

# İyonosfer TEİ Hesabında Uydu-Alıcı Bağlı Geometrisine Uygun Yeni Bir Ağırlık Fonksiyonu - Wgeo

Şentürk E.<sup>1\*</sup>, Çepni M.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli.

## Özet

İyonosferik aktivitenin belirlenmesinde Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi (GNSS) ölçüleri yaygın bir kullanıma sahiptir. GNSS ölçümlerinden beklenen hassasiyet ise başta iyonosfer olmak üzere büyük ölçüde atmosferik koşullara bağlıdır. İyonosferden kaynaklanan sinyal gecikmeleri GNSS ölçülerini etkileyen başlıca parametre olmakla birlikte, sinyalin iyonosferde aldığı eğik yol boyunca hesaplanan Eğik Toplam Elektron İçeriği (STEC - Slant Total Electron Content) değerlerinin büyüklüğü ile ilgilidir. STEC değerleri iyonosferdeki toplam elektron yoğunluğunun belirlenebilmesi amacıyla dikey yöndeki elektron aktivitesini tanımlayan Düşey Toplam Elektron İçeriği (VTEC - Vertical Total Electron Content) değerlerine dönüştürülür. Herhangi epokta bir GNSS alıcısı için tanımlanmak istenen Toplam Elektron İçeriği (TEİ), alıcının ilgili epokta sinyal alabildiği tüm uydulardan hesaplanan VTEC değerlerinin belirli bir ağırlıklandırma algoritması yardımıyla ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Ağırlıklı ortalama için literatürde farklı ağırlıklandırma algoritmaları kullanılmaktadır. Kullanılan bu ağırlıklandırma algoritmaları uydu yükselme açısının bir fonksiyonu şeklindedir. 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 etkin olmaktadır. Bu çalışmada VTEC hesabında seçilecek ağırlıklandırma fonksiyonu için uydu azimut açısının etkisi araştırılmış ve bu kapsamda içerisinde uydu azimut açısının etkisini içeren yeni bir ağırlıklandırma fonksiyonu önerilmiştir.

## Anahtar Sözcükler

İyonosfer, Atmosfer, GPS/GNSS, Ağırlık Fonksiyonu, Toplam Elektron İçeriği.

## 1. Giriş

İyonosfer, yerküreden yaklaşık olarak 60 km - 1100 km yüksek, güneş ışınları ile iyonize olmuş gazlardan oluşan atmosfer tabakasıdır. İyonosferin bozucu etkisi temel olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğuna bağlıdır. Uydu sistemleri için düzeltilmesi gereken temel hata kaynaklarından biri olarak, iyonosferin yapısını ve buna bağlı olarak etkisini doğru bir şekilde tespit etmek gerekir. Günümüzde iyonosferik aktivitenin Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi (GNSS) ölçüleri yardımıyla belirlenmesi tercih edilen bir yöntemdir. İyonosferik etkinin büyüklüğü sinyalin iyonosferde aldığı eğik yol boyunca hesaplanan STEC (Slant Total Electron Content) değerlerinin büyüklüğü ile ilgilidir. STEC değerleri iyonosferdeki toplam elektron yoğunluğunun belirlenebilmesi amacıyla dikey yöndeki elektron aktivitesini tanımlayan VTEC (Vertical Total Electron Content) değerlerine dönüştürülür. Herhangi epokta bir GNSS alıcısı için tanımlanmak istenen TEİ (Toplam Elektron İçeriği), alıcının ilgili epokta sinyal alabildiği tüm uydulardan hesaplanan VTEC değerlerinin belirli bir ağırlıklandırma algoritması yardımıyla ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır.

İyonosfer çalışmalarında kullanılan tüm ağırlıklandırma fonksiyonları uydu yükselme açısının bir fonksiyonudur (Çepni ve diğ., 2013, Arıkan ve diğ., 2004, Nayir, 2007, Ma ve diğ., 2003). 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 etkin olmaktadır.

Bu çalışmada, uydu ile alıcı arasındaki geometriyi tam olarak temsil edebilecek bir ağırlıklandırma fonksiyonu aranmıştır. Ağırlıklandırma aşamasında uydu azimut açısının etkisini göz ardı etmek pek doğru değildir. Çünkü TEİ değeri solar aktiviteye bağlı olarak değişir ve gün ışığının dünya üzerinde ilerleyişine benzer şekilde yerel maksimum TEİ değerleri de doğudan batıya doğru kayan bir akış gösterir (Şentürk, 2014). 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.

