

**Makale
(Article)**

Manyetik Fırtınalı ve Fırtınasız Günlerde IRI-PLAS ve IRI-2012 Modellerinin TEC Kestirim Performanslarının İncelenmesi

Salih ALÇAY¹, Gürkan ÖZTAN¹

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Köyceğiz Yerleşkesi, 42090, Meram, Konya.
salcay@konya.edu.tr

Öz

International Reference Ionosphere (IRI) ampirik bir model olup, girilen konum, tarih ve saat için elektron yoğunluğu, iyon bileşimi, iyon ve elektron sıcaklığı, Toplam Elektron İçeriği (TEC) vb, değerleri veren uluslararası standartlarda bir modeldir. IRI modeli iyonosfere ilişkin verileri üretirken, maksimum 2000 km ye kadar olan kesimi göz önüne alır. Bu nedenle IRI modelini plasmasferi içerecek şekilde genişletmek için IRI-PLAS modeli geliştirilmiştir. Bu sayede üst sınır 20200 km ye çıkarılabilmektedir. Ampirik modellerin yanı sıra, TEC değerleri GPS gözlemlerinden veya GPS tabanlı Global İyonosfer Haritalarından da (GIM) elde edilebilmektedir. Bu çalışmada IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinin manyetik fırtınalı (20.12.2015) ve fırtınasız (02.06.2015) günlere ilişkin TEC kestirim performansları incelenmiştir. Bu amaçla farklı bölgelerden seçilen 4 IGS istasyonunun bulunduğu konumlara ilişkin elde edilen IRI-2012 TEC ve IRI-PLAS TEC değerleri, bu istasyonlara ilişkin gözlem verilerinden üretilen GPS-TEC değerleriyle ve ayrıca GIM den elde edilen TEC verileriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinden üretilen TEC değerlerinin fırtınasız günde GPS-TEC ve GIM sonuçlarıyla genelde tutarlı olduğu, ancak fırtınalı günün belirli saatlerinde farkların önemli seviyeye ulaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ampirik, GIM, GPS, IGS, IRI, IRI-PLAS, TEC

Investigation of TEC Prediction Performances of the IRI-PLAS and IRI-2012 Models In Magnetically Active and Quiet Days

Abstract

International Reference Ionosphere (IRI) is an empirical model of international standards which describes ion composition, ion and electron temperature, Total Electron Content (TEC) etc. for a given location date and time. IRI model specifies the ionosphere up to 2000 km while producing information for the ionosphere. Therefore IRI-PLAS model was developed in order to extend the IRI model to include the plasmasphere. In this way, top side was extended to 20200 km. Besides the empirical models, TEC values can be estimated from the GPS observations or GPS based Global Ionospheric Maps (GIM). In this study, TEC estimation performances of the IRI-2012 and IRI-PLAS models were investigated for the magnetically active (20.12.2015) and the quiet day (02.06.2015). For this purpose, performance of the IRI-PLAS TEC and IRI-2012 TEC values, estimated from the different regional location of 4 IGS sites, were compared with the GPS-TEC, obtained from the observations of 4 IGS sites, and TEC values extracted from the GIM. Results illustrated that TEC values estimated from the IRI-2012 and IRI-PLAS models were consistent with the GPS-TEC and GIM values for the quiet day. However differences reached significant levels at certain times of the active day.

Key Words: Empirical, GIM, GPS, IGS, IRI, IRI-PLAS, TEC

1. GİRİŞ

İyonosferin gözlenmesi başta Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) olmak üzere, haberleşme, güvenlik, navigasyon gibi çalışma alanları için de önem arz etmektedir. İyonosferdeki değişim uydu bazlı çalışmaları doğrudan etkilemektedir. İyonosfer hakkında bilgi sahibi olmak için farklı yöntemlerin yanı sıra ampirik modeller ve GPS de kullanılmaktadır. Son zamanlarda GPS, alıcılarının dünyanın büyük bir bölümüne yayılmış olması ve bu alıcılar sayesinde izlenen uydulardan iyonosfere ilişkin bilginin (Toplam Elektron İçeriği, TEC) elde edilebilir olması sebebiyle, iyonosfere ilişkin çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. GPS-TEC değerleri doğrudan istasyona ilişkin verilerden elde edilebildiği gibi oluşturulan GPS 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. Rathore ve diğerleri [2], IRI-2012 modelinden elde edilen TEC değerleriyle GPS ölçümlerinden elde edilen TEC değerlerini karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, belirtilen TEC değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğunu (%90 korelasyonlu) göstermiştir. Arunpold ve diğerleri [3] ise GPS-TEC ölçümlerini IRI-2007 ve IRI-2012 modellerinden üretilen TEC değerleriyle karşılaştırmış ve GPS'ten üretilen TEC değerleriyle IRI-2012 modelinin daha uyumlu olduğunu göstermiştir. TEC değerlerindeki günlük, aylık ve mevsimsel değişime ilişkin bir çalışma Chakraborty ve diğerleri [4] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada GPS ve IRI-2012 modelinden üretilen TEC değerleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, düşük enlem bölgelerinden elde edilen sonuçlara ilişkin farkların yüksek olduğunu göstermiştir.

