İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDEKİ ATMOSFERİK BOZUKLUKLARIN KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ İLE DÜZELTİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mehmet Uğur ALTIN

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

MART 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDEKİ ATMOSFERİK BOZUKLUKLARIN KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ İLE DÜZELTİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mehmet Uğur ALTIN
(501062605)

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ergin TARI

MART 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501062605 numaralı Doktora Öğrencisi **Mehmet Uğur ALTIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerindeki Atmosferik Bozuklukların Küresel Konum Belirleme Sistemi İle Düzeltilmesi"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Ergin TARI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof.Dr. Mustafa YANALAK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Tayfun KINDAP İstanbulTeknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Turgut UZEL İstanbul Kültür Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Haluk ÖZENER Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **28 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **28 Mart 2013**

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamı için başta, her türlü zorluğa beraber katlandığımız eşim Dr. Filiz KURTCEBE ALTIN, annem Şükran ALTIN olmak üzere profesyonel ve akademik çalışma hayatımda lisans yıllarından beri desteğini hiç kesmeyen tez danışmanın Prof. Dr. Ergin TARI'ya teşekkürlerimi sunarım. Her çalışmada deneyimleri ve bilgisini benimle paylaşan Dr. Hakan YAVAŞOĞLU'na, aynı ortamı paylaştığımız çalışma arkadaşlarım Dr. Can ÜNEN, Dr. Serdar BİLGİ, Serhan YILDIZ ve Kaan KALKAN'a teşekkür ederim.
Çalışmada Radar görüntülerinin temini sağlayan Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR'a ve GPS verilerin temini için yardımcı olan Doç. Dr. Semih ERGİNTAV'a, TÜBİTAK 2214 bursu ile çalışmalarda bulunduğun Sidney New South Wales Üniversitesinden Doç Dr. Linlin GE'ye verdikleri destek için saygılarımı sunarım.

Aralık 2012

Mehmet Uğur ALTIN
Jeodezi ve Fotogrametri Y. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ VE ATMOSFER **7**
2.1 Küresel Konumlama Sistemi 7
2.2 Atmosferin Genel Yapısı ve Troposfer 15
2.3 GPS Meteorolojisi 16
2.4 GPS ve Troposfer 18
3. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR INTERFEROMETRİ **25**
3.1 Genel Özellikler 25
3.1.1 Tekli Geçiş yöntemi 27
3.1.2 Çoklu Geçiş yöntemi 28
3.2 Sistemin Sınırlamaları 31
3.2.1 Dik baz 31
3.2.2 Termal korelasyonsuzluk 31
3.2.3 Zamansal korelasyonsuzluk 32
3.2.4 Yörünge hatası 32
3.2.5 Atmosferik etkiler 32
3.2.6 Topografya ve bitki örtüsü etkisi 33
3.3 SAR Sinyallerine Etki Eden Diğer Atmosferik Bileşenler 34
3.3.1 Bulut ve sis etkileri 34
3.3.2 Aeresol ve volkanik kül etkileri 35
3.3.3 Yağışlar 35
4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ **37**
4.1 GPS Veri Değerlendirme 40
4.1.1 GPS verisi işlem adımları 42
4.2 SAR Veri Değerlendirme 50
5. DÜZELTİLMİŞ GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI **57**
5.1 Troposferik Gecikmelerden Düzeltme Değerlerinin Hesaplanması 57
5.2 InSAR Verisi İşlemleri 60
5.3 GPS'den Elde Edilen Troposferik Düzeltmelerin InSAR Görüntülerine Uygulanması 61
5.3.1 Gecikme değeri enterpolasyonu 62
5.3.2 Interferogram dönüşümü 65
5.3.3 Düzeltilmiş interferogram oluşumu 66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **75**

KAYNAKLAR **77**
EKLER **83**
ÖZGEÇMİŞ **101**

KISALTMALAR

DEM : Digital Elevation Model
DINSAR : Farksal Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi
ERS : European Remote Sensing
GMT : Greenwich Mean Time
GPS : Küresel Konumlama Sistemi
GNSS : Küresel Konumlama Sistemi
INSAR : Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi
JPL : Jet Propulsion Laboratory
IPWV : Bütünleşik Yağışa Dönüşebilir Su Buharı
MAGNET : Marmara Bölgesi Sürekli Gözlem Ağı
NASA : Ulusal Havacılık Ve Uzay Dairesi
NAVSTAR : Navigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System
PRN : Pseudo Random Noise
PW : Yağışa Dönüşebilir Su
PWV : Yağışa Dönüşebilir Su Buharı
RADAR : Radyo Sinyalli Algılama Ve Mesafeleme
RINEX : Alıcıdan Bağımsız Değişim Formatı
SAR : Yapay Açıklıklı Radar
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
ZHD : Zenit Hidrostatik Gecikme
ZTD : Toplam Zenit Gecikme Değerleri
ZWD : Zenit Islak Gecikme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : MAGNET İstasyonlarının Koordinatları(WGS84). 38
Çizelge 4.2 : ERS görüntülerine ait bilgiler..... 40
Çizelge 4.3 : Gün içi değişimlerde troposferik gecikme karşılaştırma tablosu (sabit meteorolojik değerlerden).. 44
Çizelge 4.4 : Meteoroloji İstasyonları. 46
Çizelge 4.5 : Günlük ortalama troposferik gecikme karşılaştırma tablosu. 47
Çizelge 4.6 : Görüntülme anında troposferik gecikme karşılaştırma tablosu. 48
Çizelge 5.1 : Görüntüleme anında veri toplayan GPS istasyonları. 58
Çizelge 5.2 : Ortalama meteorolojik değerler ile düzeltme. 69
Çizelge 5.3 : Görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile düzeltme. 70
Çizelge 5.4 : Görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile düzeltme. 70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : GPS Uyduları Dağılımı. 8
Şekil 2.2 : Kontrol Bölümü İstasyonları. 9
Şekil 2.3 : Tekli Fark Yöntemi. 13
Şekil 2.4 : Çiftli Fark Yöntemi. 14
Şekil 2.5 : Atmosferin Genel Yapısı. 16
Şekil 2.6 : Zenit açılarına bağlı ıslak ve kuru bileşen etkisi (Kahveci 1997). 20
Şekil 3.1 : Radar Uydularının Görüntü Alımının Geometrisi (Gupta, R. P., 2003) (Br: Paralel Baz, Bn: Normal Baz). 27
Şekil 3.2 : Uydu Geçişleri. 28
Şekil 4.1 : MAGNET ağının1999 yılındaki sürekli ve kampanya istasyonları. 38
Şekil 4.2 : MAGNET ağı ERS1/2 görüntülerinin sınırları. 39
Şekil 4.3 : Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (sabit meteorolojik değerlerden). 45
Şekil 4.4 : Meteoroloji istasyonları dağılımı. 46
Şekil 4.5 : UCGT istasyonu gün içi meterolojik değişim. 47
Şekil 4.6: Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (Ortalama meteorolojik değerler kullanılarak). 48
Şekil 4.7 : Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (görüntüleme anındaki meteorolojik değerler kullanılarak). 49
Şekil 4.8 : ROI_PAC yazılımı temel akış şeması (Akoğlu, 2001). 51
Şekil 4.9 : 12 Ağustos 1999 ve 16 Eylül 1999 interferogramı. 52
Şekil 4.10 : 13 Ağustos 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı. 53
Şekil 4.11 : 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı. 54
Şekil 4.12 : Faz çözümü yapılmış ve koordinat bilgisine sahip 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı. 55
Şekil 5.1 : UCGT istasyonu troposfer düzeltmeleri ve yükseklik farkı. 59
Şekil 5.2 : 16 Ağustos 1999 ve 17 Ağustos 1999 günü arasındaki çiftli farklardaki gecikme değerlerinin enterpolasyonu ile elde edilen yüzey değişimleri. a) 1. Derece IDW enterpolasyonu. b) 2. Derece IDW enterpolasyonu. 62
Şekil 5.3 : a) 259. Gün için enterpolasyon haritası b) 260. Gün için enterpolasyon haritası c) İki gün arasındaki farklar. 63
Şekil 5.4 : Eşlenik noktalar ile üretilen gecikme modeli. a) 259. Gün için enterpolasyon haritası b) 260. Gün için enterpolasyon haritası c) İki gün arasındaki farklar. 64
Şekil 5.5 : Eşlenik noktalar a ilişkin gecikme değerlerininde elde edilen çiftli farklar ile üretilmiş yüzey. 65
Şekil 5.6 : 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı. 66
Şekil 5.7 : Sabit model parametreleri ile düzeltilen interferogram. 67
Şekil 5.8 : Ortalama meteorolojik değer ile düzeltilen interferogram. 67
Şekil 5.9 : Görüntüleme anındaki meteorolojik parametreler ile düzeltilen interferogram. 68

Şekil 5.10 : Atmosferik etkileri için seçilmiş test alanları. 69
Şekil 5.11 : Görüntüleme alanı karşılaştırma profilleri. 71
Şekil 5.12 : Görüntüleme alanı karşılaştırma profilleri a) A profili b) B profili (Yeşil çizgi: sabit parmetreli model ile, mavi çizgi: görüntüleme anındaki meteorolojik değer ile, kırmızı çizgi: Günlük ortalama meteorolojik değer ile, siyah çizgi: orjinal interferogram). 72
Şekil B.1 : Troposfer gecikme değerleri (Sabit met. parametere kullanılarak). 86
Şekil B.2 : Troposfer gecikme değerleri (Sabit met. parametere kullanılarak).. 87
Şekil B.3 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak). 88
Şekil B.4 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak). 89
Şekil B.5 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak). 90
Şekil B.6 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak).. 91
Şekil B.7 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak). 91
Şekil B.8 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak). 92
Şekil B.9 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak). 93
Şekil B.10 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak). 94
Şekil C.1 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde). 95
Şekil C.2 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde). 96
Şekil C.3 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde). 97
Şekil C.3 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde). 98
Şekil D.1 : Troposfer düzeltmeleri ve yükseklik farkları.. 99

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDEKİ ATMOSFERİK BOZUKLUKLARIN KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ İLE DÜZELTİLMESİ

ÖZET

Uzay jeodezisinin ve diğer uzaktan algılama yöntemlerini hızla gelişmesi Küresel Konumlama Sistemi aktif ve pasif görüntüleme teknolojilerinin kullanım amaçlarını daha da kapsamlı hale getirmiştir. Uzay jeodezisi elektromanyetik dalga temelinde kurulan sistemlere dayanmaktadır. Bu dalgaların dünya ya da diğer gezegenlerdeki yer yüzeyinden ve/veya hedeflenen objelerden olan yansımalarına göre gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Elektromanyetik dalgaların izlediği yol üzerindeki koşullardan etkilendiğini bilinmektedir. Özellikle atmosferike katmanlar ve bu katmanların içerdeikleri parçacıkların dalgaların geçişinde bozulma saçılma ya da hız değişimine yol açabilmektedir. Anlamlı sonuçlar elde etmek için atmosferik etkilerin belirlenmesi ve giderilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Atmosferden kaynaklı etkileri temel olarak iki gruba ayıra biliriz; troposferik ve iyonosferik etkileridir.

Troposferdeki gecikme etkisi özellikle GPS sinyallerinde yol açtığı gecikmeler nedeniyle ölçmelerin doğruluk ve hassasiyetini etkilemektedir. Bu gecikmelerin oluşturduğu hataların ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi için çeşitli modeller üretilmiştir. Bu modeller geliştirilirken basınç, nem alıcının bulunduğu yükseklik, enlem gibi birçok parametreler ile indirgeme fonksiyonlarına uygulanmıştır. Uygulanan modeller içerik ve bileşen olarak farklılıklar göstermekte ve kullanım alanlarına göre doğruluk ölçütleri değişmektedir. GPS veri işleme sırasında herhangi bir troposfer düzeltme modeli uygulanmaz ise zenit doğrultusunda 2m'den ufka yakın doğrultularda 20m'ye varan gecikme hatalarının olabileceği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada RADAR ve GPS sinyalleri üzerinde etkisini gösteren, matematiksel yöntemlerle aşılamayan fakat modeller yardımı ile hesaplanabilen troposferik gecikmeler incelenmiştir. Radyo dalgalarının troposferde uğradığı gecikme InSAR gibi yüksek doğruluklu RADAR uygulamalarında sınırlayıcı bir hal almaktadır. Çalışmamızda RADAR görüntülerinin kapsadığı alan ve elde edildiği zamanda ölçülen GPS verileri yardımı ile hesaplanan troposferik gecikmeler RADAR görüntülerinden elde edilen interferogramlara yansıtılmıştır. Çalışmaya konu olarak 1999 İzmit depremi sonrasında elde edilen ve atmosferik etkilerin gözlendiği RADAR görüntüleri seçilmiştir. GPS verisi olarak Marmara Bölgesi Sürekli gözlem ağı olan MAGNET'ten yararlanılmıştır. GPS verilerini işlenmesinde ve troposferik gecikmelerin elde edilmesinde GAMIT yazılımı kullanılmış, RADAR görüntülerinin işlenmesinde ise ROI_PAC yazılımı tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda görüntüleme günleri arasında GPS verileri yardımıyla bulunan troposferik gecikmelere ait fark değerleri 14–20 cm arasında değişmekte ve elde edilen interferogramda bu etkiler belirgin bir şekilde gözlenmektedir.

CORRECTION of ATMOSPHERIC ARTIFACTS OVER SYNTHETIC RADAR INTERFEROMETRY IMAGES WITH GLOBAL POSITIONING SYSTEMS

SUMMARY

Earth sciences are developed in last decades with the development of space technologies especially in space geodesy and remote sensing. Global Navigation Satellite Systems and remote sensing sensors are highly affected from these fast developments. As known space geodesy is based on electromagnetic waves and their reflection from earth surface. Variation in the refractive index of the atmosphere causes changes in the electromagnetic waves propagating through it. Therefore corrections of these atmospheric effects should be determined and applied with the assessed measurements. Atmospheric effects grouped in two types; ionospheric and tropospheric effects. Ionospheric effects can be removed by signal combinations during data processing. Tropospheric effects are directly related to troposphere and cannot be removed but can be modeled. The aim this of study is the correction of troposphere effects over Synthetic Aperture Radar (SAR) images and interferograms by using acquired GPS measurements in İzmit, Turkey.

Turkey is divided into seven regions due to socio-economical, administrative, climate and natural (soil, vegetation) similarities of related land. İzmit Province (40˚ 45'N 30˚ 01'E) is in Marmara Region. Marmara has the largest share in production and industry of Turkey. The area is just on the North Anatolian Fault (NAF), which extends from Karliova in Eastern Turkey to the Gulf of Saros in the Northern Aegean Sea, is one of the longest active strike-slip faults in the world, about 1500km length and hit region 2 times with large earthquakes in 17 August and 12 November 1999 with 7.4 and 7.2 Mw. After these earthquakes Ziyadin Çakır and Rob Reilinger worked with the SAR data and publish papers by the help of these papers using InSAR technique for deformation monitoring to get more current insight in Turkey.

The data for this study are GPS and ERS1/2 tandem SAR images before and after earthquake (12-13 August 1999 and 16-17 September 1999). GPS data is gathered form Marmara GPS Network (MAGNET) continuous operated GPS network which is designed and managed by TUBİTAK Marmara Research Center and SAR images are obtained from Dr. Ziyadin Çakır (Istanbul Technical University).

Processing of GPS tropospheric delay data and creation DInSAR interferograms are the main two steps as expected. The integration for correction will be evaluated by automated software tools.

Troposphere is the lower part of atmosphere over the Earth's surface. Unlike the ionosphere, the troposphere is a non-dispersive medium at GPS carrier frequencies. The tropospheric effects on the GPS signal transmission are independent from the working frequency. The electromagnetic signals are affected by the neutral atoms and molecules in the troposphere. The effects are called tropospheric delay or tropospheric refraction. Indeed, the word "tropospheric" used here is not an exact

one; however, due to historical reasons, tropospheric effects are simply considered to be the effects of the atmosphere below the ionosphere. The amount of tropospheric delay in the zenit direction is about 2 m. It increases with the increase of the zenit angle of the sight line to the satellite. In the case of a lower satellite elevation of a few degrees, the tropospheric delay of the GPS signal can reach up to more than a few meters. Therefore, the tropospheric effect is an important error source in precise GPS applications.

In the analysis of these GPS data disturbed by atmospheric conditions, like a typhoon or a storm, causes the carrier phase residuals to increase. These atmospheric conditions affect the estimated parameters such as station positions and other geodetic parameters. The dry component of the troposphere can be determined using surface measurements since it is in hydrostatic equilibrium and the ideal gas law can be applied to it. Hence, the water vapor contribution to atmospheric delay should be modeled to estimate the correction to zenit delay. In this study GPS data processed by GAMIT software with different models of delay in adequate sampling interval for imaging time. ERS1/2 images will be processed by ROI_PAC software for interferogram creation. In 2003 Çakır et al. and in 2000 Reilinger et al. also these SAR data were used and mentioned about tropospheric effect in interferograms.

GAMIT processing of GPS data from Marmara Region shows us the variation in tropospheric delays. Processing GPS delay model in 1 hour interval for tropospheric correction at zenit for "TUBI" station, IGS station which is located on Gebze, at 12 August 1999 shows changes between 10 cm and 25 cm, the largest difference is 14 cm in one hour from 16:00-17:00 (GMT). By using mapping functions we can easily calculate the amount of delay for incident angle of SAR image. According to Çakır et al, 2003 the tropospheric effects in 16 September and 17 September 1999 ERS interferograms causes errors up 14cm (range change). Processing the GPS data with wet Niell Model is done for the imaging days, with 12 minutes interval of tropospheric delay estimation for 23˚ (incident angle of ERS images) by Niell Mapping Function, and for the effected area by interferograms. Two main interpolation methods are used for tropospheric effects, Kriging and Inverse Distance interpolation. For both techniques the delay differences between tandem days is 14-20 cm interval. Thus due to pre-results it can be mentioned that the research brings new opportunities in evaluation and this approach is beneficial by considering Turkeys circumstance like changing climate and revulsion in topography.

SAR image processing is done by ROI-PAC software. Images given by Dr. Çakır are belonging to 12-13 August 1999, 16-17 September 1999 with 157 track 797 frame number and 13 August 1999, 17 September 1999 with 157 track 815 frame number. Finally 2 pass interferograms are produced from image pairs of ERS1/2. As expected troposphere delay results are obtained again as in Çakır et. al 2003, which is also corrected by Meteorological data; NOAA DMSP images acquired on 16 and 17 September 1999.

16-17 September tandems processed with in PhD. thesis due to recognize only the troposphere delays without seismic fringes on the image.

According to these results it can be said that troposphere delays can be really effective on radio signals not only GPS signal but also on the RADAR signals. Delay difference amount for tandem imaging days for selected data can be reach up to 20cm to from 14 cm. This results shows us the importance of delay in SAR processing, mainly interferograms can be affected by any kind of tropospheric

turbulence which cause errors on height information in the most accurate technique for finding changes in height, InSAR

By taking into the consideration of region characteristics, best fitted delay model for the region will be determined and used in this study. An automatic flow or algorithm will be created for integration of these delays with the SAR images for fast and accurate correction.

As a result of this study, importance of atmospheric change in Turkey climate will be pointed out using SAR and GPS data integration with meteorological aspects. The importance of CORS networks and densities for atmospheric observations will be evaluated for Turkey. Also it will helpful for further atmospheric and InSAR studies over Turkey and (MAGNET) about potential earthquakes like Istanbul earthquake (predicted as Mw=7).

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihin her döneminde tarihsel kayıtlara geçmiş olan doğa olayları ve felaketler zaman geçtikçe bilimin ışığında incelenmiştir. Modern çağlara gelindiğinde hızla gelişen teknoloji bilime hizmet etmiştir. Yer bilimleri alanında da diğer tüm alanlarda da olduğu gibi teknolojik gelişmelerden yararlanarak ilerlemeler hızla ve yüksek doğrulukla sağlanmıştır. Araştırmaların artışı çalışmalarda sınırların genişlemesi ve modern yaşam daha hızlı ve kapsamlı veriler gerektirmiş ve bu paralelde de yer bilimlerine destek veren uzay teknolojileri hızla gelişmiştir.

Çalışma konusuna temel teşkil eden Küresel Konumlama Sistemi (GPS-GNSS) ve Yapay Açıklıklı RADAR (SAR) teknolojileri de temelde yer bilimlerine hizmet amacında oluşturulmamış olsa da hızla gelişen ve ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen haliyle günümüzde akademik olan ya da olmayan pek çok disiplin tarafından ve disiplinler arası çalışmalarda sık kullanılır bir hal almıştır. Bu teze konu olan çalışmada da Radar görüntülemede özel bir yöntem olan Tekrar Geçişli Yapay Açıklıklı Radar Interferometrisi (InSAR) temel alınmıştır. Bu yöntem geniş alanlar için metre mertebesinde haritalama ve santimetre altı doğrulukla yüzeysel değişimleri belirlemede kullanılmaktadır (Bürgmann v.d., 2000; Massonnet ve Feigl, 1998; Rosen, Hensley, ve Joughin, 2000). InSAR santimetre altı doğruluğa ulaşılması mümkün bir teknik olmasına karşın hatalar oluşabilmektedir. Temel hata kaynaklarından biri Radar dalgalarının atmosferi geçişi sırasında uğradığı gecikmelerdir (Webley v.d., 2002).

Doktora çalışmasında; InSAR görüntülerindeki atmosferik gecikmelerin belirlenmesi, etkilerinin anlaşılması ve düzeltme imkanlarının gözden geçirilmesi amaçlanmıştır.

Radyo sinyalli algılama ve ölçme anlamına gelen RADAR, hedeflere yönlendirdiği radyo ve mikrodalga sinyallerini gönderir ve cisimlerin yüzeylerinin bakış doğrultularını da dikkate alacak şekilde, bu yüzeylerden geri yansıyan sinyalleri kullanarak cisimlerin konumlarını ve antene olan mesafesini bulmaktadır. Askeri

amaçlar doğrultusunda kullanım üzerine geliştirilen Radar teknolojisinin sivil ve akademik uygulamalarda kullanımları daha sonra gerçekleştirilmiştir. Astronomi, sivil ve akademik çalışmalarda radar kullanılmasında öncülük eden alanlardan biridir. Dünya antenler ile Ay, Venüs, Mars ve Güneş ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Radar interferometrisinin ilk uygulamalarından biri de 1970'li yıllarda yapılmıştır. Venüs gezegeninin yer merkezli antenler ile izlenmesinde yansıyan sinyaller üzerindeki belirsizliklerin giderilmesi için uygulanmıştır (Rogers ve Ingalls, 1969). 1972 yılında ise radar, Ay yüzeyinin belirlenmesi amacı ile Zisk tarafından kullanılmıştır. Dış uzay gözlemleri için kullanılan yöntemi ilk kez hava radar olarak kullanan Graham (1974) dünya yüzeyinin haritalanmasını amaçlamıştır ve optik değerlendirme yöntemi kullanmıştır. Veri işleme yöntemlerinin gelişmesi ile havadan radar tarama kullanılarak interferogram üretilen çalışma 1986 yılında Zebker ve Goldstein tarafından yayınlanmıştır. Bu alanda öncü çalışmalar yapan Goldstein ve arkadaşları, radar antenini uzay platformu üzerinde ilk kez L bandında ölçme yapan ve 3 gün geçiş tekrarlılığına sahip SEASAT uydusu ile kullanmıştır (Goldstein v.d., 1988; Li ve Goldstein, 1990).

1987'de Goldstein ve Zebker yeni bir SAR tekniği ile su üzerindeki dalga hareketlerini incelemişlerdir. Uçuş hattına paralel alım (along-track); aralarındaki mesafe sabit olacak şekilde uçuş yönüne paralel yerleştirilen iki anten ile eş zamanlı görüntü alma tekniğidir. Böylelikle elde edilen görüntü tekrarlı geçişte uçuş hattına dik ötelenmelerden ve topografyadan bağımsız olacak ve sadece radar dalgalarına dik yöndeki değişim belirlenebilecektir. Goldstein v.d. 1993, yaptıkları yayınla Rutford buzul akıntısının hızını tekrar geçişli InSAR ile belirlemiştir.

InSAR ile veri elde etmede bir diğer yöntem Farksal InSAR (DInSAR) ise ilk kez geniş tarım sahalarındaki değişimlerin belirlenmesi için kullanılmıştır (Gabriel v.d.,1989). SEASAT uydusu kullanarak yapılan çalışmada temelde topografya ve değişim için iki interferogram kullanarak bir fark interferogramı üretilmektedir. 1992 yılında gerçekleşen Landers depremini 1991 yılında uzaya gönderilen Avrupa Uzay Ajansı'nın ERS- 1 uydusundan gelen verilerle inceleyen Massonet ve ekibi (1993) topografyadan kaynaklanan etkileri Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanarak elemine etmiştir. Aynı deprem üzerine 1994 yılında Zebker ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda üçlü geçiş yöntemi kullanılmıştır ve bu yöntemin yersel ölçmelerle olan tutarlılığı belirtilmiştir. Bu yöntemde, kısa zaman aralığında alınan

iki SAR görüntüsünden topografik düzeltme yapılmaktadır. Üçünü görüntü, bu iki görüntünün birisi ile işlenerek interferogram elde edilir. İlk interferogram, son oluşturulan interferogramdaki topografik hataları düzeltmek için kullanılır.

Tek geçişli interferometrinin, tekrarlı geçişli interferometriye göre üstünlükleri olduğu bilinmektedir. Tek geçişli yönteme bakıldığında görüntü aynı zaman ve aynı koşullarda alındığından yüksek bir korelasyona sahiptir. Ayrıca atmosferik koşullar aynı olduğu için sinyal gecikmelerinden kaynaklı hatalardan etkilenmemektedir. Tekrarlı geçişte zamansal farka bağlı olarak mekansal yansıma değişiklikleri gözlenebilecek ve düşük bir korelasyon yaratacaktır, ancak bu yöntem zamana bağlı değişimlerin izlenmesi için uygun olacaktır. Tekrarlı geçişte dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise farklı atmosferik koşullar altında görüntün elde edilmesi sırasında ortaya çıkan iyonosfer ve troposfer kaynaklı hatalardır (Massonet ve Feigl,1995; Hansssen, 2001).

1990'lardan sonra uzaysal radar ölçmelerinin hızla gelişmesinin en uygun örneği olarak 2000 yılında başlayan Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) olarak adlandırılan ve yeryüzünün büyük bir kısmının topografik yapısının ortaya çıkmasını hedefleyen çalışma gösterilebilir (Url-1). ERS1/2, JERS, Radarsat, EnviSAT, TerraSARX gibi uydularla beraber InSAR uygulamalarında tekrarlı geçişlerde yüzey değişimi incelenmesinin diğer çalışma alanlarına nazaran daha öne çıktığı söylenebilir (Li, 2005). Buzul ve kutuplardaki değişim, yanardağ izleme, deprem araştırmaları, toprak çökmelerine ilişkin çalışmalar, başta gelen yüzeysel değişim inceleme çalışmaları olarak gösterilebilir.

Tekrarlı geçişler ile topografik çalışmalar ve yüzey değişimi inceleme konusunda iki temel etkiden söz edilebilir. Bunlar, zamansal korelasyonsuzluk ve atmosferik etkilerdir. Zamansal korelasyonsuzluk; tekrarlı geçişler arasındaki zaman farkına bağlı olarak aynı noktalardan geçen yansıma değerleri arasındaki tutarsızlık olarak ifade edilebilir. InSAR uygulamalarında sınırlayıcı etkileri olan zamansal korelasyonsuzluk, radarın en duyarlı olduğunu yansıma değişimlerinin nemden kaynaklandığı düşünüldüğünde, en fazla sulak alanlarda en az ise çöl gibi çorak arazilerde görülmektedir. Bu bozucu etki bir veri olarak değerlendirildiğinde yüzey değişimleri rahatlıkla incelenebilmektedir. Özellikle sulak alan, dere yatakları, erozyon, kum taşıma gibi çalışmalarda verdiği anlamlı sonuçları ile kullanılabilmektedir (Zebker ve Villasenor, 1992).

Atmosfer yapısı tüm radyo dalgalarını etkilemektedir. SAR görüntüleri de, görüntü elde etme yönteminde radar sinyalleri kullanıldığı için atmosferdeki hız değişimi ve saçılma gibi parametrelerden etkilenecektir. Bu etkiler küçük yüzey değişimlerinin tespit edilmeye çalışıldığı InSAR uygulamalarında hatalara sebep olmaktadır. Ayrıca ölçü doğruluklarını da olumsuz etkilemektedir. Atmosferik etkiler özellikle farklı zamanlarda alınmış görüntülerin çıkarımlarında yaşanmaktadır (Chaabane v.d., 2003). Bu aşama atmosferik etkileri yok etmek için çok fazla sayıda görüntü çifti, iyi bir atmosferik model ve sayısal arazi modeli gerekliliği vardır (Kimura ve Kinoshita, 2003). Bu etkileri yok etme çalışmaları çoğu zaman zorlu analizler ve tekrarlı işlem adımları gerektirmektedir. Özellikle atmosfer modeli oluşturulurken yersel ısı, basınç, nem gibi ölçmelerin tüm görüntüyü karşılayacak şekilde yapılması gereklidir.

Tekrarlı geçişli radar interferometrisinde atmosferik etkilerin varlığının ilk tespiti 1994'te Massonet ve arkadaşları tarafından Landers depremine ilişkin çalışmalarında görülmektedir. Aynı bölgede yapılan diğer bir çalışmada Massonnet ve Feigl (1995) interferogramlarda görülen bozukluğun iyonosfer kaynaklı olduğunu düşünmelerine karşın Hanssen (2001) bu değerin büyüklüğünden dolayı iyonosferden kaynaklanmadığını ama troposferdeki bulut ve su kütlelerinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. 1996'da Rosen ve arkadaşlarının Hawai'de yaptığı bir çalışmada bakış açısı doğrultusunda en büyük gecikme değerinin 12 cm olduğu gözlenmiştir. Havadaki bağıl nemin çok küçük oranlarda dahi değişmesinin deformasyon ölçmelerinde düşey yönde 10–14 cm ve sayısal arazi modeli üretiminde düşey yönde 80–300 m arası farklılıklara sebebiyet verebileceği bilinmektedir (Zebker v.d., 1997).

1996'da Fransa Pyrenee'de olan depreme ilişkin çalışmalarda ERS1/2 uyduları ile üretilen interferogramlarda atmosferik etkilerin yarattığı değişimin kosismik etkilerden 2-3 kat kadar fazla oluğu gözlenmiştir (Rigo ve Massonet, 1999; Li, 2005).

Yer bilimlerinde kıta hareketleri için GPS ölçmeleri ile hassas bir şekilde edle edilen yatay konum doğruluğu düşeyde aynı hassasiyette elde edilememektedir. Insar değerlendirmeleri ile düşey hareket bileşenleri elde edilmekte ve birlikte kullanım ile daha doğru sonuçlar elde edilmektedir (Samsanov ve Tiampo, 2006; Samsonov v.d.,2008).

Doktora çalışmasında daha önce de belirtildiği gibi bahsedilen tüm bu çalışmaların ışığında interferometriye ilişkin radar verilerindeki atmosferik etkilerin giderilmesi temel olarak amaçlanmıştır. İşlem adımları aşağıdaki maddeler takip edilerek gerçekleştirilmiştir;

- Insar verileri işlenmiş ve bu verilerden üretilen interferogramlardaki atmosferik bozuklar araştırılmış, bu bozukluklara ilişkin kaynaklar incelenmiştir.
- Bölgeye ilişkin Radar görüntüleme gününde elde edilmiş olan GPS verileri işlenmiş ve bölgeye ilişkin her bir istasyon noktasındaki troposfer kaynaklı gecikme değerleri hesaplanmıştır.
- Üretilen sonuçların bir araya getirilmesi için uygun araçların geliştirilme çalışması yapılmıştır.

2. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ VE ATMOSFER

2.1 Küresel Konumlama Sistemi

Uzay tabanlı konumlama sistemleri, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) silahlı kuvvetleri ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 1960'lara doğru kullanılmaya başlanmıştır. Uzay tabanlı bu sistemlerden birisi ticari amaçlar için 1967'de kullanılmaya başlanan TRANSIT'tir. Kullanılan uyduların yüksekliği 1100 km'dir. Bu nedenle yerçekiminden etkilenmektedir. Dezavantajları nedeniyle, 1974 yılında ABD Savunma Bakanlığı gelecekteki askeri navigasyon amaçlarını karşılamak için bir proje başlatmış ve böylece NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System) ortaya çıkmıştır. 28 Haziran 1983 tarihinde ise Savunma Bakanlığı tarafından GPS'in sivil kullanımına izin verilmiştir.

Çalışmada A.B.D. uyduları yani GPS sistemi kullanılmıştır. Bu sistem temel olarak üç bölümden medya gelmektedir. İlk bölüm olarak temel frekanslarda yayın yapan, bu yayına modüle edilmiş bilgiler iletebilen ve tüm bunların uyumluğu için atomik saatler içeren GPS uydularını kapsayan uzay bölümüdür.

Uzay bölümünü oluşturan uydular şu ana kadar üç blok olarak planlanmıştır. İlk blok uyduları 1978-1985 yılları arasında yörüngeye yerleştirilmiştir. Teknolojik gelişmelerle birlikte ikinci blok uydular 1989 yılından itibaren fırlatılmıştır. İlk aşamada 24 uydu için yapılan tasarımda 3 yörünge hedeflenmiş fakat daha sonra bunun yeterli olmayacağı düşünülüp 6 ayrı yörünge tasarlanmıştır. Bu yörüngeler birbirleri ile 55 derecelik açı yapacak şekilde hareket etmektedir. Ayrıca yörünge düzlemleriyle ekvator düzleminin arakesitleri arasında 60 derecelik açı bulunmaktadır (Şekil 2.1). Son olarak yörüngeye Ekim 2012 tarihinde ikinci blok uydu yerleştirilmiştir. Aralık 2012 itibarı ile tamamı ikinci blok 32 adet GPS uydusu belirlenen yörüngelerde çalışmaktadır (Url-2).



Şekil 2.1 : GPS Uyduları Dağılımı.

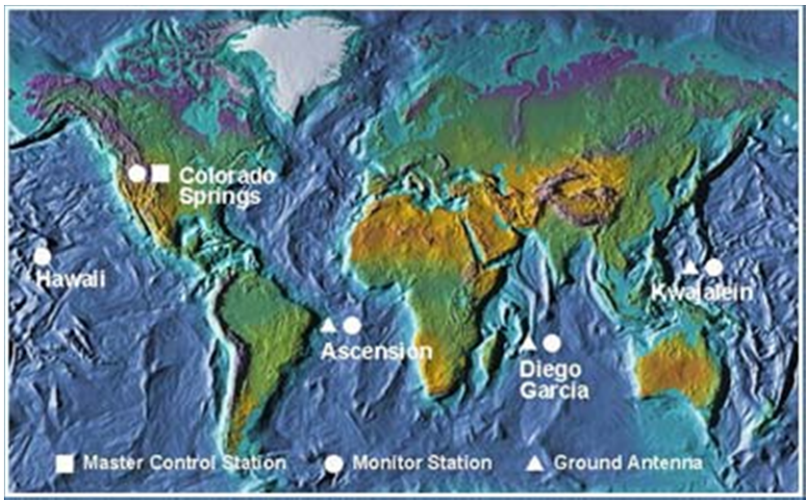
GPS yörünge dönüş zamanları 11 saat 58 dakikadır. Yörüngelerdeki uydu dağılımları sürekli olarak 6 uydunun izlenebileceği şekilde oluşturulmuştur, dünyaya uzaklıkları ise 20200 km'dir. İçinde sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilatör ve mikroişlemci bulunan uydular ortalama 430 kg ağırlığındadır. Uydu için gerekli olan enerji güneş panelleri ile elde edilmekte güneş ışının olmadığı bölgede de çalışabilmesi için bu enerji nikel kadmiyum pillere depolanmaktadır. Uydu içinde bulunan zaman bilgisi ise rubidyum ve sezyum atomik saatlerinden üretilmektedir.

GPS uydu sinyalleri 10.23 MHz temel frekansından elde edilmiştir. Bu değer atomik saatler ile üretilir. L1 ve L2 olarak adlandırılan iki taşıyıcı dalga temel frekansın farklı katlarından hesaplanmıştır. L1 taşıyıcı dalga frekansı temel frekansın 154 katı olan l575.42 MHz, L2 taşıyıcı frekansı ise 120 katı olan 1227.60'dir.

