirengi bazlarının ölçümünün yapıldığı durumlarda kullanılır. Statik ölçü yönteminde alıcılar eş zamanlı olarak kurulacak şekilde, 2 alıcı koordinatı bilinen noktalara, 3. alıcı ise koordinatı hesaplanacak noktaya kurulur. Alıcılar en az 1 saat olmak üzere noktalar üzerinde gözlem yapar. Bu yöntemde 3 adet kenar ve 2 adet koordinat yardımı ile 3. noktanın koordinatları hesaplanır (Kahraman, 2015).

Statik ölçü yöntemi,

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde,
- Uzun kenarlar söz konusu olduğunda,
- Mevcut uydu geometrisi diğer ölçü yöntemlerine olanak sağlamadığında,
- Sistemik etkilerin dikkate alınması durumunda kullanılabilen en iyi yöntemlerdendir.

Yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi gibi bilimsel çalışmalarda, plaka hareketlerinin incelenmesinde statik ölçü yöntemi kullanılmaktadır. Statik ölçü yönteminde sahada toplanmış olan ölçüler daha sonrasında uygun GNSS yazılımları (post-process) ile değerlendirilerek nokta konumları elde edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2.2 Hızlı statik ölçme yöntemi

Çok daha kısa süreli yapılan ölçüler ile hassas sonuçların elde edilmesini sağlayan, ekonomik olması nedeniyle önem arz eden bir statik ölçü yöntemidir. Ölçümler esnasında alıcılardan birisi referans noktasında sabit olarak sürekli gözlem yaparken, diğer alıcı ölçümü yapılacak diğer noktalara çok kısa süre için kurulur ve bu noktalar üzerinde eş zamanlı gözlemler yapılır. Ülke nirengi ağlarının sıklaştırılmasında ayrıca dizi nirengi çalışmalarında hedeflenen doğruluğu elde etmemizi sağlayan bir ölçme yöntemidir. Hızlı statik ölçü yönteminde ölçü süreleri noktalar arası mesafeye ve uydu geometrisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ölçüler esnasında uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süreleri de azaltılabilir. Hızlı statik

ölçme yönteminde kısa zamanda birçok noktanın ekonomik ve doğru olarak ölçülmesi söz konusu olduğundan iyi bir ölçme yöntemidir (Aydın, 2004).

4.2.3 Dur-git ölçme yöntemi

Dur-Git ölçme yönteminde bir alıcı ilk olarak koordinatı bilinen bir noktaya kurulur ve burada sabit kalarak sürekli veri toplar. İkinci alıcı önce herhangi bir noktaya kurulur ve kurulduğu birinci noktada aynen hızlı statik yöntem ile ölçüm yapıyormuş gibi birkaç dakikalık ölçüm yapar. Bunun nedeni bu noktadaki faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmesi gerektiğindendir. Burada birkaç dakikalık ölçü ile faz belirsizliğinin çözümü için yeterli miktarda veri toplandıktan sonra diğer noktalarda birkaç epokluk (10-20 saniyelik) ölçülerle gezdirilir. Burada aletin bir noktadan diğerine giderken izlemeyi devam ettirmesinin nedeni ise ilk noktadaki belirsizlik değerlerinin diğer noktalara da aynı şekilde taşınması zorunluluğudur. Bu süreçte uydu sayısı 4'ün altında olursa veya izlemede kesilme olursa bu durumda devamındaki diğer noktalarda birkaç epokluk ölçü yapılması yeterli gelmeyecektir. Böyle bir durum oluştuğunda ya geriye dönülüp aynı işlemlerin tekrar edilmesi gerekmektedir ya da bir sonraki noktada kalış süresi uzun tutulmalıdır. Dur- Git ölçü yöntemi ölçü noktaları birbirine çok yakın olduğu durumlarda kullanılması avantaj sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2.4 Tekrarlı ölçme yöntemi

Tekrarlı Ölçme Yönteminde bir veya iki saatlik bir ölçü süresinin başlangıç ve sonunda, değişen uydu geometrisinden faydalanmak için, bir noktanın birkaç dakika süre ile iki kez ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde noktalar arasında geçiş yaparken alıcıların uydu izlemeye devam etmesi zorunlu değildir. Ölçü zamanı olarak Position Dilution of Precision (PDOP) değerinin en küçük (uyduların en iyi geometrik dağılımda) olduğu periyotlar seçilmelidir. Bu yöntemdeki en iyi sonuçlar kısa baz uzunluklarında (10 km'ye kadar) elde edilmektedir. Tekrarlı ölçme yönteminde bütün noktalar en az 10 dakikalık süre ile iki kez ölçülmeli ve iki ölçü arasında en az 1 saat fark olmalıdır. Bu iki ölçü en fazla 4 saat içerisinde tekrar edilmelidir. Ölçülerin değerlendirme aşamasında bu iki bağımsız ölçü kümesi sanki her noktada tek bir gözlem yapılmış gibi ele alınmakta ve her iki ölçüde mevcut tüm uydulardan faydalanılmaktadır. Örneğin; her bir ölçü esnasında 4 uydudan veriler

elde edilmişse sonuçta bir veya iki saat içerisinde bu noktalar için 8 uyduluk bir gözlem verisi elde edilmiş olmaktadır. Tekrarlı ölçü yöntemi özellikle zayıf uydu geometrisi olduğu durumlarda veya tek frekanslı alıcılar varsa uygun bir ölçü tekniği olarak kullanılabilir. Tekrarlı ölçü yönteminin uygulanması değişik şekillerde olabilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2022). Bazıları aşağıda verilmiştir;

- Merkezsel Baz Yöntemi
- Travers Yöntemi

4.2.4.1 Merkezsel baz

Merkezsel baz ölçü yönteminde alıcılardan biri başlangıç noktasında iken diğer alıcı herhangi bir noktadan başlamak üzere diğer noktalar üzerinde ölçüme devam eder. Ölçüm sonundan bir ucu referans noktasında olmak üzere diğer ucu ölçüm yapılan diğer noktalar olacak şekilde bazlar elde edilmiş olur. Burada birden fazla sayıda alıcı ve referans noktası kullanılabilir. Bütün noktalar üzerindeki ölçüm süresi yaklaşık 10 dakikadır. Gezici konumunda olan alıcı aynı noktaya 1 ile 4 saat içerisinde tekrar uğramalıdır. İkinci ölçüde izlenecek yol birincisinin aynısıdır. Gezici alıcının noktalardaki ölçü süreleri dışında açık olması gerekmez (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2.4.2 Travers ölçme yöntemi

Travers ölçme yönteminde sabit alıcı yoktur her iki alıcı da hareketli haldedir. Alıcılar arasında atlamalı ölçü yapılmakta olup, her defasında bir alıcı dururken diğeri hareketli olacak şekildedir. Bazlar 10’ar dakikalık sürelerle iki kez ölçülmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2022).

4.2.5 Kinematik ölçme yöntemi

Kinematik ölçü yönteminde alıcılardan bir tanesi referans alıcı olarak kullanılır ve koordinatı bilinen noktaya yerleştirilir. Diğer alıcı ise gezici alıcı olarak kullanılır ve detay noktalarının alımları bu alıcı ile gerçekleştirilir. Ölçme işlemi başladıktan sonra belirsizlik parametresinin alıcılar tarafından hesaplanması gerekmektedir. Belirsizlik parametresinin hesaplanması için iki alıcı tarafından gözlenebilen 5 adet uyduya ihtiyaç duyulmaktadır (Üstün, 2023). Kurulan ikinci alıcı belirsizlik parametresinin

özümü için 3-5 dakika sabit duracak şekilde yerinde bekletilir. Belirsizlik parametresi belirlendiği zaman 4 uydudan gelen veriler kaydedilmeden hızlı bir şekilde ölçülecek noktalara hareket ettirilerek ölçüm yapılacak bu noktalarda 5-10 saniye bekleyerek bu noktaların konumları belirlenir. Sinyal 4 uydudan az olacak şekilde uydu sayısı düştüğu zaman başlangıçtaki şekilde belirsizlik parametresinin tekrar çözümlenmesi gerekmektedir bu işlem tekrar yapılmadığı zaman ölçüm sonuçları etkilenebilir. Bu yöntemde koordinatı bilinen noktadan diğer ölçü noktalarına hareket ederken en fazla 5 km'ye kadar uzaklaşabileceğimiz sınırlaması bulunmaktadır. Ölçme sonuçları doğrudan kullanılamadığı için alıcılardaki bilgilerin uygun bir programla koordinat hesabı için değerlendirilmesi gerekmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2022). Toplanan verilerin arşivlenmesi ile zaman içerisinde bu verilerden yararlanılarak konum doğruluğunu artırmaya yönelik matematiksel modeller üretilebilmesi mümkün olmaktadır. Günümüzde pek çok alanda sıklıkla kullanılan Klasik RTK ve Ağ-RTK yöntemleri bu grubun içerisinde yer almaktadır (Üstün, 2023).

5. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ VE ANALİZİ

5.1 Deformasyon

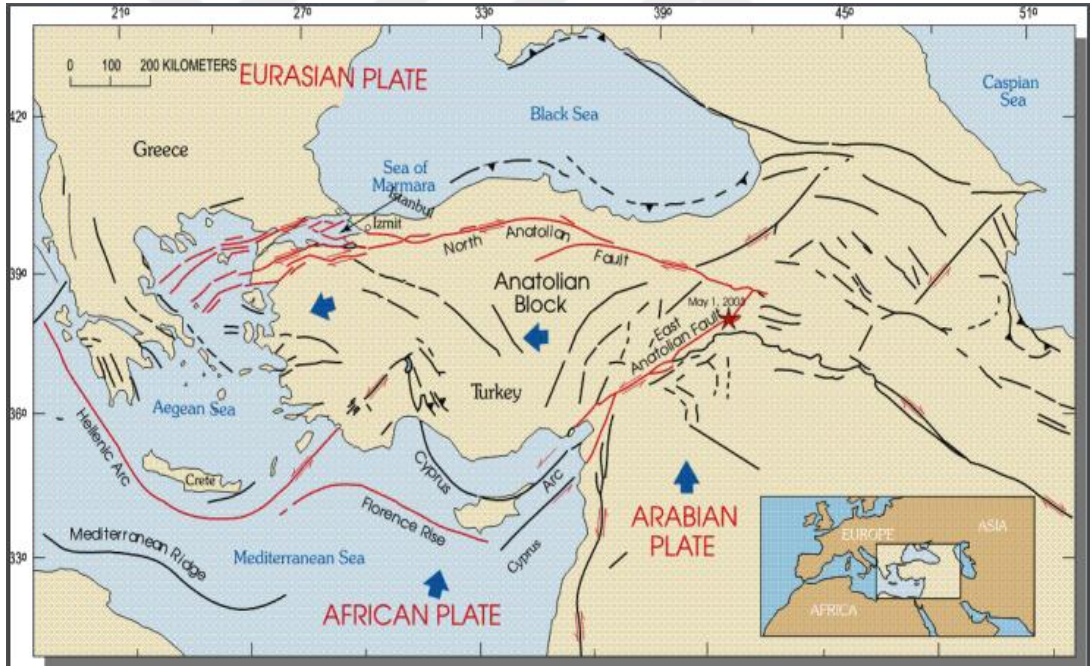
Yerkabuğunda, tünel, köprü, baraj gibi mühendislik yapılarında ve makine tesislerinde bulundukları koşullara göre zamanla meydana gelen kalıcı veya geçici şekil değişikliklerine “deformasyon” denir. Deformasyonlar çeşitli ölçme teknikleri ve analizler yardımıyla tespit edilebilmektedir. Oluşan veya oluşabilecek deformasyonlar hakkında bilgi edinmek tarih boyunca olası tehlikeler için büyük önem taşımıştır. Gözlemler sonucunda oluşan deformasyonların tespit edilmesi ve gelecekte oluşabilecek tehlikeler için önlemler alınması insanoğlu için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Herhangi bir anlamlı hareket insanlar için kötü sonuç doğurmadan tespit edilip önlemler alınması veya oluşan deformasyonların tespit edilerek gerekli çalışmaların yapılması ve tehlikenin minimum seviyeye ulaşması durumunda deformasyon ölçmeleri amacına ulaşmış olacaktır (Civcık, 2024).

Deformasyonların oluşması için yapılarda, yerkabuğunda veya çeşitli makine tesislerinde bazı anlamlı hareketlerin oluşması gerekmektedir. Oluşan deformasyonların tespiti için yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri denilmektedir. Belirlenen deformasyonların değerlendirilme ve yorumlaması kısımlarına ise deformasyon analizi denilmektedir. Deformasyon analizi için bazı modeller oluşturulmuştur. Bunlar statik, kinematik, dinamik ve uyum model olmak üzere dört farklı model olarak değerlendirilmektedir (Civcık, 2024).

Yeryüzünde oluşan deformasyonların tespiti için jeodezik kontrol ağları kurulmakta ve bu ağlar üzerinde değişik zaman aralıklarında ve belirli periyotlarda gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirilmesi ve bu değerlendirilme sonucunda deformasyon analizi gerçekleştirilmektedir. Deformasyonlar düşey ve yatay olmak üzere 2 şekilde meydana gelmektedir. Düşey konumdaki deformasyonlar hassas nivelman, deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi, duyarlıklı gravite ölçüleri, trigonometrik yükseklik belirlenmesi yardımı ile saptanmaktadır. Jeodezik kontrol ağlarında deformasyon tespit edilmesi çalışmalarında yatay ve düşey doğrultu için genellikle GNSS kullanılmaktadır. Yalnızca düşey doğrultu için ise genellikle hassas nivelman yöntemi kullanılmaktadır. Harita Genel Müdürlüğü tarafından kıyılardaki deniz seviyesi değişimleri uzun dönemlerde mareograf istasyonları yardımı ile

izlenir. Yapılan ölçümler düşey datum belirleme çalışmalarında ve düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi farklı alanlarda kullanılır. Doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için mareograf istasyonunun herhangi bir yer kabuğu hareketinden etkilenmemesi oldukça önemlidir (Civcık, 2024).

Yeryuvarı, her zaman hareketli dinamik bir yapıya sahiptir. Yerkabuğundaki deformasyonlar, yeryuvarında geometrik olarak şekil değişikliklerini sebep vermesinden dolayı takip edilmeli ve analizleri yapılmalıdır. Yerkabuğu içindeki kırılmalardan dolayı ani olarak meydana gelen titreşimlerin dalgalar halinde ilerleyerek geçtiği ortamları ve yeryüzünü sarsması sonucunda meydana gelen doğal afete “deprem” denilmektedir. Türkiye jeodinamik yapı olarak yerkabuğu hareketlerinin çok fazla olduğu bir deprem ülkesidir. Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi, Türkiye bulunduğu yer itibariyle tektonik plakalar açısından kritik bir bölgededir (Tekdal, 2007).



Şekil 5.1. Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Çelik vd., 2005).

Türkiye zaman içerisinde olumsuz sonuçlar meydana getiren çok fazla depremle karşı karşıya kalmıştır. Depremlerin olumsuz sonuçlarının etkenlerinden biri zemin yapısından kaynaklanmaktadır. Deprem riski taşıyan alanlarda önceden yapılacak deformasyon ölçü ve analizleri olası afetlerdeki zeminden kaynaklı oluşabilecek

riskleri en aza indirmek ve inşa edilecek yapılar açısından da gerekli tedbirlerin alınması için büyük önem taşımaktadır.

Yapılar üzerinde ve yerkabuğu üzerinde zamanla oluşan eğilme, burkulma, yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmeler genellikle deformasyon ölçmelerinin sıklıkla yapıldığı ve üzerinde durulan konulardandır. Yerkabuğu hareketlerinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması özellikle jeodezi bilim dalının öncelikli araştırma konularında bir tanesidir.