IRI modeli 2000 km ye kadar olan iyonosfere ilişkin parametreleri verebilmektedir. Bu nedenle ISO (International Standardization Organization) IRI modelini plasmasferi de içerecek şekilde genişletmek için birtakım plasmasfer modeli önermiştir [5]. IRI-PLAS modeli bu amaçla geliştirilmiş bir modeldir [6], [7]. Zakharenkova ve diğerleri [5] IRI-PLAS ve IRI-2012 modellerinin performanslarını GPS-TEC sonuçlarına dayalı olarak incelemiş ve GPS-TEC ile modellerden üretilen TEC değerleri arasında oluşan farkları ve olası nedenlerini detaylı olarak vermişlerdir. Arıkan ve diğerleri [7] ise IRI-PLAS modeline ilişkin detaylı bilgi vermiş olup, IRI-PLAS modelinden üretilen parametreleri geliştirilen online servis ile kullanıcıya sunabildiklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise, IRI-PLAS ve IRI-2012 modellerinin farklı iyonosferik şartlarda TEC kestirim performansları test edilmiştir. Bu amaçla farklı bölgelerden seçilen 4 GNSS istasyonuna ilişkin GPS-TEC değerleri ile GIM, IRI-PLAS ve IRI-2012 modellerinden üretilen TEC değerleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 IRI-2012

IRI modeli International Union of Radio Science (URSI) ve COmmittee on SPace Research (COSPAR) ortak çalışmasıyla üretilmiş olup, düzenli olarak geliştirilip iyileştirilmektedir. 1968 yılından itibaren modelde çok sayıda iyileştirme gerçekleştirilmiş olup, en son geliştirilen model IRI-2016 dır. Ancak bu modelin kaynak kodları paylaşılsa da [8] henüz web ara yüzünden sonuç almak mümkün değildir. Bu nedenle modelin on-line veri alınan son sürümü ise IRI-2012 modelidir [9]. IRI modelinin elektron yoğunluğu kısmı üzerine çalışmaları URSI gerçekleştirmektedir. IRI, verilen yer, tarih ve saate göre 60-2000 km arasındaki iyonosfer yükseklikleri için TEC değerinin de içinde bulunduğu iyonosfere ilişkin çok sayıda parametre sunabilmektedir. IRI modelinin ana veri kaynakları, iyonosonda, radar, iyonosfer çalışmaları için uluslararası uydular ve Alouette alıcılarıdır [10]. Bu çalışmada IRI-2012 modelinden TEC değerlerini elde etmek için IRI ana sayfasında bulunan web ara yüzü kullanılmıştır [11].

2.2 IRI-PLAS

IRI modeline ilave olarak iyonosfere ait 2000 km'nin de üzerindeki bilgilerin elde edilmesi için, Global Core Plasma Model (GCPM-2000), Global Plasmasphere Ionosphere Density (GPID), IMAGE/RPI plasmasphere model ve IZMIRAN plasmasphere model gibi birçok model önerilmiştir [12]. IRI-PLAS modelinin üst sınırı GPS uydularının yörünge yüksekliği olan 20200 km'dir [7]. IONOLAB grubu oluşturdukları kullanıcı ara yüzü servise [13] IRI-PLAS modeline ilişkin algoritmayı da eklediğinden, IRI-PLAS tabanlı TEC değerleri rahatlıkla elde edilebilmektedir. Bu servis verilen tarih, zaman ve konum için IZMIRAN plasmasphere modelinden yararlanarak TEC verilerinin de bulunduğu birçok parametreyi sunmaktadır. Bu çalışmada seçilen istasyonların bulunduğu konuma ilişkin IRI-PLAS TEC değerleri bu servis kullanılarak elde edilmiştir.