P ve C/A kodlarına PRN (Pseudo Random Noise) kodları denilmektedir. P kod dizisi 266 günde bir tekrarlanır. Bunların 1 haftalık kısımları uydulara ayrı ayrı tanımlanmıştır. Her hafta cumartesiyi pazara bağlayan gece yarısı başlangıç değerine getirilir. C/A ve P kodları eş zamanlı gönderilir. Her uydu kendine has C/A kodu üretir. Böylece uydulardan gelen eş zamanlı sinyaller birbirinden ayrılır. Ll sinyali hem P hem de C/A kodu ile modüle edilmiştir. L2 sinyali sadece P kodu ile modüle edilmiştir. Ll ve L2 sinyalleri sürekli olarak navigasyon verileri (uydu mesajları) ile modüle edilmektedir

Kontrol bölümü; isminden de anlaşılacağı gibi GPS uydularının kontrol edildiği bölümdür. Sistemin bu kısmında bir ana gözlem istasyonu ve 5 izleme istasyonu ve 3 adet yer anteninden oluşmaktadır. Colorado Springs'te ana istasyon bulunmaktadır Kontrol kısmının amacı uyduları ve sinyallerini takip edip uydu saatini kalibre etmek navigasyon mesajlarını güncellemek ve en önemlisi uydulara ilişkin yörünge bilgilerini (efemeris) belirlemektir. Dünya yüzüne dağılmış beş istasyon noktası şunlardır (Şekil 2.2);

- Colorado Springs (USA-Ana kontrol noktası-İzleme istasyonu)
- Diego Garcia (Hint Okyanusu-İzleme istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Ascension Island (Güney Atlantik-Monitör istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Kwajalein (Pasifik Marshall adaları-İzleme istasyonu-Yükleme istasyonu)
- Hawaii (Monitör istasyonu)



Şekil 2.2 : Kontrol bölümü istasyonları.

Ana kontrol istasyonu izleme istasyonlarından sürekli kaydedilen uydulara ilişkin verileri toplar. Bu bilgilerden başta uydu yörünge parametreleri, uydu saati ve iyonosferik model parametreleri hesaplanır. Hesaplanan bu değerlerden gelecek 26 saat için extrapolasyonla adı geçen parametreler tahmin edilir. Tahmin edilen bu değerler üç yükleme istasyonu tarafından S bandında 8 saatte bir gönderilir ve Ll, L2 taşıyıcı dalgalarına uydu mesajları (navigasyon) olarak modüle edilirler.

GPS sisteminin son bölümünü ise kullanıcılar oluşturmaktadır. GPS öncelikle askeri amaçlarla geliştirilmesine rağmen hızla gelişen dünya ve mobil teknolojiler ile

hayatın her alanına girmiş haldedir. Başlıca kullanım amacı konum belirlemek olan GPS jeodezik anlamda Geomatik mühendisleri tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra cep telefonlarından araç takibine, filo yönetiminden insansız araçların kontrolüne kadar pek çok alanda ihtiyaç duyulan doğruluğu karşılayacak kapasite ve ebatlardaki alıcılar kullanılmaktadır. Temel olarak gelen sinyaller alıcı tiplerine bağlı olarak değerlendirilir.

Alıcı Tipleri:

1. C/A kod pseudorange alıcılar
2. C/A kod ve faz taşıyıcı alıcılar
3. P kod ve faz taşıyıcı alıcılar

C/A kod pseudorange alıcılar: C/A kod pseudorange alıcılar genellikle elde kullanılan ve enerjisini küçük pillerden sağlayan tiplerdir. Bu tip cihazların birden altıya kadar bağımsız alıcı kanalları vardır ve çıktı olarak üç boyutlu konum bilgisi verirler: enlem, boylam ve yükseklik ya da bir harita sistemindeki dik koordinatlar. Alıcının hareketli olduğu uygulamalarda dört veya daha fazla kanallı olanlar tercih edilir. Çünkü uydu uzaklıklarının sürekli gözlenmesi ile daha doğru sonuçlar elde edilir. Diğer taraftan alıcının sabit konumlarda olduğu uygulamalarda tek kanallı olanlar tercih edilir. C/A kodlu pseudorange alıcısı; yürüyüş yapan insanlar, denizciler ve aynı zamanda otomobiller için en uygun alıcı tipidir.

C/A kod ve faz taşıyıcı alıcılar: Oniki tane kanalları vardır. Bu alıcılar, her tipte tasarlanan ölçü yönteminde kullanılabilir ve aynı zamanda taşıyıcı fazı belleğinde tutma yeteneğine sahiptirler.

P kod ve faz taşıyıcı alıcılar: Ölçme, nokta konumlandırma ve navigasyon için 1984 yılında yapılmış ilk alıcılardır. P kod alıcılar ile çok uzun bazlar (100 km) bir santimetrenin altında presizyonla belirlenebilir. P kodu alıcılarının bir başka avantajı da orta mesafedeki (20 km) ölçü hassasiyetidir. Orta mesafelerde on dakikalık veri ile santimetre seviyesinde doğruluk elde edilebilir.

Temel olarak GPS ölçmelerinde iki ölçü tipinden söz edilebilir, taşıyıcı faz ve pseudo uzaklıkların ölçülmesi. Gereken konum bilgisinin doğruluk derecesi düşüldüğünde navigasyon amaçlı kullanımlarda pseudo uzaklıkların ölçülmesi yeterli sonuç

verirken temel jeodezik ve yüksek doğruluklu çalışmalarda taşıyıcı faz ölçmelerinden faydalanılmaktadır.

Pseudo uzaklık, alıcı ile uydu arasındaki mesafe olarak tanımlanabilir. GPS alıcıları ve uyduları tarafından üretilen belirleyici PRN kodlarının korelasyonu ile sinyallerin iletim süresi elde edilir. Alıcının kendi içindeki PRN koduna ilişkin bilgiyi korelasyonun en fazla olduğu zamana kadar sürekli değiştirir. Korelasyonun en üst düzeye çıkması ile zamansal fark belirlenir. Zaman belirlendikten sonra değer ışık hızı ile çarpılarak mesafe ölçmesi yapılmış olur. Bu yöntemde uydu ve alıcıdaki saat hataları ve sinyaldeki troposfer ve atmosfer kaynaklı gecikmeler bozucu etken olarak rol almaktadırlar.

Pseudo uzunluk ölçmenin matematiksel ifadesi

$$[t_k + dt_k - (t^p + dt^p)] * c = \rho_k^p + I_k^p + T_k^p \qquad \textbf{(2.1)}$$

Gerçek pseudo uzaklığı

$$P_k^p = (t_k - t^p) * c \qquad \textbf{(2.2)}$$

t_k = k alıcısı tarafından üretilen zaman

t^p= Uydu tarafından gönderilen zaman

I_k^p = İyonosferik gecikme değeri

T_k^p = Troposferik gecikme değeri

ρ_k^p = Uydu ile alıcı arasındaki toposentrik mesafedir.

dt_k = Alıcı zaman farkı

dt^p = Uydu zaman farkı

Taşıyıcı faz gözlemlerinde ise ölçme işlemi modüle edilmiş bilgiler yerine direk olarak taşıyıcı dalga ile yapılmaktadır. L1 ve L2 frekanslarında uydudan gönderilen sinyaller alıcı içerisinde de üretilmektedir uydudan gönderilen sinyalin alıcıya ulaştığı zaman değeri için alıcı içerisinde üretilen sinyal ile karşılaştırılır ve faz farkı hesaplanır (Leick, 2003).

GPS alıcıları sürekli olarak faz üretimi yapmakta ve uydulardan sürekli olarak yayınlanan sinyaller ile karşılaştırma yapmaktadırlar. Alıcılar uydu sinyalleri ile

korelasyonu sağladığında uydudan gelen sinyaller her bir uydu için gözlem süresi boyunca sayılır ve tam dalga sayısı belirlenir eşleşme sağlanmadan önceki tam dalga sayısı başlangıç tam sayı bilinmeyeni olarak adlandırılır. Eğer çeşitli engellerden dolayı uydu sinyali bloke edilmezse, bir uydu ve alıcı için ölçme süresince integer ambiguity sabittir. Ayrıca yüksek doğruluk çalışmalarda kullanılan faz ölçmelerinde alıcı ve uydu saat hataları gibi düzenli hatalar ve iyonosfer, troposfer gecikmeleri gibi ortama bağlı hatalar mevcuttur.

$$\Phi_A^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_A^k(t) + N_A^k + \Phi^k(t) - \Phi_A(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Φ_A^k = A noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz

ρ_A^k = A'dan k'ya uzaklık

N_A^k = Başlangıç tam sayı bilinmeyeni

Φ^k = Uydudaki saat hatası

Φ_A = Alıcıdaki saat hatası

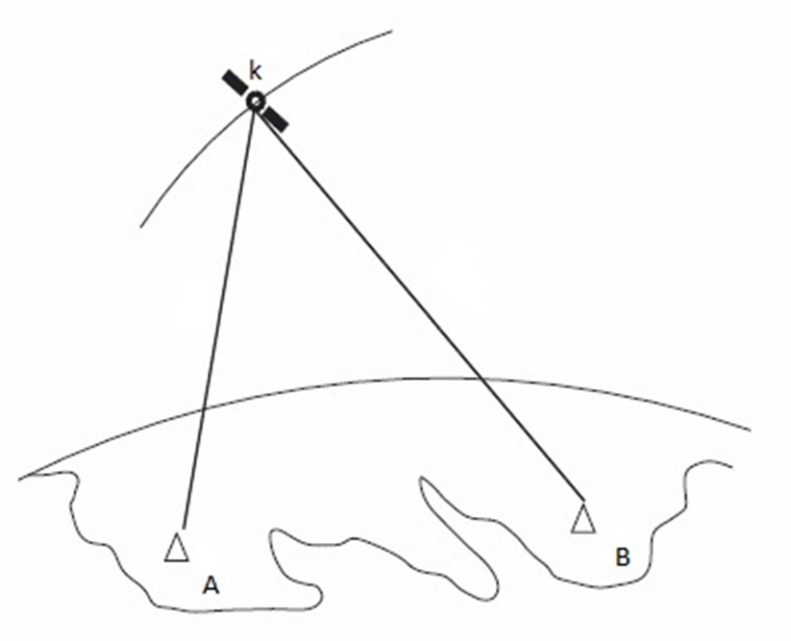
f = Frekans

c = Işık hızı

Diğer hatalar =Troposferik refraksiyon + İyonosferik refraksiyon + Gürültü + Değişik yüzeyden yansıma + anten faz merkezi kayıklığı vb.

Alıcı ve uydu saat hataları, başlangıç tam sayı bilinmeyeni gibi birçok ortak hata kaynağı kod ve faz gözlemlerinden oluşturulan farklar yardımıyla giderilmektedir. Gözlemler arasındaki kombinasyonlar alıcılar, uydular, ölçe zamanı ya da taşıyıcı temel frekanslar üzerinde yapılabilir. Temel olarak faz gözlemleri üzerindeki kombinasyonlar tekli, çiftli ve üçlü farklar olarak ifade edilebilir.

Tekli fark; iki farklı istasyon noktasının aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklardır.



Şekil 2.3 : Tekli Fark Yöntemi.

A istasyon noktasından t anında ölçülen faz

$$\phi_A^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_A^k(t) + N_A^k + \phi^k(t) - \phi_A(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.4)}$$

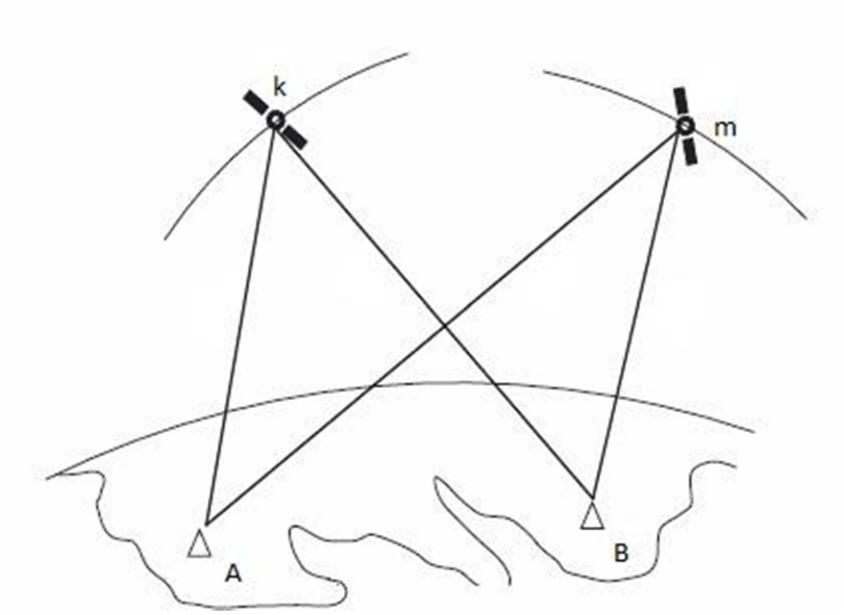
B istasyon noktasından t anında ölçülen faz

$$\phi_B^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_B^k(t) + N_B^k + \phi^k(t) - \phi_B(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.5)}$$

Eşitliklerin farkı alındığında uyduya ilişkin olan saat hatası elemine edilmiş olur.

$$\phi_{AB}^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \phi_{AB}(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.6)}$$

İkili farklar; temelde iki tekli fark arasındaki farktır. Aynı ölçme anında iki farklı GPS uydusu için hesaplanan tekli farkları arsındaki farktır, bu yöntemle uydu ve alıcı saat hataları giderilmiş olur. Bu yöntemle ayrıca kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonesferik etkiler de giderilmektedir (Leick, 2004).



Şekil 2.4 : Çiftli Fark Yöntemi.

k uydusu için tekli fark

$$\phi_{AB}^{k}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{k}(t) + N_{AB}^{k} + \phi_{AB}(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.7)}$$

k uydusu için tekli fark

$$\phi_{AB}^{m}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{m}(t) + N_{AB}^{m} + \phi_{AB}(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.8)}$$

ikili fark

$$\phi_{AB}^{km}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{km}(t) + N_{AB}^{km} + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Başlangıç faz belirsizliği (integer ambiguity) çözümü için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bilinen Bazdan Ölçmelere Başlamak: Koordinatları bilinen noktalarda yapılan kısa süreli bir ölçme oturumundan sonra başlangıç faz belirsizliği bilinmeyeni elde edilir. Daha sonra planlanan kinematik ölçmeye devam edilir.

Anten Yer Değişimi: Bu yöntemin temel ilkesi, koordinatı bilinen bir nokta ve yakınında (yaklaşık 10 m) yardımcı bir noktada yapılan ölçme işlemi ile başlangıç faz belirsizliğinin hesaplanmasına dayanır. Bu yöntem kısaca şu şekilde özetlenebilir.

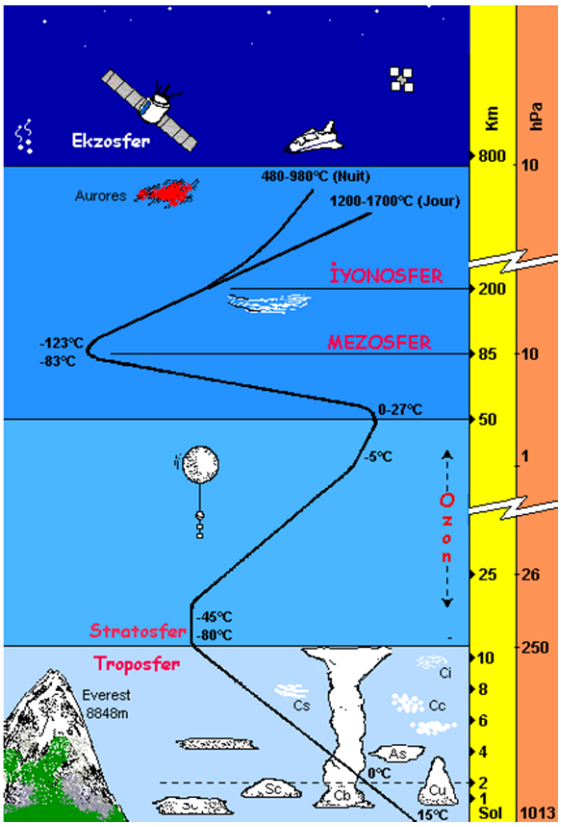
Alıcılardan birisi A noktasına, diğeri ise B noktasına yerleştirilir. l dakikalık kısa bir oturumdan sonra, alıcılar kapatılmaksızın A noktasındaki alıcı B noktasına konurken. B noktasındaki alıcı da A noktasına kurulur. Tekrar bir dakikalık ikinci bir oturumdan sonra B noktasındaki alıcı kaldırılarak ölçme yapılacak diğer noktalarda ölçmelere devam edilir. Bu yöntemde başlangıç belirsizliğinin çözümünde, her bir oturum için çift-fark ölçüleri ve bu farklardan üçlü fark ölçüleri oluşturulur Fakat, alıcıların yer değiştirmesinden dolayı başlangıç faz belirsizliği elimine olmayıp, koordinatlar elemine olur. Dolayısıyla tek bilinmeyen olarak kalan başlangıç faz belirsizliği kolayca çözümlenir.

2.2 Atmosferin Genel Yapısı ve Troposfer

Atmosfer dünyamızı çevreleyen, güneşten gelen enerjinin hızlı şekilde uzaya dönerek kaybolmasını önleyen ve canlılar için hayati önem taşıyan bir gaz karışımı kütlesidir. Atmosfer birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip tabakalardan oluşmaktadır (Şekil 2.5). Bu tabakalar deniz yüzeyinden 1000km yüksekliğe kadar ulaşmaktadır

Alçak atmosfer, TROPOSFER diye adlandırılır. Troposferin kalınlığı zamana ve enleme göre değişir. Ortalama kalınlığı ekvator üzerinde 18km kutuplarda 8km kadardır. Orta kuşaklarda, mevsimsel değişiklikler troposferin kalınlığını büyük ölçüde etkiler. Yaz mevsiminde daha kalın, kış mevsiminde ise incedir. Yeryüzü ve atmosferdeki ısı değişikliği nedeniyle, troposferin kalınlığı, gündüzden geceye ve mevsimden mevsime sürekli olarak değişmektedir. Bu mevsimlik ve günlük değişmelere rağmen orta kuşaklarda troposfer, nadiren ekvatordaki kadar kalın ya da kutuplardaki kadar ince olur. Atmosferin katları içinde herhalde en istikrarsız olanı troposferdir. Bulut faaliyetlerinin ve gözle görülebilir hava olaylarının en çok bulunduğu bölüm burasıdır. Dünyadaki meteorolojik olayları meydana getiren bütün hava kitleleri, cepheler ve fırtınalar burada oluşur. Birçok nedenle, meteorolojik olayların çoğu, troposfer sınırları içinde yer almaktadır. Yüksek oranda su buharı alçak atmosferde bulunur (toplam atmosferin %99'u) ve yoğunlaşma zerrecikleri en çok troposferdedir. Işınım (radyasyon) yoluyla ısınma ve soğuma, yer seviyesinde maksimumdur. Isı düşmesinin önemli ölçüde değiştiği yükseklik, alçak atmosferi yüksek atmosferden ayıran bölge yahut sınırdır. Bu hayali bölge TROPOPOZ olarak

bilinir ve çoğu zaman ince ve kesin bir geçiş bölgesi olarak kabul edilir (Mohanakumar, 2008).



Şekil 2.5 : Atmosferin Genel Yapısı.

Atmosferin bu bölümü (troposfer) ıslak ve hidrostatik bileşenleri elektromanyetik dalgalar için gecikme etkisi yaratmaktadır. Bu gecikmenin, özellikle troposferin alt katmanlarında daha etkili olduğu görülmektedir (Spilker, 1996). Bileşenlerden troposfer etkisinin %90'lık kısmını oluşturan hidrostatik kısım kolaylıkla modellenebilirken %10'luk ıslak bileşen troposferdeki ani kısmı su buharı değişimlerinden dolayı modellenememektedir.

2.3 GPS Meteorolojisi

GPS Meteorolojisi kavramı, GPS verisinin atmosferik koşulların izlenmesi ve analizi maksadıyla kullanılmasını ifade eder. GPS sinyallerinin atmosferden geçişleri sırasında uğradığı kırılma ve gecikmeler hesaplanabilir. Bu değerleri sıcaklık verisi kullanarak nem verisine dönüştürmek mümkündür.

GPS alıcılarının topladığı veriler yağışa dönüşebilir su buharının (PWV) hesaplanmasında kullanılabilmektedir. Atmosferik çalışmalar, GPS yardımıyla hesaplanan PWV değerlerinin yapılan hava tahminlerinin doğruluğunu arttırdığını göstermektedir (Ferretti, 2005).

GPS sinyalleri geçiş doğrultuları üzerinde atmosferin iki katmanı tarafından gecikmelere uğratılırlar. Dağıtıcı bir kırılmanın yaşandığı ilk katman iyonosfer olup çift frekanslı alıcıların kullanılması ile bu etki giderilebilmektedir. Sinyal gecikmelerinin yaşandığı diğer katman olan troposferde ise bu etkiler tek bir alıcı ile belirlenememekte ve birden fazla istasyon noktası ile yapılan ağ ölçmeleri sonucu hesaplanabilmektedir (Erkan, 2009).

Troposferik gecikmelerin hesaplanmasında bir model tercih edilerek öncül gecikme değerleri hesaplanır ve bu değerler ile veri analizine başlanır. GPS veri çözümü sonunda model sonrasında elde edilen düzeltme değerleri öncül gecikme değerlerine uygulanarak troposferik gecikme miktarları belirlenir. İstasyon noktası ve uyduların konumları ve yörünge hareketi düşünüldüğünde sinyaller herhangi bir açı ile GPS antenine ulaşabilmektedir. Bu noktada ifade edilen gecikme değerleri zenit doğrultusundaki değerler olarak ifade edilir. Farklı açılar ile gelen sinyaller indirgeme fonksiyonları yardımı ile zenit doğrultusunda hesaplanır (Tregoning, 2006). Toplam zenit gecikmesi (ZTD) iki bileşene sahiptir; Islak bileşen ve Hidrostatik bileşen(ZHD).

$$ZHD = \frac{0.00227 * P}{1 - 0.00266 * \cos 2\varphi - 0.00028 * H} \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$ZWD = ZTD - ZHD \qquad \textbf{(2.11)}$$

Kuru bileşen olarak da adlandıra bileceğimiz ZHD GPS istasyonunda yapılan basınç ölçme değerine (P) ve noktanın coğrafi enlemi (φ) ile yüksekliğine (H) bağlı olarak hesaplanabilir. Islak bileşen ise istasyona ilişkin veriler ile hesaplanamamaktadır ve farklı enlem değerlerinde 0 ile 400mm arasında değişmektedir (Glowacki v.d. 2006). Islak bileşen değeri toplan gecikmeden hesap yolu ile bulunan hidrostatik gecikme değerinin farkı alınarak hesaplanabilmektedir.

Yağışa dönüşebilen su buharı ZWD ve bir dönüşüm parametresi (Π) yardımıyla hesaplanabilir (Erkan, 2009).

$$IWV = \frac{ZWD}{\Pi} \quad \textbf{(2.12)}$$

$$\Pi = 10\text{-}6\ \rho\ Rv\ (k3 / Tm + k2`) \quad \textbf{(2.13)}$$

ρ : sıvı haldeki suyun yoğunluğu,

Rv : su buharı için gaz sabitesi,

k3 ve k2`: atmosferik refraksiyon katsayıları (sırasıyla; 0.037x105 K2/Pa ve 0.22 K/Pa).

Tm : ortalama sıcaklık,

2.4 GPS ve Troposfer

GPS ile troposferik etkilerin hesabında standart modellerler kullanılarak gecikmelerin belirlenmesi çok temel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımdaki ana neden istasyon noktasında yapılacak olan ölçmelerin içereceği hatalar ile cihaz kalibrasyonlarından kaynaklı hataların önüne geçmektir. Troposferik modeller deniz yüzeyindeki sıcaklık (T), basınç (P) ve nem (H) değerlerine göre tanımlanmaktadır. Bu tanımlamada istasyon noktasının yüksekliği (h) temel alınarak gerekli hesaplamalar yapılır ve model oluşturulmuş olur. Kısa kenarlı bazlarda bu modellerin sonucunda elde edilen gecikme değerlerinin yüzey ölçmeleri ile elde edilenlere göre daha doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir (Kahveci, 1997).

H_i= 0 m

T_i= 18˚C

P_i= 1013.25 mbar

H_i= %50

referans değerleri alınarak nokta yüksekliğine göre model oluşturulabilir. Bu bilgiler ile herhangi bir k yüksekliğindeki nokta için model değerleri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilir (Kahveci, 1997).

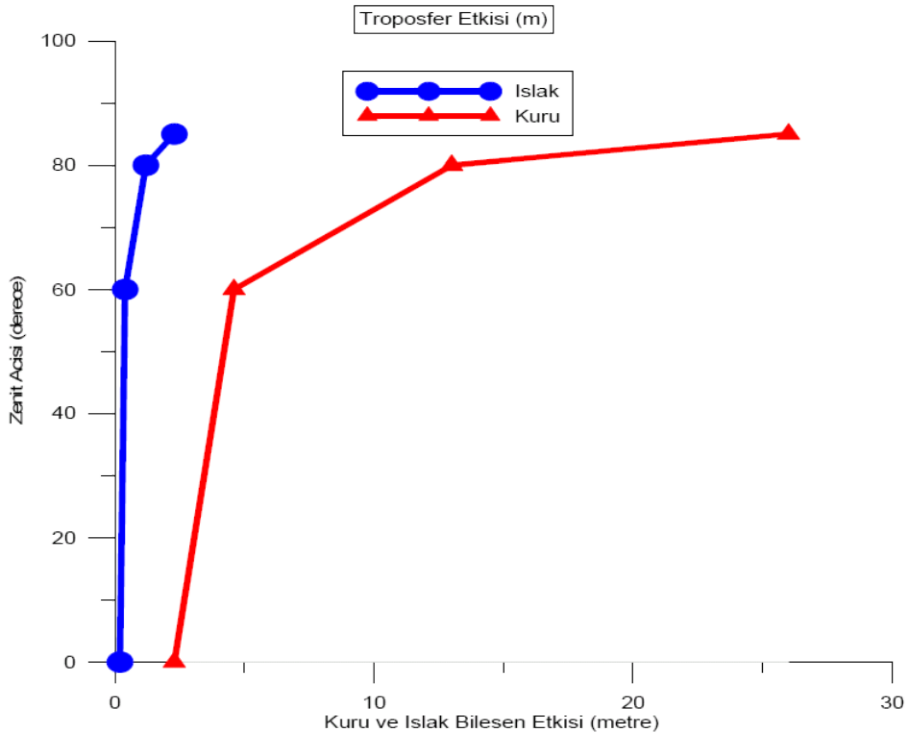
$$T_k=T_i-0.0065.h_k \quad \textbf{(2.14)}$$

$$P_k=P_i.(1-0.0000226.h_k)^{5.225} \quad \textbf{(2.15)}$$

$$H_k=H_i.\exp(-0.0006396.h_k) \quad \textbf{(2.16)}$$

$$h_k=h_i- h_k \quad \textbf{(2.17)}$$

Troposferdeki gecikme etkisi özellikle GPS sinyallerinde yol açtığı gecikmelerle ölçmelerin doğruluk ve hassasiyetini etkilemektedir. Bu gecikmelerin oluşturduğu hatalar için çeşitli modeller üretilmiştir. Bu modeller geliştirilirken basınç, nem, alıcının bulunduğu yükseklik, enlem gibi birçok parametre indirgeme fonksiyonlarına uygulanmıştır. Uygulanan modeller içerik ve bileşen olarak farklılıklar göstermekte ve kullanım alanlarına göre doğruluk kriterleri değişmektedir. GPS veri işleme sırasında herhangi bir troposfer düzeltme modeli uygulanmaz ise zenit doğrultusunda 2m'den ufka yakın doğrultularda 20m'ye varan gecikme hatalarının olabileceği ifade edilmiştir (Şekil 2.6) (Hay ve Wong, 2000).



Şekil 2.6 : Zenit açılarına bağlı ıslak ve kuru bileşen etkisi (Kahveci, 1997).

Sinyal gecikmesi

$$d_{trop} = c(\tau - \tau_0) = \int_{r_0}^{r_1} [n(r) - 1] \sec \xi(r) dr + \left[\int_{r_0}^{r_1} \sec \xi(r) dr - \int_{r_0}^{r_1} \sec z(r) dr \right] \qquad \textbf{(2.18)}$$

ile ifade edilebilir.

Bu bağıntıda; n dalganın troposferde izlediği yol için geçerli olan kırılma indisini, r_0 antenin yerin merkezine olan uzaklığını, r_1 troposferin üst sınırının yerin merkezine olan uzaklığını, ξ kırılmış zenit açısını, z gerçek zenit açısını, c ışık hızını τ ve τ_0 sinyalin atmosferdeki ve havasız ortamdaki yayılma zamanını ifade etmektedir. Birinci integral ışın yolunun elektromanyetik mesafesi ve geometrik mesafesi arasındaki ilişkiyi ifade ederken köşeli parantez içinde yer alan diğer integral ise ışın yolu eğriliğini ifade etmektedir.

Troposferin azimutal olarak simetrik bir yapıdaki tek katman olarak düşünülmesi etkiyi iki aşamada inceleme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bunlardan ilki zenit doğrultusundaki gecikme, ikincisi ise zenit doğrultusundan ufuk çizgisine kadar olan

açılardaki gecikmelerdir. Bu iki gecikme arasında indirgeme fonksiyonları ile oransal ilişkiler kurulmaktadır.

Gecikmelerdeki ana neden olan ıslak ve hidrostatik troposfer yapısı birbirinden ayrı olarak değerlendirilmesi gereken iki bileşen olarak ifade edilmelidir. Bu noktada toplam troposfer gecikmesi, zenit doğrultusundaki gecikmeler ve indirgeme fonksiyonları ile hesaplanan diğer gecikmeler kullanarak ifade edilebilir (Collins ve Langley, 1997). Indirgeme fonksiyonları, gerçek gecikmeyi, zenit açısı ve meteorolojik koşulların bir fonksiyonu olarak, zenit doğrultusundaki gecikme ile doğru olarak ilişkilendirmeyi hedefler.

$$d_{trop} = d^{z}_{hyd}.m_{hyd} + d^{z}_{wet}.m_{wet} \tag{2.19}$$

Bu konuda üretilen başlıca troposfer gecikme modelleri; Hopfield (Hopfield, 1969), Saastamoinen (Saastamoinen, 1973) ve başlıca indirgeme fonksiyonları ise; Niell, Essen&Froome ve Marrini Murray'dir (Roberts v.d., 2005). Aşağıda en sık kullanılan iki model ve Niell indirgeme fonksiyonu özetlenmiştir.

a. Hopfield Troposfer Gecikme Modeli

Hopfield modeli ıslak ve hidrostatik bileşen tanımları kullanılarak geliştirilmiştir. Model atmosferin ilk 40km'lik kısmını tek bir parça olarak kabul etmektedir.

$$h \le h_{hyd} = 43km \Rightarrow N_{(hyd)} = N_{hyd,0}\left(1 - \frac{h}{h_{hyd}}\right)^4 \tag{2.20}$$

$$h \le h_{wet} = 12km \Rightarrow N_{(wet)} = N_{wet,0}\left(1 - \frac{h}{h_{wet}}\right)^4 \tag{2.21}$$

Şeklinde ifade edilen ıslak ve hidrostatik kırılma indisleri kullanıcının h elipsoid yüksekliğine göre değişmektedir, h_{wet} ve h_{hyd} olarak ifade edilen değerler ise ıslak ve hidrostatik bileşenler için ölçek yükseklikleridir. Bu ölçek yükseklikler sabit noktalarda yapılan uzun süreli gözlemlerden elde edilen değerlere eğri uydurularak üretilebilmektedir.

$$d_{trop}^{z} = 10^{-6} \int_{0}^{h_{hyd}} N_{hyd,0} \left(1 - \frac{h}{h_{hyd}}\right)^4 dh + 10^{-6} \int_{0}^{h_{hwet}} N_{wet,0} \left(1 - \frac{h}{h_{wet}}\right)^4 dh \qquad \textbf{(2.22)}$$

Eşitlik (2.22) ile ıslak ve hidrostatik bileşenlerin toplam gecikmesi ifade edilebilir. Zenit doğrultusundaki bu gecikme için, istasyondaki kırılmamış zenit açısı değerine bağlı olarak üretilen indirgeme fonksiyonları aşağıda verilmiştir (Hopfield, 1967).

$$m_{hyd} = \frac{1}{\sin\sqrt{\varepsilon^2 + 6.25}} \qquad \textbf{(2.23)}$$

$$m_{wet} = \frac{1}{\sin\sqrt{\varepsilon^2 + 2.25}} \qquad \textbf{(2.24)}$$

b. Saastamoinen Troposfer Gecikme Modeli

Bu model, hidrostatik bileşen tanımını kullanmıştır ve model gaz kanunları kullanılarak oluşturulmuştur. Modelde gecikme, sinyalin zenit açısı, sıcaklık, basınç ve kısmi su buharı basıncı değerlerinin bir fonksiyonu olarak ifade etmektedir (Saastamoinen, 1973).

$$d_{trop} = \frac{0.002277}{\cos\psi}\left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05\right)e_0 - B\tan^2\psi\right]\delta_R \qquad \textbf{(2.25)}$$

Eşitliği ile ifade edilen troposfer gecikmesinin hesabında; P_0 istasyondaki yüzey basıncı, T_0 istasyondaki Kelvin sıcaklık değeri, e_0 istasyondaki kısmi su buharı basıncı ve ψ ise görünen zenit açısıdır.

c. Niell Indirgeme fonksiyonu

Niell gecikme fonksiyonu, gecikme değerini ölçme istasyonun enlem ve yükseklik değerleri ile birlikte ölçmenin yapıldığı günü de parametre olarak kullanarak hesaplar. Fonksiyon ıslak ve hidrostatik bileşeler olarak tanımlanmıştır. Fonksiyonda ıslak bilşen her enlem değeri için zamansal olarak modellenir. Fonksiyonun hidrostatik bileşeni ise ölçme yüzeyindeki hava şartlarından bağımsızdır ve yerden yaklaşık 1 km yükseklikteki mevsime bağlı atmosferi modellemede daha büyük katkı vermektedir. Atmosfer kalınlığını yerkürenin yarıçapına oranı ve sıcaklık ilişkileriyle

oluşan değişimleri yani atmosferin farklı yüksekliklerdeki sıcaklık değişimleri indirgeme fonksiyonları ile ifade edilmiştir (Niell, 1996).

Troposferik gecikme, GPS sinyalinin troposfer katmanındaki ilerlediği yola bağlı olduğundan aynı zamanda uyduya olan zenit açısının da bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle GPS gözlemlerinde uydu sinyali yükseklik açısı 15 derece ve yukarısı seçilmektedir. Daha küçük açıların kullanılması yansıma etkilerine neden olacaktır.

Zenit doğrultusundaki gecikmeden yararlanarak herhangi bir zenit açısı doğrultusundaki değerin hesaplanmasını sağlayan 1/CosZ fonksiyonuna indirgeme fonksiyonu (mapping function) adı verilmektedir. 1/CozZ deneysel bir fonksiyon olup farklı araştırmacılar tarafından çok değişik indirgeme fonksiyonları yayınlanmıştır.

3. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR INTERFEROMETRİ

3.1 Genel Özellikler

SAR İnterferometri (InSAR) topografik yükseklik, yeryüzü değişimi ve hareketlerinin alansal olarak ortaya konması için uydu, uçak ve benzeri araçlara monte edilmiş radar sistemleri tarafından elde edilen radar görüntülerinin işlendiği bir yöntemdir (Çakır, 2003). Yöntem, SAR anteni tarafından farklı konumlarda veya farklı zamanlarda elde edilen kompleks görüntülerin interferogram oluşturmak için bir araya getirilmesi tekniği olarak da açıklanabilir. Böylece objelerin üç boyutlu konumlarını belirlemek mümkündür (DEM-Digital Elevation Model, SYM-Sayısal yükseklik modeli üretimi gibi). Üretilen SYM'leri çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve topografik harita üretimi, jeomorfolojik çalışmalar, yer yüzeyinin hareketleri, deprem, volkanik hareketlerin izlenmesi vb. gibi birçok uygulamada kullanılabilir. SAR; gerçek açıklıklı radarların anten boyunun yapay olarak büyütülmesi ile oluşturulan bir tekniktir. Uzaktan algılama sistemleri içerisinde son zamanlarda bu denli önem kazanmasının temel nedeni ise aktif uzaktan algılama sistemi olmasıdır. Bu anlamda gece ve gündüz ayırımı olmaksızın çalışma özelliğine sahiptir. SAR kullanımı iki temel neden dolayı söz konusu olmuştur;

- Birincisi, yer objelerinin ve özelliklerinin tanımlanmasında yeterli çözünürlüğe ulaşılması,
- İkincisi, İnterferometrik geometri ile yer yüzeyinin detaylarının anlamlı bir şekilde belirlenebilmesi,

1991 yılına kadar teorik anlamda gelişme sağlayan InSAR tekniği bu yıldan itibaren fiziksel altyapı olarak da önemli aşama kaydetmiştir. Aynı yıl içinde uzaya fırlatılan ERS–1 ve 1995 yılında uzaya fırlatılan ERS–2 uyduları sayesinde aynı bölgeye ait görüntü çiftlerini bulmak çok daha olanaklı hale gelmiştir. ERS–1 ve ERS–2'nin tandem (biri diğerinin izini takip eden) durumda çalışması aynı bölgeye ait görüntülerin 1 günlük ara ile alınmasını ve elde edilmesini kolaylaştırmıştır.

Radar sinyali kompleks bir sinyal yapısına sahiptir. Bu yapı içinde gerçek (real-Re) ve sanal (imaginary-Im) iki bileşen vardır. Bu bileşenler genlik (I) ve faz (φ)

bilgilerini içeren bileşenlerdir. İstendiğinde Im ve Re bilgilerinden genlik ve faz bilgileri aşağıdaki formüller yardımı ile çıkarılabilir.

$$\varphi = \arctan\left({}^{Im}/_{Re}\right) \tag{3.1}$$

$$I = \sqrt{Im^2 + Re^2} \tag{3.2}$$

Aynı yer noktasına ait, farklı bakış açıları ile alınmış iki SAR görüntüsündeki faz değerlerinin farkının oluşturulması InSAR tekniğinin temelini oluşturur. Başka bir deyişle InSAR uygulamalarında elde edilen iki görüntüdeki aynı yer noktasının faz değerlerinin farkının alınması temel kuraldır. Aynı bölgeye ait 2 görüntüden benzer piksellerin genliklerinin ortalanarak faz değerlerinin farklarının alınması ile yeni bir görüntü elde edilir ve bu görüntüye "İnterferogram" denir. İnterferogramın faz değerleri +π ve –π arasında kalır ve Fringe adı verilen halkaları içerir. Bu noktada interferogram üzerinde topografyanın düz kısımlarında oluşan yanlış Fringe'ler temizlenir. Bu işlem aynı zamanda görüntüde var olan gürültülerin elenmesine de olanak sağlar.

İki görüntüden bir yeryüzü noktasına ait bilgilerin elde edilmesi Şekil 3.1 ve

$$h = H - r_1\left(\cos\alpha\sqrt{1-\sin^2(\theta-\alpha)} - \sin\alpha.\sin(\theta-\alpha)\right) \tag{3.3}$$

eşitliği ile ifade edilmiştir.

Burada:

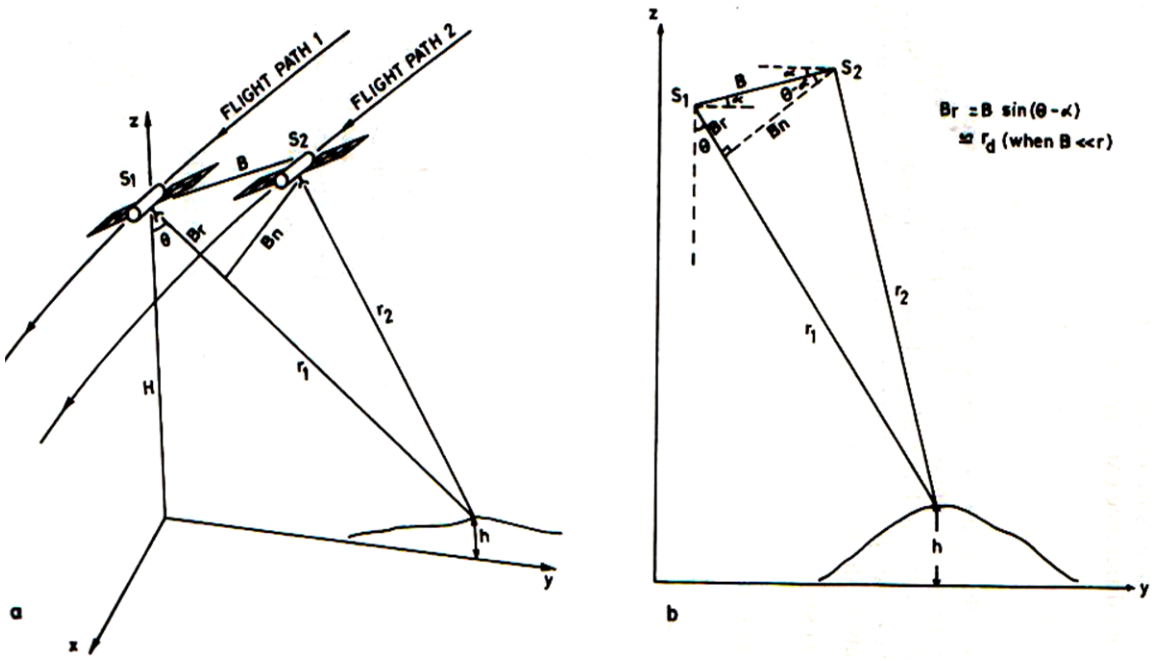
h: Referans yüzeyinden olan nokta yüksekliği

H: Uydu uçuş yüksekliği

r_1 ve r_2 : Uydu-hedef uzaklığı

α: Bazın yatayla yaptığı açı

θ: Normal baz ile baz arasındaki açı



Şekil 3.1 : Radar Uydularının Görüntü Alımının Geometrisi (Gupta, R. P., 2003) (Br: Paralel Baz, Bn: Normal Baz).

Şekil 3.1 ve (3.3)'e göre SAR tekniği bakış yönündeki değişimlere karşı hassas olan bir tekniktir. Daha detaylı bilgiler Madsen ve Zebker 1998, Franceschetti ve Lanardi 1999 yayınlarında ve birçok kitapta bulunabilir.

InSAR ile yapılan ölçme yöntemleri temelde tekli geçiş yöntemi ve çoklu geçiş yöntemi olarak ikiye ayrılabilir.

3.1.1 Tekli Geçiş yöntemi

İki veya daha fazla anten ile eş zamanlı olarak aynı bölgeden tek geçiş ile görüntü alımına dayanan tekniktir. Genellikle uçaklarla yapılan ölçme işlemlerinde kullanılmaktadır. Tekli geçiş yöntemi de kendi içinde ikiye ayrılır.

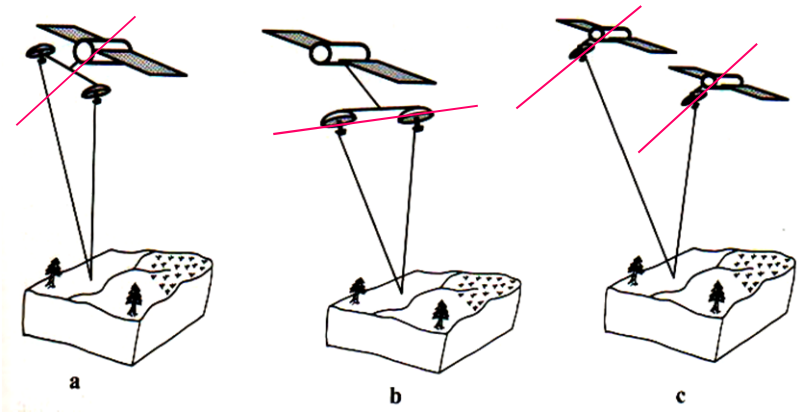
a.1. Accros-track (Uçuş hattına dik alım); Aynı platforma uçuş hattına dik olarak yerleştirilmiş iki anten ile eş zamanlı veri alımı yapılır. İki anten birbirinden sabit bir mesafededir ve daha önce de belirtildiği üzere uçuş hattına diktir. Hedefin yükseklik bilgisine duyarlıdır, dolayısı ile topografya çalışmalarında ve özellikle SYM oluşturmada etkili olan yöntemdir (Şekil 3.2-a).

a.2. Along-track (Uçuş hattına paralel alım); Aralarındaki mesafe sabit olacak şekilde uçuş yönüne paralel yerleştirilen iki anten ile eş zamanlı görüntü alma tekniğidir. Bu yöntem hareket değişimlerine duyarlıdır. Uygun iki pikselin sinyal değerleri arasındaki faz farkı görüntüdeki obje veya objelerin hareketlerinden oluşur.

Bu yöntem ile objelerin görüş hattı yönündeki hız bileşenleri belirlenebilir. (Şekil 3.2-b)

3.1.2 Çoklu Geçiş yöntemi

Bir anten ile aynı bölgenin iki defa görüntüsünün alınması olarak tanımlanabilir. Görüş geometrisinde ve alım zamanında farklılıklar olacaktır. Bu sistemde görüntü alan aracın izlediği yol çok iyi bilinmelidir. Bu yöntem uydular için uygun olan bir yöntemdir (Şekil 3.2-c).



Şekil 3.2 : Uydu geçişleri.

InSAR tekniğinde önemli parametrelerden birisi de bazdır (Şekil 3.1). Genel anlamda iki SAR anteni konumu arasındaki mesafeye baz denir. Baz değeri uzaydaki iki antenin konumlarını içeren hattın dönüklük açısı (yataya göre) ve uzunluk değeri olarak verilir. Çoğu zaman bazın elde edilmesinde mesafeye paralel (Br) ve dik olan (Bn) bileşenleri kullanılır (Şekil 3.1, Br: Paralel baz, Bn: Normal baz, B: Baz). İnterferometride normal baz (Bn) değeri çok önemlidir. Bu değere bağlı olarak görüntü çiftlerinin hangi uygulamalar için uygun olduğuna karar verilir (Solass, 1994).

Diğer önemli bir baz da literatürde temporal baz olarak ifade edilen zaman farkı bazıdır. Elde edilen iki görüntü arasında geçen zaman farkının değeri olarak ifade edilebilir. Bu baza ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- Genel uygulamalarda Bn<600m
- Sayısal Arazi Modeli üretiminde 150m<Bn<300m
- Yer Yüzeyi Değişimi Çalışmalarında 30m<Bn<70m
- Detaylı Yüzey Hareketleri Çalışmalarında Bn<5m

SAR İnterferometride veri değerlendirme 6 adımda gerçekleştirilir;

- *Veri Seti Seçimi*; Elde edilecek görüntülerin dalga boyları ve her iki görüntünün sahip olduğu bant (L, C veya X) aynı olmalıdır. Normal baz bileşeni yukarıda verilen çerçeve uyarınca yapılacak uygulamanın amacına göre belirlenmelidir. Temporal (zaman farkı) bazı Interferometri için uygun olmalıdır. Örneğin SYM oluşturmak için zaman farkının sıfır olması tercih edilir. ERS1/2 bu anlamda tandem modu ile 1 gün arayla aynı bölgeden geçerek iyi bir Temporal baz sağlamaktadır.
- *Görüntülerin Birleştirilmesi (Üst Üste Konması)*; Birincil görüntüye göre ikincil görüntünün değerleri (alanı) yeniden hesaplanır. Bu adımda zaman bileşeninin elemine edilmesi ve oluşacak interferogramın doğruluğunun bu adıma önemli derecede bağlı olması dolayısı ile birleştirmenin doğruluğu çok önemlidir. Bu nedenle öncelikle uydu yörüngeleri bilgisi yardımı ile kaba olarak birleştirme yapılır ve sonra istatistiksel yöntemler ile hassas birleştirme yapılır. Yapılan birleştirmeler için literatürde önerilen doğruluk, 1/20 piksel boyutudur (Franceschetti, 1999).
- *İnterferogram oluşumu*; Birleştirilmiş görüntülerde bir pikselin faz değerinin ikincil görüntüdeki karşılığı olan faz değerinden çıkarılarak ve genliklerinin ortalanması ile oluşturulan yeni görüntü olarak ifade edilebilir.
- *Faz Çözümü*; ölçülen faz değerinden mutlak faz değerinin elde edilmesi için kullanılır. Faz değeri 2π nin periyodik bir fonksiyonudur. Ölçülen değer ise fazın tam sayı olmayan kesirli kısmıdır. Ölçülen değer yükseklikten bağımsız olduğu için yersel nokta yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılamaz. Bu kesirli kısım daha önce de bahsedildiği üzere $+\pi$ ve $-\pi$ arasında faz değerine sahiptir. Faz çözümü; mutlak faz değerini bulmak için her piksele tam sayı devir sayısını eklemek olarak düşünülebilir ve

$$\text{Mutlak faz} = \text{Ölçülen faz} + (2\pi * n) \qquad \textbf{(3.4)}$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada n:tam sayı değerini ifade etmektedir.
Birçok mutlak faz değeri elde etme yöntemi vardır ve bu yöntemler iki ana başlık altında toplanır;

  - Yörünge bağımlı algoritmalar
  - En küçük kareler yöntemine dayalı algoritmalar.

- *Yükseklik Hesabı* (SYM oluşturma); Elde edilen interferogramdan faz değerleri kullanılarak yer noktalarının yükseklik değerleri hesaplanabilir. Bu bağlamda görüntünün koordinat sisteminden yersel koordinat sistemine dönüşümü sağlanarak gerçek anlamda (gerçek yeryüzü koordinatları ile) SYM oluşumu sağlanabilir. Elde edilen mesafe bilgisi birçok hatanın izlerini taşımaktadır. Bu hata izlerinin ortadan kaldırılması ve doğru şekilde mesafe büyüklüklerinin elde edilmesi SYM oluşumunun doğruluğu için hayati önem taşır.
- *Geometrik Dönüşüm*; Piksel değerlerinin, görüntü koordinat sisteminden gerçek yeryüzü koordinat sistemine transformasyonu işlemidir. Genellikle, var olan SYM yardımıyla transformasyon yapılabilir.

InSAR tekniğinde uygulanan en hassas yöntem DInSAR (Differantial-Farksal InSAR) tekniğidir (Gabriel, 1988). Yeryüzünde düşey yönde oluşan değişimleri santimetre ve daha altında hassasiyetlerde belirleyebilen bir tekniktir. Üç veya daha fazla SAR görüntüsü gereklidir. Üç görüntüden ikişerli iki ayrı interferogram elde edilir. İki interferogramdan da bir differantial (farksal) interferogram elde edilir. Oluşan yeni görüntü zaman aralığına bağlı olarak yer yüzeyinde oluşmuş değişimler ve hareketleri gösterir. Bu teknik özellikle düşey yöndeki hareket bileşenlerine karşı hassastır. Değişimin olmadığı veya çok küçük değerlere sahip olduğu durumlarda ise görüntüde piksel değeri olarak sıfıra yakın değerler görülecektir.

Üç görüntü ile yapılan çalışmalar yanında iki görüntü ve doğruluğu yüksek SYM yardımı ile DInSAR tekniği uygulanabilir. Burada SYM doğruluğu çok önemlidir ve yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda tercih edilmemelidir.

InSAR tekniği başlangıçta da açıklandığı üzere birçok yerbilimleri çalışmasında başarıyla kullanılmaktadır. Bazı örnekler, depremlerin co-sismik ve post-sismik izlenmesi, yeraltı çökmeleri ve heyelan gibi yeryüzü hareketlerinin izlenmesi ve volkanik hareketlerin izlenmesi vb. çalışmalar olarak sayılabilir. InSAR tekniğinin bu çalışmalar sırasında kullanılmasında birçok bozucu etki de görülmektedir. Bu etkiler ana başlıklarıyla; baz hesabı, atmosferik etkiler, zamansal uyuşumsuzluklar ve bazsal uyuşumsuzluklar olarak sıralanabilir. Bu tekniği etkileyen diğer bozucu etkiler ise derin vadi sistemlerinin bulunduğu topografya, yoğun bitki örtüsü ve sulu ortamlar olarak sayılabilir**.**

3.2 Sistemin Sınırlamaları

InSAR yöntemi, jeodezik yöntemlere oranla daha hızlı ve düşük maliyetli bir yöntem olmakla birlikte sınırlayıcı özelliklerine dikkat etmek gerekmektedir. Bu sınırlayıcı özellikler şu başlıklar altında toplanabilir:

1. Dik baz mesafesi
2. Termal, geometrik ve zamansal korelasyonsuzluk
3. Yörünge hatası
4. Atmosferik etkiler
5. Topografyanın etkisi ve ilgili bölgenin bitki örtüsü

3.2.1 Dik baz

Zaman ve konuma bağlı farklar InSAR'da kullanılan önemli parametrelerdir. Aynı uydunun ardarda aynı bölge üzerinden gerçekleştirdiği alım zamanı arasındaki fark zaman bağlı farktır. Bu iki farklı zamandaki alım esnasında uydunun kullandığı iki yörünge arası fark da konuma bağlı farkı oluşturur. Bazın dik bileşeni, yükseklik belirsizliğinin hesaplanmasında da kullanılmaktadır. Yükseklik belirsizliği, faz farkından elde edilen girişim dokusunu gösteren farklı renkli halkaların (fringe) yanlış oluşturulmasına neden olabildiğinden, giderilmesi gerekir. Sayısal Arazi Modeli (SAM) veya başka bir interferogram kullanılarak yükseklik belirsizliğinin giderilmesine çalışılır.

3.2.2 Termal korelasyonsuzluk

Sinyal gürültü oranı ile ifade edilen "SNR" değerine ilişkin bir orandır. Elde edilen iki görüntüdeki gürültünün görüntü eşleştirmesine olan etkisi olarak da değerlendirilebilecek termal korelasyonsuzluğun giderilmesi için SNR analizi yapılması gerekir. Termal korelasyonsuzluk

$$\frac{1}{1 + SNR^{-1}} \tag{3.5}$$

$$\mathrm{SNR} = \frac{P_S}{P_N} \tag{3.6}$$

ile ifade edilir.

Eşitlik (3.6)'daki P_S sinyal gücünü, P_N gürültünün gücünü ifade etmektedir.

3.2.3 Zamansal korelasyonsuzluk

İki görüntünün alım zamanı arasında ilgili arazide veya çevre koşullarında değişiklikler oluşabilir. Tarım alanlarında, görüntüde yer alan objelerin içerdikleri su miktarlarında ve benzer şekillerde oluşan bu değişiklikler, iki görüntüdeki piksellerin yansıtım değerlerinde anormal farklılıklara neden olabilir. Bu farklılık nedeni ile de yine hatalı interferogram sonuçları elde edilebilir. Bu değişimlerin komşu pikseller yardımıyla düzeltilmesi olanaklıdır. En uygunu, değişimin en az olabileceği alanlar belirleyerek buralardan görüntü elde etmektir.

3.2.4 Yörünge hatası

Bazın hesaplanması için yörünge bilgisi gereklidir. Eğer bu bilgide yanlışlık varsa interferogram sonuçları (fringe) hatalı oluşur.

Yörünge hatası uçuş yörüngesine paralel ise, görüntü eşleme esnasında (co-registration) bu hata iki boyutlu bir hale getirilip giderilebilmektedir. Fakat açısal hata varsa, bilinememekte olduğundan giderilmesi de zordur. İnterferogram hatası üretebilecek bu etkinin ortadan kaldırılması için uydu yörüngelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmeye dahil edilmesi uygun bir yaklaşımdır. Hassas yörünge bilgileri uzay temelli jeodezik sistemlerden olan SLR ve DGM-E04 gravite modeli ile üretilen verilerden oluşmakta olup bu verilere Delft Üniversitesinin sitesi aracılığıyla internet üzerinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir.

3.2.5 Atmosferik etkiler

SAR sisteminde en bozucu ve temizlenmesi en zor etkidir. İyonosferik ve troposferik olmak üzere iki başlıkta incelenir.

Atmosferin durağan bir halde olmaması nedeniyle oluşan, özellikle tekrarlı geçişlerdeki zaman farkları arasında atmosferik gecikme etkisi bulunması nedeniyle üretilecek interferogramda bozucu etki yaratmaktadır. Bu gecikmelerin tespiti mümkün olmadığından ek parametreler ve modeller ile elimine edilmesi yöntemine başvurulur.

SAR sistemlerinde çift frekanslı sistemler yoktur, bu nedenle iyonosferik gecikmeler temizlenememektedir.

Farklı yöntemler (GPS, hava balonları) kullanılarak elde edilen verilerle oluşturulan modeller aracılığıyla troposferik etkiler giderilmeye çalışılmaktadır. Statik ve dinamik su buharındaki değişimler "Troposferik Etkiler"i oluşturur. Topografyanın yükseklik farkına göre değişen su buharının hidrostatik etkisi "Statik Etki"yi oluşturur. Dinamik etki ise atmosferdeki su buharının yeryüzüne yatay olarak değişimini belirtir. Her iki etki de faz değişimi olarak interferogramda kendini gösterir.

3.2.6 Topografya ve bitki örtüsü etkisi

Bamler (1998)'e göre yükseklik değişiminin olduğu bir bölgede topografyanın etkisi

$$h_a = \frac{R\lambda}{2B_\perp}\sin\theta \qquad \textbf{(3.7)}$$

ile ifade edilmektedir.

Burada h_a yükseklik belirsizliğini, R mesafeyi, λ dalga boyunu, $B_\perp$ dik baz bileşenini, θ bakış açısını ifade etmektedir. Yükseklik belirsizliği ERS sistemi için yaklaşık olarak

$$h_a = \frac{9300}{B_\perp} \qquad \textbf{(3.8)}$$

olmaktadır. Bu durumda dik baz bileşeni 100m olduğunda her bir 93m'de fringe oluşacaktır. Burada oluşan topografik baz giderilmelidir. Bunun için kullanılan ek büyüklük SAM'dır. $B_\perp$ dik baz değeri küçüldükçe yükseklik belirsizliği büyür ve yüzey değişiminde topografyanın etkisi azalmış olur. Çalışmada amaç yeryüzünün deformasyonunu belirlemek olduğu için tüm etkilerin ortadan kaldırılması, elimine edilmesi gerekmektedir. Aksi taktirde hatalı interferogram değerleri elde edilir ve yanlış değerlendirmeler ortaya çıkar.

Topografik etkiyi ortadan kaldırmak için iki yöntem kullanılır. İlkinde bir interferogram ve SYM kullanılırken ikinci yöntemde iki interferogram kullanılır.

İlk yönteme iki geçiş interferogramı adı da verilir. SYM kullanılarak topografik etkinin simülasyonu gerçekleştirilir ve elde edilen bu sonuç interferogramdan çıkarılır (Massonnet v.d., 1993).

İkinci yönteme üç geçiş interferogramı denir. Bu yöntemde yüzey değişimini içermeyen ikinci inteferogram, deformasyona sahip olduğu düşünülen diğer

interferogramdan çıkarılır. Bu çıkarım işleminden önce bazın paralel bileşeni oranı ile ölçeklendirilmesi gerçekleştirilir (Gabriel v.d., 1989).

3.3 SAR Sinyallerine Etki Eden Diğer Atmosferik Bileşenler

Atmosferik bileşenler dışında GPS ve Radar sinyallerini etkileyebilecek diğer hususlar ise; bulut ve sis, aeresoller ve volkanik küller, yağmur olarak belirtilebilir.

3.3.1 Bulut ve sis etkileri

Kısaca tanımlamak gerekirse bulut dünya yüzeyi üzerinde ve atmosfer içinde oluşan, su damlacıkları ve buz parçacıkları içeren gözle görülür bir kütledir. Sis ise bulut kütlesinin yeryüzü ile temas halinde ve görüşe engel teşkil eden hali olarak ifade edilebilir.

Bulutların sinyale olan etkisi yalıtkan ortamdaki elektriksel yüklenmelerin yer değişiminden kaynaklanmaktadır. Damlacık büyüklükleri saçılma için fazlasıyla küçük olduklarından dolayı sinyal etkileri elektriksel geçirgenlik ile ilişkilendirilir. Kırılma bulutun şekilinden bağımsız olarak sıvı haldeki su içeriği ile ifade edilebilir (Leibe v.d., 1989, Solheim 1999);

$$N_{Bulut} = \frac{3}{2} * \frac{w}{\rho_w} * R_e \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right) \qquad \textbf{(3.9)}$$

Şeklinde ifade edilen Clausis-Mossotti denkleminde; P_w su yoğunluğu, ε geçirgenlik, R_e ise geçirgenliğe bağlı değerin gerçek sayı kısmını ifade etmektedir. (3.2) nolu denklemdeki yol bulut kalınlığı olarak düşünüldüğünde buluttaki toplam zenit gecikmesini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$ZCD_{(mm)} = N_{Bulut} * L \qquad \textbf{(3.10)}$$

Bulutların yapısı incelendiğinde maksimum su miktarının bulut tabanından 2km yukarıda olduğu ve üstlere doğru azaldığı belirlenmiştir (Hall v.d. 1996). Hannssen'e (2001,1998) göre stratiform ve buz bulutları yatayda büyük miktarda yer kaplamalarına karşın fazla bir gecikmeye yol açmamaktadırlar. Kümülüs bulutlar ise yataya göre çok fazla düşey büyüklüğe sahip olmaları ve fazla su içermelerinden dolayı daha fazla gecikmeye neden olurlar. 3km kalınlıktaki bir kumulonimbus

bulutu 1gr/m^3 su içermesi halinde yaklaşık olarak 4mm gecikmeye sebep olmaktadır (Li, 2005).

3.3.2 Aeresol ve volkanik kül etkileri

Aeresoller bir sıvı veya katının gaz ortamı içerisinde dağılması olarak tanımlanabilir. Tanecik yoğunluğunu elektriksel gecikmelere yol açmadığı kabulü ile aeresollerden kaynaklı gecikmeler su yoğunluğu ile orantılı kabul edilir. Volkanik küllerde ise içerik taş, mineral ve cam benzeri parçacıklardan oluşmaktadır (Delacourt v.d., 1998, Beaducel v.d., 2000). Solheim ve arkadaşlarına göre (1999) volkanik gecikmeler partikül yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir ve maksimum değeri 0.01mm/km olarak belirlenmiş aeresollerden kaynaklı gecikmeler 0.1mm'den daha azdır (Li, 2005).

3.3.3 Yağışlar

Yağmur, kar dolu gibi yağış şekilleri faz gecikmelerini etkilemektedir. Bu gecikmede dalganın izlediği yol boyunca yoğun halde bulunan tanecik yapısı önemli bir etkiye sahiptir. Yoğun yağış tanecik büyüklüğü nedeniyle C bandı üzerinde gözle görülür bir etkiye sahiptir. 20mm/saatlik bir yağış 3mm'lik bir gecikmeye yol açarken 200mm/saatlik yağış 11mm'lik bir gecikme ile sonuçlanır (Li, 2005).

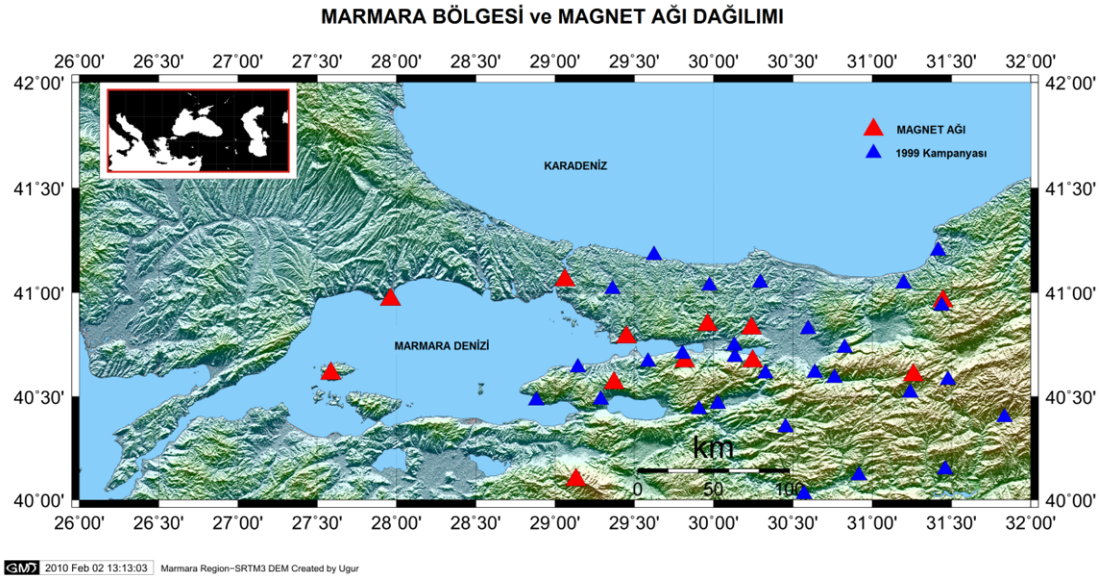
4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Test alanı olarak İzmit bölgesi seçilmiştir. Bölgenin seçilme nedeni 1999 İzmit depremine ilişkin elde edilmiş GPS ve SAR görüntülerinin olmasıdır. İzmit depremi ile ilgili olarak modelleme çalışmaları farklı kişiler tarafından farklı yöntemler kullanılarak değişik tarihlerde gerçekleştirilmiştir. Barbieri ve diğ. (1999) InSAR ölçülerini kullanarak, Reilinger ve diğ. (2000) GPS ve InSAR ölçülerini kullanarak, Wright ve diğ. (2001a) InSAR ölçüleri yardımıyla, Feigl ve diğ. (2002), ERS-1, GPS, RADARSAT ve SPOT ölçüleri ile ayrı ayrı olarak, Çakır ve diğ. (2003) InSAR ölçüleri ile modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bos ve diğ. (2004), GPS ve InSAR veri setini birlikte kullanarak İzmit depremini modelleme çalışmaları yapmıştır. Bu görüntülerin işlenmesi ile çıkan sonuçlarla yapılan yayınlarda ise troposferik etkiler tespit edilmiştir(Çakır 2003, Reilenger ve diğ. 2000, Ergintav ve diğ.2002). Verilerin temini için Semih Ergintav ve Ziyadin Çakır ile kişisel olarak temasa geçilmiştir. 12 Ağustos – 17 Eylül 1999 tarihleri arasındaki Marmara Bölgesi Sürekli gözlem ağı (MAGNET) ve 17 Ağustos 1999 sonrası oluşturulan geçici GPS noktalarına ait alıcıdan bağımsız değişim formatında (RINEX) veri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinden temin edilmiştir.

İstasyon noktalarına ilişkin koordinat bilgisi Çizelge 4.1'de noktaların dağılımın ise Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

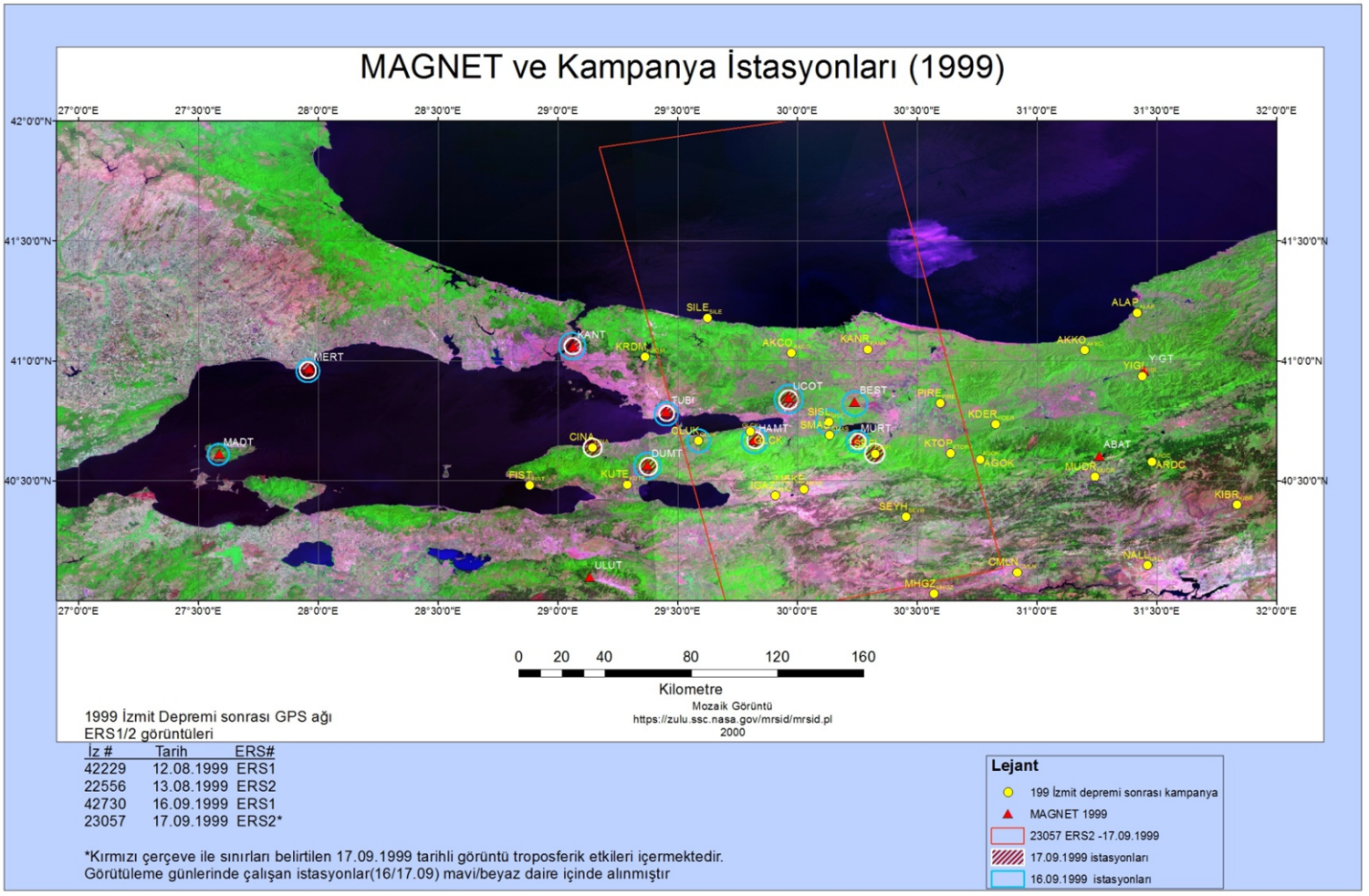
Çizelge 4.1 : MAGNET İstasyonlarının Koordinatları(WGS84).

İstasyon Adı	Enlem			Boylam			Yükseklik
	°	'	"	°	'	"	m
BEŞEVLER	40	49	44.6785	30	14	19.3275	208.90
ÇINARCIK	40	38	22.0406	29	08	35.2290	168.01
DUMANLI	40	33	55.8343	29	22	18.7902	927.37
GÜZLEK YAYLASI	40	32	17.9777	30	40	49.3193	1195.07
HAMİDİYE	40	40	12.3430	29	49	7.3076	447.25
ISLAK	40	44	43.1396	30	07	48.9283	159.46
KANDİLLİ	41	03	38.8527	29	03	41.1110	153.02
MARMARA ADASI	40	36	40.8109	27	35	12.9542	747.29
MARMARA ERĞ..	40	58	0.7877	27	57	42.1221	88.91
MURADİYE	40	40	10.9001	30	14	43.1114	185.70
OLUKLU	40	40	1.6167	29	35	7.0390	389.52
SEREFİYE	40	36	41.8277	30	19	30.7056	121.00
TÜBİTAK	40	47	12.1543	29	27	2.4193	219.71
ÜÇGAZILER	40	50	44.3020	29	57	44.2009	393.31



Şekil 4.1 : MAGNET ağının1999 yılındaki sürekli ve kampanya istasyonları.

Çalışma alanına ait 12-13 Ağustos ile 16-17 Eylül tarihlerine ilişkin ERS1 ve ERS2 görüntüleri(Şekil 4.2) ise Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR'dan temin edilmiştir.(Çizelge 4.2)



Şekil 4.2 : MAGNET ağı ERS1/2 görüntülerinin sınırları.

Çizelge 4.2 : ERS görüntülerine ait bilgiler.

