

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARTİKÜL MADDE (PM<sub>10</sub>) KONSANTRASYONUNDAKİ DEĞİŞİMİN GNSS  
ZENİT TROPOFERİK GECİKMESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UMUT ALTAN**

**ARALIK 2017**

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARTİKÜL MADDE (PM<sub>10</sub>) KONSANTRASYONUNDAKİ DEĞİŞİMİN GNSS  
ZENİT TROPOFERİK GECİKMESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Umut ALTAN**

**DANIŞMAN : Yrd. Doç. Dr. K. Sedar GÖRMÜŞ**

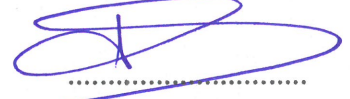
**ZONGULDAK**  
**ARALIK 2017**

**KABUL:**

Umut ALTAN tarafından hazırlanan “Partikül Madde(PM<sub>10</sub>) Konsantrasyonundaki Değişimin GNSS Zenit Troposferik Gecikmesine Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.  
29/12/2017

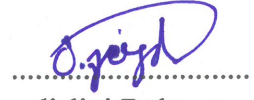
**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. K. Sedar GÖRMÜŞ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Özgür ZEYDAN

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü



**Üye:** Doç Dr. Emine Tanır KAYIKÇI

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

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



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



Umut ALTAN

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## **PARTİKÜL MADDE (PM<sub>10</sub>) KONSANTRASYONUNDAKİ DEĞİŞİMİN GNSS ZENİT TROPOFERİK GECİKMESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Umut ALTAN**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. K. Sedar GÖRMÜŞ**

**Aralık 2017, 59 sayfa**

Hava kirliliği, insan sağlığı ve çevreye olan olumsuz etkilerinin yanı sıra bulunduğu yerde görüş mesafesini de bir hayli düşürmektedir. Bunun sebebi kirliliğe sebep olan gazların ve partikül maddelerin ışığı saçması ve absorblamasıdır. Daha önce yapılan çalışmalarda troposferde bulunan su buharının GNSS ölçümlerinde troposferik zenit gecikmesine sebep olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu çıkarımlar yapılırken troposferik gecikme modelleri geliştirilmiş kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Zonguldak ili Merkez ilçesinde bulunan ve devamlı ölçüm yapan Tusaga-Aktif ağına dahil ZONG GNSS alıcısından elde edilen veriler kullanılarak daha önceden geliştirilmiş olan ve doğruluğu en yüksek model olduğu kabul edilen VMF1 izdüşüm fonksiyonunu kullanılarak GIPSY-OASIS II ve GAMIT/GlobK yazılımları ile değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan değerler yazılımlar açısından ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan meteorolojik parametreler ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan alınan hava kirliliği değerleri analiz edilerek, elde edilen zenit gecikmesi değerleri karşılaştırılmıştır. Birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullar altında farklı PM<sub>10</sub> miktarına sahip günlere ait ıslak zenit gecikmeleri incelendiğinde 2-4 cm aralığında farklılıklar gözlenmiştir.

## ÖZET (devam ediyor)

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, ıslak zenit gecikmesi, PM<sub>10</sub>.

**Bilim Kodu:** 616.01.00.



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE INVESTIGATION OF THE CHANGE OF PARTICLE MATTER (PM<sub>10</sub>) CONCENTRATION IN THE EFFECT OF GNSS ZENITH TROPOSPHERIC DELAY**

**Umut ALTAN**

**Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatics Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. K. Sedar GÖRMÜŞ  
December 2017, 59 pages**

Air pollution, affects human health and the environment negatively, as well as lowers the visibility distance considerably lowered. The reason is that the pollutant gases and particulate matter scatter and absorb light. Previous studies have shown that the water vapor in the troposphere is responsible for the tropospheric zenith delay in GNSS measurements. When these inferences were made, tropospheric delay models were developed. In this study, data obtained from the ZONG GNSS receiver included in the Tusaga-Aktif network in the central district of Zonguldak province and processed with GIPSY-OASIS II and GAMIT / GlobK software using the VMF1 projection function, which is developed previously and considered to be the highest corrected model. The resulting values were examined separately and comparatively in terms of software. The meteorological parameters obtained from the Turkish State Meteorological Service and the air pollution values obtained from the Ministry of Environment and Urbanization were analyzed and the obtained zenith delay values were compared. When wet zenith delays of different days with different amounts of PM<sub>10</sub> were

## **ABSTRACT (continued)**

examined in succession and under the same meteorological conditions, differences in the range of 20-40 mm were observed.

**Keywords:** GNSS, wet zenith delay, PM<sub>10</sub>

**Science Code:** 616.01.00





## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, gerek lisans döneminde, gerekse yüksek lisans döneminde arkadaşlığını ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Gökhan GÜRBÜZ'e teşekkürü borç bilirim. Tez danışmanım, lisans dönemimden beri sıcakkanlılıkla gerekli her türlü yardımı yapan, bilgisini paylaşan Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ'e teşekkür ederim.

Tez konusunda verdiği fikirler ve yapmış olduğu yardımlardan dolayı Merve GÜRBÜZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansa gerekli zamanı ayırmamda büyük katkısı olan ve her ihtiyacım olduğunda derslere katılımımı mümkün kılan birim amirim Zonguldak Belediyesi Fen İşleri Müdür Vekili Ogan GÖKTÜRK'e teşekkür ederim.

Tez aşamasında motive edici konuşmaları ve yapıcı eleştirileriyle her daim bana destek olan Derya AYDAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Tez aşaması dahil hayatın her anında bana destek veren, güvenen ve her zaman arkamda olduğunu bildiğim sevgili anneme bugünlere gelmemi sağladığı için teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                           | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| KABUL .....                                               | ii           |
| ÖZET.....                                                 | iii          |
| ABSTRACT .....                                            | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                             | viii         |
| İÇİNDEKİLER.....                                          | xi           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                      | xiii         |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                   | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                       | xvii         |
| <br>                                                      |              |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ.....                                        | 1            |
| <br>                                                      |              |
| 1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....                                 | 1            |
| 1.2 ÇALIŞMANIN AKIŞI .....                                | 1            |
| 1.3 TROPOFERİK ETKİ .....                                 | 2            |
| <br>                                                      |              |
| BÖLÜM 2 HAVA KİRLİLİĞİ VE TROPOFERİK ZENİT GECİKMESİ..... | 7            |
| <br>                                                      |              |
| 2.1 HAVA KİRLLETİCİ UNSURLAR.....                         | 8            |
| 2.1.1. Partikül Maddeler.....                             | 8            |
| 2.2 TROPOFERİK ZENİT GECİKMESİNİN HESAPLANMASI.....       | 9            |
| 2.2.1 Yüzey Modelleri .....                               | 10           |
| 2.2.2. İzdüşüm Fonksiyonları.....                         | 14           |
| 2.3 AKADEMİK GNSS DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI .....         | 17           |
| 2.3.1 GAMIT/GLOBK.....                                    | 18           |
| 2.3.2 GIPSY-OASIS .....                                   | 19           |

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|                                       | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------|--------------|
| BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT .....       | 25           |
| 3.1 ÇALIŞMA ALANI.....                | 25           |
| 3.2 KULLANILAN VERİ SETLERİ.....      | 27           |
| 3.3 GNSS DEĞERLENDİRMELERİ .....      | 29           |
| <br>                                  |              |
| BÖLÜM 4 ANALİZ VE DEĞERLENDİRME ..... | 37           |
| <br>                                  |              |
| BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....        | 51           |
| <br>                                  |              |
| KAYNAKLAR.....                        | 55           |
| ÖZGEÇMİŞ .....                        | 59           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u>                                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 1.1 Atmosferde GNSS sinyalinin yayılışı .....                                            | 2            |
| Şekil 1.2 “Voxel” oluşan gözlem bölgesi.....                                                   | 4            |
| Şekil 1.3 Uydu altimetresinin uygulanış görüntüsü .....                                        | 5            |
| Şekil 2.1 Partikül maddelerin boyut dağılımları .....                                          | 9            |
| Şekil 2.2 GIPSY değerlendirme sürecini betimleyen akış şeması. ....                            | 21           |
| Şekil 3.1 Zonguldak'ta normal görüş mesafesi ( $PM_{10} = 40 \mu g/m^3$ ).....                 | 26           |
| Şekil 3.2 Zonguldak'ta düşük görüş mesafesi ( $PM_{10} = 191 \mu g/m^3$ ) .....                | 26           |
| Şekil 3.3 Zonguldak Merkez ilçesi $PM_{10}$ zaman serisi. ....                                 | 27           |
| Şekil 3.4 Kullanılan GNSS, Meteoroloji, Hava Kalite Ölçüm İstasyonları.....                    | 28           |
| Şekil 3.5 Değerlendirme sürecinde kullanılan GNSS istasyonları.....                            | 28           |
| Şekil 3.6 GIPSY <i>Sta_id</i> dosyası içeriği.....                                             | 29           |
| Şekil 3.7 GIPSY <i>Sta_pos</i> dosyası içeriği. ....                                           | 30           |
| Şekil 3.8 GIPSY <i>Sta_svec</i> dosyası içeriği. ....                                          | 30           |
| Şekil 3.9 GIPSY <i>Pcenter</i> dosyası içeriği. ....                                           | 30           |
| Şekil 3.10 TDP çıktı dosyası içeriği.....                                                      | 32           |
| Şekil 3.11 GIPSY <i>Stacov</i> çıktı dosyası içeriği. ....                                     | 32           |
| Şekil 3.12 <i>sesstbl</i> dosya içeriği. ....                                                  | 33           |
| Şekil 3.13 <i>sittbl</i> dosya içeriği. ....                                                   | 34           |
| Şekil 3.14 Met_Util modülünü kullanımı sonucunda elde edilen met dosyası içeriği.....          | 35           |
| Şekil 4.1 Toplam zenit gecikmesinin 2015 yılı içindeki değişiminin GAMIT/GlobK değerleri. .... | 37           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>                                                                                                                         | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 4.2 Toplam zenit gecikmesinin 2015 yılı içindeki değişiminin GIPSY-OASIS II değerleri. ....                                 | 38           |
| Şekil 4.3 Toplam zenit gecikmesinin 2014/2015 yılı içindeki değişiminin GIPSY-OASIS II ve GAMIT/GlobK ile karşılaştırılması. .... | 39           |
| Şekil 4.4 15-16 Ocak 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                   | 42           |
| Şekil 4.5 06-07 Şubat 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                  | 42           |
| Şekil 4.6 05-07 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                 | 43           |
| Şekil 4.7 19-21 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                 | 43           |
| Şekil 4.8 22-23 Kasım 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                  | 44           |
| Şekil 4.9 12-11 Kasım 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                  | 44           |
| Şekil 4.10 03-04 Kasım 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                 | 45           |
| Şekil 4.11 29-30 Ocak 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                  | 45           |
| Şekil 4.12 Kış ayında gün içerisindeki PM <sub>10</sub> miktarı değişimi. ....                                                    | 46           |
| Şekil 4.13 Yaz ayında gün içerisindeki PM <sub>10</sub> miktarı değişimi. ....                                                    | 46           |
| Şekil 4.14 15-16 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                | 48           |
| Şekil 4.15 06-07 Kasım 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                 | 48           |
| Şekil 4.16 08-09 Şubat 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri. ....                                                 | 49           |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>                                                                                 | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 2.1 Hava Kalitesi İndeksi .....                                                   | 8            |
| Çizelge 3.1 GAMIT ve GIPSY ile yapılan değerlendirmeler de kullanılan parametreler. ....  | 35           |
| Çizelge 4.1 Farklı yazılımlar ile elde edilen ZWD değerinin mevsimsel farklılıkları. .... | 40           |
| Çizelge 4.2 Belirlenen günlere ait meteorolojik parametreler. ....                        | 41           |
| Çizelge 4.3 Belirlenen günlere ait meteorolojik parametreler. ....                        | 47           |





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|               |                                               |
|---------------|-----------------------------------------------|
| $\mu\text{g}$ | : Mikrogram                                   |
| $\text{m}^3$  | : Metreküp                                    |
| mm            | : Milimetre                                   |
| cm            | : Santimetre                                  |
| m             | : Metre                                       |
| km            | : Kilometre                                   |
| $\mu\text{m}$ | : Mikrometre                                  |
| °             | : Derece                                      |
| $R$           | : Dünya'nın yarıçapı                          |
| $P_0$         | : Yüzeydeki basınç                            |
| $M$           | : Havanın molar kütlesi                       |
| $G$           | : Yerçekimi ivmesi                            |
| $e_0$         | : Kısmi su buharı basıncı                     |
| $\delta R$    | : Alıcının deniz seviyesinden olan yüksekliği |
| $MF(z)$       | : İzdüşüm fonksiyonu                          |
| $H_i^e$       | : Eşdeğer yükseklik                           |
| $r_s$         | : İstasyona ait jeosentrik yarıçap            |
| $d_d^z$       | : Kuru zenit gecikmesi                        |
| $d_w^z$       | : Islak zenit gecikmesi                       |
| $\Delta$      | : Atmosferik ölçek yüksekliği                 |
| $F_{bend}$    | : Bükülme                                     |
| $\varphi_i$   | : Enlem değeri                                |
| $P_s$         | : Yüzeydeki toplam basınç                     |
| $A$           | : Sıcaklık sapma oranı                        |
| $T_h$         | : Tropopoz yüksekliği                         |
| $H_g$         | : Gravite merkezinin yüksekliğini             |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

|          |                       |
|----------|-----------------------|
| $H_i$    | : Değişim yüksekliği  |
| $\Delta$ | : Basınç oranı        |
| $\rho_w$ | : Su buharı yoğunluğu |

### KISALTMALAR

|                       |                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>PM</b>             | : Particulate Matter                                                |
| <b>GNSS</b>           | : Global Navigation Satellite Systems                               |
| <b>GPS</b>            | : Global Positioning System                                         |
| <b>VLBI</b>           | : Very Long Baseline Interferometry                                 |
| <b>O<sub>3</sub></b>  | : Ozon                                                              |
| <b>CO</b>             | : Karbon monoksit                                                   |
| <b>SO<sub>2</sub></b> | : Kükürt dioksit                                                    |
| <b>NO</b>             | : Azot oksit                                                        |
| <b>NO<sub>2</sub></b> | : Azot dioksit                                                      |
| <b>CH<sub>4</sub></b> | : Metan                                                             |
| <b>MF</b>             | : İzdüşüm fonksiyonu                                                |
| <b>JPL</b>            | : Jet Propulsion Laboratory                                         |
| <b>ZWD</b>            | : Islak zenit gecimesi                                              |
| <b>ZHD</b>            | : Hidrostatik (kuru) zenit gecikmesi                                |
| <b>ZTD</b>            | : Toplam zenit gecikmesi                                            |
| <b>IGS</b>            | : International GNSS service                                        |
| <b>SLR</b>            | : Satellite Laser Ranging                                           |
| <b>TOPEX</b>          | : Ocean Topography Experiment                                       |
| <b>DORIS</b>          | : Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite |
| <b>UNIX</b>           | : İşletim sistemi                                                   |
| <b>NASA</b>           | : National Aeronautics and Space Administration                     |
| <b>SRIF</b>           | : Karekök bilgi filtresi                                            |
| <b>PPP</b>            | : Hassas nokta konumlandırma                                        |
| <b>RINEX</b>          | : Receiver independent exchange format                              |
| <b>S/A</b>            | : Selective Availability                                            |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

|                 |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| <b>MGM</b>      | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                        |
| <b>EPA</b>      | : Amerikan Çevre Koruma Örgütü                       |
| <b>GZK</b>      | : Gerçek zamanlı kinematik                           |
| <b>EUREF</b>    | : European Reference Frame                           |
| <b>BKG</b>      | : Bundesamt für Kartographie und Geodäsie            |
| <b>TDP</b>      | : Time dependent parameters                          |
| <b>WETZTROP</b> | : Islak troposferik zenit gecikmesi (GIPSY-OASIS II) |
| <b>Sesstbl</b>  | : Session Table                                      |
| <b>Sittbl</b>   | : Site Control Table                                 |
| <b>IONEX</b>    | : Ionosphere map exchange                            |
| <b>TUSAGA</b>   | : Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı                       |



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışmanın amacı Zonguldak ili Merkez İlçesindeki partikül maddelerin (particulate matter - PM) sebep olduğu hava kirliliğinin GNSS sinyallerine olan etkisinin incelenmesidir. Bu sebeple Soğuksu mevkiinde bulunan GNSS alıcısına ait veriler GIPSY-OASIS ve GAMIT/GlobK akademik GNSS değerlendirme yazılımlarıyla değerlendirilerek toplam zenit gecikmesi elde edilmiştir. Aynı zamanda Zonguldak Meteoroloji Müdürlüğü bünyesindeki hava kalitesi değerlendirme sensöründen elde edilen hava kalitesi verileri incelenmiştir. Hava kirliliğinin yoğun olduğu gün ve dönemlere ait zenit gecikmeleri ile aynı atmosferik koşul ve mevsime ait fakat hava kirliliğinin düşük olduğu günlere ait zenit gecikmeleri ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamında 2014 ve 2015 yıllarının özellikle Zonguldak ilinin Merkez ilçesinde ısınma amaçlı yoğun kömür tüketiminin yaşandığı kış aylarına ait veriler analiz edilmiştir.

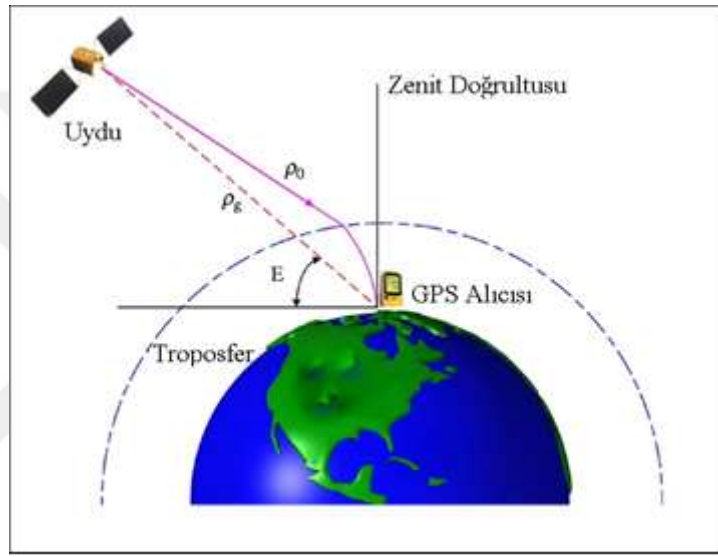
#### 1.2 ÇALIŞMANIN AKIŞI

Bu çalışma kapsamında ikinci bölümde hava kirliliğine sebep olan etmenler ve çalışmanın asıl konusunu oluşturan partikül maddeler incelenmiştir. Üçüncü bölümde zenit gecikmelerinin belirlenmesinde kullanılan ve GNSS ölçümlerini etkileyen troposferik gecikme incelenmiştir. Tez kapsamında Zonguldak şehrinde bulunan hava kalitesi değerlendirme istasyonuna en yakın GNSS istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Bu hava kalitesi ölçüm istasyonuna ait veriler değerlendirilerek, ZONG istasyonuna ait toplam zenit gecikmesi değerleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde yapılan bu hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan değerlerin günlük, saatlik değişimi incelenirken son bölümde ise sonuçlar açıklanmıştır.

### 1.3 TROPOSFERİK ETKİ

Troposferdeki refraksiyon oranı sıcaklık, basınç ve nem içeriğine bağlı olarak değişim gösterirken (Thayer 1974), troposferdeki su, en yoğun troposferin 7–10 km yüksekliğine kadar ulaşan katmanında bulunmaktadır (Miidla 2009).

Troposferik yol gecikmesi; uydu-alıcı arasındaki troposferde, hızları ve yörünge eğrilikleri değişerek hareket eden mikrodalgaların yolu (optik yol) ile uydu-alıcı geometrik yolu (kiriş) arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Atmosferde GNSS sinyalinin yayılımı (URL-1).

Troposferik toplam zenit gecikmesi, yüzey basıncının fonksiyonu olarak hidrostatik kısım ve sıcaklık ile su buharı dağılımına bağlı olan hidrostatik olmayan (ıslak) kısımdan oluşur. Hidrostatik kısmın modellenmesi, hidrostatik olmayan (ıslak) kısma göre daha kolaydır (Boehm 2007). Modelleme hava basıncına ve troposferin üst sınırı ile yerdeki alıcı arasında kalan havanın yoğunluğuna bağlıdır. Fakat ıslak kısmın modellenmesi birçok farklı faktöre bağlı olduğu için henüz tam olarak modellenememiştir (Beutler et al. 1987). Hidrostatik olmayan (ıslak) gecikmenin giderilebilmesi için anahtar konumda olan su buharı dağılımının belirlenebilmesi ve modellenmesi, yatay ve düşey düzlemde değişim gösterirken aynı zamanda lineer veya homojen olmayan su buharı dağılımından dolayı aşırı derecede zordur (Teunissen et al. 1998).

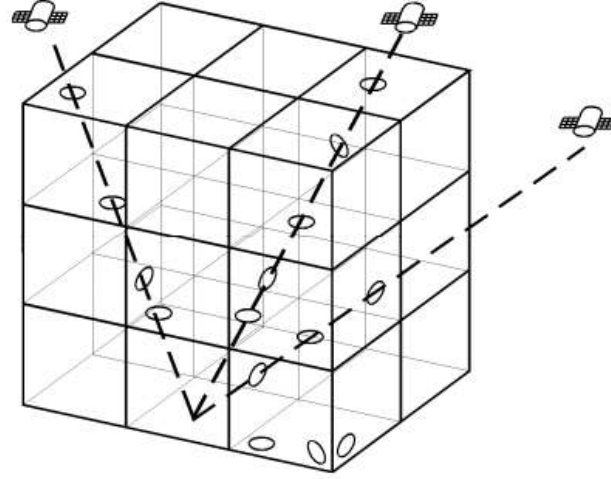
Troposferik gecikmenin %90'lık bir kısmına troposferin hidrostatik kısmı sebep olmaktadır. Deniz seviyesinde, zenit doğrultusundaki toplam troposferik gecikme 2,4 m civarındadır. 5° yükseklik (eğim) açısında yapılan gözlemlerde yaklaşık toplam troposferik gecikme miktarı 25 m'ye ulaşır. Hidrostatik gecikmenin toplam gecikmeden çıkartılmasıyla, yağışa dönüşebilir su buharı miktarına orantılı olan hidrostatik olmayan (ıslak) gecikme bulunmaktadır (Davis et al. 1985).

Nötr atmosfer (troposfer) kaynaklı gecikme, çok uzun bazlı interferometri, GPS (Global Positioning System) tomografisi, uydu altimetresi, küresel konumlama sistemleri gibi birçok uzay tabanlı elektromanyetik ölçüm tekniğinde en büyük modelleme hatası olarak kabul edilebilir.