2.3 GPS-TEC

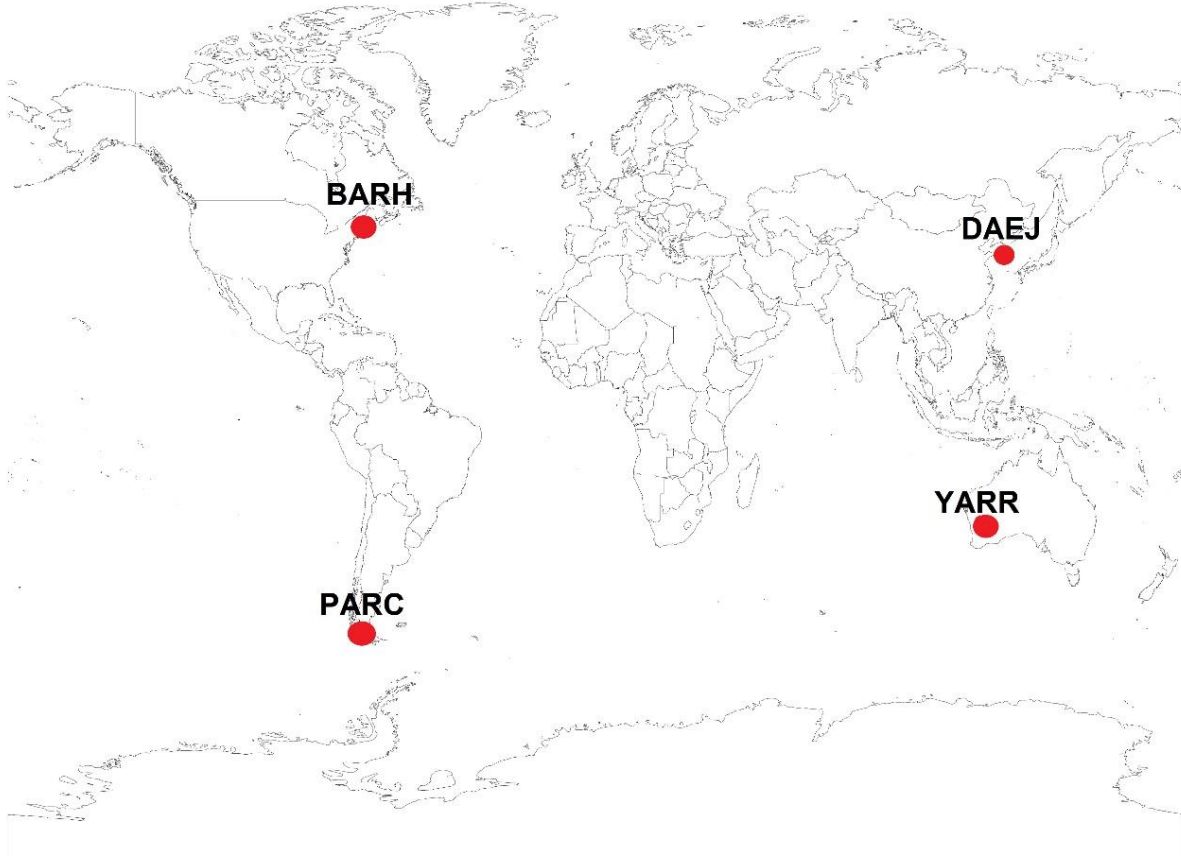
GPS alıcılarının topladığı ölçümler, kod ve faz gözlemlerini içermektedir. İyonosferik gecikme kod ölçüleri için pozitif faz ölçüleri için negatiftir. GPS gözlemlerinden iyonosfere ait bilginin (TEC) çıkarılabilmesi için üç seçenek söz konusudur. Bunlar; 1-sadece kod ölçülerinin kullanılması, 2-sadece taşıyıcı faz ölçülerinin kullanılması, 3-kod ve faz ölçülerinin kombinasyonunun kullanılması şeklindedir [14]. Bu üç yöntemle ait avantaj ve dezavantajlar Arıkan ve diğerlerinde [15] detaylı olarak verilmektedir. IONOLAB grubu, GPS RINEX verilerinden TEC değerini elde edebilmek için ionolabtec v1.0 programını geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise ilgili program web adresinden indirilerek, seçilen 4 IGS istasyonuna ilişkin gözlem verileri bu program kullanılarak değerlendirilmiş ve TEC değerleri üretilmiştir. Program Nayir ve diğerlerinde [16] detaylı olarak verildiği gibi STEC (Slant TEC) değerlerini 30 s lik zaman çözünürlüğünde hesaplamakta, bu amaçla eşzamanlı kod ve faz gözlemlerinden çıkarılan geometriden bağımsız doğrusal ilişkiden yararlanmaktadır. Ardından STEC değerlerinin VTEC değerlerine dönüştürülmesi için haritalama fonksiyonu (mapping function) kullanılmaktadır [15]. Alıcının başucu doğrultusundaki TEC değerini elde etmek için ise Reg-Est (Regularized Estimation of TEC) algoritmasından yararlanılmaktadır. Bu amaçla, her bir uydu için elde edilen VTEC değerlerinden yararlanılmaktadır. GPS tabanlı TEC değeri üretimine ve Reg-Est algoritmasına ilişkin detaylar Arıkan ve diğerleri [15] ile Nayir ve diğerlerinde [16] detaylı olarak verilmektedir.

2.4 GIM

GNSS istasyonlarından elde edilen gözlem verilerinden üretilen TEC değerleri çeşitli lokal, bölgesel ve küresel iyonosfer haritalarının üretiminde kullanılmaktadır. Seçilen bir bölgeye ilişkin TEC değerleri ise üretilen bu haritalardan çıkarılabilmektedir. Günümüzde küresel iyonosfer TEC haritası üreten pek çok kurum bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, CODE (Yörünge Belirleme Merkezi, İsviçre), ESOC (Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Almanya), JPL (Jet Propulsion Laboratuvarı, Kaliforniya), NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Amerika) NRCan (Doğal Kaynaklar, Kanada), UNB (New Brunswick Üniversitesi, Kanada) verilebilir. Bu çalışmada ise CODE veri merkezine ait IONEX formatında üretilen haritalar kullanılmıştır [17]. Küresel iyonosfer haritalarının konum çözünürlüğü enlem ve boylamda sırasıyla 2.5° ve 5°'dir. Ekim 2014'e kadar 2 saatlik zaman aralıklarında TEC değeri üretilirken, bu tarihten itibaren TEC değerleri 1 saatlik aralıklarla üretilmektedir. Seçilen 4 IGS istasyonunun konumuna ait TEC değerleri bu haritalardan elde edilmiştir.

3. UYGULAMA

Bu çalışmada ampirik modellerden IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinin manyetik fırtınalı ve fırtınasız günlere ilişkin TEC üretim performanslarını test etmek ve sonuçların GPS tabanlı Global model (GIM) ve GPS-TEC değerleriyle tutarlılığını incelemek amacıyla Şekil 1' de görüldüğü gibi farklı bölgelerdeki 4 IGS istasyonunun konumundan ve gözlem verilerinden yararlanılmıştır.



