

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİ VE JEODİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞIYICI DALGALAR ÜZERİNDE TOPLAM ELEKTRON
İÇERİĞİ HESABI VE HESAP KALİTESİNE İLİŞKİN
ÖLÇÜTLENDİRME**

ERMAN ŞENTÜRK

KOCAELİ 2014

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİ VE JEOİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞIYICI DALGALAR ÜZERİNDE TOPLAM ELEKTRON
İÇERİĞİ HESABI VE HESAP KALİTESİNE İLİŞKİN
ÖLÇÜTLENDİRME**

ERMAN ŞENTÜRK

**Yrd.Doç.Dr. Murat Selim ÇEPNİ
Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Haluk KONAK
Jüri Üyesi, Koceli Üniv.**

**Doç.Dr. M. Tefik ÖZLÜDEMİR
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.**



Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında beni teşvik eden, yönlendiren ve her konuda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr.Murat Selim ÇEPNİ'ye teşekkür ederim.

Tez savunma jürimde bulunan ve çalışmanın daha iyi koşullara gelmesi için fikir sunan Sayın hocalarım Prof.Dr.Haluk KONAK ve Doç.Dr.M.Tevfik ÖZLÜDEMİR'e ayrıca teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca verdiğim tüm kararları destekleyen, yanımda olan babam İsmail ŞENTÜRK'e, annem Sevgi ŞENTÜRK'e, kardeşlerim Erhan ve İ.Erkan ŞENTÜRK'e sonsuz teşekkürler.

Temmuz – 2014

Erman ŞENTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. GPS.....	5
1.1. GPS Uydularının Sinyal Yapısı	7
1.2. GPS Ölçme Yöntemleri.....	8
1.2.1. Yapay uzunluk ölçüleri	8
1.2.2. Taşıyıcı faz ölçüleri.....	9
1.3. GPS Çözümlerinde Kullanılan Doğrusal Bileşimler.....	10
1.3.1. İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim	10
1.3.2. Geometriden bağımsız doğrusal bileşim.....	11
2. İYONOSFER YAPISI	12
2.1. İyonosferin Genel Yapısı	12
2.2. İyonosfer Tabakasında Meydana Gelen Değişimler.....	15
2.3. İyonosferdeki Düzensiz Değişimlere İlişkin İndisler.....	17
2.3.1. Kp indisi.....	17
2.3.2. Dst indisi	18
3. İYONOSFERİN GPS SİNYALİNE ETKİSİ	20
3.1. Elektromanyetik Dalgaların İyonosferdeki Yayılımı	20
3.2. Toplam Elektron İçeriği Parametresinin Elde Edilmesi	23
3.3. İyonosfer Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Modeller	25
3.3.1. Tek tabaka modeli	25
3.3.2. Bölgesel iyonosfer modeli	27
3.3.3. Küresel iyonosfer modeli.....	27
4. TEİ HESABINDA KALİTE ÖLÇÜTLERİ	30
4.1. Uydu Yükselme Açısı.....	31
4.2. Uydu Azimut Açısı	33
4.3. TEİ Hesabında Kalite Ölçütü	35
4.4. TEİ Hesabında Ağırlık Fonksiyonları	42
5. UYGULAMA.....	45
5.1. Gözlenen Uydular İçin Kalite Ölçütü Parametresi: GQP ⁽ⁱ⁾	46
5.2. İstasyon Bazlı TEİ Hesabının Kalite Ölçütü: R-TEC	47
5.3. GQP ⁽ⁱ⁾ Parametresinin Ağırlık Fonksiyonu Olarak Kullanılması.....	51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	60
EKLER	64
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	82
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. GPS Bölümleri	6
Şekil 2.1. İyonosfer Bölgeleri	13
Şekil 2.2. İyonosfer Tabakaları	14
Şekil 2.3. Örnek Kp İndis Grafiği (23-29 Aralık 2012 Kp İndis Değişimi).....	18
Şekil 2.4. Örnek Dst İndis Grafiği (29 Aralık 2012 Dst İndis Değişimi)	19
Şekil 3.1. Atmosferik Gecikme	20
Şekil 3.2. Toplam Elektron İçeriğinin Grafikselsel Gösterimi	23
Şekil 3.3. Tek Tabaka Modeli.....	26
Şekil 3.4. Küresel İyonosfer Modeli (14 Ocak 2013)	28
Şekil 4.1. Uydu Sinyali İle İyonosfer Arasındaki Geometrik İlişki	32
Şekil 4.2. Küresel Yeryüzünde Tanımlanan ζ_{pp} ' Yay Uzunluğu	36
Şekil 4.3. Uydu Yükselme ve Uydu Azimut Açısı Arasındaki İlişki	38
Şekil 4.4. GQP ⁽ⁱ⁾ Fonksiyonunun Uydu Geometrisine Göre Değişimi	40
Şekil 4.5. Ağırlık Fonksiyonlarının Uydu Yükselme Açısına Göre Değişimleri.....	44
Şekil 5.1. Çalışmada Kullanılan TUSAGA-AKTİF Noktaları	45
Şekil 5.2. 23 Ekim 2011 Günü 1 Nolu Uydu İçin GQP ⁽ⁱ⁾ Değerleri	47
Şekil 5.3. R-TEC Günlük En Düşük Değer – Uydu Dağılımı	49
Şekil 5.4. R-TEC Günlük En Yüksek Değer – Uydu Dağılımı.....	50
Şekil 5.5. MALZ İstasyonu Günlük R-TEC Grafiği.....	50
Şekil 5.6. MALZ Noktasında VTEC Değerlerinin Ağırlık Fonksiyonlarına Göre Değişimi	53
Şekil 5.7. Ağırlık Fonksiyonlarının IGS'e Göre Karekök Ortalamaları	54

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Uydu Sinyallerinin Bölümleri	7
Tablo 1.2. GPS Uydu Sinyalleri	8
Tablo 1.3. Doğrusal Bileşimler	10
Tablo 2.1. İyonosfer Tabakalarında Elektron Yoğunluğu.....	15
Tablo 2.2. Gezici İyonosferik Bozucu Etki (TID) Alanları.....	16
Tablo 2.3. Manyetik Fırtına Seviyeleri	19
Tablo 4.1. Uydu Yükselme Açısına Göre Alıcı ile İyonosfer Alt Noktası Arasındaki Mesafeler	33
Tablo 4.2. Uydu Yükselme Açısı ve Uydu Azimut Açısına Göre GQP ⁽ⁱ⁾ Değerleri.....	40
Tablo 5.1. R-TEC Günlük En Düşük Değer - Epok: 05:07:30	48
Tablo 5.2. R-TEC Günlük En Yüksek Değer - Epok: 14:26:00.....	49
Tablo 5.3. En Küçük VTEC Ortalaması Epok: 01:58:30.....	51
Tablo 5.4. En Büyük VTEC Ortalaması Epok: 10:53:30.....	52

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

c	: Işık hızı, (m/sn)
f_0	: Temel frekans
f_1, f_2	: GPS frekansları
L_1, L_2	: Taşıyıcı dalgalar
L_3	: İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim
L_4	: Geometriden bağımsız doğrusal bileşim
λ	: Dalga boyu
Φ	: Faz sayısı
nT	: nanoTesla, (10^{-9} Tesla)
ε	: Uydu yükselme açısı, ($^{\circ}$)
α	: Uydu azimut açısı, ($^{\circ}$)

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
C/A CODE	: Clear/Coarse Acquisition Code (Serbest Edinim Kod)
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GQP ⁽ⁱ⁾	: Geometrical Quality Parameter (Geometrik Kalite Parametresi)
IGS	: International GNSS Service (Uluslararası GNSS Servisi)
İAN	: İyonosfer Alt Noktası
LC	: Linear Combination (Doğrusal Bileşim)
MHz	: MegaHertz (Değeri Bir Milyon Hertz Olan Frekans Birimi)
P CODE	: Protected/Precise Code (Korumalı/Hassas Kod)
R-TEC	: Reliability of Total Electron Content (Toplam Elektron İçeriğinin Güvenilirliği)
SIP	: Sub-Ionospheric Point (İyonosfer Alt Noktası)
STEC	: Slant Total Electron Content (Eğik Toplam Elektron İçeriği)
TEC	: Total Electron Content (Toplam Elektron İçeriği)
TEİ	: Toplam Elektron İçeriği
TID	: Travel Ionospheric Disturbance (Gezici İyonosferik Bozucu Etki)
VTEC	: Vertical Total Electron Content (Düşey Toplam Elektron İçeriği)

TAŞIYICI DALGALAR ÜZERİNDE TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ HESABI VE HESAP KALİTESİNE İLİŞKİN ÖLÇÜTLENDİRME

ÖZET

İyonosferde toplam elektron içeriğinin belirlenmesinde GPS ölçüleri yaygın olarak kullanılmaktadır. GPS ölçülerinden beklenen hassasiyetin atmosferik koşullar ile doğrudan ilgili olduğu gerçeğiyle iyonosferin doğru bir şekilde modellenmesi GPS ölçüleri ile ulaşılabilecek doğruluğu artırmaktadır. İyonosferden kaynaklanan sinyal gecikmeleri, sinyalin iyonosferde aldığı eğik yol boyunca hesaplanan STEC değerlerinin büyüklüğü ile ilgilidir. Bu değerler iyonosferdeki toplam elektron içeriğinin belirlenebilmesi amacıyla dikey yöndeki elektron aktivitesini tanımlayan VTEC değerlerine dönüştürülür. Herhangi bir epokta bir alıcı için tanımlanan TEİ değerleri, alıcının çevredeki uydulardan aldığı sinyallerin VTEC değerlerinden belirli bir ağırlıklandırma algoritması yardımıyla hesaplanır. GPS konum ölçmeleri için uygulamada uyduların dağılımına göre, GDOP, PDOP gibi kalite ölçütleri tanımlanmıştır. GPS ölçüleri sonucu elde edilen TEİ değerinin kalitesi üzerinde de uydu dağılımı birinci derecede etkilidir. Çalışmadan elde edilen bulgular iyonosfere ilişkin ölçülerin kalitesine ilişkin bir parametrenin tanımlanabileceğini göstermektedir. “Toplam Elektron İçeriğinin Güvenilirliği / R-TEC (Reliability of Total Electron Content)” olarak adlandırılan bu parametre iyonosfer ile ilgili konum hassasiyetinin bir fonksiyonu olarak oluşturulmuştur. R-TEC, alıcı ve alıcının belirli epokta sinyal aldığı uydular için tanımlanmaktadır. Uydular için tanımlanan R-TEC parametresi uygulamada kullanılan ağırlıklandırma algoritmalarından biri olarak önerilmektedir. Bu ağırlıklandırma ölçütünün diğerlerine göre en önemli farkı, içerisinde uydu azimut açısının etkisini de barındırmasıdır. Bu nedenle “Geometrik Kalite Parametresi (Geometrical Quality Parameter - GQP)” olarak isimlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağırlık Fonksiyonu, GPS Sinyalleri, İyonosfer, Kalite Ölçütü, R-TEC.

TOTAL ELECTRON CONTENT COMPUTATION ON CARRIER WAVES AND CRITERIONS REGARDING TO CALCULATION QUALITY

ABSTRACT

GPS measurements are used extensively in determining of total electron content of the ionosphere. Atmospheric conditions of expected accuracy of the GPS measurement is directly related to the fact that accurate modeling of the ionosphere can be obtained from the GPS measurement accuracy increases. Ionospheric signal delays caused by the signal received at the ionosphere for curved path is related to the size of the calculated value of STEC. These values in the ionosphere in the vertical direction in order to determine the total electron density of electrons is converted to activity values that define the VTEC. Any epoch TEI values defined for a receiver in which the receiver of the signals received from satellites VTEC surrounding values are calculated using specific weighting algorithm. Application for measuring the distribution of satellite GPS position, according to the GDOP, PDOP quality criteria have been defined as. GPS measurements obtained on the quality of the TEC value in the satellite distribution is primarily effective. The findings from this study regarding the quality of the measurements relating to the ionosphere shows that the definition of a parameter. "Reliability of Total Electron Content - referred to as R-TEC" this parameter as a function of the ionosphere on the location precision is formed. R-TEC is defined, the receiver and the receiver which is receives the signal for a particular epoch. R-TEC defined for satellites weighting parameter used in the application is suggested as one of the algorithms. This weighting of the criteria most important difference compared to the others, in which the effect of satellite azimuth angle is also hosting. Therefore, Geometrical Quality Parameter (GQP) has been named.

Keywords: Weight Function, GPS Signals, Ionosphere, Quality Criteria, R-TEC.

GİRİŞ

İyonosfer, yerküreden yaklaşık olarak 60 km - 1100 km yüksekte, güneş ışınları ile iyonize olmuş gazlardan oluşan atmosfer tabakasıdır. İyonosfer sivil ve askeri kısa dalga uygulamalarında radyo dalgalarını yansıtarak uzak bölgelerle haberleşmeyi sağlar, uydu haberleşme sistemlerinde ise sinyallerde frekansın fonksiyonu şeklinde kırılmaya neden olur. Uydu sistemleri için düzeltilmesi gereken temel hata kaynaklarından biri olarak, iyonosferin yapısını ve buna bağlı olarak etkisini doğru bir şekilde tespit etmek çok önemlidir. İyonosferin bozucu etkisi temel olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğuna bağlıdır. Güneş ışınımı elektronları moleküllerine ayırarak serbest hale dönüştürürler. Bu nedenle güneş ışınlarının en yoğun olduğu yerel saat 14:00 zamanında iyonosferdeki elektron yoğunluğu en yüksek seviyesindedir. Geceleri ise bu yoğunluk elektronların tekrardan birleşmesi nedeniyle çok düşük seviyelerdedir. İyonosferde günlük değişimin dışında mevsimsel değişimlerde meydana gelmektedir. Mevsimsel değişimler dünyanın güneş etrafında dönmesinden kaynaklanan güneş ışınımındaki değişimden kaynaklanır.

İyonosferdeki elektron yoğunluğunu ifade eden parametre TEİ – Toplam Elektron İçeriği 'dir. TEİ pratikte 1 m² kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olup TECU biriminde ifade edilir. Bu ifade iyonosferdeki elektron aktivitesinin nicel büyüklüğüne karşılık gelmektedir.

İyonosferin yapısını belirlemek amacıyla birçok kuramsal ve deneysel yöntem geliştirilmiştir. GPS sinyalleri ile iyonosfer çalışmaları bu yöntemler içinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir ve diğerlerine göre önemli avantajları bulunmaktadır. GPS sinyali tüm iyonosferin içinden geçerek alıcıya ulaşır, ek bir yatırım maliyeti gerektirmez ve sürekli ölçüm yapabilir. Günümüzde çeşitli çalışma grupları ve kuruluşlar tarafından sürekli gözlem yapan ağlar kurularak, iyonosferdeki serbest elektron aktivitesi küçük ölçekli zamanlarda belirlenmeye ve TEİ haritaları oluşturulmaya çalışılmaktadır.

İyonosferdeki serbest elektronların geçiş yapan sinyal üzerine etkisi, sinyalin frekansına bağlı olarak değişir. GPS sinyalleri ele alındığında farklı frekansa sahip L_1 ve L_2 sinyallerinin iyonosferde uğradığı gecikme farklı olacaktır. İyonosfer, GPS sinyallerinde kod ölçülerini geciktirici, faz ölçülerini ise hızlandırıcı bir etki gösterir. Bu farklılıklar ele alınarak GPS sinyalleri yardımıyla TEİ belirlenir. TEİ belirlemede uygulamada yapay uzunluk ölçüleri veya faz ölçüleri kullanılabilir. Yapay uzunluk ölçüleri kullanılarak hesaplanan TEİ değeri mutlak TEİ, faz ölçüleri kullanılarak hesaplanan TEİ değeri ise bağıl TEİ olarak isimlendirilir. Yapay uzunluk ölçüleriyle TEİ hesaplamak faz ölçülerine nispeten daha kolay bir yöntemdir. Fakat GPS ölçülerinde gürültü ve yansıma etkisi olması ihtimali vardır. Faz ölçümlerinde ise ilk faz belirsizliği ve faz sıçramalarının görülmesi muhtemeldir.

Normal şartlarda yeryüzündeki bir alıcı bir epokta yaklaşık olarak 6-10 civarında GNSS uydusu görür. Her bir uydu için, sinyalin iyonosferde aldığı yol boyunca STEC (Eğik TEİ) değeri hesaplanır. Sinyalin iyonosfer içerisinde kat ettiği yol boyunca oluşan gecikmeyi temsil eden STEC değerleri iyonosferin sinyal üzerindeki etkisinin sayısal büyüklüğünü ifade eder. Daha sonra bu STEC değerleri kullanılarak bir izdüşüm fonksiyonu yardımıyla alıcıya göre yerel zenit doğrultusundaki VTEC (Dikey TEİ) değeri hesaplanır. Bir alıcı için sinyal aldığı tüm uyduların VTEC değerleri sinyalin iyonosferden geçtiği nokta farklı olduğundan birbirinden farklıdır. Alıcının belirlenen epokta, tüm uydulardan hesaplanan bu VTEC değerleri sayesinde uydunun alıcıya göre konumuna doğrudan bağımlı olan bir ağırlıklandırma algoritması yardımıyla TEİ değeri kestirilir.

İyonosfer çalışmalarında kullanılan ağırlıklandırma fonksiyonları uydu yükselme açısının bir fonksiyonudur. Uydunun konumuna bağlı olarak uydu yükselme açısının alıcının zenitine yakın olması durumunda ilgili uydunun ağırlığı zenitten uzak olanlara göre daha büyük seçilir. Böylece alıcının zenitindeki iyonosferik aktiviteyi en iyi tanımlayacak uyduya ait VTEC, alıcının TEİ değerinin belirlenmesinde daha baskın olmaktadır. TEİ hesabında kullanılan ağırlıklandırma algoritmalarının diğer bir amacı iyonosferden kaynaklanması beklenmeyen, uydu sinyalinin alıcıya geliş açısına bağlı gürültü etkilerini en aza indirmektir. Gürültü etkisi genelde düşük uydu yükselme açısına sahip uydularda görülür. Ağırlıklandırma fonksiyonu

yardımla bu uydunun ağırlığı düşük tutularak hesaba etkisi azaltılır ya da ağırlığı sıfır kabul edilerek hesaba etkisi tamamen kaldırılır.

Literatürde kullanılan ağırlıklandırma fonksiyonlarına ek olarak bu çalışmada uydu azimut açısının etkisini de içinde barındıran bir ağırlıklandırma fonksiyonu önerilmiştir. Teorik açıdan düşünüldüğünde, uydu azimut açısı etkisinin uydu yükselme açısına göre daha düşük olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle uydu azimut açısı etkisinin daha düşük olacağı bir fonksiyon tanımlanması gerektiği düşünülmüştür. Fakat bu etkiyi doğrudan göz ardı etmek de pek doğru değildir. Çünkü TEİ değeri solar aktiviteye bağlı olarak değişir ve gün ışığının dünya üzerinde ilerleyişine benzer şekilde yerel en yüksek TEİ değerleri de doğudan batıya doğru kayan bir akış gösterir. Yeryüzündeki bir istasyon noktasının doğu ya da batısı farklı bir yerel saat yani farklı bir güneş aktivitesi altında olduğundan günlük değişim eğrisinin farklı bir bölümünde olmaktadır. Aradaki fark bu yönüyle zamanın diğer bir deyişle boylam farkının bir fonksiyonudur.

Bu çalışmada üzerinde durulan diğer bir konu uyduların alıcıya göre konumlarının istasyon bazlı TEİ hesabında önemli olduğundan hareketle, bu önemi ağırlıklandırmanın yanında bağımsız bir ölçütle ifade etme fikridir. Bu fikirden hareketle GPS baz çözümlerindeki uydu dağılımına ve geometrisine ait GDOP (Geometrik Duyarlık Kaybı) benzeri bir parametrenin TEİ hesabı içinde ortaya konabilmesine dönük bazı uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Ana hareket noktası; uydu ile alıcı (istasyon) arasındaki bağıl konumun, elde edilen TEİ hesabının kalitesini bir başka söyleyişle alıcı atmosferik koşullarını temsil yeteneğini etkileyeceğidir. En istenen ya da en kötü olduğu düşünülen bağıl konumlar için -daha genel ifadesiyle alıcı ve uydu geometrilerini baz alarak- TEİ hesabının alıcı atmosferik koşullarını temsiline ilişkin bir sayısal parametre tanımlama çalışması amaçlanmıştır. Bu parametre çalışma da R-TEC olarak isimlendirilmiştir.

Tüm bu düşünceler altında çalışmanın birinci bölümünde Küresel Konumlama Sistemi'nin (GPS) sinyal yapısı ve gözlemleri hakkında genel bir bilgilendirme yapılmıştır. İkinci bölümde iyonosferin genel yapısı, üçüncü bölümde ise iyonosferin küresel konumlama sistemi sinyallerine etkilerine değinilmiştir. Dördüncü bölümünde iyonosfer etkisinin hesabında kullanılmak üzere yeni bir ağırlıklandırma

fonksiyonu önerilmiş ve iyonosfer hesabına ilişkin bir kalite ölçütü olabilecek R-TEC parametresi tanımlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise bu amaçla yapılan çalışmalara ilişkin sonuçlar gösterilmiştir. Tüm uygulamalar MATLAB programlama dili kullanılarak hazırlanan yazılımlar üzerinde geliştirilmiştir.

1. GPS

GPS projesi 1974 yılında Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve 1978 yılında ilk uydunun uzaya gönderilmesiyle başlamıştır. 24 uydunun bulunduğu ağ 1994 yılında tamamlanmıştır. Projenin devamlılığı ve geliştirilmesi ile ilgili bütçe ABD Savunma Departmanına aittir. GPS sistemi bilimsel ve ticari amaçlı çok yaygın kullanım alanına sahiptir.

GPS'in başlıca özellikleri; yüksek konum belirleme doğruluğuna sahip olması, tüm dünyayı kapsaması ve dünyanın her yerinden sürekli ölçme yapılabilmesi, hava koşullarından bağımsız kullanılabilmesi, sınırsız sayıda kullanıcı tarafından aynı anda kullanılabilmesi vb. biçiminde sıralanabilir.

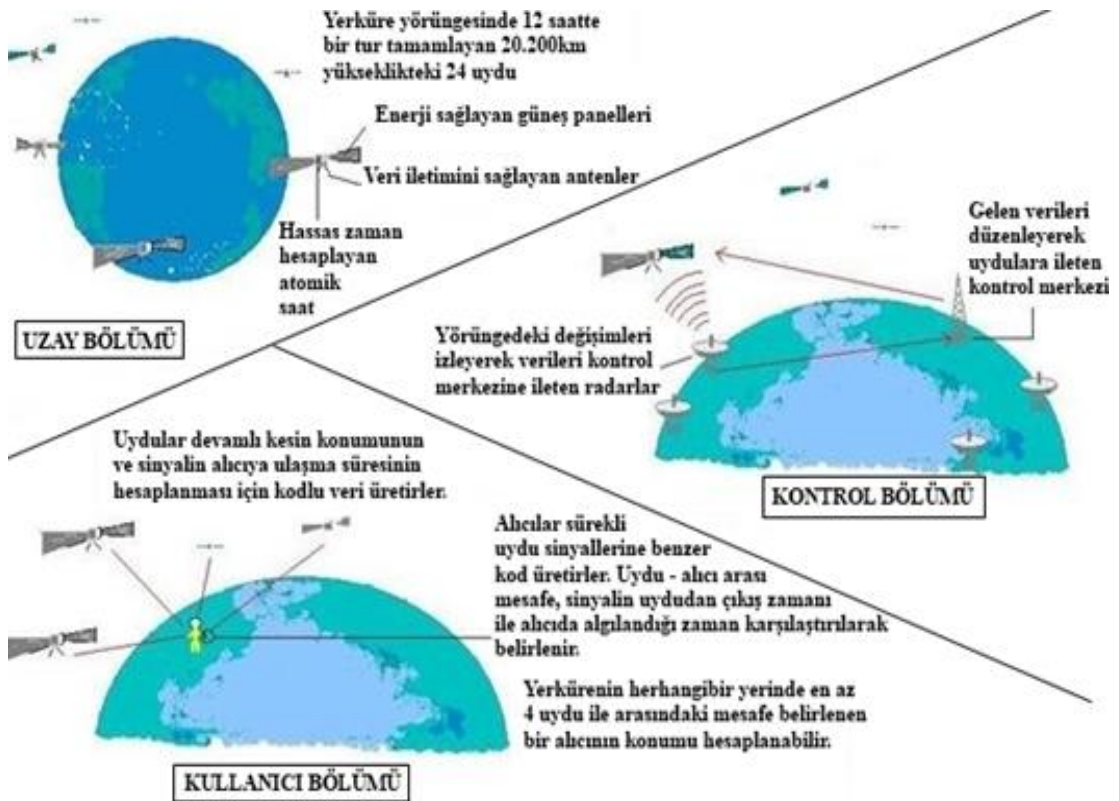
GPS ile konum belirlemede temel işlev uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın belirlenmesidir. Bu uzaklığın belirlenmesi sırasında, uydu efemeris hataları, uydu saat hataları, iyonosferik gecikme etkisi, troposferik gecikme etkisi, multipath etkisi gibi hata kaynakları da mevcuttur. Yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda bu hataların giderilebilmesi için dikkatli bir çalışma gerekmektedir.

GPS sistemi 3 bölümden oluşur. Bunlar; uydu bilgilerini içeren uzay bölümü, bu uyduların kontrolünün sağlandığı kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür.

Uzay bölümü, en az 24 uydudan (21 aktif uydu ve 3 yedek) oluşur ve sistemin merkezidir. Uydular, "Yüksek Yörünge" adı verilen ve dünya yüzeyinin 20.200 km üzerindeki yörüngede bulunurlar. Ekvatora göre yörünge eğimleri 55° 'dir. Günümüzde aktif olarak kullanılan uydu sayısı 31'dir. Bu kadar fazla yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir GPS alıcısının her zaman en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir. Uydular yaklaşık olarak 14000 km/saat hızla hareket ederler ve 12 saatte dünya çevresinde bir tur atarlar. Güneş enerjisi ile çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş enerjisi kesintilerine karşı (güneş

tutulması vs.) yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de küçük ateşleyici roketleri vardır.

Kontrol bölümü, tüm dünyaya yayılmış olan ABD Hava Kuvvetleri gözlem istasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonlar Hawaii, Kolorado, Cape, Ascension Adası, Diego Garcia ve Kwajalein istasyonlarıdır. 2005’de bu ağ altı gözlem istasyonu daha eklenerek genişletilmiştir: Washington D.C, İngiltere, Arjantin, Ekvator, Bahrain ve Avustralya. Bu on iki istasyon her zaman en az iki gözlem istasyonundan bir uyduyu izleyebilmektedir [1]. Bu istasyonlar, Uydu yörüngelerini izlemek, uydunun düzgün çalışmasını sağlamak ve gözlemlemek, GPS zamanını sürdürmek, uydu efemerislerini ve saat parametrelerini tahmin etmek, uydu navigasyon mesajlarını güncellemek, yörüngeyi sürdürmek için küçük uydu manevralarını yönetmek ve ihtiyaç olursa hataları telafi etmek için yeniden konumlandırma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. GPS Bölümleri

Kullanıcı bölümü yerdeki alıcılardır. Çeşitli amaçlarla GPS alıcısı kullanarak konum belirleme uygulamaları, sistemin kullanıcı bölümünü oluşturur.

1.1. GPS Uydularının Sinyal Yapısı

GPS uydularından gönderilen sinyaller f_0 temel frekansından türetilmektedir (Tablo 1.1). Uyduların her biri, iki değişik frekansta sinyal gücü düşük, frekansı yüksek radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Bunlar, $L_1 = 1575.42$ MHz ($\lambda = 0.190$ m) ve $L_2 = 1227.60$ MHz ($\lambda = 0.244$ m) dir. Bu frekansların seçilme nedeni iyonosferik etkinin L bandında daha az olmasıdır. Ayrıca, L_1 frekansının herhangi bir nedenden dolayı kesilmesi durumunda L_2 frekansı yedek frekans görevi görür. Başka bir neden de, çift frekans özelliklerinden yararlanılarak iyonosferik düzeltmelerin yapılabilmesidir. Bu sinyaller bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez. GPS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Yeraltına kazılan tünellerde ise sinyal elde edilemez.

Tablo 1.1. Uydu Sinyallerinin Bölümleri [2]

Uydu Sinyallerinin Bölümleri	Çarpanlar	Frekans (MHz)	Dalga Boyu (cm)	Hata (m)
Temel Frekans	f_0	10,23		0,3
L_1 Taşıyıcı Dalga	$154f_0$	1575,42	19,05	1,9
L_2 Taşıyıcı Dalga	$120f_0$	1227,60	24,43	2,4
P Kodu (L_1 ve L_2 üzerinde)	f_0	10,23	≈ 2933	0,3
C/A Kodu (L_1 üzerinde)	$f_0/10$	1,023	≈ 29326	3
Navigasyon Verisi	$f_0/204600$	50×10^{-6}		

GPS uyduları tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar atmosferden geçerken bükülmeye uğrarlar. L_1 ve L_2 bantları farklı dalga boylarına sahip olduğundan farklı oranda bükülmeye uğrarlar ve aradaki farklılık hesaplanarak atmosferik bozulma etkisi giderilir. Bu sayede çok daha hassas bir konum bilgisi elde edilebilir. Bu etkinin belirlenebilmesi için ölçümlerin çift frekanslı alıcılar ile yapılması gerekmektedir. Tek frekanslı alıcılar için ise atmosfer modelleri yardımıyla daha önceden hesaplanan atmosferik etkiler ön işleme aşamasında ölçülere eklenerek giderilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 1.2. GPS Uydu Sinyalleri [3]

f ₀ =10,23 MHz			
L ₁ 1575,42 MHz	C/A KODU 1,023 MHz	L ₂ 1227,60 MHz	C/A KODU ---
	P KODU 10,23 Mhz		P KODU 10,23 Mhz
50 MHz Uydu Mesajı: 1. Efemeris 2. Saat Parametreleri 3. Sistem Durumu			

Uydu sinyalleri çok güvenilir atom saatleri kullanılarak zamanlanır. Her uydu alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel yapay rastlantısal kod (pseudo-random code) ve ek olarak navigasyon mesajı yayımlar. Bu özel kodlar Korunmalı (Protected P code) kod ve Coarse/Acquisition (C/A code) kodudur. C/A kodu sinyale ilk kilitlenme için uygunken P kodu hassas konumlama için uygundur [4]. P kodundaki bilgi C/A kodunda olduğu gibi sinyalin uydudan gönderiliş zamanını içerir ancak C/A koduna göre 10 kat daha hassastır. L₁ bandı navigasyon verisi ile birlikte C/A ve P kodunu, L₂ bandı ise sadece P kodunu ve navigasyon verisini içermektedir. (Şekil 1.2) Bu sinyallerin temel işlevi sinyalin alıcıya geliş süresini ölçerek, alıcının uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile ışık hızının çarpımına eşittir. Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve iyonosferik gecikme bilgisini içerir.