Çalışmada, tüm bu teorik düşünceler altında uydu azimut açısının etkisini içinde barındıran bir ağırlıklandırma fonksiyonu üzerinde durulmuştur. Uydu azimut açısı etkisinin uydu yükselme açısına bağlı olarak belirli bir aralıkta değiştiği bir fonksiyon tanımlanmıştır.

## 2. Yeni Bir Ağırlık Fonksiyonu – Wgeo

İyonosferik gecikmenin elde edilmesine yarayan ve iyonosferin yapısına ait önemli bilgiler içeren TEİ parametresinin hesabında geometriden bağımsız doğrusal birleşimler ( $L_1$ ) kullanılır. İyonosfer tabakası geniş bir aralığı kapsadığından, bu aralığın tanımı için maksimum yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içinde olduğu kabul edildiği tek-tabaka (single-layer) modelinden yararlanılmaktadır (Hugentobler ve diğ., 2001).

\* Sorumlu Yazar: Tel: 0(262) 303 32 46

E-posta: [erman.senturk@kocaeli.edu.tr](mailto:erman.senturk@kocaeli.edu.tr) (Erman Şentürk)



Alicının belirli bir epeğinde sinyal aldığı uydular için çalışmada tanımlanan ağırlık fonksiyonu, uydu yükselme açısı ve uydu azimut değerine bağlı boylam farkının bir fonksiyonu,

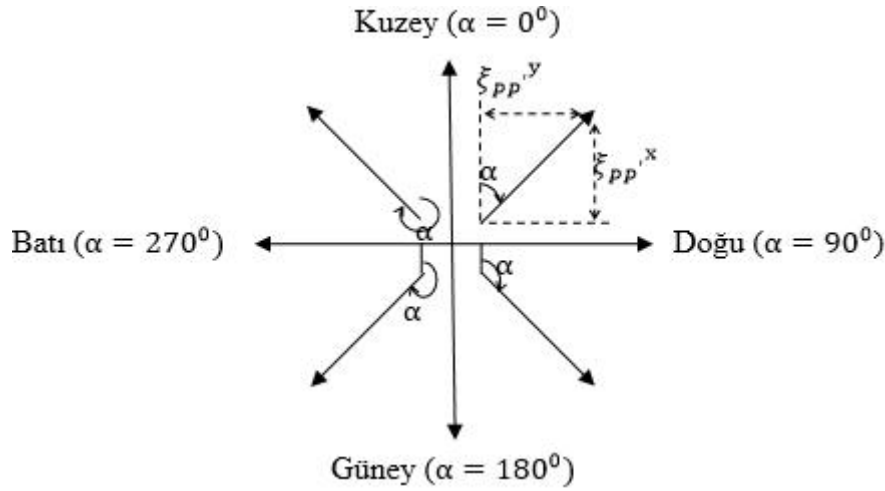
$$W_{Geo}^{(i)} = F(\alpha_n^{(i)}, \Delta t_n^{(i)}) \quad (2)$$

ile tanımlanır. Burada  $i$  uydu numarasını,  $n$  ölçüm anını göstermektedir.  $\alpha_n^{(i)}$ , uydu ile alıcı arasındaki yükselme açısıdır ve İAN ile alıcı konumu arası uzaklığın değişkenidir.  $\Delta t_n^{(i)}$ , uydu ile alıcı arasındaki boylam farkı olarak uydu yükselme ve uydu azimut açılarının bir fonksiyonudur.

Uydu azimut açısından kaynaklanan boylam farkı, uydu azimut açısı ve Eşitlik (1)'de tanımlanan  $\xi_{pp}$  mesafesinin bir fonksiyonu,

$$\Delta t^{(i)} = F(\alpha_n^{(i)}, \xi_{pp}^{(i)}) \quad (3)$$

biçimindedir.  $\Delta t$  boylam farkının hesaplanabilmesi için  $\xi_{pp}$  olarak belirtilen mesafe, küresel yeryüzündeki  $dx$  ve  $dy$  birleşenlerine ayrılır (Şekil 2). Küresel yeryüzünde tanımlanan  $\xi_{pp}$  mesafesinin,  $\xi_{pp}^x$  yay uzunluğunun meridyen üzerindeki ve  $\xi_{pp}^y$  yay uzunluğunun paralel daireleri üzerindeki birleşeni olarak tanımlanır.