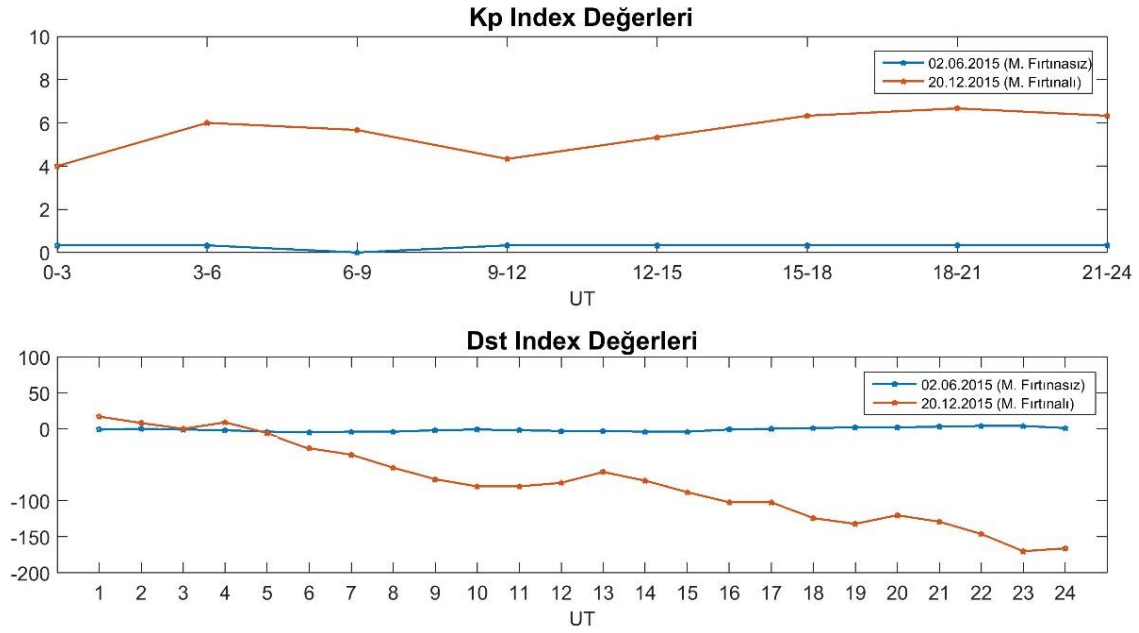
Şekil 1. Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları

Bu istasyonlara ilişkin detaylar Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Uygulamada kullanılan IGS istasyonları ve detayları

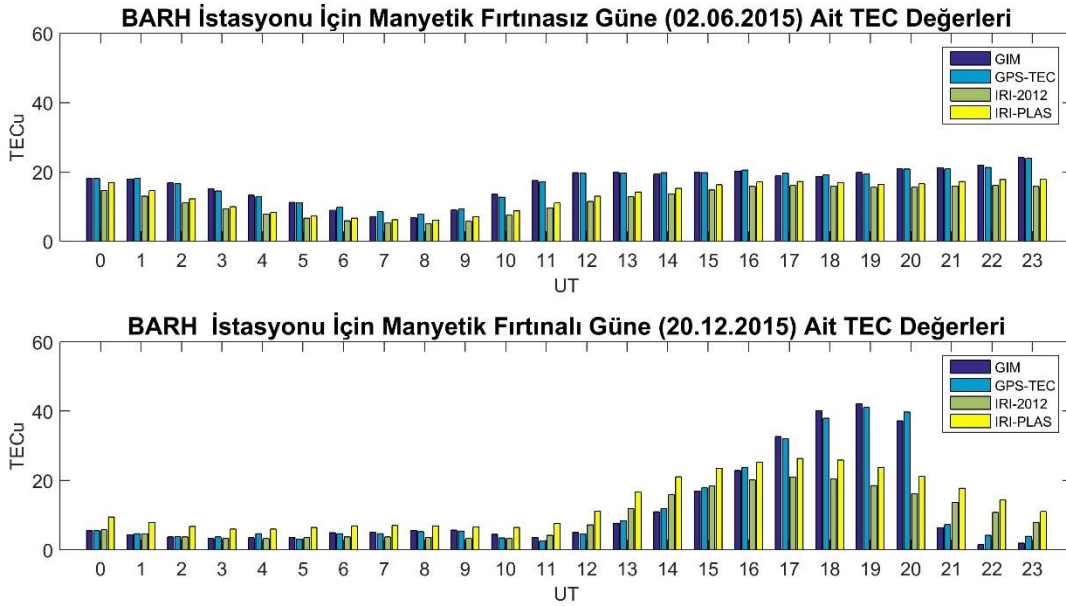
İstasyon	AĞ	Ülke	Enlem	Boylam	Yük.(m)	Alıcı	Anten	Radom
BARH	IGS	ABD	44.3950000	-68.2216667	6.800	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAX1202GG	NONE
DAEJ	IGS	Güney Kore	36.3991667	127.3744444	117.037	TRIMBLE NETR9	TRM59800.00	SCIS
PARC	IGS	Şili	-53.1369444	-70.8797222	22.300	TRIMBLE NETR8	TRM57971.00	NONE
YARR	IGS	Avustralya	-29.0463889	115.3469444	241.382	LEICA GRX1200+GNSS	LEIAT504	NONE

Manyetik fırtınanın seviyesini görebilmek için, çalışmada kullanılan fırtınalı (20.12.2015) ve fırtınasız (02.06.2015) günlere ilişkin kp [18] ve Dst [19] indis değerleri Şekil 2’de verilmektedir. Fırtınasız gün için iki indise ait değerler de oldukça küçük seviyede iken fırtınalı günde kp değeri gün içerisinde 6’ nın üzerine çıkmakta, Dst değeri ise özellikle günün son saatlerinde -150’nin altına inmektedir. Bu durum kuvvetli fırtınanın olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 2. Manyetik fırtınalı ve fırtınasız günlere ilişkin Kp ve Dst indis değerleri