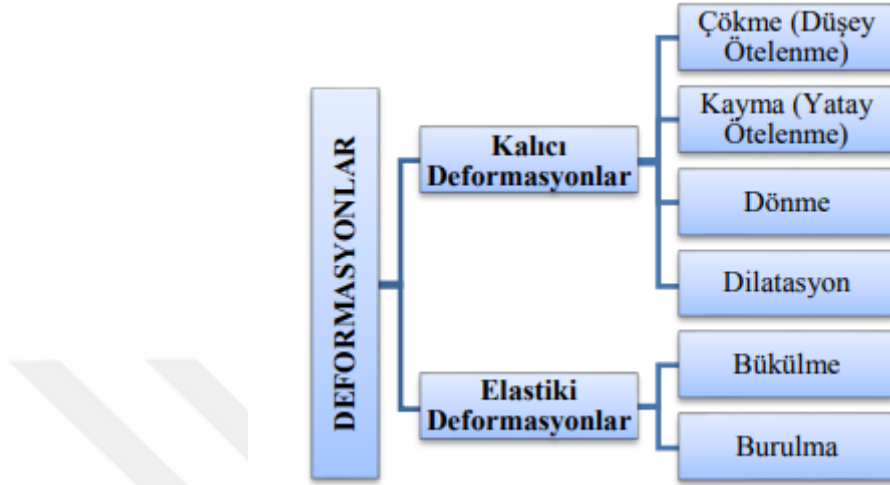
Ülkemiz zemin yapısı olarak çeşitli toprak türlerine sahip olduğundan üzerine yapılacak mühendislik yapılarında her zaman zemin ve yapı özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Mühendislik yapıları inşa edilmeden önce veya inşasından sonra çeşitli ölçme yöntemleri ile deformasyon tespit ve analizleri yapılabilmektedir. Bu yüzden köprü, baraj, tünel vb. gibi yapılarda tehlike arz eden bir durum söz konusu olduğunda olası tehlikeleri önlemek için deformasyon ölçmeleri yapılmalıdır. Yine ülkemiz yerkabuğu hareketlerinin en çok görüldüğü deprem bölgelerindendir. Bu yüzden ülkemiz üzerinde inşası yapılan binaların zeminden kaynaklı risk durumlarının ayrıntılı olarak incelenmesi deprem risklerini en aza indirmek açısından oldukça önemlidir. Jeodezi bilim dalı bu gün çeşitli deformasyon ölçmeleri ve analizleri ile fay hatları üzerindeki deformasyonları ve zeminden kaynaklı deformasyonları tespit edip önlemler alınması konusunda büyük önem taşımaktadır. Deformasyonların tespit edilip gerekli önlemlerin alınması ile olası can ve mal kayıplarının önüne geçilmiş olması insanlık için büyük önem taşımaktadır.

Deformasyon ölçmelerinin bazı uygulama alanları aşağıda verilmiştir;

- Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri
- Makine ve tesislerinin inşasındaki ölçmeler
- Mühendislik yapılarının inşasındaki ölçmeler
- Deprem Kestirimi Çalışmalarında
- Heyelanlı Alanlardaki Ölçümlerde
- Güncel Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde

5.2 Deformasyonların Sınıflandırılması

Deformasyonlar kalıcı ve elastiki olmak üzere iki şekilde incelenmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Deformasyonların sınıflandırılması (Doğanalp, 2005).

5.2.1 Kalıcı deformasyonlar

Kalıcı deformasyonlarda cisim etkisi altında olduğu kuvvetten etkilendikten sonra eski haline dönmüyorsa buna kalıcı deformasyon denilmektedir. Bunlar cisim üzerinde çökme (düşey ötelenme), kayma (yatay ötelenme), dönme veya dilatasyon gibi şekil değişiklikleri olarak görülmektedir (Bilgen, 2017).

Gevşek yüzeyli olmayan bir yapının doğal zemininin düşey olarak yerçekimi kuvveti yönünde hareket halinde olması durumuna çökme denilmektedir. Yapının zemininin yük veya çeşitli kuvvetlerin etkisi altında aşağı yönde hareket etmesine ise oturma denilmektedir. Bu tür deformasyonlarda yatay doğrultuda çok az miktarda da olsa hareket gözlemlenebilir. Cismin bir kuvvete maruz kaldıktan sonra yatay yönde yer değiştirmesine ise kayma denilmektedir. Burada cisme uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden büyüktür (İnal, 2014).

Bir cismin yatay düzlem üzerinde düşey eksendeki göstermiş olduğu anlamlı harekete yatay dönme, düşey düzlem üzerinde yatay eksendeki göstermiş olduğu anlamlı harekete düşey dönme denilmektedir. Dilatasyon ise betonda büzülmenin

yanı sıra kalıcı yük altında kaldığı sürede zamanla oluşan deformasyona denilmektedir (Yıldırım, 2007).

5.2.2 Elastiki deformasyonlar

Cisim belirli bir kuvvet ile karşı karşıya kaldıktan sonra deformasyona uğraması ve kuvvetin sona ermesi ile cismin eski haline dönmesine elastiki deformasyon denilmektedir. Burada söz konusu kuvvetin sona ermesi ile cisim üzerindeki şekil değişiklikleri sona ermesi durumu mevcuttur yani deformasyon geçici süre ile oluşmuştur. Cismin ana eksenine dik şekil değişiklikleri oluşması bükülme olarak tanımlanmaktadır. Cisimlerin ana eksen boyunca meydana gelen dönme hareketi ise burulma olarak adlandırılmaktadır (Bilgen, 2017).

5.3 Deformasyon Ölçüm Teknikleri

Dünya üzerinde yerkabuğu hareketlerinin, viyadüklerin, yolların, köprü ve barajlar gibi daha birçok objenin üzerinde oluşan deformasyonların izlenmesi oluşan deformasyonların tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması can ve mal güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. İnsanlar için üzerinde yaşadığı yeryüzünün doğal ve yapay objelerinin, çeşitli mühendislik yapısı inşaların güvenilir olması son derece önemlidir. Bundan dolayı insanlar çeşitli deformasyon ölçü yöntemleri ve analiz çalışmaları ile yer kabuğunun, binaların, yolların, köprülerin ve çeşitli mühendislik yapılarının zaman içerisindeki anlamlı hareketlerini tespit edip gerekli önlemlerin alınmasını sağlamak için bu yönde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar planlanırken yapının türü, yapı malzemesi, zemin durumu ve birçok çevresel koşullar dikkate alınmak zorundadır. Deformasyon ölçüm tekniklerine karar verilirken daha bir çok durum ele alınmaktadır bunlar göz önünde bulundurularak incelemeler jeodezik veya jeodezik olamayan ölçüm yöntemleri olarak iki farklı şekilde değerlendirilir. Bu iki yönteme göre kullanılacak malzemeler değişiklik gösterecektir (Bak, 2024).

Deformasyon izleme tekniklerini kullanan meslek gruplarına göre, bu teknikler ve ekipmanlar geleneksel olarak iki ana grupta toplanır. İlk grup, jeodezik araştırmaları içerir ve bu grup içinde geleneksel (hassas tesviye ölçümleri, açı ve mesafe ölçümleri gibi karasal yöntemler), fotogrametrik (yer ve hava fotogrametrisi ile dijital

fotogrametri gibi teknikler), uydu tabanlı (Global Positioning System - GPS, InSAR gibi) ve bazı özel teknikler bulunur. İkinci grup ise geoteknik ve yapısal ölçümleri içerir ve bu grup içinde lazerler, tiltmetreler, gerinim ölçerler, ekstensometreler, derz ölçerler, çekül hatları, mikrometreler gibi özel ekipmanlar kullanılarak deformasyon izlemesi yapılır (Bak, 2024).

5.3.1 Jeodezik yöntemlerle deformasyonların izlenmesi

Jeodezik yöntemlerle deformasyonların izlenmesi yerkabuğu hareketleri, büyük mühendislik yapılarının anlamlı hareketleri, deprem, heyelan, çığ gibi doğal afetlerin gözlemlenmesi gibi birçok alanda ve özellikle yüksek hassasiyet gereken durumlarda kullanılan bir ölçme yöntemidir. Bu yöntemde ölçümler yaparken çalışma yapılacak alanda deformasyon beklenen ve beklenmeyen alanlarda dahil edilerek bir jeodezik ağ tasarlanmaktadır. Bu jeodezik ağda oluşturulan noktalar üzerinde belirli periyotlarda ve kampanyalar şeklinde ölçümler gerçekleştirilerek oluşan deformasyonlar için veriler toplanmaktadır. Toplanan veriler çeşitli analiz programlarında değerlendirilerek sonuçlar elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre oluşan deformasyonlar tespit edilmektedir ve olası risklere karşı önlemler alınması hedeflenmektedir.

Jeodezik yöntemler, klasik ölçme yöntemleri ve modern yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Jeodezik deformasyon izleme teknikleri ve ölçme donanımlarına ait örneklerle aşağıda yer verilmiştir (Kalkan, 2014).

- Aliyman ölçmeleri (Teodolit, laser optik, invar tel vs.)
- Klasik konum ölçmeleri (Total station, teodolit ve uzaklık ölçer.)
- Uydu bazlı konum ölçmeleri (GPS, GLONASS ve GALİLEO alıcıları)
- Trigonometrik nivelman ölçmeleri (Hassas total station, teodolit ve uz. ölç.)
- Geometrik nivelman ölçmeleri (Prezisyonlu nivelman donanımları)
- Laser scanner tekniği (Laser scanner)
- Interferometrik SAR görüntü tekniği(SAR uydu görüntülerinin değ.) (Bak, 2024).

Gelişen teknoloji ile son yıllarda özellikle jeodezik deformasyon ölçüm yöntemlerinde kullanılan modern ölçme yöntemlerinden Küresel Navigasyon Uydu

Sistemleri (GNSS), Lazer Tarama (Lidar), Robotik Total Stationlar, Uydu Tabanlı İnterferometri (InSAR) yapılan çalışmaların ve sonuçlarının daha hassas ve daha ekonomik bir şekilde elde edilmesine olanak sağlamıştır. jeodezik deformasyon ölçüm yöntemlerinde son yıllarda kullanılan bu yöntemler hakkında kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir (Bak, 2024).

GNSS; Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), kolay kullanılır ve ekonomik olması açısından geleneksel yersel yöntemlere göre bir dizi avantaj sağlamaktadır. GNSS kullanıcılarına istasyonlar arasında birbirini görmesi zorunluluğunu ortadan kaldırarak bu konuda esneklik sağlamaktadır ve noktalar üzerinde farklı konumlarda ve farklı zamanlarda ölçüm yapma fırsatı sunmaktadır. GNSS diğer geleneksel yöntemlere göre değişen hava koşullarında ve 7 gün 24 saat veri toplayabilme konusunda büyük ölçüde avantaj sağlamaktadır. Aynı anda farklı noktalarda ölçüm yapma yeteneği sunar ve bu da veri toplama sürecini hızlandırabilir, ekonomik hale getirebilir. Son yıllarda geliştirilen hızlı statik ölçme teknikleri, GNSS gözlemlerinin süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Böylece verilerin daha hızlı ve verimli bir şekilde elde edilmesi sağlanmaktadır (Bak, 2024).

Lazer Tarama; Gelişen teknoloji ile son zamanlarda ölçme yöntemleri arasına yeni katılan Lazer Tarama Teknolojisi ise 3B modelleme konusuna yepyeni bir boyut kazandırmıştır. Yersel olarak ve havadan objelere ait oldukça büyük miktarlarda üç boyut verisi, çok hızlı elde edilmekte ve nesne görüntüleriyle bütünleştirilerek bir gösterim sağlanmaktadır. Lazer Tarama yönteminin bir diğer avantajı ise, mekansal verilerin diğer görüntüleme tekniklerine göre gerçeğe daha yakın bir gösterimin elde edilmesidir. Bundan dolayı lazer, mühendislik çalışmalarında, kültürel miras ve mimari çalışmalarda her geçen gün daha fazla ön plana çıkmaktadır (Gümüş, 2010).

Yer tabanlı lazer tarama, saniyeler içinde milyonlarca noktanın hızlı ve uzaktan ölçümünü mümkün kılarak benzersiz bir miktarda mekansal bilgi sunar. Bu, bir yapının üzerine etki eden kuvvetlerin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine olanak sağlar (Kalkan, 2014).

Robotik total stationlar; Klasik total station cihazları ile robotik teknoloji birleştirilerek zaman içerisinde jeodezik nokta konumlarının otomatik ve hassas ölçümüne olanak sağlayan ölçüm araçlarıdır. Robotik total station'lar yüksek

hassasiyetli teodolitler ve elektronik mesafe ölçüm (EDM) cihazlarıyla donatılmıştır. Kullanıcılarına uzaktan çalıştırılabilme özellikleri ile birçok avantaj sunmaktadır. Sabit tripod veya pilye üzerine kurulabilirler ve genel olarak uzaktan kontrol sağlayan bir robotik tasarım içerirler (Bak, 2024).

InSAR; Yükseklikler, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerinden yararlanarak interferometrik yöntemlerle belirlenebilir. Aynı uydu ve uçak platformuna monte edilmiş, dikey ve yatay yönde yer değiştirmiş iki radar anteninin birlikte kullanılması ile meydana gelir. Antenin bir tanesinde sinyal gönderilirken, her iki anten de sinyal alır bu sayede iki farklı görüntü elde edilecektir. En hassas interferometrik ölçüm şekli, farklı zamanlardaki iki arazi ölçümü arasındaki yükseklik farklarını belirleyen diferansiyel interferometri (InSAR) içerir. Sonuç olarak, iki durum arasındaki radar sinyal fazındaki değişimler hesaplanır görüntülerdeki iki durum arasındaki arazi yüzeyleri analiz edilerek oluşan deformasyon açığa çıkarılır. Bir santimetreye kadar küçük yükseklik farklarını dahi tespit edebildiği öne sürülmektedir. Bu nedenle, deprem, volkanik aktivite, madencilik kaynaklı arazi çökmesi vb. yer hareketlerinin ekonomik, sürekli ve uzaktan izleme potansiyeline sahiptir (Erol vd., 2004).

5.3.2 Jeodezik olmayan yöntemlerle deformasyonların izlenmesi

Jeodezik olmayan yöntemler deformasyon ölçümünün hassasiyet yönünden ihtiyaçları karşılandığı zamanlarda ve bazı durumlarda daha ekonomik olması açısından tercih edilir. Genellikle deformasyonların tespit edilmesinde daha basit teknikler ve uygun maliyet olması açısından kolaylık sağlamaktadır. Jeodezik olmayan yöntemlerle deformasyonların izlenmesi daha az hassas ve daha sınırlı çözünürlüğe sahip olabilirler bu yüzden kullanım alanı olarak daha kısıtlıdır.

Jeodezik olmayan yöntemlerde deformasyonların ölçümünde çeşitli özel ekipmanlar ile deformasyon izleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu ekipman ve donanımlar zeminde veya mühendislik yapılarında oluşan deformasyonları tespit etmek için büyük kolaylıklar sunmaktadır ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeodezik olmayan deformasyon izleme teknikleri ve ölçme donanımlarına ait örneklere aşağıda yer verilmiştir.

- Eğim ölçmeleri (İnklinometreler)

- Deplasman ölçmeleri (Settlement tubes)
- Uzunluk değişim ölçmeleri (Extensometreler)
- Boşluk suyu basıncı ölçmeleri (Piezometreler)
- Düşeyden ayrılma ölçmeleri (Reversed pendulum) (Bak, 2024).

Yaygın olarak kullanılan ölçme cihazları, donanım ve sensörlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

İnklinometre; Şev ve zemin hareketlerinin izlenmesi, heyelan, yer altındaki yatay deformasyonların tespit edilmesi, barajlar, setler, koruma yapıları ve diğer altyapılar gibi çeşitli alanların deformasyon izlemelerinde kullanılmaktadır (Şekil 5.3). Saha üzerinde belirli noktalarda açılan özel sondaj kuyularında ölçümler yapılmaktadır. Bu kuyular özel olarak tasarlanmıştır, kuyular içerisinde belirli derinliklerde ve periyotlarda inklinometrelerle ölçümler yapılmaktadır. Belirli noktalardaki eğimi ölçen inklinometreler sonuçların yorumlanmasına bağlı olarak “eğim ölçer” veya “eğim ölçü cihazı” olarak isimlendirilmiştir. Jeodezik olamayan deformasyon ölçü yöntemleri için oldukça popüler bir araç olmasına rağmen, veri kaydı zaman alıcıdır ve kuyu derinliği ölçmeler açısından sınırlayıcı bir faktördür (Dunnicliff, 1993).



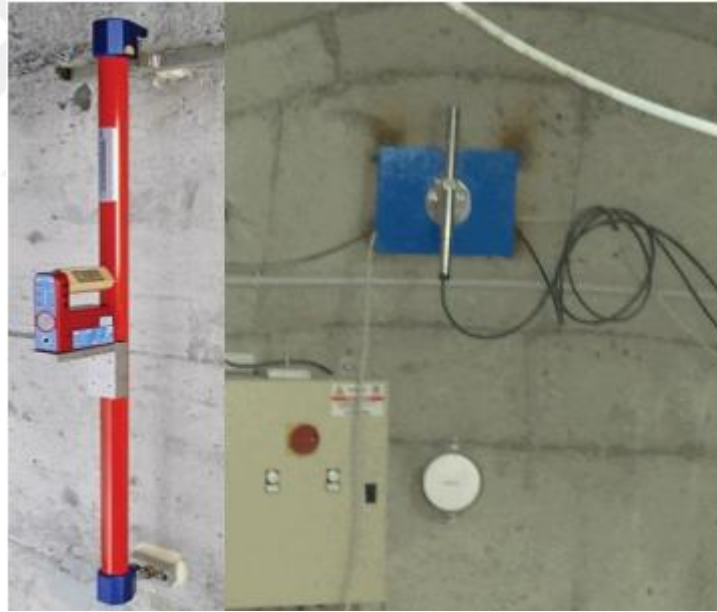
Şekil 5.3. İnklinometre aleti (Alçay, 2014).