Şekil 2: Küresel yeryüzünde tanımlanan  $\xi_{pp}$  yay uzunluğu ve bileşenleri

Eşitlik (1)'de tanımlanan  $\xi_{pp}$  yay uzunluğunun,  $\xi_{pp}^y$  ve  $\xi_{pp}^x$  bileşenleri,

$$\xi_{pp}^y^{(i)} = \xi_{pp}^{(i)} \sin(\alpha_n^{(i)}) \quad (4)$$

$$\xi_{pp}^x^{(i)} = \xi_{pp}^{(i)} \cos(\alpha_n^{(i)}) \quad (5)$$

olarak tanımlanır.

Alicının konumu ile uydu iyonosfer alt noktasının konumu arasındaki boylam farkı  $\Delta t$  olarak tanımlanan fonksiyondur. Uydu azimut açısının  $W_{Geo}$  üzerindeki etkisi  $\xi_{pp}$  mesafesinden kaynaklanan boylam farkı nedeniyle oluşan zaman farkıdır (Şekil 4). Ekvator düzlemi üzerinde iki meridyen arasındaki konumsal farkın 111 km olduğu bilinmektedir. Bu değerler ekvator'dan kutuplara gidildikçe azalma gösterir. Bu nedenle bu mesafenin her enlem dairesi için hesaplanması gerekir. Tüm bu durumlar dikkate alınarak  $\Delta t$  boylam farkı,

$$\Delta t^{(i)} = \frac{\xi_{pp}^y^{(i)}}{R_E \cos \phi_{ort}^{(i)}} \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Eşitlik (6)'da  $\xi_{pp}^y$  yay uzunluğunun enlem üzerindeki birleşeni,  $\phi_{ort}$  ortalama enlemi,  $R_E$  dünyanın yarıçapını ifade etmektedir. Ortalama enlem, alıcı enlemi  $\phi_0$  ile yay uzunluğunun meridyen üzerindeki birleşeni  $\xi_{pp}^x$  in derece cinsinden değeri  $\xi_{pp}^x$  enlem farkının alıcı enlemine eklenerek aritmetik ortalamasının alınması ile bulunur. Buna göre  $\phi_{ort}$  hesabında,

$$\varphi_{PP}^{x(0)} = \frac{180 \varphi_{PP}^{x(0)}}{2\pi R} \quad (7)$$

$$\varphi_{ort} = \frac{\varphi_0 + (\varphi_0 + \varphi_{PP}^{x(0)})}{2} \quad (8)$$

formülleri kullanılır.

$W_{Geo}$  ağırlık fonksiyonunu oluşturan parametreler tanımlandıktan sonra fonksiyon Eşitlik (9)'daki halini almaktadır.

$$W_{Geo}^{(i)} = (\sin \varphi_n^{(i)})^\pi \cdot e^{-(\pi \Delta \varphi_n^{(i)} \varphi_n^{(i)})} \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da verilen  $W_{Geo}$  büyüklüğü, alıcının herhangi epokta sağlıklı veri aldığı tüm uydular için söz konusudur. Her uydu, alıcı ile bağıl konumuna göre TEİ kestirimine esas olmak üzere  $W_{Geo}$  büyüklüğü ile ağırlıklandırılır. 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 ifade eder.

