Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **20** (2020) 025501 (250-266) AKU J. Sci. Eng. **20** (2020) 025501 (250-266)

DOI: 10.35414/akufemubid.646324

Araştırma Makalesi / Research Article

TUSAGA-Aktif Noktaları Kullanılarak Bölgesel TEC Değerlerinin Belirlenmesi

Sercan BÜLBÜL[1]

[1] *Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.*

e-posta: sbulbul@ktun.edu.tr, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6066-611X

Geliş Tarihi: 13.11.2019 Kabul Tarihi: 24.03.2020

Öz

GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) sinyalleri alıcıya ulaşıncaya kadar birçok tabakadan geçmektedir. Bu tabakalardan iyonosfer, günün saatine, mevsimlere, coğrafi konuma ve güneşteki patlamalara bağlı olarak sürekli değişim halindedir. İyonosferin karakteristik özelliği TEC (Total electron content - Toplam Elektron Yoğunluğu) ile belirlenmektedir. TEC, GNSS ölçülerini direk olarak etkilemez fakat üretilen kombinasyonlarla kestirilebilir. Bu çalışmada Türkiye' nin kuzey doğusunda bulunan 13 TUSAGA-AKTİF istasyonu ile 12 IGS (The International GNSS Service- Uluslararası GNSS Servisi) istasyonunun bulunduğu toplam 25 istasyon seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır. 2009 yılından 2015 yılına kadar TEC değerleri ikişer saat aralıklarla hesaplanmıştır. Tek Tabaka Modelinin kullanıldığı çalışmada GNSS ölçülerinden elde edilen TEC değerleri, CODE(The Centre for Orbit Determination in Europe -Avrupa yörünge belirleme merkezi), ESA (The European Space Agency -Avrupa Uzay Ajansı), Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından yayınlanan global iyonosfer haritası (GIM-TEC) ve uluslararası iyonosfer referans modeli programından elde edilen TEC (IRI TEC) değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bölgesel (RIM) TEC değerleri ile gobal (CODE, ESA, JPL) TEC değerleri arasında büyük oranda benzerlik olduğu ve aralarındaki farkın en fazla 2,58 TECU olduğu görülmektedir. IRI' den elde edilen TEC değerleri bu dört değere nazaran daha düşüktür ve bölgesel TEC (RIM) değerleri ile aralarındaki fark 15.67 TECU (TEC unit)' ya kadar ulaşmaktadır.

Anahtar kelimeler
Bernese; GIM; GNSS; İyonosfer; TEC; TUSAGA-Aktif

Determination of Regional TEC Values using CORS-Tr Stations

Abstract

GNSS(Global Navigation Satellite Systems) signals pass through various layers of atmosphere until they reach the receiver on earth. the ionosphere, one of these layers, is constantly changing depending on the time of day, seasons, geographical location and explosions in the sun. One of the most important parameters expressing the ionosphere is TEC (Total electron content). GNSS signals affected by the variable structure of the ionosphere are proportional to TEC. The determination of TEC exchange is important for the modeling of the ionosphere. The TEC value cannot be obtained directly from GNSS measurements, but can be estimated by the combinations produced. 13 CORS-Tr stations which are located at northeast of Turkey and 12 IGS stations were used. At process, Bernese GNSS software was used. From 2009 to 2015, TEC values were calculated in two hour intervals. The TEC values obtained from GNSS measurements were compared with Global Ionesphere Maps published by CODE, ESA, JPL and IRI -2012. As a result of the comparison, RIM-TEC values and CODE, ESA, JPL TEC values are similar and there is a maximum difference of 2.58 TECU. TEC values obtained from IRI-2012 are lower than these four values and the difference between RIM-TEC values and IRI-2012 TEC values are up to 15.67 TECU.

Keywords
Bernese; GIM; GNSS; Ionesphere; TEC; Cors-Tr

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi uydu konum belirleme sistemlerine olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Askeri amaçlı olarak 1970' lerde Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından kurulan GPS (Global Positioning Services), daha sonra sivil kullanım alanında kara, hava ve deniz araçlarının navigasyonunda, araç takip sistemlerinde, coğrafi bilgi sistemlerinin geliştirilmesinde, iyonosfer ve

troposfer araştırmalarında uygulama olanağına kavuşmuştur (Gümrükcü 2009). Günümüzde genel adı GNSS (Global Navigation Satellite System) olan sistemde birçok (GPS, GLONASS, GALILEO (European Global Navigation Satellite System), BeiDou /COMPASS (Chinese satellite navigation system), QZSS(Quasi-Zenith Satellite System), IRNSS(Indian Regional Navigation Satellite System)) uydu sistemi bulunmaktadır (Ateş 2011).

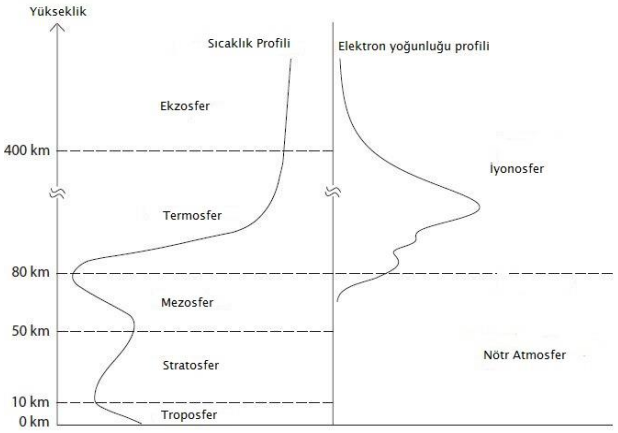
Yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklikte bulunan GNSS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girdiğinde, sırasıyla iyonosferden ve troposferden geçerek GNSS alıcılarına ulaşmaktadır. Nötr atmosfer olarak da adlandırılan troposfer, yeryüzünden 20 km yüksekliğe kadar olan alan içinde yer alır. Sinyalin yayılımı; büyük ölçüde sıcaklık, basınç ve atmosferdeki su buharına bağlıdır (Arslan 2004). İçinden geçtikleri ve doğal bir plazma olan iyonosfer, sürekli değişim halinde olduğundan, GNSS sinyallerinin gecikmesine neden olmaktadır. İyonosferin geciktirme etkisi, iyonosferin elektron yoğunluğuna bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Bu etki, metreküpteki elektron sayısının fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (Seeber 2003). İyonosferin gözlenmesi başta GNSS olmak üzere, haberleşme, güvenlik, navigasyon gibi çalışma alanları için de önem arz etmektedir. İyonosferdeki değişim uydu bazlı çalışmaları doğrudan etkilemektedir. Son zamanlarda GNSS alıcılarının dünyanın büyük bir bölümüne yayılmış olması ve bu alıcılar sayesinde izlenen uydulardan iyonosfere ilişkin bilginin elde edilebilir olması sebebiyle, iyonosfere ilişkin çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Alçay et al. 2014).

Bu çalışmadaki amaç, 2009 yılından 2015 yılı sonuna kadar Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan 13 adet TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu ve seçilen yıllar arasında kesintisiz veriye sahip on iki 12 adet IGS istasyonundan yararlanarak bölgesel TEC (Total electron content - Toplam Elektron Yoğunluğu) değerlerini belirlemek, bölgesel TEC değerlerini global TEC değerleriyle karşılaştırmaktır. Bu kapsamda bölgesel TEC değerlerinin belirlenmesi için Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır.

2. İyonosfer

Dünya atmosferi çeşitli gaz ve küçük parçacıklardan oluşmaktadır. Atmosfer kabaca deniz seviyesinden 1000 km yüksekliğe kadar olan bölge olarak tanımlanabilir. Atmosfer kütlesinin %99'lık kısmı 30 km yükseklik altındadır (Memarzadeh 2009). 80 km yükseklik ötesinde ise atmosfer iyonize molekülleri ve serbest elektronları ihtiva etmektedir.

Atmosfer ısıya, iyonizasyona ve dağılıma göre farklı tabakalara bölünebilir. Sıcaklığın düşey değişimine göre atmosfer; Troposfer (10 km' ye kadar), Stratosfer (10 km -50 km arası), Mezosfer (50 km – 80 km arası), Termosfer (80 km - 400 km arası) olmak üzere genellikle dört tabaka ile tanımlanmaktadır (Memarzadeh 2009) (Şekil 2.1). Ekzosfer atmosferin en dışındaki tabakadır.



Şekil 2.1. Atmosfer bölümleri (Memarzadeh 2009)

Atmosferden geçen uydu sinyalleri, sinyallerin durumunu etkilemektedir. Troposferik ve iyonosferik olmak üzere bu etkiler ikiye ayrılmaktadırlar. Troposferik etki ve iyonosferik etki uydu sinyallerini farklı etkilemektedir. Troposfer dağıtıcı bir özelliğe sahip olmadığı için, troposferik kırılma hem kod hem de faz modülasyonunda benzer etkiye neden olmaktadır. Troposfer tabakası, eğik sinyal yolu boyunca 30 metreye kadar bir sinyal gecikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle troposferin etkisi, uydu sinyallerindeki hataların en büyük kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Diğer yandan, iyonosfer, iyonize atmosfer tabakaları içinde, dağıtıcı özelliğe sahip olanıdır. Bu nedenle iyonosfer sinyal kodunu ve faz modülasyonunu ters yönde etkiler (Başpınar 2012, Başçiftçi 2017).

