

HU-EE-IR-07- 001

**IYONOSFER MODELLERİ VE  
INTERNATIONAL  
REFERENCE  
IONOSPHERE  
IRI-2001 KULLANIM KILAVUZU**

20222548-Emre Tileyliođlu

Danışman : Prof.Dr Feza Arıkan

22.01.2007

## **ÖZET**

Bu rapor ELE 401-Mezuniyet Projesi 1 Dersi kapsamında Güz Yarıyıl Ara Raporu olarak hazırlanmıştır. Çalışma International Reference Ionosphere (IRI) paket programının Windows sürümünün kullanımını açıklamaktadır.

IRI paket programı, asıl proje olan “ Elektron Dağılımının GPS Ölçüleriyle Bilgisayarlı Tomografik Görüntülenmesi ” projesinde, Toplam Elektron İçeriği (TEİ) hesaplamalarının karşılaştırılması aşamasında kullanılacaktır. Bu nedenle raporda, programın TEİ ve elektron yoğunluğu hesaplama seçenekleri kullanıldığında verebileceği çıktılar örneklendirilmiştir.

Raporda ayrıca İyonosfer ve Elektron Yoğunluğu Modelleri adları altında iki konu başlığı bulunmaktadır. İyonosfer başlığı altında İyonosfer’ in genel yapısı incelenmiştir. Elektron Yoğunluğu Modelleri başlığı altında da literatürde bulunan diğer modeller hakkında, modellerin yetenekleri üzerine kısa bilgiler verilmiştir.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	2
İÇİNDEKİLER.....	3
ŞEKİLLER.....	4
1 ) GİRİŞ.....	5
2 ) İYONOSFER.....	6
2.1 ) İyonosfer Katmanları.....	6
2.1.1 ) D Katmanı.....	6
2.1.2 ) E Katmanı.....	6
2.1.3 ) F katmanı.....	6
3 ) ELEKTRON YOĞUNLUĞU MODELLERİ.....	7
3.1 ) USU Time-Dependent Model of the Global Ionosphere.....	7
3.2 ) NCAR Thermosphere-Ionosphere Electroynamics General Circulation Model.....	7
3.3 ) Coupled Thermosphere Ionosphere (CTIM) Model.....	7
3.4 ) The Air Force Research Laboratory (AFRL) Global Theoretical Ionospheric Model (GTIM).....	7
3.5 ) Parametrized Ionospheric Model (PIM).....	8
3.6 ) The Sheffield University Plasmasphere-Ionosphere Model (SUPIM).....	8
3.7 ) The Field Line Inter-Hemispheric Plasma Model (FLIP).....	8
4 ) IRI PAKET PROGRAMI.....	10
4.1 ) Program İndirme.....	10
4.2 ) Program Çalıştırma.....	10
4.3 ) Program Özellikleri.....	11
4.3.1 ) Konu Seçimi (Topic Selection).....	12
4.3.2 ) Elektron Yoğunluğu - Katman Modelleri (Electron Density Layer Models).....	16
4.3.3 ) Değişkenlerin Çözünürlükleri.....	16
5 ) SONUÇ.....	17
6 ) KAYNAKLAR.....	18

## **ŞEKİLLER**

Şekil 1 IRI-Pencere 1 .....	11
Şekil 2 IRI - Pencere 2 .....	12
Şekil 3 Tek Bir Yer ve Zaman İçin Elektron Yoğunluğu .....	13
Şekil 4 Tek Bir Yer ve Zaman İçin Toplam Elektron İçeriği.....	13
Şekil 5 Yerel Zamana Göre Elektron Yoğunluğu Değişimi .....	14
Şekil 6 Yerel Zamana Göre Toplam Elektron İçeriği Değişimi.....	14
Şekil 7 Enlem ve Boylama Göre Elektron Yoğunluğu Değişimi.....	15
Şekil 8 Enlem ve Boylama Göre Elektron İçeriği Değişimi .....	15