1.2. GPS Ölçme Yöntemleri

GPS uydularında üretilen L₁ ve L₂ sinyallerinin uydudan çıkış zamanlarına ait bilgi C/A ve P kodları ile taşınmaktadır. Bu sinyallerin sürekli olarak belirli aralıkta kod ve faz ölçülerini kayıt eden alıcılar tarafından algılanması ve işlenmesiyle konum belirleme gerçekleşir. Bu işlem için yapay uzunluk veya faz ölçülerinin kullanıldığı yöntemler kullanılmaktadır.

1.2.1. Yapay uzunluk ölçüleri

GPS sinyalinin alıcıya gelene kadar oluşan zaman farkı uydu-alıcı mesafesinin bir fonksiyonudur. P ve C/A kodlarının uydudan gönderiliş ve alıcıya varış zamanları bilindiğinden uydu ile alıcı arasında yapay uzunluk olarak adlandırılan P_u^m kod gözlemi, sinyalin alıcıda algılandığı t_u zamanı ile sinyalin uydudan çıktığı t^m zamanı

arasındaki farkın, ışığın boşluktaki hızı c ile çarpılması sonucu elde edilir [5]. f_1 ve f_2 frekanslarındaki sinyaller için yapay uzunluk modeli,

$$P_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \alpha \quad (1.1)$$

$$P_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \alpha \quad (1.2)$$

gibidir. Burada, m uydu numarası, u alıcı numarası, $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi, $d_{trop,u}^m$, troposferden kaynaklanan grup gecikmesi, Δt^m ve Δt_u , uydu ve alıcıların saat hataları, $P_{1,u}^m$ ve $P_{2,u}^m$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre yapay uzunluk, ρ_u^m , uydu ile alıcı arasındaki mesafe, ε_1^m ve ε_2^m , f_1 ve f_2 frekanslarına göre uydu yanlılığı, $\varepsilon_{1,u}$ ve $\varepsilon_{2,u}$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcı yanlılığı, α ölçümlerden gelen artık hatalardır [6].

1.2.2. Taşıyıcı faz ölçüleri

Taşıyıcı faz ölçmelerinde, uydudan gönderilen ve alıcıda kaydedilen taşıyıcı sinyal ile alıcı içinde üretilen sinyalin fazlarının karşılaştırılması yapılmaktadır. GPS alıcıları uydulardan alınan sinyallerin o andaki faz kesrini kaydeder fakat sinyalin tur sayısı olarak tanımlanan faz değerinin kaç tur değiştiği bilinmemektedir. GPS uydusundan alıcıya ulaşana kadarki fazın değişimini modellemek için alıcının kaydettiği faz değerine bir N^m tamsayı değeri eklenir. Faz sayısının (Φ), dalga boyu (λ) ile çarpımı alınan yolu verir. Faz sayısı için kurulacak model,

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 \Phi_{trop,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m + \alpha \quad (1.3)$$

$$\lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 \Phi_{trop,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \lambda_2 N_2^m + \alpha \quad (1.4)$$

gibidir. Burada, m uydu numarası, u alıcı numarası, $\Phi_{ion1,u}^m$ ve $\Phi_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklanan faz gecikmesi, $\Phi_{trop,u}^m$, troposferden kaynaklanan faz gecikmesi, $\Phi_{1,u}^m$ ve $\Phi_{2,u}^m$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcının kaydettiği faz değeri, N_1^m ve N_2^m , f_1 ve f_2 frekanslarına göre m uydusundan alınan işaretteki ilk faz belirsizliğidir [6].

1.3. GPS Çözümlerinde Kullanılan Doğrusal Bileşimler

Doğrusal bileşimler; taşıyıcı faz ya da kod gözlemleri ile tam sayı belirsizliklerinin veya iyonosfer ile ilgili bilgilerin elde edilmesi için, çözümde kullanılan algoritmaya bağlı olarak, ikili fark, üçlü fark, farkı alınmamış şeklinde oluşturulan bileşimlerdir.

Tablo 1.3. Doğrusal Bileşimler [7, 8]

Doğrusal Kombinasyon	Açıklama	λ (m)	Doğrusal Kombinasyon Çarpanı	
			$\kappa_{1,1}$	$\kappa_{1,2}$
L ₁	L ₁ orjinal	0,19	1	0
L ₂	L ₂ orjinal	0,24	0	1
L ₃	İyonosferden bağımsız	-	$\frac{f_1^2}{f_1^2-f_2^2}=2,5$	$-\frac{f_2^2}{f_1^2-f_2^2}=-1,5$
L ₄	Geometriden bağımsız	-	1	-1
L ₅	Geniş aralık	0,86	$\frac{f_1}{f_1-f_2}=4,5$	$-\frac{f_2}{f_1-f_2}=-3,5$
L _{n1} (n ₅ ile L ₃)	Dar aralık	0,107	$\frac{f_1}{f_1+f_2}=0,56$	$\frac{f_2}{f_1+f_2}=0,44$

1.3.1. İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim

İyonosferden bağımsız doğrusal bileşimler için,

$$L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2) \quad (1.5)$$

eşitliği yazılır. Eşitlik (1.5) uydusu ve alıcısı tanımlayan indisler göz ardı edildiğinde,

$$L_3 = \rho \cdot \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 \lambda_1 n_1 - f_2^2 \lambda_2 n_2) \quad (1.6)$$

faz ölçüsü eşitliği oluşur. Buradaki ρ terimi, uydusu ile alıcısı arasındaki uzaklığı, troposferik gecikmeyi ve uydusu alıcısı saat hatalarını içermektedir [7].

1.3.2. Geometriden bağımsız doğrusal bileşim

L_1 ve L_2 faz ölçülerinin farkının alınmasıyla geometriden bağımsız doğrusal bileşim (L_4) elde edilir [7].

$$L_4=L_1-L_2 \quad (1.7)$$

Eşitlik (1.7) alıcı saat hataları, yörünge ve istasyon koordinatları gibi geometrik değerlerden bağımsız hale getirilerek,

$$L_4=\left(\frac{f_1^2}{f_2^2}-1\right)I_1+(\lambda_1n_1-\lambda_2n_2) \quad (1.8)$$

eşitliği elde edilir [7, 9, 10].

İyonosfere bağlı gecikmenin elde edilmesinde bu doğrusal bileşimler yaygın olarak kullanılmakta olup, TEİ hesabında da tez içindeki uygulamalarda da L_4 doğrusal bileşiminden yararlanılmıştır.

2. İYONOSFER YAPISI

İyonosfer, hava moleküllerinin iyonlaşmış halde bulunduğu ve elektrik iletkenliğini kazandığı, yeryüzünden ortalama 60 km - 1100 km arasında yer alan, dünyayı çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazlardan oluşan atmosfer tabakasıdır.

İyonosferdeki iyonlaşma iyonosferin her bölgesinde aynı değildir. Yükseklik arttıkça iyonlaşma miktarı da artmaktadır. Bunun temel sebebi güneş ışınımı ile taşınan enerjinin iyonosferin her bölgesinde aynı olmamasıdır. Bir başka neden de yükseklik arttıkça iyonosferdeki tek atomlu gazların oranının artmasıdır. İyonosferin güneşe göre olan konumu zamanla değiştiğinden iyonlaşma miktarı zamana göre de değişmektedir [6].

İyonosfer tabakasında bulunan ve atomlardan kopmuş serbest elektronlar elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkilemektedir. İyonosferdeki serbest elektron miktarı zaman, konum, jeomanyetik hareketlilik gibi birçok etkene bağlıdır. İyonosferin güneşten gelen ışınlar nedeniyle serbest elektron miktarı arttığından doğal olarak gündüz saatlerinde yoğunluğu daha yüksek olmaktadır.

İyonosfer tabakasında bulunan elektron yoğunluğunu belirten birim TEİ (Toplam Elektron İçeriği) dir ve 1m^2 tabanlı silindir içerisindeki toplam elektron sayısını ifade eder. Birimi TECU'dur. 1 TECU, $10^{16}\text{el}/\text{m}^2$ 'lik elektron yoğunluğuna karşılık gelir [9, 11].

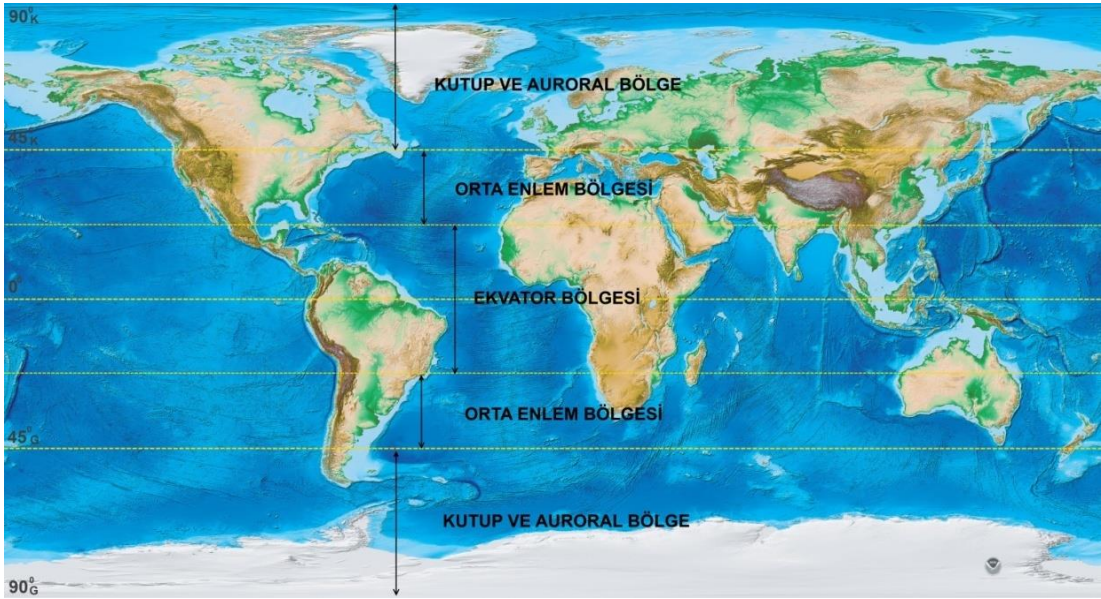
2.1. İyonosferin Genel Yapısı

İyonosfer, yüksek enlem bölgesi, orta enlem bölgesi ve kutup bölgesi olmak üzere bilimsel çalışmalarda temel alınmak üzere üç ana bölgeye ayrılmıştır.

Auroral ve kutup bölgelerinden oluşan yüksek enlem bölgesinde, ekvatora oranla daha düşük elektron yoğunluğu ve daha fazla kısa dönemli iyonosferik değişimler gözlenmektedir [12, 13].

Havadaki atomları harekete geçiren solar yüklü parçacıkların, üst atmosferde (10 – 1000 km) meydana getirdiği olağan dışı parlak ışımaya olayına aurora denmektedir. Aurora, kuzey yarım kürede aurora borealis, güney yarım kürede aurora australis olarak adlandırılmaktadır. Auroral bölge, kuzey enlemlerde görülmekte olup yaklaşık 55°K ile 65°K coğrafi enlemleri arasında ve 5° - 7° genişliğindedir. Aktif güneş rüzgarlarıyla birlikte yersel manyetik alan çizgileri boyunca taşınan yüklü elektronlar, nötr atmosfer bileşenlerine hızla çarpıp ultraviyole radyasyon ve görünür emisyonuna neden olurlar. Bu tür değişimler manyetik fırtınanın belirtisidir ve TEİ'in düzensiz değişimine neden olurlar.

Yüksek enlem bölgesinin diğer bir kısmını, auroral bölgenin üzerindeki enlemlerde bulunan kutup bölgesi oluşturur. Bu bölgede manyetik alan çizgilerinin, güneş rüzgar plazmasını aktarması sonucu 50 km – 1000 km uzunluğunda ve 250 km – 400 km yükseklikte bulunan yoğun elektron grupları oluşmaktadır [14].

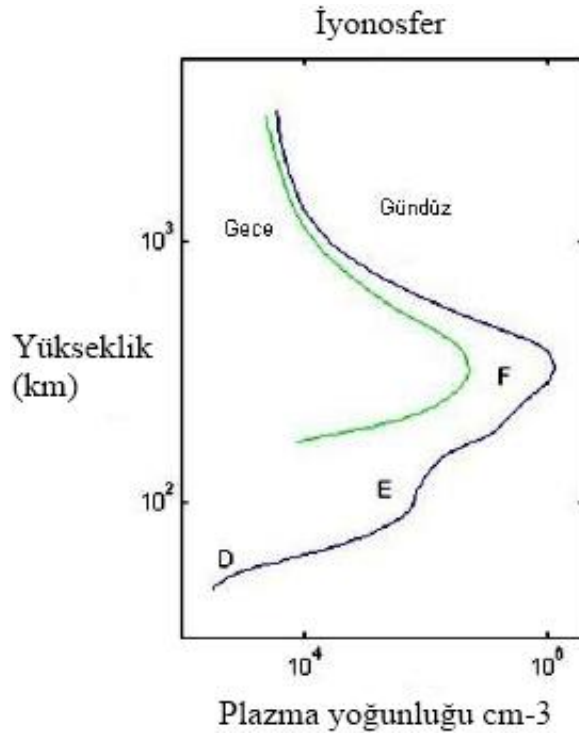


Şekil 2.1. İyonosfer Bölgeleri

Orta enlem bölgesi, iyonosferdeki değişimlerin en az olduğu bölgedir. Bu bölgede oluşan iyonlaşma, genellikle güneşten gelen X ışını emisyonu ve enerji yüklü ultraviyole radyasyon ile üretilir. İyonlaşma, nötr atmosfer yanında iyonize olmuş kısımları da içine alan kimyasal işlemlerle son bulur. Ülkemiz orta enlem bölgesi içinde yer almaktadır.

Ekvator bölgesi, güçlü güneş radyasyonu ve yoğun iyonlaşma nedeniyle elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu bölgedir. Güneşin yüksek radyasyon seviyesi ve dünyanın manyetik alanı ile elektronlar ekvatorial bölgeye doğru hareket ederler. Ekvatorial bölgedeki elektron yoğunluğunun yükselmesine neden olan bu durum ekvatorial anomali olarak adlandırılır.

İyonosfer, farklı yüksekliklerde farklı dalga boylarına sahip güneş ışınlarının emilmesi ve iyonlaşma farklılıkları nedeniyle D, E, F1 ve F2 olarak nitelendirilen tabakalara ayrılmıştır. Bu tabakalar birbirlerinden belli sınırlar ile ayrılmış tabakalar değildir; üst üste geçmişlerdir ve kalınlıkları birkaç kilometre ile yüzlerce kilometre arasında değişim göstermektedir. Tabakaların sayısı, yükseklikleri ve iyonlaşma (elektron) yoğunlukları hem zamanla hem de coğrafik olarak değişmektedir.



Şekil 2.2. İyonosfer Tabakaları

D tabakası, iyonosferin yeryüzüne en yakın tabakasıdır. Bu tabaka yeryüzünden 60 km - 85 km yükseklikte bulunur ve iyonlaşmanın en az olduğu bölgedir. Bu bölgede sadece gündüzleri düşük seviyeli iyonlaşma meydana gelmekte ve GPS ölçülerine etkisi olmadığı bilinmektedir [15]. E tabakasının yeryüzünden yüksekliği 85 km - 145 km'dir. Bu katmanda iyonlaşma öğle saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşır. Gün

batımına doğru iyonlaşma azalmaya başlar ve gece yarısı tamamen kaybolur. E katmanı GPS sinyalleri üzerinde kırınım etkisi yaratır ve zayıflatma etkisi D katmanına göre oldukça azdır. F₁ tabakası iyonlaşmanın güneş ışınlarının açısıyla değiştiği 140-200 km yükseklikteki tabakadır. GPS sinyalinin iyonosfer de gecikmesinin %10'u bu tabakada gerçekleşmektedir [15]. F₂ tabakası düzensiz ve en fazla iyonlaşmanın görüldüğü, yeryüzünden 200 km - 1000 km yükseklikte bulunan ve GPS ölçülerine en çok etkisi olan tabakadır. Bu tabakada elektron yoğunluğu zaman, mevsim ve güneş lekesine bağlı değişim gösterir. F₂ tabakası ekvator bölgesinde çok düzensizdir; gece saatlerindeki elektron yoğunluğu, öğlende ki düzeyinden fazla olabilmektedir [8, 16]. En yüksek elektron yoğunluğu 350 km yüksekte bulunmaktadır.

Tablo 2.1. İyonosfer Tabakalarında Elektron Yoğunluğu

Açıklama	D	E	F ₁	F ₂
Yükseklik (km)	60-85	85-140	140-200	200-1000
Elektron Yoğunluğu (cm ⁻³) Gündüz	10 ² -10 ⁴	10 ⁵	3x10 ⁵	5x10 ⁵
Elektron Yoğunluğu (cm ⁻³) Gece	-	2x10 ³	10 ³	3x10 ⁵
Nötr Gazların Yoğunluğu (cm ⁻³)	10 ¹⁵	2x10 ¹²	10 ¹⁰	10 ⁶ -10 ¹⁰

2.2. İyonosfer Tabakasında Meydana Gelen Değişimler

İyonosfer tabakasında, sinyal yoluna etki eden serbest elektronların sayısı zaman, iklim koşulları, coğrafi enlem, güneş ve jeomanyetik değişim gibi etmenlere bağlıdır [15]. Güneşin tepede olduğu gün ortasındaki saatlerde Toplam Elektron İçeriği değeri yüksek, gece ise düşüktür. TEİ yapısı yaz, kış ve ekinoks (Mart, Eylül) dönemlerinde farklılık gösterir. Coğrafi enleme bağlı değişimler günlük ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak incelenebilir [17]. TEİ'ni etkileyen başka bir parametre güneş aktivitesidir. Bu değişimin derecesi, güneş lekesi sayısındaki periyodik değişimle ilişkilendirilebilir. Güneş lekesi sayısı 11 yıllık periyotlarla en yüksek değere ulaşır ve buna bağlı olarak TEİ seviyeleri de değişir. TEİ'deki değişimler düzenli ve düzensiz gradyentler olmak üzere iki ana bölümde incelenebilir.

TEİ'deki günlük en yüksek ve en düşük değişimleri, kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde meydana gelen iyonosfer değişimleri, düzenli gradyentlere örnek verilebilir.

Düzensiz gradyentler, nötr atmosfer ile iyonosfer arasındaki iletişim; manyetik fırtınalar ve güneş parçacık olayları nedeniyle ortaya çıkan ve TEİ'de düzensiz değişimlere neden olan gezici iyonosferik bozucu etkilerdir [18]. Gezici iyonosferik bozucu etki (Travel Ionospheric Disturbance –TID), etki alanlarına göre geniş, orta ve küçük ölçekli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Tablo 2.2. Gezici İyonosferik Bozucu Etki (TID) Alanları

TID Türü	Zaman Aralığı	Etki Alanı
Küçük Ölçekli	Birkaç dakika	10 km – 20 km
Orta Ölçekli	10 dk – 1 saat	100 km – 200 km
Geniş Ölçekli	30 dk – 3 saat	1000 km

Küçük ölçekli gezici iyonosferik bozucu etkinin oluşturduğu parlamaya olayı GPS sinyallerinde iki tür etkiye neden olur; bunlar genlik parlaması ve faz parlamasıdır [19, 20].

Genlik parlaması, iyonosferde oluşan düzensizliklerin kırılma etkisine yol açması nedeniyle ortaya çıkan kısa dönemli sinyal zayıflamasıdır. Sinyal zayıflaması çok şiddetli olursa alıcıya kilitlenme için gerekli eşik değerin çok altına düşülür; faza kilitlenme tekrar oluşuncaya kadar kısmen ya da tamamen faz kaybı olur.

Faz parlaması, TEİ'deki hızlı fakat çok küçük değişimlerin neden olduğu faz değişimleridir [15, 21]. Genlik zayıflaması kuvvetli olduğunda, uzaklık hatası meydana gelir ve alıcı taşıyıcı fazı hızla değişir.

Sinyal yolu üzerindeki elektron sayısındaki hızlı değişimler L_1 ve L_2 sinyallerinde faz sıçramalarına neden olmaktadır. L_2 sinyalindeki sıçrama, sinyal yapısının zayıf olması nedeniyle L_1 sinyalinden daha fazladır ve iyonosferdeki hızlı değişimin etkisini incelemeye kullanılabilir [22].

2.3. İyonosferdeki Düzensiz Değişimlere İlişkin İndisler

İyonosfer tabakasındaki düzensiz değişimlerin jeomanyetik etkinin artmasıyla birlikte meydana geldiği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [13, 23-25]. Özellikle güneş kaynaklı manyetik aktiviteler düzensiz değişimlere neden olmaktadır.

Güneş parlamaları sonucu kopan parçacıkların etkisiyle manyetik fırtınalar oluşur. Bu nedenle yeryuvarının manyetik alanı değişime uğrar, kopan parçacıklar dünyanın nötr atmosferi ile etkileşime girerek güçlü elektrik alanı oluşturur. Bunun sonucu olarak iyonosfer de değişimler ortaya çıkar [15].

Fazlarda ilerleme ve kodlarda gecikmeye neden olan iyonosferik gecikme, üretilen elektrik alanından dolayı bir dakika içerisinde büyük ölçüde değişir. Kutup bölgelerinde bu süre birkaç saattir. Bu süre içinde GPS alıcıları sinyal almakta zorlanır ya da sinyal alamaz [5].

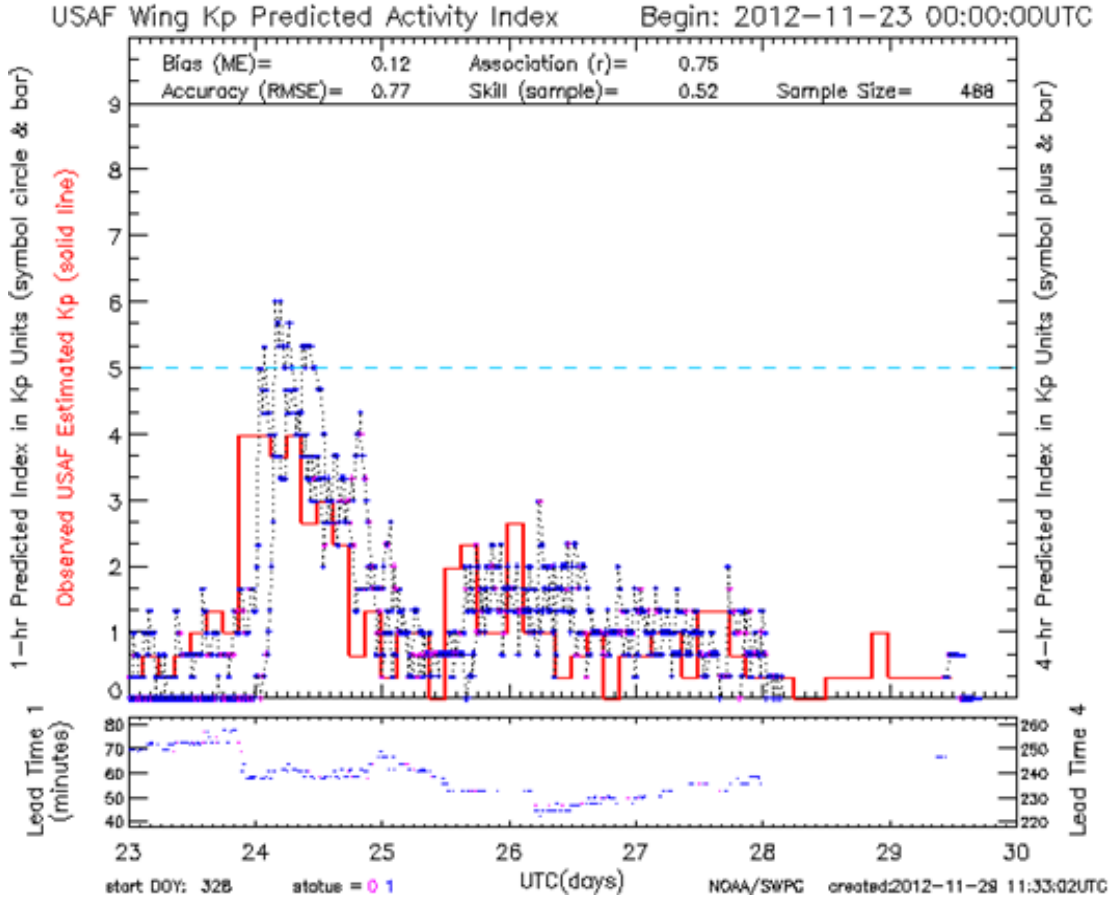
İyonosferik değişimleri göstermek amacıyla K_p indisi, D_{st} indisi, güneş patlaması (solar flare) ve güneş yayılımı (solar flux) değerleri GPS verilerinin analizinde yardımcı olarak kullanılmaktadır [22, 26]. Özellikle iyonosferdeki değişimleri yakalamakta zayıf olan küresel modellerle yapılan iyonosfer çalışmalarında bu parametrelerin dikkate alınması elde edilen TEİ değerlerinin gerçeği yansıtmıyorsa yansıtmadığı hakkında bir fikir sahibi olmamızı sağlar.

2.3.1. K_p indisi

K_p indisi, orta enlem bölgesinde bulunan 13 istasyondan, 3 saatlik aralıklarla 1932 yılından beri çeşitli kurumlar tarafından (örneğin, ISGI-Jeomanyetik İndisler için Uluslararası Servis) üretilmektedir. İndisin hesaplanmasında tek bir gözlem merkezinin kesin gün olarak kabul edildiği zamana ait ölçümler referans alınır.

K_p değerleri manyetik alan farklılıklarına göre 0-9 arasında değişmektedir [27]. Global K_p değerleri için veri formatı 0o, 0+, 1-, 1o, 1+, 2-, 2o, 2+,....., 8o, 8+, 9-, 9o biçiminde olup “-“ işareti 1/3 çıkarma “o” herhangi bir değişiklik yapmama “+” işareti 1/3 ekleme anlamına gelmektedir.

Kp indisi güneşin manyetik alan etkisi ile parçacık yayılımını ölçmektedir. Manyetik fırtınanın derecesine göre Kp indis değerleri Tablo 2.3’de ve örnek Kp grafiği Şekil 2.3’de verilmiştir.



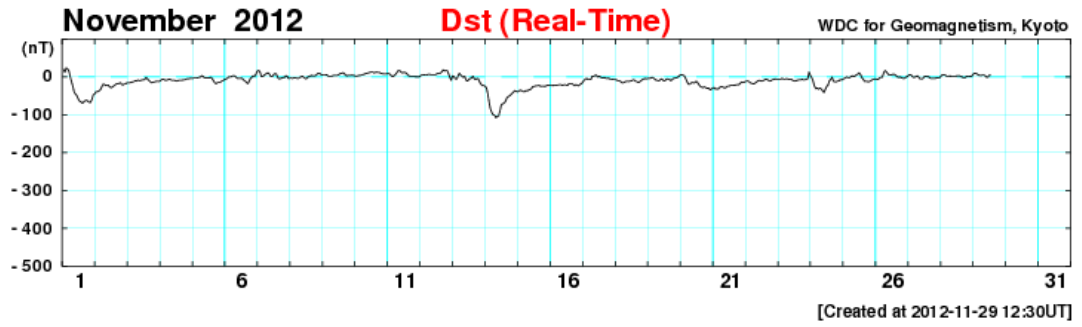
Şekil 2.3. Örnek Kp İndis Grafiği (23-29 Aralık 2012 Kp İndis Değişimi) [40]

2.3.2. Dst indisi

Dst indisi, 4 gözlem istasyonundan alçak enlem manyetogramları kullanılarak, 1 saatlik aralıklarla elde edilen, manyetik fırtınayı, derecesini ve iyonosfer tabakasındaki değişimleri gösteren indistir. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Dst değerindeki azalma jeomanyetik fırtına şiddetinin arttığını göstermektedir. Dst birimi nanoTesla (nT)’dir [28]. Manyetik fırtınayı ifade eden Dst indis değerleri Tablo 2.3’de ve örnek Dst grafiği Şekil 2.4’de gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Manyetik Fırtına Seviyeleri [29]

Manyetik fırtınanın derecesi	Kp indisi	Dst indisi (nT)
G1 Küçük	K=5	Dst>-20
G2 Orta	K=6	-20>Dst>-50
G3 Kuvvetli	K=7	-50>Dst>-100
G4 Ağır	K=8	-100>Dst>-250
G5 Aşırı	K=9	-300>Dst



Şekil 2.4. Örnek Dst İndis Grafiği (29 Aralık 2012 Dst İndis Değişimi) [41]

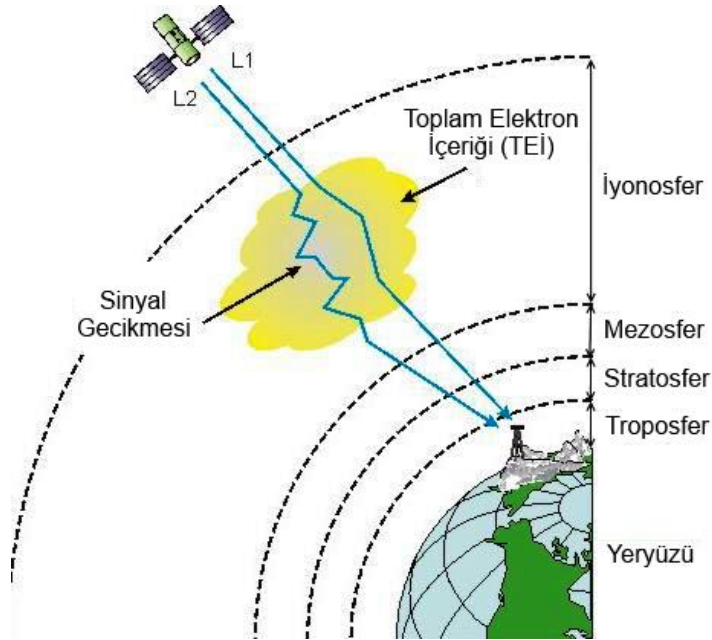
3. İYONOSFERİN GPS SİNYALİNE ETKİSİ

3.1. Elektromanyetik Dalgaların İyonosferdeki Yayılımı

İyonosferi delip geçebilen en düşük dalga frekansı kritik frekans ya da plazma frekansı olarak adlandırılır. İyonosfer yapısı gereği 30 MHz ve altında frekanslardaki dalgaları yansıtmaktadır. 50 MHz'in çok üstündeki sinyaller iyonosferden geçebilir fakat iyonosferde zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar [9]. Aynı durum GPS sinyalleri içinde geçerlidir. Elektromanyetik dalganın bir ortamdaki yayılımını gösteren kırılma indisi,

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.1)$$

biçimindedir. Burada; c, ışığın boşluktaki hızı, v, elektromanyetik dalganın ortamdaki hızıdır.