Yeryüzünden 60 ile 1100 km arasında bulunan iyonosfer, dünyayı çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazların meydana getirdiği atmosfer tabakası olarak tanımlanır (Arıkan et al. 2003, Turel et al. 2007, Aysezen 2008). Bu tabaka serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlardan oluşmaktadır. Sinyal yayılımı ve ortamın elektriksel özellikleri bu parçacıklardan etkilenmektedir (Hunsucker and Hargreaves 2003, Dach et al. 2015, Başçiftçi et al. 2018). İyonosferin büyük kısmı nötr gazlardan oluşmaktadır. İyonize olmuş gazlar ise çoğunlukla güneşten gelen kısa dalga (mor ötesi ve X ısınımı)

ışınlar ile iyonlaşma sonucu oluşur. İyonosferin konuma göre değişen kırılma indisi, GPS sinyalleri için taşıyıcı frekansın fonksiyonudur (Aysezen 2008). Genel olarak iyonosfer; coğrafi konuma, jeomanyetik konuma, jeomanyetik aktiviteye, güneş aktivitesine, güneş lekesi sayısına, mevsimselliğe, yerel zamana, nükleer patlamalara, kuvvetli yıldırım ve şiddetli fırtınalara, balistik füze uçuşlarına ve yüksekliğe bağlı değişimler gösterebilir (Wild 1994, Hawarey ve Ayan 2004, Namgaladze et al. 2012, Liu et al. 2014). İyonosfer tabakasındaki düzensizlikler, nükleer olaylar, kimyasal patlamalar ve roketlerin fırlatılışı gibi insan kaynaklı olaylar ya da güneş tutulması, güneş patlamaları, depremler, volkanlar ve manyetik fırtınalar gibi doğal olaylar nedeniyle oluşur (Afraimovich et al. 2000). İyonosferde düzensizliğe neden olan manyetik fırtınaların oluşum süreci, dünyanın manyetik alan çizgileri boyunca elektron parçacıklarının akmasıyla başlar. Bu elektronlar, güneş rüzgârı ve dünyanın manyetik alanı arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle yüklenirler. Yüklü elektronlar manyetik fırtınalara neden olur (Skone and Jong 2000).

İyonosferdeki elektron yoğunluğu; gece/gündüz, mevsimsel, coğrafi konum ve güneşte meydana gelen manyetik fırtınalar gibi etkenlerin tümünden etkilenerek değişir. Güneş ışınımı ile elektronlarından ayrılıp serbest hale geçen elektronlar gün içerisinde yerel saatle 12:00 – 14:00 arasında en yoğun değerine ulaşır. Elektronların iyonlarla birleşmesinden dolayı geceleri iyonlaşma azalır. İyonosferdeki mevsimsel elektron yoğunluğu değişimleri dünya ile güneş arasındaki açı ve mesafe değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte 11 yıllık güneş çevriminin de iyonosferdeki elektron yoğunluğu üzerinde etkisi bulunmaktadır (Komjathy 1997, Başçiftçi et al. 2017a). İyonosferin durumunu ifade etmek için kullanılan parametrelerden biri TEC'dir. TEC 1 m^2 kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olup birimi TECU (TEC Unit)' dur. 1 TECU 10^{16} el/m^2'dir (Schaer 1999; Abdullah et al. 2009; Dach et al. 2015; Başçiftçi et al. 2017b; Ya'acob et al. 2010, Namgaladze et al. 2012, Chakraborty et al. 2014, Başçiftçi et al. 2017a). İyonosfer tabakasının bir fonksiyonu olan TEC iyonosonda, geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu gibi çeşitli yollarla belirlenebilmektedir. Fakat son yıllarda GNSS ile TEC belirleme çalışmaları oldukça hız kazanmıştır. Bunun sebebi diğer yöntemlere göre GNSS sistemlerinin maliyetinin az olmasının yanı sıra kesintisiz olarak iyonosferin izlenebilmesine olanak sağlamasıdır (Başçiftçi et al. 2018).

GNSS gözlemleri ile iyonosferdeki TEC değişimleri deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası belirlenebilmektedir (Ulukavak ve Yalçınkaya, 2014). Depremlerden dolayı deprem bölgesi ve çevresinde elektrik ve manyetik alan değişiklikleri meydana gelmektedir. Bu değişiklikler atmosfere doğru ilerlerken iyonosfer de bulunan nötr atmosfer ile iyonize olmuş plazmanın birleşmesi sonucu (coupling), iyonosferin elektron yoğunluğu değişir (Calais and Minster 1998).

2.1.İyonosferin Yapısı

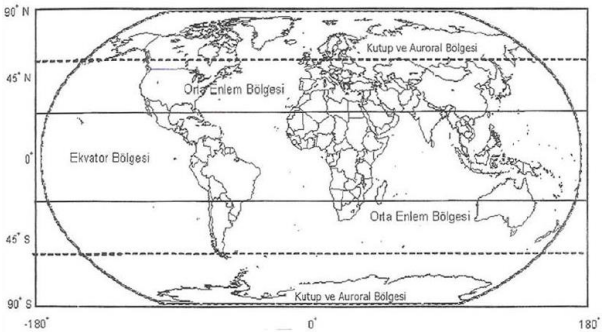
İyonosfer, coğrafi enleme göre yüksek enlem bölgesi, orta enlem bölgesi ve ekvator bölgesi olmak üzere üç ana bölgeye ayrılmakta ve yapılan bilimsel çalışmalarda bu bölgeler temel alınmaktadır (Şekil 2.2).

Yüksek enlem bölgesi auroral ve kutup bölgelerinden oluşur. Elektron yoğunluğu değerleri ekvatordakine oranla bu bölgede daha düşüktür. Ancak kısa dönemli iyonosferik değişimler ekvator bölgesindekine göre daha fazladır (Skone and Cannon 1999, Danilov and Lastovicka 2001). *Auroral bölge*, kuzey enlemlerde görülmekte olup zenginleştirilmiş üretken enerji yüklü elektron yağışı (precipitation) anlamına gelmektedir. Bu bölge yaklaşık 55° ile 65° coğrafi enlemleri arasında yer almaktadır. Auroral bölge Kanada, Alaska, Kuzey Avrupa ve Rusya' nın sadece bir bölümünü kapsamaktadır (Arslan 2010). Gündüz zamanı bu bölgede ultraviyole (UV) ışınlarının düşük iyonlaşma eğilimi göstermesinden dolayı iyonosferik gecikme düşüktür. *Kutup bölgesi* ise auroral bölgenin üst enlemlerinde yer almaktadır. Bu enlemlerde 50 km-1000 km uzunluğunda kümeler biçiminde yoğun elektron grupları oluşmaktadır. Bu yoğun elektron kümeleri F_2 tabakasında bulunmakta ve parlamalar (Scintillation) bu bölgede meydana gelmektedir. Bu bölgedeki TEC değeri düşüktür fakat meydana gelen ani değişimler TEC' in genel anlamda davranışını belirlemeye engel olmaktadır. Bu bölgede iyonlaşma hem güneş ışınının etkisi hem de parçacıkların birbirine çarpması sonucu gerçekleşmektedir (Başçiftçi et al. 2018). Kutup bölgesindeki yoğun elektron kümeleri 250-400 km yüksekliklerde, F_2 tabakasında bulunmaktadır (Gizawy 2003).

Türkiye' ninde içinde yer aldığı *orta enlem bölgesi*, büyük bir bölümü incelenmiş olduğundan en iyi bilinen bölgedir. İyonosferin sakin ve değişimin az olduğu bölgedir. Bu nedenle iyonosferi inceleme istasyonlarının çoğunluğu bu bölgedeki ülkelerde olduğundan en fazla iyonosfer araştırmaları orta enlem bölgesinde yapılmaktadır (Schaer 1999). Bu

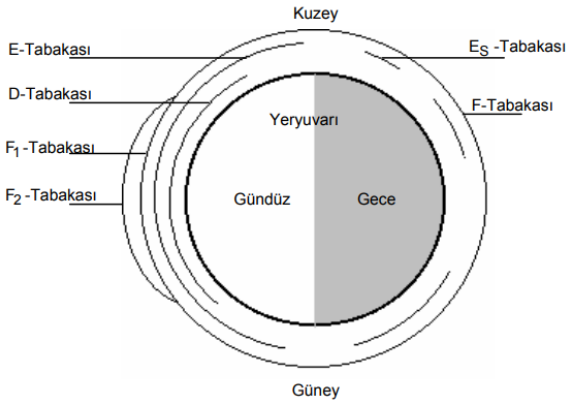
bölgede oluşan iyonlaşma genellikle güneşten gelen X ışını emisyonu ve enerji yüklü ultraviyole radyasyon ile üretilir. İyonlaşma, nötr atmosfer yanında iyonize olmuş kısımları da içine alan kimyasal işlemlerle son bulur (Arslan 2004).

Ekvatoral bölge en yüksek elektron yoğunluğunun olduğu, sinyalin genliği ve fazı sıkça değişen bir bölgedir. Bunun nedeni güçlü güneş radyasyonu ve yoğun iyonlaşmadır. Ekvator bölgesinde meydana gelen iyonosferik aktivite ekvatoral anomali olarak adlandırılır. Ekvatoral anomali, manyetik fırtına gibi nedenlerle jeomanyetik ekvatorda oluşan elektron yoğunluğu azalmasıyla tanımlanmaktadır. Bu anomali ekvator da bölgesel elektrik alanına neden olan ve global gel-git rüzgarlarıyla kontrol edilen, E tabakasının dinamosu ile değişmektedir. Günlük ekvatoral anomali yerel zamana göre 9:00-10:00 saatleri arasında başlayıp 14:00-15:00 saatlerinde en yüksek değerine ulaşmaktadır (Gizawy 2003).



