

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TRABZON MAREOGRAF İSTASYONU ÇEVRESİNDE YER KABUĞU
HAREKETLERİNİN JEODEZİK AÇIDAN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisi Nilüfer DEMİRSOY

MAYIS 2021
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TRABZON MAREOGRAF İSTASYONU ÇEVRESİNDE YER KABUĞU
HAREKETLERİNİN JEODEZİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

Nilüfer DEMİRSOY

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.04.2021
Tezin Savunma Tarihi : 10.05.2021**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nazan YILMAZ

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

“Trabzon Mareograf İstasyonu Çevresinde Yer kabuğu Hareketlerinin Jeodezik Açıdan İncelenmesi” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma süresince görüş ve önerilerinden yararlandığım aynı zamanda tez danışmanlığımı üstlenerek bana her konuda yardımcı olan çok değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Nazan YILMAZ’a şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın ilerlemesinde değerli yardımlarını gördüğüm Dr. Öğr. Üyesi Berkant KONAKOĞLU’na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın veri elde edilmesi ve değerlendirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Fatih KADI’ya, Harita Müh. Ayşe DİVİT KADI’ya, Harita Müh. Orçun DEĞERMENCİ’ye, Mimar Sevde DİNÇER’e, Harita ve İnşaat Müh. Yunus TOPÇU’ya ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam kapsamında arazi çalışmalarını yapmama izin veren Trabzon Liman Başkanlığı’na teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, tüm hayatım boyunca destek ve sevgileriyle hep yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nilüfer DEMİRSOY
Trabzon, 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisan Tezi olarak sunduğum “Trabzon Mareograf İstasyonu Çevresinde Yer kabuğu Hareketlerinin Jeodezik Açıdan İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Nazan YILMAZ’ ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/05/2021

Nilüfer DEMİRSOY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	3
1.3. Problemin Tanımı	4
1.4. Metodoloji.....	4
1.5. Düşey Datum ve Jeoid	5
1.6. Deniz Seviyesi Ölçmeleri	7
1.7. Deniz Seviyesinin Belirlenmesi.....	7
1.7.1. Yapay Uydu Teknikleri ile Deniz Seviyesinin Belirlenmesi.....	7
1.7.2. Mareograf İstasyonları ile Deniz Seviyesinin Belirlenmesi	8
1.8. Ortalama Deniz Seviyesi	9
1.9. Mareograf İstasyonlarında Yapılan Jeodezik Kontroller.....	9
1.10. Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES).....	10
1.11. Fay Hareketleri	12
1.11.1. Türkiye'deki Tektonik Hareketler	13
1.11.2. Doğu Karadeniz Bölgesi' nin Aktif Fayları.....	15
1.12. Yükseklik Belirleme Yöntemleri.....	15
1.12.1. Geometrik Nivelman Yöntemi	16
1.12.2. Hassas (Prezisyasyonlu) Nivelman Yöntemi.....	17
1.12.3. Trigonometrik Nivelman	18
1.12.4. Barometrik Nivelman	19
1.12.5. Hidrostatik Nivelman.....	19

1.12.6.	Nivelmana Etki Eden Hatalar	19
1.12.6.1.	Alet ve Donanımdan Kaynaklanan Hatalar	20
1.12.6.2.	Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar ve Diğer Hatalar	20
1.13.	GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri	21
1.13.1.	Statik GNSS Ölçme Yöntemi	21
1.13.2.	Hızlı Statik GNSS Ölçme Yöntemi	22
1.13.3.	Kinematik GNSS Ölçme Yöntemleri	22
1.13.4.	DGPS (Diferansiyel GPS) Ölçü Yöntemi	23
1.13.5.	Gerçek Zamanlı GNSS Ölçme Yöntemi	23
1.13.6.	GNSS'e Etki Eden Hatalar	24
1.13.6.1.	Sistematik Hatalar.....	24
1.13.6.2.	Sistematik Olmayan Hatalar	25
1.14.	Jeodezik Ağlarda Serbest Dengelenme ve Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi.....	25
1.14.1.	Dengeleme Matematiksel Modeli.....	25
1.14.2.	Tüm İz Minimum Yöntemi ile Serbest Dengeleme.....	27
1.14.3.	Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi.....	28
1.15.	Deformasyon Modelleri.....	30
1.15.1.	Θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi	31
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	36
2.1.	Çalışma Alanı Özellikleri	36
2.2.	Çalışma Alanının Tektonik Yapısı	37
2.3.	Nivelman Ağının Kuruluşu.....	37
2.4.	Nivelman Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi	40
2.5.	Nivelman Ağında Deformasyon Analizi	40
2.6.	GNSS Ağının Kuruluşu	41
2.7.	GNSS Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi	43
2.8.	GNSS Ağında Deformasyon Analizi.....	46
3.	BULGULAR VE İRDELEME	48
3.1.	Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları	48
3.1.1.	I. Periyot Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları	48
3.1.2.	II. Periyot Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları	50
3.2.	Nivelman Ağı Deformasyon Analizi Sonuçları.....	52
3.3.	GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları.....	52
3.3.1.	I. Periyot GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları	53

3.3.2.	II. Periyot GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları.....	54
3.4.	GNSS Ağı Deformasyon Analizi Sonuçları	56
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
5.	KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TRABZON MAREOGRAF İSTASYONU ÇEVRESİNDE YER KABUĞU
HAREKETLERİNİN JEODEZİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Nilüfer DEMİRİSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Nazan YILMAZ
2021, 64 Sayfa

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte deformasyon ölçmelerine duyulan önem artmaktadır. Bu çalışmada, Trabzon liman sahası içerisinde bulunan TRBZ adlı mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanına jeodezik nivelman ve GNSS ağı kurulmuştur. Kurulan bu ağlarda Haziran 2020 (I. Periyot), Ekim 2020 (II. Periyot) olmak üzere iki periyotta hassas nivelman ve statik GNSS ölçüsü yapılmıştır. Araziden elde edilen veriler serbest ağ yöntemine göre dengelenmiştir. Her iki periyotta da t-dağılımlı uyuşumsuz ölçüler testi uygulanmış ve tek bir güzergah için uyuşumsuz ölçüye rastlanmıştır. Bulunan uyuşumsuz ölçüler çıkarılarak dengelemeye devam edilmiştir. İki periyot arasında ağda hareket oluşup oluşmadığı statik deformasyon modeli yöntemlerinden Θ^2 -ölçütü yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Farklı periyotlar arasında mareograf istasyonu ve çevresinde oluşabilecek hareketler belirlenerek, deformasyonun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemlerle ilgili hesaplamalar MATLAB program kodları kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurulan ağlarda geçen süre içerisinde deformasyon gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Mareograf, Deformasyon, Dengeleme, Statik Analiz, Θ^2 -ölçütü.

Master Thesis

SUMMARY

GEODETIC INVESTIGATION OF EARTH CRUST MOVEMENTS AROUND
TRABZON MAREOGRAPH STATION

Nilüfer DEMİRSOY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatic Engineer Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Nazan YILMAZ
2021, 64 Pages

Nowadays, with the rapid development of technology, the importance of deformation measurement is increasing. In this study, it was aimed to examine the earth's crust movements in and around the mareograph station named TRBZ located in Trabzon harbor area. For this purpose, a geodetic leveling and GNSS network was established in the study area. In these networks, precise leveling and static GNSS measurements were made in two periods, June 2020 (1st Period) and October 2020 (2nd Period). The data obtained from the field are balanced according to the free network balancing method. In both periods, the t-distributed mismatch test was applied and a mismatch measure was found for a single route. Equilibration was continued by removing the inconsistent measurements found. Whether there was any movement in the network between two periods was investigated by using the Θ^2 -criterion method, one of the static deformation model methods. Movements that may occur in and around the mareograph station between different periods were determined and the presence of deformation was examined. The calculations regarding the methods applied within the scope of the study were made using MATLAB program codes. As a result of the studies, no deformation was observed in the time passed in the established networks.

Key Words: Mareograph, Deformation, Balancing, Static Analysis, Θ^2 -criterion.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Düşey datum ile jeoid arasındaki ilişki 6
Şekil 2.	Uydu altimetresi ile deniz seviyesi ölçmeleri 8
Şekil 3.	Mareograf istasyonlarında sistemin yapısı ve ölçüm prensibi 8
Şekil 4.	Mareograf istasyonu konumunun jeodezik yöntemlerle belirlenmesi 10
Şekil 5.	TUDES mareograf istasyonları 11
Şekil 6.	Antalya mareograf istasyonu ve istasyonlarda yapılan ölçüler 12
Şekil 7.	Fay çeşitleri 12
Şekil 8.	Horst ve graben örnekleri 13
Şekil 9.	Türkiye'nin tektonik yapısı 14
Şekil 10.	Geometrik nivelman yöntemi 16
Şekil 11.	Hassas (prezisyonlu) nivelman yöntemi 17
Şekil 12.	Kinematik ölçü yöntemi 23
Şekil 13.	Trabzon limanı 36
Şekil 14.	Trabzon mareograf istasyonu 37
Şekil 15.	Nivelman ağı Rs noktaları 38
Şekil 16.	Nivelman ağı test noktaları 38
Şekil 17.	Nivelman ağı noktaları 39
Şekil 18.	Nivelman ağı 39
Şekil 19.	GNSS ağı referans noktaları 41
Şekil 20.	GNSS ağı obje noktaları 42
Şekil 21.	GNSS ağı noktaları 42
Şekil 22.	GNSS ağı 43
Şekil 23.	Magnet Tools v5.1 programına ait ekran görüntüsü 44
Şekil 24.	GNSS ağına ait ölçüm verilerinin ekran görüntüsü 44
Şekil 25.	Magnet Tools report configuration ekran görüntüsü 45
Şekil 26.	Magnet Tools GPS observations report options ekran görüntüsü 45
Şekil 27.	GPS observations tablosu ekran görüntüsü 46
Şekil 28.	I. periyot dengelenmiş kesin yükseklik değerleri 49
Şekil 29.	I. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hataları 49
Şekil 30.	II. periyot dengelenmiş kesin yükseklik değerleri 50

Şekil 31.	II. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hataları.....	51
Şekil 32.	Nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları.....	54
Şekil 33.	Nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları.....	55



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Uyuşumsuz ölçü testleri özet tablosu	28
Tablo 2. Deformasyon modellerinin karşılaştırılması	30
Tablo 3. Nivelman ağı uyuşumsuz ölçüler testi	48
Tablo 4. I. periyot dengelenmiş kesin yükseklikler	48
Tablo 5. I. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hatası	49
Tablo 6. II. periyot dengelenmiş kesin yükseklikler	50
Tablo 7. II. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hatası	51
Tablo 8. Nivelman ağı Θ^2 -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi değerleri	52
Tablo 9. GNSS ağı uyuşumsuz ölçüler testi sonuçları	53
Tablo 10. I. periyot dengelenmiş koordinatlar	53
Tablo 11. I. periyot GNSS ağı nokta koordinatları ve nokta konumunun ortalama hataları	53
Tablo 12. II. periyot dengelenmiş koordinatlar	54
Tablo 13. II. periyot GNSS ağı nokta koordinatları ve nokta konumunun ortalama hataları	55
Tablo 14. GNSS ağı Θ^2 -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi değerleri	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Semboller

A	: Katsayılar Matrisi
d	: Deformasyon Fark Vektörü
dN	: Deformasyon Büyüklükleri
D	: Datum Noktası
H ₀	: Sıfır Hipotezi
K _{ll}	: Ölçülerin Varyans-Kovaryans Matrisi
l	: Ölçüler Vektörü
m _i	: Ölçülerin Ortalama Hatası
mh _i	: Bilinmeyenlerin Ortalama Hatası
m _h	: Yüksekliklerin Karesel Ortalama Hatası
mp _i	: Nokta Konumunun Ortalama Hatası
(m _x , m _y , m _z)	: Nokta Koordinatlarının Ortalama Hatası
N	: Datum Dönüşümüne Katılmayan Noktalar
n	: Ölçü Sayısı
P _D	: Ağda Hareketsiz Kalan Noktalar
P _N	: Hareketsiz Olduğu Tespit Edilen Noktalar
P _{dd}	: Ağırlık Matrisi
P _{ll}	: Ölçülerin Ağırlık Matrisi
Q _{dd}	: d Fark Vektörüne Ait Kovaryans Matrisi
Q _{ll}	: Ölçülerin Ters Ağırlık Matrisi
Q _{xx}	: Bilinmeyenlerin Ters Ağırlık Matrisi
(Q _{xx1} , Q _{xx2})	: GNSS Varyans-Kovaryans Matrisi
q	: F-Tablo Değeri
S ₀ ²	: Birim Ölçünün Öncül Varyansı
S _i	: km cinsinden geçki uzunluğu
t ₀	: Başlangıç Periyodu
t ₁	: Bitiş Periyodu
T	: Eşdeğerlik Testinin Test Büyüklüğü
u	: Bilinmeyen Sayısı

v	: Düzeltmeler Vektörü
(v_1, v_2)	: Düzeltmelerin Kareleri Toplamı
x	: Bilinmeyenler Vektörü
x_1, x_2	: Dengeli Koordinatlar Vektörü
(X, Y, Z)	: GNSS Dengeli Koordinatları
ΔH_i	: Yükseklik Farkı
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: GNSS Baz Bileşenleri

Kısaltmalar

DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DGPS	: Diferansiyel Global Positioning System
GNSS	: Global Navigation Satellite System
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
Mw	: Moment Büyüklüğü
TUDES	: Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
TUDKA	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
WGS-84	: World Geodetic System 1984
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
RTK	: Real Time Kinematic

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bugün gelişen teknolojiyle birlikte deformasyon ölçmelerine duyulan önem artmaktadır. Doğal ya da yapay yapılarının dış etkenler sonucunda şekil ve konum değişikliğini ölçme işlemlerine deformasyon ölçmeleri denir. Yeryüzünde yaşanan doğal ortamda ya da insanlar tarafından yapılan mühendislik yapılarında zamanla oluşabilecek geometrik değişimlerin sonucu, insan yaşamı ve güvenliği ile yakından ilişkilidir. Deformasyon ölçümleri, mühendislik ölçümlerinin en önemli faaliyetlerinden biridir. Nüfusun yoğun olduğu yerleşim bölgelerinde baraj, köprü, viyadük ve gökdelen gibi mühendislik yapıları yapılmıştır. Böylelikle deformasyon ölçümlerinin önemi artmıştır. Bu tür mühendislik binaları, tektonik hareketler, heyelanlar, yer altı suyu seviyesindeki değişiklikler gibi farklı değişim faktörleri nedeniyle deformasyona maruz kalmaktadır (Taşçı, 2008). Depremlerin önceden kestirilebilmesi, kıta hareketlerinin belirlenebilmesi, büyük mühendislik yapılarının (köprü, baraj, viyadük, tünel, yüksek katlı yapılar, tarihi ve sanat yapıları vd.) bünyesinde zamanla oluşabilecek geometrik değişimlerin izlenmesi ve önceden tedbir alınabilmesi amacıyla deformasyon ölçmeleri yapılmaktadır.

Jeodezik deformasyon ölçümleri, kabuksal gerilmelerin hesaplanmasında, depremlerin odak mekanizmalarının tersine çevrilmesi ve anlaşılmasında, plaka hareketlerinin tahmin edilmesinde, faylar ve heyelanlar boyunca göreceli hareketin izlenmesinde ve volkanik magma akışı nedeniyle yer değiştirmelerin tespit edilmesinde önemli olmuştur (Xu vd., 2005). Mühendislik yapılarının davranışını analiz etmek, jeodezi alanındaki en önemli görevlerden biri olarak kabul edilir. Yer değiştirmelerin yanlış analizinin ölümcül etkileri olabilir (Banimostafavi vd., 2020). Jeodezik izleme, mühendislik jeodezisinin temel görevlerinden biridir ve amacı, geometrik değişikliklerin istatistiksel olarak doğrulanmış bir tanımlamasını ve nicelendirmesini gerçekleştirmektir (Frangez vd., 2020). Deformasyonu belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntem jeodezik izleme ağı yöntemi denir. İzleme ağı, hareketli alan üzerinde oluşturulan deformasyon kontrol noktalarından (obje noktaları) ve sabit alan dışında oluşturulan kontrol noktalarından oluşur. Ölçümler, izleme ağına periyodik aralıklarla gerçekleştirilir (Tanır Kayıkçı ve Yalçınkaya, 2015). Mühendislik yapıları, teknik koşullarının izlenmesini

ve tahmin edilmesini gerektirir. Bu amaçla, özel sensörler ve detektörler kullanılarak inşa edilenler gibi çeşitli sistemler ve ölçüm teknikleri kullanılır (Meo ve Zumpano, 2005). İzlenen yapı seçilen noktaların konumlarının doğru belirlenmesi için kullanılan jeodezik yöntemler, diğerleri arasında binaların, köprülerin ve barajların stabilite izlenmesinde önemli bir role sahiptir. Jeodezik izleme, çeşitli teknikler ve ölçüm yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. En yaygın olanları küresel navigasyon uydu sistemleri, fotogrametri ve uzaktan algılamanın yanı sıra lazer taramadır. Bununla birlikte, klasik jeodezik kontrol ağları (Baselga vd., 2015; Pingue vd. 2011), jeodezik yöntemlerin kullanımıyla mühendislik yapılarının deformasyon analizinde hala temel bir rol oynamaktadır. Yapısal deformasyon daha sonra bu ağ içindeki noktaların konumlandırılmalarının (yer değiştirmelerinin) zaman içindeki değişiklikleri temelinde belirlenir. Bu tür değişiklikler, periyodik ölçümler (ölçüm dönemleri) temelinde belirlenir (Wisniewski ve Kaminski, 2020).

Deformasyon çalışmalarının yapılabilmesi için birçok jeodezik ve jeodezik olmayan yöntem bulunmaktadır. Yatay ve düşey yöndeki deformasyonların izlenebilmesi amacıyla deformasyon çalışmaları için oluşturulmuş kontrol noktalarında (ağlarında) periyodik bir şekilde yapılan klasik hassas nivelman ya da GNSS ölçüleri ile bunların değerlendirilmesi ve analize dayanan yöntemlere jeodezik yöntemler denir.

Kabuk hareketleri çok yavaş olduğu için uzun vadede periyodik gözlemlerin yapılması gerekir. Ek olarak, bu tür gözlemlerin yüksek hassasiyetle yapılması gerekir. Bunun için hassas nivelman yöntemi tercih edilebilir. Hassas nivelman verilerinden, düşey yer kabuğu hareketleri statik ve kinematik modeller kullanılarak belirlenebilir (Yalçınkaya, 2003).

Yer altı su seviyesi değişimleri, gerilme, sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri, deformasyona neden olan yük değişimleri ya da yapıda ve çevresinde oluşan deformasyonların bazı özel donanım ve yöntemlerle ölçülmesi işlemine jeodezik olmayan yöntemler denir (Kalkan ve Alkan, 2005).

Deformasyonların belirlenmesi amacıyla genellikle jeodezik kontrol ağları kurulur ve ağda çeşitli periyotlarda yapılan ölçülerin değerlendirilmesiyle elde edilen nokta koordinatları kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilir. Günümüzde, jeodezik kontrol ağlarında deformasyon belirlenmesinde yatay ve düşey doğrultu için genellikle GNSS, yalnızca düşey doğrultu için genellikle hassas nivelman yöntemiyle yapılan ölçüler kullanılmaktadır. Farklı zaman periyotlarında yapılan ölçüler deformasyon modelleriyle

test edilerek geçen zaman içinde deformasyon olup olmadığı araştırılmaktadır (Ulukavak, 2010).