Şekil 3.1. Atmosferik Gecikme

GPS kod ve faz ölçülerinin hızları birbirinden farklıdır. Faz ölçüleri için sinyal hızı v_p ve kod ölçüleri için sinyal hızı v_g olarak kabul edilir. Bunlara karşılık n_p ve n_g kırılma indisleri birbirinden ayrılmaktadır. Yani GPS ölçü türüne bağlı olarak kırılma indis değerleri değişmektedir.

Atmosfer kırılma indisi bakımından iki temel katmana ayrılabilir, alt atmosfer (troposfer) için $n_p > 1$, üst atmosfer (iyonosfer, magnetosfer) için ise $n_p < 1$ dir. İyonosferdeki kırılma indisi n frekans bağımlıdır. İyonosfer, saçıcı bir ortam olduğundan iki frekansın bileşimi ile iyonosferik etki giderilebilmektedir [8].

Appleton-Hartree tarafından türetilen iyonosferik kırılma indisi n ,

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1-X-iZ)} \pm \sqrt{\left(\frac{Y_T^4}{4(1-X-iZ)^2} + Y_L^2\right)}} \quad (3.2)$$

biçiminde yazılabilir. Bu eşitlikte,

$$X = \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 m_e \omega^2}, \quad Y_L = \frac{e B_L}{m_e \omega}, \quad Y_T = \frac{e B_T}{m_e \omega} \quad \text{ve} \quad Z = \frac{v}{\omega} \quad (3.3)$$

ifade eder. Ayrıca N_e , elektron yoğunluğunu (el/m^3), e , elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-31}$), m_e , elektron kütesini, ϵ_0 , serbest uzaydaki dielektrik sabitini ($9,107 \times 10^{-31} \text{ kg}$), v , elektron çarpışma frekansını, B , dünyanın manyetik alanının akı yoğunluğunu (Tesla), θ , gelen dalganın ilerleme yönü ile manyetik alan arasındaki açıyı göstermektedir.

GPS'de kullanılan frekanslar için dünyanın manyetik alanını içeren terimlerin bir kısmı ve elektron çarpışmaları ihmal edildiğinde kırılma indisi,

$$n = 1 - \frac{X}{2(1 \pm Y_L)} \quad (3.4)$$

olur [5]. Yine dünyanın manyetik alanının boylamsal etkilerini (Y_L) yok sayıp gerekli düzenlemeler yapılırsa faz ölçüleri için kırılma indisi,

$$n_p = 1 - \frac{40.3}{f^2} N_e \quad (3.5)$$

elde edilir.

Aynı işlemler kod ölçüleri için yapıldığında kod ölçüleri kırılma indisi,

$$n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e \quad (3.6)$$

çıkar.

İyonosferin kırılma indisi bilindiğinde iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi, faz ilerlemesi, Doppler kayması gibi etkiler hesaplanabilir [30]. k alıcısı ve i uydusu arasındaki gerçek uzunluk S için,

$$S = \int_k^i n_p ds \quad (3.7)$$

eşitliği geçerlidir.

Bu integral yardımıyla GPS gözlemleri için iyonosferik gecikme değeri,

$$I_{Fk}^i = \frac{\alpha E}{f_F^2} \quad (3.8)$$

eşitliği elde edilir.

İyonosferik gecikme kod gözlemlerine “+” ve faz gözlemlerine “-“ işaretli olarak eklenir. I_{Fk}^i , F frekansı için iyonosferik gecikme; f_F , GPS taşıyıcısının frekansı ($F=1,2$); E, sinyal yolu boyunca toplam elektron içeriği (TECU biriminde); $\alpha=4,03 \cdot 10^{17} \text{ m s}^{-2} \text{ TECU}^{-1}$ sabit katsayıdır [8].

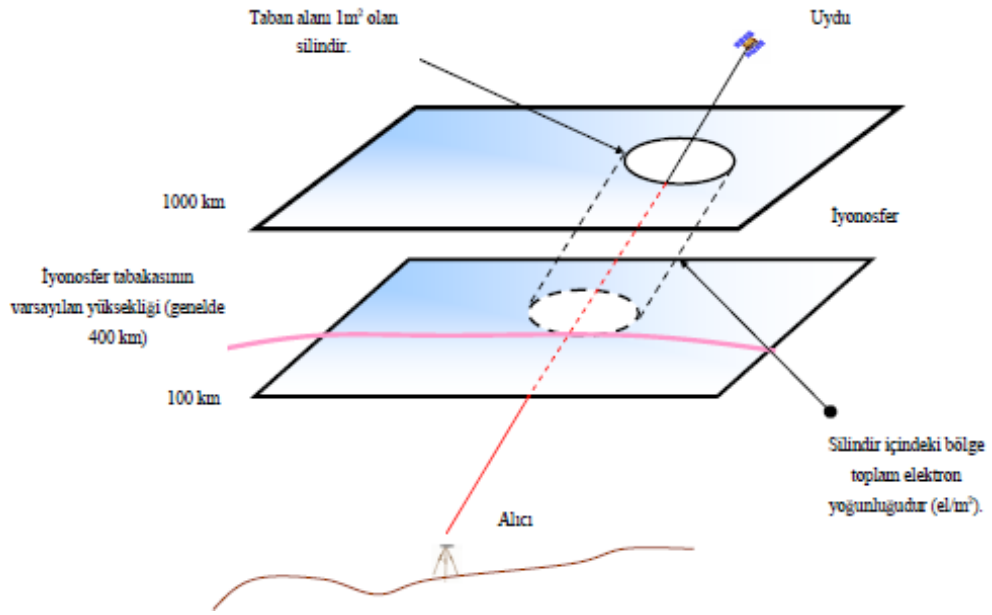
İyonosferik gecikme günün saatine, mevsimlere, güneşin dönüşüne, alıcının enlem boylamına ve dünyanın manyetik alanına bağlıdır. Gündüz ve geceye bağlı olarak 1-20 m arasında değişiklik gösterilebilir. Ayrıca iyonosferdeki sürekli değişimleri ve toplam elektron içeriğini etkileyen bu parametreler TEİ değerinin ölçü hassasiyetini ifade etmektedir.

İki frekanslı alıcılar ile iyonosferik gecikme büyük bir oranda giderilebilir. Tek frekanslı alıcılar için iyonosfer hala büyük bir hata kaynağıdır. Tek frekanslı alıcılardan elde edilen verileri değerlendirirken çeşitli modeller kullanılarak bu etki giderilmeye çalışılır [31].

3.2. Toplam Elektron İçeriği Parametresinin Elde Edilmesi

TEİ, iyonosferdeki 1 m² kesitli silindir boyunca toplam elektron miktarı olup TECU biriminde gösterilir ve 1 TECU = 10¹⁶ e1/m² dir. TEİ artı işaretli bir değerdir; eksi bir değer olursa bunu nedeni alıcı ve uydu hatalarıdır.

GPS uydularından gelen sinyallerdeki iyonosferden kaynaklanan etkiye bağlı olarak sinyalin uydudan alıcıya iletim zamanındaki değişim TEİ ile doğru orantılıdır. İyonosferin varlığı sinyal gecikmesi nedeniyle GPS yapay uzunluk ölçüm değerlerini arttırırken, faz ilerlemesi nedeniyle taşıyıcı faz ölçüm değerlerini azaltmaktadır. Ölçümlerin doğrusal bileşimleri oluşturularak taşıyıcı faz ve yapay uzunluk ile TEİ hesaplanabilmektedir. GPS'in iyonosferik toplam elektron içeriğinin kestiriminde kullanılabildiği birçok çalışmada gösterilmiştir [11].



Şekil 3.2. Toplam Elektron İçeriğinin Grafıksel Gösterimi [32]

TEİ hesabında, iyonosferin saçıcı ortam olmasından dolayı iki frekanslı alıcılar kullanılır. GPS ile elde edilen TEİ'nin doğruluğu 3x10¹⁴ e1/m² dir. Bu değeri sinyal yolundaki değişim ile açıklamak gerekirse; L₁ sinyal yolu uzunluğunda 5mm, L₂ sinyal yolu uzunluğunda 3 mm etkide bulunur [33]. Yükseklik açısına bağlı değişim 2 TECU civarındadır. Bu nedenle hesaplamada farklı uydu yükselme açılarının göz önüne alınması gerekir. İyonosferdeki tek tabaka yüksekliğinin değişik değerlerde alınması da TECU değerinde 2 birimlik değişime neden olmaktadır. Literatürdeki

çeşitli çalışmalarda iyonosfer yüksekliğinin 300 km ile 450 km arasında değişen değerlerde seçildiği görülmüştür. [9]'de 428,8 km'lik iyonosfer yüksekliğinin Chapman profiline en iyi uyumu sağladığı gösterilmiştir.

TEİ iki şekilde ifade edilebilir. Bunlardan ilki alıcı ile uydu arasındaki eğik hat boyunca hesaplanan toplam serbest elektron miktarı STEC (Eğik TEİ) ikincisi de alıcının yerel zeniti doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarı VTEC (Düşey TEİ)'tir.

TEİ değeri yapay uzunluk kullanılarak, faz kullanılarak ve ikisinin bileşiminden oluşan karma yöntemler kullanılarak olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanabilir. Yapay uzunluk verileri kullanılarak hesaplanan TEİ mutlak TEİ, faz verileri kullanılarak hesaplanan TEİ bağıl TEİ olarak isimlendirilir. Yapay uzunluk ile TEİ hesaplamak basit ve uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajı ise yapay uzunluk ölçümlerinin gürültülü olması ve yansıma etkisinin oluşabilmesidir. Faz ölçümleri ise daha az gürültülüdür ve yansıma etkisi daha azdır fakat ilk faz belirsizliği ve faz sıçramaları nedeniyle TEİ hesaplamak zor olmaktadır. Diğer bir yöntem ise hem yapay uzunluk hem de faz ölçümlerinin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde ise faz belirsizlikleri giderilebilir ve daha hassas TEİ değerleri hesaplanabilir, fakat faz sıçramaları sorunu devam etmektedir [34].

Bu çalışmada faz verileri kullanılarak STEC ve VTEC belirlemekten bahsedilecektir. Faz ölçümlerinden STEC hesaplayabilmek için öncelikle ΔN belirsizliğini giderecek bir yöntem uygulanmalıdır. Literatürdeki pek çok yöntemde faz verilerinin kullanımı için yapay uzunluk ile seviyelendirme tekniği kullanılmaktadır. Faz değerlerinde herhangi bir kopma olmadığı sürece yapay uzunluk ve faz ölçümleri arasındaki farkın ortalaması faz ölçümlerine eklenerek faz ölçümleri için uygun bir seviyelendirme yapılabilir ve ΔN^m belirsizliği giderilmiş olur. Faz ile yapay uzunluk ölçümleri arasındaki farkın, faz sıçramalarının olmadığı bir zaman dilimindeki ortalaması dayanak değerleri olarak isimlendirilir. Bu dayanak değeri bağıntısı Eş. 3.9'da verilmiştir.

$$B = \frac{1}{N_{me}} \sum_{n_{me}=1}^{N_{me}} (P_{4,u}^m(n_{me}) - L_{4,u}^m(n_{me})) \cong -\Delta N^m \quad (3.9)$$

B dayanak değerini, N_{me} faz datalarının sürekli olduğu zaman dilimini göstermektedir. Faz verileri bir gün boyunca sürekli değildir. Bu yüzden bir gün için birden fazla dayanak değeri hesaplanır. Hesaplanan bu dayanak değeri ile faz ölçümleri yapay uzunluk seviyelerine getirilir ve STEC değeri Eş. 3.10'daki gibi hesaplanır. Bu yöntemle faz belirsizliği giderilmiş olur.

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \left(B + L_{4,u}^m(n) + c(DCB_m + DCB_u) \right) \quad (3.10)$$

STEC değerinden yola çıkarak VTEC değeri bir izdüşüm fonksiyonu ile aşağıdaki gibi hesaplanır [34].

$$VTEC_n^m(n) = \frac{STEC_u^m(n)}{M(\epsilon_m(n))} \quad (3.11)$$

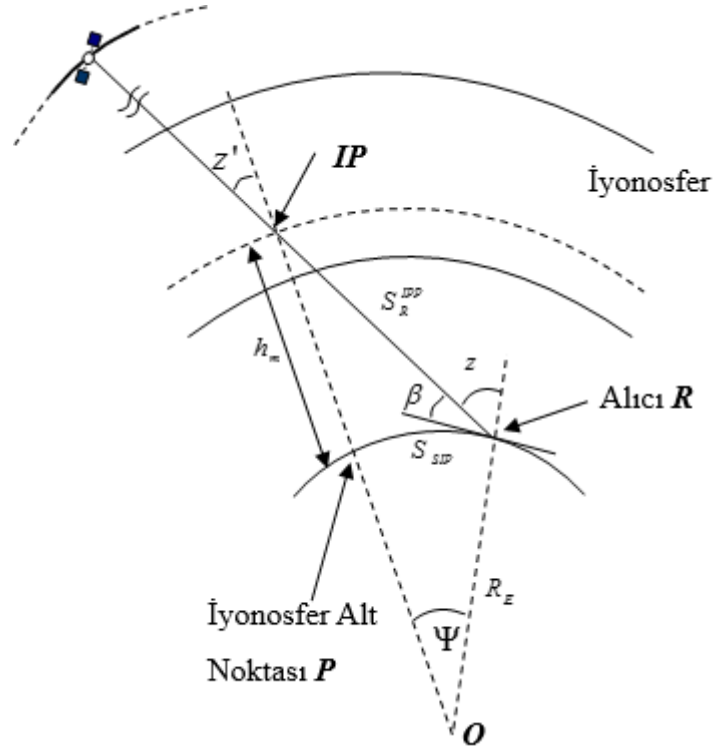
$$M(\epsilon_m(n)) = \left[1 - \left(\frac{R \cos \epsilon_m(n)}{R+h} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.11) ve (3.12)'de ϵ uydu yükselme açısını, n ölçüm anını, R dünyanın yarıçapını ifade etmektedir. R dünyanın ekvatorial yarıçapı olup 6,378,137'm dir. İyonosfer yüksekliği, en yüksek iyonlaşmanın olduğu yükseklik olup h ile gösterilmektedir. İyonosfer yüksekliği için genelde 300 - 450 m arası yükseklikler seçilmektedir.

3.3. İyonosfer Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Modeller

3.3.1. Tek tabaka modeli

İyonosferik gecikmenin elde edilmesine yarayan ve iyonosferin yapısına ait önemli bilgiler içeren TEİ parametresinin hesabında geometriden bağımsız doğrusal bileşimler kullanılmaktadır. İyonosfer tabakası geniş bir aralığı kapsadığından, bu aralığın tanımı için en yüksek yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içinde olduğu kabul edildiği tek-tabaka (single-layer) modelinden yararlanılmaktadır [7].



Şekil 3.3. Tek Tabaka Modeli [35]

Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu F_1 ,

$$F_1(z) = \frac{E}{E_v} = \frac{1}{\cos z'} \quad (3.13)$$

olarak verilmektedir. Burada, E , sinyal yolu boyunca elektron yoğunluğu, E_v , düşey elektron yoğunluğu, z' , GPS sinyalinin iyonosfere giriş açısı, z , GPS sinyalinin iyonosferden kırıldıktan sonra alıcı başucu eksenini ile sinyal yolu arasındaki açı, R_E , yeryuvarının ortalama yarıçapı, ψ ; z ve z' zenit açıları farkı, h_m , yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklıktır. z' ve z arasındaki ilişki Eşitlik (3.14) verilmiştir.

$$\sin z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \sin z \quad (3.14)$$

Tek tabaka modeli ile TEİ parametresinin hesabında, L_1 ve L_2 faz ölçülerinin farkına eşit geometriden bağımsız doğrusal bileşim (L_4) kullanılmaktadır. Bu bileşim i uydusu ve k alıcısı için en küçük kareler ilkesine göre açılırsa, iyonosferik gecikme değeri Eşitlik (3.8) için,

$$L_{4k}^i + v_{4k}^i = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1 \right) I_{1k}^i + B_4 = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1 \right) \left(\frac{\alpha E}{f_1^2} \right) + B_4 \quad (3.15)$$

Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu F_1 için,

$$L_{4k}^i + v_{4k}^i = -\alpha \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) F_1(z) E_v(\beta, s) + B_4 \quad (3.16)$$

olur [8]. Bu bağıntı yerel ve küresel TEİ'nin elde edilmesinde başka bir deyişle düşey TEİ (DTEİ)'in kestiriminde kullanılmaktadır. Burada; f_1 , L_1 'in frekansı; f_2 , L_2 'in frekansı; $F_1(z)$, tek tabaka izdüşüm fonksiyonu; $E_v(\beta, s)$, β enlemi ve s güneş-sabit boylamının saat açısı fonksiyonu olan düşey TEİ; $B_4 = \lambda_1 n_{1k}^i - \lambda_2 n_{2k}^i$, iyonosferik kaymadır [7, 8].

3.3.2. Bölgesel iyonosfer modeli

Bölgesel iyonosfer modelinde $E_v(\beta, s)$ düşey elektron yoğunluğunun Taylor serisine göre açılımı olan,

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (3.17)$$

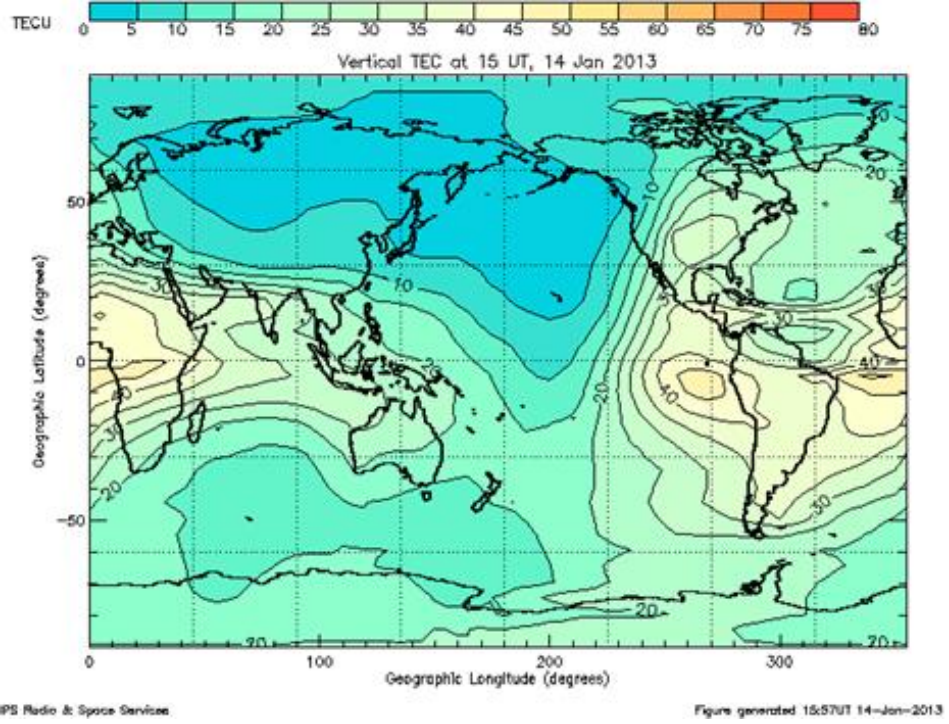
formülü kullanılır. Burada; n_{\max} ve m_{\max} , enlem ve boylama göre iki boyutlu Taylor dizisinin en büyük derecesi; E_{nm} , bilinmeyen katsayılar; (β_0, s_0) , seçilen bölgeyi ortalama olarak temsil eden açılım merkezinin koordinatları; (β, s) TEİ değeri hesaplanmak istenen yerin koordinatları olarak ifade edilen enlem ve boylam değerleridir [7].

Her bir uydu ve alıcı için bilinmeyen parametreler E_{nm} , Eşitlik (3.17) yardımıyla en küçük kareler ilkesine göre kestirilir. Taylor dizisinin derecesi çok yüksek olursa kestirilen iyonosfer parametrelerinin güvenilirliği azalır. Açınımında enlem için 1 ve 2., saat açısı için 2. 3. ve 4. dereceden terimlerle yetinilmesi uygun olmaktadır [8].

3.3.3. Küresel iyonosfer modeli

Bölgesel iyonosfer belirlemede kullanılan Taylor açılımının küresel olarak yeryuvarını çevreleyen TEİ'yi belirlemede yetersiz kaldığı bilinmektedir. Küresel TEİ

belirlemede, küresel harmonik açılım yaklaşımı ideal bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [16].



Şekil 3.4. Küresel İyonosfer Modeli (14 Ocak 2013) [42]

Geometriden bağımsız doğrusal bileşim oluşturulurken ikili fark gözlem denklemleri kullanılmaktadır. İkili fark işlemi nedeniyle iyonosfer bilginin bir kısmının kaybolmasının yanında ikili fark gözlemleri, farkı alınmamış faz ölçülerinden daha az hata içermektedir.

$E_v(\beta, s)$ 'nin küresel harmonik açılımı,

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \beta) (\tilde{C}_{nm} \cos(ms) + \tilde{S}_{nm} \sin(ms)) \quad (3.18)$$

biçimindedir. Burada; β , coğrafi enlem; $s = \lambda - \lambda_0$, iyonosfer geçiş noktasının güneş-sabit boylamı; λ , iyonosfer geçiş noktasının boylamı; λ_0 , güneşin boylamı; n_{\max} , küresel açılımın en büyük değeri; $\tilde{P}_{nm} = N_{nm} P_{nm}$, Legendre fonksiyonu; N_{nm} , normlandırma fonksiyonu; P_{nm} , normlandırılmış Legendre fonksiyonu; \tilde{C}_{nm} ve \tilde{S}_{nm} küresel harmoniğin bilinmeyen katsayıları ya da küresel iyonosfer haritalarının kestirilen parametreleridir [9].

Dünyada küresel iyonosfer TEİ haritası üreten pek çok kurum vardır. Bunlar; CODE (Orbit Belirleme Merkezi, İsviçre), DLR (Fernerkundungstation Neustrelitz, Almanya), ESOC (Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Almanya), JPL (Jet Propulsion Laboratuvarı, Kaliforniya), NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Amerika), NRCan (Doğal Kaynaklar, Kanada), ROB (Belçika Kraliyet Gözlemevi, Belçika), UNB (New Brunswick Üniversitesi, Kanada), UPC (Katalonya Politeknik Üniversitesi, İspanya), WUT (Warsaw Teknoloji Üniversitesi, Polonya)'dır.

4. TEİ HESABINDA KALİTE ÖLÇÜTLERİ

İstasyon bazlı TEİ hesabında alıcının sinyal alabildiği tüm uydulardan STEC değeri hesaplanır. STEC, uydu ile alıcı arasındaki sinyal seyahat yolu boyunca oluşan iyonosferik gecikmenin kaynağı olan elektron yoğunluğunu ifade eder. Alıcı ile uydu arasında iyonosfer etkisinin ölçü değeri olarak kabul edilebilecek büyüklükler bu STEC değerleridir. STEC değerlerinden, tek tabaka izdüşüm fonksiyonu kullanılarak, Eşitlik (3.13) bağıntısıyla, VTEC değerlerine geçilir. Dolayısıyla uygun kriterlerde ölçü alınan her uydu ile alıcı arasındaki iyonosfer sinyal geçişi için bir VTEC değerine erişilir. Alıcı ile uydular arasındaki STEC değerlerinden tek tabaka izdüşüm fonksiyonu yardımıyla çevrilen birden fazla VTEC değeri yardımıyla o istasyon için belirli bir epokta TEİ değeri kestirilmektedir. Bu kestirim için ağırlıklı ortalamalar ve/veya belirli süzgeçleme algoritmaları tanımlanmıştır. Ağırlıklandırma algoritmaları çoğunlukla uydu yükselme açısının bir fonksiyonudur. Literatürde uydu yükselme açısının bir fonksiyonu olarak farklı şekillerde kullanılan ağırlık fonksiyonları bulunmaktadır [34, 35].

Bir istasyondaki VTEC değerini belirlemede kullanılan algoritmalarda uydu yükselme açısının temel parametre olması oldukça anlamlıdır. Aşağı bölümde açıklanacağı gibi uydu yükselme açısı, uydu ile alıcı arasındaki bağıl konumun bir fonksiyonudur ve zenit noktasına daha yakın uyduların ortalamadaki ağırlıklarının yüksek olması beklenmelidir. Bu çalışmada uydu yükselme açısının yanı sıra uydu azimut açısının da ağırlıklandırma da dikkate alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bilindiği gibi günlük TEİ değişimleri güneşe bir başka deyişle gün içindeki saate bağlı bir döngü oluşturur. Yerel güneş saatine göre değişen TEİ değerleri boylama bağlı olarak dünya üzerinde bir ardışıklık içindedir. Daha açık söyleyişle öğle saatlerinde en yüksek olan TEİ değeri, yerel öğle saatlerine bağlı olarak, dünya üzerinde boylama bağlı olarak ilerler. Uydu azimut açısı, uydu sinyalinin iyonosferi kestiği noktaya denk gelen boylamın alıcıya göre daha farklı bir yerel saati temsil edebileceğini gösterir. Uydu azimut açısına ve yine uydu yükselme

açısına bağılı olarak uydu iyonosfer alt noktası (İAN) (Bkz. Şekil 3.3) ile alıcı konumu yerel saatleri arasında farklılık oluşmaktadır. Meridyen sayısı ile de ifade edilebilen bu yerel saat farkı, alıcı ile uydu iyonosfer alt noktası arasında günlük TEİ değişim eğrisindeki bir ötelemeyi işaret eder.

Uyduların alıcıya göre konumlarının istasyon bazlı TEİ hesabında önemli olduğu düşüncesinden hareketle, bu önemi ağırlıklandırma dışında bağımsız bir ölçütle ifade etme fikri bu çalışmadaki ana hedeflerden biridir. Ana hareket noktası; uydu ile alıcı (istasyon) arasındaki bağılı konumun, elde edilen TEİ hesabının kalitesini bir başka söyleyişle alıcı atmosferik koşullarını temsil yeteneğini etkileyeceğidir. En istenen ya da en kötü olduğu düşünülen bağılı konumlar için daha genel ifadesiyle alıcı ve uydu geometrilerini baz alarak TEİ hesabının alıcı atmosferik koşullarını temsiline ilişkin bir sayısal parametre tanımlama çalışması amaçlanmıştır.

4.1. Uydu Yükselme Açısı

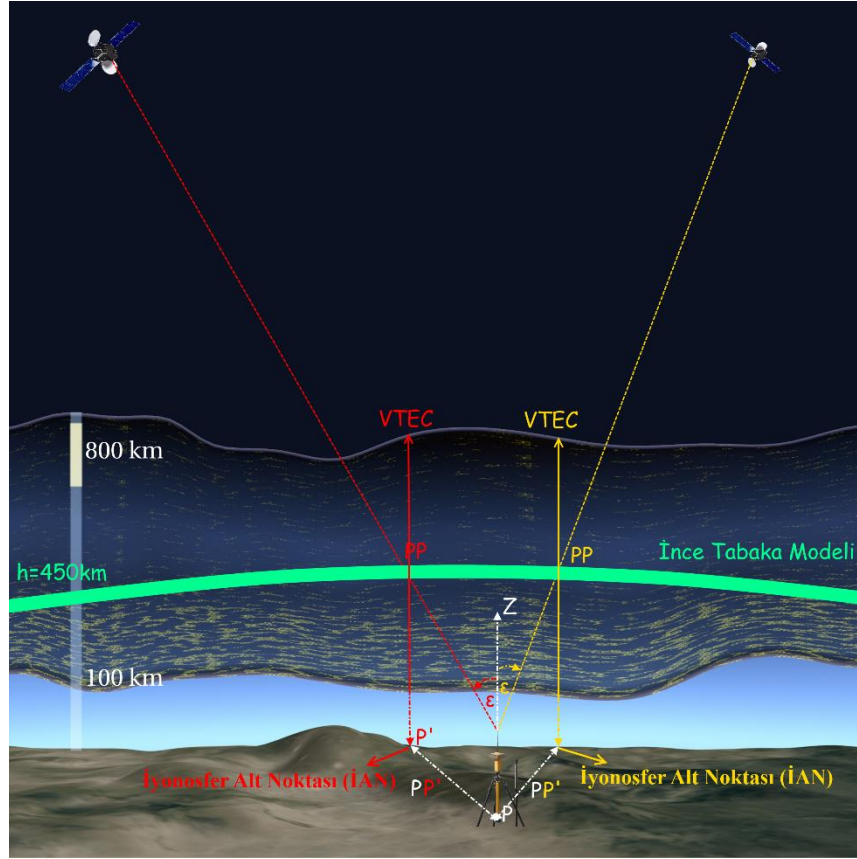
Uydu yükselme açısı yalnızca uydunun ufuktaki yüksekliğini değil aynı zamanda iyonosfer alt noktası ile alıcı arasındaki uzaklığını da ifade eder. Yükselme açısı 90° olduğunda iyonosfer alt noktası ile alıcının konumu çakışık durumdadır. Bir başka ifade ile iyonosfer etkisinin ölçülen değeri alıcının bulunduğu konumdaki iyonosferik aktiviteyi tam olarak ifade eder.

Düşük yükselme açılı uyduların iyonosfer alt noktası alıcıdan uzak bir nokta olur. Esasen, yükselme açısının çok düşük olduğu durumlarda yansıma etkisi görülme ihtimali yüksektir ve bu durumdaki ölçüler TEİ hesabının güvenilirliğini düşüreceği için genellikle 10° 'nin altındaki yükselme açılarına sahip uydulara ait ölçüler hesaplamalarda kullanılmaz.

Yeryüzündeki bir istasyon için tanımlanan VTEC değeri, sinyalin, iyonosfer geçiş noktaları arasındaki dikey mesafesinin yeryüzündeki izdüşümü olan nokta için kestirilmiş iyonosferik etkiyi ifade eder (Şekil 4.1). Uydu yükselme açısı zenitten uzaklaştıkça alıcının VTEC değeri aslında alıcıdan daha uzak bir noktada tanımlanmaktadır. Bu izdüşüm noktası (iyonosfer alt noktası) ile alıcı arasındaki mesafe,

$$\xi_{PP'}^{(i)} \cong 2R \arcsin \left(\frac{H \cot \varepsilon_n^{(i)}}{2R} \right) \quad (4.1)$$

şeklindedir. Eşitlik (4.1)'de ε uydu yükselme açısını, n ölçüm anını, i uydu sayısını, R dünyanın yarıçapını ifade etmektedir. R , dünyanın ekvatorial yarıçapı olup 6,378,137'm dir. H , iyonosfer yüksekliğini ifade etmekte ve yaklaşık 450 km olarak kabul edilmektedir. P , alıcının konumu ve P' , hesaplanan VTEC değerinin yeryüzündeki izdüşümü yani uydu iyonosfer alt noktasıdır.