Piezometre: Suyu doymun ya da yarı doymun zeminlerde, yeraltı suyu seviyesinin ya da boşluk suyu basıncının izlenmesinde kullanılır. Dolgu ve beton barajlarda oluşan deformasyonların tespitinde Piezometre sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 5.4). Barajın farklı noktalarına yerleştirilen piezometreler ile basınç değerleri belirlenebilmekte ve tehlike sınırını aşan yerlerde sondaj delikleri açılmakta, açılan sondaj delikleri sayesinde oluşabilecek tehlikelere karşı önlemler alınmaktadır (Alçay, 2014).



Şekil 5.4. Piezometre örnekleri (Alçay, 2014).

Klinometre; Mühendislik yapılarında meydana gelen eğim değişimlerini izlemek için kullanılan bir ölçme aletidir (Şekil 5.5). Manüel ve otomatik türleri bulunmaktadır. Çoğunlukla beton barajlarda sarkaç ölçüm noktalarının yakınına tesis edilirler. Bu şekilde ölçüm yapılmasının nedeni okunan değerlerin birbirini doğrulayıp doğrulamadığını görmektir (Alçay, 2014).



Şekil 5.5. Klinometre örnekleri (Alçay, 2014).

Çatlak, Derz ölçer; Büyük kaya kütlelerinde oluşan deformasyonların ölçülmesinde veya beton barajlarda derz açıklıklarının izlenmesi için kullanılan bir ölçme aletidir (Şekil 5.6). Çatlak/ Derz açıklıklarının izlenmesi ölçme aletinin hareketi belirlenecek olan açıklığın iki tarafına sabit uçların yerleştirilmesiyle deformasyonlar otomatik olarak izlenebilmektedir (Alçay, 2014).



Şekil 5.6. Çatlak, derz ölçer (Alçay, 2014).

Akselerometre; İlgilenilen yerin hızında var olan anlamlı değişiklikleri ölçerek ivme bilgisi elde ederler. Kullanım alanları geniş bir alana sahiptir. Depremlerin şiddetini ve yerini izlemek için sismografik cihazlarda ivme ölçerler kullanılır. Bina ve köprülerin titreşim analizleri, yapıların depreme dayanıklılığı ve çeşitli mühendislik yapılarının üzerinde meydana gelen deformasyonların ölçüm ve analizinde önemli bir yer tutmaktadır. GNSS gibi diğer sistemlerle birleştirilmesi daha hassas sonuçlar elde etmek ve hataları düzeltmek için yaygın bir yöntemdir. Son yıllarda yapısal sağlık izleme ve sismik ters çevirme gibi bir çok alanda kullanılan uygulamalarda sağlıklı sonuçlar elde etmemizi sağlamaktadır. Araştırmacılar köprülerin ve binaların sağlığının izlenmesinde ve birçok mükemmel mühendislik yapılarında yüksek titreşim ve yer değiştirme hakkında ivme ölçerler sayesinde bilgi sahibi olabilmektedir (Jing vd., 2022).

Manyetik oturma kolonları; Zeminde farklı derinliklerde oluşan düşey yönlü hareketlerin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Oturma kolonları açılan sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen bir boruya bağlı manyetik halkalardan oluşur. Boru içerisine belirli aralıklarla indirilen algılayıcı uç sayesinde halkaların düşey hareketleri belirlenir (Alçay, 2014).

Yük hücresi; Kaya kütlesi, mesnet ve istinat duvarları gibi yapılardaki yükleri ve yük değişimlerini tespit edebilmek için kullanılan aletlerdir. Barajlarda mesnetlere yerleştirilen bu aletler otomatik olarak yük değişim değerlerini belirlemektedir. Yakınlarına genelde extensometrelerin yerleştirilmesi ile verilerinin doğruluğu test edilebilmektedir (Alçay, 2014).

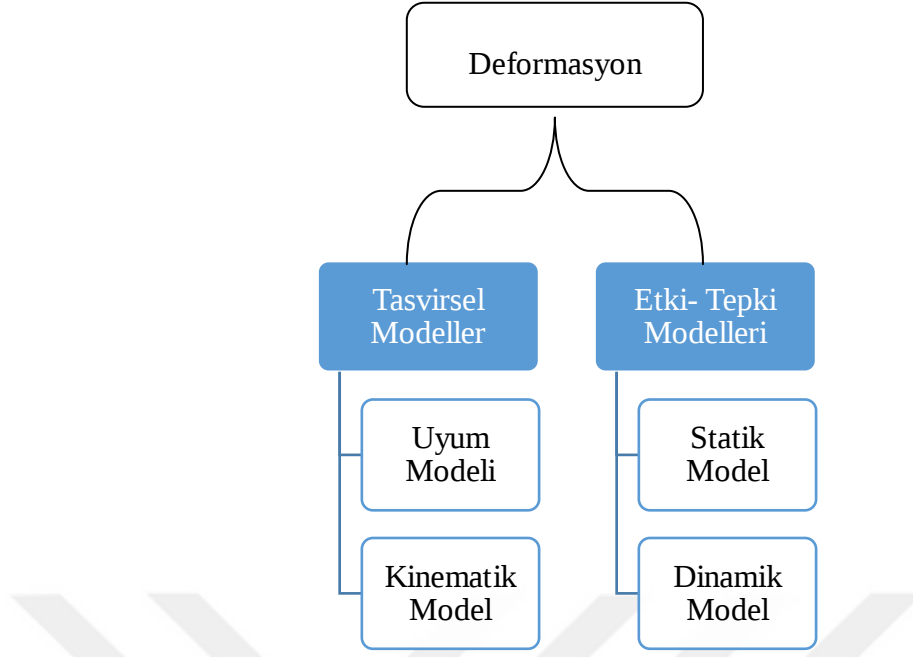
5.4 Deformasyon Analiz Modelleri

Deformasyonlar analiz modelleri problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik şekillerde incelenir; bunlar dinamik, kinematik, statik ve uyum modellerdir (Civcik, 2024). Deformasyon ölçülerinin analizi için kullanılan iki farklı model vardır. Bunlardan birincisi Tasvirsel model, diğeri ise etki-tepki modelidir. Tasvirsel model deformasyon sürecindeki etkileri ele almaktadır, etki-tepki modeli ise deformasyon sürecinde oluşan etkilerin büyüklüklerini ve bu etkilere karşı objenin vermiş olduğu tepkileri incelemektedir sonuç olarak ikisi arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir.

Tasvirsel modeller obje üzerinde oluşan kuvveti değerlendirmeye almadan deformasyon sürecinin analiz edilmesini sağlamaktadır. Tasvirsel model iki ana grupta incelenmektedir bunlar; uyum modelleri ve kinematik modeller'dir. Uyum modelleri zaman boyutu dikkate alınmadan konum değişikliklerinin karşılaştırılması esasına dayanırken kinematik modeller nokta hareketlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanması esasına dayanmaktadır. Etki-tepki modelleri, deformasyon sürecinin giriş-çıkış ilişkisine bağlıdır. Etki- tepki modelinde sıcaklık, yerçekimi gibi objeye etki eden kuvvetler dikkate alınmamaktadır. Etki-tepki modeli de iki ana grupta incelenmektedir. Bunlar; statik model ve dinamik modeller 'dir. Burada statik model konumsal referanslı, dinamik model ise hem zaman hem de konum referanslıdır (Bilgen, 2022).

- Tasvirsel Modeller, deformasyon sürecinde cismi etkileyen kuvvetleri dikkate almadan uygulama aşamalarını analiz etmek için geliştirilmişlerdir.
- Tasvirsel Modeller içerisinde iki ayrı model vardır.
- Uyum modeli konumsal referanslıdır ve statik modele benzer. Zaman boyutu dikkate alınmamaktadır.
- Kinematik model ise nedensel modellerden dinamik model gibi hem konum hem de zaman referanslıdır (Civcik, 2024).

Deformasyon modelleri Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Deformasyon modelleri (Welsch ve Heunecke, 2001).

5.4.1 Statik deformasyon modeli

Deformasyon incelemesinde konu olan bölge veya yapıyı karakterize eden noktaların zamandan ve etkileyen kuvvetlerden bağımsız olması statik modelin temelini oluşturur. Statik deformasyon modelinde ağda bulunan noktaların bir kez ölçülmesinden sonraki geçen sürede noktaların sabit kaldığı varsayılmaktadır (Hoşbaş, 2020).

Buna göre modelin özellikleri;

- Obje periyodik olarak ölçülür,
- Ölçülen nokta hareketlerinin anlamlılığı istatistiksel olarak araştırılır,
- Hareket süreci göz ardı edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler dikkate alınmaz,

olarak sıralanabilir. Bu anlamda statik modeller jeodezik deformasyon ölçme yöntemlerinin en çok uygulama alanı bulduğu irdeleme yöntemidir (Hoşbaş, 2020).

Statik deformasyon modelinde zaman faktörü dikkate alınmadığı için deformasyon ölçümü yapılan objenin her iki periyotta da ölçü esnasında sabit kaldığı varsayılmaktadır. Bu modelde deformasyon analizi yapılırken objenin karakteristik

özellikleri ve üretildiği malzeme dikkate alınmalıdır. Bu yönleriyle ele alındığında baraj, köprü, sütun vb. mühendislik yapılarının analizi için en çok tercih edilen modellerdendir (Bilgen, 2022).

5.4.2 Dinamik deformasyon modeli

Çok karmaşık olmayan kinematik modellerin, gelişen teknoloji ile yeni ölçme ve bilgisayar tekniklerinin sağladığı olanaklar ile desteklenmesiyle uygulama alanlarının genişlemesi sonucunda dinamik model kavramı gündeme gelmiştir. Bu modelde geometrik değişimlerin yanı sıra objeye etki eden kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi, birbirleriyle ilişkileri ve bunların oluşmasını belirleyen dönüşüm fonksiyonu araştırılır (Hoşbaş, 2020).

Dinamik model kullanılarak gerçekleştirilen deformasyon çalışmalarında obje hareketleri zamana ve etkiyen kuvvetlere bağımlı olarak belirlenmektedir. Dinamik modelde obje, ölçüm esnasında hareketli kabul edilir. Bundan dolayı obje hareketlerinin takibi sürekli ve otomatik gözlem metotlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Demirci, 2023).

Bir dinamik model statik ve kinematik modelin kabiliyetlerini birleştirir. Burada statik modelin tersi bir durum vardır, obje ölçümler esnasında da hareket halindedir. Bundan dolayı ölçülerde sürekli ve otomatik gözlem yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bir karayolu köprüsünün rüzgar ve trafik yükünden kaynaklanan yüksek frekanslı titreşimleri nedeniyle oluşan hareketler deformasyonların sebebini teşkil ettiğinden dinamik modele açıklayıcı bir örnektir. Bu model de zamansal süreç ve etkiyen kuvvetler aynı anda dikkate alındığı için en geniş ve en kapsamlı model olarak bilinmektedir (Bilgen, 2022).

5.4.3 Kinematik deformasyon modeli

Kinematik deformasyon modeli deformasyon irdelemesi yapılacak alanda veya mühendislik yapısında incelenen noktaların hareketlerini ve hızlarını belirlemek amacıyla kullanılan bir modeldir. Deformasyon irdelemesine konu olan alan veya yapının bir periyottaki ölçme işlemlerinin uzun sürdüğü durumlarda uygulanmaktadır. Örneğin; ülke nivelman ağının yineleme ölçülerinden yararlanarak büyük çapta bölgesel yerkabuğu hareketlerinin incelenmesi istenirse, ölçmeler 20-25

yıl aralıklarla yinelenmekte ve bu süreçteki bir nivelman ölçmesi 3-4 yıl kadar uzun yıllarda tamamlanabilmektedir. Ölçme süresince nivelman noktalarının yüksekliklerinin sabit kaldıkları düşünüleceğinden, irdeleme sırasında noktaların yükseklikleri yerine yükseklik değişimleri zamanın fonksiyonu olarak yazılır ve düşey hareketlerin hızları araştırılır (Atasoy ve Öztürk, 2005).

5.4.4 Uyum deformasyon modeli

Uyum deformasyon modeli zamandan ve etkiyen yüklerden bağımsız olarak objenin deformasyon ölçümleri yapılmış iki farklı periyodu arasındaki durumu arasında tamamen geometrik bir karşılaştırma sağlamaktadır. Deformasyonlar lokal, ya da global olarak analiz edilir. Bir uyum modelinde sıfır hipotezi “Her iki periyotta karakteristik noktalardan oluşan obje birbirine benzerdir.” ifadesini savunmaktadır ve doğrusal bir hipotez testi yardımıyla objenin iki farklı durumu karşılaştırılmaktadır. Sıfır hipotezi geçerli değilse, deformasyon anlamlı olarak düşünülmektedir. Ardından sabit ve hareketli noktaların belirlenmesi için deformasyonların yerleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Uyum deformasyon modelinde ihtiyaç duyulduğu takdirde nokta kümelerinin hareketleri rijit yapı hareketi, gerinim analizi veya diğer sistematik modeller ile genelleştirilebilmektedir. Bu model deformasyon sürecinin tahmininde, belli bir ölçüde teşhisine imkân sunmaktadır. Barajlarda ve çeşitli mühendislik yapılarının uzun süre izlenmesinde kalite kontrolünde veya ölçü periyot sayılarının az olduğu zamanlarda uyum modeli daha çok kullanılmaktadır (Bilgen, 2022). Deformasyon modellerinin sınıflandırılması Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması (Welsch ve Heunecke, 2001).

Deformasyon Modeli	Statik Model	Kinematik Model	Dinamik Model	Uyum Modeli
Zaman	Modellenmez	Hareketler zamanın bir fonksiyonudur	Hareketler zamanın ve yüklerin bir fonksiyonudur	Modellenmez
Etkiyen Kuvvetler	Yer değiştirmeler yüklerin bir fonksiyonudur	Modellenmez		Modellenmez
Objenin Durumu	Yükler altında yeterince dengede	Sürekli hareket halinde	Sürekli hareket halinde	Yeterince dengede

6. UYGULAMA

Üzerinde yaşadığımız yer kabuğu sürekli hareket halindedir bu hareketler kimi zaman hızlı kimi zaman yavaş olarak değişkenlik göstermektedir. Kıta hareketliliği olarak tanımlanan sürekli ve yavaş olarak oluşan hareketlenmeleri bizler günlük yaşantımız içerisinde fark etmeyiz. Kıta hareketlilikleri yılda 1 ile 10 mm arasında olabilmektedir. Ancak insanlar tarafından saniyeler içerisinde şiddeti büyük oranda hissedilen doğal afet olarak nitelendirilen yer sarsıntıları vardır ki bunlara deprem denilmektedir. Çoğunlukla büyük elastiki kırıklara bağlı olarak meydana gelmektedir bu elastiki kırıklara fay denilmektedir. Fay hatlarında oluşan enerji kütlenin direncini aşınca kaymalar meydana gelmektedir ve oluşan kaymalar yeryüzünde sarsıntılara neden olmaktadır. Bu doğal kökenli sarsıntılar depremleri oluşturmaktadır. Ülkemizden geçen başta Kuzey Anadolu Fay hattı olmak üzere birçok fay hattı bulunmaktadır. Bu fay hatlarında biriken enerjiden kaynaklı olarak ülkemiz zaman içerisinde şiddeti yüksek veya alçak olmak üzere birçok deprem ile karşı karşıya kalmıştır. Türkiye depremselliği çok fazla olan bir ülkedir bu yüzden çok fazla jeolojik, jeofiziksel ve jeodezik çalışmalar yapılmıştır ve halen yapılmaya devam edilmektedir (URL-12).

Türkiye’de geçtiğimiz yıllarda meydana gelen büyük depremlerden bazıları aşağıda verilmiştir;

- 1939 Erzincan depremi (Mw 7.9)
- 1942 Tokat depremi (Mw 7.0)
- 1943 Hendek depremi (Mw 6.6)
- 1943 Ladik depremi (Mw 7.2)
- 1944 Bolu-Gerede depremi (Mw 7.2)
- 1966 Muş-Varto depremi (Mw 6.9)
- 1975 Diyarbakır-Lice depremi (Mw 6.6)
- 1976 Van depremi (Mw 7.5)
- 1999 Gölcük depremi (Mw 7.5)
- 1999 Düzce depremi (Mw 7.2)
- 2003 Bingöl depremi (Mw 6.4)
- 2011 Van depremi (Mw 7.2)

- 2023 Kahramanmaraş depremi (Mw 7.6-7.7) (URL-11).