Hem deprem kuşağı bölgesinde olması hem de dış etkenlere bağlı sebeplerle Türkiye’ de yer değiştirmelerin sürekli izlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Mareograf istasyonları, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında bulunan deniz seviyesi ve seviye değişimlerine etki eden meteorolojik parametreleri sayısal ve otomatik olarak periyodik sürelerde ölçerek kaydeden istasyonlardır. TUDES istasyonları ile kıyılardaki uzun dönemli deniz seviyesi değişimleri takip edilerek, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) için referans yüzey belirleme çalışmaları ile Türkiye için oluşturulacak jeoid modelleri çalışmalarına ve yükseklik belirleme çalışmalarına katkı sağlamaktadır. Bilimsel çalışmalar açısından son derece büyük öneme sahip mareograf istasyonları ve çevresinde meydana gelebilecek yer kabuğu hareketlerinin önceden belirlenebilmesi bu çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliği açısından yapılması gerekli çalışmalardır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Trabzon deniz limanı sahası içerisinde bulunan mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketlerinin jeodezik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır.

Türkiye deprem kuşağında bulunan ve aktif tektonik levhalara sahip olan bir ülkedir. Bu yüzden Türkiye’ de yer kabuğu hareketlerinin sürekli izlenmesi gerekli çalışmalardan biridir. Mareograf istasyonları da Türkiye’ nin kıyılarına dağılmış vaziyette olup deniz yüzeyi ile yeryüzündeki sabit bir nokta arasındaki bağıl yükseklik farkını ölçme işlemini yapmaktadır. Trabzon mareograf istasyonunun da, Doğu Karadeniz bölgesi’ nde bulunması Kuzey Anadolu fay hattının kuzeyinde kalan aktif faylara paralel şekilde olduğu bilinmektedir. Aktif faylara çok yakın mesafede bulunan Trabzon mareograf istasyonu için bölgede sürekli olarak yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Harita Genel Müdürlüğü tarafından, kıyılardaki uzun dönemli deniz seviyesi değişimleri mareograf istasyonları yardımı ile izlenir. Deniz seviyesi ölçüleri önemli bir veri olmasının yanı sıra kullanım alanı da oldukça yaygındır. Bu ölçüler jeodezi alanında yükseklik sistemleri için düşey datum belirleme çalışmalarında ve düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde kullanılır. Mareograf istasyonları deniz seviyesini ölçerken yüksek hassasiyetle ve doğrulukla çalışmalarını yapması jeodezi alanı için büyük öneme

sahiptir. Yeryüzünde bir noktanın ortometrik yüksekliğini mm hassasiyetinde belirlerken sıfır yükselteli deniz seviyesi baz alınır. Tüm bu alanlarda doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşılabilmesi için mareograf istasyonunun herhangi bir yer kabuğu hareketinden etkilenmemesi oldukça önemlidir. Ayrıca mareograf istasyonu çevresinde, yumuşak zeminli bölgelerde zamanla oluşabilecek yer kabuğu hareketlerinin belirli periyotlar arasında düzenli ve tekrarlı hassas nivelman ve GNSS ölçüleri ile kontrol edilmesi gelecekte yapılacak olan bilimsel çalışmalara da katkı sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında Trabzon liman sahasında bulunan nirengi noktalarının koordinat değerleri Trabzon Bölge Müdürlüğü İller Bankasından, RS nivelman noktalarına ait yükseklik değerleri Trabzon Büyükşehir Belediyesi ve Harita Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışma alanında kurulan GNSS ve nivelman jeodezik kontrol ağları ile iki farklı periyotta yapılan ölçümler sonucunda deformasyon analizi yapılması amaçlanmıştır. Farklı periyotlar arasında oluşabilecek yatay ve düşey yönlü hareketler belirlenerek, mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketleri araştırılacaktır.

1.3. Problemin Tanımı

Türkiye' nin aktif tektonik levhalara sahip olması ve deprem kuşağında olması sebebiyle yer kabuğunda hareketlenmeler söz konusudur. Kuzey Anadolu Fay'ının kuzeyinde kalan Doğu Karadeniz Bölgesinin de aktif olan faylara paralel olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Doğu Karadeniz Bölgesi, Trabzon ilinde bulunan mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketleri incelenmelidir. Bunun için jeodezik kontrol ağları kurulmalı ve farklı periyotlarda ölçümler yapılmalıdır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ile deformasyon analizi araştırılmalıdır. Yapılacak olan deformasyon analiziyle mareograf istasyonunun çevresinde yatay ve düşey yöndeki hareketler belirlenecektir. Bu sayede yapılacak olan bilimsel ve mühendislik çalışmaları için daha güvenilir sonuçlar elde edilebilecektir.

1.4. Metodoloji

Bu çalışmada Trabzon mareograf istasyonu çevresindeki yer kabuğu hareketleri araştırılmıştır. Bunun için çalışma alanında iki farklı jeodezik kontrol ağı kurulmuştur.

Bunlardan biri GNSS ağı diğeri ise nivelman ağıdır. GNSS ağı için sabit nirengi noktaları tespit edilmiştir. GNSS ağı toplam üç tane dayanak noktası ve iki tane test noktasından oluşmaktadır. Tüm bu noktalarda eş zamanlı GNSS ölçümü yapılmıştır.

Nivelman ağı oluşturulurken noktaların yerlerinin seçimine önem gösterilmiş olup dayanak ve test noktalarının homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Çalışmada hassas nivelman yöntemi kullanılarak güzergahlarda gidiş-dönüş nivelman ölçüsü yapılmıştır.

GNSS ağına yapılan ölçümler Magnet Tools programında değerlendirilerek baz bileşenleri, sigma ve korelasyon değerleri elde edilmiştir. Ardından Matlab R2016b programlama dilinde yazılan algoritmalar ile GNSS ağına serbest ağı dengelemesi yapılmıştır. Dengeleme sonucunda bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi Q_{xx} ve dengeli koordinatlar elde edilmiştir. Aynı işlemler nivelman ağı ölçüleri içinde yapılmıştır. Nivelman ağına yapılan hassas ölçümler ile noktalar arasındaki yükseklik farkları belirlenmiştir. Ardından yine Matlab R2016b programlama dilinde yazılan algoritmalar ile nivelman ağına serbest ağı dengelemesi yapılmıştır. Dengeleme sonucunda bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi Q_{xx} ve dengeli yükseklikler elde edilmiştir. Tüm bu çalışmalar Haziran 2020 ve Ekim 2020 tarihlerinde olmak üzere iki periyot şeklinde tekrarlanmıştır. Dengeleme sonucundan elde edilen iki periyoda ait veriler, statik deformasyon modeli olan Θ^2 - ölçütü deformasyon analizi yönteminde kullanılıp çalışma alanında herhangi bir deformasyonun olup olmadığı araştırılmıştır.

1.5. Düşey Datum ve Jeoid

Yeryüzünde bulunan noktaların yüksekliklerinin veya bir başka deyişle düşey koordinatlarının belirlenmesinde kullanılan başlangıç yüzeyine düşey datum denir. Jeodezi' de düşey konum belirlemede referans yüzeyleri;

- Jeoid
- Quası-Jeoid
- Referans Elipsoidi

olmak üzere üç datum kullanılır (Yıldız vd., 2003). Düşey datum olarak sıfır yükseklikli deniz yüzeyinin alınması eski tarihlerden beri kullanılan bir yoldur. Ancak denizlerdeki su seviyelerinin çeşitli nedenlerle (ısı, yoğunluk, basınç, akarsu, rüzgar, yağmur, akıntı gibi iklimsel etkiler ve gel-git, tsunami gibi astronomik etkiler) anlık değişimler gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle, doğal olan ancak kolayca değişen anlık deniz seviyeleri düşey

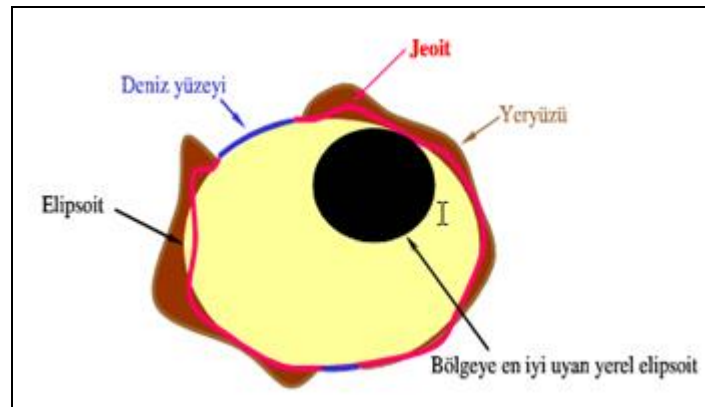
datum olarak alınamazdı. Bunun yerine belli bir zaman aralığındaki anlık deniz düzeyi değişimlerinin aritmetik ortalamasından elde edilen ortalama deniz düzeyleri uzun süreden beri düşey datum olarak kullanılmaktadır. Ancak, yukarıda belirtilen nedenlerle anlık deniz seviyelerinin değişmesi, bunların ortalamasından farklı zaman aralıklarında elde edilen ortalama deniz seviyelerinin de zamanla değişmesine sebep olmaktadır. Ayrıca farklı denizlerin ortama düzeyleri farklı olabileceği gibi aynı bir denizin farklı noktalarındaki ortalama deniz düzeyleri de farklı olabilmektedir.

Dünya'nın %71' i denizlerle kaplıdır. Jeoidi etkileyen bazı bozucu etmenler vardır. Bunlar akıntı, dalga, tuzluluk, ısı ve yoğunluk farkı, gel-git ve meteorolojik etkiler olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin olmadığı varsayılırsa ve durgun deniz yüzeyi de karalar içinde devam etmesi durumunda oluşan bu eşpotansiyelli yüzey jeoid olarak adlandırılacaktır. Ancak bu bozucu faktörler nedeni ile ortalama deniz yüzeyi jeoid ile çakışmamaktadır. Bu durum yükseklikler için referans yüzeyi olarak jeoidin alınması fikrini ön plana çıkarmıştır.

Burada da düşey datum olarak;

- Ya tüm yeryuvarını temsil eden W_0 potansiyelli global jeoid
- Ya da her ülke veya her bölge için belirlenen ortalama deniz yüzeyi ile çakışan W_i eşpotansiyelli yüzeyi esas alan bölgesel jeoidler

alınabilmektedir. Buna göre düşey datumun oluşturulmasında ilk aşama global veya bölgesel jeoidin ve/veya ortalama deniz düzeyinin belirlenmesidir (URL-1, 2020).



Şekil 1. Düşey datum ile jeoid arasındaki ilişki (URL-1, 2020)

1.6. Deniz Seviyesi Ölçmeleri

Deniz kıyılarında kurulu olan mareograf istasyonlarında, belirli periyotlarda anlık olarak toplanan deniz seviyesi verileri, birçok kıyı mühendisliği ve yer bilimleri uygulamasına hizmet eden temel parametrelerden biridir. Yersel deniz seviyesi gözlemleri, birçok bilimsel çalışma ve mühendislik uygulamalarında altlık olarak kullanılır. Deniz seviyesi gözlemlerinin bazı önemli kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Düşey referans sistemlerinin oluşturulması
- Oşinografik modelleme (gelgit, okyanus dolaşımı vb.) ve simülasyon çalışmaları
- Altimetrik gözlemlerin kalibrasyonu
- Hidrografik ölçmeler ve özellikle sığ sularda güvenli seyrüsefer
- Kıyı ve deniz yapılarının (liman, köprü, tüp geçit vb.) tasarımı
- Deniz sınırlarının (karasuları, kıta sahanlığı vb.) belirlenmesi
- İklim değişimleri ve etkilerinin araştırılması
- Erken uyarı sistemlerinin (tsunami erken uyarı, fırtına erken uyarı vb.) gerçekleşimi (Simav vd., 2011).

1.7. Deniz Seviyesinin Belirlenmesi

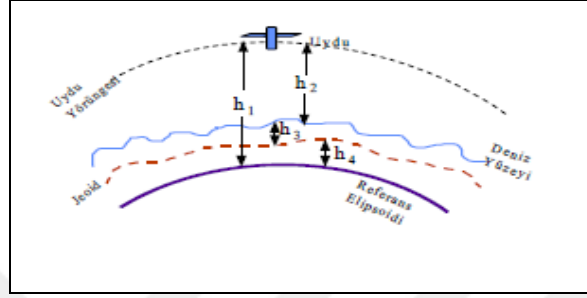
Çok uzun yıllardan beri deniz seviyesi, dünyanın birçok yerinde ölçülerek çok farklı hizmetlere altlık oluşturmuştur. Deniz seviyesinin ölçülerek belirlenmesi son yıllarda daha da önem kazanmaya başlamıştır. Günümüzde deniz seviyesi ve değişimleri, mareograf istasyonları ve mira kullanılarak yersel yöntemlerle veya uydu altimetresi kullanılarak uydu teknikleri ile araştırılabilmektedir (Gürdal, 1998).

1.7.1. Yapay Uydu Teknikleri ile Deniz Seviyesinin Belirlenmesi

Global olarak deniz seviyesi veya deniz seviyesi değişimlerinin ölçülmesi uydu altimetreleri ile sağlanmaktadır.

Uydu altimetreleri ile uygulanan bu yöntemde, uydunun konumu bilinir. Böylece referans elipsoidi ile anlık deniz seviyesi arasındaki mesafe (h_1-h_2) bulunur. Jeoid, “deniz yüzeyi topoğrafyası, deniz yüzeyi dinamik topoğrafyası, deniz yüzeyi yüksekliği, dinamik

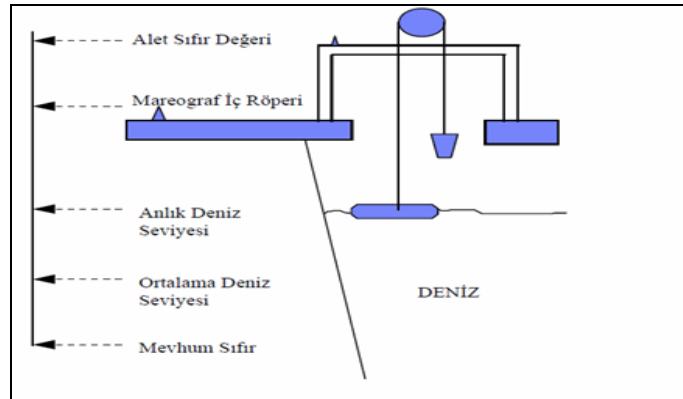
topoğrafya, deniz yüzeyi yükseklik anomalisi” gibi isimlerle bilinir. Uydu altimetresi, potansiyel katsayı modelleri ile hesaplanan jeoid yükseklikleri (h_4) kullanarak, jeoid ile anlık deniz yüzeyi arasındaki uzaklığın (h_3) belirlenebilmesi için kullanılmaktadır (Gürdal, 1998). Şekil 2’ de uydu altimetresi ile deniz seviyesinin ölçülmesi arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2. Uydu altimetresi ile deniz seviyesi ölçmeleri (Gürdal, 1998)

1.7.2. Mareograf İstasyonları ile Deniz Seviyesinin Belirlenmesi

Mareograf istasyonları, yersel yöntemlerle deniz kıyısına inşa edilmiştir. Bu istasyonlarda mümkün olduğunca dinginglendirilmiş deniz yüzeyine bağlantılı bir şamandıranın zaman içindeki aşağı-yukarı hareketleri (deniz seviyesindeki değişimler), silindirik tanbur düzeneğine çizgisel olarak kaydedilir. Son yıllarda basınçlı ve akustik sistemle çalışan ve anlık dijital kayıt yapan cihazlar kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 3’ de mareograf istasyonlarında sistemin yapısı ve ölçüm prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3. Mareograf istasyonlarında sistemin yapısı ve ölçüm prensibi (Gürdal, 1998)

Modern jeodezik yöntemlerin gelişmesiyle birlikte son yıllarda, mareograf istasyonlarında düşey yer kabuğu hareketinin doğrudan belirlenebilme imkanı olmuştur. Yer kabuğundaki hareketlerin belirlenmesi amacı ile mareograf istasyonları yakınlarına kurulan yerel nivelman ağlarında duyarlı geometrik nivelman, sabit GNSS ve tekrarlı GNSS ölçüleri yapılır (URL-1, 2020).

1.8. Ortalama Deniz Seviyesi

Ortalama deniz seviyesi, zamana bağlı tüm değişimlerden ve düşey yer kabuğu hareketlerinden arındırılmış karada sabit bir noktaya göre belirlenen ortalama bir değerdir (Yıldız vd., 2003).

Bir bölgeye kurulmuş olan mareograf istasyonu belirli periyot aralıklarında deniz seviyesindeki yükseklik değişimlerini ölçerek kaydeder. Ortalama deniz seviyesi de, genellikle bir bölgedeki mareograf istasyonunun saatlik ölçülen yükseklik değerlerinden belirlenir. Jeoidin belirlenmesindeki zorluk nedeniyle, ortalama deniz seviyesi, jeoidle çakıştığı varsayımıyla uzun yıllar yükseklik belirlemede düşey datum olarak kullanılmıştır (Sezen, 2006).

1.9. Mareograf İstasyonlarında Yapılan Jeodezik Kontroller

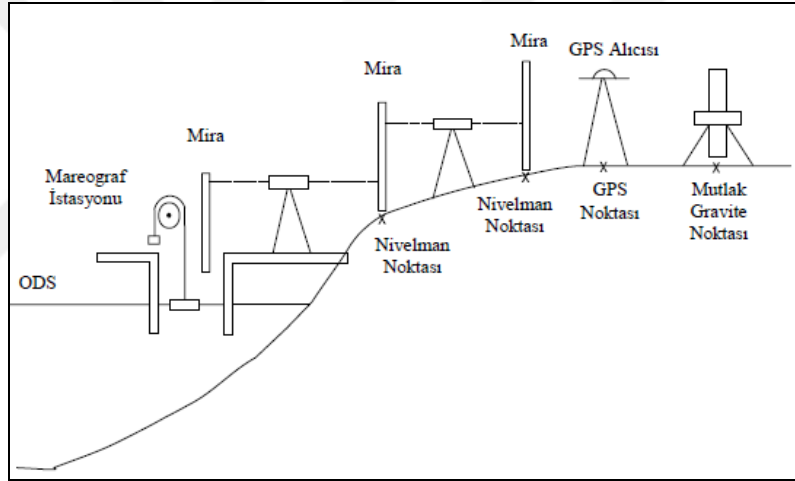
Mareograf istasyonları için düşey yer kabuğu hareketleri önemli bir etkidir. Deniz seviyesi ölçülerinin belirlenmesini sağlayan mareograf istasyonları için doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi amacıyla düşey yer kabuğu hareketleri izlenmelidir. Jeodezik tekniklerin gelişmesiyle birlikte düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi mümkün hale gelmiştir. Deniz seviyesi çalışmalarında jeodezik ölçüler büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalarda jeodezik ölçülere ihtiyaç duyulmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Mareograf istasyonu röper noktalarının koordinatlarını mutlak yer merkezci bir koordinat sisteminde belirlemek,
- Düşey yer kabuğu hareketlerini belirleyerek bunların etkisini uzun dönemli deniz seviyesi değişimlerinden çıkarmak,
- Ulusal ve kıtalararası düşey datumları birleştirerek bir dünya düşey datumu belirlemek,

- Uydu altimetre ölçülerinin kalibrasyonunu yapmak ve mutlak okyanus akıntılarını belirlemektir.

