

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜMÜŞHANE – TRABZON HATTI BOYUNCA YERKABUĞU
HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fırat ALTINTAŞ

OCAK 2014

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜMÜŞHANE – TRABZON HATTI BOYUNCA YERKABUĞU

HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fırat ALTINTAŞ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“Harita Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.01.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 29.01.2014

OCAK 2014

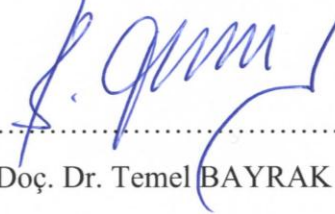


KABUL ve ONAY




Doç. Dr. Temel BAYRAK danışmanlığında Fırat ALTINTAŞ tarafından hazırlanan **“GÜMÜŞHANE – TRABZON HATTI BOYUNCA YERKABUĞU HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE İZLENMESİ ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi **Harita Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.


Başkan (Danışman)

: 
Doç. Dr. Temel BAYRAK

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK

ONAY

Bu tez / / tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜMÜŞHANE – TRABZON HATTI BOYUNCA YERKABUĞU
HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE İZLENMESİ

Fırat ALTINTAŞ

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Temel BAYRAK

2014, 74 sayfa

Türkiye'nin ana tektonik birimlerinden birisi olan ve yaklaşık olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Doğu Pontid Orojenik Kuşağı, jeolojik evrimine ilişkin tartışmaların halen devam ettiği en karmaşık jeodinamik oluşumlardan birisidir. Alpin dağ oluşumunun bir parçası olan bu orojenik birim için geçmişten günümüze birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen yetersiz jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal verilerden dolayı bölgenin yitim yönü halen tam olarak tespit edilememiştir. Milyonlarca yıl önce meydana geldiği ve günümüzdeki Doğu Karadeniz Dağlarının oluşumundan sorumlu olduğu öne sürülen bu ters fay hareketinin etkisinin günümüzde halen devam ettiği düşünüldüğünde, bölgenin güncel tektonik hareketinin bilinmesi ile tartışmalı olan yitim polaritesinin netlik kazanmasına katkı sağlanabilir. Bu amaçla bu çalışmada Trabzon ve Gümüşhane şehirleri

arasındaki alanda belirlenen 4 noktada periyodik olarak 3 kampanya GNSS ölçümü yapılmış ve bu noktalardaki deformasyon miktarları ve yönleri belirlenmiştir. En büyük deformasyon miktarları 1. ve 3. periyot ölçüleri arasında kuzey ekseninde 4.9 mm ve 6.2 mm lik farklar ile BOZT ve TORU noktalarında kuzey yönünde gözlemlenirken, doğu ekseninde ise 8.2 mm ve 17.4 mm lik farklar ile ZIGA ve MACK noktalarında doğu yönünde gözlenmiştir. Bu noktalarda elde edilen deformasyonlar ile Doğu Pontidlerin tümünü saran TUSAGA-Aktif ve TUTGA noktalarının yıllık hız değerleri birlikte dikkate alınarak tüm noktalardaki hareket yönünün tutarlı olup olmadığı incelenmiştir. Elde edilen jeodezik sonuçların tutarlı oldukları ve bölgenin yükselerek kuzey yönünde gitmekte olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar bölgenin yitim polaritesi ile ilgili öne sürülmüş olan jeolojik teoriler ile bölgedeki bazı jeofiziksel bulgulara göre değerlendirildiğinde, tüm sonuçların güney yönlü yitim modelini desteklediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, Doğu Pontidler, GNSS, Tektonik Hareket, TUSAGA-Aktif, TUTGA, Yitim Polaritesi.

ABSTRACT
MS THESIS

**DETERMINING THE CURRENT TECTONIC MOVEMENTS DURING THE
LINE GUMUSHANE-TRABZON WITH GNSS DATAS**

Fırat ALTINTAŞ

Gumushane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Temel BAYRAK

2014, 74 pages

Eastern Pontides Orogenic Belt whose geological evolution still under debate, which is one of the main tectonic units of Turkey and located on the Eastern Black Sea Region approximately, is one of the most complex geodynamic formation. Although many research have been made from past to present for this orogenic unit which is a part of the formation of alpine, the subduction polarity of the region still could not be found out because of insufficient geological, geophysical and geochemical datas. If it is thought that the effect of the reverse fault which is claimed that occurred millions of years ago and being responsible for the formation of Eastern Black Sea Mountains have still continued, the debated subduction polarity could be solved by knowing the current tectonic movement of the region. For this purpose, in this research, 4 points were determined in the area

between Trabzon and Gumushane cities and 3 period GNSS measurements were made and then the deformations direction and values were determined. While the biggest deformation values were determined between 1. and 3. period measurements, on the north axis, on the BOZT and TORU points as 4.9 mm and 6.2 mm towards the north, on the east axis, the biggest values were determined on the ZIGA and MACK points as 8.2 mm and 17.4 mm towards the east. On the other hand, the annual velocities of all the TUSAGA-Aktif and TUTGA points which surround the region were considered with the determined deformations and the all points movement direction was examined as being the same or not. It was seen that all the geodetic findings are the same as showing the region moving towards the north while rising at the same time. When these findings are considered according to geological theories about subduction polarity and some geophysical findings in the region, it was seen that all the findings have supported the southward subduction model.

Key Words: Deformation, Eastern Pontides, GNSS, Tectonic Movement, TUSAGA-Aktif TUTGA, Subduction Polarity

TEŞEKKÜR

Gümüşhane - Trabzon Hattı Boyunca Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Verileri İle İzlenmesini konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Temel BAYRAK' a teşekkürü bir borç bilirim. Arazide yapılan ölçme çalışmalarında bana yardımcı olan başta Arş. Gör. Samed ÖZDEMİR olmak üzere Arş. Gör. Mustafa CEYLAN, Arş. Gör. Ömer ÖZDEMİR ve Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü Öğrencileri Samed AKALIN ve Erdem GÖKTÜRK' e çok teşekkür ederim. Konu ile ilgili yapmış olduğum araştırmalarda yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ, Doç. Dr. Nafiz MADEN ve Doç. Dr. Yener Eyüboğlu' na çok teşekkür ederim. Ayrıca meslek olarak Akademisyenliği seçmemde büyük pay sahibi olan, lise sıralarını birlikte paylaştığım yakın arkadaşım Arş. Gör. Mahmut SARI başta olmak üzere, eğitim hayatım süresince kendimi geliştirmeme vesile olan tüm hocalarıma ve aileme bütün samimiyetimle teşekkür ederim.

Fırat ALTINTAŞ
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| ÖZET..... | III |
| ABSTRACT..... | V |
| TEŞEKKÜR..... | VII |
| İÇİNDEKİLER..... | VIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | X |
| TABLolar DİZİNİ..... | XII |
| SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | XIV |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TEKTONİK YAPISI..... | 3 |
| 3. GNSS TEKNİĞİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİ..... | 8 |
| 3.1. Değerlendirme Aşamasında Kullanılan Materyaller..... | 11 |
| 3.2. Kullanılan Yöntemler..... | 12 |
| 3.2.1. GNSS Ağlarının Dengelenmesi..... | 12 |
| 3.2.1.1. Ölçülerin Dayalı Dengelenmesi..... | 12 |
| 3.2.2. İstatistiksel Testler..... | 18 |
| 3.2.2.1. Model Hipotezinin Testi..... | 18 |
| 3.2.2.2. Uyuşumsuz Ölçüler Testi..... | 20 |
| 3.2.3. Deformasyon Analizi..... | 21 |
| 3.2.3.1. Statik Deformasyon Analizi..... | 22 |
| 4. GNSS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE HAREKETLİ NOKTALARDAKİ DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ..... | 29 |
| 4.1. Uygulama Alanının Seçimi..... | 29 |
| 4.2. Oturum Planlaması..... | 31 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4.3. | GNSS Ölçümlerinin Yapılması | 32 |
| 4.4. | GNSS Ölçümlerinin Değerlendirilmesi | 33 |
| 4.4.1. | Ağın Dengelemesi | 43 |
| 4.4.1.1. | Birinci Periyodun Dengeleme Sonuçları | 44 |
| 4.4.1.2. | İkinci Periyodun Dengeleme Sonuçları | 46 |
| 4.4.1.3. | Üçüncü Periyodun Dengeleme Sonuçları | 47 |
| 4.5. | θ^2 -Ölçütü Statik Deformasyon Analizi Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi | 49 |
| 4.6. | Kartezyen Koordinatların Grid Koordinatlara Dönüştürülmesi | 50 |
| 5. | BULGULAR VE İRDELEMELER | 53 |
| 5.1. | Jeodezik Bulgular ve İrdelemeler | 53 |
| 5.1.1. | Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 53 |
| 5.1.2. | TUSAGA Noktalarının Hızlarına Bakılarak Yapılan Değerlendirme | 54 |
| 5.1.3. | TUTGA Noktalarının Hızlarına Bakılarak Yapılan Değerlendirme | 56 |
| 5.2. | Amasra-Bartın Depreminden Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi | 60 |
| 6. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 62 |
| 7. | KAYNAKLAR | 64 |

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 2.1. Okyanusal Litosferin Kıtasal Litosfer Altına Dalması (Poyraz, 2009)..... | 4 |
| Şekil 2.2. Okay ve Tüysüz (1999)'e göre Türkiye'nin tektonik birlikleri..... | 5 |
| Şekil 2.3. Şengör ve Yılmaz (1981)'e göre Türkiye'nin tektonik birlikleri..... | 6 |
| Şekil 2.4. Doğu Pontidler'in başlıca tektoniği ve litolojik birlikleri (Eyüboğlu, 2006)..... | 7 |
| Şekil 3.1. θ^2 Ölçütü İle Deformasyon Analizi İş Akış Şeması..... | 28 |
| Şekil 4.1. Uygulama Alanında Kullanılan GNSS noktaları..... | 29 |
| Şekil 4.2. Torul ve Zigana mevkieinde kullanılan noktalar..... | 30 |
| Şekil 4.3. Topcon Tools 8.2 Yazılımında Atmosferik Etkileri Modelleme Kriterleri..... | 34 |
| Şekil 4.4. Sp3 Formatındaki Hassas Yörünge Verilerinin (Efemeris) İmport Edilmesi..... | 34 |
| Şekil 4.5. Nokta Adları, Alıcı Türleri ve Anten Yüksekliklerinin Girilmesi..... | 35 |
| Şekil 4.6. Sabit Noktaların Koordinatlarının Girilmesi ve Seçilmesi..... | 36 |
| Şekil 4.7. Process İşleminin Yapılması ve Hatalı Bazların Görülmesi..... | 37 |
| Şekil 4.8. GPS Observations Sekmesinde Baz Çözüm Hassasiyetlerinin Görülmesi..... | 38 |
| Şekil 4.9. Residual View Penceresinde Hatalı Baza Ait Çiftli Uydu Fark Ölçülerinin Görülmesi..... | 38 |
| Şekil 4.10. Residual View Penceresinde Baz Çözüm Hassasiyetinin Arttırılması..... | 39 |
| Şekil 4.11. Occupation View (Gözlem Penceresi)'nin Açılması..... | 40 |
| Şekil 4.12. Konfigürasyon Ayarlarında Değerlendirmeye Alınacak Gözlemlerin Belirlenmesi..... | 40 |
| Şekil 4.13. Üçgen Kapanma Değerlerinin Yazılımdan Elde Edilmesi..... | 42 |
| Şekil 4.14. 1. Periyot Koordinat Fark Ölçülerine Ait Varyans Kovaryans Matrisi..... | 43 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 4.15. | 1. Periyot Dengelenmiş Koordinatlara Ait Ters Ağırlık Matrisi (Q_{xx}) Değerleri..... | 46 |
| Şekil 5.1. | Tusaga Aktif İstasyonlarının Genel Görünümü (URL 2)..... | 55 |
| Şekil 5.2 | TUSAGA Noktalarına Ait ITRF sistemindeki Yatay Hızlar (URL 3)..... | 56 |
| Şekil 5.3. | Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) Noktalarının Dağılımı (Ayhan vd., 2002a)..... | 57 |
| Şekil 5.4. | ITRF2005 Koordinat Sisteminde Türkiye Yatay Hız Alanı (Aktuğ vd., 2011)..... | 58 |
| Şekil 5.5. | ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarından kestirilen deprem öncesi yatay hızlar (Ayhan vd., 2002a)..... | 59 |
| Şekil 5.6. | ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarından kestirilen deprem öncesi düşey hızlar (Ayhan vd., 2002a)..... | 59 |

TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Tablo 4.1. Uygulamada kullanılan sabit ve hareketli GNSS noktaları..... | 30 |
| Tablo 4.2. Ölçümler Sırasında Tüm Periyotlar Boyunca Kullanılan Ekipmanlar..... | 32 |
| Tablo 4.3. Ölçüm Yapılan Noktalardaki Anten Yükseklikleri..... | 33 |
| Tablo 4.4. Sabit TUSAGA-Aktif Noktalarının Kartezyen Koordinat ve Yıllık Hızları..... | 35 |
| Tablo 4.5. GUMU ve RZE1 TUSAGA Noktalarının Ölçüm Epoğu Koordinatları..... | 36 |
| Tablo 4.6. 1. Periyotdan Elde Edilen Yaklaşık Koordinatlar..... | 43 |
| Tablo 4.7. 1. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler..... | 44 |
| Tablo 4.8. 1. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları..... | 45 |
| Tablo 4.9. 1. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar..... | 45 |
| Tablo 4.10. 2. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler..... | 46 |
| Tablo 4.11. 2. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları..... | 47 |
| Tablo 4.12. 2. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar..... | 47 |
| Tablo 4.13. 3. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler..... | 48 |
| Tablo 4.14. 3. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları..... | 48 |
| Tablo 4.15. 3. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar..... | 49 |
| Tablo 4.16. 1. ve 2. Periyot Ölçümleri Arasındaki Deformasyon Miktarları..... | 49 |
| Tablo 4.17. 1. ve 3. Periyot Ölçümleri Arasındaki Deformasyon Miktarları..... | 49 |
| Tablo 4.18. Tüm Periyotlardaki Hesaplanan Deformasyon Miktarları ile Belirlenen Kartezyen Koordinatlar..... | 50 |
| Tablo 4.19. Deformasyona Uğrayan noktaların ITRF96 Grid Sistemdeki Koordinatları..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Tablo 4.20. ITRF96 Grid Sistemde Deformasyon Miktarları | 52 |
| Tablo 4.21. ITRF96 Grid Sisteminde Dengelenmiş Koordinatlar ve Standart Sapmaları | 52 |

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---|---|
| CORS-TR | : Continuously Operating Reference Stations-Türkiye |
| GNSS | : Global Navigation Satellite System |
| GPS | : Global Positioning System |
| TUSAGA-Aktif | : Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif |
| TUTGA | : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı |
| A | : GNSS ağı katsayılar matrisi |
| d | : Datum parametre sayısı |
| f | : Serbestlik derecesi |
| G | : Dönüşüm parametre katsayılar matrisi |
| H ₀ | : Sıfır hipotezi |
| H _s | : Seçenek hipotezi |
| K _{xx} | : Dengeli koordinatların varyans kovaryans matrisi |
| K _{ll} | : Koordinat fark ölçülerinin varyans kovaryans matrisi |
| -l | : Ötelenmiş gözlemler vektörü |
| m ₀ | : Birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri |
| m _x , m _y , m _z | : Dengeli koordinatların duyarlılığı |
| m _{Δx} , m _{Δy} , m _{Δz} | : Dengeli koordinat farklarının duyarlılığı |
| n | : Koordinat farkı ölçü sayısı |
| p | : Nokta sayısı |
| P _{ll} | : Koordinat fark ölçülerinin ağırlık matrisi |
| q | : Yüzey polinom katsayıları |
| Q _d | : Fark vektörüne ait kofaktörler matrisi |
| Q _{vv} | : Düzeltmelerin ters ağırlık matrisi |
| Q _{xx} | : Dengeli koordinatların ters ağırlık matrisi |
| S ₀ | : Birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri |
| u | : Koordinat bilinmeyenlerinin sayısı |
| V | : Düzeltmeler |
| $\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i$ | : Dengeli nokta koordinatları |
| $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ | : GNSS ölçülerinden elde edilen koordinat fark ölçüleri |
| $\overline{\Delta X}, \overline{\Delta Y}, \overline{\Delta Z}$ | : Dengeli koordinat farkları |
| δX | : Dengeleme bilinmeyenleri vektörü |
| θ^2 | : Teta kare ölçütü |

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte 1980'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan ve jeodezideki klasik yersel ölçme tekniklerine nazaran çok uzun bazlar içeren ağlarda bile milimetre duyarlılıkta ölçüm yapılabilme imkanı sunan, zaman ve ekonomik açıdan çok daha avantajlı olan GNSS (Global Navigation Satellite System) tekniği, sadece haritacılık ve mühendislik uygulamalarında değil aynı zamanda yer kabuğu hareketlerinin jeodinamiği ve kinematiğinin araştırılması ve hız alanlarının belirlenmesi gibi konularda da kullanılmaktadır.

Türkiye'nin değişik bölgelerinde GNSS ile kabuk hareketlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar 1990'lı yılların başlarında yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaların bir çoğu hem depremlerin önceden tahmin edilebilmesi hem de bölgenin tektonik yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için özellikle deprem oluşma riskinin yüksek olduğu Marmara, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege Bölgelerinde ve özellikle de Kuzey Anadolu Fay zone üzerinde yapılmış olup elde edilen jeodezik veriler jeolojik ve jeofiziksel verilerle birlikte yorumlanmıştır (Aktuğ vd., 2012; Özener vd., 2010; Poyraz, 2009; Ayhan vd., 2002; Reilinger vd., 2000; McClusky vd., 1999, 2000). Ülkemizin kuzey doğusunda yer alan Doğu Karadeniz Bölgesinde ise, deprem riski çok yüksek olan bir bölge olmamasından ötürü, jeodezik açıdan tektonik çalışmalara fazla önem verilmemiştir. Fakat Alpin dağ oluşumunun bir parçası olan ve Doğu Pontidler olarak adlandırılan bu bölgenin hem Türkiye'nin ana tektonik birimlerinden biri olması hem de jeolojik evriminin yetersiz jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal verilerden dolayı anlaşılammış olması (Maden vd., 2009), bu bölgeyi tektonizma yönünden hassas GNSS verileriyle birlikte araştırılması gereken önemli bir konu haline getirmiştir.

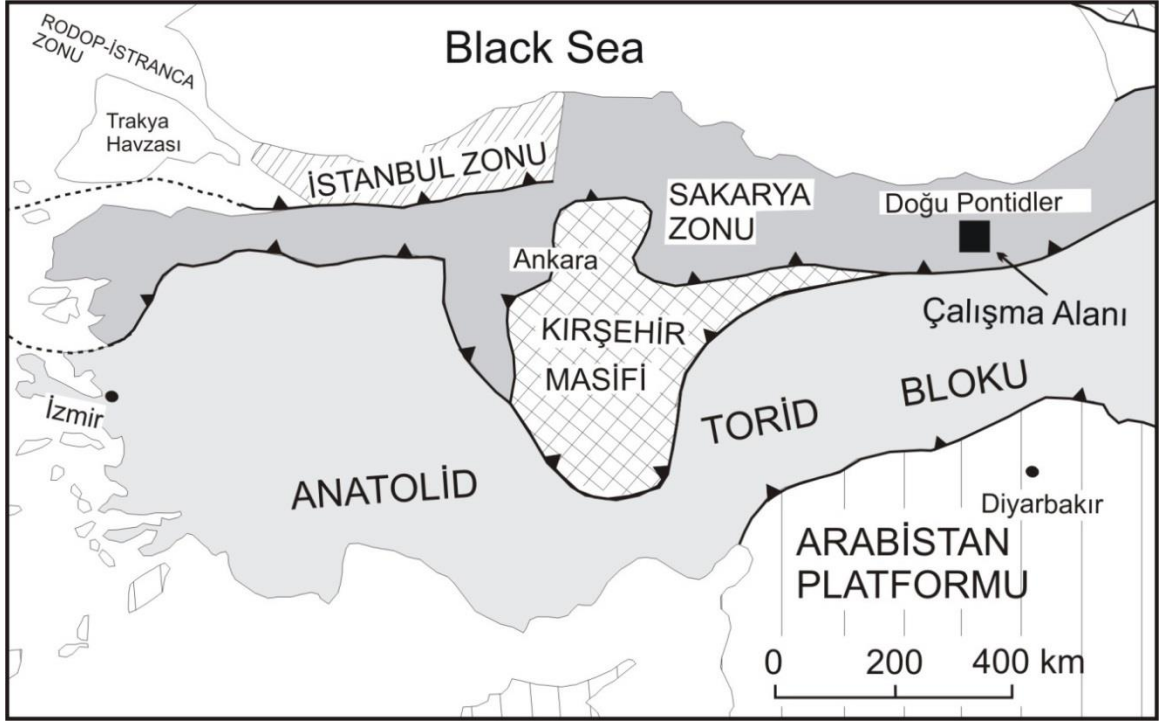
Birçok araştırmacı tarafından Doğu Pontidler'in jeolojik evrimine ilişkin olarak ortaya sürülen 3 farklı teorinin ortak yanı, bölgenin okyanusal ve kıtasal litosfer parçaları arasında gerçekleşen bir ters faylanma ya da yitim hareketi sonucunda oluştuğu, farklı yanları ise bu fay hareketinin nerede ve hangi zamanlarda meydana geldiği ile ilgilidir. Milyonlarca yıl önce başladığı ve günümüzdeki Doğu Karadeniz Dağlarının oluşumundan sorumlu olduğu öne sürülen bu fay hareketinin günümüzde halen aynı yönde hareket ettiği düşünüldüğünde, bölgeyi saran, yeterli sayıda ve zemine lokal olarak iyi tesis edilen, stabilitesi yüksek noktalarda periyodik olarak gerçekleştirilecek GNSS kampanyaları ve sonrasında yapılacak deformasyon analizi ile bölgenin tartışmalı olan yitim polaritesinin

netlik kazanmasına katkı sağlanabilir. Bu amaçla bu çalışmada, Trabzon ve Gümüşhane şehirleri arasındaki hat boyunca belirlenen 4 noktada periyodik olarak 3 kampanya GNSS ölçümü yapılmış ve bu noktalardaki deformasyon miktarları belirlenmiştir. Bu noktalarda elde edilen deformasyonlar ile Doğu Pontidlerin tümünü saran ve stabilitesi yüksek olan TUSAGA-AKTİF ve TUTGA noktalarının yıllık hız değerleri birlikte dikkate alınmış ve tüm noktalardaki hareket yönünün tutarlı olup olmadığı incelenmiştir. Elde edilen jeodezik sonuçların tutarlı oldukları görüldükten sonra, bu sonuçlar daha önceden elde edilen jeofiziksel ve jeolojik teori ve bulgulara dayandırılarak, bölgenin yitim polaritesi açısından yorumlanmıştır. Bu bakımdan bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, ikinci kısımda Doğu Pontidlerin jeolojik oluşumu ve yitim polaritesine ilişkin olarak günümüze kadar öne sürülmüş teorilerin anlatıldığı; Çalışma Bölgesinin Tektonik Yapısı, üçüncü kısımda GNSS Tekniği ile Tektonik Hareketlerin Belirlenmesi, dördüncü kısımda GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi ve hareketli noktalardaki deformasyonların belirlenmesi, beşinci kısımda bulgular ve irdelemeler, altıncı kısımda da sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TEKTONİK YAPISI

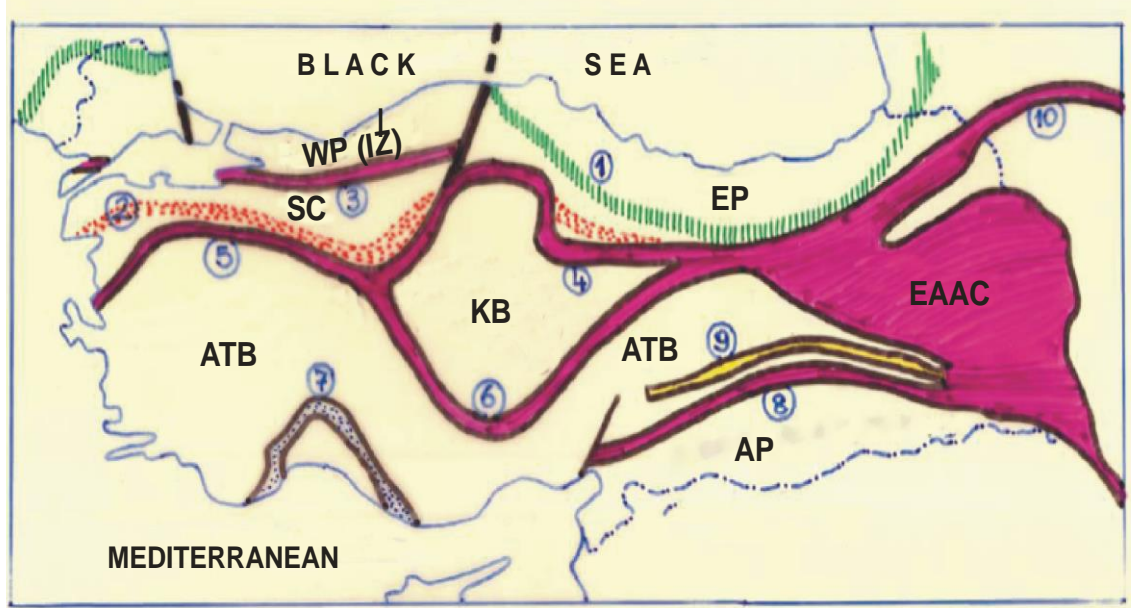
Çalışma bölgesinin yer aldığı, coğrafi olarak Türkiye'nin kuzey doğusunda bulunan Doğu Karadeniz Bölümü, yaklaşık 500 km uzunluğunda ve 200 km genişliğindeki bir dağ zincirinden oluşan Doğu Pontid tektonik birliğine karşılık gelir. Avrupa'dan başlayıp Hint platformuna kadar uzanan Alpin dağ oluşumunun bir parçası olan bu orojenik birim genel olarak kuzeyde Karadeniz, güneyde Çoruh Vadisi ve Kuzey Anadolu Fayı, doğuda Küçük Kafkaslar ve batıda Kızılırmak vadisi ile sınırlanmaktadır (URL 1). Geçmişten günümüze kadar gerek farklı çalışma alanlarına ayrılarak gerekse Doğu Pontid Bloğu (Osswald, 1912), Pontidler (Ketin, 1966), Rodop-Pontid Fragmanı (Şengör ve Yılmaz, 1983) gibi farklı isimlendirmeler yapılarak birçok araştırmacı tarafından araştırılmış olan bu orojenik birim için 'Pontidler' terimi ilk kez Hamilton (1842) tarafından kullanılmıştır. Arni (1939), Pontidler'i Kuzey ve Güney Zon olmak üzere iki tektonik birime ayırırken, Ketin (1966) tek bir tektonik birim olarak kabul etmiştir. Şengör ve Yılmaz (1981) Pontidleri Sakarya kıtası ve Rodop-Pontid fragmanı şeklinde iki bölüme ayırırken, Okay (1986) İstanbul ve Sakarya zonları ile Istranca masifi şeklinde üç ana zona ayırmıştır. Bektaş vd. (1995) ise, Karadeniz sahiline paralel olarak doğu-batı doğrultusunda uzanan Doğu Pontid Orojenik kuşağını, bu birimin aktif tektoniğinde önemli rol oynayan D-B, KD-GB ve KB-GD uzanımlı faylanmaların neden olduğu, arazide oluşan kırık sistemlerine ve de kayalarındaki farklı litolojik özellikler ve fasiyes değişimlerine göre, kuzeyden güneye doğru, Kuzey Zon (magmatik yay), Güney Zon ve Eksen Zonu (yay gerisi) olmak üzere üç alt tektonik bölüme ayırmış ve Kuzey Zon'un Güney Zon'dan Niksar-İspir-Ardanuç fay hattı ile ayrıldığını belirtmiştir. Eyüboğlu vd., (2006) de aynı modeli, daha batıda yer alan Amasya ilini de içine alacak şekilde, jeofizik verileri de dahil ederek genişletmiş ve geliştirmiştir (Şekil 2.4).