Çok uzun bazlı interferometrinin (VLBI) temeli, samanyolu dışarısında bulunan kuazar gibi yıldızsı gök cisimlerinden yayılan radyo dalgalarının yeryüzünde bulunan iki farklı anten tarafından yakalanmasıyla bu iki anten arasındaki mesafenin hesaplanmasına ve interferometrik faz gecikmesindeki oran değişiminin ölçülmesine dayanmaktadır (Mendes 1999). Toplam troposferik gecikmenin belirlenmesinde ve dolayısı ile yoğuşabilir su buharı miktarının belirlenmesinde kullanılan VLBI yönteminin doğruluk seviyesinin yüksek olduğu bilinmektedir (Elgered et al. 1997, Tregoning et al. 1998). Toplam yoğuşabilir su buharı miktarı ile birlikte tüm profillerin elde edilmesi ve düşey tabaka bilgileri, meteorolojik modellerin ve hava tahmin araçlarının geliştirilmesinde daha büyük yarar sağlamaktadır.

Sürekli GNSS (Global Navigation Satellite Systems) istasyonlarındaki gözlemlerden, yüksek çözünürlüklü mekânsal ve zamansal üç boyutlu su buharı alanının belirlenmesi tekniği "GPS Tomografisi" olarak adlandırılır.

GPS Tomografisinde, alıcı-uydu doğrultusundaki eğik troposferik gecikme değerleri kullanılarak, “voxel” olarak tanımlanan hacimlerde su buharı miktarının kestirimi yapılmaktadır (Şekil 1.2). Bu alandaki gelişmeler su buharı içeriğini modellemeye ve bunun su havzalarına yüksek çözünürlüklü katkılarını modellemeye yardım etmektedir (Lutz 2008).



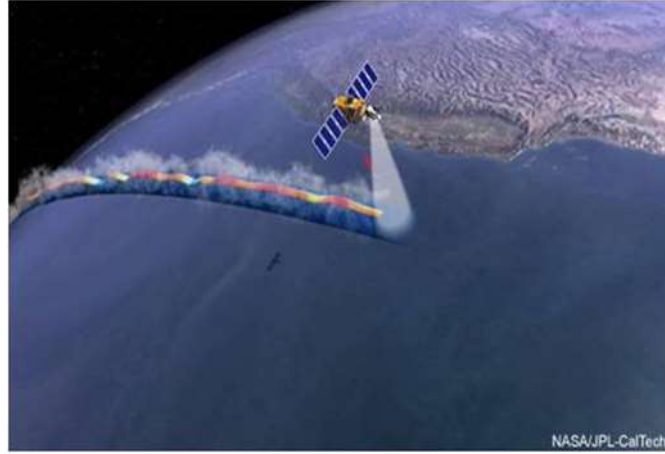
Şekil 1.2 “Voxel” oluşan gözlem bölgesi (Miidla et al. 2008).

Uydu altimetresinin temel amacı deniz tabanı topografyasının belirlenmesi ve okyanus akıntıları üzerinde çalışılmasıdır (Şekil 1.3). Bu bir uydunun üzerindeki altimetreden gönderilen elektromanyetik pulse (atım) yüzeyden yansımalarının ardından uyduya geri dönmesine kadar geçen süreden yararlanılarak mesafeler elde edilmektedir. Bu gönderilen ve geri dönüşü sırasında yakalanan elektromanyetik pulse (atış) gidiş ve geliş süreleri boyunca troposferik gecikmeden etkilenir ve modellenmesi gerekmektedir

Kıyısal bölgelerde uygulanacak uydu altimetresi yönteminde ıslak troposferik düzeltmenin hesaplanabilmesi için şu adımlar uygulanır;

- Kıyı şeridindeki istasyonların toplam troposferik gecikmenin yüksek doğrulukla belirlenmesi,
- Toplam troposferik gecikmeyi oluşturan hidrostatik ve ıslak bileşen değerlerinin birbirinden ayrıştırılması,
- Elde edilen ıslak ve kuru bileşen değerlerinin deniz seviyesine indirgenmesi olarak sıralanmaktadır (Fernandes et al. 2013).





**Şekil 1.3** Uydu altimetresinin uygulanış görüntüsü (URL-2).

GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou gibi sistemlerin tamamına GNSS yani küresel konumlama sistemleri denilmektedir. Küresel konumlama sistemlerinde farklı tür sinyal kullanılmasına rağmen uydu tabanlı küresel konumlama sistemleri kullanılarak yapılan ölçümler de atmosferden etkilenmektedir. Son yıllarda analiz merkezlerinde GNSS ile troposferik gecikmelerin belirlenmesi rutin bir işlem haline gelmiştir. Küresel konumlama sistemlerinin troposfer ile ilişkisine ikinci bölümde detaylı bir şekilde değinilmiştir.



## BÖLÜM 2

### HAVA KİRLİLİĞİ VE TROPOSFERİK ZENİT GECİKMESİ

Hava, içindeki değişik gazlar (oksijen, azot, karbondioksit vs.), su buharı ve partikül maddeler (toz, polen, tüy vs.) ile atmosferi dolduran renksiz ve kokusuz bir yapıdır. Havayı oluşturan başlıca gazlar %78,08 azot, %20,95 oksijen, %0,93 argon, %0,03 karbondioksit ve çok az miktarda neon, helyum, metan, hidrojen, ksenon, ozon ve diğer gazlardır. Bu gazlar arasında dünya hayatı ve insan için en önemli gaz oksijendir. Havanın normal bileşiminde bulunmayan gazların ve tozların canlılara, ekosisteme ve materyallere zarar verecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre atmosferde kalması hava kirliliği olarak tanımlanır (Tekbaş 2010).

Hava kirliliği, doğal olaylar veya insan kaynaklı olabilir. Örneğin, orman yangınları ve şimşekler gibi doğal aktiviteler atmosferin azot oranının artmasına neden olur. İnsan kaynaklı olarak bakılırsa, herhangi bir sebeple yakılan yakıtlar, fabrika ve ev bacalarından atmosfere salınan emisyonlar ve araçların egzozlarından çıkan gazlar havaya zehirli gazlardan olan karbon monoksit, kükürt dioksit ve azot oksitler gibi gazların bol miktarda karışmasına neden olur. Sonuçta atmosfere salınan gazlar havadaki gaz konsantrasyonunu değiştirerek hava kirliliğine sebep olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı standartlarına göre, hava kirliliği, havadaki yer seviyesi ozonu (O<sub>3</sub>), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksit (NO), kurşun (Pb) ve partiküller gibi bileşenlerin miktarlarına göre belirlenir (Robert-Lambach 2010).

Bu küçük partiküller dizel egzoz gazları, orman yangınları, sigara dumanı, yol tozları, rüzgarla taşınan tozlar, volkanik gazlar ve deniz buharlaşması gibi olaylar sonucu meydana gelen katı ve sıvı bileşenlerin atmosfere karışması ile oluşmaktadır. Partiküller, çaplarına göre kaba (çapları 2,5 µm - 10 µm arası), ince (çapları 2,5 µm'den küçük) ve çok ince (çapları 0,1 µm'den küçük) olmak üzere adlandırılabilirler (Seinfeld and Pandis 2006).

## 2.1 HAVA KİRLLETİCİ UNSURLAR

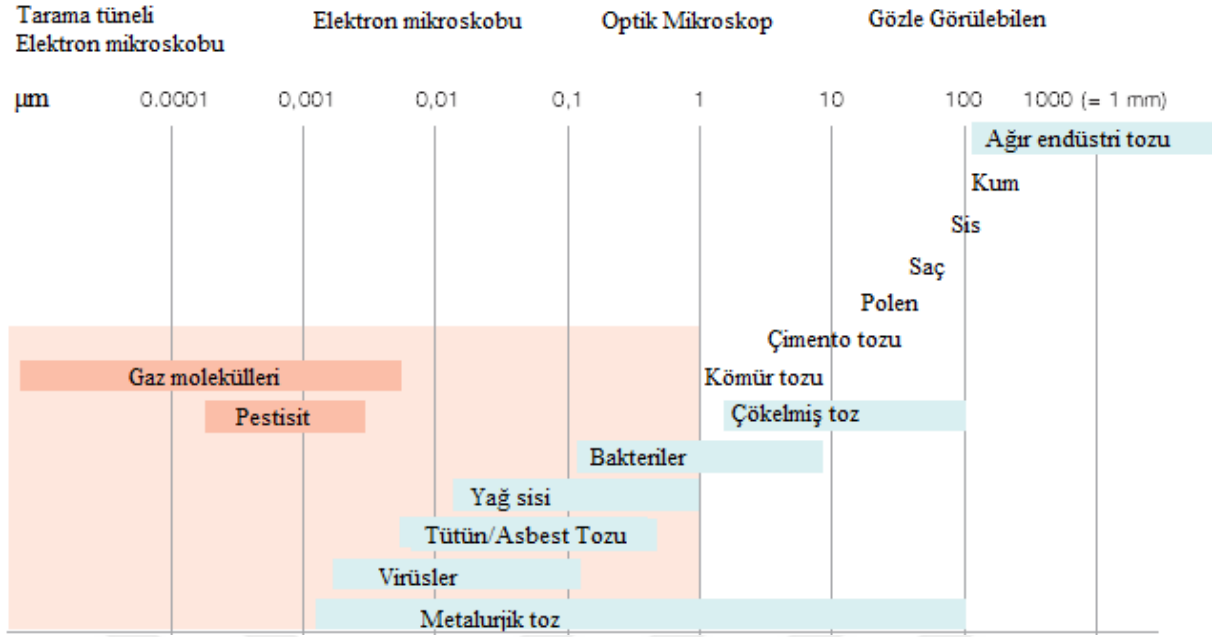
Hava kirliliği, atmosferdeki bir veya daha fazla kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ve çevre kalitesine zarar veren miktar ve sürelerde bulunması olarak tarif edilebilir. Bu kirleticiler, gaz (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>) ve toz (duman, metalik duman, uçucu kül, mist, aerosoller) halindeki kirleticiler olmak üzere genel olarak iki alt grupta toplanmaktadır. Bunun dışında ozon (O<sub>3</sub>) gibi fotokimyasal oksidantlar da ikincil hava kirleticileri olarak tanımlanmaktadır (Müezzinoğlu, 1987).

**Çizelge 2.1** Hava Kalitesi İndeksi. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)

| Hava Kalitesi İndeksi | SO <sub>2</sub>      | NO <sub>2</sub>      | CO                   | O <sub>3</sub>       | PM <sub>10</sub>     |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                       | 1 saatlik ortalama   | 24 saatlik ortalama  | 24 saatlik ortalama  | 1 saatlik ortalama   | 24 saatlik ortalama  |
|                       | [µg/m <sup>3</sup> ] | [µg/m <sup>3</sup> ] | [µg/m <sup>3</sup> ] | [µg/m <sup>3</sup> ] | [µg/m <sup>3</sup> ] |
| Çok İyi               | 0-50                 | 0-45                 | 0-2900               | 0-35                 | 0-55                 |
| İyi                   | 51-199               | 46-89                | 3000-8900            | 36-89                | 56-109               |
| Yeterli               | 200-399              | 90-179               | 9000-15900           | 90-179               | 110-159              |
| Orta                  | 400-899              | 180-299              | 16000-21900          | 180-239              | 160-219              |
| Kötü                  | 900-1499             | 300-699              | 22000-49900          | 240-359              | 220-799              |
| Çok Kötü              | >1500                | >700                 | >50000               | >360                 | >800                 |

### 2.1.1. Partikül Maddeler

Fotokimyasal sis içinde bulunan gaz haldeki birincil kirleticilerden ve bileşiklerden oluşmaktadır. Dumanlı sis bir çeşit hava kirliliğidir; “dumanlı sis”, duman ve sis kelimelerinin bir araya gelmesinden oluşur. Klasik dumanlı sis, bir bölgede yüksek miktarda yanan kömür sonucu duman ve kükürt dioksitten oluşan karışımdır. Modern dumanlı sis ise, genellikle kömürden ziyade taşıtlardan açığa çıkan egzoz gazlarından ve endüstriyel emisyonlardan oluşmaktadır; bunlar güneş ışığı ile etkileşime girerek ikincil kirleticileri oluşturmakta ve azot oksitlerin, uçucu organikler ile güneş ışığındaki reaksiyonları sonucunda fotokimyasal sisi oluşturmaktadır (Tecer 2000). Çapları 10 µm’den küçük, 2.5 µm’den büyük partikül maddeler “kaba partiküller” olarak adlandırılır. Daha çok kırma, öğütme işlemleri ve yol tozlarından kaynaklanır. Partikül boyutları çok geniş bir aralığa sahiptir. Toz, duman, is gibi bazı partiküller gözle görülebilecek kadar büyük olmasına rağmen ancak mikroskopla görülebilen boyutlarda partiküller de bulunmaktadır. Çapları 2.5 µm’den daha küçük partiküller ise “ince partiküller” olarak adlandırılır (June 1987). Şekil 2.1’de partikül maddelerin boyut dağılımları detaylandırılarak verilmiştir.



**Şekil 2.1** Partikül maddelerin boyut dağılımları (URL-3).

Partikül maddelerin çevresel etkileri şu şekilde sıralanabilir: Hava kirliliğinin, başta insan sağlığı olmak üzere görüş mesafesi, materyaller, bitkiler ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Katı yakıtlar ve akaryakıt gibi karbonlu maddelerin tam yanmamasından meydana gelen katı ve sıvı parçacıkların bir gaz karışımı olan duman, hava kirliliğinin bir çeşitlidir ve görüş uzaklığını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Hava kirliliğinin, sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahrip edici ve bozucu etkisi vardır. Bitkiler üzerinde ise öldürücü ve büyümelerini engelleyici olabilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği hem canlıların sağlığı açısından, hem de ekonomik yönden zarar vericidir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2013).

## 2.2 TROPOSFERİK ZENİT GECİKMESİNİN HESAPLANMASI

Troposfer, kuru hava ve su buharı karışımından oluşmaktadır. Kuru hava, atmosferdeki gaz yoğunluğuna, gaz dağılımındaki değişimlere bağlı olup, toplam atmosferik gecikmenin %90'nını oluşturur. Kuru havada bulunan gaz karışımı ideal gaz davranışı sebebiyle sebep olduğu gecikme miktarı yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir (Gürbüz 2015). Ölçü noktasında ölçülen basınç, sıcaklık ve nem ile zenit doğrultusunda %2 hata ile modellenebilmektedir. Alıcı ile uydu arasındaki, sinyal yolu boyunca, mevcut su buharı bileşeninin modellenmesi, su buharının yere ve zamana göre hızla değişim göstermesi

nedeniyle çok daha zordur. Su buharı bileşeni nedeniyle, gecikme orta enlemlerde, 5–30 cm olup, 2–5 cm duyarlılıkla belirlenebilmektedir.

Uydu ile alıcı arasında iletilen sinyalin yükseklik (eğim) açısı  $15^\circ$ 'nin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme çok büyük boyutlara ulaşmakta ve modellemesi daha da zorlaşmaktadır. Bunun sebebi ise yükseklik (eğim) açısı  $15^\circ$ 'nin altında olduğu durumlarda sinyalin troposferde daha uzun yol kat etmektedir. Troposferik gecikmenin zenit açısındaki değeri (uydunun yükseklik açısındaki değerine eşlenmemiş durumu, kısaca sinyalin başucu doğrultusundaki gecikme değeri) 2,2 m civarındadır. Yükseklik açısının  $0^\circ$ 'ye yakın olduğu durumlarda toplam zenit gecikmesi 25 m ile 85 m arasındadır (Özlüdemir 2004). Troposferik gecikmeyi kestirmek amacıyla pek çok standart troposfer model kullanılmaktadır (Hopfield, Saastamoinen, vb.). Troposferik modellerin kullanılmasıyla elde edilen troposferik gecikme değerleri, GNSS gözlemleri değerlendirilirken düzeltme olarak kullanılmaktadır. Burada amaçlanan, üretilen ve veri işlemede kullanılan modellerin gerçekçi gecikme değerleri üretebilmesidir. Ancak, uygulamada bu durum her zaman geçerli olamayabilir. Bu konudaki temel sorun troposferin ya da bütün olarak atmosferin doğasının tam olarak anlaşılammış olmasıdır. Bu sebeple uzun süreli meteorolojik gözlemlerden yararlanılarak, matematiksel bağıntılar olan yüzey modelleri geliştirilmiştir. Bir alt başlıkta yüksek doğruluğa sahip bu yüzey modellerinden güncel olarak kullanılanları tanıtılmıştır.

### 2.2.1 Yüzey Modelleri

Geliştirilmiş troposferik yüzey modelleri, en çok orta ve uzun menzilli GNSS baz gözlemleri için önemlidir (Özlüdemir 2004). Kısa mesafeli bazlar (3 km'den kısa) için aşağıda bahsi geçecek tüm yüzey modelleri aynı sonuçları vermektedir. Yaklaşık 3 km'lik mesafede bulunan iki konum aynı troposferik koşullardan etkilenmesi buna sebep olarak gösterilmektedir (Gürbüz 2015). Yüzey modellerinin değerlendirilmesi sonucu en önemli gelişmenin, düşük yükseklik (eğim) açılı gözlemlerin de uydu jeodezisi hesaplamalarına dahil edilebilmesine izin vermesi olarak görülmektedir. Düşük yükseklik (eğim) açılı gözlemlerin kullanılması, zenit (başucu) yönündeki troposferik gecikme düzeltmeleri ve istasyon yükseklikleri arasındaki kestirimlerin korelasyonlarını düşürürken aynı zamanda baz hatlarının tekrarlanabilirliğini artırır (Özlüdemir 2004). Bu sebeplerden dolayı, yüzey modelleri yüksek doğruluğa sahip jeodezik çalışmalar için çok önemlidir. Güncel çalışmalarda kullanılan en yüksek doğruluklu yüzey modelleri detaylıca aşağıda anlatılmıştır.

a) Hopfield Modeli

Bu model, yüzey ile yaklaşık 40 km yüksekliğe kadar tek katmandan oluşan çoklu tropik atmosfer modeline dayanır; hidrostatik ve ıslak kırınım bileşenleri tanımlarını kullanır (Hopfield 1971). Model ile ilgili formüller

$$N_h(h) = N_{h,0} \left(1 - \frac{h}{h_h}\right)^4 \quad h \leq h_h = 43\text{km} \quad (2.1)$$

$$N_w(h) = N_{w,0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4 \quad h \leq h_w = 12\text{km} \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) eşitliğindeki gibidir.

Bu formülde  $N_{h,0}$  ve  $N_{w,0}$  yüzeydeki hidrostatik ve ıslak kırınım parametrelerini tanımlarken,  $h$  kullanıcının referans elipsoidinden olan yüksekliğini simgeler.  $h_w$ ,  $h_h$  parametreleri, yüzeydeki kırınım  $N_{h,0}$  ve  $N_{w,0}$  değerlerinin ölçüldüğü yüzey seviyesinden itibaren ıslak ve hidrostatik ölçek yüksekliklerini simgeler. Örnek olarak, Janes et al. (1991) bu parametreleri metre cinsinden (2.3) eşitliğindeki gibidir.

$$h_h = 40136 + 148,72(T_0 - 273,16) \quad h_w = 11000 \quad (2.3)$$

(2.3) eşitliğindeki gibidir.

Burada  $T_0$ , ölçüm bölgesindeki Kelvin cinsinden sıcaklığı simgeler. Bu hidrostatik ve ıslak ölçek yükseklikleri, bir yıl boyunca batı yarımkürede 14 farklı istasyondan yapılan radyosonda gözlemleri sonucunda elde edilen verileri kullanılarak elde edilmiştir. Troposferik zenit (başucu) gecikmesi, yukarıda verilen formüllerden yararlanılarak (2.4) eşitliğindeki formül ile elde edilir.

$$d_{\text{trop}}^z = 10^{-6} \int_0^{h_h} N_{h,0} \left(1 - \frac{h}{h_h}\right)^4 dh + 10^{-6} \int_0^{h_w} N_{w,0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4 dh = \frac{10^{-6}}{5} [N_{h,0} h_h + N_{w,0} h_w] d_{\text{trop}}^z = d_h + d_w \quad (2.4)$$

Formülde kullanılan  $d_h$  ve  $d_w$  hidrostatik ve ıslak gecikmeyi simgeler. Hopfield tarafından tanımlanan yüzey modeli formülü ise (2.13) eşitliğindeki gibidir.

$$m_h(\varepsilon) = \frac{1}{\sin \sqrt{\varepsilon^2 + 6,25}} \quad m_w(\varepsilon) = \frac{1}{\sin \sqrt{\varepsilon^2 + 2,25}} \quad (2.5)$$

*b) Saastamoinen Modeli*

Bu model hidrostatik bileşen tanımlarını kullanır (Saastamoinen 1972). Saastamoinen modeli, hidrostatik basıncın modellenmesi için troposfer (0-10 km) içerisinde sabit sapma oranı modeli, tropopoz (10km) üzerinde ise izotermal (eş ısı) model kullanır. Sıcaklığın düşeye bağlı derecesi (2.6) eşitliğindeki gibidir.

$$T = T_0 + \beta(r - r_0) \quad (2.6)$$

Sonucunda oluşan basınç profili ise (2.7) eşitliğindeki gibidir.

$$P = P_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-Mg/R\beta} \quad (2.7)$$

Formülde kullanılan  $\beta$  sıcaklık sapma oranı,  $r$  dünyanın merkezinden yarıçap uzunluğu ( $r = R_e + h$ ,  $R_r$  dünyanın yarıçapı) ve  $r_0$  gözlem yapılan bölgenin yarıçapı (genellikle  $r_0 = R_e$ ),  $T_0$  bölgedeki sıcaklık,  $P_0$  yüzeydeki basınç,  $M$  havanın molar kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $R$  evrensel gaz sabitini simgeler. Buna karşılık gelen kuru kırınım (2.8) eşitliğindeki gibidir.

$$n-1 = (n_0-1) \left( \frac{T}{T_0} \right)^\mu \quad \mu = (-Mg/R\beta) - 1 \quad (2.8)$$

Basınç tropopoz üzerinde bulunduğu seviyeden hızlıca düşer.

$$P = P_T \exp \left[ \frac{-gM}{RT_T} (h - h_T) \right] \quad (2.9)$$

(2.9) eşitliğinde kullanılan alt- indis  $T$  tropopoz üzerindeki değerleri simgeler. Islak kırınım, su buharı  $e_0$ 'ın kısmi basıncına bağlı olarak değişir. Saastamoinen, troposferik gecikme için hem standart model hem de hassas model tanımlamıştır. Troposferik gecikme için tanımlanan standart model (2.10) eşitliğindeki gibidir.



$$\Delta_{saas}^{PD} = \frac{0.002277}{\cos z} \left[ p + \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - B \tan^2 z \right] + \delta R \quad (2.10)$$

Formülde kullanılan  $P$ ,  $e$  milibar,  $T$  Kelvin.  $Z$  görünen zenit (başucu) açısını simgeler. Eşitlikteki  $B$  katsayısı, alıcının deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak deney ile belirlenmiş katsayılarıdır ve çizelgeler biçiminde düzenlenmiştir. Eşitlikteki  $\delta R$ , alıcının deniz seviyesinden olan yüksekliği ve zenit açısına bağlı olarak çizelgeler biçiminde verilmektedir (Troller 2004).

$$\Delta_{kuru}^{PD} = \frac{0.002277}{\cos z} \left( p - 0.155471e - B \tan^2 z \right) + \delta R \quad (2.11)$$

$$\Delta_{islak}^{PD} = \frac{0.002277}{\cos z} \left( \frac{1255}{T} + 0.20547 \right) e \quad (2.12)$$

GNSS verilerinin değerlendirilmesinde, meteorolojik gözlemlerin olmadığı durumlarda, bir standart atmosferik parametreler ile (2.11) ve (2.12) eşitliğindeki Saastamoinen modeli kullanılabilir. Bunun için, istasyon yüksekliği  $h=0$  m,  $p=1013,25$  hPa,  $T=291,16$  K°, %50 nemlilik standartları kullanılır (Troller 2004, Lutz 2009).

