

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GPS METEOROLOJİSİ : İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer GÖKDAŞ

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

OCAK 2014

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GPS METEOROLOJİSİ : İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer GÖKDAŞ
(501111633)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ergin TARI

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111633 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ömer GÖKDAŞ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GPS METEOROLOJİSİ : İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ergin TARI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Rasim DENİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Levent ŞAYLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **9 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2014**

Mehmet Emin'e,

ÖNSÖZ

İlk olarak çalışmamda büyük emeği olan Prof. Dr. Ergin Tarı'ya, daha sonra değerli hocalarım Prof. Dr. Rasim Deniz ve Prof. Dr. Levent Şaylan'a, her konuda danışabildiğim meslektaşım Özgür Okur'a, beni yetiştirip bugünlere getiren anne ve babama, sevgisini ve desteğini hiç eksik etmeyen eşime ve hayatımı daha bir anlamlandırdığı için oğlum Mehmet Emin'e çok teşekkür ediyorum.

Aralık 2013

Ömer GÖKDAŞ
Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEK ATMOSFER GÖZLEMLERİ	3
2.1 Radiosonde Gözlemleri	3
2.1.1 Radiosonde rasatlarının kullanıldığı alanlar	4
3. TROPOSFER	7
3.1 Geleneksel Troposferik Modeller	8
3.1.1 Hopfield modeli	8
3.1.2 Saastamoinen modeli	9
3.2 Troposferik İzdüşüm Fonksiyonları	11
3.2.1 Niell izdüşüm fonksiyonu	11
3.2.2 Global izdüşüm fonksiyonu	13
4. GPS METEOROLOJİSİ	15
4.1 GNSS için Troposferik İndirgeme Fonksiyonları	15
4.1.1 Viyana küresel troposferik gecikme modeli	16
4.1.2 UNB3m troposferik gecikme modeli	16
4.2 Yağışa Dönüştürülebilir Su Buharı (IPWV) Hesabı	16
5. UYGULAMA	19
5.1 ISTA	20
5.1.1 ISTA IGS istasyonu için IPWV hesaplamasında kullanılan veriler	20
5.1.2 ISTA IGS istasyonu için IPWV hesaplama metodolojisi	21
5.1.3 ZHD ve ZWD değerlerinin hesaplanması	21
5.1.4 GPS verileri ile yağışa dönüştürülebilir su buharı hesabı (IPWV)	24
5.2 İSKİ UKBS	28
5.2.1 İSKİ UKBS için IPWV hesaplamasında kullanılan veriler	28
5.2.2 İSKİ UKBS için IPWV hesaplama metodolojisi	31
5.2.3 Sıcaklık ve Basınç İndirgemesi	32
5.2.4 Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon tekniği (IDW)	32
5.2.5 Şile ve Tuzla GPS istasyonları için sıcaklık ve basınç indirgemesi	33

5.2.6 Beykoz GPS istasyonu için sıcaklık - basınç İndirgemesi ve enterpolasyon	35
5.2.7 Enterpolasyon gücünün test edilmesi	37
5.2.7.1 Pala GPS istasyonu	37
5.2.7.2 Küçükçekmece GPS istasyonu	38
5.2.8 GAPS troposferik model değerlendirmesi	39
5.2.9 ZHD ve ZWD'nin hesaplanması	40
5.2.10 GPS verileri ile yağışa dönüşebilir su buharı hesabı (IPWV)	41
5.2.11 IPWV enterpolasyonu (5 noktadan)	42
5.2.12 IPWV enterpolasyonu (7 noktadan)	45
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER ve KISALTMALAR

a	: Islak ve Kuru Bileşen Katsayıları
a_{ht}	: Yükseklik Düzeltmesi için Katsayılar
corr_h	: Yükseklik Düzeltmesi
e	: Gerçek Buhar Basıncı
E	: Uydu Yükseklik Açısı
GMF	: Global İzdüşüm Fonksiyonu
IPWV	: Yağışa Dönüşebilir Su Buharı
ISTA IGS	: ISTA Uluslararası GNSS Servisi
k	: Atmosferik Katsayılar
N	: Kırıcılık
NMF	: Niell İndirgeme Fonksiyonu
q	: Gaz Sabiti
T	: Sıcaklık (Kelvin)
UKBS	: Uydulardan Konum Belirleme Sistemi
VMF	: Viyana Troposferik Gecikme Modeli
WMO	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
Z	: Zenit Açısı
ZHD	: Zenit Hidrostatik Gecikme
ZTD	: Zenit Troposferik Gecikme
ZWD	: Zenit Islak Gecikme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Sık kullanılan kırıcılık sabitleri	7
Çizelge 3.2 : Hidrostatik bileşen için katsayılar	12
Çizelge 3.3 : Hidrostatik ve ıslak bileşen için yükseklik düzeltme katsayıları	13
Çizelge 3.4 : Islak bileşen için katsayılar	13
Çizelge 5.1 : İSKİ UKBS istasyonları enlem, boylam ve yükseklik bilgileri	28
Çizelge 5.2 : Şile ve Tuzla Meteoroloji İstasyonlarının Enlem, Boylam ve Yükseklik Bilgileri	34
Çizelge 5.3 : Tuzla meteoroloji istasyonu yüksekliği sıcaklık ve basınç değerlerinin önce deniz seviyesine daha sonra Tuzla GPS İstasyon yüksekliğine indirgenmesi	34
Çizelge 5.4 : Şile Meteoroloji istasyonu yüksekliği sıcaklık ve basınç değerlerinin önce deniz seviyesine sonra Şile GPS istasyon yüksekliğine indirgenmesi	34
Çizelge 5.5 : Terkos, Şile, Tuzla ve Pala istasyonlarının sıcaklık ve basınç değerleri	
Çizelge 5.6 : Enterpolasyonda kullanılan istasyonların Beykoz GPS yüksekliğine olan mesafeleri ve enterpolasyon ağırlıkları	36
Çizelge 5.7 : Enterpolasyon sonucu hesaplanan Beykoz istasyonu deniz seviyesi T ve P değerleri ve indirgeme ile bulunan Beykoz GPS istasyonu yüksekliğindeki sıcaklık ve basınç değerleri	36
Çizelge 5.8 : İSKİ Pala istasyonu mevcut sıcaklık verileri ile enterpolasyon sonucu elde edilen değerler	38
Çizelge 5.9 : İSKİ Pala istasyonu mevcut meteorolojik değerler ile enterpolasyon sonucu hesaplanan değerler arasındaki fark ortalamaları ve standart sapmaları	38
Çizelge 5.10 : İSKİ UKBS istasyonları Küçükçekmece istasyonu mevcut sıcaklık verileri ile enterpolasyon sonucu elde edilen değerler	39
Çizelge 5.11 : Küçükçekmece istasyonu mevcut meteorolojik değerler ile enterpolasyon sonucu hesaplanan değerler arasındaki fark ortalamaları ve standart sapmaları	39
Çizelge 5.12 : GAPS ile yapılan analizde farklı troposferik modellerle ZTD değerlerinin değişimi	39
Çizelge 5.13 : İSKİ Enterpolasyon için seçilen istasyonların mesafe ve ağırlık verileri	42
Çizelge 5.14 : Enterpolasyon ile bulunan IPWV değerleri ile enterpolasyona dahil edilmeyen Silivri ve Terkos istasyonları IPWV değerleri arasındaki farklar	44
Çizelge 5.15 : Enterpolasyon için seçilen istasyonların mesafe ve ağırlık verileri ...	45

Çizelge 5.16 : İSKİ UKBS 17062 nolu meteoroloji noktasına GPS istasyonlarından 5 noktadan ve 7 noktadan yapılan enterpolasyon ile bulunan IPWV değerleri arasındaki farklar	47
--	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye’de mevcut radiosonde istasyonları ve WMO numaraları	3
Şekil 2.2 : Radiosonde uçuş takımı	4
Şekil 3.1 : Hopfield’e göre atmosferin kuru ve ıslak katmanları	8
Şekil 3.2 : Saastamoinene göre atmosfer tanımı	10
Şekil 3.3 : NMF katsayılarının belirlendiği istasyonlar	11
Şekil 5.1 : ISTA IGS istasyonu enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik bilgileri	20
Şekil 5.3 : Sopac IGS servisinin data paylaşım arazyüzü	20
Şekil 5.4 : Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimleri Departmanı radiosonde veri paylaşım sitesi	21
Şekil 5.5 : ISTA IGS istasyonu için 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında 12 saatlik dilimleri kapsayan ZTD değerleri	22
Şekil 5.6 : ZHD’de kullanılan ISTA istasyonuna ait 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki basınç değerleri	22
Şekil 5.7 : 01.10.2013 - 31.10.2013 tarihleri arasında 12 saatlik dilimleri kapsayan ZTD ve hesaplanan ZHD değerleri	23
Şekil 5.8 : ZTD - ZHD korelasyon ilişkisi	23
Şekil 5.9 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında hesaplanan 12 saatlik dilimleri kapsayan ZWD değerleri	24
Şekil 5.10 : ZTD-ZWD korelasyon ilişkisi	24
Şekil 5.11 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki 12 saatlik dilimleri kapsayan sopac IGS analiz merkezinden alınan sıcaklık değerleri	25
Şekil 5.12 : IPWV hesabında kullanılan K çarpanı	25
Şekil 5.13 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki 12 saatlik dilimleri kapsayan GPS – IPWV ve Meteoroloji - IPWV değerleri	26
Şekil 5.14 : Ekim 2013 e ait 31 günlük 12 saatlik dilimleri kapsayan hesaplanan GPS IPWV ve Meteoroloji IPWV değerleri arasındaki korelasyon	27
Şekil 5.15 : Ekim 2013 için 12 saatlik dilimleri kapsayan GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV farkları (mm)	27
Şekil 5.16 : 01.10.2013 saat 0.00’a ait radiosonde gözlem değerleri	27
Şekil 5.17 : Beykoz 09.10.2013 tarihli rinex observation datası	29
Şekil 5.18 : 09.10.2013 tarihli Beykoz istasyonu için GAPS çözüm bilgisi	29
Şekil 5.19 : Beykoz istasyonu için 09.10.2013 tarihli 1 günlük ZTD değerleri	30
Şekil 5.20 : 10.09.2013 tarih saat 00.00’a ait radiosonde gözlemleri	30
Şekil 5.21 : 10.09.2013 tarih saat 00.00’a ait radiosonde gözlem değerlendirme sonuçları	31
Şekil 5.22 : Sıcaklık ve basınç AWS’dan (Automatic weather station) MSL ye indirgenmesi ve daha sonra GPS-SL de sıcaklık ve basınç hesaplanması	32
Şekil 5.23 : Sıcaklık ve basınç indirgemesi yapılan Şile ve Tuzla meteoroloji istasyonları	33

Şekil 5.24 : Beykoz istasyonu için enterpolasyonda kullanılan istasyonlar ve mesafeleri	35
Şekil 5.25 : Pala istasyonu enterpolasyonu için seçilen Terkos, Şile, Küçükçekmece ve Tuzla GPS istasyonları	37
Şekil 5.26 : Küçükçekmece istasyonu enterpolasyonu için seçilen Terkos, Silivri, Pala ve Tuzla istasyonları	38
Şekil 5.27 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında .. 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZTD ve ZHD değerleri.	40
Şekil 5.28 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında .. 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZWD değerleri	41
Şekil 5.29 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında .. 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük GPS - IPWV değerleri	41
Şekil 5.30 : 17062 numaralı istasyonun enterpolasyonu için seçilen Küçükçekmece, Pala, Beykoz, Şile ve Tuzla GPS istasyonları	42
Şekil 5.31 : Enterpolasyon ile ulaşılan 17062 nolu meteoroloji noktasındaki GPS IPWV değerleri	43
Şekil 5.32 : ISTA IGS istasyonu enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik bilgileri	43
Şekil 5.33 : GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri arasındaki korelasyon	44
Şekil 5.34 : 17062 nolu istasyonun enterpolasyonu için; Küçükçekmece, Pala, Beykoz, Şile ve Tuzla, Terkos ve Silivri GPS istasyonları seçilmiştir .	45
Şekil 5.35 : Enterpolasyon ile ulaşılan 17062 nolu meteoroloji noktasındaki GPS IPWV grafiği	46
Şekil 5.36 : 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihli Enterpolasyon ile hesaplanan GPS IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri	46
Şekil 5.37 : GPS IPWV ve Meteoroloji IPWV değerleri arasındaki korelasyon	47

GPS METEOROLOJİSİ : İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA

ÖZET

Su buharının atmosferdeki dağılımı ile ilgili bilgi, hava tahmini çalışmaları ve iklim araştırmalarında büyük öneme sahiptir. Atmosferi oluşturan temel bileşenlerden en değişken özelliğe sahip olanıdır. Ayrıca, global iklim sisteminde kritik rol oynayan sera gazı (greenhouse gas) özelliğine sahiptir. Bir başka ifade ile, su buharı, atmosferin diğer bileşenleri ile karşılaştırıldığında sera etkisine en çok katkıyı yapan gazdır.

Meteorolojistler, su buharının yatay ve düşey dağılımını belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlardan meteoroloji balonları (radiosonde) radyo sinyallerinden yararlanarak yer istasyonlarına atmosfer içindeki sıcaklık, basınç, nem ile rüzgar hız ve yönü ile ilgili bilgiler göndermektedir. Normal radiosonde aletleri ile sıcaklık $\approx 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve basınç ise $\approx \%3.5$ doğrulukta elde edilebilmektedir. Radiosonde gözlemlerinin düşey kesitte iyi bir çözünürlük sağlamasına karşın, bazı kısıtlamaları da bulunmaktadır. Örneğin, bu aletler pahalıdır ve bu nedenle kullanıldıkları istasyon sayısı ve günlük fırlatma sayısı (örneğin günde iki kez) sınırlı tutulmaktadır. Bu kısıtlamalar nedeniyle radiosonde tekniği su buharının zamansal ve uzaysal değişkenliğini belirlemede yetersiz kalmaktadır.

Yeryüzünde tesis edilmiş olan sabit GPS istasyonlarında sürekli gözlem yapılarak toplanan veriler yağışa dönüşebilir su buharı (IPWV)'nin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu yöntem ile zamansal ve mekansal çözünürlüğü yüksek değerler elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan ISTA IGS istasyonuna ait 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri ve GPS gözlemleri yardımıyla yoğunlaşabilir su buharı verileri hesaplanmıştır. Ayrıca yine İstanbul'da bulunan 17062 numaralı Kartal meteoroloji istasyonundan alınan verilerle doğrulaması yapılmış olup, $\pm 1.7\text{ mm}$ standart sapma ile ortalama 0 mm fark hesaplanmıştır.

Ek olarak İSKİ Uydulardan Konum Belirleme Sistemi (UKBS) ağına ait İstanbul'daki 7 istasyon (Pala, Terkos, Küçükçekmece, Silivri, Beykoz, Şile, Tuzla) için 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında (72 saat) 30 dakikalık dilimleri kapsayan troposferik gecikme modelleri ile hesaplanan zenit troposferik gecikmelerden yoğunlaşabilir su buharı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu değerlerle 17062 numaralı radiosonde ölçümlerinin yapıldığı Kartal meteoroloji istasyonuna mesafelerine göre ters ağırlıklandırma yöntemiyle enterpolasyon yapılarak mevcut radiosonde verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde $\pm 1\text{ mm}$ standart sapma ile 1 mm ortalama fark olduğu görülmüştür.

GPS METEOROLOGY : AN APPLICATION FOR ISTANBUL

SUMMARY

Climate change and global warming have become a major challenge for the sustainable development of our Earth and its environment. Intensive research is carried out to understand atmospheric processes and their implications. In this content, water vapor plays a key role. It is an important component of the global energy balance and is involved in many chemical reactions. Water vapor takes part in the water cycle of the earth. It is condensed and precipitated in the form of rain or snow and originates again by evaporation, sublimation and transpiration. Although, only 0.001% of the total amount of water on the earth is located in the atmosphere, water vapor plays a fundamental role in atmospheric processes. It is the most variable parameter of the major constituents of the atmosphere, both, in space and time.

Water vapor influences or causes many chemical processes in the atmosphere. It is a major greenhouse gas and is involved in the decomposition of the ozone layer. Water vapor is constantly circulating in the atmospheric system and is coupled to the formation and distribution of clouds and rainfall as well as air pollution. The distribution of water vapor plays a crucial role in the vertical stability of the atmosphere and, therefore, in the evolution of atmospheric storms. Moreover, water vapor is the carrier of latent heat and an important component of the global energy balance as well as the transportation medium of energy in the atmosphere. Therefore, it is a fundamental quantity for climatological studies over short and long periods as well as for weather forecasting. Time series of atmospheric water vapor content as well as its spatial distribution is the basis for successful research in many climatic coherences and atmospheric processes.

Water vapor plays a fundamental role in meteorological processes that act over a wide range of spatial and temporal scales. First it plays a fundamental role in the hydrological cycle. In brief, water vapour from the sea and land to the atmosphere where cloud form. From cloud, rain and snow fall back to the Earth's surface, thus supplying rivers, which flow back to the sea. Second it is the dominant greenhouse gas in the atmosphere. The greenhouse gas can lead to global warming. Then, it is both a symptom lead to a cause of the atmospheric greenhouse effect. Generally, the amount of water vapour of the atmosphere increases with temperature. The additional water vapour traps more of the heat energy from sunlight that escapes from the Earth. This trapped of the heat energy making a warming to the Earth's surface.

Troposphere is the lowest part of the atmosphere that contacts earth. It's thickness is about 8 km above poles and 18 km above equator, and changes according to the season. Compares to the other parts of the atmosphere it is the most intensive parts.

Therefore, it is a quite important source of error in determining positions of points precisely. Tropospheric delay is a function of temperature, relative humidity and air pressure, and it is related with the height of the measurement point closely. Tropospheric delay is described as the effect of non-ionized atmosphere to the electro magnetic waves that are broadcast in radio frequencies. This effect causes electromagnetic wave slow down and curve.

In microwave measurements, the tropospheric refractivity causes a delay in the arrival of the signal propagating through the atmosphere. This refraction effect is one of the limiting factors in accurate GPS positioning. The tropospheric path delay can be decomposed into a dry and wet part, where the latter part is coupled with the integrated precipitable water vapor above the GPS receiver.

On the one hand, the refraction effect has to be corrected for GPS measurements, on the other hand, it is a valuable signal to determine the spatial distribution of the water vapor. This study investigates both aspects. For the first part, two basic approaches are looked into: One method is based on meteorological measurements. Thereby, the integrated amount of water vapor and its temporal variation are the prime target. The other concept makes use of long-term GPS measurements. The arrival delay of the GPS signals are used, to estimate the integrated amount of water vapor. This result can then be the basis to determine its spatial distribution and temporal behavior.

Several methods have been recently investigated to obtain an accurate tropospheric refractivity correction. The types of approaches can be divided into three groups: estimation of path delays by GPS measurements, assimilation of (mostly) meteorological measurements including water vapor radiometers.

First method determine the path delay directly with meteorological measurements: Radiosondes measure the pressure, temperature and relative humidity along the line of the sounding, which allows to calculate the respective path delay.

A radiosonde is a traditional measurement device for upper air observations in meteorology. A radiosonde is equipped with different sensors, which typically measure pressure, temperature, relative humidity, and wind (both speed and direction). All radiosonde sensors together with a radio transmitter are attached to a weather balloon, which is normally launched at the most two times per day and the measured vertical profiles of all parameters are reported back to a receiving site at the nominal time epochs 0:00 and 12:00 UTC. The integration of the vertical absolute humidity (expressed in units of mm) profiles from the surface to the top of the radiosonde profiles gives the atmospheric IPWV.

Another method estimates path delays from GPS measurements. Nowadays, this method yields the most accurate path delays. However, GPS-estimated path delays as well as path delays obtained directly from meteorological measurements can only be determined in the line of sight (or zenith direction) of the respective measurement system.