Mareograf istasyonlarında yapılan çeşitli ölçüler yardımı ile düşey yer kabuğu hareketi belirlenebilmektedir. Mareograf istasyonlarında yapılan tekrarlı GNSS ölçüleri, düşey yer kabuğu hareketlerini ve bunun ortalama deniz seviyesi değişimleri üzerindeki etkileri dikkate alınarak, mutlak deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesini sağlar. Düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenebilmesi için bir diğer yöntemde mutlak gravite aleti kullanılarak yapılır. Mareograf istasyonu yakınında gravite ölçülerinin yapılması düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi için uygun bir yöntemdir (Yıldız vd., 2003).

Şekil 4’te de gösterildiği gibi mareograf istasyonlarının konumunun belirlenmesinde jeodezik yöntemlerden faydalanılır.



Şekil 4. Mareograf istasyonu konumunun jeodezik yöntemlerle belirlenmesi (Yıldız vd., 2003)

1.10. Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES)

Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES), Harita Genel Müdürlüğü Jeodezi Dairesinde bulunan bir adet veri merkezi ve toplam 20 adet mareograf istasyonundan oluşmuştur. Bu istasyonlar kıyılara dağılmış vaziyette olup yerleşim yerleri şu şekildedir:

- Akdeniz kıyılarında; İskenderun, Erdemli, Taşucu, Bozyazı, Antalya-II

- Ege denizi kıyılarında; Marmaris, Bodrum-II, Menteş, Gökçeada, Marmara denizi kıyılarında; Erdek, Yalova, Marmara Ereğlisi, İstanbul
- Karadeniz kıyılarında ise; İğneada, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon-II mareograf istasyonları
- KKTC' de Girne ve Gazimağusa

olmak üzere tesis edilmiş toplam 20 adet mareograf istasyonu vardır (Şekil 5).



Şekil 5. TÜDES mareograf istasyonları (URL-2, 2020)

İstasyonlarda, deniz seviyesi ve seviye değişimine etki eden meteorolojik parametreleri (hava sıcaklığı, bağıl nem, basınç, rüzgar, hız ve yönü) otomatik olarak otuz saniyede bir ölçülmekte, on beş dakikalık ortalamalar halinde kaydedilmektedir. Harita Genel Müdürlüğü tarafından, kıyılardaki uzun dönemli deniz seviyesi değişimleri TÜDES istasyonları ile izlenir. Deniz seviyesi değişimleri altlık olarak kullanılarak Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) için bir referans yüzeyi belirleme çalışmaları yürütülmektedir.

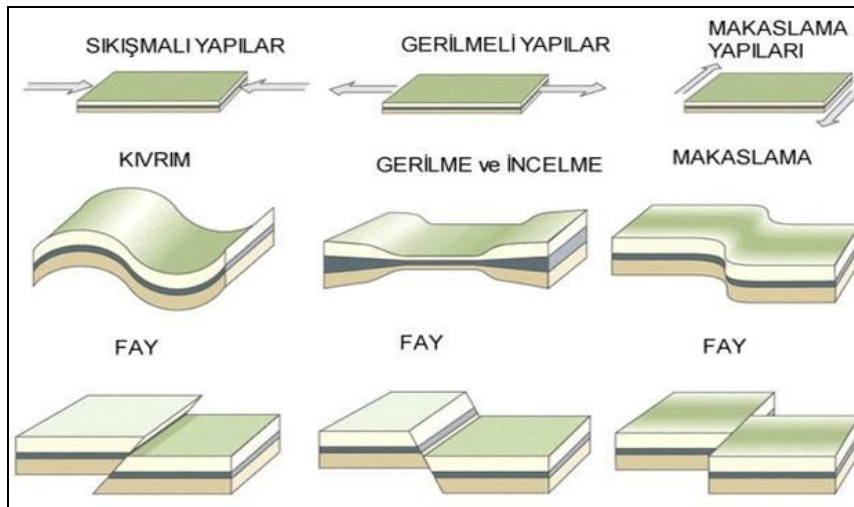
Mareograf istasyonlarında düzenli aralıklarla GNSS ve duyarlı geometrik nivelman ölçümleri yapılmaktadır. Bağıl deniz seviyesi değişimlerinin düşey yer kabuğu hareketlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığının araştırılması için istasyonlarında tekrarlı GNSS ve duyarlı geometrik nivelman ölçümleri yapılır. Bu ölçümler ile ortalama deniz seviyesi ölçümleri birlikte değerlendirilerek bağıl deniz seviyesindeki değişimlerin sebebi belirlenmektedir (URL-2, 2020). Şekil 6' da mareograf istasyonu ve yapılan ölçüm çalışmalarından bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 6. Antalya mareograf istasyonu ve istasyonlarda yapılan ölçüler (URL-2, 2020)

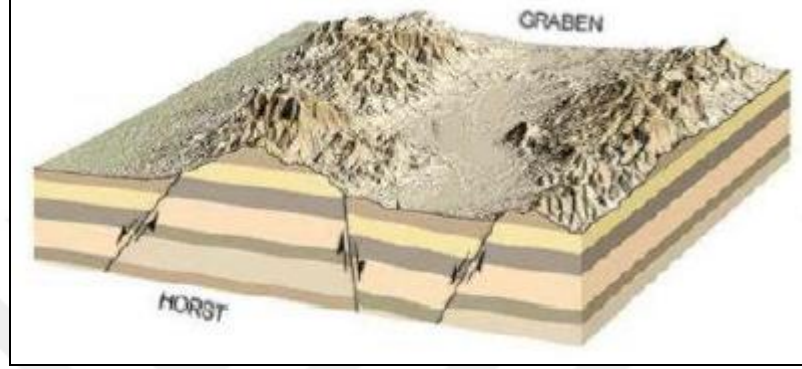
1.11. Fay Hareketleri

Faylar, dünyanın birçok yerinde yıkıcı ve ölümcül depremlerin başlıca nedenidir. Fay, yer kabuğunda bulunan kırığın her iki tarafındaki kayaların ölçülebilecek miktarda hareket etmeleriyle oluşan kırık olarak tanımlanır. Fay uzunlukları binlerce km'ye kadar ulaşabilmektedir. Depremlerin büyüklüğü ile fayların boyu arasında doğru orantı vardır. Sığ ve büyük depremlerde gözlenen fayın boyu yüzlerce kilometreye ulaşmaktadır. Faylar, fay düzlemi ile bloklar arasındaki hareket yönüne göre; ters fay, normal fay ve doğrultu atımlı faylar olarak sınıflandırılırlar. Bu sınıflar gerilmeler, makaslanmalar ve sıkışmalar sonucunda oluşur ve kendine etki eden kuvvete bağlı olarak farklı şekiller alarak adlandırılırlar (Doğan, 2019). Şekil 7' de fay çeşitleri görülmektedir.



Şekil 7. Fay çeşitleri (Doğan, 2019)

Bir bölgede normal faylar art arda geliştikleri zaman horst-graben yapısı ortaya çıkar. Yükselen fay bloklarından horstlar, alçalan fay bloklarından ise grabenler meydana gelir. Dağlık ve yüksek bölgeler horstlara, alçak ve düz bölgeler ise grabenlere karşılık gelir. Şekil 8’ de horst ve graben yapısı gösterilmiştir. Diğer bölgelerle kıyaslanırsa Ege bölgesinde horst ve grabenler oldukça fazladır (Yalçın, 2019).



Şekil 8. Horst ve graben örnekleri (Yalçın, 2019)

1.11.1. Türkiye’deki Tektonik Hareketler

Neotektonik (Yeni tektonik), herhangi bir bölgede meydana gelmiş olan son tektonik rejim değişikliğinden günümüze kadar olan zaman içerisindeki tektonizmanın tümüne verilen addır (Poyraz, 2009).

Türkiye’ deki neotektonik dönem, Geç Miyosen’de Arap Levhası ile Anadolu Levhası arasında yer alan Neo-Tetis Okyanusu’nun güney kolunun Bitlis-Zagros Sütür kuşağı boyunca kapanmasıyla başlamıştır. Arap Yarımadası’ nın Anadolu Levhası ile çarpışmasından sonra kuzeye doğru hareket etmesi Doğu Anadolu’ yu sıkıştırmış ve sonucunda da bu alanda kıta kabuğu sıkışarak yükselmiş ve kalınlaşmıştır. Anadolu Levhası daha sonra, daha serbest olan batıdaki alanlara doğru Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Transform Fayları boyunca kaçmaya başlamıştır. Batıya kaçmasının ardından Anadolu Levhası, burada Helenik yayının da etkisi ile genişleyerek Ege Graben Sistemi oluşmuştur.

Türkiye’nin deprem tarihçesine bakılırsa Kuzey Anadolu Fayı (KAF), faylar arasında önemli bir yere sahiptir. KAF, Kuzeybatı Anadolu’ da iki kola ayrılır. Bu fay, 1939 yılı

Erzincan depremi ve 1999 büyük Marmara depremleri ile adından çokça bahsettirmiştir (Selim vd., 2006).

Kuzey Anadolu fayı, Anadolu ile Avrasya levhası arasında 1500 km' den fazla kuzey kesiminde bulunan ~ 25 mm / yıl sağ - yanal hareket barındıran bir zondur (Parsons, 2004). Türkiye'nin doğusu ve kuzey orta kısımlarından geçen topoğrafyada açıkça görülmektedir. Deformasyon zonu, Türkiye'nin batısında büyük ve Marmara Denizi' ne girer. 1939-1999 döneminde $M_w > 6.7$ olan 11 deprem fayın 1200 km' sini kırmıştır (Parke vd., 2002).

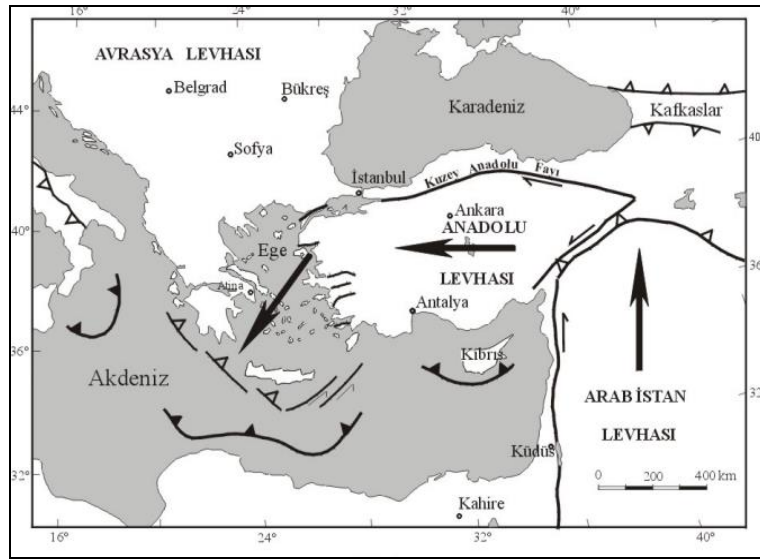
Türkiye'nin neotektonik dönemini şekillendiren 5 ana öge ve bunların belirlediği üç ana neotektonik bölge bulunmaktadır. Buna göre neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar şu şekildedir:

- Ege Kıbrıs yayı
- Sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu
- Sol yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu
- Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı
- Ölü Deniz Fayı' dır.

Bu ana yapıların şekillendirdikleri üç ana tektonik bölge ise;

- Doğu Anadolu sıkışma bölgesi
- Ege graben sistemi
- Orta Anadolu Ovalar bölgesidir (Poyraz, 2009).

Şekil 9'da Türkiye'nin tektonik yapısı ve levha hareketleri görülmektedir.



Şekil 9. Türkiye'nin tektonik yapısı (URL-3, 2020)

1.11.2. Doğu Karadeniz Bölgesi' nin Aktif Fayları

Karadeniz, Kuzeyde Avrasya levhası ile güneyde Afrika-Arap levhaları arasında Alp-Himalaya orojenik sisteminin Anadolu bölgesinde yer alır (Tari vd., 2000). Günümüzde Alp-Himalaya sistemi tarafından kontrol edilen karmaşık bir sıkışma tektoniği etkisi altında olmasına rağmen, oluşumunda açılma tektoniği rol oynamıştır. Bu sıkışma tektoniği yapıları, batıda Balkanidler, güneyde Pontidler, kuzeyde Kırım yayla dağları ve doğuda ise Kafkaslar ile ifade edilir (Maden ve Dondurur, 2012).

Uzun yıllardır incelenen Karadeniz, ayrıntılı olarak karmaşık bir yapıdadır. Doğu Karadeniz, Miyosenden günümüze kadar kapanmaya devam etmiştir. Öte yandan Orta ve Batı Karadeniz, Anadolu bloğundan kaçış, Afrika plakasının kuzeye hareketi ve Ege uzantısından etkilenen herkesten daha karmaşık neotektoniklere sahiptir. Karadeniz çevresinde sismik faaliyetin düşük ılımlı olduğu varsayılmaktadır. Karadeniz' in batı ucu, Marmara Denizi'nin kuzeyinde, Bulgaristan, Romanya, Ukrayna, Batı Türkiye ve Ege' deki genişlemeli tektoniklerden etkilenmektedir (Tari vd., 2000).

1.12. Yükseklik Belirleme Yöntemleri

Birçok farklı türde bilimsel amaçlı uygulamalarda veya mühendislik çalışmalarında noktaların deniz seviyesinden olan yüksekliklerinin belirlenmesi ya da noktalar arası yükseklik farklarının bulunması gerekebilir. Yeryüzünde herhangi bir noktanın yüksekliğini tanımlayabilmek için bir başlangıç yüzeyi ve bu yüzeye dik doğrultuların belirlenmesi gerekir. Bu doğrultular çekül doğrultularıdır ve çekül doğrultuları her noktada deniz yüzeyine diktir.

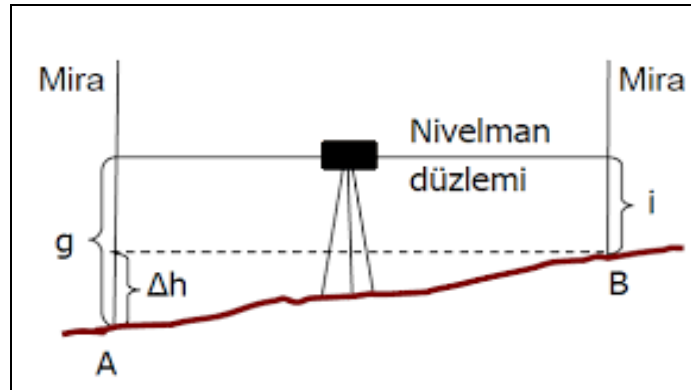
Sıfır yükselti ve başlangıç yüzeyi olarak kabul edilen jeoid, yeryüzünün her yerinde denge durumunda olduğu varsayılan ve karaların altından da devam ettiği düşünülen bir deniz yüzeyidir. Yeryüzünde herhangi bir noktanın yükseliği, çekül doğrultusunda başlangıç yüzeyine yani jeoide olan uzaklığıdır. Noktalar arasındaki yükseklik farklarının ölçülmesi işlemine genel olarak nivelman adı verilmektedir (Atasoy, 2014). Noktalar arasındaki yükseklik farklarının ölçülmesinde çeşitli nivelman yöntemleri kullanılmaktadır.

1.12.1. Geometrik Nivelman Yöntemi

Yükseklik belirleme türlerinden biri olan geometrik nivelman yöntemi, mühendislik uygulamalarında, bilimsel amaçlı çalışmalarda ve teknik hizmetlerde kullanılan bir yöntemdir. Yüksek hassasiyet isteyen çalışmalarda hassas nivelman yöntemi kullanılır. Hassas nivelman yöntemine ülke temel nivelman ağlarının ölçümünde, baraj, köprü gibi mühendislik yapılarında düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi gibi çalışmalarda ihtiyaç duyulur.

Geometrik nivelmanda, noktalar arasındaki yükseklik farkının bulunmasına dayalı bir ölçme prensibi vardır. Bu ölçme modeli şu şekildedir; ölçü yüzeyi üzerinde oluşturulan nivo dürbünüdeki yatay gözleme çizgisinin, mira bölümlerini kestiği nokta okunup bu okuma farklarından iki nokta arasındaki yükseklik farklarının bulunmasına esasına dayanmaktadır.

Burada yatay düzlem için nivo aleti, düşey mesafelerin ölçülmesi için ise invar metrik miralar kullanılır. Nivelman ölçüleri, gidiş-dönüş olarak yapılır. Alet ile mira arasındaki mesafeler, geri ve ileri okumalarda belli başlı hataları azaltmak ve ortadan kaldırmak için yaklaşık eşit uzunluklar olarak alınır (Tüdeş, 1995). Bu yöntem ile noktalar arasındaki yükseklik farkları Δh ölçülür (Şekil 10). Yeni noktaların yükseklikleri, yüksekliği belli olan noktalara (Δh) yükseklik farklarının eklenmesiyle bulunur.



Şekil 10. Geometrik nivelman yöntemi (URL-4, 2020)

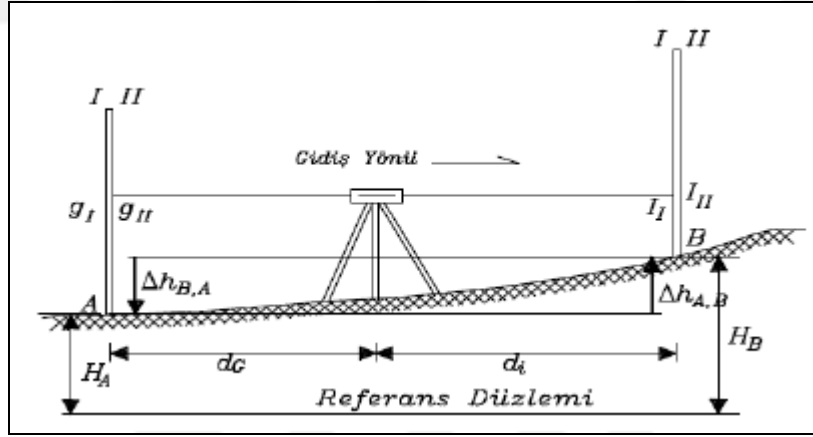
Genel olarak nivelman ölçüsünde doğruluk bir km uzunluklu nivelman yolunda gidiş-dönüş ölçü farklarından bulunan standart sapma değeri ile ifade edilmektedir.

Geometrik nivelman ölçüsünde doğruluk bir km uzaklık için ± 1 mm ile ± 20 mm arasındadır. Hassas nivelman ölçüsünde ise doğruluk, bir km uzaklık için ± 0.2 mm ile ± 0.5 mm arasında olur (Atasoy, 2014).

1.12.2. Hassas (Prezisyonlu) Nivelman Yöntemi

Hassas nivelman yöntemi, çok hassas ölçüler gerektiren köprü, baraj, liman, tünel vd. gibi büyük mühendislik yapılarında zamanla oluşabilecek deformasyonları belirleme çalışmalarında, ülke nivelman ağının oluşturulmasında ve yüksek hassasiyet gerektiren işlerde kullanılır.

Hassas nivelman yönteminde, yüksek hassasiyet gerektiği ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken konular vardır. Hassas nivelman ölçmelerinde noktaların işaretleneceği yerler, kullanılan aletler, ölçü ve hesaplama yöntemleri bu hassasiyete uygun olarak belirlenmelidir (Ünver, 1988).