Şekil 4.1. Uydu Sinyali İle İyonosfer Arasındaki Geometrik İlişki

Tablo 4.1'de Eşitlik (4.1)'den hesaplanan, uydu yükselme açısına göre alıcı ile iyonosfer alt noktası arasındaki mesafe değişimi gösterilmektedir. Alıcı TEİ hesabında farklı uydulardan elde edilen VTEC değerlerinin ağırlıklı ortalamaları alınırken ağırlıkların uydu yükselme açılarından elde edilmesinin nedeni Tablo 4.1 incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Uydu yükselme açısı zenit ile ufuk hattı arasında değişirken iyonosfer alt noktası ile alıcı arasındaki mesafe değişmektedir. Tablo 4.1'de görüldüğü gibi bu mesafe düşük yükselme açılı durumlarda 1000

km'nin üzerine çıkabilmekte, en sık rastlanılan değerler olarak 200 km ila 800 km arasında uzaklıklar görülmektedir.

Tablo 4.1. Uydu Yükselme Açısına Göre Alıcı ile İyonosfer Alt Noktası Arasındaki Mesafeler

ϵ^0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ξ_{pp}^{km}	2569	1238	779	536	377	259	163	79	0

Bir uyduya ait sinyaldeki iyonosferik gecikme uydu ile alıcı arasında seyahat eden sinyalin iyonosfer içinde takip ettiği yol boyunca oluştuğuna göre, alıcı ile iyonosfer alt noktası arasındaki mesafenin birkaç yüz kilometreyi aştığı durumlarda, hesaplanan VTEC gerçekte alıcının bulunduğu konumdaki iyonosferik gecikmeyi tam olarak temsil edemeyebilir.

Bir istasyon ile birden fazla uydu arasındaki sinyal seyahatlerinden elde edilen uydu sayısı kadar VTEC değerinden bir tür ağırlıklı ortalama yardımıyla istasyon için tek bir TEİ değeri bulunmaktadır. Herhangi bir epok için yapılan hesaplamada uydulardan hiçbiri örneğin 50° derecenin üzerinde yükselme açısına sahip değilse alıcı konumuna 400 km'ye yaklaşan uzaklıklardaki VTEC değerlerinin ortalamasını almaktan söz ediyoruz demektir ki bunun uygun olmayan geometrik durum olarak nitelenmesi de yanlış olmaz. Tersini durum olarak, 80° ve üstü yükselme açısına sahip tek bir uydudan dahi -sorunsuz bir şekilde- alınan sinyal yardımıyla yapılan hesaplama için alıcı iyonosferik koşullarını çok iyi temsil ettiğini bir başka ifade ile uygun bir geometrik durum olduğunu söylemekte yanlış olmayacaktır.

4.2. Uydu Azimut Açısı

İyonosferik değişimler enleme, mevsimlere ve diğer bazı etmenlere göre değişimler göstermekle birlikte temel belirleyicisi solar aktivitelerdir. Bu nedenle, iyonosferik değişimlerin en kısa değişim periyodu da güneşe bağlı olarak bir gündür. Günlük olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğu gece saatlerinde en aza inmekte, öğle saatlerinde en yükseğe erişmekte ve bu iki zaman dilimi arasında artan ya da azalan bir döngüye sahip olmaktadır. Yani iyonosferdeki serbest elektron içeriği gün içerisinde parbole benzer eğri çizmektedir.

Gün ışığının dünya üzerinde ilerleyişine benzer şekilde yerel maksimum TEİ değerleri de doğudan batıya doğru kayan bir akış gösterir. Herhangi istasyon noktası düşünüldüğünde bu noktanın doğu ya da batısı farklı bir yerel saat yani farklı bir güneş aktivitesi altında olduğundan günlük değişim eğrisinin farklı bir bölümünde olacaktır. Örneğin istasyonumuzda yerel öğle saati ise günlük TEİ maksimumu yaşarken, doğuda bir başka istasyon günlük maksimum değerinden inişe geçmiş, batıdaki bir başka istasyon ise günlük maksimuma doğru yükselişte olabilir. Aradaki fark bu yönüyle zamanın bir fonksiyonudur.

Uydu yükselme açısının iyonosfer alt noktası ile olan uzaklığın bir fonksiyonu olarak TEİ hesabı için bir ölçüt olduğu ifade edilmişti. Uydu azimut açısı ise bu uzaklığın yönünü tayin eder ve bu yöne göre İAN ile alıcı arasında yerel zaman farkı parametresi ortaya çıkar.

Uydu yükselme açısındakine benzer bir yaklaşımla uydu azimut açısı içinde daha uygun veya daha az uygun gibi bir derecelendirme yapılabilir. Alıcının kuzey ya da güneyinde kalan bölgeleri ifade eden uydu azimut açıları, yine alıcının doğu ya da batısını işaret eden uydu azimut açılarına göre daha uygun olarak düşünülebilir. Ancak temel parametre zaman olduğu için uydu azimut açısına bağlı uygunluğun somut tanımlayıcısı boylam farkıdır. Alıcı ile iyonosfer alt noktası arasında ne kadar fazla meridyen dairesi bulunuyorsa o kadar farklı yerel zamanlar söz konusudur.

Alıcı ile iyonosfer alt noktası arasındaki boylam farkının bir bileşeni uydu azimut açısı bir diğeri ise yine uydu yükselme açısıdır. İki açı değeri kullanılarak boylam farkı elde edildiğinde, bu farkın en az olduğu durum günlük zaman parametresi açısından daha uygun durumu ifade eder.

Yinelemek gerekirse, istasyon bazlı TEİ hesabında alıcı ile uyduların bağıl konumu önemlidir ve hesaplamadan elde edilen sonucun güvenilirliği de bu bağıl geometriden etkilenir. Aşağıdaki bölümlerde uydu yükselme ve azimut açılarının en arzu edildiği veya en tercih edilmediği durumlardan yola çıkılarak bağıl geometriye dayalı deneysel bir kalite ölçütü oluşturulmaya çalışılmaktadır.

4.3. TEİ Hesabında Kalite Ölçütü

GPS ölçülerinden erişebilecek en yüksek duyarlılık temel olarak atmosferdeki gecikmelerin belirsizliği ve uydu konumlarındaki hatalarla sınırlıdır. Özellikle atmosfer gecikmelerinin belirsizliği, GPS ölçülerinden çok duyarlı konum belirlemede sınırlayıcı bir faktördür [3].

Çalışmadan elde edilen bulgular iyonosfere ilişkin ölçülerin duyarlılığı ile ilgili bir parametrenin tanımlanmasının yararlı olabileceğini göstermektedir. R-TEC olarak isimlendirdiğimiz bu parametre iyonosfer ile ilgili konum hassasiyetinin bir fonksiyonu şeklindedir.

Alıcının konumu ile uydular arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlayan uydu yükselme ve uydu azimut açısı değerleri TEİ hesabında güvenilirliği daha açık ifadesiyle elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin alıcının konumundaki iyonosferik etkiyi temsil gücünü belirler. TEİ hesabında güvenilirlik kelimesinin uydulardan elde edilen değerlerin alıcı konumundaki iyonosferik değeri yakınsama anlamında olduğuna dikkat edilmelidir.

Bu çalışmada $GQP^{(i)}$ (Geometrik Kalite Parametresi) ve buna bağlı olarak kalite ölçütü R-TEC tanımlanmaktadır. Alıcının belirli bir epoğun da sinyal aldığı her uydu için tanımladığımız ağırlık fonksiyonu, uydu yükselme açısı ile uydu azimut açısı değerine bağlı boylam farkının bir fonksiyonu,

$$GQP^{(i)} = F(\epsilon_n^{(i)}, \Delta t_n^{(i)}) \quad (4.2)$$

ile tanımlanır. Burada i uydu numarasını, n ölçüm anını (epoğunu) göstermektedir. $\epsilon_n^{(i)}$, uydu ile alıcı arasındaki yükselme açısıdır ve Bölüm 4.1’de anlatıldığı gibi alıcı konumu ile iyonosfer alt noktası arası uzaklığa bağlıdır. $\Delta t_n^{(i)}$, İAN ile alıcı arasındaki boylam farkıdır. TEİ hesabına etkisi Bölüm 4.2’de açıklanan yerel zaman farkı, uydu yükselme ve uydu azimut açılarının bir fonksiyonudur.

$GQP^{(i)}$ değeri herhangi bir epokta alıcı ile gözlenen herhangi bir uydu arasındaki bağıl konumun, bir diğer ifade ile geometrinin, TEİ hesabına etkisini betimleyen bir

kalite ölçütü olarak tanımlanmasının yanı sıra TEİ hesabında ağırlık fonksiyonu olarak kullanılmaya da uygun olabilmelidir.

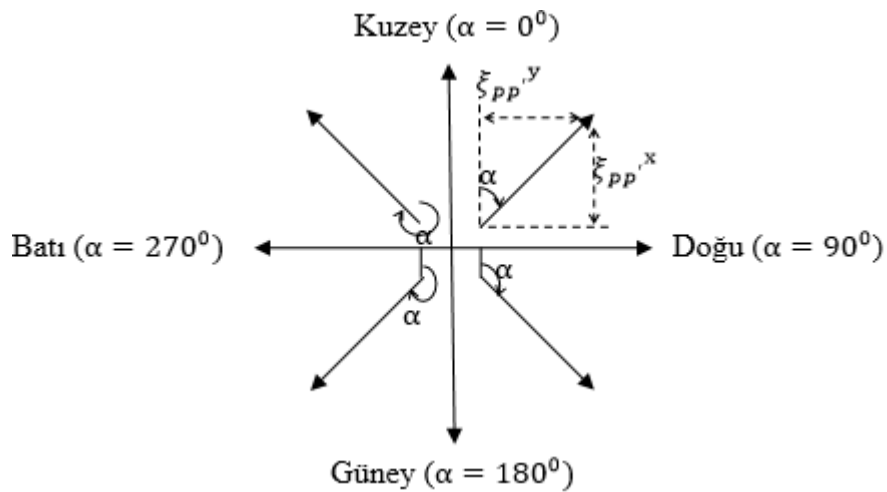
Yukarıda tanımlanan $GQP^{(i)}$ fonksiyonunu oluşturan parametreleri iyi analiz etmek gerekmektedir. Fonksiyonun, problemin fiziksel ve matematiksel durumuna en yakın olması çalışmada amaçlanan kalite ölçütünden elde edilebilecek verimi en yüksek seviyeye taşıyacaktır.

İlgili fonksiyon incelendiğinde uydu yükselme açısı etkisini ifade eden sinüs fonksiyonu 0-1 arasında bir değer üretmektedir. 1'e yakın değerlere sahip uydulardan elde edilen ölçü değerleri, uydu yükselme açılarının alıcının zenitine daha yakın olmasından dolayı, alıcının konumundaki iyonosferik aktiviteyi daha iyi tanımlamaktadır.

Uydu azimut açısından kaynaklanan boylam farkı, uydu azimut açısı değeri ve Eşitlik (4.1)'de tanımlanan ξ_{pp} ' mesafesinin bir fonksiyonu,

$$\Delta_t^{(i)} = F\left(\alpha_n^{(i)}, \xi_{pp_n}^{(i)}\right) \quad (4.3)$$

biçimindedir. Δ_t boylam farkının hesaplanabilmesi için ξ_{pp} olarak belirtilen mesafe, küresel yeryüzündeki d_x ve d_y bileşenlerine ayrılır (Bkz. Şekil 4.2). Küresel yeryüzünde tanımlanan ξ_{pp} mesafesinin, ξ_{pp}^x yay uzunluğunun meridyen üzerindeki ve ξ_{pp}^y yay uzunluğunun paralel dairesi üzerindeki bileşeni olarak tanımlanır.



Şekil 4.2. Küresel Yeryüzünde Tanımlanan ξ_{pp} ' Yay Uzunluğu

Eşitlik (4.1)'de tanımlandığı gibi ξ_{pp} , yay uzunluğu,

$$\xi_{pp}^{(i)} \cong 2R \arcsin \left(\frac{H \cot \varepsilon_n^{(i)}}{2R} \right) \quad (4.4)$$

şeklindedir. ξ_{pp}^y ve ξ_{pp}^x bileşenleri ise,

$$\xi_{pp}^{y(i)} = \xi_{pp_n}^{(i)} \sin(\alpha_n^{(i)}) \quad (4.5)$$

$$\xi_{pp}^{x(i)} = \xi_{pp_n}^{(i)} \cos(\alpha_n^{(i)}) \quad (4.6)$$

olarak tanımlanır.

Alıcının konumu ile uydu iyonosfer alt noktasının konumu arasındaki boylam farkı Δ_t olarak tanımlanan fonksiyondur. Uydu azimut açısının GQP⁽ⁱ⁾ üzerindeki etkisi ξ_{pp} , mesafesinden kaynaklanan boylam farkı nedeniyle oluşan zaman farkıdır (Bkz. Şekil 4.3). Ekvator düzlemi üzerinde iki meridyen arasındaki konumsal farkın 111 km olduğu bilinmektedir. Bu değerler ekvatordan kutuplara gidildikçe azalma gösterir. Bu nedenle bu mesafenin her enlem dairesi için hesaplanması gerekir. Tüm bu durumlar dikkate alınarak Δ_t boylam farkı,

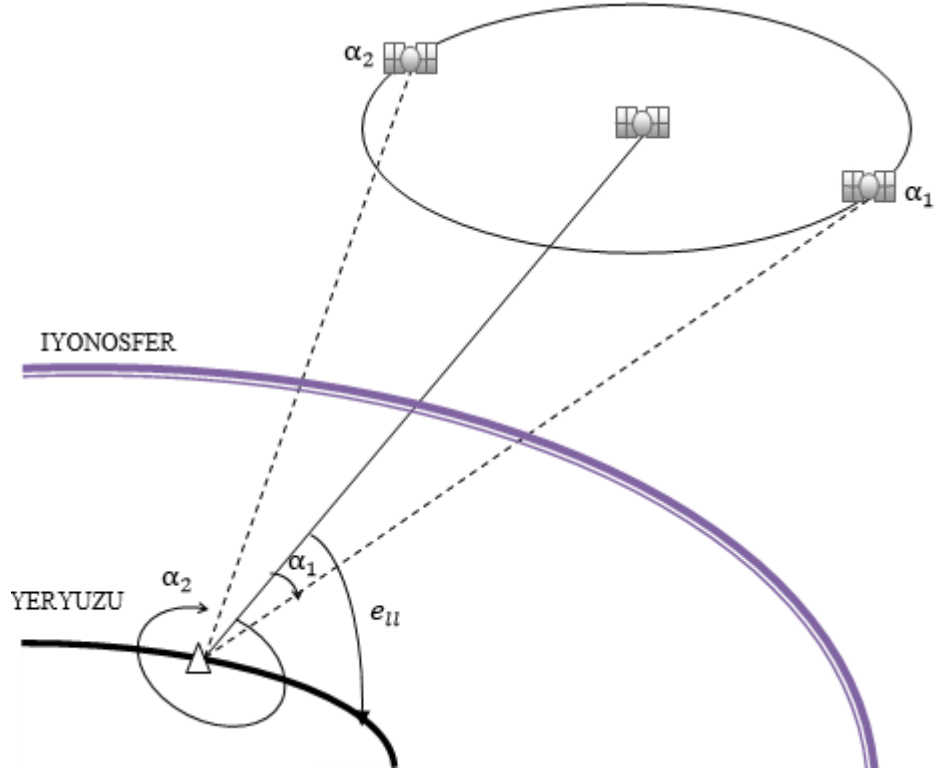
$$\Delta_t^{(i)} = \frac{\xi_{pp}^{y(i)}}{R \cos \phi_{ort} \frac{\pi}{180}} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanır. Eşitlik (4.7)'de ξ_{pp}^y yay uzunluğunun enlem üzerindeki bileşeni, ϕ_{ort} ortalama enlemi, R dünyanın yarıçapını ifade etmektedir. Ortalama enlem, alıcı enlemi ϕ_0 ile yay uzunluğunun meridyen üzerindeki bileşeni ξ_{pp}^x in derece cinsinden değeri ξ_{pp}^{x0} enlem farkının alıcı enlemine eklenerek aritmetik ortalamasının alınması ile bulunur. Buna göre ϕ_{ort} hesabında,

$$\xi_{pp}^{x0} = \frac{180 \xi_{pp}^x}{2\pi R} \quad (4.8)$$

$$\phi_{ort} = \frac{\phi_0 + (\phi_0 + \xi_{pp}^{x0})}{2} \quad (4.9)$$

formülleri kullanılır.



Şekil 4.3. Uydu Yükselme ve Uydu Azimut Açısı Arasındaki İlişki

$GQP^{(i)}$ fonksiyonunu oluşturan parametreler tanımlandıktan sonra denklem son halini almaktadır.

$$GQP^{(i)} = (\sin \varepsilon_n^{(i)})^\pi e^{- (\pi \Delta_{tn}^{(i)} / \varepsilon_n^{(i)})} \quad (4.10)$$

Şekil 4.4'de $GQP^{(i)}$ fonksiyonunun uydu yükselme açısı ve uydu azimut açısı değerlerine göre grafiksel gösterimi bulunmaktadır. x eksenini 0-90 derece aralığında uydu yükselme açısı değerlerini, y eksenini ise $GQP^{(i)}$ fonksiyonunun değerlerini göstermektedir. Şekil 4.4'de yükselme açısının değişimine bağlı olarak 0° , 90° , 180° ve 270° uydu azimut açılarının $GQP^{(i)}$ fonksiyonuna etkisi görülmektedir. Eşitlik (4.10) incelendiğinde 0° ve 180° azimut açılarında $GQP^{(i)}$ fonksiyonunda uydu azimut açısının etkisinin olmadığı görülür. İyonosfer alt noktasının alıcı ile aynı boylamı bir başka deyişle aynı zaman dilimini temsil etmesi nedeniyle $GQP^{(i)}$ sadece uydu yükselme açısının fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Benzer şekilde 90° ve 270° derece uydu azimut açılarında boylam farkının etkisi en yüksek seviyede görülmektedir.

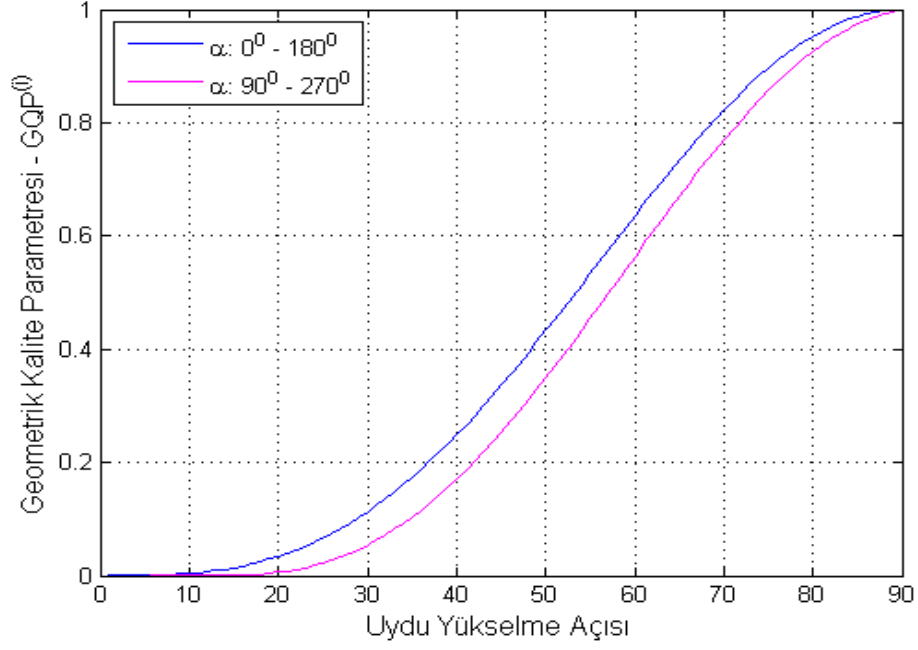
Alıcı ile uydu arasındaki bağıl geometri elemanları olan uydu yükselme ve uydu azimut açısının fonksiyon içerisinde nasıl kullanılacakları üzerinde özellikle çaba gösterilmiştir. Bağıl geometri üzerine kurgulanan $GQP^{(i)}$ fonksiyonunun matematiksel ifadesinin bir yönüyle ampirik olarak elde edildiği söylenebilir.

Literatür incelendiğinde uydu yükselme açısının sinüs fonksiyonu ile ifade etmenin yaygın olarak tercih edildiği görülmektedir [6, 35, 36]. Sinüs fonksiyonunun üçüncü derece kuvvetinin kullanılmasının uygun sonuçlar verdiği ve doğru bir gerekçeye dayandığı da bilinmektedir. Bu nedenle Eşitlik (4.10)'da uydu yükselme açısı için sinüs fonksiyonun π derece üssü tercih edilmiştir.

Uydu azimut açısının hangi ağırlıkta fonksiyonu etkileyeceği ise önemli bir sorudur. Bu noktada gerçeklikten yani bağıl geometri ile oluşan konum farkından hareket edilmiştir. Sabit bir yükselme açısı altında azimutun değişimi çember tabanlı bir koni çizer. Bu durum Şekil 4.3'de tasvir edilmeye çalışılmıştır. Yükselme açısının 90^0 'ye yaklaştığı durumlarda koninin taradığı alan görece küçüktür ve İAN alıcıya yakındır. Bu durumda azimut açısının doğu-batı ve kuzey-güney değişimleri de daha az bir etkiye sahip olur. Ancak, küçük yükselme açılarında koni tabanı büyükçe bir alan tarar ve azimut açısına bağlı yön değişimleri daha fazla etkiye sahip olur. Bu nedenle Eşitlik (4.10)'da yükselme açısının azalışına ters biçimde uydu azimut açısının etkisinin artacağı bir matematiksel ifade üzerinde durulmuştur. Şekil 4.4'de yükselme açısı değerlerine göre $GQP^{(i)}$ üzerinde uydu azimut açısı etkisinin değişimi izlenebilir.

Tablo 4.2'de ise bağıl geometriye ait iki büyüklüğün $GQP^{(i)}$ fonksiyonunu nasıl etkilediği rakamsal olarak görülebilir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de uydu azimut açısının etkisinin fonksiyon üzerinde kısıtlı tutulması, birincil etmen durumundaki uydu yükselme açısından gelen değeri belirli bir oranda değiştirebilmesidir.

Her uydu, alıcı ile bağıl konumuna göre TEİ kestirimine esas olmak üzere $GQP^{(i)}$ büyüklüğü ile ölçütlendirilmiştir. 0 - 1 arasında değişen değerler alan bu ölçüt 1'e yaklaştığında istenen ya da ideal durumu, tersi durumda ise alıcının konumundaki iyonosferik koşulları yeterince temsil etmeyen bir uydu konumunu tanımlar.



Şekil 4.4. $GQP^{(i)}$ Fonksiyonunun Uydu Geometrisine Göre Değişimi

Tablo 4.2’de belirli uydu yükselme ve azimut açlarına göre $GQP^{(i)}$ fonksiyonunun verdiği değerler listelenmiştir.

Tablo 4.2. Uydu Yükselme Açısı ve Uydu Azimut Açısına Göre $GQP^{(i)}$ Değerleri

ε	α	$GQP^{(i)}$	ε	α	$GQP^{(i)}$	ε	α	$GQP^{(i)}$
10^0	0	0,004	20^0	0	0,034	30^0	0	0,113
	$\frac{\pi}{2}$	0,000		$\frac{\pi}{2}$	0,006		$\frac{\pi}{2}$	0,054
	π	0,004		π	0,034		π	0,113
	$\frac{3\pi}{2}$	0,000		$\frac{3\pi}{2}$	0,006		$\frac{3\pi}{2}$	0,054
	2π	0,004		2π	0,034		2π	0,113
40^0	0	0,249	50^0	0	0,433	60^0	0	0,636
	$\frac{\pi}{2}$	0,171		$\frac{\pi}{2}$	0,350		$\frac{\pi}{2}$	0,563
	π	0,249		π	0,433		π	0,636
	$\frac{3\pi}{2}$	0,171		$\frac{3\pi}{2}$	0,350		$\frac{3\pi}{2}$	0,563
	2π	0,249		2π	0,433		2π	0,636

Tablo 4.2. Uydu Yükselme Açısı ve Uydu Azimut Açısına Göre GQP⁽ⁱ⁾ Değerleri (Devam)

70 ⁰	0	0,822	80 ⁰	0	0,953	90 ⁰	0	1,000
	$\frac{\pi}{2}$	0,770		$\frac{\pi}{2}$	0,927		$\frac{\pi}{2}$	1,000
	π	0,822		π	0,953		π	1,000
	$\frac{3\pi}{2}$	0,770		$\frac{3\pi}{2}$	0,927		$\frac{3\pi}{2}$	1,000
	2π	0,822		2π	0,953		2π	1,000

Eşitlik (4.10) bir alıcının herhangi bir epokta sinyal aldığı her uydu için yazılır. Her uydunun alıcıya göre konumuna göre 0-1 arasında değişen GQP⁽ⁱ⁾ büyüklükleri bulunur. Her bir epok için gözlenen uydu sayısı kadar GQP⁽ⁱ⁾ değeri vardır. TEİ kestirimi, gözlenen uydulardan elde edilen VTEC değerlerinden elde edildiğine göre, TEİ kestirimi için kalite ölçütü tanımı da bu uyduların bağlı geometri koşullarının tanımladığı GQP⁽ⁱ⁾ değerinin toplamı ya da ortalaması olarak değerlendirilmelidir.

Bu düşünceden hareketle, TEİ belirleme probleminde alıcı için belirli bir epokta sinyal aldığı uydulara ait GQP⁽ⁱ⁾ değerlerinin istatistiksel ortalama değeri, o alıcı için R-TEC değeri olarak kabul edilebilir. Bu yaklaşımla herhangi alıcıda belirli bir epok için R-TEC değerinin hesabında;

$$R-TEC = \sqrt{GQP^{(1)^2} + GQP^{(2)^2} + \dots + GQP^{(i)^2}} \quad (4.11)$$

bağıntısı kullanılabilir. Burada i, herhangi epokta alıcının sinyal aldığı uydu sayısıdır. Bu bağıntı herhangi bir alıcı için hesaplanan TEİ değerinin kalitesine ya da bir başka deyişle yapılan TEİ kestiriminin alıcının bulunduğu noktadaki iyonosferik koşulları temsil etme gücüne işaret eden bir değer üretmektedir. Eşitlik (4.11)'in 1 değerinin altında sonuçlar üretmesi, ilgili alıcı için gözlediği uyduların dağılımının TEİ hesabında yeterli olmadığını gösterir. 1.5 değerine yakın değere sahip R-TEC, sinyal alınan uyduların dağılımının alıcının konumundaki iyonosferik aktiviteyi çok daha hassas belirleyebileceğine işaret eder.

Eşitlik (4.11)'den bulunacak değer her bir uydu için belirlenen GQP⁽ⁱ⁾ değerlerinin istatistiksel ortalamasıdır ve uydu dağılımının oluşturduğu geometriye göre değerler

alır. GNSS ölçmelerinde her bir epokta en az 4 uydunun gözlenebilmektedir ve çalışma kapsamında yapılan uygulamalarda R-TEC ölçütünün 0.5 ile 1.5 arasında değerler alabildiği gözlenmiştir. Yine deneysel olarak bu değişimin dağılımının normal dağılım eğrisine benzeyen bir çan eğrisi oluşturduğu, 0.7'nin altı ve 1.3'ün üzeri değerlerin uç değerler olarak yorumlanabileceği söylenebilir.

TEİ hesabında kalite ölçütü kavramı tartışılırken Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3'de, uydu ile alıcı arasındaki bağıl geometrinin ve bağıl geometrinin bir sonucu olarak sinyalin iyonosferi geçtiği yolun yeryüzü üzerindeki izdüşümü olan iyonosfer alt noktasının alıcı konumuna olan uzaklığı üzerinde durulmuştu. İAN ve alıcı konumu arası mesafe ve boylam farkının alıcı konumundaki iyonosferi betimleme gücünü azaltabileceği yine yukarıdaki bölümlerde açıklanmıştı. Benzer şekilde yerel zenit noktasına yakın konumda gözlenen uydu veya uydular içinde yerel iyonosferi temsil yeteneğinin yüksek olacağı da rahatlıkla söylenebilir. Aynı noktadan hareketle en az bir uydunun 60^0 'den daha büyük uydu yükselme açısına sahip hiçbir uydu olmaması durumunun istenmeyen bir geometriyi ifade ettiği kabul edilebilir.

Uydu bağıl konumlarına göre uyduların alacağı GQP⁽ⁱ⁾ değerleri çeşitli durumlarda simüle edilerek zayıf ve güçlü olarak kabul edilebilecek R-TEC sınır değerleri üzerinde çalışılmıştır. Yükselme açılarından hiçbirinin 60^0 'nin üzerinde olmadığı durumların birçoğunda Eşitlik (4.11) ile bulunan R-TEC ölçütünün 1 değerinin altında kaldığı görülmüştür.

4.4. TEİ Hesabında Ağırlık Fonksiyonları

Ağırlıklandırma fonksiyonları; bir epoktaki uydu gözlemleriyle hesaplanan VTEC değerlerinden, o epok için alıcı konumundaki iyonosferik aktiviteyi veren TEİ değerini kestirmede kullanılan fonksiyonlardır. Bir epoktaki VTEC değerlerinden ağırlıklı ortalamalar ile TEİ değeri elde edilir [6, 35-37].

Ağırlıklandırma fonksiyonları uydu yükselme açısının değerine göre uydu konumları için bir ağırlık belirlemektedir. Bu ağırlık, uydu yükselme açısının zenite yakın değerlerinde daha yüksek seçilerek, uydu kümelerinin dağılımının etkisi TEİ hesabında optimize edilir. TEİ hesabında kullanılan ağırlık fonksiyonundan beklenen alıcının zenitine yakın olan uydu yükselme açısına sahip uydulardan hesaplanan

VTEC değerinin ağırlığını en büyük tam tersi durumda ise en küçük değere yakınsamasıdır. Bu yakınsama değerleri genelde 0-1 arasında normlandırılmaktadır.

Eşitlik (4.10) uydu bağıl geometrisinin TEİ hesabına etkisini nitellemek üzere yükselme ve azimut açılarından elde edilen bir değeri tanımlar. $GQP^{(i)}$ değerini veren Eşitlik (4.10) ağırlık fonksiyonu olarak kullanılmaya uygun niteliktedir. Bağıntı yalnızca uydu yükselme açısını değil uydu azimut açısını da kullanarak boylam farkına bağlı etkiyi de ağırlık modeline taşımaktadır. Bu bölümde $GQP^{(i)}$ ileriki iyonosfer çalışmalarında kullanılmak amacıyla ağırlık fonksiyonu olarak önerilmektedir.