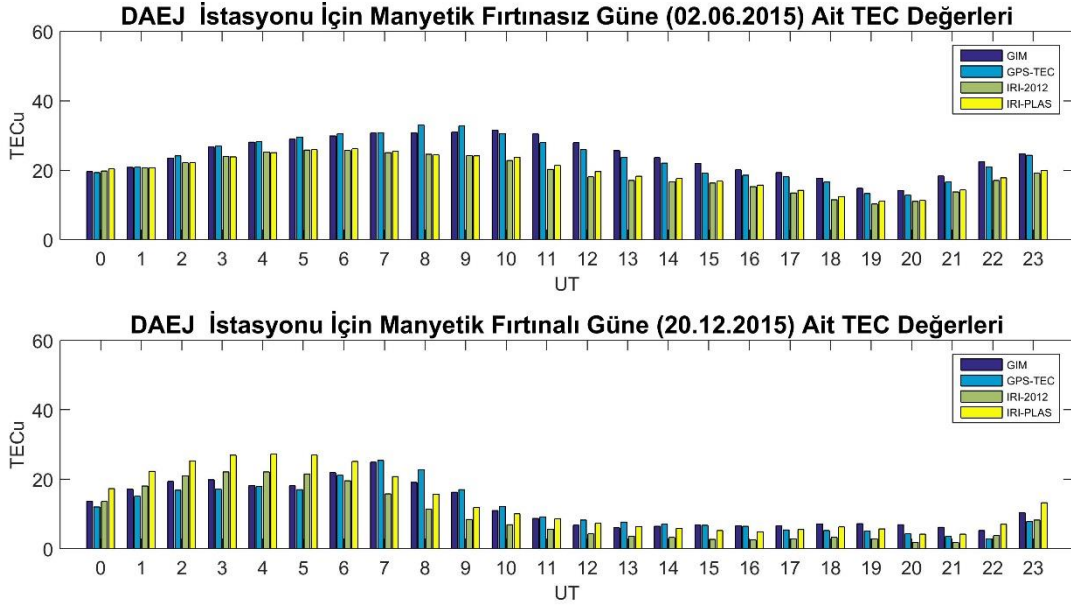
Şekil 3, 4, 5 ve 6’da farklı bölgelerden seçilen 4 IGS istasyonuna ait GPS, GIM, IRI-2012 ve IRI-PLAS dan elde edilen TEC değerlerine ilişkin grafikler verilmektedir.



Şekil 3. BARH istasyonuna ait ölçü ve modellerden elde edilen TEC değerleri

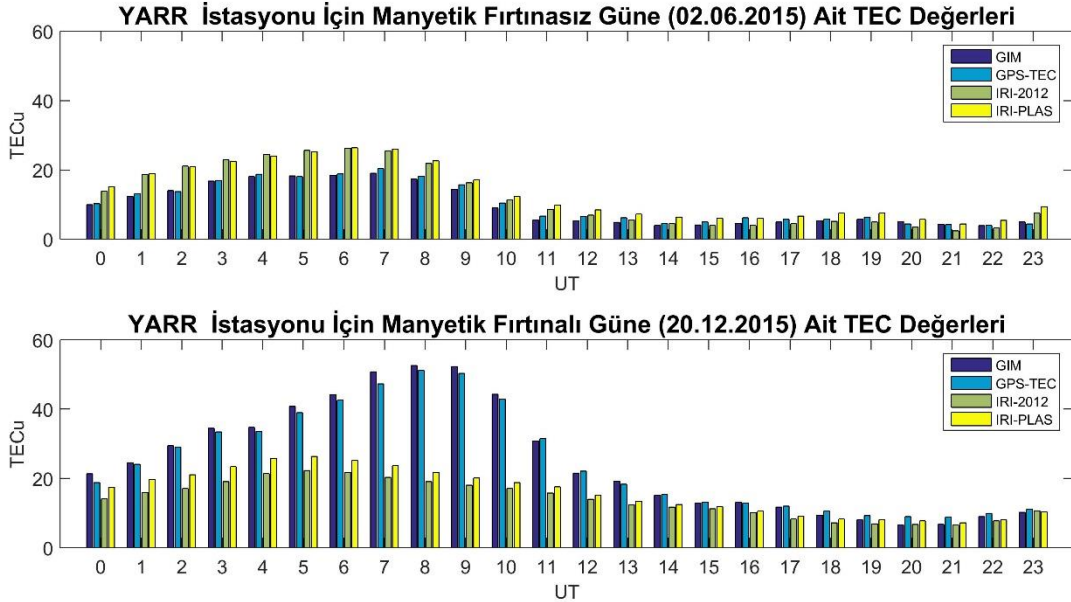
Orta enlem bölgesi istasyonlarından BARH noktasında fırtınasız gün (02.06.2015) için elde edilen TEC değerleri incelendiğinde (Şekil 3), GPS-TEC ve GIM-TEC değerlerinin beklenildiği gibi oldukça uyumlu olduğu, aralarındaki farkların ise genelde 1 TECu (TEC unit, 10^{16} elektron/m²) seviyesinde olup maksimum ise 2.6 TECu seviyesi ulaştığı görülmüştür. IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinden elde edilen TEC değerleri GPS tabanlı TEC değerlerinden genelde düşük seviyede olup GPS-TEC ile IRI-PLAS arasındaki farklar 6.5 TECu seviyesine, GPS-TEC ile IRI-2012 arasında ise 8 TECu seviyesine ulaşmaktadır. Fırtınalı günde (20.12.2015) ise ampirik modeller 16 UT ye kadar TEC’deki değişimi yansıtabilmiş olsalar da, 17 UT’den itibaren TEC’deki yükseliş ve düşüşü tam anlamıyla yansıtamamışlardır. GPS-TEC ile IRI-2012 ve IRI-PLAS arasındaki maksimum farklar sırasıyla 23.5 ve 18.5 TECu seviyesine ulaşmaktadır. Fırtınasız

günde olduğu gibi bu günde de GPS-TEC ve GIM değerleri oldukça tutarlı olup arasındaki fark maksimum 2.6 TECu seviyesindedir.