Saastamoinen modelinin sonuçları, eğer atmosfer hidrostatik dengede ise ve yerçekimi yükseklikten bağımsız ise nemli havanın kırınımındaki  $P/T$  terimi, yüzeydeki toplam basınçla doğru orantılı olan zenit yönündeki yoğunluğun integrali kadar azalır. Aynı zamanda Saastamoinen, yerçekiminin etkin değerinin, basıncı elipsoit üzerindeki gözlem bölgesinin sadece enlem ve yüksekliğine bağlı gecikmeye çevirmek için kullanılan bir ifade tanımlamıştır. Saastamoinen  $10^\circ$ 'den daha büyük yükseklik (eğim) açıları ile çalıştığından dolayı  $10^\circ$ 'den küçük yükseklik (eğim) açılı gözlemler için zenit gecikmesi  $1/\sin(\epsilon)$  olmalıdır (Özlüdemir 2004).

Hopfield ve Saastamoinen modelleri, ışın hesabı sonuçları ile birlikte kuru gazların zenit etkileri konusunda santimetre-altı seviyede benzer sonuçlar üretir. Hopfield modeli ışın hesabının belirttiğinden farklı olarak hidrostatik zenit gecikmesinde küçük farklılık gösterir, düşük yükseklikteki gecikmeyi yok sayarken yüksek enlemlerdeki gecikmeyi gereğinden fazla gösterir. Belki de bu Hopfield formüllerindeki su buharı içeriğinin (nemli havanın molar

kütlesi) ve yükseklik ölçeği kurulumda kullanılan ölçüm bölgesinin orta seviyeli enlem yoğunluklarının dolaylı yoldan etkisidir. Molar kütle 28,9644 kg/kmol (kuru hava) ile 18,9644 kg/kmol (su buharı) arasında buhar yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Saastamoinen 1972).

### 2.2.2. İzdüşüm Fonksiyonları

Troposferik gecikme; zenit doğrultusundaki gecikme ve bunun gözlenen eğik doğrultulara izdüşümü olarak düşünülürse, bu iki değer oranı “izdüşüm fonksiyonu” (MF) olarak adlandırılır. Başka bir ifade ile farklı uydu yüksekliklerindeki eğik gecikmeler zenit doğrultusundaki gecikmeye izdüşüm fonksiyonu ile dönüştürülür. İzdüşüm fonksiyonu da kuru bileşenin izdüşüm fonksiyonu ve ıslak bileşenin izdüşüm fonksiyonu olarak planlanırsa (2.21) eşitliği yazılabilir.

$$\Delta^{PD} = \Delta_{kuru}^{PD} + \Delta_{ıslak}^{PD} = MF_{kuru}(z)\Delta_{0,kuru}^{PD} + MF_{ıslak}(Z)\Delta_{0,ıslak}^{PD} \quad (2.13)$$

Burada, MF(z)=izdüşüm fonksiyonu,  $\Delta_0^{PD}$  = zenit yol gecikmesi, z =uydu-alıcı doğrultusunun zenit açısını ifade etmektedir.

#### a) Niell izdüşüm fonksiyonu

Niell izdüşüm fonksiyonunda atmosferik gecikmeler, noktanın bulunduğu enlem, yükseklik ve tarihe göre modellenmiştir ve hem hidrostatik ve ıslak fonksiyonlar içerir. Niell, hidrostatik izdüşüm fonksiyonunun değişken güneş ışımalarından dolayı enlem ve mevsime, aynı zamanda atmosfer kalınlık oranının eğrilik yarıçapı yükseldikçe, azaldığından dolayı gözlem noktasının geoitten olan yüksekliğine bağlı olduğunu belirtmiştir. Fakat ıslak izdüşüm fonksiyonunda, su buharı hidrostatik dengede olmadığı için yüksekliğe göre dağılımının istasyon yüksekliğinden yararlanılarak tahmin edilebilmesi beklenemez (Niell 1996). Her enlem değeri için katsayılar, 365,25 günlük dönem ile sinüzoid olarak modellenmiştir Bir  $t$  anında  $\varphi_i$  enlemindeki hidrostatik izdüşüm fonksiyonu parametreleri (2.14) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$a_h(\varphi_i, t) = a_{h_{avg}}(\varphi_i) + a_{h_{amp}}(\varphi_i)\cos\left(2\pi\frac{doy-28}{365,25}\right) \quad (2.14)$$

Niell'in hidrostatik izdüşüm fonksiyonu, yüzey meteorolojisinden bağımsızdır. Bunun yerine atmosferin yüzeyden yaklaşık bir kilometre yükseklikteki, aşırı derecede mevsime bağlı olarak değişebilen durumunun etkisi büyüktür.

$$m_i(\varepsilon) = \frac{1 + \frac{a_i}{b_i}}{1 + \frac{c_i}{a_i}} + H_s \times 10^{-3} \left[ \frac{1}{\sin \varepsilon} - \frac{1 + \frac{a_{ht}}{b_{ht}}}{\sin(e) + \frac{a_{ht}}{b_{ht}}} \right] \quad (2.15)$$

$$a_{ht} = 2,53 \times 10^{-5} b_{ht} = 5,49 \times 10^{-3} c_{ht} = 1,14 \times 10^{-3}$$

(2.15) eşitliğinde son parantezindeki işlem sadece hidrostatik bileşene uygulanan analitik yükseklik düzeltmesi olarak adlandırılır. Niell, hidrostatik modelindeki değişimlerin sıcaklıktaki değişimlere sebep olan atmosferin kalınlık oranındaki değişimlerle nadiren eşleştiğini belirtmiştir. Bu sebeple yüzey fonksiyonunun değişimlerinin zaman çizelgesi, atmosferdeki yükseklik değişimine bağlı olarak değişen sıcaklığa bağlıdır (Niell 1996). Marini izdüşüm fonksiyonuna (Marini 1972) dayanan bu izdüşüm fonksiyonu Herring de olduğu gibi, üç sabit terimlidir fakat zenit seviyesinde birlik sağlanacak şekilde normalleştirilmiştir.

Işın hesapları, deniz seviyesinden 1000 km'ye kadar olan Dünya atmosferini temsil eden idealleştirilmiş ve kuru hava için kabul edilmiş orta dereceli enlem koşulları olan Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Atmosfer Standartlarından dokuz set standart sıcaklık ve bağıl nem profillerine göre hesaplanmıştır. Bu hesaplar, kuzey 15°, 30°, 45°, 60°, 75° enlemlerinde Ocak ve Haziran aylarında gerçekleştirilmiştir.

Niell, (1) kuzey ve güney yarımkürelerin ve bu yarımkürelerin mevsimsel davranışlarının ters simetriktir, (2) ekvator bölgesi, 15° kuzey enlem profili ile tanımlanmıştır ve (3) kutup bölgeleri, 75° kuzey enlem profiline göre tanımlanmıştır, varsayımlarını kabul etmiştir. Bu varsayımlara dayanarak elde edilen dokuz set katsayılar tarafından herhangi bir gün ve enlemden yapılan gözlemler için yüzey modelleri katsayıların doğrusal enterpolasyonları ile bulunmaktadır. Hidrostatik izdüşüm fonksiyonunda Ocak katsayıları ve Haziran katsayıları için ayrı ayrı enterpolasyon yapılmıştır. Fakat ıslak izdüşüm fonksiyonu için Ocak profilleri katsayılarına göre daha iyi olan Haziran profillerinin katsayıları kullanılmıştır. Mevsim ve enlem faktörlerinin yanında geoitten olan yükseklik değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Geoitten olan yükseklik için geçerli hidrostatik izdüşüm fonksiyonunun hassasiyeti, 1000

metredeki bağıl nem, sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak oluşturulmuş, dokuz standart sıcaklık ve bağıl nem profillerine ait ışın hesabının başında belirlenmektedir (Niell 1996).

*b) Global izdüşüm fonksiyonu*

Eylül 1999 ile Ağustos 2002 arasındaki dönemde, Vienna izdüşüm fonksiyonunda uygulanan strateji ile bulunan  $a_h$  ve  $a_w$  katsayıları, ECMWF (Avrupa Orta Mesafeli Hava Tahmin Merkezi) tarafından 40 yıllık basınç, sıcaklık ve nem profili değerlerinin analizi ile  $15^\circ \times 15^\circ$  küresel grid boyutlarında elde edilmiştir. Vienna izdüşüm fonksiyonundan alınan b ve c ampirik denklemleri ile a katsayısı sadece  $3,3^\circ$ 'lik öncül yükseklik (eğim) açısı alınarak ışın hesabına sokulmuştur (Boehm et al. 2006).

Dolayısı ile 312 farklı noktada her bir nokta için 36 aylık hidrostatik ve ıslak a parametresi değerleri elde edilmektedir. Hidrostatik katsayılar, Niell (1996) tarafından verilen yükseklik düzeltmesi kullanılarak ortalama deniz seviyesine indirilmiştir. Ortalama  $a_0$  değerleri, aşağıda verilmiş sinüzoidal fonksiyonun A yıllık genişleme değerleri, her bir grid noktasındaki a parametresinin zaman serilerine nümerik izdüşüm modelinde olduğu gibi uygun durumdadır. Her bir grid noktasındaki aylık değerlerin standart sapmalarında, ekvatorun enlem değerinden uzaklaştıkça Sibiry'a da görülen maksimum 8 mm değerine kadar artış görülmektedir. Islak bileşenin standart sapma değerleri ise ekvatorda 3 mm gibi küçük değerlerdir.

*c) Vienna izdüşüm fonksiyonu*

GNSS ve VLBI veri analizlerinin troposferik açıdan modellenmesi için geliştirilen izdüşüm fonksiyonlarında, radyosonda verileri ışın hesabında kullanılmaktadır. Örnek olarak; Niell İzdüşüm Fonksiyonu (NMF) (Niell, 1996), bir dizi enlem üzerinde yapılmış radyosonda verileri kullanılarak elde edilmiş yılın günü, istasyon enlemi, istasyon yüksekliği gibi parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Son yıllarda nümerik hava modelleri verilerini temel alan izdüşüm fonksiyonlarının geliştirilmesine önem gösterilmiştir (Niell, 2000). Eşitlik (2.16)'ta görülen Vienna izdüşüm fonksiyonunun temelindeki prensip, nümerik hava modeline direk olarak ışın hesabı uygulayarak ara adımları es geçmektir.

$$mf_{h,w} = \frac{1 + \frac{a}{b}}{\sin(e) + \frac{1 + \frac{b}{1+c}}{a}} \quad (2.16)$$

Islak ve hidrostatik izdüşüm fonksiyonlarında kullanılmış olan sürekli bölüm formülü yukarıdaki gibidir. Bu formül NMF ve IMF modellerinde de kullanılmıştır (Niell 2001b).

Vienna izdüşüm fonksiyonunda katsayılar nümerik hava modeline direk olarak ışın hesabı uygulanarak elde edilmektedir. Işın hesabı işleminde k seviyesindeki (yaklaşık 1000 hPa) kırınım içeriklerinde hidrostatik ve ıslak kırınım değerleri bulunmaktadır. Bu değerler (k-1) seviyesinde  $N_{Islak}$ ,  $N_{Hidrostatik}$ , n değerlerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Sonrasında bu seviyelerin yüksekliklerine Dünya'nın yarıçapı  $r_0$  eklenerek jeosentrik uzaklıklar bulunacaktır.

Işın hesabı sonucunda katsayıların belirlenebilmesinin bir diğer yolu ise, daha hızlı sonuç verir fakat doğruluğu ilk yöntemle nazaran daha düşüktür. Günümüzde bilgisayarların hızlı olduğu göz önünde bulundurulsa da ışın hesabı hala zaman almaktadır. Özellikle ışın hesabının küresel anlamda günde 4 kere ve her grid noktası için 10'ar defa tekrarlanması gerektiği düşünülürse ihtiyaç olan doğruluğu karşılayacak şekilde daha hızlı bir yöntemin kullanılması mantıklıdır. Her bir nokta için 10 tekrar yerine  $3,3^\circ$  yükseklik açısı temel alınarak işlemler yapılır. Bu sayede önceden tanımlanmış b, c katsayıları için hesap çok daha kolay olacaktır.

Hava kirliliğinin, özellikle  $PM_{10}$  miktarının artışına bağlı olarak troposferik zenit gecikmesinin değişimi, tez çalışma bölgesi için bahsedilen izdüşüm fonksiyonlarının en uygunu seçildikten sonra akademik GNSS değerlendirme yazılımları vasıtasıyla hesaplanmıştır.

### **2.3 AKADEMİK GNSS DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI**

Jeodezik uygulamalarda GNSS yöntemi ile toplanan ölçülerin değerlendirilmesinde genellikle ticari yazılımlar kullanılmaktadır. Ticari yazılımlar ile çözülebilen baz uzunlukları sınırlıdır. Günümüzde kullanılan bu tür yazılımlarla değerlendirilebilen en uzun baz büyüklüğü genellikle 1000 kilometrenin altındadır. Ayrıca bu yazılımlar kullanıcıya çok az müdahale seçeneği sunmaktadır. Ticari yazılımlar uzun baz çözümlerinde standart tanımlama kısıtlamalarından dolayı çözüm üretemezler. Diğer bir ifade ile uzun baz çözümleri için geliştirilen matematiksel yaklaşımlar ve kullanılan modeller ticari yazılımlara henüz entegre edilememiştir. Bu yaklaşım ve modellerin kullanıldığı ve çok daha uzun bazların çözümüne olanak sağlayan yazılımlar bilimsel (akademik) yazılımlar olarak adlandırılır ve bilimsel amaçlı akademik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Görmüş 2011).

Ticari yazılımlarda özellikle iyonosfer ve troposfer kaynaklı hataların giderilmesi için yalnızca ön tanımlı modellerle kullanılmaktadır. Bu modeller aracılığı ile kullanıcı iyonosferik veya troposferik etkilerin sonuca etkisini göremez. Fakat bilimsel (akademik) yazılımlarda iyonosferik modellenmesi için farklı modeller ve bu modellerin kabul aralıkları, hata payları kullanıcının tercihine sunulmaktadır. Troposferik zenit gecikmesinin belirlenmesi için farklı modeller ve izdüşüm fonksiyonları kullanılabilirken elde edilecek zenit gecikmelerinin zamansal çözünürlüğü de kullanıcıya bırakılmaktadır (Gürbüz 2015).

Uygulamalarında akademik yazılım tercih eden kullanıcılar birçok parametreye dikkat etmelidir. Farklı modeller kullanan yazılımlar problemlere farklı yaklaşmaktadırlar. Bu programlarla ulaşılan doğruluk düzeyleri yalnızca algoritmada kullanılan matematik modele bağlı değildir. Yazılımlar verileri değerlendirmede otomatik ve elle çözüm seçenekleri sunmaktadır.

Bu çalışmada iki farklı akademik GNSS değerlendirme yazılımı kullanılmasının sebebiyse ülkemizde daha önce GIPSY-OASIS II yazılımı kullanarak zenit gecikmesi değerinin hesaplanmamasıdır. Bu yüzden GIPSY-OASIS II yazılımıyla hesaplanan değerler ülkemizde daha önce zenit gecikmesi kestirimi için yüksek doğruluklu çözüm yaptığı akademik çalışmalarla karşılaştırılan GAMIT/GLOBK yazılımıyla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

### **2.3.1 GAMIT/GLOBK**

GAMIT/GlobK akademik GNSS değerlendirme yazılımı Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiş ve desteklenmektedir (Herring et al. 2015).

Değerlendirme aşamasının GAMIT kısmının temel çıktısı, parametre tahmini ve kovaryanslarından oluşan gevşek koşullu bir çözüm dosyasıdır. Bu dosya, sonrasında nokta koordinatlarının, hızlarının, uydu yörüngesi ve yer dönme parametrelerinin belirlenebilmesi için GLOBK aşamasında kullanılmaktadır.

Parametre tahmini sırasında L1 ve L2 faz gözlemlerinin çiftli farkları üretilmiş, iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları kullanılarak her gün için ağırlıklandırılmış en küçük kareler çözümleri oluşturulmuştur. Koordinat kestirimleri, zenit gecikmeleri ve gerçek tamsayı bilinmeyenleri çözülmüş, saat ve iyonosfer hataları elimine edilmiştir (Gürbüz 2015). Sonrasında

autcln, solve ve track modülleri kullanılarak, artık hatalar ve faz kayıklıkları onarılmıştır. AUTCLN modülü faz kayıklıklarını %99 oranda temizleyebilmektedir (Wei and Liu 2014).

Günlük zorlamasız çözümler için üretilen parametreler her noktanın 3 boyutlu Kartezyen koordinatlarını, her uydu için 6 yörünge elemanını, yer yönlendirme parametrelerini ve tam sayı faz belirsizliklerini kapsamaktadır. GAMIT yazılımında günlük çözümlerin üretilmesi aşamasında çeşitli kontrol Çizelgeleri kullanılmaktadır. Değerlendirme aşamasında kullanılacak bu Çizelgelardaki parametreler, kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Bu parametreleri içeren sesstbl (session table) ve sittbl (site control table) dosyaları çok önemlidir. Bu dosyalarda değerlendirme stratejisinin temellerini içerir ve sonuçlar buradaki parametrelere göre üretilir (Görmüş 2011).

### **2.3.2 GIPSY-OASIS**

GIPSY-OASIS II, yüksek hassasiyetli bir GPS noktası konumlandırma yazılımı NASA'nın Jet İtke Laboratuvarı (JPL) bilim adamları tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta GPS verilerini işlemek üzere geliştirilmiştir, ancak sonra SLR, TOPEX ve DORIS gözlemleri de işlenebilir hale getirilmiştir. Yazılım UNIX işletim sisteminde çalışmaktadır ve hem statik hem de kinematik moddaki verileri işlemektedir (Webb 1995, Gregorius 1996). GIPSY çiftli fark yöntemini kullanmayıp, bunun yerine saat parametreleri, jeodezik parametreler ile birlikte kestirilmektedir ve fark yöntemleri uygulanmadan taşıyıcı faz ve pseudorange verileri aynı anda işlenmektedir. (Blewitt 1998). Saat parametreleri, stokastik olarak kestirilirken ve yığınlar arasında öncül korelasyon olmamaktadır. Troposferik zenit gecikmesi, atmosferik türbülansın beklenen fiziği ile yakından ilişkili olan rasgele yürüyüş modeli tarafından stokastik olarak (yani, her epokta bir zamanla değişen bir parametre olarak) tahmin edilmektedir (Linkwitz and Hangleiter 2012).

GIPSY, parametreleri filtreleme ve yumuşatma ile kestirmektedir. Filtreleme, ölçümlerin zaman içinde ileri işleme tabi tutulması, çözümü biriktirmek ve her adım adımında yumuşatma katsayıları üretmek üzerine kurulmuştur. Yumuşatma, terminal çözümünde stokastik parametrelere Kare Kök Bilgi Filtresi (SRIF) bilgi uygulamak için düzeltme katsayıları kullanılarak biriken çözümün tüm zaman adımları boyunca çok büyük bir matrisin tersinden birinden çok sayıda küçük matrisin tersine çevrilmesi sorununa indirgenmesi için kullanılmaktadır (Hurst and Bar-Sever 1998, Bierman 1982). SRIF, hesaplamalı olarak verimli,

nümerik olarak çok kararlı ve Household dönüşümlerini kullanan hızlı bir algoritmadır. Matris inversiyonları, her parti için sıralı olarak üretilen sadece küçük matrisleri tersine çevirerek engellenmektedir (Gregorius 1996).

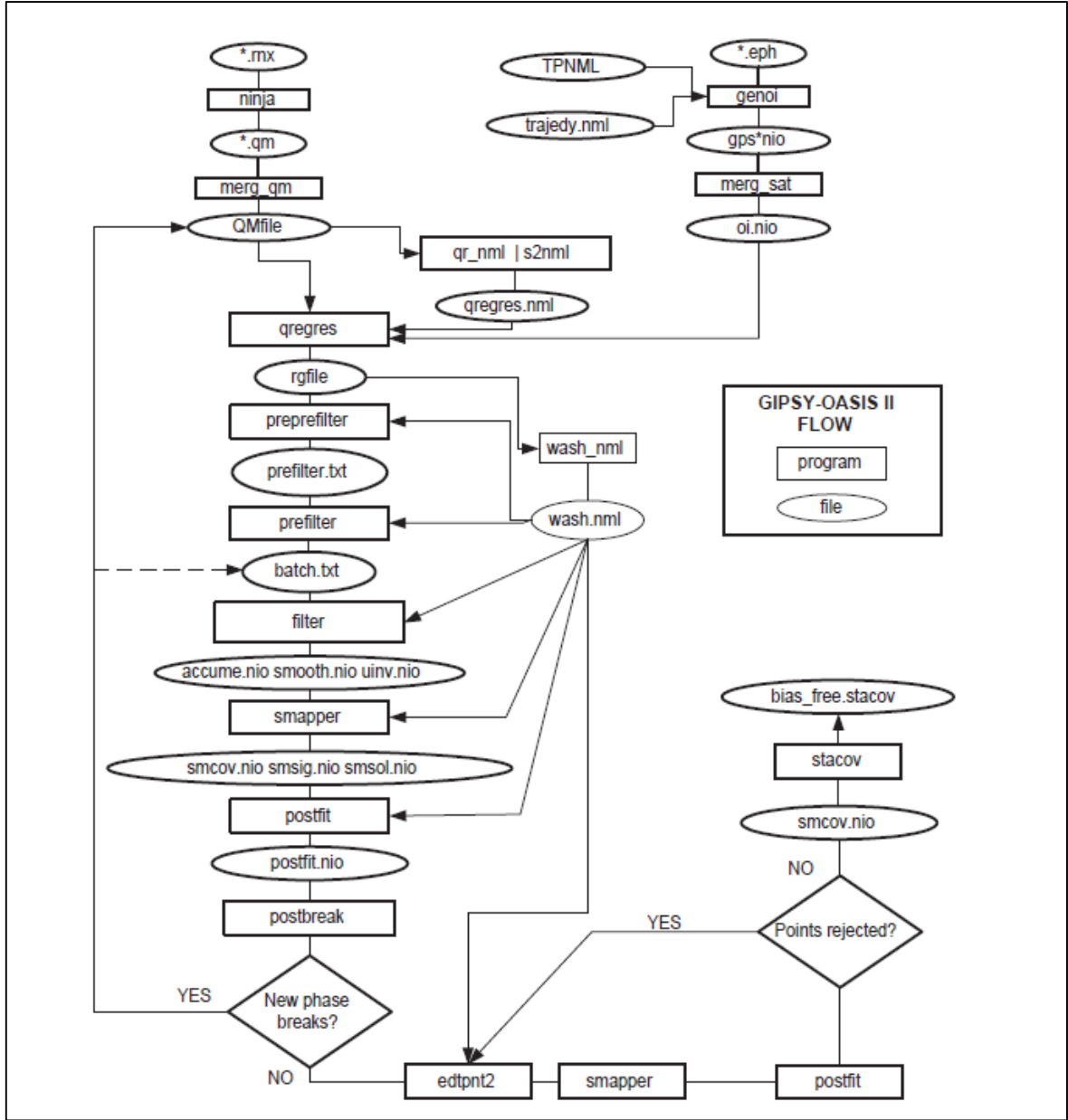
Tipik toplu aralık, 30 saniyelik verilerin incelenmesiyle elde edilen 5 dakikadır. Taşıyıcı faz ölçümleri için inceltme, 30 saniyelik verilerin ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir. Yanlış veri ölçümlerinin düzeltilmesi için enterpolasyon uygulanmaktadır. Tam sayı belirsizliği, GIPSY küresel analizi için zorunlu değildir, ancak çalışmalar, yerel ve bölgesel ağlar için yatay bileşenlerin doğruluğunu yaklaşık 1,5 ila 2 faktör arttırdığı görüşündedir. Bu çalışma esas olarak dikey konumlandırma hassasiyetini artırmayı amaçladığından, tam sayı belirsizliği elipsoidal yüksekliklerin tahmini için uygulanmamıştır (Blewitt 1994, 1995).