İz#	Tarih	ERS#
157-815	12 Ağustos 1999	ERS1
157-815	13 Ağustos 1999	ERS2
157-815	16 Eylül 1999	ERS1
157-815	17 Eylül 1999	ERS2

Çalışmada görüntü işlemi yazılımı olarak ROI_PAC, GPS veri işleme yazılımı olarak GAMIT yazılımı kullanılmış ve BERNESE (Dach v.d., 1998) yazılımından da faydalanılıştır. Çakır, Ergintav ve Reilenger'ın yayınlarında 16-17 Ağustos 1999 görüntü çiftindeki troposferik hatalar belirtilmiştir. Bu tespitlerden yola çıkarak ilgili tarihlere ilişkin GPS verileri işlenmiştir.

4.1 GPS Veri Değerlendirme

Veri değerlendirme sırasında ilk olarak RINEX formatındaki veriler GAMIT yazılımı ile işlenir. Bu aşamada her bir ölçme gününe ait ayrı ayrı çözümler yapılır ve istasyon koordinatları, atmosferik parametreler, uydu yörünge parametreleri, tam sayı belirsizlikleri ve yerin dönme elemanları kestirilir. Tüm bu kestirimler için ikili farklar oluşturulur. Faz belirsizliklerinin belirlenebilmesi için genel olarak tek bir oturumdan lineer olarak bağımsız faz ölçmelerinin ikili farkları kullanılarak birden fazla dengeleme işlemi gerçekleştirilir (Rüzgar, 2004). Seçilen ve doğruluğu bilinen noktaların dengeleme öncesi doğrulukları arttırılabilir.

Çözümlemede ilk aşamada uydulara ilişkin saat ve öncül yörünge bilgileri uydu tarafından yayınlanan yörünge bilgilerinden elde edilir. Yörünge ve pseudorange (ham uydu-alcı mesafesi-HUAM) ile öncül nokta koordinatlarına dayanarak, saat bilgileri ile saat uydu alıcı saat düzeltmeleri hesaplanır. Sonraki aşamada ise uydudan gelen sinyale ilişkin devir kesiklikleri (cycle slips) hesaplanarak düzenlenir. Uydu yörüngeleri ve nokta koordinatlarının apriori modeli, gözlenen faz ve HUAM ölçmeleri ile karşılaştırılan teorik gözlemlerin hesaplanmasında kullanılır. Devir kesiklikleri, gözlem farkları hesaplanması ve iyonosfer ve saat hatalarının etkilerini ortadan kaldıran faz gözlemlerinin kombinasyonlarının değerlendirilmesi ile saptanır.

GAMIT, güvenli olarak kaldırılması mümkün olmayan fakat yanlış kestirilmesi durumunda ilgili diğer jeodezik parametreleri zayıflatacak olan tamsayı devir kesikliklerini işaretleyerek belirleyen ek parametreler ekleme özelliğine de sahiptir (Altın, 2006).

Birkaç parametreye bağlı olarak uyduların yörüngeleri değişir; ay, yerküre ve güneşin çekim alanı ve güneşin radyasyon basıncı en önemli nedenlerdir. Uyduya ilişkin hız ve ilk konumu tanımlayan bir vektör ile bu etkiler GAMIT tarafından değerlendirilebilir. Daha sonra yerin nutasyonu, presesyonu ve dönme parametreleri ile yersel referans sistemleri ile uydulara ilişkin konum bilgileri karşılaştırılabilir. GAMIT, bir uydunun hareketini sayısal olarak hesaplayabilmekte, faz ve HUAM kestirmelerine dayanarak solar radyasyon basıncının parametrelerinin bir bölümünü ve uydu durum vektörünün altı parametresinin lineer sapmalarının kestirimlerini sağlayabilmektedir (Yavaşoğlu, 2009).

Teorik yayılma gecikmeleri, atmosferik kırılma modelleri ile uydu ve alıcıların apriori konumlarından saptanmaktadır. Güneşin ve ayın konumuna bağlı olarak katı yer ve gelgit etkisinden ileri gelen zamanla değişen bir düzeltme ise nokta koordinatlarına eklenmektedir. Genel olarak, alıcı ve uydu saatlerine ikinci dereceden polinom düzeltmeleri getirilmektedir. Hidrostatik (kuru) ve su buharı bileşimleri nedeniyle oluşan atmosferik yayılma gecikmeleri iki model ile saptanmaktadır (Rüzgar, 2004).

En küçük kareler yöntemi ile dengeleme, teorik faz ve HUAM gözlemleri, nokta ve uydu konumlarının apriori modellerine göre bir kere hesaplandıktan sonra bu apriori değerler, oturumlar boyunca yapılan faz ve HUAM gözlemlerinde öncül değer olarak uygulanır. GAMIT, birbirinden bağımsız ikili farkları oluşturmak üzere bir algoritma kullanmaktadır. Yapılan bu dengeleme sonunda, üç boyutlu koordinatlar, her bir uydunun altı başlangıç koşulu, radyasyon basıncı parametresi ve her bir noktaya ilişkin oturum boyunca geçerli modellenmeyen atmosferik refraksiyon etkisi için zenit gecikme parametresi ve birbirinden bağımsız ikili farklar ile faz belirsizlik parametreleri belirlenir (King ve Bock, 2002).

Yapılan ilk dengeleme sonrası iyonosferden bağımsız ikili fazlar ile tüm değişkenler belirlenir. Faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı bir birleştirme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliği, bağımsız çiftli farkların faz belirsizlik parametreleri, üretilir.

Bu birleştirme, kısa bazlardan elde edilen belirsizlik çözümünün daha güvenli olmasının avantajını ağın tamamı içinde kullanarak, en kısa bağımsız yola göre, birbirinden bağımsız ikili farklar kümesini oluşturur. Diğer adım ise çiftli farkları alınmış uzun dalga (wide-line) boylu belirsizlik parametreleri için en iyi tamsayıyı iterasyon ile hesaplamaktır. Bunu gerçekleştirirken L1 ve L2 faz gözlemleri bağımsız olarak kullanılırlar. Tamsayı değerleri saptanacak olan belirsizlik değerleri dışındaki tüm parametreler ilk iyonosferden bağımsız dengelemeden elde edilen değerlerine sabitlenir. Uzun dalga (wide-lane) boylu belirsizlikler bir kere güvenli bir şekilde çözüldükten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanır ve tüm parametreleri saptamak ve ardışık olarak kısa dalga (narrow-lane) boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız çift-farklı gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işlemi yapılır (Herring, 2000; King ve Bock, 2002).

Belirsizlikler çözüldükten iki dengeleme daha yapılır. Bu dengelemelerin ilki tüm nokta ve uydu parametrelerinin ağırlıkları azaltılarak gerçekleştirilir. Bu dengelemelerde ortaya çıkacak sayısal yetersizlik problemlerinden etkilenmemek için uygun öncül değerlerin seçilmesi, Global Kalman Filtreleme (GLOBK) programı kestirmelerini yanlış yönde ve aynı zamanda GAMIT çözümlerinin de yeterli yaklaşıklıkta başlangıç değeri verilememesi nedeniyle etkilenmemesini sağlamak önemlidir. Tam sayı belirsizliklerinin çözümünün yapılmadığı ilk dengelemede, tüm parametreler serbest olarak (apriori değerlerden bağımsız) saptanır ve bu dengeleme iyonosfer bağımsız - eğilim bağımsız (biases-free) olarak adlandırılır. İkinci dengeleme iyonosfer bağımsız - eğilim bağımlı (biases-fixed) olarak adlandırılır ve tamsayı belirsizlikleri, apriori değerler kullanılıp kısıtlanarak yapılan dengelemeden ve belirlenen diğer tüm parametrelerden elde edilen önceki değerlere yuvarlatılırlar (Yavaşoğlu, 2009, Herring, 2000).

4.1.1 GPS verisi işlem adımları

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından işletilen MAGNET ağına ait nokta ve koordinat bilgileri Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1 de sunulmuştur. Bu istasyon noktalarından 12 tanesi 17 ağustos depremi öncesinde de 24 saatlik ölçme esasına göre faal olarak çalışmaktadır. Ancak deprem sonrası gelişen deformasyonların belirlenmesi amacı ile TÜBİTAK tarafından kampanya ölçmeleri yapılmış ve bu ölçmeler de en az 8 saatlik süreye sahip olacak şekilde planlanmıştır.

Temin edilen veriler daha önceden çalışma mantığını tanımladığımız GAMIT yazılımı tarafından işlenmiştir. Öncelikle temin edilen veriler ham alıcı formatından TEQC yazılımı aracılı ile RINEX formatına dönüştürülmüştür. TEQC Unavco tarafından ücretsiz olarak sunulan ve her türlü ham alıcı formatından RINEX formatına dönüşüm yapmayı verileri düzenlemeyi sağlan yazılımdır.

Radar görüntüleme günlerine ilişkin GPS istasyon verileri günlerine göre gruplandırıldıktan sonra her GPS günü ayrı ayrı değerlendirilmeye alınmıştır. Yazılımın çalışsabilmesi için temel olarak gereken girdi dosyaları düzenlenmiştir. Bu dosyalarda istasyon adları, ölçme zamanı, anten yüksekliği değerleri, alıcı ve anten tipleri, öncül koordinat değerleri gibi parametreler bulunmaktadır. Yazılımın çalışması için temel olarak "station.info" olarak adlandırılan ve istasyonlara ilişkin alıcı, anten, anten yüksekliği ve ölçme zamanını içeren çizelge oluşturulmuştur. Daha sonrasında öncül koordinat değerleri içeren "lfile" olarak ifade edilen dosya oluşturulmuştur. Tüm veri işlem adımlarını yöneten oturum tablosu olarak ifade edilebilecek "sestbl." oluşturulmuştur. Bu tablo atmosfer parametreleri, yörünge hesabı, iterasyon sayısı, ölçü ağırlıklandırma, tamsayı bilinmeyenlerinin çözümü gibi parametreleri yönetebilmektedir. Sonuç olarak üretilen dosyada ise dengeleme öncesi ve sonrası doğrulukların oranı belirleyici bir değer olarak ifade edilmektedir Sonuç dosyasında baz değerleri nokta koordinatları, atmosferik gecikme değerleri ve gradyenleri, yörüngesel elemanlar gibi bir çok çıktı sağlanmaktadır. Tüm bu girdi elemanları EK A'da sunulmuştur.

Sonuç dosyasının yanı sıra özelleştirilmiş çıktılar da GAMIT yazılımını sayesinde alınmaktadır. Bu çalışmada GAMIT sonuçlarından elde edilen troposferik gecikmeler kullanılmıştır.

Daha önceden de ifade edildiği gibi oturum tablosu olarak adlandırılan ve veri analiz parametrelerini yöneten dosya yardımı ile toplamda 24 saati oluşturacak şekilde 2 saatlik aralıklar ile 13 troposfer gecikme parametresi hesaplatılmıştır. Gecikme modeli olarak Saastamoinen, indirgeme fonksiyonlarında Niell indirgeme fonksiyonu kullanılmıştır. Model için gerekli veriler GAMIT yazılımının kısıt dosyası içerisinde belirtilmiş olup tüm istasyonlar için aynı değer olarak kabul edilmiştir.

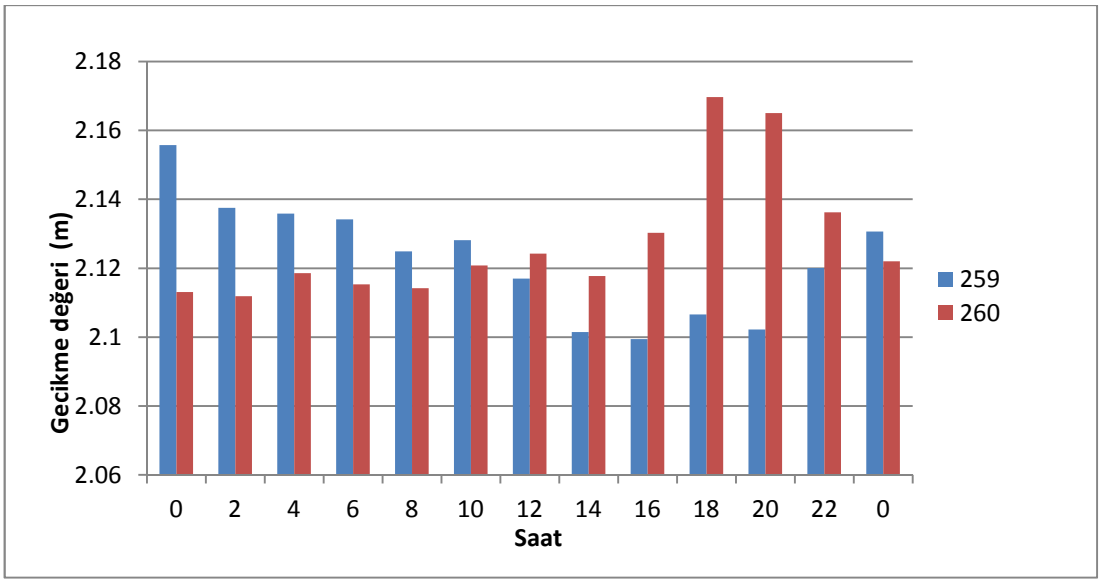
Günler içindeki 2 saatlik aralıklar ile elde edilmiş farklar incelendiğinde; 259. GPS günü olan 16 Ağustos 1999 için en fazla fark 5.63 cm ile DUMT istasyonunda en az

fark ise 2.18 cm ile HAMT istasyonunda tespit edilmiştir. 260. GPS günü olan 17 Ağustos tarihi içinse en fazla fark 7.31 cm ile HAMT en az fark ise 0.98 cm ile AGUZ istasyonu olmuştur (Çizlege 4.3).

Çizelge 4.3 : Gün içi değişimlerde troposferik gecikme karşılaştırma tablosu (sabit meteorolojik değerlerden).

İstasyon Adı	259			260		
	Minimum	Maksimum	Fark	Minimum	Maksimum	Fark
BEŞEVLER	-	-	-	-	-	-
ÇINARCIK	-	-	-	2,3274	2,3817	0,0543
DUMANLI	2,0994	2,1557	0,0563	2,1119	2,1697	0,0578
G. YAYLASI	-	-	-	2,0626	2,0724	0,0098
HAMİDİYE	2,2513	2,2731	0,0218	2,251	2,3241	0,0731
ISLAK	2,3286	2,3629	0,0343	-	-	-
KANDİLLİ	2,3399	2,3864	0,0465	2,3289	2,3625	0,0336
M. ADASI	2,1789	2,2068	0,0279	-	-	-
M. EREĞ.	2,3834	2,4072	0,0238	2,3527	2,3904	0,0377
MURADİYE	2,3238	2,3485	0,0247	2,324	2,396	0,072
OLUKLU	2,2521	2,2837	0,0316	-	-	-
SEREFİYE	-	-	-	2,3652	2,4004	0,0352
TÜBİTAK	2,3162	2,3513	0,0351	2,3083	2,3677	0,0594
ÜÇGAZILER	2,2583	2,287	0,0287	2,2653	2,3297	0,0644

16 Ağustos 1999 ve 17 Ağustos 1999 tarihlerindeki gecikme değerleri EK B'de sunulmuştur. EK B de yer alan grafiklerden Dumanlı noktasına ait olanı Şekil 4.3 te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (sabit meteorolojik değerlerden).

Grafik incelendiğinde gün boyunca değişimler fark edilmektedir. Çalışmaya konu olan iki gün incelendiğinde ise özellikle akşam saatlerinde yüksek gecikme farklılıkları olduğu ifade edilebilir. EK-B'de yer alan diğer grafiklerde de aynı değişim yapısı görülmektedir. Dolayısı ile görüntüleme zamanı olan 20:12 (UTC) anını da içine alan aralık için iki gün arası oluşan troposferik gecikme etkisi GPS ölçmeleri ile de net bir şekilde ortaya konmaktadır.

16 ve 17 Ağustos 1999 tarihlerinde ERS uydusu görüntüleme anında görüntü alanı içinde veri toplayan beş istasyon incelendiğinde gecikme farkları 6.3cm ile 4.9cm arasında değişmektedir.

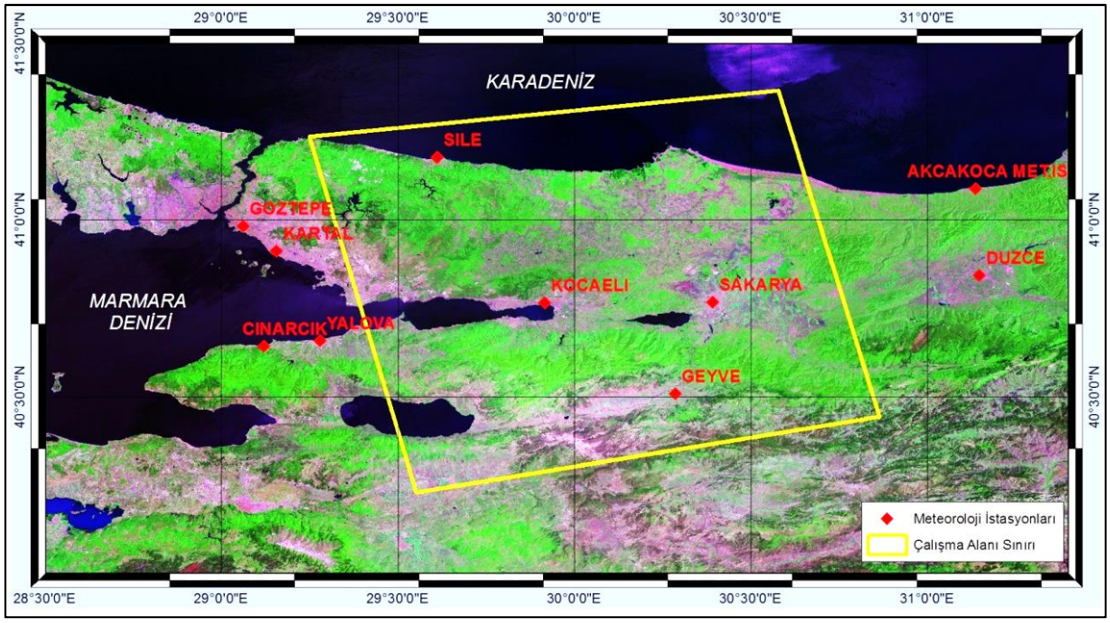
Çözümlerde kullanılan modelin oluşturulmasında GAMIT oturum dosyasında tanımlanan meteorolojik değerler kullanılmıştır. Bu değerler deniz seviyesindeki basınç, sıcaklık ve nem oranıdır. Model çözümü için kullanılan değerler 1013.25mBar basınc, 20°C sıcaklık ve %50 nem oranıdır. Her bir GPS istasyonu için aynı değerler kullanılarak GPS verileri işlenmiştir

Modeller, gerçek veriler olmaması halinde çözüm üretmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü arşivlerinden faydalanarak radar görüntülemem günlerine ilşkin meteorolojik veriler temin edilmiştir. İlgili tarihler için görüntüleme alanında ve yakın çevresinde yaklaşık 37 adet meteoroloji istasyonu tespit edilmesine karşın veri tabanında sadece 10 istasyonun saatlik basınç, saatlik sıcaklık, ve ortalama nem değerlerine ulaşılmıştır. Bu noktalar ilişkin bilgiler

Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca görüntüleme alanı ve meteoroloji istasyonları dağılımı Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Meteoroloji İstasyonları.

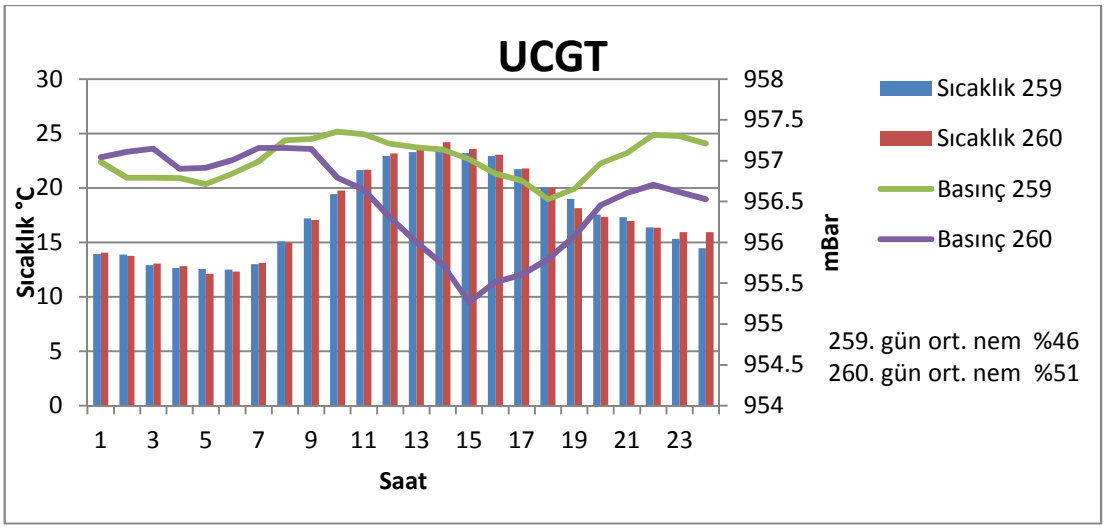
İstasyon Adı	Enlem			Boylam			Yükseklik
	°	'	"	°	'	"	m
AKCAKOCA	41	5	22,2	31	8	14,639	10
GOZTEPE	40	58	57,889	29	3	47,444	52
KOCAELI	40	45	58,68	29	55	2,28	74
SAKARYA	40	46	3,36	30	23	36,239	30
DUZCE	40	50	37,319	31	8	55,68	146
YALOVA	40	39	32,04	29	16	46,559	4
SILE	41	10	40,386	29	36	40,424	52
KARTAL	40	54	43,199	29	9	24,12	18
CINARCIK	40	38	31,995	29	7	12,856	35
GEYVE	40	30	31,06	30	17	13,228	80



Şekil 4.4 : Meteoroloji istasyonları dağılımı.

Meteoroloji istasyonlarından temin edilen bu değerlerden yararlanarak GPS istasyonlarının konumları için deniz yüzeyindeki saatlik basınç, saatlik sıcaklık, ortalama basınç, ortalama sıcaklık ve ortalama nem için meteorolojik veriler türetilmiştir.

GPS istasyon noktalarındaki gün içi meteorolojik değişimlere ilişkin grafikler EK C'de verilmiş, UCGT istasyonuna ilişkin gün içi değişimler ise Şekil 4.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : UCGT istasyonu gün içi meterolojik değişim.

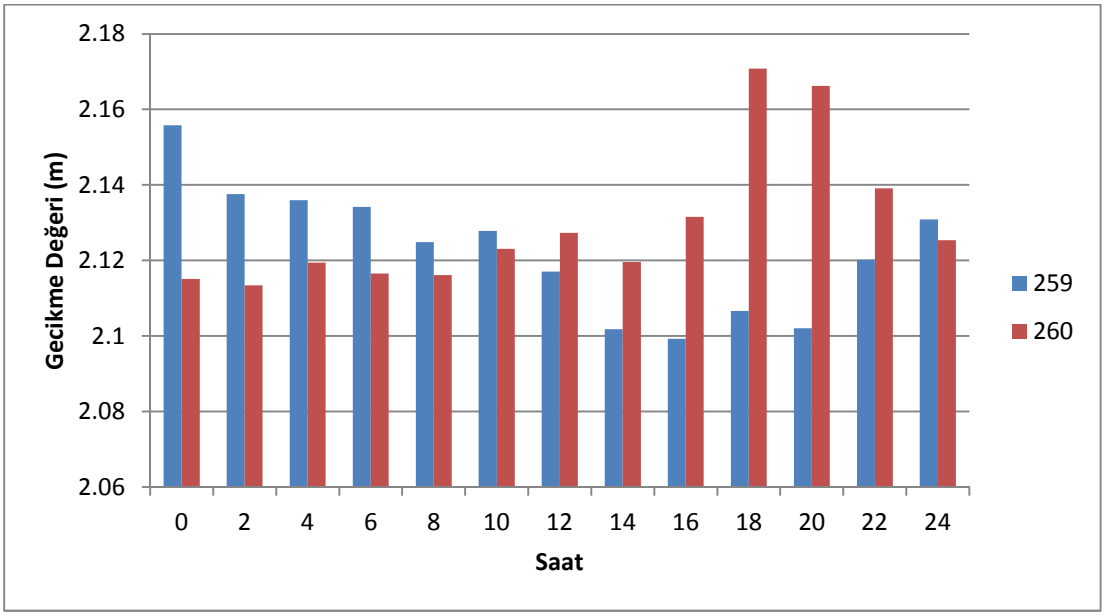
Bu meteorolojik değerler kullanılarak model dışında iki çözüm daha gerçekleştirilmiştir. Günllük ortalama değerler kullanılarak ve radar görüntüleme anındaki değer kullanılarak troposfer gecikmeleri hesaplanmıştır.

Meteorolojik verilerin günlük ortalama değerine göre troposferik gecikme değerleri hesaplandığında; 259. GPS günü olan 16 Ağustos 1999 için en fazla fark 5.65cm ile DUMT (Dumanlı) istasyonunda en az fark ise 2.16cm ile HAMT (Hamidiye) istasyonunda tespit edilmiştir. 260. GPS günü olan 17 Ağustos tarihi içinse en fazla fark 7.33cm ile AGUZ (Güzlek Yaylası) en az fark ise 0.96cm ile DUMT (Dumanlı) istasyonu olmuştur (Çizlege 4.5).

Çizelge 4.5 : Günlük ortalama troposferik gecikme karşılaştırma tablosu.

İstasyon Adı	259			260		
	Minimum	Maksimum	Fark	Minimum	Maksimum	Fark
BEŞEVLER	-	-	-	2,3257	2,3847	0,059
ÇINARCIK	-	-	-	2,1134	2,1708	0,0574
DUMANLI	2,0993	2,1558	0,0565	2,0639	2,0735	0,0096
G. YAYLASI	-	-	-	2,2517	2,325	0,0733
HAMİDİYE	2,2508	2,2724	0,0216	-	-	-
ISLAK	2,3277	2,3624	0,0347	2,3298	2,3637	0,0339
KANDİLLİ	2,3395	2,3861	0,0466	-	-	-
M. ADASI	2,1791	2,2069	0,0278	2,3553	2,3931	0,0378
M. EREĞ..	2,3834	2,4072	0,0238	2,3253	2,3968	0,0715
MURADİYE	2,3236	2,3481	0,0245	-	-	-
OLUKLU	2,2539	2,2841	0,0302	2,3667	2,4012	0,0345
SEREFİYE	-	-	-	2,309	2,3691	0,0601
TÜBİTAK	2,316	2,3512	0,0352	2,2655	2,3311	0,0656
ÜÇGAZILER	2,2576	2,2864	0,0288	2,3257	2,3847	0,059

Dumanlı noktasına ait değişimler Şekil 4.6 te gösterilmiştir.



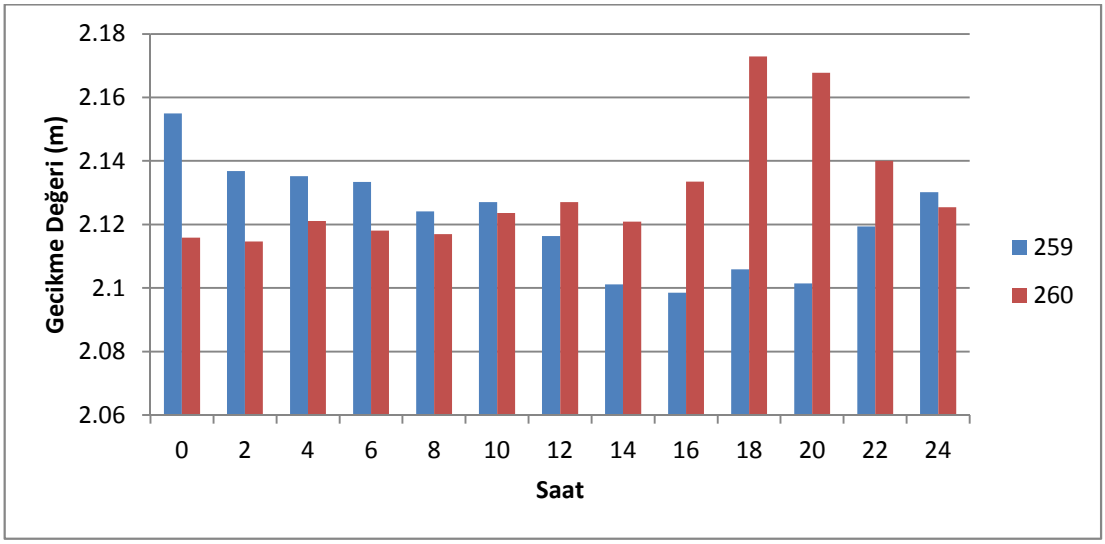
Şekil 4.6 : Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (Ortalama meteorolojik değerler kullanılarak).

Meteorolojik verilerin radar görüntüleme anındaki değerine göre troposferik gecikme değerleri hesaplandığında; 259. GPS günü olan 16 Ağustos 1999 için en fazla fark 5.65cm ile DUMT (Dumanlı) istasyonunda en az fark ise 2.16 cm ile HAMT (Hamidiye) istasyonunda tespit edilmiştir. 260. GPS günü olan 17 Ağustos tarihi içinse en fazla fark 7.35 cm ile AGUZ (Güzlek Yaylası) en az fark ise 0.94 cm ile DUMT istasyonu olmuştur (Çizlege 4.6).

Çizelge 4.6 : Görüntülme anında troposferik gecikme karşılaştırma tablosu.

İstasyon Adı	259			260		
	Minimum	Maksimum	Fark	Minimum	Maksimum	Fark
BEŞEVLER	-	-	-	2,3302	2,3844	0,0542
ÇINARCIK	-	-	-	2,1146	2,1729	0,0583
DUMANLI	2,0985	2,155	0,0565	2,0658	2,0752	0,0094
G. YAYLASI	-	-	-	2,2533	2,3268	0,0735
HAMİDİYE	2,25	2,2716	0,0216	-	-	-
ISLAK	2,3269	2,3615	0,0346	2,3318	2,3655	0,0337
KANDİLLİ	2,3387	2,3853	0,0466	-	-	-
M. ADASI	2,1783	2,206	0,0277	2,3559	2,394	0,0381
M. EREĞ..	2,3827	2,4065	0,0238	2,3262	2,3987	0,0725
MURADİYE	2,3229	2,3473	0,0244	-	-	-
OLUKLU	2,2531	2,2833	0,0302	2,3676	2,4031	0,0355
SEREFİYE	-	-	-	2,3107	2,3708	0,0601
TÜBİTAK	2,3152	2,3505	0,0353	2,2674	2,3328	0,0654
ÜÇGAZILER	2,2568	2,2856	0,0288	2,3302	2,3844	0,0542

Dumanlı noktasına ait değişimler Şekil 4.7 te gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Dumanlı istasyonundaki gecikme değerleri (görüntüleme anındaki meteorolojik değerler kullanılarak).

Tüm GPS istasyonlarına ilişkin gecikme değerleri, meteorolojik veriler ile sabit model parametresi, görüntüleme anındaki değer ve günlük ortalama değer kullanılarak hesaplanmış ve EK B'de gösterilmiştir.

Grafiklerden elde edilen veriler yardımı ile bu değişim miktarlarının SAR görüntüleri için önemli ve etkili atmosferik bozunmalara yol açabileceği ifade edilebilir. Bu sonuçtan yola çıkarak bölgede oluşturulan GPS ağına ait verilerden, SAR interferogramlarında troposferik etkinin görüldüğü ifade edilen (Çakır, 2003, Reilenger v.d., 2000, Ergintav v.d.,2002) 16-17 Ağustos 1999 günü işlenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda görüntü alım saati olan 20:14(GMT) en yakın veri seti olan 20:00(GMT)'ye ait toplam zenit gecikme değerleri (ZTD) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Niell Indirgeme fonksiyonu ile ERS uyduları bakış açısı olan 23˚ için hesaplanmıştır.

Gecikme değerlerin tüm görüntü alanında kullanılabilmesi için enterpolasyon yöntemi olarak Inverse Distance yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu iki güne ait değerlerin farkları da hesaplanıp aynı yöntemlerle enterpolasyon yöntemleri uygulanmıştır.

4.2 SAR Veri Değerlendirme

Radar görüntüleri ROI_PAC(Repeat Orbit Interferometry Package) yazılımı ile değerlendirilmiş. Yazılım Insar verilerini değerlendirmek üzere C ve Fortran kodları ile çalışan ve PERL komut grupları ile yönetilebilen açık kaynak kodlu akademik çalışmalar için oluşturulmuştur. Açık kaynak kodlu oluşu nedeni ile Unix tabanlı işletim sistemlerinde çalışmaktadır.

Daha önce Bölüm 3'te de ifade edildiği gibi deformasyon çalışmaları iki yolla yapılmaktadır. İlk yöntem iki görüntü ve SAM kullanılarak deformasyon belirlemektir. Deformasyon öncesi ve sonrasına ilişkin görüntü çiftinin kullanıldığı bu yöntemde topografya kaynaklı hataları yok etmek için sayısal arazi modeli verisi kullanılmaktadır. Diğer bir yöntemde ise 2'den fazla görüntü kullanılması söz konusudur. Bu görüntüler deformasyon anında önce elde edilen 2 görüntü ve deformasyon sonrası görüntüler şeklinde özetlenebilir. Deformasyon olmadığı zamanlarda elde edilen interferogram topografyanın elemine edilmesinde kullanılacaktır.

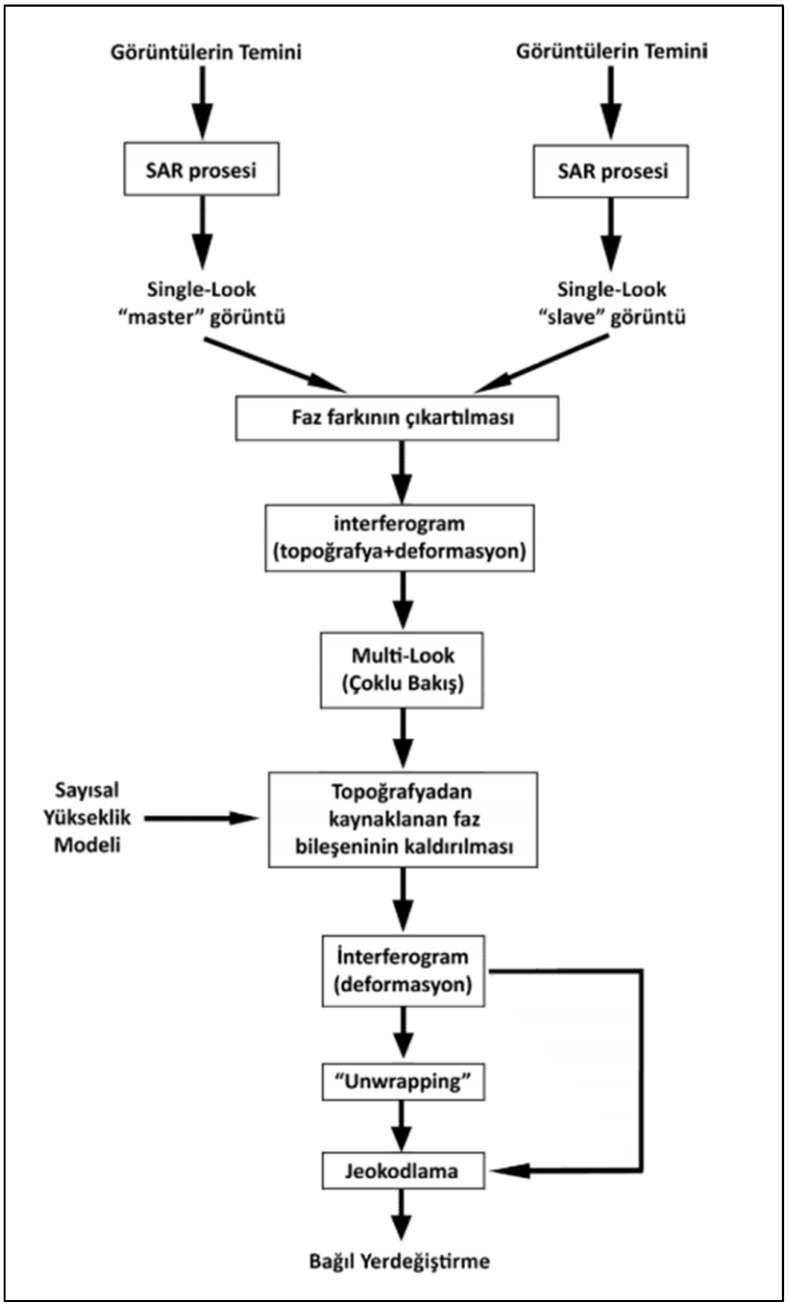
Bu çalışmada ikili geçiş yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde yörünge bilgisi, sayısal arazi modeli ve veri yapısı çok önemlidir. Değerlendirmede sayısal yükseklik modeli olarak SRTM3 verileri kullanılmıştır. SRTM3 verilerinin her biri enlem/boylam gridinde 3 saniyede bir (yaklaşık 90 m) oluşturulmuştur. Verideki bütün yükseklikler metre biriminden olup WGS84 datumunda EGM96 jeoidine göre hesaplanmıştır. Yatay koordinatlar coğrafi değerler olarak, WGS84 elipsoidine göre tanımlanmıştır. 3 saniyelik veri 1201x1201 satır ve sütundan oluşmaktadır. Veri formatı 16 bit integer şeklindedir.