Şekil 4. DAEJ istasyonuna ait ölçü ve modellerden elde edilen TEC değerleri

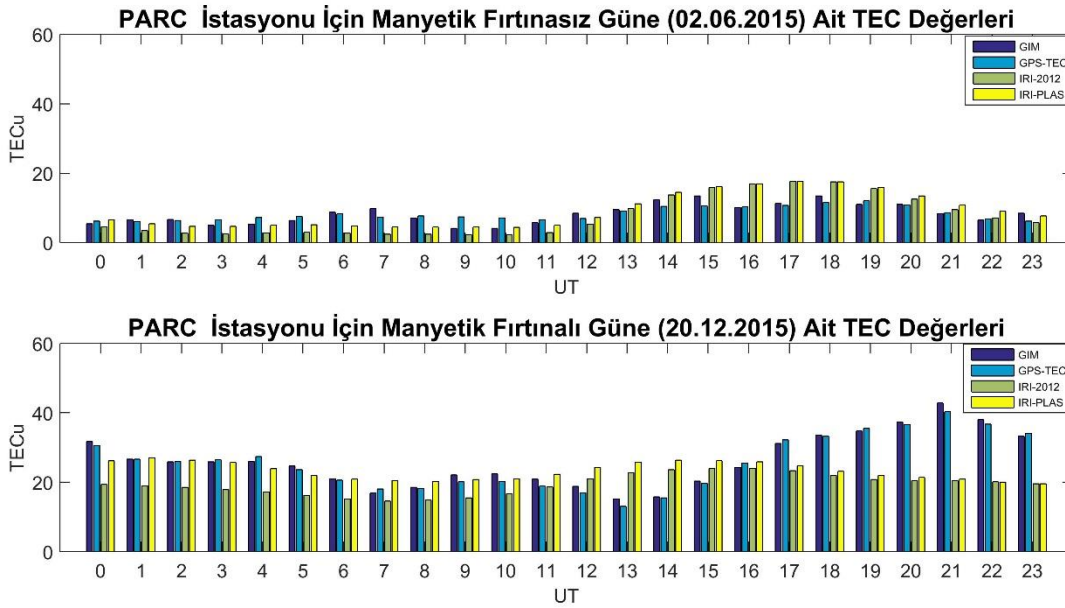
Şekil 4'te ise diğer bir orta enlem istasyonuna (DAEJ) ait TEC değerleri verilmektedir. Fırtınasız güne ait değerlere bakıldığında GPS ve GIM'den elde edilen TEC değerlerinin ampirik modellerden üretilenlere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. GPS-TEC ile IRI-PLAS ve IRI-TEC arasındaki farklar yaklaşık 8 TECu seviyesine kadar ulaşmaktadır. Fırtınalı günde ise ilk saatlerde (0 UT - 6 UT) IRI-2012 ve IRI-PLAS'dan elde edilen TEC değerleri GPS tabanlı TEC değerlerinden daha yüksek olup, TEC değerlerinde 10 UT'den itibaren ciddi bir düşüş görülmüştür. GPS-TEC ile IRI-PLAS ve IRI-2012 arasındaki farklar sırasıyla maksimum 10 TECu ve 11 TECu seviyesine ulaşmaktadır.



Şekil 5. YARR istasyonuna ait ölçü ve modellerden elde edilen TEC değerleri

Güney yarım küre orta enlem bölgesinden seçilen YARR istasyonuna ait TEC değerleri incelendiğinde (Şekil 5), fırtınasız günde 0 UT-10 UT arasında IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinden üretilen TEC değerleri GIM ve GPS-TEC den üretilen TEC değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu zaman diliminde GPS-TEC ile IRI-2012 ve IRI-PLAS arasındaki farklar yaklaşık 7 TECu seviyesine ulaşmaktadır.

10 UT den sonra ise farklar oldukça küçük seviyeye inmiştir. Fırtınalı günde ise bu istasyondaki değişim büyük seviyede olduğundan TEC değerlerindeki ciddi artış GPS-TEC ve GIM sonuçlarında görüldüğü gibi IRI-PLAS ve IRI-2012 modelleri bu artışı tam anlamıyla yansıtamamıştır. GPS-TEC ve GIM sonuçları kendi arasında, IRI-PLAS ve IRI-2012 modelleri de kendi aralarında uyumlu olsa da, GPS-TEC ile IRI-2012 ve IRI-PLAS arasındaki farklar sırasıyla 32 TECu ve 30 TECu seviyelerine ulaşmaktadır.



Şekil 6. PARC istasyonuna ait ölçü ve modellerden elde edilen TEC değerleri

Güney yarım küre kutup bölgesindeki istasyona (PARC) ilişkin sonuçlar incelendiğinde ise diğer istasyonlarda olduğu gibi fırtınasız güne ait sonuçlar birbirlerine yakın olup, fırtınalı günde ise 17 UT den sonra GPS tabanlı sonuçlar ile ampirik modellerden üretilen sonuçlar arasındaki farkların açıldığı ve 20 TECu seviyelerine kadar ulaştığı söylenebilir (Şekil 6).

Kuzey ve güney yarım kürede benzer boylamlarda bulunan BARH-PARC ve DAEJ-YARR istasyonlarına ilişkin fırtınalı güne ait GPS-TEC ve GIM değerleri incelendiğinde, BARH ve PARC istasyonlarında benzer olarak 17 UT'den sonra artış görülmekte olup, 40 TECu seviyelerine ulaşmaktadır. DAEJ ve YARR istasyonlarında ise günün ilk saatlerinde görülen artış durumu öğlen saatlerinden itibaren yerini azalan bir eğilime bırakmıştır. Ayrıca fırtınalı günde TEC değerlerindeki en büyük artış YARR istasyonunda gözlenmiştir (55 TECu). Fırtınalı güne ilişkin kp indis değeri 3-9 UT ve 15-21 UT zaman dilimlerinde fırtınanın yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Bu etkinin 3-9 UT arasında DAEJ ve YARR istasyonlarına ait GPS-TEC değerleriyle, 15-21 UT arasında ise BARH ve PARC istasyonlarına ait GPS-TEC değerlerindeki artış ile ilişkili olduğu söylenebilir. Fırtınasız güne ait TEC seviyelerine bakıldığında, kuzey yarım kürede bulunan BARH ve DAEJ istasyonlarında GPS ve GIM'den elde edilen TEC değerlerinin ampirik modellerden elde edilenlere göre daha büyük seviyede olduğu görülmektedir. Güney yarım küre istasyonlarında ise (PARC-YARR) gün içerisinde TEC değerlerinin yüksek seviyede olduğu durumlarda ampirik modellerden elde edilen TEC değerlerinin GPS ve GIM'e ait değerlerden daha yüksek olduğu söylenebilir.