Türkiye'nin ana tektonik birimlerinden biri olan Doğu Pontid Orojenik kuşağı, Alpin Orojenik kuşağı içerisinde yer alan ve jeolojik evrimine ilişkin tartışmaların halen devam ettiği en karmaşık jeodinamik oluşumlardan birisidir. Geçmişten günümüze birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, yetersiz jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal verilerden dolayı bölgenin yitim yönü halen tam olarak tespit edilememiştir (Maden vd., 2009). Burada yitim sözü ile kastedilen, yaklaşan levha sınırlarında görülen, okyanusal litosferin kıtasal litosfer altına dalması ile gerçekleşen bir ters faylanma hareketidir. Bu hareket esnasında yoğunluğu daha fazla olan okyanusal litosferin kıtasal litosfer altına



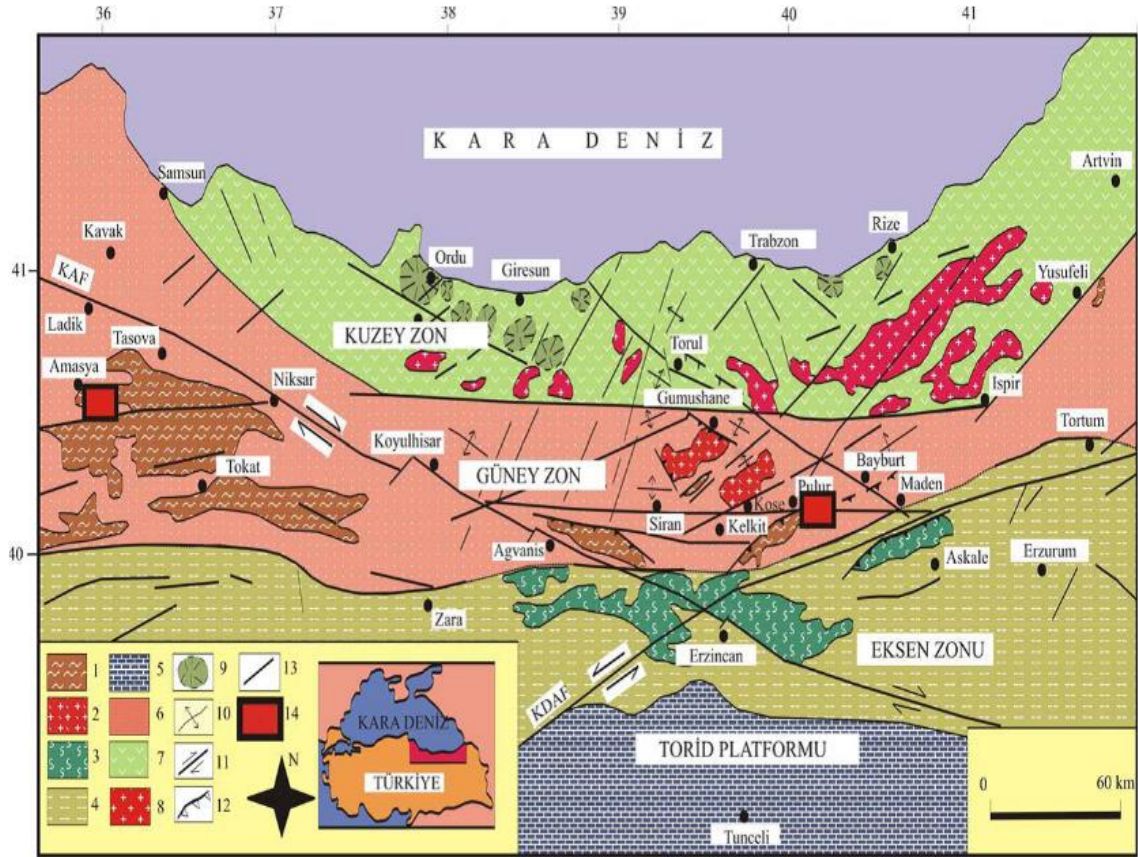
Şekil 2.2. Okay ve Tüysüz (1999)'e göre Türkiye'nin tektonik birlikleri.

Bu bölgenin jeolojik evrimi için ortaya sürülen diğer bir modelde ise Şengör ve Yılmaz (1981), Yılmaz vd., (1997), Bozkurt vd., (2008) ve Dokuz vd., (2010) Paleotetis'in Geç Paleozoyik-Erken Mesozoyik boyunca Okay ve Tüysüz (1999)'un tektonik birlikleri sınıflandırmasında yer alan Sakarya Zonu'nun kuzeyinde Balıkesir-Kastamonu-Tokat hattı boyunca izlenebilen suture zonu boyunca konumlanmış olduğunu ve Neotetis'in ise Paleotetis'in güneyinde, Paleotetis'in Orta-Geç Triyas döneminde güney yönlü yitimiyle kapanmaya başlamasına bağlı olarak bir kenar havza şeklinde ortaya çıktığını belirterek, Pontidlerin Üst Kretase döneminden Eosen döneminin sonuna kadar Neotetis'in kuzey yönlü yitimine maruz kalarak geliştiğini ileri sürmüşlerdir (Şekil 2.3). Bu teoriye göre bu jeolojik oluşum dönemi içerisinde Doğu Pontidlerin kuzey yönlü yitime uğrarken bir önceki teoride olduğu gibi yükselerek güneye doğru hareket etmiş olması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Şengör ve Yılmaz (1981)' e göre Türkiye'nin tektonik birlikleri. 1) Paleotetis Suturesu, 2) Karakaya Suturesu; Neotethys Suturesları: 3) İç Pontid Suturesu, 4-5) İzmir-Ankara-Erzincan Suturesu, 6) İç Torid Suturesu, 7) Antalya Suturesu, 8) Bitlis Zagros Suturesu, 9) Maden Suturesu, 10) Sevan Akera Suturesu

Bunun aksine Dewey vd., (1973), Bektaş vd., (1984, 1999), Chorowicz vd., (1998), Eyüboğlu (2010) ve Eyüboğlu vd., (2006, 2007, 2011) Paleotetis'in Pontid yayının kuzeyinde yer almış olduğunu ve Paleozoik döneminin başlarından Eosen zamanının sonuna kadar bölgenin Paleotetis'in güney yönlü yitimi ile geliştiğini ileri sürerek bugünkü Karadeniz'in Paleotetis' in bir kalıntısı olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.4). Bu modelde yaklaşan levha sınırlarında görülen ve bölgenin yitim polaritesini oluşturan bu ters faylanma hareketinin dışında, bölgede ayrıca transform levha sınırlarında görülen, düşey düzlem üzerinde levhaların birbirine göre yanal olarak hareketleriyle oluşan, D-B, KD-GB, KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı fay tektoniğine de değinilmiştir ki; bu fay tektonizmasının da Doğu Pontidleri Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu olarak 3 bölgeye ayırdığı ileri sürülmüştür (Bektaş vd., 1995; Eyüboğlu vd., 2006; Maden vd., 2009). Bu görüşe göre de magmatik yayın, Paleozoik ile Eosen dönemleri arasında kuzeyden gelen güney yönlü yitim karşısında kuzeye doğru yükselerek hareket etmiş olması gerekmektedir.



Şekil 2.4. Doğu Pontidler'in başlıca tektoniği ve litolojik birlikleri (Eyüboğlu, 2006).

3. GNSS TEKNİĞİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Tektonik hareketlerin GNSS tekniği ile izlenebilmesi için dünya üzerinde kurulan birçok ağ mevcuttur. Japonya'da 1200 istasyondan oluşan ağıyla tesis edilen GPS Earth Observation Network (GEONET), Fransa Alplerindeki hareketleri takip etmek üzere kurulan REGAL, İtalya'da kurulan GEODAF, Güney Kaliforniya GPS Ağı (SCIGN) ve Kuzey Kaliforniya GPS Ağı (BARD) bu anlamda tesis edilen ağlar olarak sıralanabilir. Bu ağlardan en büyüğü ise IGS Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG) tarafından 1993 yılında tesis edilmiş ve 1994 yılında aktif olarak çalışmaya başlamış IGS (International GPS Services for Geodynamics) ağıdır. IGS, GPS istasyonlarından aldığı sürekli verileri değerlendirerek eş zamanlı olarak internet üzerinde yayınlanmasını sağlayan, dünya üzerinde 200 den fazla istasyona sahip global bir ağıdır. Üç tane global veri toplama merkezinden (Crustal Dynamics Data Information System, Institute Geographique National, Scripps Institution of Oceanography) düzenli olarak toplanan IGS verileri 7 analiz merkezi tarafından işlenerek kullanıcılara sunulmaktadır. Ülkemizde ise bazıları sürekli istasyonlar olarak kurulmuş, bazıları ise kampanya zamanında kullanılmak üzere tesis edilmiş olan birçok GNSS ağı bulunmaktadır. Bunlar Marmara bölgesindeki kabuk hareketlerini incelemek için tesis edilen MAGNET, HGK (Harita Genel Komutanlığı) tarafından Türkiye genelinde kurulan TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı), Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Batı kesimleri (KAFS), Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) ve Ege Açılma Sistemini (EAS) kapsayacak şekilde tasarlanan TURDEP projesi ve Türkiye genelinde tesis edilen CORS-TR (Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonu) veya TUSAGA-Aktif ağı olarak sayılabilir.

Tektonik hareketlerin belirlenmesi de dahil olmak üzere, heyelanların izlenmesi, baraj ve diğer mühendislik yapılarındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla yapılan tüm deformasyon analizlerinin ilk aşaması deformasyona uğrayacağı yada o bölgedeki konum veya şekil değişikliğini en iyi şekilde yansıtacağı düşünülen obje noktalarının yerlerinin seçilmesidir. Yalnız obje noktalarının yerleri seçilirken dikkat edilmesi gereken tek unsur bu değildir. İlk olarak kullanılan ölçme yöntemi bu çalışmada olduğu gibi GNSS tekniği ise, cycle slip ve multipath gibi hataların etkisini minimuma indirmek amacıyla, bu noktaların herhangi bir engel olmaksızın mümkün olduğunca fazla sayıda uyduyu görebilecek açık bir konumda olması gerekir. Ayrıca yapılacak olan analizin amacı doğrultusunda noktaların tesis edilecekleri zeminin türü de son derece önemlidir. Eğer

deformasyon analizinin sonucunda belirlenmek istenen bir yer kabuğu hareketi ise bu noktalar yüzeysel yada bölgesel olarak deforme olmayacak, tamamen kabuk hareketini temsil edebilecek şekilde stabiliteye sahip olarak üretilmelidir. Bununla birlikte bu obje noktalarının zemine nasıl tesis edildikleri de özellikle ölçücüden kaynaklanan merkezleştirme ve alet boyunun ölçülmesi gibi hataları elemine etmek için büyük önem arz eder. Günümüzde bunun için pilye olarak adlandırılan ve zemine beton blok olarak tesis edilen ve üst yüzeyinde ölçüm aletinin düzeciyle birlikte üzerine takılabileceği küçük bir vida parçası bulunan nokta türleri kullanılmaktadır. Objeye noktalarının yerleri seçildikten sonra obje noktalarını saran ve deformasyona uğramayacağı düşünülen veya daha önceden belirli bir epokta belirlenmiş olan koordinatları ve yıllık hızları sayesinde koordinatları ölçüm epoğuna kaydırılabilen sabit noktaların belirlenmesi aşaması gelir. Bu sabit noktalar sürekli gözlem yapan TUSAGA, IGS ve benzeri istasyonları olarak seçilebildiği gibi sadece ölçüm kampanyalarında kullanılmak üzere tesis edilmiş jeodezik noktalar olarak da seçilebilir.

Objeye ve sabit noktaların yerleri belirlendikten sonra sıra bu noktaların oluşturduğu jeodezik ağına periyodik olarak ölçülmesi aşamasına gelir. Tektonik hareketlerin belirlenmesi ve baraj gibi mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi çalışmalarında meydana gelen deformasyonun miktarı genellikle birkaç cm'yi geçmez. Bu nedenle yapılan deformasyon analizinin anlamlı olabilmesi için analiz sonucunda elde edilen hassasiyetin yüksek olması veya meydana gelen hareketten boyut olarak daha küçük olması ve bu analizin uzun periyotlara yayılması gerekmektedir. Deformasyon analizinin hassasiyetinin yüksek olması, bu analizde kullanılacak ölçümlerin hassas olmasına bağlıdır. Bu durumda tektonik hareketlerin izlenmesi gibi bir çalışmada noktalara ait elde edilen deformasyonun anlamlı olabilmesi ancak milimetrik hassasiyet içeren ölçümlerin yapılmasıyla mümkün olacaktır. Günümüzde bu tarz çalışmalarda kullanılan, özellikle çok uzun bazlarda bile mm mertebesinde konum belirlenmesine imkan sunan GNSS ölçme tekniği Statik ölçüm yöntemidir.

Bağıl koordinat belirleme yöntemlerinden biri olan Statik yöntem, bir uydudan yayınlanan taşıyıcı sinyalin fazı ile belli bir anda alıcıda oluşturulan taşıyıcı sinyalin fazı arasındaki faz ölçülerinin tekli, ikili ve üçlü fark alma ölçü kombinasyonları ile değerlendirilerek iki nokta arasındaki baz vektörünün hesaplanması esasına dayanır. Bu ölçme tekniğinde ölçüm duyarlılığı yapılan ölçümün süresi, uydu sayısı ve uydu konfigürasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ölçüm süresi ve uydu sayısının artması

hassasiyeti arttırmaktadır. Fakat diğer ölçme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de hassasiyeti düşüren hatalar bulunmaktadır. Bu hataları genel olarak sistematik ve sistematik olmayan hatalar olarak sıralayabiliriz. Sistematik hataların en önemlileri uydu yörüngelerindeki hatalar, uydu saat hatası, alıcı saat hatası, atmosferik koşullardan dolayı sinyal yayımındaki hatalar, iyonosferik ve troposferik gecikme hataları, başlangıç faz belirsizliği hatası gibi hatalar iken sistematik olmayan hatalar ise faz kayması, multipath ve anten faz merkezi kayıklığı gibi hatalardır.

Periyodik olarak gerçekleştirilen ölçümler sırasında, tespit edilecek deformasyonun mümkün olduğunca sistematik hatalardan arındırılması için tüm periyotlarda aynı ölçme planı (ağın şeklinin aynı olması) ve aynı ölçme yönteminin kullanılması tercih edilir. Böylelikle ölçme yöntemi ve planından kaynaklanacak olan sistematik hataların tüm ölçüm periyotlarında aynı şekilde ortaya çıkması ve deformasyon analizinde koordinat vektörlerinin farkları ile işlem yapıldığından, belirlenen deformasyonların da bu sistematik hatalardan giderilmesi sağlanmış olur (Bayrak, 2003).

GNSS gözlemleri sırasında meydana gelen tüm sistematik ve sistematik olmayan hatalar nokta konum belirleme duyarlılığını düşürmektedir. Bu nedenle bu hataları hesaba katarak duyarlılığı arttırmak için GNSS gözlemleri çok dikkatli bir şekilde ve gereğinden fazla ölçü yapılarak gerçekleştirilir. Gereğinden fazla ölçü yapılmasının nedeni gözlemler içerisindeki hataların analiz edilerek mümkün olduğunca elimine edilebilmesini sağlamaktır (Bayrak, 2003; Gili vd., 2000; McElroy,1998; Brunner, 1997; French,1996; Gökalp, 1995; Eren ve Uzel, 1995). Gereğinden fazla ölçü yapılması dengelemeyi kaçınılmaz kılar. Dengeleme sayesinde birim ölçünün karesel ortalama hatası, noktaların dengelenmiş koordinatları ve dengelenmiş koordinatlarının duyarlılıkları, noktalar arasındaki dengelenmiş ölçüler ve hassasiyetleri, noktalara getirilecek düzeltmeler ve daha sonra deformasyon analizinde kullanılacak dengelenmiş koordinatlar vektörü ve bunlara ait ters ağırlık matrisi (Q_{xx}) gibi değerler elde edilir. Dengeleme yapıldıktan sonra deformasyon analizine geçilmeden önce model hipotezi testi ve uyumsuz ölçüler testi yoluyla dengeleme hesabının matematiksel modelinin geçerliliği denetlenerek, kaba hataları gösteren uyumsuz ölçümlerin ortaya çıkarılması ve elimine edilmesi sağlanır. Daha sonra seçilen bir deformasyon analizi yöntemi ile noktalarda meydana gelen hareketler belirlenir.

3.1. Değerlendirme Aşamasında Kullanılan Materyaller

GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımlar genel olarak ticari ve akademik yazılımlar olarak 2 gruba ayrılmaktadır. Yüksek hassasiyet gerektiren kabuk deformasyonlarının belirlenmesi gibi çalışmalarda GAMIT/GLOBK (Massachusetts Institute of Technology, ABD), BERNESE (Astronomical Institute University of Berne, İsviçre) ve GIPSY (NASA Jet Propulsion Laboratory, ABD) gibi akademik yazılımlar ticari yazılımlara nazaran daha çok tercih edilirler. Fakat son zamanlarda bazı ticari yazılımların gelişmesi ile birlikte akademik yazılımların daha çok tercih edilmesinin nedenlerden biri olan troposferik gecikme hatalarının modellenmesi, akademik yazılımlardaki kadar detaylı olmasa bile konfigürasyon seçeneklerinde otomatik olarak belli bir düzeyde giderilebilmektedir.

Bu çalışmada GNSS verilerinin değerlendirilmesinde Topcon Tools 8.2 ticari yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda değerlendirme yapmadan önce konfigürasyon ayarlarında belirlenen kriterler sayesinde ölçümlerin yapılan uygulama için gereken hassasiyete sahip olup olmadıkları irdelenebilir. Ticari yazılımların çoğunda olduğu gibi bu yazılımda da daha sonra deformasyon analizinde kullanılacak dengelenmiş koordinatların ters ağırlık matrisi Q_{xx} değeri elde edilemez. Bu nedenle koordinatlar arasındaki baz vektörlerinin çözümlendiği process aşamasından sonra koordinat fark ölçülerine ait hatalar (sigmax, sigmay, sigmaz) ve kovaryans (covxy, covxz, covyz) değerleri programdan elde edilerek bu ölçülere ait varyans kovaryans matrisi tüm periyotlar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matris ve 1. periyotdaki process aşamasından sonra elde edilen hareketli noktalara ait yaklaşık koordinat değerleri ile birlikte kullanılarak her bir periyotdaki ölçümler matlab programında yazılmış olan dayalı dengeleme programında dengelenmiştir. Dengelemenden sonra model hipotezi ve uyumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Uyumsuz ölçüler tüm periyotlardan çıkarılarak ağırlık her 3 periyotta da korunmuştur. Son olarak yine matlab programında yazılmış olan statik deformasyon programında dayalı dengeleme sonucunda elde edilmiş dengelenmiş hareketli noktaların koordinatları ve dengelenmiş koordinatlara ait ters ağırlık matrisi (Q_{xx}) değerleri kullanılarak meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir.

3.2. Kullanılan Yöntemler

3.2.1. GNSS Ağlarının Dengelenmesi

Taşıyıcı fazlar kullanılarak gerçekleştirilen statik GNSS ölçümleri sonrasında elde edilen gözlemlerin en küçük kareler prensibine uygun olarak dengelenmesinde iki aşama mevcuttur. Birinci aşamada noktalar arasındaki her bir baz bileşeninin fazla sayıdaki taşıyıcı fazlardan elde edilen koordinat fark ölçüleri (ΔX , ΔY , ΔZ) kendi aralarında dengelenerek dengeli baz bileşenleri ve koordinat fark ölçülerine ait varyans kovaryans matrisi elde edilir. İkinci aşamada ise dengeli baz bileşenlerinin hepsi birlikte dengelenerek ağ nokta koordinatları ve bu dengelenmiş noktalara ait varyans kovaryans matrisi elde edilir (Wolf ve Ghilani, 1997; French,1996).

Bu çalışmada her bir periyotta statik olarak gerçekleştirilen ölçümler için birinci aşama, ölçümlerin değerlendirilmesinde kullanılan Topcon Tools 8.2 yazılımında process yapılarak, koordinat fark ölçülerine ait dengeli baz bileşenlerinin, varyans kovaryans matrisinin ve daha sonra ikinci aşamada kullanılacak yaklaşık koordinatların elde edildiği aşamadır. Tüm ağın dengelendiği ikinci aşama matlab yazılımında yazılan komutlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada birinci aşamada elde edilen varyans kovaryans matrisi ve yaklaşık koordinatlar girdi olarak kullanılmıştır. Dengeleme yöntemi olarak ise bazı nokta koordinatlarının değişmez olarak kabul edildiği dayalı dengeleme metodu tercih edilmiştir. Dayalı dengeleme yönteminin kullanılmasının sebebi ise sürekli olarak gözlem yapan ve özellikle tektonik çalışmalarda kullanılmak üzere çok hassas bir biçimde tesis edilmiş ve ölçümleri oldukça hassas değerlendirilerek koordinatları belli bir epokta yıllık hızları ile birlikte belirlenmiş olan TUSAGA-Aktif noktalarının ölçümlerde sabit nokta olarak kullanılmış olmasıdır.