Buradan da anlaşılacağı üzere ülkemiz çok fazla can ve mal kaybına neden olan birçok depreme tanıklık etmiştir. Depremleri önlemek olanaksızdır. Ancak yapılacak çalışmalar ve gerekli tedbirler ile depremin kötü etkilerini en aza indirmek bilim insanlarının ve araştırmacıların öncelikli hedefleri arasındadır. Deprem gerçeği ile yaşayan bazı ülkelerin bu doğrultuda gerekli önlemleri aldığı ve başarılı sonuçlar elde ettikleri zamanla gözlenmiştir. Yapılan çalışmalardan bazıları deprem bölgesindeki fay hareketlerinin gözlenmesi, bundan yola çıkarak olası depremler için önlemler alınmasıdır. Yine deprem bölgelerinde zemin yapısında incelemeler yapılarak oluşan deformasyonların tespit edilmesi ve bölgedeki yapılaşmanın uygun şekilde planlanması olarak özetlenebilir. Özellikle mühendislik yapılarının deprem riski göz önünde bulundurularak inşa edilmesi gibi daha birçok faktör üzerinde çalışmalar yapılabilmektedir. Depremlerin oluşması engellenemeyeceği için tek çözüm yolu bu yönde çalışmaları arttırarak tedbirlerin doğru ve güvenilir bir şekilde alınmasıdır. Deprem belirleyici olarak en belirgin yapılacak çalışmalar o bölge ve çevresindeki yatay ve düşey hareketlenmelerin tespit edilerek yorumlanmasıdır. Bu hareketlenmelerin belirlenmesinde yapılan jeodezik çalışmalar önemli yer tutmaktadır.

17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit ilçesinin 12 km güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay zonu üzerinde moment büyüklüğü (Mw: 7.4) olan çok fazla can ve mal kayıplarına neden olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremden en çok etkilenen iller arasında Kocaeli, Sakarya ve Yalova illeri de bulunmaktadır. Yalova il ve ilçelerinin deprem merkez üssüne uzaklıkları, Yalova Merkez 53.45 km, Altınova 33.81 km, Armutlu 94.39 km, Çiftlikköy 50.08 km, Çınarcık 67.13 km ve Termal 62.54 km'dir. Altınova ilçesi Yalova Merkez ve Çiftlikköy ilçesine göre deprem merkez üssüne daha yakın olmasına rağmen bu bölge daha az hasara uğramıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere depremden etkilenen alanlarda deprem merkez üssüne yakın olmanın dışında birçok unsur depremin yıkıcı etkisini arttırmaktadır ve bu unsurlar depremlerin yıkıcılığını büyük oranda belirlemektedir. Yalova merkezde bulunan Hacımehmet Ovası ve civarı depremden en çok etkilenen alanlarda ön sıralarda yer almaktadır. Bu yerleşim alanında depremden önce 5 veya 6 katlı lüks yapılaşmalar olduğu ve Yalova halkının yerleşim yeri olarak çok fazla tercih ettiği

yapılan araştırmalar içerisinde yer almaktadır. Ancak yaşanan üzücü deprem felaketinde bölgede yer alan hemen hemen bütün binaların yerle bir olduğu ve en fazla can ve mal kayıplarının bu bölgede yaşanması dikkatleri bu ova üzerine çekmiştir. Bölgenin geçmişi incelendiğinde alüvyon toprak yapısına sahip olan Safran Deresi civarında yapılaşmaların olduğu görülmektedir.

Depremlerin can ve mal kayıpları üzerinde etkisi olan önemli unsurlardan bazıları ise öncelikle inşa edilen binaların depreme uygun yönetmeliklere göre inşa edilmesi ile deprem oluşan bölgedeki yapıların zemin durumunun konut inşasına uygun sağlıklı ve güvenilir şartlarda olmasıdır. Çalışmada bu bilgiler baz alınarak Yalova il genelinde depremden en çok etkilenen bölgeler tespit edilmiştir. Bu bölgelere bakıldığında Yalova Merkezde bulunan Hacımehmet Ovası ve civarında 17 Ağustos 1999 depreminden önce çok katlı birçok yapı inşa edildiği bilinmektedir. Bu bölgenin geçmişine bakıldığı zaman ise bölge çok önceleri sulak tarım arazisi olarak uzun süre kullanıldığı ve sonrasında çok katlı yapılar inşa edildiği bilinmektedir. Deprem zamanında ise buradaki yapıların birçoğu yıkılıp hasara uğradığı ve il bazında en çok yıkımın gerçekleştiği bölgelerden olması dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu bölgedeki yapılardan birçoğu deprem esnasında zemin kat tamamen yer altında kalmış şekilde yok olmuştur. Bölgede halen yapılan mühendislik ölçmelerinde zeminde düşey yönde deformasyonların olduğu tespit edilmektedir. Buna ek olarak çalışma bölgemizde bulunan ova, heyelan risk haritaları incelendiğinde heyelan açısından risk teşkil edebilecek kısımlara girmektedir (şekil 6.1).



şekil 6.1. Yalova heyelana duyarlı alanlar (İRAP, 2022).

Yalova Merkezde Hacımehmet Ovası ve civarı 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen yıkımda depremden en çok etkilenen yerler arasında bulunması ve günümüzde bu bölgede zaman zaman toprak kaymaları meydana gelmesi açısından bölge araştırılmaya konu bir alan olarak dikkatleri üzerine çekmiştir. Yine bu ova yakınlarında yapılan Yalova Eğitim ve Araştırma Hastanesi civarında lokal heyelanların olduğu ve hastane önünden geçmekte olan yol üzerinde belli bir zaman sonra çatlak ve yarıkların oluştuğu ve yol geçici olarak kullanılamaz hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu bölgede yapılan büyük çaplı bina ve yolların bölgede risk teşkil ettiği düşünülmektedir. Bu vb. toprak kaymalarından dolayı da bu bölge incelenmesi gereken bir bölge konumunu almıştır. Aynı zamanda bu bölgenin çok yakınında olan Safran Köyü içerisinde iki adet diri fay hattının geçtiği bilinmektedir. Depremin üzerinden 20 yıldan fazla zaman geçmiştir. Bölgede depremden sonra deprem yönetmeliğine uygun az katlı yapılar inşa edilmektedir. Depremden sonra bölgede öncelikli TOKİ binaları inşa edilmiş sonraki süreçlerde bölge yapılaşma olarak sürekli gelişme göstermiştir ve şehir bu yönde büyük oranda kalabalıklaşmaya başlamıştır. Bölgenin büyük ölçüde alüvyon zemin üzerine kurulmuş olması, dere kenarında yapılaşmanın yoğun olması, bölgede yaşayan nüfusta hızla artış olması ve daha önce yaşanmış felaketin yıkıcı hasarları ile can ve mal kayıplarının çok fazla olması bölgenin detaylı olarak çalışılması gerekliliğini ifade etmektedir.

Yine bu bölgede yapılan hastane, okul, yol gibi yapılaşmaların yakınlarında gözle görülür şekilde toprak kaymalarının meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 6.2). Şehir merkezinin bu alana doğru kayması ve yapılaşmaların bu alanda çoğalması nedeniyle olası riskleri en aza indirmek için çalışmada özellikle bu bölgede oluşan deformasyonların tespiti hedeflenmiştir ve bu yönde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Çalışma noktalarımızın yakınındaki yol üzerinde meydana gelen deformasyon.

6.1 Çalışma Bölgesi

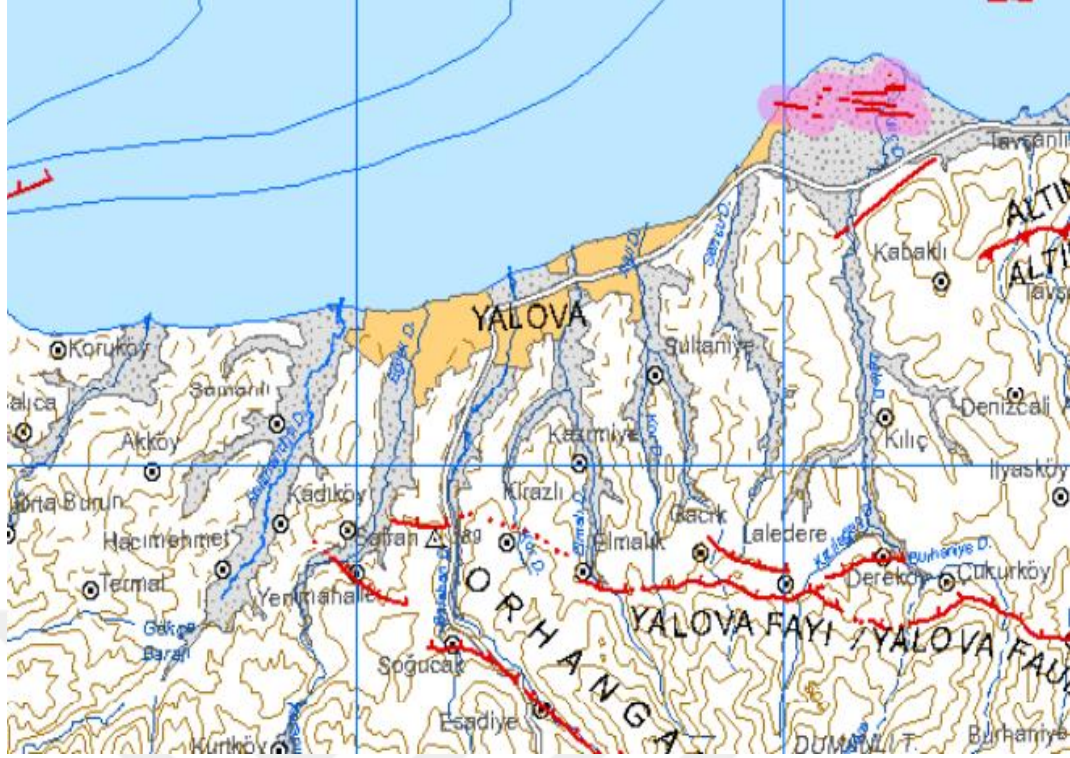
Bu tez çalışmasında Yalova Merkez Hacımehmet Ovasında meydana gelen deformasyonları tespit etmek amacıyla ölçüler ve analizler yapılmıştır. Bölgede GNSS ölçülerinden faydalanılarak oluşan deformasyonların tespit edilmesi ile hızlı bir şekilde yapılaşan ve gelişme gösteren bölgenin olası risk faktörlerine değinerek alınabilecek önlemler konusunda literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak bu bölgenin jeolojik yapısı konusunda araştırmalar yapılmıştır. Bölge alüvyon yapıda toprak yapısına sahip, dere yatağı çevresinde sık yapılaşmanın gerçekleştiği ve genel olarak deprem öncesinde 5 ve 6 katlı binaların çoğunlukta bulunduğu bir alan olduğu yapılan araştırmalarda elde edilen bilgilerdendir. Bölge Safran deresi çevresinde sık olarak yapılaşmıştır.

Günümüzde ise bölgede depremden sonraki yıllarda ilk etapta “fore kazıklı derin temeller” atılarak TOKİ binaları yapılmıştır, sonraları zamanla bu bölgede yapılaşmalar sıklaşmaya başlamıştır. Bölgede genel olarak 2, 3 ve 4 katlı yapılar bulunmaktadır. Çalışmaya başlamadan önce belirlenen alanın topografik yapısı hakkında bir ön araştırma yapılarak tez çalışmasının amacı için uygun çalışma bölgesi tespit edilmiştir. Daha sonra bu çalışma alanını kapsayacak şekilde yaklaşık 15.71 km²’lik bir alan içerisinde homojen olarak yer noktaları tesis edilmiştir.

Noktaların yerleri tesis edilirken bölgenin en yüksek ve en düşük kota sahip yerlerini de kapsayacak şekilde planlama yapılmıştır. Çalışmada Google Earth, Türkiye fay haritası ve TUSAGA-Aktif sabit istasyon verilerinden de yararlanılmıştır. Nokta tesisleri için çalışma bölgesinde öncelikle hazırlık çalışması yapılmıştır. 2022 Mayıs ayında tarama yapacağımız alana homojen dağılım olacak şekilde ve nokta yüksekliklerinin çalışmaya katkı sağlayacak şekilde olmasına dikkat ederek yer noktalarının tesis edilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca noktaların Safran Mahallesi ve Safran Köyü civarından geçen diri faylara dik profiller oluşturacak şekilde tesis edilmesine özen gösterilmiştir.

Çalışma bölgesinin yakınlarından geçen Orhangazi ve Yalova fay hatları bölge de ilerleyen süreçte deprem üretmesi açısından önemli bir konumdadır. Ballyyev çalışmasında Orhangazi Fayı'nın KD-GB doğrultulu genişleme rejimi altında sağ yanal bileşeni olan normal faylanma sergilediğini, ayrıca Gemlik ve Orhangazi ilçeleri ile yakın çevresinde 1990-2023 yıllarında meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizma çözüm sonuçları da bölgedeki temel olarak KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen doğrultu atımlı faylanmalar ve bununla uyumlu KD-GB doğrultulu lokal genişleme rejimi olduğunu ve sıkışma rejiminin günümüzde de etkin olduğunu gösterdiğini belirtmiştir (Ballyyev, 2023).

Çalışma alanında 23 adet nokta tesisi yapılmıştır ve bölgede 2019 yılından beri işletilen bir adet TUSAGA-Aktif (YLOV) istasyonu ağı dâhil edilmiştir. 2022 Mayıs ayında istikşaf çalışmaları tamamlanmış ve bölge ölçüme hazır hale getirilmiştir. Çalışma bölgesine yakın diri fay hattı haritası Şekil 6.3'te verilmiştir.

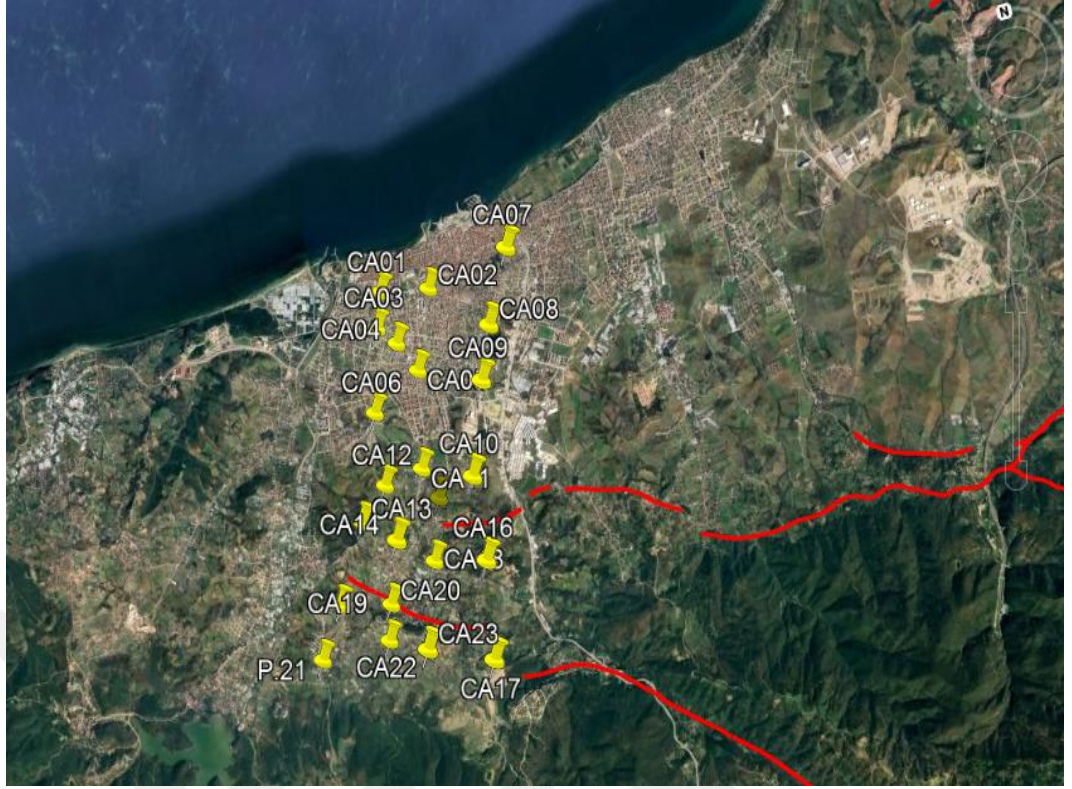


Şekil 6.3. Yalova ilinden geçen diri fay hattı haritası.