Elde edilen sonuçların daha detaylı analiz edilebilmesi için, GPS-TEC ile GIM, IRI-PLAS ve IRI-2012 arasındaki farklara ilişkin maksimum, minimum, aralık, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2, 3, 4, 5'te verilmektedir. GPS-TEC ve GIM'den elde edilen sonuçların fırtınalı ve fırtınasız günlerde tüm istasyonlarda birbirleriyle tutarlı olduğu söylenebilir. GPS-TEC ve ampirik modeller arasındaki fırtınalı günlere ait farklar, manyetik fırtınanın elektron yoğunluğu üzerindeki etkisinin GPS gözlemleriyle yansıtılması nedeniyle beklenildiği gibi oldukça yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Fırtınasız günde GPS-TEC ile IRI-PLAS ve GPS-TEC ile IRI-2012 arasındaki farklara ilişkin standart sapma değerleri

incelendiğinde, tüm istasyonlarda GPS-TEC-IRI-PLAS sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Aralık değerleri incelendiğinde ise güney yarım küre istasyonlarında (PARC-YARR) IRI-PLAS değerlerinin GPS-TEC değerleriyle daha uyumlu olduğu, kuzey yarım küre istasyonlarında (BARH-DAEJ) ise IRI-2012 değerlerinin GPS-TEC ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca sonuçlar, ampirik modellere ait değerlerin tüm istasyonlarda birbirleriyle genelde tutarlı olduğunu, aralarındaki en yüksek farkın ise PARC istasyonunda olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. BARH istasyonunda veri ve modellerden elde edilen TEC değerlerine ilişkin istatistiki değerler

BARH		İstatistik Değerler (TECu)				
Farklar	Tarih	Maksimum	Minimum	Aralık	Ortalama	Std Sapma
GPS-TEC - GIM	02.06.2015	1.4	-0.9	2.2	0.0	0.6
	20.12.2015	2.6	-2.2	4.8	0.2	1.1
GPS-TEC - IRI-PLAS	02.06.2015	6.6	1.1	5.5	3.7	1.4
	20.12.2015	18.5	-10.5	29.0	-1.6	7.5
GPS-TEC - IRI-2012	02.06.2015	8.1	2.7	5.4	5.0	1.5
	20.12.2015	23.5	-6.7	30.2	2.3	8.0
IRI-PLAS - IRI-2012	02.06.2015	2.3	0.5	1.8	1.3	0.4
	20.12.2015	5.4	2.8	2.6	3.9	0.9

Tablo 3. DAEJ istasyonunda veri ve modellerden elde edilen TEC değerlerine ilişkin istatistiki değerler

DAEJ		İstatistik Değerler (TECu)				
Farklar	Tarih	Maksimum	Minimum	Aralık	Ortalama	Std Sapma
GPS-TEC - GIM	02.06.2015	2.3	-2.8	5.1	-0.7	1.3
	20.12.2015	1.6	-2.7	4.3	-0.9	1.4
GPS-TEC - IRI-PLAS	02.06.2015	8.7	-1.1	9.8	3.9	2.3
	20.12.2015	7.0	-9.9	17.0	-1.6	4.8
GPS-TEC - IRI-2012	02.06.2015	8.6	-0.5	9.1	4.4	2.4
	20.12.2015	11.3	-5.0	16.4	2.0	4.3
IRI-PLAS - IRI-2012	02.06.2015	1.5	-0.3	1.8	0.5	0.5
	20.12.2015	5.6	2.4	3.2	3.6	1.1

Tablo 4. PARC istasyonunda veri ve modellerden elde edilen TEC değerlerine ilişkin istatistiki değerler

PARC		İstatistik Değerler (TECu)				
Farklar	Tarih	Maksimum	Minimum	Aralık	Ortalama	Std Sapma
GPS-TEC - GIM	02.06.2015	3.3	-2.9	6.3	0.0	1.6
	20.12.2015	1.4	-2.5	3.9	-0.5	1.2
GPS-TEC - IRI-PLAS	02.06.2015	3.4	-6.9	10.4	-0.8	3.3
	20.12.2015	19.4	-12.8	32.1	2.5	8.5
GPS-TEC - IRI-2012	02.06.2015	5.6	-7.0	12.5	0.7	4.1
	20.12.2015	19.9	-9.8	29.6	6.3	7.6
IRI-PLAS - IRI-2012	02.06.2015	2.3	0.0	2.3	1.5	0.8
	20.12.2015	8.0	-0.1	8.1	3.8	2.6

Tablo 5. YARR istasyonunda veri ve modellerden elde edilen TEC değerlerine ilişkin istatistiki değerler

