

## **İYONOSFER İLE GPS SINYALLERİNİN ETKİLEŞİMİ\***

**Zehra CAN, Olcay GÜMRÜKÇÜ\***

*Geliş: 10.08.2009 Kabul: 03.09.09*

### **ÖZET**

Yüksek doğruluklu konum belirleme sistemi olan GPS(Küresel Konm Belirleme Sistemi) başlangıçta askeri amaçlı kullanım için geliştirilmesine rağmen, teknolojideki gelişmeler sayesinde günlük hayatta da pek çok uygulama olanağı bulmuştur. Uydulardan yayınlanan bu elektromanyetik dalgalar, iyonosferi geçerek yer yüzeyindeki GPS alıcılarına erişmektedir. GPS sinyalleri, iyonosfer fiziği çalışmaları açısından faydalı bilgiler içermektedir.GPS uydularından gelen sinyaller kullanılarak; bölgesel ve küresel toplam elektron miktarı tahmin edilebilmekte, elektron yoğunluğu profilleri çıkarılabilmekte, iyonosferin toplam elektron içeriği incelenmektedir. Güneşin aktivitesine bağlı olarak iyonosferin elektron yoğunluğundaki sürekli değişim, iyonosferden geçen GPS sinyallerinin gecikmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, GPS tekniğinden faydalanarak GPS sinyalleri üzerindeki iyonosfer etkileri araştırılıp, farklı iyonosfer modelleri incelenmiş ve IRI iyonosfer modeli kullanılarak elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi ve TEC değeri elde edilmiştir

*\*“Bu araştırma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’nce desteklenmiştir. Proje No: .27-01-01-06, 2007-2009.”*

*Anahtar kelimeler: İyonosferin elektron yoğunluğu değişimi, iyonosferik modeller, GPS, TEC*

### *INTERACTION OF GPS SIGNALS WITH IONOSPHERE*

#### **ABSTRACT**

Although GPS that is a location determining system in high accuracy, has been developed for military purpose usage at the beginning, thanks to the developments in technology has found implementation possibility in daily life as well. When the GPS signals are transmitted from the GPS satellites to receivers in earth surface, they pass through the ionosphere. GPS signals, which play an important role in defining the position. GPS signals give some information in the ionosphere physics studies. They have not affected from the conditions when they were passing through the ionosphere layer. By using the signals which are coming from the GPS satellites, the regional and the global total electron amount can be estimated, electron density profiles can be derived, Total Electron Content (TEC) of ionosphere can be examined. Depending on the activity of the Sun, continuous changing at the electron density of ionosphere can cause delay of the GPS signals that passing through the ionosphere. In this study, by deriving benefit from GPS technique, the effects of ionosphere upon the GPS signals were researched; different ionosphere models were examined and, the changing of the electron density with altitude and TEC value were obtained by using IRI ionosphere model.

- This study has been supported by research foundation of Yıldız Technical University through Project No: 27-01-01-06, 2007-2009.

*Key Words: Changing of the ionosphere electron density, ionospheric models, GPS, TEC*

---

\* Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, zehcan@yildiz.edu.tr, olcaygmrkc@yahoo.com