Bir GIPSY kullanıcısının yörünge kullanımı için çeşitli seçenekleri vardır. Yörüngeler, navigasyon dosyaları (yayın efemerisleri) kullanılarak uygun modellerle entegre edilebilir veya hassas yörüngeler, IGS veya JPL ftp sitelerinden elde edilebilir (IGS için SP3 formatı ve JPL için \* .eci \* .shad, \*tpeo.nml formatı). Bunlara ek olarak, GIPSY, yalnızca göksel ve yersel referans sistemlerinin titiz bir şekilde işlem görmüş doğru gözlem modeli, güvenilir veri düzenlemesi (döngü kayması, sapma çizgileri), kutup hareketi tahmini ve Dünya dönüş hızı gibi araştırma yazılımlarına özgü karmaşık modelleme serilerini de kullanmaktadır (Webb and Zumberge 1995).

### *GIPSY Modülleri*

GIPSY, çeşitli bireysel işlem modüllerinden oluşmaktadır. Bu modüller, çeşitli çerçeve dönüşüm parametrelerinin ve çerçeve dönüşüm modüllerinin kinematik modellenmesinin, plaka tektoniği ve sismik yer hareketlerinin hesaba katılması için kullanılmaktadır. UNIX komut satırından, parametre ve dosyaları girdi olarak işletilmektedir. Her modül, bir sonraki modül için girilen çıktı dosyalarını oluşturmaktadır. Farklı modüller, belirli bir amaca uygun sonuçların üretilmesi için toplu işleme olarak düzenlenmektedir. Bu çalışmada GPS ölçütlerinin jeodezik konumları GIPSY Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) modülüyle belirlenmektedir (Webb and Zumberge 1995, Gregorius 1996). Bireysel modüller tarafından üretilen ikili giriş ve çıkış dosyaları kısaca GIPSY akış şemasından takip edilebilmektedir (Şekil 2.2).





Şekil 2.2 GIPSY değerlendirme sürecini betimleyen akış şeması.

### Veri Giriş ve Düzeltme (*ninja*, *merge\_qm*, *weed\_qm*)

RINEX verileri *ninja* tarafından okunmakta ve düzenlenmektedir. Aykırılıkların belirlenmesi ve döngü kaymalarının düzeltilmesi için Turbo edit algoritması kullanılmaktadır. Taşıyıcı faz verileri ve pseudorange verileri istenilen çıkış aralığına enterpolasyon yapılmaktadır. Hızlı işlem için her bir istasyonun RINEX dosyası için ikili "hızlı ölçüm (quick measurement - *qm*)" dosyaları oluşturulur. *Merge\_qm*, *qm* dosyalarının bir listesini okumakta ve bunları *Qmfile* adlı tek bir *qm* dosyasına birleştirmektedir. *Weed\_qm*, \* .eci dosyasında olmayan uyduları *qm*

dosyasından kaldırılır. Yörüngeleri sabit tutarken, genellikle hassas bir \* .eci dosyasıyla kullanılmaktadır (Blewitt 1990 ).

#### *Fonksiyonel (Ölçüm ve Dünya) Modeli (qr\_nml, qregres)*

Fonksiyonel modelleme veya tasarım matrisi *qregres* tarafından hazırlanmaktadır. Öncelikle bir isim listesi dosyası, istasyonların sayısal değerlerini ve diğer bazı bilgileri içeren *qm* dosyalarını kullanarak *qr\_nml* tarafından oluşturulmaktadır. İstasyon bilgileri arasında istasyon adı, başlangıç koordinatları, kuru ve ıslak troposferik zenit gecikmeleri, anten faz merkezi varyasyonları ve benzeri bilgiler bulunmaktadır. Tasarım matrisi, sonraki filtreleme işlemi için sayısal değerlerinin yanı sıra kısmi türevleri içeren bir *regres* dosyasına kaydedilmektedir. Gözlemlere uyan deterministik modelin yanı sıra, *qregres* katı titreşimleri, okyanus yüklenmesini, dünya yönelimini ve faz merkezi değişimini, azimut ve yükselme açısının bir fonksiyonu olarak modellenmektedir.

#### *Parametre Tahmini (wash\_nml, preprefilter, prefilter, filter)*

Parametre kestirimi, *wash\_nml* tarafından oluşturulan ve *regres* dosyasını kullanarak oluşturulan *wash\_nml* adlı bir isim listesine ihtiyaç duymaktadır. Çeşitli GPS stratejileri (örneğin, PPP, RP) için çeşitli wash şablonları oluşturulmuştur. Bu isim listesi önemlidir çünkü içindeki bilgiler tüm parametre kestirimini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Örneğin, veri ağırlıkları, referans saati, rasgele yürüyüş tahminleri için işlem gürültüsü, saat parametreleri için beyaz gürültü sigma ve diğerleri ile açıklanan ön bilgi, *wash\_nml* dosyasına dahil edilmiştir. Bu değerlerin ayarları farklı amaçlara göre değiştirilebilir veya sınırlandırılabilir (Gregorius 1996).

*Preprefilter* ve *prefilter* modülleri, *filter* modülü için giriş dosyaları oluşturulur. *Preprefilter* modülü referans saati, troposferik sürüklenme, GPS güneş radyasyon basıncı için stokastik nitelikler içeren *regres* dosyasını kullanarak *prefilter* modülü için bir isim listesi oluşturur. *Prefilter*, *filter* için stokastik olaylar dosyası oluşturulur. Örneğin; stokastik olay dosyasında beyaz gürültü saati güncellemeleri ve rastgele yürüyen troposfer güncelleştirmeleri sağlanmaktadır. *Filter*, tahmini parametreleri, ön bilgi ve veri ağırlıklarını girdi olarak kullanarak SRIF'yi çalıştırılır. Öncül sigmalar, kestirimler ve kestirime ait sigmalar, filtre çalıştırılırken oluşturulabilen bir *filter.log* dosyasından ulaşılmaktadır.

### *Kovaryansların Düzeltilmesi ve Hesaplanması (smapper)*

Bir *smapper* günlük dosyası, *postfit* normalize edilmiş artık kareler toplamı ve yaklaşık ki-kare gibi yumuşatılmış parametrelerin yanı sıra bazı yararlı istatistikler sağlamaktadır. Ki-kare birim varyansını temsil eder ve gerçek hataları elde etmek için kestirimlerin biçimsel hatalarını ölçeklendirmede çok yararlıdır. Ayrıca, modellemenin uygun bir şekilde yapıldığını kullanıcıya bildirilmektedir.

### *Artıkların Hesaplanması (postfit)*

*Postfit*, *post-fit* veri artıklarını hesaplanmaktadır. *Pre-fit* ve *Post-fit* artıkların hesabı sırasında oluşturulan bir log dosyası ile elde edilebilir. Pseudorange ve taşıyıcı fazındaki kalıntılar, uydu numaralarına göre kayıt dosyasında listelenmektedir. Günlük dosyasında ortalama değerler ve *Pre-fit* ve *Post-fit* sonrası artıkların toplamı da verilmektedir.

### *Algılama (postbreak)*

*Postbreak*, *post-fit* kalıntılarındaki süreksizlikleri kontrol ederek, *ninja* yoluyla kaçırılan döngü kaymalarını tespit eder. Döngü kayması algılanırsa *qm* dosyasının değiştirilmesi gerekir. Dolayısıyla işleme, *qregres*'den başlayarak tekrar edilmelidir. İşlem, faz kesiklikleri tamamen sabitlenene kadar devam eder.

### *Veri Noktalarını Düzenleme ve Kaba Hataların Giderilmesi (edtpnt2)*

*Edtpnt2*, filtrelenmiş çözümden tek tek veri noktaları ekler veya kaldırır. Filtrelenmiş çözüm güncellenir ve kaba hatalar silinir. Noktaları düzenledikten sonra *smapper* ve *postfit*'in yeniden çalıştırılması gerekir. Aynı işlem, kaba hatalar tamamen kaldırılana kadar devam eder.

### *Sonuç çözümün çıkartılması (stacov)*

Kartezyen istasyon koordinatları *stacov* tarafından çıkarılır ve daha ileri düzeyde kullanılmak üzere bir metin dosyasına (*.stacov*) konur. İstatistikler, çeşitli koordinat sistemlerinde koordinatları, temel bileşenleri ve tekrarlama özelliklerini hesaplar. Jeodezik koordinatlar, *gd* dosyalarına kopyalanır. Elipsoidal koordinatlar *gd* dosyasında tutulur.

### *Hassas Nokta Konumlaması (PPP)*

PPP, NASA'nın Jet Propulsion bilimadamları tarafından geliştirilmiş yüksek hassasiyetli GPS konumlandırma modudur. Tek alıcı ve herhangi bir yer kontrolü olmadan 1 cm'den daha hassas doğruluk sağlamaktadır. PPP, pseudorange kullanılarak gerçek zamanlı olarak yapılan ortalama nokta konumlandırmadan farklıdır. PPP, kesin yörüngeler ve uydu saatleri ile birlikte taşıyıcı faz verileri ile günlük çözümler gerektirmektedir (Webb and Zumberge 1995.). Günümüzde PPP uygulamak için JPL hassas yörüngeleri, uydu saatleri ve GIPSY / OASIS II yazılımı kullanılmaktadır. Hassas yörünge ve saat bilgisi JPL ftp sitesinden elde edilmektedir. PPP'nin temeli, başka bir kaynaktan kesin yörüngeler ve saat bilgisi alınması sonucu, seçimli doğruluk (S/A)'nın etkisinden kaçınma fikrine dayanmaktadır. Hassas yörüngeleri ve saatleri tahmin etmek için en az yirmi veya daha fazla istasyon kullanılır ve bir ekstra istasyon eklenmesi yörünge tahmininde yalnızca küçük bir değişiklik yapar. Durum böyle olduğunda, küresel çözümü mevcut küresel ağ kullanarak bir çözüm olarak alabilir ve kullanıcının alıcının koordinatlarını yerel parametreler olarak düşünebiliriz. Bu tür bir hesaplama, fark yöntemi kullanan bir GPS yazılımı gerektirir. Dahası yörüngeler ve saatler, aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle aynı analiz merkezi tarafından belirlenmelidir (Blewitt, 1997). Böylece yer sabit çerçevesinde hassas yörüngeleri ve saatleri kullanarak tek bir alıcı çözümü üretmek, istasyonun verilerini, diğer tüm küresel ağ istasyonlarıyla çift fark tespiti kullanarak işlemekle eşdeğerdir. Bununla birlikte, gittikçe büyüyen küresel ağların boyutuyla birlikte, bir anda tüm ağ verilerini işlemek zorlaşmakta ve PPP, bu kadar büyük miktarda veriyi işlemek için hızlı bir alternatif yol olarak geliştiğini düşünülmektedir. Bir istasyonun işlenmesi birkaç dakika alır ve ekstra nokta eklemek katlanarak değil, doğrusal olarak işlem süresini arttırmaktadır (Blewitt 1989).

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

#### 3.1 ÇALIŞMA ALANI

Batı Karadeniz bölgesinde Zonguldak il sınırları içerisinde yer alan Merkez ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bölgenin arazi yapısı Karadeniz Bölgesi genelinde olduğu gibi dik ve eğimlidir. Şehir merkezi, deniz seviyesindedir ve tepelerle çevrelenmektedir.

Bu bölgede endüstriyel ve insanların sebep olduğu emisyonlar sebebiyle açığa çıkan kirleticiler, çökelmeye uğrayarak gerek meteorolojik koşullar gerekse topografik olarak şehir merkezinin etrafını çevreleyen tepelerden dolayı, şehir merkezinde toplanmaktadır. Çalışma alanında insanların sebep olduğu emisyonların ana nedeni özellikle kış aylarında bölgede yakıt kaynağı olarak taşkömürünün kullanılmasıdır.

2015 yılından itibaren Merkez ilçenin çoğu mahallesinde doğalgaz kullanımına başlanılsa dahi, hala doğalgaz kullanımına geçmemiş yerleşim yerlerinden dolayı hava kirliliği miktarı kademeli olarak azalsa da tam olarak standart değerlere indirgenmemiştir. Temiz bir havada bile gazların ışığı saçma özelliğinden (Rayleigh saçılması) dolayı görüş mesafesi birkaç yüz kilometre ile sınırlıdır. Havanın kirli olması durumunda, gazlar ile partiküllerin ışığı saçma ve absorblaması nedeniyle görüş mesafesi azalmaktadır (Zeydan 2014).

Partikül maddeler nedeniyle görüş seviyesinin azalması Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de, Zonguldak limanında çekilmiş fotoğraflarda görülmektedir.. Şekil 3.2’deki fotoğraf 28 Kasım 2016 tarihinde saat 10:00’ da, Şekil 3.1’deki fotoğraf ise 6 Eylül 2016 tarihinde saat 18:51’de çekilmiştir. Şekil 3.2’deki fotoğraf çekildiği esnadaki PM<sub>10</sub> konsantrasyonu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı internet sitesinden (<http://www.havaizleme.gov.tr>) elde edilen değere göre 191 µg/m<sup>3</sup> dür yani bu da Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hazırlamış olduğu Hava Kalitesi İndeksine göre “hassas” değer aralığına denk gelmektedir.

Şekil 3.1'deki fotoğrafın çekildiği andaki PM<sub>10</sub> konsantrasyonu ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı internet sitesinden elde edilen bilgiye göre 40 µg/m<sup>3</sup>'dür, yani Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hazırlamış olduğu Hava Kalitesi İndeksine göre "iyi" değer aralığına denk gelmektedir.



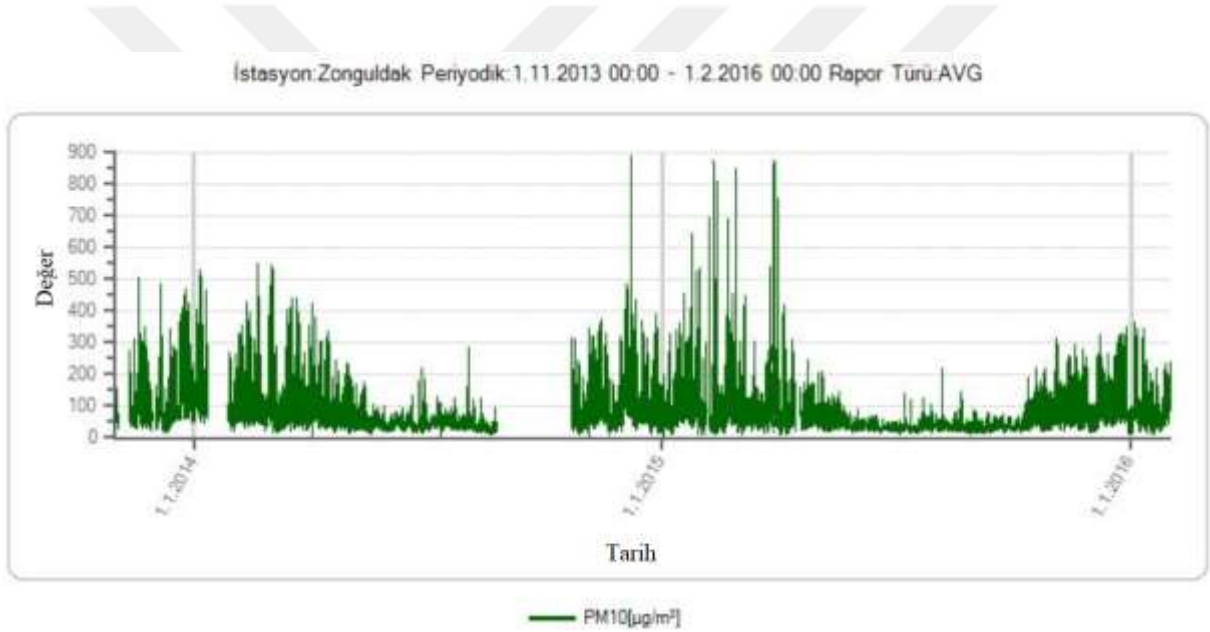
Şekil 3.1 Zonguldak'ta normal görüş mesafesi (PM<sub>10</sub> = 40 µg/m<sup>3</sup>).



Şekil 3.2 Zonguldak'ta düşük görüş mesafesi (PM<sub>10</sub> = 191 µg/m<sup>3</sup>) (URL-4).

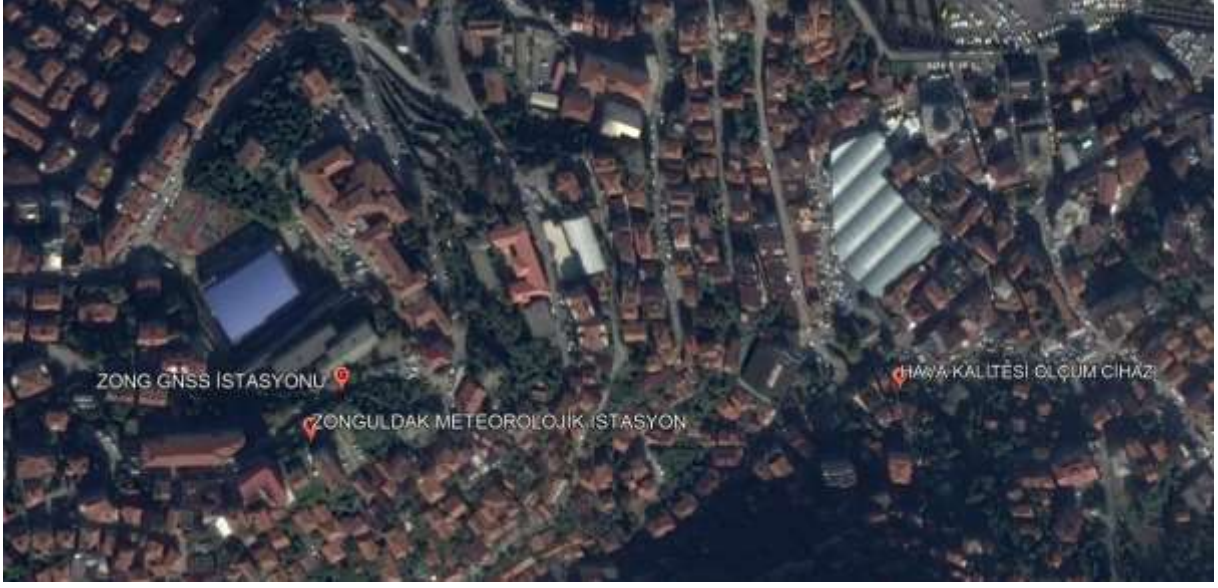
### 3.2 KULLANILAN VERİ SETLERİ

İl ve ilçe merkezlerinde hava kalitesinin belirlenmesi için ölçümler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait Hava Kalitesi İzleme İstasyonları aracılığıyla yapılmaktadır. 2014 ve 2015 yıllarına ait Zonguldak il merkezinde ölçülen ortalama, minimum, maksimum PM<sub>10</sub> konsantrasyonları, Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan (41° 26' 58" K, 31° 47' 00" D) elde edilen verilerle, 2014 ve 2015 yıllarına ait yapılmış olan PM<sub>10</sub> ölçümleri için, günlük ortalamalar kullanılarak zaman serisi grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 3.3'de PM<sub>10</sub> verilerindeki dalgalanmanın oluşmasının sebebi özellikle kış aylarında ısınma amaçlı yoğun kömür tüketimi olduğu düşünülmektedir. Yaz aylarında kömür tüketimi olmaması PM<sub>10</sub> değerlerindeki azalmayı göstermektedir.



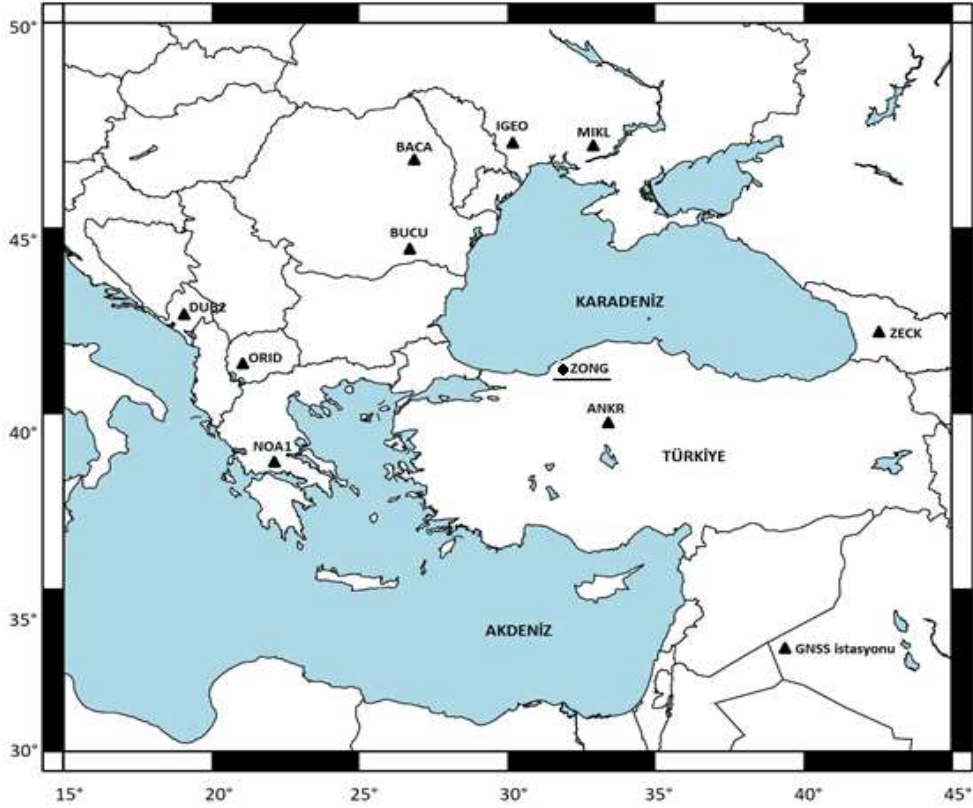
Şekil 3.3 Zonguldak Merkez ilçesi PM<sub>10</sub> zaman serisi.