Apart from its importance in geodesy, GPS signals are also a highly valuable information for atmospheric research. The integrated amount of water vapor in the

zenith direction is called integrated precipitable water vapor (IPWV). It is approximately proportional to the tropospheric path delay which can be estimated from GPS measurements. This relatively new research field is commonly called GPS meteorology.

A number of studies have shown that “GPS meteorology” offers detailed coverage and continuous observations regardless of weather conditions (e.g., heavy rainfall and clouds) and is an economical tool to complement other remote-sensing techniques to measure water-vapor content.

The advantages of the GPS measurements are that they can be performed independently on the weather and have a high temporal resolution (a few minutes) on the IPWV estimates. Meanwhile, along with densification and extension of permanent GPS site networks globally and regionally, a continuously improving spatial resolution is expected. Therefore, using the GPS measurements to provide estimates of the IPWV above receivers on the ground is a promising application.

A meteorological sensor should be installed adjacent to the GPS antenna for accurate estimation. The reality is that many meteorological sensors are not located near GPS stations. Alternatively, the surface temperature and pressure data from the nearest weather station can be interpolated. Because the vertical variability of pressure and temperature is sensitive to the altitude of the sensor, the pressure and temperature at all the weather stations are adjusted to a common reference level that refers to the Mean Sea Level (MSL). Subsequently, the pressure and temperature at the MSL are interpolated to derive the pressure and temperature at the GPS stations.

We can use the meteorological data collected hourly at the closest site for Precipitable Water Vapor (IPWV) estimation, or use the interpolated measurements instead. Generally, a method is needed to interpolate the temperature and pressure at the GPS site with measurements from surrounding weather station sites. Because the vertical variability of pressure is sensitive to the altitude of the station, the pressure and temperature measurements given at different altitudes have to be converted to the common reference level, which is often Mean Sea Level. As a result, the interpolated parameters at any point refer to this reference level. These parameters must then be converted to the station level of the GPS station, in order to generate the IPWV measurements for that station.

In this study, between 01.10.2013 and 31.10.2013, using continuous GPS data and hourly temperature and air pressure data observed at ISTA IGS station, precipitable water vapor values were computed. Additionally, these values were verified by the observed radiosonde data at Kartal meteorology station which number is 17062. It was shown that ± 1.7 mm standart deviation and 0 mm mean difference.

In Addition, between 09.10.2013 and 12.10.2013 (72 hours) with 30 minutes periods, precipitable water vapor values were calculated by using zenith tropospheric delay that gets from tropospheric delay models at 7 ISKI UKBS stations (Pala, Terkos, Kuçukcekmece, Silivri, Beykoz, Sile, Tuzla) Furthermore, these values were enterpolated by using inverse distance weighted method to Kartal meteorology station which number is 17062 and verified by the observed radiosonde data. It was shown that ± 1 mm standart deviation and 1 mm mean difference.

1. GİRİŞ

İyonize olmamış atmosferin mikrodalga frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (troposferik yol gecikmesi) olarak isimlendirilmektedir (Kahveci, 1997). Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur. Troposferik gecikme hesabında, Saastamoinen ve Hopfield modelleri, GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Meteorolojik uygulamalarda ise atmosferdeki su buharının konumsal ve zamansal olarak dağılımının hassas olarak temsil edilmesi oldukça güçtür. Yağışa dönüşebilir su buharının (Integrated Precipitable Water Vapor : IPWV) sayısal olarak tahmin kalitesi atmosferik nem bilgisinin dağılımının doğru olarak belirlenmesine bağlıdır (Glowacki ve diğ, 2006).

Başlangıçta askeri alanda konumlama ve navigasyon amaçlı kullanım için tasarlanan Küresel Konumlama Sistemi (GPS), diğer kullanım alanları ile birlikte, yüksek zamansal çözünürlüklü IPWV değerlerinin hesaplanmasında da kullanılabilmektedir (Bevis ve diğ, 1992). GPS ölçümleri yardımıyla hesaplanan IPWV değerleri meteorolojik amaçlı kullanılabilmektedir.

Bu alanda yapılan çalışmalara örnek olarak, Malezya Peninsula'da 2009 yılında bir yıllık veri seti ile dört istasyonda aynı noktada GPS ve radiosonde gözlemleri ile istasyon sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak IPWV değerleri elde edilmiş olup, iki yöntem arasında ortalama 1.88 mm ile 2.63 mm arasında farklar bulunmuştur (Amir S. ve diğ, 2009).

Benzer bir çalışma, Hindistanda 2008 yılında dört yıllık veri seti ile 28 istasyonda birbirine yakın noktalardan GPS ve radiosonde gözlemleri ile modelden alınan sıcaklık ve basınç değerleri ile IPWV değerleri elde edilmiş olup, iki yöntem arasında ortalama 0.7 mm ile 3 mm arasında farklar bulunmuştur (Jade S. ve diğ, 2008).

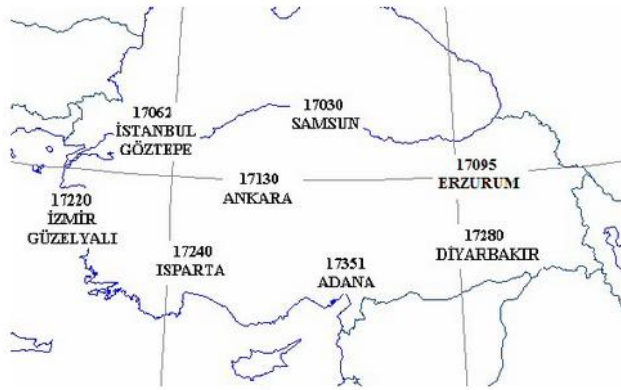
Bir başka çalışmada ise, GPS gözlemleri ile elde edilen IPWV değerleri ile iklim uygulamaları geliştirilmeye çalışılmıştır. 1 mm 'den daha hassas doğruluklara ulaşılmıştır (Ning T, 2012).

2. YÜKSEK ATMOSFER GÖZLEMLERİ

Atmosferin üst tabakaları için gözlem yapan istasyonlarda radyo vericili gözlem aleti, hidrojen veya benzeri hafiflikte gazla doldurulmuş bir balona bağlanarak atmosfere bırakılır. Bu balonlarla 30-40 km yüksekliğe kadar çıkabilen ölçüm cihazı, belirli basınç seviyelerinin yüksekliğini, bu seviyelerdeki sıcaklık ve nemi, rüzgar yön ve şiddetini ölçerek radyo sinyalleri ile yer istasyonuna gönderir.

Ülkemiz ve diğer Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) üyesi ülkeler, Dünya Hava Gözlem Şebekesinin küresel bir parçasıdır ve radiosonde gözlemleri, hava analiz ve tahmini amacıyla değişik ihtiyaçları karşılamak için kurulmuşlardır. Bu istasyonlar belirli zamanlarda, aynı anda rasat yaparlar ve Global Telekomünikasyon Sistemi (GTS) aracılığıyla rasatlarını küresel yayına iletirler (Yıldız, 2009).

Şekil 2.1'deki gibi Türkiye genelinde 8 yerde (Ankara, Adana, Samsun, İstanbul, İzmir, Isparta, Diyarbakır, Erzurum) günde iki defa olmak üzere Yüksek Atmosfer Gözlemleri yapılmaktadır (URL-1).



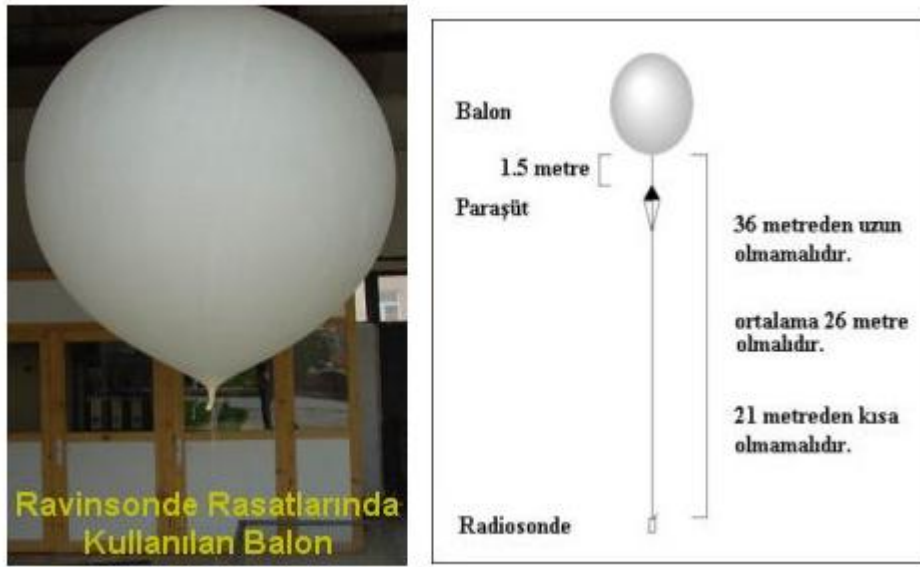
Şekil 2.1 : Türkiye’de mevcut radiosonde istasyonları ve WMO numaraları (URL-2).

2.1 Radiosonde Rasatları

Radiosonde rasatları, radiosonde cihazı denilen ve balonla birlikte serbest atmosfere gönderilen rasat aletleri yardımıyla yapılır. Radiosonde cihazı, balonun yardımıyla

serbest atmosferde yukarı çıkarken meteorolojik bilgileri eş zamanlı olarak ölçen ve istasyona gönderen alettir. Yaklaşık 30 km boyunca ve 30 seviye yüzeyinden elde edilen su buharı basıncı, sıcaklık ve nem değerleri kullanılır (Teke ve diğ, 2009). Radiosonde cihazı, basınç, sıcaklık, nem değerlerini ölçen sensörlerden meydana gelmektedir. Bu sensörler yardımıyla elde edilen bilgiler, önceden belirlenmiş olan bir sıralama dahilinde ve belirlenmiş kısa zaman aralığında alıcı yer istasyonuna gönderilir. Rüzgar bilgileri ise radiosonde cihazının serbest atmosferdeki konumuna bağlı olarak elde edilen açı değerlerinden elde edilir.

Radiosonde rasatları, basıncın, sıcaklığın, nemin, rüzgar yön ve şiddetinin, yerden uçuşun son bulduğu yüksekliğe kadar yüksekliğin bir fonksiyonu olarak elde edildiği gözlemlerdir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, radiosonde sistemi, bir balonun taşıdığı radiosonde cihazı, cihazdan gelen sinyalleri alan ve cihazı izleyen yer ekipmanı ve bilgileri işlemek için bilgisayar ünitesinden ibarettir (URL-2).



Şekil 2.2 : Radiosonde uçuş takımı (URL-2).

2.1.1 Radiosonde gözlemlerinin kullanıldığı alanlar

Türkiye’de 8, dünyada ise 1000’in üzerindeki noktada uygulanan bu yöntemle, yerden havalanan bir balon vasıtasıyla bir verici gökyüzüne bırakılır. Yaklaşık 30-35 km yükseklikte stratosfer tabakasında bu balon patlar ve bağlı olduğu verici paraşüt yardımıyla tekrar yeryüzüne düşer. Vericinin kaydettiği bilgiler sayesinde atmosfer tabakalarındaki nem, sıcaklık ve rüzgar durumları değerlendirilir. Bu değerlendirmeler baz alınan 500 mb basınç yüksekliğindeki nem durumu, sıcaklık

durumu ve rüzgar durumunu verir. Bu veriler hava tahmininin olmazsa olmazlarıdır. Radiosonde gözlemlerinin en temel amacı hava tahmini ve analizidir. Standart izobarik seviyelere ait yükseklik, basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar bilgileri haritalara işlenerek hava tahmin ve analiz çalışmaları yapılır. Radiosonde gözlemleri, günümüzde sayısal hava tahmin modellerinin en temel verilerindendir (URL-2).

3. TROPOSFER

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt katmanıdır. Kalınlığı kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorda ise yaklaşık 18 km'dir. Troposfer gecikme hidrostatik ve ıslak bileşen olarak ikiye ayrılır. Hidrostatik bileşen kuru gazları, ıslak bileşen ise su buharını içerir. Troposfer radyo sinyallerinde gecikmeye sebep olur. Hidrostatik gecikme toplam gecikmenin % 90'ını içerir (Leick, 1995).

Yüksek konum doğruluğu için mikrodalga sinyal gecikmesi eğer doğru olanak elde edilemez ise önemli bir hata kaynağıdır.

Troposferik gecikme aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir (Janes ve diğ, 1991).

$$\Delta S_{trop} = 10^{-6} \int N(s) ds \quad 3.1$$

3.1 eşitliğinde ΔS_{trop} ; troposferik gecikmeyi göstermektedir. Kırıcılık $N(s)$; sıcaklık, basınç ve su buharının bir fonksiyonu olarak Essen ve Froome eşitliğiyle aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$N(s) = k_1 \cdot \frac{P_d}{T} + k_2 \cdot \frac{e}{T} + k_3 \cdot \frac{e}{T^2} \quad 3.2$$

3.2 eşitliğinde P_d ; kuru havanın atmosferik basıncını (mb), e ; gerçek buhar basıncını (mb), T ; atmosferik sıcaklığı (K) ve k_1, k_2, k_3 çizelge 3.1'de belirtilen atmosferik katsayılarıdır.

Çizelge 3.1 : Sık kullanılan kırıcılık sabitleri (Kahveci, 1997).

k_1 (K/mb)	$77,604 \pm 0,014$
k_2 (K/mb)	$64,790 \pm 0,080$
k_3 (K/mb)	$(3,776 \pm 0,004) \cdot 10^5$

Atmosfer iki ideal gazın karışımı olarak düşünülürse;

$$N = N_d(s) + N_w(s) \quad 3.3$$

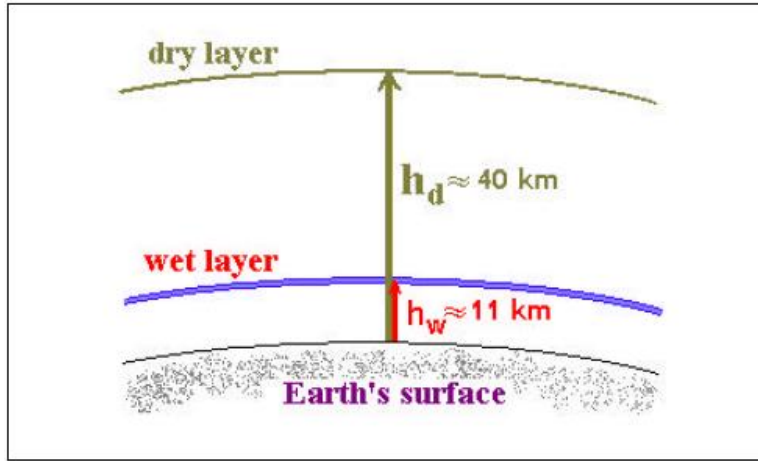
3.3 eşitliğinde $N_d(s)$; kuru bileşen, $N_w(s)$; ıslak bileşen olarak adlandırılmaktadır.

3.1 Geleneksel Troposferik Modeller

Troposferin mikrodalga sinyallerinin yayılımına olan etkisini hesaplayabilmek için birçok model geliştirilmiştir. Burada birkaçına değinilecektir. Ek olarak yükseklik açısına bağlı olarak troposferik indirgeme fonksiyonları ele alınacaktır.

3.1.1 Hopfield modeli

Hopfield modeli 1969 yılında deneysel olarak geliştirilmiştir (Hopfield, 1969). Hopfield'e göre kuru ve ıslak katmanlar Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Hopfield'e göre atmosferin kuru ve ıslak katmanları (Witchayangkoon,2000)

Hopfield modeli kuru ve ıslak kırılma bileşenlerini istasyonun deniz yüzeyinden yüksekliğine bağlı olarak verilen aşağıdaki eşitliğe göre ifade eder.

$$N_d^{Trop} = N_{d,0}^{Trop} \left[\frac{H_d - h}{H_d} \right]^\mu \quad 3.4.a$$

$$N_w^{Trop} = N_{w,0}^{Trop} \left[\frac{H_w - h}{H_w} \right]^\mu \quad 3.4.b$$

μ : 4 'tür ve deneysel olarak belirlenmiştir (Witchayangkoon, 2000) ve yükseklik oran gücü olarak adlandırılır. h ; noktanın deniz seviyesinden olan yüksekliğidir. H_d ; 3.5 eşitliği ile ifade edilir. Kuru bileşenin troposferdeki kalınlığıdır (m).

$$H_d = 40136 + 148.32 (T - 273.15) \quad 3.5$$

H_w : 11000 (m). Islak bileşenin troposferdeki kalınlığıdır.

$$N_{d,0}^{Trop} = k_1 \frac{P_0}{T_0} \quad 3.6.a$$

$$N_{w,0}^{Trop} = k_2 \frac{e_0}{T_0} + k_3 \frac{e_0}{T_0^2} \quad 3.6.b$$

N_d^{Trop} ; kuru troposferik kırılmayı ifade eder. N_w^{Trop} ; ıslak troposferik kırılmayı ifade eder.

3.4.a ve 3.4.b denklemi ile bulunan değerleri belirli integral aralığında ($h=0$ 'dan $h=H_d$ 'ye(m) ve $h=0$, $h=H_w$ (m)) 3.1 eşitliğinde yerlerine koyulursa metre biriminde troposfer zenit gecikmesi şu eşitlikle bulunur.

$$\Delta S_{trop} = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d,0}^{Trop} H_d + N_{w,0}^{Trop} H_w] \quad 3.7$$

3.1.2 Saastamoinen modeli

Saastamoinen modeli 1972 yılında atmosferik kırılma üzerine yoğun çalışmalar yapılarak geliştirilmiştir. Bu modelde, Saaatamoinen, daha çok troposfer kalınlığını bölgelere ve dönemlere göre anlamaya çalışmıştır. Troposferin 10 km'ye kadar olan kısmında sıcaklığın azaldığını saptamış, bunun da enleme ve dönemlere göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Kutup bölgelerinde troposfer yüksekliğinin diğer bölgelere göre çok düşük olduğu ve bu bölgelerde yükseklikle sıcaklıkların arttığı sonucuna varmıştır. Bu modelde daha çok iki ideal gaz üzerinde troposferi açıklamaya çalışır. Bu iki gaz hidrostatik dengenin olduğu kuru hava ve su buharıdır. Gecikmeyi ve kırılmayı elde etmek için ideal gaz kanunlarından yararlanmıştır. Kuru bileşeni iki farklı tabakaya bölerek incelemiştir. Birincisi yerküreden yaklaşık 11-12 km yükseklikte yer alır, ikincisi ise troposferden yaklaşık 50 km yüksekliğe kadar devam eden bölgedir (Erdönmez, 2008).