Kullanılan SAR görüntülerine ilişkin bilgiler Çizelge 4.2 sunulmuş görüntü alanı Şekil 4.2 ile gösterilmiştir. Daha öncede ifade edildiği gibi Doç. Dr. Ziyadin Çakır'dan temin edilen görüntüler, veri düzenini ifade eden VDF(bölümlendirme bilgisi), veri setini içeren DAT(veri), veri boyutunu, uydu hız ve yüksekliği, alım zamanı gibi veriler içeren LEA(başlık), NULL(boş bölüm) dosyalarından oluşan set halinde alınmıştır.

ERS uyduları için iki adet yörünge bilgisi kaynağı vardır. Bunlardan biri ERS1 ve ERS2 için yörünge bilgisi hesaplayıp dağıtan Delft Institute for Space-Oriented

Space Research (DEOS), diğeri ise Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'dır. Çalışmada DEOS'a ait yörünge bilgileri kullanılmıştır.

Tüm bu veri hazırlığı ile ROI_PAC kullanıma interferogram öncesi ham dosyanın SLC formatına dönüştürülmesi adımı gerçekleştirilir. Daha sonra ise görüntü işlemenin gerçekleştiği ikinci adım uygulanır. ROI_PAC akış şeması Şekil 4.8'te sunulmuştur.

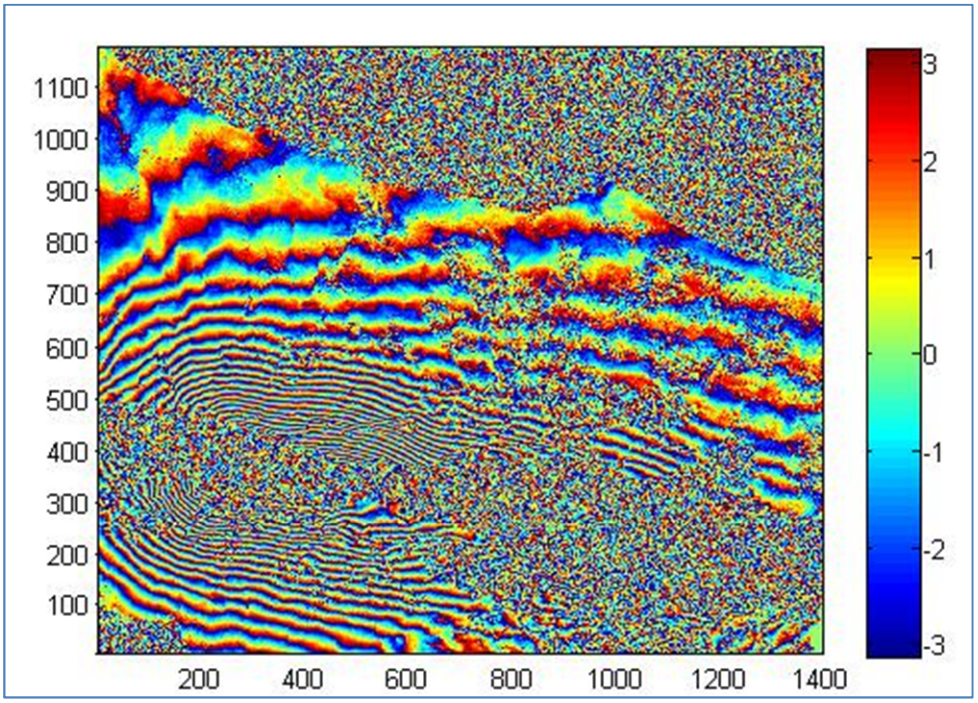


Şekil 4.8 : ROI_PAC yazılımı temel akış şeması (Akoğlu, 2001).

ROI_PAC ile görüntü işleme sonucunda daha anlamlı görüntü elde etmek adına değerlendirme parametreleri ile görüntü filtrelerinde değişiklik denenmiştir.

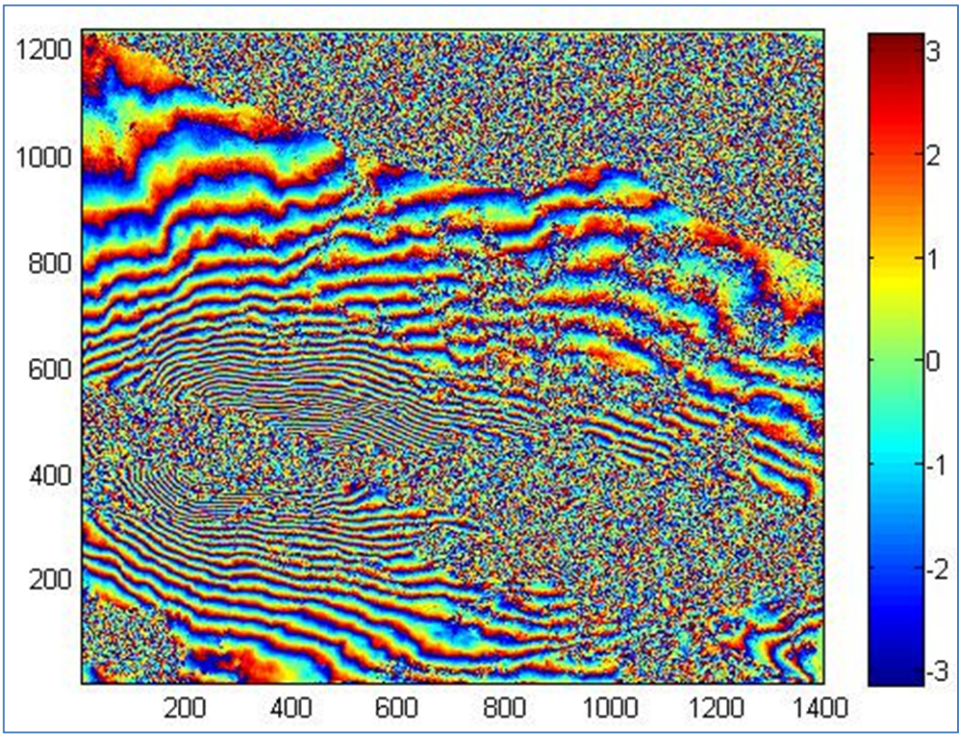
Adaptive filtre kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda 12-13 Ağustos 1999 ve 16-17 Eylül 1999 tarihlerinde alınan ERS1/2 uydularına ait görüntü çiftleri ile fark interferogramları oluşturulmuştur.

Şekil 4.9 ile ifade edilen interferogram, 12 Ağustos 1999 ve 16 Eylül 1999 tarihli görüntülerden öncül yörünge bilgileri kullanılarak düzeltilmiş, resim koordinatlarında interferogramdır. Görüntü incelendiğinde 1999 İzmit depremine ait deformasyonlara ilişkin fringeler rahatlıkla belirlenebilmektedir.



Şekil 4.9 : 12 Ağustos 1999 ve 16 Eylül 1999 interferogramı.

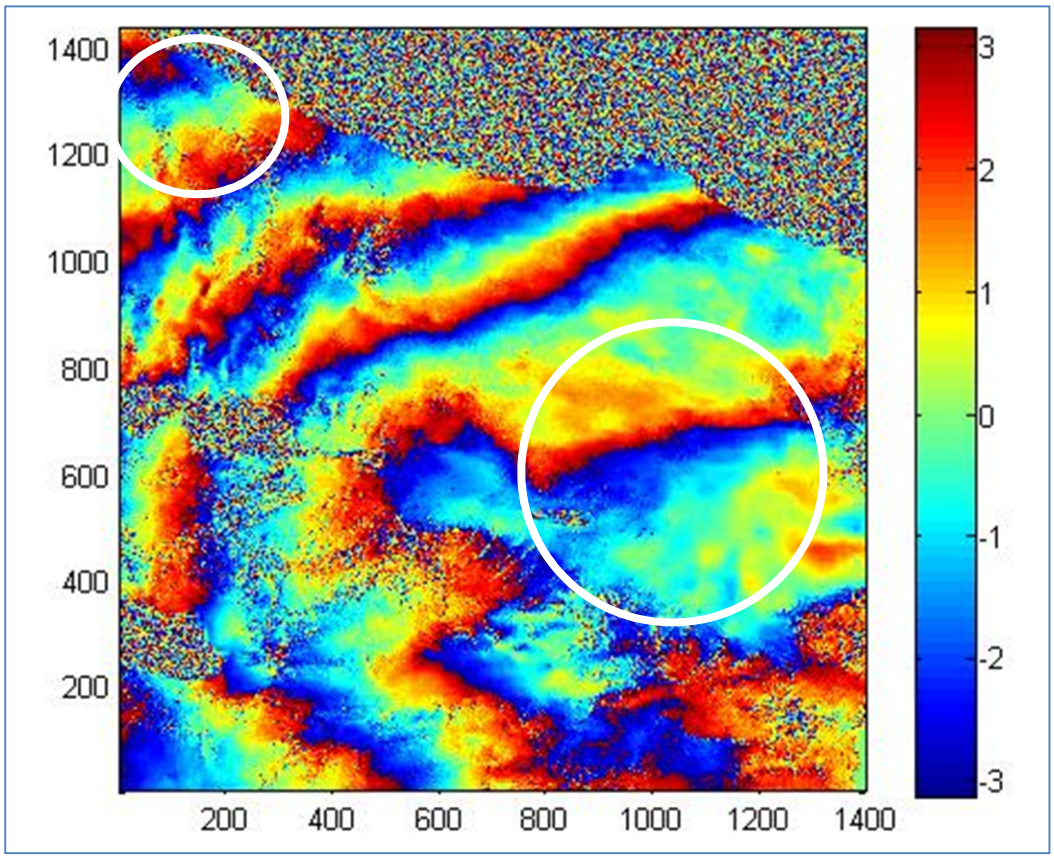
Şekil 4.10'da ise 13 Ağustos 1999 ve 17 Eylül 1999 tarihlerinde elde edilen görüntülerden oluşturulan resim koordinatlarında interferogram mevcuttur.



Şekil 4.10 : 13 Ağustos 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı.

İki interferogram incelendiğinde küçük de olsa bazı farklar göze çarpmaktadır. Deprem sonrası oluşan deformasyonun hızlı bir şekilde değişmediği düşünülürse fringelerdeki değişiklerin ve bozulmaların atmosferik etkilerden kaynaklandığı söylenebilir.

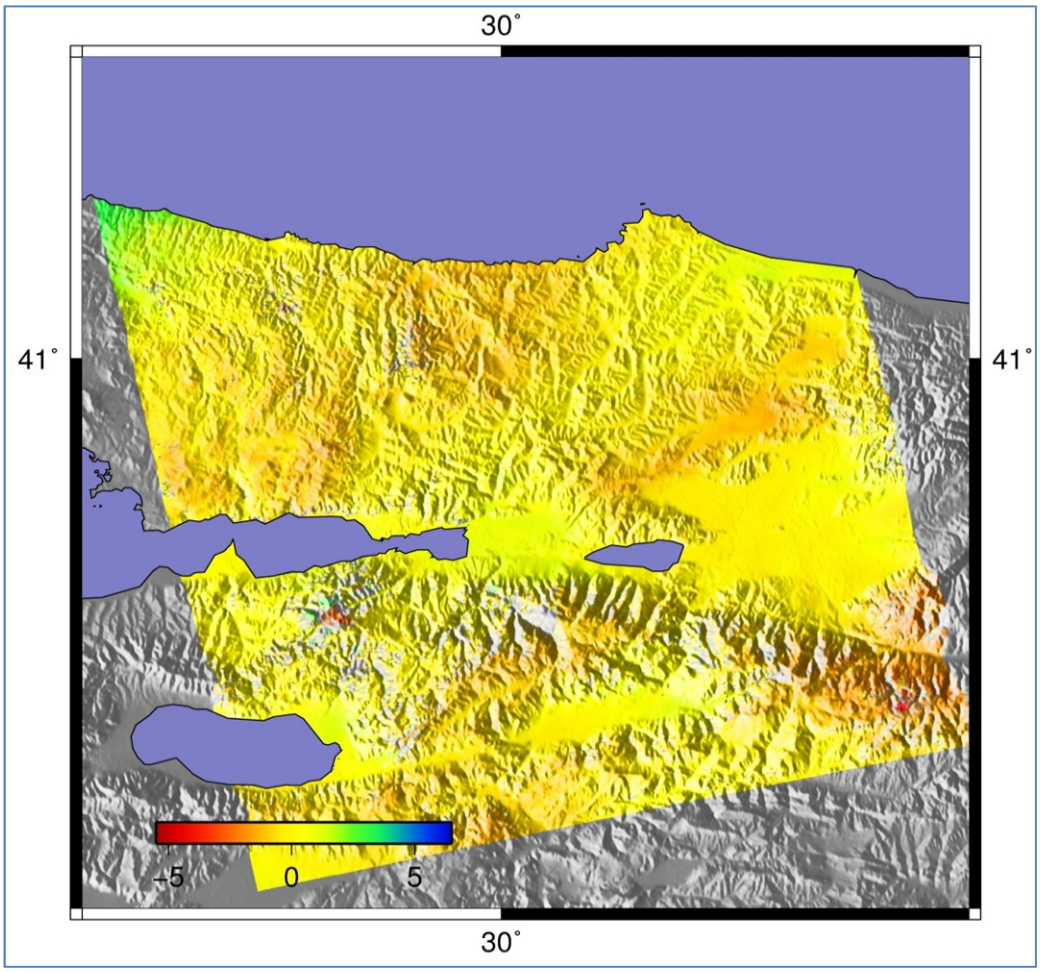
Bu farklılıklar göz önünde tutularak İzmit depremine ait fringelerin olmadığı 16-17 Eylül 1999 tarihlerindeki tandem geçişler kullanılarak Şekil 4.11'deki interferogram oluşturulmuştur.



Şekil 4.11 : 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı.

Oluşan interferogramda uydu baz uzunluğundan kaynaklı fringeler beklenmekteyken ve teorik olarak hiçbir deformasyon beklenmezken fringeler üzerindeki bozulmalar Çakır 2003'te bahsedilen atmosferik etkilerin varlığını net bir şekilde ortaya koymuştur.

Filtrelenmiş, yersel koordinatlara sahip faz çözümü yapılmış interferogram ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 : Faz çözümü yapılmış ve koordinat bilgisine sahip 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı.

5. DÜZELTİLMİŞ GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI

Çalışmanın temel amacının InSAR görüntülerindeki troposferik etkilerin yok edilmesi olduğu Bölüm 1'de ifade edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda radar verilerinden üretilen InSAR görüntüleri ile GPS verilerinden üretilen troposfer gecikmelerinin bir arada değerlendirilmesi söz konusu olmuştur. Bu birleştirme aşamasında temel anlamda faz çözümlemesi yapılmış görüntüden troposfer gecikme değerleri çıkarılmıştır.

5.1 Troposferik Gecikmelerden Düzeltme Değerlerinin Hesaplanması

Veri setlerinin bir araya gelebilmesi için benzer yöntemle hesaplanması gerektiği ifade edilebilir. InSAR görüntülerinde temel deformasyon bilgisi deformasyonun olmadığı sabit bir nokta her iki resimde de baz alınarak üretilir. Aynı şekilde üretilen troposferik gecikme değerleri de sabit bir noktadaki gecikme değeri referans seçilerek türetilmedir. Bu sayede GPS ile InSAR görüntülerini düzeltmede istasyonlar ve ölçme zamanları arasında çiftli farklar üretilmelidir (Hanssen, 2001).

Troposferik gecikme için tekli farklar düşünüldüğünde birinci (master) SAR görüntüsü içerisindeki A noktasını referans noktası olarak kabul ederek başka bir B noktasına ilişkin gecikme değeri bu referans değerden çıkarılarak ifade edilebilir. Bu şekilde A ve B noktaları arasındaki troposferik gecikme farkı görüntüleme zamanı için hesaplanmış olur.

$$D_{AB}^{J} = D_{B}^{J} - D_{A}^{J} \tag{5.1}$$

Çiftli farklar ise iki farklı görüntüleme anındaki tekli farkların farkı olarak ifade edilebilir, ve ikincil görüntüleme anından birincil görüntüleme anına ilişkin değerlerin çıkarılması ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{AB}^{J} = D_{B}^{J} - D_{A}^{J} \tag{5.2}$$

$$D_{AB}^{K} = D_{B}^{K} - D_{A}^{K} \tag{5.3}$$

$$D_{AB}^{JK} = D_{AB}^{K} - D_{AB}^{J} \tag{5.4}$$

eşitliklerden elde edilen troposferik gecikme farkları InSAR görüntülerine düzeltme olarak getirilebilir.

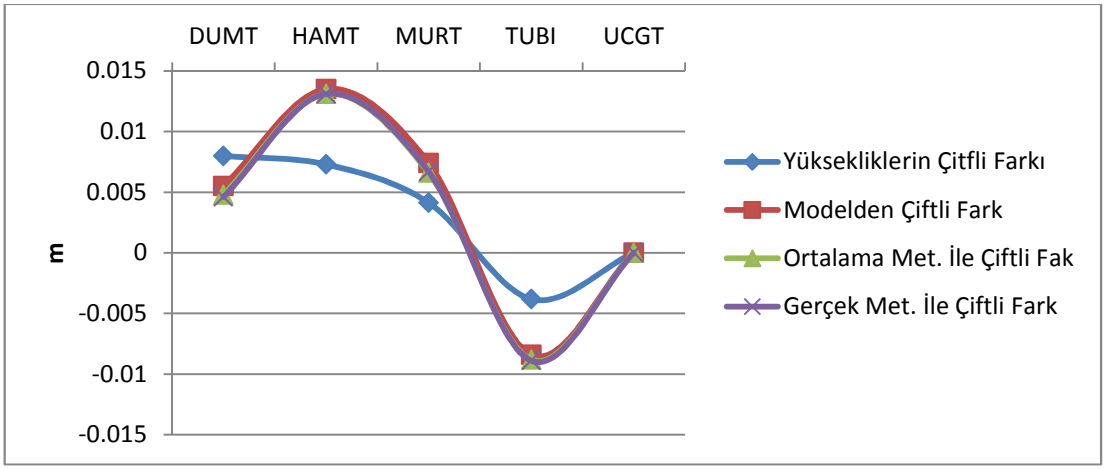
GPS veri seti düşünüldüğünde tüm görüntüleme alanında homojen halde bir istasyon dağılımı söz konusu değildir ayrıca görüntü kapsama alanındaki her piksel için de bir istasyon kurulması mümkün değildir. Çalışma alanı içerisinde MAGNET ağına bağlı birçok nokta olmasına karşın 16 Ağustos ve 17 Ağustos 1999 tarihlerindeki radar görüntüleme anında bu noktalardan sadece 7 tanesinin her iki günde de veri aldığı bilinmektedir. Çizelge 5.1'de sunulan noktalardan, görüntüleme alanı içerisinde olanlar belirtilmiş ve bu noktalar için üretilen troposferik gecikme değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 : Görüntüleme anında veri toplayan GPS istasyonları.

İstasyon Adı	Enlem			Boylam			Yükseklik
	°	'	"	°	'	"	m
DUMANLI	40	33	55.8343	29	22	18.7902	927.37
HAMİDİYE	40	40	12.3430	29	49	7.3076	447.25
MURADİYE	40	40	10.9001	30	14	43.1114	185.70
TÜBİTAK	40	47	12.1543	29	27	2.4193	219.71
ÜÇGAZILER	40	50	44.3020	29	57	44.2009	393.31

GPS veri değerlendirmeleri sonrasında ortalama meteorolojik değer, saatlik meteorolojik değer ve model ile yapılan çözümde edilen gecikme değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler birbirleri içerisinde değerlendirilmiş görüntüleme alanı içerisindeki herbir nokta ayrı ayrı referans kabul edilerek görüntüleme günlerine ilişkin düzletme değerleri (5.4) bağıntısı ile verilen çiftli farklar ile hesaplanmıştır. Elde edilen veri setlerinde çiftli farkların ortalama değerinin sıfıra yakın olması hedeflenmiştir. Ortalamanın sıfıra yakın olması referans seçilen noktanın kendi gecikme değerinin diğer noktalar üzerindeki etkisinin azlığını ifade edecektir. Ayrıca düzeltme değerleri nokta yüksekliği ile ilişkili olduğundan görüntüleme günleri için de (5.4) bağıntısından yararlanarak yükseklik farkları üretilmiştir. Bu değişimlerin

etkisine ilişkin örnek grafik UCGT (Üçgaziler) istasyonu için gecikme modeli, günlük ortalama meteorolojik değer ve radar görüntüleme anındaki meteorolojik değerler kullanılarak, şekil 5.1 ile verilmiş diğer istasyonlara ilişkin üretilen grafikler ise EK D'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : UCGT istasyonu troposfer düzeltmeleri ve yükseklik farkı

Bu noktada yapılan değerlendirmelerde UCGT (Üçgaziler) noktasının sabit kabul edilmesi halinde gecikmelerin ortalama değerlerinin en düşük seviyede olmasından dolayı noktanın referans kabul edilmesi halinde daha anlamlı düzeltme değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

GPS istasyonlarından elde edilen troposferik gecikmelerin tüm görüntüleme alanında kullanılabilir olması için çeşitli enterpolasyon yöntemleri ile gecikme değerleri bir yüzey modeli olarak ifade edilmelidir (Ge v.d., 2001). Bu noktada kullanılabilinecek temel enterpolasyon yöntemleri, Ters mesafeli ağırlıklandırma- Inverse Distance Weighting (IDW) ve Kriging enterpolasyon yöntemidir.

IDW (Lancaster ve Salkauskas, 1986) yönteminde birbirlerine konum olarak yakın olan noktaların diğer noktalar oranla daha fazla benzeştiği varsayımı temel alınmaktadır ve temel matematiksel ifadesi

$$D'(\lambda_0, \varphi_0) = \sum_{i=1}^{N} w_i D(\lambda_i, \varphi_i) \qquad \textbf{(5.5)}$$

ile ifade edilebilir. D´ enterpole edilen noktayı temsil ettiğinde λ_0 ,φ_0 konum bilgisini, w ise veriye ilişkin ağırlık değerini göstermektedir ve ağırlık hesabı

$$w_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^{N} d_{i0}^{-p}} \quad ve \quad \sum_{i=1}^{N} w_i = 1 \tag{5.6}$$

ile ifade edilmektedir. Bu formülde d_{i0} noktalar arasındaki mesafe p ise fonksiyonun derecesini ifade etmektedir. Fonksiyonun derecesi enterpole edilen değerleri direk olarak etkilemektedir. Enterpolasyon nokatsı ile referans arasında mesafe arttıkça noktayı etkileyen referans noktasının enterpolasyon noktası üzerindeki ağırlık etkisi üssel olarak azalmaktadır. Yüksek derece seçildiğinde enterpolasyona referans olan değerlerin yakın enterpolasyon noktaları için daha etkili olduğu ve enterpolasyon yüzeyinin daha detaylı olarak türetildiği söylenmelidir.

Kriging yönteminde ise veri setini oluşturan noktalar arasındaki mesafe ve yönlerin mekansal bir korelasyon ifade ettiği kabul eder. Belirtilen referans noktalarına ya da tüm noktalara ilişkin değerlerin belirlenmiş bir yarıçap kullanılarak bir matematiksel fonksiyona dayandırılması hedeflenir. Kriging yönteminde IDW gibi ölçü değerleri ağırlıklandırılarak kullanılır, ve 5.5 eşitliği ile ifade edilebilir. Bu yöntemde enterpolasyon değeri sadece uzaklığa değil aynı zamanda noktaların mekansal düzenine de bağlıdır.

5.2 InSAR Verisi İşlemleri

Elde edilen radar görüntüleri faz ve genlik değerleri içeren görüntülerdir. Bu çalışmada GPS gecikme değerlerinin InSAR görüntülerindeki düzeltmelerde kullanılabilmesi için troposferik etkinin faz değerine yansıdığı kabul edilmesi ve bunun metrik bir değer olarak ifade edilmesi gereklidir (Janssen v.d., 2004). Öncelikli olarak faz çözümlemesi yapılmış interferogram genlik değeri ile faz değeri bir birinden ayrılmalıdır. Sonrasında faz değerinin ifade ettiği metrik değerler bulunmalıdır. Faz ve genlik değerlerinin birbirinden ayrılması için ROI_PAC yazılımı içinde türetilmiş komutlardan "*rmg2_phs*" kullanılmıştır. Elde edilen faz değerlerinden oluşan görüntü

$$d = \frac{\phi * \lambda}{4\pi} \tag{5.7}$$

eşitliğinden faydalanarak faz değerleri metrik değerlere dönüştürülmüştür. (5.7) bağıntısı sonucunda elde edilen değerler aynı zamanda yer değiştirme olarak da ifade edilebilir. Eşitlikte ϕ faz değerini, d yer değiştirme miktarını, λ ise radar dalga boyunu ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan ERS uyduları için dalga boyu değeri 5.6cm'dir.

5.3 GPS ile Elde Edilen Troposferik Düzeltmelerin InSAR Görüntülerine Uygulanması

Troposferik düzeltmelerden önce InSAR görüntülerindeki faz veri yapısını incelediğimizde; toplam faz değerinin topografya, deformasyon, atmosferik etki ve diğer bozucu etkenlerden yani gürültülerden meydana geldiği söylenebilir. Basit bir şekilde matematiksel olarak ifade edilirse;

tekrarlı geçiş interferogramındaki faz değeri

$$\phi = \phi_{topo} + \phi_{defo} + \phi_{atm} + \phi_{gürültü} \quad \textbf{(5.8)}$$

İrl olamk üzere deformasyon ve topografya bilindiğinde

$$\phi = \phi_{atm} + \phi_{\text{gürültü}} \quad \textbf{(5.9)}$$

ile ifade edilebilir

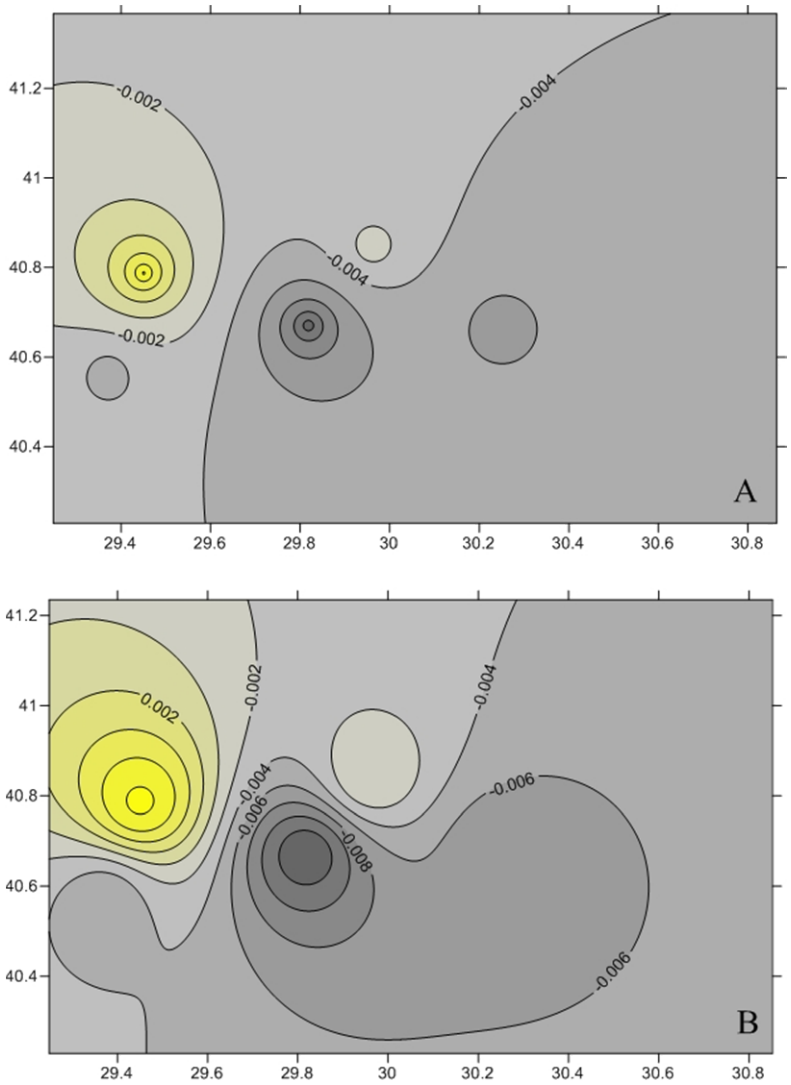
Bu çalışmada deformasyonun olmadığı görüntü çifti ile topografya etkilerini en aza indirmek için SYM kullanılmış olması (5.9) bağıntısındaki kabullerin yapılabilmesini sağlamaktadır.

5.9 bağıntısından faz değerlerinin aslında atmosferik gecikmelerden ve gürültüden kaynaklanan faz değerinin toplamına eşit olduğu ortaya çıkmaktadır. Gürültü, giderilemeyen bir etken olarak faz değerlerinde yer almaktadır.

Kısaca özetlersek, deformasyonun beklenmediği ve topografyanın iyi bir şekilde modellendiği InSAR görüntülerindeki yerdeğişim değerlerinin kaynağı olarak gürültü ve atmosferik gecikmeler gösterilebilir. Gürültü değerlerinin "0" kabul edilmesi halinde ise interferogramı oluşturan nedenin sadece faz değeri üzerindeki atmosferik gecikme olduğu ifade edilir.

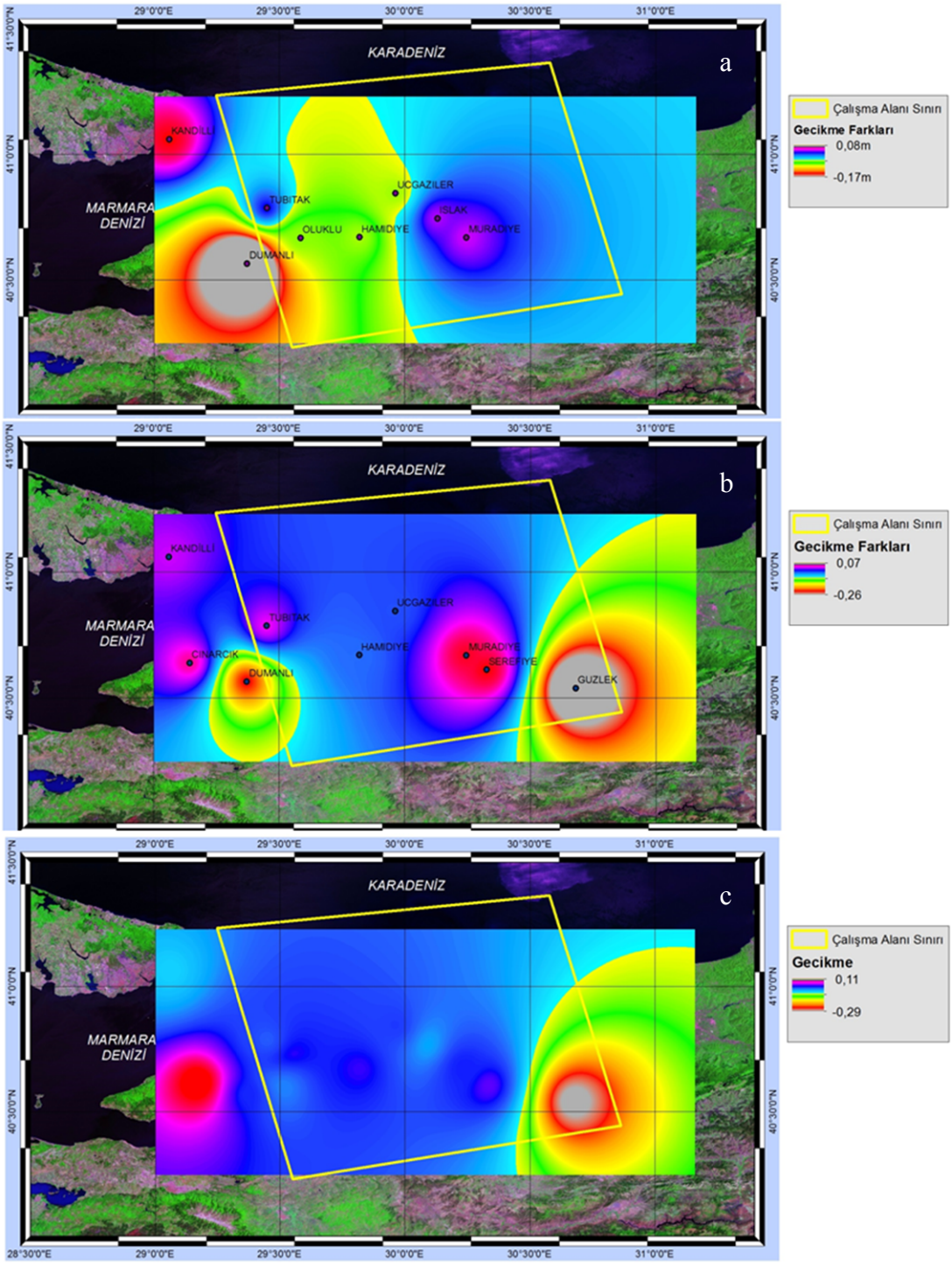
5.3.1 Gecikme değeri enterpolasyonu

GAMIT değerlendirmesi sonucu elde 3 farklı gecikme değeri veri seti ArcGIS yazılımı kullanılarak IDW enterpolasyon yöntemi ile enterpole edilmiştir. Öncelikle veri setlerinnden elde edilen gecikme farkları 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 günlerinde görüntü alanı için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. IDW ile 1. ve 2. Dereceler için yapılan enterpolasyon sonucunda oluşan örnek yüzeyler Şekil 5.2'de belirtilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde enterpolasyon fonsiyonunun derecesi 2 olarak secilmiştir.