6.2 Yalova Tektonik GNSS Ağı

Çalışma bölgesinde noktaların yerleri belirlenirken çalışma alanını tarayan bir ağı oluşturulmaya çalışılmıştır. Oluşturulan bazlar arası mesafelerin çalışmaya hizmet edecek şekilde ayarlanmasına özen gösterilmiştir. Noktalar bir kısmı şehir merkezlerinde olduğu için noktaların kolay tahrip olmayacağı ve ölçmeler sırasında dış etkenlerden minimum seviyede etkilenecek şekilde noktaların yerleri seçilmeye özen gösterilmiştir. Ayrıca ağda bulunan 14 adet nokta Safran Mahallesi ve Safran Köyü içerisinde geçen diri fay hatlarından olan Yalova ve Orhangazi fay hatlarının bölgeye isabet eden KB segmentlerine dik olacak şekilde konumlandırılmıştır.

23 adet noktanın statik ölçme yöntemiyle elde edilen ITRF datumundaki ölçü değerleri NETCAD programına aktarılmıştır. KML formatında dosyalar (Google Earth'ün üzerine yüklenecek dosyanın KML uzantılı olması gerektiği için) oluşturulmuştur. Oluşturulan dosyalar Google Earth içerisine yüklenerek 23 adet noktanın haritalandırılması yapılmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Yalova Hacımehtmet Ovası tesis edilen yer noktalarının konumları.

6.3 GNSS Ölçüleri

Çalışma kapsamında GNSS ölçüleri 2022-2024 yılları arasında 3 kampanya olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm kampanya ölçüleri 6 kişiden oluşan arazi ekibi ve bir arazi aracı ile yapılmıştır. Ölçülerde Aksaray Üniversitesi GNSS ölçme ekipman ve donanımları, Yalova Adnan Menderes Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi ölçme ekipmanları, Yalova ilindeki kamu kurum ve kuruluşları ile özel harita mühendislik bürolarının ekipmanlarından faydalanılmıştır. Statik ölçme oturumları uygulamasından görüntü Şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.5. Statik ölçme oturumları uygulamasından görüntü.

Tüm oturumlar ölçü saati minimum 4 saat olacak şekilde statik modda gerçekleştirilmiştir. Statik ölçmelerde gözlem parametreleri olarak uydu yükseklik açısı 15° , veri kayıt aralığı 1 saniye kayıt ve gözlenen uydu sayısı en az 6-8 olacak şekilde seçilmiştir. Ölçüler Topcon GR3 marka GNSS alıcıları ile gerçekleştirilmiştir. GNSS alıcıları sehpa üzerine dikkatli bir şekilde yerleştirilerek nokta üzerine konumlandırılmıştır ve GNSS alıcısından anten yüksekliği 4 taraftan eğik olarak okunmuştur. Bu okumalar tüm noktalar için ölçüm başlangıç ve bitiminde tekrar edilmiştir.

30.06.2022 ile 21.07.2022 tarihleri arasında 23 adet noktanın hassas konum bilgisini belirlemek için bu noktalarda 1. kampanya oturumları tamamlanmıştır. 03.07.2023 ile 07.07.2023 tarihleri arasında 2. kampanya oturumları tamamlanmıştır. Önceki kampanya ölçüleri arazi ekip ve ekipmanları ile benzer şekilde plan ve programlama yapılarak 2. kampanya ölçüleri tamamlanmıştır. Bu kampanya ölçülerinde bazı noktalarımızın tahrip olduğu tespit edilmiştir ve bu noktalar tasarlanan ölçü ağından çıkartılmıştır. 24.03.2024 ile 01.04.2024 tarihleri arasında benzer strateji ve planlar uygulanacak şekilde 3. kampanya GNSS ölçme oturumları gerçekleştirilerek ağdaki

tüm noktaların ölçümleri tamamlanmıştır. Son kampanya ölçülerinde tahrip edilen noktalarda gözlemler yapılamadığı için son oturumlar 20 adet noktada veri toplanarak gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçü zamanlarını gösteren bilgiler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. GNSS ağında yer alan noktalara ait ölçü zamanlarını gösteren bilgiler.

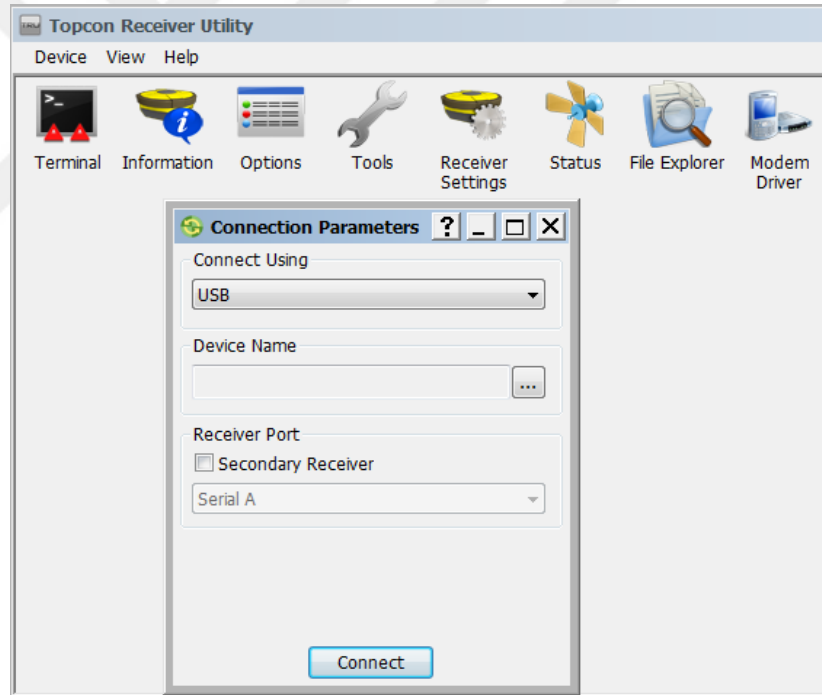
Nokta Adı	1. Kampanya (2022)	2. Kampanya (2023)	3. Kampanya (2024)
CA01	X	X	X
CA02	X	X	X
CA03	X	X	X
CA04	X	X	X
CA05	X	-	-
CA06	X	X	X
CA07	X	X	X
CA08	X	X	X
CA09	X	X	X
CA10	X	X	X
CA11	X	X	X
CA12	X	X	X
CA13	X	X	X
CA14	X	X	X
CA15	X	-	-
CA16	X	X	X
CA17	X	X	X
CA18	X	X	X
CA19	X	X	-
CA20	X	X	X
CA21	X	X	X
CA22	X	X	X
CA23	X	X	X

6.4 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Hız Değerlerinin Belirlenmesi

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi için kullanılan bilimsel ve ticari amaçlı çok fazla yazılım üretilmiştir. Üretilen bu ticari yazılımlar genellikle alıcılar ile birlikte kullanıcıya satılmaktadır. Bununla birlikte firmaların kendine özel yazılım paketi bulunmaktadır. Ticari yazılımlara daha çok pratik mühendislik çalışmalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Tercih edilen ticari yazılımlardan bazıları Topcon Tools, Leica Geo Office, Spectra Survey Office gibi yazılımlardır. Tektonik hareketlerin belirlenmesi veya deformasyon çalışmaları gibi çok fazla hassasiyet isteyen çalışmalarda ticari programlarda gereken hassasiyette değerlendirilememektedir. Yüksek hassasiyet isteyen bu çalışmalarda bilimsel amaçlı üretilmiş yazılımlar genellikle üniversiteler ve enstitülerin kullanması amacıyla geliştirilmiştir. GIPSY, BERNESE veya

GAMIT/GLOBK gibi yazılımlar günümüzde bilimsel çalışmaları değerlendirme ve analiz kısımlarında kullanılmaktadır. Linux ya da Unix türevi işletim sistemleri üzerinde çalışan bu yazılımlarda, değerlendirme aşamasına geçmeden önce, farklı alıcılardan üretilen verilerin söz konusu olduğunda alıcıdan bağımsız hale getirilmesi, yani RINEX formatına dönüştürülmesi gerekmektedir (Aladoğan, 2017). Statik ölçme verilerinin değerlendirilmesi ve dengelenmesi işlemi 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Statik ölçme oturumları ile toplanan ham verilerin bilgisayara aktarılması.
- Verilerin RINEX formatına dönüşüm ve nokta isimlerine göre yeniden düzenlenmesi.
- GAMIT/GLOBK yazılım takımı yazılımında değerlendirme ve dengeleme (Oğuz, 2023).



Şekil 6.6. Topcon Receiver Utility programı veri aktarım arayüzü.

Birbirinden farklı GNSS uydu alıcıları ile yapılan çalışmalarda elde edilen ham verilerin, kullanılan alıcılardan bağımsız bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla alıcıdan bağımsız bir format olan RINEX formatına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sağlıklı bir şekilde yapılması için Topcon Link, LGO ve TEQC gibi birçok programdan faydalanılmıştır.

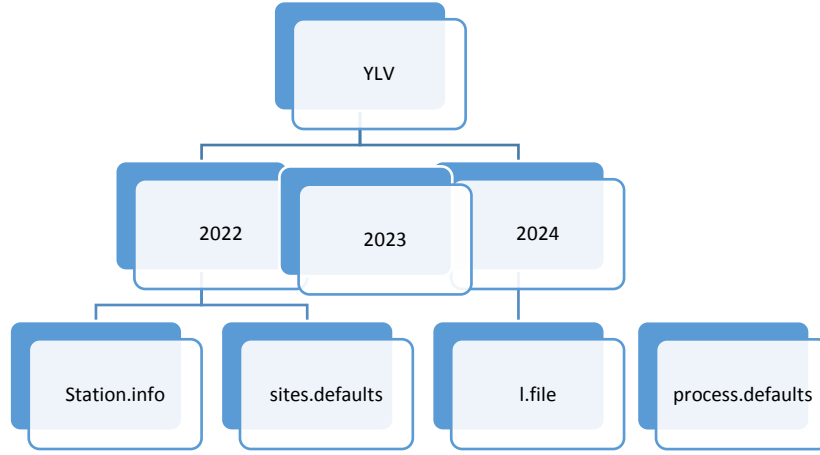
Çalışma yapılan bölgede tesis edilen ağda yapılan GNSS ölçmeleri, GAMIT yazılımıyla değerlendirilmiştir ve daha sonra bu değerlendirme sonucunda elde edilen veriler üzerinde GLOBK yazılımı kullanılarak çözümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilerek noktalara ait hız değerleri elde edilmiştir.

GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile yapılan değerlendirme iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak GAMIT modülü ile işlenmiş veriler elde edilmektedir. Daha sonraki aşamada GAMIT modülünden elde edilen işlenmiş veriler ile GLOBK modülünde Kalman Filtrelemesi uygulanarak çözümler gerçekleştirilmektedir (Feigl vd., 1990; King ve Bock, 2000). Değerlendirme aşamasında 2022-2024 yılları arasında çalışma bölgesinde gerçekleştirilen 3 kampanya ölçü grubundan elde edilen veriler GAMIT / GLOBK modülleri ile değerlendirilerek çalışma bölgesine ait hız alanları elde edilmiştir.

GAMIT ve GLOBK yazılım takımı genel olarak taşıyıcı faz ve pseudorange ölçülerinin değerlendirilerek ölçü yapılan noktanın 3 boyutlu koordinatının hesaplanmasını sağlamaktadır. Yazılımın ikinci kısmında ise elde edilen koordinatlar yardımıyla Kalman Filtreleme tekniğini kullanarak tektonik plaka bazlı hızların üretilmesi sağlanmaktadır (Türk, 2024). GAMIT ve GLOBK modüllerinin değerlendirme kısmında yapılan işlem aşamaları aşağıda kısaca açıklanmıştır. Öncelikle değerlendirme yapılacak verilerimizin hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Yapılacak işlem adımları sırasıyla hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç aşamalarını içermektedir. İlk etapta GAMIT yapısına uygun ana klasör yapısı oluşturulmuştur.

Hazırlık aşaması; GAMIT ana klasör ağ yapısı oluşturularak, standart girdi verilerinin bulunduğu dosyaların düzenlenmesi kısmı başlangıç kısmıdır ve bu kısım değerlendirme aşamasında kullanılacaktır. Bunlar station.info, sites.defaults, l.file ve process.defaults dosyalarından oluşmaktadır (Şekil 6.7). GAMIT programında oluşturulan bu ağ tables klasörü içerisinde bulunmaktadır. Station.info dosyasında kampanya ölçüleri yapılan noktalara ait bilgiler, sites.defaults dosyasında değerlendirme kısmında hassas koordinatlardan yararlanılan IGS istasyonlarına ait bilgiler, l.file dosyasında ölçü yapılan noktaların başlangıç koordinatlarının bilgileri

ve process.defaults dosyasında son olarak veri örnekleme aralığını belirlemek için bilgilerin düzenlenmesi gerekmektedir (Doğan, 2021).



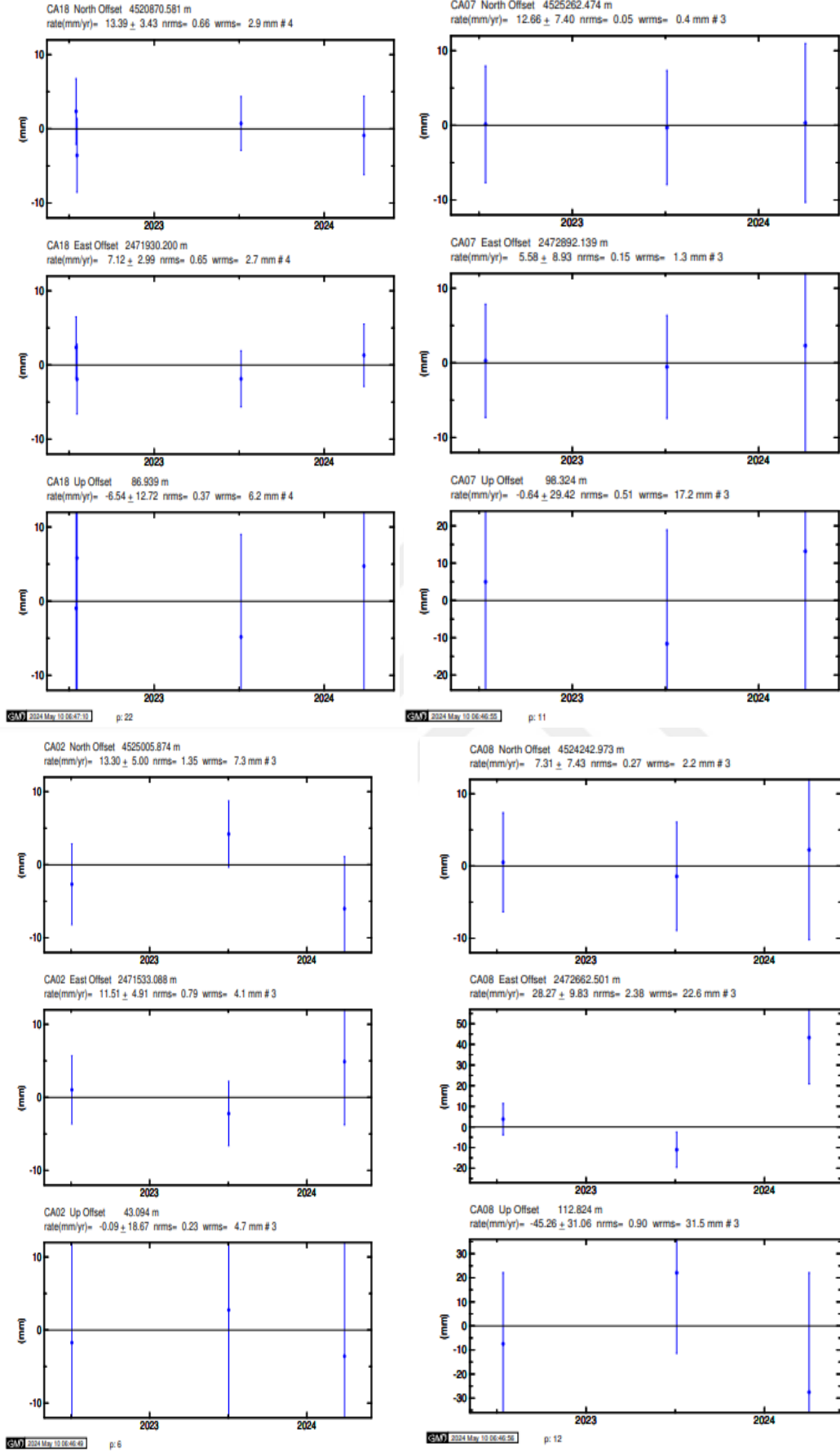
Şekil 6.7. GAMIT ana klasör yapısı.