3.2.1.1. Ölçülerin Dayalı Dengelenmesi

ΔX , ΔY , ΔZ GNSS deformasyon ağının ölçülerini; $\overline{\Delta X}$, $\overline{\Delta Y}$ ve $\overline{\Delta Z}$ dengeli ölçüleri; \overline{X}_i , \overline{Y}_i ve \overline{Z}_i dengelenmiş nokta koordinatlarını göstermek üzere bazı noktaların koordinatlarının değişmez olarak kabul edildiği dayalı ağ dengelemesinde fonksiyonel model aşağıdaki gibi kurulur.

$$\begin{aligned}
\Delta X_{[1,2]} + V_{\Delta X[1,2]} &= \overline{\Delta X}_{[1,2]} = X_2 - X_1 \\
\Delta Y_{[1,2]} + V_{\Delta Y[1,2]} &= \overline{\Delta Y}_{[1,2]} = Y_2 - Y_1 \\
\Delta Z_{[1,2]} + V_{\Delta Z[1,2]} &= \overline{\Delta Z}_{[1,2]} = Z_2 - Z_1 \\
\Delta X_{[1,3]} + V_{\Delta X[1,3]} &= \overline{\Delta X}_{[1,3]} = X_3 - X_1 \\
\Delta Y_{[1,3]} + V_{\Delta Y[1,3]} &= \overline{\Delta Y}_{[1,3]} = Y_3 - Y_1 \\
\Delta Z_{[1,3]} + V_{\Delta Z[1,3]} &= \overline{\Delta Z}_{[1,3]} = Z_3 - Z_1 \\
\Delta X_{[2,3]} + V_{\Delta X[2,3]} &= \overline{\Delta X}_{[2,3]} = X_3 - X_2 \\
\Delta Y_{[2,3]} + V_{\Delta Y[2,3]} &= \overline{\Delta Y}_{[2,3]} = Y_3 - Y_2 \\
\Delta Z_{[2,3]} + V_{\Delta Z[2,3]} &= \overline{\Delta Z}_{[2,3]} = Z_3 - Z_2 \\
&\dots
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Yaklaşık koordinatlar X_{i0} , Y_{i0} , Z_{i0} ve dengeleme bilinmeyenleri δX_i , δY_i , δZ_i olmak üzere noktaların kesin değerleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\overline{X}_1 &= X_{10} + \delta X_1 \quad ; \quad \overline{X}_2 = X_{20} + \delta X_2 \quad ; \quad \overline{X}_3 = X_{30} + \delta X_3 \\
\overline{Y}_1 &= Y_{10} + \delta Y_1 \quad ; \quad \overline{Y}_2 = Y_{20} + \delta Y_2 \quad ; \quad \overline{Y}_3 = Y_{30} + \delta Y_3 \\
\overline{Z}_1 &= Z_{10} + \delta Z_1 \quad ; \quad \overline{Z}_2 = Z_{20} + \delta Z_2 \quad ; \quad \overline{Z}_3 = Z_{30} + \delta Z_3 \\
&\dots
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Ötelenmiş gözlemler

$$\begin{aligned}
-l_{\Delta X[1,2]} &= [\Delta X_{[1,2]} - (X_{20} - X_{10})] \\
-l_{\Delta Y[1,2]} &= [\Delta Y_{[1,2]} - (Y_{20} - Y_{10})] \\
-l_{\Delta Z[1,2]} &= [\Delta Z_{[1,2]} - (Z_{20} - Z_{10})] \\
-l_{\Delta X[1,3]} &= [\Delta X_{[1,3]} - (X_{30} - X_{10})] \\
-l_{\Delta Y[1,3]} &= [\Delta Y_{[1,3]} - (Y_{30} - Y_{10})] \\
-l_{\Delta Z[1,3]} &= [\Delta Z_{[1,3]} - (Z_{30} - Z_{10})] \\
-l_{\Delta X[2,3]} &= [\Delta X_{[2,3]} - (X_{30} - X_{20})] \\
-l_{\Delta Y[2,3]} &= [\Delta Y_{[2,3]} - (Y_{30} - Y_{20})] \\
-l_{\Delta Z[2,3]} &= [\Delta Z_{[2,3]} - (Z_{30} - Z_{20})] \\
&\dots
\end{aligned} \tag{3.3}$$

olarak elde edildikten sonra, A katsayılar matrisi, V düzeltme denklemleri vektörü, δX dengeleme bilinmeyenleri vektörü ve -1 ötelenmiş gözlemler vektörü aşağıdaki gibi oluşturularak

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{\Delta X[1,2]} \\ V_{\Delta Y[1,2]} \\ V_{\Delta Z[1,2]} \\ V_{\Delta X[1,3]} \\ V_{\Delta Y[1,3]} \\ V_{\Delta Z[1,3]} \\ V_{\Delta X[2,3]} \\ V_{\Delta Y[2,3]} \\ V_{\Delta Z[2,3]} \\ \dots \end{bmatrix}, \quad \delta X = \begin{bmatrix} \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \\ \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \\ \delta X_3 \\ \delta Y_3 \\ \delta Z_3 \\ \dots \end{bmatrix}, \quad -1 = \begin{bmatrix} 1_{\Delta X[1,2]} \\ 1_{\Delta Y[1,2]} \\ 1_{\Delta Z[1,2]} \\ 1_{\Delta X[1,3]} \\ 1_{\Delta Y[1,3]} \\ 1_{\Delta Z[1,3]} \\ 1_{\Delta X[2,3]} \\ 1_{\Delta Y[2,3]} \\ 1_{\Delta Z[2,3]} \\ \dots \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Fonksiyonel model,

$$V = A \delta X - 1 \quad (3.6)$$

şeklinde kurulur (Güllü, 1998; Ersoy, 1997; Wolf ve Ghilani, 1997; Kurt, 1996; Eren ve Uzel, 1995; Hofmann vd., 1992; Bayrak, 2003).

GNSS ölçümlerinin process edilmesi ile yazılımdan elde edilen noktalar arasındaki bazların koordinat fark ölçülerine ait varyans kovaryans matrisi

$$\mathbf{K}_{11} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{\Delta X}^2 & m_{\Delta XY}^2 & m_{\Delta XZ}^2 \\ m_{\Delta YX}^2 & m_{\Delta Y}^2 & m_{\Delta YZ}^2 \\ m_{\Delta ZX}^2 & m_{\Delta ZY}^2 & m_{\Delta Z}^2 \end{bmatrix}_{[1,2]} & \begin{bmatrix} 0 & & \\ & & \\ & & \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & & \\ & & \\ & & \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} m_{\Delta X}^2 & m_{\Delta XY}^2 & m_{\Delta XZ}^2 \\ m_{\Delta YX}^2 & m_{\Delta Y}^2 & m_{\Delta YZ}^2 \\ m_{\Delta ZX}^2 & m_{\Delta ZY}^2 & m_{\Delta Z}^2 \end{bmatrix}_{[1,3]} & \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

olarak elde edilir. Ölçülerin stokastik yapısını oluşturan koordinat fark ölçülerinin ağırlık matrisi P_{11} , koordinat fark ölçülerinin varyans kovaryans matrisi yardımıyla

$$\mathbf{P}_{11} = (\mathbf{K}_{11})^{-1} \quad (3.8)$$

şeklinde hesaplanır (Tiberius, 1999). Böylece GNSS ağının fonksiyonel ve stokastik modeli,

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} \delta \mathbf{X} - \mathbf{l} ; \mathbf{P}_{11} \quad (3.9)$$

biçiminde elde edilmiş olur. Matematik modelin (9) en küçük kareler yöntemi ile dengelenmesi sonucu dengeleme bilinmeyenleri,

$$\delta \mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}) \quad (3.10)$$

noktaların dengeli koordinatları,

$$\bar{X}_i = X_{i0} + \delta X_i \quad (3.11)$$

düzeltilmeler,

$$V_i = A \delta X_i - l_i \quad (3.12)$$

denge koordinatların ters ağırlıkları,

$$Q_{xx} = (A^T P A)^+ \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanır. p; nokta sayısı, n; koordinat farkı ölçü sayısı, her bir noktanın 3 boyutlu koordinatlarının dengelendiğini düşünürsek $u=3p$; koordinat bilinmeyenlerinin sayısı ve d; datum parametrelerinin sayısı olmak üzere serbestlik derecesi; $f=n-u+d$ olarak hesaplanır. Serbestlik derecesinden yararlanarak, birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{f}} \quad (3.14)$$

denge koordinatların duyarlılığı,

$$\begin{aligned} m_x &= \pm m_0 \sqrt{Q_{xx}} \\ m_y &= \pm m_0 \sqrt{Q_{yy}} \\ m_z &= \pm m_0 \sqrt{Q_{zz}} \end{aligned} \quad (3.15)$$

denge koordinatların varyans kovaryans matrisi,

$$K_{xx} = m_0^2 Q_{xx} \quad (3.16)$$

dengeli ölçüler,

$$\overline{\Delta X} = \Delta X + V \quad (3.17)$$

dengeli ölçülerin ters ağırlıkları,

$$Q_{II} = A Q_{xx} A^T \quad (3.18)$$

dengeli koordinat farklarının duyarlılığı,

$$\begin{aligned} m_{\Delta x} &= \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta x}} \\ m_{\Delta y} &= \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta y}} \\ m_{\Delta z} &= \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta z}} \end{aligned} \quad (3.19)$$

dengeli ölçülerin varyans-kovaryans matrisi,

$$K_{II} = m_0^2 Q_{II} \quad (3.20)$$

ve daha sonra uyumsuz ölçüler testinde de kullanılacak olan düzeltmelerin ters ağırlık matrisi de

$$Q_{VV} = P^{-1} - Q_{II} \quad (3.21)$$

olarak hesaplanır (Güllü, 1998; Wolf ve Ghilani, 1997; Kurt, 1996; Kuang, 1996).

3.2.2. İstatistiksel Testler

3.2.2.1. Model Hipotezinin Testi

Her bir periyottaki ölçümler dengelendikten sonra deformasyon analizine geçilmeden önce, yapılan dengeleme hesabının matematik modelinin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olup olmadığının ve ölçülerin duyarlılıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayı yansıtmadığının model hipotezinin testi yoluyla denetlenmesi gerekmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Tüm periyotlarda aynı ölçme yöntemi ve planı kullanılarak tamamen aynı koşullar altında gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda, dengeleme aşamasına geçmeden önce elde edilen birim ölçünün ortalama hatasının öncül (a priori) değeri s_0 ile dengeleme hesabı sonucunda bulunan soncul (a posteriori) değeri olan m_0 büyüklüğü kullanılarak model hipotezinin testi için sıfır hipotezi

$$H_0 : E \{ m_0^2 \} = E \{ s_0^2 \} \quad (3.22)$$

şeklinde kurulur. Seçenek hipotezleri tek yönlü testlerde

$$H_{S1} : E \{ m_0^2 \} < E \{ s_0^2 \}$$

$$H_{S1} : E \{ m_0^2 \} > E \{ s_0^2 \} \quad (3.23)$$

şeklinde, çift yönlü testlerde ise

$$H_{S2} = E \{ m_0^2 \} \neq E \{ s_0^2 \} \quad (3.24)$$

şeklinde kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad ; \quad m_0 > s_0 \quad (3.25)$$

olarak hesaplanır ve $\alpha=1-s$ yanılma olasılığı, f payın serbestlik derecesi ve f_f paydanın serbestlik derecesi olmak üzere f -dağılım tablolarından alınan

$$q_1 = F_{f,f_f,1-\alpha} \quad \text{yada} \quad q_2 = F_{f,f_f,1-\frac{\alpha}{2}} \quad (3.26)$$

değerleri ile karşılaştırılır. Test büyüklüğü, seçenek hipotezi H_{S1} ise q_1 ile, seçenek hipotezi H_{S2} ise q_2 ile karşılaştırılır. Eğer test büyüklüğü tablo değerinden küçük ise ($T < q$) dengeleme modeli geçerlidir, büyük ise ($T > q$) ise dengeleme modeli geçersizdir denir. Dengeleme hesabının matematik modelinin geçerli olması kurulan fonksiyonel modelin yapılan gözlemler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olduğunu ve stokastik modelin de gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıttığını göstermektedir. Dengeleme modelinin geçersiz olması ise ölçülerdeki kaba hatalardan ya da fonksiyonel ve stokastik modellerin yanlış kurulması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Fakat Sıfır hipotezinin reddedilmesine bunlardan hangisinin neden olduğu bilinemez ve model hipotezinin testi bu konuda bilgi vermez. Bu nedenle dengeleme modeli geçersiz ise uyumsuz ölçüler testi yapılarak kaba hataların bulunduğu uyumsuz ölçülerin ortaya çıkarılması ve elimine edilmesi gerekmektedir. Test sonucunda tespit edilen uyumsuz ölçüler ya yeniden ölçülerek ve değerlendirilerek uyumlu hale getirilirler ya da ağıdan tamamen çıkartılarak elimine edilirler. Bu durumda uyumsuz ölçülerden arınmış ölçülerle yeni bir dengeleme işlemi yapılarak model hipotezi testi tekrarlanır (Tanır, 2000; Kara, 1998; Konak, 1994; Şimşek, 1992). Eğer yine dengeleme modeli geçersiz olursa, seçtiğimiz öncül karesel ortalama değeri s_0 ağıdaki beklenen kaliteye uymuyor demektir. Bu durumda ağıdaki kaliteye uygun bir s_0 değeri belirlenerek ya da dengeleme sonucunda bulunan soncul değer olan m_0 öncül değer olarak kullanılarak GNSS gözlemlerinden elde edilen ve stokastik yapının temelini oluşturan koordinat fark ölçülerinin varyans kovaryans matrisi ve ona bağlı olarak da ağırlıklar yeniden belirlenir.

3.2.2.2. Uyuşumsuz Ölçüler Testi

Periyodik olarak gerçekleştirilen deformasyon ölçümleri ne kadar dikkatli ve özenle yapılırsa yapılsın, ölçümler esnasında meydana gelen bazı hatalar engellenemez. Bu hatalar ölçümlerin değerlendirilmesi aşamasında tespit edilerek giderilmezlerse deformasyonun varlığı, yönü ve büyüklüğü hakkında yanlış bir kanıya varılmasına sebep olurlar. Bu hataların büyük bir bölümü genellikle düzeltme denklemlerinin kurulması aşamasında kolayca fark edilerek giderilebilen kaba hatalardan oluşmaktadır. Fakat rastgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan ve kolayca fark edilemeyen bazı kaba ve sistematik hatalar dengeleme hesabı sonucunda bulunan değerleri olumsuz yönde etkilerler (Bayrak, 2003). Dengeleme hesabının matematik modelinin geçersizliğine sebep olan bu hatalar, uyuşumsuz ölçüler testi yoluyla belirlenerek elimine edilebilirler. Tespit edilen uyuşumsuz ölçülerin ya yeniden ölçülerek ve değerlendirilerek uyuşumlu hale getirilmesi ya da ölçüm ağından çıkarılarak elimine edilmesi gerekir. Uyuşumsuz ölçü testleri bir anda düzeltilmesi en büyük olan bir ölçüyü belirlemeye yönelik olarak çalışmaktadır. Hata miktarı en büyük olan uyuşumsuz ölçü tespit edilip elimine edildikten sonra kalan diğer ölçüler yeniden dengelenerek tekrar test edilirler ve uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar bu işleme devam edilir (Hekimoğlu vd.,1993; Tanır, 2000). Bu çalışmada uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde klasik yöntemlerden tau testi kullanılmıştır.

Herhangi bir l_i ölçüsüne ilişkin düzeltme V_i , düzeltmelerin kofaktör matrisi (Q_{vv})'nin i 'inci köşegen elemanı $q_{v_i v_i}$, soncul standart sapma m_0 ve yanılma olasılığı $\alpha_0=0.001$ olmak üzere her bir ölçünün tau testi için test büyüklüğü ve sınır değeri,

$$T_i = \frac{|v_i|}{m_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \sim \tau_f \quad (3.27)$$

$$T_{\text{sınır}} = \tau_{f,1-\alpha_0} \quad (3.28)$$

olarak hesaplanır. Yapılan testlerde ölçüler arasındaki test büyüklüğü en büyük olanın (T_{max}) belirtilen sınır değerlerden büyük olması durumunda ($T_{\text{max}} > T_{\text{sınır}}$), bu ölçü atılarak veya yenilenecek yeniden ölçümler test edilirler ve uyuşumsuz ölçü kalmayınca

kadar bu işleme devam edilir (Bayrak, 2003; Tanır, 2000; Şimşek ve Demirel, 1997; Dilaver, 1996; Kuang, 1996; Yalçınkaya (Ünver), 1994; Konak, 1994; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Şimşek, 1992; Ayan, 1992; Demirel, 1987; Aksoy, 1984).

Her bir periyottaki uyuşumsuz ölçümler ayıklandıktan sonra elde edilen dengelenmiş koordinatlar arasındaki farklar ölçümlerdeki rastgele hatalardan dolayı yine tam olarak meydana gelen deformasyonu yansıtmıyor olabilir. Bu durumda koordinatlardaki değişimin anlamlılığını irdelemek için koordinat farklarının istatistiksel yöntemlerle test edildiği deformasyon analizi gerçekleştirilir.

3.2.3. Deformasyon Analizi

Deformasyon analizinin temel amacı, periyodik olarak gerçekleştirilen ölçümler sonucunda boyutunda veya konumunda değişiklikler gözlenen obje noktalarının farklı modeller kullanılarak geometrik ve fiziksel durumunun irdelenmesidir. Burada geometrik durumdan kastedilen deformasyona maruz kalan obje noktalarının sadece konum ve şekil değişiminin izlenmesi, fiziksel durumda ise anlatılmak istenen deformasyona neden olan kuvvetler ile deformasyon arasındaki ilişkinin araştırılmasıdır (Bayrak, 2003).

Günümüzde kullanılmakta olan 3 farklı deformasyon modeli bulunmaktadır. Bunlar zamana bağlı olmayan (ölçüm süresince noktaların sabit olduğunu varsayan) ve sadece konuma bağlı olan statik model, konuma ve zamana bağlı olan (ölçüm anında da noktaların hareket ettiğini varsayan) kinematik model ve hem zamana ve konuma bağlı olan hem de harekete sebep olan kuvvetler ile meydana gelen deformasyon arasındaki fonksiyonel ilişkinin araştırıldığı dinamik modellerdir.

Bu çalışmada noktaların periyodik hareketinin belirlenmesi için zamandan ve etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak modellenen statik deformasyon modeli kullanılmıştır. Tüm periyotlarda ölçümler GNSS gözlemleri ile statik ölçme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu periyotlar boyunca tüm obje noktalarında aynı seri numarasına sahip GNSS aletleri ve aletlerin düzeç ayarları için aynı model triplakslar kullanılmış ve aynı TUSAGA noktaları sabit noktalar olarak alınmıştır. Ayrıca tüm periyotlarda aynı baz ölçümleri değerlendirilerek ağın şekli korunmuştur. Böylece uygulanan deformasyon analizinde, ölçme planı ve yönteminden kaynaklanan sistematik hataların tüm periyotlarda aynı büyüklükte ortaya çıkarılması ve kullanılan eşdeğerlik testleri sırasında koordinat fark vektörleri ile işlem yapılarak giderilmesi sağlanmıştır. Hem

sistematik hatalardan hem de daha öncesinde yapılan uyuşumsuz ölçüler testinde kaba hatalardan arındırılmış olan dengelenmiş koordinatlar arasındaki farkların rastgele ölçü hatalarından mı yoksa meydana gelen deformasyondan mı kaynaklandığı ise θ^2 -Ölçütü statik deformasyon analizi ile irdelenmiştir.

3.2.3.1. Statik Deformasyon Analizi

Ölçüm süresince tüm noktaların sabit kaldığını ve sadece periyotlar arasında hareket ettiğini varsayan bu model jeodezik olarak en çok uygulanan deformasyon analizi yöntemidir (Atasoy, 2001; Yalçınkaya (Ünver) ve Tanır, 2000; Atasoy, 1988; Heunecke ve Pelzer, 1988; Ayan, 1982). Günümüzde periyodik olarak gerçekleştirilen ölçümler sonucunda aynı noktaya ait olarak elde edilen 2 farklı dengelenmiş koordinat değerinin karşılaştırılması yerine, ölçülerin tamamının değerlendirildiği istatistik eşdeğerlik testine dayalı çeşitli deformasyon modelleri geliştirilmiştir (Bayrak, 2003). Bu modellerden bazıları Pelzer tarafından geliştirilmiş θ^2 -Ölçütü, Heck, Kuntz, Mier-Hirmer tarafından geliştirilen Analitik Yöntemler, Mierlo tarafından geliştirilen Mierlo Yöntemi, Caspary-Schwintzer tarafından geliştirilen Cholesky Carpanlarına Ayırma Yöntemleri olarak göze çarpar. Bu çalışmada en çok kullanılan yöntemlerden biri olan θ^2 -Ölçütü yöntemi kullanılmıştır.

θ^2 -Ölçütü yönteminde öncelikle tüm periyotlardaki ölçülerin ayrı ayrı dengelenmesiyle dengeli koordinatlar vektörü x , düzeltmelerin kareleri toplamı v^Tpv ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi Q_{xx} hesaplanır. Sonra İki periyot arasındaki nokta hareketinin anlamlı olup olmadığının irdelenmesi, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların fark vektörü (d) nün hesaplanmasıyla gerçekleştirilir. İki ölçü periyodundan elde edilen dengelenmiş koordinatlar birbiri üzerine Helmert dönüşümü kullanılarak karşılaştırıldığında ortak noktalardaki farklar d vektörünü verir (Yalçınkaya (Ünver) ve Tanır, 2000; Kuhlman ve Pelzer, 1997; Pelzer, 1985; Atasoy, 1984; Öztürk, 1987).

İki ölçü periyodunda hesaplanan dengelenmiş nokta koordinatları (x_1, x_2) ile fark vektörü aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$d = x_2 - x_1 \quad (3.29)$$

Ağın herhangi bir noktasındaki deformasyonun varlığını irdelemek için, sıfır hipotezi hiçbir noktada deformasyon yoktur şeklinde aşağıdaki gibi kurulur (Öztürk, 1987).

$$H_0 : x_2 - x_1 = 0 \quad (3.30)$$

d fark vektörüne ait kofaktörler matrisi Q_d ,

$$Q_d = Q_{xx_1} + Q_{xx_2} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \quad (3.31)$$

şeklinde hesaplanır. Buradan θ^2 -ölçütü,

$$\theta^2 = (x_2 - x_1)^T \{ (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \}^+ (x_2 - x_1) \quad (3.32)$$

olarak elde edilir. Ağın geometrik şekli ve datum parametreleri her iki ölçme periyodunda da aynı ise u_k ; ağdaki koordinat bilinmeyen sayısı ve d_{datum} ; datum parametreleri sayısı olmak üzere Q_d 'nin bağımsız satır ve sütun sayısını gösteren rangı

$$h = \text{rang} (Q_{xx_1}) = \text{rang} (Q_{xx_2}) = u_k - d_{datum} \quad (3.33)$$

biçiminde hesaplanır. Her iki ölçü dizisinin de aynı aletler kullanılarak, aynı meteorolojik koşullar altında ve aynı ölçme ekibince yapıldıkları varsayıldığında kuramsal varyansları eşit olur (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Mierlo, 1978). Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması; $i=1,2$ ve $(f_i = n_i - u_i + d_{datum})$ olmak üzere

$$s_0^2 = \sqrt{\frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2}} \quad (3.34)$$

olarak hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T = \frac{\theta^2}{s_0^2 h} \quad (3.35)$$

$f = f_1 + f_2$ olmak üzere, Test değeri T , F-tablo değeri ile karşılaştırıldığında $T < F_{h, f, 1-\alpha}$ olması halinde H_0 hipotezinin geçerli olduğuna, $T > F_{h, f, 1-\alpha}$ olması durumunda ise H_0 hipotezinin geçersiz olduğuna karar verilir. H_0 hipotezinin geçerli olması iki periyot arasında geçen sürede $s=1-\alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarının hiçbirinde deformasyonun gözlenmemiş olduğu, geçersiz olması ise yine aynı istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğu anlamına gelmektedir.

Deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktaların belirlenmesi için her seferinde obje noktalarından birinin hareketli, diğerlerinin sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar θ^2 -Ölçütü değeri hesaplanır. B, hareketli noktaları gösteren indis ve F, sabit noktaları gösteren indis olmak üzere d fark vektörü ve Q_d kofaktörler matrisi

$$d = \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} \quad (3.36)$$

$$Q_d = \begin{vmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{vmatrix} \quad (3.37)$$

şeklinde alt matrislere ayrılır. Q_d matrisinin tersi alınarak ağırlık matrisi aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$Q_d^+ = P_d = \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \quad (3.38)$$

Her nokta deformasyon ihtimali bulunan B noktası olarak ele alınarak her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları alt vektör \bar{d}_B olarak yazılır. Ağın nokta sayısını p ile

gösterirsek, p kadar ayrılık etkisi hesaplanır. Alt matrislerin Gauss yöntemi kullanılarak indirgenmesi ile

$$\bar{d}_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad (3.39)$$

$$\bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF} \quad (3.40)$$

değerleri ve bu değerler yardımıyla θ^2 değeri

$$\theta^2 = d^T Q_d^+ d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B \quad (3.41)$$

olarak hesaplanır. Burada $d_F^T \bar{P}_{FF} d_F$ sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık, $\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B$ ise hareketli olduğu varsayılan noktaların her birine ait aykırılıklardır.

$$(\theta^2)_i = (\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B)_i \quad i = 1,2,\dots,p \quad (3.42)$$

p nokta sayısı olmak üzere, $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle toplam aykırılıktaki payı en büyük olan $(\theta^2)_{\max} = \text{Max}((\theta^2)_i)$ olan noktada deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda deformasyona uğrayan başka bir nokta olup olmadığını araştırmak için d ve Q_d 'ye bir S-dönüşümü yapılarak geriye kalan (p-1) noktadan yararlanılarak yeni bir datum verilir. d ve Q_d 'de deformasyon noktasına ait elemanlar, en son satır ve sütunlara atılır. GNSS ağları için dönüşüm parametre katsayılar matrisi olan G, p sayıda nokta için aşağıdaki biçimde oluşturulur.