## 1) GİRİŞ

International Reference Ionosphere (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 COmmittee on SPACe Research (COSPAR) ortak çalışmasıyla geliştirilip iyileştirilmektedir. COSPAR'ın IRI'daki başlıca ilgi alanı İyonosfer'in uzay araçları ve uzaydaki deneyler üzerindeki etkileri konusundaki araştırmalardır. URSI'nin projedeki temel işlevi de radyo dalgaları yayılım araştırmaları ve uygulamaları için, IRI modelinin elektron yoğunluğu kısmını incelemektir [1]. IRI modeli girilen yer, tarih ve saat için elektron yoğunluğu, iyon bileşimi, iyon ve elektron sıcaklığı ve ayrıca toplam serbest elektron miktarını (TEİ) verir. Bu da aylık ortalamalar göz önünde bulundurularak sağlanır. IRI ampirik bir modeldir. Varolan veri kayıtlarına göre düzenlenir ve veri miktarı oranında ifade edilebilir. Kaydedilen verilerin yetersiz olduğu bölgeler için, daha önceki veriler hesaba katılarak tahmini değerler kullanılır. IRI her yıl düzenlenen çalıştaylarda (workshop) güncellenip geliştirilmektedir [2].

İyonosfer, Atmosfer'in Güneş ışınımı sonucu iyonize olmuş, yüksek yoğunlukta serbest elektron içeren, iletken katmanıdır. Yeryüzünden 90-1200 km yükseklikte bulunur. İyonosfer'in elektron yoğunluğundaki değişimlerin, radyo dalgalarının yayılımı, uydu iletişimleri üzerinde önemli etkileri vardır [3,4]. Bu etkileri tanımlarken elimizdeki en önemli değişken Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. Toplam elektron içeriği 1m<sup>2</sup> kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı şeklinde tanımlanır. TECU birimiyle ifade edilir. 1 TECU 10<sup>16</sup> m<sup>2</sup>'dir.

Raporun ikinci kısmında iyonosferin genel yapısı anlatılmış, üçüncü bölümde kullanılan İyonosfer modelleri incelenmiştir. Son olarak da programın kullanımına yönelik bilgiler verilmiş, neler yapabildiği anlatılmış ve birkaç sonuç çıktısı örneklendirilmiştir.

## 2) İYONOSFER

İyonosfer, Atmosfer'in Güneş ışınları tarafından iyonize edilmiş, yüksek elektron yoğunluğunun radyo dalgalarının yayılımını etkilediği üst katmandır. İleri derecede iletken olmasından dolayı atmosferik elektriklenmelerde önemli bir rol oynar.

Teknik olarak, İyonosfer Atmosfer'in ayrı bir katmanı değildir. Üst Atmosfer'in Termosfer katmanı ile aynı bölgeyi paylaşır. Yeryüzünden yaklaşık 80 km yükseklikte başlar ve üst limiti kesin sınırlar olmamak üzere 1200 km dir.

Yoğunluk değişimlerinin radyo dalgaları üzerinde önemli etkileri vardır. Molekül yoğunluğunun yükselmesi, iyonizasyon için daha fazla madde sağlayarak İyonosfer'in yapısını değiştirir. İyonosfer'in üst katmanlarının yoğunluğu yerel zamana, yüksekliğe, enleme ve Güneş aktiviteleri ile jeomanyetik aktivitelere göre değişim gösterir [3,4].

### 2.1) İyonosfer Katmanları

Atmosfer'in her yüksekliğine farklı oranda etki eden Güneş ışınları, İyonosfer katmanlarını oluşturur. Artan Güneş enerjisi, yüksek iyonizasyon değerlerine neden olur. Yüksek iyonizasyon da radyo dalgalarının kırılmasını zorlaştırır ve dolayısıyla radyo iletişimini engeller. İyonosfer'de üç önemli katman vardır : D, E ve F katmanları [3,4].

#### 2.1.1) D Katmanı

D katmanı, Dünya yüzeyinden 75-80 km yükseklikte başlayıp 100 km civarında biten İyonosfer katmanıdır. Serbest elektronların yanında nötral atomlar da içerir. Rekombinasyonun yüksek ve dolayısıyla iyonizasyonun düşük olduğu bu katman, yüksek frekans (HF) dalgalarının yutulmasının asıl sorumlusudur.

Dalga soğurumu gün ışığı esnasında yüksektir. Geceleri ise katman tamamen kaybolur. D katmanı etkilerinin örneklerinden biri olarak AM radyo yayınlarının gündüz zamanı kaybolması gösterilebilir.