[6, 34, 38] çalışmalarında Eşitlik (4.12) ile verilen ağırlık fonksiyonu kullanılmıştır. Bu eşitliğe göre yükseklik açısı 60^0 üstünde olan uydulardan alınan ölçümler aynen kullanılır, yükseklik açısı 10^0 ile 60^0 arasında olan uydulardan alınan ölçümler bir Gauss fonksiyonu ile ağırlıklandırılır. 10^0 'nin altındaki uyduların ağırlığı ise sıfır kabul edilerek bu uydulara ait ölçümler hesap dışı bırakılır. [39]'da düşük yükseklik açılı uydulardan alınan ölçümlerdeki çok yol etkisini azaltmak amacıyla $\sin^2(\epsilon)$ biçiminde bir ağırlık fonksiyonu kullanılmaktadır. Literatürde kullanılan bu fonksiyonun geliştirilmiş hali Eşitlik (4.13)'de gösterilen $\sin^3(\epsilon)$ fonksiyonudur [35]. Eşitlik (4.14) ise bu çalışma kapsamında önerilen ağırlıklandırma fonksiyonudur.

Önerilen ağırlık fonksiyonu ile birlikte karşılaştırılabilir amaçlı üç ağırlık fonksiyonu da çalışmada incelenmektedir.

1. Ağırlık Fonksiyonu

$$W_m(n) = \begin{cases} 1, & 60^0 \leq \epsilon_m(n) \leq 90^0 \\ \exp\left(-\left(90-\epsilon_m(n)\right)^2 / 2\sigma^2\right), & 10^0 < \epsilon_m(n) < 60^0 \\ 0, & \epsilon_m(n) < 10^0 \end{cases} \quad (4.12)$$

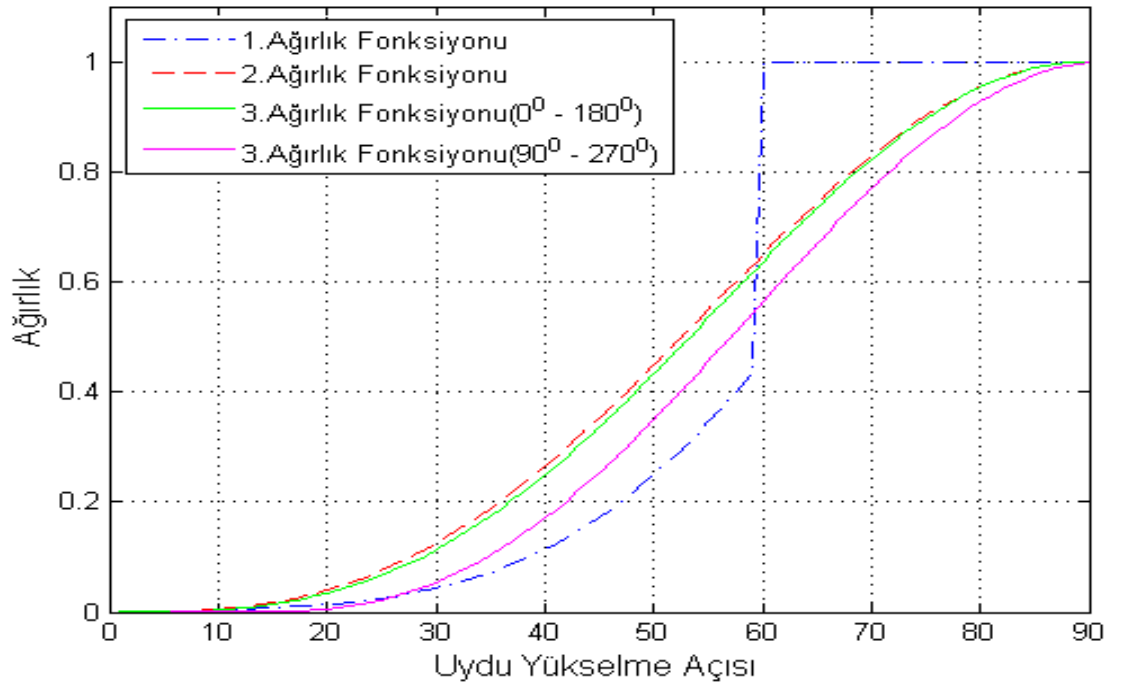
2. Ağırlık Fonksiyonu

$$W_m(n) = \sin^3 \epsilon_m(n) \quad (4.13)$$

3. Ağırlık Fonksiyonu

$$W_m(n) = (\sin \varepsilon_m(n))^\pi e^{- (\pi \Delta_{tm}(n) / \varepsilon_m(n))} \quad (4.14)$$

Şekil 4.5’de çalışma kapsamındaki ağırlık fonksiyonlarının uydu yükselme açısına göre değişimleri gösterilmiştir. Çalışmada önerdiğimiz 3. Ağırlık fonksiyonunun diğer ağırlıklandırma fonksiyonları ile karşılaştırabilmesi amacıyla uydu azimut açısı değeri en iyi durum olan $0^0 - 180^0$ (yeşil düz çizgi) ve en kötü durum olan $90^0 - 270^0$ (mor düz çizgi) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Ağırlık Fonksiyonlarının Uydu Yükselme Açısına Göre Değişimleri

5. UYGULAMA

23 Ekim 2011 tarihli 7.2 şiddetindeki Van depremine yönelik olarak deprem merkezi dahil ortalama 200 km yarıçaplı bölgedeki TUSAGA-Aktif istasyonlarının statik verileri bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılmak üzere TUSAGA-Aktif Yürütme Kurulu'nda alınan bir karar ile ücretsiz olarak kamuoyuna sunulmuştur. Verilerin bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılmasını sağlayan Harita Genel Komutanlığı ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

TUSAGA-Aktif sisteminin gözlem dosyaları paylaşılan MALZ, MURA, OZAL, TVAN istasyonlarının 30 sn zaman çözünürlüklü verileri çalışmada kullanılmış olup, bu bölümde sadece MALZ noktasına ait sonuçlar özetlenmiş bir biçimde gösterilmektedir. MALZ istasyonuna ait kapsamlı sonuçlara ve grafiklere ekler bölümünden ulaşabilir. Çalışmanın deneye dayalı olması sebebiyle diğer üç istasyon MURA, OZAL, TVAN istasyonlarında sonuçların tutarlılığını incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 5.1. Çalışmada Kullanılan TUSAGA-AKTİF Noktaları

5.1. Gözlenen Uydular İçin Kalite Ölçütü Parametresi: $GQP^{(i)}$

GPS gözlemlerinden istasyon bazında iyonosferik aktiviteyi hesaplamak için gerekli matematik model L4 faz kombinasyonu ve tek tabaka modeli olarak Bölüm 3.2’de verilmektedir. Eşitlik (3.10) ve (3.11) yardımıyla her epokta her bir uydu için VTEC değerleri hesaplanır. Bu çalışmada ise VTEC değerleri veri/girdi olarak kabul edilmiştir. VTEC değerlerinin kestirimi için gerekli algoritmalar Hacettepe Üniversitesi IONOLAB çalışma grubunun çalışmaları ve [6, 36] tez çalışmalarından derlenmiştir.

Tekrar vurgulamak gerekirse bu tez çalışmasının odaklanması TEİ hesabındaki kalite ölçütü kavramı olduğu için VTEC değerleri ile uydu alıcı arası bağıl geometri elemanları girdi olarak kabul edilerek $GQP^{(i)}$ değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle uygulama bölümleri $GQP^{(i)}$ değerlerinin hesabı ile başlamaktadır.

Uygulama kapsamında öncelikle her bir istasyonda 30 saniyede bir gözlenen tüm uydular için geometriye bağlı olarak tanımlanan ve ifadesi Eşitlik (4.10) ile verilen $GQP^{(i)}$ kalite ölçütleri hesaplanmıştır.

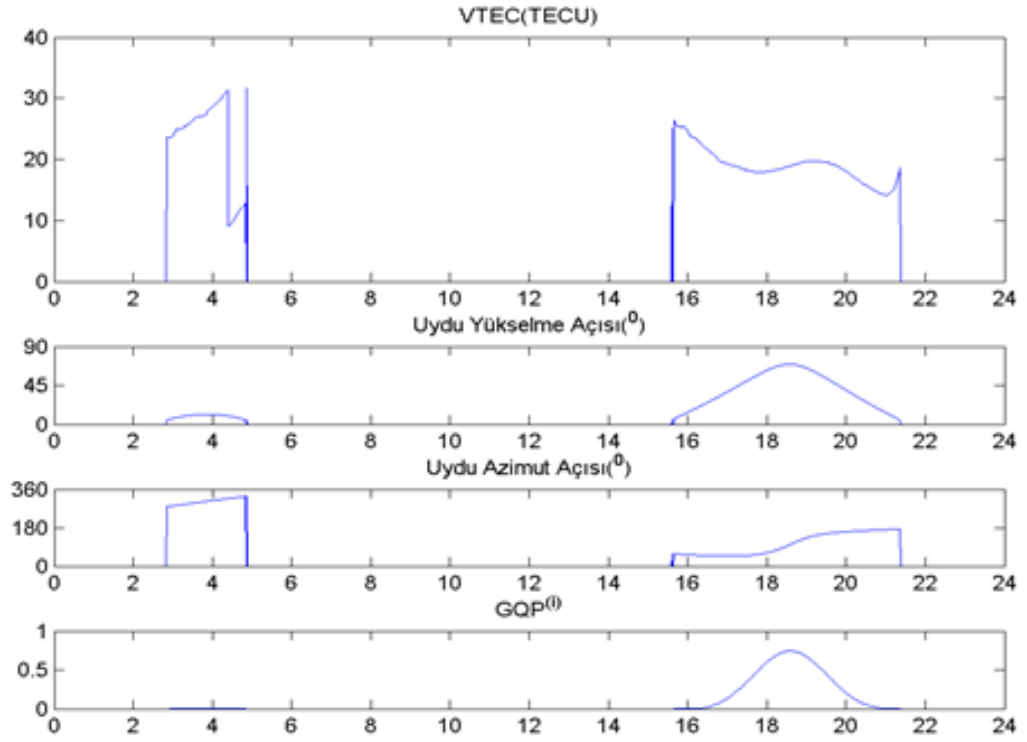
Şekil 5.2’de 23 Ekim 2011 günü MALZ istasyonunda 1 nolu uydu için hesaplanan $GQP^{(i)}$ değerleri grafiği görülmektedir. Grafikte günlük VTEC değerleri, uydu yükselme ve azimut açıları ile onların fonksiyonu olan $GQP^{(i)}$ değerleri sunulmaktadır.

Aynı gün içerisinde farklı zaman dilimlerinde GPS sistemindeki uydulardan hemen hepsinde gözlem yapılmış, VTEC ve $GQP^{(i)}$ değerleri hesaplanmış olup, diğer uydulara ait grafiklere EK-B’de ulaşabilirsiniz.

Şekil 5.2 incelendiğinde UT (Universal Time) ’ye göre 3-5 aralığında hesaplanan VTEC değerlerinin kalitesinin ($GQP^{(i)}$), uyduların bağıl konumlarının kötü denilebilecek seviyelerde olması nedeniyle çok düşük olduğu görülmektedir. Uydulara ait yükselme açılarının $15^0 - 20^0$, azimut açılarının $300^0 - 350^0$ değerler alması, ilgili saatlerde elde edilen VTEC değerlerinin güvenilirliğinin çok düşük olduğuna işaret eder. UT ’ye göre 18-19 arası incelendiğinde ise uydu yükselme açılarının alıcı zenitine yakın değerlerde olması ve uydu azimut açısı değerlerinin

istenilen durum olan 180^0 'ye yakın olması, ilgili zamanda yapılan VTEC ölçümlerinin istasyonun zenitindeki iyonosferik koşulları daha iyi temsil edebileceği anlamına gelmektedir. Bunu ortaya koyan bir parametre olarak $GQP^{(i)}$ fonksiyonunun bu saatlerde yüksek değerler aldığı izlenmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan tüm uygulamalar ve örnek olarak aşağıda sunulan Şekil 5.2'deki grafik, geliştirilen $GQP^{(i)}$ ölçütünün VTEC hesabının kalitesini ortaya koyabilen bir parametre olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2. 23 Ekim 2011 Günü 1 Nolu Uydu İçin $GQP^{(i)}$ Değerleri

5.2. İstasyon Bazlı TEİ Hesabının Kalite Ölçütü: R-TEC

Bölüm 4'de bir istasyonda yapılan TEİ hesabının yerel iyonosferi temsil gücünün uydu geometrileri ile ilintisi ayrıntılı olarak gösterilmiş ve her bir uydu gözleminden elde edilen VTEC değerlerinin bu temsil gücü geometri ile ölçütlendiren $GQP^{(i)}$ parametresi tanımlanmıştır.

Bir alıcı istasyondaki TEİ hesabı, gözlenen tüm uyduların ağırlıklı ortalamaları ile elde edildiğinden, istasyon için belirlenen TEİ'nin kalitesi de gözlenen uydular için

tanımlanan kalite ölçütünün(GQP⁽ⁱ⁾) istatistiksel ortalaması olarak ifade edilmiştir. Bölüm 4.3’de Eşitlik (4.11) ile gösterilen bu ölçüt R-TEC olarak tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında GPS gözlem verileri kullanılan 4 ayrı istasyon için farklı günlerde uygulamalar yürütülmüş olup, aşağıdaki kısımda MALZ istasyonunda 23 Ekim 2011 tarihi itibari ile yapılan TEİ hesabı için R-TEC kalite ölçütleri de üretilmiştir.

Şekil 5.5’de MALZ istasyonu 23 Ekim 2011 günü R-TEC ölçütlerinin grafiği görülmektedir. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 ile Şekil 4.3 ve Şekil 5.4’de aynı gün R-TEC ölçütünün en düşük ve en yüksek değerlerinin irdelemesi yer almaktadır.

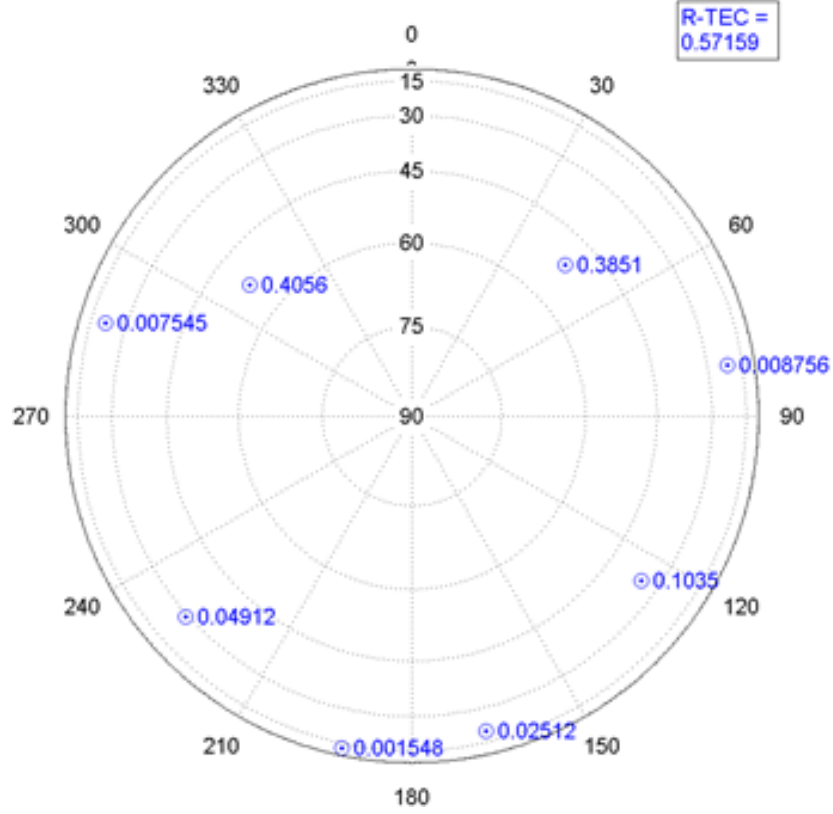
MALZ istasyonunda elde edilen R-TEC ölçütlerinin günlük en büyük ve en küçük değerlerine ait sonuçlar Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilmektedir. Burada saat 05:07:30 (UT) anında ilgili alıcının sinyal aldığı uyduların uydu yükselme ve azimut açılarının dikkatlice incelenmesi yararlı olacaktır. Tablo 5.1 ve Şekil 5.3’den görülebileceği üzere o anda sinyal alınan uydulardan hiçbiri 55°’nin üstünde uydu yükselme açısına sahip değildir. Bu durumda ilgili epok günlük en küçük R-TEC değeri ortaya çıkmıştır. Ayrıca Tablo 5.1’de 4. 7. ve 8. sütunlara göz attığımızda uydu azimut açısının etkisini açık bir şekilde görmekteyiz. 23, 21, 22 derece yakın uydu yükselme açısına sahip uyduların azimut açılarının etkisiyle 0.009, 0.025, 0.008 gibi GQP⁽ⁱ⁾ değerleri ürettiği görülmektedir. 21° uydu yükselme açısına sahip uydunun 23° uydu yükselme açısına sahip uyduya göre daha yüksek GQP⁽ⁱ⁾ değeri üretmesinin nedeni uydu azimut açısının daha önce açıklandığı üzere, 180° ‘ye yakın olmasından kaynaklanmaktadır. 22° ve 23° uydu yükselme açısına sahip uyduların uydu azimut değerleri ise, 90° ve 270° ‘ye yakındır. Hatırlatmak gerekirse uydu azimut açısında 0° - 180° en iyi, 90° - 270° en kötü duruma karşılık gelmektedir.

Tablo 5.1. R-TEC Günlük En Düşük Değer - Epok: 05:07:30

ϵ°	12	29	52	23	35	53	21	22
α°	192	228	46	81	126	309	167	287
GQP ⁽ⁱ⁾	0,002	0,049	0,385	0,009	0,104	0,406	0,025	0,008
R-TEC	0,5716							

Tablo 5.2. R-TEC Günlük En Yüksek Değer - Epok: 14:26:00

ϵ°	61	69	32	11	21	52	35	39	82
α°	87	112	197	321	120	311	48	272	82
GQP ⁽ⁱ⁾	0,554	0,743	0,105	0,000	0,006	0,379	0,104	0,133	0,938
R-TEC	1,3868								

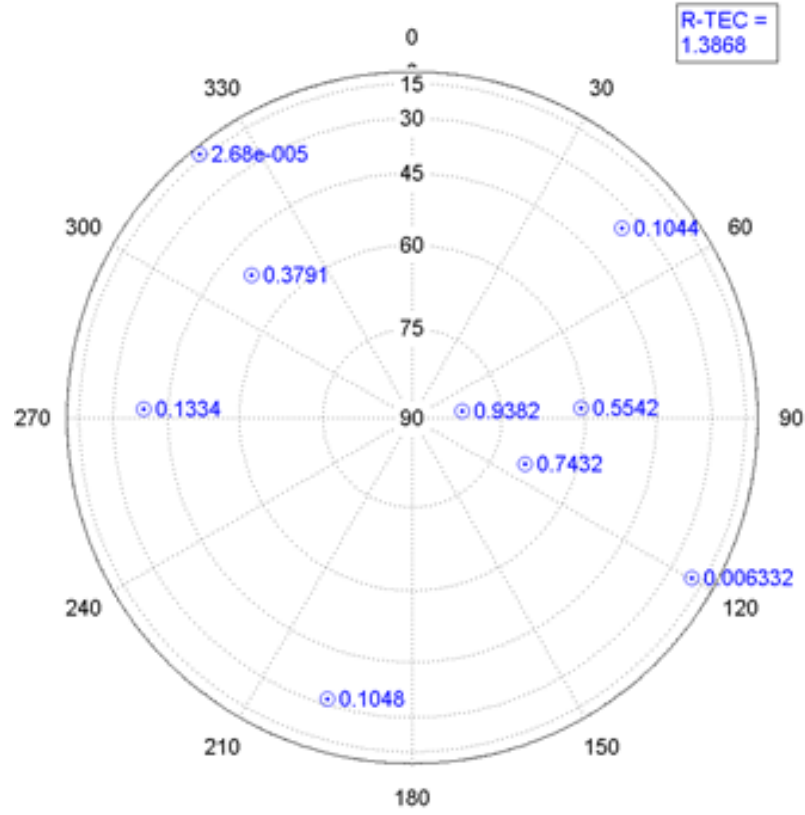


Şekil 5.3. R-TEC Günlük En Düşük Değer – Uydu Dağılımı

Çalışma kapsamında kullanılan dört TUSAGA-AKTİF alıcısında (MALZ, MURA, OZAL, TVAN) elde edilen sonuçlara göre [0,6-1,4] aralığı dışındaki R-TEC değerlerinin çok ender olduğu söylenebilir.

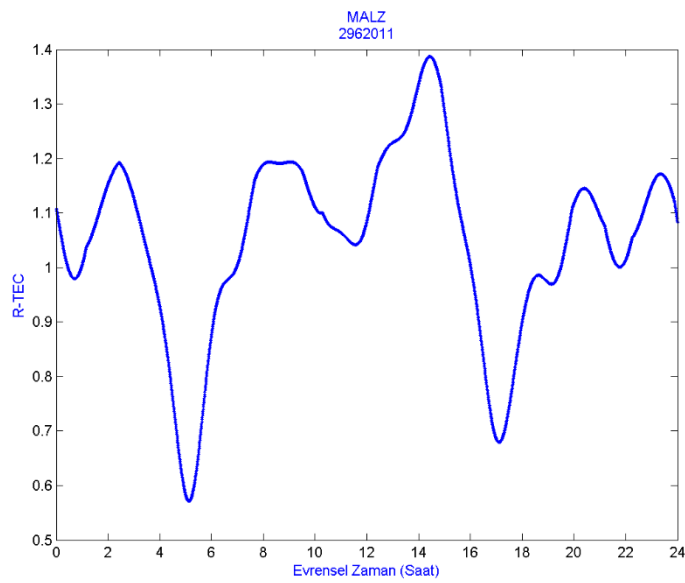
R-TEC ölçütü Eşitlik (4.11)'de görüldüğü üzere GQP⁽ⁱ⁾ değerlerine bağlıdır. Daha öncede belirtildiği gibi GQP⁽ⁱ⁾ değerlerinin 1'e yakın olması istenilen durumu ifade etmektedir. 0'a yaklaşan GQP⁽ⁱ⁾ değerleri ise ilgili uydunun konumsal anlamda kötü bir durumda olduğuna işaret etmektedir. GQP⁽ⁱ⁾ değerlerinin istatistiksel anlamda ortalaması olan R-TEC ölçütünün de sıfıra yaklaşması, TEİ hesabının

güvenilirliğinin düşük olması anlamına gelmektedir. Güvenilirlik kelimesinin burada yerel iyonosferi temsil gücü anlamında kullanıldığı tekrar hatırlatılmalıdır.



Şekil 5.4. R-TEC Günlük En Yüksek Değer – Uydu Dağılımı

Şekil 5.5’de TEİ değerlerinin ilgili gün için kalite sorgulaması yapılmaktadır.



Şekil 5.5. MALZ İstasyonu Günlük R-TEC Grafiği

Grafik incelendiğinde R-TEC ≥ 1 durumunda kaliteli bir TEİ değerinin elde edildiğini söyleyebiliriz.

5.3. GQP⁽ⁱ⁾ Parametresinin Ağırlık Fonksiyonu Olarak Kullanılması

İstasyon bazlı TEİ hesabında her bir uydudan hesaplanan VTEC değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak istasyon için TEİ kestirimi yapılmaktadır. Bölüm 4.4’de literatürde yaygın olarak kullanılan ağırlık fonksiyonlarına değinilmiş ve kalite ölçütü olarak tanımlanan GQP⁽ⁱ⁾ parametrelerinin ağırlık fonksiyonu olarak kullanılması tasarlanmıştır. Eşitlik (4.10) ile tanımlanan GQP⁽ⁱ⁾ fonksiyonunun diğer ağırlık fonksiyonlarından en önemli farkı ve ayırt edici özelliği, uyu yükselme açısının yanı sıra uyu azimut açısını da kullanmasıdır.

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de MALZ istasyonunda 23 Ekim 2011 günü en büyük ve en küçük TEİ durumlarında, uyu geometrisi, VTEC değerleri ve ağırlık fonksiyonu ile erişilen ortalamalar gösterilmekte ve bu durum irdelenmektedir. Tablolarda ilk 3 satır uyu geometrisini, 4. satır uydulardan hesaplanan VTEC değerlerini, 5. 6. ve 7. satırlar ise uydular için ağırlıklandırılmış VTEC değerlerini göstermektedir. Tablonun son sütununda bulunan değerler VTEC değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanan TEİ değerlerini temsil etmektedir.

Tablo 5.3. En Küçük VTEC Ortalaması Epok: 01:58:30

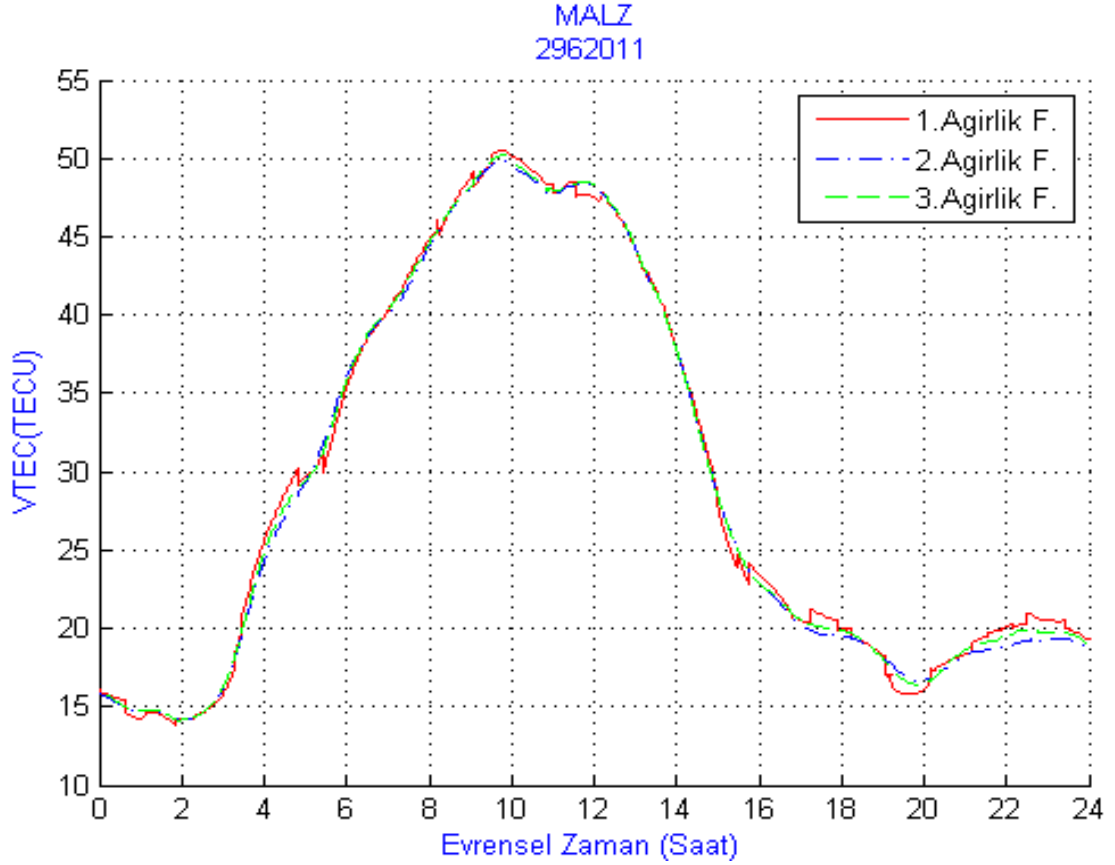
$\varepsilon_m(n)^\circ$	27	35	59	9	13	21	12	50	83	
$\alpha_m(n)^\circ$	109	280	312	163	44	192	320	48	108	
$\xi_{pp}(n)^{km}$	882,8	648,7	275,4	2826,8	1923,1	1180,7	2168,5	375,5	55,8	
VTEC	15,46	16,66	12,40	6,04	11,38	14,69	6,94	13,79	14,85	$\frac{\sum_{i=1}^n VTEC_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$
1.Ağırlık	0,49	1,18	5,25	0,00	0,07	0,23	0,03	3,48	14,85	14,18
2.Ağırlık	1,45	3,09	7,70	0,02	0,14	0,67	0,06	6,24	14,52	14,12
3.Ağırlık	0,40	1,41	6,58	0,00	0,00	0,38	0,00	4,85	14,15	14,08

Tablo 5.4. En Büyük VTEC Ortalaması Epok: 10:53:30

$\epsilon_m(n)^\circ$	30	11	25	57	39	69	60	16	
$\alpha_m(n)^\circ$	309	204	176	103	189	310	92	100	
$\xi_{pp'}(n)^{km}$	792,6	2272,7	980,5	289,9	548,7	169,1	263,8	1529,3	
VTEC	42,81	66,31	54,14	46,35	50,80	50,77	44,17	51,31	$\frac{\sum_{i=1}^n VTEC_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$
1.Ağırlık	1,80	0,30	1,33	18,23	5,49	50,77	19,82	0,47	48,37
2.Ağırlık	5,16	0,49	3,94	27,54	12,96	41,65	28,36	1,16	47,83
3.Ağırlık	2,07	0,02	3,11	22,25	11,19	38,42	23,45	0,03	48,00

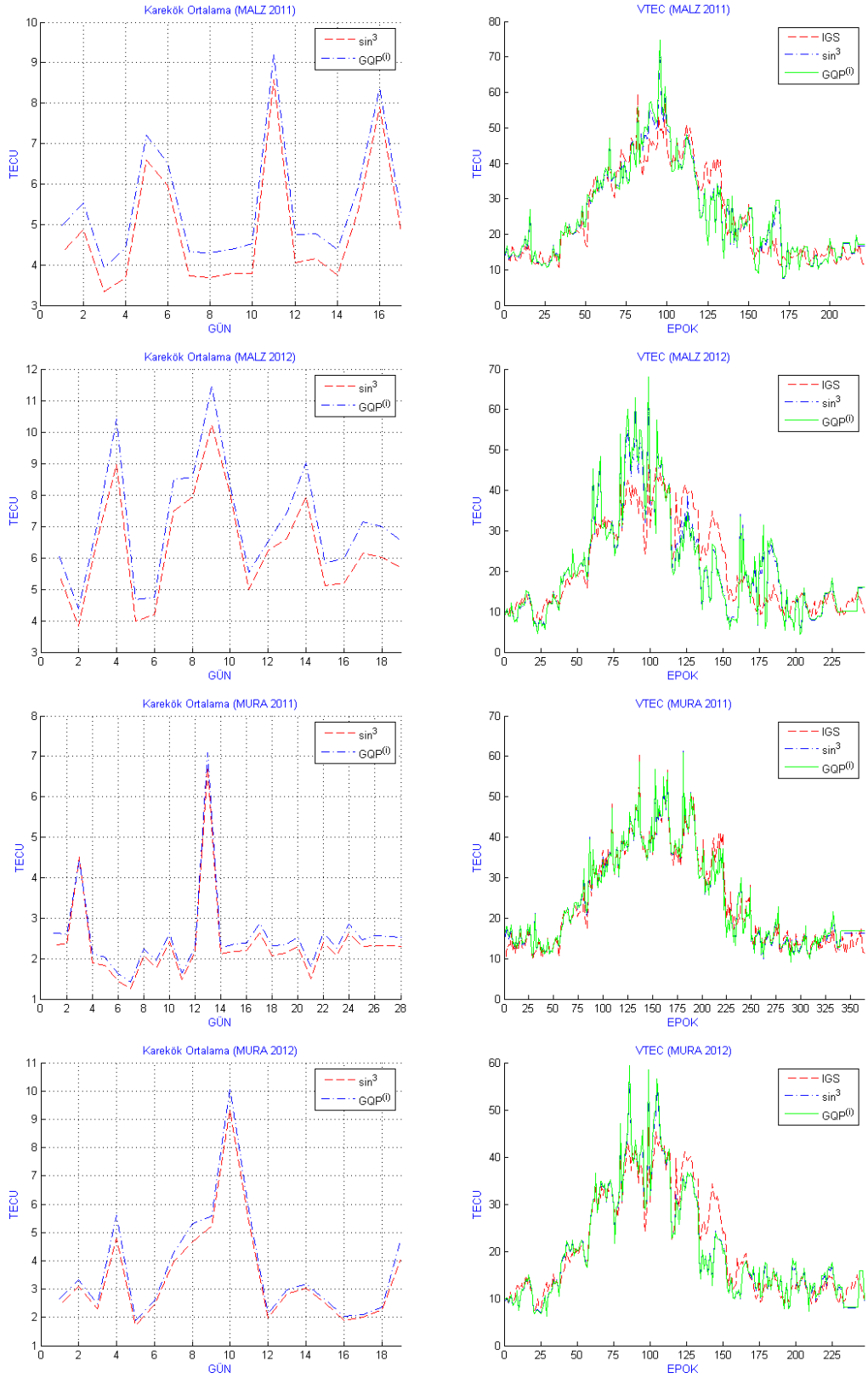
Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 incelendiğinde VTEC değerlerinin günlük en yüksek ve en düşük olduğu zaman dilimleri görülecektir. 9 uydudan alınan verilere göre en küçük VTEC ortalaması 01:58:30 zamanında 12.47 TECU ve 8 uydudan alınan verilere göre en büyük VTEC ortalaması 10:53:30 zamanında 50.83 TECU dur. Bu verilere göre 01:58:30 zamanında 1.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 14.18, 2.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 14.12 ve 3.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 14.08 olarak bulunmuştur. 10:53:30 zamanında ise 1.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 48.37, 2.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 47.83 ve 3.Ağırlık fonksiyonu için ağırlıklı VTEC ortalaması 48.00 olarak bulunmuştur.