Değerlendirme aşaması; GAMIT yazılımı bu aşamayı manuel ve otomatik olarak iki farklı seçenek üzerinden uygulamayı kullanıcılara sunmaktadır. Çalışmamızda sh_gamit komutu kullanılmış ve veriler otomatik olarak değerlendirilmiştir. Sonraki adımda yıl klasörü içinde gerekli klasörler ve GNSS ölçülerinin gün klasörleri otomatik olarak oluşmuştur. Değerlendirme aşaması tamamlandıktan sonra herhangi bir hata uyarısı alınmaz ise gün çözümleri tamamlandıktan sonra kontrol ve sonuç aşamasına geçilebilir. Sh_gamit komutu ile bütün ölçü yıllarına ait klasörlerde otomatik oluşan gün klasörleri içerisinde sonuç dosyalarını elde edebiliriz. Sonuç dosyalarının hatalı olup olmadığı bu aşamadan sonra kontrol edilmelidir. Hata içeriyorsa gerekli düzeltmeler yapılarak değerlendirme aşamasına geri dönülmesi gerekmektedir. Kontrol aşamasında gün klasörü içerisindeki “qxxxxa.ddd” sonuç dosyası da kontrol edilmelidir. Dosya isim yapısı olarak kullanılan “xxxx” ana klasörün adını ifade etmektedir, “ddd” ise ölçülerin gerçekleştirildikleri yılın hangi gününe ait olduklarını ifade etmektedir. Dosya içerisindeki ölçüler kontrol edilerek değerlendirmeye katılıp katılmadıkları kontrol edilmelidir. Kontrol aşamasında noktaların tamamı değerlendirme işlemine katılmışsa ve sorun gözüküyorsa yine q dosyası içerisinde bulunan normlandırılmış karesel ortalama hata adı verilen nrms (Normalized Root Mean Square) değeri kontrol edilir. Tüm noktalar değerlendirmeye dahil edilmişse NRMS’nin 0.15-0.25 arası bir değer aralığında çıkması gerekmektedir. Nrms belirtilen aralıkta ise kurulan modelin doğru çalıştığı

ve ölçülerin noise seviyelerinin kabul edilebilir olduğu sonucu çıkartılabilir (Tiryakioğlu, 2012).

Sonuç aşamasında; tüm kontroller tamamlandıktan sonra hız belirlemek için GLOBK yazılımına geçilmiştir. GLOBK yazılım takımı Kalman Filtreleme Tekniğini kullandığı için farklı zamanlarda gerçekleştirilen ölçülerin konumlarının değişikliğine dayalı zaman serileri üretmektedir. Aynı zamanda plaka hareketlerinin modellenerek bu model üzerinden yorum yapılmasında kullanılmaktadır (Tiryakioğlu, 2012).

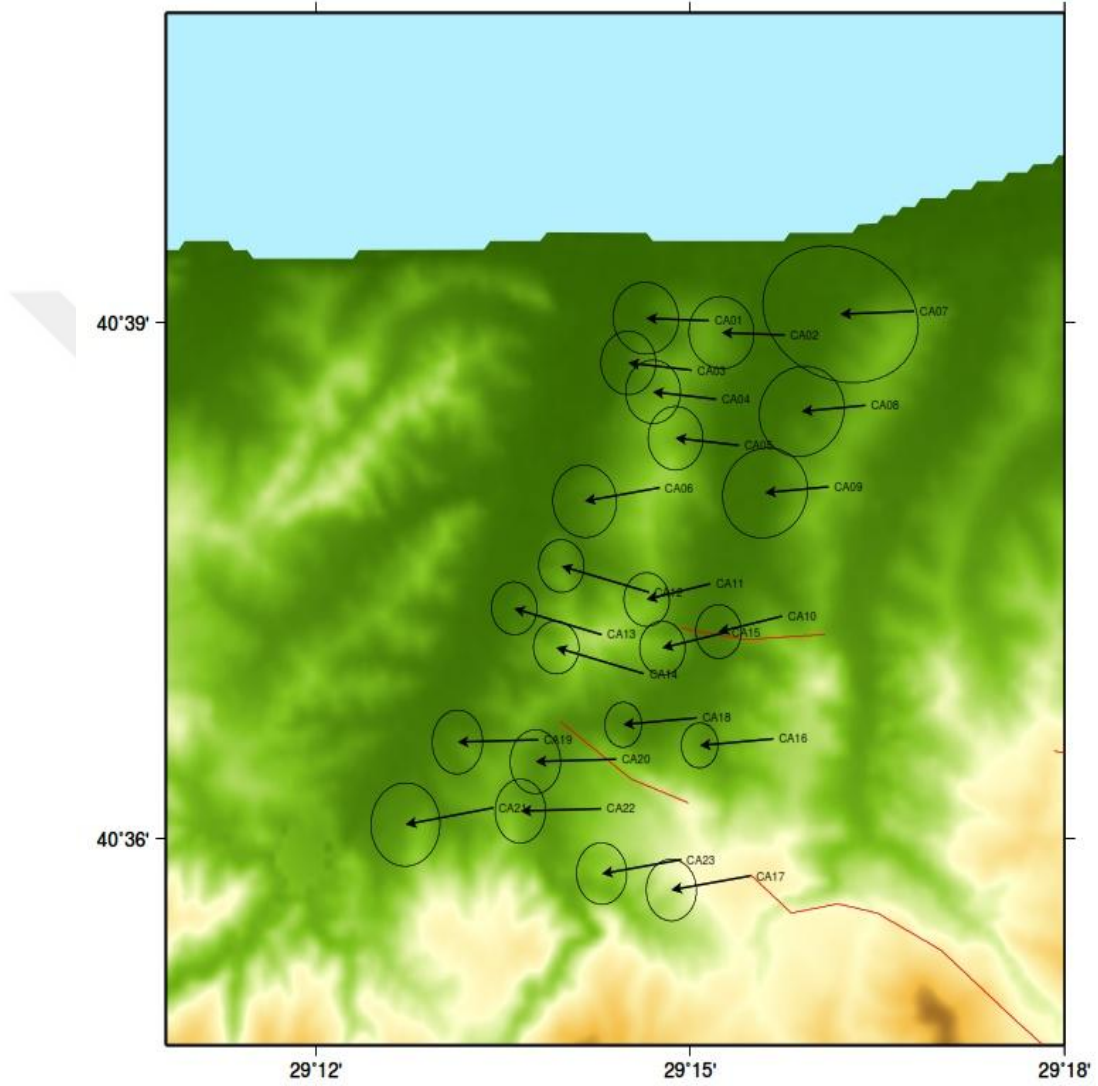
Tektonik hareketlerin ölçülerek değerlendirme aşamasından sonra yorumlanabilmesi için uzun dönem zaman serilerinin üretilmesi gerekir. Bundan dolayıdır ki GLOBK’de uzun dönem zaman serileri üretilerek, ölçü gerçekleştirilen noktalar tek tek tektonik anlamda değerlendirilmelidir (Tiryakioğlu, 2012). Şekil 6.8’de ağda bulunan bazı kampanya noktalara ait yıllık zaman serileri verilmiştir.



Şekil 6.8. CA02, CA07, CA08 ve CA18 noktalarına ait yıllık zaman serileri.

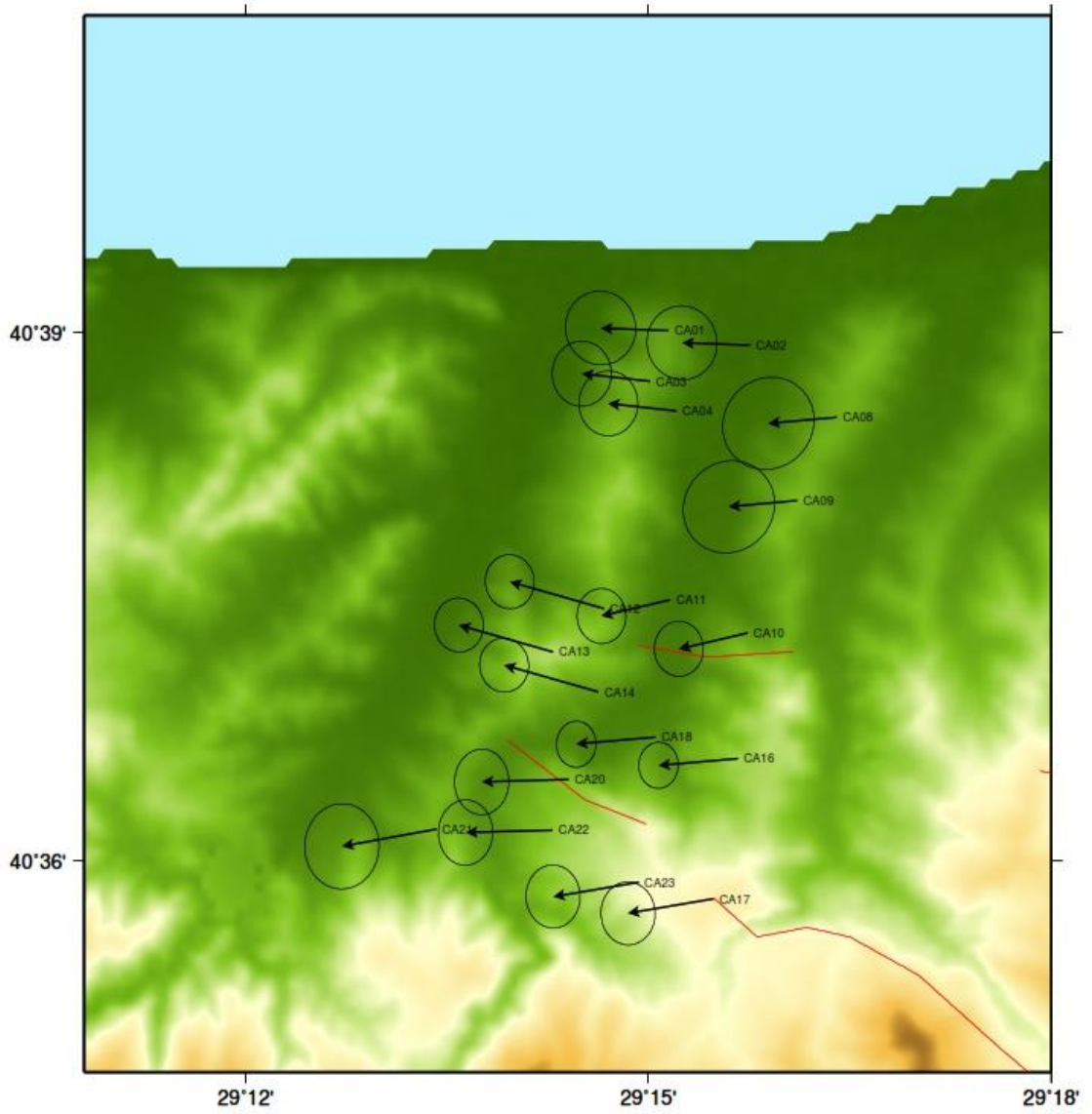
6.5 Yalova Hacı Mehmet Ovası GNSS Hız ve Gerinim Alanı

Hız alanı hesaplanırken GLOBK aşamasında farklı tektonik plakalara göre hızlar değerlendirilmektedir ve Avrasya Plakası sabit kabul edilerek tanımlamalar yapılmıştır. GLOBK 6 komutu çalıştırılarak Avrasya sabit hız alanı üretilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Hız alanı.

Elde edilen hız alanında tüm ağı ait hız değerleri incelendikten sonra son ölçü kampanyasında tahrip oldukları için GNSS ölçüsü bulunmayan, bu sebeple hata elipsi yüksek ve anlamsız davranış üreten CA05, CA07, CA15 ve CA19 no'lu nokta ağdan çıkartılmıştır. Hız değerleri ve yönleri çevresinde bulunan diğer noktalardan ve bölgenin genel hareketinden farklı davranış gösteren CA06 noktasına ait hız değerleri çıkartılarak hız alanı haritası güncellenmiştir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Güncellenen hız alanı.

Güncel hız alanı incelendiğinde noktaların B-GB yönünde 17-21 mm/yıl hızla hareket ettiği görülmektedir. Ayrıca bölgede CA07, CA08 ve CA09 olarak isimlendirilen noktaların genel hareketi, çevresi bölgeyle uyumlu olsa da eksik kampanya ölçmesi bulunmamasına rağmen standart sapmalarının yüksek olması sonucunda hata elipslerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında bölgenin güncel gerinim alanını tespit etmek için GAMIT/GLOBK yazılım takımından elde edilen noktasal hızlar kullanılarak Geodsuit yazılımında ağda bulunan ve güncellenen hız alanına dahil edilen noktaların çevresindeki gerinim alanları hesaplanmaya çalışılmıştır. Ancak tesis edilen noktalardan bazılarının tahrip olması, kampanyalar arası geçen sürenin kısa olması, statik ölçü süresinin görece kısalığı ve yaşanabilecek merkezleştirme

hataları sonucunda mevcut noktalara ait standart sapma değerlerinin yüksek olmasına ek olarak noktaların birbirlerine çok yakın mesafede bulunmaları benzer hız değerleri elde edilmesi sonucunda bölgede istatistiksel olarak anlamlı bir gerinim haritası retilenemiştir.



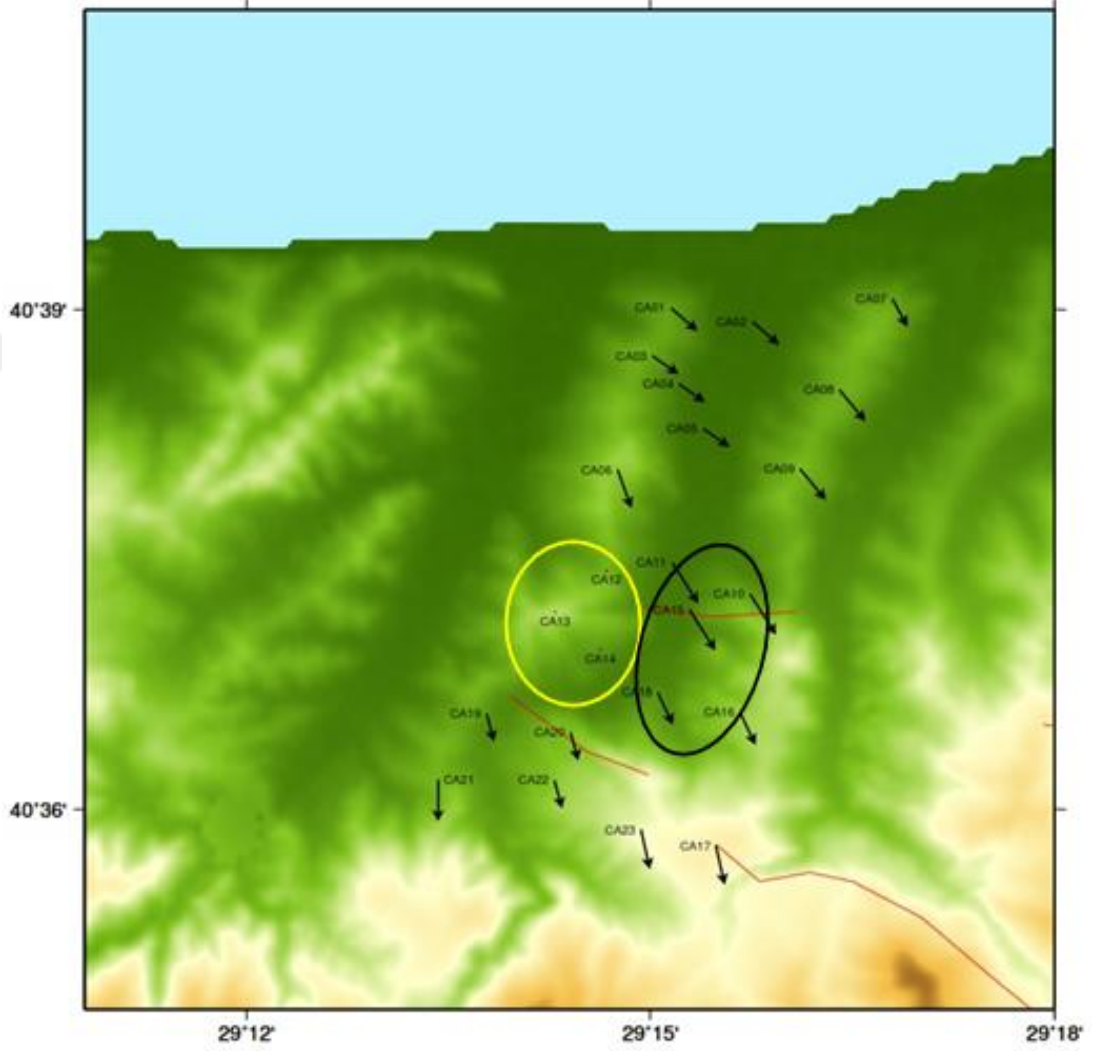
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen tez çalışmasında 1999 Gölcük depreminde büyük yıkıma uğrayan ve mevcut durumda heyelan tehlikesi bulunan Yalova Hacımehmet Ovasında meydana gelen yüzey deformasyonlarının GNSS ölçmeleri ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bölgede tesis edilen ağda 3 kampanya GNSS ölçmesi gerçekleştirilmiştir. Tesis edilen ağ bölgede meydana gelen heyelanların tespitinde kullanılmak amacıyla tesis edilmiş olup buna ek olarak bölgenin güney kısmında bulunan diri fayların uç segmentlerini de içerisine alacak şekilde planlanmıştır. Elde edilen sonuçlar bölgenin hız ve gerinim alanlarının elde edilmesi, nokta bazlı zaman serileri, rölatif hız farkları ve her bileşen için koordinat değişim analizlerini gerçekleştirmek için kullanılmıştır.