#### 2.1.2) E Katmanı

E katmanı, Dünya yüzeyinden 100 ila 120 km yükseklikte bulunan katmandır. İyonosferik rekombinasyon geceleri hızlıdır. Gece ve gündüz varlığını devam ettirir. Düşük frekans-çok yüksek frekans bantları arası iletişime olanak sağlar.

#### 2.1.3) F katmanı

F katmanı 120 km yükseklikte başlar. Gün ışığı zamanı katman, F1 ve F2 olmak üzere iki katmana ayrılır. Radyo dalgalarının yansıtılmasında en önemli katmandır.

F katmanı gece ve gündüz varlığını devam ettirir. Gündüzleri daha güçlüdür. Üç katman arasında serbest elektron yoğunluğu en yüksek olan katmandır. F2 katmanı F1 katmanının üzerinde yer alır. Güneşe daha yakın olmasından dolayı daha fazla morötesi ve X ışınlarına maruz kalır. Bu nedenle de F1 katmanından daha iyonize haldedir. Gece olunca F1 katmanı enerjisini hızlı bir şekilde yitirerek kaybolurken F2 katmanı Güneş yeniden doğuncaya kadar azalan enerjisini muhafaza eder.

F katmanı, yüksek frekans-uzun mesafe iletişimde en önemli etkiye sahip katmandır. Yansıtacağı en yüksek frekans değeri Güneş aktivitelerine bağlıdır.

### **3 ) ELEKTRON YOĞUNLUĞU MODELLERİ**

İyonosfer'in modellenmesi için literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar teorik ve ampirik olarak iki temel grupta toplanabilir. Bilgisayar benzetimleri yardımı ile iyonosfer modellenmesi [5] kaynağında özetlenmiştir. Bu modellerden başlıcaları aşağıda listelenmiştir.

#### **3.1 ) USU Time-Dependent Model of the Global Ionosphere**

İyonosfer'in üç boyutlu zamana bağlı değişimini gösterir. Sayısal özellikte olan bu model elektron ve iyon ( $\text{NO}^+$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{He}^+$ ) yoğunluklarını enlem, boylam ve yüksekliğin fonksiyonu şeklinde ifade eder. USU modeli çıkış olarak global yoğunluk ve sıcaklık dağılımı haritalarını verir.

USU modeli Euler-Lagrange hibrid sayısal sistemine dayanır . Momentum ve enerji denklemleri lineer olmayan, ikinci dereceden, kısmi diferansiyel denklemlerin çözümüne dayanır.

Modelin güvenilirliği, sayısal bir model olduğundan dolayı giriş parametrelerinin doğruluğuna bağlıdır. Simulasyonlar için süperbilgisayar gerekmesi, çok fazla ve ancak diğer modeller kullanılarak elde edilebilecek giriş parametreleri gerektirmesi ve model kaynağının erişilebilir olmaması önemli dezavantajlarındanır.

#### **3.2 ) NCAR Thermosphere-Ionosphere Electrodynamics General Circulation Model**

Termosfer ve İyonosfer'in sayısal modellemesidir. Model global elektron yoğunluğu, elektron ve iyon sıcaklık dağılımlarını sağlar ve ayrıca global elektrik alan ve akım dağılımlarını hesaplar. Çıkış simulasyonu olarak zamana bağlı günlük Termosfer-İyonosfer haritasını verir.

NCAR (TIE-GCM), sadece bu model için özel olarak tasarlanmış bilgisayarlarda çalışmaktadır. Giriş verileri olarak diğer bazı simulasyon sonuçlarını gerektirmesi modelin kullanımının yaygın olmamasını açıklar.

#### **3.3 ) Coupled Thermosphere Ionosphere (CTIM) Model**

CTIM, 100-10000 km yükseklikleri arasında  $\text{H}^+$  ve  $\text{O}^+$  iyonları yoğunluk ve sıcaklık değerlerini hesaplar. 400 km'nin altındaki yükseklik değerleri için ayrıca  $\text{NO}^+$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{N}_2^+$  molekülleri ile  $\text{N}^+$  iyonunun dağılımları da elde edilebilir. Sayısal bir modeldir ve Lagrangian sistemi çerçevesinde çözülür.

Geliştirilmiş sürümü (CTIP), hesaplamalar için Euler sistemini kullanarak modelin iyonosfer bileşenlerini detaylandırmıştır. Ayrıca konum çözünürlüğü de iyileştirilmiştir. Geniş ve karmaşık FORTRAN kodu içeren program sadece süperbilgisayarlarda çalışabilmekte ve güçlü iş istasyonları gerektirmektedir.