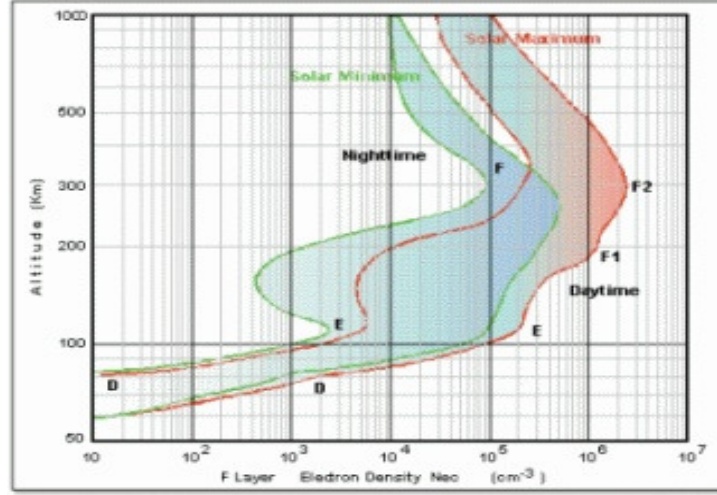
## 1. GİRİŞ

GPS uydularından yayınlanan sinyaller, uzay boşluğunu geçtikten sonra, dünya atmosferinde önce iyonosferden daha sonrada troposferden geçerek yeryüzeyinde konumlanmış olan GPS alıcılarına ulaşmaktadır. Bu nedenle de troposferin yanı sıra, iyonosferin neden olacağı iyonosferik gecikmenin çok iyi bir şekilde tayin edilmesi gerekmektedir. Yer yüzeyinden itibaren yaklaşık olarak 20200 km yörünge yüksekliğinde dağılmış olarak bulunan GPS uyduları (24 adet), iki farklı L<sub>1</sub>(1575,42 MHz) ve L<sub>2</sub> (1227,60MHz) taşıyıcı frekansında sinyaller yaymaktadır. Bassiri ve Hajj, iyonosfer elektron yoğunluğunu modellemede, dipol moment yaklaşımını kullandılar. İyonosferin sinyal üzerindeki geciktirici etkisi frekansın tersinin karesi ile orantılı olarak, TEC değerine bağlıdır. İyonosferi modellemede Chapman tabaka modelini ve yerin manyetik alanının dipol moment yaklaşımını kullanarak , farklı coğrafi konumlarda elektron yoğunluğunu hesapladılar (Bassiri ve Hajj,1992). İyonosferde TEC hesaplanırken, faz ölçümlerinde karşılaşılan önemli problemlerden birisi, ordiner ve ekstra ordiner dalga vektörünün dönme açısıdır. Davies ve Hartman da, iyonosfere 350-400 km arasında thin-shell modelini uygulayıp , Faraday tekniği ile TEC 'i hesapladılar (Davies ve Hartman,1997). Orta ve yüksek enlemlerde iyonosferin yapısını inceleyerek matematiksel bir model de R.W.Shunk tarafından geliştirilmiştir (Schunk,1998).

## 2. İYONİZE ORTAMDA YAYILAN ELEKTROMANYETİK DALGALAR

### 2.1. İyonosferin Elektromanyetik Dalga Yayılımına Etkisi:

İyonosfer yeryüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km yükseklikten başlayıp, 1100 km ye kadar uzanan, iyonize gazlardan oluşmuş bir atmosfer tabakasıdır. Bu tabaka kendi içerisinde iyonlaşma miktarına bağlı olarak D,E ve F bölgelerine ayrılır. Şekil 1.'de iyonosfer tabakaları yüksekliğe bağlı olarak; güneşin maksimum ve minimum olduğu zaman içerisinde gündüz ve gece zamanları için gösterilmektedir.



Şekil 1. İyonosferin tabakaları (Tascione, 1988).

Homojen ve izotrop bir ortamda yayılan elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşeni

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

dalga denkleminin uyar.  $n$  kompleks kırılma indisi ( $i^2 = -1$ )

$$n = \mu - i\chi \quad (2)$$

olmak üzere

$$n^2 = \left( \frac{ck}{\omega} \right)^2 \quad (3)$$

olarak ifade edilmektedir.  $k$  kompleks dalga yayılma sabiti,  $c$  elektromanyetik dalganın boşluktaki hızı,  $\omega$  dalganın açısal frekansıdır. Kırılma indisi elektrik alan ve polarizasyona bağlı olarak

$$n^2 = 1 + \frac{P}{\epsilon_0 E} \quad (4)$$

yazılabilir. İzotropik ortamın özelliklerini içeren kırılma indisi bağıntısı ; ortamın açısal plazma frekansının karesi  $\omega_N^2$  ve dalganın açısal frekansının karesi  $\omega^2$ 'ne bağlı olarak

$$\mu^2 = 1 - \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m \omega^2} = 1 - \frac{\omega_N^2}{\omega^2} \quad (5)$$

elde edilmektedir (Davies, 1968).