YARR		İstatistik Değerler (TECu)				
Farklar	Tarih	Maksimum	Minimum	Aralık	Ortalama	Std Sapma
GPS-TEC - GIM	02.06.2015	1.6	-0.7	2.3	0.6	0.6
	20.12.2015	2.4	-3.5	6.0	-0.3	1.4
GPS-TEC - IRI-PLAS	02.06.2015	0.2	-7.6	7.8	-3.2	2.4
	20.12.2015	30.2	0.8	29.3	8.9	9.2
GPS-TEC - IRI-2012	02.06.2015	2.2	-7.6	9.8	-2.0	3.2
	20.12.2015	32.3	0.5	31.8	10.9	9.9
IRI-PLAS - IRI-2012	02.06.2015	2.5	-0.5	3.0	1.2	1.0
	20.12.2015	4.4	-0.4	4.8	2.0	1.4

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinin TEC kestirim performansı GPS-TEC sonuçlarıyla karşılaştırmalı bir yaklaşımla irdelenmiştir. Bu amaçla orta enlem ve ekvator bölgelerinden fırtınalı ve fırtınasız günler için toplam 4 IGS istasyonuna ait TEC verileri dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, fırtınasız gün için IRI-PLAS sonuçlarının GPS-TEC sonuçlarına bir miktar daha yakın olmasına rağmen, IRI-2012 ve IRI-PLAS ile elde edilen TEC değerlerinin benzer olduğunu göstermiştir. GPS-TEC değerlerinin hem fırtınalı hem de fırtınasız günlerde GIM ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca beklenildiği gibi fırtınalı günde ise ampirik modeller ile GPS' den elde edilen TEC değerleri arasındaki farklar yüksek seviyeye ulaşmıştır. IRI-PLAS modeline ait sonuçların IRI-2012 modelinden daha iyi (GPS-TEC değerlerine çok daha yakın) sonuç vermesi beklenirken, hem fırtınalı hem de fırtınasız günlerde farklı bölgelerdeki tüm istasyonlarda bu durum söz konusu değildir. Bu nedenle IRI-PLAS modelinin TEC kestirim performansının IRI-2012 modeline göre avantajının olup olmadığının daha detaylı analiz edilebilmesi için farklı bölgelerden daha çok sayıda nokta seçilecek test işleminin gerçekleştirilmesi yerinde olacaktır.

5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada kullanılan IRI-2012 verileri için, URSI ve COSPAR'a, IRI-PLAS ve GPS-TEC verileri için IONOLAB gruba, GIM verileri için ise CODE veri merkezine, ayrıca makaleyi değerlendiren hakemlere değerli yorum ve önerileri için teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Alçay S., Yigit C.O., Seemala G., Ceylan A. (2014). GPS-Based Ionosphere Modeling: A Brief Review, Fresenius Environmental Bulletin, 23(3a), 815-824.
2. Rathore, V.S., Kumar, S., Singh, A.K., (2015). A statistical comparison of IRI TEC prediction with GPS TEC measurement over Varanasi, India, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 124, 1-9.
3. Arunpold, S., Tripathi, N.K., Chowdhary, V.R., Raju, D.K. (2014). Comparison of GPS-TEC measurements with IRI-2007 and IRI-2012 modeled TEC at an equatorial latitude station, Bangkok, Thailand, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 117, 88-94.
4. Chakraborty, M., Kumar, S., Kumar De, B., Guha, A. (2014). Latitudinal characteristics of GPS derived ionospheric TEC: a comparative study with IRI 2012 model. Annals of Geophysics, 57, 5, A0539, oct. 2014. ISSN 2037-416X. doi:10.4401/ag-6438.
5. Zakharenkova, I.E., Cherniak, I.V., Krankowski, A., Shagimuratov, I.I., (2015). Vertical TEC representation by IRI 2012 and IRI Plas models for European midlatitudes. Advances in Space Research, 55, 2070-2076.

6. Gulyaeva, T.L., Bilitza, D., 2012. Towards ISO standard earth ionosphere and plasmasphere model. In: New Developments in the Standard Model. NOVA Publishers, <https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=35812>.
7. Arikan, F., Sezen, U., Gulyaeva T.L., Cilibas O. (2015). Online, automatic, ionospheric maps: IRI-PLAS-MAP. *Advances in Space Research*, 55 (8), 2106–2113.
8. International Reference Ionosphere (IRI) internet sitesi. Erişim tarihi 4 Şubat 2016. <http://irimodel.org>
9. 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, doi:10.1051/swsc/2014004.
10. 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.
11. International Reference Ionosphere IRI-2012 internet sitesi. Erişim tarihi 4 Şubat 2016. http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html
12. Gulyaeva, T.L., Bilitza, D. (2012). Towards ISO Standard Earth Ionosphere and Plasmasphere Model. In: “New Developments in the Standard Model”, edited by R.J. Larsen, pp. 1-39, NOVA, Hauppauge, New York.
[https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=35812]
13. IONOLAB iyonosfer araştırma laboratuvarı internet sitesi. Erişim tarihi 10 Şubat 2016. www.ionolab.org.
14. Yildirim, O., Inyurt, S., Mekik, C. (2016). Review of variations in $M_w < 7$ earthquake motions on position and TEC ($M_w = 6.5$ Aegean Sea earthquake sample). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 543-557
15. Arikan, F., Erol, C.B., Arikan, O. (2003), Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *Journal of Geophysical Research*, 108(A12), 1469, doi:10.1029/2002JA009605.
16. Nayir H., Arikan F., Arikan O., Erol C.B. (2007). Total electron content estimation with Reg-Est, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 112(A11), doi: 10.1029/2007JA012459.
17. IONEX verilerinin indirildiği CODE veri merkezine ait internet adresi. Erişim tarihi 5 Şubat 2016. <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/2015>
18. GFZ Almanya araştırma merkezi internet sitesi. Erişim tarihi 5 Şubat 2016. <http://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/>
19. Kyoto Üniversitesi veri araştırma merkezi internet sitesi. Erişim tarihi 5 Şubat 2016. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/index.html>