#### **3.4 ) The Air Force Research Laboratory (AFRL) Global Theoretical Ionospheric Model (GTIM)**

Model, global iyon yoğunluklarını ( $\text{NO}^+$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$ ) yükseklik, enlem, boylam ve zamana göre hesaplar. Bunu da  $2^\circ$  enlem,  $5^\circ$  boylam ve yarım saat çözünürlüğünde gerçekleştirir.

Model, özgün tekniğiyle hesapladığı diferansiyel denklem çözümlerini kullanarak  $\text{O}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  iyon yoğunluklarını (Crack-Nicholson yöntemi) bulur.  $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{O}_2^+$  yoğunlukları da kimyada geçerli olan eşit enerji kaybı tekniğiyle hesaplanır.

Diğer sayısal modellerde olduğu gibi, giriş parametrelerinin doğruluğu derecesinde güvenilirdir. Modelin asıl kısıtlı olan yönü, nötral atmosfer ile bağdaşık olarak çözümlenmediğinden dolayı, sıcaklıklar ve elektrik alanları tutarlı olarak bulunamamaktadır. Kullanıcının giriş parametrelerine kolaylıkla ulaşamaması ve modelin karışık bir FORTRAN kodlamasıyla yazılmış olması diğer dezavantajlarındanır.

### 3.5 ) Parametrized Ionospheric Model (PIM)

PIM, “ İyonosfer’in Teorik Klimatolojisi” için evrensel modeldir. Yüksek enlemler için USU modeli, orta ve alçak enlemler için de GTIM ve buna benzer diğer modellerin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kullanıcı tarafından seçilebilen çıkış formatı, elektron yoğunluk profiline ve profil parametrelerinin kullanıcının isteğine göre şekillendirilebilmesi, çıkış formatının da yükseklik, enlem, boylam (jeomanyetik, coğrafik) olmak üzere kullanıcı tanımlı olması modeli seçkin ve kullanılır yapmaktadır.

PIM, en önemli sayısal ve teorik İyonosfer modellerinin çıkışlarının parametrize edilmesini baz alır. Elektron yoğunluk profillerinin çıkarılmasında rol alan geniş bir katsayı veritabanına ve bu katsayılardan elektron yoğunluk profillerinin yeniden yapılandırılabilirdiği özgün algoritmalara sahiptir. Fiziksel tabanlı bir model olduğu için, İyonosfer’in fırtına koşulları, gündönümü gibi özel durumlarında doğru sonuçlar vermeyebilir.

Giriş olarak gün ve zaman, koordinatlar (jeomanyetik, coğrafik), çıkış haritalama seçimi (enlem, boylam, yükseklik) ve harita sınırları parametrelerini kabul eder. Modelin kaynak kodu FORTRAN tabanlı olup internet aracılığıyla ulaşılabilir.

### 3.6 ) The Sheffield University Plasmasphere-Ionosphere Model (SUPIM)

SUPIM, dünyanın orta enlem ve ekvatorial bölgelerindeki iyonizasyon dağılımını inceleyen matematiksel bir modeldir. Giriş parametrelerine bağlı olarak İyonosfer’in dönemsel, günlük ve manyetik aktivite değişimlerini ifade eder. Ayrıca yüksekliğe, enleme ve boylama bağlı değişimleri de hesaplar.

Model, bilinen fiziksel ve kimyasal işlemlerin matematiksel formulasyonuna bağlıdır ve lineer olmayan, ikinci derece kısmi diferansiyel denklemlerin çözülmesini esas alır. Diğer teorik modellerde olduğu gibi giriş parametrelerinin doğruluğuyla orantılı olarak gerçek sonuçlar verir. SUPIM kodu FORTRAN tabanlı olup sadece yüksek-performans bilgisayarlarda çalıştırılabilir.

### 3.7 ) The Field Line Inter-Hemispheric Plasma Model (FLIP)

FLIP, İyonosfer’in zamana bağlı fiziksel ve kimyasal modellemesidir. Çıkış olarak iyon yoğunluğu ( $\text{N}^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$ ) ve iyon ve elektron sıcaklığı değerlerini verir. Ayrıca parçacık sıcaklık, fotoelektron ve iyon akısı değerleri de model çıktıları arasındadır.