Şekil 2.2 İyonosfer bölgeleri (Odijk 2002)

Farklı dalga boylarına sahip olan güneş ışınının emilmesi ve değişik yüksekliklerdeki iyonlaşma farklılıkları, iyonosferin tabaka yapısını belirlemektedir. Yükseklik arttıkça iyonlaşma miktarıda artar. İyonosferin güneşe göre olan konumu zamanla değiştiğinden iyonlaşma miktarı zamana göre de değişmektedir. Gündüz vaktinde güneş ışınlar ile atomlar ve moleküller elektron ve iyonlara ayrılmasından dolayı serbest elektron miktarı daha fazladır (URL1) (Şekil 2.3). İyonosfer tabakaları sırasıyla D, E, F (F_1, F_2) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.3. İyonosfer tabakaları (Wild 1994, Arslan 2004)

D tabakası yerkabuğuna en yakın tabakadır. Bu tabaka yeryüzünden 60-90 km yükseklikte bulunmaktadır. Bu tabakadaki iyonlaşma güneş tarafından kontrol edilmektedir (Wild, 1994). Bu bölgenin GNSS ölçülerine etkisinin olmadığı kabul edilir (Petrie et al. 2011).

E Tabakası yeryüzünden yüksekliği 90-140 km' dir. E tabakasının normal durumunda iyonlaşma, güneş ışınımı ile oluşur. Bu tabakanın GNSS' e etkisi azdır (Başpınar 2012).

F tabakası, diğer iyonosferik tabakalardan daha fazla serbest elektron ve iyon içerir ve iki katmandan oluşur (F_1 ve F_2). F_1 katmanı, GNSS sinyalinin iyonosferde gecikmesinin %10' u burada meydana gelmektedir (Parkinson and Spilker 1996). Yapısı düzenli olup güneşteki değişimler ile kontrol edilmekte, yeryüzünden 140-200 km yükseklikte bulunmaktadır. D, E tabakaları ve F_1 katmanı iyonosferin orta bölümünü oluştururken F_2 ve daha üstü iyonosferin üst kısmını oluşturmaktadır. F_2 katmanı, düzensiz bir yapıya sahip olup yeryüzünden 200-1000 km yükseklikte bulunmaktadır (Wild 1994). F_2 katmanı iyonlaşmanın en çok olduğu katmandır. Bu katmanda elektron yoğunluğu zaman, mevsim ve güneş lekesine göre değişmektedir. GNSS ölçülerine en çok etki eden katmandır (Arslan 2004). F_2 katmanında elektron yoğunluğunun maksimum olduğu aralık 250-400 km arasında değişiklik göstermektedir. Bu değer manyetik fırtınalar, gece zamanı, ekvatoral bölge gibi etkenler ile farklılık gösterebilir (Petrie et al. 2011). İyonosfer tabakalarına ait özellikler Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. İyonosfer tabakalarına ait özellikler (Wild 1994, Arslan 2004)

Tabakalar	Yükseklik (km)	Elektron Yoğunluğu (1 / cm^2)		Nötr gaz yoğunluğu (1 / cm^3)
		Gece	Gündüz	
D	60-90	10^2-10^4	---	10^{15}
E	90-140	10^5	2.10^5	2.10^{12}

F_1	140-200	3.10^5	10^3	10^{10}
F_2	200-1000	5.10^5	3.10^3	10^6-10^{10}

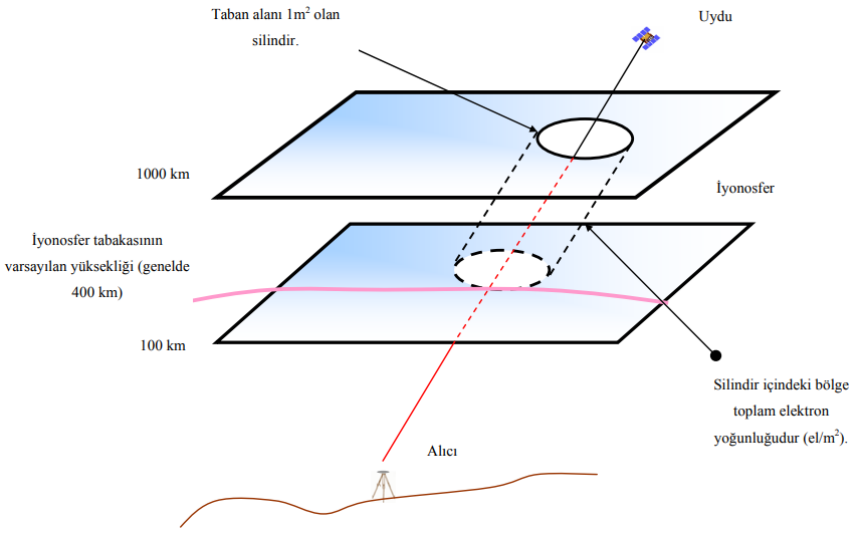
2.2. GNSS ölçüleri ile TEC değerinin belirlenmesi

Sinyal yolu üzerinde bulunan iyonosfer veya parametresi olan TEC, serbest elektronların sayısına bağlı olarak farklılık gösterir. Serbest elektronların sayısı iklim koşulları, zaman, coğrafi enlem, güneş ve jeomanyetik değişim gibi faktörlere bağlıdır (Parkinson and Spilker 1996). İyonosferle ilgili verilere, yeryüzüne dağılmış çok sayıda GNSS gözlem istasyonu ve GNSS uydusu yardımıyla ayrıntılı bir biçimde ulaşılabilmektedir. İyonosfer, saçıcı bir ortam olduğundan GNSS uydularından gönderilen L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri yardımıyla TEC değerleri belirlenebilmektedir. TEC değerleri global ya da bölgesel iyonosfer yapısı hakkında bilgiler içermektedir (Davies and Hartmann 1997, Fedrizzi et al. 2001). L_1 ve L_2 faz ölçülerinin farkı olan L_4 doğrusal kombinasyonuna Taylor serisi açılımı uygulanarak Yerel (bölgesel) TEC haritası elde edilmektedir.

$$L_4=L_1-L_2 \qquad (2.1)$$

Bölgesel nitelikteki Taylor serisi açılımı global iyonosfer etkilerinin modellendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bunun için küresel harmonik serilere açılım kullanılmaktadır (Schaer et al. 1995, Ateş 2011).

GNSS ölçüleri ile TEC değerlerinin belirlenmesi, iyonosferin yapısını anlamada kullanılan maliyeti düşük ve hızlı bir metottur. TEC, STEC (The slant TEC) ve VTEC (The vertical TEC) olarak iki şekilde ifade edilir. STEC, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan eğik toplam serbest elektron yoğunluğu, VTEC ise alıcıya göre dik doğrultuda hesaplanan toplam serbest elektron yoğunluğudur (Zou 2010). GNSS alıcıları ile elde edilen veriler, kod ve faz gözlemlerini içermektedir. İyonosferik gecikme kod ölçüleri için pozitif iken faz ölçüleri için negatiftir. İyonosferdeki toplam elektron yoğunluğunun grafik gösterimi şekil 2.4' te verilmektedir. TEC artı işaretli bir değerdir; eksi bir değer olursa bunun nedeni alıcı ve uydu hatalarıdır (Başçiftçi et al. 2017a).



Şekil 2.4. Toplam elektron yoğunluğunun grafiksel gösterimi (Langley 2002, Arslan 20

İyonosfer tabakasının yüksekliği, akademik yazılımlarda genel olarak 450 km alınmakta ve bu yükseklikteki TEC' in en yüksek değerde olduğu kabul edilmektedir (Komjathy and Langley 1996).

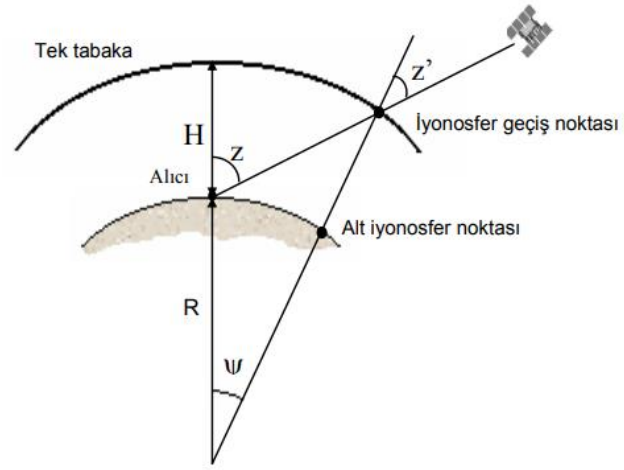
2.2.1. Tek Tabaka Modeli

İyonosfer tabakası geniş bir banta sahiptir. Bandın tanımı için maksimum yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içinde olduğunun kabul edildiği tek tabaka (single layer) modelinden yararlanılmaktadır (Hugentobler et al. 2001). Model, iyonosferde yer alan tüm elektronların dünyadan yaklaşık 300 km ile 450 km arasındaki sonsuz incelikte bir tabakada toplandığını kabul eder (Inyurt 2015, Başçiftçi 2017). Şekil 2.5' te Tek Tabaka modeli gösterilmektedir. Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu F_I,

$$F_I(z) = \frac{E}{E_v} = \frac{1}{cosZ'} \qquad (2.2)$$

$$\sin Z' = \frac{R}{R+H} sinZ \qquad (2.3)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada; *E*: sinyal yolu boyunca elektron yoğunluğu; E_v: düşey elektron yoğunluğu; *Z* ve *Z'*: zenit açıları; *R*: yeryuvarının ortalama yarıçapı (≈6371 km); ψ: z ve z' zenit açıları farkı; *H*: yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklıktır.



Şekil 2.5 Tek tabaka modeli (Schaer, 1999)

Alt iyonosfer noktası, iyonosferik bilginin dönüştürüldüğü yer olup toplam elektron miktarını (düşey) temsil etmektedir.