Üç ayrı ağırlık fonksiyonu ile TEİ hesabı 23 Ekim 2011 günü MALZ istasyonu verileri için Şekil 5.6'da gösterilmektedir. 1. ağırlık fonksiyonu Eşitlik (4.12) IONOLAB ağırlık fonksiyonunu, 2. ağırlık fonksiyonu Eşitlik (4.13) fonksiyonunu, 3. ağırlık fonksiyonu ise Eşitlik (4.14) GQP⁽ⁱ⁾ fonksiyonunu göstermektedir. Çalışma kapsamında önerilen GQP⁽ⁱ⁾ ağırlık fonksiyonu için anlamlı bir farklılaşma görülmemekle birlikte, daha fazla denemenin yapılması veya daha özgün koşullu örneklerin oluşması durumunda anlamlı farkların ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.6. MALZ Noktasında VTEC Değerlerinin Ağırlık Fonksiyonlarına Göre Değişimi

Şekil 5.7’de MALZ noktası için 2011 yılında 17 günlük ve 2012 yılında 19 günlük periyotta ve MURA noktası için 2011 yılında 28 günlük ve 2012 yılında 19 günlük periyotta Eşitlik (4.13) ve (4.14) ağırlık fonksiyonlarının küresel iyonosfer modelleri içerisinde en yaygın kabul gören IGS modeli değerleriyle ortaya çıkan farkları gösterilmektedir. Şekil 5.7’nin sağ sütunundaki grafikler doğrudan TEİ değerleri, sol sütunundaki grafikler ise Eşitlik (4.13) ve (4.14) ağırlık fonksiyonlarından hesaplanan değerler ile IGS değerlerinin farkının günlük standart sapmaları izlenebilmektedir. Dört satır halindeki grafiklerden oluşan şekilde, 1. satır MALZ istasyonunun 2011 yılı, 2. satır MALZ istasyonunun 2012 yılı, 3. satır MURA istasyonunun 2011 yılı ve 4. satır MURA istasyonunun 2012 yılı verilerini göstermektedir. İki sütundan oluşan aynı şeklin, 1. sütunu karekök ortalama, 2. sütunu tüm yıla ait VTEC değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 5.7. Ağırlık Fonksiyonlarının IGS'e Göre Karekük Ortalamaları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alıcı istasyonun konumundaki iyonosferik aktiviteyi en iyi tanımlayacak elektromanyetik dalga, alıcının zenitine en yakın mesafeden geçendir. Zenitten uzaklaşan elektromanyetik dalgalar mesafenin ve zaman farkının bir fonksiyonu biçiminde alıcı konumundaki iyonosferden uzaklaşır. Bir başka ifade ile uydunun alıcıya göre bağıl konumu VTEC değerinin kalitesini etkilemektedir. Çalışma kapsamında bu etki faktörü $GQP^{(i)}$ kalite ölçütü parametresi ile tanımlanmıştır.

$GQP^{(i)}$ parametresinin değişkenlerini oluşturan uydu yükselme ve azimut açılarının etkileri çalışma kapsamında incelenmiş ve Eşitlik (4.10) ile bu parametre matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$GQP^{(i)}$ parametresi; alıcıda herhangi bir uydudan gelen elektromanyetik dalga ile hesaplanan VTEC değerinin alıcı konumundaki iyonosferi temsil gücünü yani kalitesini [0-1] aralığındaki değerler ile ortaya koyar. Sıfıra yaklaşan $GQP^{(i)}$ değeri ait olduğu uydunun ($PRN^{(i)}$) alıcıya göre konumunun alıcı konumundaki iyonosferik etkiyi belirlemek için uygun olmadığını, 1'e yaklaşan $GQP^{(i)}$ değeri ise tersi durumu gösterir.

Yapılan uygulamalar $GQP^{(i)}$ parametresinin, uydu geometrisinin VTEC hesabının kalitesine etkisini ortaya koymada başarılı bir ölçüt olabileceğini göstermektedir.

CORS sistemlerinin ihtiyacı olan bölgesel iyonosfer modelleri sabit istasyonlarda belirlenecek VTEC değerlerinden çeşitli yöntemlerle yapılan modellemeler sonucu elde edilebilmektedir. $GQP^{(i)}$ parametresinin tam da bu tür modellemeler için stokastik modeli oluşturabileceği düşünülmektedir. Ölçü olarak kabul edilecek VTEC değerlerinin yanı sıra $GQP^{(i)}$ değerleri ölçü ağırlıkları olarak kullanılmaya oldukça elverişlidir. Ardıl çalışmalarda CORS ağları için anlık bölgesel iyonosfer modellemede stokastik model olarak $GQP^{(i)}$ 'nin kullanımı düşüncesi değerlendirilmelidir.

Bir alıcı istasyon için TEİ, gözlem yapılan uydulardan hesaplanan VTEC değerlerinin ağırlıklı ortalaması ile bulunmaktadır. İstasyon için bulunan TEİ 'nin kalitesi de uydular için üretilen GQP⁽ⁱ⁾ parametrelerinin istatistiksel ortalaması olarak tanımlanmış ve R-TEC güvenilirlik ölçütü olarak isimlendirilmiştir.

Eşitlik (4.11) ile gösterilen R-TEC ölçütü TEİ hesabının alıcı konumundaki yerel iyonosferi temsil gücünü ifade eder.

Uygulamada R-TEC ölçütünün sınır değerleri kesin olmamakla birlikte [0,5-1,5] arası değerler alabileceği gözlenmiş, problemin yapısı itibari ile bu çalışma kapsamında normlandırma işleminden kaçınılmıştır. R-TEC değeri alt sınıra yaklaştığında VTEC değerlerinin alıcı konumuna uzak uydulardan hesaplandığı, üst sınıra yaklaştıkça da alıcı zenitine yakın uydulardan hesaplandıkları anlaşılmaktadır.

Kabaca bir yaklaşımla R-TEC ölçütü 1'in üzerine çıktığında yapılan TEİ hesabının yerel iyonosferi yeterince temsil ettiğinin kabul edilebileceği, yani TEİ hesabının yeterli kalitede olduğu varsayılabilir. Bir başka ifade ile $R-TEC \geq 1$ gösteriminin bir eşik değere işaret ettiği söylenebilir.

Tez çalışması süresindeki çok sayıda uygulama sonrası R-TEC ölçütünün sınır değerleri ile zayıf ya da güçlü olarak kabul edilebilecek değerler deneyimsel olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte ardıl çalışmalarda, R-TEC ölçütünün aldığı değerler istatistiksel değerlendirmelere konu edilmeli ve özellikle eşik değerler üzerinde durulmalıdır.

TEİ ağırlıklı ortalama ile elde edildiğinden bir anlamıyla uydu dağılımına göre yapılan basit bir modellemeden söz edilmektedir. R-TEC ölçütü ise modele dahil edilen uyduların bağıl geometri bilgisini vermektedir. R-TEC değeri yeterince yüksek olduğunda alıcı zenitine görece yakın uydulardan hesaplama yapıldığını yani ağırlıklı ortalama dan oluşan modelin daha küçük ve yerel bir alanda kaldığını, R-TEC alt sınıra yaklaştığında ise uyduların alıcıdan oldukça uzakta bulunduğunu ve modelin görece geniş bir alanda yapıldığını söylemek mümkündür. R-TEC çok küçüldüğünde istasyon bazlı TEİ hesabının küresel modele yakınsadığı düşünülmelidir.

Uydu dağılımı sürekli değiştiği için uzun bir süre R-TEC değerinin düşük kalması yani uydu bağıl geometrisinin iyonosfer hesabı için uzun süre elverişsiz olması beklenmez. Bununla birlikte uygulama bölümünde (Şekil 5.5) bu sürenin 1 saatin üzerine çıkabildiği gözlenmiştir. Böyle durumlarda yukarıda bahsedildiği gibi istasyon bazlı TEİ hesabından bölgesel bir ortalamaya geçişin söz konusu olduğunun farkında olmak yararlı olacaktır. IGS gibi küresel iyonosfer modellerinin bu tür zaman dilimlerinde daha fazla dikkate alınması da bir öneri olarak getirilebilir.

TEİ hesabında gözlenen uydulardan ağırlıklı ortalama alındığı pek çok kez dile getirilmişti. Literatürde çoğunlukla uydu yükselme açısına dayanan ağırlık fonksiyonları kullanılmakta ve zenite daha yakın uyduların hesaba etkisi daha yüksek tutulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında gözlenen uyduların bağıl konumlarına göre türetilen $GQP^{(i)}$ parametresinin ağırlık fonksiyonu olarak kullanılmasının da çok uygun olabileceği üzerinde durulmuş ve $GQP^{(i)}$ bir ağırlık fonksiyonu olarak önerilmiştir.

$GQP^{(i)}$ parametresinin diğer ağırlık fonksiyonlarından en önemli farkı sadece uydu yükselme açısını değil, yerel güneş saatlerine bağlı etkiyi ortaya koyabilmek adına uydu azimut açısını da dikkate almasıdır.

[0-1] aralığında değerler üreten $GQP^{(i)}$ parametresi doğrudan ağırlık olarak kullanılabilir. Yukarıdaki bölümlerde ayrıntıları ile ele alınmakla birlikte uydu azimut açısının işin içine katılmasıyla farklı yerel saatlerdeki VTEC ölçülerinin de ağırlık katsayılarının farklı olması sağlanabilmektedir. Azimut açısı uydu yükselme açısı ile birlikte yerel saat farkını belirlemede kullanılmaktadır ve dolayısıyla azimut açısının $GQP^{(i)}$ parametresinin toplamına etkisi yükselme açısının düşük olduğu durumlarda daha fazladır. Azimut açısının $GQP^{(i)}$ parametresine etkisi Tablo 4.2’de incelenebilir.

Ağırlık fonksiyonu olarak uyduya ait bağıl geometri elemanlarının her ikisinin de kullanılması düşüncesi ile farklı matematiksel ifadeler geliştirmek mümkündür. Eşitlik (4.14) ile gösterilen matematiksel ifade tez kapsamında uygulamada kullanılmış olup, ardıl çalışmalarda iki bağıl geometri elemanını da kullanan daha farklı matematiksel ifadelerin tanımlanmasına açık bir alan bulunmaktadır.

GQP⁽ⁱ⁾ parametresinin literatürde kullanılan diğer iki ağırlık fonksiyonu ve küresel IGS modeli ile karşılaştırılmasına ilişkin örnek uygulamalar Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu örnekler incelendiğinde; ağırlık fonksiyonlarının birbirine yakın sonuçlar ürettikleri görülmektedir.

Temel olarak GQP⁽ⁱ⁾ ağırlık fonksiyonundan zaman farkı etkisini göz önüne alması nedeniyle daha yerel bir model oluşturması beklenmektedir. Bir başka ifade ile alıcı zeniti çevresinde düşünülebilecek hayali bir koninin tabanını daraltan etki göstermesi beklenmektedir. Yapılan uygulamalarda TEİ grafiğinin GQP⁽ⁱ⁾ ağırlık fonksiyonu kullanıldığında diğer ağırlık fonksiyonlarına göre az bir farkla da olsa küresel IGS modelinden farklılaştığı izlenmiştir. Şekil 5.7’de GQP⁽ⁱ⁾ ağırlık fonksiyonu çözümü ile IGS arasındaki farkın diğer ağırlık fonksiyonuna göre az bir miktar da olsa arttığı, yani küresel modelden değişim gösterdiği görülmektedir. Niceliksel olarak az da olsa, IGS küresel modelinden bu farklılaşmanın daha yerel bir TEİ kestirimi olarak yorumlanması mümkündür.

Ağırlık fonksiyonu için yapılan uygulamalarda önemli farklar görülmemekle birlikte GQP⁽ⁱ⁾ ağırlık fonksiyonunun daha özgün koşullarda daha anlamlı farklar yaratabileceğine inanılmaktadır. Sonuç itibarı ile zaman farkı TEİ ortalaması için önemli bir parametredir ve yerel zaman farkı etkisi göz önüne alınarak tanımlanmış Eşitlik (4.14) ağırlık fonksiyonunun doğru bir yaklaşımı temsil ettiği düşünülmektedir.

Bu nedenle sayılamayacak kadar farklı uydu dağılımlarından bazılarında Eşitlik (4.14) ağırlık fonksiyonunun daha iyi sonuçlar verebileceği varsayılabilir. Kaldı ki, yapılan uygulamalarda az da olsa ortaya çıkan farklılaşma, yerelleşme olarak değerlendirilebilir ve bu iyileşmenin bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Bununla birlikte, uydu yükselme açısı ve uydu azimut açısının bir fonksiyonu olarak yerel zaman farkı etkisinin ağırlık fonksiyonu içinde kullanılmasına dair bu çalışma bir başlangıcı temsil etmekte olup, ardıl çalışmalarda daha başarılı olabilecek matematiksel ifadelerin tanımlanması üzerinde durulmalıdır.

Mühendislik problemlerinin çözümünde sadece sonucu bulmak çoğu durumda yeterli değildir. Elde edilen sonucun doğruluğu ve güvenilirliği bazen elde edilen sonuç

kadar değerli olabilmekte, sonucun bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, GPS gözlemleri ile TEİ hesabı için de istasyonun konumuna göre uydu bağıl geometrisinin hesap kalitesini etkileyebileceği üzerinde durulmuş ve bu durum bir güven ölçütü şeklinde ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışmanın konusu ve elde edilen deneysel sonuçlar GPS sinyalleri ile iyonosfer belirleme çalışmaları kapsamında özgün ve yenidir.

KAYNAKLAR

- [1] Misra P., Enge P., *Global Positioning System Signals, Measurements and Performance*, 2th ed., Ganga-Jamuna Press, Massachusetts, 2006.
- [2] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., *GPS Theory and Practice*, 5th ed., SpringerWienNewYork, Wien, 2001.
- [3] Eren K., Uzel T., *Gps Ölçmeleri*, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1995.
- [4] Blewitt G., Basics of the GPS Technique: Observation Equations in Geodetic Applications of GPS, Editors: Johnson B., *Geodetic Application of GPS*, 1th ed., Nordic Geodetic Commission, Sweden, 10-54, 1997.
- [5] Teunissen P. J. G., Kleusberg A., *GPS for Geodesy*, 2th ed., Springer, Stuttgart, 1998.
- [6] Nayir H., Küresel Konumlama Sistemi Kullanılarak Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 185631.
- [7] Hugentobler U., Schaer S., Fridezi P., *Bernese GPS Software Version 4.2.*, 1th ed., University of Berne Astronomical Institute, Switzerland, 2001.
- [8] Wild U., Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring, Ph.D Thesis, Swiss Academy of Sciences, Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich, 1994.
- [9] Schaer S., Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Ph.D Thesis, Astronomical Institute, University of Berne, Sweden, 1999.
- [10] Mervart L., Ambiguity Resolution Techniques in Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System, Ph.D Thesis, University of Bern, Bern, 1995.
- [11] Davies K., Hartmann G.K., Studying the ionosphere with the Global Positioning System, *Radio Science*, 1997, **32**, 1695-1704.
- [12] Danilov A. D., Lastovicka J., Effects of Geomagnetic Storms on the Ionosphere and Atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 2001, **2**, 209-224.

- [13] Skone S., Cannon M. E., Ionospheric Effects on Differential GPS Applications During Auroral Substorm Activity, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**, 279-288.
- [14] Gizawy L. M., Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users, Ph.D Thesis, University of Calgary, Calgary, 2003.
- [15] Parkinson B. W., Spilker J. J., *Global Positioning Systems: Theory and Applications*, 5th ed., American Institute of Astronautics, Massachusetts, 1996.
- [16] Schaer S., Beutler G., Mervart L., Rothacher M., Wild U., Global and Regional Ionosphere Model Using the GPS Double Difference Phase Observable, *In the Proceeding of IGS Workshop on Special Topics and New Directions*, Potsdam, Germany, 15-17 May 1995.
- [17] Goodwin G. L., Breed A. M., Total Electron Content in Australia Corrected for Receiver/Satellite Offset Bias and Compared with IRI and PIM Predictions, *Advanced Space Research*, 2001, **27**, 49-60.
- [18] Warnant R., Atmospheric Perturbations on GNSS Signals and their Influence on Time Transfer, *XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science*, Maastricht, The Netherlands, 17-24 August 2002.
- [19] Groves K. M., Basu S., Quinn J. M., Pederson T. R., Falinski K., A Comparison of GPS Performance in a Scintillation Environment at Ascension Island, *Proceedings of ION-GPS*, Salt Lake City, Utah, 11-13 September 2000.
- [20] Marshall G., GPS Space Weather and Ionosphere, *Marine Technology Society Dynamic Positioning Conference*, Houston, Texas, 17-18 October 2000.
- [21] Skone S., Jong M. D., The Impact of Geomagnetic Substorms on GPS Receiver Performance, *Earth Planets Space*, 2000, **52**, 1067-1071.
- [22] Stewart P. J., Langley, R. B., The Statistics of Scintillation Occurrence at GPS Frequencies, *Proceedings of IES99 Ionosphere Effect Symposium*, Alexandria, Virginia, 4-6 May 1999.
- [23] Aquino M., Waugh S., Moore T., Dodson A., GPS Based Ionosphere Scintillation Monitoring, *Space Weather Workshop: Looking Towards a Future European Space Weather Programme*, Noordwijk, The Netherlands, 17-19 September 2001.
- [24] Nishino M., Nozawa S., Holtet J. A., Daytime Ionospheric Absorption Features in the Polar Cap Associated with Poleward Drifting F-Region Plasma Patches, *Earth and Planets Space*, 1998, **50**, 107-117.
- [25] Ping J., Kono Y., Matsumoto K., Otsuka Y., Saito A., Shum C., Heki K., Kawano N., Regional Ionosphere Map over Japanese Island, *Earth Planets Space*, 2002, **54**, 13-16.

- [26] Jakowski N., Wehrenpfenning A., Heise S., Schluter S., Noack T., Space Weather Effects in the Ionosphere and their Impact on Positioning, *Space Weather Workshop: Looking Towards a Future European Space Weather Programme*, Noordwijk, The Netherlands, 17-19 September 2001.
- [27] Menvielle M., The Geomagnetic Indices: Derivation, Meaning, and Availability, *Space Weather Workshop: Looking Towards a Future European Space Weather Programme*, Noordwijk, The Netherlands, 17-19 September 2001.
- [28] Hunsucker R. D., Hargreaves J. K., *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [29] Cander L. R., Space Weather Impact on Communications at Solar Maximum, *Rutherford Appleton Laboratory*, D53-3, 1-10, 2002.
- [30] Liao X., Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over a Regional Area GPS Network, Master's Thesis, University of Calgary, Calgary, 2000.
- [31] Georgiadou Y., Kleusberg A., On the Effect of Ionospheric delay on Geodetic relative GPS Positioning, *Manuscripta Geodetica*, 1988, **13**, 1-8.
- [32] Langley R. B., Komjathy A., High Precision Ionospheric Total Electron Count Mapping Using the Navstar Global Positioning System, *AGU Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, Australia, 23-27 July 1996.
- [33] Calais E., Minster J. B., GPS Earthquakes The Ionosphere and Space Shuttle, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1998, **105**, 167-181.
- [34] Arıkan F., Erol C., Arıkan O., Regularized Estimation of Vertical Total Electron Content from Global Positioning System Data, *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**, 1469-1480.
- [35] Çepni, M. S., Poots, L. V., Miima, J. B., High Resolution Station-based Diurnal Ionospheric Total Electron Content (TEC) from Dual-frequency GPS observations, *Space Weather*, DOI:10.1002/swe.20093.
- [36] Aysezen M. Ş., Türkiye için IONOLAB-TEC Kullanılarak GPS Tabanlı TEİ ve Alıcı Yanlılığı Veri Tabanı Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2008, 179849.
- [37] Uğurlu O., Sezen U., Sayın I., Web Tabanlı IONOLAB TEİ Kestirimi, *SİU2007 Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Haziran 2007.
- [38] Arıkan F., Erol C., Arıkan O., Regularized Estimation of Vertical Total Electron Content from GPS Data for a Desired Time Period, *Radio Science*, 2004, **39**, 35-45.
- [39] Ma G., Maruyama T., Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan, *Annales Geophysicae*, 2003, **21**, 2083-2093.

[40] <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/obs/> (Ziyaret tarihi : 12 Kasım 2012).

[41] <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/iono> (Ziyaret tarihi : 18 Ekim 2012).

[42] <http://www.ips.gov.au/Satellite/2/2/> (Ziyaret tarihi : 2 Şubat 2013).

EKLER

EK-A

Aşağıdaki tablolarda MALZ noktasının çalışmada ele alınan üç ağırlık fonksiyonuna göre günlük altı saat aralıklı ortalama VTEC değerleri gösterilmektedir. Çalışmadaki tüm sonuçlar 30 sn zaman çözünürlüğünde irdelenmiştir. Çeşitli kısıtlar nedeniyle ekler kısmında sadece bir bölümü sunulabilmektedir. Tablolarda 1. ve 2. ağırlık fonksiyonları için sadece uydu yükselme açısı değerleri kullanılmıştır. 3. ağırlık fonksiyonu için hem uydu yükselme hem de uydu azimut açısı değerleri kullanılmıştır. İlk sütun uydu yükselme açısını, ikinci sütun uydu azimut açısını, üçüncü sütun uydulardan elde edilen VTEC değerlerini, son üç sütunda ağırlık fonksiyonlarına ait değerlerin VTEC değerleri ile çarpılması sonucu elde edilen ağırlıklı VTEC değerlerini göstermektedir. Tablolardaki son üç satır ise ağırlık fonksiyonlarına göre hesaplanan ortalama VTEC değerlerini temsil etmektedir.

Tablo A.1. Ortalama VTEC Değerleri - Epok: 00:00:00

ε^0	α^0	VTEC	1.Ağırlık	2.Ağırlık	3.Ağırlık
16	304	9,48	0,08	0,18	0,00
28	51	16,93	0,60	1,76	0,64
9	316	9,49	0,00	0,03	0,00
68	353	21,17	21,17	16,97	16,59
60	71	16,80	7,66	10,88	9,10
53	127	15,60	4,82	8,02	6,42
49	257	22,80	5,12	9,59	6,78
7	323	8,34	0,00	0,01	0,00
16	272	10,54	0,09	0,21	0,00
23	243	18,25	0,39	1,14	0,22
29	162	15,81	0,65	1,88	1,24
1.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 19,28					
2.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 18,68					
3.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 18,95					

Tablo A.2. Ortalama VTEC Değerleri - Epok: 06:00:00

ε^0	α^0	VTEC	1.Ağırlık	2.Ağırlık	3.Ağırlık
33	201	39,30	2,25	6,14	4,18
44	255	40,28	6,53	13,66	8,84
74	78	34,45	34,45	30,58	28,48
40	61	34,35	3,79	8,91	5,25
17	143	34,91	0,34	0,88	0,11
31	312	35,98	1,75	4,92	2,22
10	74	27,04	0,00	0,14	0,00
1.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 35,38					
2.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 36,05					
3.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 35,82					

Tablo A.3. Ortalama VTEC Değerleri - Epok: 12:00:00

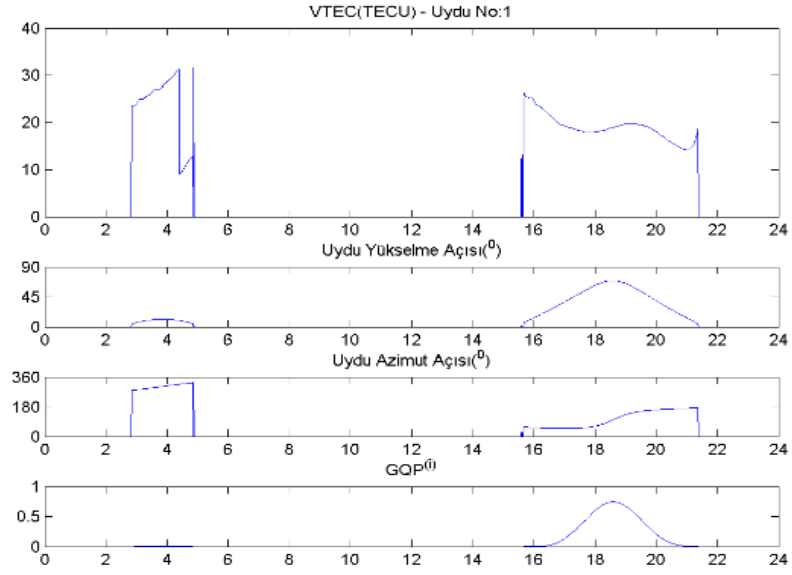
ϵ^0	α^0	VTEC	1.Ağırlık	2.Ağırlık	3.Ağırlık
7	52	41,90	0,00	0,09	0,00
6	320	39,70	0,00	0,06	0,00
21	53	42,70	0,70	2,02	0,31
20	260	45,30	0,64	1,80	0,15
28	49	41,06	1,48	4,30	1,61
56	179	50,65	18,49	28,78	27,95
73	36	44,96	44,96	39,35	37,47
18	155	52,46	0,60	1,60	0,42
9	189	68,77	0,00	0,29	0,04
13	295	41,78	0,25	0,48	0,00
51	253	52,97	14,05	24,76	18,38
43	141	49,25	7,49	15,99	11,67
1.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 47,51					
2.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 48,25					
3.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 48,34					

Tablo A.4. Ortalama VTEC Değerleri - Epok: 18:00:00

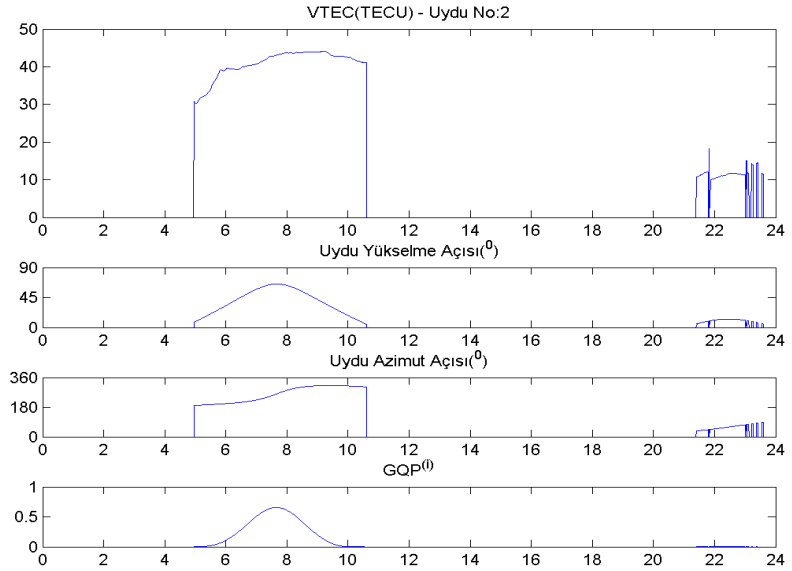
ϵ^0	α^0	VTEC	1.Ağırlık	2.Ağırlık	3.Ağırlık
62	62	18,01	18,01	12,45	10,74
63	119	22,17	22,17	15,69	13,67
31	314	13,43	0,66	1,84	0,85
6	36	17,71	0,00	0,02	0,00
16	155	18,39	0,16	0,38	0,07
36	64	13,39	1,08	2,74	1,40
14	269	10,54	0,07	0,16	0,00
17	127	21,54	0,22	0,57	0,04
45	243	23,26	4,04	8,27	5,63
1.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 19,93					
2.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 19,50					
3.Ağırlık Fonksiyonuna göre ortalama VTEC: 19,89					