Şekil 11. Hassas (prezisyonlu) nivelman yöntemi (Ekinci, 2008)

Hassas nivelman yönteminde aynı zamanda, nivonun her kuruluşunda geri ve ileri noktalarda tutulan miralarda I. (ana) ve II. (yardımcı) bölümlendirmeler geri-I, ileri-I, ileri-II, geri-II (GIIG), şeklinde okunmaktadır. Böylece yükseklik farkları ikişer kez ölçülmüş olmaktadır. Ayrıca doğruluğu artırmak ve kaba hataları ortaya çıkarmak için nivelman noktaları arasındaki ölçmeler, gidiş-dönüş olarak yapılır (Şekil 11). Sonuçta noktalar arasındaki yükseklik farkları için dörder değer elde edilmiş olur (Ekinci, 2008).

Hassas nivelman yönteminin kullanıldığı uygulamalarda, birbirini izleyen iki nivelman noktası arasında gidiş-dönüş yükseklik farkı $\pm 4 \sqrt{S}$ (mm) lik hatayı geçmemelidir (Aydın, 1998). Aynı zamanda hassas nivelman yönteminde ortalama hata $0.5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ olmalıdır.

Bu yöntem ile yüksek hassasiyet elde etmek için şu ölçüm prensiplerine dikkat edilmesi gerekir:

Bu yöntem ile yüksek hassasiyet elde etmek için şu ölçüm prensiplerine dikkat edilmesi gerekir:

- Refraksiyon hatasını en aza indirmek için ölçüm zamanı olarak sabah veya akşamüstü saatleri tercih edilmelidir.
- Refraksiyon etkisinden korunmak için alet olabildiğince yüksek kurulmalıdır.
- Alet ve miralar sağlam, sert zeminlere kurulmalıdır.
- Hassasiyeti arttırmak için mira altlıkları kullanılmalıdır.
- Alet ile mira arasındaki uzaklık normal şartlarda 30-35 m 'yi geçmemeli ve yaklaşık eşit uzaklıklarda alınmalıdır.
- Rüzgârlı havalarda hassasiyet azalacağı için bu tür havalar tercih edilmemelidir.
- Sistemik hataları azaltmak için gidiş-dönüş ölçüleri aynı güzergâh üzerinde olmalıdır.
- Hassas ölçümlerin yapılabilmesi için miralarda 0.50 m' den yüksek değerleri okuyacak şekilde alet ve miralar konumlandırılmalıdır.

1.12.3. Trigonometrik Nivelman

Trigonometrik nivelman, yükseklik belirleme yöntemlerinden biridir. Arazinin topoğrafik yapısının uygun olmadığı, noktaların birbirlerine uzak olduğu ve nokta yüksekliklerinin duyarlı olmasının gerekmediği yerlerde trigonometrik nivelman yöntemi kullanılır (Atasoy, 2014).

Trigonometrik nivelman yönteminde yükseklik farkları, düşey açı ve uzunluk yardımıyla hesaplanır (Ceylan, 2009). Önce arazide yüksekliği bilinen bir noktaya teodolit veya total station kurularak düşey açı okunur, ardından alet yüksekliği, işaret yükseklikleri ve noktalar arasındaki uzunluk ölçülür (Yalçın, 2019). Trigonometrik nivelman yönteminin

sağladığı bazı avantajlar vardır. Bu yöntemde arazinin eğimine bakılmaksızın daha uzun gözleme uzunlukları ile çalışılabilmekte ve buna bağlı olarak nivelman hattındaki alet kurma sayısı oldukça azalmaktadır. Trigonometrik nivelman yönteminin bu avantajlarından faydalanabilmek için eğik uzaklıkların ve düşey açıların yüksek doğrulukta ölçülmesi gerekir (Ceylan, 1993).

1.12.4. Barometrik Nivelman

Barometrik nivelman, yeryüzünden yukarı doğru çıktıkça atmosfer basıncının yükseklikle değişmesi prensibine göre yapılan ölçümlerdir. Basınç barometre ile ölçülür ve basınç farklarından yükseklik farkları hesaplanır. Bu yöntem keşif amaçlı işlerde kullanılmasının yanı sıra $\pm 1-2$ metre hassasiyetle iki nokta arasındaki yükseklik farkını bulabilmektedir (URL-5, 2020).

1.12.5. Hidrostatik Nivelman

Noktalar arasındaki yükseklik farkları, fizikteki birleşik kaplar ilkesinden yararlanılarak geliştirilen hortumlu su düzenci adı verilen aletlerle ölçülür. Yükseklik farkları ± 0.01 mm hassasiyetle ölçülebilmektedir.

Bu yöntem, basit şantiye ölçmelerinde, çok yüksek hassasiyet gerektiren makine uygulamalarında ve kapalı yerlerde düşey yöndeki deformasyonların ölçülmesi işlerinde kullanılmaktadır (URL-6, 2020).

1.12.6. Nivelmana Etki Eden Hatalar

Nivelmana etki eden hata kaynaklarını iki ana başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar;

- Alet ve donanımdan kaynaklanan hatalar
- Dış ortamdan kaynaklanan hatalar ve diğer hatalar biçiminde sıralanır.

1.12.6.1. Alet ve Donanımdan Kaynaklanan Hatalar

Nivelmanda alet donatımından kaynaklanan hatalar, nivolardan kaynaklanan hatalar ve miralardan kaynaklanan hatalar diye iki kısma ayrılır.

Nivo aletlerinde eksen koşulları ve başka özellikler mevcuttur. Bu koşulların sağlanmaması durumunda aşağıdaki hatalar ortaya çıkabilir:

- Gözlem eksen şartının düzensizliği
- Düzeç eksen şartının düzensizliği
- Kompansatörlü nivolarda artık kompensasyon hatası
- Nivolardan kaynaklanan diğer hatalar (paralaks hatası, oküleri göze uydurma hatası, gözleme çizgileri ve mira bölüm çizgileri ile mira çakıştırma hatası, sehpa başlığının gevşek olmasından doğan hata)

Miralardan kaynaklanan hatalar, hassas nivelman ölçmelerinde hata kaynaklarından biridir. Bu hatalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mira bölümlendirme hatası
- Sıfır konum hatası
- Miraların eğik tutulması hatası
- Mira tabanının düzlem olmaması hatası
- Mira taban düzleminin invar şerit yüzeyine dik olmaması hatası

1.12.6.2. Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar ve Diğer Hatalar

Nivelmanda dış ortamla ilgili fiziksel parametrelerin değişken olması ölçme işleminde hataları ortaya çıkarır. Bu hatalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çökme hatası
- Sıcaklık hatası
- Düşey refraksiyon hatası
- Kompansatörlü nivolarda manyetik alan hatası
- Yerin gravite alanının etkisi
- Güneş ve ayın çekim kuvveti hatası (Aydın, 1998).

1.13. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS, ABD Savunma Bakanlığı (DOD) tarafından geliştirilen doğru konumlandırma ve navigasyon için uydu tabanlı bir radyo konumlandırma sistemidir. GNSS, herhangi bir zamanda en az dört uydu ile 24 saat ve dünya çapında kapsama alanı sağlayan tüm hava koşullarına uygun bir konumlandırma sistemidir (Ebadi, 2000).

Günümüzde GNSS; mühendislik alanında yapılan yersel ölçme çalışmalarının yerini almaktadır. Yersel ölçmelerde noktaların birbirini görme zorunluluğu olması ve çalışma alanında daha önceden tesis edilmiş yeterli ve duyarlıklı nokta bulunmayışı ölçme işlemlerinin uzamasına ve istenilenden daha fazla arazide nokta tesis edilmesine yol açmaktadır. Özellikle GNSS ile tüm bu sorunlar ortadan kaldırılarak işin kısa sürede ve daha yüksek hassasiyette yapılmasına olanak sağlanmaktadır (Gökalp ve Taşçı, 1999).

GNSS ölçü yöntemlerini kendi içerisinde jeodezik amaçlı ve navigasyon amaçlı olmak üzere iki ana başlık olarak, her iki ana başlığı da mutlak ve rölatif olmak üzere ayırmak mümkündür. Mutlak GNSS ölçme yönteminde tek bir GNSS alıcısı kullanılır ve nokta konumları, merkezi dünyanın ağırlık merkezi olan bir koordinat sisteminde mutlak olarak belirlenir. Rölatif konum belirlemede ise bir noktanın koordinatları başka bir noktanın koordinatları referans alınmak üzere belirlenmektedir (Güngör, 2000).

1.13.1. Statik GNSS Ölçme Yöntemi

Statik ölçme yöntemi, klasik ölçü yöntemidir. Jeodezik ağların ölçümünde yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalarda, ulusal ve kıtalar arası mesafelerin ölçülmesinde, tektonik hareketlerin izlenmesinde, baraj ve mühendislik yapılarının deformasyon ölçülerinde kullanılır. Duyarlılığı yatayda 5mm+1ppm, düşeyde 10mm+1ppm şeklindedir. Ölçü süresi 30 dakika ve üzeridir. Bu süre uydu sayısına, ölçüden beklenen hassasiyete ve bazın uzunluğuna göre daha fazla olabilir.

Statik ölçme metodu en çok kullanılan yöntem olup gözlem süresi; baz uzunluğu, gözlenen uydu sayısı ve uyduların geometrik dağılımına bağlıdır (Hastaoğlu, 2009).

Statik GNSS inceleme prosedürleri, yüksek doğrulukta konumlandırma gerekli olduğunda bir dizi sistematik hatanın çözülmesine önemli ölçüde yardımcı olur. Statik GNSS prosedürlerini kullanmanın mantığı, sabit GNSS birimleri arasında temel hatlar yapma ihtiyacını içerir. Bu, uydu geometrisindeki değişikliklere göre verileri uzun bir süre

boyunca sürekli olarak kaydederek elde edilebilir. Bu teknik, önceden planlanmış bir süre boyunca her noktada çeşitli alıcılar tarafından oluşturulan sabit veri günlüklerini kullanır (Abdulmajed, 2017).

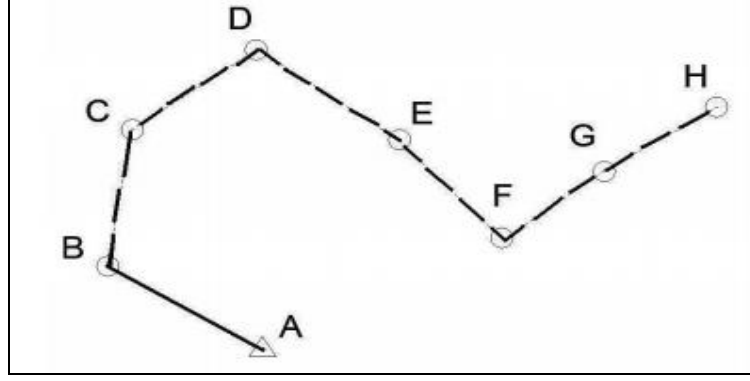
1.13.2. Hızlı Statik GNSS Ölçme Yöntemi

Bu yöntemin arkasındaki genel fikir, sabit bir referans alıcısının bilinen koordinatların bir baz istasyonunda sabit kalmasıdır (Santos, M.C. vd., 2000).

Jeodezik kontrol ve sıklaştırma ağlarında, poligon yönteminde, fotogrametrik yer kontrol noktalarının koordinatlandırılmasında, mühendislik ölçmelerinde nokta tesisinde, sınır ve detayların ölçülmesinde kullanılır. Bu yöntem statik yöntemle aynıdır. Tek farkı daha kısa sürede statik ölçü yöntemindeki duyarlığa erişmektedir. Duyarlılık yatayda 5mm+1ppm, düşeyde 10mm+1ppm şeklindedir. Ölçü süresi 30 dakikadan daha azdır. Bu süre uydu sayısına, uydu geometrisine, ölçüden beklenen hassasiyete ve bazın uzunluğuna göre daha kısa olabilir.

1.13.3. Kinematik GNSS Ölçme Yöntemleri

Kinematik ölçü yönteminde, bir koordinatı bilinen nokta (A) ve bir de koordinatı hesaplanacak nokta (B) vardır. Bu yöntemin uygulanmasında 1. alıcı (A) noktasında statik ölçü yaparken, 2. alıcı (B) noktasına kurulur. (B) noktasında kurulu olan 2. alıcı 3-5 dakika belirsizlik parametresinin tespiti için sabit bir şekilde bekler. Parametrenin belirlenmesinin ardından 4 uydudan alınan sinyalleri kaybetmeden hareket etmeye başlar. Koordinatı hesap edilecek noktalarda (C,D,E,F,G,H) 5–10 saniye bekleyerek alım yapar (Şekil 12). Uydulardan alınan sinyallerin kesilmesi durumunda belirsizlik parametresinin yeniden tespiti gerekecektir. Bu yöntem koordinatı bilinen noktadan 5 km'ye kadar olan uzaklıklarda poligon ve detay ölçme işlerinde kullanılır. (Kahraman, 2015).



Şekil 12. Kinematik ölçü yöntemi (URL-7, 2020)

Δ : Koordinatı bilinen nokta

\circ : Yeni nokta

1.13.4. DGPS (Diferansiyel GPS) Ölçü Yöntemi

Bir GNSS alıcısı ile bir yeryüzü noktasında mutlak konum belirlemenin doğruluğu, atmosferik etkiler ve sistemden kaynaklanan hatalar nedeniyle oldukça düşük olmaktadır. Bu hata kaynakları genel olarak uydu ve alıcı saat hataları, atmosferik etkiler, uydu efemeris hataları ve seçimli doğruluk erişimi olarak sıralanabilir. Bu hata kaynaklarının büyük bir bölümü DGPS ile giderilmektedir. Dolayısıyla DGPS’deki temel prensip geleneksel GNSS sisteminde mevcut olan hataları düzeltmek olarak ifade edilebilir (Dündar ve Erdi, 2000).

DGPS yöntemindeki temel prensip; Navstar/ GPS uydu sinyallerinden yararlanarak konumu iyi bilinen bir referans noktasındaki alıcıda hesaplanan anlık düzeltme değerleri kullanılarak 0-500 km uzaklıktaki gezici alıcıların hatalı konumlarının iyileştirilmesidir.

1.13.5. Gerçek Zamanlı GNSS Ölçme Yöntemi

RTK-GNSS (Real Time Kinematic Global Position System) eş zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış bir ölçü yöntemidir. RTK yöntemi, ölçü yöntemi olarak DGPS (Differential GPS)’e benzer. Ancak DGPS’den farkı N tamsayı faz belirsizliğinin çözülmesi ve faz ölçülerinde kullanılmasıdır. RTK ölçü yöntemi anlık konum belirler ve nokta konumları cm duyarlıkla kayıt anında belirlenebilmektedir. RTK uygulamalarında GNSS alıcıları eş zamanlı olarak 5 ortak

uyduya gözlem yapar. Eş zamanlı olması gezici ile referans alıcı arasındaki radyo bağlantısına bağlıdır.

RTK uygulamalarında koordinatları bilinen bir noktada bir GNSS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir veya daha fazla gezici GPS alıcısı da, hızlı bir şekilde, konum çözümünü gerçekleştirir. Referans istasyonundaki alıcı ile uydu arasındaki herhangi bir t epoğunda ölçülen taşıyıcı faz uzunluğu ile, uydu – alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılır ve taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara iletilir. Gezici alıcılar, kodlanarak radyo dalgaları üzerine modüle edilmiş olan bu düzeltmeleri alarak kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirirler (Aydın vd., 2004). Ayrıca bu yöntem anlık konum belirlediği için aplikasyon uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır.

1.13.6. GNSS'e Etki Eden Hatalar

GNSS' de hatalar 2' ye ayrılır:

- Sistemik hatalar
- Sistemik olmayan hatalar

1.13.6.1. Sistemik Hatalar

Sistemik hatalar; uyduya, istasyona ve gözleme bağlı hatalar olarak 3 sınıfta incelenebilir.

- Uyduya bağlı hatalar; yörünge tanımlama hatası ve uydu saat hatası olarak tanımlanır.
- İstasyona bağlı hatalar; alıcı saat hatası ve istasyon noktasının koordinat hatası olarak tanımlanır.
- Gözleme bağlı hatalar; iyonosferik hata, troposferik hata ve taşıyıcı dalga faz belirsizliği olarak tanımlanır.

1.13.6.2. Sistematik Olmayan Hatalar

Sistematik olmayan hatalar 5 sınıfta incelenebilir. Bunlar şu şekildedir:

- Sistematik hataların artıkları
- Faz kayması (sıçraması)
- Multipath (çok yolluluk)
- Anten faz merkezi kayıklığı
- Rastgele gözlem hatası (parazit)

1.14. Jeodezik Ağlarda Serbest Dengelenme ve Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

1.14.1. Dengeleme Matematiksel Modeli

GNSS ağlarında fonksiyonel ve stokastik model,

$$v = Ax - l \quad (1)$$

$$K_{ll} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \dots & \rho_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ \dots & \sigma_2^2 & \dots & \rho_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \dots & \dots & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$K_{ll} = s_0^2 Q_{ll}; P_{ll} = Q_{ll}^{-1} \quad (3)$$

biçimindedir. Burada;

- Ölçülere getirilecek düzeltmeler vektörü v ,
- Katsayılar matrisi A ,
- Ölçüler vektörü l ,
- Bilinmeyenler vektörü x ,
- Ölçülerin varyans-kovaryans matrisi K_{ll} ,
- Birim ölçünün öncül varyansı s_0^2 ,

- Ölçülerin ters ağırlık matrisi Q_{ll} ,
- Ölçülerin ağırlık matrisi ise P_{ll} ile gösterilmektedir.

$$A^T P A x = A^T P l \quad (4)$$

şeklinde oluşturulur. Normal denklemlerin çözümü sonucunda ($\det(A^T P A) \neq 0$ kabulü ile) bilinmeyenler vektörü,

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (5)$$

şeklindedir. Burada;

- Normal denklem katsayılar matrisini $(A^T P A) = N$,
- Bilinmeyenlerin ters ağırlıkları matrisini $(A^T P A)^{-1} = N^{-1} = Q_{xx}$,

ile gösterilmektedir.

Düzeltilmelerin ters ağırlık matrisi ve birim ölçünün varyansı dengeleme sonucunda sırasıyla,

$$Q_{vv} = Q_{ll} - A Q_{xx} A^T \quad (6)$$

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n-u} \quad (7)$$

biçiminde elde edilir. Burada;

- n , ölçü sayısını;
- u , bilinmeyen sayısını

ifade etmektedir (Konakoğlu, 2019). Duyarlılık hesapları ise şu şekilde bulunur.

Ölçülerin ortalama hatası,

$$m_i = \mp \frac{m_0}{\sqrt{P_i}} \quad (8)$$

Bilinmeyenlerin ortalama hatası,

$$m_{hi} = \mp m_0 * \sqrt{q_{xi xi}} \quad (9)$$

Burada $q_{xi xi}$: Q_{xx} matrisinin i. köşegen elemanıdır.

Nokta Konumunun Ortalama Hatası,

$$m_{pi} = \sqrt{m_{xi}^2 + m_{yi}^2 + m_{zi}^2} \quad (10)$$

ile bulunur.

1.14.2. Tüm İz Minimum Yöntemi ile Serbest Dengeleme

Deformasyon analizi çalışmalarında dayalı ağ dengelemesi ağın üzerinde zorlayıcı etkiye sahiptir. Bu sebeple ağın hassasiyetini gerçek biçimde yansıtabilen serbest ağ dengelemesi, deformasyon analizi çalışmaları için daha uygundur. En küçük kareler dengelemesinin çözümü, $v^T P v = \text{minimum}$ koşulunun yanında $x^T x = \text{minimum}$ koşulu da eklenerek yapılır. Tüm iz minimum yöntemi, serbest ağ dengelemesi türlerinden biridir. Bu yöntem ile ağda bulunan tüm noktalar bilinmeyen olarak varsayılır. Bu sebeple konum belirsizliği, yöneltme belirsizliği ve ölçek sorunu oluşur.