Uygulamada kullanılan ağırlık fonksiyonlarından beklenen alıcının zenitine yakın olan uydu yükselme açısına sahip uydulardan hesaplanan VTEC değerinin ağırlığını yüksek tam tersi durumda ise düşük değere yakınsamasıdır. Bu yakınsama değerleri genelde 0 ile 1 arasında normlandırılmaktadır. (Arıkan ve diğ., 2003, Nayir, 2007) çalışmalarında Eşitlik (10) ile verilen ağırlık fonksiyonu kullanılmıştır. Bu eşitliğe göre yükseklik açısı  $60^\circ$  üstünde olan uydulardan alınan ölçümler aynen kullanılır, yükseklik açısı  $10^\circ$  ile  $60^\circ$  arasında olan uydulardan alınan ölçümler bir Gauss fonksiyonu ile ağırlıklandırılır.  $10^\circ$ 'nin altındaki uyduların ağırlığı ise sıfır kabul edilerek bu uydulara ait ölçümler hesap dışı bırakılır. (Ma ve diğ., 2003) da düşük yükseklik açılı uydulardan alınan ölçümlerdeki çok yol etkisini azaltmak amacıyla  $\sin^2(\varphi)$  biçiminde bir ağırlık fonksiyonu kullanılmaktadır. Genelde literatürde kullanılan bu fonksiyonun geliştirilmiş hali Eşitlik (11)'de gösterilen  $\sin^3(\varphi)$  fonksiyonudur (Çepni ve diğ., 2013). Eşitlik (9) ile gösterilen  $W_{Geo}$  fonksiyonu çalışma kapsamında önerilen ağırlıklandırma fonksiyonudur. Önerilen ağırlık fonksiyonu ile birlikte karşılaştırılma amaçlı üç ağırlık fonksiyonu da çalışmada incelenmektedir.

#### 1. Ağırlık Fonksiyonu

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

#### 2. Ağırlık Fonksiyonu

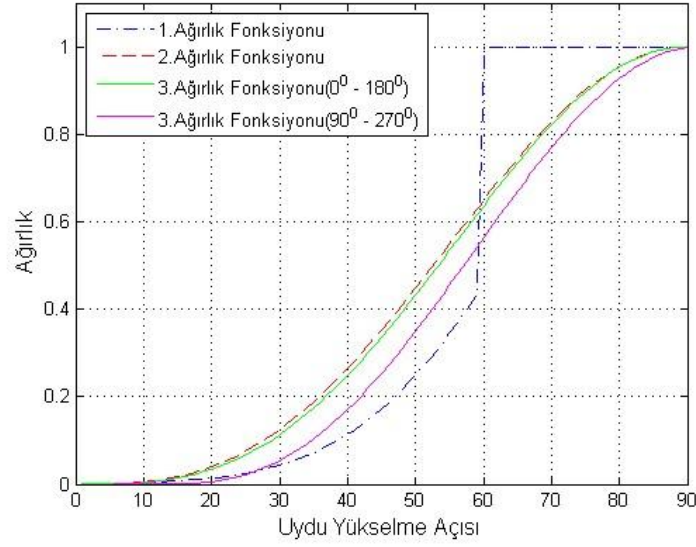
$$W_m(n) = \sin^3 \varphi_m(n) \quad (11)$$

#### 3. Ağırlık Fonksiyonu (Bkz. Eşitlik 9)

$$W_m(n) = (\sin \varphi_m(n))^\pi \cdot e^{-(\pi \Delta \varphi_m(n) \varphi_m(n))}$$

Şekil 3'de çalışma kapsamındaki ağırlık fonksiyonlarının uydu yükselme açısına göre değişimleri gösterilmiştir. Burada çalışmada önerilen 3. ağırlık fonksiyonunun diğer ağırlıklandırma fonksiyonları ile karşılaştırılması amacıyla azimut değeri en iyi durum olan  $0^\circ - 180^\circ$  (yeşil düz çizgi) ve en kötü durum olarak kabul edilen  $90^\circ - 270^\circ$  (mor düz çizgi) olarak hesaplanmıştır. 3. ağırlık fonksiyonunun her iki durumu da incelendiğinde uydu azimut açısının etkisi daha rahat gözükmektedir.

Tablo 2' de çalışmada önerilen ağırlık fonksiyonuna göre, belirli uydu yükselme açısı ve uydu azimut açısındaki değerler gösterilmektedir.  $0^\circ - 180^\circ$  uydu azimut açıları en iyi,  $90^\circ - 270^\circ$  uydu azimut açıları ise en kötü durumu göstermektedir. Uydu azimut açısına ait iki durum arasındaki farkın uydu yükselme açısının etkisini aşmaması ve uydu azimut açısı etkisinin düşük yükselme açılı durumlarda daha fazla etki etmesi arzu edilmektedir. Tablo 2 incelendiğinde önerilen fonksiyonun bu geometrik ilişkiyi karşıladığı görülmektedir. Uydu yükselme açısının azalmasıyla aradaki oransal farkın büyüdüğü, yani düşük yükselme açısı değerlerinde uydu azimut açısının daha etkili olduğu görülmektedir.