EK-B

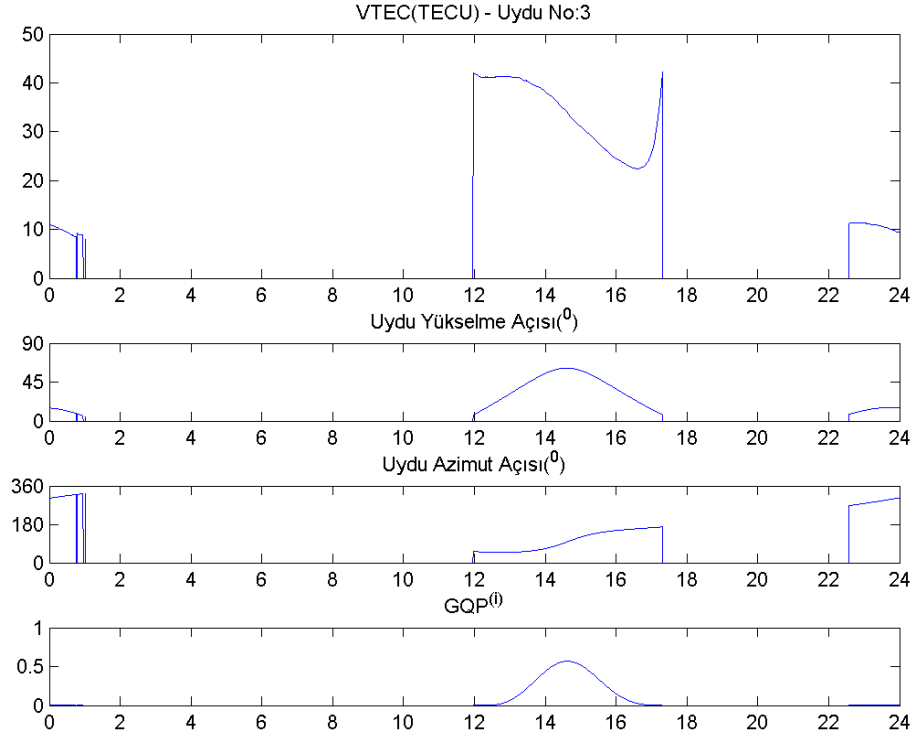
MALZ noktasında uydulara ait uydu yükselme, uydu azimut ve $GQP^{(i)}$ değerlerini gösteren grafikler



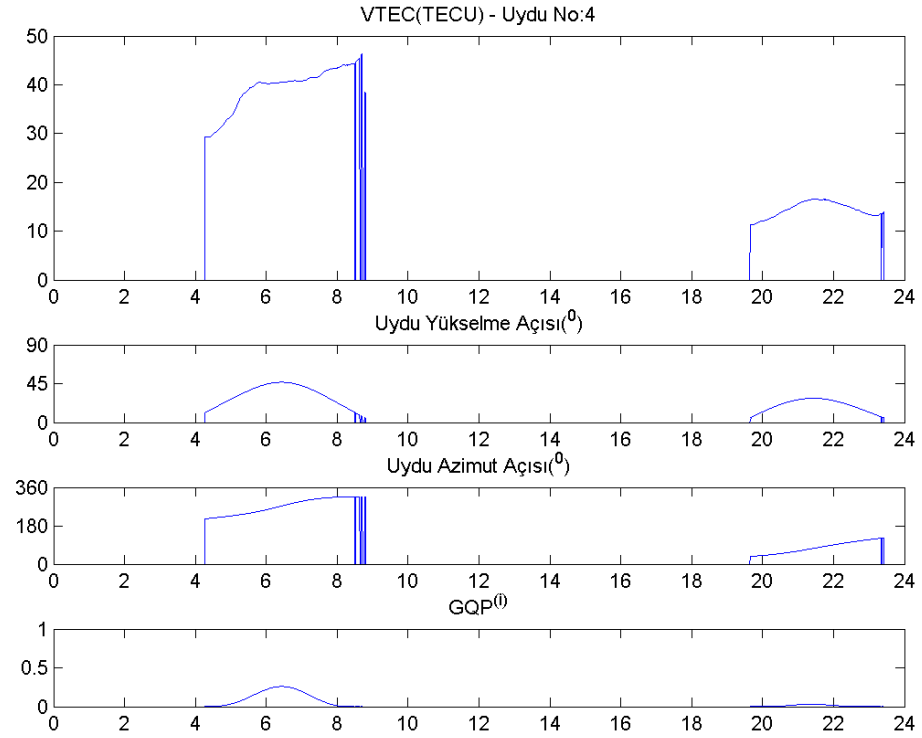
Şekil B.1. Uydu Geometrisine Göre $GQP^{(i)}$ – Uydu No:1



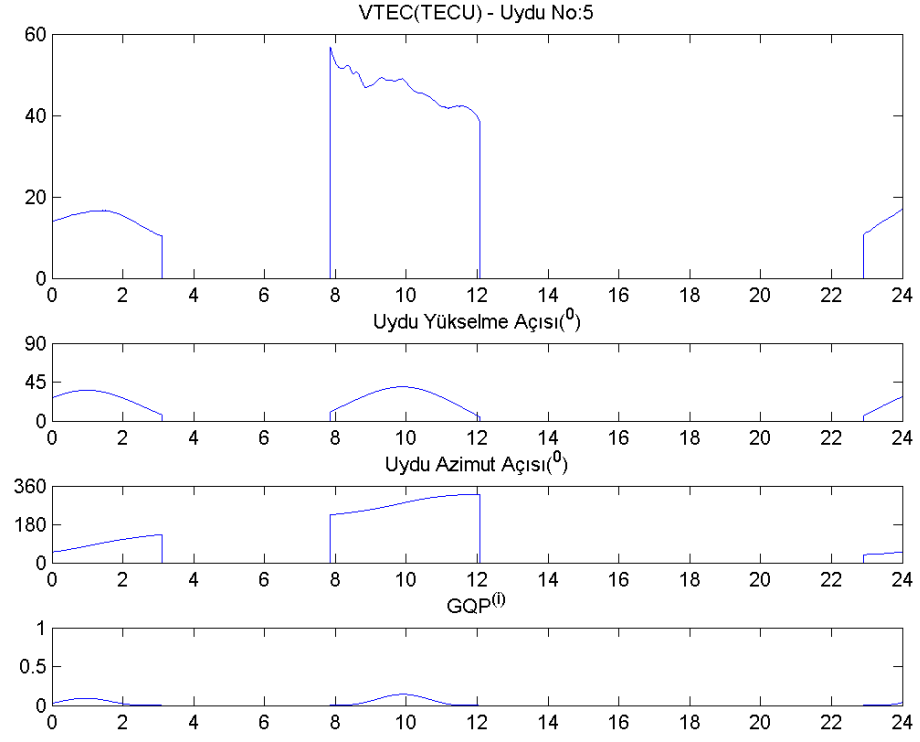
Şekil B.2. Uydu Geometrisine Göre $GQP^{(i)}$ – Uydu No:2



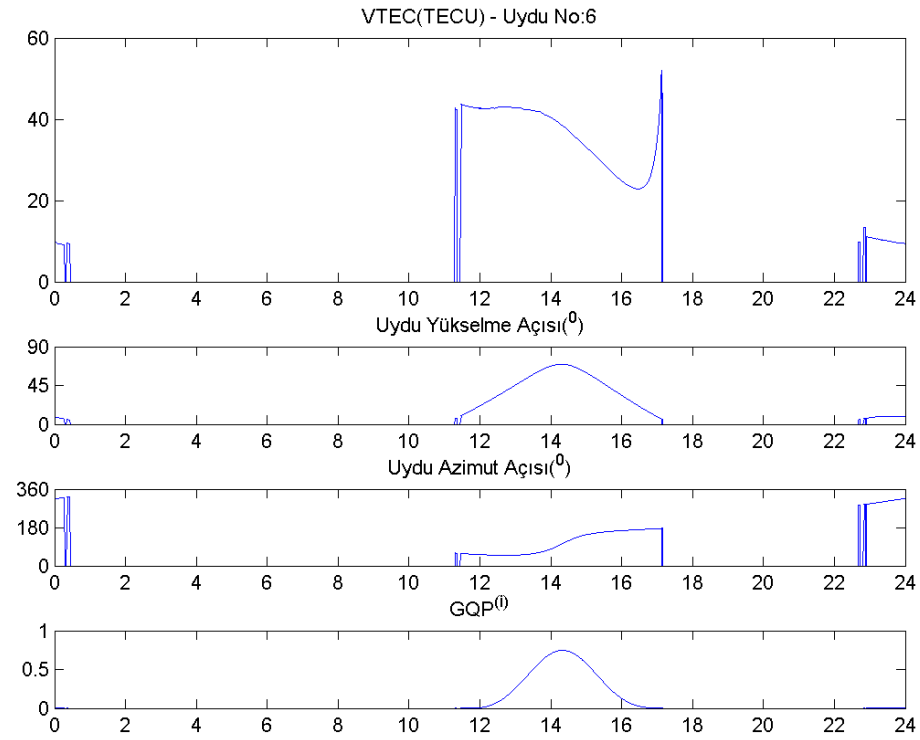
Şekil B.3. Uydu Geometrisine Göre $GQP^{(i)}$ – Uydu No:3



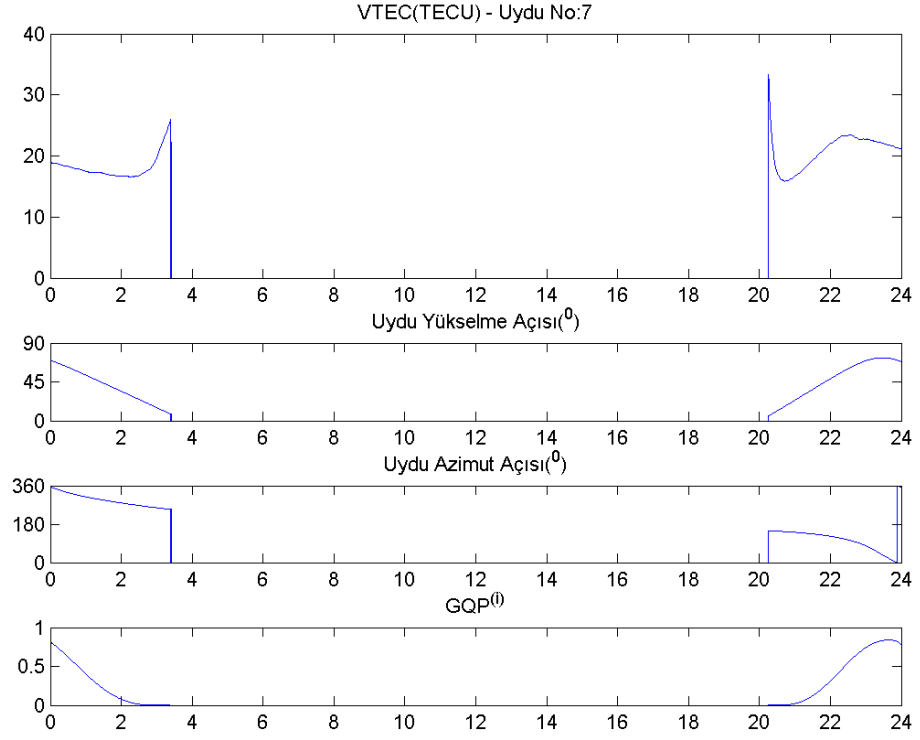
Şekil B.4. Uydu Geometrisine Göre $GQP^{(i)}$ – Uydu No:4



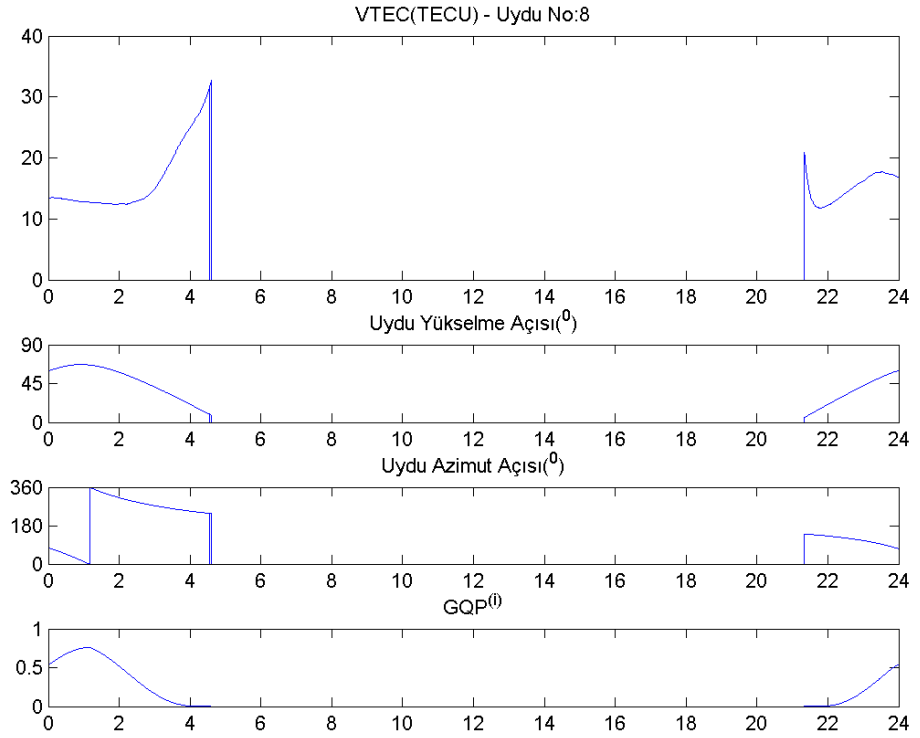
Şekil B.5. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:5



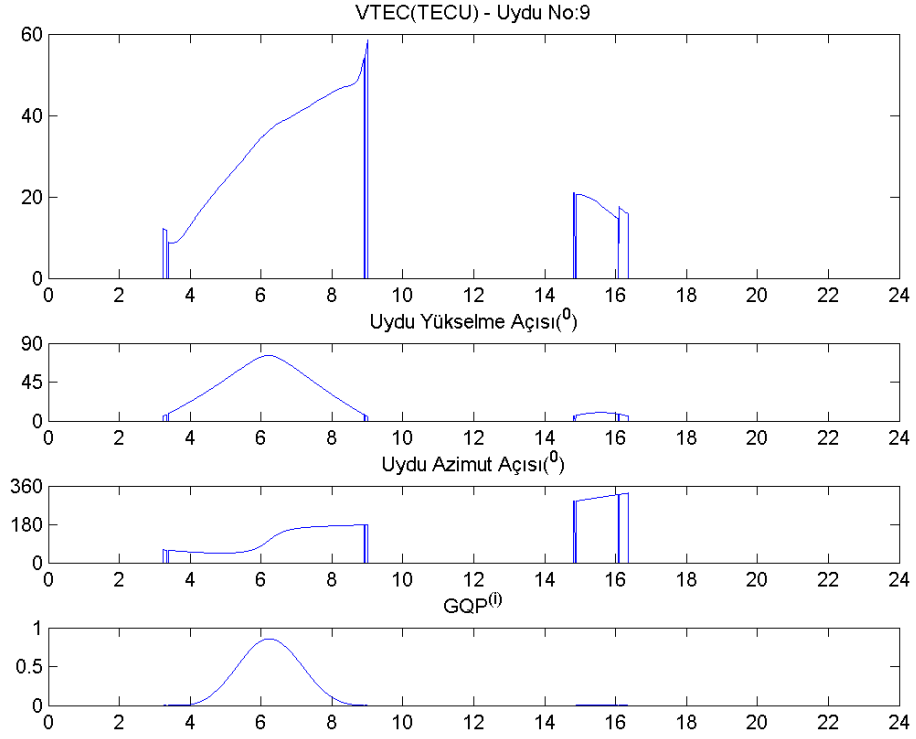
Şekil B.6. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:6



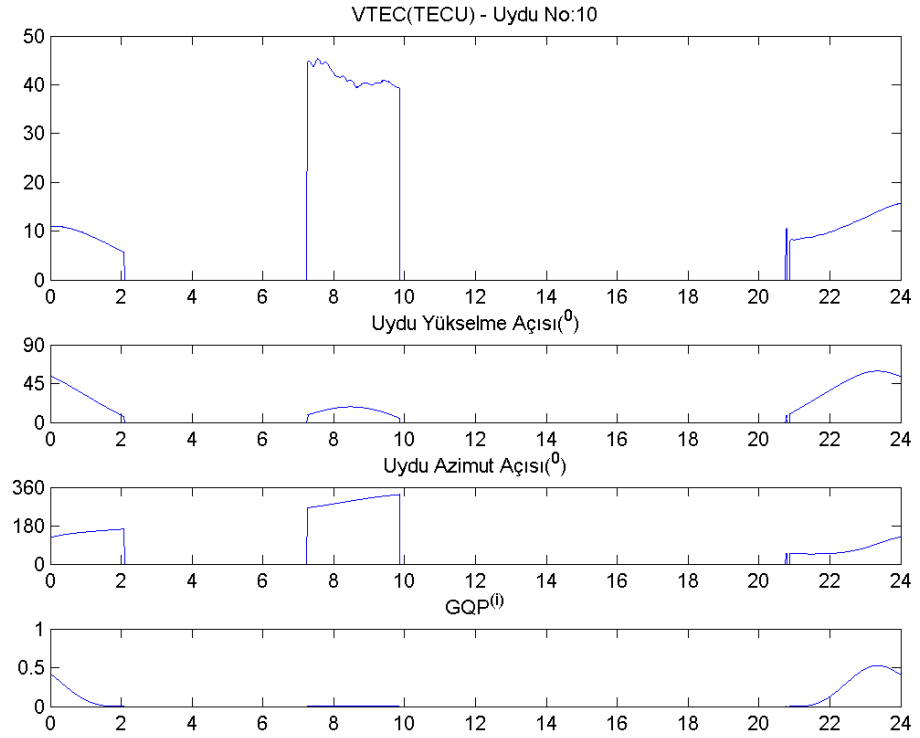
Şekil B.7. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:7



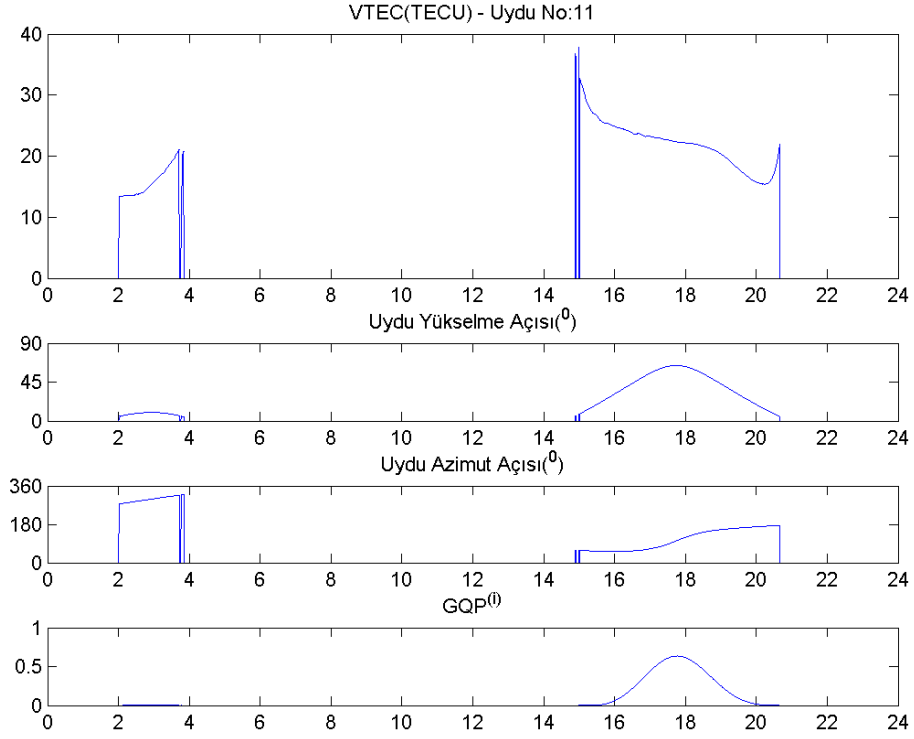
Şekil B.8. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:8



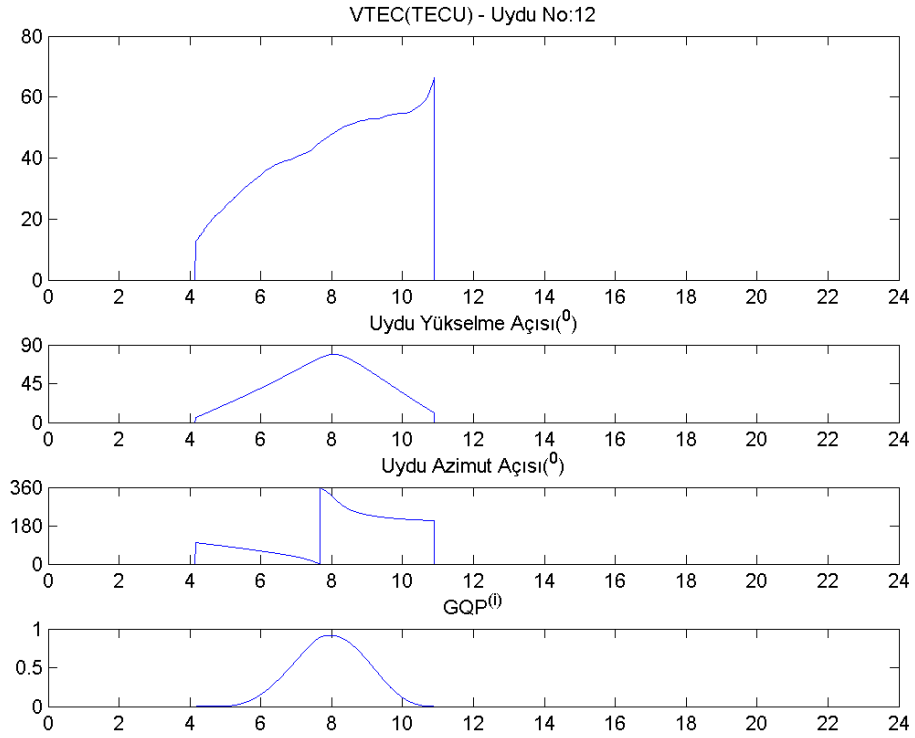
Şekil B.9. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:9



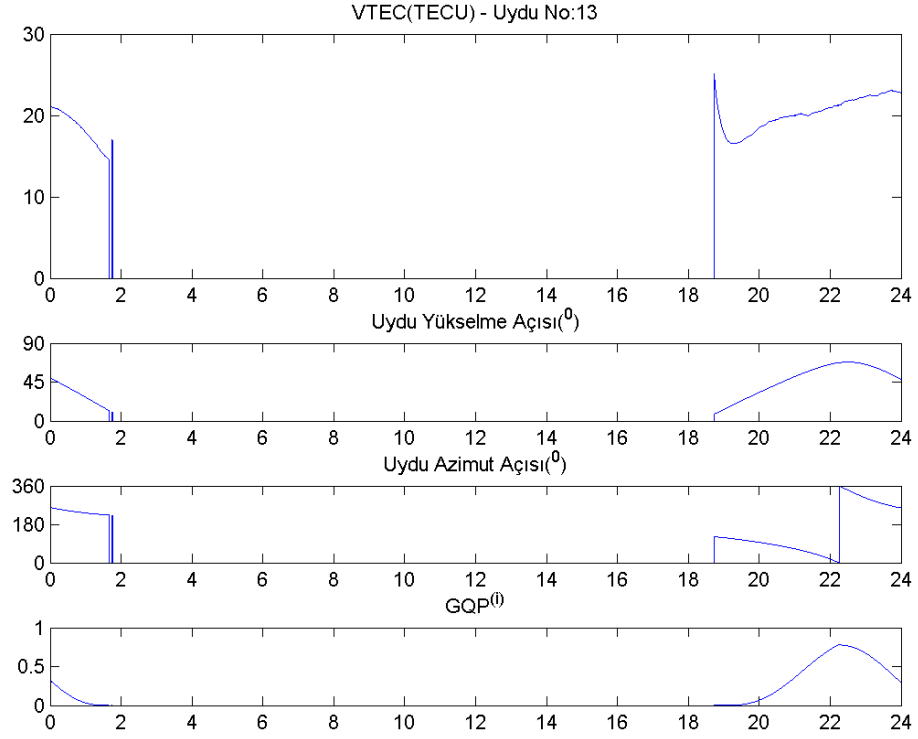
Şekil B.10. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:10



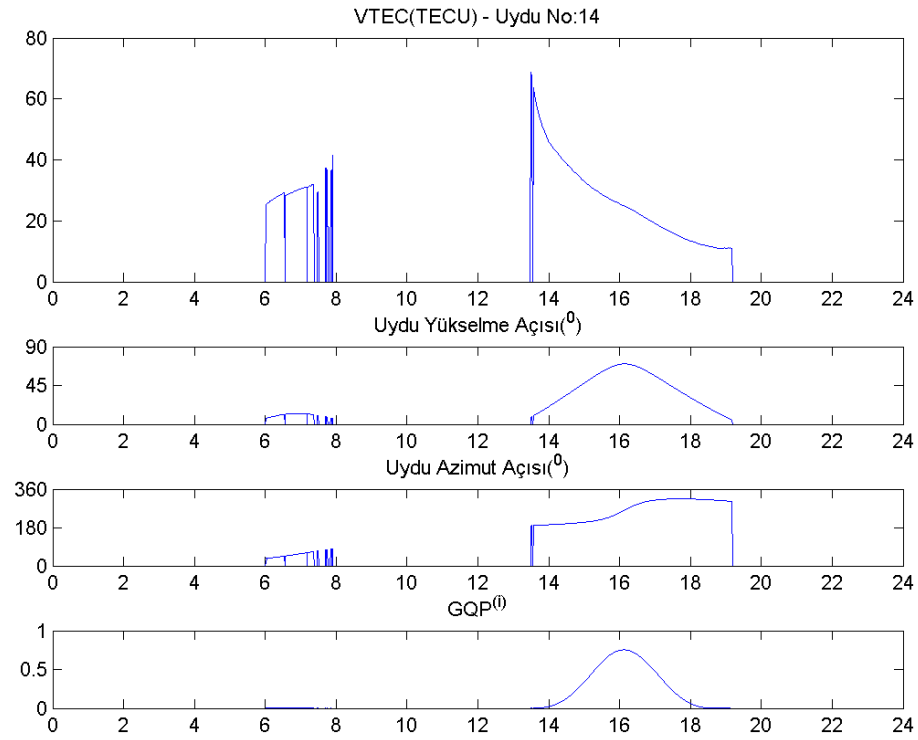
Şekil B.11. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:11



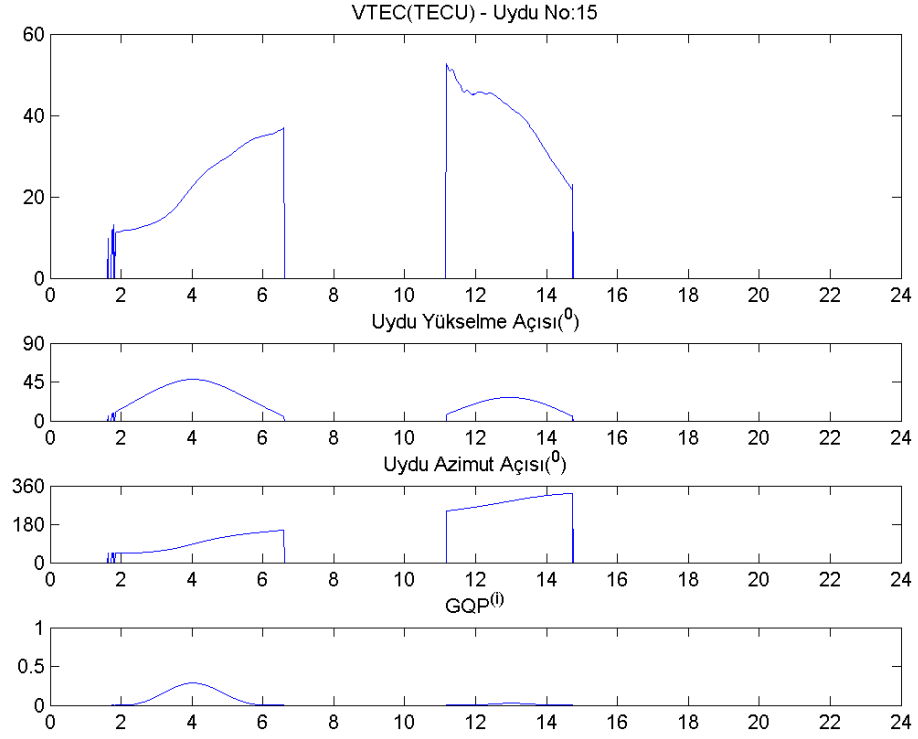
Şekil B.12. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:12



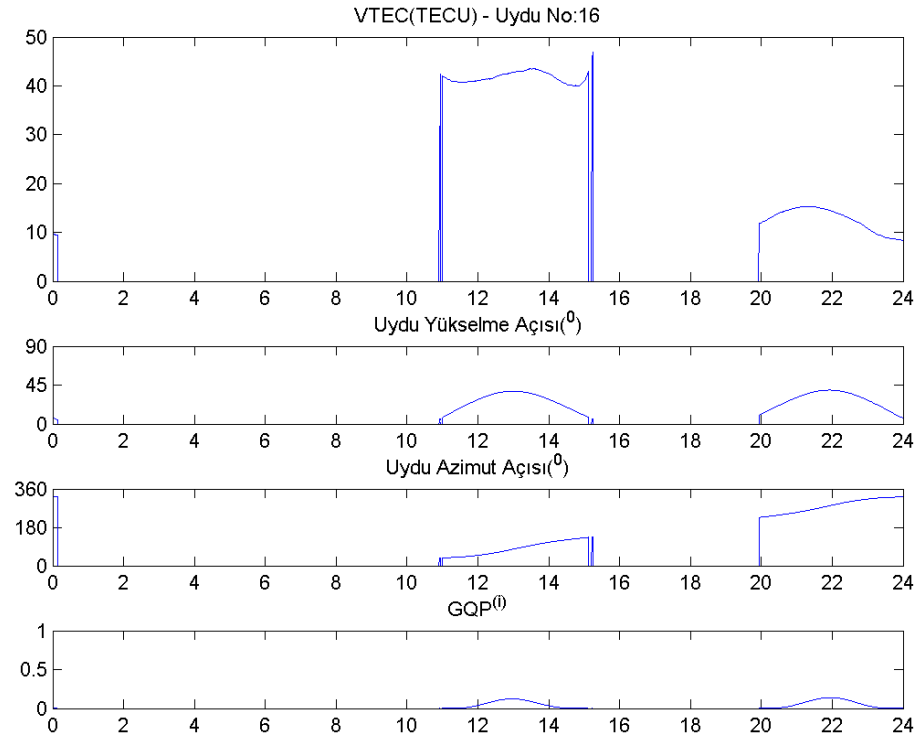
Şekil B.13. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:13