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

G matrisinden yararlanarak S dönüşüm matrisi aşağıdaki biçimde elde edilir (Bayrak, 2003; Tanır, 2000; Yalçinkaya (Ünver), 1996/2; Kurt, 1996; Öztürk, Şerbetçi, 1992; Mierlo, 1978).

$$S_i = I - G G^T \quad (3.44)$$

d ve Q_d matrisi

$$d_i = S_i d \quad (3.45)$$

$$Q_{di} = S_i Q_d S_i^T \quad (3.46)$$

biçiminde dönüştürülür. D, datum noktalarını; N, datum dönüşümüne katılmayan noktaları göstermek üzere, fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$d_i = \begin{vmatrix} d_D \\ d_N \end{vmatrix} = S_i \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} = S_i d \quad (3.47)$$

$$Q_{di} = \begin{vmatrix} Q_{DD} & Q_{DN} \\ Q_{ND} & Q_{NN} \end{vmatrix} \quad (3.48)$$

şeklinde alt matrislere ayrılır. Burada d_N , toplam aykırılıktaki payları en büyük olan θ^2_{max} noktalarına ait d_B değerinin dönüşümden sonraki değeridir. i. belirleme adımından sonra kalan aykırılık,

$$\theta^2_{kalan} = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (3.49)$$

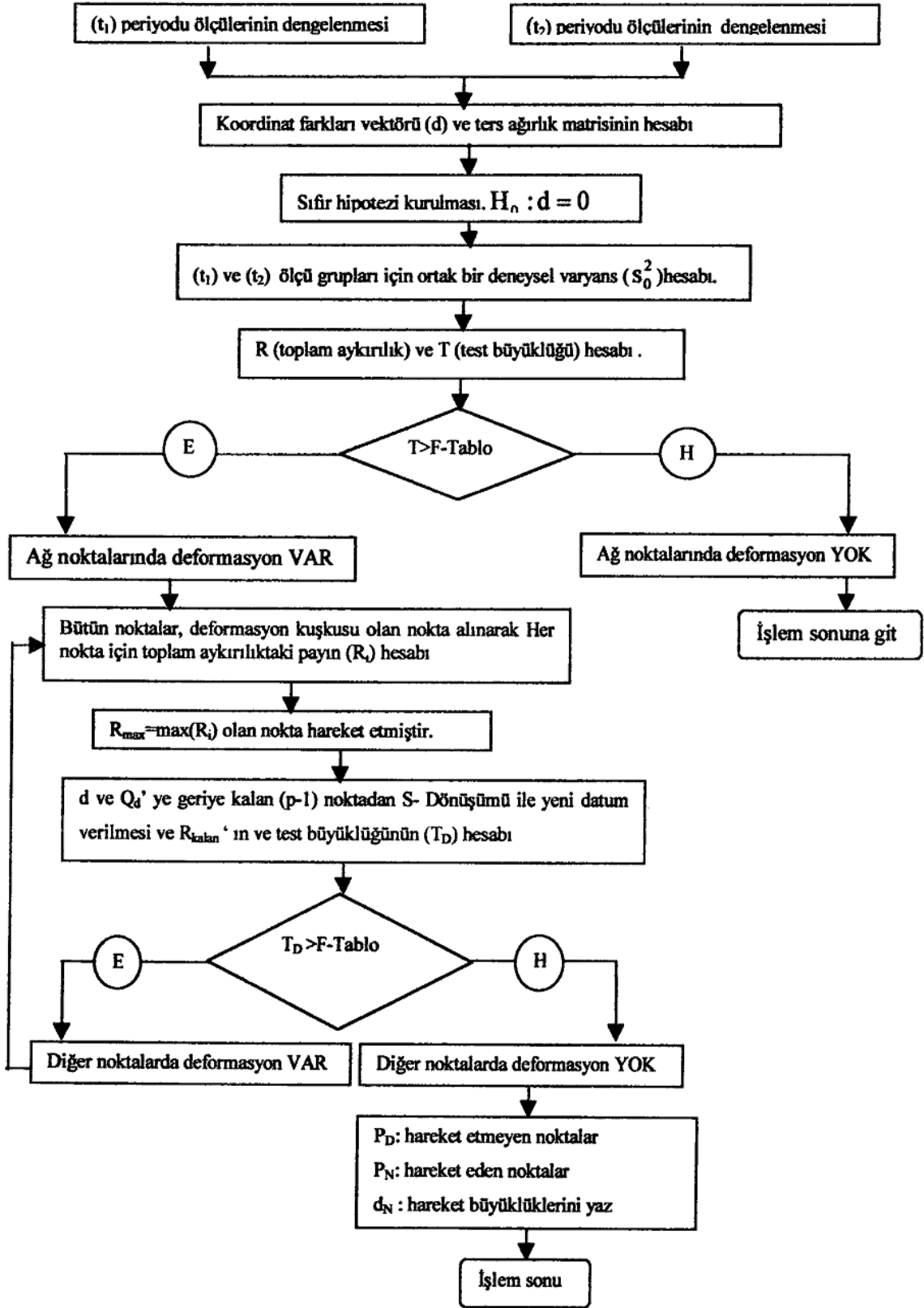
olarak hesaplanır. Serbestlik dereceleri $h_D=h-m$, $f_D=f-3$ biçiminde hesaplanır. Burada m deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısıdır. Buna göre test büyüklüğü

$$T_D = \frac{\theta^2_{kalan}}{s_0^2 \cdot h_D} \quad (3.50)$$

olmak üzere eğer

$$T_D > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (3.51)$$

ise ağda hareketli nokta vardır demektir. Yeni hareketli noktaların varlığının araştırılmasına, test büyüklüğü tablo değerinden küçük oluncaya kadar yukarıdaki işlemler tekrar edilerek devam edilir. Son bir S dönüşümü uygulanarak ağda sabit kalan noktalar P_D , deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri d_N elde edilir (Bayrak, 2003; Atasoy, 1988; Gründig vd., 1985; Dupraz vd., 1979; Pelzer, 1971). Bu yöntemin uygulanabilmesi için takip edilmesi gereken işlem adımları aşağıda yer alan Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. θ^2 Ölçütü İle Deformasyon Analizi İş Akış Şeması (Tanır, 2000).

4. GNSS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE HAREKETLİ NOKTALARDAKİ DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

4.1. Uygulama Alanının Seçimi

Yüksek lisans tezi kapsamında belirlenen Doğu Pontidler çalışma bölgesi içerisindeki uygulama alanı Trabzon ve Gümüşhane illeri arasında yer almaktadır. Uygulama Alanı içerisinde yapılacak çalışmaya uygun olarak, Gümüşhane’de yer alan Torul ilçesi ve Zigana köyü ile Trabzon’da yer alan Maçka ilçesi ve Boztepe mahallelerinde olmak üzere 4 nokta seçilmiştir. Bu 4 hareketli nokta haricinde Rize ve Gümüşhane illerinde bulunan sürekli gözlem yapan RZE1 ve GUMU TUSAGA istasyonları sabit noktalar olarak seçilerek deformasyon ağı oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Deformasyon ağında yer alan tüm noktaların daha sonra yapılacak çalışmalarda yerlerinin kolay bulunabilmesi için, noktaların yaklaşık coğrafi koordinatları Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Uygulama Alanında Kullanılan GNSS noktaları

Tablo 4.1. Uygulamada kullanılan sabit ve hareketli GNSS noktaları

| Noktanın Bulunduğu Yer | Nokta Kodu | Nokta Türü | Enlem (°) | Boylam (°) |
|------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| Gümüşhane (üniversite) | GUMU | Sabit | 40.4371 | 39.5162 |
| Rize | RZE1 | Sabit | 41.0369 | 40.4931 |
| Torul (Gümüşhane) | TORU | Hareketli | 40.5507 | 39.3140 |
| Zigana (Gümüşhane) | ZIGA | Hareketli | 40.6547 | 39.4013 |
| Maçka (Trabzon) | MACK | Hareketli | 40.7263 | 39.5201 |
| Boztepe (Trabzon) | BOZT | Hareketli | 40.9983 | 39.7314 |

Bölgede meydana gelen kabuksal hareketleri doğru belirleyebilmek amacıyla hareketli noktaların seçiminde öncelikle bu noktaların mümkün mertebe merkezlendirme donanımına sahip pilyelerden oluşan, sağlam zemin üzerinde bulunan noktalar olmasına ve herhangi bir engel olmaksızın uyduları iyi görebilecek bir konumda olmasına dikkat edilmiştir. Fakat kısıtlı imkanlar dahilinde gerçekleştirilen uygulamada Torul, Maçka ve Boztepe mevkieinde Harita Genel Komutanlığı (TUTGA noktası) ve Tapu ve Kadastro Müdürlüğüne ait pilyeler kullanılırken, Zigana mevkieinde pilye yerine sağlam betona çakılmış yaklaşık 50 cm uzunluğunda boyalı bir çivi kullanılmıştır (Şekil 4.2). Ayrıca uygulamanın daha kolay gerçekleştirilebilmesi için seçilen hareketli noktaların ulaşım ve güvenlik açısından elverişli olmasına da dikkat edilmiştir.



Şekil 4.2. Torul ve Zigana mevkieinde kullanılan noktalar

Hareketli obje noktaları belirlendikten sonra uygulama alanını içine alan sabit noktalar harita üzerinden seçilmiştir. Sürekli gözlem yapan TUSAGA-Aktif istasyonlarından bölgeye en yakın olanları GUMU ve RZE1 sabit noktalar olarak seçilmiştir. Bölgeyi çevreleyen diğer TUSAGA noktalarından BAYB (Bayburt) ve GIRS (Giresun) ise, hareketli noktalara çok uzak olmaları ya da ölçüm süresinin yeteri kadar uzun alınmamasından dolayı gereken hassasiyeti sağlayamamışlar ve sabit nokta olarak ölçüme dahil edilmemişlerdir. Trabzon'da bulunan TRAB istasyonunun ise 1. periyottaki verilerine o günkü teknik problemlerden ötürü erişilememiştir. Deformasyon ağının şeklinin korunması açısından diğer periyotlarda da bu istasyon düşünülmemiştir.

4.2. Oturum Planlaması

Ölçümler gerçekleştirilmeden önce başlangıçta elimizde bulunan mevcut imkanlara (GNSS alıcı sayısı, araç, personel sayısı, ulaşım vs.) göre uygulama alanı içerisinde ölçüm yapılacak nokta sayısı belirlenmiştir. Sonra Tapu Kadastro Müdürlükleri ve özel bürolar yardımıyla bölgeye homojen olarak yayılan ve bölgedeki hareketleri iyi bir şekilde temsil edebilecek pilye şeklinde tesis edilen noktalar araştırılmıştır. Bu noktaların yerlerinde istikşafı yapılarak hem ulaşım hem güvenlik hem de GNSS ölçümlerini gerçekleştirmeye uygun oldukları görüldükten sonra kullanılan sabit noktalar ile birlikte harita üzerine çizilerek deformasyon ağı oluşturulmuştur.

Ağ tasarlandıktan sonra ağda anlamlı hareket tespit edilmesi açısından yatayda mm doğruluk seviyesine ulaşılabilmesi için tüm periyotlarda ölçüm süresi yaklaşık 4.5-5 saat ve oturum sayısı da 3 periyot olarak planlanmıştır. Gözlem planları (alıcı tipi-sayısı, ölçüm süresi, oturum sayısı) yapıldıktan sonra tüm oturumlar boyunca aynı kalacak şekilde her bir noktada kullanılacak ekipmanlar (alıcı modeli, triplaks, 3 ayak sehpası) aşağıda yer alan Tablo 4.2'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Ölçümler Sırasında Tüm Periyotlar Boyunca Kullanılan Ekipmanlar

| Nokta Kodu | GNSS Alıcı Markası | GNSS Seri No | Kullanılan Ekipman |
|------------|--------------------|--------------|--------------------------|
| BOZT | Hiper Pro | 345-1098 | Triplaks (3 ayak vidası) |
| MACK | Hiper Pro | 345-1120 | Triplaks (3 ayak vidası) |
| TORU | Hiper Pro | 421-01403 | Triplaks (3 ayak vidası) |
| ZIGA | Hiper Pro | 421-01520 | 3 Ayak Sehpası, Triplaks |

Tüm periyotlarda her noktada aynı seri numarasına sahip Topcon Hiper Pro markalı GNSS alıcıları kullanılmıştır. Tesisi pilye şeklinde olan noktalarda küresel düzeci ayarlamak için triplakslar kullanılırken, Zigana’da bulunan ZIGA noktasında 3 ayak sehpası ile birlikte triplaks kullanılmıştır. Bununla birlikte ölçüm yapılacak noktalara hangi araç ile nasıl ulaşılacağı da planlanarak arazi öncesi organizasyon tamamlanmıştır.

4.3. GNSS Ölçümlerinin Yapılması

Birinci kampanya GNSS ölçümleri 08.06.2012 tarihinde, ikinci kampanya ölçümler 27.12.2012 tarihinde ve üçüncü kampanya ölçümler 23.05.2013 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Birinci kampanya GNSS ölçümleri tüm noktalarda aynı zaman aralığında minimum 4,5 saatlik ortak gözlemler yapılarak gerçekleştirilirken, 2. Kampanyada bu süre 5 saate ve 3. Kampanyada da 5,5 saate çıkarılarak gerçekleştirilmiştir. Tarafımızdan belirlenen tüm hareketli noktalarda kendi GNSS alıcılarımız ile gerçekleştirdiğimiz ölçümlerde veriler 1 saniye aralıklı olarak kayıt edilmiştir. Sabit noktalar olarak kullanılan GUMU ve RZE1 TUSAGA-Aktif istasyonlarında ise değerlendirme aşamasında ölçüm gününe ait 30 saniye aralıklı veriler kullanılmıştır. Ölçümleri değerlendirme aşamasında hareketli noktalara ait saniyelik veriler ile yapılan değerlendirmelerin 30 saniyelik veriler ile yapılanlara nazaran daha hassas sonuçlar verdikleri görüldüğü için bu noktalarda tüm kampanyalar boyunca saniye aralıklı veriler esas alınmıştır.

Ölçümler sırasında anten yükseklikleri mm doğrulukta ölçülmüştür. Bunun için özellikle nokta olarak tesis edilen ZIGA noktasında (Şekil 4.2) anten yüksekliği her periyotta 4 farklı konumdan ölçülerek ve ortalaması alınarak belirlenmiştir. Diğer Pilye üzerine kurulan noktalarda ise araziye çıkılmadan önce küresel düzeçleri ayarlanmış

triplakslar ile birlikte anten yüksekliği çok hassas bir biçimde belirlenmiştir ve tüm kampanyalar boyunca aynı noktalarda aynı triplaks kullanıldığı için de yükseklikler her 3 periyotta sabit kalmıştır. Tüm ölçüm noktalarında kullanılan ekipmanlar ile birlikte anten yükseklikleri aşağıda yer alan Tablo 4.3’de gösterilmektedir.

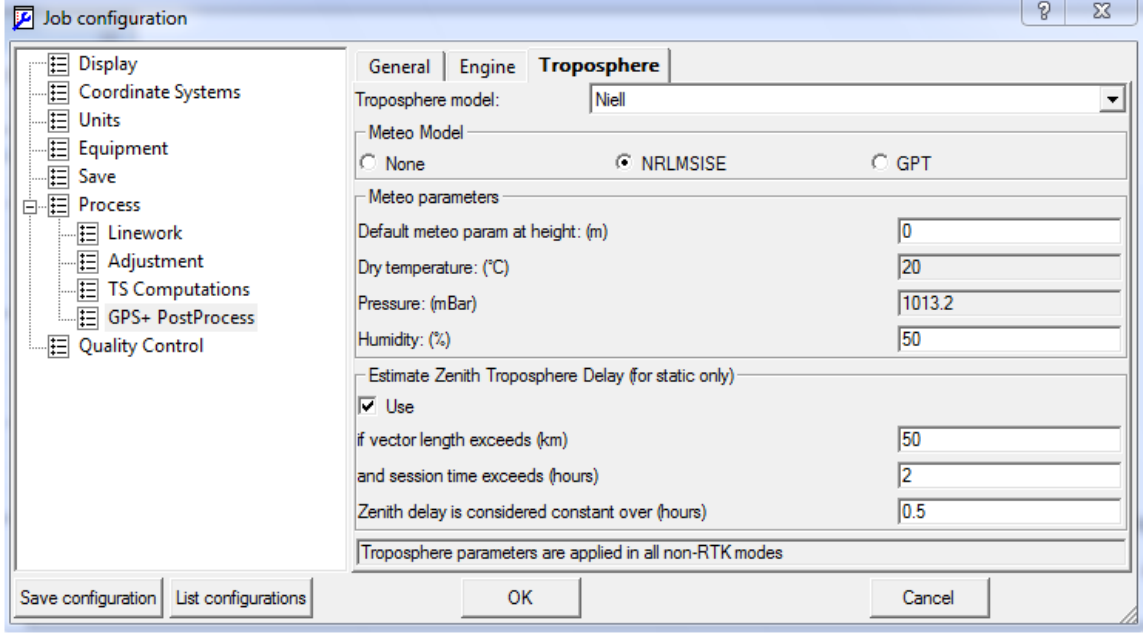
Tablo 4.3. Ölçüm Yapılan Noktalardaki Anten Yükseklikleri

| Nokta Kodu | Kullanılan Ekipman | 1.Periyot (m) | 2.Periyot (m) | 3.Periyot (m) |
|------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| BOZT | Triplaks | 0.0765 | 0.0765 | 0.0765 |
| MACK | Triplaks | 0.0765 | 0.0765 | 0.0765 |
| TORU | Triplaks | 0.1365 | 0.1365 | 0.1365 |
| ZIGA | 3 ayak sehпасı, Triplaks | 1.550 | 1.575 | 1.626 |

Hassas olarak gerçekleştirilen GNSS gözlemlerinde antenlerin nokta üzerlerine doğru kurulabilmeleri için mm hassasiyette merkezlendirilerek tam nokta üzerine kurulumlarının sağlanması gerekmektedir. Ölçümler boyunca merkezlendirmeden doğacak hatalar pilye ve 3 ayak sehпасı kullanılarak giderilmiştir. Ölçümleri değerlendirme aşamasında noktalar arasındaki mesafelerin uzun olması dolayısı ile sonuçların daha hassas olmalarını sağlamak amacıyla uydu eğim açısı minimum 15° olarak alınmıştır.

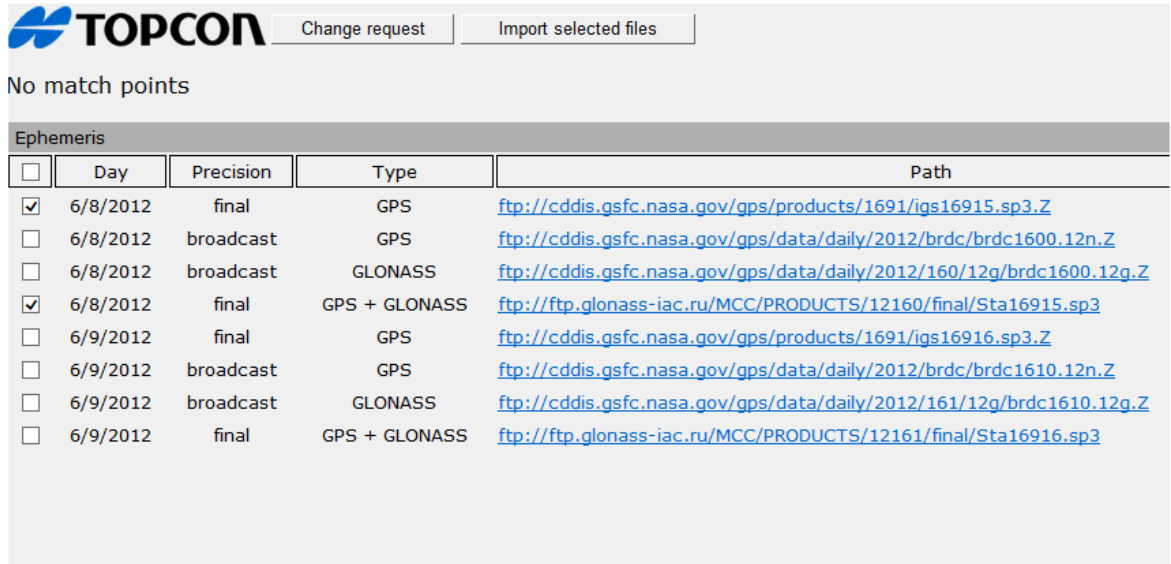
4.4. GNSS Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

GNSS ölçümleri Gümüşhane Üniversitesinin Lisansına sahip olduğu Topcon Tools V.8.2 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçümleri Deđerlendirmeden önce açılan iş dosyasında konfigürasyon kısmında yer alan koordinat sistemi, process ve kalite kontrol sekmelerine tıklanarak sırayla ölçümlerin değerlendirileceği koordinat sistemi, ölçümleri değerlendirme kriterleri ve değerlendirme sonucunda yapılan ölçümlerin ve dengeleme sonuçlarının istenilen hassasiyette olup-olmadıklarını gösteren ve aynı zamanda istenilen hassasiyet kriterlerine uymayan ölçümlerin otomatik olarak değerlendirmeye dahil edilmemesini de sağlayan hassasiyet kriterleri belirlenir. Koordinat sistemi olarak yer merkezli olan ITRF 96 koordinat sistemi kullanılmıştır. Ölçümleri değerlendirme kriterlerinden biri olan atmosferik etkileri modellemede ise programda tanımlı olan Niell troposfer modeli ile NRLMSISE meteoroloji modeli seçilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Topcon Tools V.8.2 Yazılımında Atmosferik Etkileri Modelleme Kriterleri

Konfigürasyon kısmında gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra veriler iş dosyasına import edilir. Daha sonra “job - import from internet” sekmesi tıklanarak ölçümlerin hassasiyeti arttıracak sp3 formatındaki hassas yörünge verileri import edilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Sp3 Formatındaki Hassas Yörünge Verilerinin (Efemeris) İport Edilmesi

Hem GLONASS hem de GPS uydularına ait efemeris verileri yukarıdaki gibi import edildikten sonra GPS Occupations kısmından nokta adları, uygulamada kullanılan GNSS alıcı türleri, anten yükseklikleri bilgileri aşağıda yer alan Şekil 4.5’deki gibi girilir.

| I... | Point Name | Original Name | Antenna Type | Antenna Heig... | Ant Height Me... |
|------|------------|-------------------|--------------|-----------------|------------------|
| | MACK | 3451120_0101a... | HiPer Pro | 0.0765 | Vertical |
| | BOZT | 3451098_0608I_... | HiPer Pro | 0.0765 | Vertical |
| | ZIGA | 42101520_0101... | HiPer Pro | 1.5500 | Slant |
| | GUMU | GUMU | TRM55971.00 | 0.0870 | Vertical |
| | TORU | 42101403_0101... | HiPer Pro | 0.1365 | Vertical |
| | RZE1 | RZE1 | TRM55971.00 | 0.0870 | Vertical |

Şekil 4.5. Nokta Adları, Alıcı Türleri ve Anten Yüksekliklerinin Girilmesi

Process aşamasına geçilmeden önce sabit nokta olarak kullanılacak ve koordinatları değişmez olarak kabul edilecek GUMU ve RZE1 TUSAGA-Aktif noktalarının ölçüm günü koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için bu noktalara ait Tapu Kadastro sitesinden alınan, aşağıdaki Tablo 4.4’de gösterilen 2005.0 epoğunda ITRF96 sistemindeki yerel kartezyen koordinatlar (X, Y, Z) ve yıllık hızları (V_x , V_y , V_z) kullanılarak

Tablo 4.4. Sabit TUSAGA-Aktif Noktalarının Kartezyen Koordinat ve Yıllık Hızları

| Nokta | X | Y | Z | V_x | V_y | V_z |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------|--------|--------|
| GUMU | 3751012.97244 | 3093875.08604 | 4115853.76337 | -0.0204 | 0.0134 | 0.0079 |
| RZE1 | 3663979.09422 | 3128569.83589 | 4165561.12714 | -0.0229 | 0.0134 | 0.0052 |

Ölçüm epoğundaki koordinatlar aşağıdaki hesaplama ile elde edilir.