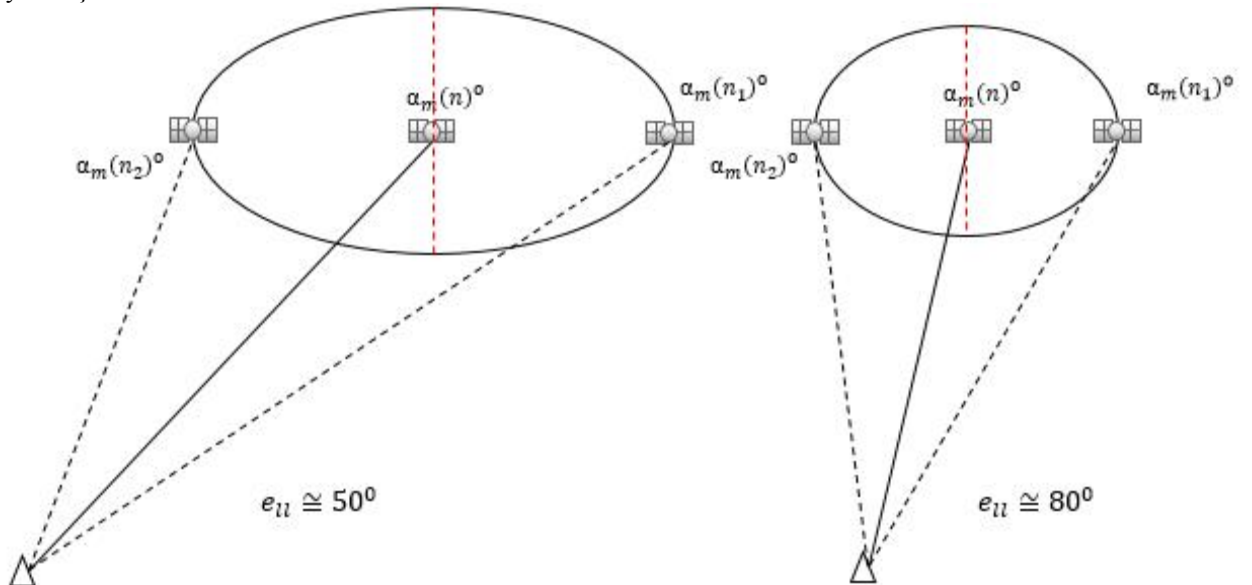


Şekil 3: Ağırlık Fonksiyonlarının Uydü Yükselme Açısına Göre Değişimleri

Tablo 2: Uydü Yükselme Açısı ve Uydü Azimut Açısına Göre  $W_{Geo}$  Değerleri

| $\epsilon$ | $\alpha$                         | $W_{Geo}$ | $\epsilon$ | $\alpha$                         | $W_{Geo}$ | $\epsilon$ | $\alpha$                         | $W_{Geo}$ |
|------------|----------------------------------|-----------|------------|----------------------------------|-----------|------------|----------------------------------|-----------|
| $10^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,004     | $40^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,249     | $70^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,822     |
|            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,000     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,171     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,770     |
| $20^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,034     | $50^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,433     | $80^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,953     |
|            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,006     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,350     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,927     |
| $30^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,113     | $60^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 0,636     | $90^\circ$ | $0 - \pi - 2\pi$                 | 1,000     |
|            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,054     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 0,563     |            | $\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}$ | 1,000     |

Uydü yükselme ve azimut açısı arasındaki ilişki tabanı elips şeklinde olan bir huni gibi düşünülebilir (Şekil 4). Uydü yükselme açısı değeri alıcının zenitine yakınlıkla huninin tabanı daralmaya başlar. Böylece uç noktalar arasındaki mesafe giderek azalır. Şekil 4 incelendiğinde uydü azimut açısı etkisinin uydü yükselme açısına bağlı olmasının nedeni daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 4: Uydü Yükselme Açısı ve Uydü Azimut Açısı Durumu - Huni Benzetimi

### 3. Sayısal Uygulama

Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonlarından MALZ ve MURA istasyonlarının 30 sn zaman çözünürlüklü verileri çalışmada kullanılmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4’de MALZ istasyonunda 23 Ekim 2011 günü en yüksek ve en düşük TEİ durumlarında, uydu geometrisi, VTEC değerleri ve ağırlık fonksiyonu ile erişilen ortalamalar gösterilmektedir. Tablolarda ilk 3 satır uydu 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.