## 2.2. Manyetioyonyonik Teori:

İyonize ortamda dış manyetik alan  $\vec{B}_0$  ve soğurulmanın olduğu düşünülürse, kırılma indisi bağıntısı daha karmaşık olacaktır.  $q$  elektronun yükü,  $m$  elektronun kütlesi,  $B_0$  dış manyetik alanı ve  $\theta$  yayılma doğrultusu arasındaki açı,  $v$  elektron ve diğer parçacıklar arasındaki çarpışma frekansı,  $\omega_N$  ortamın açısız plazma frekansı,  $\omega$  dalganın açısız frekansı,

$$X = \left(\frac{\omega_N}{\omega}\right)^2, \vec{Y} = \left(\frac{q}{m\omega}\right)\vec{B}_0, Y_L = Y \cos\theta, Y_T = Y \sin\theta, Z = \frac{v}{\omega} \quad \text{olmak}$$

üzere, uniform bir dış manyetik alanı  $\vec{B}_0$ 'ın bulunduğu ve  $v$  çarpışma frekansının elektronun enerjisinden bağımsız olduğu düşünülerek, elektronun hareket denklemi

$$m \frac{d\vec{u}}{dt} = q(\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B}_0) - m\nu\vec{u} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Elektronun üzerine etki eden kuvvetler; elektrostatik kuvvet  $qE$ , manyetik kuvvet  $q\vec{u} \times \vec{B}_0$  ve çarpışmalardan kaynaklanan sürtünme kuvveti  $m\nu\vec{u}$  dur. Bu denklemden kompleks kırılma indisi bağıntısı olan Appleton bağıntısı

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \left(\frac{Y_T^2}{2(1 - X - iZ)} \mp \sqrt{\frac{Y_T^4}{4(1 - X - iZ)^2} + Y_L^2}\right)} \quad (7)$$

elde edilir ( $i^2 = -1$ ). Manyetik alan ve çarpışmalar ihmal edilerek reel kırılma indisi ortamın plazma frekansına  $f_N$ 'e bağlı olarak

$$\mu^2 = 1 - \left(\frac{f_N}{f}\right)^2 \quad (8)$$

bulunur (Davies, 1968).

### 3. İYONOSFER MODELLERİ

İyonosferin modellenmesinde kullanılan genel modeller IRI (International Reference Ionosphere) ve Incoherent Scatter Radar Modelleri, elektron yoğunluğu modelleri; Pim model, Faim Model ve Slim Model olarak ifade edilmektedir (<http://ccmm.gsfc.nasa.gov/modelweb>) . PIM 1995 (Parametrized Ionospheric Model) , elektron yoğunluk profilini kritik frekansa bağlı olarak vermektedir. Elektron yoğunluğunun çıkarımında katsayı veri tabanına sahiptir ve bu profillerin yeniden yapılandırılmasında kendine has algoritması vardır (<http://www.ionolab.org>). Faim Model (Fully Analytical Ionospheric Model), Chui modeli ile Slim Model sabitlerinin uyumlu bir şekilde kullanılmasıyla elde edilen teorik bir modeldir. Slim Modelinde, elektron yoğunluğu profili 180 km'den 1800 km'ye kadar, farklı enlemler için belirlenmiştir. Modified Chapman fonksiyonları ile birlikte kullanılan bir modeldir. F. Arıkan ve grubu tarafından geliştirilen ionolab tekniği ile, yüksek çözünürlüklü Toplam Elektron İçeriği Kestirimi yapılabilmektedir. Düzgünleştirilmiş Toplam Elektron İçeriği Kestirimi yöntemi ile alıcı ve uydu yanlılıkları uygun biçimde kullanılarak IGS analiz merkezlerinde elde edilen sonuçlarla uyumlu kestirimler yapılabilmektedir (Nayır vd., 2007). URSI (International Union of Radio Science(Uluslararası Radyo Bilimleri Birliği)) ve COSPAR (Committee on Space Research (Uzay Araştırma Komitesi)) tarafından geliştirilen IRI, İyonosferin sıcaklık ve yoğunluğunun belirlenmesinde uluslararası standartlara sahip olan bir programdır. IRI, yerden ve uzaydan alınan dataların aylık ortalaması alınarak geliştirilen 50 km'den 1000 km'ye kadar olan yüksekliklerde elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı, iyon sıcaklığı ve iyon kompozisyonunun elde edileceği bir programdır.