Saastamoinen optimum koşullarda yol gecikmesi için aşağıdaki eşitliği vermektedir:

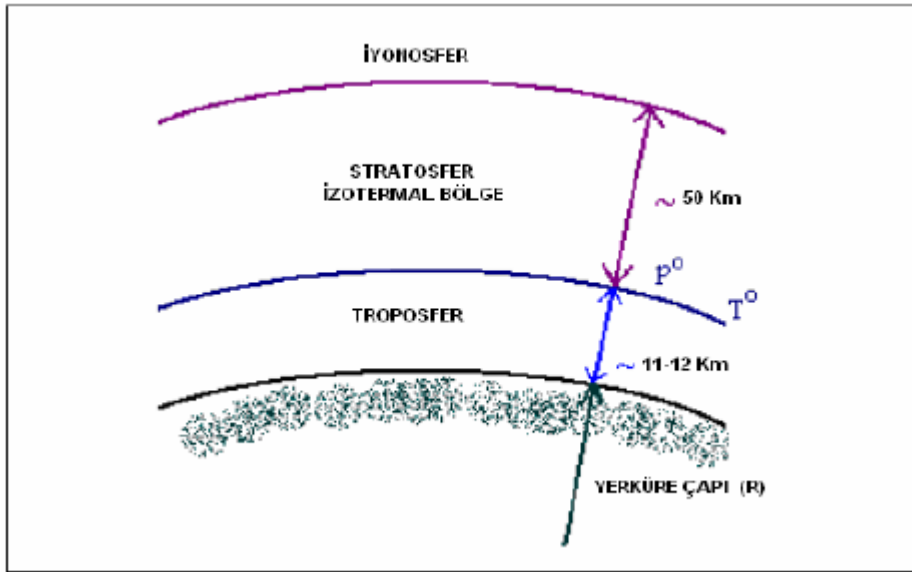
$$\Delta S_{trop} = 0.002277 \sec z \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) e_0 - \Omega \tan^2 z \right] \quad 3.8$$

3.8 eşitliğinde z uydu zenit açısı, P_0 milibar cinsinden gözlem yapılan istasyonun basıncı ve Ω ise sabit bir katsayıdır:

$$\Omega = \frac{R}{rg} \left[\frac{P_0 T_0 - (R\beta / g) P^0 T^0}{1 - R\beta / g} \right] \quad 3.9$$

Bu eşitlikte (R) gaz sabiti, (r) yerkürenin yarıçapı, (T_0) istasyon sıcaklığını, (P_0) ve (T^0) stratosferin alt kısmındaki sıcaklık ve basıncı, (β) düşey sıcaklık gradyentini (dT/dh) ifade etmektedir. Saastamoinen (Ω) katsayısını, deniz seviyesinden belirli aralıklarla elde etmeyi başarmıştır. Deniz seviyesinde yer alan bir istasyon için (Ω) katsayısı 1.16 dır. Zenit yönünde ($z=0$), (Ω) katsayısı sıfırdır. ($z=0$) için 3.8 eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir (Saastamoinen, 1973);

$$\Delta S_{trop} = 0.002277 \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) e_0 \right] \quad 3.10$$



Şekil 3.2 : Saastamoinene göre atmosfer tanımı (Erdönmez, 2008)

Troposfer modeli kuru ve ıslak katman olarak Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Saastamoinen modeli üzerine gözlemlenen istasyondaki gravite düzeltmesi de eklenmiştir (Janes, 1991).

$$\Delta S_{trop} = \frac{0.002277}{g} \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) e_0 \right] \quad 3.11$$

$$g' = 1 - 0.0026 \cos 2\varphi - 0.00028 h_0 \quad 3.12$$

(g') m/s^2 cinsinden ifade edilir. (φ) istasyonun enlemidir. (h_0) ise istasyonun ortometrik yüksekliğidir.

3.2 Troposferik İzdüşüm Fonksiyonları

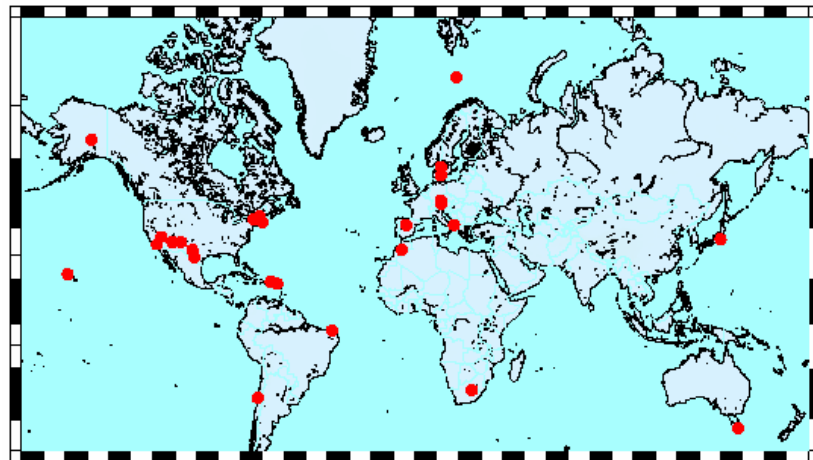
Troposferik izdüşüm fonksiyonları farklı yükseklik açılarındaki öncül zenit gecikme değerlerinin elde edilmesinde kullanılırlar. Herhangi bir uydudan gelen sinyale etki eden troposferik gecikme miktarının zenit doğrultusundaki gecikme miktarına indirgenmesini sağlayan bu fonksiyona indirgeme fonksiyonu denilmektedir (Niell,1996).

Troposferik izdüşüm fonksiyonları, sıcaklığın, basıncın ve bağıl nemin fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Bazı troposferik izdüşüm fonksiyonları (Herring, 1992 ve Niell, 1996), enlem ve deniz seviyesinden olan yüksekliği de dikkate alarak ortaya çıkarılmıştır. Aşağıda bunlardan birkaçı ele alınacaktır.

3.2.1 Niell izdüşüm fonksiyonu (NMF)

GPS ve VLBI tabanlı jeodezik ölçmelerde, konumsal ve zamansal bileşenlerden elde edilen katsayılarla, başucu yönündeki ıslak ve kuru bileşen etkileri hesaplanabilir.

Coster A J ve diğ. (2001) tarafından 43° S ve 75° N enlemleri arasındaki Şekil 3.3'deki radiosonde istasyonlarında yaklaşık bir yıllık radiosonde verisi kullanılarak türetilmiştir.



Şekil 3.3 : NMF katsayılarının belirlendiği istasyonlar. (Erkan, 2008)

Fonksiyonel model ıslak ve kuru bileşen için ayrı ayrı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$mf(E) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\sin E + \frac{a}{\sin E + \frac{b}{\sin E + c}}} \quad 3.13$$

Burada $mf(E)$; İzdüşüm fonksiyonu, E ; Yükseklik açısı, a, b ve c ; hidrostatik ve ıslak bileşen için katsayılarıdır ve Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Hidrostatik bileşen için katsayılar (Niell, 1996)

Katsayı	Enlem				
	15°	30°	45°	60°	75°
Ortalama					
a	1,2770×10 ⁻³	1,2683×10 ⁻³	1,2465×10 ⁻³	1,2196×10 ⁻³	1,2046×10 ⁻³
b	2,9154×10 ⁻³	2,9152×10 ⁻³	2,9288×10 ⁻³	2,9022×10 ⁻³	2,9024×10 ⁻³
c	62,610×10 ⁻³	62,837×10 ⁻³	63,721×10 ⁻³	63,824×10 ⁻³	64,258×10 ⁻³
Genlik					
a	0,0	1,2710×10 ⁻⁵	2,6523×10 ⁻⁵	3,4000×10 ⁻⁵	4,1202×10 ⁻⁵
b	0,0	2,1415×10 ⁻⁵	3,0161×10 ⁻⁵	7,2562×10 ⁻⁵	11,723×10 ⁻⁵
c	0,0	9,0128×10 ⁻⁵	4,3497×10 ⁻⁵	84,795×10 ⁻⁵	170,37×10 ⁻⁵

İstenilen gün ve enlemde (φ, t) hidrostatik bileşen a, b ve c katsayılarını hesaplamak için Çizelge 3.2’ye göre enterpolasyon yapılır. 3.14 eşitliği ile verilen enterpolasyon t zamanında Ocak ayı başlangıç zamanı alınarak (day of the year, DOY-28, T_0) yapılır. Bu yöntemle göre aynı şekilde b ve c katsayıları da istenilen enlemde hesaplanır.

$$a(\varphi_i, t) = a_{ort}(\varphi_i) + a_{gen}(\varphi_i) \cos\left(\frac{t - T_0}{365.25} 2\pi\right) \quad 3.14$$

Çizelge 3.3'deki a_{ht} , b_{ht} , c_{ht} katsayılarıyla yükseklik düzeltmesi 3.15 eşitliği ile bulunur.

Çizelge 3.3 : Hidrostatik ve ıslak bileşen için yükseklik düzeltme katsayıları (Niell, 1996).

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

$$corr_{ht} = \left(\frac{1}{\sin E} \frac{1 + \frac{a_{ht}}{b_{ht}}}{1 + \frac{a_{ht}}{c_{ht}}} \right) * h \quad 3.15$$

3.15 eşitliğinde h ; noktanın elipsoidten olan yüksekliğidir (km).

Çizelge 3.2 ve 3.4'deki katsayılarla 3.15 eşitliğindeki yükseklik düzeltmesinin eklenmesi ile 3.16 eşitliği elde edilir.

Çizelge 3.4 : Islak bileşen için katsayılar (Niell, 1996).

Enlem				
15°	30°	45°	60°	75°
$5,802189e-4$	$5,679485 \times 10^{-4}$	$5,811802 \times 10^{-4}$	$5,972754 \times 10^{-4}$	$6,1642 \times 10^{-4}$
$1,427527e-3$	$1,513863 \times 10^{-3}$	$1,457275 \times 10^{-3}$	$1,500743 \times 10^{-3}$	$1,7599 \times 10^{-3}$
$4,347296e-2$	$4,672951 \times 10^{-2}$	$4,390893 \times 10^{-2}$	$4,462698 \times 10^{-2}$	$5,4736 \times 10^{-2}$

$$hnm = mf(E) + corr_{ht} \quad 3.16$$

Kuru ve ıslak bileşen için indirgeme fonksiyonu elde edilmiş olur.

3.2.2 Global izdüşüm fonksiyonu (GMF)

Sayısal hava tahmin modeli tabanlı GMF, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) verilerinden türetilen katsayılarla ortaya konmuştur. Enlem, boylam ve mevsimsel etkilere bağlı, mevcut GPS yazılımlarında kolaylıkla girdi olarak kullanılabilen sayısal hava tahmin tabanlı bir indirgeme fonksiyonu olup, son birkaç yıldır kullanılmaya başlanmıştır (Boehm and Schuh 2006).

GMF hesaplamasında (kuru ve ıslak bileşenler için) gerekli olan a, b, c katsayıları ECMWF'den 40 yıllık basınç, sıcaklık ve bağıl nem bilgisi aylık ortalamalarının 15°x15° kareler ağına ayrılmasıyla Eylül 1999 ile Ağustos 2002 arasındaki zaman dilimi için hesaplanmıştır. Eşitlikte geçen a katsayısı 3.14 eşitliğinden hesaplanır. b ve c katsayıları da Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Islak ve kuru bileşenler için hesaplanan değere 3.15 eşitliği ile verilen yükseklik düzeltilmesi uygulanarak, katsayılar ortalama deniz seviyesine indirgenir. Söz konusu sinüzoidal fonksiyon aşağıda verilmektedir.

$$a = a_0 + A \cos\left(\frac{day - 28}{365} \cdot 2\pi\right) \quad 3.17$$

Eşitlikte verilmekte olan a, ıslak ve kuru bileşen katsayısı, a₀, yıllık genlik değeridir.

4. GPS METEOROLOJİSİ

GPS Meteorolojisi kavramı, GPS verisinin, atmosferik koşulların izlenmesi ve analizi maksadıyla kullanılmasını ifade eder. Atmosferik koşulların izlenmesi hem yer tabanlı hem de uzay tabanlı GPS uygulamaları ile yapılabilmektedir. GPS uydularının yayımladığı mikrodalga sinyalleri troposferik yol gecikmesini ölçmek amacıyla kullanılabilir. Söz konusu yol gecikme profilleri ise sıcaklık bilgisi mevcut olduğunda troposferik nem bilgisine dönüştürülebilmektedir.

Konumu bilinen noktalarda kurulan GPS alıcılarının topladığı GPS verileri yağışa dönüşebilir su buharının (IPWV) hesaplanmasında kullanılabilir. Atmosferik çalışmalar, GPS yardımıyla hesaplanan IPWV değerlerinin yapılan hava tahminlerinin doğruluğunu arttırdığını göstermektedir (Ferretti ve diğ, 2005).

Genel bir yaklaşım olarak; troposferik gecikme etkisini hesaplamak amacıyla, öncelikle başucu (zenit) doğrultusundaki toplam gecikme miktarı (Zenith Total Delay, ZTD) öncül olarak modelden hesaplanır. Bunu yaparken, herhangi bir uyduya olan gözlemler ile zenit doğrultusu arasındaki ilişki deneysel bir indirgeme fonksiyonu ile sağlanır. Son olarak, yapılan GPS değerlendirmesi neticesinde modelden elde edilen öncül ZTD değerlerine gelecek düzeltme miktarları hesaplanarak istenilen zaman aralıklarında ZTD değerleri bulunur (Tregoning ve diğ, 2006).

4.1 GNSS için Troposferik Gecikme Modelleri

GPS sinyallerine zenit doğrultusunda yaklaşık 2.5 m olan gecikme değeri, düşük yükseklik açılarında 20 m'yi bulabilmektedir (15 derece altında).

Geleneksel modellerle (Saastamoinen ve Hopfield) troposferik gecikme cm ve dm mertebesinde mevcut meteorolojik ölçümlerle hesaplanabilmekte ise de, bu gerçek zamanlı ölçümler için yeterli değildir. GNSS uygulamalarında troposferik gecikme deneysel tahmin modelleriyle azaltılmaktadır (Weil ve diğ, 2012).

4.1.1 Viyana küresel troposferik gecikme modeli (VMF)

VMF, GMF ile belirlenen katsayıların küresel harmoniklere açılarak türetilen grid dosyasıdır. VMF kullanılması için gerekli olan girdi dosyası, URL-3 internet adresinden, 1994 ile 2013 yılları arasında zamansal çözünürlüğü 6 saat olan grid dosyası şeklinde yayımlanmaktadır. Matematiksel eşitlikleri (3.12) verilmiştir.

4.1.2 UNB3m troposferik gecikme modeli

Algoritması belirli bir bölgenin enlem, yükseklik ve zaman bilgileriyle meteorolojik veri tahmini esasına dayanır. Saastamoinen modelini kullanarak hidrostatik ve ıslak gecikme değerlerini hesaplar. Herhangi bir serbest doğrultuya ilişkin gecikmeyi hesaplarken Niell indirgeme fonksiyonunu kullanır. Kuzey Amerika ve çevresinde 4 yıllık radiosonde istasyonlarındaki veriler karşılaştırılıp ortalama 0.5 cm fark elde edilmiştir. (URL-4)

4.2 Yağışa Dönüştürülebilir Su Buharı (IPWV) Hesabı

GNSS uygulamalarında kullanılan troposferik gecikme modelleri bölüm 4.1’de anlatılmıştır. Troposferik modeller ile hesaplanan ZTD değeri Zenit Hidrostatik Gecikme (ZHD) ve Zenit Islak Gecikme (ZWD) olarak iki bileşenle ifade edilmektedir. Ölçülmüş yüzey sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak, ZHD büyüklüğü saastamoinen modelinden hesaplanabilmektedir.

$$\Delta S_{trop}^z = 0.2277 * \frac{P}{f(\varphi, H)} \quad 4.1$$

$$f(\varphi, H) \equiv 1 - 0.0026 * \cos 2\varphi - 0.00028 * H$$

4.1 eşitliğinde, ΔS_{trop}^z (m); zenit hidrostatik gecikmeyi, H (km); ölçü noktasının ortalama deniz seviyesinden olan yüksekliğini (elipsoidal yükseklik), φ (radyan); noktanın enlemidir.

ZWD değeri;

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad 4.2$$

ile kolayca hesaplanabilir.

Daha sonra ZWD'den yararlanarak IPWV değerleri;

$$IWV = \int \rho_v dz \approx \kappa \cdot ZWD \quad 4.3.a$$

$$\frac{1}{\kappa} = 10^{-5} (k_3/T_m + k_2') R_v$$

$$T_m = \frac{\int (P_v/T) dz}{\int (P_v/T^2) dz} \quad 4.3.b$$

Eşitlikleri ile bulunur. Burada R_v ; su buharının kısmi basıncı (gaz sabitesini ifade eder) ve değeri 461.524 j/(Kkg) olarak verilmektedir (Troller, 2004). T_m ; yüzeyin ağırlıklı ortalama sıcaklığıdır ve $T_m = 70.2 + 0.72 \times T_s$. Amerika'da 13 istasyonda 8718 radiosonde profilleri ile 2 yıl boyunca yapılan çalışma ile hesaplanmıştır. T_s ; istasyondaki yüzey sıcaklığıdır (Kelvin) (Mendes, 2002).

5. UYGULAMA

Bu çalışmada ISTA IGS istasyonuna ait Ekim 2013 için bir aylık ZTD değerleri GPS gözlemlerinden bölüm 3.1.2’de açıklanan Saastamoinen öncül modeli ve 3.13 eşitliğinde belirtilen Niell indirgeme fonksiyonlarını kullanarak Bernese GPS yazılımı ile bir saatlik aralıklarla hesaplayan IGS analiz merkezinden (The Geodetic Observatory Pency) elde edilmiştir (URL-5).

Ayrıca İSKİ Uydulardan Konum Belirleme Sistemi’ne (UKBS) ait 7 istasyonda (Pala, Terkos, Silivri, Küçükçekmece, Beykoz, Şile, Tuzla) Ekimde 2013’de üç gün için 30 dakikalık dilimleri kapsayan ZTD değerleri elde edilmiştir. Bunun için GPS gözlemlerinden GPS Analysis Positioning Software (GAPS) ile bölüm 4.1.2’de anlatılan UNB3m öncül modeli ve 3.13 eşitliğinde belirtilen Niell indirgeme fonksiyonları kullanılmıştır (URL-6). İSKİ Harita Müdürlüğü’nden alınan 3 günlük rinex observation dataları GAPS’de girdi olarak kullanılmıştır.

ZTD değerleri elde edildikten sonra enlem, basınç ve yükseklik faktörleriyle 4.1 eşitliği ile ZHD değerleri hesaplanmıştır. ZWD değerleri için ise 4.2’de belirtilen eşitlikler kullanılmıştır. ZWD değerlerinden sıcaklık faktörü dikkate alınarak 4.2. bölüm ve 4.3.a’daki eşitlikler kullanılarak IPWV değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra IPWV değerlerinin bölüm 2.1’de anlatılan radiosonde gözlem yöntemleri ile ulaşılan IPWV değerleriyle olan ilişkisi irdelenmiştir.

5.1 ISTA

Şekil 5.1’de Sopac IGS analiz merkezinden elde edilen ISTA IGS istasyonuna ait enlem, boylam ve yükseklik bilgileri mevcuttur (URL-7). Bu istasyonda anten tipi ASH700936D_M olan ASHTECH Z-XII3 modelinde GPS alıcısı bulunmaktadır.

Şekil 5.1 : ISTA IGS istasyonu enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik bilgileri (URL-7).

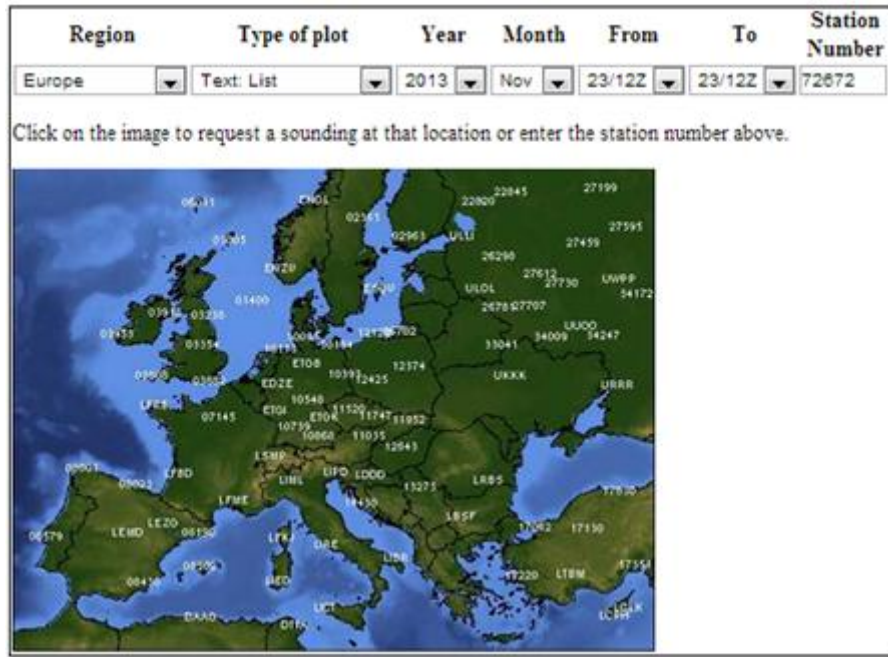
5.1.1 ISTA IGS istasyonu için IPWV hesaplamasında kullanılan veriler

ISTA IGS istasyonu için 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihlerine ait 12 saatlik dilimleri kapsayan (0.00 – 12.00 saatleri için) ZTD değerleri 3.1.2’de açıklanan Saastamoinen öncül modeli ve 3.13 eşitliğinde belirtilen Niell indirgeme fonksiyonlarını kullanarak Bernese GPS yazılımı ile bir saat aralıklı hesaplayan IGS analiz merkezinden elde edilmiştir (URL-5).