2.2.2. Yerel TEC Modeli

E_V (β,s) düşey toplam elektron yoğunluğunu temsil etmek için iki boyutlu Taylor serisine göre açılırsa;

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \qquad (2.4)$$

eşitliği elde edilir. Burada; n_{max} ve m_{max}: enlem ve boylamdaki iki boyutlu taylor serisi açılımının maksimum derecesini; E_{nm}: taylor serisinin bilinmeyenlerini, (β,s): iyonosfer geçiş noktasının güneş-coğrafi koordinatlarını; (β_0, s_0): taylor açılım merkezi koordinatlarını temsil etmektedir (Wild 1994).

Her bir uydu ve alıcı için bilinmeyen parametreler E_{nm}, en küçük kareler ilkesi uygulanarak kestirilir. Taylor dizisinin derecesi iyonosferin davranışına bağlıdır. Derecesi çok yüksek olursa kestirilen iyonosfer parametrelerinin güvenilirliği azalır (Wild 1994). E_{00} ile ifade edilen sıfır derece TEC parametrelerinin seriye açılımı referans istasyonu üzerindeki TEC hakkında bilgi vermektedir.

GNSS ölçüleri ile TEC değerleri doğrudan istasyona ilişkin verilerden elde edilebildiği gibi oluşturulan GNSS tabanlı modellerden de çıkarılabilmektedir. Buna örnek olarak GIM (Global Ionosphere Maps) verilebilir. Ayrıca günümüzde International Reference Ionosphere (IRI) modeli, TEC bilgisinin yanı sıra, elektron yoğunluğu, iyon ve elektron sıcaklığı gibi iyonosfere ilişkin parametreleri sunmaktadır (Başçiftçi et al. 2017b).

2.2.3. Global TEC modeli

Taylor açılımı ile yapılan TEC temsili küresel anlamda yetersiz kaldığı için global TEC temsili için küresel harmonik serilere açılımı ile yapılmaktadır. Küresel harmonik serilere açılım;

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} P_{nm}(sin\beta)(C_{nm} \cos(ms) + S_{nm} \sin(ms)) \qquad (2.5)$$

şeklindedir. Burada; E_V(β,s): Düşey Toplam Elektron Miktarı; P_{nm}(sinβ): Normalize edilmiş Legendre Fonksiyonunu; C_{nm} ve S_{nm}: Bilinmeyen Katsayılar; n_{max} ve m_{max}: küresel harmonik açılımın maksimum derece ve mertebesi; β: enlemi; s: güneş sabit boylamı ifade etmektedir (Arslan 2004).

2.3. Global İyonosfer Haritası Üreten Merkezler (Global İyonosfer Model- GIM)

Dünyada global iyonosfer TEC haritası üreten kurumlar, İyonosfer Ortak Analiz Merkezi (IAAC-Ionosphere Associate Analysis Center) olarak adlandırılmış ve aşağıda listelenmiştir (Feltens and Schaer 1998, Orús Pérez 2005, Orus et al. 2005, Başçiftçi et al. 2017a):

-CODE: Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi, Bern, İsviçre,

-DLR: Fernerkundungsstation Neustrelitz, Almanya,

-ESA/ESOC: Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Darmstadt, Almanya,

-JPL : Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, U.S.A.,

-NOAA : Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Silver Spring, U.S.A.,

-NRCan : Doğal Kaynaklar, Ottawa, Ontario, Kanada,

-ROB : Belçika Kraliyet Gözlemevi, Bürüksel, Belçika,

-UNB : New Brunswick Üniversitesi, Fredericton, N.B., Kanada,

-UPC: Katalunya Politeknik Üniversitesi, Barselona, İspanya,

-WUT: Varşova Teknoloji Üniversitesi, Varşova, Polonya.

Global iyonosfer haritası (GIM) IONEX (IONosphere map EXchange) formatında yayınlanır. IONEX formatındaki TEC verileri bütün dünyayı kapsayacak şekilde dizilmişlerdir. Bu dizi içerisinden istenilen noktadaki TEC değeri elde edilebilmektedir. Bir noktanın enlem ve boylamı biliniyorsa iki değişkenli enterpolasyon noktayı içerisine alan en yakın 4 TEC değeri yardımıyla ilgili TEC değeri elde edilir (Schaer et al. 1998). TEC' i TECU biriminde belirleyebilmek için hesaplanan değer 0.1 ile çarpıldığında ilgili noktaya ait TEC değeri TECU biriminde belirlenmektedir. IONEX formatlı küresel iyonosfer haritaları 2'şer saatlik aralıklarla üretilmektedir. TEC değerleri için, boylamdaki artış miktarı 5^{o} ve enlemdeki artış miktarı 2.5^{o} olmaktadır (Arslan 2004, Orús Pérez 2005). IONEX formatından yayınlanan TEC değerlerinin doğruluğu 2-8 TECU arasında değişiklik göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda yaygın olarak CODE, ESA, JPL ve IRI kurumlarının yayınladıkları iyonosfer modelleri kullanılmaktadır (Gao et al. 2002, Liu et al. 2005, Mao et al. 2008, Liu et al. 2009, Hernández-Pajares et al. 2009, Scharroo and Smith 2010, Ya'acob et al. 2010, Wan et al. 2012, Bilitza et al. 2014, Leong et al. 2015, Başçiftçi et al. 2018).

CODE-GIM, IGS ve diğer kurumların yaklaşık 200 GPS istasyonu verilerini kullanılarak TEC değerlerini 2 saat aralıklarla günlük bazda üretir (Todorova et al. 2003, Liu et al. 2005). CODE analiz merkezinde GIM IONEX formatlı üretilmektedir.

ESA VTEC değerleri, haritalama fonksiyonu olarak cosz ve kod gözlenebilirleri için taşıyıcı faz seviyesi kullanılarak Chapman Profili modeli üzerinde dikey entegrasyon ile belirlenir (Todorova et al. 2003).

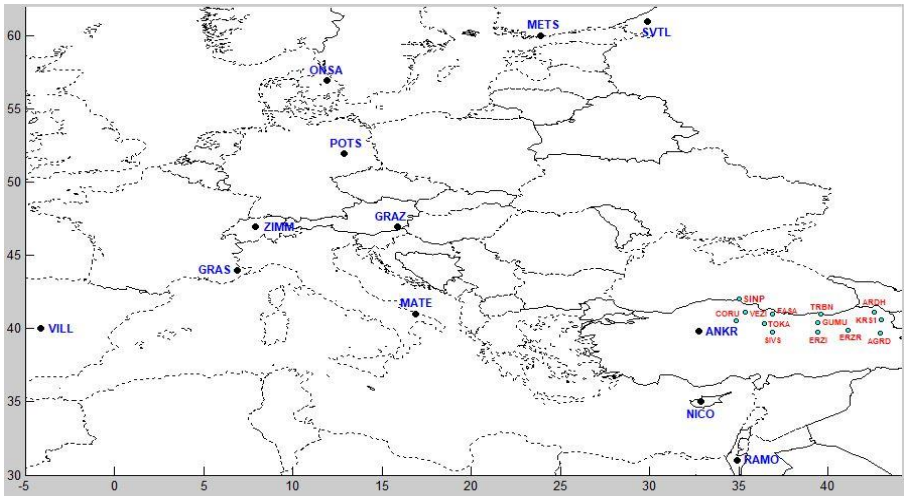
JPL iyonosferik ve atmosferik uzaktan algılama grubu TEC değerlerini belirlemek için küresel olarak dağılmış GPS istasyonlarının verilerini kullanmaktadır. İyonosferik modelleme, dünyadan yaklaşık 350 km yüksekte olduğu varsayılan ince iyonosferik kabuğun varsayımı üzerine kuruludur (Liu et al. 2005).

GIM haritalarına ait çözümler IGS veri merkezinin sayfasından indirilebilir (URL 2). Şuana kadar farklı analiz merkezlerinin yayınladığı çözümlerde herhangi bir tutarsızlık ortaya çıkmamıştır.

IRI, İyonosfer' in yoğunluk ve sıcaklık parametrelerini aylık ortalamalar olarak tanımlamak amacıyla geliştirilmiş uluslararası standart modeldir. Bu model International Union of Radio Science (URSI) ve COmittee on SPAce Research (COSPAR) ortak çalışmasıyla geliştirilip iyileştirilmektedir (Bilitza et al. 2014). IRI, verilen yer, tarih ve saate göre 60 km ile 2000 km arasındaki iyonosfer yükseklikleri için TEC değerinin de içinde bulunduğu iyonosfere ilişkin çok sayıda parametre sunabilmektedir (Leong et al. 2015). IRI programı sayesinde TEC değerleri (URL3) internet adresinden ilgili güne ait enlem ve boylam değerleri ile online olarak hesaplanabilmektedir.

3. Uygulama

Bu çalışmada bölgesel TEC değerlerini elde etmek için toplam yirmi beş (25) istasyon kullanılmıştır. Bu istasyonların 13 tanesi Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu olup diğerleri IGS istasyonlarıdır (Şekil 3.1) (Çizelge 3.1). Seçilen istasyonlarının 2009-2015 yılları arasında her ayın 15. gününe ait GNSS verileri temin edilmiş, verilerin değerlendirilmesi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılmıştır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılan değerlendirme aşamasında, yüksek dereceden iyonosferik düzeltme (HOI: Higher Order Ionospheric) uygulanmış olsada, seçilen günlerde iyonosferik fırtınanın etkisini ortadan kaldırmak için, jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve güneş aktivite (F10.7) indeksleri incelenmiştir. Mevcut günlerde herhangi bir aktivite olması durumunda aktivitenin az olduğu gün seçilerek değerlendirme yapılmıştır.