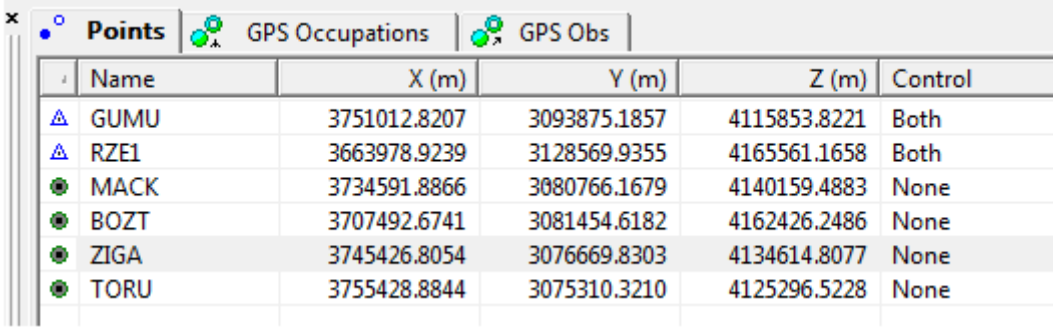
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ölçüm epoğu}} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{2005.0} + \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \Delta t, \quad \Delta t = \text{ölçüm epoğu} - 2005.0 \quad (4.1)$$

Bu hesaplama yapılarak her üç ölçü epoğundaki GUMU ve RZE1 TUSAGA noktalarının koordinatları aşağıda yer alan Tablo 4.5’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.5. GUMU ve RZE1 TUSAGA Noktalarının Ölçüm Epoğu Koordinatları

| Nokta Kodu | X | Y | Z | Periyot No | Ölçüm Tarihi | Ölçüm Epoğu |
|------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------------|
| GUMU | 3751012.8207 | 3093875.1857 | 4115853.8221 | 1. Periyot | 08.06.2012 | 2012.43715846995 |
| RZE1 | 3663978.9239 | 3128569.9355 | 4165561.1658 | 1. Periyot | 08.06.2012 | 2012.43715846995 |
| GUMU | 3751012.8095 | 3093875.1931 | 4115853.8265 | 2. Periyot | 27.12.2012 | 2012.98907103825 |
| RZE1 | 3663978.9113 | 3128569.9429 | 4165561.1687 | 2. Periyot | 27.12.2012 | 2012.98907103825 |
| GUMU | 3751012.8012 | 3093875.1985 | 4115853.8297 | 3. Periyot | 23.05.2013 | 2013.39178082192 |
| RZE1 | 3663978.9020 | 3128569.9483 | 4165561.1708 | 3. Periyot | 23.05.2013 | 2013.39178082192 |

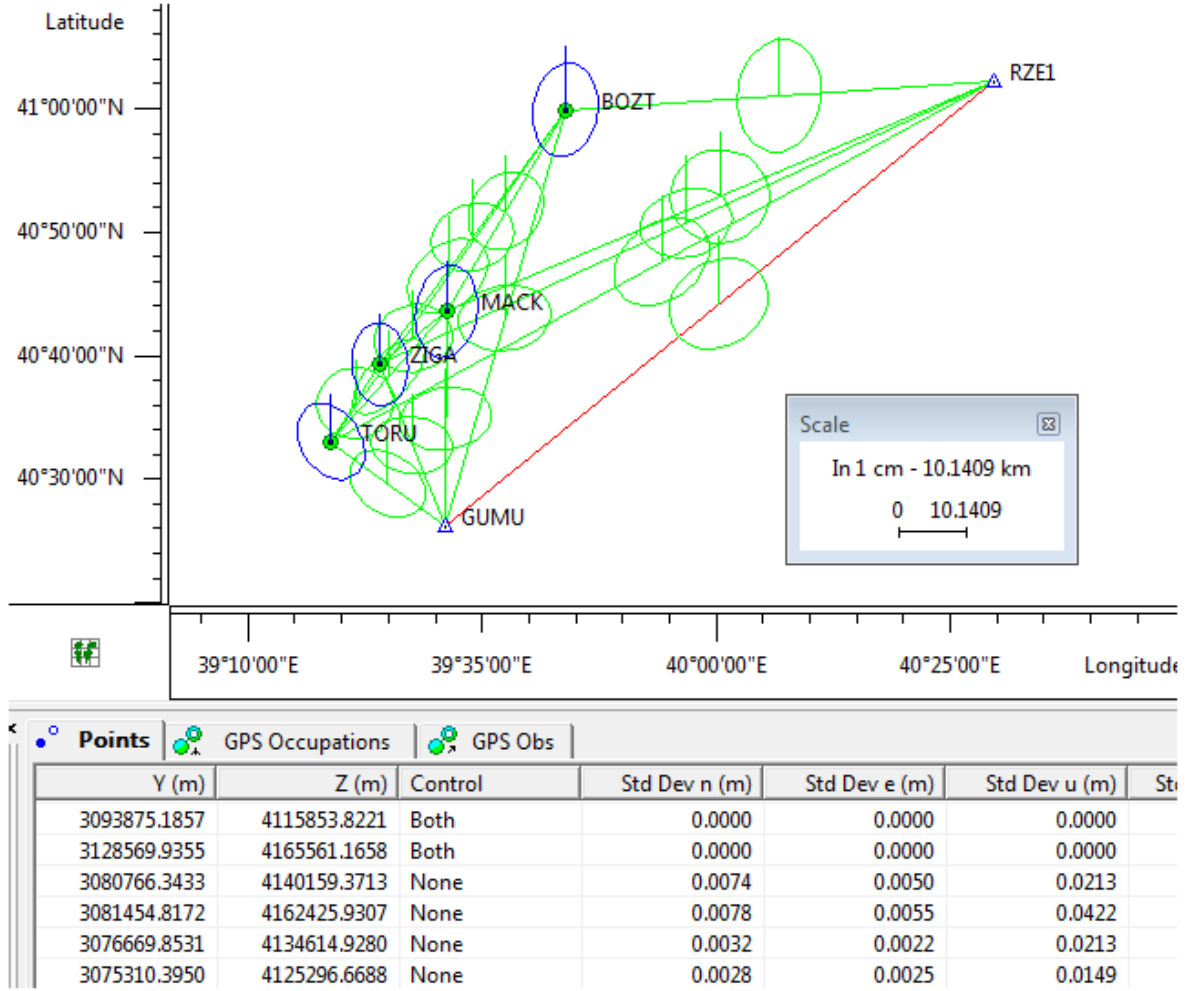
Kullanılacak sabit noktaların ölçüm epoğundaki koordinatları hesaplandıktan sonra yazılımda points sekmesinden sabit noktalar seçilerek koordinatları girilir ve bu noktalar değişmez kontrol noktaları olarak seçilirler (Şekil 4.6).



| Name | X (m) | Y (m) | Z (m) | Control |
|------|--------------|--------------|--------------|---------|
| GUMU | 3751012.8207 | 3093875.1857 | 4115853.8221 | Both |
| RZE1 | 3663978.9239 | 3128569.9355 | 4165561.1658 | Both |
| MACK | 3734591.8866 | 3080766.1679 | 4140159.4883 | None |
| BOZT | 3707492.6741 | 3081454.6182 | 4162426.2486 | None |
| ZIGA | 3745426.8054 | 3076669.8303 | 4134614.8077 | None |
| TORU | 3755428.8844 | 3075310.3210 | 4125296.5228 | None |

Şekil 4.6. Sabit Noktaların Koordinatlarının Girilmesi ve Seçilmesi

Sabit noktalar seçildikten sonra dengelemenin birinci aşaması olan ağıdaki tüm noktalar arasındaki baz bileşenlerinin dengelendiği process aşaması Şekil 4.7’de gösterildiği gibi gerçekleştirilir.



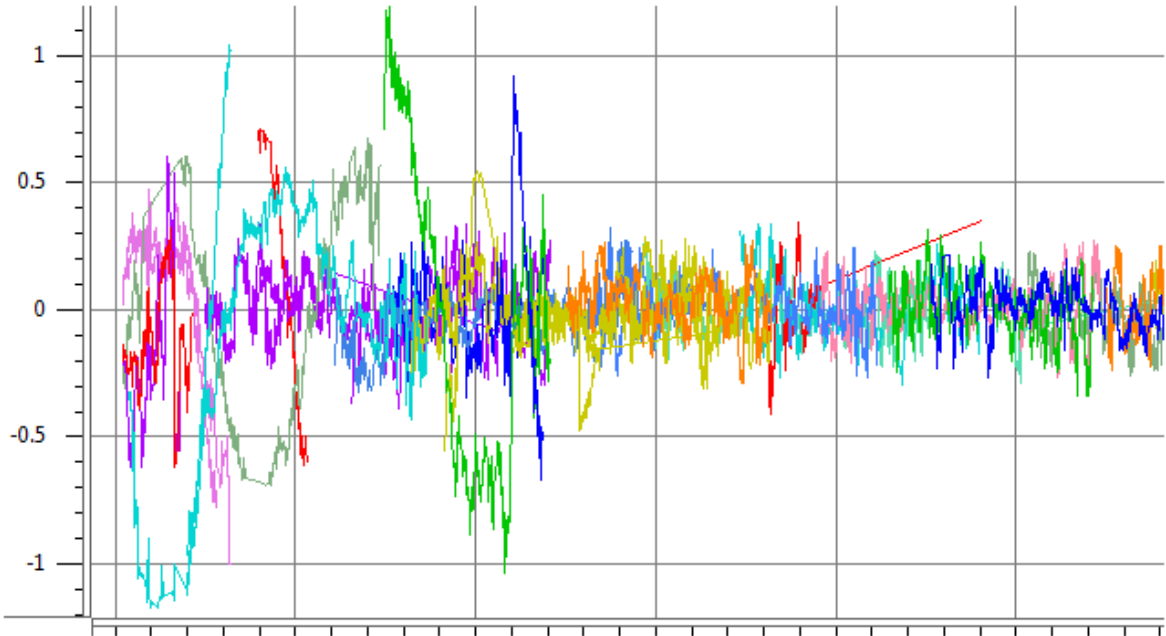
Şekil 4.7. Process İşleminin Yapılması ve Hatalı Bazların Görülmesi

Eğer belirlenen hassasiyet kriterlerinden birisine uygun olmayan bir baz çözümü söz konusu ise yukarıda görüldüğü gibi o baz process aşamasından sonra programda kırmızı renk olarak gözükmektedir. Bu çalışmada bazların dengelendiği process aşamasında hassasiyet kriteri yatayda 3 cm ve düşeyde de 5 cm olarak belirlenmiştir. GPS observations sekmesine bakıldığı zaman düşeydeki sınır değeri aşıldığı için bazın kırmızı renkte yandığı Şekil 4.8'deki gibi rahatça görülmektedir.

| Points | | GPS Occupations | | GPS Obs | | |
|--------|------------|-----------------|----------|--------------------------|------------------------|--------------|
| I... | Point From | Point To | Duration | Horizontal Precision (m) | Vertical Precision (m) | Distance (m) |
| | BOZT | MACK | 04:38:37 | 0.0050 | 0.0266 | 35080.1995 |
| | MACK | ZIGA | 04:38:37 | 0.0022 | 0.0148 | 12842.0438 |
| | BOZT | ZIGA | 04:39:42 | 0.0051 | 0.0331 | 47279.1689 |
| | GUMU | MACK | 04:38:37 | 0.0090 | 0.0213 | 32128.4759 |
| | BOZT | GUMU | 04:42:40 | 0.0095 | 0.0422 | 64939.7629 |
| | GUMU | ZIGA | 05:01:39 | 0.0039 | 0.0213 | 26061.5181 |
| | MACK | TORU | 04:36:37 | 0.0094 | 0.0153 | 26169.6263 |
| | BOZT | TORU | 04:37:42 | 0.0083 | 0.0369 | 60944.1043 |
| | TORU | ZIGA | 04:59:39 | 0.0017 | 0.0108 | 13737.5350 |
| | GUMU | TORU | 05:01:25 | 0.0037 | 0.0149 | 21291.3892 |
| | MACK | RZE1 | 04:38:37 | 0.0138 | 0.0445 | 88975.6397 |
| | BOZT | RZE1 | 04:42:40 | 0.0207 | 0.0332 | 64211.8984 |
| | RZE1 | ZIGA | 05:01:39 | 0.0094 | 0.0492 | 101415.4577 |
| | GUMU | RZE1 | 24:00:00 | 0.0159 | 0.0511 | 106063.3942 |
| | RZE1 | TORU | 05:01:25 | 0.0161 | 0.0483 | 113229.6828 |

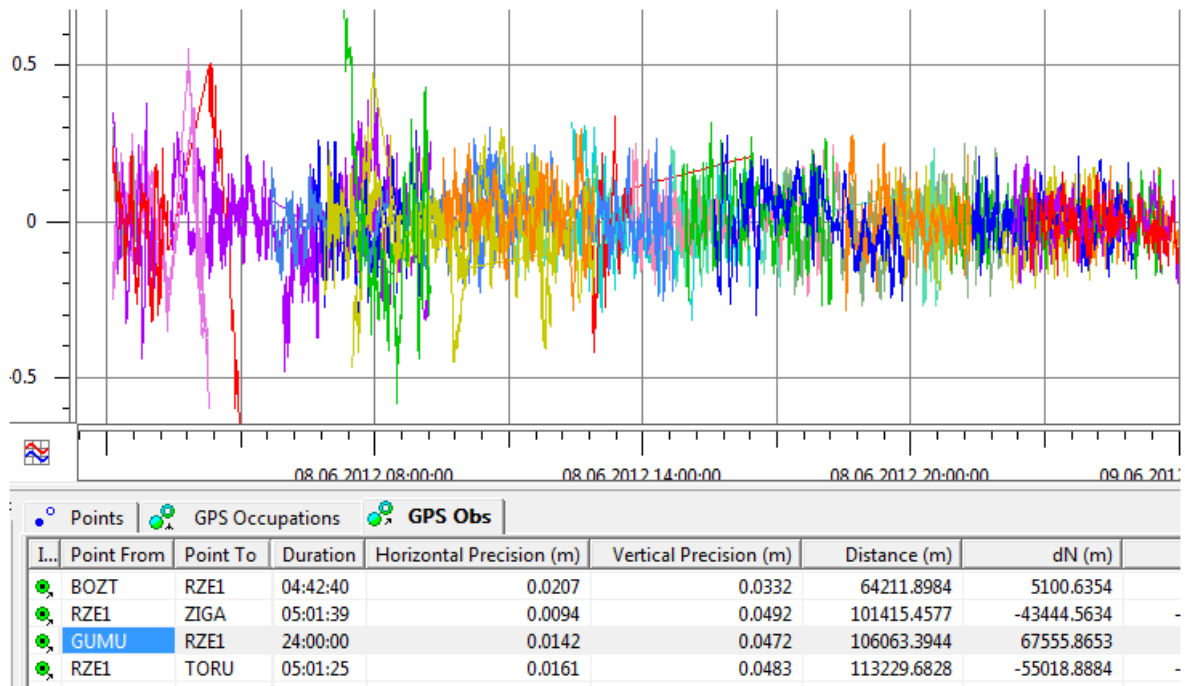
Şekil 4.8. GPS Observations Sekmesinde Baz Çözüm Hassasiyetlerinin Görülmesi

Bu bazın hangi uydulara ait sinyallerden dolayı hassasiyetinin düştüğünü anlamak ve bunu gidererek o baza ait hassasiyeti arttırabilmek için o bazın üzerine sağ tıklanarak residual view penceresi açılır (Şekil 4.9).



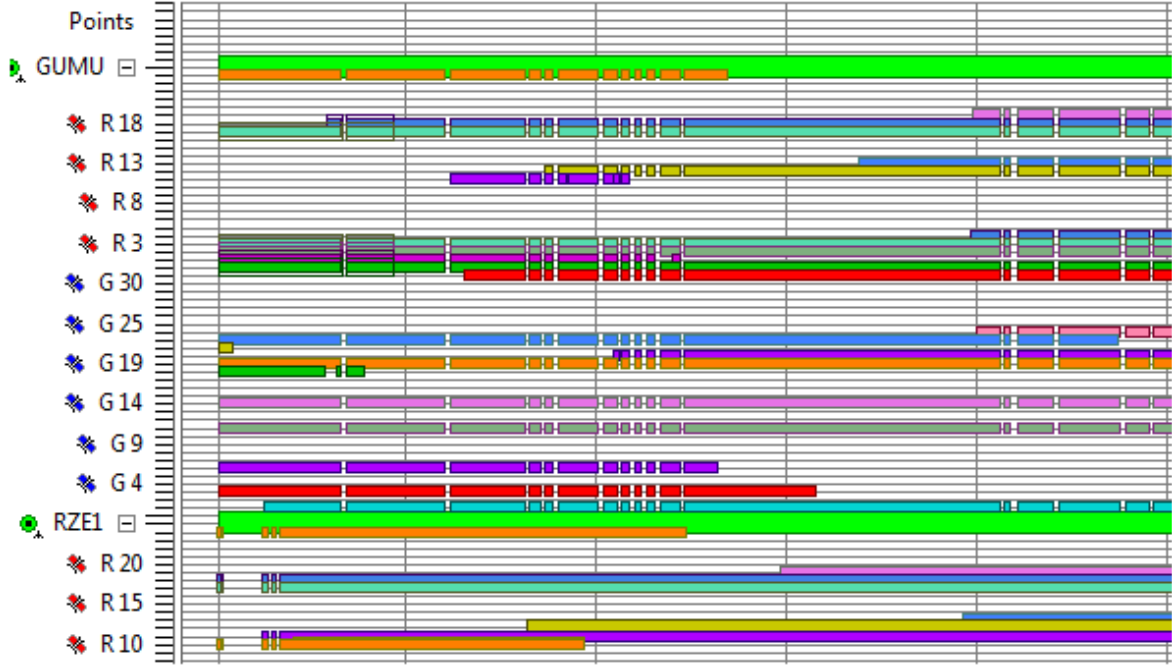
Şekil 4.9. Residual View Penceresinde Hatalı Baza Ait Çiftli Uydu Fark Ölçülerinin Görülmesi

Şekil 4.9’da gösterilen pencerede toplanmış olan uydu sinyallerindeki çiftli uydu farkları grafik olarak görülmektedir. Burada normalde istenen bu farkların sıfır çizgisi etrafından çok fazla uzaklaşmamalarıdır. Eğer sıfır çizgisinden çok uzaklaşmış olan veriler varsa bunların bir kısmını yada tamamını elimine edilerek bazın çözüm hassasiyetinin artırılabilir. Ölçümden çıkarılan verilerden sonra değerlendirilen baza ait hassasiyetin artıp artmadığı da observation sekmesinden kontrol edilebilir. Gerekli veriler iptal edildikten sonra aynı baza ait residual view penceresi ve o bazın hassasiyeti aşağıdaki Şekil 4.10’da görülmektedir.



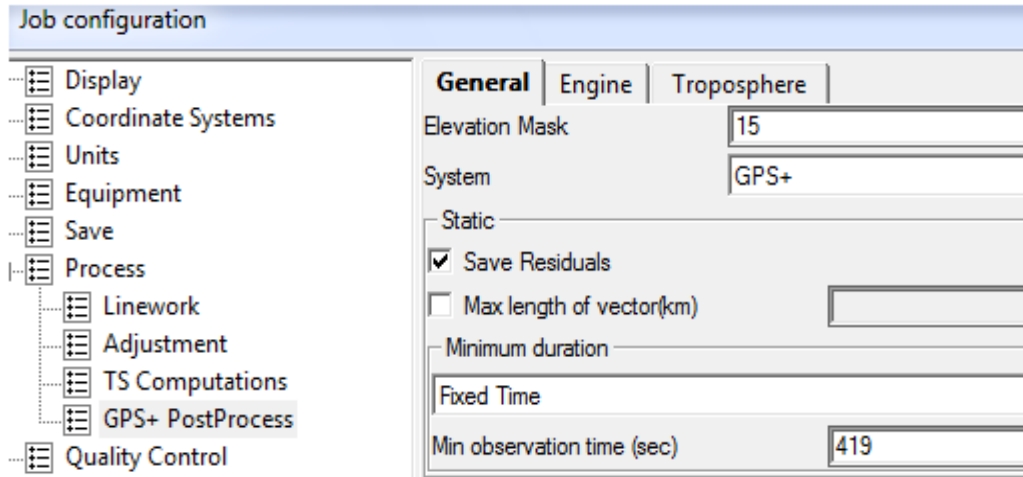
Şekil 4.10. Residual View Penceresinde Baz Çözüm Hassasiyetinin Arttırılması

Residual view penceresi haricinde occupation view penceresinde de tüm uydu gözlemleri görülebilir ve istenen zaman aralığındaki, istenen uydu verisi Şekil 4.11’de gösterildiği gibi gözlemlerden çıkarılabilir.



Şekil 4.11. Occupation View (Gözlem Penceresi)'nin Açılması

Fakat hangi uyduya ait verinin problemlili olduğu occupation view penceresinden iyi anlaşılacağı için residual view penceresi daha kullanışlıdır. Ayrıca konfigürasyon kısmında değerlendirmeye alınacak minimum ölçü süresi de belirlenerek otomatik olarak o sürenin altında kalan gözlemler aşağıdaki gibi saf dışı bırakılabilir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Konfigürasyon Ayarlarında Değerlendirmeye Alınacak Gözlemlerin Belirlenmesi

Yukarıdaki Şekil 4.12'de görüldüğü üzere minimum gözlem süresi yaklaşık 7 dakika, uydu eğim açısı 15° seçilmiştir. Bu durum 15 derecenin altında bir eğim açısına

sahip olan ve 7 dakikanın altındaki gözlemlerin değerlendirilmeye alınmadığını göstermektedir.

Ağdaki tüm baz bileşenlerinin kendi aralarında dengelendiği process aşaması tamamlandıktan sonra tüm ağın dengelendiği ikinci aşamaya geçilmeden önce, ağın dengelemeye uygun olup-olmadığının görülmesi için üçgen kapanmalarına bakılır. Üçgen kapanmaları ağın baz uzunlukları yerine üçgenler şeklinde ele alınarak belirlenen kriterlere göre değerlendirildiği aşamadır. Bu aşamada belirlenen kesin bir kriter bulunmamakla birlikte kapanma miktarlarının yatayda 3 ppm düzeyde ise 5 ppm hata sınırını geçmemesi tercih edilir. Burada kesin bir kriter olmamasının sebebi hata miktarını gösteren ppm değerinin hatanın baz uzunluğuna oranı olmasıdır. Bu durumda hata miktarı büyük olsa bile baz uzunluğu da büyük ise ppm değeri küçük olacaktır ya da hata miktarı çok küçük olsa dahi baz uzunluğu da küçük ise ppm değeri büyük çıkabilmektedir. Aşağıda gösterilen Şekil 4.13’de 1. periyottaki üçgen kapanma miktarının belirlenen sınır değerleri geçmediği görülmektedir. Bu durum diğer periyotlardaki ölçümler içinde geçerlidir.

| Loop | dHz (ppm) | dHz (m) | Horz Tolerance (m) | dU (ppm) | dU (m) | Vert Tolerance |
|--|-----------|---------|--------------------|----------|--------|----------------|
| BOZT-GUMU(08.06.2012 13:49:02) BOZT-RZE1(08.06.2012 13:49:02) GUMU-RZE1(08.06.2012 02:00:00) | 0.05 | 0.0108 | 0.7356 | 0.12 | 0.0278 | 1.2261 |
| BOZT-GUMU(08.06.2012 13:49:02) BOZT-TORU(08.06.2012 13:54:00) GUMU-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.01 | 0.0021 | 0.4715 | 0 | 0.0004 | 0.7859 |
| BOZT-MACK(08.06.2012 13:52:00) BOZT-RZE1(08.06.2012 13:49:02) MACK-RZE1(08.06.2012 13:52:00) | 0.05 | 0.0089 | 0.5948 | 0.01 | 0.0013 | 0.9913 |
| BOZT-MACK(08.06.2012 13:52:00) BOZT-TORU(08.06.2012 13:54:00) MACK-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.04 | 0.0045 | 0.3966 | 0.05 | 0.0055 | 0.661 |
| BOZT-MACK(08.06.2012 13:52:00) BOZT-GUMU(08.06.2012 13:49:02) GUMU-MACK(08.06.2012 13:52:00) | 0.06 | 0.0086 | 0.4264 | 0.09 | 0.0119 | 0.7107 |
| BOZT-MACK(08.06.2012 13:52:00) BOZT-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) MACK-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.09 | 0.0087 | 0.3156 | 0.55 | 0.0522 | 0.526 |
| BOZT-TORU(08.06.2012 13:54:00) BOZT-RZE1(08.06.2012 13:49:02) RZE1-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.03 | 0.0061 | 0.7452 | 0.1 | 0.0248 | 1.2419 |
| BOZT-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) BOZT-RZE1(08.06.2012 13:49:02) RZE1-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.03 | 0.0067 | 0.6687 | 0.14 | 0.0305 | 1.1145 |
| BOZT-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) BOZT-TORU(08.06.2012 13:54:00) TORU-ZIGA(08.06.2012 13:54:00) | 0.02 | 0.0028 | 0.3959 | 0.22 | 0.0269 | 0.6598 |
| BOZT-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) BOZT-GUMU(08.06.2012 13:49:02) GUMU-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.07 | 0.0093 | 0.4448 | 0.15 | 0.0207 | 0.7414 |
| GUMU-MACK(08.06.2012 13:52:00) GUMU-RZE1(08.06.2012 02:00:00) MACK-RZE1(08.06.2012 13:52:00) | 0.01 | 0.0031 | 0.7115 | 0.08 | 0.0172 | 1.1858 |
| GUMU-MACK(08.06.2012 13:52:00) GUMU-TORU(08.06.2012 13:54:00) MACK-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.05 | 0.004 | 0.2688 | 0.21 | 0.017 | 0.4479 |
| GUMU-TORU(08.06.2012 13:54:00) GUMU-RZE1(08.06.2012 02:00:00) RZE1-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.02 | 0.004 | 0.7518 | 0.01 | 0.0025 | 1.2529 |
| GUMU-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) GUMU-RZE1(08.06.2012 02:00:00) RZE1-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.04 | 0.0104 | 0.7306 | 0.08 | 0.018 | 1.2177 |
| GUMU-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) GUMU-TORU(08.06.2012 13:54:00) TORU-ZIGA(08.06.2012 13:54:00) | 0.12 | 0.0073 | 0.2133 | 0.09 | 0.0058 | 0.3555 |
| MACK-TORU(08.06.2012 13:54:00) MACK-RZE1(08.06.2012 13:52:00) RZE1-TORU(08.06.2012 13:54:00) | 0.03 | 0.0076 | 0.7151 | 0.14 | 0.0317 | 1.1919 |
| MACK-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) MACK-TORU(08.06.2012 13:54:00) TORU-ZIGA(08.06.2012 13:54:00) | 0.06 | 0.003 | 0.1882 | 0.59 | 0.0309 | 0.3137 |
| MACK-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) GUMU-MACK(08.06.2012 13:52:00) GUMU-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.13 | 0.009 | 0.2431 | 0.28 | 0.0196 | 0.4052 |
| TORU-ZIGA(08.06.2012 13:54:00) RZE1-TORU(08.06.2012 13:54:00) RZE1-ZIGA(08.06.2012 13:52:00) | 0.01 | 0.003 | 0.7151 | 0.09 | 0.0212 | 1.1919 |

Şekil 4.13. Üçgen Kapanma Değerlerinin Yazılımdan Elde Edilmesi

Üçgen kapanma miktarlarının da uygun olduğu görüldükten sonra tüm ağı ya da tüm dengeli baz bileşenlerinin birlikte dengelendiği aşamaya geçilir. Bunun için dengeli

baz bileşenlerinin koordinat fark ölçülerine ait varyans kovaryans matrisine ve tüm periyotlarda kullanılmak üzere ilk periyotta process aşamasından sonra elde edilen yaklaşık koordinatlara ihtiyaç vardır. Yaklaşık koordinatlar Tablo 4.6'daki gibi elde edilmişlerdir.