Bu durumda normal denklem katsayılar matrisinin inversi Cayley yerine G matrisi yardımıyla Moore Pensore inversi ile hesaplanır. Hesaplamalar sırasıyla,

$$Q_{xx} = (A^T P A)^+ = (A^T P A + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (11)$$

Datum tanımına G matrisi ile ağdaki bütün noktalar katılmaktadır. Buradaki G matrisi datum defekti 3 olan GNSS ağları için,

$$G = \frac{1}{\sqrt{P}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

elde edilir. Burada p , ağdaki nokta sayısıdır (Konakoğlu, 2019).

1.14.3. Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Birçok farklı amaçla yapılan jeodezik ölçüler, kaba ve uyuşumsuz ölçüleri de içinde barındırır. Dengeleme modelinde düzeltme denklemlerinin kurulma sırasında ölçü grubundaki kaba hatalar belirlenerek çıkarılabilir. Ancak farklı sebeplerden dolayı oluşabilen uyuşumsuz ölçüler bu şekilde belirlenememektedir.

Uyuşumsuz ölçüler, tüm ölçüler arasında, ölçü kümesinin dağılımına uymazlar. Diğer ölçülerden ayrı özellik gösterirler ve matematik modele uymazlar. Bu ölçüler, rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükteki hataları içerir. Bu yüzden bu ölçüler, ancak dengeleme hesabı sonucunda uygulanan uyuşumsuz ölçü testi ile belirlenebilirler. Bu ölçülerin tespit edilmesi için literatürde çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır (Şişman, 2005).

Tablo 1’de yer alan üç farklı test büyüklüğü, dengeleme sonucu elde edilen düzeltme değerlerinin farklı varyans değerleri ile normlandırılması anlamına gelmektedir. Baarda, teorik varyansı (σ_0^2), Pope, dengeleme sonucunda bulunan kestirilmiş varyansı (s_0^2) kullanırken, t testinde, uyuşumsuz ölçü ile hesaplanmış (s_0^2) yerine, bu uyuşumsuz ölçünün etkisi kaldırıldıktan sonraki varyans değeri (s_{0i}^2) kullanılmaktadır (Erol, 2008).

Tablo 1. Uyuşumsuz ölçü testleri özet tablosu (Erol, 2008)

Yöntemler	Test Büyüklüğü	Dağılım	Eşik Değer
Baarda	$T_{vi} = v_i /(\sigma_0\sqrt{q_{v_i}})$	N(0,1) Normal Dağılımlı	$N_{1-\alpha/2}$
Pope	$T_{vi} = v_i /(s_0\sqrt{q_{v_i}})$	τ_f Tau Dağılımlı	$\tau_{f,1-\alpha/2}$
t-testi	$T_{vi} = v_i /(s_{0i}\sqrt{q_{v_i}})$	t_{f-1} t-dağılımlı	$t_{f-1,1-\alpha/2}$

t-dağılımlı uyumsuz ölçüler testi korelasyonlu ve korelasyonsuz ölçüler için iki farklı şekilde hesaplanır. Korelasyonsuz ölçüler için test büyüklüğü hesabı,

$$T_{vi} = \frac{|v_i|}{s_{0i}\sqrt{q_{vivi}}} \quad (13)$$

$$s_{0i} = \pm \sqrt{\frac{1}{f-1} ([p_{vv}] - \frac{v_i^2}{q_{vivi}})} \quad (14)$$

eşitlikleri ile bulunur. Ardından T_{vi} test büyüklüğünün maksimum değeri bulunarak t tablo değeri ile karşılaştırılır. $T_{vi_max} < t_{f-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ olduğu durumlarda uyumsuz ölçü yoktur.

$T_{vi} = T_{vi_max} \geq t_{f-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ olduğu durumlarda ise i. ölçü uyumsuzdur. Bu ölçü uyumsuz ölçülerden çıkarılır veya yeniden ölçülür. Uyumsuz ölçü kalmayıncaya kadar aynı işleme devam edilir.

t-dağılımlı uyumsuz ölçüler testi korelasyonlu ölçüler için test büyüklüğü hesabı,

$$T_{vi} = \frac{|e_i^T P_{ll} V|}{s_{0i}\sqrt{e_i^T P_{ll} Q_{vv} P_{ll} e_i}} \quad (15)$$

$$s_{0i} = \pm \sqrt{\frac{1}{f-1} (V^T P_{ll} V - \frac{(e_i^T P_{ll} V)^2}{e_i^T P_{ll} Q_{vv} P_{ll} e_i})} \quad (16)$$

eşitlikleri ile bulunur. Ardından T_{vi} test büyüklüğünün maksimum değeri bulunarak t tablo değeri ile karşılaştırılır. $T_{vi_max} < t_{f-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ olduğu durumlarda uyumsuz ölçü yoktur.

$T_{vi} = T_{vi_max} \geq t_{f-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ olduğu durumlarda ise i. ölçü uyumsuzdur. Bu ölçü uyumsuz ölçülerden çıkarılır veya yeniden ölçülür. Uyumsuz ölçü kalmayıncaya kadar aynı işleme devam edilir.

1.15. Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar incelenirken pekçok farklı sebepten dolayı farklı modeller içinde incelenir. Bu sebepler; problemin şekli, kapsamı, uygulanacak ölçme yönteminin cinsi gibi faktörler olarak sayılabilir. Deformasyon modelleri kinematik, dinamik ve statik modeller olarak sıralanabilir.

- a. Kinematik modeller; periyodik ölçüm süresinin uzun olduğu durumlarda kullanılan, deformasyon çalışması yapılacak alan veya yapının üzerindeki karakteristik noktaların hareketlerini ve hızlarını belirlemeyi sağlayan bir modeldir.
- b. Dinamik modeller; deformasyonların zamanın bir fonksiyonu olarak ele alınır. Bu modelde geometrik değişimlerin yanı sıra dış etmenlerden dolayı deformasyona neden olan kuvvetlerin değişimleri ve birbirleriyle ilişkileri kuvvet oluşumuna sebep olan zamana bağlı dönüşüm fonksiyonlarıyla birlikte incelenir.
- c. Statik modeller; deformasyon çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntemdir. Deformasyon incelemesinde bulunulacak alan ve yapılarda seçilen karakteristik noktaların, ölçüm süresi boyunca konumlarını değiştirmedeği varsayımıyla oluşturulan modellerdir. Statik modellerde yatay ve düşey yöndeki konum değişiklikleri zamandan ve bunları etkileyen kuvvetlerden bağımsız olarak düşünülür (Bak, 2014).

Tablo 2’de deformasyon modellerinin zamanın etkisi, kuvvetin etkisi ve objenin durumuna göre karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 2. Deformasyon modellerinin karşılaştırılması (Heuncke ve Welsch, 2001)

Deformasyon Modeli	Statik Model	Kinematik Model	Dinamik Model
Zaman Etkisi	Modelleme yok	Zamanın fonksiyonu olarak hareketler	Yük ve zamanın bir etkisi olarak hareketler
Kuvvet Etkisi	Yükün etkisi olarak yer değiştirme	Modelleme yok	
Objeye Durumu	Yük altında yeterli miktarda değişim	Hareket halindeki süreklilik	Hareket halindeki süreklilik

1.15.1. Θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi

Θ^2 -ölçütü ile deformasyon analizinde, her periyot ölçüsü ayrı ayrı olacak şekilde serbest dengelenmeye tabi tutulur. Uyuşumsuz ölçüler tüm periyotlarda ayıklanır ve her periyot için birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları (m_1 , m_2) hesaplanır. Ölçülerinin uyumlu olduğu belirlendikten sonra, periyot ölçülerinin birim ağırlıklı varyanslarının birleştirilmesiyle daha uygun bir varyans değeri elde edilir (Doğanalp vd., 2006).

Ölçüler tüm periyotlardaki ayrı ayrı serbest dengelenerek,

- Dengeli koordinatlar vektörü (x_1, x_2, \dots),
- Düzeltmelerin kareleri toplamı ($v^T P v$),
- Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi ($Q_{x_1 \times 1}, Q_{x_2 \times 2}, \dots$)

hesaplanır.

İki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığı belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların farkları (d) hesaplanır. d fark vektörünün geometrik anlamı da vardır. Yapılan iki periyodik ölçü sonucunda bulunan dengelenmiş koordinatlar, Helmert dönüşümü yapılarak birbiri üzerine karşılaştırıldığında ortak noktadaki fark doğrudan doğruya d vektörünün elemanını verir. İki periyot için fark vektörü,

$$d = x_2 - x_1 \quad (17)$$

olarak hesaplanır. İki periyot için d fark vektörüne ait kovaryans matrisi Q_{dd} ,

$$Q_{dd} = Q_{x_1 \times 1} + Q_{x_2 \times 2} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \quad (18)$$

şeklinde oluşturulur. Doğrusal hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan Θ^2 - ölçütü,

$$\Theta^2 = d^T Q_{dd}^+ d \quad (19)$$

biçiminde elde edilir. Her iki ölçüm periyodunda datum parametrelerinin ve ağın geometrik şeklinin aynı olduğu zamanlarda Q_{dd} 'nin rangı;

$$h = \text{rang}(Q_{dd}) \quad (20)$$

şeklinde hesaplanır. Her iki ölçüm kümesinin standart sapması,

$$s_0^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2} = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f_1 + f_2} \quad (21)$$

biçiminde elde edilir. Burada;

- f_1 ve f_2 , Periyotlardaki ölçümlerin dengelemesi sırasında kullanılan serbestlik dereceleri
- s_{01}^2 ve s_{02}^2 ise 1. ve 2. periyotlardaki ölçümlerin dengelemesi ile elde edilen varyans değerleridir. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü (T),

$$T = \frac{\Theta^2}{m_0^2 h} = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{m_0^2 h} \quad (22)$$

şeklinde bulunur. Test büyüklüğü T ile F-tablo değeri karşılaştırılır. $T < F_{h,f,1-\alpha}$ olduğu zamanlarda H_0 hipotezinin geçerli olduğu ve $T > F_{h,f,1-\alpha}$ olduğunda ise H_0 hipotezinin geçerli olmadığı kabul edilir. Böyle bir durumda iki ölçü periyodu arası geçen sürede ağ noktalarının bir veya daha fazlasında deformasyon olup olmadığına $s=1-\alpha$ istatistik güven ile karar verilir. Ağda deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktalar belirlenir. Bu amaçla ağda bulunan bir nokta her seferinde hareketli, diğer noktalar ise sabit olduğu varsayılarak nokta sayısı kadar Θ^2 -ölçütü değeri hesaplanır. Fark vektörü d ve kovaryans matrisi Q_{dd} ,

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$Q_{dd} = \begin{vmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{vmatrix} \quad (24)$$

şeklinde elde edilir. Burada;

- Hareketli noktalar B indisi ile
- Sabit noktaları ise F indisi ile

gösterilmektedir. P_{dd} ağırlık matrisi ise,

$$P_{dd} = Q_{dd}^+ = \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \quad (25)$$

eşitlikteki gibi bulunur. Aynı zamanda Q_{dd} matrisinin tersi alınarak da elde edilir. B ile hareketli nokta olarak alınan nokta her adımda d_B alt vektör olarak yazılır ve aykırılık etkisi ağ nokta sayısı kadar hesaplanır. Gauss yöntemi ile alt matrisler indirgenerek,

$$d_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad (26)$$

$$P_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF} \quad (27)$$

şeklinde hesaplanır. Θ^2 -ölçütü değeri,

$$\Theta^2 = d^T Q_{dd}^+ d = d_F^T P_{FF} d_F + d_B^T P_{BB} d_B \quad (28)$$

$d_F^T P_{FF} d_F$ sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık, $d_B^T P_{BB} d_B$ hareketli olduğu varsayılan her noktaya ait aykırılık olarak bağımsız iki bileşene ayrılır.

$$(\Theta)_i^2 = (d_B^T P_{BB} d_B)_i, i=1,2,\dots,n \quad (29)$$

Burada n, nokta sayısını temsil eder. $s=1-\alpha$ istatistik güven ile beraber toplam aykırılık değeri en yüksek olan $(\Theta^2)_{\max} = \text{maksimum}(\Theta^2)_i$ olan noktada, deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda hareketli başka noktaların varlığını tespit etmek için d ve

Qdd 'ye bir S -dönüşümü uygulanır ve geriye kalan $(n-1)$ noktadan faydalanarak yeni bir datum verilir. Hareketli noktaya ait elemanlar, d ve Qdd 'de en son satır ve sütunlara atılır. G matrisi ile S -transformasyon matrisi,

$$S_i = I - GG^T \quad (30)$$

şeklinde elde edilir. d ve Q_{dd} matrisi,

$$d_i = S_i d \quad (31)$$

$$Q_{ddi} = S_i Q_{dd} S_i^T \quad (32)$$

şeklinde dönüştürülür. i . dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi,

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_N \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} = S_i d \quad (33)$$

$$Q_{ddi} = \begin{bmatrix} Q_{DD} & Q_{DN} \\ Q_{ND} & Q_{NN} \end{bmatrix} \quad (34)$$

diye alt matrislere ayrılır. Burada;

- Datum noktalarını D indisi,
- Datum dönüşümüne katılmayan noktaları N indisi,
- d_N , toplam aykırılıktaki payları en büyük olan $(\Theta^2)_{\text{mak}}$ noktalarına ait d_B değerinin sonraki değerini temsil etmektedir. i . belirleme adımından sonra kalan aykırılık,

$$\Theta_{\text{kalan}}^2 = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (35)$$

eşitliği ile hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{(\theta)_{\text{kalan}}^2}{\sigma_0^2 h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (36)$$

olması halinde ağda hareketli noktanın varlığından söz edilebilir. Buradaki hareketli yeni nokta, yukarıdaki işlemlerin tekrarlanmasıyla bulunur. Son bir S -transformasyonu yapılarak ağda hareketsiz kalan noktalar P_D , hareketsiz olduğu tespit edilen noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri d_N bulunur (Konakoğlu, 2019).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada Doğu Karadeniz bölgesi, Trabzon ili, deniz limanı sahası içerisinde bulunan TRBZ adlı mareograf istasyonu çevresindeki hareketliliğin araştırılması amaçlanmıştır.

2.1. Çalışma Alanı Özellikleri

Trabzon ili; Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize, batısında Giresun ili bulunur. $38^{\circ} 30' - 40^{\circ} 30'$ doğu meridyenleri ile $40^{\circ} 30' - 41^{\circ} 30'$ kuzey paralelleri arasında bulunan Trabzon, 4.664 km^2 yüz ölçümüne sahip bir şehirdir.

Trabzon Limanı ise; kuzeyde $40^{\circ} 57' 30'' - 41^{\circ} 06' 36''$ enlemleri, doğu'da $40^{\circ} 02' 30'' - 39^{\circ} 25' 00''$ boylamları arasında yer almaktadır (URL-8, 2021). Şekil 13'te Trabzon limanı ve Şekil 14'te Trabzon mareograf istasyonu gösterilmektedir.



Şekil 13. Trabzon limanı (URL-9, 2021)



Şekil 14. Trabzon mareograf istasyonu

2.2. Çalışma Alanının Tektonik Yapısı

Coğrafi konum açısından Trabzon ili, Doğu Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Karadeniz sahillerinin doğusu boyunca uzanan yaklaşık 500 km uzunluğunda, 200 km genişliğinde olan Doğu Pontidler' in Kuzey Zonu' nda yer almaktadır (Keskin, 2007).

Güncel jeolojik, jeofizik ve GNSS çalışmaları Gürcistan'daki aktif ters fay ve kıvrım sisteminin Karadeniz'e doğru devam ettiğini ve aktif basınç deformasyonunun Kafkaslar'dan Karadeniz'e doğru azaldığını göstermektedir. Karadeniz'in şelf bölgesini derin basen kısmından ayıran basınç deformasyonuna ait aktif ters faylar, Trabzon sahilinden yaklaşık 5-20 km uzaklıkta, sahile paralel uzanmaktadır. Karadeniz'in güneye doğru oblik yitiminden kaynaklanan aktif deformasyon, şelf bölgesindeki itki fayları ve karadaki doğrultu atımlı faylar tarafından farklı oranlarda paylaşılmıştır. Bu nedenle KAF'ın yıllık sağ yanal hareketi GNSS verilerine göre 24 mm/yıl, Kafkaslar'da 3-5 mm/yıl ve DAF 'ta 9 mm/yıl iken, Doğu Pontidler'in kuzeye doğru itilmesi yılda birkaç mm'dir (Keskin vd., 2007).

2.3. Nivelman Ağının Kuruluşu

Trabzon mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla bir jeodezik nivelman kontrol ağı kurulmuştur. Kurulan bu nivelman ağı, mareograf istasyonu yakınında bulunan MAR-5 noktası, 1 nolu çömlekçi sokakta bulunan RS494/684 noktası, Trabzon deniz limanı sahası içerisinde yeni tesis edilen T1, T3, T4 ve

AN.N noktalarından oluşmaktadır. Mareograf istasyonuna ait RS noktasının (MAR-5) yükseklik değeri Harita Genel Müdürlüğü' nden temin edilmiştir. Diğer RS494/684 noktasının yükseklik değeri ise Trabzon Büyükşehir Belediyesi' nden temin edilmiştir (Şekil 15).



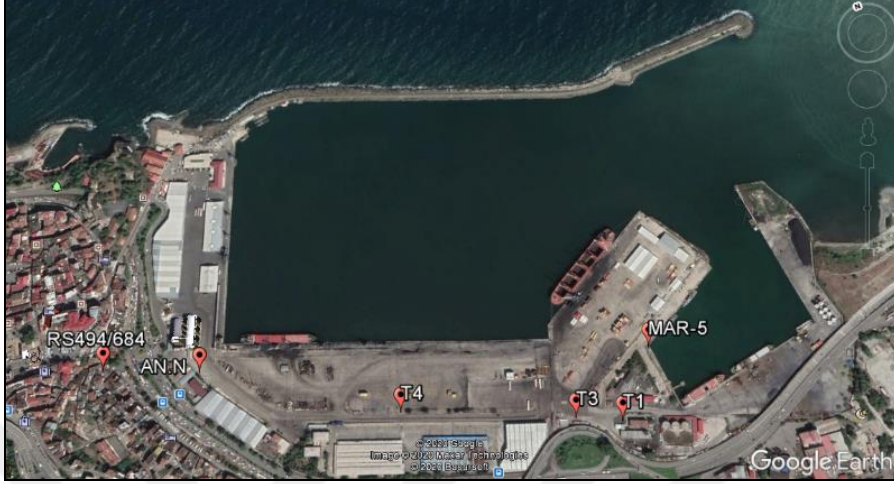
Şekil 15. Nivelman ağı Rs noktaları

Nivelman ağına ait test noktaları Trabzon deniz limanı sahası içerisinde yeni tesis edilen T1, T3, T4 ve AN.N noktalarından oluşmaktadır (Şekil 16).