Bu çalışmada Tusaga-Aktif ağına ait ZONG istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Özellikle bu istasyonun seçilme sebebi, Zonguldak, Merkez ilçesinde bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonu ve meteorolojik sensörlere olan yakınlığıdır, Şekil 3.4'te görülen GNSS istasyonu ile meteorolojik istasyon arasındaki mesafe 40 metre, GNSS istasyonu ile hava kalitesi ölçüm istasyonu arasındaki mesafe 440 metre, meteorolojik sensör ve hava kalitesi ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise 460 metredir. Bu istasyonlar birbirlerine çok yakın oldukları için üç veri seti yüksek korelasyonlu olacağı düşünüldüğü için bu bölge test alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 3.4 Kullanılan GNSS, Meteoroloji, Hava Kalite Ölçüm İstasyonları

Bu noktanın GAMIT-GLOBK yazılımı ile değerlendirilebilmesi için IGS (International GNSS Service) ve EPN (EUREF Permanent Network) ağlarına ait Şekil 3.5'te belirtilen istasyonlar kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Değerlendirme sürecinde kullanılan GNSS istasyonları.



Ağdaki noktalara ait gözlem verileri Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)'nin internet sitesinden elde edilmiştir. Buna ek olarak ıslak zenit gecikmesi değerlerinin karşılaştırılması için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden değerlendirilen zaman aralığına ait sıcaklık, basınç, nem ve yağış miktarı verileri temin edilmiştir.

### 3.3 GNSS DEĞERLENDİRMELERİ

Çalışmada ZONG istasyonundan elde edilen verilerinin GAMIT-GLOBK ve GIPSY-OASIS II akademik GNSS yazılımları yardımıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple ismi geçen akademik GNSS değerlendirme yazılımlarının, değerlendirmede kullanılacak strateji ve modülleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

GIPSY yazılımı ile değerlendirmelere başlanılmadan önce *sta\_id*, *sta\_pos*, *sta\_svec* ve *pcenter* metin dosyalarının kullanılacak istasyonlar için güncellenmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. *Sta\_id* dosyasının içerisinde istasyonun ismi ve bulunduğu ülke bilgisi bulunmaktadır (Şekil 3.6).

|      |                                                            |
|------|------------------------------------------------------------|
| YAKZ | 0 Yakutsk, Yakutia Sakha Republic, Russian Federation      |
| YAR1 | 0 Mingenew, Australia                                      |
| YAR2 | 0 Dongara, Western Australia, Australia                    |
| YAR3 | 0 Dongara, Western Australia, Australia                    |
| YARR | 0 Dongara, Western Australia, Australia                    |
| YBHB | 0 West of Yreka, California, USA                           |
| YEBE | 0 Yebes, Guadalajara, Spain                                |
| YEL2 | 0 Yellowknife, NT, CANADA                                  |
| YELL | 0 Yellowknife, NT, Canada                                  |
| YIBL | 0 Yibal, Fahud, Oman                                       |
| YKRO | 0 Yamoussoukro, Cote d'Ivoire                              |
| YONS | 0 SEOUL, Korea                                             |
| YOU1 | 0 Youngstown, New York, USA                                |
| YSSK | 0 Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, Russian Federation   |
| ZADA | 0 Zadar, Croatia                                           |
| ZAMB | 0 Lusaka, Zambia                                           |
| ZECK | 0 Zelenchukskaya, Karachaevo-Cherkesia, Russian Federation |
| ZEEB | 0 Zeebrugge, West-Vlaanderen, Belgium                      |
| ZIM2 | 0 Zimmerwald, Switzerland                                  |
| ZIMJ | 0 Zimmerwald, Bern, Switzerland                            |
| ZIMM | 0 Zimmerwald, Switzerland                                  |
| ZIMZ | 0 Zimmerwald, Bern, Switzerland                            |
| ZONG | 0 Zonguldak, Turkey                                        |

Şekil 3.6 GIPSY *Sta\_id* dosyası içeriği.

*Sta\_pos* dosyasının içinde ise istasyona ait güncel ve geçmiş kartezyen koordinat bilgisi bulunmaktadır. Yazılım güncellemeleri ile birlikte IGS, EUREF gibi ağlara ait istasyon bilgileri güncellenirken, yerel istasyon bilgilerinin kullanıcı tarafından güncellenmesi gerekmektedir (Şekil 3.7).

|      |      |    |    |    |    |       |            |              |               |              |                |                |               |                    |
|------|------|----|----|----|----|-------|------------|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------|--------------------|
| ZEEB | 2012 | 10 | 15 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 3986703.4806 | 223465.5953   | 4957020.9640 | 0.0000000E+00  | 0.0000000E+00  | 0.0000000E+00 | JPL GIPSY estimate |
| ZIMZ | 2009 | 05 | 12 | 15 | 23 | 2.00  | 1694.36    | 4331299.8025 | 567537.4011   | 4633133.7615 | -1.4005000E-02 | 1.7976000E-02  | 1.1857000E-02 |                    |
| ZIMZ | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 4331299.7546 | 567537.4865   | 4633133.8316 | -1.4005000E-02 | 1.7976000E-02  | 1.1857000E-02 |                    |
| ZIMJ | 2013 | 06 | 01 | 15 | 25 | 55.00 | 213.36     | 4331293.8128 | 567542.2841   | 4633135.8249 | -1.4290000E-02 | 1.7930000E-02  | 1.1321000E-02 |                    |
| ZIMJ | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 4331293.7801 | 567542.2935   | 4633135.8118 | -1.4290000E-02 | 1.7930000E-02  | 1.1321000E-02 |                    |
| ZIMM | 1995 | 02 | 20 | 05 | 01 | 40.00 | 1331.10    | 4331297.1962 | 567555.7835   | 4633133.8178 | -1.3459000E-02 | 1.8014000E-02  | 1.1967000E-02 |                    |
| ZIMM | 1998 | 10 | 13 | 07 | 20 | 38.00 | 5558.69    | 4331297.1401 | 567555.7643   | 4633133.8615 | -1.3459000E-02 | 1.8014000E-02  | 1.1967000E-02 |                    |
| ZIMM | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 4331296.9448 | 567556.0411   | 4633134.0446 | -1.3459000E-02 | 1.8014000E-02  | 1.1967000E-02 |                    |
| ZIMZ | 2004 | 03 | 29 | 04 | 39 | 38.00 | 3564.81    | 4331292.7149 | 567545.3238   | 4633135.9482 | -1.3942000E-02 | 1.8020000E-02  | 1.1747000E-02 |                    |
| ZIMZ | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 4331292.5754 | 567545.5899   | 4633136.0583 | -1.3942000E-02 | 1.8020000E-02  | 1.1747000E-02 |                    |
| ZONG | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 50.00      | 4870891.4490 | 2521417.3054  | 4200003.3969 | -1.3942000E-02 | 1.8020000E-02  | 1.1747000E-02 |                    |
| ZIMA | 2004 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 539172.0496  | -6265416.8795 | 1063002.8938 | 4.4389953E+00  | -2.3890583E+00 | 2.1756589E+00 | JPL GIPSY estimate |
| ZMEZ | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 2086335.6583 | 2155987.6001  | 5245818.8673 | -2.1501000E-02 | 1.2026000E-02  | 7.0290000E-03 |                    |
| ZMEN | 2004 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00  | 1000001.00 | 2886325.3926 | 2155998.4949  | 5245816.1818 | -2.1725563E-02 | 1.3064358E-02  | 4.9318460E-03 | JPL GIPSY estimate |

Şekil 3.7 GIPSY *Sta\_pos* dosyası içeriği.

*Sta\_svec* dosyasında anten faz merkezi kayıklık bilgisi bulunmaktadır (Şekil 3.8).

|      |      |      |    |    |    |    |      |              |           |        |        |        |        |  |
|------|------|------|----|----|----|----|------|--------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--|
| ZIMZ | ZIMZ | 2013 | 10 | 10 | 12 | 00 | 0.00 | 946080000.00 | TRM59800. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |
| ZIMJ | ZIMJ | 1999 | 02 | 03 | 00 | 00 | 0.00 | 389059200.00 | JPSREGANT | 0.0000 | 0.0000 | 0.0770 | 0.0000 |  |
| ZIMJ | ZIMJ | 2011 | 06 | 03 | 00 | 00 | 0.00 | 946080000.00 | JAVRINGAN | 0.0000 | 0.0000 | 0.0770 | 0.0000 |  |
| ZIMM | ZIMM | 1993 | 05 | 01 | 00 | 00 | 0.00 | 174096000.00 | TRM14532. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |
| ZIMM | ZIMM | 1998 | 11 | 06 | 00 | 00 | 0.00 | 20563200.00  | TRM29659. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |
| ZIMM | ZIMM | 1999 | 07 | 02 | 00 | 00 | 0.00 | 946080000.00 | TRM29659. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |
| ZIMZ | ZIMZ | 1998 | 09 | 03 | 00 | 00 | 0.00 | 946080000.00 | ASH701073 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |
| ZONG | ZONG | 2014 | 01 | 01 | 00 | 00 | 0.00 | 946080000.00 | TRM55971. | 0.0870 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |  |

Şekil 3.8 GIPSY *Sta\_svec* dosyası içeriği.

*Pcenter* dosyası içerisinde istasyona ait anten bilgisi bulunmaktadır. Anten modeli bilgisi istasyona ait RINEX dosyasından elde edilmektedir (Şekil 3.9).

|           |    |        |        |        |
|-----------|----|--------|--------|--------|
| TRM41249U | PC | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM41249U | R2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | C2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | C1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | DR | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | L1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | L2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | LC | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | P1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | P2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | PC | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | R2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM55971. | S2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM57971. | C2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TRM57971. | DR | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Şekil 3.9 GIPSY *Pcenter* dosyası içeriği.

İstasyon tanımlama işlemi yapıldıktan sonra zenit gecikmelerini hesaplamak için en güncel ve en yüksek doğruluklu izdüşüm fonksiyonu olan *VMF1GRID* modelinin güncel dosyaları JPL web sitesinden temin edilmiştir. Bölüm 2’de belirtilen GIPSY komutları sırasıyla ve otomatik olarak uygulanmasını *gd2p.pl* komutu sağlamaktadır. Burada kullanılmış olan diğer komutlar;

*gd2p.pl*

- *-i ZONG0010.15o* // Hangi gözlem dosyasının okunacağı,
- *-n ZONG* // Hangi istasyona ait bilgilerin bulunması gerektiği
- *-r 3600* // Kaç epok değerlendirme yapılacağı,
- *-type s* // Hangi değerlendirme yönteminin kullanılacağı,
- *-d 2015-01-01* // Çözümün hangi güne ait olduğu
- *-amb\_res 2* // Kaç adet iterasyon yapılması gerektiği
- *-ion\_2nd* // Yüksek dereceli iyonosferik düzeltmelerin kullanılıp kullanılmayacağını,
- *-shell\_height 450* // İyonosferde en yoğun hareketliliğin bulunduğu katmanın varsayılan yüksekliğinin kaç seçileceğini,
- *-tec\_mdl ionex* // IONEX dosyalarının kullanılıp kullanılmayacağı
- *-ionex\_file ./JPLG0010.15I* // Hangi IONEX dosyasının kullanılacağı
- *-pb\_min\_elev 10* // Minimum uydu yükseklik açısı
- *-trop\_map VMF1GRID* // Troposferik izdüşüm fonksiyonunun kullanılacağını belirleyen komutlardır.
- *-vmf1dir /home/ac/Downloads/VMF1GRID/*

Değerlendirme sonucunda ortaya çıkan TDP (Time Dependent Parameters) dosyasında *WETZTROP* ıslak zenit gecikmesi, *PB GPS <Uydu Numarası>* her uydu için faz farklılığı parametresi, *STA BIAS* istasyon saat parametreleri bulunmaktadır (Şekil 3.10).

|                |                    |                        |           |               |
|----------------|--------------------|------------------------|-----------|---------------|
| 481118400.0000 | 0.1000000000000000 | 0.102337613559326      | 1.007E-02 | WETZTROPZONG  |
| 481118400.0000 | 0.0000000000000000 | -1.041414742477864E-02 | 8.276E-05 | STA BIASZONG  |
| 481122000.0000 | 0.1000000000000000 | 9.904137827174371E-02  | 8.385E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481122000.0000 | 0.0000000000000000 | -9.449759068342204E-03 | 8.227E-05 | STA BIASZONG  |
| 481125600.0000 | 0.1000000000000000 | 9.600401550467796E-02  | 6.253E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481125600.0000 | 0.0000000000000000 | -5.439046520162008E-03 | 8.146E-05 | STA BIASZONG  |
| 481129200.0000 | 0.1000000000000000 | 8.960542346685364E-02  | 6.367E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481129200.0000 | 0.0000000000000000 | -5.585182810404639E-03 | 8.129E-05 | STA BIASZONG  |
| 481132800.0000 | 0.1000000000000000 | 9.728889996012424E-02  | 6.304E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481132800.0000 | 0.0000000000000000 | -8.182184161351139E-03 | 8.126E-05 | STA BIASZONG  |
| 481136400.0000 | 0.1000000000000000 | 9.898565188125341E-02  | 8.585E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481136400.0000 | 0.0000000000000000 | -1.121051203630477E-02 | 8.142E-05 | STA BIASZONG  |
| 481140000.0000 | 0.1000000000000000 | 0.104676275524918      | 5.357E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481140000.0000 | 0.0000000000000000 | -1.155887589527309E-02 | 8.114E-05 | STA BIASZONG  |
| 481143600.0000 | 0.1000000000000000 | 0.107673454887726      | 4.972E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481143600.0000 | 0.0000000000000000 | -1.005374649133277E-02 | 8.099E-05 | STA BIASZONG  |
| 481147200.0000 | 0.1000000000000000 | 0.112621446998365      | 6.694E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481147200.0000 | 0.0000000000000000 | -1.064390835955992E-02 | 8.111E-05 | STA BIASZONG  |
| 481150800.0000 | 0.1000000000000000 | 0.106086988182393      | 6.902E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481150800.0000 | 0.0000000000000000 | -6.459369980016402E-03 | 8.123E-05 | STA BIASZONG  |
| 481118399.7950 | 0.0000000000000000 | -2.591128854787249E-03 | -1.00     | PB GPS59 ZONG |
| 481118399.8000 | 0.0000000000000000 | -2.591128854787249E-03 | 7.928E-05 | PB GPS59 ZONG |
| 481150800.2000 | 0.0000000000000000 | -2.591128854787249E-03 | 7.928E-05 | PB GPS59 ZONG |
| 481150800.2050 | 0.0000000000000000 | -2.591128854787249E-03 | -1.00     | PB GPS59 ZONG |
| 481154400.0000 | 0.1000000000000000 | 9.596879868581681E-02  | 6.368E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481154400.0000 | 0.0000000000000000 | -8.022435876583375E-03 | 8.117E-05 | STA BIASZONG  |
| 481158000.0000 | 0.1000000000000000 | 9.640456481891611E-02  | 7.667E-03 | WETZTROPZONG  |
| 481158000.0000 | 0.0000000000000000 | -9.002609143728848E-03 | 8.130E-05 | STA BIASZONG  |

Şekil 3.10 TDP çıktı dosyası içeriği.

Ancak GIPSY-OASIS II yazılımını GAMIT yazılımından farklı olarak kuru (hidrostatik) gecikme değerini Saastamoinen formülü (Saastamoinen 1972) yerine yükseklik bileşenine bağlı olarak kestirilmektedir.

$$ZHD = 1.013 * 2.27 * \exp(-0.000116 * h) \quad (3.1)$$

Değerlendirme sonucu ortaya çıkan *stacov* dosyasında istasyona ait X,Y,Z Kartezyen koordinat bilgileri ve hataları bulunmaktadır. Şekilde sırasıyla X, Y ve Z bileşenlerine ait değerler ve değerlendirme sonucu bu bileşenlere ait hata miktarları verilmiştir. Verilen değerler metre cinsindedir. Örnek olarak ZONG istasyonuna ait X bileşeni 4070091,335 m ve X bileşenine ait hata miktarı  $\pm 0.00935$  m olarak verilmiştir (Şekil 3.11).

|                          |            |                       |        |                       |
|--------------------------|------------|-----------------------|--------|-----------------------|
| 3 PARAMETERS ON 15APR01. |            |                       |        |                       |
| 1                        | ZONG STA X | 0.407009133354539E+07 | +-     | 0.935009476706432E-02 |
| 2                        | ZONG STA Y | 0.252141742854419E+07 | +-     | 0.709762984785717E-02 |
| 3                        | ZONG STA Z | 0.420008358911704E+07 | +-     | 0.915408846540767E-02 |
| 2                        | 1          | 0.570501881177446E+00 |        |                       |
| 3                        | 1          | 0.912989379953737E+00 |        |                       |
| 3                        | 2          | 0.745864095717375E+00 |        |                       |
| ZONG ANTENNA LC          |            | 0.0000                | 0.0000 | 0.0070                |
| !up north east (m)       |            |                       |        |                       |

Şekil 3.11 GIPSY *Stacov* çıktı dosyası içeriği.

*Tdp* ve *Stacov* dosyaları çalışma kapsamındaki tüm günler için üretildikten sonra UNIX kabuk komutları kullanılarak ıslak zenit gecikmeleri ve kartezyen koordinatları tek bir dosyada toplanmıştır. Elde edilen zenit gecikmeleri (Şekil 3.10) ve konum bileşenleri gerekli analizlerin yapılması için Matlab ortamına aktarılmıştır. Zaman serisi oluşturulmuş ve PM<sub>10</sub> değerlerinin aşırı yüksek ve aşırı düşük olduğu zamanlar için analizler yapılmıştır.

GAMIT/GlobK yazılımı kullanılarak yapılan değerlendirmeler öncesinde değerlendirme ölçütlerinin belirlendiği ana dosyalar düzenlenmiştir. Bu dosyalardan *sesstbl* dosyası GAMIT ile GNSS verilerini değerlendirmenin strateji belirlenmektedir. Bu dosyalardan *sesstbl* dosyası, GAMIT ile GNSS verilerini değerlendirme stratejileri belirlenmektedir. Çizelge 3.1'de *sesstbl* dosyasındaki bazı önemli parametreler verilmiştir. Bu parametreler çalışma kapsamında da aynı şekilde kullanılmıştır (Şekil 3.12).

```

Session Table
Processing Agency = MIT
Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)
all a e l n w M rad1 rad2 rad3 rad4 rad5 rad6 rad7 rad8 rad9;
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

<< Controls must begin in column 1 >>

Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Type of Analysis = 1-ITER ; 1-ITER(outcln prefit and conditional redo) / 0-ITER (no postfit outcln) / PREFIT
AUTCLN redo = Y ; Y/N; 3rd soln only if needed, assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER'
Choice of Observable = LC_AUTCLN ; LC_AUTCLN (default), LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 soln from dual freq),
L2_ONLY (L2 soln from dual freq), L1,L2_INDEPENDENT (L1 + L2 from dual freq)
L1&L2 (same as L1,L2_INDEPENDENT but with lon constraint);
L1_RECEIVER (must add 'L1only' in outcln.cnd)
Station Error = ELEVATION 10 5 ; 1-way L1, a**2 + (b**2)/(sin(elev)**2) in mm. default = 10. 0.
AUTCLN reweight = Y ; Y/N; reweight data from outcln rms; replaces 'Use N-file' in releases < 10.32
AUTCLN Command File = outcln.cnd ; Filename; default none (use default options)
Declination Factor = 4 ; FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre declination Factor = 10 ; 1st iter or outcln pre, default same as Declination Factor
Quick-pre observable = LC_ONLY ; for 1st soln, default same as Choice of observable

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 0.00 ppm
Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; for LC_HELP, ignored for LC_AUTCLN
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; allow long baselines with LC_AUTCLN

Zenith Delay Estimation = Y ; Yes/No (default No)
Interval zen = 1 ; 2 hrs = 13 knots/day (default is 1 ZD per day)
Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
Elevation Cutoff = 10 ; default 0 to use value in outcln.cnd
Atmospheric gradients = Y ; Yes/No (default No)
Number gradients = 2 ; number of gradient parameters per day (NS or ES); default 1
Gradient Constraints = 0.01 ; gradient at 10 deg elevation in meters; default 0.03 m

Update T/L files = L_ONLY ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
Update tolerance = .3 ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m

Met obs source = GPT 50 ; hierarchical list with humidity value at the end; e.g. RNK UFL GPT 50 ; default GTP 50
if [humid value] < 0, use RNK, UFL(VMF1), or GPT2 if available
Output net = Y ; write the a priori net values to a 'z'-file (Y/N)
Use met.list = N ; not yet supported
Use met.grid = N ; not yet supported
DMap = VMF1 ; GMF(default)/VMF1/NMFH; GMF now invokes GPT2 if gpt.grid is available (default)
WMap = VMF1 ; GMF(default)/VMF1/NMFW; GMF now invokes GPT2 if gpt.grid is available (default)
Use map.list = N ; VMF1 list file with mapping functions, ZHD, ZWD, P, Pw, T, Ht
Use map.grid = Y ; VMF1 grid file with mapping functions and ZHD
Yaw Model = Y ; Y/N default = Y
Radiation Model for ARC = BERNE ; SPHRC/BERNE/BERN1,BERN2/UCLR1/UCLR2/SRDYB/SVBDY/NONE default = BERNE
Earth radiation model = NONE ; NCLE1/NCLE2/TUNE1/TUNE2/NONE default = NONE; MIT repro2 = NCLE1
Antenna thrust model = NONE ; ANTBK/NONE default = NONE; MIT repro2 = ANTBK
Inertial frame = J2000 ; J2000/B1950 default = J2000
Reference System for ARC = EGN08 ; WGS84/EGM96/EGN08/EGR08 default = EGM008; MIT repro2 = EGR08 (relativity)

```

Şekil 3.12 *sesstbl* dosya içeriği.

Her saatte bir zenit gecikmesi hesaplaması için “Interval Zen” seçeneği 1 olarak belirlenmiştir. Diğer bir önemli parametre ise “Tides applied” seçeneğidir. Bu kısımda örnek olarak okyanus yüklemesini modellenmek istemezse, parametre karşılığına 23 değeri yazılması gerekir veya tüm etkilerin dahil edilmesi isteniyorsa bu kısım 63 olarak işaretlenir. Okyanus modellenmesi de istenirse “otl.grid” dosyası yazılımın kullanım kılavuzunda belirtilen linklerden indirilmeli ve çalışma dosyasındaki gerekli dosya ile arasında link kurulmalıdır. Örnek *sesstbl* dosyası Şekil 3.13’de verilmiştir. Diğer önemli parametre seçim dosyası ise *sittbl* dosyasıdır. Bu dosyada “IGS core stations” kısmında sırası ile kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik bileşenlerinin verileri girilmiştir.

| SITE                             | FIX | --COORD.CONSTR.-- |       |       |
|----------------------------------|-----|-------------------|-------|-------|
| << default for regional sites >> |     |                   |       |       |
| ALL                              | NNN | 100.              | 100.  | 100.  |
| << IGb08 core sites >>           |     |                   |       |       |
| ALIC                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| ARTU                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| ASC1                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| ASPA                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| AUCK                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| BJFS                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| BOGT                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| BRAZ                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| BRFT                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| BRMU                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CAS1                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CCJM                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CEDU                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CHAT                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CHUR                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| COCO                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CONZ                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| CRO1                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| DARW                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| DAV1                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| DGAR                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| DRAO                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| DUM1                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| GLPS                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| GOLD                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| Goug                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| GUAM                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| GUAT                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| HOB2                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| HOFN                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |
| IISC                             | NNN | 0.050             | 0.050 | 0.050 |

Şekil 3.13 *sittbl* dosya içeriği.