Tablo 4.6. 1. Periyotdan Elde Edilen Yaklaşık Koordinatlar

| Name | X (m) | Y (m) | Z (m) | Control |
|------|--------------|--------------|--------------|---------|
| RZE1 | 3663978.9239 | 3128569.9355 | 4165561.1658 | Both |
| GUMU | 3751012.8207 | 3093875.1857 | 4115853.8221 | Both |
| BOZT | 3707493.3338 | 3081454.8172 | 4162425.9307 | None |
| MACK | 3734592.1652 | 3080766.3433 | 4140159.3713 | None |
| ZIGA | 3745427.1051 | 3076669.8448 | 4134614.9106 | None |
| TORU | 3755429.2059 | 3075310.3950 | 4125296.6688 | None |

Varyans kovaryans matrisleri ise tüm periyotlarda ölçümlerin ayrı ayrı process edilmesi ile Topcon yazılımından elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler, yaklaşık koordinatlar ile birlikte aşağıda yer alan Şekil 4.14'deki gibi düzenlenerek matlab yazılımında hazırlanan dengeleme programında girdi olarak kullanılmışlardır.

| covXX | covXY | covXZ | covYY |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 0.00021598476081640 | 0.0001792253503510370 | 0.0002604546104449150 | 0.000170043947 |
| 0.00007469488046440 | 0.0000609005029310590 | 0.0000811317300467180 | 0.000053318611 |
| 0.00033214953150090 | 0.0002883606028565600 | 0.0004016810220206430 | 0.000267490931 |
| 0.00016356414820840 | 0.0000927737379777000 | 0.0001661807695163990 | 0.000084468047 |
| 0.00051442458566490 | 0.0004437399280062530 | 0.0006436236076810210 | 0.000432408731 |
| 0.00017141984070760 | 0.0001428612253783040 | 0.0001627024822991640 | 0.000126998701 |
| 0.00021980731081000 | 0.0000735137950377440 | 0.0000783455119909820 | 0.000047432001 |
| 0.00033658525598760 | 0.0003269394277111140 | 0.0004660720585962380 | 0.000364423511 |
| 0.00004436199383040 | 0.0000335423162996060 | 0.0000443626911832050 | 0.000027281501 |
| 0.00008582317824640 | 0.0000491657370016740 | 0.0000945836457970970 | 0.000033269011 |
| 0.00057929606184490 | 0.0005189215205177740 | 0.0006630274696205500 | 0.000613709951 |
| 0.00031472072773690 | 0.0002157204623837240 | 0.0002474099236323890 | 0.000609402541 |
| 0.00066852239364000 | 0.0006521292699131760 | 0.0008337978217646850 | 0.000678964121 |
| 0.00059926109763610 | 0.0005821218238391880 | 0.0007167039574097230 | 0.000695625851 |
| 0.00057096481231690 | 0.0005694047408645440 | 0.0007149074909651070 | 0.000754697591 |

Şekil 4.14. 1. Periyot Koordinat Fark Ölçülerine Ait Varyans Kovaryans Matrisi

4.4.1. Ağın Dengelemesi

Tüm Periyotların ayrı ayrı process edilmesi ile elde edilen koordinat fark ölçülerine ait varyans kovaryans matrisleri ve ilk periyottan elde edilen yaklaşık koordinatlar

kullanılarak tüm periyotlarda deformasyon ağı dengelenmiştir. Her üç periyotta birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri s_0 , soncul değeri olan m_0 'a eşit alınarak ve uyumsuz ölçümler ağıdan çıkarılarak dengelemenin matematik modelinin geçerliliği sağlanmıştır.

4.4.1.1. Birinci Periyodun Dengeleme Sonuçları

Birinci periyodun dengeleme sonucunda dengeleme modelinin geçerli-olup olmadığını gösteren model hipotez testinin ilk olarak geçersiz olduğu ve uyumsuz ölçü bulunduğu gözlenmiştir. Fakat daha sonra uyumsuz ölçü olan TORU-ZIGA noktaları arasındaki bazın ağıdan çıkartılması ve birim ölçünün ortalama hatasının öncül s_0 değerinin soncul m_0 değerine eşit alınması ile model hipotezinin geçerliliği sağlanmıştır. Böylelikle dengelemenin matematik modelinin geçerliliği de sağlanmıştır. Dengeleme sonuçlarına ilişkin tüm bilgiler Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Şekil 4.15'de yer almaktadır.

Tablo 4.7. 1. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler

| | |
|--|----------|
| Nokta Sayısı = | 6 |
| Sabit Nokta Sayısı = | 2 |
| Hareketli Nokta Sayısı = | 4 |
| Baz uzunluğu Sayısı = | 14 |
| Gözlem Sayısı (n)= | 42 |
| Bilinmeyenler Sayısı (u) = | 12 |
| Serbestlik Derecesi (n-u) = | 30 |
| $V^T P V =$ | 0.071 |
| $s_0 =$ | 0.049 cm |
| $m_0 =$ | 0.049 cm |
| Test Büyüklüğü (T)= | 1.020 |
| f-Dağılım Tablo değeri (q) = | 2.074 |
| f-Dağılım Tablo Değeri Güvenilirlik Derecesi = | 0.975 |
| $T < q$ ise model hipotezi geçerli ! | |

TORU-ZIGA bazı ağıdan çıkarıldıktan sonra kalan tüm diğer bazların 0.9 güvenilirlik seviyesinde olan Tau testine göre uyumlu olduğunu gösteren Tablo 4.8 aşağıda yer almaktadır. Burada t_x , t_y , t_z ölçülere ait test büyüklükleridir. Bu test büyüklüklerinin en sağ tarafta yer alan sınır değerden küçük oldukları görülmektedir.

Tablo 4.8. 1. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları

| Point from | Point to | Test Büyüklükleri | | | Tau Sınır Değeri |
|------------|----------|-------------------|-------|-------|------------------|
| | | tx | ty | tz | |
| BOZT | MACK | 1.759 | 0.153 | 1.915 | 3.035 |
| MACK | ZIGA | 0.146 | 0.206 | 0.690 | 3.035 |
| BOZT | ZIGA | 2.115 | 0.053 | 2.539 | 3.035 |
| GUMU | MACK | 1.983 | 0.678 | 1.422 | 3.035 |
| BOZT | GUMU | 0.280 | 0.056 | 0.379 | 3.035 |
| GUMU | ZIGA | 2.023 | 0.245 | 1.665 | 3.035 |
| MACK | TORU | 0.393 | 0.076 | 0.540 | 3.035 |
| BOZT | TORU | 0.332 | 0.266 | 0.167 | 3.035 |
| GUMU | TORU | 0.489 | 0.158 | 0.206 | 3.035 |
| MACK | RZE1 | 0.545 | 0.928 | 1.466 | 3.035 |
| BOZT | RZE1 | 0.054 | 0.164 | 0.391 | 3.035 |
| RZE1 | ZIGA | 0.162 | 0.025 | 0.404 | 3.035 |
| GUMU | RZE1 | 1.157 | 1.488 | 0.206 | 3.035 |
| RZE1 | TORU | 0.004 | 0.072 | 0.316 | 3.035 |

TORU-ZIGA bazı ağıdan çıkartıldıktan sonra dengelenmiş koordinatlar ve standart sapmaları aşağıda bulunan Tablo 4.9'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.9. 1. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar

| Noktalar | X (m) | Y (m) | Z (m) | mx (cm) | my (cm) | mz (cm) |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
| RZE1 | 3663978.9239 | 3128569.9355 | 4165561.1658 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| GUMU | 3751012.8207 | 3093875.1857 | 4115853.8221 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BOZT | 3707493.3179 | 3081454.8088 | 4162425.9177 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| MACK | 3734592.1655 | 3080766.3461 | 4140159.3715 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| ZIGA | 3745427.1043 | 3076669.8518 | 4134614.9224 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| TORU | 3755429.1864 | 3075310.3817 | 4125296.6492 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

Daha sonra tüm periyotlarda ayrı ayrı hesaplanmak üzere, Statik deformasyon analizinde kullanılacak olan dengelenmiş koordinatlara ait 12x12 büyüklüğündeki ters ağırlık matrisi aşağıdaki Şekil 4.15'deki gibi elde edilmiştir.

| | | | | | | | |
|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| 0.168676011549506 | ... | 0.141673333640074 | ... | 0.199259265361254 | ... | 0.042160220010251 | ... |
| 0.141673333640074 | ... | 0.140845999234819 | ... | 0.182873957612794 | ... | 0.028205592262907 | ... |
| 0.199259265361254 | ... | 0.182873957612794 | ... | 0.277215753314968 | ... | 0.037833858346672 | ... |
| 0.042160220010250 | ... | 0.028205592262906 | ... | 0.037833858346670 | ... | 0.088166067128241 | ... |
| 0.031877406020195 | ... | 0.028881021478995 | ... | 0.033195223772372 | ... | 0.062736531285774 | ... |
| 0.042888961487131 | ... | 0.032704293411588 | ... | 0.055699673189134 | ... | 0.085601206937236 | ... |
| 0.041414099392587 | ... | 0.030539749251657 | ... | 0.034692319311683 | ... | 0.051138884317889 | ... |
| 0.032419465883178 | ... | 0.030865304410945 | ... | 0.030950359474506 | ... | 0.036373528417606 | ... |
| 0.042275117620548 | ... | 0.034986306752602 | ... | 0.050069019247765 | ... | 0.047681842075914 | ... |
| 0.037398753306857 | ... | 0.025964224517625 | ... | 0.041924379054334 | ... | 0.044328176255843 | ... |
| 0.023080491290655 | ... | 0.018771609176877 | ... | 0.026455285734541 | ... | 0.030267063273807 | ... |
| 0.038231167163251 | ... | 0.027262175276244 | ... | 0.050003131587140 | ... | 0.052567686976288 | ... |

Şekil 4.15. 1. Periyot Dengelenmiş Koordinatlara Ait Ters Ağırlık Matrisi (Q_{xx}) Değerleri

4.4.1.2. İkinci Periyodun Dengeleme Sonuçları

Deformasyon analizine geçilmeden önce tüm periyotlarda ağın şeklinin aynı kalmasını sağlamak için 2. periyotta da 1. periyotta olduğu gibi TORU-ZIGA bazı ağdan çıkartılmıştır. Dengeleme ve uyumsuz ölçü testi sonuçları aşağıda bulunan Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de görülmektedir.

Tablo 4.10. 2. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler

| | |
|--|----------|
| Nokta Sayısı = | 6 |
| Sabit Nokta Sayısı = | 2 |
| Hareketli Nokta Sayısı = | 4 |
| Baz uzunluğu Sayısı = | 14 |
| Gözlem Sayısı (n)= | 42 |
| Bilinmeyenler Sayısı (u) = | 12 |
| Serbestlik Derecesi (n-u) = | 30 |
| $V^T P V =$ | 0.202 |
| $s_0 =$ | 0.082 cm |
| $m_0 =$ | 0.082 cm |
| Test Büyüklüğü (T)= | 1.002 |
| f-Dağılım Tablo değeri (q) = | 2.074 |
| f-Dağılım Tablo Değeri Güvenilirlik Derecesi = | 0.975 |
| $T < q$ ise model hipotezi geçerli ! | |

Tablo 4.11. 2. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları

| Point from | Point to | Test Büyüklükleri | | | Tau Sınır Değeri |
|------------|----------|-------------------|-------|-------|------------------|
| | | tx | ty | tz | |
| BOZT | ZIGA | 0.961 | 0.794 | 0.060 | 3.035 |
| MACK | ZIGA | 1.956 | 1.745 | 0.921 | 3.035 |
| BOZT | MACK | 1.894 | 1.367 | 1.070 | 3.035 |
| BOZT | TORU | 1.285 | 1.062 | 0.297 | 3.035 |
| MACK | TORU | 0.045 | 0.375 | 0.474 | 3.035 |
| GUMU | ZIGA | 1.001 | 0.994 | 0.789 | 3.035 |
| BOZT | GUMU | 0.688 | 0.117 | 0.336 | 3.035 |
| GUMU | MACK | 1.452 | 1.233 | 0.584 | 3.035 |
| GUMU | TORU | 1.637 | 1.591 | 0.336 | 3.035 |
| RZE1 | ZIGA | 0.599 | 0.530 | 0.279 | 3.035 |
| BOZT | RZE1 | 0.986 | 0.730 | 1.545 | 3.035 |
| MACK | RZE1 | 1.051 | 0.705 | 0.282 | 3.035 |
| RZE1 | TORU | 1.103 | 0.892 | 0.247 | 3.035 |
| GUMU | RZE1 | 1.572 | 0.322 | 0.457 | 3.035 |

Tablo 4.12. 2. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar

| Noktalar | X (m) | Y (m) | Z (m) | mx (cm) | my (cm) | mz (cm) |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
| RZE1 | 3663978.9113 | 3128569.9429 | 4165561.1687 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| GUMU | 3751012.8095 | 3093875.1931 | 4115853.8265 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BOZT | 3707493.3099 | 3081454.8115 | 4162425.9156 | 0.05 | 0.05 | 0.07 |
| MACK | 3734592.1311 | 3080766.3294 | 4140159.3456 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| ZIGA | 3745427.1012 | 3076669.8590 | 4134614.8753 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| TORU | 3755429.1831 | 3075310.3880 | 4125296.6582 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |

4.4.1.3. Üçüncü Periyodun Dengeleme Sonuçları

Bu periyotda da diğer 2 periyotda olduğu gibi TORU-ZIGA bazı ağıdan çıkartılarak ağıın şekli korunmuştur. Bu periyotdaki dengeleme sonuçları da aşağıda yer alan Tablo 4.13, Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de görülmektedir.

Tablo 4.13. 3. Periyot Ölçümlerinin Dengelenmesinde Ağa İlişkin Genel Bilgiler

| | |
|--|----------|
| Nokta Sayısı = | 6 |
| Sabit Nokta Sayısı = | 2 |
| Hareketli Nokta Sayısı = | 4 |
| Baz uzunluğu Sayısı = | 14 |
| Gözlem Sayısı (n)= | 42 |
| Bilinmeyenler Sayısı (u) = | 12 |
| Serbestlik Derecesi (n-u) = | 30 |
| $V^T P V =$ | 0.714 |
| $s_0 =$ | 0.154 cm |
| $m_0 =$ | 0.154 cm |
| Test Büyüklüğü (T)= | 1.003 |
| f-Dağılım Tablo değeri (q) = | 2.074 |
| f-Dağılım Tablo Değeri Güvenilirlik Derecesi = | 0.975 |
| T<q ise model hipotezi geçerli ! | |

Tablo 4.14. 3. Periyot Uyuşumsuz Ölçüler Testi (Tau Testi) Sonuçları

| Point from | Point to | Test Büyüklükleri | | | Tau Sınır Değeri |
|------------|----------|-------------------|-------|-------|------------------|
| | | tx | ty | tz | |
| BOZT | MACK | 0.851 | 0.896 | 0.249 | 3.035 |
| MACK | TORU | 0.080 | 0.945 | 0.517 | 3.035 |
| BOZT | TORU | 0.981 | 1.034 | 0.538 | 3.035 |
| MACK | ZIGA | 0.743 | 0.674 | 0.122 | 3.035 |
| BOZT | ZIGA | 0.266 | 0.300 | 0.231 | 3.035 |
| GUMU | MACK | 0.763 | 0.490 | 0.351 | 3.035 |
| BOZT | GUMU | 0.474 | 0.300 | 0.451 | 3.035 |
| GUMU | TORU | 1.662 | 0.100 | 0.658 | 3.035 |
| GUMU | ZIGA | 0.543 | 0.363 | 1.075 | 3.035 |
| MACK | RZE1 | 1.019 | 0.638 | 1.303 | 3.035 |
| BOZT | RZE1 | 1.391 | 0.479 | 0.360 | 3.035 |
| RZE1 | TORU | 1.512 | 0.098 | 0.970 | 3.035 |
| RZE1 | ZIGA | 1.705 | 0.193 | 1.796 | 3.035 |
| GUMU | RZE1 | 1.124 | 0.729 | 1.320 | 3.035 |

Tablo 4.15. 3. Periyot Dengelenmiş Kartezyen Koordinatlar ve Standart Sapmalar

| Noktalar | X (m) | Y (m) | Z (m) | mx (cm) | my (cm) | mz (cm) |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
| RZE1 | 3663978.9020 | 3128569.9483 | 4165561.1708 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| GUMU | 3751012.8012 | 3093875.1985 | 4115853.8297 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BOZT | 3707493.2847 | 3081454.8058 | 4162425.9111 | 0.20 | 0.17 | 0.24 |
| MACK | 3734592.1257 | 3080766.3359 | 4140159.3356 | 0.14 | 0.12 | 0.15 |
| ZIGA | 3745427.0856 | 3076669.8471 | 4134614.9078 | 0.16 | 0.14 | 0.16 |
| TORU | 3755429.1726 | 3075310.3906 | 4125296.6586 | 0.15 | 0.11 | 0.16 |

4.5. θ^2 -Ölçütü Statik Deformasyon Analizi Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi

Tüm periyodik ölçümlerin dengelenmesi ile elde edilen hareketli noktalara ait dengelenmiş koordinatlar ve bu noktalara ait ters ağırlık matrisi (Q_{xx}) değerleri kullanılarak 1. ve 2. periyot ölçümleri ile 1. ve 3. periyot ölçümleri arasındaki deformasyonlar kartezyen koordinat sisteminde Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.16. 1. ve 2. Periyot Ölçümleri Arasındaki Deformasyon Miktarları

| Nokta Adı | d_x (cm) | d_y (cm) | d_z (cm) |
|-----------|------------|------------|------------|
| ZIGA | - | - | - |
| MACK | -1.92 | -1.41 | -1.96 |
| BOZT | -0.23 | 0.18 | -0.56 |
| TORU | -0.33 | 0.63 | 0.90 |

Tablo 4.17. 1. ve 3. Periyot Ölçümleri Arasındaki Deformasyon Miktarları

| Nokta Adı | d_x (cm) | d_y (cm) | d_z (cm) |
|-----------|------------|------------|------------|
| ZIGA | -1.87 | -0.47 | -1.46 |
| MACK | -3.98 | -1.02 | -3.59 |
| BOZT | -1.13 | -0.30 | -0.27 |
| TORU | -0.35 | 0.68 | 0.94 |

Deformasyon miktarlarının bazı noktalarda, dengelenmiş koordinat farklarına eşit olduğu bazı noktalarda ise bu farklar arasında kaldığı gözlemlenmiştir. 1. ve 2. periyotlar arasında ZIGA noktasında ölçüm sırasında antenin nokta üzerinden kayması ve doğru merkezlenilememesi yüzünden bu noktadaki deformasyon doğru kabul edilmemiştir.

Tespit edilen anlamlı deformasyon miktarları ile birlikte 2. ve 3. periyotdaki tüm nokta koordinatları Tablo 4.18’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.18. Tüm Periyotlardaki Hesaplanan Deformasyon Miktarları ile Belirlenen Kartezyen Koordinatlar

| Nokta Adı | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| BOZT def 2 | 3707493.3156 | 3081454.8106 | 4162425.9121 |
| BOZT def 3 | 3707493.3066 | 3081454.8058 | 4162425.9150 |
| MACK def 2 | 3734592.1463 | 3080766.3320 | 4140159.3519 |
| MACK def 3 | 3734592.1257 | 3080766.3359 | 4140159.3356 |
| TORU def 2 | 3755429.1831 | 3075310.3880 | 4125296.6582 |
| TORU def 3 | 3755429.1829 | 3075310.3885 | 4125296.6586 |
| ZIGA def 3 | 3745427.0856 | 3076669.8471 | 4134614.9078 |

Burada def 2 ve def 3 yazısı 2. ve 3. periyotlar ile 1. periyot arasında hesaplanan anlamlı deformasyon miktarlarının 1.periyottaki koordinatlara eklenmesi ile elde edilen kartezyen koordinatlarıdır.

4.6. Kartezyen Koordinatların Grid Koordinatlara Dönüştürülmesi

Kabuksal hareketlerin belirlenmesi çalışmalarında kullanılan koordinat sistemi çok önemlidir. Bölgedeki kabuksal hareketi doğru temsil edebilecek yer merkezli yani jeosentrik olan ve aynı zamanda o bölgedeki yüzey ile uyumlu bir projeksiyon ile tanımlı olan koordinat sistemi belirlenmelidir. Günümüzde kabuk hareketlerinin incelenmesinde kullanılan koordinat sistemi ITRF tir. Bu çalışmada da ITRF96 koordinat sistemi kullanılmıştır. Fakat deformasyon analizi yapılan aşamaya gelinceye kadar kartezyen koordinatlar kullanılırken, deformasyon analizinden sonraki aşamada ise koordinatlar 3° lik grid sisteme dönüştürülmüştür. Bunun 3 farklı nedeni bulunmaktadır. Birincisi kartezyen koordinat sisteminin datumu yerin kütle merkezi olsa dahi, bu sistemin eksenleri çalışma yapılan yüzeyi doğru temsil etmez. Dünyanın her yerinde bunun için çalışma yapılan bölge ile uyumlu projeksiyona ve aynı zamanda yer merkezli datuma sahip olan koordinat sistemleri kullanılmaktadır. Bizim çalışma yapmış olduğumuz bölgeyi (Trabzon-Gümüşhane şehirleri) doğru temsil eden jeosentrik ITRF96 koordinat sistemi, 3 derecelik UTM sisteminde dilim orta meridyeni 39° olan projeksiyon ile tanımlı grid koordinat sistemidir. Fakat bu durumda tüm değerlendirmeleri grid sistemde yapmak varken neden

kartezyen sistemi kullandığımız sorusunun cevabı ise 2. ve 3. nedenleri oluşturmaktadır. İkinci neden, sabit olarak kullandığımız RZE1 noktasının 3 derecelik grid sistemde dilim orta meridyeni 42° olan farklı bir dilimde yer almasıdır. Bu durumda değerlendirmelerde RZE1 noktasının 39° lik dilimdeki koordinatları değerlendirmelerde büyük hatalar vermektedir. Ayrıca GNSS ölçümlerini değerlendirmede kullanmış olduğumuz Topcon Tools V.8.2 yazılımından koordinat fark ölçülerine ait varyans-kovaryans değerleri hesaplanırken, bu değerler yalnızca kartezyen koordinat farklarına (ΔX , ΔY , ΔZ) göre alınabilmekte, grid koordinat sistemine göre (ΔN , ΔE , ΔH) alınamamaktadır. Üçüncü neden olarak da bunu söyleyebiliriz. Aşağıda gösterilen Tablo 4.19'da, 1. periyoda ait dengelenmiş koordinatlar ile tablo 4.18 de verilen, geçen süre içerisinde deformasyona uğrayan ya da hareket eden noktaların grid koordinat sistemindeki karşılıkları bulunmaktadır.

Tablo 4.19. Deformasyona Uğrayan noktaların ITRF96 Grid Sistemdeki Koordinatları

| Nokta Adı | Kuzey (m) | Doğu (m) |
|------------|--------------|-------------|
| BOZT-1 | 4540644.3675 | 561538.8149 |
| BOZT def 2 | 4540644.3637 | 561538.8178 |
| BOZT def 3 | 4540644.3724 | 561538.8198 |
| MACK-1 | 4510311.8110 | 543943.2189 |
| MACK def 2 | 4510311.8117 | 543943.2202 |
| MACK def 3 | 4510311.8082 | 543943.2363 |
| TORU-1 | 4490726.1104 | 526592.8238 |
| TORU def 2 | 4490726.1164 | 526592.8307 |
| TORU def 3 | 4490726.1166 | 526592.8312 |
| ZIGA-1 | 4502300.4398 | 533938.3461 |
| ZIGA def 3 | 4502300.4401 | 533938.3543 |

Yukarıdaki tablo incelendiğinde anlamlı bulunan deformasyon değerleri ile grid sisteme dönüştürülen koordinatların deformasyon yönünün tüm noktalar için aynı olmadığı ve hatta periyotlar arasında bile değiştiği ve koordinatlar arasındaki farkların kartezyen sisteme nazaran daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu bölge gibi fazla tektonik hareket beklenmeyen bölgeler için belirlenen yaklaşık 11 aylık ölçüm periyodu süresinin yeterince uzun olmayışıdır. Yükseklik değerleri ise tabloda verilmemiştir. Bunun nedeni yazılımda baz uzunluklarının çözümünde grid sistemde yapılan değerlendirmelerde yüksekliklere ait hassasiyetlerin düşük olduğunun görülmesidir. Yukarıdaki Tablo 4.19'da

deformasyona uğrayan noktaların koordinatlarından 1. periyotlarda yer alan nokta koordinatları çıkartıldığında ise ITRF96 grid koordinat sisteminde 1. periyotlardan itibaren tüm periyotlarda noktaların ne kadar ve hangi yönde kaymış olduğunu gösteren aşağıdaki Tablo 4.20 elde edilir.

Tablo 4.20. ITRF96 Grid Sistemde Deformasyon Miktarları

| Nokta Adı | d Kuzey (mm) | d Doğu (mm) |
|------------|--------------|-------------|
| BOZT def 2 | -3.8 | 2.9 |
| BOZT def 3 | 4.9 | 4.9 |
| MACK def 2 | 0.7 | 1.3 |
| MACK def 3 | -2.8 | 17.4 |
| TORU def 2 | 6.0 | 6.9 |
| TORU def 3 | 6.2 | 7.4 |
| ZIGA def 2 | - | - |
| ZIGA def 3 | 0.3 | 8.2 |

Tüm periyotlardan elde edilen dengelenmiş nokta koordinatlarının standart sapmaları ile birlikte ITRF96 grid sistemdeki değerleri ise aşağıdaki Tablo 4.21’de yer almaktadır.

Tablo 4.21. ITRF96 Grid Sisteminde Dengelenmiş Koordinatlar ve Standart Sapmaları

| Nokta Adı | Kuzey (m) | Doğu (m) | m Kuzey (mm) | m Doğu (mm) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| BOZT-1 | 4540644.3675 | 561538.8149 | 0.3 | 0.2 |
| BOZT-2 | 4540644.3688 | 561538.8221 | 0.6 | 0.5 |
| BOZT-3 | 4540644.3806 | 561538.8337 | 2.2 | 1.8 |
| MACK-1 | 4510311.8110 | 543943.2189 | 0.2 | 0.1 |
| MACK-2 | 4510311.8157 | 543943.2278 | 0.4 | 0.3 |
| MACK-3 | 4510311.8082 | 543943.2363 | 1.4 | 1.3 |
| TORU-1 | 4490726.1104 | 526592.8238 | 0.2 | 0.1 |
| TORU-2 | 4490726.1164 | 526592.8307 | 0.4 | 0.3 |
| TORU-3 | 4490726.1209 | 526592.8394 | 1.5 | 1.3 |
| ZIGA-1 | 4502300.4398 | 533938.3461 | 0.2 | 0.1 |
| ZIGA-2 | 4502300.4027 | 533938.3538 | 0.5 | 0.4 |
| ZIGA-3 | 4502300.4401 | 533938.3543 | 1.6 | 1.5 |

Yukarıdaki tabloda nokta adlarının yanlarında bulunan -1,-2,-3 numaraları, bu noktaların hangi periyoda ait dengelenmiş koordinatlar olduklarını göstermektedir.