### 4. FARADAY DÖNMESİ

Doğal bir plazma olan iyonosferde yayılan elektromanyetik dalga, iyonosferde ilerlerken ordiner ve ekstra ordiner dalgaya ayrılır. İyonosfer içerisinde ilerleyen emd'nın polarizasyon düzleminin dönme açısı

$$\Omega = \frac{1}{2}(\Omega_+ - \Omega_-) \quad (9)$$

dir. Bu bağtında  $\Omega_+$  , ordiner dalga vektörünün dönme açısı ve  $\Omega_-$  'de ekstra ordiner dalga vektörünün dönme açısıdır.  $\Omega$  bağıntısını  $\lambda_+$  ve  $\lambda_-$  ordiner ve ekstraordinary dalgaların dalgaboyu, s yol uzunluğu ,  $\mu_+$  ve  $\mu_-$  'de ordinary ve ekstra ordinary dalgaların kırılma indisi olmak üzere,

$$\Omega = \pi s \left( \frac{1}{\lambda_+} - \frac{1}{\lambda_-} \right) \quad \text{veya} \quad \Omega = \frac{\pi s}{\lambda_0} (\mu_+ - \mu_-) \quad (10)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Davies, 1968). Magnetoionik teoriden

$$\mu_+ - \mu_- \approx \frac{1}{2} \frac{X \sqrt{Y_T^4 + 4(1-X)^2 Y_L^2}}{(1-X)(1-Y_L^2) - Y_T^2} \quad (11)$$

bağıntısı elde edilir. Dalga frekansı gyrofrekansından çok büyük olduğu durumlarda ( $f \gg f_L$ )

$$\Omega \approx \frac{\pi s}{c} \frac{f_N^2 f_L}{f^2} \quad (12)$$

olarak ifade edilir. Elektromanyetik dalganın, iyonosferi katettikten sonra mesafeye bağlı olarak kutuplanma doğrultusunun dönmesi Faraday Dönmesi olarak ifade edilmektedir. Faraday dönmesi, faz hızı sabit kabul edilerek hesaplanmaktadır. Oysa iyonosfer anizotrop bir ortam olduğundan, iyonosfere gelen elektromanyetik dalganın faz hızı değişir. Bu durumda da dalganın ilerlediği yol boyunca bir faz değişimi ortaya çıkar. Çok yüksek frekanslı bir radyo sinyali, zenithle küçük bir  $\chi$  açısı yaparak iyonosfere girdiğinde,  $\theta$  yayılma açısı yükseklikten bağımsız kabul edilerek, sinyalin katettiği s yolu boyunca, faz değişimini veren ifade

$$\Omega = \frac{2,365 \cdot 10^4}{f^2} \int NB_o \cos \theta ds \quad (13)$$

olarak bulunmaktadır. N; iyonosferde s yolu boyunca elektron yoğunluğunu ifade eder. Bu yol boyunca elektron yoğunluğunun

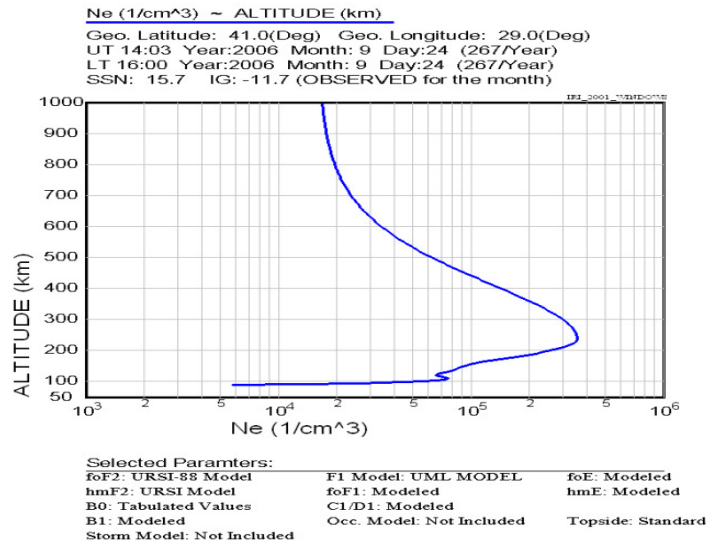
çizgisel integrali  $\int N ds$ ; toplam elektron içeriği (TEC) olarak tanımlanmaktadır.

Bu Faraday dönmesi bağıntısını kullanarak TEC hesabı yapılabilmektedir (Davies, 1968).