Şekil 5.3’deki gibi güncel meteoroloji dosyalarını elde etmek için başka bir IGS analiz merkezi olan sopac kullanılmıştır (URL-8).

Şekil 5.3 : Sopac IGS servisinin data paylaşım arayüzü (URL-8).

Ulaşılan IPWV verilerinin doğrulaması için yine 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında 12 saatlik dilimleri kapsayan (0.00 – 12.00 saatleri için) 17062 numaralı İstanbul'daki radiosonde istasyonu gözlemlerine Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimleri Bölümü’nün web sayfasından ulaşılmıştır (URL-9). Bir örnek şekil 5.4’de görülmektedir.



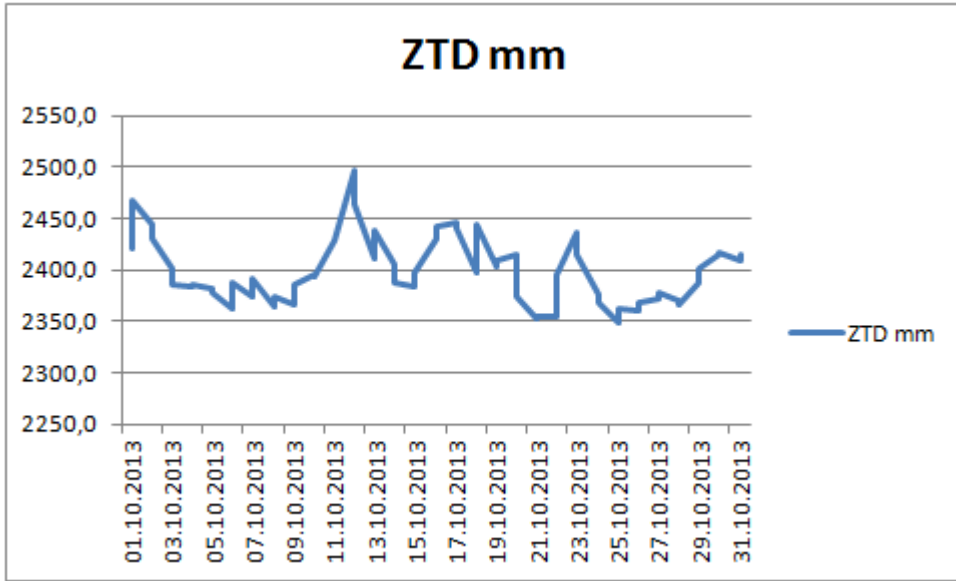
Şekil 5.4 : Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimleri Departmanı radiosonde veri paylaşım sitesi (URL-9).

5.1.2 ISTA IGS istasyonu için IPWV hesaplama metodolojisi

ISTA IGS istasyonu için belirtilen tarihlere ait ZTD değerleri bölüm 5’de açıklandığı gibi IGS analiz merkezinden standart atmosferik modelden elde edilmiştir. ISTA IGS istasyonu için enlem, yükseklik ve güncel basınç değerleri ile Saastamoinen troposfer modeli kullanılarak belirtilen saat ve günler için ZHD 4.1 eşitliğinde açıklandığı gibi hesaplanmıştır. ZTD ve ZHD değerlerini kullanarak 4.2 eşitliği ile ZWD değerlerin hesaplanmıştır. 4.2. bölüm ve 4.3.a'daki eşitlikler kullanılarak IPWV değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan güncel Ts değerleri sopac igs analiz merkezinden alınmıştır. Daha sonra IPWV değerlerinin bölüm 2.1’de anlatılan radiosonde gözlem yöntemleriyle ulaşılan IPWV değerleriyle olan ilişkisi irdelenmiştir.

5.1.3 ZHD ve ZWD değerlerinin hesaplanması

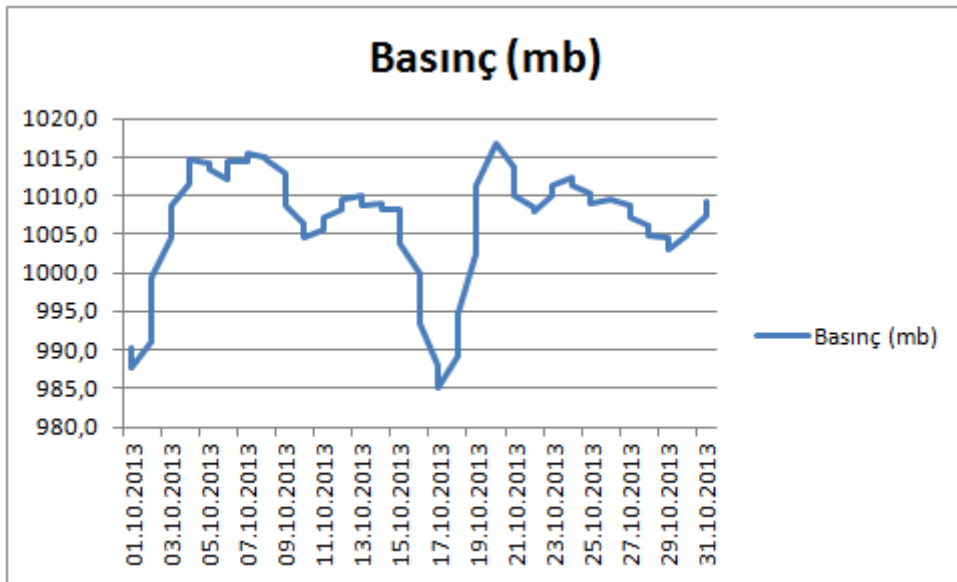
İlk olarak; ISTA IGS istasyonu için şekil 5.5’de gösterilen ekim 2013’e ait ZTD değerleri incelenmiştir. Gecikme değerleri 2,35 m ve 2,50 m arasında değişmektedir. Ortalama değeri 2,3989 m ve standart sapması 0,0318 m'dir.



Şekil 5.5 : ISTA IGS istasyonu için 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında 12 saatlik dilimleri kapsayan ZTD değerleri

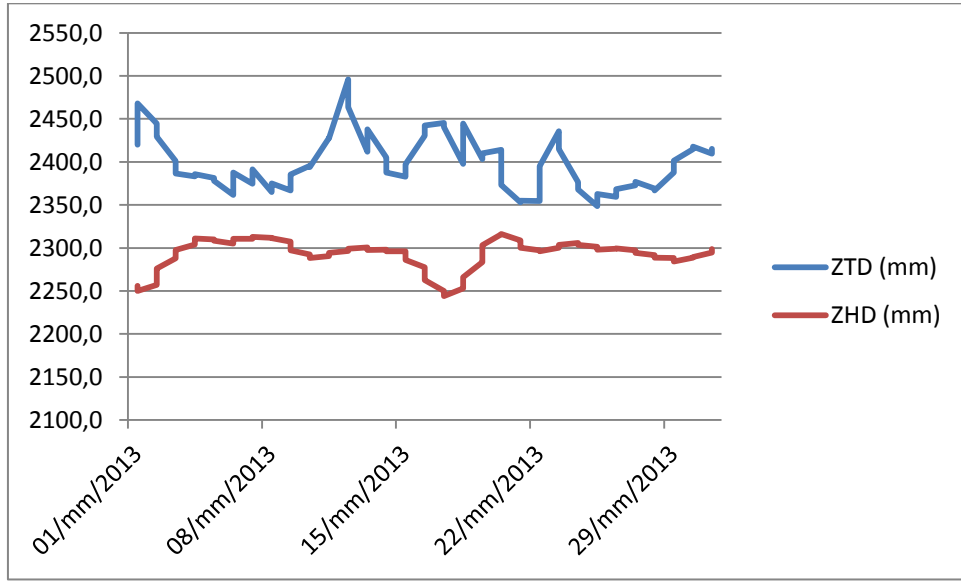
ZWD değerlerinin hesaplanabilmesi için ilk olarak ZHD değeri hesaplanmıştır.

İstasyona ait güncel basınç, enlem ve yükseklik değerleri kullanılarak 4.1 eşitliği ile ekim 2013'e ait ZHD değerleri hesaplanmıştır. ZHD hesabında kullanılan ISTA IGS istasyonundaki basınç değerleri şekil 5.6'da gösterilmektedir.



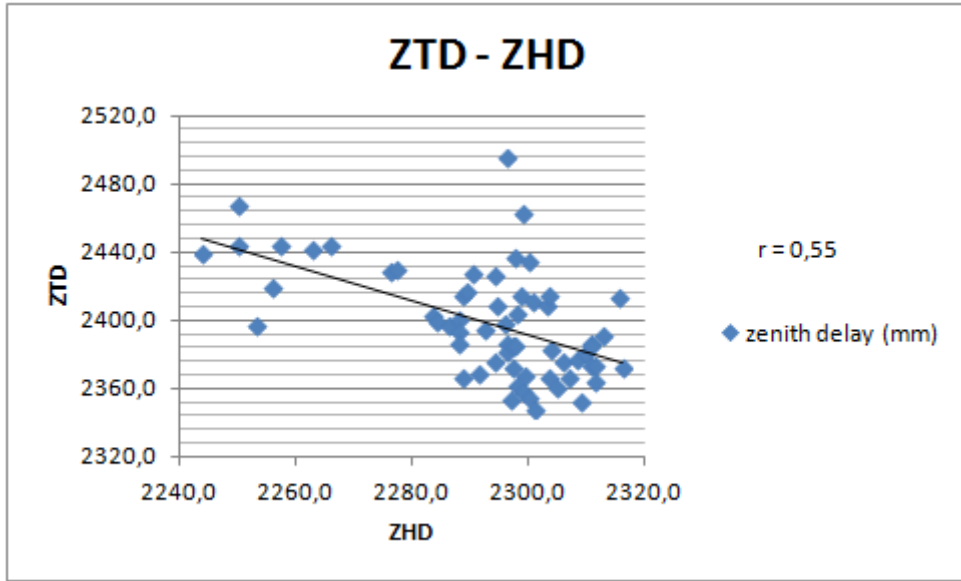
Şekil 5.6 : ZHD'de kullanılan ISTA istasyonuna ait 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki basınç değerleri

Şekil 5.7 incelendiğinde ZHD'nin de ZTD gibi metre mertebesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7 : 01.10.2013 - 31.10.2013 tarihleri arasında 12 saatlik dilimleri kapsayan ZTD ve hesaplanan ZHD değerleri

Şekil 5.8’de görüldüğü üzere, korelasyon analizi yapılarak, ZHD değerlerinin ZTD değerleri ile doğrusal bir ilişkisinin olmadığı görüldü.

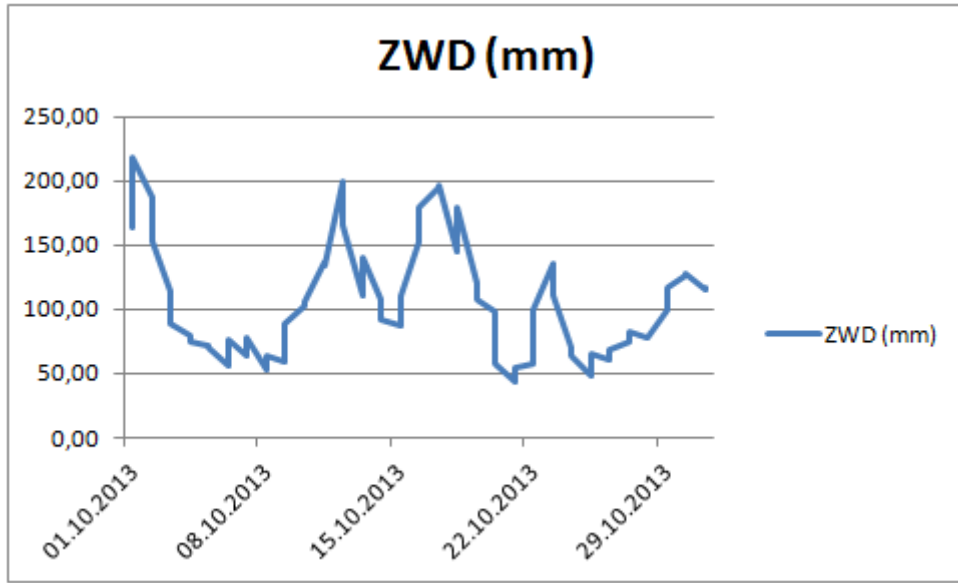


Şekil 5.8 : ZTD - ZHD korelasyon ilişkisi.

Mevcut ZHD değerleri kullanılarak 4.2 eşitliği ile ekim 2013’e ait 12 saatlik dilimleri kapsayan ZWD değerleri hesaplanmıştır.

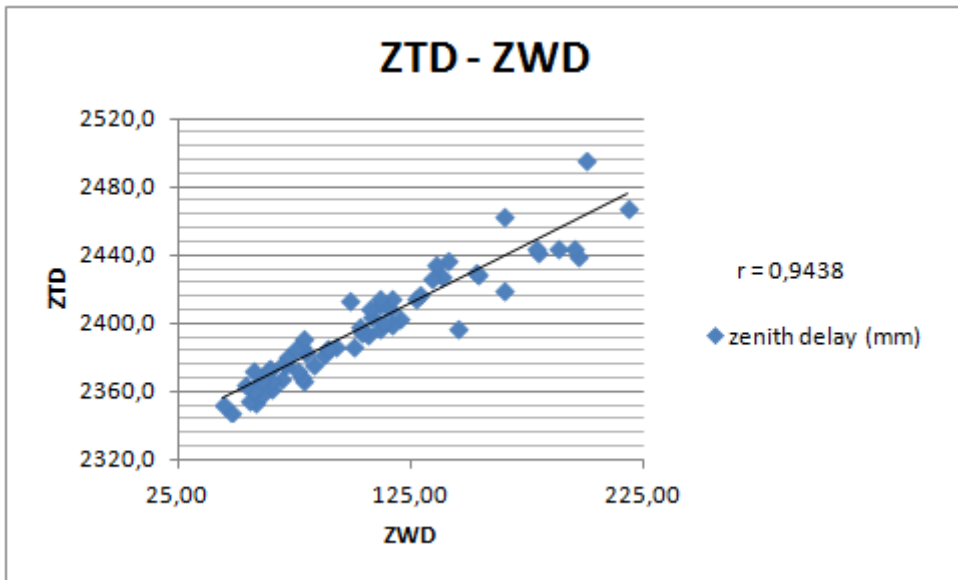
Şekil 5.9’da ZWD değerleri incelendiğinde değerlerin cm mertebesinde olduğu görülmüştür. ZHD 2.3 m mertebelerinde iken ZWD 0.15 cm mertebelerinde

olmasının sebebi bölüm 3’de belirtildiği üzere; ZWD’nin toplam gecikmenin yalnızca %10’unu içeriyor olmasıdır.



Şekil 5.9 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasında hesaplanan 12 saatlik dilimleri kapsayan ZWD değerleri.

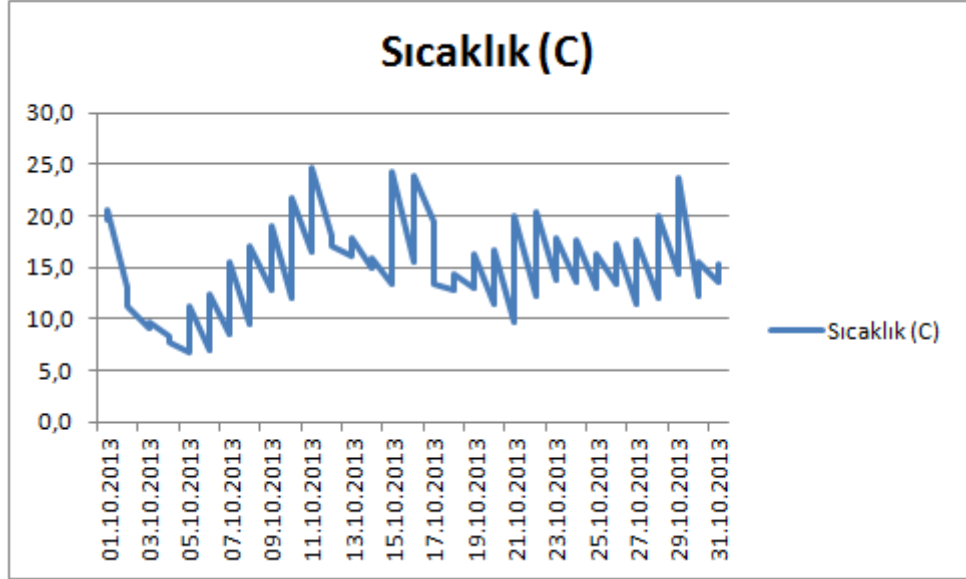
Şekil 5.10’da görüldüğü gibi, ZTD, % 10 ZWD ve % 90 ZHD içermesine rağmen, korelasyon analizi sonucu ZTD değerlerinin ZWD değerleri ile yüksek bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 : ZTD – ZWD korelasyon ilişkisi.

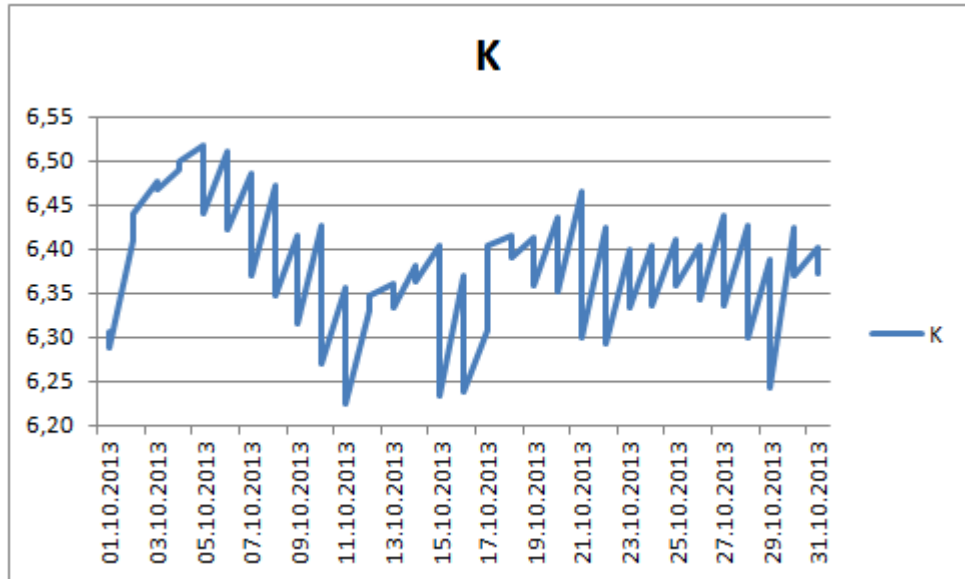
5.1.4 GPS verileri ile yağışa dönüşebilir su buharı hesabı (IPWV)

Bölüm 5.1.3’de anlatıldığı gibi hesaplanan ZWD değerleriyle su buharının kısmi basıncı ve istasyonun ağırlıklı ortalama sıcaklığı ile 4.3.a formülü kullanılarak IPWV değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.11 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki 12 saatlik dilimleri kapsayan sopac IGS analiz merkezinden alınan sıcaklık değerleri (URL-8).