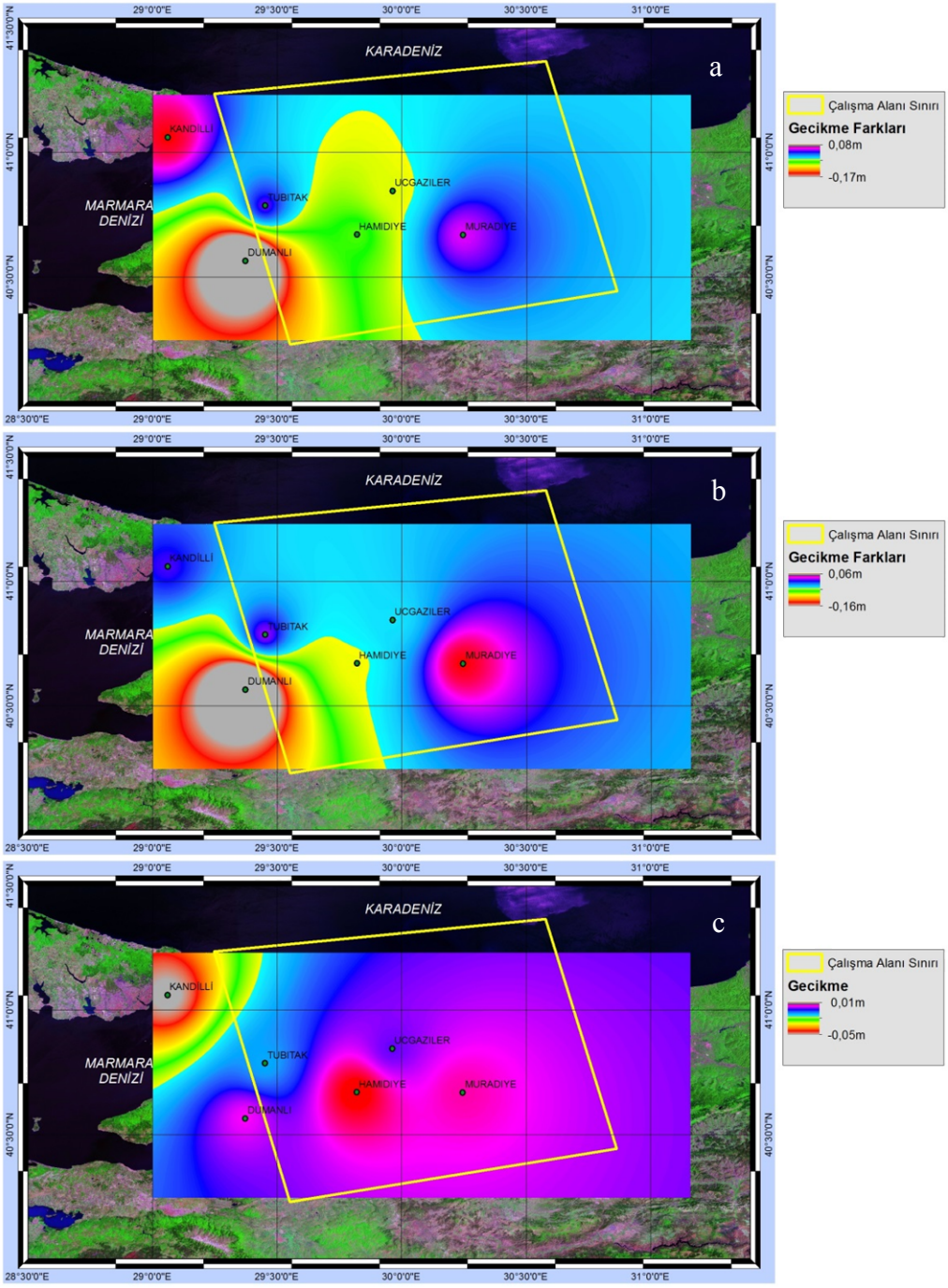
Şekil 5.2 : 16 Ağustos 1999 ve 17 Ağustos 1999 günü arasındaki çiftli farklardaki gecikme değerlerinin enterpolasyonu ile elde edilen yüzey değişimleri. a) 1. Derece IDW enterpolasyonu. b) 2. Derece IDW enterpolasyonu

Elde edilen yüzeyler kendi aralarında değerlendirilmiş ve farkları alınarak iki yüzey arasındaki gecikme farkları hesaplanmıştır. Ancak her iki gündede farklı olan nokta dağılımı elde edilen yüzey için anlamsız sonuçların oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen yüzeyler Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



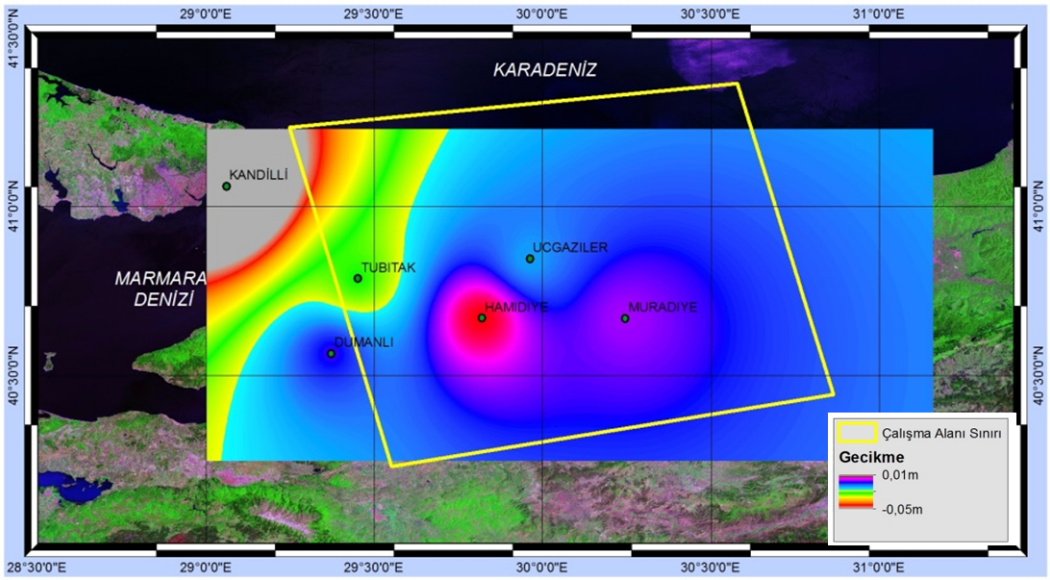
Şekil 5.3 : a) 259. Gün için enterpolasyon haritası b) 260. Gün için enterpolasyon haritası c) İki gün arasındaki farklar.

İkinci adım olarak her iki görüntüleme gününde ölçme yapan eşlenik GPS istasyonlarına ilişkin gecikme değerleri enterpole edilmiş ve elde edilen iki yüzey arasındaki fark kullanılmıştır. Elde edilen yüzeyler Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Eşlenik noktalar ile üretilen gecikme modeli. a) 259. Gün için enterpolasyon haritası b) 260. Gün için enterpolasyon haritası c) İki gün arasındaki farklar.

Son olarka ise iki görüntüleme gününe ilişkin çiftli farkları farkı eşlenik noklar için alınmış ve bunlardan yararlanarak enterpolasyon ile bir fark yüzeyi oluşturulmuştur. Elde edilen yüzey Şekil 5.5 ile gösterilmiştir.

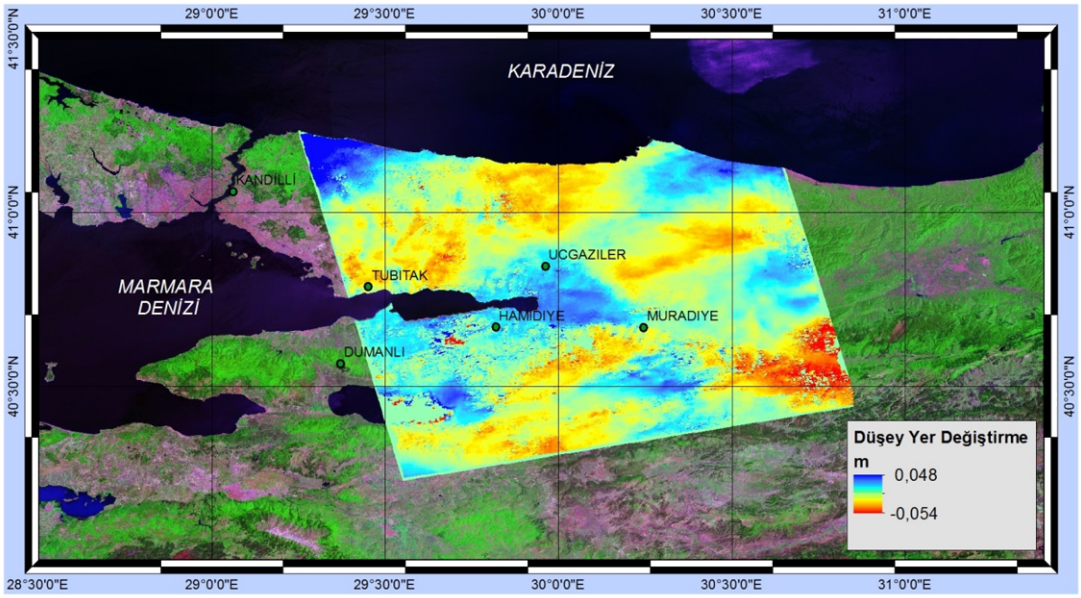


Şekil 5.5 : Eşlenik noktalara ilişkin gecikme değerlerininde elde edilen çiftli farklar ile üretilmiş yüzey.

Elde edilen gecikme değerlerine ilişkin yüzeyler deformasyon içermeyen 16-17 Eylül 1999 görüntülerine ait interferogramda atmosferik düzeltmelerin yapılması amacıyla kullanılmıştır.

5.3.2 Interferogram dönüşümü

Bölüm 4.2'de ifade edilen aşamalardan gecirilerek ROI_PAC yazılımı ile oluşturulan interferograma ait faz değerleri ArcGIS yazılımı ve 5.7 bağıntısı kullanılarak metrik değerlere çevrilmiştir. ArcGIS yazılımı için gerekli başlık dosyası oluşturulmuş ve görüntü bir grid dosyası olarak sisteme tanıtılmıştır. Bu işlem sonucunda oluşan yerdeğiştirme değerleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

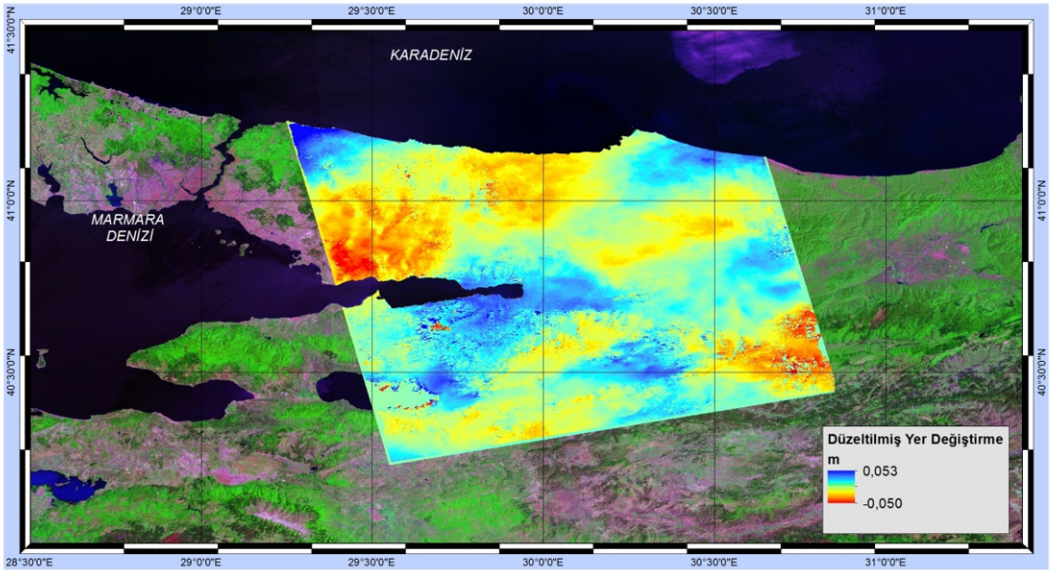


Şekil 5.6 : 16 Eylül 1999 ve 17 Eylül 1999 interferogramı.

5.3.3 Düzeltilmiş interferogram oluşumu

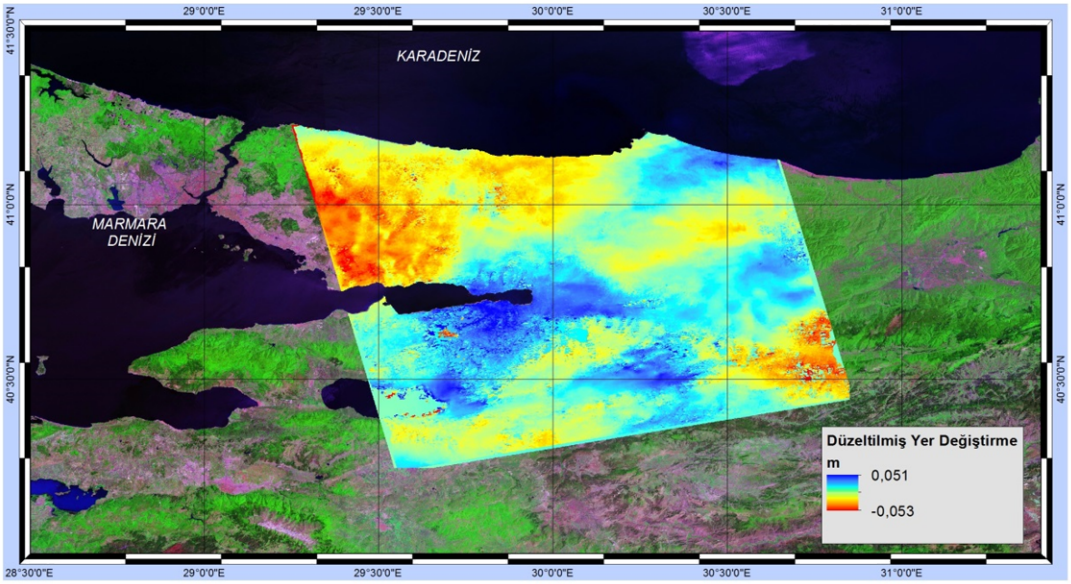
İnterferogram üzerindeki düzeltme işleminde yer değiştirmelerin bulunduğu veri seti ile GPS verilerinden üretilmiş ve görüntü alanı için enterpole edilmiş troposferik gecikme değerlerine ait veri setinde aynı konuma karşılık gelen piksellerdeki değerler ile düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle GPS yazılımındaki model için varsayılan değerler kullanılark elde edilen gecikme değerleri ile işlem gerçekleştirilmiştir. Düzeltme sonucu elde edilen harita Şekil 5.7.'de verilmiştir.



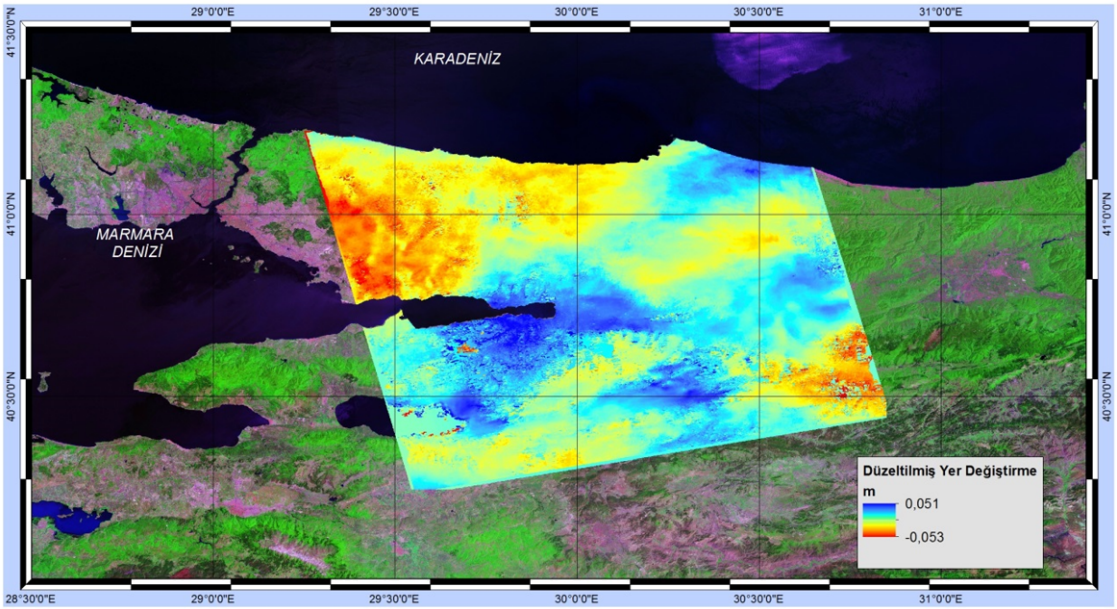
Şekil 5.7 : Sabit model parametreleri ile düzeltilen interferogram.

Meteorolojik değerlerin gün içi ortalamasından elde edilen değerler kullanılarak üretilen gecikme değerleri ile yapılan düzeltme sonucu elde edilen harita Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Ortalama meteorolojik değer ile düzeltilen interferogram.

Son olarak görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile hesaplanan gecikme değerleri ile yapılan düzeltme sonucu elde edilen harita Şekil 5.9'da verilmiştir.

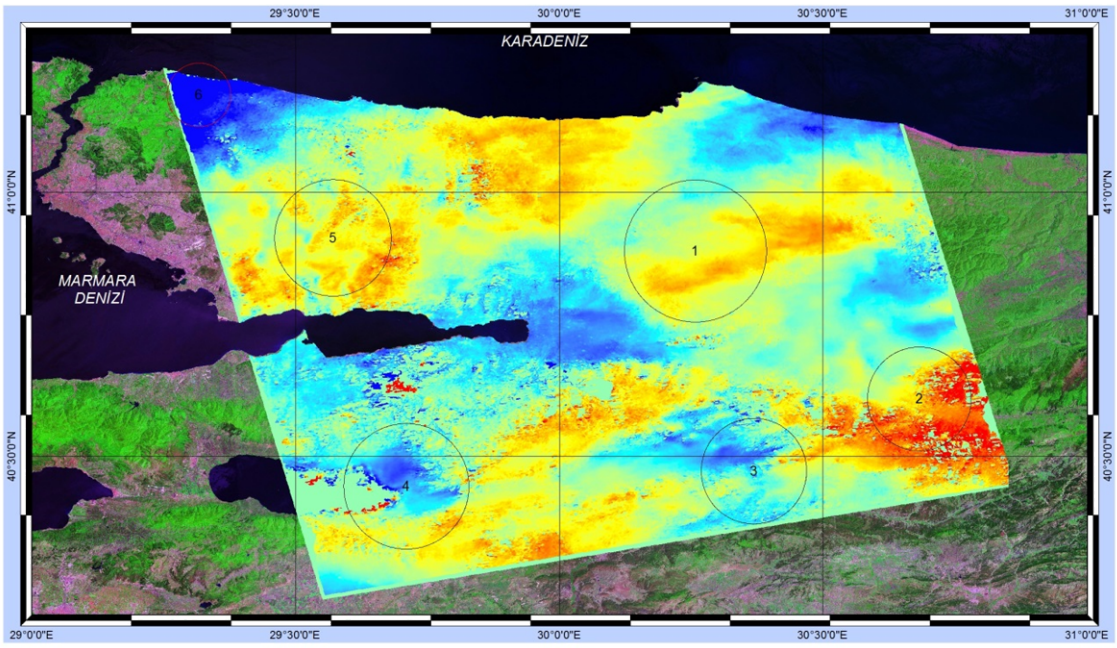


Şekil 5.9 : Görüntüleme anındaki meteorolojik parametreler ile düzeltilen interferogram.

İnterferogramdan üretilen yer değiştirme değerine ilişkin görüntüler üzerinde enterpolasyon yapılmış troposferik gecikmeler ile yapılan düzeltmeler her piksel için olumlu sonuç vermemiştir. Atmosferin değişken yapısından dolayı her bölgede farklı bir etkisi olmasından dolayı atmosferik etkinin gerçekte bulunmadığı ama enterpolasyon sonucunda varmış gibi düzeltmenin yapıldığı pikseller de oluşmaktadır.

Bu noktada yapılan çalışmanın ifadesi açısından radar görüntülerindeki atmosferik bozuklukların bulunduğu alanların belirlenerek çalışmanın bu noktalar üzerinde incelenmesi gereklidir. Şekil 4.7'de ifade edilen interferogramda $-\pi$ ve $+\pi$ değişiminde bu bozuklukları daha net görebiliriz. Ayrıca çalışma esnansında üretilen 13 Ağustos 1999 - 17 Eylül 1999 görüntüleme günleri için elde edilen interferogramda da Çakır 2003'de ifade edilen deprem interferogramında atmosferik bozukluğun bulunduğu bölgeleri ifade edilmiştir.

Bu aşamada atmosferik etkilere maruz kalan alanlar belirlenmiş ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Atmosferik etkileri için seçilmiş test alanları

Bu alanlar içerisinde kalan interferogram değerlerindeki değişimi ifade edebilmek için değişim değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Günlük meteorolojik değerlerin ortalamasından elde edilen gecikme ile düzeltilen alanlar için değerler Çizelge 5.2'de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.2 : Ortalama meteorolojik değerler ile düzeltme.

	Üretilen İnterferogram Değerleri				Düzeltilmiş İnterferogram Değerleri			
Bölge	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.
1	-0,007	0	-0,004	0,001	-0,004	0,002	0,004	0,001
2	-0,049	0,012	-0,01	0,007	-0,046	0,016	-0,006	0,007
3	-0,022	0,025	0,002	0,005	-0,017	0,03	0,008	0,005
4	-0,055	0,045	0,001	0,007	-0,052	0,048	0,006	0,007
5	-0,025	0,01	-0,007	0,003	0,03	0,002	-0,012	0,003
6	-0,002	0,022	0,012	0,003	-0,022	0,002	0,007	0,003

Görüntüleme anındaki meteorolojik değerleden elde edilen gecikme ile düzeltilen alanlar için değerler Çizelge 5.3'te ifade edilmiştir.

Çizelge 5.3 : Görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile düzeltme.

	Üretilen İnterferogram Değerleri				Düzeltilmiş İnterferogram Değerleri			
Bölge	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.
1	-0,007	0	-0,004	0,001	-0,004	0,002	0	0,001
2	-0,049	0,012	-0,01	0,007	-0,046	0,016	-0,006	0,007
3	-0,022	0,025	0,002	0,005	-0,017	0,03	0,007	0,005
4	-0,055	0,045	0,001	0,007	-0,052	0,048	0,005	0,007
5	-0,025	0,01	-0,007	0,003	-0,03	0,002	-0,012	0,003
6	-0,002	0,022	0,012	0,003	-0,022	0,002	0,007	0,003

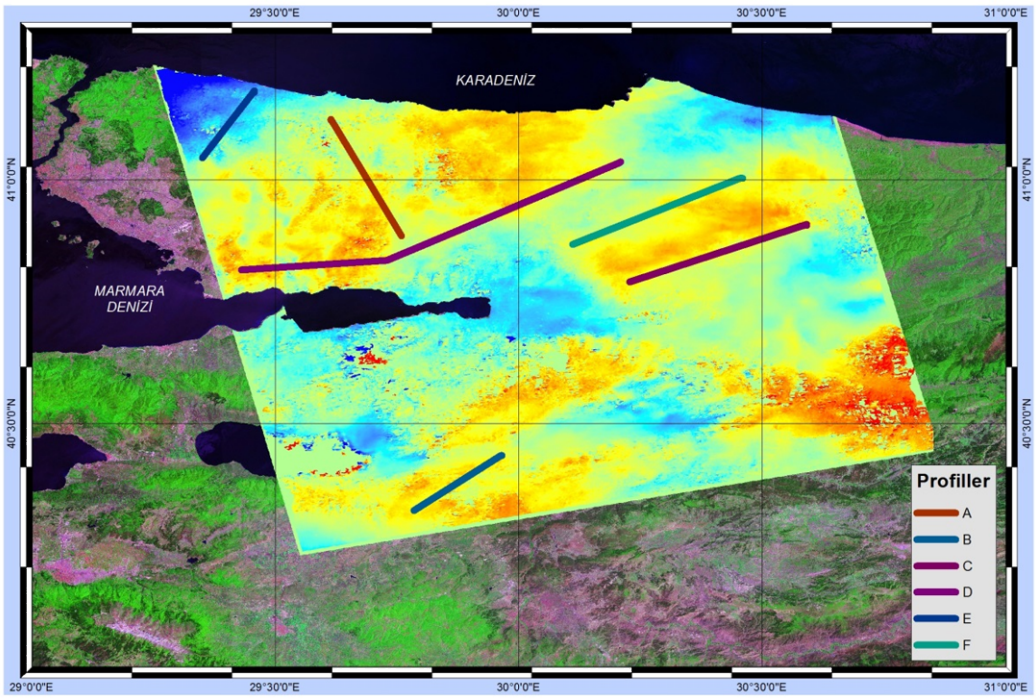
Model için sabit olarak verilen meteorolojik değerlerden elde edilen gecikme ile düzeltilen alanlar için değerler Çizelge 5.4'te ifade edilmiştir.

Çizelge 5.4 : Görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile düzeltme.

	Üretilen İnterferogram Değerleri				Düzeltilmiş İnterferogram Değerleri			
Bölge	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.	Min.	Max.	Ort. Değ.	Std. Sap.
1	-0,007	0	-0,004	0,001	-0,003	0,004	0,001	0,000
2	-0,049	0,012	-0,01	0,007	-0,044	0,018	-0,004	0,007
3	-0,022	0,025	0,002	0,005	-0,016	0,032	0,009	0,005
4	-0,055	0,045	0,001	0,007	-0,05	0,05	0,008	0,007
5	-0,025	0,01	-0,007	0,003	-0,025	0,009	-0,009	0,003
6	-0,002	0,022	0,012	0,003	-0,003	0,022	0,012	0,003

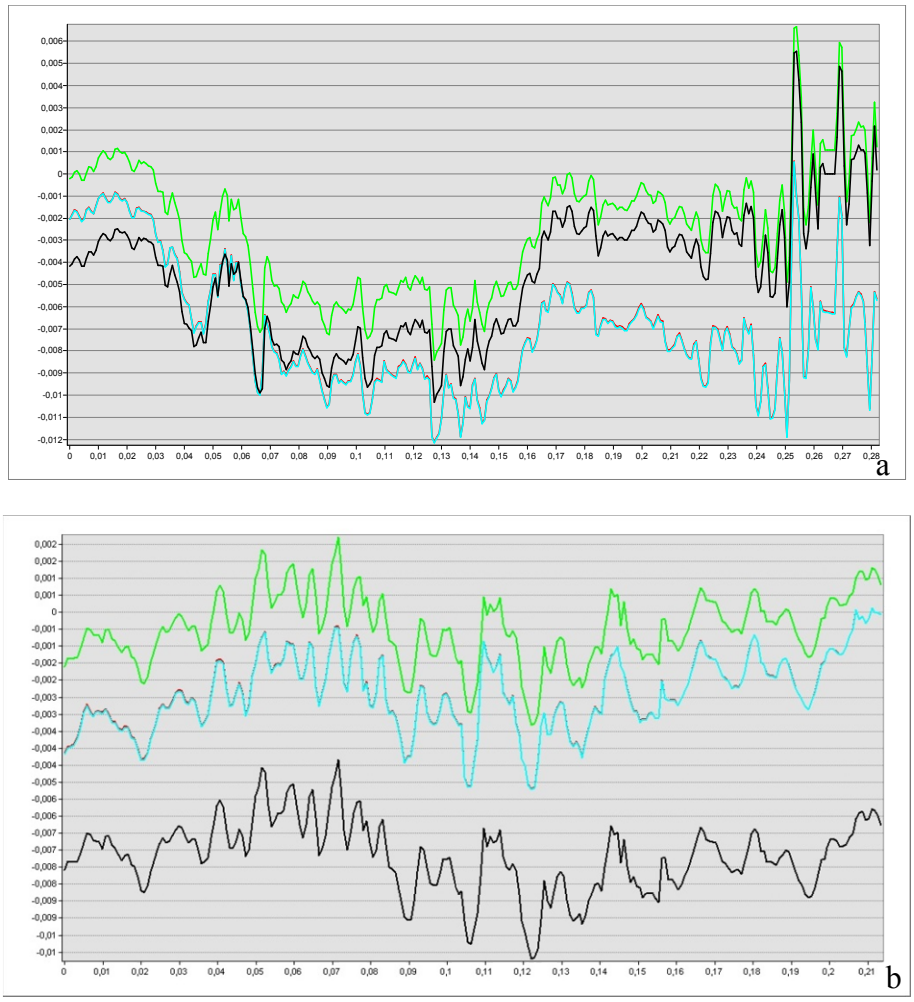
Tablolarda verilen değerlernden görüldüğü üzere düzeltmeler seçilen alanların bir kısmında ortalama değeri 0 değerine yaklaştırarak olumlu yönde etki etmiştir.

Bu etkiyi bir hat üzerindeki değişim olarka ifade etmek içinse görüntüler üzerinden profiller geçirilmiş (Şekil 5.11) ve profil boyunca değişimler Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Görüntüleme alanı karşılaştırma profilleri.

Profillere örnek olması açısından A ve B profiline ilişkin değişim değerleri Şekil 5.12'de sunulmuştur.



Şekil 5.12 : Görüntüleme alanı karşılaştırma profilleri a) A profili b) B profili (Yeşil çizgi: sabit parmetreli model ile, mavi çizgi: görüntüleme anındaki meteorolojik değer ile, kırmızı çizgi: Günlük ortalama meteorolojik değer ile, siyah çizgi: orjinal interferogram)

Profiller yorumlandığında enterpole edilmiş düzeltme değerinin profil hattı boyunca aynı olduğu ifade edilebilir. Bu istasyon noktası azlığı sonucunda meydana gelen bir durum olmasına karşın elde edilen düzletmelere bakıldığında interferogramda önemli miktarda iyileşme olduğu belirlenmektedir. Özellikler sabit parametreli bir gecikme modeli sonucunda getirilen düzeltmelerin daha etkili bir sonuç verdiği gözlenmektedir.

İstatistiksel tablolar ve düzletmelere bakıldığında GPS verileri ile elde edilen troposfer gecikmelerinin InSAR görüntüsü düzeltmelerinde kullanılabileceği ifade edilebilir ancak istatistik değerlerden de görüle bileceği gibi her interferogramın her noktasında düzeltmenin doğru anlamda olmadığı görülmüştür. Atmosferik etkilerin bölgesel olarak oluşmasından dolayı çalışmada elde edilen sonuçları atmosferik etkinin olabileceği alanlar için değerlendirilmelidir. Şekil 4.10 ile ifade edilen alan

Şekil 5.10 daki 1 nolu test alanı olarak ifade edildiğinde istatistiksel değerlerdeki değişim rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca 6 nolu test alnı içerisinde de olumlu yönde değişimler gözlenmiştir.

3 farklı meterorolojik veri seti ile yapılan düzeltmelerde en olumlu sonuç olan 1 nolu test alanında maksimum minimum değerler arasındaki fark değişimemekle birlikte ortamala değerin interferogramda -4mm oluduğu düzeltme sonrası ise bu değerin günlük meteorolojik değer ortalamasıyla yapılan düzeltmede +4mm'ye, sabit parametreli model ile +1mm'y, gerçek meteorolojik değerler ile 0mm'ye ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca standart sapmalarda da gerçek meteorolojik değerler için ciddi bir azalma (±0mm) görülmektedir. Ortalamanın 0'a yakın oluşmasının düzeltme anlamında başarılı sonuç olarak kabul edildiğini düşünürsek 1 nolu test alanı için düzletme değerleri başarılı olmuştur. Aynı şekilde 6 nolu test alanıda incelendiğinde 3 farklı düzeltme için standart sapmanın aynı kaldığı fakat ortalama değerin sıfıra yaklaştığı gözlenmiştir. Bu bölge içinde olumlu düzeltmeler yapıldığı söylenebilir.

Düzeltmeler için yapılan istatistiklere ve sonuçlara bakıldığında görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile yapılan düzeltmelerde daha iyi sonuç alındığı gözlenmişitir.

Görüntüleme anındaki meteorolojik değerler ile düzeltilen interferogramda ilgili bölgeler için incelediğinde 1 nolu test alanı için maksimum düzeltme değerinin 6mm, minimum değerin ise 1mm olduğu görülmüştür. 6 nolu bölge için de maksimum düzletme değerinin negatif yönde 20mm minimum değerin ise negatif yönde 12mm olduğu belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölüm 2 ve 3'te de ifade edildiği üzere radyo dalgaları atmosferden geçişleri sırasında çeşitli etkilere maruz kalmaktadır. Su buharı başta olmak üzere atmosfer içinde bulunan farklı yapılardaki su molekülleri ve diğer parçacıklar radyo sinyallleri üzerinde bozucu etki yaratmaktadır. GPS uydu sinyallerinin işlenmesi sırasında rahatlıkla ortaya çıkarılabilen troposfer kaynaklı sinyal gecikme etkisi SAR görüntülerinin elde edilmesinde de etkili olmaktadır. Günümüz teknolojsinin desteği ile yüksek hassasiyete sahip, özellikle düşey deformasyonun belirlenmesinde kullanılan InSAR uygulamalarında bu gecikme hatalarına bölgesel olarak rastlanmaktadır. Radar sinyallerinin troposferdeki su kütlelerine bağlı olarak değişimi bu çalışma sonunda bir kez daha ve net bir şekilde ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmada öncelikle InSAR görüntülerinin düzeltilmesinde kullanılacak GPS verileri GAMIT yazılımı kullanılarak Radar görüntüleme günleri (16 Ağustos 1999 ve 17 Ağustos 1999) için saatlik ve günlük işlenmiş, oluşturulan gecikme değerinin düzeltme anlamında kullanılması için bu değerlerden ilgili görüntüleme günleri için günlük ortalama ve saatlik olarak çiftli farklar türetilmiştir. İkinci aşamada ise ERS1/2 uydu görüntülerinden ROI_PAC yazılımı kullanılarak interferogramlar elde edilmiş ve bu interferogramdaki faz değerlerinden başta atmosfer ve yörünge hataları olmak üzere çeşitli görültüleri de içeren düşey konum değişim miktarı hesaplanmıştır. Böylelikle yapılan çalışmada iki farklı uzay jeodezisi yönteminin de atmosfer ile olan etkileşimleri ifade edilmiştir.

Yer yüzünde veya ilgili objelerin bulunduğu alanda oluşan deformasyon sonrası ya da öncesi izleme çalışmalarında kullanılan ve çoğu zaman uydunun geçiş tarihi ile sınırlanan görüntü alımı Bölüm 3.2'de bahsedilen sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. SAR çalışmalarında veri kalitesinin arttırılması bu tarz kısıtlardan dolayı oldukça önemlidir. InSAR uygulamalarında hedeflenen santimetre altı yükseklik değişimi izlemelerinde hassasiyet miktarının oldukça üstünde bir atmosferik gecikme etkisi ile veri seti bozulabilmektedir.

Çalışma kapsamında ilgili görüntüler ve o görüntülerin elde edildiği zamana ilişkin GPS verileri ile SAR görüntüleri için anlamlı troposferik gecikmeler belirlenmiştir. Tüm veriler işlendiğinde ve sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde SAR görüntülerinin kapsadığı alandaki troposferik etkilerin GPS gibi yersel ve kullanışlı yöntemle belirlenebilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Çalışma sonucu elde edilen sonuçlar göstermiştir ki GPS verileri ile SAR verilerinin düzeltilmesi doğru bir yaklaşımdır. Buna karşın bu çözüm yöntemi kendi içinde sınırlamalara sahiptir. GPS ağı nokta yoğunluğu ve görüntü alanı için enterpole edilen atmosferik gecikmelerin enterpolasyon doğruluğu bu noktada sınırlayıcı bir etken olmaktadır. Günümüz Türkiyesinde ülke çapında kurulan TUSAGA AKTİF ağı ve geniş alanlar için sınırlı sayıda yapılan radyosonda ölçümleri bu tarz bir çözüm için yeterli olmayacaktır. Bir deprem ülkesi olan Türkiye için uygun maliyetli deformasyon izleme çalışması olan SAR tekniğinin atmosferik koşullara minimum bağlı olarak değerlendirilebilmesi için sürekli GPS ağlarının daha da sıklaştırılması ve meteorolojik ölçmelerle desteklenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak elde edilen değerler incelendiğinde 6 mm ile 20 mm arasından değişen değerler düşey konum değişimine düzeltme olarak yansımıştır. Bu düzeltmeler seçilen gecikme etkisinin var olduğu düşünülerek seçilen test alanları için olumlu sonuç vermiştir. Radar çalışmaları esnasında var olabilecek atmosferik etkileri daha iyi modellemek için GPS ağları gibi uzun süre verimli çalışan kullanışlı bir yöntem tercih edilebilir. Görüntü eldesi düşük zamansal çözürnürlüğe sahip radar görüntülerinin kullanımı açısından bu düzeltme modelleri büyük bir öneme sahiptir. Radar görüntüleri ile oluşturulan interferogramların deformasyon bilgisindeki atmosferik hataların düzenlenebilir olması ile yapılacak olan deformasyon çalışmalarında daha doğru sonuçlar elde edilecek, zamansal ve atmosferik koşulların getirdiği kısıtlar, destekleyici GPS ölçüleri ile giderilmiş ve deformasyona ilişkin yapılan çalışmalarda en doğru interferogram üretimi nümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Akoğlu, A. M., (2001). *17 Ağustos 1999 İzmit depremi postsismik deformasyonunun sentetik açıklık radar interferometrisi yöntemi ile incelenmesi* (Master Tezi). İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altın, M. U., (2006). *Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara BölümündekiHhareketlerin GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., İstanbul.

Bamler, R. ve Hartl, P., (1998)**.** Synthetic Aperture Radar Interferometry**,** *Inverse Problems***,** 14, R1R54.