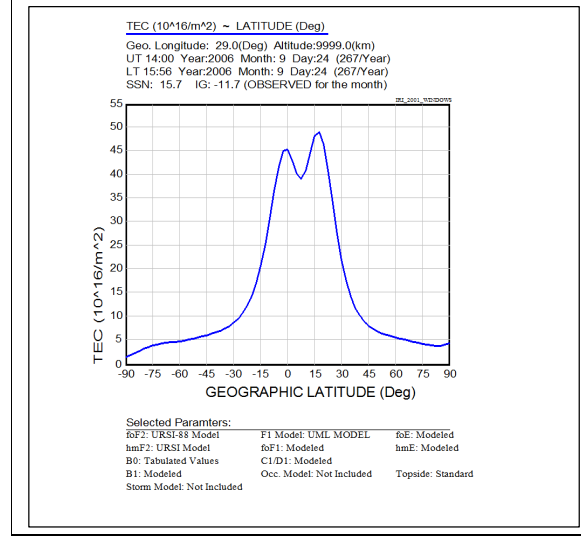
## 5. DATA

COSPAR ve URSI tarafından geliştirilen ve uluslararası standart bir model olan IRI programı, iyonosferin elektron yoğunluğu, elektron ve iyon sıcaklığı ile iyon bileşimi hakkında bilgi veren bir paket programdır. Ayrıca IRI modeli kullanılarak iyonosferin toplam elektron içerik değeri de belirlenebilmektedir. IRI programı

çeşitli teknikler kullanılarak farklı istasyonlardan elde edilen datalarla birkaç yılda bir güncellenmekte böylece iyonosferin gerçek değişimi en yakın doğrulukta belirlenebilmektedir. IRI programında kullanılan gözleme dayalı iyonosfer verileri, iyonosferin aylık ortalama yoğunluk ve sıcaklık parametreleri kullanılarak elde edilmektedir (Gümrükçü, 2009), (<http://ionolab.org>), (Bilitza, 1990). IRI model programını kullanarak elde ettiğimiz elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimini ve TEC değişim değerlerini Şekil 2. ve Şekil 3. de gösterdik. Şekil 2.'de 24 Eylül 2006 (sakin gün) tarihi için yerel iyonosfer elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi gösterilmektedir. Elde edilen elektron yoğunluğu değişiminin yükseklikle eksponansiyel olarak arttığı görülmektedir. Bu ise Chapman tabaka modeli ile uyum içindedir. Şekil 3. de de 24 Eylül 2006 sakin günü için IRI model programı kullanılarak elde edilen TEC değişim grafiği gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde TEC değişiminin iki pik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 2. 24.09.2006 tarihinde iyonosfer elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi.**



Şekil 3. 24.09.2006 sakin gün için  $\mp 90$  enlemleri için TEC değişimi

## 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmamızda; ionosferin, GPS sinyal yayılımına etkilerini araştırarak, ionosferin modellenmesinde kullanılan genel programlarından IRI model programını kullanarak, yerel ionosfer elektron yoğunluğu değişimini elde ettik. Elde ettiğimiz elektron yoğunluğu profilini incelediğimizde, elektron yoğunluğunun yükseklikle değişiminin Chapman Tabaka modeli ile uyum içinde olduğunu gözlemledik. Ayrıca aynı sakin gün için TEC değişim değerini IRI paket programı ile belirledik.

## 7. KAYNAKÇA

Bassiri, S ve Hajj G.A., (1992), "Modeling the Global Positioning System Signal Propagation Through the Ionosphere", TDA Progress Report 42-110 , August.

Bilitza D.,(1990), "Introduction Reference Ionosphere 1990", NSSDC, 90-22 , Greenbelt, Maryland.

Davies, K., ve Hartman G:K., (1997),"Studying the Ionosphere with the Global Positioning System", Radio Sci., 32,4, 1695-1703.

Davies, K., (1968), "Ionospheric Radio Waves"., Colarado.



Gümrükçü, O., (2009), “GPS Sinyalleri ile Konum Belirleme de İyonosferik Etkilerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi., YTÜ.

<http://cmm.gsfc.nasa.gov/modelweb>.

<http://www.ionolab.org>.

Nayir, H., Arikan, F., Arikan, O ve Erol, C.B., (2007),“ GPS/TEC Estimation with Ionolab Method ” Proceedings of RAST-2007., Recent Advances in Space Research., Harbiye Askeri Müze., Hava Harp Okulu., İstanbul., 14-16.

Schunk, R.W.,(1998)., “A Mathematical Model of the Middle and High Latitude Ionosphere”., Pageoph., Vol.127., Nos. 2/3.

Tascione, T.F., (1988), “ Introduction to the Space Environment”., Orbit Book Company, Florida.