Yöntem olarak ikinci derece, lineer olmayan, kısmi diferansiyel denklem çözümlerini kullanır. Ekvatorial bölge ve üst enlemler için önemli olan konveksiyonel elektrik alanı yok sayması nedeniyle temel olarak orta enlem modelidir.

Standart FLIP modelinin giriş parametreleri gün ve coğrafik konumdur. Fakat birçok giriş seçeneği bulunmaktadır. Programın kolay bulunabilmesi ve çoğu bilgisayarda çalıştırılabilmesi de programın avantajlarından.

#### **4 ) IRI PAKET PROGRAMI**

International Reference Ionosphere (IRI) programını kullanılır kılan özelliklerin başında programa erişimin kolay olması ve programın kısa sürede öğrenilebilir olması gelir. IRI modeli girilen yer, tarih ve saat için elektron yoğunluğu, iyon bileşimi, iyon ve elektron sıcaklığı ve ayrıca toplam serbest elektron miktarı (TEİ) değerlerini, aylık ortalamaları göz önünde bulundurarak sağlar. Program çıktıları kaydedilebilir ve yazdırılabilir. Raporun bu bölümünde programın nereden indirildiği, nasıl çalıştığı, neler yapabildiği, giriş ve çıkış parametrelerinin neler olduğu ve çıkış dosyalarının hangi formatta verildiği anlatılacaktır.

##### **4.1 ) Program İndirme**

IRI programına internet üzerinden ulaşılabilir. IRI ile ilgili genel bilgiler, The National Aeronautics and Space Administration (NASA) resmi sitesinde, model için hazırlanmış sayfasında yer alır [6].

NASA – IRI → <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/iri.html>

IRI programı, NASA'nın ftp sitesinden veya University of Mass Lowell, Center for Atmospheric Research (UMLCAR) resmi sitesinden indirilebilir.

UMLCAR → <http://umlcar.uml.edu/IRI-2001/>

NASA ftp → <ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/models/>

Ayrıca IRI programının ana indeksi de aşağıdaki adreste yer alır.

NASA Parent Directory → <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/iri/>

Programın indirilmesi için belirtilen adreslerden birine, internet tarayıcınız yardımıyla ulaştığınızda karşınıza “IRI\_2001.ZIP” adında bir link gelir. Bu linke tıkladığınızda karşınıza, indirilecek dosyayı açma veya kaydetme seçenekleri gelir. “Kaydet” sekmesini tıkladığınız zaman dosya, masaüstüne veya belirttiğiniz herhangi bir klasöre kaydedilir.

##### **4.2 ) Program Çalıştırma**

İndirilen dosya yaklaşık 1 MB büyüklüğündedir ve .RAR veya .ZIP uzantılı bir dosyadır. Bu dosyanın içeriğinin, kullanıcı tarafından belirtilen bir klasöre çıkarılması gerekir. Dosyalar belirtilen klasöre çıkarıldıktan sonra, klasör içerisindeki “IRI\_20~1.EXE” isimindeki uygulama dosyası çalıştırılır. IRI programı bu uygulama dosyasının çalıştırılmasıyla başlar. Uygulama dosyasını, masaüstüne veya herhangi bir yere tek başına çıkarmak, programın klasördeki diğer dosyalarla desteklenen çalışma düzenini bozduğu için program çalışmaz. Bu yüzden IRI uygulama dosyası tüm dosyalar aynı klasöre çıkarıldıktan sonra başlatılmalıdır. Daha sonra istenirse masa üstünde kısayol oluşturulabilir.

### 4.3 ) Program Özellikleri

Programın başlamasıyla karşınıza ilk pencere çıkar (Şekil 1). Bu pencere, özellikleri istenilen konu başlıklarının seçildiği (elektron yoğunluğu, TEİ, iyon sıcaklıkları ve bileşimi gibi), grafikleme ve/veya listeleme seçenekleri bulunan ve ayrıca değişken (coğrafik/jeomanyetik enlem, boylam, yerel zaman gibi) seçiminin yapıldığı penceredir. Burada ayrıca güneş lekesi sayısı değerinin kullanıcı tarafından girildiği veya gözlenen/kestirilen değer, program tarafından tanımlandığı bir bölüm vardır. Bu seçimler yapıldıktan sonra pencerenin alt tarafında bulunan "OK" sekmesi tıklanarak bir sonraki seçimlerin yapılacağı ikinci ve son pencereye geçilir.