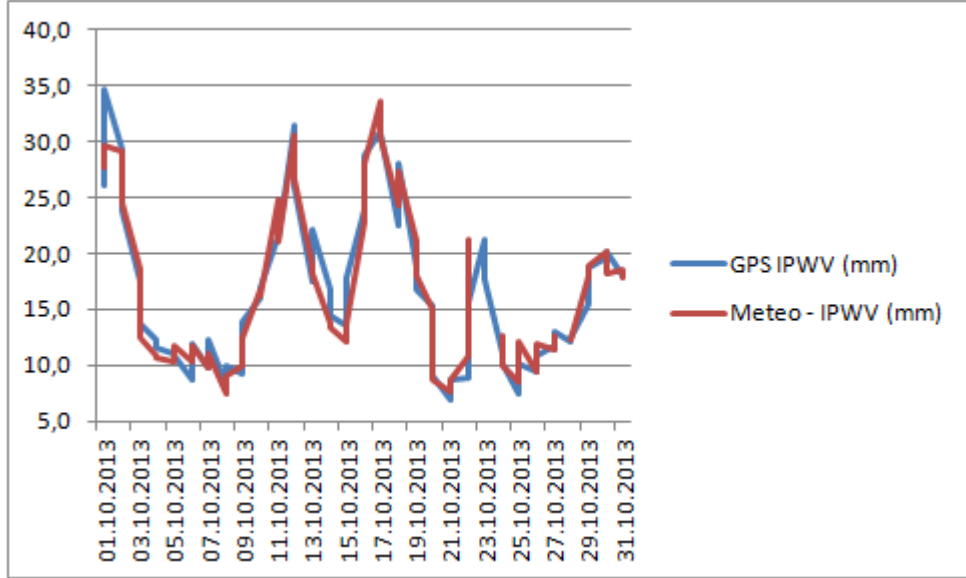
Şekil 5.11’de gösterilen ISTA IGS istasyonuna ait yüzey sıcaklık değerleri kullanılarak 4.3.b eşitliği ile istasyona ait ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.12 : IPWV hesabında kullanılan K çarpanı. (6,35 civarında değişmektedir).

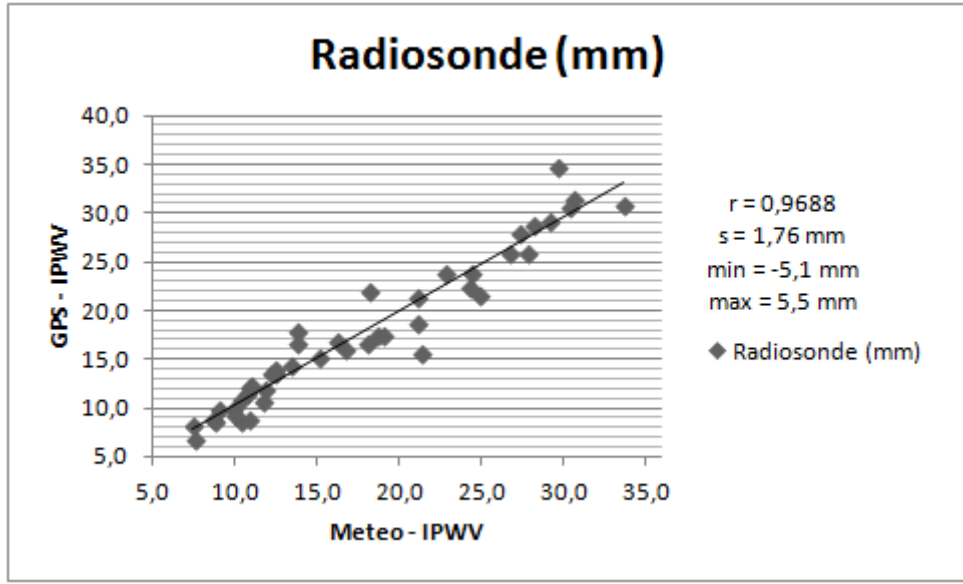
Daha sonra ortalama sıcaklık değerleri ile şekil 5.12’de verilen K arpanı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Troller (2004)’n ifade ettiği gibi yaklaşık 6.25 olduğu görülmüştür. K arpanı hesabından sonra ZWD değerlerinden ekim 2013 için IPWV değerleri 4.3.a eşitliği ile hesaplanmıştır.

şekil 5.13’de IPWV değerleri incelendiğinde 10 mm ile 35 mm arasında değiştiği görülmüştür. Doğrulamak için de Kartal radiosonde gözlemlerinin yapıldığı meteoroloji istasyon verileriyle karşılaştırılmıştır.

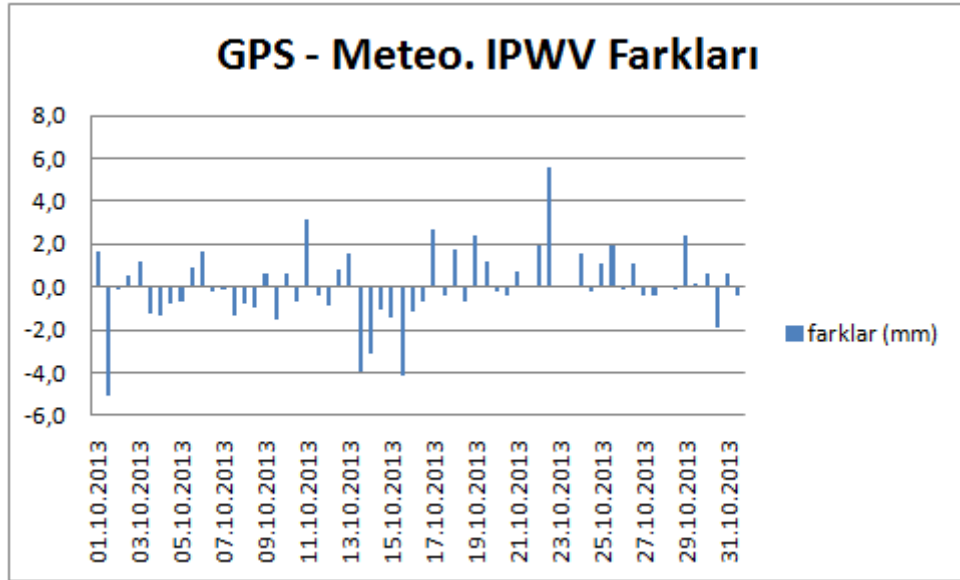


şekil 5.13 : 01.10.2013 – 31.10.2013 tarihleri arasındaki 12 saatlik dilimleri kapsayan GPS – IPWV ve Meteoroloji - IPWV değerleri.

şekil 5.14’de görüldüğü gibi farklı yöntem ve araçlarla hesaplanan GPS – IPWV ve Meteoroloji IPWV değerleri arasında yapılan korelasyon analizi sonucu yüksek bir uyurşum olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.14 : Ekim 2013 e ait 31 günlük 12 saatlik dilimleri kapsayan hesaplanan GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri arasındaki korelasyon.



Şekil 5.15 : Ekim 2013 için 12 saatlik dilimleri kapsayan GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV farkları (mm).

Hesaplanan GPS IPWV değerleri ile URL-9 adresinden elde edilen IPWV değerleri arasındaki farklar şekil 5.15 incelendiğinde, göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu görülmüş olup, hataların sadece GPS – IPWV değerlerinde değil, radiosonde ölçümlerinde de olabileceği unutulmamalıdır.

5.2 İSKİ UKBS

Şekil 5.16’da İSKİ UKBS istasyon yerleri, ve çizelge 5.1 ‘de enlem, boylam ve yükseklik bilgileri mevcuttur. Bu istasyonlarda anten tipi TPSCR.G3 olan topcon marka TPS NET-G3 modelinde GPS alıcıları bulunmaktadır.



Şekil 5.16 : uygulama için kullanılan İSKİ UKBS istasyonları.

Çizelge 5.1 : İSKİ UKBS istasyonları enlem, boylam ve yükseklik bilgileri.

İstasyon	Enlem	Boylam	Elipsoidal Y.
BEYK	41°10'36.193523	29°05'36.675021	101,27
KCEK	41°00'09.889302	28°46'47.10394	122,915
SLVR	41°04'48.776351	28°05'00.244368	138,247
TERK	41°18'11.052239	28°40'24.878919	48,014
TUZL	40°49'35.386347	29°17'32.818879	55,278
SILE 4	41°10'44.388385	29°36'47.945377	79,638
PALA	41°05'10.765568	28°57'47.524203	170,561

5.2.1 İSKİ UKBS İstasyonları için IPWV hesaplamasında kullanılan veriler

UKBS ağındaki 7 istasyona ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 3 günlük rinex observation dataları İSKİ Harita Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Bir örnek şekil 5.17’de gösterilmiştir.

2.10	OBSERVATION DATA					M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE	
TPS2RIN 8.1	ISKI					09-OCT-13 04:17	PGM / RUN BY / DATE	
build Jun 8 2009 (c) Topcon Positioning Systems							COMMENT	
E:\DATA\RINEX\2013\282\BEYK1009a.tps							COMMENT	
BEYK							MARKER NAME	
ISKI							OBSERVER / AGENCY	
8RMR5HGQ000							3.5 Dec,24,2010	
000							REC # / TYPE / VERS	
4201156.8455							ANT # / TYPE	
0.0000							APPROX POSITION XYZ	
2337711.6460							ANTENNA: DELTA H/E/N	
0.0000							WAVELENGTH FACT L1/2	
4177281.3329							TIME OF FIRST OBS	
0.0000							TIME OF LAST OBS	
1	1	9	0	0	0.0000000	GPS		
2013	10	9	0	59	30.0000000	GPS		

Şekil 5.17 : Beykoz 09.10.2013 tarihli rinex observation datası.

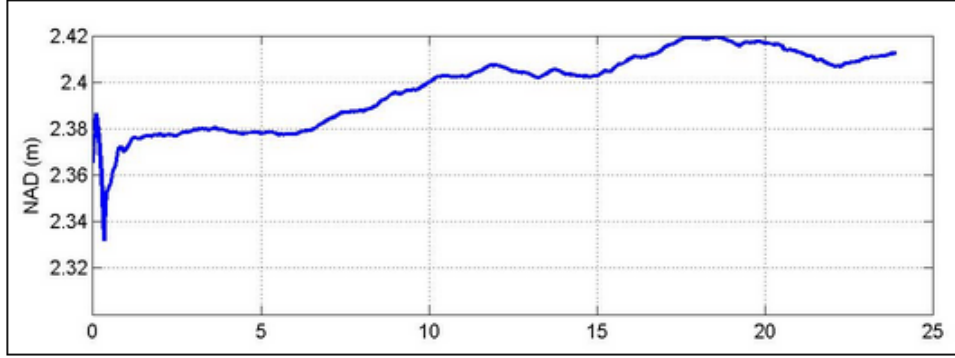
ISKİ UKBS ağına ait 7 istasyon için 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında toplam 72 saatlik (30 dakika aralıklı) ZTD değerleri 3 günlük rinex observation dataları kullanılarak GAPS ile elde edilmiştir. Çözümlemede UNB3m, VMF öncül troposferik modelleri ve Niell indirgeme fonksiyonları kullanılmıştır.

GAPS v5.2.0
General information:
Station: BEYK
Observation file: BEYK282r.130
Processed from 0:0:0 to 23:55:0 of 2013/10/9
Run at 16-Nov-2013 18:49:49 and finished in 34.67 seconds
Positioning type: Static
IGS orbits: Precise
Antenna calibration: Absolute
Cutoff elevation angle: 10 degrees
Neutral Atmosphere Delay (NAD) model: VMF1-gridded - UNBVMFGcmc_20131009
A-priori NAD: 2.372 m
A-priori NAD standard deviation: 0.100 m
NAD variation: 5.0 mm/sqrt(h)
Mapping Function: VMF1-gridded - UNBVMFGcmc_20131009
Gradient Estimation: Estimated
A-priori Gradient Standard Deviation: 0.0
Gradient Variation: 5.0 mm/sqrt(h)
Ocean Tidal Loading: no
Body Tidal Loading: yes
Receiver type : Topcon
Detected as a non cross-correlation receiver
Antenna Calibration : TPSCR.G3 NONE
Marker to Antenna Reference Point (ARP): 0.000 m
ARP to Antenna Phase Center: 0.041 m
Observables processed : Pseudorange (P1/P2) and carrier-phase (L1/L2)
Linear combination: ion-free

Şekil 5.18 : 09.10.2013 tarihli Beykoz istasyonu için GAPS çözüm bilgisi.

Şekil 5.18’de gösterildiği üzere; kullanılan rinex datası BEYK282.130’dur. İsminden de anlaşılacağı gibi rinex datası BEYK adlı istasyonun 2013 yılının 282.gününe aittir. İşlem saat aralığı 0.00-23.55’dir. 16 Kasım 2013 saat 18’.49’da işlem

yapılmıştır. 10^0 yükseklik açısından küçük açılardaki uydular işleme dahil edilmemiştir. Troposferik gecikme modeli olarak VMF seçilmiştir. Öncül troposferik gecikme 2.372 m'dir. Alıcı tipi Topcon ve anten tipi TPSCR.GR3'tür (Topcon GPS/Glonass/Galileo choke ring antenna). Anten yüksekliği 0.00 m ve anten faz merkez yüksekliği 0.041 m'dir. Şekil 5.19'da GAPS çözümü ile elde edilmiş Beykoz GPS istasyonuna ait bir günlük ZTD değerleri verilmektedir.



Şekil 5.19 : Beykoz istasyonu için 09.10.2013 tarihli 1 günlük ZTD değerleri.

Sıcaklık, basınç değerleri Pala, Terkos, Silivri ve Küçükçekmece istasyonları için Afet Koordinasyon Merkezi'nden (AKOM) alınmıştır. Tuzla ve Şile istasyonları için URL-10 adresi kullanılmıştır. Hesaplanan IPWV verilerinin doğrulaması için yine 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 12 saat dilimlerini kapsayan (0.00 – 12.00 saatleri için) 17062 numaralı İstanbuldaki radiosonde gözlemlerine bölüm 5.1.1'de anlatıldığı gibi Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimleri Departmanının web sitesinden ulaşılmıştır (URL-9).

17062 Istanbul Observations at 00Z 09 Oct 2013										
PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1024.0	39	16.2	9.2	63	7.18	140	16	287.4	307.8	288.6
1023.0	46	12.8	8.6	76	6.90	131	16	284.1	303.4	285.3
1020.0	68	12.8	8.7	76	6.95	105	15	284.3	303.8	285.5
1012.0	127	12.8	8.8	77	7.09	80	16	285.0	304.9	286.2
1000.0	216	12.8	9.1	78	7.30	75	17	285.9	306.5	287.2
990.0	300	12.4	9.1	80	7.38	75	21	286.3	307.1	287.6
986.0	335	12.2	9.1	81	7.41	79	20	286.5	307.4	287.8
970.0	472	12.8	4.8	58	5.59	95	18	288.4	304.6	289.4
948.0	664	11.6	3.6	58	5.25	116	14	289.1	304.4	290.1
933.0	798	14.0	-2.0	33	3.55	132	11	292.9	303.6	293.5
925.0	871	13.8	-3.2	31	3.28	140	10	293.4	303.3	294.0
918.0	935	13.5	-4.0	29	3.11	145	10	293.8	303.2	294.3
850.0	1579	10.8	-12.2	19	1.77	165	7	297.4	303.1	297.8
835.0	1727	11.0	-19.0	10	1.03	194	5	299.2	302.6	299.4
832.0	1757	10.8	-19.5	10	0.99	200	5	299.3	302.6	299.5
786.0	2228	8.2	-26.8	6	0.55	210	6	301.4	303.3	301.5
700.0	3173	2.4	-29.6	7	0.47	230	7	305.1	306.8	305.2
671.0	3513	-0.3	-23.3	16	0.88	233	9	305.8	308.8	306.0
647.0	3802	-1.8	-25.6	14	0.74	235	10	307.3	309.9	307.5
597.0	4439	-5.0	-30.8	11	0.50	295	15	310.7	312.5	310.8
590.0	4533	-5.5	-31.5	11	0.47	292	12	311.2	312.9	311.3
587.0	4573	-5.4	-35.4	7	0.32	290	10	311.8	313.0	311.8

Şekil 5.20 : 10.09.2013 tarih saat 00.00'a ait radiosonde gözlemleri (URL-9)

Şekil 5.20’de Pres; atmosfer basıncını, hght; yüksekliği, temp; sıcaklığı, dwpt; havanın belirli bir bölgesinde basınç ve su buharını sabit tutması için gerekli olan sıcaklığı, relh; bağıl nemi, mixr; kuru havanın karışma oranını, drct; rüzgarın yönünü, sknot; rüzgar hızını, thta; kuru havanın potansiyel sıcaklığını, thte; sıcaklık cinsinden termodinamik bir büyüklüğü, thtv; nemli hava ile aynı yoğunluğa sahip olunması için gerekli olan teorik potansiyel sıcaklığı ifade eder.

Station information and sounding indices	
Station number:	17062
Observation time:	131009/0000
Station latitude:	40.96
Station longitude:	29.08
Station elevation:	39.0
Showalter index:	15.16
Lifted index:	13.54
LIFT computed using virtual temperature:	13.40
SWEAT index:	19.99
K index:	-21.70
Cross totals index:	-0.50
Vertical totals index:	22.50
Totals totals index:	22.00
Convective Available Potential Energy:	0.00
CAPE using virtual temperature:	0.00
Convective Inhibition:	0.00
CINS using virtual temperature:	0.00
Bulk Richardson Number:	0.00
Bulk Richardson Number using CAPV:	0.00
Temp [K] of the Lifted Condensation Level:	279.97
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level:	923.97
Mean mixed layer potential temperature:	286.39
Mean mixed layer mixing ratio:	6.80
1000 hPa to 500 hPa thickness:	5604.00
Precipitable water [mm] for entire sounding:	9.95

Şekil 5.21: 10.09.2013 tarih saat 00.00’a ait radiosonde gözlem değerlendirme sonuçları (URL-9).

Şekil 5.21’de meteoroloji istasyon numarası, enlem ve boylamı, yüksekliği, gözlem zamanı gösterilmektedir. Şekil 5.21’deki hesaplama tekniklerine URL-10 adresinden ulaşılabilir.

5.2.2 İSKİ UKBS için IPWV hesaplama metodolojisi

İlk olarak Şile ve Tuzla GPS istasyonlarında meteoroloji sensörleri olmadığından en yakın meteoroloji istasyonlarından indirgeme yapılması amaçlanmıştır. Beykoz istasyonu için de yakında meteoroloji istasyonu verisine ulaşılamadığından 4 istasyondan (Terkos, Şile, Pala, Tuzla) indirgeme ve mesafeye göre ters ağırlıklandırarak enterpolasyon yapılması planlanmıştır. Ayrıca meteoroloji verileri mevcut olan Pala ve Küçükçekmece istasyonlarında da enterpolasyon ile sıcaklık ve basınç değerleri bulunup enterpolasyonun gücü araştırılmıştır.

ZTD değerinin kestirimi için farklı troposferik gecikme modelleri kullanılarak farklar irdelenmiştir.

İSKİ UKBS ağına ait 7 istasyon için enlem, yükseklik ve güncel basınç değerleri ile Saastamoinen troposfer modeli kullanılarak belirtilen saat ve günler için ZHD değerleri hesaplanmıştır.

ZWD değerleri 4.2 eşitliği ile bulunup su buharı için özgül gaz sabiti ve güncel sıcaklık değerleri ile 4.3.a'da belirtilen eşitlikle IPWV verileri hesaplanmıştır.

GPS IPWV değerleri ile 17062 numaralı radiosonde gözlemleri yapılan meteoroloji istasyonuna enterpolasyon yapıp mevcut radiosonde verileri ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir.