5. BULGULAR VE İRDELEMELER

Tezin 2. kısmında anlatıldığı üzere Doğu Pontidlerin yitim polaritesi üzerine ileri sürülen 3 farklı görüşün jeodezik açıdan fark edilebilen ortak yanı her 3 görüşte de bölgenin oluşum dönemi içerisinde yükselerek hareket etmesi gerektiğidir. Bu 3 farklı görüşün jeodezik açıdan tespit edilebilen farklı yanı ise bölgenin oluşum dönemi içerisinde yatay düzlemde kuzey eksenini üzerindeki hareket yönünün ne olduğu ile ilgilidir. Kısacası bölgenin oluşum dönemi esnasında kuzey eksenini üzerindeki hareket yönünün tespit edilmesi ile yitim polaritesi kesinlik kazanabilir. Fakat günümüzden milyonlarca yıl öncesine giderek ölçüm yapma imkanımız olmadığı için bunun kesin olarak belirlenebilmesi jeodezik açıdan mümkün değildir. Çünkü jeodezik ölçüm ve hesaplamalar GNSS tekniği kullanılarak ne kadar hassas olarak yapılırsa yapılsın yine de yapıldıkları zamanın tektonik hareketini göstermekten ileri gidemez. Bu yüzden bölgenin tektonik hareketini gösteren jeodezik bulgular bölgenin yitim polaritesi açısından irdelenirken öncelikle tüm bölgede tespit edilen kuzey eksenini üzerindeki hareket yönünün tutarlı olup-olmadığına bakılmıştır. Hareket yönünün aynı olduğu görüldüğünde ise, bu hareket milyonlarca yıl önce bölgenin oluşmasına neden olan yitim sonucunda gelişen hareketin devamı olarak görülerek yorumlanmıştır ve buna göre de jeodezik sonuçların hangi yitim modelini desteklediği belirtilmiştir.

5.1. Jeodezik Bulgular ve İrdelemeler

5.1.1. Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

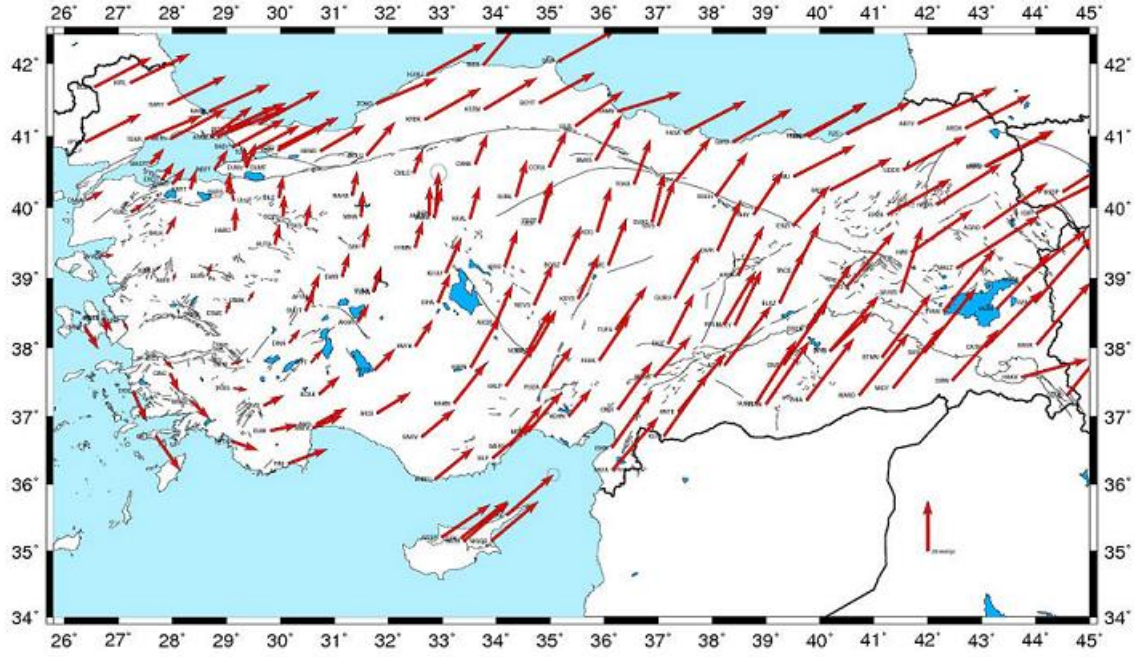
Tablo 4.21 incelendiği zaman dengelenmiş hareketli nokta koordinatlarının hassasiyetlerinin yüksek olduğu görülebilmektedir. Fakat tablo 4.20'ye bakıldığı zaman ise belirlenen deformasyon miktarlarının da oldukça küçük olduğu ve hatta bazı noktalarda deformasyon yönünün kuzey eksenini üzerinde periyotlar arasında bile değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni genel olarak bu tarz çalışmalarda ve özellikle tektonik hareketliliğin fazla olmadığı bölgeler için 11 aylık ölçüm periyodu süresinin çok kısa oluşudur. Yine Tablo 4.20'ye bakıldığında kuzey ekseninin aksine doğu eksenini üzerindeki deformasyon miktarlarının daha istikrarlı ve anlamlı oldukları ve kuzey eksenini üzerindeki en anlamlı deformasyon miktarlarının da 1. ve 3. periyotlar arasında BOZT ve TORU noktalarında kuzey yönünde 4,9-6,2 mm lik farklar ile ortaya çıktığı görülmektedir.

Özellikle TORU noktası hem nokta konum duyarlılığı en yüksek olan hem de deformasyon miktarı en fazla olan nokta olarak tespit edilebilmektedir. Ölçüm sonuçları uygulama alanının yaklaşık olarak kuzey doğu yönünde hareket ettiğini göstermektedir. Fakat yine de bu sonuçlar ölçüm periyodu süresi çok kısa olduğundan bize noktaların hareket yönü hakkında kesin bir bilgi vermez. Ayrıca uygulama alanında seçilen 4 hareketli nokta da bölgedeki tektonik hareketliliği temsil edemeyecek kadar az sayıdadır. Bu nedenden ötürü sadece uygulama alanındaki hareketli noktalardan elde edilen deformasyon miktarları ile çalışma bölgesi olan ve çok büyük bir alanı kapsayan Doğu Pontidlerin hareket yönü ve yitim polaritesi hakkında kesin bir kanıya varmak doğru olmaz.

Doğu Pontidlerin tektonik hareketinin en iyi şekilde anlaşılabilmesi için bu bölgeye homojen ve sık bir şekilde yayılmış ve çok hassas bir biçimde ve uzun periyodlar boyunca ölçülerek değerlendirilmiş noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan sürekli gözlem yapan TUSAGA noktaları ile kampanya zamanında kullanılmak üzere kurulmuş TUTGA Ağı noktalarının bu bölge üzerinde yer alanlarının yatay ve düşey hızları aşağıdaki bölümlerde incelenerek bölgenin yitim polaritesi açısından yorumlanacaklardır.

5.1.2. TUSAGA Noktalarının Hızlarına Bakılarak Yapılan Değerlendirme

Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları Ağı Projesi olan TUSAGA-Aktif, 2006 tarihinde başlanılan ve 2009 tarihinde tamamlanarak faaliyete geçirilmiş, İstanbul Kültür Üniversitesi yürütücülüğünde Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Komutanlığının müşterek müşteri olarak yer aldığı, TÜBİTAK destekli bir kamu ARGE projesidir (Uzel vd., 2011). Proje, KKTC (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti) de dahil olmak üzere 146 sabit referans istasyonundan oluşmaktadır (URL 3). Projede yer alan sabit istasyonların genel görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2. TUSAGA Noktalarına Ait ITRF sistemindeki Yatay Hızlar (URL 3).

Yukarıda yer alan Şekil 5.2'de, çok hassas olarak gerçekleştirilen ölçüm ve değerlendirmeler sonucunda belirlenen Doğu Karadeniz Bölgesi ve çevresinde yer alan tüm TUSAGA noktalarının kuzey eksenini üzerindeki yatay hızlarına bakıldığında, hepsinin kuzey yönünde hareket ettikleri bariz bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda yaklaşık olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Doğu Pontidlerin de güncel tektonik hareketinin kuzey yönünde olduğunu gösteren bu şekil, milyonlarca yıl önce doğu Pontidlerin oluşmasına neden olan ters faylanma hareketinin etkisinin günümüzde halen devam ettiği düşünülmür ise, hareket yönünün tersine olan güney yönlü yitim modelini desteklemektedir.

5.1.3. TUTGA Noktalarının Hızlarına Bakılarak Yapılan Değerlendirme

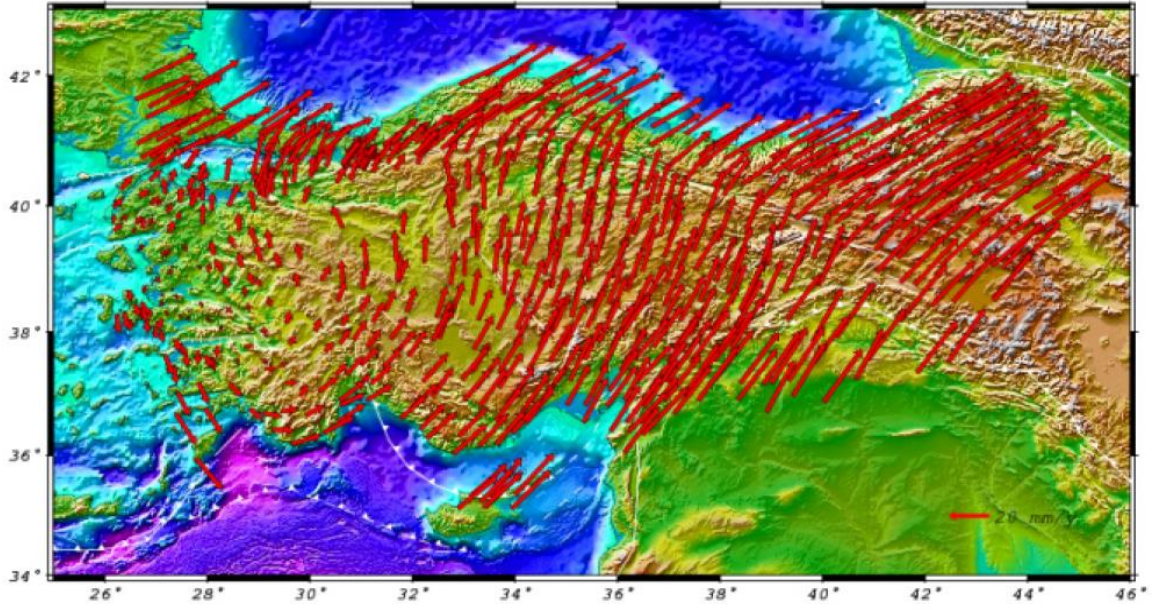
Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99), 1997-1999 yılları arasında yapılan çalışmalarla kurulmuş, ITRF (International Terrestrial Reference Frame) koordinat sisteminde üç boyutlu koordinatları (X, Y, Z), bu koordinatlarının zamana bağlı değişimleri (yıllık hızları; V_x , V_y , V_z) ile uygun yükseklik sistemindeki yükseklik (H) ve jeoid ondülasyonu (N) bilinen, nokta aralığı 15-50 km arasında olan yeryüzüne olabildiğince homojen dağılmış 594 noktadan oluşan ağıdır (Ayhan vd., 2002a). 1999-2000

yılları arasında meydana gelen büyük ölçekli depremlerin deprem bölgesinde yer alan TUTGA-99 nokta konumlarını büyük miktarlarda değiştirmesinden dolayı, hem deprem sonrası bu noktalara ait yeni hızların hem de özellikle bu depremlerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla, 2000 ve 2001 yıllarında yapılan GPS ve geometrik nivelman ölçümlerinden faydalanılarak TUTGA-99 ağı güncellenmiş ve Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A) oluşturulmuştur. Ağın genel görünümü Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) Noktalarının Dağılımı (Ayhan vd., 2002a).

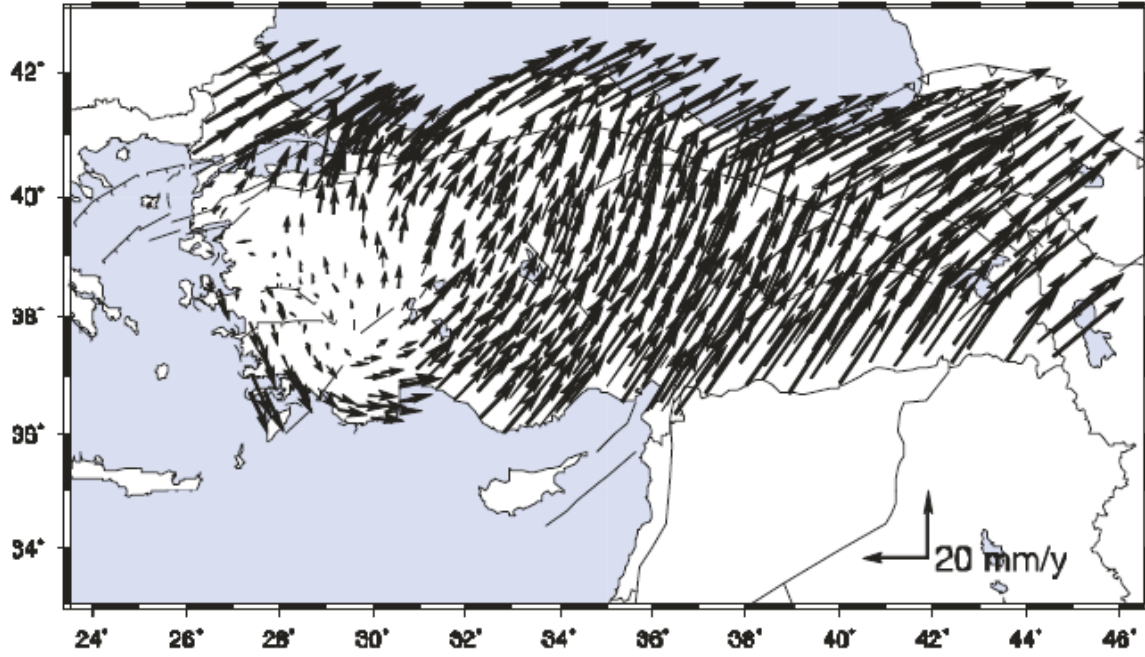
TUTGA-99A ağının güncellenmesi ve zamana bağlı değişimlerinin belirlenmesi amacıyla 1992-2009 yılları arasında Türkiye ve çevresindeki tüm GPS noktalarında çok kapsamlı bir çalışma yapılmış, toplam 84 GPS kampanyası ve bu kampanyalar sırasında 17 IGS noktasının verilerinden yararlanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda Türkiye ve çevresinin ITRF2005 koordinat sistemindeki hız alanı Şekil 5.4’de gösterildiği gibi belirlenmiştir (Aktuğ vd., 2011).



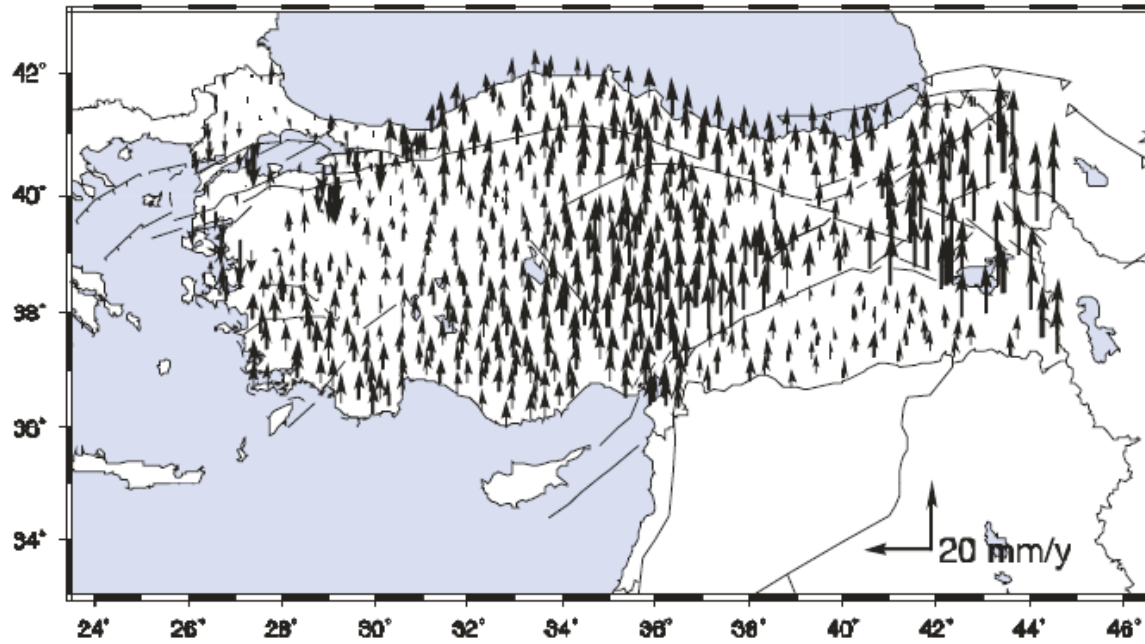
Şekil 5.4. ITRF2005 Koordinat Sisteminde Türkiye Yatay Hız Alanı (Aktuğ vd., 2011).

Yukarıda yer alan Şekil 5.4'de, Doğu Karadeniz Bölgesi ve çevresinde yer alan TUTGA noktaları ile birlikte tüm GNSS noktalarının kuzey eksenini üzerinde kuzey yönünde hareket etmekte oldukları görülmektedir. Doğu Pontidlerin yitim polaritesi açısından Şekil 5.4'ü yorumladığımız zaman elde ettiğimiz sonuç, Şekil 5.2'ye bakarak TUSAGA noktalarının yatay hızlarından elde ettiğimiz sonuç ile aynı olmakta, yani bu tez çalışmasının ikinci kısmında açıklanan güney yönlü yitim modeli görüşünü desteklemektedir.

Şekil 5.4'deki çalışma haricinde Ayhan vd., (2002a) tarafından 1997-1999 yılları arasında TUTGA noktaları ile depremler öncesi hız alanını belirlemeye yönelik yapılan çalışmaya göre de ITRF96 koordinat sisteminde aşağıda bulunan yatay ve düşey hız alanları elde edilmiştir (Şekil 5.5, Şekil 5.6).



Şekil 5.5. ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarından kestirilen deprem öncesi yatay hızlar (Ayhan vd., 2002a).



Şekil 5.6. ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarından kestirilen deprem öncesi düşey hızlar (Ayhan vd., 2002a).

Yukarıda yer alan Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da, yatay ve düşey hız alanları, kampanya şeklinde değerlendirilerek hızları hesaplanan TUTGA-99 noktalarından enterpolasyon yapılarak elde edilmişlerdir (Ayhan vd., 2002a). Yukarıdaki şekillerde elde edilen hız

alanlarına da bakıldığı zaman Türkiye'nin 1997-1999 yılları arasında yükselerek kuzeye doğru gittiği gözlenmektedir. Zaten tezin ikinci kısmında anlatılan her 3 farklı yitim polaritesi teorisinde de Doğu Pontidlerin bir ters faylanma sonucunda meydana geldiği ileri sürüldüğü için her üçünde de bölgenin yükselerek hareket etmesi gerekmektedir. Bu yükselme hareketini Şekil 5.6'da görmekteyiz. Yatay hız alanları incelendiği zaman ise güncel jeodezik sonuçların tutarlı bir şekilde bölgenin kuzey yönünde hareket etmekte olduğunu gösterdiğini ve bu durumun da sadece güney yönlü yitim modelini desteklediğini görebiliyoruz.

5.2. Amasra-Bartın Depreminden Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi

Karadeniz'in Türkiye kıyı şeridinde genellikle diğer bölgelere nazaran çok belirgin olmayan, magnitüdüleri 5 ten küçük, orta büyüklükte sığ odaklı depremler gözlenmektedir (Alptekin vd., 1985). Bu kıyı şeridi boyunca meydana gelen ve aletsel olarak kayıt edilen en büyük deprem, 25 kişinin hayatını kaybetmiş olduğu ve yüzlerce kişinin de yaralandığı Amasra-Bartın depremidir (Ketin ve Abdüsselamoğlu, 1970; Alptekin vd., 1985). 3 Eylül 1968 tarihinde meydana gelen bu deprem Karadeniz'in aktif tektoniği ve jeolojik oluşumunun anlaşılabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir (Alptekin vd., 1985). Bu sismik aktivitenin oluşma nedenleri incelendiğinde, Alptekin vd.,(1985)'e göre kaynak mekanizması çözümlerinin tam bir ters faylanma gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca Ketin ve Abdüsselamoğlu (1970) tarafından deprem sonrasında bölgede yapılan incelemeler sonucunda Amasra-Çakraz arasındaki Karadeniz kıyısının yaklaşık olarak ortalama 35-40 cm civarında yükseldiği tespit edilmiştir. Bu yükselme kıyı şeridinin kuzeyden gelen güney yitimli bir ters faylanma hareketine maruz kaldığını göstermektedir.

Yukarıda değinilen tüm bulgulardan anlaşıldığı üzere Orta ve Doğu Karadeniz kıyı şeridi bir ters faylanmanın etkisi altındadır. Bu ters faylanma sonucunda Orta ve Doğu Karadeniz bölgeleri yukarıda gösterilen jeodezik sonuçlardan da anlaşıldığı üzere kuzey ekseninde kuzeye doğru hareket etmektedir. Eğer yukarıda değinilen tüm bu jeodezik ve jeofiziksel bulgu ve incelemelerden elde edilen sonuçların günümüzden milyonlarca yıl önce başlayıp yine milyonlarca yıl önce sona ermiş Doğu Pontidlerin oluşmasına neden olan hareketin devamı olduğu ya da milyonlarca yıl önce doğu Pontidlerin oluşmasına neden olan bu ters faylanma hareketinin etkisinin günümüzde halen devam ettiği

düşünüldüğünde, bölgenin Dewey vd., (1973), Bektaş vd., (1984, 1999), Chorowicz vd., (1998), Eyüboğlu (2010) ve Eyüboğlu vd., (2006, 2007, 2011) tarafından ileri sürülen güney yönlü yitim modeli ile gelişmiş olduğu söylenebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Trabzon ve Gümüşhane illeri arasında belirlenen 4 noktada yaklaşık olarak 5-6 ay aralıklarla 3 kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerin değerlendirilmesi aşamasında tüm baz ölçümleri Tau uyuşumsuz ölçüler testine tabi tutulmuştur. Uyuşumsuz ölçüler testi sonucunda 1. periyotta yer alan TORU-ZIGA bazının hatalı olduğu görülmüş ve ağdan çıkartılarak ağ uyuşumlu hale getirilmiştir. TORU-ZIGA bazı daha sonra gerçekleştirilecek statik deformasyon analizi için diğer periyodik ölçümlerdeki ağlardan da çıkartılarak tüm periyodlarda ağın şekli korunmuştur. Uyuşumsuz ölçüler çıkarıldıktan sonra tüm periyodlarda ağlar dengelenmiş ve tüm noktalara ait dengelenmiş koordinatlar ve standart sapmaları ITRF96 datumunda hem kartezyen hem de grid sistemde elde edilmiştir. Elde edilen dengelenmiş kartezyen koordinatlar Tablo 4.9, Tablo 4.12 ve Tablo 4.15’de, grid koordinatlar ise Tablo 4.21’de gösterilmiştirlerdir. Tüm periyodlardan elde edilen dengelenmiş koordinatlar ile ters ağırlık matrisleri (Q_{xx}) kullanılarak uygulanan θ^2 -Ölçütü Statik deformasyon analizi sonucunda tüm noktalardaki deformasyonlar belirlenmiştir. Elde edilen deformasyon miktarlarının bazılarının dengelenmiş nokta koordinat farklarına eşit olduğu, bazılarının ise bu farklar arasında kaldığı gözlenmiştir (Tablo 4.16- Tablo 4.17). Deformasyon analizi sonucunda 1. ve 2. periyod ölçümleri ile 1. ve 3. periyod ölçümleri arasında tespit edilen deformasyon miktarlarının 1. ölçüm koordinatlarına eklenmesi ile 2. ve 3. ölçümlerdeki deformasyona uğrayan noktaların kartezyen koordinatları elde edilmiştir (Tablo 4.18). Deformasyona uğrayan noktalar ile 1. periyottaki nokta koordinatları uygulama alanındaki kabuksal hareketleri en iyi şekilde temsil eden, 3 derecelik sistemde dilim orta meridyeni 39° olan ITRF96 grid koordinat sistemine dönüştürüldüğünde deformasyon miktarlarının çok az olduğu görülmüştür (Tablo 4.19, Tablo 4.20). Bunun nedeni 1. ve 3. periyodlar arasındaki 11 aylık ölçüm süresinin çok kısa olmasına ve bölgenin tektonik açıdan çok hareketli olmayan bir bölge olmasına bağlanmıştır. En anlamlı deformasyon miktarları ise 1. ve 3. periyot ölçümleri arasında kuzey ekseninde 4.9 mm ve 6.2 mm lik farklar ile BOZT ve TORU noktalarında kuzey yönünde gözlemlenirken, doğu ekseninde ise 8.2 mm ve 17.4 mm lik farklar ile ZIGA ve MACK noktalarında doğu yönünde gözlenmiştir.