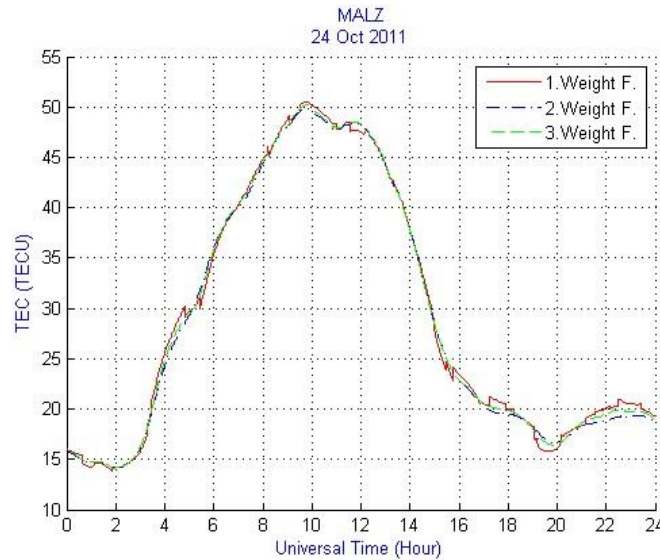
Tablo 3: En Küçük VTEC Ortalaması Epok: 01:58:30

|                      |       |       |       |        |        |        |        |       |       |                                                          |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|----------------------------------------------------------|
| $\varepsilon_m(n)^0$ | 27    | 35    | 59    | 9      | 13     | 21     | 12     | 50    | 83    | $\frac{\sum_{i=1}^n VTEC_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$ |
| $\alpha_m(n)^0$      | 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 |                                                          |
| 1.Ağırlık F.         | 0,49  | 1,18  | 5,25  | 0,00   | 0,07   | 0,23   | 0,03   | 3,48  | 14,85 | 14,18                                                    |
| 2.Ağırlık F.         | 1,45  | 3,09  | 7,70  | 0,02   | 0,14   | 0,67   | 0,06   | 6,24  | 14,52 | 14,12                                                    |
| 3.Ağırlık F.         | 0,40  | 1,41  | 6,58  | 0,00   | 0,00   | 0,38   | 0,00   | 4,85  | 14,15 | 14,08                                                    |

Tablo 4. En Büyük VTEC Ortalaması Epok: 10:53:30

|                      |       |        |       |       |       |       |       |        |                                                          |
|----------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------------------------------------------------|
| $\varepsilon_m(n)^0$ | 30    | 11     | 25    | 57    | 39    | 69    | 60    | 16     | $\frac{\sum_{i=1}^n VTEC_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$ |
| $\alpha_m(n)^0$      | 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  |                                                          |
| 1.Ağırlık F.         | 1,80  | 0,30   | 1,33  | 18,23 | 5,49  | 50,77 | 19,82 | 0,47   | 48,37                                                    |
| 2.Ağırlık F.         | 5,16  | 0,49   | 3,94  | 27,54 | 12,96 | 41,65 | 28,36 | 1,16   | 47,83                                                    |
| 3.Ağırlık F.         | 2,07  | 0,02   | 3,11  | 22,25 | 11,19 | 38,42 | 23,45 | 0,03   | 48,00                                                    |