Bu amaçla elde edilen ve Şekil 6.10'da verilen güncellenmiş hız alanı incelendiğinde Avrasya Plakası sabit alınarak çalışma bölgesinde yıllık 17–21 mm'lik batı ve kuzey batı yönünde bir hareket belirlenmiştir. Noktalara ait standart sapma değerleri incelendiğinde değerlerin bazı noktalarda yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma neden olarak tesis edilen noktalardan bazılarının tahrip olması, kampanyalar arası geçen sürenin kısa olması, statik ölçü süresinin görece kısalığı, noktaların pilye yerine yer tesisi olması ve alet sehпасı kaynaklı yaşanabilecek merkezleştirme hatalarının neden olduğu düşünülmektedir. Yine CA05, CA15 ve CA19 numaralı noktaların ölçü kampanyası sırasında tahrip olması sebebiyle sadece 2 kampanya ölçülerinin bulunması, bu noktaya ait standart sapma değerlerinin diğer noktalara göre daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple bu noktaların bulunduğu bölgeyle ilgili sağlıklı olmayan hız değerleri ürettiği düşünülmektedir. Bölgeyle ilgili ilerleyen yıllarda kampanya sayısı arttırıldıkça tüm kampanya noktalarına ait standart sapma değerlerinin düşerek yüksek doğruluğa ulaşması ve buna bağlı olarak ağın kapsadığı alan ile ilgili daha sağlıklı yorumlamaların yapılabileceği ve lokal deformasyon olan noktaların daha net bulgularla tespit edilebileceği düşünülmektedir.

İlgili bölgede potansiyel deprem tehlikesi dışında bir diğer afette heyelandır. Yalova ve çevresinde çok sayıda heyelan oluşumu da gerçekleşmiş ve bazı alanlarda ciddi zemin çökmeleri ve kaymalar meydana gelmiş ve gelmektedir. Bu amaçla elde edilen sonuçlar nokta bazlı olarak yatay ve düşey olarak değerlendirilmiş ve tesis edilen

noktalarda bulunan anomaliler araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak 23 noktalı ağda heyelan ve zemin çökmelerinin sıklıkla meydana geldiği bölgeler ile bu alanların karşısında bulunan CA14 nolu nokta arasında hız ve yön farklılıklarının elde edilmesi amacıyla GeodSuit yazılımı kullanılarak rölatif hızlar hesaplanmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. CA14 noktası sabit alınarak hesaplanan rölatif hızlar.

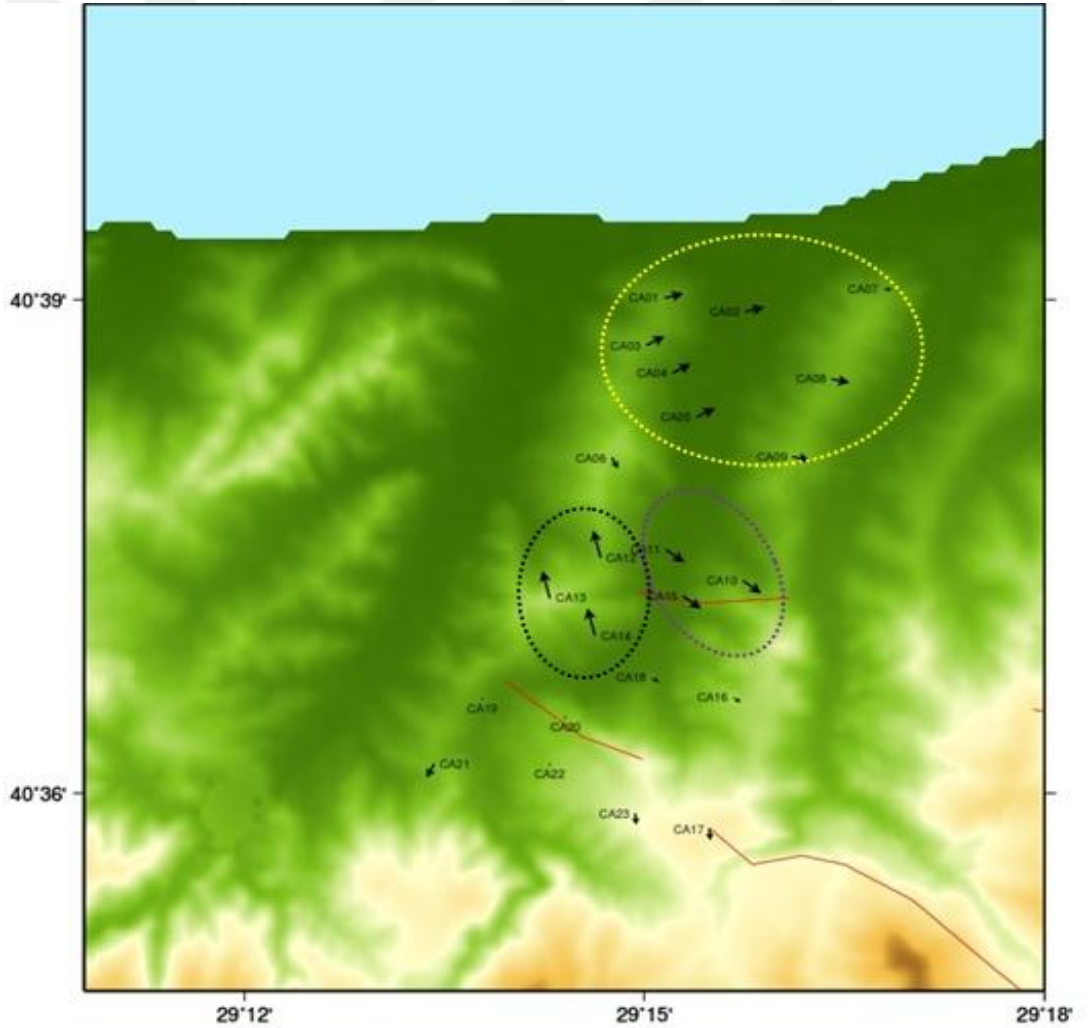
Rölatif hızlar incelendiğinde birbirlerine yakın olan CA12-CA13-CA14 nolu noktalarda hız farklarının sıfıra yakın çıktığı görülmekteyken görece aynı uzaklıkta olan CA-10, CA-11, CA-15, CA-16 ve CA-18 nolu olan noktalar ile arasında ciddi hız farkları olduğu görülmektedir. Rölatif hız sonuçlarına göre noktalar arasında hız farkları elde edilse de yön farklılıklarının olmaması ve noktaların hareketlerinin aynı yönde olması sebebiyle CA-14 nolu noktanın da deformasyon alanı içerisinde kaldığı düşünülerek alan dışında farklı bir nokta seçimi yapılmıştır. CA14 numaralı nokta ile

çevresinde bulunan noktalar arasındaki kuş uçuşu uzaklık Çizelge 7.1’de verilmektedir.

Çizelge 7.1. CA14 ile diğer noktalar arası mesafeler.

Noktalar	Mesafe	Noktalar	Mesafe	Noktalar	Mesafe
CA14 - CA12	0.90 km	CA14 - CA10	1.63 km	CA14 - CA16	1.62 km
CA14 - CA13	0.67 km	CA14 - CA15	1.03 km	CA14 - CA18	0.74 km
CA12- CA13	0.68 km	CA14- CA11	1.26 km		

Bu amaçla potansiyel heyelan bölgesine uzak kesimde ve alanın en güneyinde yer alan ve tüm kampanyalarda ölçüsü bulunan CA-23 noktasına ait hız değeri sabit alınarak diğer noktalara ait rölatif hızlar tekrar hesaplanmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. CA23 noktası sabit alınarak hesaplanan rölatif hızlar.

Şekil 7.2’de verilen rölatif hız haritası incelendiğinde, CA-23 nolu noktanın deformasyon alanının dışında olduğu kabul edilerek noktaların üç blok halinde farklı yönde ve hızda hareketleri tespit edilmiştir.

- 1. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Doğu) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA01, CA02, CA03, CA04, CA05, CA07, CA08, CA09’dur.
- 2. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Kuzey) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA12, CA13, CA14’tür.
- 3. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Güney Doğu) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA10, CA11, CA15’tir.

Birbirlerine yakın mesafede bulunan bu 3 bloktaki noktaların farklı hız ve yönlerdeki hareketleri bölgede lokal deformasyonların gerçekleştiğine işaret etmektedir. Bu bloklarda bulunan noktaların sayısının artırılarak gelecek yıllarda kampanya ölçmelerinin devam ettirilmesi halinde bölgede meydana gelen ve yerleşim alanlarını etkileyen bölgesel deformasyonların daha yüksek doğrulukta elde edilebileceği düşünülmektedir.

2022, 2023 ve 2024 yıllarında yapılan statik ölçme oturumlarında her noktada elde edilen konum bilgisi yatay (Y), düşey (X), yükseklik (Z) olarak belirtilmiştir. Yıllara göre ölçülen değerlerin ortalaması alınarak farklarının matematiksel değerleri mutlak değer içinde kabul edilmiş ve irdelenmiştir.

Buna göre çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın 2022 ve 2023 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki (X) statik ölçme sonuçlarının farkları (X1-X2) cm olarak, 2022 ve 2024 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki statik ölçme sonuçlarının farkları (X1-X3) cm olarak Çizelge 7.2’ de verilmiştir. 2022 ve 2023 yılları arasında noktalar incelendiğinde (X) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 2.858 cm, en küçük 0.516 cm sınırlarında olduğu görülmüştür. 2022 ve 2024 yılları arasında noktalar incelendiğinde (X) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 4.183 cm, en küçük 0.244 cm sınırlarında olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın 2022 ve 2023 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki (Y) statik ölçme sonuçlarının farkları (Y1-Y2) cm olarak, 2022 ve 2024 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki statik ölçme sonuçlarının farkları (Y1-Y3) cm olarak Çizelge 7.3' de verilmiştir. 2022 ve 2023 yılları arasında noktalar incelendiğinde (Y) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 1.268 cm, en küçük fark 0.005 cm sınırlarında olduğu görülmüştür. 2022 ve 2024 yılları arasında noktalar incelendiğinde (Y) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 8.799 cm, en küçük 0.066 cm sınırlarında olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın 2022 ve 2023 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki (Z) statik ölçme sonuçlarının farkları (Z1-Z2) cm olarak, 2022 ve 2024 yıllarında yapılan kampanya ölçümleri sonucundaki statik ölçme sonuçlarının farkları (Z1-Z3) cm olarak Çizelge 7.4' de verilmiştir. 2022 ve 2023 yılları arasında noktalar incelendiğinde (Z) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 4.457 cm, en küçük fark 0.176 cm sınırlarında olduğu görülmüştür. 2022 ve 2024 yılları arasında noktalar incelendiğinde (Z) yönünde statik ölçme oturumları arasındaki ölçü değerlerinin farkları en büyük 9.768 cm, en küçük 0.041 cm sınırlarında olduğu görülmüştür. Çizelge 7.2'de çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (X) statik ölçü farkları verilmiştir.

Çizelge 7.2. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (X) statik ölçü farkları.

	X(2022)	X(2023)	X(2024)	(X1-X2)m	(X1-X3)m	(X1-X2)cm	(X1-X3)cm
CA01	4525159.640	4525159.660	4525159.667	-0.020	-0.027	-2.047	-2.727
CA02	4525005.874	4525005.894	4525005.894	-0.020	-0.020	-1.970	-1.972
CA03	4524627.358	4524627.367	4524627.385	-0.009	-0.027	-0.872	-2.705
CA04	4524316.654	4524316.670	4524316.683	-0.016	-0.029	-1.617	-2.863
CA06	4523360.502	4523360.516	4523360.522	-0.014	-0.020	-1.422	-1.994
CA07	4525262.474	4525262.485	4525262.495	-0.012	-0.022	-1.188	-2.189
CA08	4524242.973	4524242.978	4524242.987	-0.005	-0.014	-0.516	-1.425
CA09	4523368.927	4523368.939	4523368.949	-0.013	-0.022	-1.269	-2.211
CA10	4521978.165	4521978.178	4521978.167	-0.013	-0.002	-1.330	-0.244
CA11	4522316.132	4522316.145	4522316.158	-0.013	-0.026	-1.278	-2.558
CA12	4522229.730	4522229.759	4522229.772	-0.029	-0.042	-2.858	-4.183
CA13	4521778.692	4521778.716	4521778.732	-0.024	-0.039	-2.354	-3.932
CA14	4521353.985	4521353.996	4521354.007	-0.011	-0.022	-1.128	-2.230
CA16	4520653.447	4520653.463	4520653.464	-0.016	-0.017	-1.591	-1.724
CA17	4519165.508	4519165.514	4519165.526	-0.006	-0.018	-0.582	-1.772
CA18	4520870.578	4520870.593	4520870.601	-0.014	-0.022	-1.430	-2.236
CA20	4520425.168	4520425.199	4520425.193	-0.031	-0.025	-3.068	-2.494
CA21	4519902.640	4519902.656	4519902.655	-0.016	-0.016	-1.633	-1.574
CA22	4519891.833	4519891.852	4519891.845	-0.019	-0.013	-1.907	-1.250
CA23	4519349.738	4519349.747	4519349.760	-0.009	-0.022	-0.865	-2.188

Çizelge 7.3’de çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Y) statik ölçü farkları verilmiştir.

Çizelge 7.3. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Y) statik ölçü farkları.

	Y(2022)	Y(2023)	Y(2024)	(Y1-Y2)m	(Y1-Y3)m	(Y1-Y2)cm	(Y1-Y3)cm
CA01	2470582.963	2470582.969	2470582.970	-0.006	-0.007	-0.600	-0.682
CA02	2471533.088	2471533.096	2471533.111	-0.008	-0.024	-0.802	-2.381
CA03	2470596.869	2470596.878	2470596.845	-0.008	0.024	-0.824	2.431
CA04	2470979.919	2470979.921	2470979.929	-0.002	-0.009	-0.198	-0.939
CA06	2470653.254	2470653.257	2470653.263	-0.003	-0.009	-0.307	-0.891
CA07	2472892.139	2472892.143	2472892.150	-0.005	-0.012	-0.462	-1.161
CA08	2472662.501	2472662.514	2472662.589	-0.013	-0.088	-1.268	-8.799
CA09	2472565.910	2472565.911	2472565.912	-0.001	-0.001	-0.085	-0.135
CA10	2472466.329	2472466.321	2472466.334	0.009	-0.005	0.868	-0.499
CA11	2471547.233	2471547.246	2471547.251	-0.012	-0.018	-1.237	-1.769
CA12	2470961.562	2470961.562	2470961.563	0.000	-0.001	-0.005	-0.066
CA13	2470536.507	2470536.504	2470536.521	0.004	-0.013	0.360	-1.345
CA14	2471114.089	2471114.085	2471114.093	0.004	-0.005	0.350	-0.458
CA16	2472788.870	2472788.866	2472788.881	0.004	-0.011	0.421	-1.068
CA17	2473066.959	2473066.959	2473066.967	0.000	-0.008	-0.049	-0.828
CA18	2471930.198	2471930.203	2471930.211	-0.005	-0.013	-0.478	-1.310
CA20	2471124.236	2471124.230	2471124.240	0.006	-0.004	0.571	-0.365
CA21	2469944.792	2469944.786	2469944.796	0.006	-0.003	0.566	-0.345
CA22	2471167.222	2471167.231	2471167.239	-0.009	-0.018	-0.928	-1.759
CA23	2472276.086	2472276.08	2472276.094	0.006	-0.008	0.643	-0.823

Çizelge 7.4’de çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Z) statik ölçü farkları verilmiştir.

Çizelge 7.4. Çalışma alanında yer alan 23 adet noktanın (Z) statik ölçü farkları.