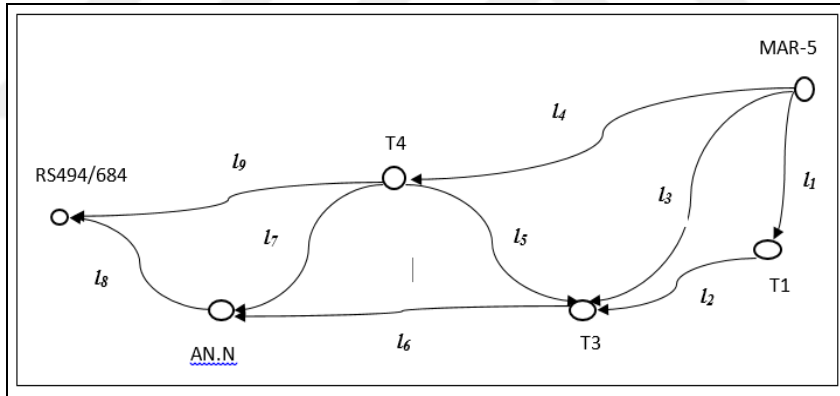


Şekil 16. Nivelman ağı test noktaları

Şekil 17’de çalışma sahası içerisindeki nivelman ağı noktaları ve Şekil 18’ de çalışma sahasına kurulan nivelman ağı gösterilmiştir.



Şekil 17. Nivelman ağı noktaları



Şekil 18. Nivelman ağı

Nivelman ağında Haziran 2020 (I. Periyot), Ekim 2020 (II. Periyot) olmak üzere iki periyot hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır. Tüm güzergahlarda, gidiş ve dönüş olmak üzere hassas nivelman yöntemi kullanılmıştır. Kurulan nivelman ağında toplam 9 güzergahta gidiş- dönüş olmak üzere hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır.

Bu yöntemi uygularken arazinin topoğrafik yapısına, hava koşullarına, alet ile mira arasındaki mesafenin 30 m’ yi geçmemesine ve okunan yükseklik değerlerinin 0.50 m’ nin altına düşmemesine özen gösterilmiştir. Bu şekilde ağa ait tüm güzergahlarda hassasiyeti yüksek ölçüler elde edilmeye çalışılmıştır.

2.4. Nivelman Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi

Her periyotta ölçülen yükseklik farkları serbest ağ yöntemine göre MATLAB R2016b adlı programda yazılan algoritmalarla dengelenmiştir.

Serbest ağ dengelenmesi için tüm güzergâhlardan elde edilmiş olan noktalara ait yükseklik farkları ΔH_i , geçki uzunlukları kilometre cinsinden S_i (km) ve ağ noktalarının yaklaşık yükseklik değerleri programda girdi veri olarak kullanılmıştır. Her iki periyotta da t-dağılımlı uyumsuz ölçüler testi uygulanmış ve her periyotta tek bir güzergâh için uyumsuz ölçüye rastlanmıştır. Bulunan uyumsuz ölçüler çıkarılarak dengelemeye devam edilmiştir.

Böylece uyumlu ölçülerle yapılmış olan serbest ağ dengelenmesi sonucu (5) eşitliğinden ağ noktalarının dengeli yükseklikleri (x_1, x_2), düzeltmelerin kareleri toplamı (v_1, v_2) ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisleri ($Q_{x_1 \times 1}, Q_{x_2 \times 2}$) hesaplanmıştır. Ayrıca (9) eşitliğinden ağdaki noktalara ait yüksekliklerin karesel ortalama hataları (m_{hi}) hesaplanmıştır.

2.5. Nivelman Ağında Deformasyon Analizi

9 Haziran 2020 başlangıç periyodu (t_0) ve 9 Ekim 2020 (t_1) kabul edilmiştir. (t_0) ve (t_1) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Statik deformasyon yöntemlerinden Θ^2 -ölçütü yöntemi MATLAB R2016b programında tarafımda yazılan algoritmalar ile (t_1)-(t₀) zamanları arasında ağda deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir.

(t_1)-(t₀) Periyotları için deformasyon analizinde;

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde girdi veriler olarak serbest ağ dengelenmesi sonucunda elde edilen ağ noktalarının dengeli yükseklikleri (x_1, x_2), düzeltmelerin kareleri toplamı (v_1, v_2) ve ters ağırlık matrisleri ($Q_{x_1 \times 1}, Q_{x_2 \times 2}$) kullanılmıştır.

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (19) eşitliğinden Θ^2 -ölçütü, (21) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası (s_0^2), (22) eşitliğinden test büyüklüğü (T) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü(T) ile F-tablo değeri (q) karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir.

2.6. GNSS Ağına Kuruluşu

Trabzon mareograf istasyonu çevresinde yer kabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla bir jeodezik GNSS kontrol ağı kurulmuştur. Kurulan bu jeodezik GNSS ağı, üç referans ve iki obje noktasından oluşmaktadır. Bu noktalardan referans noktaları konumları yaklaşık olarak şu şekildedir;

Trabzon deniz liman sahası içerisinde menderek kısmında bulunan AN.57 adlı referans noktası, Toprak Mahsülleri Ofisi önünde bulunan AN.N adlı referans noktası ve Trabzon 2. Sahil Cd. Karayolu sanayi bölgesi yakınındaki AN.59 adlı referans noktası kullanılmıştır. Bu noktalara ait röper krokileri Trabzon İller Bankası 17. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Şekil 19' da GNSS ağına ait referans noktaları gösterilmiştir.



Şekil 19. GNSS ağı referans noktaları

GNSS ağına ait obje noktaları yaklaşık konumları şu şekildedir; Trabzon liman sahası içerisinde bulunan Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı XI. Bölge Müdürlüğü yakınında belirlemiş olduğumuz T1 noktası ve Trabzon Mareograf İstasyonu yakınında belirlemiş olduğumuz T2 adlı noktalardan oluşmaktadır. Şekil 20' de GNSS ağına ait obje noktaları gösterilmiştir.



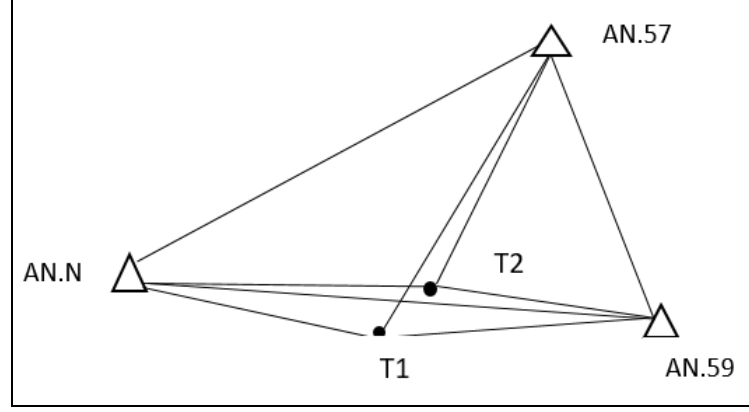
Şekil 20. GNSS ağı obje noktaları

Şekil 21’de çalışma sahası içerisindeki GNSS ağı noktaları gösterilmiştir.



Şekil 21. GNSS ağı noktaları

Şekil 22’de ise çalışma sahasına kurulan GNSS ağı gösterilmiştir.



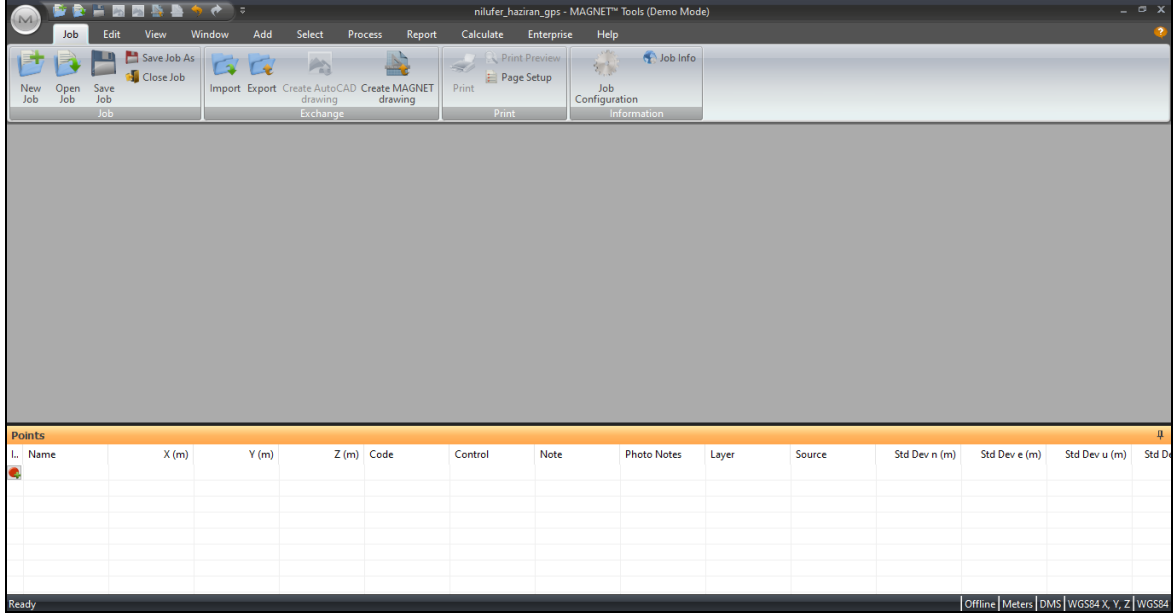
Şekil 22. GNSS ağı

GNSS ağında Haziran 2020 (I. Periyot), Ekim 2020 (II. Periyot) olmak üzere iki periyot statik GNSS ölçüsü yapılmıştır. GNSS ölçüleri için her iki periyotta Topcon markalı GR5 alıcıları kullanılmıştır. GNSS alıcılarının tüm ölçüm periyotlarında aynı noktalarda kullanılmasına özen gösterilmiştir. Ölçüm için ilk olarak sabit olan referans noktalarına GR5 alıcısı kurulmuş, alet yükseklikleri, metre ile karşılıklı olarak 2 kez ölçülerek aritmetik ortalaması alınmış ve kontrol ünitesine bu değerler girilerek noktalarda statik ölçü başlatılmıştır. Referans noktalarında en az 1 saatlik ölçümler yapılmıştır. Ardından obje noktalarında sırası ile T1 ve T2 adlı noktalarda GR5 alıcısı aleti kurulmuş, aletin karşılıklı olarak her iki tarafından yüksekliği metre ile ölçülerek aritmetik ortalaması alınmış ve kontrol ünitesine bu değerlerin girilmesiyle obje noktalarda statik ölçü başlatılmıştır. 20' şer dakikalık hızlı statik ölçü ile veri toplanmıştır. Yapılan tüm periyotlardaki ölçümlerde, kullanılan cihazlar Topcon markadır. Aletlerin veri toplama sıklığı ise 10 saniye olarak belirlenmiştir.

2.7. GNSS Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi

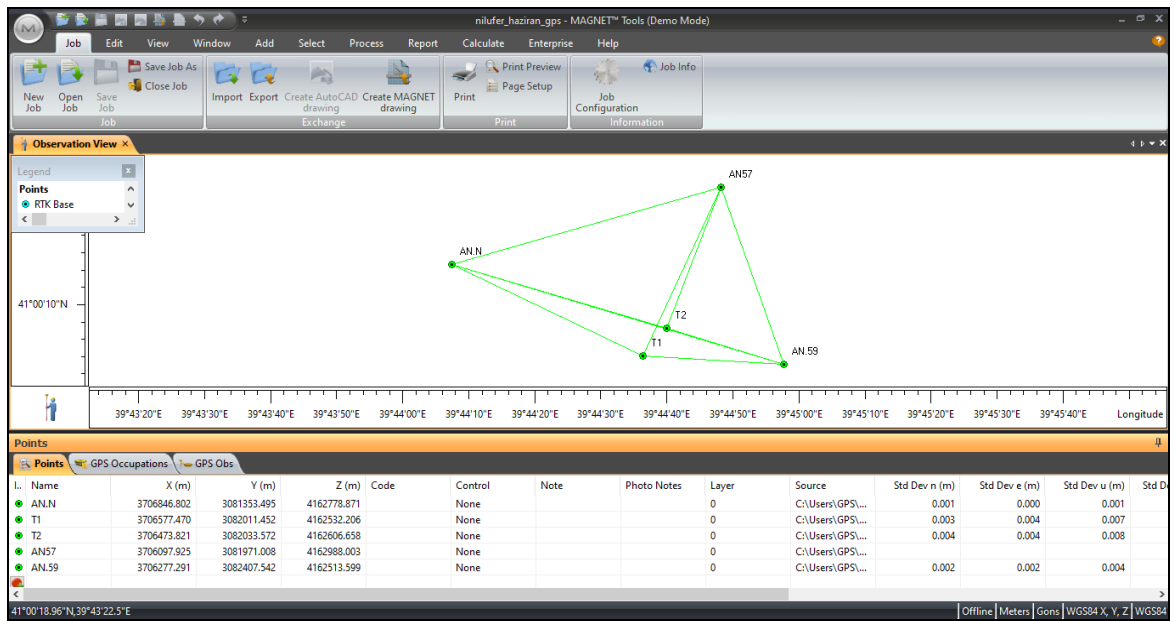
GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi için Magnet Tools v5.1 yazılımı kullanılmıştır. Değerlendirme aşamasında, '.tps' uzantılı veriler herhangi bir format dönüşümü yapılmadan programa aktarılmıştır. Veriler programa aktarıldıktan sonra her bir noktadaki, arazide ölçüm sırasında kullanılan anten yükseklik tipleri ve anten yükseklikleri kontrol edilmiştir. Process işlemi yapılarak ağda baz çözümlene yapılmıştır. Aşağıda GNSS ağına ait ölçümlerin Magnet Tools v5.1 yazılımında değerlendirilme aşamaları gösterilmiştir:

İlk olarak çalışma sahasına kurulan GNSS ağında yapılan “.tps” uzantılı ölçüler Magnet Tools v5.1 programına aktarılmıştır (Şekil 23).



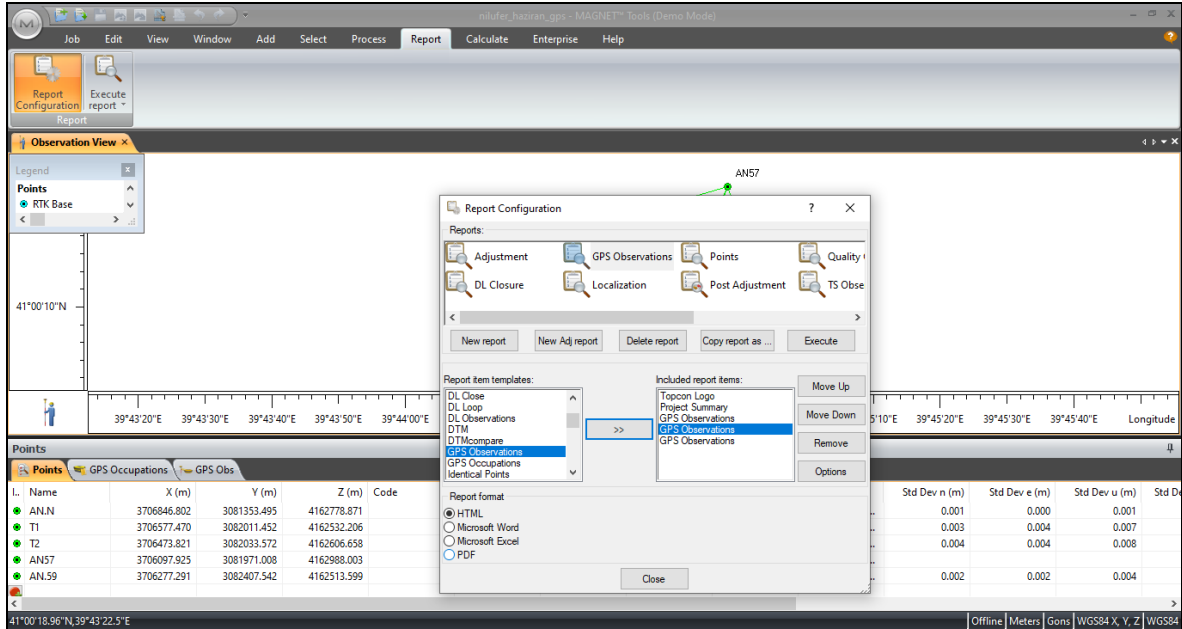
Şekil 23. Magnet Tools v5.1 programına ait ekran görüntüsü

Yazılıma ölçüler yüklendikten sonra anten yükseklikleri, anten yükseklik tipleri, ölçüm süreleri vd. gibi özellikler her bir nokta için kontrol edilmiştir (Şekil 24).

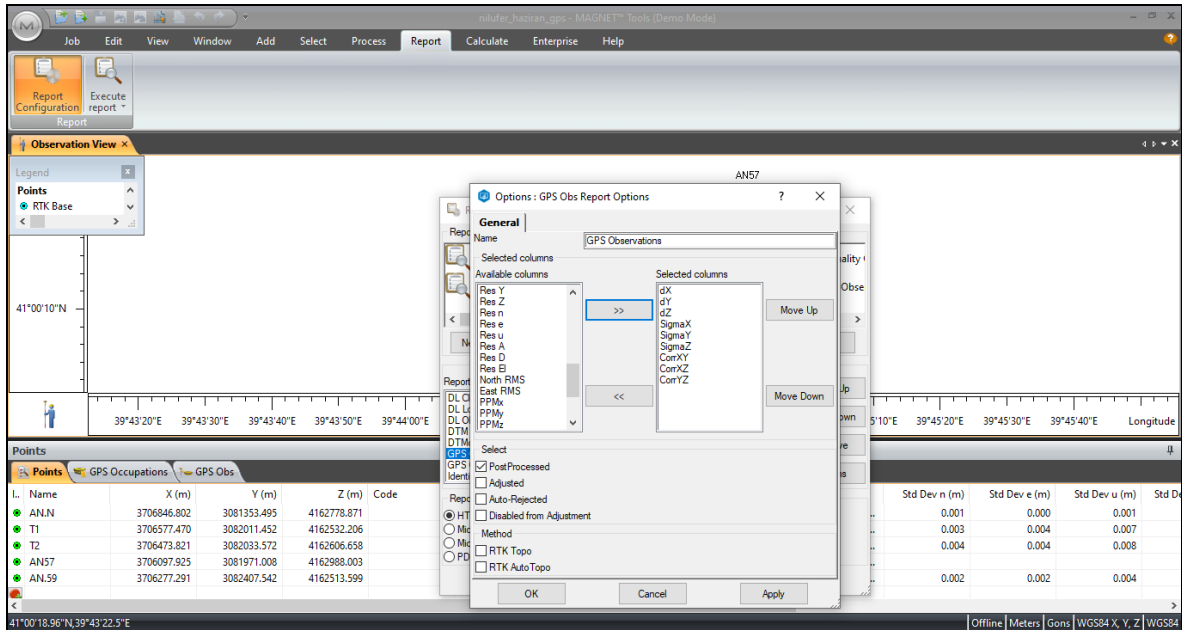


Şekil 24. GNSS ağına ait ölçüm verilerinin ekran görüntüsü

Process işlemi yapılarak ağda baz çözümü işlemi yapılmıştır ve daha sonra Şekil 25 ve Şekil 26'da gösterildiği gibi GPS Observations tablosu için gerekli baz bileşeni, sigma ve korelasyon değerleri açılan pencereden seçilmiştir.