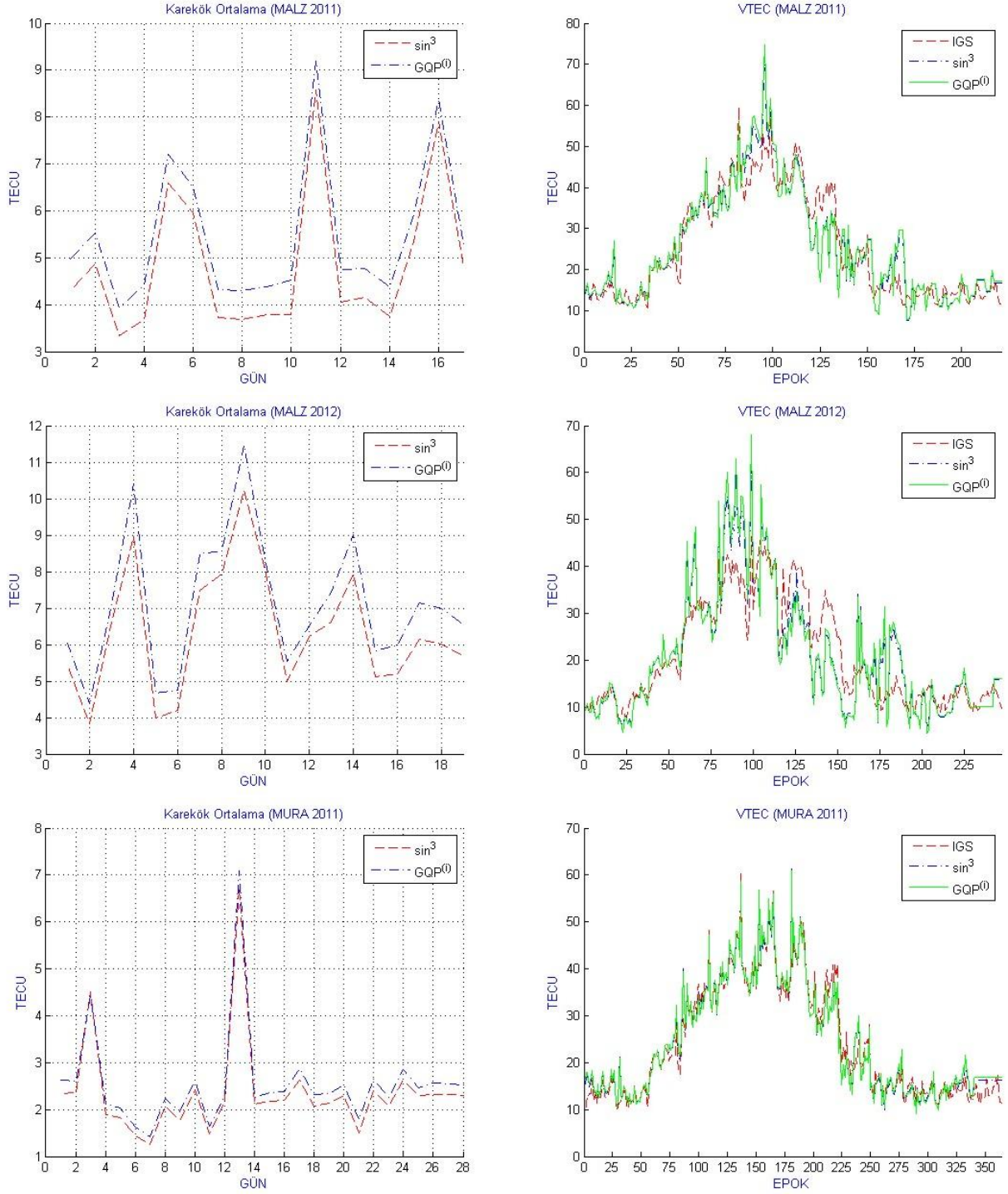
Üç ayrı ağırlık fonksiyonu ile TEİ hesabı 23 Ekim 2011 günü MALZ istasyonu verileri için Şekil 5’de gösterilmektedir.