Değerlendirmede GLOBK kullanılmayacaksa, dayalı dengeleme yapabilmek için datum tanımında kullanılacak IGS istasyonları buraya yazılmalıdır. Güvenirliği yüksek istasyonlara yüksek doğruluk verilmelidir. İstasyon ve uydu koordinatları sıkı bir şekilde belirlenmez. GAMIT çözümlerinde baz bileşenleri çok yüksek doğrulukla belirlenir ve yine bu çözümlerde

referans sistemi tanımlı değildir. Sh\_gamit komutu kullanılarak yapılan otomatik değerlendirmeler sonucunda Met\_Util modülünden yararlanılarak toplam, ıslak ve kuru zenit gecikmeleri belirlenmiştir. Şekil 3.14’de elde edilen zenit gecikmelerinin bulunduğu met\* dosyasının bir örneği bulunmaktadır.

```

* Estimated atmospheric values for CORU. Height estimate: 922.1000 +/- 0.0130 m.
* METUTIL Version 3.0 2009-08-27
* Input Files: ekaraa.001 zcoru4.001 ZTD-File signal scaled by 1.0
* Yr Day Hr Mn Sec Total Zen Met Zen Sig Zen PW Sig PW (nm) Press (hPa) Temp (K) ZHD (nm) Grad NS Sig NS Grad EW Sig EW (nm)
2014 1 0 0 0. 2131.20 46.78 10.10 7.27 1.57 914.90 276.90 2004.50 -8.00 15.00 -5.60 15.98
2014 1 1 0 0. 2129.90 45.40 6.00 7.07 0.93 914.90 276.90 2004.50 -7.85 15.01 -5.49 15.83
2014 1 2 0 0. 2128.30 43.80 5.48 6.82 0.84 914.90 276.90 2004.50 -7.71 15.02 -5.38 15.76
2014 1 3 0 0. 2128.10 43.68 6.80 6.79 1.06 914.90 276.90 2004.50 -7.56 15.03 -5.26 15.69
2014 1 4 0 0. 2127.40 42.90 5.49 6.68 0.84 914.90 276.90 2004.50 -7.42 15.03 -5.15 15.61
2014 1 5 0 0. 2126.70 42.20 4.58 6.57 0.70 914.90 276.90 2004.50 -7.27 15.04 -5.04 15.54
2014 1 6 0 0. 2126.00 41.50 5.78 6.46 0.89 914.90 276.90 2004.50 -7.12 15.05 -4.92 15.47
2014 1 7 0 0. 2124.70 45.20 5.30 7.04 0.83 914.90 276.90 2004.50 -6.98 15.06 -4.81 15.40
2014 1 8 0 0. 2127.60 43.10 5.00 6.71 0.70 914.90 276.90 2004.50 -6.83 15.07 -4.70 15.32
2014 1 9 0 0. 2129.50 45.00 6.20 7.01 0.97 914.90 276.90 2004.50 -6.69 15.08 -4.59 15.25
2014 1 10 0 0. 2127.00 43.30 4.00 6.74 0.75 914.90 276.90 2004.50 -6.54 15.08 -4.47 15.18
2014 1 11 0 0. 2126.50 42.00 5.20 6.54 0.81 914.90 276.90 2004.50 -6.40 15.09 -4.36 15.10
2014 1 12 0 0. 2124.00 39.50 5.90 6.15 0.92 914.90 276.90 2004.50 -6.25 15.10 -4.25 15.03
2014 1 13 0 0. 2124.70 40.20 5.00 6.26 0.78 914.90 276.90 2004.50 -6.10 15.11 -4.14 14.95
2014 1 14 0 0. 2127.50 43.00 4.78 6.70 0.73 914.90 276.90 2004.50 -5.96 15.12 -4.02 14.88
2014 1 15 0 0. 2128.10 43.60 5.20 6.79 0.81 914.90 276.90 2004.50 -5.81 15.13 -3.91 14.80
2014 1 16 0 0. 2131.50 47.00 5.00 7.32 0.78 914.90 276.90 2004.50 -5.67 15.13 -3.80 14.72
2014 1 17 0 0. 2131.60 47.10 4.58 7.34 0.70 914.90 276.90 2004.50 -5.52 15.14 -3.69 14.65
2014 1 18 0 0. 2130.00 45.50 4.98 7.09 0.76 914.90 276.90 2004.50 -5.38 15.15 -3.57 14.57
2014 1 19 0 0. 2130.30 46.00 4.48 7.17 0.69 914.90 276.90 2004.50 -5.23 15.16 -3.46 14.49
2014 1 20 0 0. 2131.40 46.90 5.38 7.31 0.83 914.90 276.90 2004.50 -5.08 15.17 -3.35 14.42
2014 1 21 0 0. 2131.20 46.70 6.00 7.27 0.93 914.90 276.90 2004.50 -4.94 15.18 -3.24 14.34
2014 1 22 0 0. 2135.20 50.70 5.58 7.90 0.86 914.90 276.90 2004.50 -4.79 15.18 -3.12 14.26
2014 1 23 0 0. 2132.80 48.30 6.50 7.52 1.01 914.90 276.90 2004.50 -4.65 15.19 -3.01 14.18
2014 2 0 0 0. 2138.10 45.60 0.60 7.10 1.34 914.90 276.90 2004.50 -4.50 15.20 -2.90 14.10

```

Şekil 3.14 Met\_Util modülünü kullanımı sonucunda elde edilen met dosyası içeriği.

Çizelge 3.1 GAMIT ve GIPSY ile yapılan değerlendirmeler de kullanılan parametreler.

| Parametre                            | Tercih edilen değer               |                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
|                                      | GAMIT/GLOBK                       | GIPSY-OASIS II      |
| Choice of Experiment                 | DD                                | PPP                 |
| Interval Zenith Delay                | 1 saat aralıklarla                | 1 saat aralıklarla  |
| Zenith Constraints                   | 0,50                              | 0.50                |
| Yükseklik (eğim) açısı               | 10 derece                         | 10 derece           |
| Uygulanan Yüklenme Etkileri          | 63 (tümü)                         | Yok                 |
| Output                               | ZTD, ZWD                          | Sadece ZWD          |
| Kuru ve ıslak izdüşüm fonksiyonu     | VMF1/GMF/NMF                      | VMF1                |
| Efemeris Bilgisi                     | IGS Hassas Efemeris               | JPL Hassas Efemeris |
| İyonosfer çözümü                     | İyonosferden bağımsız kombinasyon | IONEX modeli        |
| 2. ve 3. Derece iyonosferik düzeltme | Evet                              | Evet                |

Çizelge 3.1’de verilen parametrelerden, Choice of Experiment, değerlendirmede kullanılacak çözüm stratejisini, Zenith Constraints değerlendirme sonucu elde edilecek zenit gecikmesi miktarlarına uygulanacak zorlama miktarını, Output değerlendirme sonucu hangi tür zenit gecikmelerinin elde edildiğini betimlemektedir. Buna ek olarak İyonosfer çözümü başlığında

GAMIT/GlobK yazılımı iyonosferden bağımsız faz kombinasyonu uygulamakta fakat GIPSY-OASIS II yazılımı iyonosferik gecikme için IONEX dosyasını kullanmaktadır. IONEX dosyası Global Ionospheric Maps olarak adlandırılan iyonosfer modelidir.

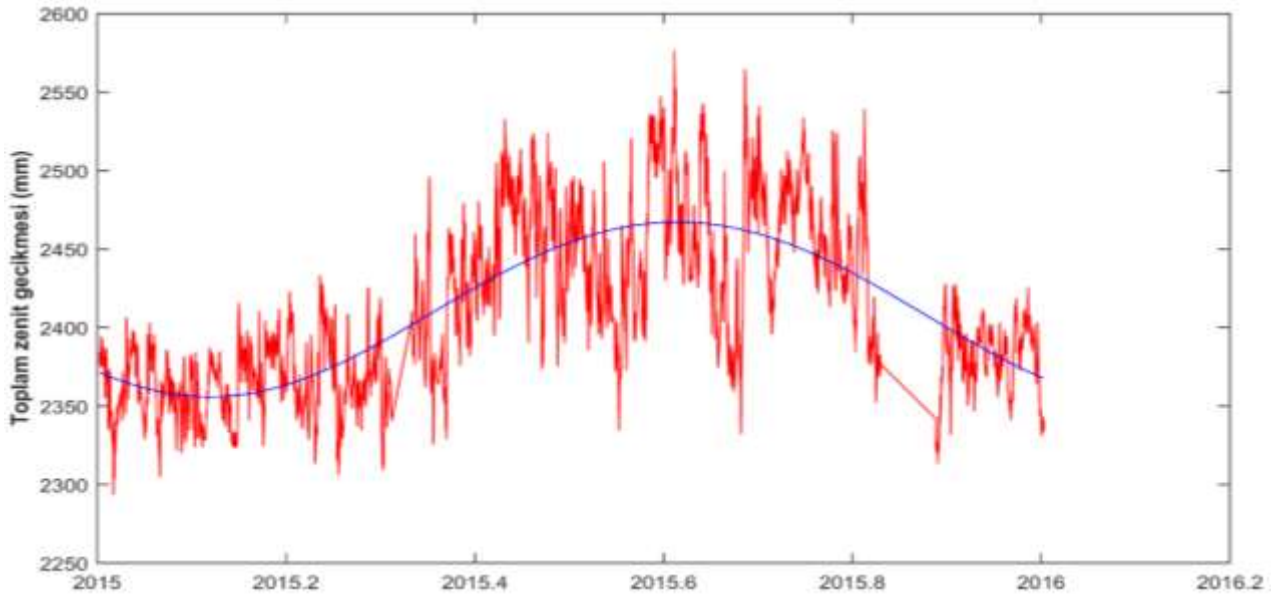




## BÖLÜM 4

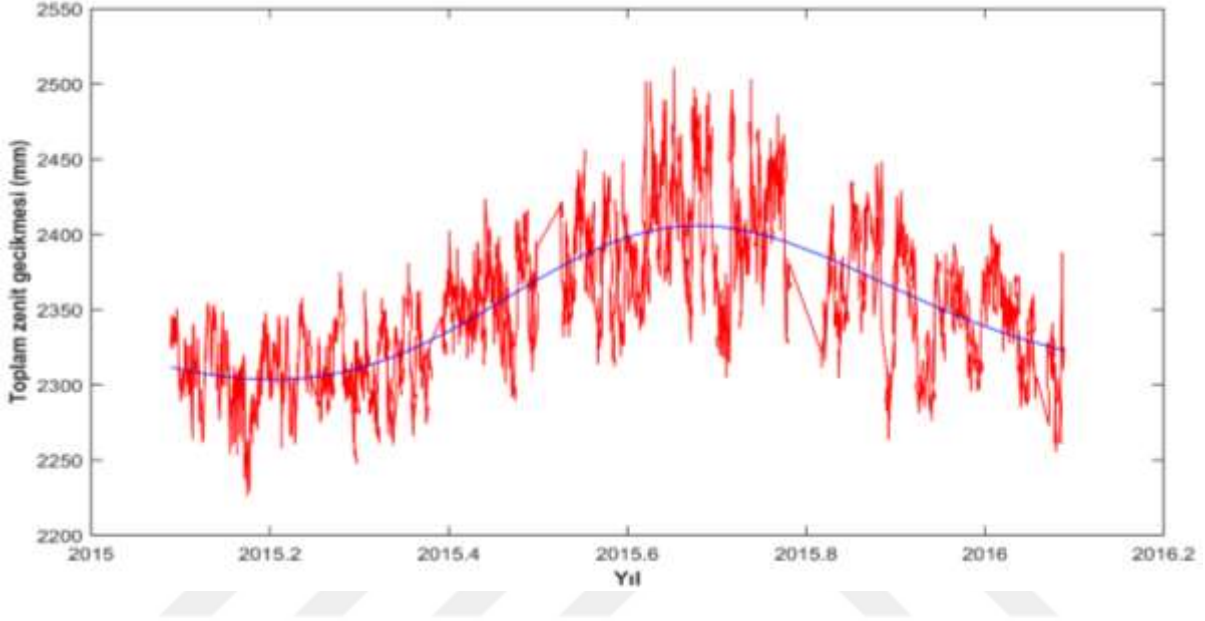
### ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada ZONG istasyonuna ait iki yıllık gözlem verileri GIPSY-OASIS II ve GAMIT/GlobK paket yazılımları yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuç ürün olarak ZONG istasyonuna ait konum bileşeni ve zenit gecikmeleri elde edilmiştir. GAMIT/GLOBK ve GIPSY-OASIS II akademik GNSS değerlendirme yazılımlarının zenit gecikmesi miktarı kestirimlerinin doğruluklarını karşılaştırmak için 2015 yılına ait veriler değerlendirilerek incelenmiştir. Şekil 4.1’de GAMIT/GLOBK yazılımı ile elde edilen toplam zenit gecikmesi miktarını düşey eksende belirtilirken, yatay eksen ise ay cinsinden zamanı belirtmektedir. Şekilde toplam zenit gecikmesinin yaz ve kış aylarında farklı olmasının sebebi yaz aylarında sıcaklık, basınç ve nem miktarlarının kış aylarına göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1’de 2015.8 – 2016 tarihleri arası görülen veri kayıklığının sebebi ise TUSAGA’dan kaynaklanan aksaklık sebebi ile o günlere ait gözlem dosyalarının eksik olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1’de GAMIT/GlobK yazılımıyla sadece 2015 senesine ait veriler değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Toplam zenit gecikmesinin 2015 yılı içindeki değişiminin GAMIT/GlobK değerleri.

Şekil 4.2’de düşey eksen, GIPSY-OASIS II yazılımı ile 2015 senesine ait elde edilen toplam zenit gecikmesi miktarını, yatay eksen ise ay cinsinden zamanı belirtmektedir. Şekil 4.2’de toplam zenit gecikmesinin yaz ve kış aylarında farklı olmasının sebebi yaz aylarında sıcaklık, basınç ve nem miktarlarının kış aylarına göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak; 2015.8 – 2016 tarihleri arası görülen veri kayıklığının sebebi ise o günlere ait gözlem dosyalarının eksik olmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4.2** Toplam zenit gecikmesinin 2015 yılı içindeki değişiminin GIPSY-OASIS II değerleri.

ZONG istasyonuna ait toplam zenit gecikmesi iki akademik yazılım ile hesaplandıktan sonra strateji farklılıklarının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İki yazılımla hesaplanan gecikme değerleri Şekil 4.3’te zaman serisi olarak verilmiştir. İki veri seti arasındaki uyum kontrolü için genel ve geçerli bir yöntem, ‘regresyon katsayısı’ diye bilinen değerdir. Regresyon katsayısını bulabilmek için kullanılan referans değer, ölçü değerlerinin ortalamasıdır.

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (4.1)$$

Formülü ile verilir. Daha sonra  $y_i$  ve  $\bar{y}$  değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı;

$$\delta_y = \sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2 \quad (4.2)$$

bulunur. Benzer biçimde uyum fonksiyonu  $f(x_i)$ ;

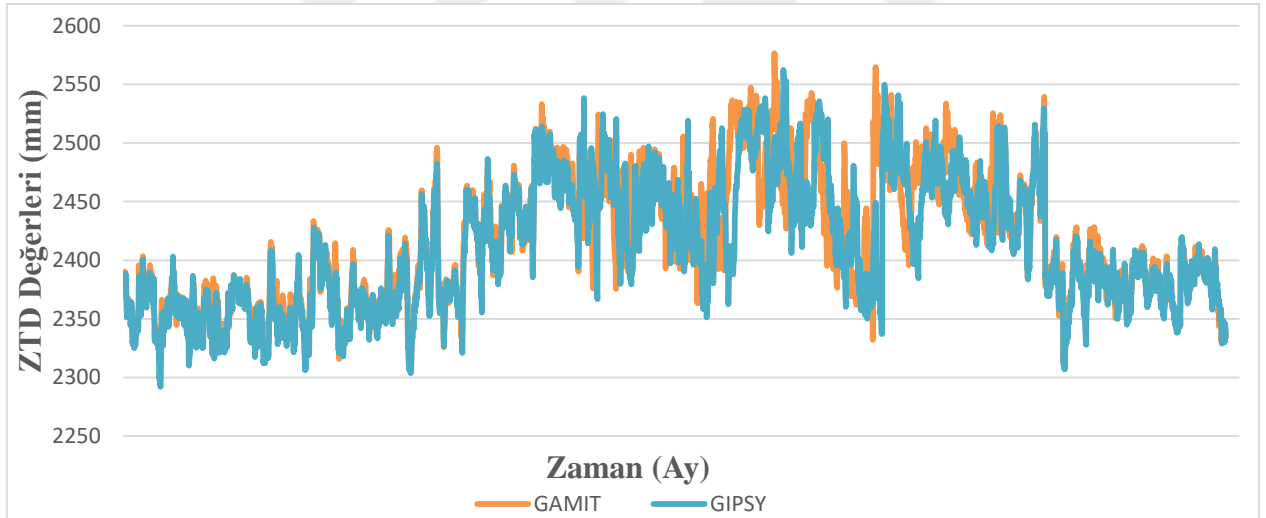
$$\delta_f = \sum_{i=1}^N [f(x_i) - \bar{y}]^2 \quad (4.3)$$

biçimindedir ve bu iki değerin kullanılması ile regresyon katsayısı;

$$r = \sqrt{\frac{\delta_f}{\delta_y}} \quad (4.4)$$

ile belirlenir (Görmüş 2006).

Yapılan bu işlem sonucundan iki veri seti %84 uyumlu çıkmıştır. Bu yüksek korelasyondan dolayı bu aşamadan sonra sadece GIPSY-OASIS II analizleri kullanılmıştır.



**Şekil 4.3** Toplam zenit gecikmesinin 2014/2015 yılı içindeki değişiminin GIPSY-OASIS II ve GAMIT/GlobK ile karşılaştırılması.

Bu sonuçlar yıllık olarak analiz edilerek zaman serisine ait faz, genlik ve trend değerleri aşağıdaki harmonik fonksiyondan yararlanılarak elde edilmiştir.

$$ZWD_t = a + bt + \sum_{i=1}^2 [S_i \sin(2\pi(t - t_0) / p_i + \phi_i)] + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Formüldeki  $t$  zamanı,  $t_0$  1 Ocak 2015,  $a$  sabit katsayıyı,  $b$  trendi,  $S_i$ ,  $p_i$ ,  $\varphi_i$  genlik, periyot ve faz değerlerini simgelerken ( $i=1$  yıl),  $\varepsilon_t$  ise gürültüyü simgelemektedir. Zenit gecikmesi değerleri, en küçük kareler yönteminden yararlanılarak yıllık ve yarıyıllık genlik, faz ve hata miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Çizelgede trend değerleri milimetre cinsinde 1 yıllık değişim miktarını belirtmektedir. Faz değerleri ise 360 derecelik bir açı diyagramı bir yılın ayları olarak kullanılmakta ve elde edilen değerler yılın hangi ayında minimum miktarda toplam zenit gecikmesi olduğunu hesaplamaktadır. Bu formülasyon sonucu elde edilen faz değerleri incelendiğinde minimum toplam zenit gecikmeleri yılın Şubat ayında görülmektedir.

**Çizelge 4.1** Farklı yazılımlar ile elde edilen ZWD değerinin mevsimsel farklılıkları.

| Yazılım        | Trend (mm/yıl) | mTrend | Faz (°) | mFaz | Genlik (mm) | mGenlik |
|----------------|----------------|--------|---------|------|-------------|---------|
| GAMIT/GLOBK    | 3.72           | 0.9    | 48.86   | 0.01 | 56.6        | 0.7     |
| GIPSY-OASIS II | 5.63           | 0.8    | 51.01   | 0.02 | 48.1        | 0.8     |

Bu çalışmada 1 Ocak 2014, 31 Aralık 2015 tarihleri arasında test bölgesi olarak seçilen Zonguldak ili Merkez ilçesinde yüksek  $PM_{10}$  değeri saptanan günler için saatlik değişimler irdelenmiştir. Islak zenit gecikmesini etkileyen sıcaklık, basınç ve nemlilik değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilerek, yüksek  $PM_{10}$  değerine sahip günlerdeki ıslak zenit gecikmeleri incelenmiştir.  $PM_{10}$ , daha öncede bahsedildiği gibi ıslak ve kuru partiküllerden meydana geldiği için, ıslak zenit gecikmesinin bir parçası olduğu düşünülmüştür. Bu sebepten dolayı  $PM_{10}$  değerinin görece yüksek olduğu günler ile bu günleri takip eden  $PM_{10}$  değerinin görece daha düşük olduğu günler ele alınarak bu günler arasındaki ıslak zenit gecikmesi farkının çıkarımı yapılmıştır.

Çizelge 4.2’de meteorolojik parametreleri minimum değişkenliğe uğrayan fakat  $PM_{10}$  miktarlarındaki değişimin büyük olduğu günlere bazı örnekler verilmiştir. Bu günlere ait ıslak zenit gecikmeleri incelerken  $PM_{10}$  miktarının etkisi araştırılmıştır. 2015 senesi sonrası, çalışma alanı olan Zonguldak’ta  $PM_{10}$  miktarlarını etkileyen kömür kullanımı kademeli olarak azaldığı için çalışmada 2014 ve 2015 yıllarına ait veriler kullanılmıştır.

Belirtilen tarihlerin Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarından oluşmasının sebebi ise kış aylarında kömür tüketiminin yoğun olmasıdır. Seçilen günlerin birbirine yakın olmasının sebebi ise yaklaşık olarak aynı meteorolojik parametrelere sahip fakat farklı  $PM_{10}$  değerlerine sahip

günlerdeki ZWD değerlerinin incelenmesidir. Şekil 4.4 - 4.11'de incelenen ZWD değerleri Çizelge 4.2'de belirtilen günlere ait olup, saatlik değişimler şekildeki gibidir. Veriler incelendiğinde öğle saatlerinde yükselen ZWD değerlerinin öğleden sonra değişime uğradığı ve genellikle yükseldiği görülmektedir. Bu yükselişin sebebi PM<sub>10</sub> miktarının kömür kullanımının artışı ile doğru orantılı olarak ZWD değerlerinin de artması olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak dizel egzoz gazı, termik enerji santralleri, endüstri bölgelerinde kömür tüketimi de PM<sub>10</sub> kaynağı olarak sayılabilmektedir.