Şekil 25. Magnet Tools report configuration ekran görüntüsü



Şekil 26. Magnet Tools GPS observations report options ekran görüntüsü

GPS Observations - MAGNET™ Tools Report Viewer

Home About

Save As... Select All Copy Print

Topcon

Project Summary

Project name: nilufer_haziran_gps
 Surveyor:
 Comment:
 Linear unit: Meters

GPS Observations

Name	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	SigmaX (m)	SigmaY (m)	SigmaZ (m)	CorrXY	CorrXZ	CorrYZ
AN57-AN.59	179.36883222	436.53637165	-474.40602114	0.00226289	0.00188544	0.00220135	0.3960	0.5423	0.4944
AN57-AN.N	748.87730950	-617.51284831	-209.13204711	0.00071299	0.00067589	0.00090891	0.5933	0.4167	0.3855
AN57-T1	479.54543161	40.44900227	-455.79246413	0.00143816	0.00127391	0.00148276	0.5224	0.6315	0.4719
AN57-T2	375.89627022	62.56119891	-381.35737596	0.00096236	0.00081206	0.00093018	0.4329	0.3322	0.6001
AN.59-AN.N	569.51095160	-1054.04741644	265.27140248	0.00277804	0.00239845	0.00314220	0.3501	0.4396	0.5833
AN.59-T1	300.17841605	-396.09042701	18.60672544	0.00478367	0.00396374	0.00442356	0.2422	0.4196	0.6260
AN.59-T2	196.52948173	-373.97030615	93.05879666	0.00518081	0.00460812	0.00506970	0.3680	0.4461	0.5156
AN.N-T1	-269.33219479	657.95557291	-246.66423776	0.00328458	0.00236642	0.00334117	0.3731	0.6057	0.5024
AN.N-T2	-372.98496296	680.06808225	-172.22873403	0.00148061	0.00113133	0.00149267	0.4763	0.2803	0.6202

Şekil 27. GPS observations tablosu ekran görüntüsü

Son olarak, daha sonra GNSS verilerinin serbest dengelenmesi aşamasında kullanılmak üzere GPS Observations verileri tablosu oluşturulmuştur (Şekil 27).

Magnet Tools v5.1 yazılımında GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi yapıldıktan sonra noktaların WGS-84 sisteminde koordinat farkları (baz bileşenleri) ΔX , ΔY ve ΔZ ve bu farklara ait varyans- kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Bu işlemlerin ardından MATLAB R2016b programında yazılan algoritmalar ile herbir periyot için serbest ağ yöntemi ile dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda, noktaların dengeli koordinatları (X,Y,Z) ve varyans-kovaryans matrisleri (Q_{xx1} , Q_{xx2}) elde edilmiştir.

2.8. GNSS Ağında Deformasyon Analizi

8 Haziran 2020 başlangıç periyodu (t_0) ve 8 Ekim 2020 (t_1) kabul edilmiştir. (t_0) ve (t_1) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Statik deformasyon yöntemlerinden Θ^2 - ölçütü yöntemi MATLAB R2016b programında tarafımda yazılan algoritmalar ile (t_1)-(t_0) zamanları arasında ağda deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir.

(t_1)- (t_0) Periyotları için deformasyon analizinde;

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde girdi veriler olarak serbest ağ dengelemesi sonucunda elde edilen ağ noktalarının dengeli koordinatları (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), düzeltmelerin kareleri toplamı (v_1, v_2) ve ters ağırlık matrisleri (Q_{x1x1}, Q_{x2x2}) kullanılmıştır.

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (19) eşitliğinden Θ^2 -ölçütü, (21) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası (s_0^2), (22) eşitliğinden test büyüklüğü (T) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü (T) ile F-tablo değeri (q) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir.



3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları

I. Periyot ve II. periyot nivelman ağı dengelemesinde t- dağılımlı uyuşumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Bunun sonucunda her periyot için tek bir güzergahta uyuşumsuz ölçüye rastlanmış olup bu ölçüler çıkarılarak dengelemeye devam edilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 3’ te I. ve II. periyot nivelman ağı için yapılan uyuşumsuz ölçüler test sonuçları gösterilmiştir. Korelasyonsuz ölçüler için S_{0i} hesabı (14) eşitliğinden, test büyüklüğü ise (13) eşitliğinden hesaplanır. Test büyüklüğü, t tablo değeri ile karşılaştırılarak uyuşumsuz ölçünün varlığına karar verilir.

Tablo 3. Nivelman ağı uyuşumsuz ölçüler testi

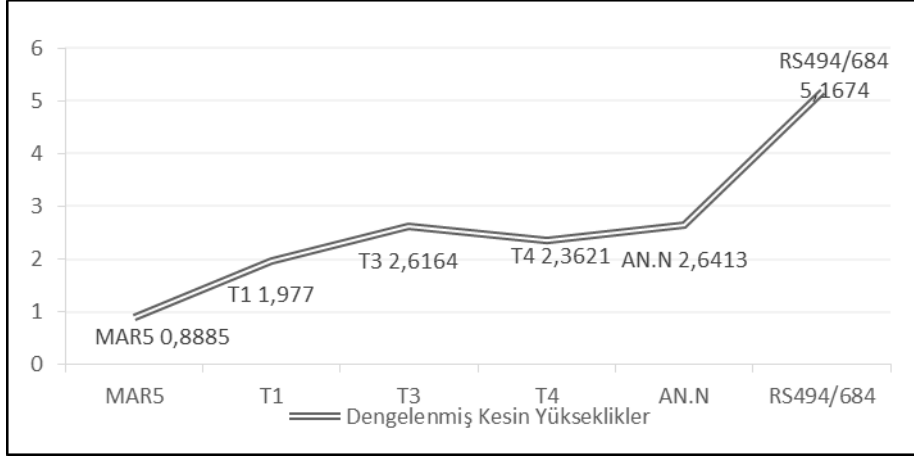
	T-Dağılımlı Uyuşumsuz Ölçüler Testi Sonuçları	
	I. Periyot	II. Periyot
T_{vi_max}	2.4841	1.0862
t_tablo	4.3027	4.3027
Karar	$T_{vi_max} < t_tablo$ olduğundan uyuşumsuz ölçü yoktur.	$T_{vi_max} < t_tablo$ olduğundan uyuşumsuz ölçü yoktur.

3.1.1. I. Periyot Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları

I. Periyot nivelman ağındaki noktalara ait ölçülerinin dengelenmesi sonucu dengelenmiş kesin yükseklik değerleri Tablo 4 ve Şekil 28’de gösterilmiştir.

Tablo 4. I. periyot dengelenmiş kesin yükseklikler

Nokta Adı	Dengeli Kesin Yükseklikler (m)
MAR-5	0.8885
T1	1.9770
T3	2.6164
T4	2.3621
AN.N	2.6413
RS494/684	5.1674

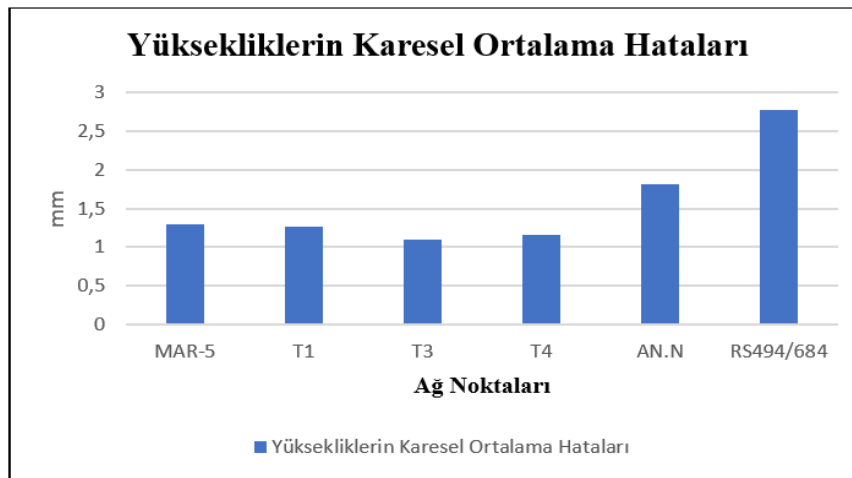


Şekil 28. I. periyot dengelenmiş kesin yükseklik değerleri

Nivelman ağındaki noktalara ait I. Periyot ölçülerinden elde edilen yüksekliklerin karesel ortalama hataları (mh) Tablo 5 ve Şekil 29’ da gösterilmiştir.

Tablo 5. I. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hatası

Nokta Adı	Yüksekliklerin Karesel Ortalama Hatası (mm)
MAR-5	1.30
T1	1.27
T3	1.10
T4	1.15
AN.N	1.82
RS494/684	2.77



Şekil 29. I. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hataları

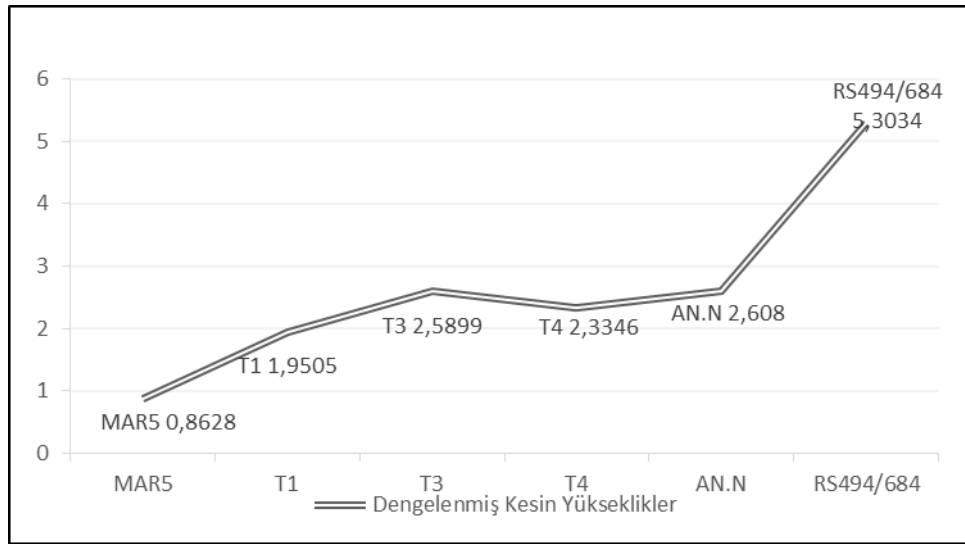
Tablo 5 ve Şekil 29'dan da görüldüğü üzere ağda bulunan noktalardan T3 nolu nokta 1.10 mm ile minimum karesel ortalama hataya, RS494/684 nolu nokta ise 2.77 mm ile maksimum karesel ortalamaya sahiptir.

3.1.2. II. Periyot Nivelman Ağı Dengelemesi Sonuçları

II. Periyot nivelman ağındaki noktalara ait ölçülerinin dengelenmesi sonucu dengelenmiş kesin yükseklik değerleri Tablo 6 ve Şekil 30'da gösterilmiştir.

Tablo 6. II. periyot dengelenmiş kesin yükseklikler

Nokta Adı	Dengeli Kesin Yükseklikler (m)
MAR-5	0.8628
T1	1.9505
T3	2.5899
T4	2.3346
AN.N	2.608
RS494/684	5.3034

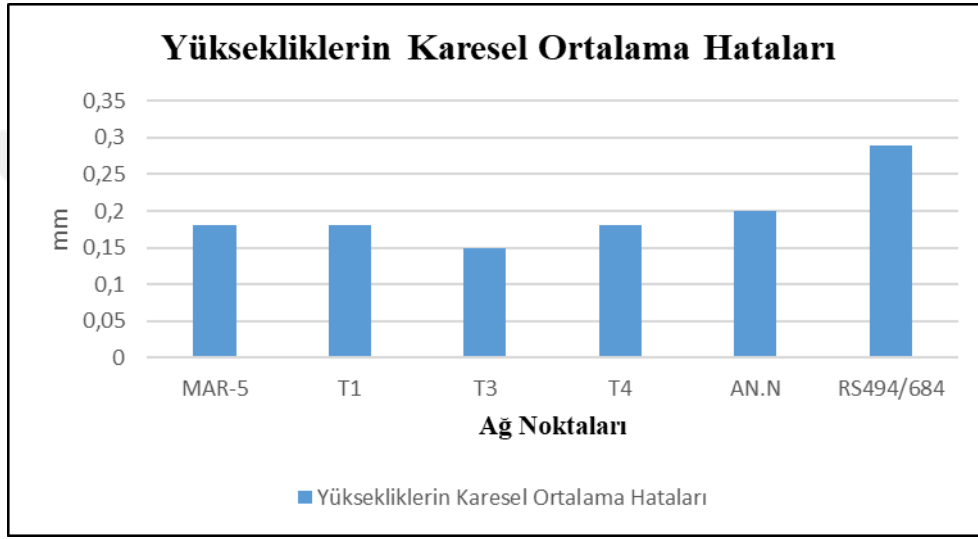


Şekil 30. II. periyot dengelenmiş kesin yükseklik değerleri

II. Periyot ölçülerinden elde edilen yüksekliklerin karesel ortalama hataları (mh) Tablo 7 ve Şekil 31'de gösterilmiştir.

Tablo 7. II. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hatası

Nokta Adı	Yüksekliklerin Karesel Ortalama Hatası (mm)
MAR-5	0.18
T1	0.18
T3	0.15
T4	0.18
AN.N	0.20
RS494/684	0.29



Şekil 31. II. periyot yüksekliklerin karesel ortalama hataları

Tablo 7 ve Şekil 31'den de görüldüğü gibi ağda bulunan noktalardan T3 nolu nokta 0.15 mm ile minimum karesel ortalama hataya, RS494/684 nolu nokta 0.29 mm ile maksimum karesel ortalama hataya sahiptir.

Haziran ve Ekim aylarında iki periyot ölçü olarak yapılan hassas nivelman ölçüleri sonucunda her iki periyotta da T3 nolu noktaya ait yükseklik karesel ortalama hata değeri minimum, RS494/684 nolu noktaya ait yükseklik karesel ortalama hata değeri maksimum olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler ile ağ noktalarının duyarlılık açısından iyi olduğu görülmektedir.

3.2. Nivelman Ağı Deformasyon Analizi Sonuçları

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonuçları Tablo 8' de sunulmuştur.

Tablo 8. Nivelman ağı Θ^2 -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi değerleri

Testler	Sonuçlar
Θ^2 -Ölçütü	0.0313
s_0^2	8.7430
Test Büyüklüğü	$7.1513 \cdot 10^{-4}$
F-tablosu (q)	4.3874
Karar	T<F Deformasyon yok

Tablo 8'de; oluşturulan nivelman ağındaki Θ^2 - Ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonucunda (t_1)- (t_0) periyotları arasında hesaplanan test büyüklüğü değerinin (T), F tablo değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda Haziran 2020 ile Ekim 2020 periyotları arasında geçen sürede, kurulmuş olan nivelman ağındaki herhangi bir deformasyonun olmadığı görülmektedir.

3.3. GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları

I. Periyot ve II. periyot GNSS ağı dengelemesinde t- dağılımlı uyuşumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Bunun sonucunda her periyot için tek bir güzergahta uyuşumsuz ölçüye rastlanmıştır olup bu ölçüler çıkarılarak dengelemeye devam edilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 9' da I. ve II. periyot GNSS ağı için yapılan uyuşumsuz ölçüler test sonuçları gösterilmiştir. Korelasyonlu ölçüler için s_{0i} hesabı (16) eşitliğinden, test büyüklüğü ise (15) eşitliğinden hesaplanır. Test büyüklüğü, t tablo değeri ile karşılaştırılarak uyuşumsuz ölçünün varlığına karar verilir

Tablo 9. GNSS ağı uyuşumsuz ölçüler testi sonuçları

	T-Dağılımlı Uyuşumsuz Ölçüler Testi Sonuçları	
	I. Periyot	II. Periyot
T_{vi_max}	1.6825	0.8493
t_tablo	2.2010	2.2010
Karar	$T_{vi_max} < t_tablo$ olduğundan uyuşumsuz ölçü yoktur.	$T_{vi_max} < t_tablo$ olduğundan uyuşumsuz ölçü yoktur.

3.3.1. I. Periyot GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları

I. Periyot GNSS ağındaki noktalara ait ölçülerinin dengelenmesi sonucu dengelenmiş koordinat değerleri Tablo 10' da gösterilmiştir.

Tablo 10. I. periyot dengelenmiş koordinatlar

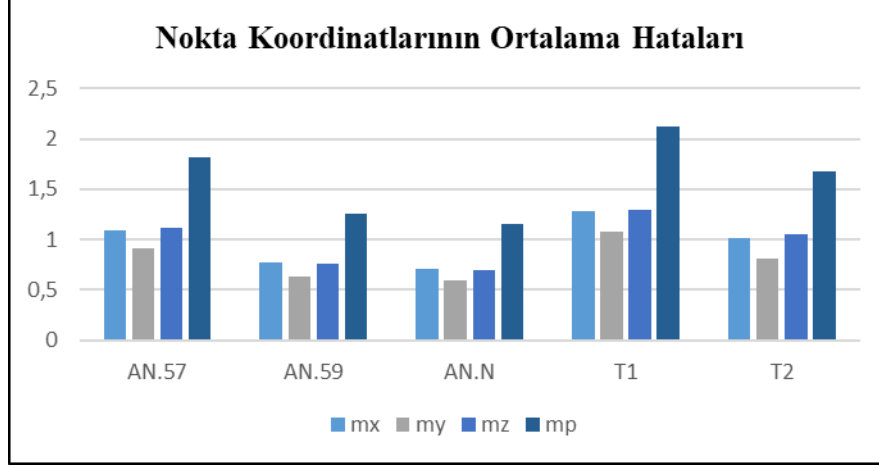
Nokta Adı	X(m)	Y(m)	Z(m)
AN.57	3706577.469	3082011.454	4162532.211
AN.59	3706473.82	3082033.567	4162606.647
AN.N	3706097.924	3081971.006	4162988.004
T1	3706277.292	3082407.543	4162513.599
T2	3706846.804	3081353.498	4162778.875

I. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta koordinatlarının ortalama hataları (m_x , m_y , m_z) (9) eşitliğinden ve nokta konumunun ortalama hataları (m_p) (10) eşitliğinden hesaplanmıştır.

Tablo 11 ve Şekil 32' de I. Periyot GNSS ağına ait nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları görülmektedir.

Tablo 11. I. periyot GNSS ağı nokta koordinatları ve nokta konumunun ortalama hataları

Nokta Adı	Nokta Koordinatlarının Ortalama Hataları			Nokta Konumunun Ortalama Hataları (mm)
	m_x (mm)	m_y (mm)	m_z (mm)	
AN.57	1.0965	0.9189	1.1119	1.8119
AN.59	0.7697	0.6347	0.7635	1.2563
AN.N	0.7057	0.5958	0.6986	1.1580
T1	1.2843	1.0830	1.2926	2.1197
T2	1.0202	0.8110	1.0596	1.6797



Şekil 32. Nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları

Tablo 11 ve Şekil 32’den de görüldüğü üzere ağ noktalarının koordinatlarının ortalama hataları maksimum 1.2926 mm, nokta konumlarının da ortalama hataları maksimum 2.1197 mm olarak bulunmuştur.