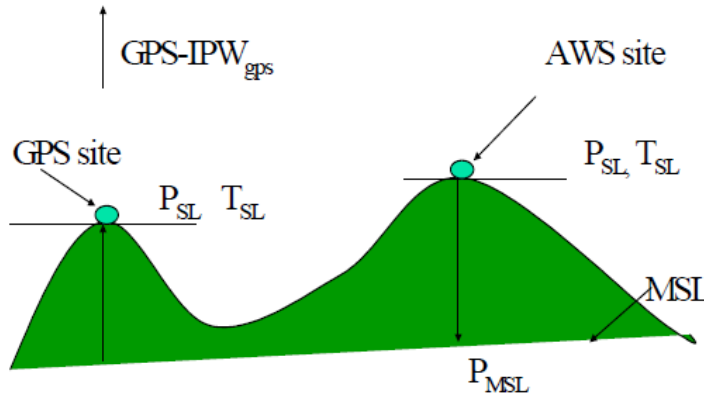
5.2.3 Sıcaklık ve basınç indirgemesi

Şekil 5.22'de gösterildiği gibi, istasyon noktası yüksekliği (SL) ve deniz seviyesi yüzeyi (MSL) arasındaki sıcaklık ve basınç indirgemesi için;

$$\begin{aligned} P_{SL} &= P_{MSL} (1 - 2.26 \cdot 10^{-5} \cdot H)^{5.225} \\ T_{SL} &= T_{MSL} - 0.0065 \cdot H \end{aligned} \quad 5.1$$

Eşitlikleri kullanılmaktadır (Bai ve diğ, 2003). Buradaki H; istasyon noktasının deniz seviyesinden olan yüksekliğidir. Ters olarak eşitlik şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{aligned} P_{MSL} &= P_{SL} / (1 - 2.26 \cdot 10^{-5} \cdot H)^{5.225} \\ T_{MSL} &= T_{SL} + 0.0065 \cdot H \end{aligned} \quad 5.2$$



Şekil 5.22 : Sıcaklık ve basıncın AWS'dan (Automatic weather station) MSL ye indirgenmesi ve daha sonra GPS-SL de sıcaklık ve basıncın hesaplanması (Bai ve diğ, 2003).

5.2.4 Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon tekniği (IDW)

IDW enterpolasyon tekniği örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalardan daha fazla

ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar. Birkaç IDW yöntemi olmasına karşın en bilineni “Shaperd’s Metodu”dur.

Yüzeydeki dağınık nokta sayısı n , örneklem noktalarını tanımlayan fonksiyon f_i ve ağırlıklar w_i olmak üzere “Shaperd’s eşitliği” aşağıdaki gibidir. (Arslanoğlu, 2005)

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad 5.3$$

w_i ağırlığı ise şöyledir ;

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad 5.4$$

Burada h_i üç boyutlu uzaysal mesafeyi göstermektedir ve aşağıdaki gibidir.

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad 5.5$$

5.2.5 Şile ve Tuzla GPS istasyonları için sıcaklık ve basınç indirgemesi

Şekil 5.23’de yerleri ve çizelge 5.2’de enlem, boylam ve yükseklikleri belirtilen Tuzla ve Şile meteoroloji istasyonlarından ilk olarak 5.3 eşitliği kullanılarak deniz seviyesine sıcaklık ve basınç indirgemesi yapılmış olup daha sonra da İSKİ UKBS ağına ait Tuzla ve Şile GPS istasyon yüksekliğine indirgenmiştir.



Şekil 5.23 : Sıcaklık ve basınç indirgemesi yapılan Şile ve Tuzla meteoroloji istasyonları.

Çizelge 5.2 : Şile ve Tuzla Meteoroloji İstasyonlarının Enlem, Boylam ve Yükseklik bilgileri.

Meteoroloji İstasyonu	Enlem	Boylam	Elipsoidal Y.
Şile	41°06'00"	29°36'00"	100(m)
Tuzla	40°53'55"	29°18'33"	95(m)

Çizelge 5.3 : Tuzla meteoroloji istasyonu yüksekliği sıcaklık ve basınç değerlerinin önce deniz seviyesine daha sonra Tuzla GPS İstasyon yüksekliğine indirgenmesi.

Tarih	Saat	Dakika	Basınç(mb)	Sıcaklık(F)	Sıcaklık°C	MSL(P)	MSL(S)	SL(P)	SL(S)
09.10.2013	0	30	1026	50	10	1037,6	10,6	1030,8	10,3
09.10.2013	1	0	1026	50	10	1037,6	10,6	1030,8	10,3
09.10.2013	1	30	1026	50	10	1037,6	10,6	1030,8	10,3
09.10.2013	2	0	1026	50	10	1037,6	10,6	1030,8	10,3
09.10.2013	2	30	1026	50,7	10,4	1037,6	11	1030,8	10,7
.....									
11.10.2013	21	0	1022	64,7	18,2	1033,5	18,8	1026,8	18,4
11.10.2013	21	30	1022	65,1	18,4	1033,5	19	1026,8	18,7
11.10.2013	22	0	1022	66,2	19	1033,5	19,6	1026,8	19,3

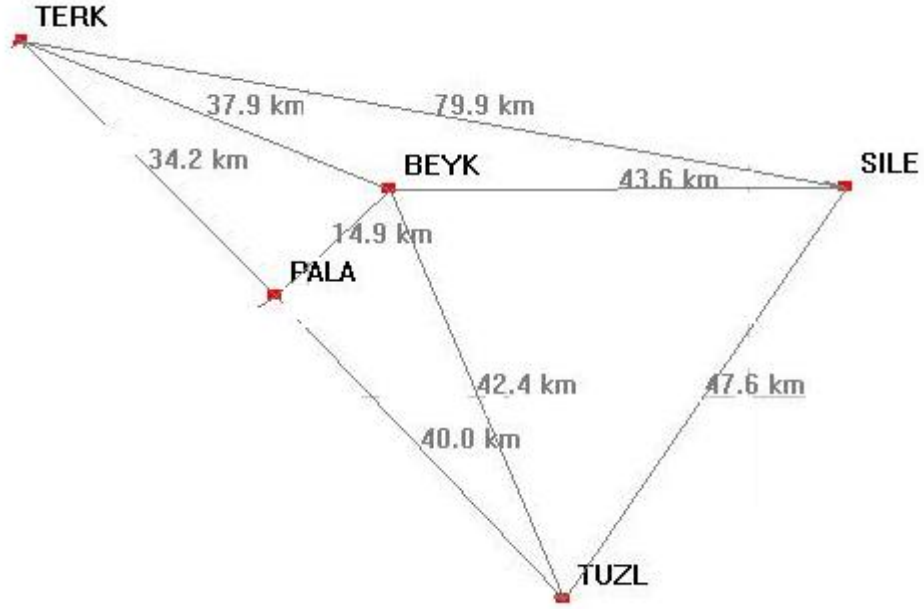
Çizelge 5.4 : Şile Meteoroloji istasyonu yüksekliği sıcaklık ve basınç değerlerinin önce deniz seviyesine sonra Şile GPS istasyon yüksekliğine indirgenmesi.

Tarih	Saat	Dakika	Basınç(mb)	Sıcaklık(F)	Sıcaklık°C	MSL(P)	MSL(S)	SL(P)	SL(S)
09.10.2013	0	30	1025,7	46	7,8	1037,9	8,4	1028,2	7,9
09.10.2013	1	0	1025,4	47	8,3	1037,6	9	1027,9	8,5
09.10.2013	1	30	1025,3	48	8,9	1037,5	9,5	1027,8	9
09.10.2013	2	0	1025,1	48	8,9	1037,3	9,5	1027,6	9
09.10.2013	2	30	1025	49	9,4	1037,2	10,1	1027,5	9,6
.....									
11.10.2013	21	8	1020,5	59	15	1032,6	15,7	1023	15,1
11.10.2013	21	38	1020,4	59	15	1032,5	15,7	1022,9	15,1
11.10.2013	22	8	1020,3	60	15,6	1032,4	16,2	1022,8	15,7

Çizelge 5.3 ve 5.4’de 4. ve 5. sütunlar meteoroloji istasyon basınç ve sıcaklık değerlerini, 7. ve 8. sütunlar deniz seviyesine indirgenmiş basınç ve sıcaklık değerlerini, 9. ve 10. sütunlar GPS istasyon yüksekliğine taşınmış basınç ve sıcaklık değerlerini ifade etmektedir.

5.2.6 Beykoz GPS istasyonu için sıcaklık - basınç İndirgemesi ve enterpolasyon

Şekil 5.24’de verilen İSKİ UKBS ağına ait 4 istasyondan (Şile, Tuzla, Pala, Terkos) deniz seviyesine sıcaklık ve basınç indirgemesi yapılmış olup çizelge 5.5 ve 5.6’da gösterilmektedir.



Şekil 5.24 : Beykoz istasyonu için enterpolasyonda kullanılan istasyonlar ve mesafeleri.

Çizelge 5.5 : Terkos, Şile, Tuzla ve Pala istasyonlarının sıcaklık ve basınç değerleri.

Saat	Dakika	Terkos		Sile		Tuzla		Pala	
		SL(T)	SL(P)	SL(T)	SL(P)	SL(T)	SL(P)	SL(T)	SL(P)
0	30	13,9	1027,6	8,5	1028,8	11,3	1031,8	13	1018,3
1	0	14,2	1027,6	8,5	1028,7	11,3	1031,8	12,5	1018,2
1	30	14,1	1027,5	8,5	1028,6	11,3	1031,8	11,6	1018,3
2	0	14,1	1027,5	8,5	1028,5	10,9	1031,8	12	1018,2
2	30	13,9	1027,4	8,5	1028,3	10,3	1031,4	11,3	1018
3	0	13,6	1027,1	7,9	1028,2	10,3	1030,8	10,6	1017,8
3	30	13,9	1027	8,5	1027,9	10,3	1030,8	10	1017,7
.....									

Çizelge 5.6 : Terkos, Şile, Tuzla ve Pala istasyonlarının deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık ve basınç değerleri.

Saat	Dakika	Terkos		Şile		Tuzla		Pala	
		MSL(T)	MSL(P)	MSL(T)	MSL(P)	MSL(T)	MSL(P)	MSL(T)	MSL(P)
0	30	14,2	1033,4	9	1038,5	11,7	1038,6	14,1	1039,1
1	0	14,5	1033,4	9	1038,4	11,7	1038,6	13,6	1039
1	30	14,4	1033,3	9	1038,3	11,7	1038,6	12,7	1039,1
2	0	14,4	1033,3	9	1038,2	11,3	1038,6	13,1	1039
2	30	14,2	1033,2	9	1038	10,7	1038,2	12,4	1038,8
3	0	13,9	1032,9	8,4	1037,9	10,7	1037,6	11,7	1038,6
3	30	14,2	1032,8	9	1037,6	10,7	1037,6	11,1	1038,5
.....									

Daha sonra Beykoz GPS istasyonuna bölüm 5.2.4'de anlatılan mesafelerine göre ters ağırlıklandırma yöntemiyle enterpolasyon yapılarak Beykoz GPS istasyonu yüksekliği deniz seviyesi sıcaklık ve basınç değerleri hesaplanmıştır. En son olarak Beykoz GPS istasyon noktası yüksekliğine göre tekrar indirgeme yapılmıştır. Çizelge 5.6'da enterpolasyonda kullanılacak ağırlıklar verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Enterpolasyonda kullanılan istasyonların Beykoz GPS istasyon yüksekliğine olan mesafeleri ve enterpolasyon ağırlıkları.

İstasyon	Mesafe (km)	Enterpolasyon Ağırlığı
Şile	43,6	0,02294
Terkos	37,9	0,02639
Pala	14,9	0,06711
Tuzla	42,4	0,02358

Çizelge 5.7 : Enterpolasyon sonucu hesaplanan Beykoz istasyonu deniz seviyesi T ve P değerleri ve indirgeme ile bulunan Beykoz GPS istasyonu yüksekliğindeki sıcaklık ve basınç değerleri.

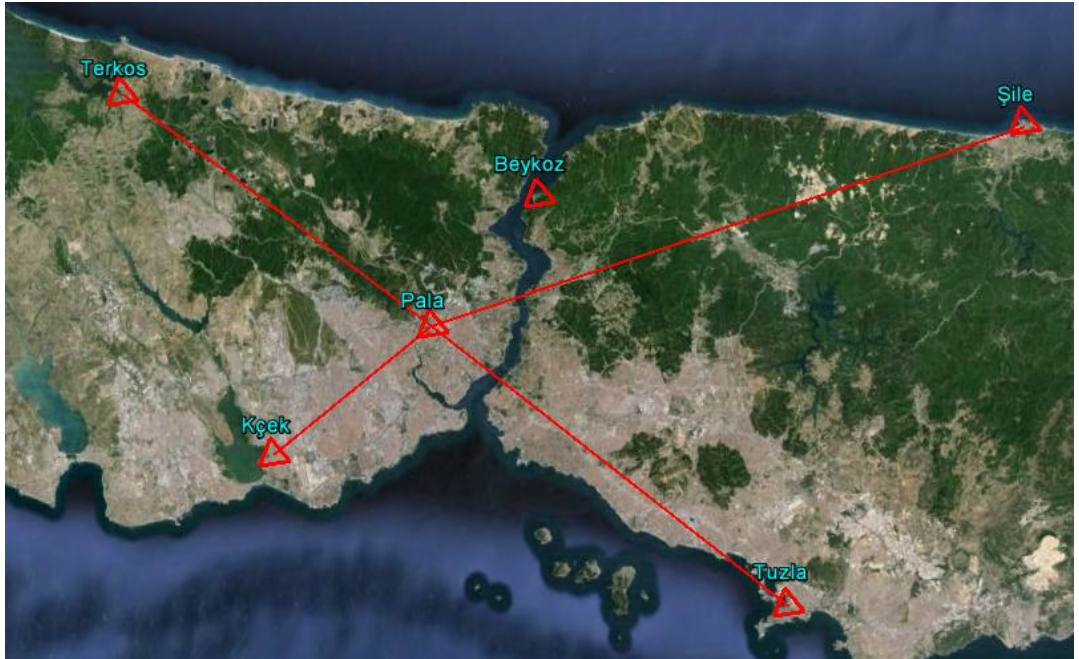
Saat	Dakika	Beykoz			
		MSL(T)	MSL(P)	SL(T)	SL(P)
0	30	12,9	1037,7	12,2	1025,4
1	0	12,7	1037,7	12,1	1025,3
1	30	12,3	1037,7	11,6	1025,3
2	0	12,4	1037,6	11,8	1025,3
2	30	11,9	1037,4	11,3	1025,1
3	0	11,5	1037,1	10,8	1024,8
3	30	11,3	1037	10,7	1024,7
.....					

Çizelge 5.7 ‘de 3. ve 4. sütunlar Beykoz GPS istasyonunda enterpolasyonla bulunan deniz seviyesine indirgenmiş basınç ve sıcaklıkları, 5. ve 6. sütunlar GPS istasyon yüksekliğine indirgenmiş sıcaklık ve basınçları göstermektedir.

5.2.7 Enterpolasyon gücünün test edilmesi

Yapılan enterpolasyonun gücünü test etmek amacıyla sıcaklık - basınç değerleri bilinen Pala ve Küçükçekmece istasyonları diğer istasyonlardan enterpole edilerek aradaki farkların standart sapması hesaplanmıştır.

5.2.7.1 Pala GPS istasyonu



Şekil 5.25 : Pala istasyonu enterpolasyonu için seçilen Terkos, Şile, Küçükçekmece ve Tuzla GPS istasyonları.

Pala GPS istasyonuna yapılmış enterpolasyon için kullanılan GPS istasyonlarının yerleri şekil 5.25’de verilmektedir. Beykoz GPS istasyonunda olduğu gibi enterpolasyonda kullanılan 4 istasyon sıcaklık ve basınç değerleri önce deniz seviyesine indirgenmiştir. Daha sonra mesafeye göre ters ağırlıklandırma ile enterpolasyon yapıp tekrar Pala GPS istasyon yüksekliğine indirgeme yapılmıştır. Pala GPS istasyonu bilinen sıcaklık ve basınç değerleri ile karşılaştırılıp farklar ve standart sapmalar çizelge 5.8 ve 5.9’da verilmektedir.

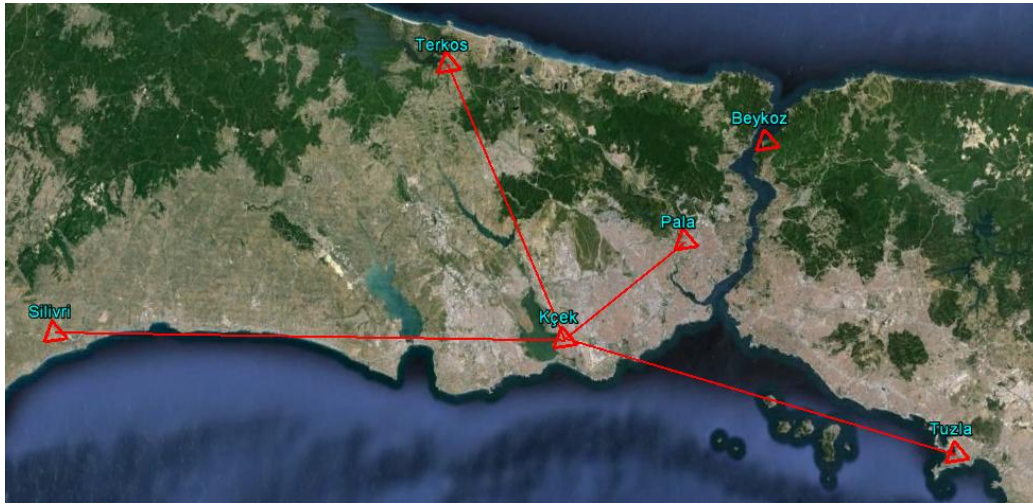
Çizelge 5.8 : Pala istasyonu mevcut sıcaklık verileri ile enterpolasyon sonucu elde edilen değerler.

Saat	Dakika	Pala		Pala Enterpole		Farklar	
		SL(T)	SL(P)	SL(T)	SL(P)	DeltaT	DeltaP
0	30	13,0	1018,3	12	1016,7	1,0	1,6
1	0	12,5	1018,2	11,8	1016,7	0,7	1,5
1	30	11,6	1018,3	11,6	1016,7	0,0	1,6
2	0	12,0	1018,2	11,4	1016,6	0,6	1,6
2	30	11,3	1018,0	11,2	1016,4	0,1	1,6
3	0	10,6	1017,8	10,9	1016,2	-0,3	1,6
3	30	10,0	1017,7	11,1	1016	-1,1	1,7
.....							

Çizelge 5.9: Pala istasyonu mevcut meteorolojik değerler ile enterpolasyon sonucu hesaplanan değerler arasındaki fark ortalamaları ve standart sapmaları.

İstasyon	Delta T ort.	Delta P ort.	Std. Delta T	Std.Delta P
Pala	0,2	1,5	2,2	0,2

5.2.7.2 Küçükçekmece GPS istasyonu



Şekil 5.26 : Küçükçekmece istasyonu enterpolasyonu için seçilen Terkos, Silivri, Pala ve Tuzla İstasyonları.

Küçükçekmece GPS istasyonuna yapılmış enterpolasyon için kullanılan GPS istasyonlarının yerleri şekil 5.26’da verilmiştir. Pala GPS istasyonunda olduğu gibi enterpolasyonda kullanılan 4 istasyonun sıcaklık ve basınç değerleri önce deniz seviyesine indirgenmiştir. Daha sonra mesafeye göre ters ağırlıklandırma ile enterpolasyon yapıp tekrar Küçükçekmece GPS istasyon yüksekliğine indirgeme yapılmıştır. Küçükçekmece GPS istasyonu bilinen sıcaklık ve basınç değerleri ile karşılaştırılıp farklar ve standart sapma çizelge 5.10 ve 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5.10 : Küçükçekmece istasyonu mevcut sıcaklık verileri ile enterpolasyon sonucu elde edilen değerler.

Saat	Dakika	Kckm		Kckm Enterpole		Farklar	
		SL(T)	SL(P)	SL(T)	SL(P)	DeltaT	DeltaP
0	30	13,6	1023,7	12,6	1021,7	1	2
1	0	13,1	1023,8	12,5	1021,6	0,6	2,2
1	30	12,6	1023,8	12	1021,6	0,6	2,2
2	0	12,4	1023,6	12,1	1021,6	0,3	2
2	30	12,2	1023,5	11,6	1021,3	0,6	2,2
3	0	12	1023,3	11,2	1021,1	0,8	2,2
3	30	12,1	1023,2	11	1021	1,1	2,2
.....							