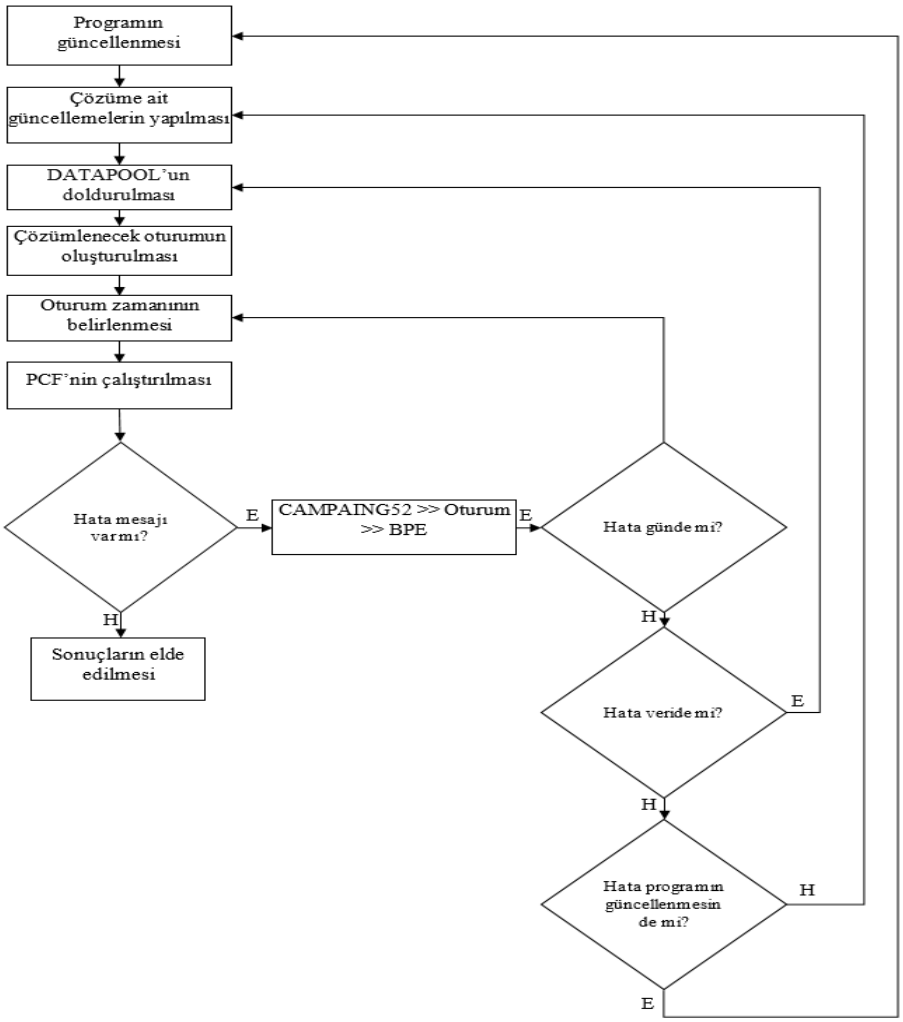
Şekil 3.1. Ağın Genel yapısı

Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan TUSAGA- Aktif (CORS-TR) ve IGS noktaları

TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Noktaları	IGS Noktaları
AGRD	ANKR
ARDH	GRAS
CORU	GRAZ
ERZI	MATE
ERZR	METS
FASA	NICO
GUMU	ONSA
KRS1	POTS
SINP	RAMO
SIVS	SVTL
TOKA	VILL
TRBN	ZIMM
VEZI	

Seçilen istasyonlara ait veriler ve Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı için hem kullanıcı tarafından hazırlanan hem de internet ortamında indirilen veriler temin edilerek çözümler gerçekleştirilmiştir.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile çözüm sonucunda bölgesel iyonosfer modeli kullanılacağı için bu modelin elde edildiği PPP_DEMO.PCF hazır komutu kullanılarak otomatik çözümleme yapılmıştır. PPP_DEMO.PCF otomatik çözüm modülünün iş akış şeması Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda bölgesel TEC değerleri (RIM*.INX) elde edilmiştir.



Şekil 3.2. PPP_DEMO.PCF iş akış diyagramı

Gerçekleştirilen analizler sonucunda 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel TEC değerleri elde edilmiştir. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile GNSS ölçülerinden elde edilen bölgesel TEC değerlerinin karşılaştırmasını yapmak için CODE, ESA ve JPL tarafından yayınlanan GIM-TEC değerleri (URL 2) adresinden indirilmiş, IRI modelinden elde edilen TEC değerleri ilgili güne ait noktanın enlem ve boylamları girilerek (URL 3) adresinden online olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2' de 2009 yılından 2015 yılı sonuna kadar yıllık ortalamaları alınarak TRBN istasyonuna ait elde edilen bölgesel (RIM) ve global (CODE, ESA, JPL, IRI) TEC değerleri, çalışmada ulaşılan minimum TECU değerleri UTC 02:00 da elde edilmiş, maksimum sonuçlar ise genelde UTC 10:00'da elde edilmesine rağmen, CODE için 2014'de UTC 08:00, 2015 de ise UTC 12:00'da, ESA için 2011 ve 2015 de UTC 12:00'da elde edilmiş ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. TRBN istasyonuna ait 2009 yılından 2015 yılına kadar elde edilen TEC değerleri (TECU)

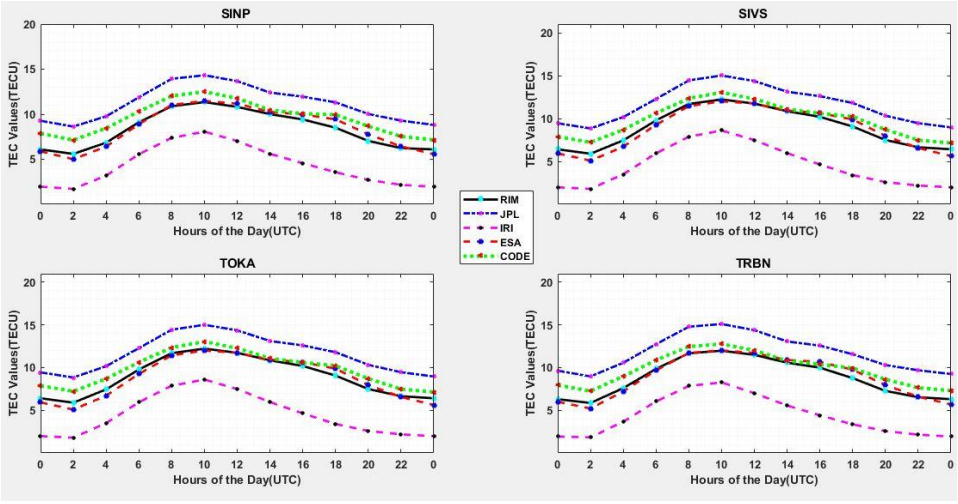
Yıllar	İyonosfer Modelleri	ZAMAN (UTC)											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
2009	RIM	6,3	5,9	7,6	9,9	11,7	12,0	11,5	10,6	10,0	8,8	7,3	6,5
	CODE	8,0	7,3	9,0	10,9	12,5	12,8	12,0	10,8	10,4	9,9	8,6	7,6
	ESA	6,0	5,2	7,2	9,7	11,7	12,0	11,7	10,9	10,7	9,8	8,0	6,6
	JPL	9,6	9,0	10,6	12,8	14,8	15,1	14,4	13,1	12,6	11,6	10,3	9,7
	IRI	1,9	1,8	3,7	6,0	7,9	8,3	7,0	5,6	4,4	3,4	2,6	2,1
2010	RIM	7,9	7,5	10,2	13,3	16,0	16,7	15,4	13,8	12,9	11,3	9,4	8,3