Beaducel, F., Briole, P., Froger, J. L. (2000). Volcano-wide Fringes in ERS Sythetic Aparature Radarinterferograms of ETNA (1992-1998): Deformation or Troposferic Effect?, *Journal of Geophysical Research*, *105*, 16391-16402.

Bürgmann, R., Rosen, P. A. ve Fielding, E. J. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry to Measure Earth's surface Topography and Its Deformation, *Earth Planet Scientific Annual Review*, *28*, 169-209.

Chaabane, F., Avallone, A., Tupin, F., Briole, P. ve Maitre, H. (2003). Correction of Local and Global Tropospheric Effects On Differential SAR Interferograms For The Study Of Earthquake Phenomena, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS 2003 Proceedings.

Collins, J. P. ve Langley, R. B. (1997). A Tropospheric Delay Model for the User of the Wide Area Augmentation System, Final contract report for Navigation Canada Satellite Navigation Program Office, by Geodetic Research Lab., Department of Geodesy and Geomatics Eng. Teknik Rapor No:187, Sf. 161, Unv. Of New Brunswick, New Brunswick, Kanada.

Çakır, Z. (2003). *Analysis of the Crustal Deformation Caused by the 1999 İzmit And Düzce Earthquakes Using Synthetic Aperture Radar Interferometry* (Doktora Tezi) İTÜ Fen Bilimleri Ens., İstanbul.

Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. ve Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software User Manual*, Astronomical Institute, University of Bern.

Delacourt, C., Briole, P. ve Achache, J. (1998). Tropospheric Corrections of SAR Interferograms with Strong Topography, Application to Etna. *Geophysical Research Letters*, *25*(15),2849-2852,

Ergintav, S., Burgmann, R., McClusky, S., Cakmak, R., Reilinger, R., Lenk, O., Barka, A., Ozener, H., (2002). Postseismic Deformation Near the Izmit Earthquake (17 August 1999, M 7.5) Rupture Zone. Bulletin. Seismological Soc. Am., *92*, 194-207.

Erkan, Y. (2008). *Troposferik Gecikme Modellerinin Gps Nokta Konumlarına Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Z.K.Ü. Fen Bilimleri Ens., Zonguldak

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, *7*, 06552.

Franceschetti, G. ve Lanari R. (1999). *Synthetic Aperture Radar Processing*, CRC Press, Baco Raton, Florida.

Gabriel, A. K. ve Goldstein, R. M. (1988). Crossed Orbit Interferometry. Theory and Experimental Results from SIR-B, *International Journal of Remote Sensing, 9*, 857-872.

Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. ve Zebker, H. A. (1989). Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas. Differential Radar Interferometry, *Journal of Geophysical Research*, *Vol.94*(B7),9183-9191.

Ge, L., Chang, Hs., Janssen, V. ve Rizos, C. (2001). Integration of GPS, radarinterferometry and GIS for ground deformation monitoring, *Satellite Navigation And Positioning Group*, Sf. 8, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales.

Glowacki T J, Penna N T ve 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.

Goldstein, R. M., Zebker, H. ve Werner, C. (1988). Satellite Radar Interferometry: Two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science, 23* (4), 713-720.

Graham, L. C. (1974). Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping, *Proceedings of IEEE*, *62* (6), 763-768.

Hanssen, R. (2001). *Radar Interferometry: data interpretation and error analysis,* XVIII, Sf. 308, Kluwer Academic, Dordrecht, Boston.

Hay, C. ve Wong, J. (2000). Columns-Innovation: Enhancıng Gps--Tropospherıc Delay Prediction At The Master Control Station, *GPS World*.

Herring, T. A., (2000). *Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*, Program Manuel, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA

Hopfield, H. S. (1969). Two-quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correcting Satellite Data, *Journal of Geophysical Research*, *74*(18):4.

Janssen, V., Ge, L. ve Rizos, C. (2004). Tropospheric Corrections to SAR Interferometry from GPS Observations, *GPS Solutions*, 2004, *8*, 140-151.

Kahveci M (1997), Investigation on the Effect of Propagation Errors on Gps Observations in Turkey Region, Istanbul Technical University, Istanbul

Kimura, H. ve Kinoshita, H. (2001). Effect of tropospheric range delay corrections on differential SAR interferograms, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*.

King, R. W. ve Bock, Y., (2002). *Documentation For .The GAMIT GPS Analysis Software*, Program Manuel, Massachusetts Institute of Technology, ABD.

Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*, Wiley-Interscience Publications, New York.

Li, F. K. ve Goldstein, R. (1990). Studies of multibaseline spaceborne interferometric Synthetic Aperture Radars, *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 28* (1), 88-97.

Li, Z. (2005). *Correction of Atmospheric Water Vapour Effects on Repeat-Pass SAR Interferometry Using GPS, MODIS and MERIS Data* (Doktora Tezi) University College London.

Madsen, S. N., ve Zebker, H. A. (1998). Imaging Radar Interferometry, *JPL Manual of Remote Sensing*, New York, 359-380.

Massonnet, D. ve Feigl, K. L. (1995). Discrimination of geophysical phenomena in satellite radar interferograms, *Geophysical Research Letters, 22* (12), 1537-1540.

Massonnet, D. ve Feigl, K. L. (1995). Satellite Radar interferometric map of the coseismic deformation field of the M=6.1 Eureka Valley, California earthquake of 17 May 1993, *Geophysical Research Letters, 22* (12), 1541-1544.

Massonnet, D. ve Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to cahnges in the Earth's surface, *Reviews of Geophysics, 36* (4), 441-500.

Massonnet, D., Rossi M., Carmona C., Adragna F., Peltzer G., Feigl K., ve Rabaute T. (1993). The Displacement Field of Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry, *Nature*, *364*,138-142.

Mohanakumar, K. (2008). Stratosphere troposphere interactions : an introduction, New York, Springer.

Niell, A. E. (1996). Global Mapping Functions for Atmospheric Delay at Radio Wavelengths, J*ournal of Geophysical Research*, *101*, 3227-3246.

Rigo, A. ve Massonnet, D. (1999). Investigating the 1996 Pyrenean earthquake (France) with SAR Interferograms heavily distorted by atmosphere, *Geophysical Research Letters, 26* (21), 3217-3220.

Roberts, C., Zhang, K., Rizos, C., Kealy, A., Ge, L., RAmm, P., Hale, M., Kinlyside, D. ve Harcombe, P. (2005). Improved Atmospheric Modeling for Large Scale High-Precision Positioning Based on GNSS CORS Networks in Australia, *Journal of Global Positioning Systems*, *Vol.3*, No:1-2, 218-225.

Rogers, A. E. E. ve Ingalls, R. P. (1969). Venus: Mapping the surface reflectivity by radar interferometry, *Science, 165*, 797-799.

Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E. ve Goldstein, R. M. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry, *Proceedings of the IEEE, Vol. 88*, Issue: 3.

Rüzgar, G., (2004). *Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Hareketlerin Üç Yıllık GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., İstanbul

Saastamoinen, J. (1973). Contribution to the Theory of Atmospheric Refraction, *Bulletin Geodesy*, *107*, 13-34.

Samsonov, S. V. ve Tiampo, K.F. (2006). Analytical Optimization of a DInSAR and GPS Dataset for Derivation of Three-Diemensional Surface Motion, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *Vol.3*, No:1, 107-111.

Samsonov, S. V., Tiampo, K. F. ve Rundle, J. B. (2008). Application of DInSAR-GPS Optimization for Derivation of Three-Diamensional Surface Motion of the Southern California Region Along the San Andreas Fault, *Computers&Geosciences*, *Vol.34*, 503-514.

Solass, G. A. (1994). ERS-1 Interferometric Baseline Algorithm Verification, ESA Technical Report, ES-TN-DPE-OM-GS02.

Spilker, J. J. (1996). Tropospheric Effects on GPS, Global Positioning System: Theory and Applications, Volume. 1, *Progress in Astronautics and Aeronautics, 163*, American Ins. of Aeronautics and Astronautics, Washington, 517-546.

Tregoning P ve Herring T A (2006) Impact of a priori zenit hydrostatic delay errors on GPS estimates of station heights and zenit total delays. *Geophysical Research Letters, Vol. 33*, P.1

Url-1 <*http://southport.jpl.nasa.gov/scienceapps/dixon/report1.html*> alındığı tarih: 01.01.2013

Url-2 <*http://tycho.usno.navy.mil/gpscurr.html*> alındığı tarih: 12.02.2013

Webley, P. W., Bingley, R. M., Dodson, A. H., Wadge, G., Waugh, S. J. ve James, I. N. (2002). Atmospheric Water Vapor correction to INSAR surface motion measurements on mountains: Results from a dense GPS network on Mount Etna, *Physics and Chemistry of th Earth*, **27**, 363-370, 2002.

Yavaşoğlu, H. (2009). *Kuzey Anadolu Fayını Orta anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme ile Belirlenmes* (Doktora Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., İstanbul.

Zebker, H. A. ve Goldstein, R. M. (1986). Topographic Mapping from Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations, *Journal of Geophysical Research*, ***Vol.91*** (B5), 4993-4999.

Zebker, H. A., Rosen, P. A., Goldstein, R. M., Gabriel, A. ve Werner, C. (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: the Landers earthquake, *Journal of Geophysical Research, 99* (B10), 19, 617-634.

Zebker, H. A., Rosen, P. A. ve Hensley, S. (1997). Atmosferic Effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps, J*ournal of Geophysical Research, 102* (B4), 7547-7563, 1997.

Zebker, H. A. ve Villasenor, J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes, *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 30* (5), 950-959.

Zisk, S. H. (1972). Earth-based radar technique for the measurement of lunar topography, *Moon, 4,* 296-300.

EKLER

EK A: GAMIT Dosyaları

EK B: Gecikme Değerlerine Ait Grafikler

EK C: GPS Noktalarına İlişkin Meteorolojik Değereler

EK D: Troposfer Düzeltmeleri ve Yükseklik Farkı

EK A: GAMIT Dosyaları

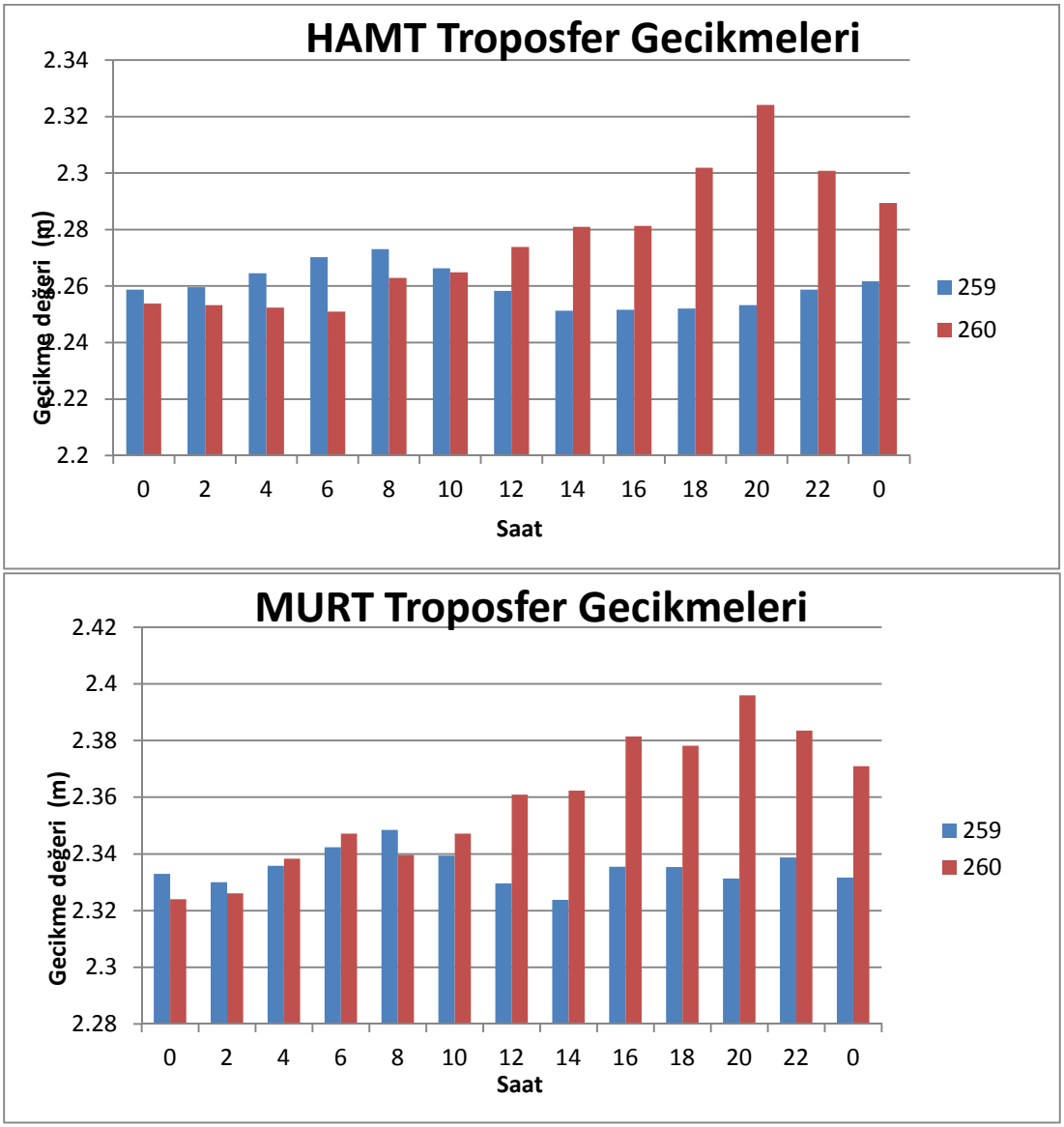
Session Table for regional + global analysis

```
Processing Agency = ITU
Station Number = *
Station Constraint = Y
Satellite Number =  *
Satellite Constraint = Y         ; Y/N
 all    a     e     i     node   arg per    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
Type of Analysis = 0-ITER        ; 0-ITER/1-ITER/2-ITER/1-CLEAN/2-CLEAN/3-CLEAN
Data Status = RAW                ; CLN/RAW
Choice of Observable = LC_HELP  ; L1_SINGLE/L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
                          ; L1,L2_INDEPEND./LC_HELP
Choice of Experiment = RELAX.   ; BASELINE/RELAX./ORBIT

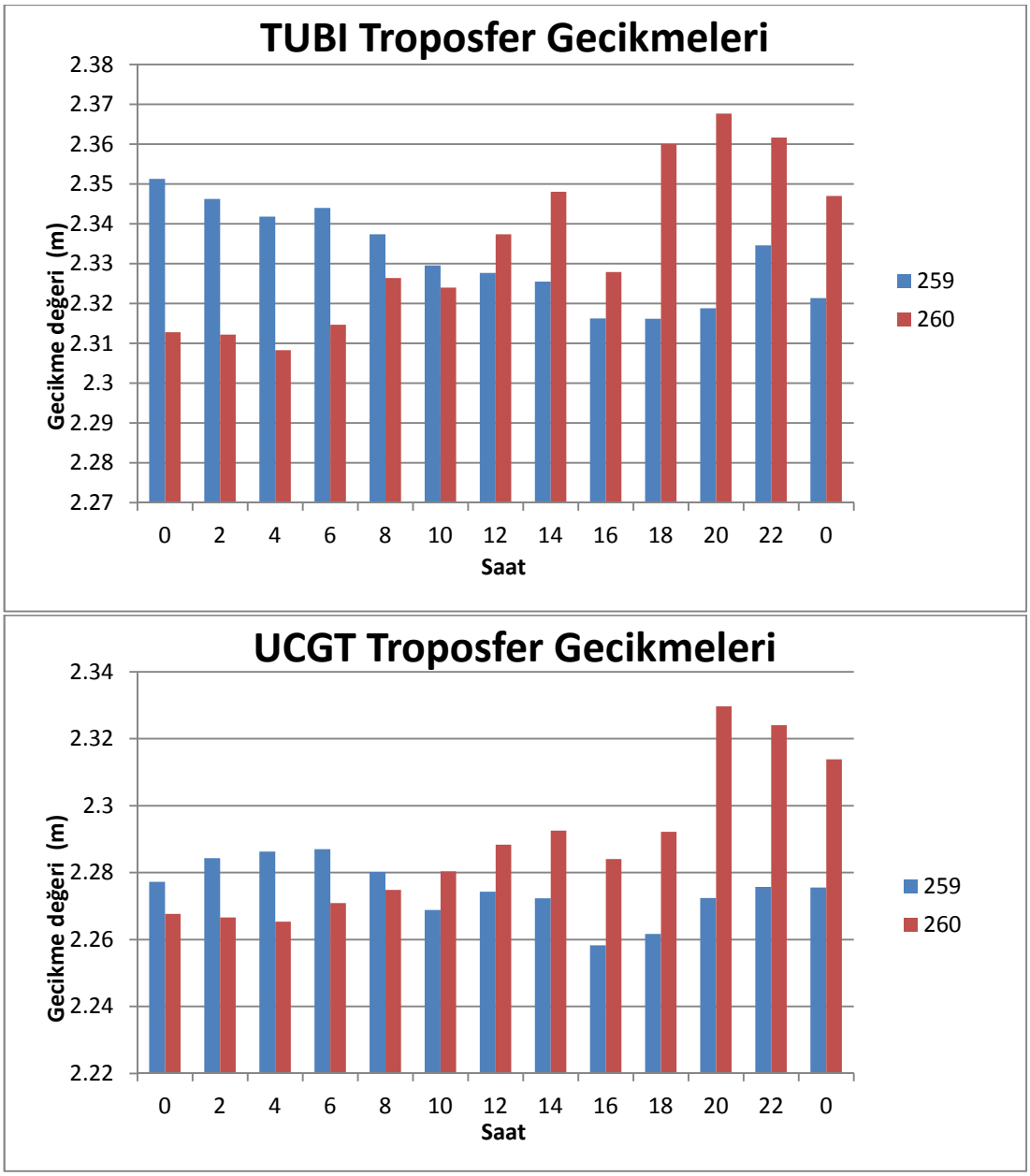
Ionospheric Constraints =  0.0 mm + 8.00 ppm ; Set for mid-solar max
Zenit Delay Estimation = YES   ; YES/NO
Number Zen = 13                ; number of zenit-delay parameters
Zenit Constraints = 0.50       ; zenit-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenit Model = PWL              ; PWL (piecewise linear)/CON (step)
Zenit Variation = 0.02 100.    ; zenit-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs
Elevation cutoff = 10.         ; Elevation angle cutoff for postfit solution
Atmospheric gradients = YES     ; YES/NO  (default no)
Number Grad = 3
Gradient Constraints = 0.03     ; gradient at 10 deg elevation in meters
Station Constraint = Y          ; Y/N
```

```
Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 1000.  ; Increased chi-square ratio to stop searched
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 1000.  ; values from being used.
Geodetic Datum = GEOCENTRIC     ; GEOCENTRIC/WGS84/NAD82/WGS72
Reference System for ARC = IGS92 ; WGS84/WGS72/MERIT/IGS92(default)
Initial ARC = YES               ; YES/NO  default = NO for BASELINE/KIINEMATIC, YES for RELAX/ORBIT
Update T/L files = L_ONLY       ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
Final ARC = NO
Yaw Model = YES                 ; YES/NO  default = YES
Delete eclipse data = NO        ; ALL/NO/POST (Default = NO); 30 mins post shadow removal is
                                ; hardwired for ALL/POST
AUTCLN Command File = autcln.cmd  ; Filename; default none (use default options)
AUTCLN Postfit = R              ; Run autcln for postfit run; R causes repeat run.
Use N-file = Y                  ; Y/N (default no): automatic procedure to reweight by station
Delete AUTCLN input C-files = YES ; YES/NO  default = NO ; I -- Intermediate keep (stops) second model
Earth Rotation = 7              ; Diurnal/Semidirunal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 default=7
Estimate EOP = 15               ; Binary coded: 1 wob   2 ut1   4 wob rate   8 ut1 rate
Wobble Con = 0.01 0.01          ; default = 3. 0.3  arcsec arcsec/day
UT1 Con = 0.00001 0.01          ; default = .2 0.02 sec sec/day
Tide Model = 3                  ; Binary coded: 1 earth  2 freq-dep  4 pole  8 ocean   default=7
Antenna Model = ELEV            ; NONE/ELEV/AZEL  default = NONE
Radiation Model for ARC = BERNE   ; SPHRC/BERNE/SRDYB/SVBDY  default = BERNE
Inertial frame = J2000          ; J2000/B1950
SCANDD control = NONE           ; YES/NONE
Decimation Factor = 1           ; Decimation factor in solve
Quick-pre observable = LC_ONLY    ; For 1st iter or autcln pre, default same as Choice of observable
Quick-pre decimation factor = 10  ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor
Station Error = ELEVATION 4.3 7.0 ; 1-way L1 , a**2 + b**2/sin(elev)**2 in mm, default = 4.3 7.0
```

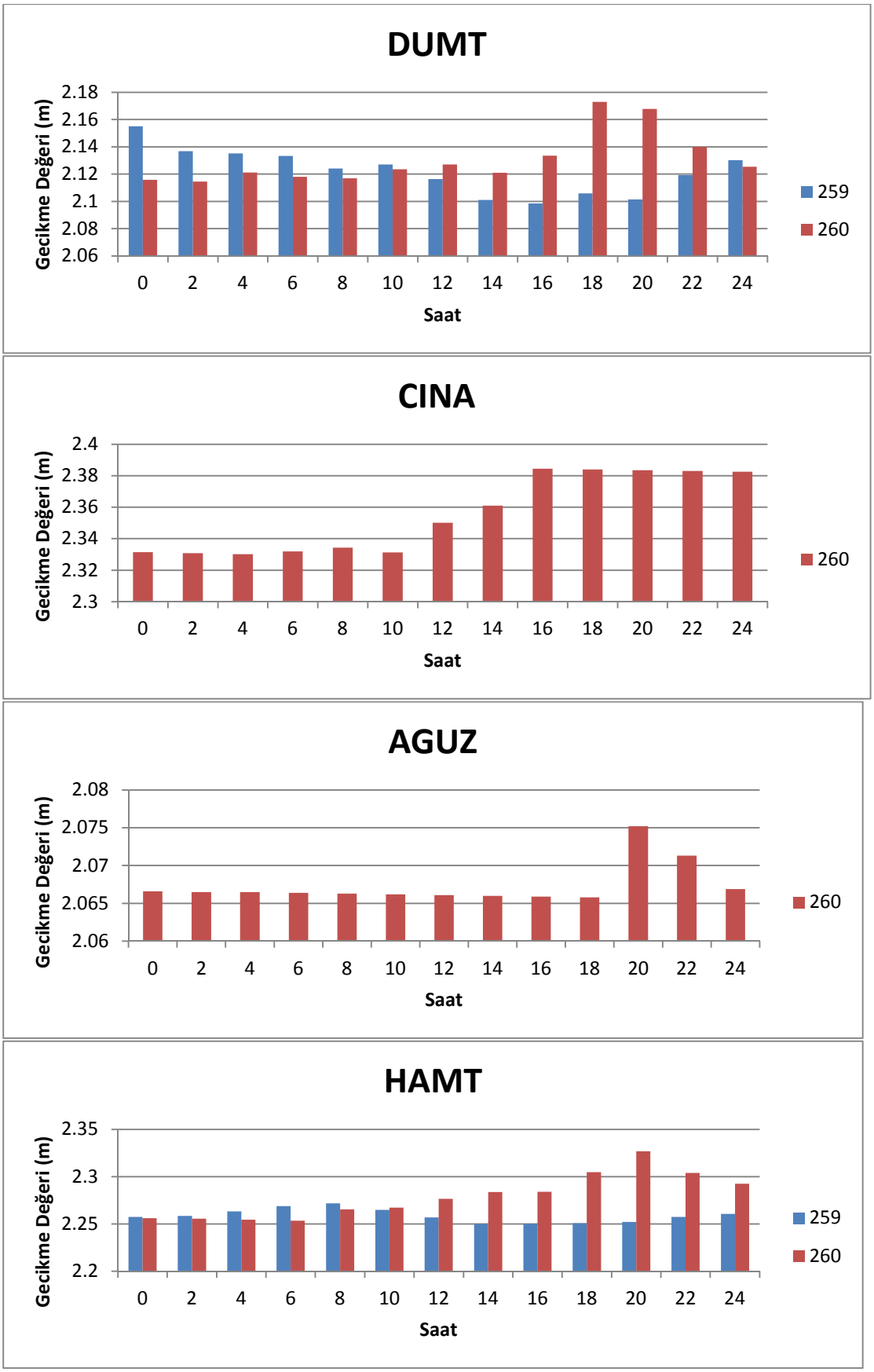
EK B: Gecikme Değerlerine Ait Grafikler



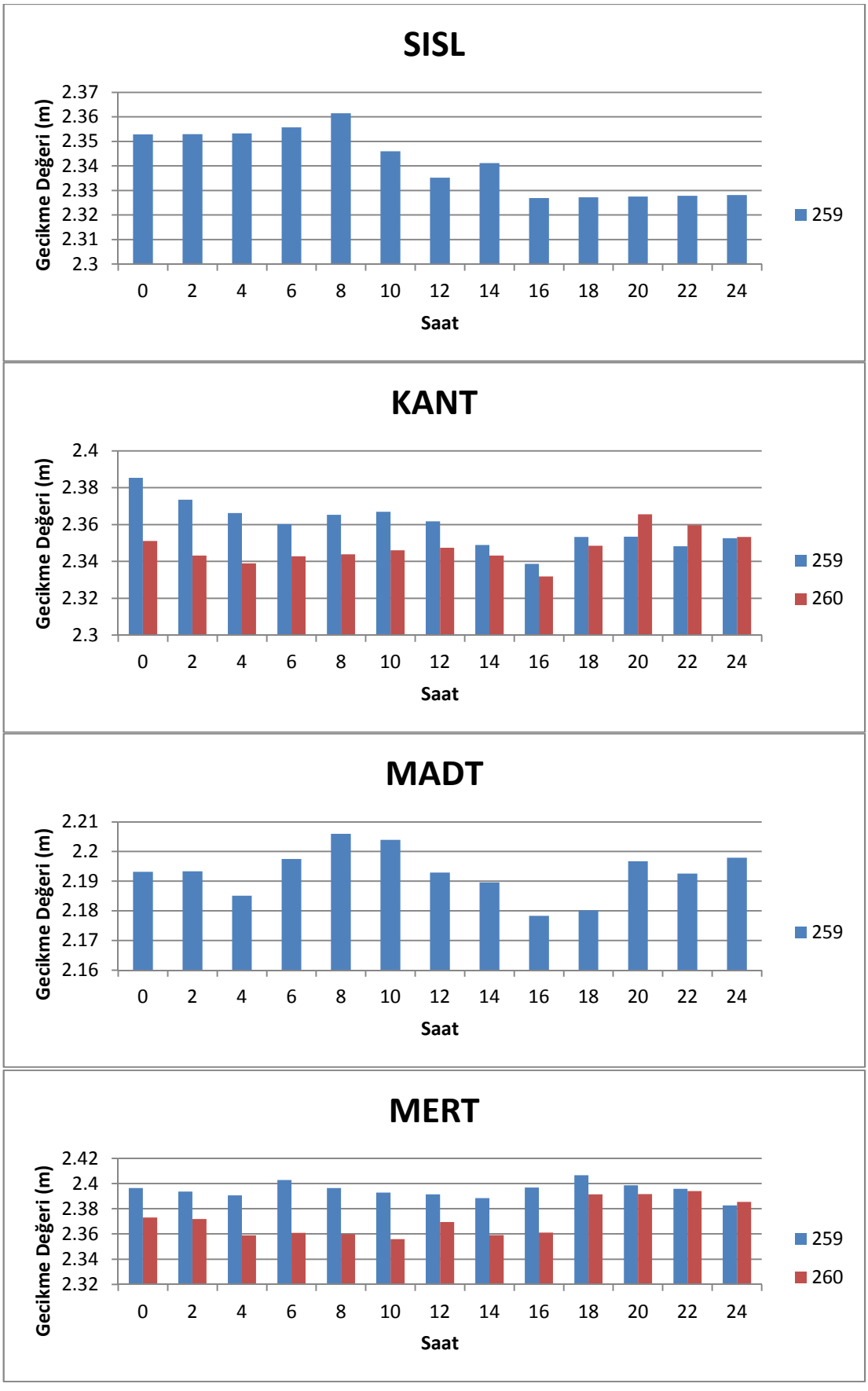
Şekil B.1 : Troposfer gecikme değerleri (Sabit met. parametere kullanılarak).



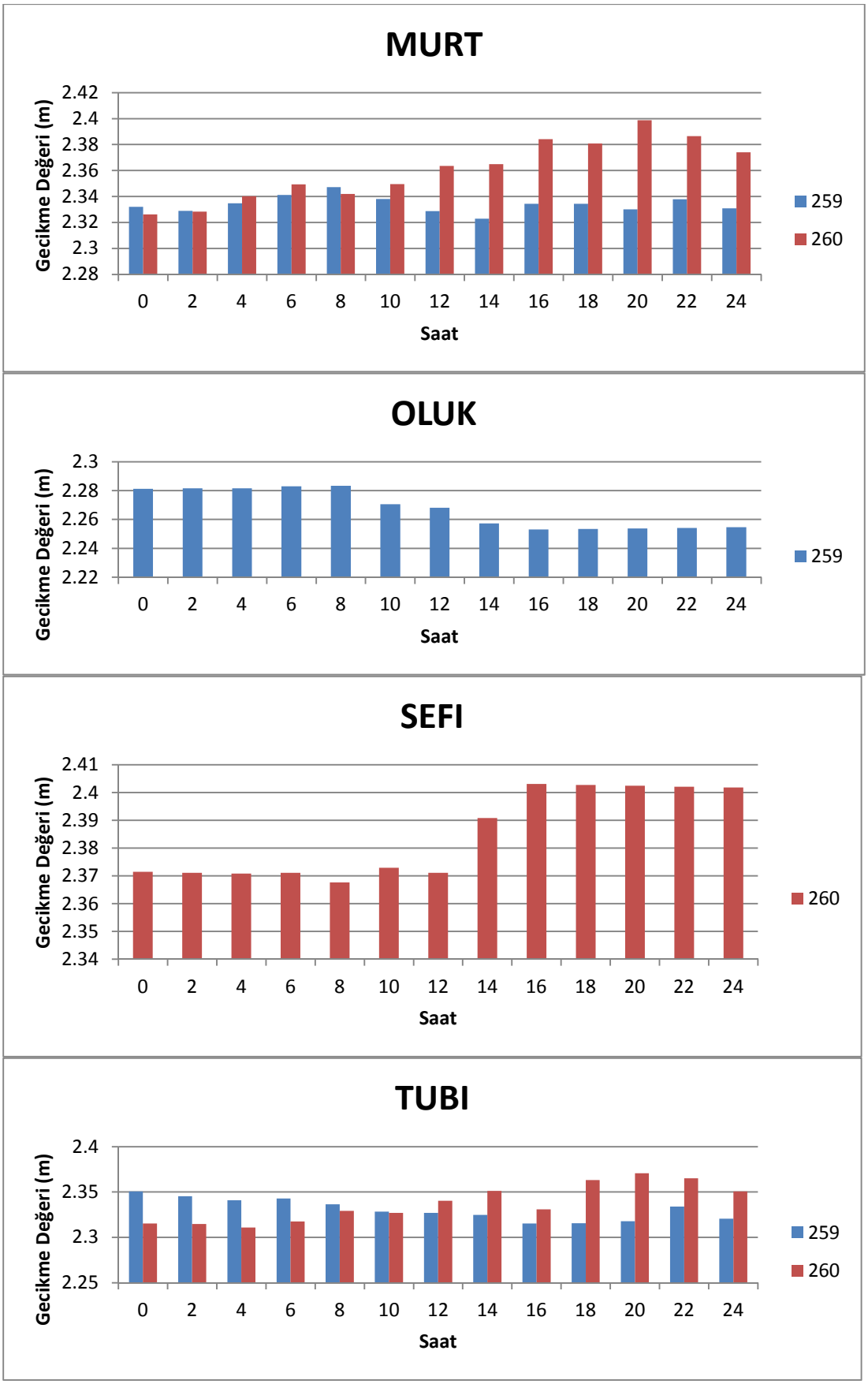
Şekil B.2 : Troposfer gecikme değerleri (Sabit met. parametere kullanılarak).



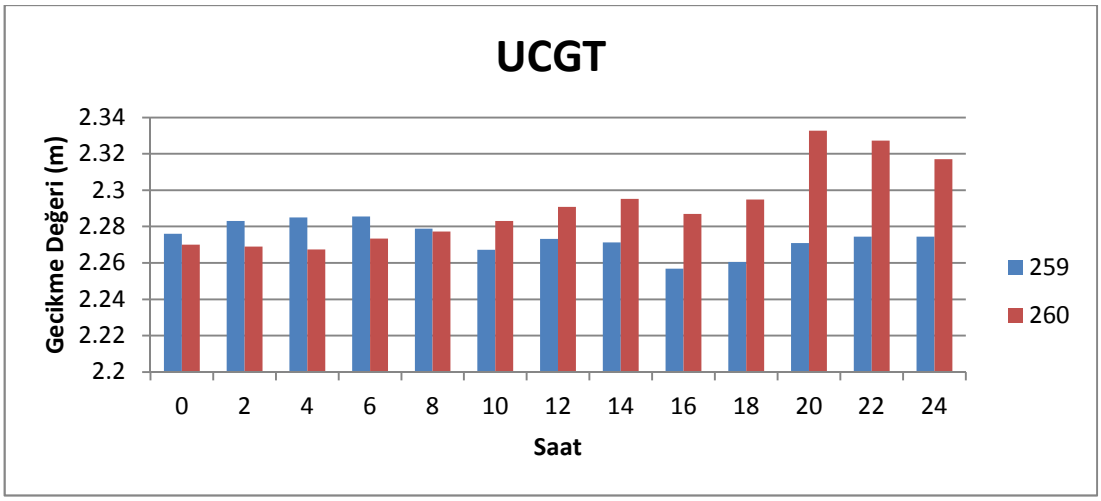
Şekil B.3 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak).



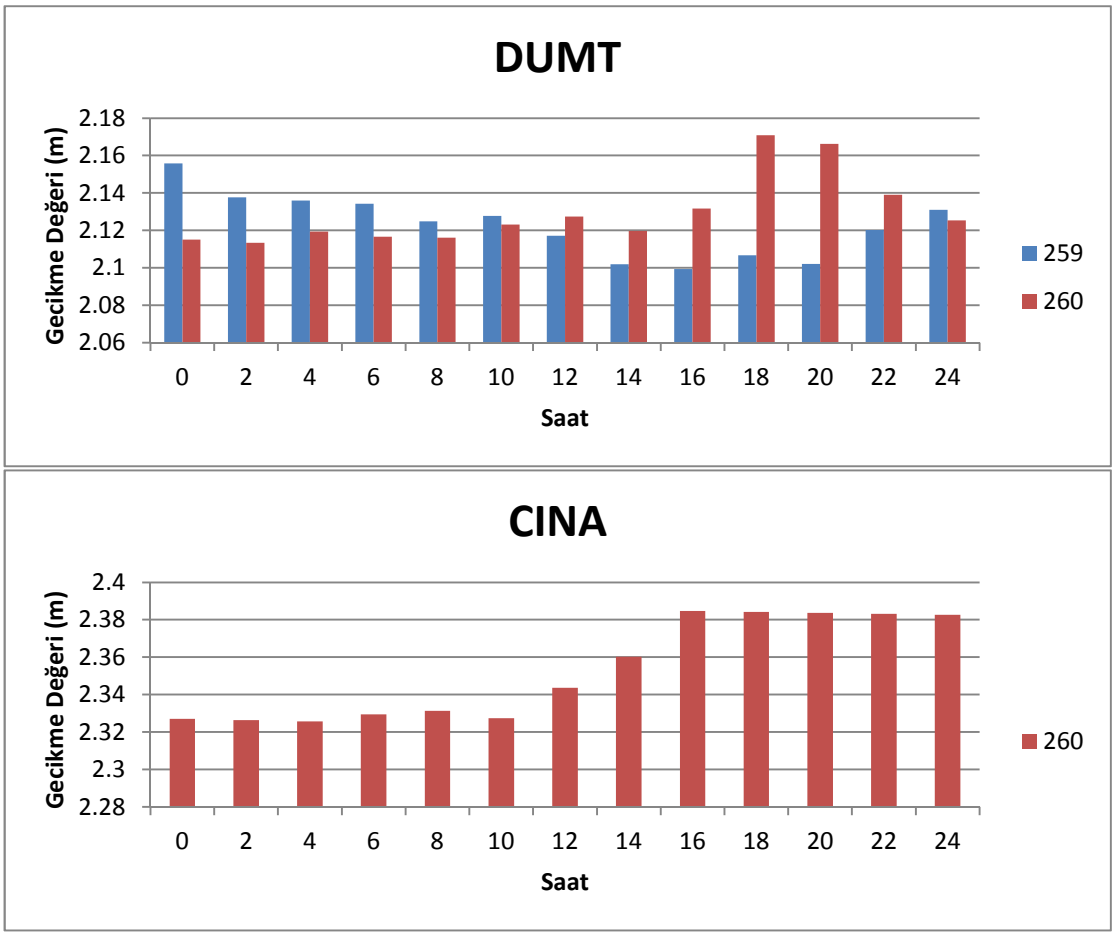
Şekil B.4 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak).