Çizelge 5.11 : Küçükçekmece istasyonu mevcut meteorolojik değerler ile enterpolasyon sonucu hesaplanan değerler arasındaki fark ortalamaları ve standart sapmaları.

İstasyon	Delta T ort.	Delta P ort.	Std. Delta T	Std. Delta P
Küçükçekmece	0,3	2,2	1,3	0,2

5.2.8 GAPS troposferik model değerlendirmesi

GAPS Yazılımında sunulan farklı troposferik modeller (UNB3m, VMF1, UNB-VMF1) kullanılarak ZTD değerlerine olan etkileri irdelenmiştir.

Çizelge 5.12 : GAPS ile yapılan analizde farklı troposferik modellerle ZTD değerlerinin değişimi.

UNB-VMF1(NCEP)	UNB-VMF1(CMC)	VMF1	UNB3m
2,3361	2,3533	2,3383	2,3533
2,345	2,3607	2,3469	2,3607
2,3568	2,3689	2,3582	2,3689
2,3551	2,3629	2,356	2,3629
2,3488	2,3533	2,3492	2,3534
2,3517	2,3543	2,3518	2,3543
2,3528	2,3551	2,3529	2,3551
2,3513	2,3532	2,3513	2,3532
2,3516	2,3531	2,3516	2,3531
2,3554	2,3564	2,3553	2,3564
2,3569	2,3576	2,3567	2,3575
2,3567	2,3572	2,3564	2,3572
2,3602	2,3606	2,3599	2,3605
...	...	...	...

Çizelge 5.12 incelendiğinde 7. sütundaki UNB-VMF1(CMC) ile 9. sütundaki UNB3m troposferik modeller aynı sonuçları vermektedir. Aynı şekilde 7. sütundaki UNB-VMF1(CMC) ve 6. sütundaki UNB-VMF1(NCEP) modelleri arasında ortalama 0,1 mm fark vardır. 7. sütundaki UNB-VMF 1(CMC) ile 8. sütundaki VMF1 arasında 0,5 mm lik bir fark bulunmaktadır.

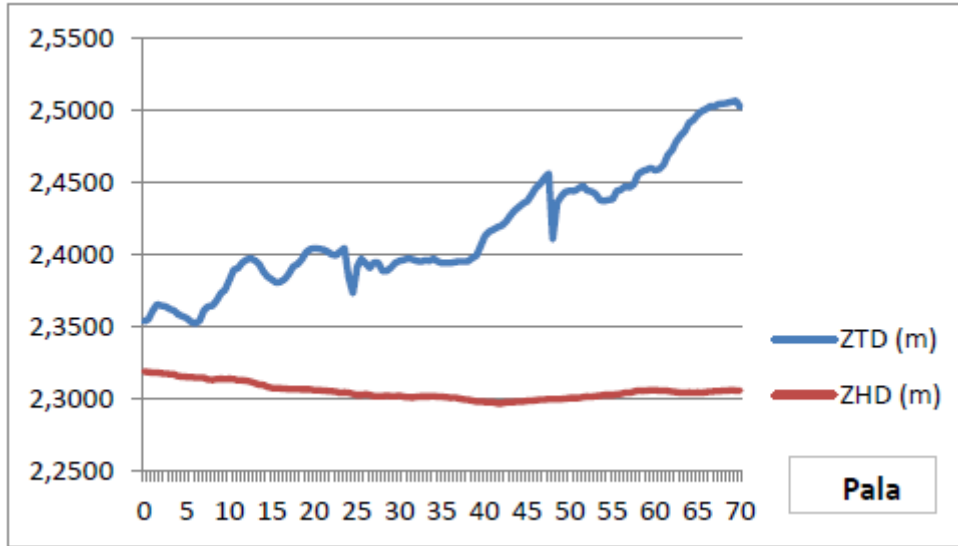
ZTD değerlerindeki 0.5 mm'lik farklar hesaplamalarda ZHD değerlerini etkilememiş, ZWD değerlerinde 0.5 mm'lik fark ve IPWV değerlerinde 0.1 mm'lik fark oluşturmuştur.

5.2.9 ZHD ve ZWD'nin hesaplanması

İlk olarak İSKİ UKBS ağına ait 7 istasyon için 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 72 saatlik ZTD değerleri incelenmiştir. Gecikme değerleri 2,35 m ve 2,55 m arasında seyretmektedir.

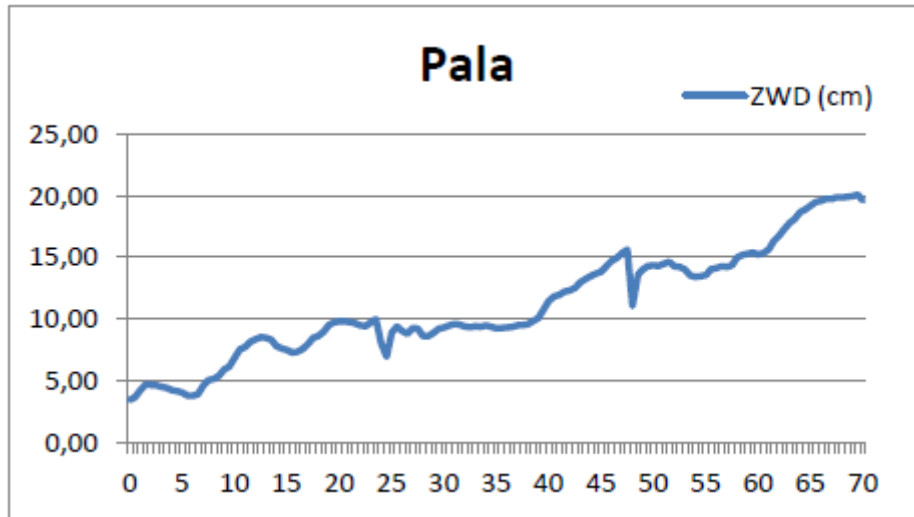
Bölüm 4.2'de belirtilen 4.1 eşitliği kullanılarak ZHD değerleri elde edilmiştir.

Şekil 5.27'de Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZTD ve ZHD değerleri verilmektedir.



Şekil 5.27 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZTD ve ZHD değerleri.

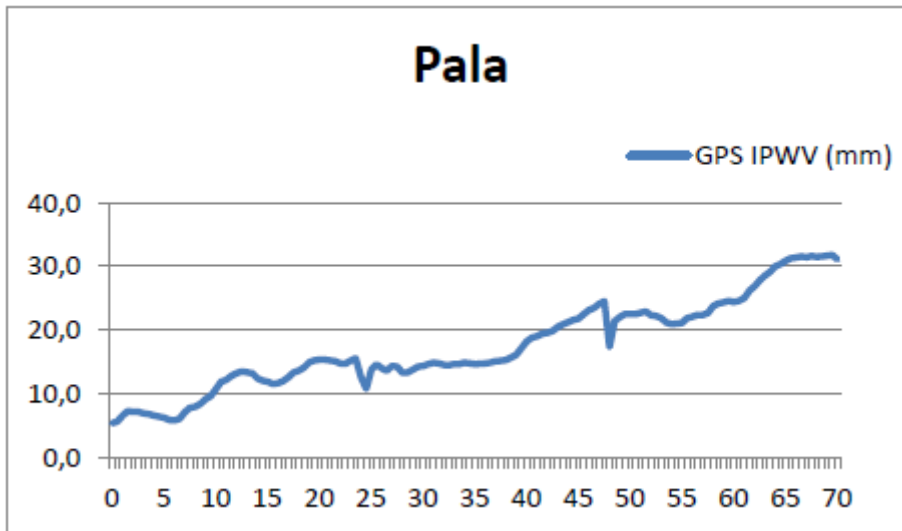
ZWD değerleri bölüm 4.2'de belirtilen 4.2 eşitliği ile hesaplanmıştır. Şekil 5.28'de Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZWD değerleri verilmektedir.



Şekil 5.28 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük ZWD değerleri.

5.2.10 GPS verileri ile yağışa dönüşebilir su buharı hesabı (IPWV)

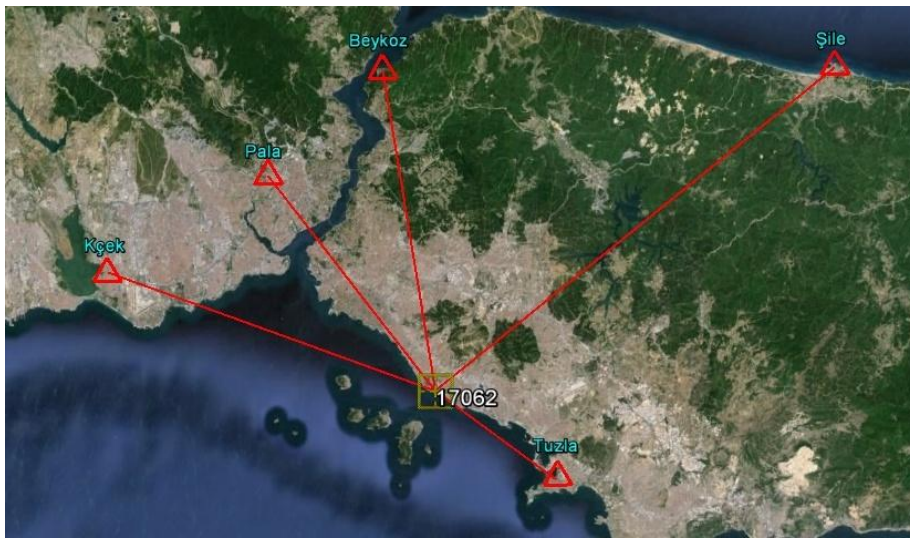
ZWD'nin hesabından sonra IPWV değerleri bölüm 4.2'de belirtilen 4.3.a eşitliği ile hesaplanmıştır. Şekil 5.29'da Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük GPS - IPWV değerleri verilmektedir.



Şekil 5.29 : Pala GPS istasyonuna ait 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında 30 dakikalık dilimleri kapsayan 3 günlük GPS - IPWV değerleri.

5.2.11 IPWV interpolasyonu (5 Noktadan)

İSKİ UKBS ağına ait 7 istasyonun 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında hesaplanan GPS – IPWV değerlerinin doğrulanması için, 17062 numaralı radiosonde gözlemlerinin yapıldığı meteoroloji istasyonuna şekil 5.30’da yerleri gösterilen 5 GPS istasyonunun (Küçükçekmece, Pala, Beykoz, Şile, Tuzla) değerleri 5.3’de verilen eşitliklerle enterpole edilerek mevcut radiosonde değerleriyle karşılaştırılmıştır. Enterpolyasyonda kullanılan ağırlıklar çizelge 5.12’de verilmiştir. Ayrıca bulunan değerler enterpolyasyona dahil edilmeyen Terkos, Silivri GPS istasyonundaki bulunan IPWV değerleri ile karşılaştırılmıştır.

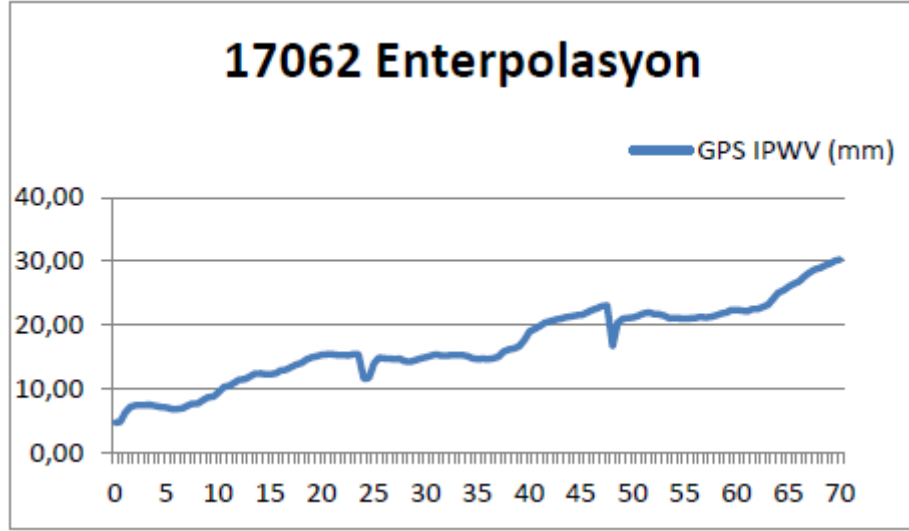


Şekil 5.30 : 17062 numaralı istasyonun enterpolyasyonu için seçilen Kçükçekmece, Pala, Beykoz, Şile ve Tuzla GPS istasyonları

Çizelge 5.13 : Enterpolyasyon için seçilen istasyonların mesafe ve ağırlık verileri.

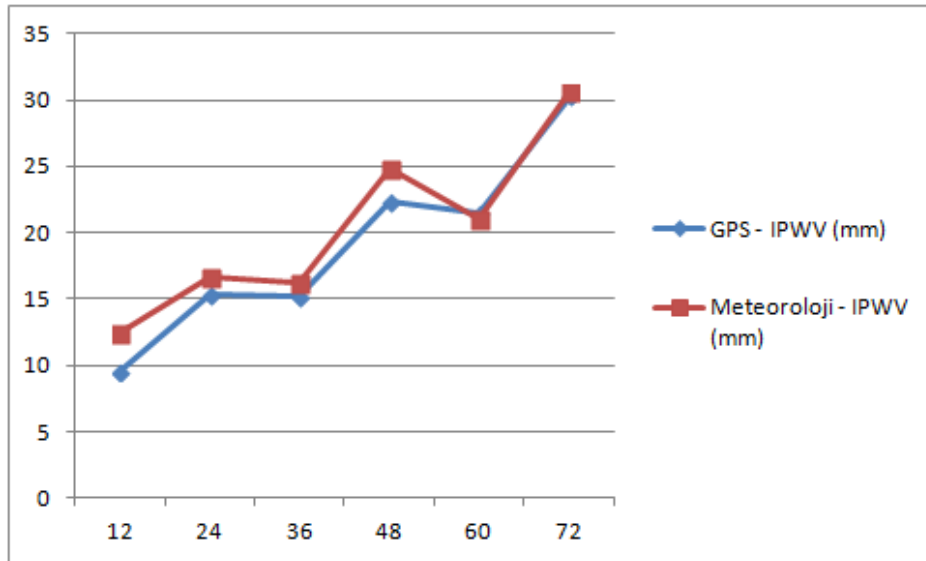
İstasyon	Mesafe (km)	Enterpolyasyon Ağırlığı
Kçükçekmece	33,5	0,030
Pala	26,1	0,038
Şile	49,3	0,020
Beykoz	31	0,032
Tuzla	14,4	0,069

Enterpolasyon sonucu hesaplanan GPS – IPWV değerleri şekil 5.31’de verilmektedir.



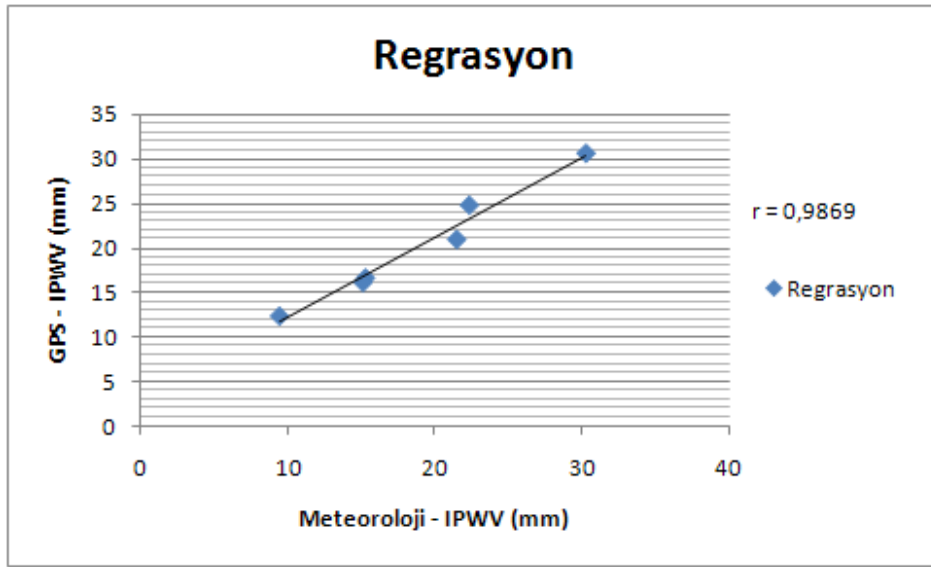
Şekil 5.31 : Enterpolasyon ile ulaşılan 17062 nolu meteoroloji noktasındaki GPS – IPWV değerleri.

Şekil 5.32’de 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında GPS IPWV ve Meteoroloji IPWV değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 5.32 : 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihli GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri.

Şekil 5.33’de görüldüğü gibi farklı yöntem ve araçlarla hesaplanan GPS – IPWV ve Meteoroloji IPWV değerlerinde yapılan korelasyon analizi ile yüksek bir uyuşum olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.33 : GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri arasındaki korelasyon.

Çizelge 5.14 : Enterpolasyon ile bulunan IPWV değerleri ile enterpolasyona dahil edilmeyen Silivri ve Terkos istasyonları IPWV değerleri arasındaki farklar.

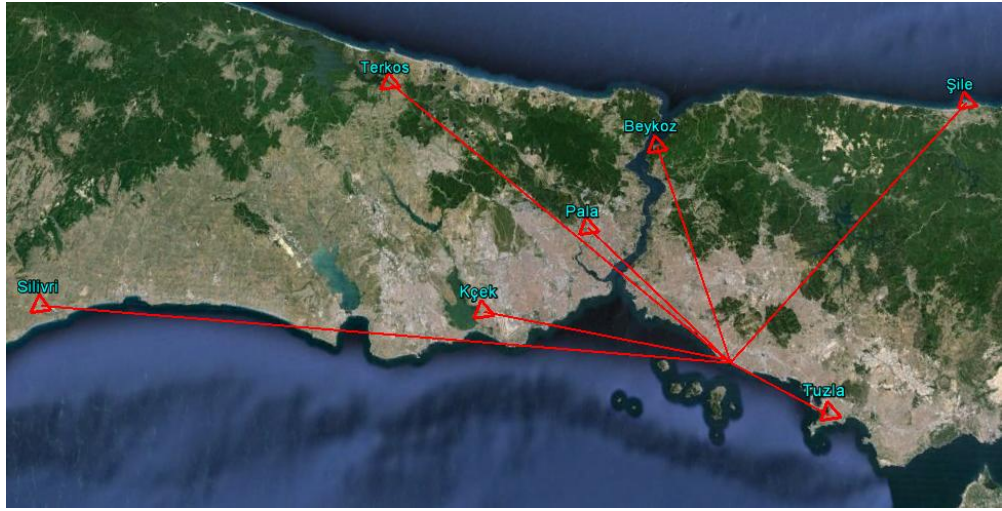
17062 (mm)	Silivri (mm)	Terkos (mm)	Silivri-17062 (mm)	Terkos-17062 (mm)
4.7	9.3	8.0	4.6	3.3
4.8	8.0	9.2	3.2	4.4
6.3	8.6	9.5	2.3	3.2
7.2	9.2	10.4	2.0	3.2
7.4	10.3	10.5	2.9	3.1
7.4	10.9	10.7	3.5	3.3
7.5	12.0	10.7	4.5	3.2
7.4	12.7	10.6	5.3	3.2
7.3	12.9	10.2	5.6	2.9
7.1	13.1	10.2	6.0	3.1
7.1	13.5	10.4	6.5	3.4
6.8	14.5	11.1	7.7	4.3
6.8	14.7	11.4	7.9	4.6
7.0	15.2	12.1	8.3	5.2
.....				
		ort: (mm)	4.7	3.4
		maks : (mm)	8.7	6.9
		min : (mm)	-0.5	-0.2
		Std: (mm)	2.2	1.5

Çizelge 5.13 incelendiğinde ortalama farkın Silivri GPS istasyonu için 4.7 mm ve Terkos GPS istasyonu için 3.4 mm olduğu görülmektedir. Santos ve diğ. (2007)'de belirttiği gibi 3 yıllık zaman diliminde yapılan araştırmalarda GPS – IPWV ve

Meteoroloji – IPWV değerleri arasında ortalama 1.5 mm fark hesaplanmış olup, burada anlamlı bir fark oluşmuştur.