	CODE	9,8	9,2	11,8	14,5	17,0	16,9	16,2	14,5	13,4	12,9	11,8	10,4
	ESA	7,1	6,2	9,4	12,7	15,6	16,0	15,6	14,3	13,6	12,7	10,6	8,4
	JPL	10,5	9,9	12,6	15,9	18,8	19,2	18,0	16,0	14,8	13,6	12,1	10,9
	IRI	2,4	2,3	4,7	7,9	10,2	10,7	9,2	7,3	5,6	4,1	3,2	2,7
	RIM	10,5	9,9	14,2	20,7	24,9	26,4	25,6	21,9	18,0	14,4	12,3	11,2
	CODE	10,7	10,2	14,5	21,0	24,6	25,4	24,6	21,3	16,8	13,7	12,9	12,1
2011	**ESA**	9,2	8,4	12,9	20,0	24,4	26,1	26,2	22,7	18,8	15,5	13,4	11,7
	JPL	12,0	11,8	15,7	22,7	27,4	28,2	27,5	23,9	19,7	16,0	14,6	13,3
	IRI	3,4	3,5	7,1	12,4	15,9	16,4	14,4	11,6	8,4	5,7	4,4	3,9
	RIM	11,4	11,1	15,7	23,5	29,0	30,9	28,1	23,5	19,6	15,5	12,5	11,7
	CODE	12,2	11,7	15,6	23,3	28,2	30,0	26,7	21,9	18,9	15,2	13,2	12,5
2012	**ESA**	10,7	9,8	14,0	22,3	27,9	30,3	28,0	23,7	20,2	15,7	12,6	11,0
	JPL	12,8	12,7	16,9	25,3	31,0	33,0	29,8	25,0	21,3	16,9	14,0	13,2
	IRI	4,0	4,1	8,4	15,1	19,5	19,9	17,6	14,2	10,1	6,6	5,1	4,5
	RIM	11,9	11,6	16,4	24,2	29,3	31,3	29,5	24,6	20,1	16,1	13,4	12,3
	CODE	12,8	12,7	16,7	24,4	29,1	30,3	28,8	23,9	19,5	16,1	14,4	13,5
2013	**ESA**	11,6	11,0	15,7	23,6	28,9	31,5	30,0	25,4	20,9	16,9	14,1	12,7
	JPL	13,7	13,7	18,1	26,5	31,8	33,5	31,4	26,4	21,4	18,0	15,7	13,9
	IRI	4,2	4,3	8,8	16,0	20,7	21,1	18,6	15,1	10,6	6,8	5,3	4,7
	RIM	13,2	12,6	18,3	28,6	36,2	37,8	35,8	29,9	23,4	18,2	15,2	13,8
	CODE	14,1	13,4	18,6	28,8	36,2	36,5	34,7	29,0	22,5	17,8	16,2	16,0
2014	**ESA**	13,5	12,8	18,2	28,4	36,8	38,5	37,8	31,5	25,1	20,1	16,9	15,6
	JPL	14,5	14,2	19,6	30,2	38,5	39,7	37,2	32,0	24,6	19,7	17,5	16,2
	IRI	4,6	4,8	9,8	17,6	22,7	23,0	20,4	16,6	11,7	7,4	5,8	5,1
	RIM	11,9	11,5	16,0	23,2	28,6	30,7	29,9	26,5	21,0	16,0	13,7	12,4
	CODE	12,6	11,9	15,9	22,8	28,0	29,4	28,9	26,0	20,9	16,0	13,9	13,3
2015	**ESA**	12,6	11,7	16,1	23,3	29,1	32,4	32,4	28,4	21,9	17,0	14,4	13,2
	JPL	13,1	12,8	17,5	24,5	30,3	31,8	31,1	28,2	23,0	17,3	14,9	13,9
	IRI	4,6	4,8	9,8	17,2	22,0	22,3	19,9	16,5	11,9	7,7	6,0	5,2

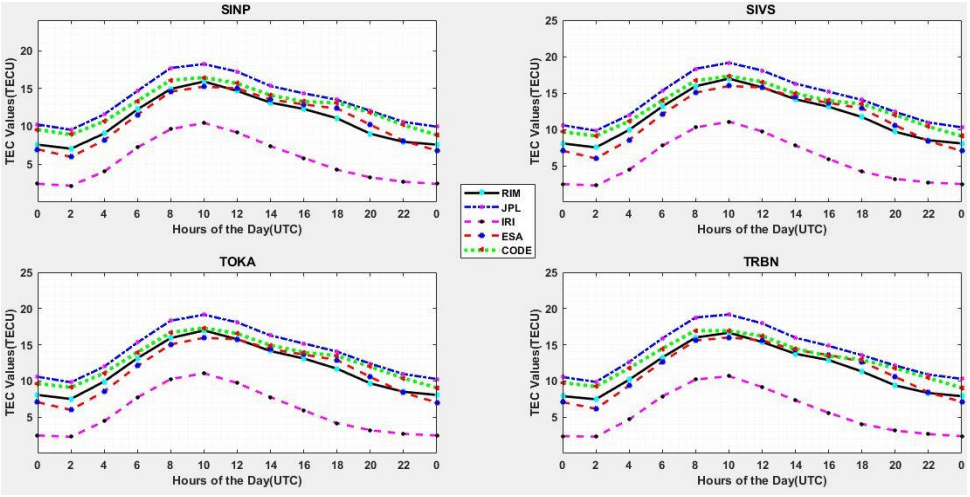
Çizelge 3.3. Minimum ve maksimum gözlenen TEC değerleri (TECU)

Yıllar	**Minimum Gözlenen Değerler**					**Maksimum Gözlenen Değerler**				
	RIM	**CODE**	**ESA**	**JPL**	**IRI**	**RIM**	**CODE**	**ESA**	**JPL**	**IRI**
2009	5,74	7,23	5,00	8,63	1,71	12,58	13,04	12,03	15,11	8,60
2010	7,05	8,92	5,97	9,53	2,17	17,33	17,32	16,01	19,18	11,07
2011	9,53	9,69	8,00	11,30	3,23	27,08	25,57	26,38	28,33	16,90
2012	10,48	10,94	9,12	12,46	3,83	32,43	30,12	30,33	33,07	20,45
2013	11,24	11,91	10,60	13,01	3,98	32,64	30,25	31,64	33,93	21,57
2014	11,99	12,72	12,29	13,63	4,43	39,08	36,98	38,93	40,23	23,41
2015	11,08	10,99	10,89	12,04	4,45	31,81	29,70	32,95	31,99	22,84

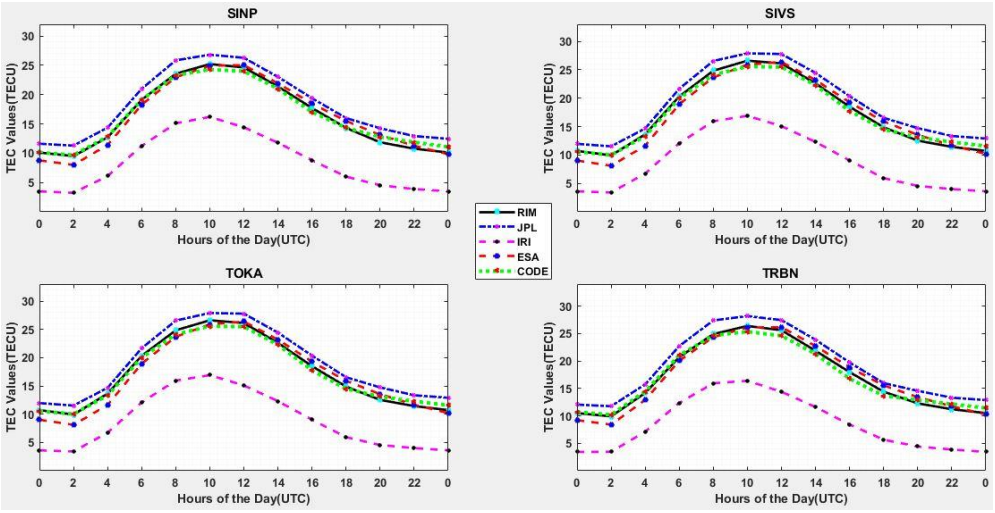
Elde edilen TEC değerlerinin çizimi MATLAB (matrix laboratory) programı ile yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucu 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel TEC değerlerinin ortalama değeri hesaplanmış IRI ve GIM (JPL, ESA, CODE) ortalama TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede tüm istasyonlar benzer davranış gösterdiği grafik gösterimlerde SINP, SIVS, TOKA ve TRBN istasyonlarına ait karşılaştırma çizimleri örnek olarak verilmiştir (Şekil 3.3-3.9).



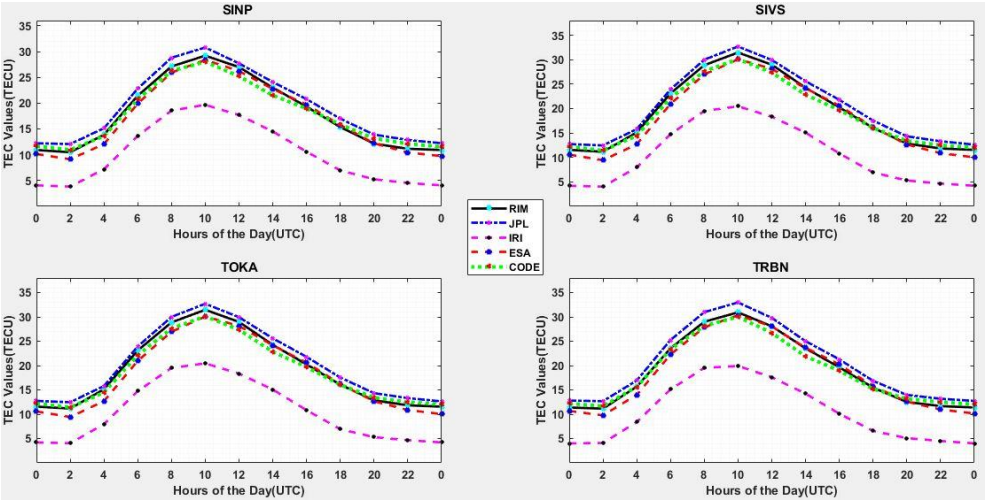
Şekil 3.3. 2009 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



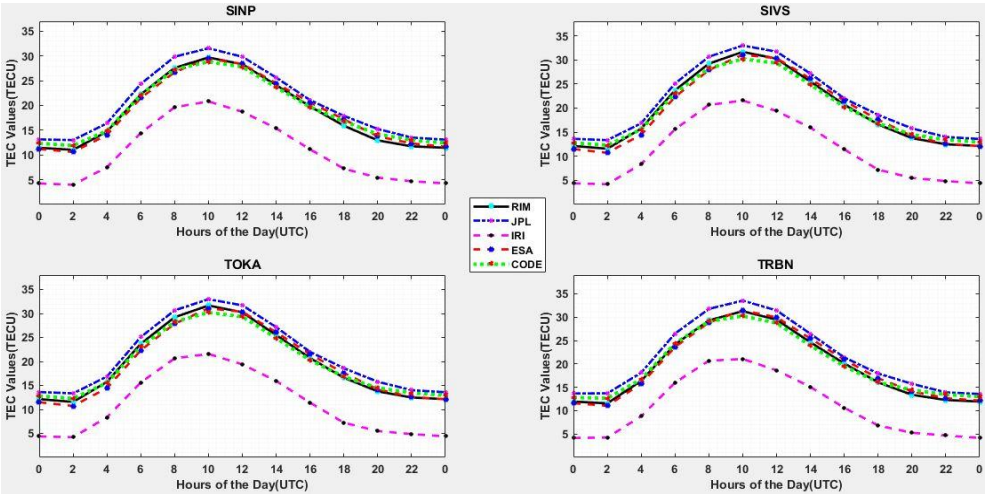
Şekil 3.4. 2010 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