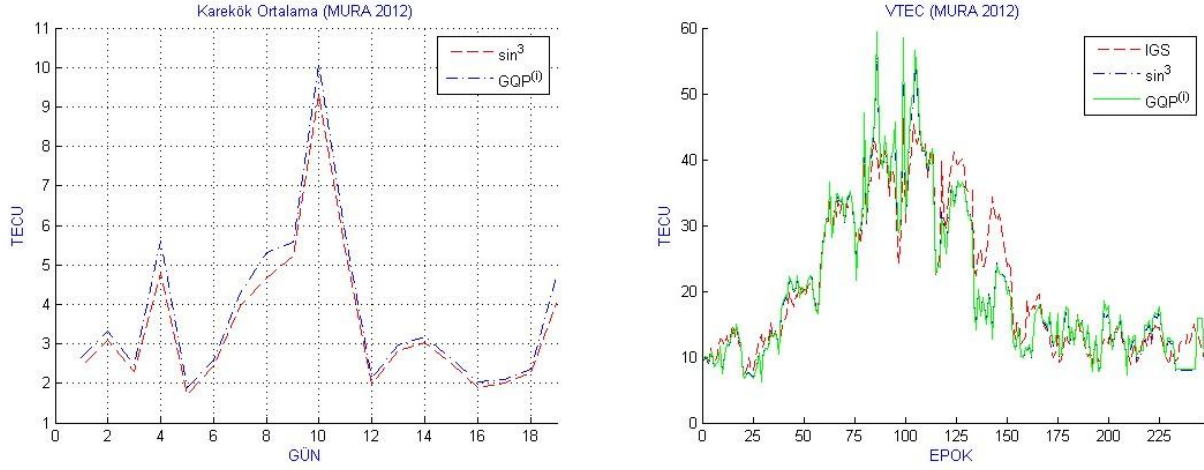


Şekil 5: MALZ Noktasında VTEC Değerlerinin Ağırlık Fonksiyonlarına Göre Değişimi



Şekil 6'da 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 (9) ve (11) ağırlık fonksiyonları ile hesaplanan TEİ değerlerinin IGS değerleriyle olan farkları gösterilmektedir. Şekil 6'nın sağ sütundaki grafikler ile doğrudan TEİ değerleri, sol sütundaki grafikler ile de Eşitlik (9) ve (11) ağırlık fonksiyonlarından hesaplanan değerler ile IGS değerlerinin karekök ortalamaları 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.





Şekil 6: Ağırlık Fonksiyonlarının IGS'e Göre Karekök Ortalamaları

#### 4. Sonuçlar

Çalışmada İstasyon Bazlı TEİ hesabında VTEC değerlerinden ilgili alıcı için ortalama TEİ değerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlık fonksiyonlarından bahsedilmiş ve yerel güneş saatlerine bağlı etkiyi ortaya koyabilmek adına uydu azimut açısını da içinde barındıran bir ağırlıklandırma fonksiyonu önerilmiştir.

Temel olarak  $W_{Geo}$  ağırlık fonksiyonundan zaman farkı etkisini göz önüne alması nedeniyle daha yerel bir iyonosfer modeli oluşturması beklenmektedir. Şekil 6 incelendiğinde  $W_{Geo}$  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 olarak uyduya ait bağıl geometri elemanlarının her ikisinin de kullanılması düşüncesi ile farklı matematiksel ifadeler geliştirmek mümkündür. Eşitlik (9) ile gösterilen matematiksel ifade çalışma kapsamında uygulamada kullanılmış olup, sonraki çalışmalarda iki bağıl geometri elemanını da kullanan daha farklı matematiksel ifadelerin tanımlanmasına açık bir alan bulunmaktadır.

#### Kaynaklar

- Arıkan F., Erol C., Arıkan O., (2003), Regularized estimation of vertical total electron content from global positioning system data, *Journal of Geophysical Research*, 108, 1469-1480.
- Arıkan F., Erol C., Arıkan O., (2004), Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period, *Radio Science*, 39:RS6012.
- Çepni, M.S., Poots, L.V., Miima, J.B., (2013), High resolution station-based diurnal ionospheric total electron content (TEC) from dual-frequency GPS observations, *Space Weather*, Vol. 11, 1-9, doi:10.1002/swe.20093.
- Hugentobler U., Schaer S., Fridezi P., (2001), Bernese GPS software version 4.2., Astronomical Institute, University of Berne, Sweden.
- Ma G., Maruyama T., (2003), Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan, *Annales Geophysicae*, 21, 2083-2093.
- Nayir H., (2007), Küresel konumlama sistemi kullanılarak toplam elektron içeriği kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 185631.
- Şentürk E., (2014), Taşıyıcı dalgalar üzerinde toplam elektron içeriği hesabı ve hesap kalitesine ilişkin ölçütlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 372703.