5.2.11 IPWV enterpolasyonu (7 Noktadan)

İSKİ UKBS ağına ait şekil 5.34’de verilen 7 istasyonun 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında hesaplanan GPS – IPWV değerlerinin doğrulanması için, 17062 numaralı radiosonde gözlemlerinin yapıldığı meteoroloji istasyonuna 7 GPS istasyonunda hesaplanan IPWV değerleri enterpole edilmiştir. Enterpolasyon için çizelge 5.15’de verilen ağırlıklar kullanılmıştır. Hesaplanan IPWV değerleri ile mevcut radiosonde verileri farkları irdelenmiştir. Ayrıca 5 istasyonla enterpolasyon sonucu hesaplanan değerler ile farklarına bakılmıştır.

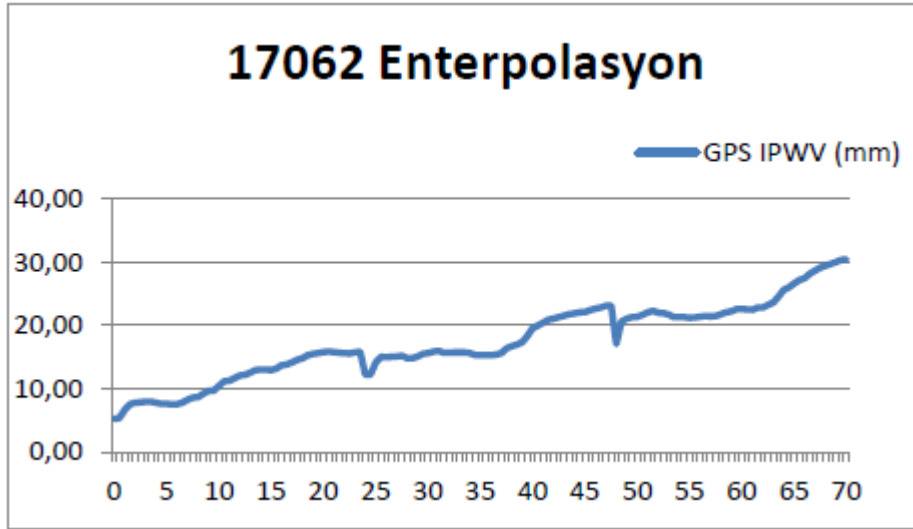


Şekil 5.34 : 17062 nolu istasyonun enterpolasyonu için; Küçükçekmece, Pala, Beykoz, Şile ve Tuzla, Terkos ve Silivri GPS istasyonları seçilmiştir.

Çizelge 5.15 : Enterpolasyon için seçilen istasyonların mesafe ve ağırlık verileri.

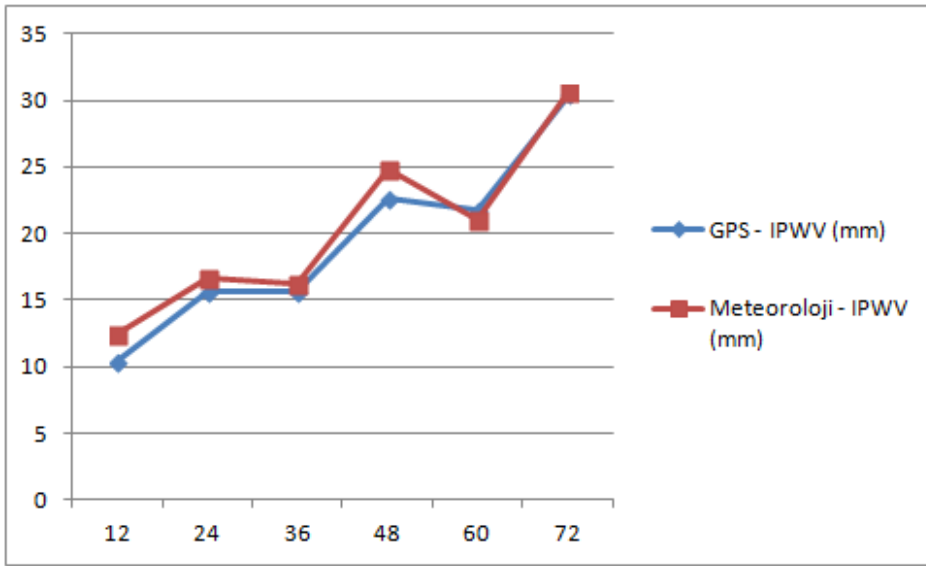
İstasyon	Mesafe (km)	Enterpolasyon Ağırlığı
Küçükçekmece	33,5	0,030
Pala	26,1	0,038
Şile	49,3	0,020
Beykoz	31	0,032
Tuzla	14,4	0,069
Terkos	60	0,017
Silivri	92,01	0,011

Enterpolasyon sonucu hesaplanan GPS – IPWV değerleri şekil 5.35’de verilmektedir.



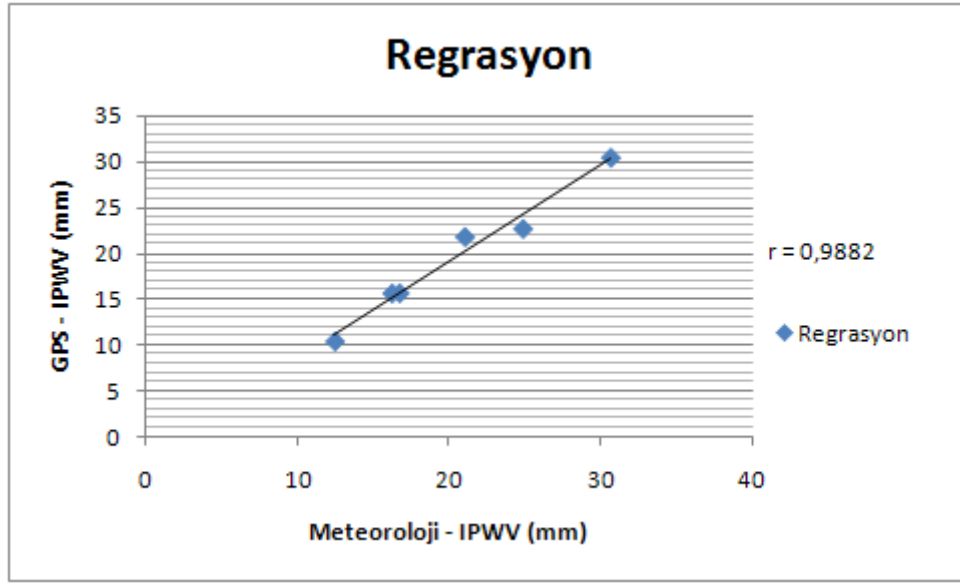
Şekil 5.35 : Enterpolasyon ile ulaşılan 17062 nolu Meteoroloji noktasındaki GPS – IPWV grafiği.

Şekil 5.36’da 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihleri arasında GPS IPWV ve Meteoroloji IPWV değerleri birlikte verilmiştir



Şekil 5.36 : 09.10.2013 – 12.10.2013 tarihli Enterpolasyon ile hesaplanan GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri.

Şekil 5.37’de görüldüğü gibi farklı yöntem ve araçlarla hesaplanan GPS – IPWV ve Meteoroloji IPWV değerlerinde yapılan korelasyon analizi ile yüksek bir uyum olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.37 : GPS – IPWV ve Meteoroloji – IPWV değerleri arasındaki korelasyon.

Çizelge 5.16 : 17062 nolu meteoroloji noktasına GPS istasyonlarından 5 noktadan ve 7 noktadan yapılan enterpolasyon ile bulunan IPWV değerleri arasındaki farklar.

17062-5 (mm)	17062-7	Fark 5-7 (mm)
4,7	5,2	0,5
4,8	5,3	0,5
6,3	6,7	0,4
7,2	7,5	0,3
7,4	7,8	0,4
7,4	7,8	0,4
7,5	7,9	0,5
7,4	8,0	0,5
7,3	7,8	0,5
7,1	7,6	0,5
7,1	7,6	0,6
6,8	7,5	0,7
6,8	7,6	0,7
7,0	7,8	0,8
.....		
	ort: (mm)	0.5
	maks : (mm)	1
	min : (mm)	0.1
	Std: (mm)	0.2

Çizelge 5.16 incelendiğinde 5 GPS istasyonundan ve 7 GPS istasyonundan yapılan IPWV enterpolasyonunun farklarının ortalamasının 0.5 mm olduğu görülmektedir. Anlamlı bir fark oluşmamıştır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak ISTA IGS istasyonuna ait ekim 2013 için bir aylık ZTD değerleri GPS gözlemlerinden bölüm 3.1.2’de açıklanan Saastamoinen öncül modeli ve 3.13 eşitliğinde belirtilen Niell indirgeme fonksiyonlarını kullanarak Bernese GPS yazılımı ile bir saatlik aralıklarla hesaplayan IGS analiz merkezinden (The Geodetic Observatory Pency) elde edilmiştir (URL-5). ZTD değerleri elde edildikten sonra enlem, basınç ve yükseklik faktörleriyle 4.1’de belirtilen eşitlikle ZHD değerleri hesaplanmıştır. ZWD değerleri için ise 4.2’de belirtilen eşitlikler kullanılmıştır. ZWD değerlerinden sıcaklık faktörü dikkate alınarak 4.2. bölüm ve 4.3.a’daki eşitlikler kullanılarak IPWV değerleri hesaplanmıştır. GPS – IPWV değerleri ile radiosonde gözlemleri yardımıyla URL-10’daki gibi hesaplanan IPWV değerleri arasındaki farklar irdelenmiştir. GPS – IPWV verileriyle, radiosonde – IPWV verileri arasında % 97’lik bir korelasyon olduğu ortaya konmuştur. Ortalama fark 0 mm ve standart sapması ± 1.7 mm olarak hesaplanmıştır. Aradaki farkın, radiosonde balonunun değer algılamasını yaptığı troposfer katmanında tam zenit doğrultusunda değil de, rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak ilerlemesi ve radiosonde istasyonu ile GPS istasyonları arasındaki yaklaşık 25 km’lik mesafeden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

İkinci olarak 25 km’lik mesafe farkını ortadan kaldırmak ve İstanbul için tek bir radiosonde istasyonunun yeterliliğini test etmek amacıyla İSKİ Uydulardan Konum Belirleme Sistemi’ne (UKBS) ait 7 istasyonda (Pala, Terkos, Silivri, Küçükçekmece, Beykoz, Şile, Tuzla) ekim 2013’de üç gün için 30 dakikalık dilimleri kapsayan ZTD değerleri elde edilmiştir. Bunun için GPS gözlemlerinden GPS Analysis Positioning Software (GAPS) ile bölüm 4.1.2’de anlatılan UNB3m öncül modeli ve 3.13 eşitliğinde belirtilen Niell indirgeme fonksiyonları kullanılmıştır. İSKİ Harita Müdürlüğü’nden alınan 3 günlük rinex observation dataları GAPS’de girdi olarak kullanılmıştır. ZTD değerleri elde edildikten sonra ISTA IGS istasyonundaki gibi ZHD, ZWD ve IPWV değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra radiosonde ölçümlerinin yapıldığı 17062 numaralı meteoroloji istasyonuna enterpolasyon yapılmış olup farklar incelenmiştir. İki farklı IPWV verisi arasında % 99’luk bir korelasyon tespit

edilmiş olup, ortalama farklar 1 mm ve standart sapma ± 1 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama farkın 1 mm olmasının sebebi olarak da yalnızca 3 günlük veri setinin incelenmiş olması ve radiosonde ölçümlerinin günde yalnızca 2 kez tekrarlanıyor olması söylenebilir.

Ayrıca İSKİ UKBS ağında enterpolasyona dahil edilmeyen Silivri ve Terkos GPS istasyonu IPWV verileri ile enterpolasyon sonucu hesaplanan IPWV verileri karşılaştırılmıştır. Farklar Silivri GPS istasyonu için ortalama 4.7 mm ve standart sapma ± 2.2 mm, Terkos GPS istasyonu için ortalama 3.4 mm ve standart sapma ± 1.5 mm olarak bulunmuştur. Atalar M K ve diğ. (2006) belirttiği gibi IPWV için 1 mm'nin üzerindeki farklar önemlidir. Görüldüğü üzere farklar anlamlıdır.

Son olarak; radiosonde gözlemleri Türkiye'de yalnızca 8 istasyonda ve günde 2 kez tekrarlandığından gün içindeki atmosfer su buharı verileri değişimi hakkında bilgi verememektedir. GPS istasyonlarında ise zamansal olarak istenilen sıklıkta IPWV değerlerini hesaplamak mümkündür. İSKİ UKBS ağı İstanbuldaki yeni kurulacak istasyonlarıyla 10 adet GPS istasyonunda mekansal ve zamansal çözünürlüğü yüksek IPWV verileri elde etmek mümkün olacaktır. Şüphesizki bu çalışmadan genel bir sonuç çıkarmak mümkün değildir. En az bir yıllık zaman diliminde bu çalışmalar yapılırsa daha anlamlı sonuçlar elde edilebilir. Daha kapsamlı yapılacak çalışmalar ile İstanbul ölçeğinde zamansal ve mekansal çözünürlüğü yüksek IPWV değerleri kullanılarak anlık atmosferdeki su buharı miktarı değişimleri enterpolasyon yöntemleri ile istenilen koordinatta hesaplanabilir. Bu şekilde taşkın risk analizleri de yapılabilir. Ayrıca meteorolojinin hava tahmin değerlendirmelerinin en önemli ayağı olan yüksek atmosfer gözlemlerinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Amir S. and Musa T.A.** (2009). GPS Meteorology Activities in Malesian Peninsula, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
- Arslanoğlu M** (2005). Sayısal Arazi Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Atalar M K, Kahveci M, Yağcı B, Cingöz A** (2006). GPS'den Elde Edilen Su Buharı Verilerinin Meteorolojik Amaçlı Kullanımı, Harita Genel Komutanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- Bai Z, Feng Y** (2003). GPS Water Vapor Esimation Using Interpolated Surface Meteorological Data from Australian Automatic Weather Stations, Cooperative Research Centre for Satellite Systems Queensland University of Technology, Australia
- Bevis M, Businger S, Herring T A, Rocken C, Anthes R A and Ware R H** (1992). GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. J. Geophys. Res., 97, 15 787-15 801.
- Boehm J, Werl B and Schuh H** (2006). Troposphere mapping functions for GPS and VLBI from ECMWF operational analysis data, Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Gusshausstrasse 27-29, 1040 Vienna, Austria
- Erdönmez O** (2008). Troposferik Gecikme Modellerinin GPS Nokta Konumlarına Etkisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Y.L.T.
- Erkan Y** (2008). Troposferik Gecikmelerin GPS Ölçülerine Olan Etkilerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Y.L.T.
- Ferretti R, Faccani C, Francia M and Cucurull L** (2005). Operational Assimilation of a network of Ground-based GPS-PW and ZTD into the Weather Forecast, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 06552.
- Glowacki T J, Penna N T and Bourke W P** (2006). Validation of GPS-based estimates of integrated water vapor for the Australian region and identification of diurnal variability Aust.Met.Mag.55 131-148.
- Hopfield, H.S.** (1969). Two-Quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correcting Satellite Data. J. Geophys. Res., 74(18), 4487-4499.

- Janes, H. W, R. B. Langley, and S. P. Newby.** (1991). Analysis of Tropospheric Delay Prediction Models: Comparison with Ray-Tracing and Implication for GPS Relative Positioning. *Bull. Geod.*, 65, 151-161.
- Kahveci M** (1997). Investigation on the Effect of Propagation Errors on Gps Observations in Turkey Region, Istanbul Technical University, Istanbul
- Langley, R. B.** (1996). GPS Receivers and the Observables. *Lecture Notes in Earth Sciences* (60): GPS for Geodesy, A. Kleusberg and P. J. G. Teunissen (Eds.), Springer-Verlag, 141-173.
- Leick, A.** (1995). *Satellite GPS Surveying*. 2nd ed., Wiley-InterScience, 560p.
- Mendes, V.B., Langley, R.B.** (2002). Revised Refractive Index Formulae and Their Effect in Zenith delay Prediction and Estimation, GPS for Predictions of weather and Atmospheric Effects at IEEE PLANS 2002, Palm Springs, Kaliforniya, ABD
- Niell A E** (1996). Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal Geophysical Research* Vol 101(B2), pp.3227-3246
- Niell A E, Coster A J, Solheim F S, Mendes V B, Toor P C, Langley R B and Upham C A** (2001). Comparison of Measurements of Atmospheric Wet Delay by Radyosonde, Water Vapor Radiometer, GPS, and VLBI, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol 18, pp 830-850
- Saastamoinen J.** (1973). Contributions to the Theory of Atmospheric Refraction. Part II, Refraction Corrections in Satellite Geodesy.
- Santos P, Carey K, Wayne M** (2007). Summary of Global Positioning System (GPS) Integrated Precipitable Water (IPW) NWA, *Electronic Journal*.
- Sridevi Jade and M. S. M. Vijyan** (2008). GPS-based atmospheric precipitable water vapor estimation using meteorological parameters interpolated from NCEP global reanalysis data, *Journal of Geophysical Research*
- Teke K, Boehm j, Tanır E, Schuh H** (2009). Çok Uzun Baz Enterferometrisi (VLBI) Tekniğinde, Saat Hatası ve Troposferik Gecikme Parametre Kestirim Modelleri, *Harita Dergisi*, Sayı 142
- Tong Ning** (2012). *GPS Meteorology : With Focus On Climate Applications*, Chalmers University of Technology, Sweden.
- Tregoning P and Herring T A** (2006). Impact of a priori zenith hydrostatic delay errors on GPS estimates of station heights and zenith total delays. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, P.1.
- Troller M R** (2004). GPS based Determination of the Integrated and Spatially Distributed Water Vapor in the Troposphere, *Swis Federal Intitue of technology*, Zurich

Wei1 L, YunBin Y, Hui1 L (2012). A new global zenith tropospheric delay model IGGtrop for GNSS applications, Chinese Science Bulletin, Vol.57 No.17: 21322139

Witchayangkoon, B (2000). “Elements of GPS Precise Point Positioning”, Degree of Doctor of Philosophy, The University of Maine.

Yıldız B Y (2009). Türkiye’nin Bölgesel Atmosferik Değişkenlere Bağlı Lst Algoritmalarının Oluşturulması, Çukurova Üniversitesi, Adana

URL-1 (2013). <http://www.meteor.gov.tr/genel/sss.aspx?s=havatahmini>

URL-2 (2013). <http://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=ravinsonde>

URL-3 (2013). <http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/LOADING/VERSION2/GRID/>

URL-4 (2013). <http://www2.unb.ca/gge/Resources/unb3m/unb3m.html>

URL-5 (2013). <http://www.pecny.cz/Joomla25/index.php/gnss-mainmenu-200/troposphere-e-gvapii-mainmenu-63/product-download>

URL-6 (2013). <http://gaps.gge.unb.ca/indexv520a.php>

URL-7 (2013). <http://csrc.ucsd.edu/scripts/dbLocateSite.cgi?site=ista>

URL-8 (2013). <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataByDate.cgi>

URL-9 (2013). <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

URL-10 (2013). <http://weather.gladstonefamily.net/site/search?site=17062&Get+information=Get+information>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ömer GÖKDAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Eminönü / 13.02.1985

Adres: Çırçır Mah. Fevzi Şeker Sok. No:6 / Daire:10 – Eyüp / İstanbul

E-posta: ogokdas@iski.gov.tr

Lisans: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği (2007) / İ.T.Ü.