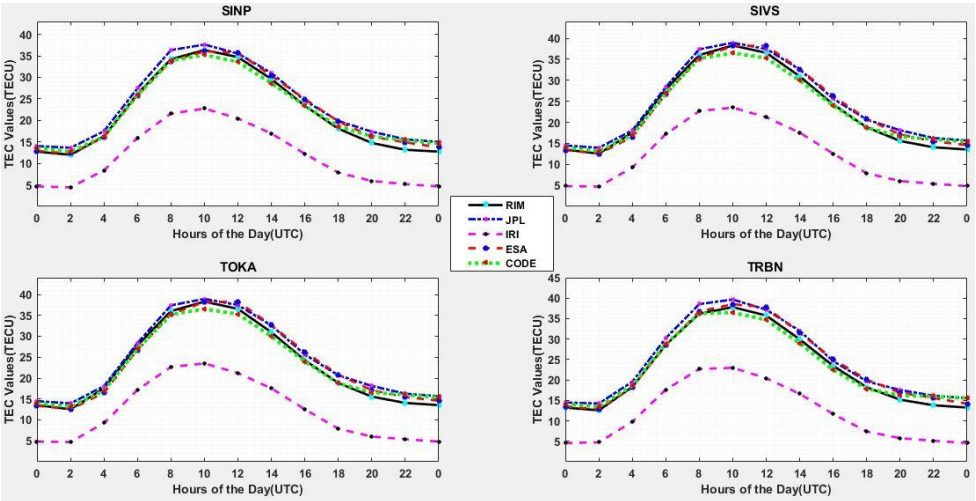
Şekil 3.5. 2011 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



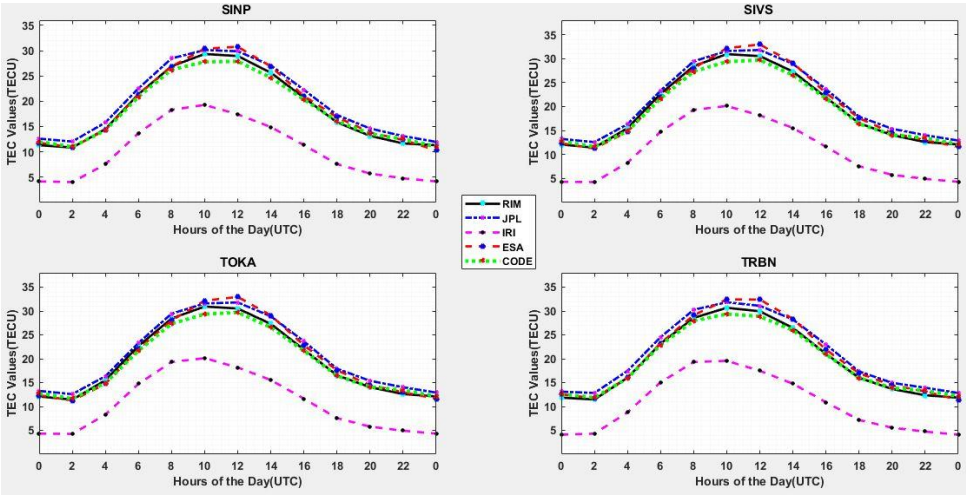
Şekil 3.6. 2012 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.7. 2013 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.8. 2014 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.9. 2015 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması

Analiz sonucu elde edilen bölgesel TEC değerlerinden yararlanarak çözüm yapılan günler için ikişer saat aralıklarla üretilen ortalama TEC değerleri, GIM ve IRI ortalama TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Grafikte yatay eksen evrensel zamanı saat biriminde, düşey eksen TEC değerlerini TECU biriminde göstermektedir. Lejantta siyah renk RIM (Result) analiz sonucu elde edilen bölgesel TEC değerlerini gösterirken, mavi JPL, kırmızı ESA, yeşil CODE GIM haritasından elde edilen TEC değerlerini ve sarı renk ise IRI modelinden elde edilen TEC değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 3.3-3.9 incelendiğinde bölgesel iyonosfer modeli (RIM) ile Global iyonosfer modeli (CODE, ESA, JPL) ve IRI modelinden elde edilen TEC değerinin genel olarak gece saat 02:00' da artmaya başlamış ve saat 10:00' da en yüksek değerine ulaşmıştır. Saat 12:00' dan itibaren azalmaya başladığı ayrıca saat 02:00' da yoğunluğun minimum değerlerde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise yoğunluğun maksimum değerlerde olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan 13 tanesi TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu olmak üzere IGS istasyonlarının da bulunduğu toplam 25 GNSS istasyonundan yararlanılarak 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel (RIM) TEC değerleri üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar CODE, ESA, JPL tarafından yayınlanan GIM değerleri ve IRI modelinden elde edilen TEC değerlerinin ortalama değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır (Şekil 3.3-3.9). Bu kapsamda bölgesel TEC değerlerinin belirlenmesi için İsviçre'nin Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır.

Şekil 3.3-3.9 ile Çizelge 3.3-3.4 incelendiğinde; Global iyonosfer modelinden (CODE, ESA, JPL) elde edilen TEC değerleri gece saat 02:00' da artmaya başlamış ve saat 12:00' da en yüksek değerine ulaşmıştır. Genel olarak global TEC değerlerinin saat 02:00' da en düşük değerde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise en yüksek değerde olduğu görülmektedir. IRI modelinde online olarak elde edilen TEC değerleri gece saat 02:00' da en düşük değerde, saat 10:00 da ise en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bölgesel iyonosfer modelinde (RIM), değerlendirme sonucu elde edilen TEC değerlerinin global iyonosfer modellerinde olduğu gibi gece saat 02:00' dan itibaren artmaya başlamış ve saat 12:00' da yüksek değerine ulaşmıştır. Genel olarak RIM-TEC değerlerinin global TEC değerlerine benzer olarak saat 02:00' da en düşük değerde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Elde edilen bölgesel (RIM) TEC değerleri ile gobal (CODE, ESA, JPL) TEC değerleri arasında büyük oranda benzerlik olduğu, IRI-2012'den elde edilen TEC değerlerinin bu dört değere nazaran daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan elde edilen beş farklı TEC değerinin gün içerisinde benzer davranış gösterdiği görülmüştür. Genel anlamda elde edilen beş TEC değerinin de öğle saatine kadar arttığı, daha sonra serbest halde bulunan iyonların tekrar birleşmesinden dolayı TEC değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden birinin güneş ışını olduğu düşünülmektedir. Güneş ışınının en etkin olduğu öğle saatlerinde havada bulunan moleküller bu ışının etkisiyle ayrılmakta bu

da serbest halde bulunan elektron sayısının artmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 3.3 incelendiğinde bölgesel TEC değerleri (RIM) ile global TEC (CODE, ESA, JPL) değerlerinin uyumlu olduğu aralarındaki farkların maksimum 2.58 TECU seviyesinde olduğu görülmüştür. IRI modelinden elde edilen TEC değerleri bölgesel TEC (RIM) değerlerinden düşük seviyede olup arasındaki fark maksimum 15.67 TECU seviyesine ulaşmaktadır. IRI TEC kestiriminin düşük kalmasının en önemli nedeni ise Türkiye'de iyonosonda istasyonunun olmamasından dolayı elde edilen TEC kestiriminin düşük seviyede kaldığı savunulabilir.

TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ile ülke geneline dağılmış 142 sabit GNSS istasyonundan elde edilecek anlık verilerle iyonosferin yakın gerçek zamanlı modellemesi daha hassas olarak yapılabilecektir. Kısa dalga iletişiminde ve konum belirlemede önemli bir yere sahip olan iyonosfer tabakası hakkında geçmişe dönük yeterli verinin olmaması sebebiyle öncesinde yapılmış olan GNSS ölçülerinin oluşturulacak modellere önemli katkı sağlayacaktır.

5. Kaynaklar

Abdullah, M., Strangeways, H. J. ve Walsh, D. M., 2009, Improving ambiguity resolution rate with an accurate ionospheric differential correction. *Journal of Navigation*, 62,**1**, 151-166.

Afraimovich, E. L., Chernukhov V.V. ve Demyanov, V. V., 2000, The Updated Ionospheric Delay Model to Improve the Performance of GPS Single-Frequency Receivers, *Radio Science*, 35, **1**, 257-262.

Alcay, S., Yigit, C. O., Seemala, G., Ceylan, A., 2014. GPS-Based Ionosphere Modeling: A Brief Review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23**,3a**, 815-824.

Arıkan, F., Erol, C. ve Arıkan, O., 2003, Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **108 (A12)**, 1469-1480.

Arslan, N., 2004, GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,104.

Arslan, N., 2010, İyonosferdeki Değişimlerin TEQC Yazılımı İle İzlenmesi, *5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Merkez Kampüsü, Zonguldak.

Ateş, H. B., 2011, TUSAGA-AKTİF GPS Ağ Verileri İle Bölgesel İyonosferik Modelin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze,92.

Aysezen, M. Ş., 2008, Türkiye İçin IONOLAB-TEC Kullanılarak GPS Tabanlı TEİ Ve Alıcı Yanlılığı Veri Tabanı Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak,92.