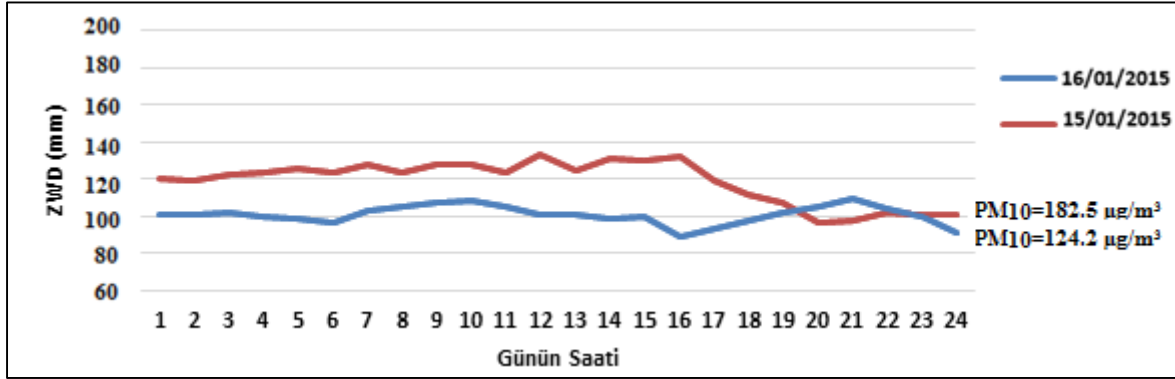
Bu araştırmada iki temel strateji kullanılmıştır. Birinci strateji Çizelge 4.2'de belirtilen aynı meteorolojik koşullar(sıcaklık, basınç, nem, yağış) altında yüksek PM<sub>10</sub> farklılıklarına sahip olan ardışık günlerin değerlendirilmesidir. İkinci strateji ise Çizelge 4.3'te belirtilen farklı meteorolojik koşullar(sıcaklık, basınç, nem, yağış) altında düşük PM<sub>10</sub> farklılıklarına sahip olan ardışık günlerin değerlendirilmesidir. Böylece meteorolojik olaylardan bağımsız olarak sadece PM<sub>10</sub> miktarındaki değişimin ıslak zenit gecikmesine etkisinin olup olmadığının araştırılması planlanmıştır.

Çizelge 4.2'de belirtilen günler birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullara sahip olan günlere örnek teşkil ederken, kullanılan değerler gün içerisindeki ortalama değerlerdir.

**Çizelge 4.2** Belirlenen günlere ait meteorolojik parametreler.

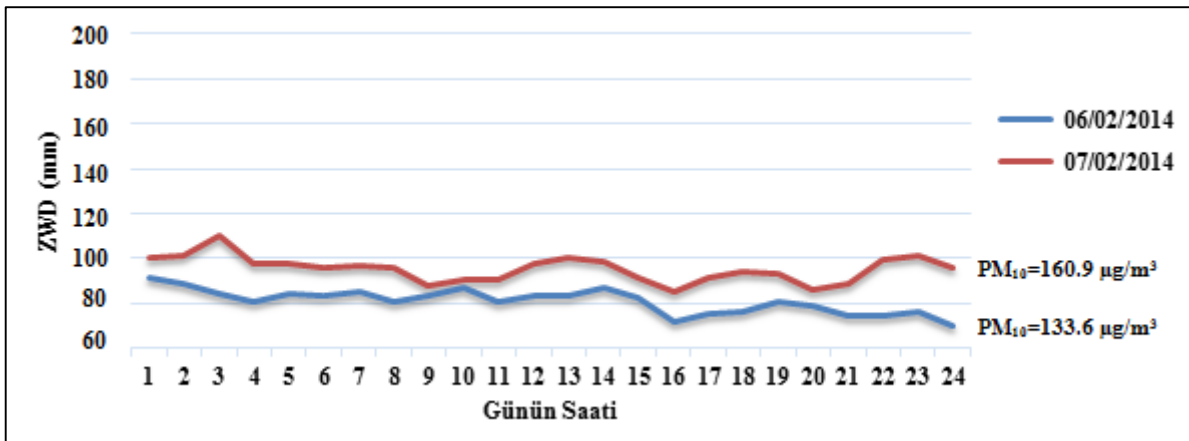
| <i>Zaman</i> | <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Basınç (hPa)</i> | <i>Nem (%)</i> | <i>Yağış (mm)</i> | <i>PM<sub>10</sub> Ort. [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</i> |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 15/01/2015   | 5.3                  | 1002.26             | 88             | 0.0               | 182.5                                                             |
| 16/01/2015   | 5.3                  | 1009.24             | 81.2           | 0.0               | 124.2                                                             |
| 06/02/2014   | 3.5                  | 1004.30             | 85.8           | 0.0               | 133.6                                                             |
| 07/02/2014   | 3.5                  | 1004                | 84.4           | 0.0               | 160.9                                                             |
| 05/12/2015   | 6.8                  | 1017.32             | 66.0           | 0.0               | 94.0                                                              |
| 07/12/2015   | 5.2                  | 1020.05             | 66.8           | 0.4               | 146.7                                                             |
| 19/12/2015   | 5.5                  | 1015.67             | 85.5           | 0.0               | 117.9                                                             |
| 21/12/2015   | 4.9                  | 1010.88             | 73.0           | 0.0               | 147.4                                                             |
| 22/11/2015   | 19.4                 | 994.53              | 39.7           | 0.0               | 57.0                                                              |
| 23/11/2015   | 20.0                 | 1004.98             | 33.0           | 0.0               | 99.1                                                              |
| 11/11/2015   | 15.0                 | 1009.35             | 79.5           | 0.1               | 82.3                                                              |
| 12/11/2015   | 13.8                 | 1002.94             | 76.3           | 0.2               | 120.7                                                             |
| 03/11/2014   | 9.7                  | 1006.63             | 90.9           | 0.0               | 69.6                                                              |
| 04/11/2014   | 9.2                  | 1011.09             | 89.0           | 0.0               | 106.6                                                             |
| 29/10/2014   | 14.7                 | 999.03              | 80.7           | 0.0               | 51.4                                                              |
| 30/10/2014   | 14.6                 | 1003.15             | 79.7           | 0.0               | 80.2                                                              |

Belirtilen günler birinci strateji mantığıyla detaylıca incelendiğinde 15-16 Ocak 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'lük bir artış görülürken, ZONG TUSAGA istasyonunun GNSS verisinden hesaplanan ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 20 mm'lik bir düşme belirlenmiştir. Grafikler incelendiğinde özellikle kış aylarında ve öğle saatlerinde kömür kullanımının artışına paralel olarak ZWD değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



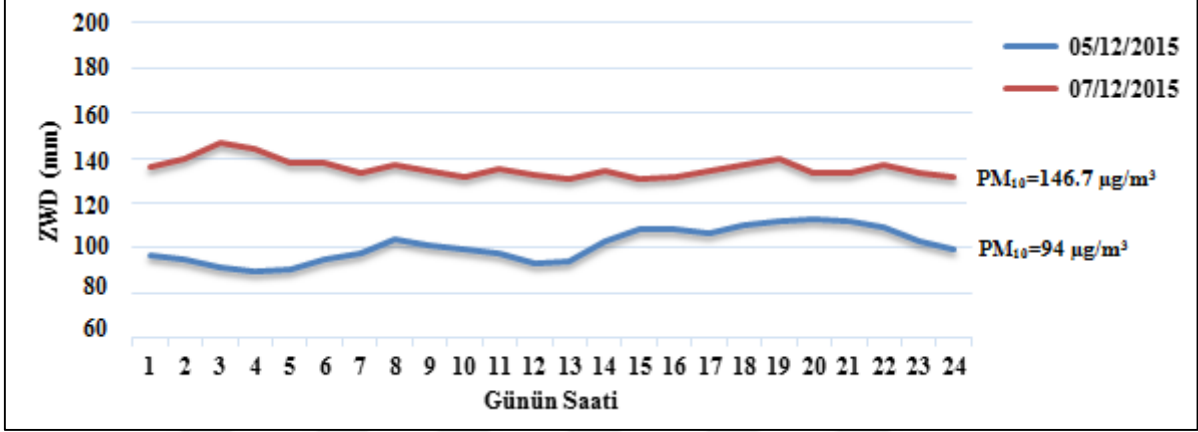
Şekil 4.4 15-16 Ocak 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Birinci stratejiye uyan 06-07 Şubat 2014 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 10 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.5'te düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



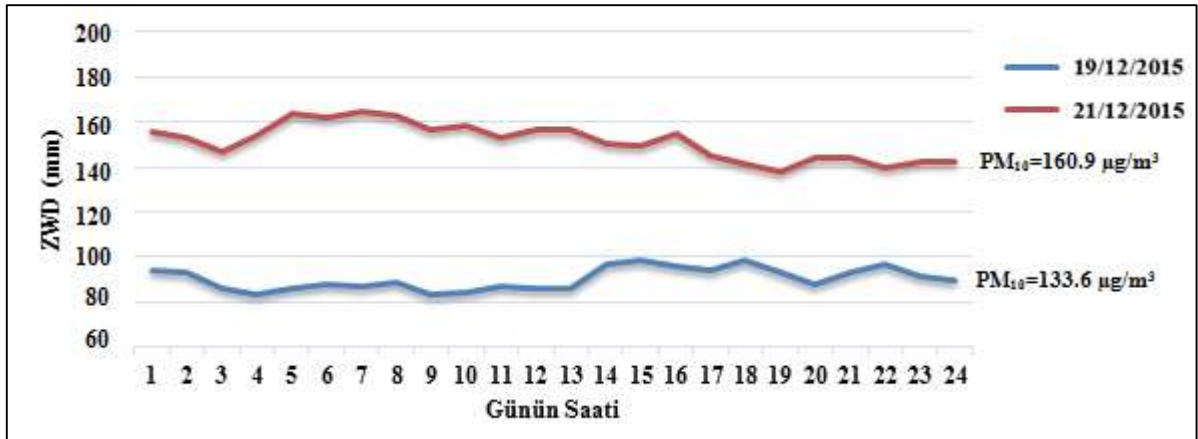
Şekil 4.5 06-07 Şubat 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Birinci stratejiye uyan 05-07 Aralık 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 30 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.6'te düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.6 05-07 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

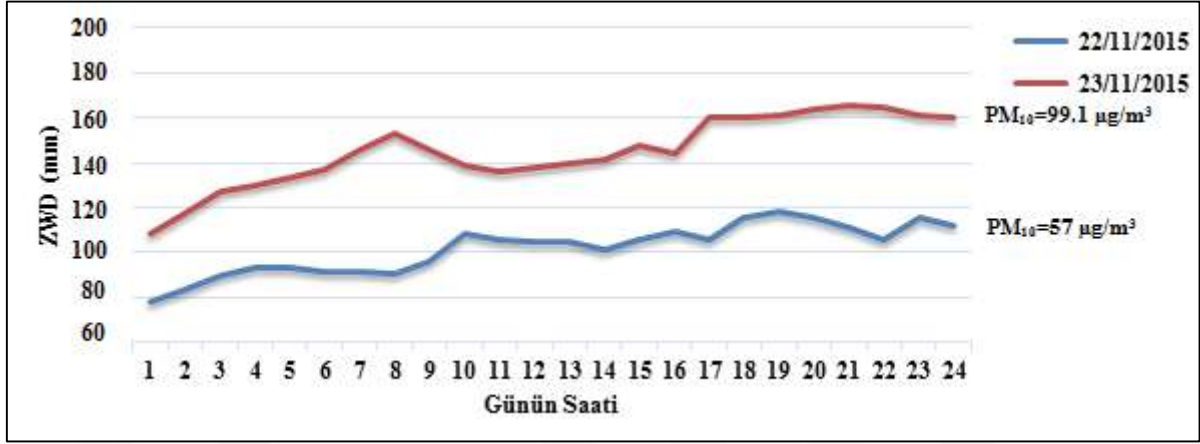
Birinci stratejiye uyan 19-21 Şubat 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 50 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.7'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.7 19-21 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

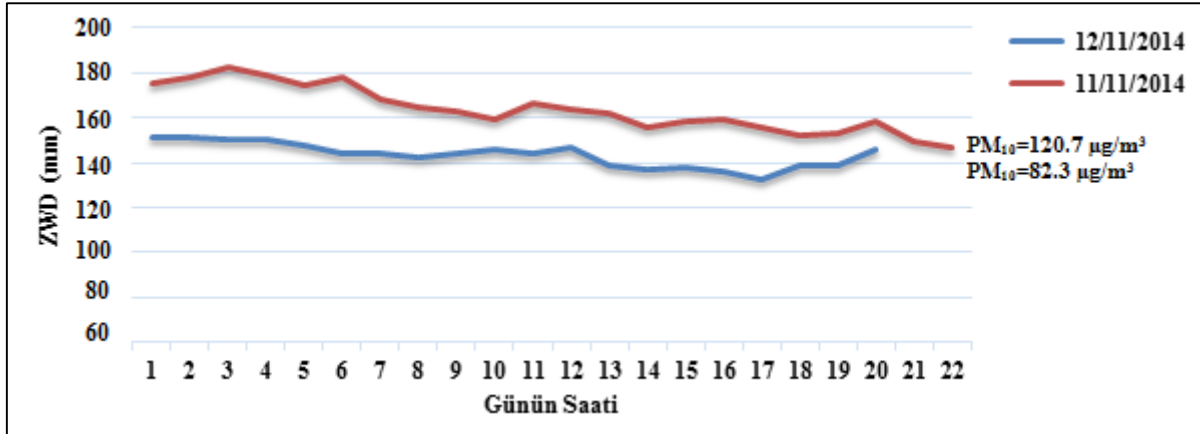
Birinci stratejiye uyan 22-23 Şubat 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 40 mm'lik bir fark

hesaplanmıştır. Şekil 4.8’de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.8 22-23 Kasım 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

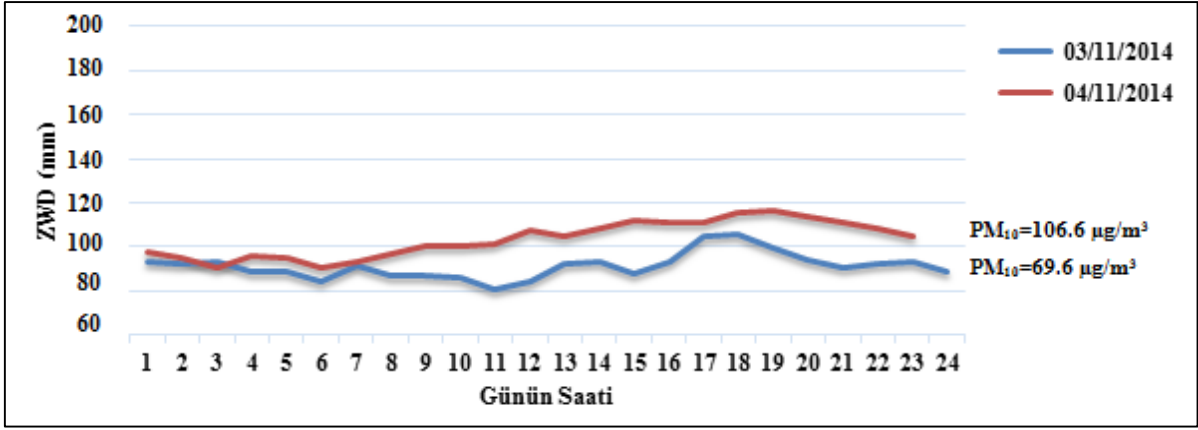
Birinci stratejiye uyan 11-12 Kasım 2014 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $50 \mu g/m^3$  ‘lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 20 mm’lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.9 12-11 Kasım 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

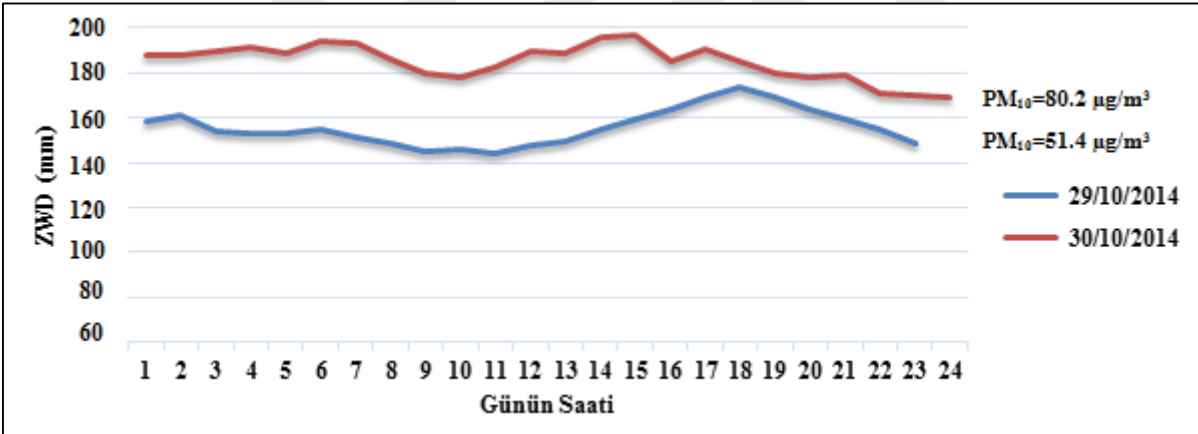
Birinci stratejiye uyan 03-04 Kasım 2014 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $40 \mu g/m^3$  ‘lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 10 mm’lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.10’da düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.





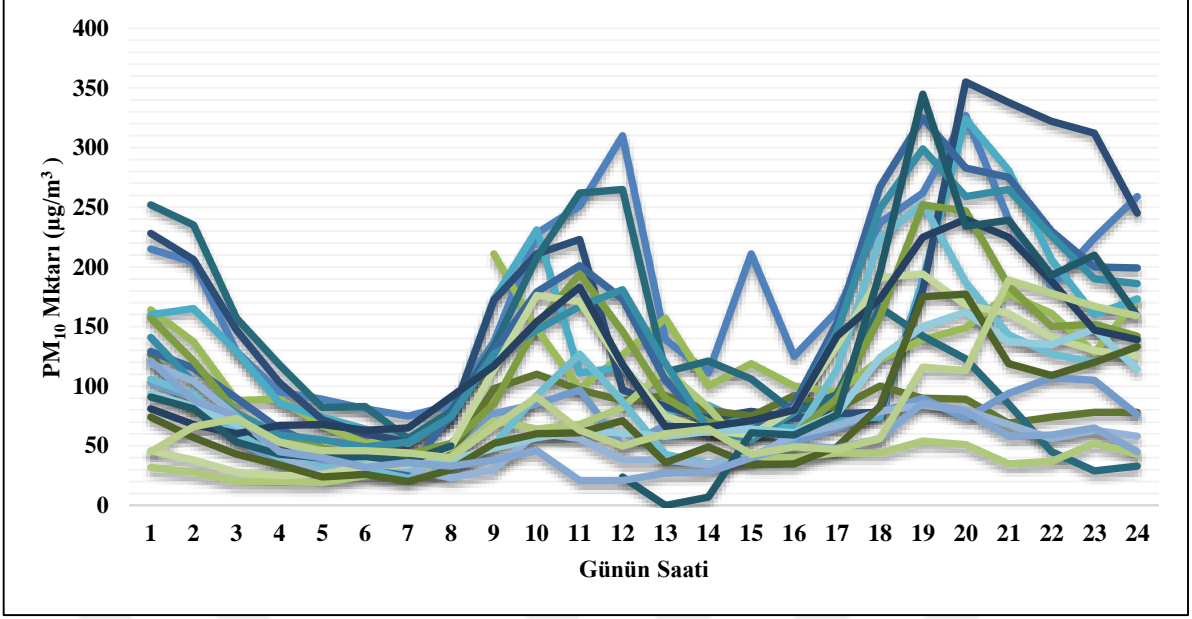
Şekil 4.10 03-04 Kasım 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Birinci stratejiye uyan 29-30 Ekim 2014 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $40 \mu g/m^3$  'lük bir artış görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 30 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.11'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



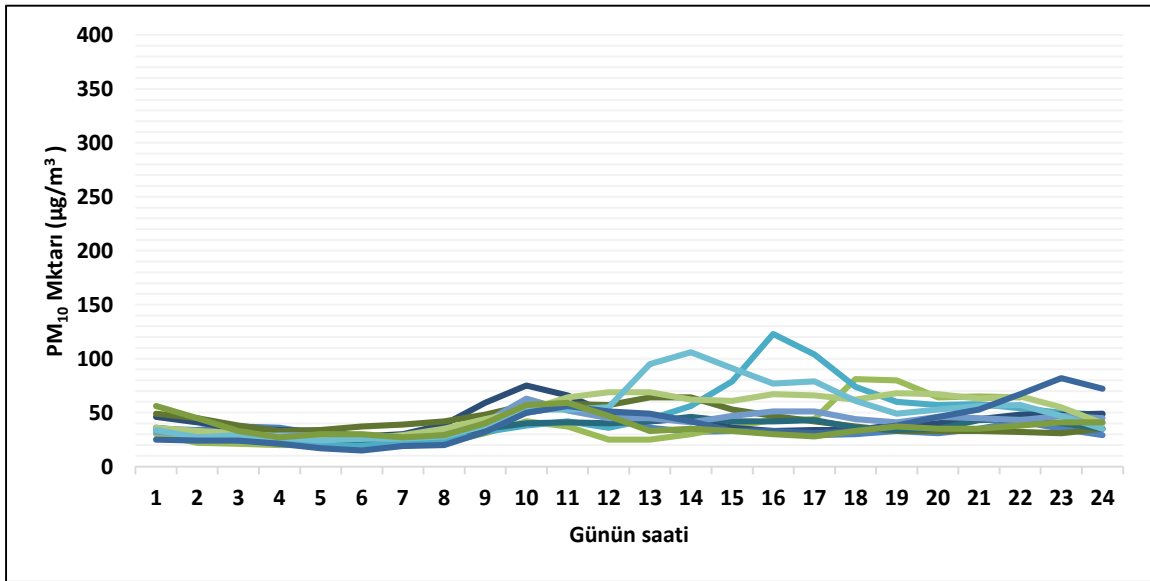
Şekil 4.11 29-30 Ocak 2014 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Birinci stratejiye uyan Şekil 4.12'de değerlendirme yapılan sonbahar ve kış aylarına ait gün içindeki  $PM_{10}$  değişim grafiği verilmiştir. Zonguldak kent merkezinde kış aylarında yakılan kalorifer kazanları sabah ve akşam olmak üzere iki kere kömürle desteklediği için bu saatlerde  $PM_{10}$  miktarları artış göstermiştir. Öğle saatlerinde karışım yüksekliği arttığı için  $PM_{10}$  miktarı azalıyor. Akşam üstü inversiyon ve kömür beslemesi yüzünden artmaktadır. Gece 11-12 gibi kömür beslemesi bittiği için  $PM_{10}$  değeri meteorolojik parametrelere bağlı olarak yeniden azalmaktadır.



Şekil 4.12 Kış ayında gün içerisindeki PM<sub>10</sub> miktarı değişimi.