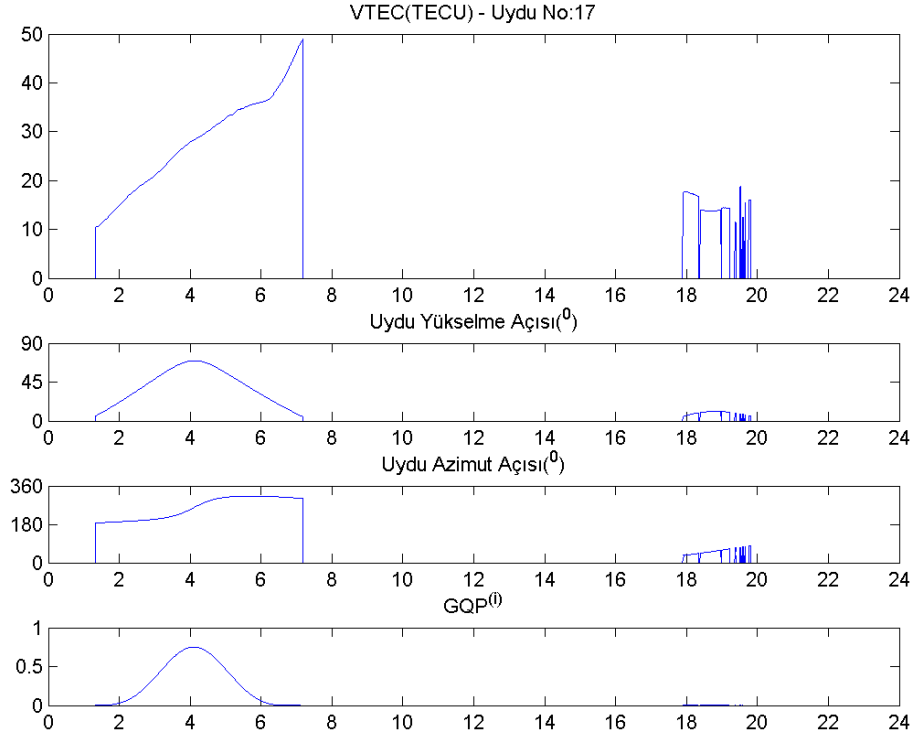
Şekil B.14. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:14



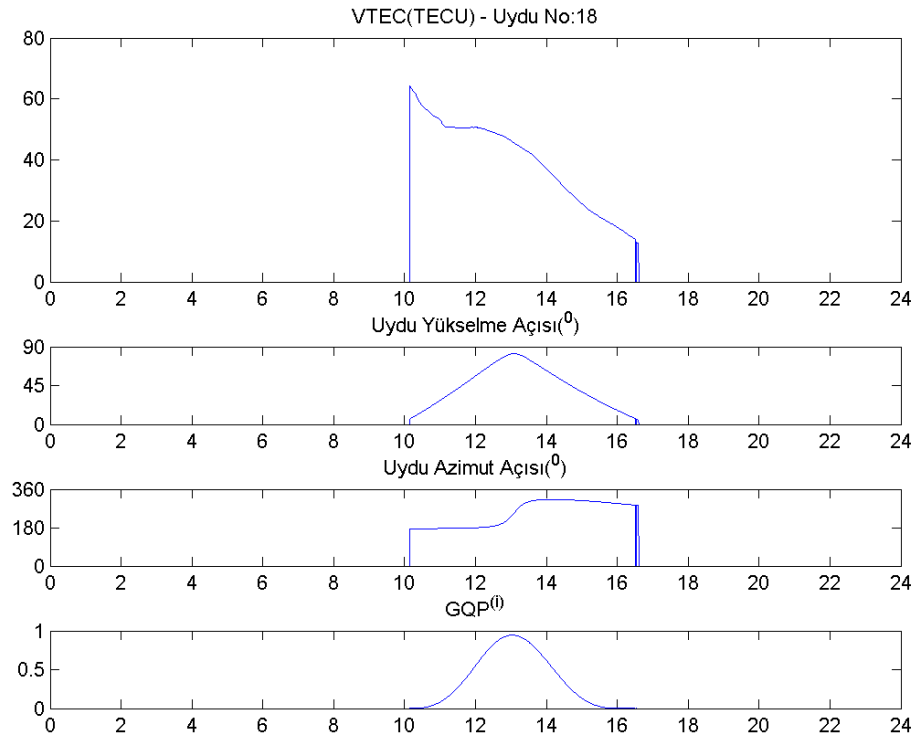
Şekil B.15. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:15



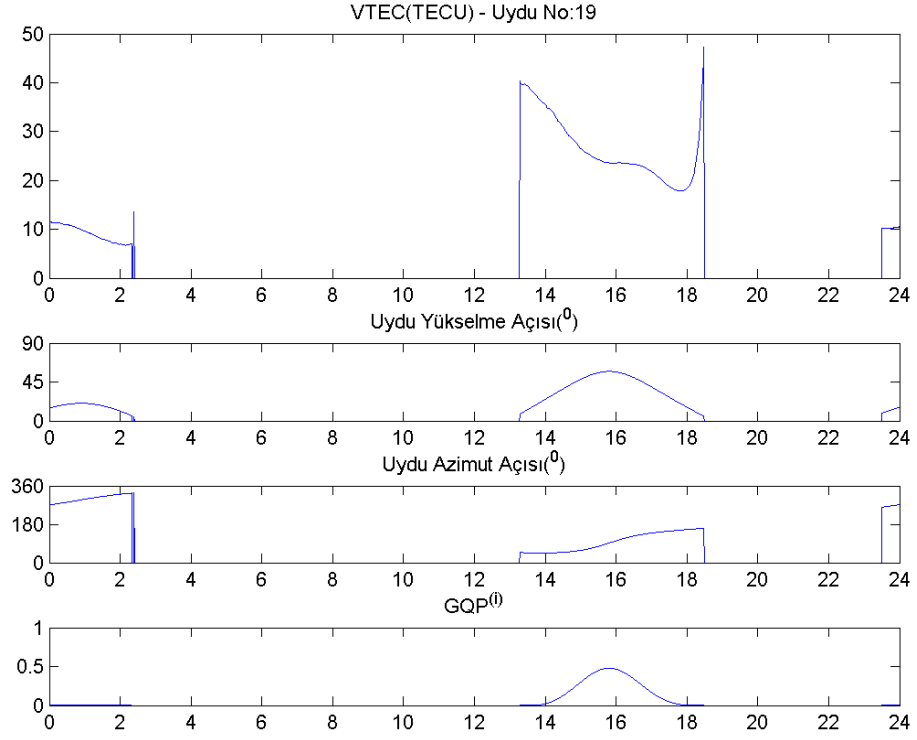
Şekil B.16. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:16



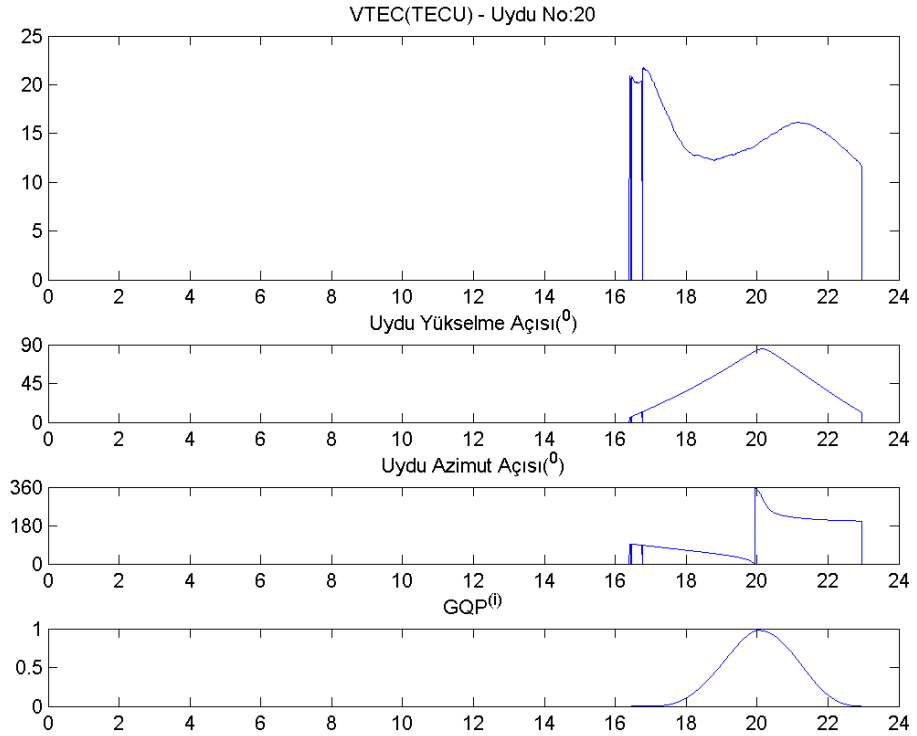
Şekil B.17. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:17



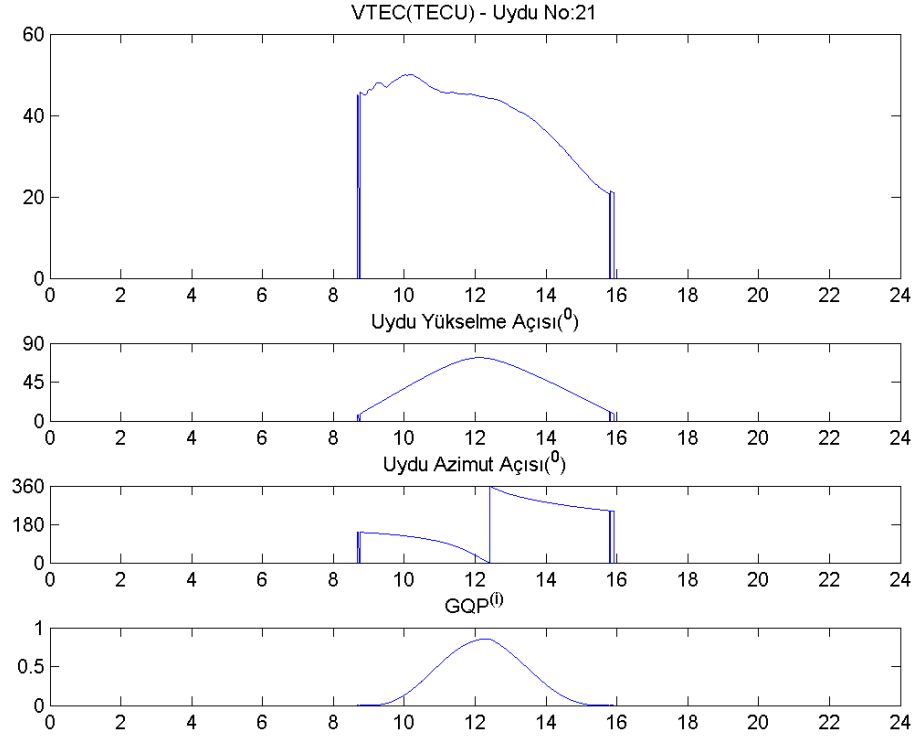
Şekil B.18. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:18



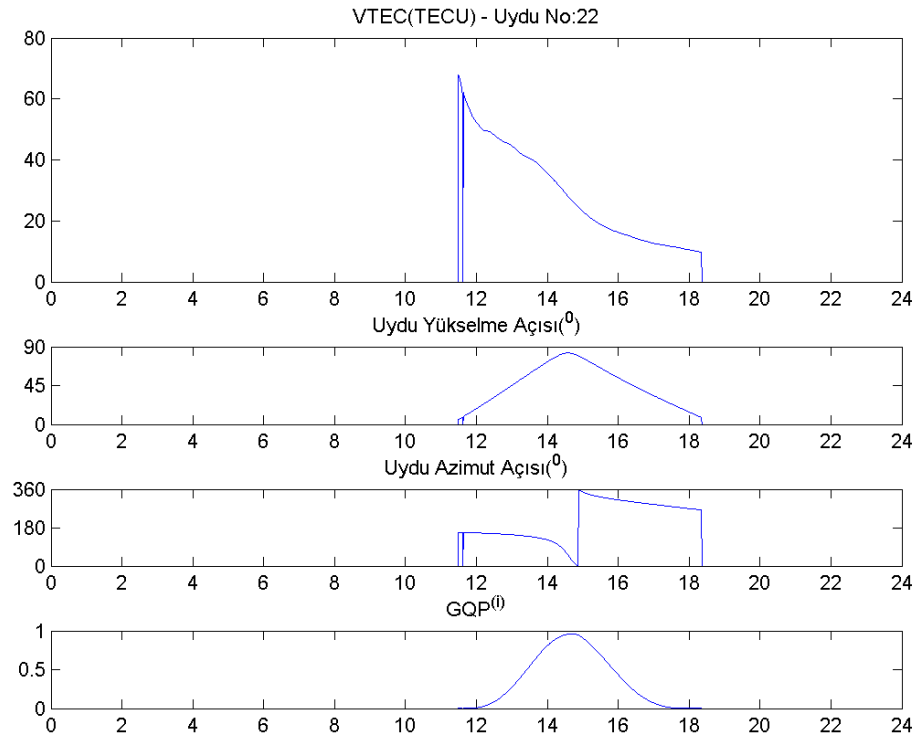
Şekil B.19. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:19



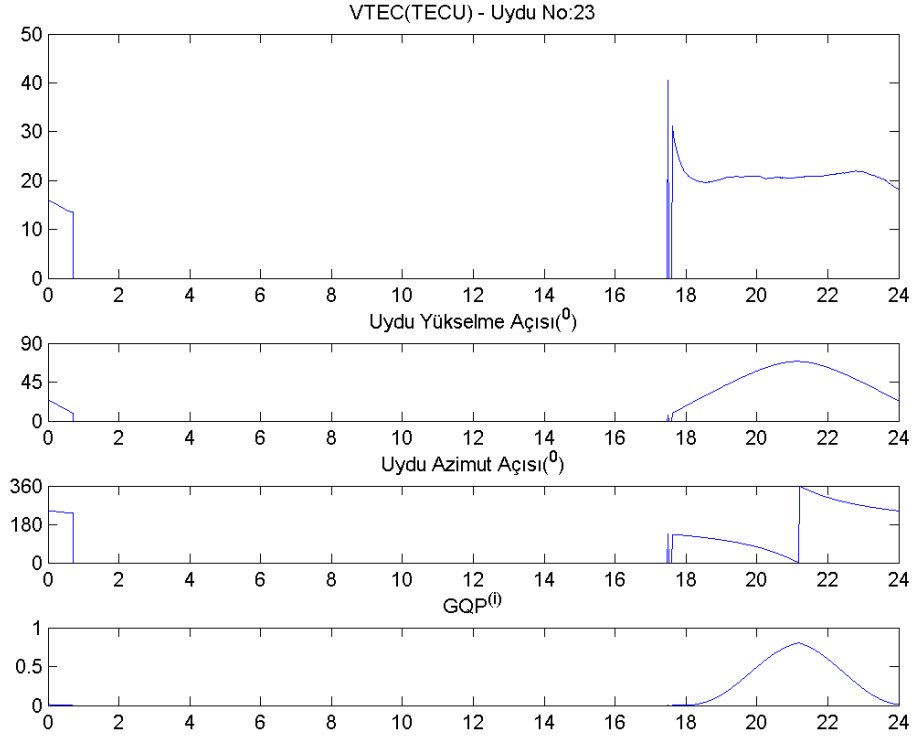
Şekil B.20. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:20



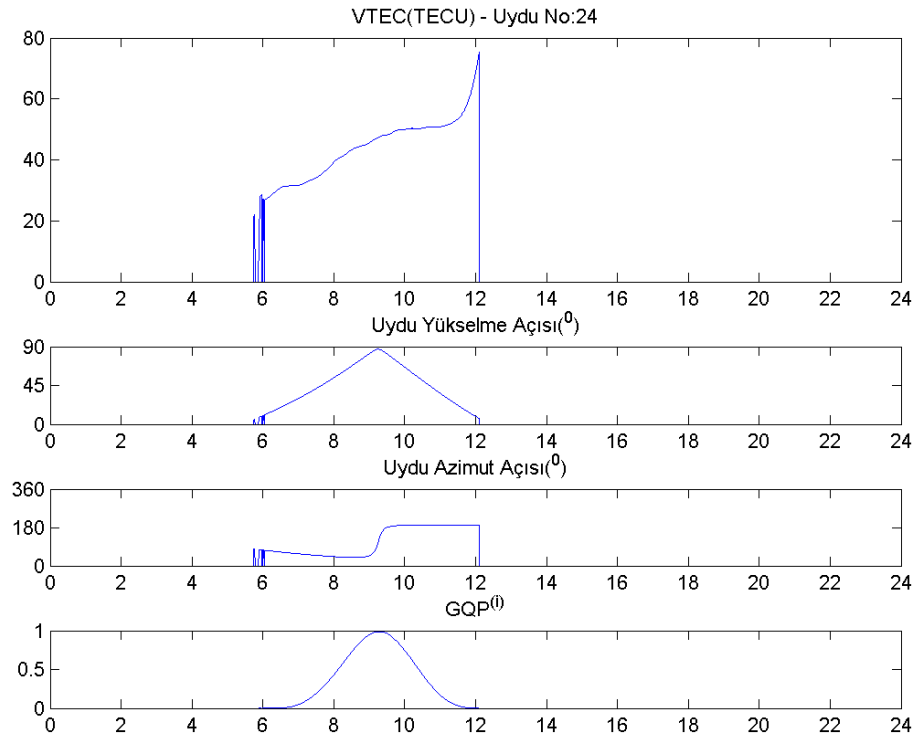
Şekil B.21. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:21



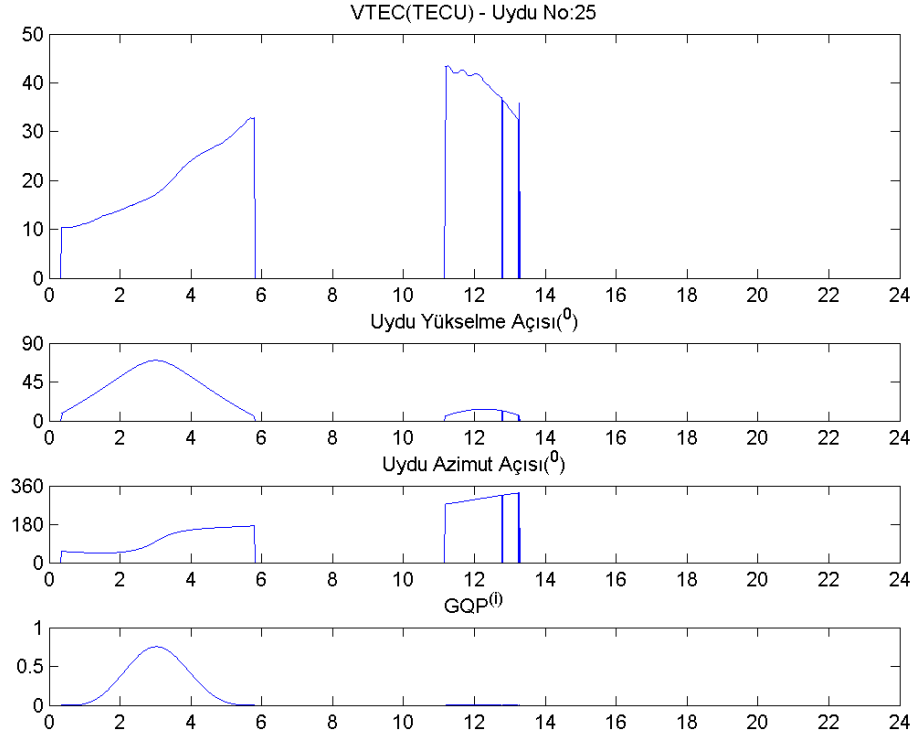
Şekil B.22. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:22



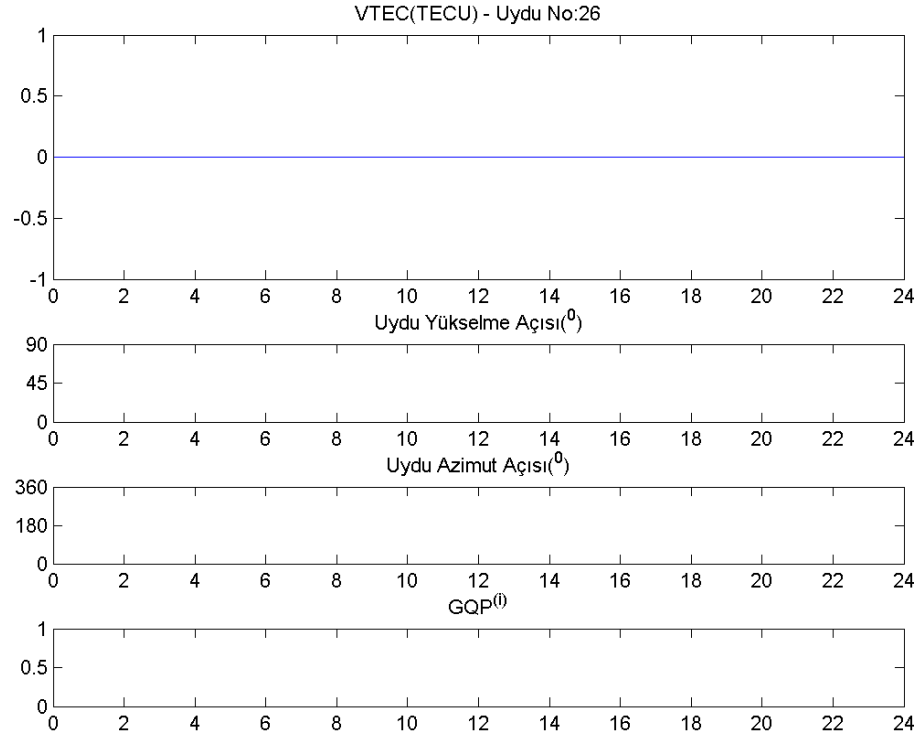
Şekil B.23. Uydü Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydü No:23



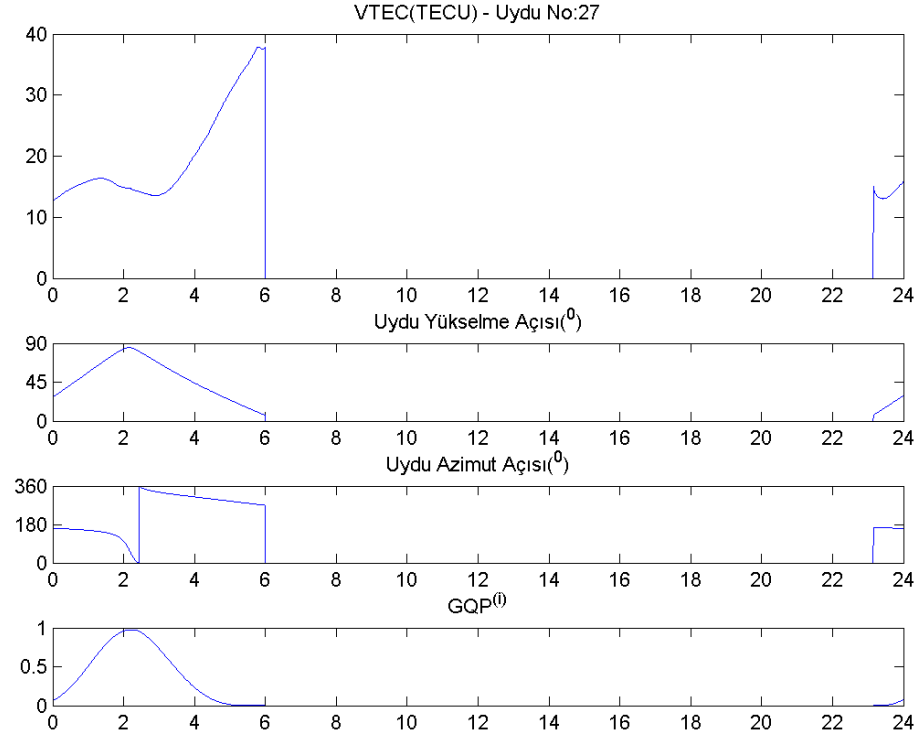
Şekil B.24. Uydü Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydü No:24



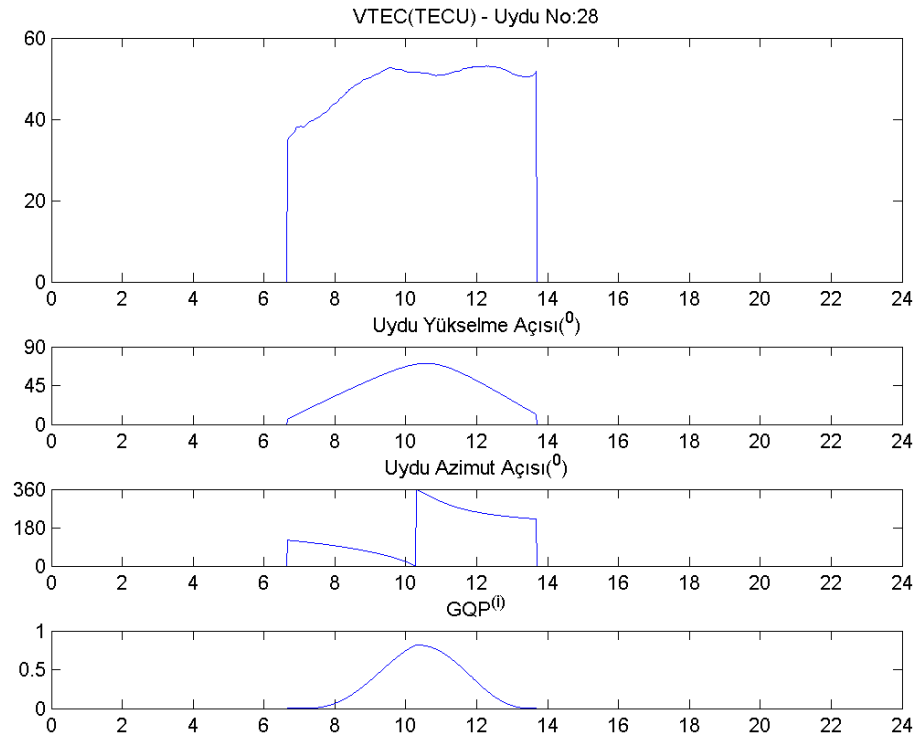
Şekil B.25. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:25



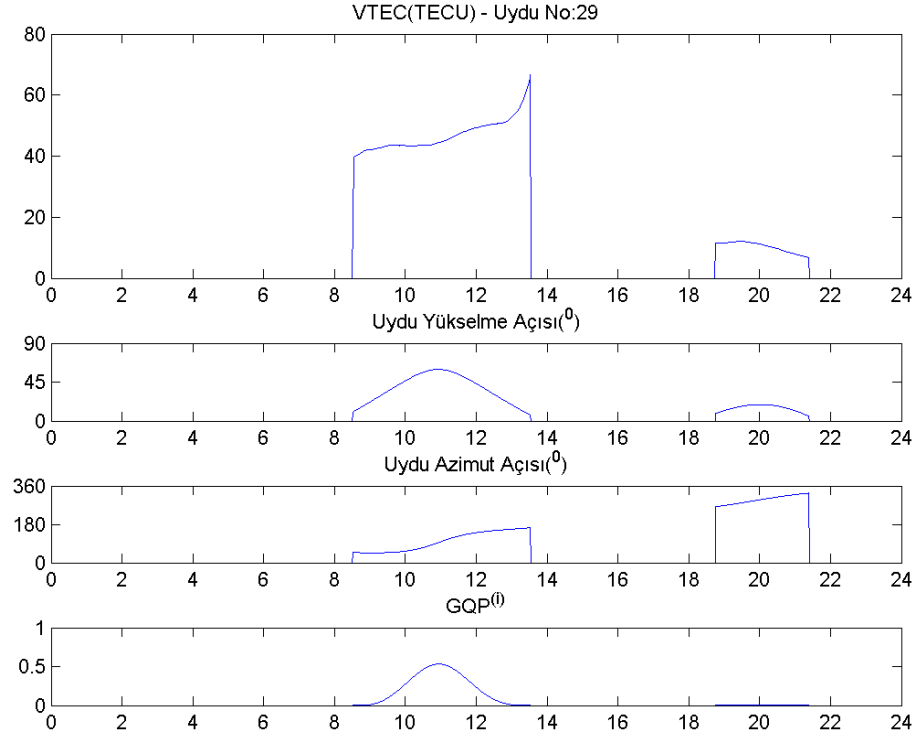
Şekil B.26. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:26



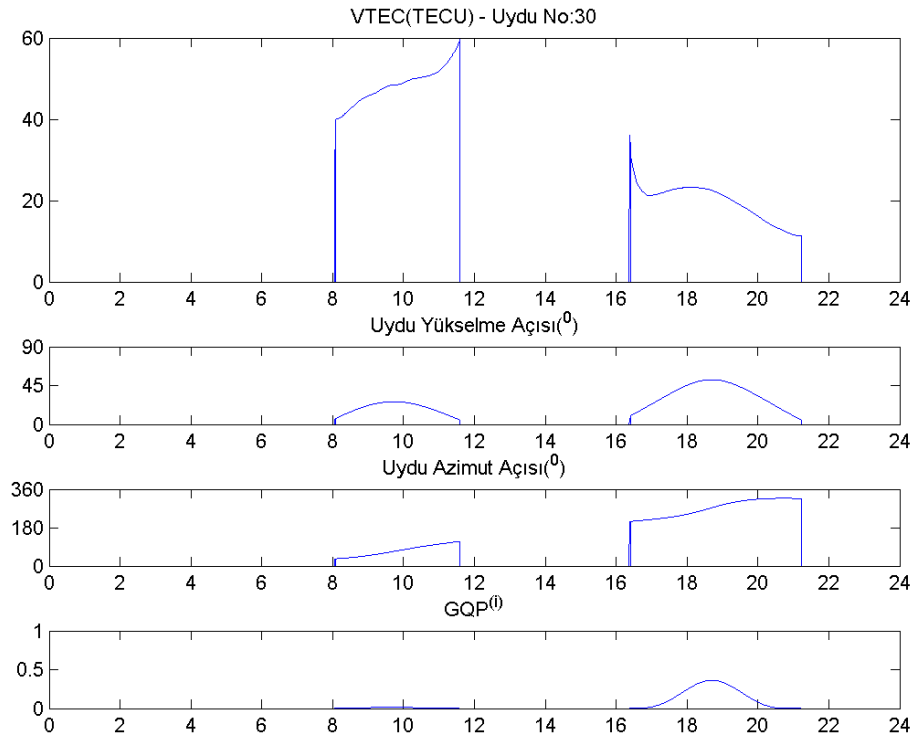
Şekil B.27. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:27



Şekil B.28. Uydu Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydu No:28



Şekil B.29. Uydü Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydü No:29



Şekil B.30. Uydü Geometrisine Göre GQP⁽ⁱ⁾ – Uydü No:30

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Şentürk E.**, Çepni M. S., İyonosferdeki toplam elektron yoğunluğu hesabında kalite irdelemesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK Jeodezi Kolokiyumu*, Kocaeli, 15 Mart 2013.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Harita Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.