Trabzon ve Gümüşhane illeri arasında belirlenen 4 nokta ile oluşturulan uygulama alanının çalışma bölgesi olan Doğu Pontidlerin güncel tektonik hareketliliğini temsil edemeyecek kadar az sayıda olduğu görülmüştür. Ayrıca ölçüm periyodu süresinin de çok

kısa olması bu görüşü desteklemiştir. Bu yüzden uzun periyotlar boyunca yapılan çok hassas ölçme ve değerlendirme aşamalarından sonra koordinatları ve yıllık hızları hesaplanan ve çok hassas ölçme çalışmalarında kontrol noktaları olarak kullanılmak üzere tesis edilmiş, bölgeye homojen olarak yayılan TUSAGA ve TUTGA noktalarının hızlarından faydalanılarak bölgenin yitim polaritesi jeodezik açıdan yorumlanmıştır. Bölgeyi ve çevresini saran tüm TUSAGA ve TUTGA noktalarının yatay hızlarının kuzey ekseninde kuzeye doğru oldukları ve TUTGA noktalarının düşey hızlarının da yukarı doğru oldukları görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; bölgenin güncel tektonik hareketinin milyonlarca yıl önce bölgenin oluşmasına neden olan yitim ile gelişen hareketin devamı olduğu düşünüldüğünde, tüm jeodezik bulguların Dewey vd., (1973), Bektaş vd., (1984, 1999), Chorowicz vd., (1998), Eyüboğlu (2010) ve Eyüboğlu vd., (2006, 2007, 2011) tarafından ileri sürülen güney yönlü yitim modelini desteklediği görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- Adamia, S., Lordkipanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977, Evolution of An Active Continental Margin as Exemplified by the Alpine History of the Caucasus, *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Aksoy, A., 1984, Uyuşumsuz Ölçüler Testi, *Harita Dergisi*, 93, 15-24.
- Aktuğ, B., ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış, 2003, *Harita Dergisi*, Ankara.
- Aktuğ, B., Sezer, S., Özdemir, S., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., 2011, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Güncel Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması (Computation of the Actual Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GPS Network), *Harita Dergisi*, 145, 1-14.
- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A., Özdemir, S., 2012, Deformation of Central Anatolia: GPS implications, *Journal of Geodynamics*, 1-19.
- Alptekin, Ö., Nabelek, J.L. and Toksöz, M.N. 1985, Source Mechanism of the Bartın Earthquake of 3 September 1968 in Northwestern Turkey: Evidence for Active Thrust Faulting at the Southern Black Sea Margin, *Tectonophysics*.
- Alptekin, Ö., Nabelek, J.L. and Toksöz, M.N. 1987, 3 Eylül 1968 Bartın Depreminin Kaynak Mekanizması ve Karadeniz'in Aktif Tektoniği Hakkında Düşünceler, 1987, *JEOFİZİK* 1, 89-102.
- Arni, P., 1939, Şarki Anadolu ve Mücavir Mıntıklarının Tektonik Ana Hatları, MTA Yayını serisi, No:4, Ankara.
- Arslan, M., Aliyazıcıoğlu, I., 2001, Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gümüşhane) Volcanic Rocks: İmplications For The Eocene Evolution of Eastern Pontide Arc Volcanism, Northeast Turkey. *International Geology Review* 43 (7), 595–610.
- Atasoy, V., 1984, Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Atasoy, V., 1988, Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Yer Kabuğu Hareketlerinin İrdelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Atasoy, V., Konak, H., Öztürk, E., 2001, Maden Sahalarında Kurulan Deformasyon Ağlarının İzlenmesi, 8. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 44-54.
- Ayan, T., 1982, Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, *İ.T.Ü. Dergisi*, 40, 21-25.

- Ayan, T., 1992, Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, 38-46.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., 1993, Heyelan Hareketlerinin İzlenmesi İçin Bir Jeodezik Uygulama, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 75, 55-68.
- Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgoz, M., Fırat, O., Şengün, Y.S., Cingöz, A., Gürdal, M.A., Kurt, A.İ., Ocak, M., Türkezer, A., Yıldız, H., Bayazıt, N., Ata, M., Çağlar, Y., Özerkan, A., 2002a, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), Harita Dergisi, Özel Sayı, 16, Ankara.
- Ayhan, M. E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Altın, Y., Barka, A., Ergintav, S., Özener, H., 2002b, Interseismic Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 92, n.1, pp. 216-229.
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., 2002a, GPS Ağlarında Deformasyonların Statik ve Kinematik Modellerle Belirlenmesi için Geliştirilmiş bir Deformasyon Yazılım Paketi, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya, 116-126.
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., 2002b, GPS ile İzlenen Jeodezik Deformasyon Ağlarında Kinematik Hareket Ve Hareket Yüzeylerinin Belirlenmesi, TJK Tektonik Ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, İznik.
- Bayrak, T., 2003, Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 195s.
- Bayrak, T., 2006, Yamula Barajında Deformasyon Analizi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 1-12
- Baysal, D., Aktuğ, B., Koçyiğit, A., Gps Nokta Koordinatlarındaki Zamana Bağlı Değişimlerin Analizi ve Yorumu: İzmir Bölgesinde Uygulama (Analysis And Interpretation Of Temporal Change Of Gps Coordinates: A Case Study In İzmir Region), 2010, Harita Dergisi, 144, 29-39.
- Bektaş, O., 1983, Kuzeydoğu Pontid Magmatik Yayındaki (I) Tipi Granitik Kayaçlar Ve Jeo Tektonik Konumları: TJK Bildiri Özleri, 49-50.
- Bektaş, O., Pelin, S. ve Korkmaz, S., 1984, Doğu Pontid Yay Gerisi Havzasında Manto Yükselimi ve Polijenetik Ofiyolit Olgusu, TJK Ketin Sempozyumu, 175-188.
- Bektaş, O., 1986, Doğu Pontid Ark-Ark Gerisi Bölgelerinde Paleostres Dağılımları Ve Çok Safhalı Riftleşme: MTA Dergisi, 103/104, 16-39.

- Bektaş, O., 1986, Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Back-arc of Eastern Pontides, Mineral Research and Exploration Institute (MTA) Bulletin, 103/104, 1-15.
- Bektaş, O., Van, A. ve Boynukalın, S., 1987, Doğu Pontidlerde Jura Volkanizması ve Jeotektoniği : TJK Bült., 30, 9-18.
- Bektaş, O., Yılmaz, C, Taslı, K., Akdağ, K. ve Özgür, S., 1995, Cretaceous, Rifting of the Eastern Pontide Carbonate Platform (NE Turkey); The Formation of Carbonate Breccias and Türbidites as Evidiance of a Drowned Platform, Giornale di Geologia, 57.
- Bektaş, O. ve Güven, İ.H., 1995, Alaskan-Appinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc, NE Turkey, Geology of the Black Sea Region, 189-197.
- Bektaş, O., Yılmaz, C. ve Taslı, K., 1996, Doğu Pontid Yay Gerisi Havzasında Derin Yayılma Çukurlarının Oluşumu (KD Türkiye), Neo-Tethysin Pasif Kıta Kenarı Evrimi, KTÜ Jeoloji Müh. Böl. 30 yıl Semp. Bildiriler, 1, 263-275.
- Bozkurt, E., Pereira, M.F., Strachan, R., Quesada, C., 2008, Evolution of the Rheic Ocean. Tectonophysics 461, 1–8.
- Brunner, F. K., 1997, Continuous Monitoring of Deformation Using The Global Positioning System, AvH Magazine, 69, 29-38.
- Chorowicz, J., Dhont, D., Adıyaman, Ö., 1998, Black-Sea Pontid Relationship: Interpretation in terms of Subduction, Third International Turkish Geology Symposium, Ankara, Turkey, p. 258.
- Demirel, H., 1987, Nirengi Ağlarının Dengelenmesi ve Sonuçlarının Test Edilmesi, Harita Dergisi, Sayı 98, 22-33.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.B.F., Bonin, J., 1973, Plate Tectonics and the Evolution of the Alpine system, Geol. Soc. Am. Bul., 84, 3137-3180.
- Dilaver, A., 1996, Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, K.T.Ü. M.M.F. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Fakülte Yayın No: 2.
- Dokuz, A., Karşlı, O., Chen, B., Uysal, I., 2010, Sources and Petrogenesis of Jurassic Granitoids in the Yusufeli Area, Northeastern Turkey: İmplications for pre- and post-Collisional Lithospheric Thinning Of The Eastern Pontides. Tectonophysics 480, 259–279.
- Dokuz, A. Uysal, İ., Kaliwoda, M., Karşlı, O., Kandemir R., 2011, Early abyssal- and late SSZ-type Vestiges of the Rheic Oceanic Mantle in the Variscan Basement of The Sakarya Zone, NE Turkey: Implications for the Sense of Subduction and Opening of the Paleotethys. Lithos, 176-191.

- Dokuz, A., 2011, a Slab Detachment and Delamination Model for the Generation of Carboniferous High-Potassium I-Type Magmatism In The Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton. *Gondwana Research* 19, 926–944.
- Dupraz, H., Niemeier, W., Pelzer, H., 1979, Analyse von Deformationsmessungen Durch Klaffungszzerlegung, *Deformationsanalysen*, Heft 4, Hannover.
- Eren, K. ve Uzel, T., 1995, GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No:301, İstanbul.
- Eren, K., Uzel, T., Gülal, E., Yıldırım, O., Cingoz, A., 2009, Results from a Comprehensive GNSS Test in the CORS-TR Network: Case Study, *Journal of Surveying Engineering*, Volume 135 Issue 1, Ph.1018.
- Ersoy, N., 1997, GPS Sistemi İle Şehir Nirengi Ağlarının Analizi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 83, 6-27.
- Eyüboğlu, Y., 2006, Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (Kd Türkiye) Alaska-Tip Mafik-Ultramafiklerin Tanımı Ve Jeotektonik Önemi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 218s.
- Eyuboglu, Y., 2010, Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt, and its implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey, *International Geology Review* 52 (2-3), 142-186.
- Eyuboglu, Y., Bektas, O., Seren, A., Nafiz, M., Jacoby, W.R., Özer, R., 2006, Three Axial Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey), *Geologica Carpathica* 57 (5), 337-346.
- Eyuboglu, Y., Bektas, O., Pul, D., 2007, Mid-Cretaceous Olistostromal Ophiolitic Melange Developed in the Back-arc basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey), *International Geology Review* 49 (12), 1103-1126.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Bektas, O., Ayhan, S., 2011, Arc Magmatism as a Window to Plate Kinematics and Subduction Polarity: Example from the Eastern Pontides Belt, NE Turkey, *Geoscience Frontiers* 2 (1), 49-56.
- French, G. T., 1996, An Introduction to the Global Positioning System, GeoResearch, Inc., ISBN: 0-9655723-0-7.
- Gedikoğlu, A., 1978, Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaçları (Giresun-Doğankent): Doçentlik tezi, KTÜ, 186 s.
- Gili, J. A., Corominas, J., Rius, J., 2000, Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring, Engineering Geology, 55, 167-192.
- Golonka, J., 2004, Plate Tectonic Evolution of the Southern Margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics* 381, 235–273.

- Gökalp, E., 1994, GPS İle Deformasyon İzleme Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gökalp, E., Karaali, C., 1994, An Overview of the Physical Interpretation of Deformation Measurements, 1st International Symposium on Deformations, Istanbul, Proc, 234-241.
- Gökalp, E., 1995, GPS Ölçü Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Bilimsel Kongreleri, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 403-415.
- Gründig, L. V., Nevreither, M., Bahndorf, J., 1985, Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, 151-160.
- Gülal, E., 1999a, Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizinde Uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 1, 11-25 .
- Gülal, E., 1999b, Deformasyon Ölçülerinin Analizinde Dinamik Modelleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2, 9-22.
- Güllü, M., 1998, GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A. G., Yılmaz, O., Turgut, B., Tektonik Deformasyonların Jeodezik Ölçme Teknikleri ile İzlenmesi (Kafz Batı Kesimi Çalışmaları), 2005, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Hamilton, W.J., 1842, Researches in Asia Minor, Pontus and Armenia, London.
- Hekimoğlu, Ş., Ayan, T., Aktaş, A.O., 1993, Birden Fazla Uyuşumsuz Ölçünün Robust Kestirim Yöntemiyle Tanısı ve Uyuşumsuz Ölçü Testleriyle Belirlenmesi, Prof. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 171-202.
- Heunecke, O., Pelzer, H., Pfeuter, A., Willgalis, S., 1993, Comparative Investigations of Dynamic Deformation Models, 7st International Symposium on Deformation Measurements, Banff.
- Hofmann, W. B., Lichtenegger, H., Collins, J., 1992, Global Positioning System: Theory and Practice, Springer-Verlag Wien New York, ISBN 3-211-82364-6.
- Kara, H. H., 1998, İteratif Uyuşumsuz Ölçü Belirleme Yöntemleri ve Kararlı Yapıdaki Jeodezik Ağlarda Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaygusuz, A., ve Aydınçakır, E., 2011. Petrogenesis of a Late Cretaceous Composite Pluton from the Eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey. Neues Jahrbuch fur Mineralogie-abhandlungen 188 (3), 211-233.

- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., Ilbeyli, N., 2012, Geochronological Evidence and Tectonic Significance of Carboniferous Magmatism in the Southwest Trabzon Area, Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review* 54, 1776–1800.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, *MTA Dergisi*, Ankara, 66, 20-34.
- Ketin, İ. ve Abdüsselamoğlu, Ş., 1970, Bartın depreminin etkileri, *Tür. Jeol. Kur. Bül.* 12, 66-76.
- Konak, H., 1994, Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kuang, S., 1996, *Geodetic Network Analysis and Optimal Design*, Ann Arbor Press, Inc., ISBN 1-57504-044-1.
- Kuhllman, H. ve Pelzer, H., 1997, Models of Deformation Analysis, Second International Symposium "Turkish-German Joint Geodetic Days", Berlin, Proceedings, 21-30.
- Kurt, O., 1996, GPS Ölçülerinin Değerlendirildiği Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Maden, N., 2005, Doğu Pontid Orojenik Kuşağı Kabuk Yapısı ve Kabuk Stilinin Jeofiziksel Metodlarla İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 216 s.
- Maden, N., Gelisli, K., Eyuboglu, Y., Bektas, O., 2009, Determination of Tectonic and Crustal Structure of the Eastern Pontide Orogenic Belt (NE Turkey) Using Gravity and Magnetic Data, *Pure and Applied Geophysics* 166, 1987-2006.
- Malet, J. P., Maquaire, O., Calais, E., 2002, The Use of Global Positioning System Techniques for The Continuous Monitoring of Landslides: Application to Yhe Super-Sauze Earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Geomorphology*, 43, 33-54.
- McClusky, S., Aktuğ, B., Aygöl, H., Baassanian, S., Barka, A., Burchfiel, C., Çakmak, R., Ergintav, S., Hamburger, M., Kahle, H., Kastens, K., King, R., Kotzev, V., Mahmoud, S., Nadariya, M., Özener, H., Prilepin, M., Reilinger, R., Seeger, H., Tari, E., Türkezer, A., Veis, G., 1999, GPS Constraints on Active Tectonics in the Eastern Mediterranean Region, UNAVCO Meeting, Boulder CO., April 7-9.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695–5720.

- McElroy, S., 1998, Getting Started with GPS Surveying, The Global Positioning System Consortium (GPSCO).
- McLellan, J. F., Porte, T. R., Price, P. St.J., 1989, Pipeline Deformation Monitoring Using GPS Survey Techniques, Journal of Surveying Engineering, Volume 115, Number 1, 115-121.
- Mierlo, J., 1978, A Testing Procedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements, Proceedings, Second International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn, Proceedings, 321-353.
- Okay, A.I., 1986, High Pressure/Low Temperature Metamorphic Rocks of Turkey. In: Blueschists and Eclogites (ed. B.W. Evans and E.H. Brown), Geological Society of America Memoir No. 164, 333-348.
- Okay, A.I., Şengör, A.M.C., Görür, N., 1994, Kinematic History of the Opening of the Lack Sea and its Effect on the Surrounding Regions. *Geology* 22, 267–270.
- Okay, A., Leven, E.J., 1996, Stratigraphy and Paleontology of the Upper Paleozoic Sequences in the Pulur (Bayburt) region, Eastern Pontides. *Turkish Journal of Earth Sciences* 5, 145–155.
- Okay, A. I. ve Şahintürk, O., 1997, Geology of the Eastern Pontides, In: A. G. Robinson, (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Balack Sea ve Surrounding Region*. AAPG Mem, 68, 291-311.
- Okay, A. ve Tüysüz, O., 1999, Tethyan Sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Sérane, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 156, pp. 475–515.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., Özkan–Altıner, S. M., Altıner, D., Sherlock, S., Eren, R. H., 2006, Cretaceous and Triassic Subduction-Accretion, High-Pressure-Low-Temperature Metamorphism, and Continental Growth in the Central Pontides, Turkey, *Geological Society of America Bulletin* 118, 1247–1269.
- Osswald, F., 1912, *Armenian-Handbuch der Regionalien Geologie*, 10, 3, Heidelberg.
- Özener, H., Doğru, A. G., Turgut, B., Yılmaz, O., Ergintav, S., Çakmak, R., Şanlı, U., Arpat, E., Gülen, L., Gürkan, O., Kuzey Anadolu Fayı Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının Gps Ölçme Tekniği İle Araştırılması, 2005, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Özener, H., Doğru, A., Jeodezik Ve Sismik Verilerden Yararlanarak Kabuk Deformasyonu Alanının Belirlenmesi, 2009, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

- Ozener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Doğru, A., Çakmak, R., Turgut, B., Doğan, U., 2010, Kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone, Journal of Geodynamics, 49, 3-4, 141–150.
- Özener, H., Kuzey Anadolu Fay Zonu Batı Kesiminde Bulunan Mikro Jeodezik Ağlarda Güncel Deformasyon Alanı, 2011, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Özdemir, S., Erkan, Y., Aktuğ, B., Kurt, M. ve Lenk, O., 2011, Türkiye’de Sabit GPS İstasyonlarının Tarihi ve Tusaga-Aktif Sistemi, HKMO 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Öztürk, E., 1978, Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi θ^2 -Ölçütü, Harita Dergisi, 85, 44-52.
- Öztürk, E., 1987, Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri, Türkiye I. Harita ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 641-699.
- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., 1992, Dengeleme Hesabı, K.T.Ü. Basımevi, Cilt III, Trabzon.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R., 1975, Geochemistry of Upper Cretaceous Volcanic Rocks from the Pontic Chain, Northern Turkey, Bull. Vole, 39/4, 1/13.
- Pelzer, H., 1971, Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr.164, München.
- Pelzer, H., 1985, Statische, Kinematische und Dynamische Punktfelder, in: Geodatische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, PELZER, H., Stuttgart.
- Pelzer, H., 1986, Application of Kalman- and Wiener-Filtering on the Determination of Vertical Movements, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europa, Determination of Heights and Height Changes, Hannover, Proc., 539-555.
- Pelzer, H., 1987, Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle, AVN, 94, 2, 49-62.
- Pelzer, H., 1988, Ingenieurvermessung, Deformationsmessungen Massenberechnung, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.
- Pelzer, H., 1993, Kinematische und Dynamische Fragestellungen der Ingenieurgeodasie, VR 8.
- Poyraz, F., 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 128s.

- Reilinger, R. E., Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A., Gurkan, O., Hearn, L., Feigl, K.L., Cakmak, R., Aktug, B., Ozener, H., Töksoz, M.N., 2000, Coseismic and Postseismic Fault Slip for the 17 August 1999, M_{7.5}, Izmit, Turkey Earthquake, *Science* 289, 1519–1524.
- Robertson, A.H.F., Dixon, J.E., 1984, Introduction: Aspects of the Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society, London Special Publication, vol. 17, pp. 1–74.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., Pickett, E., Collins, A., Andrew, T., Dixon, J.E., 2004, Testing models of Late Palaeozoic–early Mesozoic orogeny in Western Turkey: Support for an Evolving Open-Tethys model. *Journal of the Geological Society*, London 161, 501–511.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ve Ketin, İ., 1980, Remnants of Pre-Late Jurassic Ocean in Northern Turkey: Fragments of Permian Triassic Paleo-Tethys, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91, 599-609.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan Evolution of Turkey: a Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1983, Türkiye’de Tetis’in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi*, no: 1, Ankara.
- Şimşek, M., 1992, Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi, *Harita Dergisi*, 108, 18-33.
- Şimşek, M., Demirel, H., 1997, Ağ Sıklaştırmada Modern Teknikler, 6. Harita Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 239-255.
- Tanır, E., 2000, Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tiberius, C. C. J. M., 1999, The GPS Data Weight Matrix: What are The Issues?, National Technical Meeting and 19th Biennial Guidance Test Symposium, Canada, ION, 219-227.
- Tokel, S., 1972, Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, NE Turkey, *University College, London*.
- Tokel, S., 1977, Doğu Karadeniz Bölgesinde Kalk-Alkalin Eosen Andezitler ve Jeotektonizma, *TJK Bül.*, 20, 49-54.
- Tokel, S., 1981, Plaka tektoniğinde magmatik yerleşimler ve jeokimya, Türkiye’den örnekler, *Yeryuvarı ve İnsan*, 6/3-4, 53-65.

- Ulukavak, M., Yalçinkaya, M., Bayrak T., TRAB IGS İstasyonunun Global Hız ve Lokal Stabilitésinin Araştırılması, 2010, 5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Zonguldak, 443-452.
- Ulukavak, M., Yalçinkaya, M., Tanır, E., Tusaga-Aktif (CORS-Tr) Ağ Noktalarının Tektonik Araştırmalarda Kullanılması Üzerine Bir Çalışma: Orta Ve Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği, 2011, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- URL-1, www.mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/trabzon/index.php?id=bolge-jeolojisi. 05 Eylül 2013.
- URL-2, www.hgk.msb.gov.tr/TUSAGA-AKTIF.pdf. 01 Ocak 2014.
- URL-3, www.hgk.msb.gov.tr/haritalar_projeler/jeodezi/TUSAGA_Aktif_Genel_Bilgi_tur_v2.pdf. 01 Ocak 2014.
- Ustaömer, T. ve Robertson, A.H.F., 1996, Paleotethyan Tectonic Evolution of the North Tethyan Margin in the Central Pontides, N Turkey. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, Ankara, pp. 24e33.
- Uzel, T., Eren, K., Güral, E., Dindar, A. A., Tiryakioğlu, İ., Yılmaz, H., Tusaga Aktif (CORS-TR) Verileri İle Tektonik Plaka Hareketlerinin İzlenmesi, 2011, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Wolf, P. R., Ghilani, C. D., 1997, Ghilani: Adjustment Computation : Statistics and Least Squares in Surveying and GIS, John Wiley and Sons, Inc., ISBN 0-471-16833-5.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1988, Düşey Yöndeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Duyarlılık Nivelman Ölçüleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1994, Düşey Yöndeki Yer kabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1996a, Kalman-Filtreleme Yöntemi ile Kinematik Düşey Hareketlerin Belirlenmesi, Harita Dergisi, 116, 14-31.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1996b, Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 80, 73-84.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 2001, Üç Boyutlu Ağlarda Kalman-Filtreleme Tekniğinin Uygulanması: Matlab ve Fortran Programlama Dilleriyle Çözümü, K.T.Ü. M.M.F. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Fakülte Yayın No: 2001/1.

- Yalçınkaya (Ünver), M. ve Tanır, E., 2000, Determination of Movements on Mining Areas by Static Deformation Models, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying”, Cracow Poland, Proceedings, 331-344.
- Yalçınkaya (Ünver), M. ve Bayrak, T., 2001a, Heyelanların Dinamik Deformasyon Modeli İle Belirlenmesi, 8. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 55-63.
- Yalçınkaya (Ünver), M. ve Bayrak, T., 2001b, Developing a Dynamic Deformation Model For Landslides, Fourth International Symposium “Turkish-German Joint Geodetic Days”, Berlin, Proceedings, 583-590.
- Yıldırım, Ö., Cingöz, A., Lenk, O., Bakıcı, S., Aktuğ, B., Kılıçoğlu, A., Aysezen, M.Ş., Erdoğan, A.O., TUSAGA-Aktif (CORS TR), 2009, 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 25-46.
- Yıldırım, Ö., Salgın, Ö. ve Bakıcı, S., 2011, The Turkish CORS Network (TUSGA-Aktif), FIG Working Week, Marrakech, Morocco.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. ve Şengör, A. M. C., 1997, Geology of Tectonic Evolution of the Pontides, AAPG Memoir, 68, 183-226.
- Yılmaz, A. ve Yılmaz, H., 2004, Geology and Structural Evolution of the Tokat Massif (eastern Pontides, Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, A Special Issue Commemorating Okan Tekeli, 13, 231-246.

ÖZGEÇMİŞ

01.12.1985 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini 100. Yıl İlk Öğretim Okulu, Lise öğrenimini ise Trabzon Lisesinde 2003 yılında tamamladıktan sonra 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2006 yılında İngilizce Hazırlık Bölümünü bitirdikten sonra mesleki eğitime başlayarak, 2010 yılında onur öğrencisi olarak bölümünden mezun oldu. 2011 yılında yine aynı üniversitede yüksek lisans eğitimine başladı, fakat 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladıktan sonra yüksek lisans eğitimine Gümüşhane üniversitesinde devam etti. Şu an halen aynı üniversitede yüksek lisans eğitimine devam etmekte ve Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.