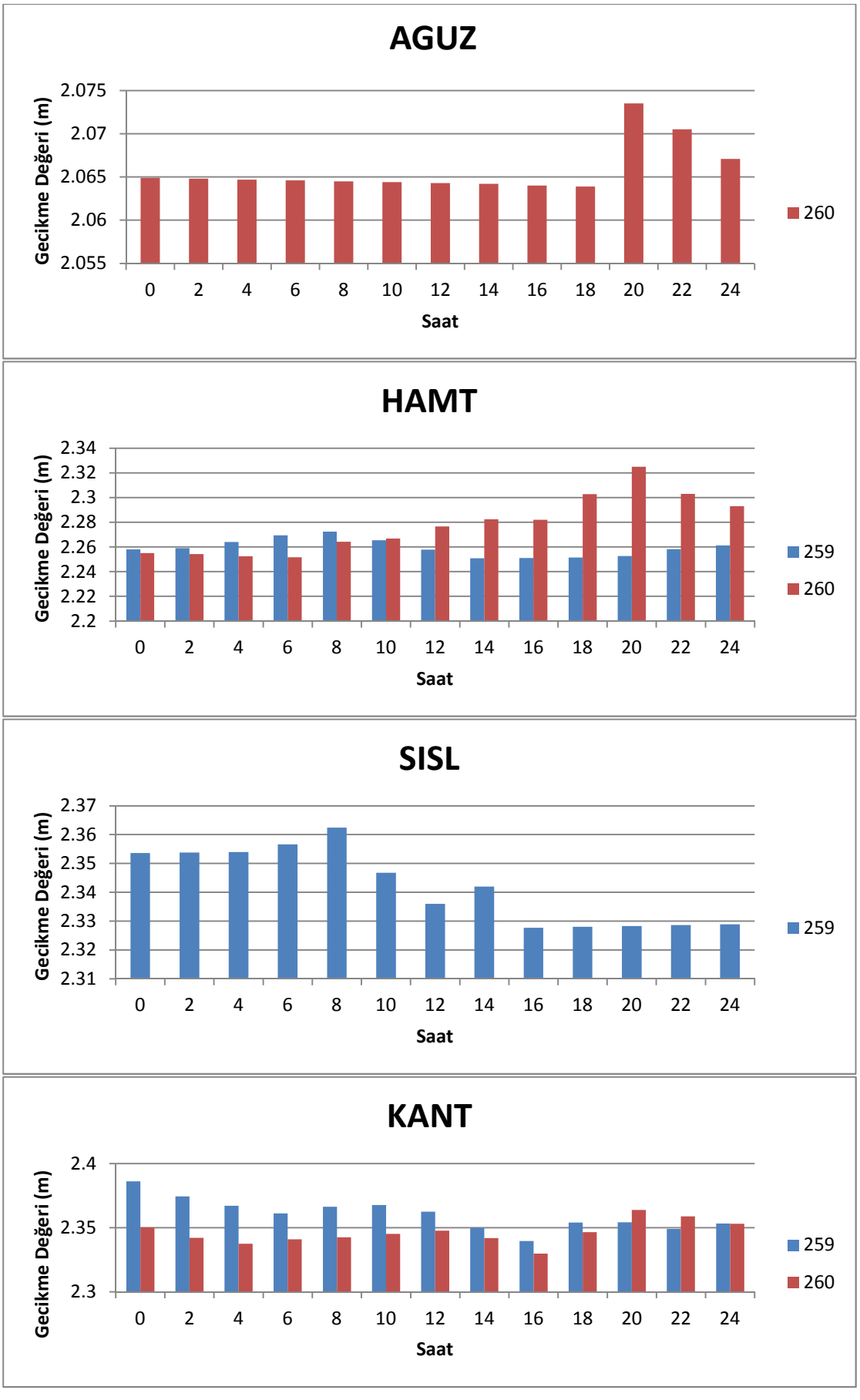
Şekil B.5 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak).



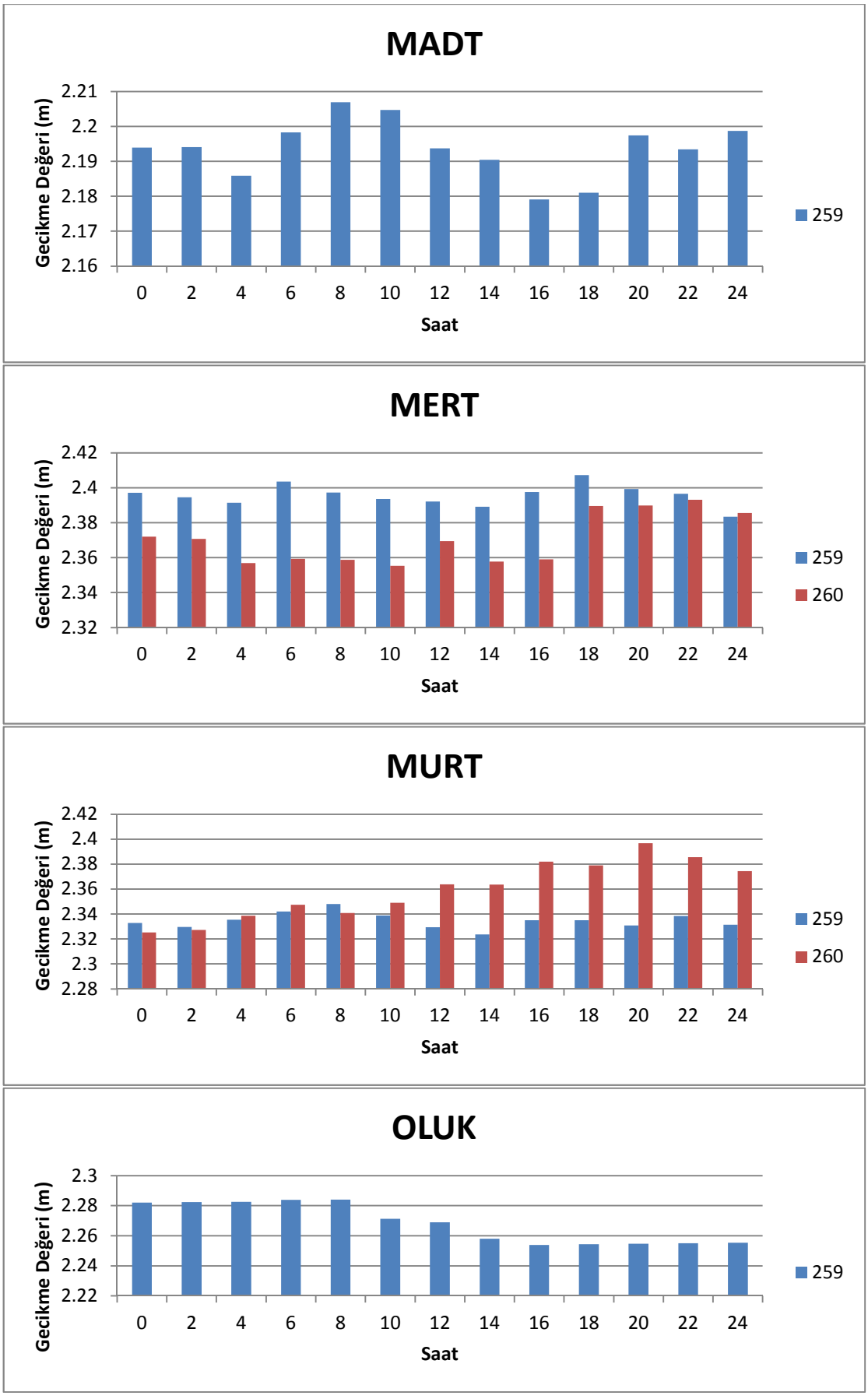
Şekil B.6 : Troposfer gecikme değerleri (Görüntüleme anındaki met. veriler kullanılarak).



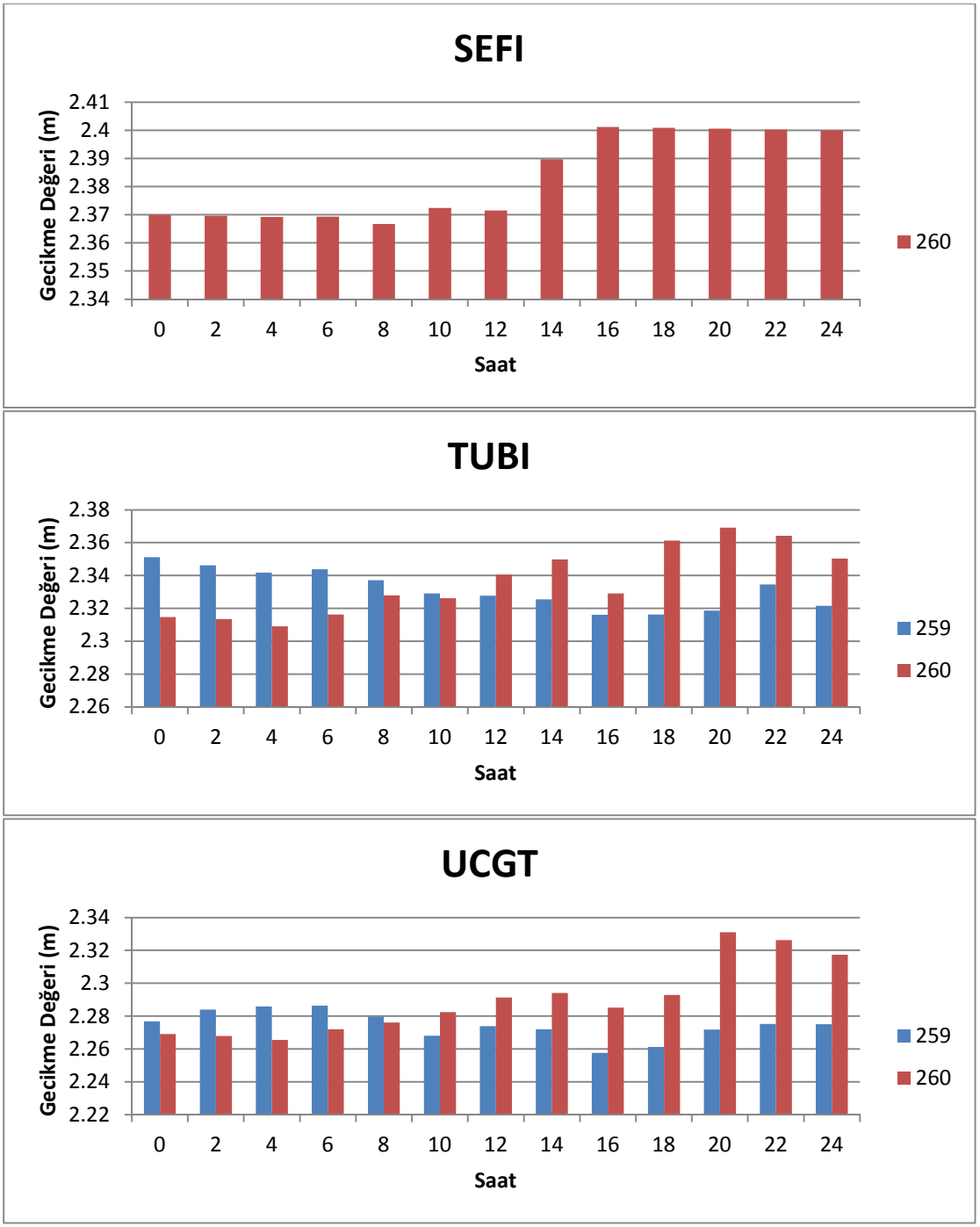
Şekil B.7 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak).



Şekil B.8 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak).

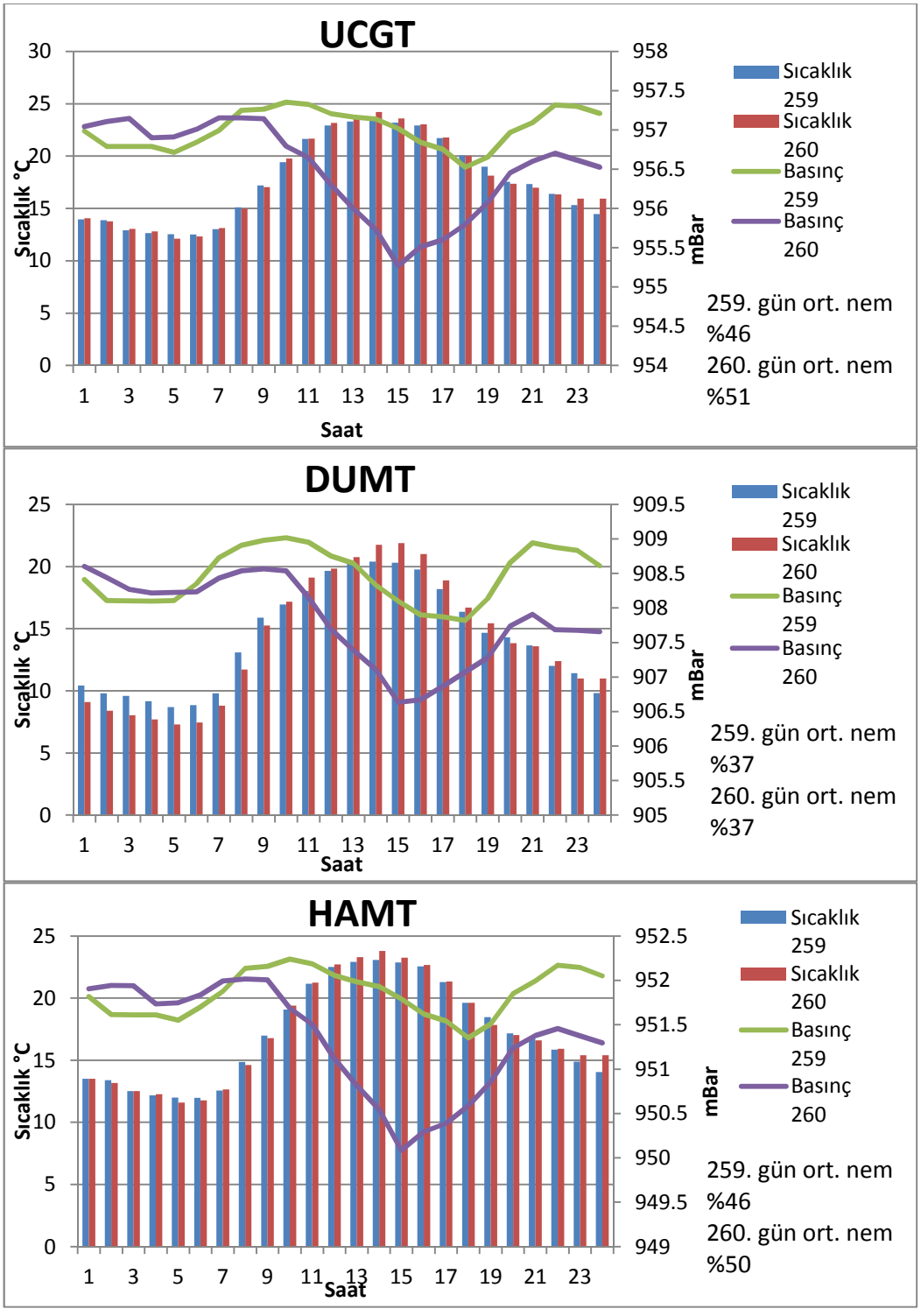


Şekil B.9 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak).

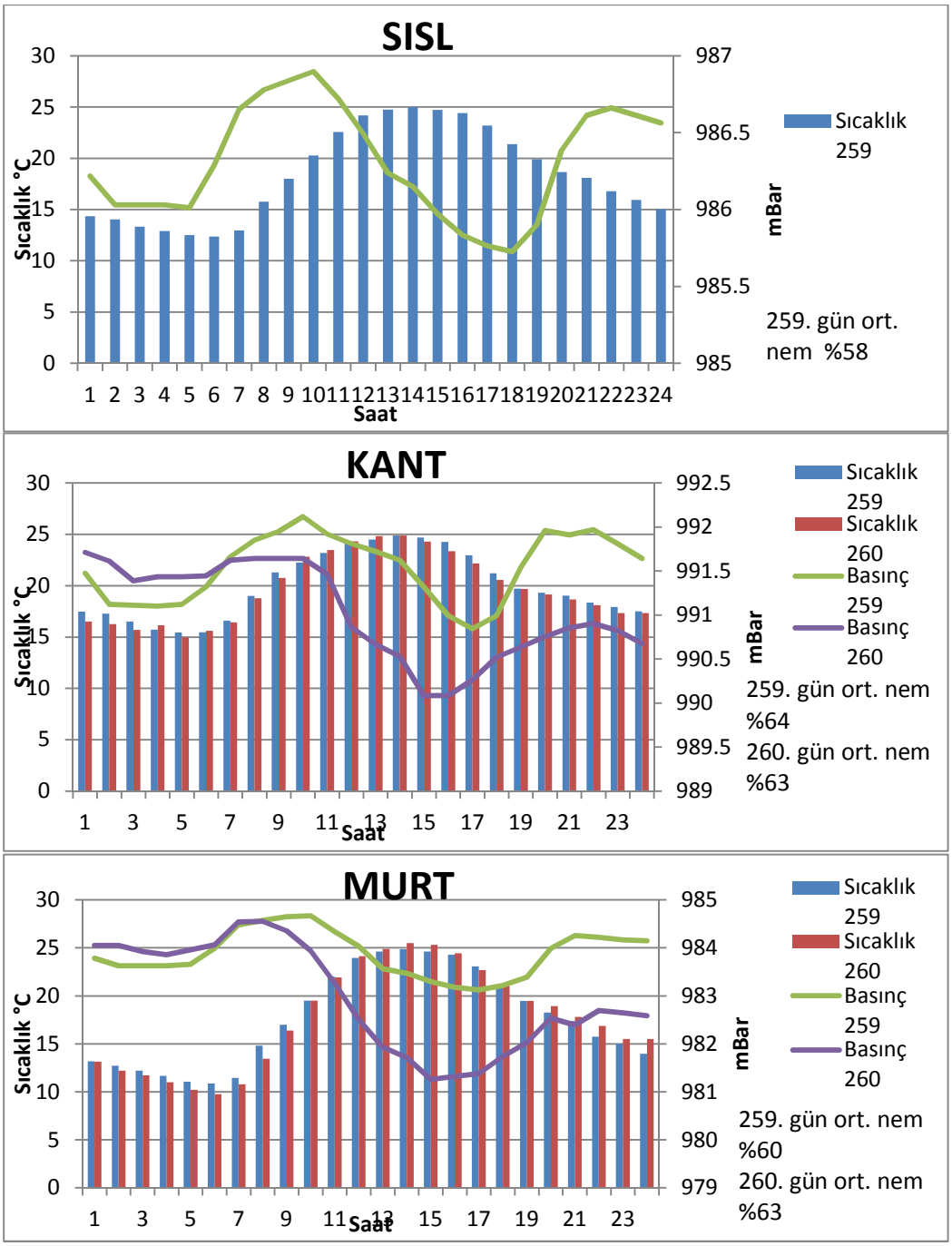


Şekil B.10 : Troposfer gecikme değerleri (Günlük ortalama met. veriler kullanılarak).

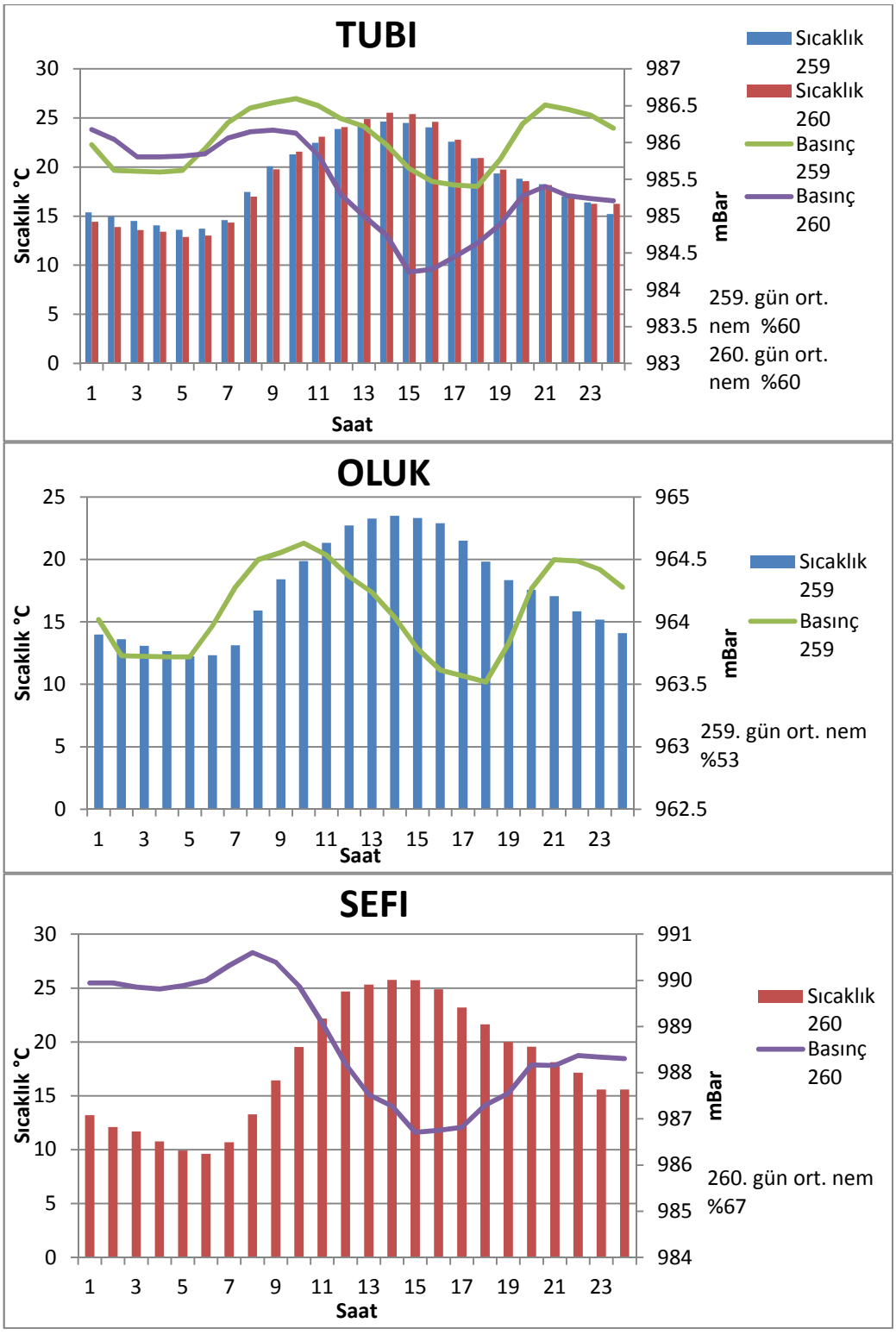
EK C: GPS Noktalarına İlişkin Meteorolojik Değerler



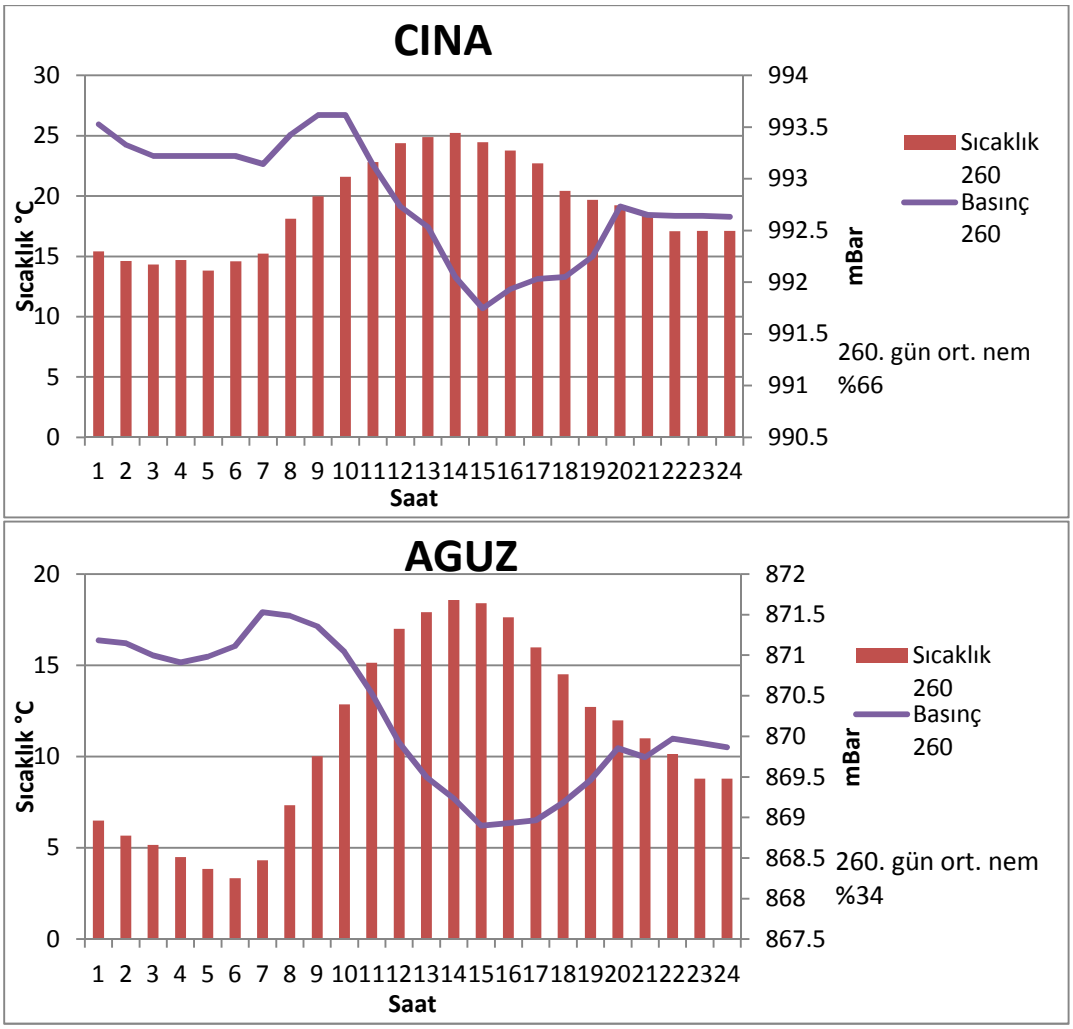
Şekil C.1 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde).



Şekil C.2 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde).

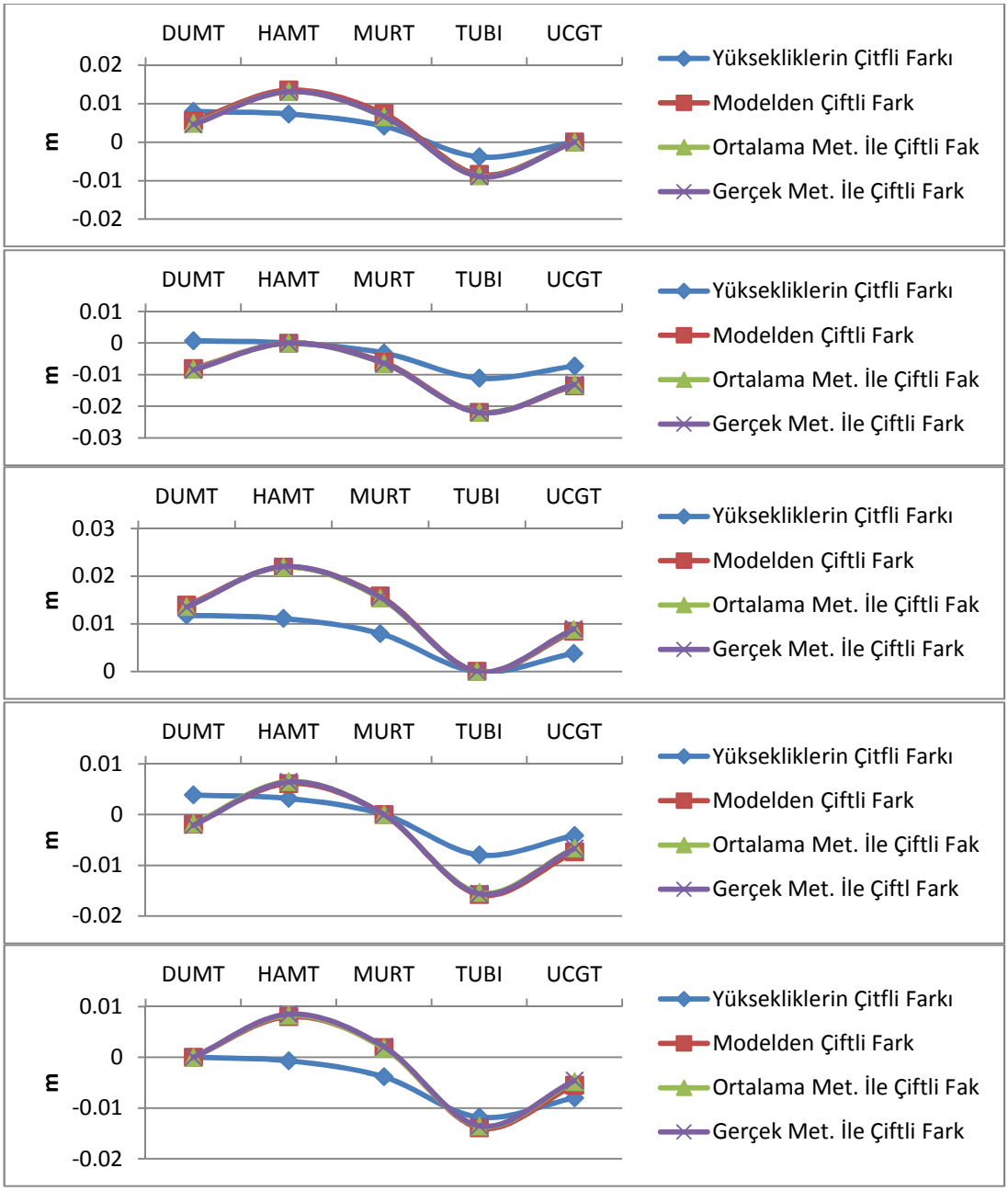


Şekil C.3 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde).



Şekil C.4 : Gün içi meteorolojik değişim (Deniz yüzeyinde).

EK D: Troposfer Düzeltmeleri ve Yükseklik Farkı



Şekil D.1 : Troposfer düzeltmeleri ve yükseklik farkları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Mehmet Uğur ALTIN
Doğum Yeri ve Tarihi:	Mustafakemalpaşa , 27.07.1980
E-Posta:	altinmitu@gmail.com
Lisans:	Jeodezi ve Fotogrametri Müh. 2004 İstanbuk Teknik Üniversitesi
Yüksek Lisans :	Jeodezi ve Fotogrametri Müh. 2006 İstanbuk Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

03.2005-12.2005	Türkiye Garanti Bankası A.Ş., Genel Müdürlük, İnşaat Müdürlüğü Gayrimenkul Değerlendirme Uzmanı
12.2005-12-2012	İstanbul Teknik Ünv., Geomatik Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi

Yayın ve Patent Listesi:

Altın, M.U., Ge, L., Tarı, E., *Insar Atmospheric Delay Migitigation By GPS; Case Study Izmit Eartquake Interferograms,* ISPRS 2012, 24Ağustos-03 Eylül, Melbourne, Avustralya, 2012.

Aksoy, M.E,Meghraoui M., Ferry M., Çakır, Z, Uçarkuş, G., Sancar, T., Akyüz, S., Altunel E., Sunal, G., **Altın, M.U.**, *Rupture Characteristics of the 9 August 1912 Mürefte Earthquake (Ms=7.3) and Paleoseismology along the Ganos Segment of the North Anatolian Fault (Turkey),* T/SD2/O11, European Seismological Comission 32nd General Assembly, 6-10 Eylül, Montepellier, 2010.

Aksoy, M.E., Meghraoui M., Ferry M., Çakir, Z, Akyüz, S., Altunel E., Akyüz, S., Dikbaş, A., **Altın, M.U.***, Paleoseismic investigation along the 1912 Ganos fault segment at Güzelköy, Yörgüç and Yeniköy - North Anatolian Fault / Turkey* International Symposium on Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region - 500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake, 10 - 12 Eylül, İstanbul, 2009.

Aksoy, M.E., Meghraoui M., Ferry M., Çakir, Z, Akyüz, S., Altunel E., **Altın, M.U.** *Paleoseimic investigations along the Ganos fault and characteristics of the 9 August 1912 Ganos earthquake (Ms=7.3) - North Anatolian Fault / Turkey*, Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet, San Francisco, ABD ., 2008.

M. Uğur Altın, Reha Metin Alkan, Hakan Yavaşoğlu, Muhammed Şahin, Ergin Tarı, Mustafa Yanalak, Ersoy Arslan, Hüseyin Can Ünen. D*atum Transformations Of The Local Basemaps Of Rize For Rabis (Rize Disaster Management System) Project,* 15th The International Emergency Management Society Annual Conference, Haziran 17-19, Prag, Çek Cumhuriyeti, 2008.

M. Uğur Altın, Hakan Yavaşoğlu, Ergin Tarı, Orhan Baykal, Rahşan Çakmak, Turan Erden, Semih Ergintav, M. Korhan Erturaç, Cankut D. İnce, Himmet Karaman, Ufuk Tarı, Okan Tüysüz, Mustafa Yanalak. *Determining Earthquake Potential On The North Anatolian Fault Western Marmara Segment By GPS Measurements*, International Workshop On Natural Disasters And Emergency Management, Eylül 22-24, Pekin, Çin, 2007.

Ali Yağcı, S. Serhan Yıldız, Ali Özkan, Hakan Yavaşloğlu**, M. Uğur Altın**, M. Koray Torun, Nusret Korkmaz, Ergin Tarı, Muhammed Şahin. *Effects of Observation Duration on the Velocity Vectors and Time Series*, Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Realeted Fields, 09-10 Kasım, Sofia, Bulgaristan, 2006.

M. Uğur Altın, Hakan Yavaşoğlu, Ergin Tarı, Orhan Baykal, Rahşan Çakmak, Turan Erden, Semih Ergintav, M. Korhan Erturaç, Cankut D. İnce, Himmet Karaman, Ufuk Tarı, Okan Tüysüz, Mustafa Yanalak. *GPS Measurements on the Western Marmara Segment of North Anatolian Fault,* International Workshop on Comparative studies of the North Anatolian Fault(Northwest Turkey) and the San Andreas Fault(Southern California), 14-18 Ağustos, İstanbul, Türkiye, 2006.

Hakan Yavaşoğlu, Ergin Tarı**, M. Uğur Altın**, Orhan Baykal, Rahşan Çakmak, Turan Erden, Semih Ergintav, M. Korhan Erturaç, Cankut D. İnce, Himmet Karaman, Ufuk Tarı, Okan Tüysüz, Mustafa Yanalak. *GPS Measurements on the Western Marmara Segment of the North Anatolian Fault System,* XIII International FIG Congress 8-13 Ekim, Münih, Almanya, 2006.

M. Uğur Altın. *Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara BölümündekiHhareketlerin GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens., İstanbul, 2006

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Altın, M.U., Ge, L., Tarı, E., *Insar Atmospheric Delay Migitigation By GPS; Case Study Izmit Eartquake Interferograms,* ISPRS 2012, 24Ağustos-03 Eylül, Melbourne, Avustralya, 2012 *En iyi Poster Ödülü*