Şekil 4.12’de öğle ve akşam saatlerindeki yükselmeyi daha iyi anlamak için kömür kullanımının nispeten daha az olduğu Temmuz ayı gün içerisindeki PM<sub>10</sub> değişimi Şekil 4.13’te verilmiştir. Şekil incelendiğinde öğle saatlerindeki artış egzoz emisyon değerlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca hava kalitesi ölçüm cihazı Zonguldak Limanına çok yakın bir konumda olduğundan gemi bacalarından çıkan partikül maddelerde bu değerleri arttırmaktadır.



Şekil 4.13 Yaz ayında gün içerisindeki PM<sub>10</sub> miktarı değişimi.

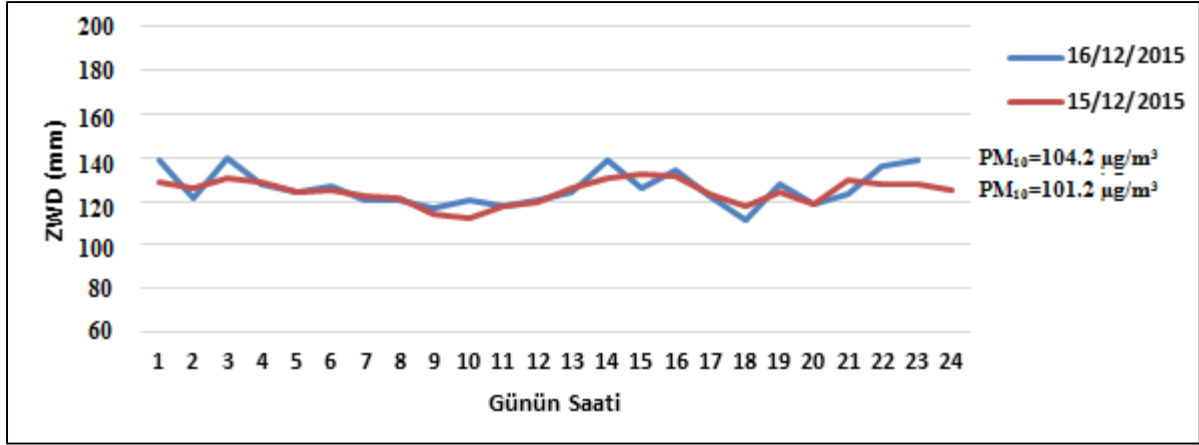
Bu örneklere ek olarak aynı meteorolojik koşullara ve PM<sub>10</sub> miktarlarına sahip günler de incelenmiştir. Farklı aylardan seçilen örnekler irdelendiğinde özellikle 1 ila 10 µg/m<sup>3</sup>'lük PM<sub>10</sub> farklılığına sahip olan günler seçilmiştir.

Yukarıda verilen şekillerde aynı meteorolojik koşullarda farklı PM<sub>10</sub> değerlerine ait günlerin değerlendirildiği grafikler görülmektedir. Bir çıkarım yapabilmek için aynı meteorolojik koşullar altında ve görece aynı PM<sub>10</sub> değerlerine sahip günlerin değerlendirilmesi öngörülmüştür. Aşağıda verilen grafiklerde aynı meteorolojik koşullarda ve görece aynı PM<sub>10</sub> değerlerine sahip günlerin ZWD değerleri incelenmiştir.

**Çizelge 4.3** Belirlenen günlere ait meteorolojik parametreler.

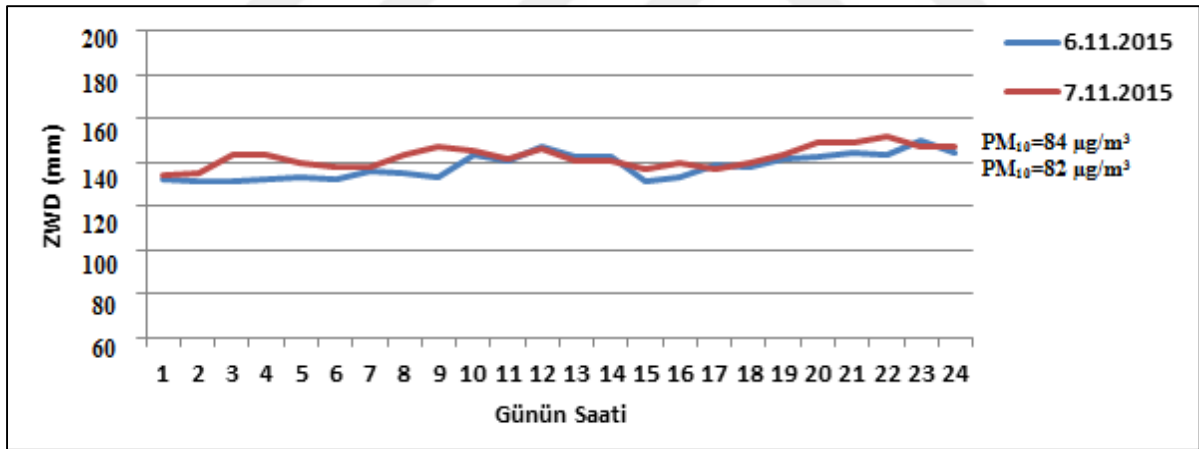
| <i>Zaman</i> | <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Basınç (hPa)</i> | <i>Nem (%)</i> | <i>Yağış (mm)</i> | <i>PM<sub>10</sub> Ort. [µg/m<sup>3</sup>]</i> |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------------------------------------|
| 15/12/2015   | 7.5                  | 1011.7              | 79             | 0.0               | 101.2                                          |
| 16/12/2015   | 5.3                  | 1011.1              | 83.5           | 0.0               | 104.2                                          |
| 06/11/2015   | 11.8                 | 1006                | 90.4           | 0.0               | 82                                             |
| 07/11/2015   | 12.1                 | 1008.6              | 95.7           | 0.0               | 84                                             |
| 08/02/2015   | 3.9                  | 991                 | 81.6           | 0.0               | 61                                             |
| 09/02/2015   | 3                    | 991.4               | 78             | 0.0               | 66                                             |

Çizelge 4.3'te belirtilen günler birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullara sahip olan günlere örnek teşkil ederken, kullanılan değerler gün içerisindeki ortalama değerlerdir. Belirtilen günler ikinci stratejiyle detaylıca incelendiğinde 15-16 Aralık 2015 tarihinde ortalama PM<sub>10</sub> miktarında 3 µg/m<sup>3</sup> 'lük bir fark görülürken, ZONG TUSAGA istasyonunun GNSS verisinden hesaplanan ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 4 mm'lik bir fark belirlenmiştir. Şekil 4.14'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



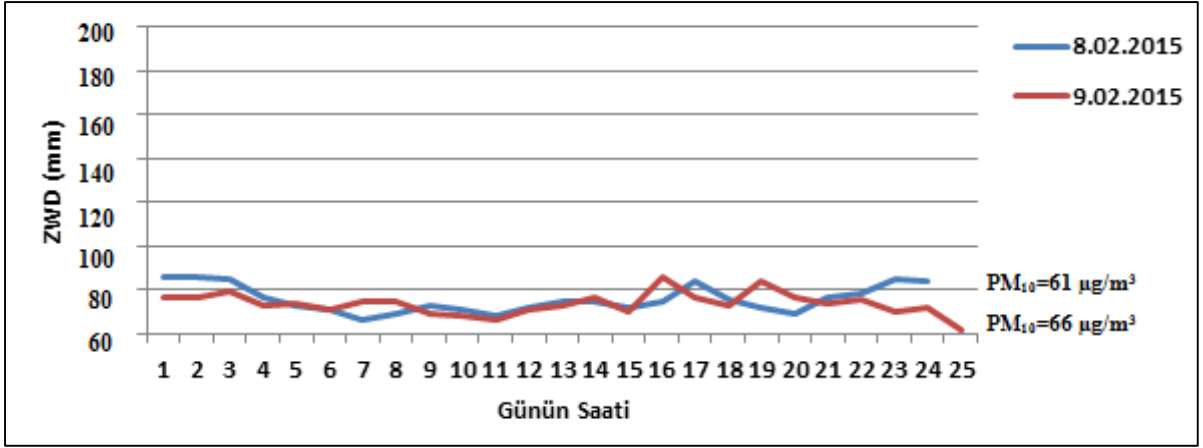
Şekil 4.14 15-16 Aralık 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

İkinci stratejiye uyan 06-07 Kasım 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $2 \mu g/m^3$  'lük bir fark görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 4 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.14'de belirtilen bu gecikme saatlik olarak incelendiğinde ZWD değerlerinde değişim görülmemiştir. Şekil 4.14'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.15 06-07 Kasım 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

İkinci stratejiye uyan 08-09 Şubat 2015 tarihinde ortalama  $PM_{10}$  miktarında  $5 \mu g/m^3$  'lük bir fark görülürken, ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 2 mm'lik bir fark hesaplanmıştır. Şekil 4.15'de belirtilen bu gecikme saatlik olarak incelendiğinde ZWD değerlerinde değişim görülmemiştir. Şekil 4.15'de düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 4.16 08-09 Şubat 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.





## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında GAMIT/GlobK ve GIPSY-OASIS II akademik GNSS değerlendirme yazılımları, atmosferin alt katmanı olan troposfer, GNSS sinyallerinin troposfer katmanında maruz kaldığı gecikmenin detayları, hava kirliliği ve bu kirliliğe sebep olan etkenler hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Yapılan bu literatür taraması sonucu GNSS sinyallerinde troposfer katmanından kaynaklanan gecikmenin temelleri anlatılırken, gerçekleşen bu gecikmenin modellenmesi için kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Bu yöntemlerden biri olan yüzey modelleri tanıtılarak, en yüksek doğruluğa sahip Saastamoinen ve Hopfield modelleri detaylıca anlatılmıştır.

Farklı yükseklik (eğim) açısı ile GNSS alıcısına ulaşan sinyaller gecikmenin minimum olduğu zenit doğrultusuna taşınması için izdüşüm fonksiyonları kullanılması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Bahsi geçen izdüşüm fonksiyonlarından Niell, Global ve Vienna izdüşüm fonksiyonlarının temelleri anlatılırken, çalışma kapsamında da bu izdüşüm fonksiyonlarından en yüksek doğruluğa sahip Vienna izdüşüm fonksiyonu kullanılmıştır.

Troposfer katmanında meydana gelen meteorolojik olaylara ek olarak insan etkisi kaynaklı hava kirliliği de meydana gelmektedir. Hava kirliliğine neden olan unsurlar anlatılırken, gerek insan hayatına etkisinden gerek de bu unsurlara sebep olan etkenlerden bahsedilmiştir. Bu unsurlardan  $PM_{10}$  parametresi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında ıslak zenit gecikmesini etkileyen sıcaklık, basınç ve nemlilik değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, zenit gecikmesine etkisi araştırılan  $PM_{10}$  verileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan temin edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılması için TUSAGA-Aktif ağına ait ve Zonguldak'ta bulunan ZONG GNSS istasyonu Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nden ve değerlendirmeler için kullanılan

GNSS istasyonlarına ait gözlem verileri Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)'nin web sitesinden elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında Zonguldak ili Merkez ilçesinde bulunan ZONG GNSS istasyonuna ait 2014-2015 verilerinin değerlendirilmesi sonucu ıslak zenit gecikme değerleri, GAMIT/GlobK ve GIPSY-OASIS II akademik GNSS değerlendirme yazılımları kullanılarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuç ZWD ve  $PM_{10}$  değerlerine ait zaman serisi incelenirken, harmonik fonksiyonlardan yararlanılarak ve en küçük kareler yöntemi ile zaman serisine ait yıllık genlik, faz ve trend değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yıl içerisinde en düşük ZWD değerleri Aralık ayı sonu ve Ocak ayı başında görülürken, aynı zamanlarda en yüksek  $PM_{10}$  değerleri görülmektedir. ZWD değerlerinin düşük olmasının sebebi olarak sıcaklık, basınç ve nem değerlerinin yılın belirtilen aylarında çok düşük olması iken,  $PM_{10}$  değerlerinin çok yüksek olmasının sebebi ise yılın belirtilen aylarında çalışma alanında ısınma, enerji ve ulaşım amaçlı yakıt kullanımındaki aşırı artıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda şehir merkezinde bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonu verilerinden elde edilen  $PM_{10}$  değerleri, ZWD değerlerinin değişimleri ile birlikte irdelenmiştir. İncelemeler sonucu eş meteorolojik koşullara sahip birbirini takip eden günlerden  $PM_{10}$  değerinin yüksek ve düşük olduğu günlere örnekler verilmiştir. Bu günlere ait saatlik ZWD değişimleri genel  $PM_{10}$  değişimleri ile karşılaştırıldığında gün içerisinde öğlen saatleri (11:00-13:00) ve akşam (18:00-21:00) saatlerinde değişime uğradığı görülmektedir. Bu farkın sebebi ise Zonguldak kent merkezinde kalorifer kazanlarının sabah ve akşam saatlerinde günde iki kere kömür ile beslenmesinden dolayıdır.

Eş meteorolojik koşullara ve farklı  $PM_{10}$  değerlerine sahip günlerdeki genel ZWD farklılığı ise Şekil 4.4 - 4.11'de de görüldüğü gibi gün içerisindeki  $PM_{10}$  değişimine bağlı olarak 20-40 mm aralığında değişime uğramaktadır. Belirtilen ZWD değer farklılığı, gün içerisindeki ortalamalar göz önüne alındığında  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük  $PM_{10}$  farklılığı, ZWD miktarlarında 20 mm, gün içerisindeki ortalama  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük bir değişim, ZWD miktarında 40 mm olduğu görülmüştür.

Eş meteorolojik koşullara ve birbirine çok yakın  $PM_{10}$  değerlerine sahip günlerdeki genel ZWD farklılığı da Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16' da görüldüğü gibi gün içerisindeki değişimine bağlı olarak 4-2 mm aralığında değişime uğramaktadır. Bu iki karşılaştırmadan elde edilen sonuç  $PM_{10}$



değerinin görece yüksek olduğu günlerde ortaya çıkan ıslak zenit gecikmesinin,  $PM_{10}$  değerinin görece düşük olduğu günlerde ortaya çıkan ıslak zenit gecikmesine kıyasla daha fazla olduğudur.

Çalışma alanındaki ıslak zenit gecikmesi ve dolayısı ile toplam zenit gecikmesi miktarlarında belirlenen bu farklılıklara ek olarak  $PM_{10}$  miktarındaki yüksek değişimlerin konum bilgisine olan etkisinin araştırılması da konum doğruluğu çalışmalarına katkıda bulunacaktır. Ancak düşük seviyedeki  $PM_{10}$  ortalamasına sahip çalışma alanlarında,  $PM_{10}$  miktarının GNSS sinyallerine olan etkisi göz ardı edilebileceği bu çalışma ile ortaya çıkmıştır (Şekil 4.14 – 4.16).

Günümüz koşullarında, ısınma amacıyla doğalgaz kullanımına kademeli olarak geçiliyor olsa da, özellikle enerji üretimi kaynaklı kömür tüketimi,  $PM_{10}$  değerlerinin artmasına yol açmaktadır.  $PM_{10}$  miktarındaki bu artışın, insan sağlığı ve görüş mesafesi üzerindeki etkilerine ek olarak hassas konumlama ve GNSS tabanlı diğer çalışmalara etkisi de yok sayılmamalıdır.

Gelecekte jeodezik amaçlı yapılacak çalışmalarda, çalışma alanında ya da çalışma alanına yakın bölgelerdeki  $PM_{10}$  değerlerinin elde edilmesi ve özellikle yüksek  $PM_{10}$  miktarına sahip bölgelerde,  $PM_{10}$  miktarının sebep olacağı sinyal gecikmelerinin göz ardı edilmemesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Beutler G, Bauersima I, Gurtner W, Rothacher M, Schildknecht T and Geiger A** (1987) Atmospheric refraction and other important biases in GPS carrier phase observations. *Mitt. Satell.-Beobachtungsstn. Zimmerwald*, Nr. 22, 26 pp. 22.
- Boehm J, Niell A, Tregoning P and Schuh H** (2006) The Global Mapping Function (GMF) A New Empirical Mapping Function Based on Numerical Weather Model Data. *Geophys. Res. Lett.*, 33.
- Boehm J, Heinkelmann R and Schuh H** (2007) Short Note: A Global Model of Pressure and Temperature for Geodetic Applications, *J. Geod.*, 81 (10): 679-683.
- Boehm J and Schuh H** (2007) Troposphere Gradients from the ECMWF in VLBI Analysis. *J. Geod.*, 81 (6-8): 403-408.
- Blewitt G, vanDam T, Helfin M B** (1995) *Atmospheric Loading Effects and GPS Time-Averaged Vertical Positions*, in 1st International Symposium on Deformations in Turkey, pp 408-415, edited by P. Cross, Istanbul, Turkey.
- Blewitt G** (1990) "An automatic editing algorithm for GPS data" *Geophysical Research Letters*, 17 (3): 199-202.
- Blewitt G** (1997) Basics of the GPS Technique: Observation Equations. In Geodetic Applications of GPS, ed. B Johnson, *Nordic Geodetic Commission*, Sweden, ISSN 0280-5731: 10-54.
- Blewitt G** (1989) Carrier phase ambiguity resolution for the Global Positioning System applied to geodetic baselines up to 2000 km. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B8), 10187-10203.
- Davis J L, Herring T A, Shapiro I I, Rogers A E E and Elgered G** (1985) Geodesy by Radio Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length. *Radio Sci.*, 20 (6): 1593-1607.
- Elgered G, Johansson J M, Ronnang B and Davis J L** (1997) Measuring regional atmospheric water vapor using the Swedish permanent GPS network. *Geophys. Res. Lett.*, 24(21): 2663-2666.
- Fernandes M J, Pires N, Lázaro C and Nunes A L** (2013) Tropospheric delays from GNSS for application in coastal altimetry. *Adv. Space Res.*, 51 (8): 1352-1368.
- Görmüş S** (2006) "Gerçek Zamanlı Kinematik GPS ile Köprü Salınım ve Titreşimlerin Belirlenmesi ve İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. ABD, Zonguldak.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Görmüş S** (2011) “Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentindeki Krip Hızı Değişiminin İzlenmesi”, *Doktora Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. ABD, Zonguldak.
- Gregorius T** (1996) GIPSY-OASIS II How it Works.
- Gürbüz G** (2015) GNSS radyosonda'dan elde edilen yoğuşabilir su buharı miktarlarının karşılaştırılması. *Yüksek lisans tezi*. Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği ABD, Zonguldak, pp: 97.
- Herring T A, King R W and McClusky S C** (2015) GAMIT Reference Manual, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Hopfield H S** (1971) Tropospheric effect on electromagnetically measured range: Prediction from surface weather data. *Radio Sci.*, 6 (3): 357-367.
- Hurst K and Sever Y** (1998) In-situ GPS antenna phase center calibration.
- Janes H W, Langley B R and Newby S B** (1991) Analysis of tropospheric delay prediction models: Comparisons with ray-tracing and implications for GPS relative positioning. *Bull. Geodes.*, 65 (3): 151-161.
- June D C** (1987) Environmental Protection Agency Indoor Air Quality Implementation Plan. Washington, USA.
- Linkwitz K and Hangleiter U** (2012) High precision navigation: integration of navigational and geodetic methods. Springer Science & Business Media.
- Lutz S L** (2008) High-resolution GPS tomography in view of hydrological hazard assessment, *Diss*, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 17675.
- Marini J W** (1972) Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile. *Radio Sci.*, February, 7 (2): 223-231.
- Mendes V B** (1999) Modeling the neutral-atmospheric propagation delay in radiometric space techniques, *PhD. Thesis*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.
- Miidla P, Rannat K and Uba P** (2008) Simulated studies of water vapour tomography. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 4 (3): 181-190.
- Miidla P, K Rannat and Uba P** (2009) A mathematical model of troposphere water vapor tomography.
- Müezzinoglu A** (1987) Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları, Yayın No: 0908.87. DK.006.042, İzmir.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Niell A B** (1996) Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *J. Geophys. Res*, Vol. 101, No. B2, pp. 3227-3246.
- Niell A E** (2000) Improved atmospheric mapping functions for VLBI and GPS. *Earth, Planets Space*, 52(10): 699-702.
- Özlüdemir M T** (2004) The Stochastic Modelling of GPS Observations. *Turkish J. Eng. Env. Sci*, Tubitak, 28 (2004), 223 – 231.
- Robert J and Lambach MD** (2010) Outdoor Air Pollutants and Patient Health. *American Family Physician*; 81 (2): 175-80.
- Saastamoinen J** (1972) Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, In: *The Use of Artificial Satellites for Geodesy in Geodesy, Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 15.
- Seinfeld J H, Pandis S N** (2006) Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change. 2nd edition, John Wiley and Sons Inc., New Jersey.
- Tecer L** (2000) “İstanbul kenti fotokimyasal smog mekanizmasının modellenmesi”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas
- Tekbaş Ö F** (2010) Çevre Sağlığı. 1. basım. Ankara. GATA Basımevi, 2010, p. 564-567.
- Teunissen P J G and Kleusberg A** (1998) GPS for Geodesy, ISBN 3-540-63661-7, ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Thayer G D** (1974) Improved Equation for the Radio Refractive Index of Air. *Radio Sci.*, 9 (10): 803-807.
- Tregoning P, Boers R, O'Brien D and Hendy M** (1998) Accuracy of absolute precipitable water vapor estimates from Gps estimates. *J. Geophys. Res.*, 10 (D22), 28, 701-28, 710.
- Troller M** (2004) GPS based determination of the integrated and spatially distributed water vapor in the troposphere. *PhD. Thesis*. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- URL-1** <<http://www.gisresources.com/challenges-and-benefits-of-vrs/>>, Ziyaret tarihi: 29.01.2017.
- URL-2** <<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikuydular.aspx?s=422>>, Ziyaret tarihi: 22.01.2017.
- URL-3** <<https://physics.stackexchange.com/questions/80568/is-there-scale-by-size-of-all-discovered-particles>> Ziyaret tarihi: 24.03.2017.
- URL-4** <<http://www.demirmedya.net/haber/340789/zonguldaktan-en-kirli-fotograflar.html>> , Ziyaret tarihi: 28.11.2016.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Webb F and Zumberge J** (1995) An introduction to Gipsy/Oasis II, Rep. JPLM D-11088, Jet Propul. Lab., Pasadena, Calif.

**Wei E and L Jiandong** (2014) Precision analysis of IGS long baseline Processing based on GAMIT/GLOBK, Coordinates.

**Zeydan Ö** (2014) Zonguldak bölgesi PM10 konsantrasyonu dağılımının modellenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği ABD, Kocaeli, pp: 184.



## ÖZGEÇMİŞ

Umut ALTAN 1990'de Zonguldak ili Merkez ilçesinde doğdu; ilk, orta ve yüksek öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı; 2008-2013 yılları arasında Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde öğrenimini gördü. 2014 senesinde Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2015 senesinde Zonguldak Belediyesi Fen İşleri Biriminde Harita Mühendisi olarak göreve başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Zonguldak Belediyesi  
Fen İşleri Müdürlüğü  
67100 ZONGULDAK

Tel: (+90) 372 257 26 35

E-posta: umutaltann@gmail.com