3.3.2. II. Periyot GNSS Ağı Dengelemesi Sonuçları

II. Periyot GNSS ağındaki noktalara ait ölçülerinin dengelenmesi sonucu dengelenmiş koordinat değerleri Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. II. periyot dengelenmiş koordinatlar

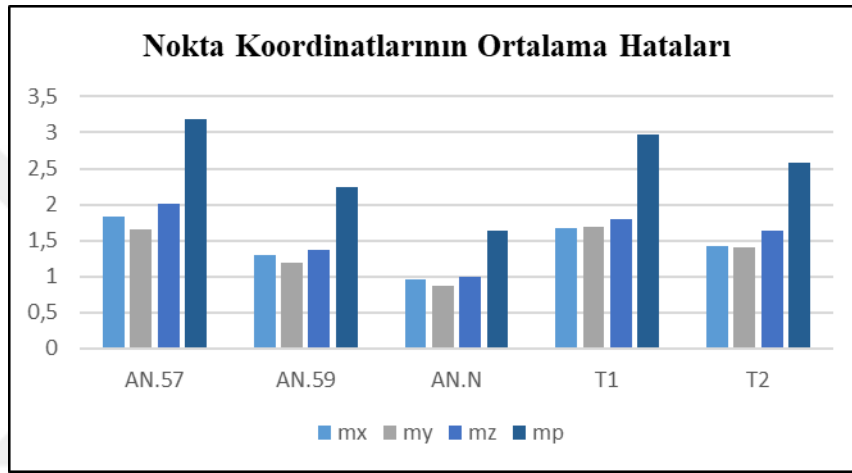
Nokta Adı	X(m)	Y(m)	Z(m)
AN.57	3706581.764	3082014.604	4162537.726
AN.59	3706478.119	3082036.705	4162612.158
AN.N	3706102.224	3081974.148	4162993.524
T1	3706281.524	3082410.631	4162519.033
T2	3706851.069	3081356.612	4162784.362

II. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta koordinatlarının ortalama hataları (mx, my, mz) (9) eşitliğinden ve nokta konumunun ortalama hataları (mp) (10) eşitliğinden hesaplanmıştır.

Tablo 13 ve Şekil 33’ de II. Periyot GNSS ağına ait nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları görülmektedir.

Tablo 13. II. periyot GNSS ağı nokta koordinatları ve nokta konumunun ortalama hataları

Nokta Adı	Nokta Koordinatlarının Ortalama Hataları			Nokta Konumunun Ortalama Hataları (mm)
	mx (mm)	my (mm)	mz (mm)	
AN.57	1.8308	1.6563	2.0104	3.1838
AN.59	1.3047	1.1964	1.3721	2.2398
AN.N	0.9515	0.8741	0.9887	1.6269
T1	1.6799	1.6846	1.7921	2.9785
T2	1.4275	1.3950	1.6440	2.5858



Şekil 33. Nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları

Tablo 13 ve Şekil 33'ten de görüldüğü üzere ağ noktalarının koordinatlarının ortalama hataları maksimum 2.0104 mm, nokta konumlarının da ortalama hataları maksimum 3.1838 mm' dir.

Haziran ve Ekim aylarında iki periyot ölçü olarak yapılan hızlı statik GNSS ölçüleri sonucunda I. periyotta T1 nolu noktaya ait nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hatası değeri maksimum olarak bulunmuştur. II. periyotta ise AN.57 nolu noktaya ait nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hatası değeri maksimum olarak bulunmuştur.

3.4. GNSS Ağı Deformasyon Analizi Sonuçları

Θ^2 - ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonuçları Tablo 14' de sunulmuştur.

Tablo 14. GNSS ağı Θ^2 -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi değerleri

Testler	Sonuçlar
Θ^2 -Ölçütü	$1.9720 \cdot 10^3$
s_0^2	$1.6171 \cdot 10^6$
Test Büyüklüğü	$1.0162 \cdot 10^{-4}$
F-tablosu (q)	2.1834
Karar	T<F Deformasyon yok

Tablo 14'te; oluşturulan GNSS ağına Θ^2 -Ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonucunda (t_1)- (t_0) periyotları arasında hesaplanan test büyüklüğü değerinin (T), F tablo değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda Haziran 2020 ile Ekim 2020 periyotları arasında geçen sürede, kurulmuş olan GNSS ağına herhangi bir deformasyonun olmadığı görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesi, Trabzon ili, deniz limanı sahası içerisinde bulunan TRBZ adlı mareograf istasyonu çevresindeki yer kabuğu hareketliliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Mareograf istasyonları jeodezik açıdan büyük öneme sahip olup deniz seviyesini ölçmelerini sağlayan istasyonlardır. Bu ölçüler jeodezi alanında yükseklik sistemleri için düşey datum belirleme çalışmalarında ve düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde kullanılır. Mareograf istasyonları deniz seviyesini ölçerken yüksek hassasiyetle ve doğrulukla çalışmalarını yapması jeodezi alanı için önemlidir. Bu amaçla çalışma alanında bir jeodezik nivelman ve GNSS kontrol ağı kurulmuştur.

Çalışma kapsamında kurulan jeodezik nivelman ağında Haziran 2020 (I. Periyot), Ekim 2020 (II. Periyot) olmak üzere iki periyotta hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır. Tüm güzergahlarda, gidiş ve dönüş olmak üzere hassas nivelman yöntemi kullanılmıştır. Her periyotta ölçülen yükseklik farkları serbest ağı yöntemine göre MATLAB R2016b adlı programda tarafınca yazılan programda dengelenmiştir. 9 Haziran 2020 başlangıç periyodu (t_0) ve 9 Ekim 2020 (t_1) kabul edilmiştir. (t_0) ve (t_1) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Statik deformasyon yöntemlerinden Θ^2 - ölçütü yöntemi seçilmiş olup, yine MATLAB R2016b programında tarafınca yazılan programda deformasyon analizi yapılmıştır. Yapılan deformasyon analizi sonucunda Tablo 8' de görüldüğü üzere:

Nivelman ağında Θ^2 -Ölçütü yöntemine göre, Test büyüklüğü değeri (T) $7.1513 \cdot 10^{-4}$, F tablo değeri ise 4.3874 olarak hesaplanmıştır. Yani T test büyüklüğü değeri F tablo değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu durum oluşturulan nivelman ağında geçen zaman içinde deformasyon olmadığı anlamına gelmektedir. Yapılan bu Global test, yaklaşık 4 aylık bir periyotta çalışma alanı olarak seçilen Trabzon mareograf istasyonu çevresinde düşey yönlü anlamlı bir hareketin olmadığını göstermektedir.

Çalışma kapsamında kurulan jeodezik GNSS ağında Haziran 2020 (I. Periyot), Ekim 2020 (II. Periyot) olmak üzere iki periyotta hızlı statik GNSS ölçüsü yapılmıştır. 3 referans noktası ve 2 obje noktasından oluşan bu ağda, 10 saniyelik veri toplama aralığı ile obje noktalarında 20' şer dakikalık, referans noktalarında ise en az 1' er saatlik hızlı statik GNSS ölçüsü yapılmıştır. GNSS ağından toplanan veriler .tps uzantısı ile Magnet Tools

v5.1 yazılımına aktarılmıştır. Burada yapılan process işlemleri sonucunda WGS-84 sisteminde koordinat farkları (baz bileşenleri) ΔX , ΔY ve ΔZ ve bu farklara ait varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Her periyotta ölçülen değerler serbest ağ yöntemine göre MATLAB R2016b adlı programda yazılan algoritmalar ile dengelenmiştir. 8 Haziran 2020 başlangıç periyodu (t_0) ve 8 Ekim 2020 (t_1) kabul edilmiştir. (t_0) ve (t_1) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Statik deformasyon yöntemlerinden Θ^2 - ölçütü yöntemi seçilmiş olup, yine MATLAB R2016b programında tarafımda yazılan programda deformasyon analizi yapılmıştır. Yapılan deformasyon analizi sonucunda Tablo 14' de görüldüğü üzere:

GNSS ağında Θ^2 -Ölçütü yöntemine göre, Test büyüklüğü değeri (T) $1.0162 \cdot 10^{-4}$, F tablo değeri ise 2.1834 olarak hesaplanmıştır. Yani T test büyüklüğü değeri F tablo değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu durum oluşturulan GNSS ağında geçen zaman içinde deformasyon olmadığı anlamına gelmektedir. Yapılan bu Global test, yaklaşık 4 aylık bir periyotta çalışma alanı olarak seçilen Trabzon mareograf istasyonu çevresinde anlamlı bir hareketin olmadığını göstermektedir.

Yapılan tüm bu çalışmalar kapsamında;

Hem nivelman ağında hem de GNSS ağında iki ayrı periyotta ölçümler yapılmıştır. Bu periyotlar arasında geçen 4 aylık süre boyunca kurulan nivelman ve GNSS ağlarında herhangi bir deformasyon gözlenmemiş olup Trabzon mareograf istasyonu çevresinde anlamlı bir hareketin olmadığı belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde deformasyon çıkmamış olmasının nedeni olarak; çalışma bölgemiz olan TRBZ isimli mareograf istasyonu çevresindeki zemin yapısının sert olması ve ölçü tekrarının 4 ay gibi kısa bir periyotta yapılması olarak düşünülmüştür.

Ancak yapılan bu çalışmalar da, periyot sayısı artırılıp uzun dönemli olarak ölçümler yapıldığı takdirde deformasyonun varlığına dair farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu sebeple periyotlar arası sürenin daha uzun tutularak çalışmaların farklı periyotlarda düzenli aralıklarla tekrarlanması önerilmektedir.

Periyodik süre uzatıldığı takdirde Trabzon mareograf istasyonu çevresinde herhangi bir düşey ya da yatay yönlü hareketlenmelerin varlığı tespiti durumunda mareograf istasyonlarının bilimsel çalışmalar açısından önemi göz önünde bulundurularak ilgili kurum olan Harita Genel Müdürlüğü' ne bildirilmesi ve önceden tedbir alınabilmesi sağlanmalıdır.

Önerildiđi üzere daha uzun dönemli periyotlar şeklinde tekrarlı hassas nivelman ve GNSS ölçülerinin yapılması gelecekteki birçok bilimsel çalışmaya da katkı sağlayacaktır.



5. KAYNAKLAR

- Abdulmajed, R.I.A., 2017. Accuracy Comparison Between Gps Only And Gps Plus Glonass In Rtk And Static Methods, Master Thesis, Selçuk University, The Graduate School Of Natural And Applied Science, Konya.
- Atasoy, V., 2014. Arazi Ölçmeleri, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, 594 S.
- Aydın, Ö., 1998. Hassas Yükseklik Ölçmeleri, Y.T.Ü Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- Aydın, Ö., Ata, E. ve Pırtı, A., 2004. RTK GPS Sisteminin Poligon Ölçmelerinde Kullanımı, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 22, 1, 56-63.
- Banimostafavi, Z., Farzaneh, S. ve Sharifi, M.A., 2020. Evaluation Of Combinatorial Methods Used For Datum Definition In Classical Geodetic Network Monitoring, Scientific-Research Quarterly Of Geographical Data (SEPEHR), 29, 114 ,21-35.
- Baselga, S., García-Asenjo, L. ve Garrigues, P., 2015. Deformation Monitoring And The Maximum Number Of Stable Points Method. Measurement, 70, 27–35.
- Bak, M., 2014. Jeodezik Çalışmalarla İzmit Körfezi ve Yakın Çevresi Kabuk Deformasyonlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ceylan, A., 1993. Presizyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ceylan, A., 2009. Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih Mi Oluyor?, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mayıs, Ankara.
- Doğan, A., 2019. Yüzey Deformasyonlarının Hassas Nivelman Tekniği ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Doğanalp, S., Turgut, B. ve İnal, C., 2006. Yükseklik Ağlarında Q^2 Ölçütü ve Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi, Teknik- Online Dergi, 5, 2, 49- 59.
- Dündar, V. ve Erdi, A., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri İçin Diferansiyel GPS (DGPS) Yöntemi ile Veri Toplama, Harita Dergisi, 35-52.
- Ebadi, H., 2000. Positioning With GPS, K.N.Toosı University Of Technology, İran.

- Ekinci, S.K., 2008. Sayısal Presizyonlu Nivelolar ve Sayısal Presizyonlu Nivelman Tekniğinin Doğruluğu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, S., 2008. GPS ve Nivelman Ölçüleriyle Deformasyonların Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Frangez, V., Serantoni, E. ve Wieser, A., 2020. Geodetic Monitoring of Digitally Fabricated Structures Early After Construction, FIG Working Week 2020 Smart surveyors for land and water management, May, Amsterdam, the Netherlands, 10556, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000410117>
- Gökalp, E. ve Taşçı, L., 1999. GPS' in Sınır Belirleme Çalışmalarında Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 86, 21-25.
- Güngör, O., 2000. Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS' in Jeodezik Çalışmalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gürdal, M.A., 1998. Deniz Seviyesi Ölçmeleri ve Harita Genel Komutanlığınca İşletilen Mareograf İstasyonları, Harita Dergisi, 35, 119, 1-14.
- Hastaoğlu, K.Ö., 2009. GPS Hızlı Statik Yöntemiyle Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması: Sivas Koyulhisar Heyelanı Örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahraman, K.M., 2015. Kinematik Ölçü Yöntemlerinden Klasik Rtk ile Ağ-Rtk (Cors-Tr) Yönteminin Konum Doğruluğu Açısından Test Edilmesi: Sayısal İşletme Projelerinde Uygulanmaları, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Genel Müdürlüğü.
- Kalkan, Y. ve Alkan, R.M., 2005. Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Kasım, İTÜ, İstanbul.
- Keskin, S., 2007. Güneydoğu (GD) Karadeniz Sahil Kesiminin (Trabzon Yöresi) Denizel Taraçaları ve Aktif Tektoniği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keskin, S., Bektaş, O., Eyüboğlu, Y. ve Yücel, C., 2007. GD Karadeniz Sahil Kesiminin (Trabzon Yöresi) Aktif Tektoniği, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, Mayıs, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, TURQUA-VI, 138- 150.
- Konakoğlu, B., 2019. Beton Barajlarda Deformasyonların Statik, Kinematik ve Dinamik Modeller ile Belirlenmesi: Artvin Deriner Barajı Örneği, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Maden, N. ve Dondurur, D., 2012. Orta Karadeniz Sirtının Tektonik ve Kabuk Yapısının Gravite Verileri Yardımıyla Belirlenmesi, Jeofizik, 17, 25-37.

- Meo, M. ve Zumpano, G., 2005. On The Optimal Sensor Placement Techniques For A Bridge Structure. Eng. Struct., 27, 1488–1497.
- Parke, J.R., White, R.S., McKenzie, D., Minshull, T.A., Bull, J.M., Kuşçu, I., Görür, N. ve Şengör, C., 2002. Interaction Between Faulting And Sedimentation İn The Sea Of Marmara, Western Turkey, Journal Of Geophysical Research, 107, B11, 1-20.
- Parsons, T., 2004. Recalculated Probability Of $M \geq 7$ Earthquakes Beneath The Sea Of Marmara, Turkey, Journal Of Geophysical Research, 109, B05304, 1-21.
- Pingue, F., Petrazzuoli, S.M., Obrizzo, F., Tammaro, U., De Martino, P. ve Zuccaro, G. 2011. Monitoring System Of Buildings With High Vulnerability İn Presence Of Slow Ground Deformations (The Campi Flegrei, Italy, case). Measurement, 44, 1628–1644.
- 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.
- Santos, M.C., Souza, C.B. and de Freitas, S.R.C., 2000. A Practical Evaluation Of The GPS Rapid Static Method, Geomatica, 54, 4, 425-432.
- Selim, H.H., Tüysüz, O. ve Barka, A.A., 2006. Güney Marmara Bölümünün Neotektoniği, İTÜ DERGİSİ/ d, 5, 1, 151-160.
- Sezen, E., 2006. Antalya-I (1935-1977) ve Antalya-II (1985-2005) Mareograf İstasyonlarında Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Simav, M., Türkezer, A., Sezen, E., Akyol, S., İnam, M., Cingöz, A., Lenk, O. ve Kılıçoğlu, A., 2011. Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Ağı Veri Kalite Kontrol ve Yönetim Sistemi (Data Quality Control & Management System of Turkish Sea Level Monitoring Network), Harita Dergisi, 145, 15-28.
- Şişman, Y., 2005. Uyuşumsuz Ölçü Gruplarının Belirlenmesi Yöntemleri, Harita Dergisi, 133, 74- 89.
- Tanır Kayıkçı, E. ve Yalçınkaya, M., 2015. Determination of Horizontal Movements by Static Deformation Models: A Case Study on the Mining Area, Experimental Techniques, 39, 70-81.
- Tari, E., Şahin, M., Barka, A., Reilinger, R., King, R.W., McClusky, S. ve Prilepin, M., 2000. Active Tectonics Of The Black Sea With GPS, Earth Planets Space, 52, 747-751.
- Taşçı, L., 2008. Dam Deformation Measurements With GPS, Geodezija ir Kartografija, 34, 4, 116-121.

- Tüdeş, T., 1995. Aplikasyon, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 257 S.
- Ulukavak, M., 2010. IGS İstasyon Noktalarının Sabitliğinin Araştırılması: TRAB IGS Noktası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ünver, M., 1988. Düşey Yöndeki Yerkaşığı Hareketlerinin Duyarlıklı Nivelman Ölçüleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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, 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Mart, Orange, California, USA, FIG Publication No: 25.
- Wisniewski, Z. ve Kaminski, W., 2020. Estimation and Prediction of Vertical Deformations of Random Surfaces, Applying the Total Least Squares Collocation Method, Sensors, 20, 3913, doi:10.3390/s20143913.
- Xu, P., Ando, M. ve Tadakoro, K., 2005. Precise, three-dimensional seafloor geodetic deformation measurements using difference techniques, Earth Planet Space, 57, 795-808. <https://doi.org/10.1186/BF03351859>
- Yalçın, M., 2019. Bolvadin Fayı Yüzey Deformasyonlarının Hassas Nivelman Ölçüleriyle İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Yalçınkaya, M., 2003. Monitoring Crustal Movements in West Anatolia by Precision Leveling, Journal of Surveying Engineering-Asce., 129, 1, 44-49.
- Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M.A., Akabalı, O.A., Demirkol, E.Ö., Ayhan, M.E. ve Türkoğlu Y., 2003. Antalya-İı, Bodrum-İı, Erdek ve Menteş Mareograf İstasyonlarına Ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi, Harita Dergisi, 70, 17, 1-75.
- URL-1, https://avesis.ktu.edu.tr/n_berber/dokumanlar 11 Eylül 2020.
- URL-2, <https://www.harita.gov.tr/images/projeler/7872469b0e1510d.pdf>. 21 Eylül 2020.
- URL-3, <https://iujfk.files.wordpress.com/2011/06/tektonik-birlikler.pdf>. 18 Ekim 2020.
- URL-4, http://gisalku2.alanya.edu.tr/UmitGUMUSAY/Dersler/Lisans/MimarliktaTopografya/DersNotlari/MimarliktaTopografyaBolum_9.pdf 20 Kasım 2020.
- URL-5, https://web.itu.edu.tr/bilgi/Topografya/Topografya_DN_1.pdf 16 Aralık 2020.

URL-6, https://iujfk.files.wordpress.com/2012/03/yukseklolcmeleri_halilerkaya.pdf 22
Aralık 2020.

URL-7, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gps.pdf. 24
Aralık 2020.

URL-8, <http://www.trabzon.gov.tr/cografi-ozellikleri> 10 Ocak 2021.

URL-9, <http://trabzonport.com.tr/> 10 Ocak 2021.



ÖZGEÇMİŞ

Nilüfer DEMİRSOY, ilköğrenimi Ayfer Karakullukçu ilköğretim okulunda tamamladı. Lise eğitimini Tevfik Serdar Anadolu Lisesi' nde tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği bölümüne başladı ve lisans eğitimini burada tamamlayarak "Harita Mühendisi" olarak mezun oldu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Bildiği yabancı dil İngilizce' dir. Lisansüstü eğitimi sırasında 15.12.2019- 15.10.2020 tarihleri arasında "Deprem Öncesi İyonosferik Toplam Elektron İçeriği Değişimleri ile Deprem İzlenebilirliğinin İncelenmesi ve TRAB GNSS Verileriyle Sürekli İyonosferik TEC İzleme Sisteminin Kurulabilirliğinin Araştırılması" adlı TÜBİTAK Projesinde bursiyer olarak görev almıştır. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği bölümü' nde lisansüstü eğitimini sürdürmektedir.