Başçiftçi, F., 2017, GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya,296.

Başçiftçi, F., İnal, C., Yıldırım, Ö. ve Bülbül, S., 2017a, Determination of Regional TEC Values by GNSS Measurements, A Case Study: Central Anatolia Sample, Turkey. Surveying the world of tomorrow – From digitalisation to augmented reality, *FIG Working Week 2017*. Helsinki/Finland.

Başçiftçi, F., Inal, C., Yıldırım, Ö., Bülbül, S., 2017b, Determining Regional Ionospheric Model and Comparing With Global Models, *Geodetski Vestnik*, 61**, 3**, 427-440.

Başçiftçi, F., Inal, C., Yıldırım, Ö., Bülbül, S.,2018. Comparisonof Regional and Global TEC Values: Turkey Model, *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, **2**, 61-72

Başpınar, S., 2012, CORS-TR Verileriyle İyonosfer Modellerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,277.

Bilitza, D., Altadil, D., Zhang, Y., Mertens, C., Truhlink, V., Richards, P., McKinnell, L., Reinish, B., 2014. The International Reference Ionosphere 2012-a model of international collaboration. *Journal of Space Weather and Space Climate*, **4, A107**,12

Calais, E. ve Minster, J. B., 1998, GPS, earthquakes, the ionosphere, and the Space Shuttle, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, **3**, 167-181.

Chakraborty, M., Kumar, S., De, B. K. ve Guha, A., 2014, Latitudinal characteristics of GPS derived ionospheric TEC: a comparative study with IRI 2012 model, *Annals of geophysics*, 57**, 5,** p. A0539.

Dach, R., Lutz, S., Walser, P. ve Fridez, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2, *Switzerland*, Astronomical Institute, University of Bern, Publikation Digital AG, Switzerland.

Danilov, A. ve Lastovicka, J., 2001, Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 2, **3**, 209-224.

Davies, K. ve Hartmann, G., 1997, Studying The Ionosphere With The Global Positioning System, *Radio Science*, 32**, 4**), 1695-1703.

Feltens, J. ve Schaer, S., 1998, IGS Products for the Ionosphere, *Proceedings of the 1998 IGS Analysis Center Workshop Darmstadt, Germany*.

Fedrizzi, M., Langley, R. B., Komjathy, A., Santos, M. C., de Paula, E. R. ve Kantor, I. J., 2001, The Low-Latitude Ionosphere: Monitoring Its Behavior With GPS, *Proceedings of ION GPS*, Salt Lake City, Utah, USA.

Gao, Y. ve Liu, Z. Z., 2002, Precise ionosphere modelling using regional GPS network data, *Journal of Global Positioning Systems*, 1**, 1**, 18-24.

Gizawy, M. L., 2003, Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users, Ph.D. Thesis, University of Calgary, Italy,173.

Gümrükcü, O., 2009, GPS Sinyalleri İle Konum Belirlemede İyonosferik Etkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,74.

Hawarey, M. ve Ayan, T., 2004, Uzay mekiği tırmanışı, deprem, ve füze fırlatılışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, 3**, 2-3-4-5**, 45-66**.**

Hernández-Pajares, M., Juan, J. M., Sanz, J., Orus, R.,Garcia-Rigo, A., Feltens, J., ... & Krankowski, A., 2009. The IGS VTECmaps: a reliable source of ionospheric information since 1998. *Journalof Geodesy*, *83***, 3**, 263-275.

Hugentobler, U., Schaer, S., Pridez, F., Beutler, G., Bock, H., 2001. Bernese GPS Software Version 4.2. Astronomical Institute University of Bern, Switzerland.

Hunsucker, R.D., Hargreaves, J.K., 2003, The High-Latitude Ionosphere and its Effects on the Radio Propogation, Cambridge University Press 2003

İnyurt, S., 2015, İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarı (TEC) Ve Kod Yanlılık Değerlerinin (DCB) GNSS Ölçümleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak,84.

Komjathy, A. ve Langley, R., 1996, An assessment of predicted and measured ionospheric total electron content using a regional GPS network, *Proceedings of the national technical meeting of the Institute of Navigation*, 615-624.

Komjathy, A., 1997, Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, Ph. D. Thesis, University of New Brunswick Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Canada, 248.

Langley, R. B., 2002, Monitoring the Ionosphere and Neutral Atmosphere with GPS, *Viewgraphs of invited presentation to the Canadian Association of Physicists Division of Atmospheric and Space Physics Workshop*, Fredericton, N.B.

Leong, S. K., Musa, T. A., Omar, K., Subari, M. D., Pathy, N. B., Asillam, M. F., 2015. Assessment of ionosphere models at Banting: Performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 models during the ascending phase of Solar Cycle 24. *Advances in Space Research*, 55**, 8**, 1928–1940.

Liu, Z., Skone, S., Gao, Y. ve Komjathy, A., 2005, Ionospheric modeling using GPS data, *Gps Solutions*, 9, **1**, 63-66.

Liu, J.-Y., Chen, Y., Chen, C.-H., Liu, C., Chen, C., Nishihashi, M., Li, J., Xia, Y., Oyama, K. ve Hattori, K., 2009, Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7. 9 Wenchuan earthquake, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114**, A4**.

Liu, M., Luo, G. ve Wang, H., 2014, The 2013 Lushan earthquake in China tests hazard assessments, *Seismological Research Letters*, 85, **1**, 40-43.

Mao, T., Wan, W., Yue, X., Sun, L., Zhao, B., & Guo, J., 2008. An empirical orthogonal function model of total electron content overChina. *Radio Science*, *43***, 2.**

Memarzadeh, Y., 2009, Ionospheric modeling for precise GNSS applications, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.

Namgaladze, A. A., Zolotov, O. V., Karpov, M. I. ve Romanovskaya, Y. V., 2012, Manifestations of the earthquake preparations in the ionosphere total electron content variations, *Natural Science*, 4, **11**, 848-855.

Odijk, D., 2002, Fast precise GPS positioning in the presence of ionospheric delays, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands,264.

Orús Pérez, R., 2005, Contributions on the improvement, assessment and application of the Global Ionospheric VTEC Maps computed with GPS data, Ph. D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain,125.

Orus, R., Hernández-Pajares, M., Juan, J. ve Sanz, J., 2005, Improvement of global ionospheric VTEC maps by using kriging interpolation technique, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67**, 16**, 1598-1609.

Parkinson, B. W. ve Spilker, J. J., 1996, Global Positioning System: Theory and Applications, 163, Paul Zarchan, . American Institute of Aeronautics and Astronautics, SW, Washington, DC, 57-175.

Petrie, E. J., Hernández-Pajares, M., Spalla, P., Moore, P. ve King, M. A., 2011, A Review of Higher Order Ionospheric Refraction Effects on Dual Frequency GPS, *Surveys in geophysics*, 32**, 3**, 197-253.

Schaer, S., Beutler, G., Mervart, L., Rothacher, M. ve Wild, U., 1995, Global and regional ionosphere models using the GPS double difference phase observable, IGS Workshop on Special Topics and New Directions, Germany.

Schaer, S., Gurtner, W. ve Feltens, J., 1998, IONEX: The ionosphere map exchange format version 1, *Proceedings of the IGS ESA/ESOC workshop* Darmstadt, Germany.

Schaer, S., 1999, Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Ph.D Thesis, Universitat Bern, Switzerland, 228.

Scharroo, R.,and Smith, W. H. F.,(2010). A global positioning system–based climatology for the total electroncontent in the ionosphere. *Journal of Geophysical Research: SpacePhysics*, **115, A10318**,16.

Seeber, G., 2003, Satellite geodesy: foundations, methods, and applications, Walter de Gruyter.

Skone, S. ve Cannon, M., 1999, Ionospheric effects on differential GPS applications during auroral substorm activity, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 54**, 4**, 279-288.

Skone, S. ve Jong, M. D., 2000, The Impact of Geomagnetic Substorms on GPS Receiver Performance, *Earth Planets and Space*, **52**, 1067-1071.

Todorova, S., Hobiger, T., Weber, R., Schuh, H., 2003, Regıonal Ionosphere Modellıng With GPS And Comparison With Other Techniques, Proceedings of the Symposium Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World", November 06-07, Sofia.

Turel, N., Aktas, E. ve Arikan, F., 2007, TEC Statistics and Correlogram Applications, *Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. IEEE 15th*, 1-4.

Ulukavak, M. ve Yalçınkaya, M., 2014, Deprem Kaynaklı Toplam Elektron İçeriği Değişimlerinin Araştırılması: Ege Denizi Depremi (24.05. 2014 Mw: 6.5), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6**, 3**, 10-21.

Wan,W., Ding, F., Ren, Z., Zhang, M., Liu, L., & Ning, B. 2012. Modeling theglobal ionospheric total electron content with empirical orthogonal functionanalysis. *Science China Technological Sciences*, *55***, 5**,1161-1168.

Wild, U., 1994, Ionosphere and geodetic satellite systems: permanent GPS tracking data for modelling and monitoring, *Geod.-Geophys. Arb. Schweiz, **48*, **48**.

Ya'acob, N., Ismail, M. ve Abdullah, M., 2010, GPS total electron content (TEC) prediction at ionosphere layer over the Equatorial region, INTECH Open Access Publisher.

Zou, Y., 2010, Ionospheric Anomalies Detected By GPS TEC Measurements During Two Strong Earthquakes In Indonesia, *Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference on*, Guilin University of Electronic Technology, China, 199-202.

İnternet Kaynakları

URL1, http://www.ionolab.org/index.php?page=ionosphere&language=tr, (13.03.2016)

URL2, ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex, (04.01.2016)

URL3,https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php, (10.12.2015)