	Z(2022)	Z(2023)	Z(2024)	(Z1-Z2)m	(Z1-Z3)m	(Z1-Z2)cm	(Z1-Z3)cm
CA01	94.896	94.924	94.853	-0.028	0.043	-2.769	4.283
CA02	43.094	43.099	43.092	-0.005	0.002	-0.518	0.200
CA03	107.162	107.207	107.202	-0.045	-0.040	-4.457	-3.983
CA04	58.294	58.322	58.321	-0.028	-0.027	-2.764	-2.658
CA06	148.716	148.723	148.702	-0.007	0.013	-0.710	1.342
CA07	98.324	98.306	98.331	0.017	-0.007	1.723	-0.709
CA08	112.824	112.810	112.726	0.014	0.098	1.449	9.768
CA09	129.252	129.234	129.231	0.018	0.021	1.780	2.115
CA10	92.845	92.842	92.848	0.003	-0.003	0.293	-0.332
CA11	56.534	56.545	56.528	-0.011	0.006	-1.098	0.635
CA12	122.829	122.837	122.816	-0.009	0.012	-0.874	1.220
CA13	182.751	182.784	182.794	-0.032	-0.043	-3.211	-4.289
CA14	92.944	92.946	92.933	-0.002	0.012	-0.176	1.166
CA16	165.168	165.146	165.155	0.022	0.013	2.217	1.327
CA17	287.113	287.092	287.125	0.021	-0.012	2.077	-1.227
CA18	86.942	86.929	86.933	0.014	0.009	1.357	0.874
CA20	133.878	133.874	133.876	0.004	0.001	0.368	0.118
CA21	124.867	124.870	124.867	-0.003	0.000	-0.285	-0.041
CA22	143.924	143.915	143.888	0.008	0.036	0.843	3.552
CA23	226.790	226.799	226.806	-0.009	-0.016	-0.923	-1.590

Yatay, düşey yönde toprak kayması meydana gelen ve önündeki yol üzerinde deformasyonlar tespit edilen Yalova Eğitim ve Araştırma Hastanesi bölgesine çok yakın ve heyelan tehlikesinden dolayı imara açılması yasak bölgelerin çevresinde bulunan CA07-CA08-CA09 noktalarına ait zaman serileri ve koordinat değişimleri incelenmiştir. Bölge de daha önceden görülen lokal heyelanlar ile ölçü sonuçlarımızın uyum halinde olduğu gözlenmiştir. Yapılabilecek ek kampanya ölçüleri dâhilinde bölge hakkında daha net bilgilere ulaşılabileceği düşünülmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yapılan araştırma faaliyetleri bulgu ve sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.

Çalışmada Hacımehmet Ovasına ait deformasyonun jeodezik ölçmelerle yüksek duyarlılık olarak belirlenmesi hedeflenmiş ve bu alanda 23 adet yeni yer noktası tesis edilmiştir. Kurulan ağ üzerinde 2022-2024 yılları arasında 3 kampanya olarak GNSS ölçüleri yapılmıştır. Bölgede 2019 yılından beri işletilen bir adet TUSAGA-Aktif (YLOV) istasyonu ağa dâhil edilmiştir. Tesis edilen ağda 2022-2024 yılları arasında gerçekleştirilen 3 kampanya GNSS ölçüsü GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda;

- Güncel hız alanı elde edilmiştir.
- Güncel hızlar ülkenin genel plaka hareketi ile uyumludur.
- Elde edilen hız alanı (Şekil 6.10) incelendiğinde çalışma bölgesinin B-GB yönünde 17-21 mm/yıl hızla hareket ettiği görülmektedir. Ayrıca bölgede CA07, CA08 ve CA09 olarak isimlendirilen noktaların genel hareketi, çevresi bölgeyle uyumlu olsa da eksik kampanya ölçmesi bulunmamasına rağmen standart sapmalarının yüksek olması sonucunda hata elipslerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna ağdaki kampanya ölçü süresinin kısa olması, tesis edilen noktalardan bazılarının tahrip olmasından dolayı kampanya sayılarının eksik olması, statik ölçü süresinin kısa olması ve merkezleştirme hatalarının neden olduğu düşünülmektedir.
- Bu tez çalışması kapsamında çalışma bölgesinin gerinim alanları hesaplanmaya çalışılmıştır ancak noktaların birbirine çok yakın mesafede bulunmaları benzer hız değerleri elde edilmesi sonucunda bölgede istatistiksel olarak anlamlı bir gerinim haritası üretilmemiştir.
- Bölgede potansiyel deprem tehlikesi dışında bir diğer afette heyelandır. Yalova ve çevresinde çok sayıda heyelan oluşumu da gerçekleşmiş ve bazı alanlarda ciddi zemin çökmeleri ve kaymalar meydana gelmiş ve gelmektedir. Heyelan ve zemin çökmelerinin sıklıkla meydana geldiği bölgelerde rölatif hızlar hesaplanmıştır (Şekil 7.2).

- CA14 noktası sabit alınarak rölatif hızlar incelendiğinde birbirlerine yakın olan CA12-CA13-CA14 nolu noktalarda hız farklarının sıfıra yakın çıktığı görülmekteyken görece aynı uzaklıkta olan CA-10, CA-11, CA-15, CA-16 ve CA-18 nolu noktalar ile arasında ciddi hız farkları olduğu görülmektedir.
- CA-23 noktası sabit alınarak diğer noktalara ait rölatif hızlar incelendiğinde ise noktaların üç blok halinde farklı yönde ve hızda hareketleri tespit edilmiştir.
 - 1. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Doğu) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA01, CA02, CA03, CA04, CA05, CA07, CA08, CA09'dur.
 - 2. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Kuzey) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA12, CA13, CA14'tür.
 - 3. Bloktaki noktalara bakıldığında hepsinin benzer hızlarla aynı yönde (Güney Doğu) hareket ettiği görülmektedir. Bu bloktaki noktalar CA10, CA11, CA15'tir. Birbirlerine yakın mesafede bulunan bu 3 bloktaki noktaların farklı hız ve yönlerdeki hareketleri bölgede lokal deformasyonların gerçekleştiğine işaret etmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Bölgede kurulan ağda tesis edilen noktaların sonuçlarının iyileştirilmesi ve GNSS ölçülerine devam edilmelidir.
- Bölgede sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının sıklaştırılması ile çevrimiçi izleme ağları, kampanya ağları ile desteklenmelidir.
- Bölgede bazı noktalarda lokal deformasyonların meydana gelebileceği düşünülmektedir yapılacak ek kampanya ölçüleri ve ağda yapılacak iyileştirilme ile bölge ayrıntılı incelenmelidir.
- Bölgede oluşabilecek lokal deformasyon tehlikesine karşı gelecekte yapılacak mühendislik yapılarında bölge önceden ayrıntılı incelenerek gerekli önlem ve tedbirler alınmalıdır.
- Heyelan tehlikesine karşı bölgede yapılan betonarme yapılarda aşırı yük yüklenmemesine dikkat edilmelidir.

- Bölge KAF hattına yakın ve alüvyon toprak yapısından kaynaklı olarak meydana gelebilecek bir depremde bölgenin heyelan riskini tetikleyeceği için bu kapsamda gerekli önlemler alınmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akçın, H., 1998. GPS ölçülerinden pratik yüksekliklerin elde edilmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aladoğan, K., 2017. Kuzey anadolu fayı Bolu-Çorum segmenti boyunca yer kabuğu hareketlerinin GNSS yöntemiyle izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Alçay, S., 2014. Beton kemer barajlardaki deformasyonların jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmesi ve Ermenek barajı örneği, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Atasoy V., ve Öztürk E., 2005. Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve sonuçların yorumu, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 50, 51, 27-40.
- Aydın, Ö., 2004. GPS Tekniği, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bak, M., 2024. Web tabanlı açık kaynak kodlu bir platform geliştirilerek jeodezik çalışmalarla kabuk deformasyonlarının statik modellerle belirlenmesinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ballyyev, Y., 2023. Orhangazi ve gemlik faylarının kinematiki ve sismotektoniki, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale.
- Bilgen, B., 2017. GNSS tekniği ile yatay yöndeki deformasyonların araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bilgen, B., 2022. Gns ölçmeleri ile deformasyon analizi amaçlı yazılım geliştirme, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Civcık E., 2024. Konya ili merkez yerleşim alanındaki düşey yönlü değişimlerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Çelik, R. N., Acar, M., Kaplan, M. O. ve Ayan, T., 2005. Benefits of using geodetic approaches for determining earthquake damages on large structures, International symposium “Modern Technologies, Education and Professional Practice In Geodesy and Related Fields” 3-4, November, Sofia.
- Demirci, C. K., 2023. Güven elipsoidleri ile deformasyon analizi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Denli, H. H., 1998. GPS ile Marmara Bölgesindeki yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Deveci, B., 2006. Kadastral ölçmelerde gerçek zamanlı GPS (RTK GPS) yöntemi ile elektronik ölçme yönteminin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, O., 2021. Denizli bölgesinin gerinim alanlarının jeodezik yöntemlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Doğanalp, S., 2005, Kinematik modelde kalman filtreleme yöntemi ile deformasyon analizi, Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dönmez, E., 2018. Gediz fayı yerkabuğu hareketlerinin GNSS gözlemleri ile izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Dunnicliff, J., 1993. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley & Sons, 89, Washington.
- Eckl, M. C., Snay R., Soler T., Cline, M. W. ve Mader, G. L., 2001. Accuracy of GPS derived relative positions as a function of interstation distance and observing session duration, Journal of Geodesy, 75, 12, 633-640.
- Erol, S., Erol, B. ve Ayan, T., 2004. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: Analysing deformations using GPS/levelling, XXth ISPRS Congress, 7, 5, 12.
- Eyübagil E. E., 2020. Gnss ölçüleri ile tektonik hareketlerin modellenmesi: Gülbahçe fayı örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Feigl, K. L., King, R. W. ve Jordan, T. H., 1990. Geodetic measurement of tectonic deformation in the Santa Maria Fold and Thrust Belt, California, Journal of Geophysical Research, 95, B3, 2679-2699.
- Gezgin C., 2020. Gnss ve Insar teknikleri ile tuz gölü fay zonu'nun (tgfz) kinematik analizi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Görmüş, K. S., 2011. Kuzey anadolu fayı ismetpaşa segmentindeki krip hızı değişiminin izlenmesi, Doktora Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Ens., Zonguldak.
- Gökalp, E. ve Boz, Y., 2006. Avrupa'nın global navigasyon uydu sistemi: GALILEO, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 94, 5-10.
- Gümüş, M., 2010. Yersel lazer tarayıcıların deformasyon ölçmelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Güvenaltın M. A., 2021. İzmit körfezindeki kabuk deformasyonlarının farklı GNSS teknikleri ile izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Hoşbaş, R. G., 2020. Deformasyon Ölçmeleri Ders Notları, YTÜ, İstanbul.
- İnal, C., 2014, Deformasyon ölçülerinin analizi, Basılmamış Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İRAP., 2022. İl afet ve risk azaltma planı, T.C Yalova Valiliği İl Acil Durum ve Afet Müdürlüğü, 53, Yalova.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2022. GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri teori-uygulama, Nobel, 11. Baskı, Ankara, Türkiye.
- Kahraman, K. M., 2015. Kinematik ölçü yöntemlerinden Klasik RTK İle Ağ-RTK (CORS-TR) yönteminin konum doğruluğu açısından test edilmesi: Sayısal İşletme Projelerinde Uygulanmaları Kaan Mithat Uzmanlık Tezi, İller Bankası Genel Müdürlüğü.
- Kalkan, Y., 2014. Baraj emniyeti ve deformasyon izleme çalışmaları Atatürk Barajı Örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 3, 40-50.
- Koca. B., 2019. GNSS sistemlerindeki güncel durum ve son gelişmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Koca, B. ve Ceylan, A., 2018. Uydu konum belirleme sistemlerindeki (GNSS) güncel durumu, Geomatik Dergisi, 3, 1, 63-73.
- King, R. W. ve Bock, Y., 2000. Documentation for the GAMIT GPS analysis software, Program Manuel, MIT, Cambridge.
- Jing, C., Huang, G., Zhang, Q., Li, X., Bai, Z. ve Du, Y., 2022. GNSS/Accelerometer adaptive coupled landslide deformation monitoring technology, Remote Sensing, 14, 15, 3537.
- Oğuz D. Ş., 2023. Kıyı Bölgelerde Klasik-RTK ve Ağ-RTK ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Öcalan, T. ve Soycan, M., 2011. GNSS verisinin gerçek zamanlı iletimi için uluslararası standartlar ve gelişmeler. HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Özel Sayı, 2, 104, 123-133.
- Poyraz F., 2009. Kuzey anadolu fay zonu doğu kesiminde yatay yer kabuğu hareketleri ve gerilme birikiminin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pırtı, A., Gündoğan, Z. Ö. ve Şimşek, M., 2022. QZSS uyduları ve sinyal yapıları. Geomatik Dergisi, 7, 3, 243-252.

- Taş, Z., ve Coruk, Ö., 2024. Mantıksal regresyon, Frekans oranı ve ArcGIS pro suitability model ile Yalova-Çınarcık bölgesinin heyelan duyarlılık analizi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12, 2024, 185-198.
- Tekdal, E., 2007. Deprem sonrasında meydana gelen deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Gülal, E. ve Erdoğan, S., 2010. Tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik ölçü kampanyalarında GNSS gözlem sayı ve sürelerinin konum doğruluğuna olan etkilerinin araştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergi, 1, 32-38.
- Tiryakioğlu İ., 2012. GNSS ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerilim alanlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türk G., 2024. Gnsş ölçüleri ile Çivril graben sistemindeki tektonik hareketlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Uysal, A., 2012. Alibey Barajı'nda düşey yöndeki hareketlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstün A. Ç., 2023. Ankara Büyükşehir Belediyesi gerçek zamanlı sabit GNSS ağıının doğruluk ve performans analizi üzerine araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Welsch, W. M. ve Heunecke, O., 2001. Models and Terminology For the Analysis of Geodetic Monitoring Observations-Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6-1. The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements. Orange, California, USA.
- Yalçın, M., 2019. Bolvadin fayı yüzey deformasyonlarının hassas nivelman ölçüleri ile izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Yıldırım A. F., 2007. Mühendislik yapılarının deformasyon analizinde GPS ölçülerinin kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yozgatlı H. H., 2016. TUSAGA-aktif Sistemi, Sistemin harita sektöründeki yeri ve önemi, sistemin sürdürülebilirliği açısından alınacak tedbir ve önlemler, Müfettiş Yardımcılığı Yetiştirme Programı Araştırma Çalışması, Ankara.
- Zarraoa, N., Mai, W., ve Jungstand, A., 1997. Das Russische Satellitengestützte Navigationssystem GLONASS, ZfV, 9, 425-432.
- Wells, D., Beck, N., Delikaraoğlu, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., G. Lachapelle, G., Langey, R. B., Nakiboğlu, M., Schwarz, K. P., Tranquilla, J.

M. ve Vanicek, P., 1987. Guide to GPS positioning, Second Edition, Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada.

URL-1 < <https://www.gps.gov/systems/gnss/>>, Erişim tarihi: 04.07.2024.

URL-2<https://gssc.esa.int/navipedia//index.php/GLONASS_General_Introduction>, Erişim tarihi:13.07. 2024.

URL-3 < https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/>, Erişim tarihi: 14.07. 2024.

URL-4 < <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/glonass>>, Erişim tarihi: 15.07.2024.

URL5<https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/What_is_Galileo>, Erişim tarihi: 18.07.2024.

URL-6 < https://gssc.esa.int/navipedia//index.php/NAVIC#IRNSS_Architecture>, Erişim tarihi: 16.09.2024.

URL-7 < <https://gssc.esa.int/navipedia//index.php/QZSS>>, Erişim tarihi: 16.09.2024.

URL-8 < <https://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.jpg>>, Erişim tarihi: 17.09.2024.

URL-9 <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=File:GPSGroundSegment.png>>, Erişim tarihi: 10.08.2024.

URL-10 < <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/gps>>, Erişim tarihi: 25.09.2024.

URL-11 < <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>>, Erişim tarihi: 25.09.2024.

URL-12 < https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/TD92_54dda4b1ba34c6f_ek.pdf>, Erişim tarihi: 23.09.2024.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Cansu UYSAL

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Gümüşhane Üniversite, Harita Mühendisliği Bölümü, 2009-2013.

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022-2024.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Artu Harita / Harita Mühendisi
2. Ateş Harita / Harita Mühendisi
3. Asbey Harita / Harita Mühendisi
4. MEB / Harita Tapu Kadastro Öğretmeni

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Uysal, C. ve Yurt, K., 2023. GNSS ölçüleri ile Yalova Hacımehmet Ovası tektonik hareketlerin izlenmesi, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) XXII. Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 105-106.