İkinci pencere (Şekil 2) elektron yoğunluğu, iyon sıcaklığı ve iyon bileşimi seçenekleri için modelleme sayfasıdır. Bu pencerede belirtilen konular için program tarafından modellenen değerler kullanılabilirdiği gibi kullanıcı tanımlı değerler de kullanılabilir. Bu pencerede ayrıca kritik plazma frekansı ile elektron yoğunluğunu birbiriyle ilişkilendiren bir alan da bulunmaktadır. Bu seçimler yapıldıktan sonra alt taraftaki "OK" sekmesi tıklanır ve program istenilen giriş değerleri için çıkış değerlerini hazırlamaya başlar.

Giriş ve çıkış parametreleri raporun devamında anlatılmıştır.

The IRI Model describes monthly averages of electron density, plasma temperatures and ion composition as functions of location (geographic latitude and longitude), time (UT or LT) and solar activity (sunspot number and IG index). This UMLCAR EDITION is a windows program. It can plot them or any associated parameter versus one variable (Profile/ Variation), or two variables (Contour). Graphical figures and data tables can be printed on line and saved.

TOPIC SELECTION

Ne (1/cm<sup>3</sup>) (Electron density)  Plasma Temperature(Tn, Ti)  Ion composition(Percentage of all i

PLOT/TABULATION TYPE

For ONE location and time  Profile/Parameter vs. 1 variable  Contour vs. 2 variables  Plotted  Tabulated

VARIABLE SELECTION

Starting Ending Tabulation Step

Variable 1: Options listed below:

Variable 2: Options listed below:

Geographic Latitude / Longitude

Geo. Latitude (-90 90)	Geo. Longitude (0 360)	Altitude (km)	Time: Year	Month	Day/Mo	Day/Yr	Hour
42.6	288.5	280.0	UT: 1999	10	15	= 288	17.00
			LT: 1999	10	15	= 288	12.23

Solar index

Observed/Predicted

User\_input

SSN <=> IG INDEX

<=>

EXIT OK

Şekil 1 IRI-Pencere 1

TO BE PLOTTED

Ne (1/cm<sup>3</sup>) (Electron density)      VERSUS      LATITUDE (Deg) and LONGITUDE (Deg:0~360)

ELECTRON DENSITY: LAYER MODELS

foF2 (MHz):      foF1 (MHz):      foE (MHz):  
           

hmF2 (km):      C1/D1, Shape Index:      hmE (km):  
           

B0, F2 Thickness (km):      F1 Probabitily Model  
     

B1, F2 Shape Index:      Topside  
     

Storm Model

TEMPERATURE MODELS

INPUT Ne (1/cm<sup>3</sup>)

km       km       km

ION COMPOSITION MODELS

fN-Ne CONVERSION SCALE

fN (MHz)  <=>  Ne(1/cm<sup>3</sup>)

                        MHz

Şekil 2 IRI - Pencere 2

#### 4.3.1 ) Konu Seçimi (Topic Selection)

Bu bölümde üç ana alan bulunur.

İlk alanın alt başlıkları sırasıyla aşağıdaki gibidir. Yıldız ile işaret edilen konular özel ilgi konusudur ve detaylı olarak açıklanmıştır.

- **Ne\* (1/cm<sup>3</sup>) Electron Density**      **(Elektron Yoğunluğu) \***
- fN (MHz) Plasma frequency
- foF2 (MHz) Plasma frequency at F2 peak
- hmF2 (km) F2 Layer peak height
- B0 (km) F2 Layer thickness
- B1 F2 Layer shape index
- foF1 (MHz) Plasma frequency at F1 peak
- hmF1 (km) F1 Layer pek height
- C1/D1 F1 Layer thickness index
- foE (MHz) Plasma frequency at E peak
- hmE (km) E Layer peak height
- Vw (km) E-F valley width
- Vd (km) E-F valley depth
- **TEC\* (TECU) Total Electron Content**      **(Toplam Elektron İçeriği) \***
- TEC (TECU) Bottom side
- TEC (TECU) Topside
- TEC (TECU) 0~h
- TILT\_ZENITH (deg)
- TILT\_AZIMUTH (deg)

İkinci alanın alt başlıkları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

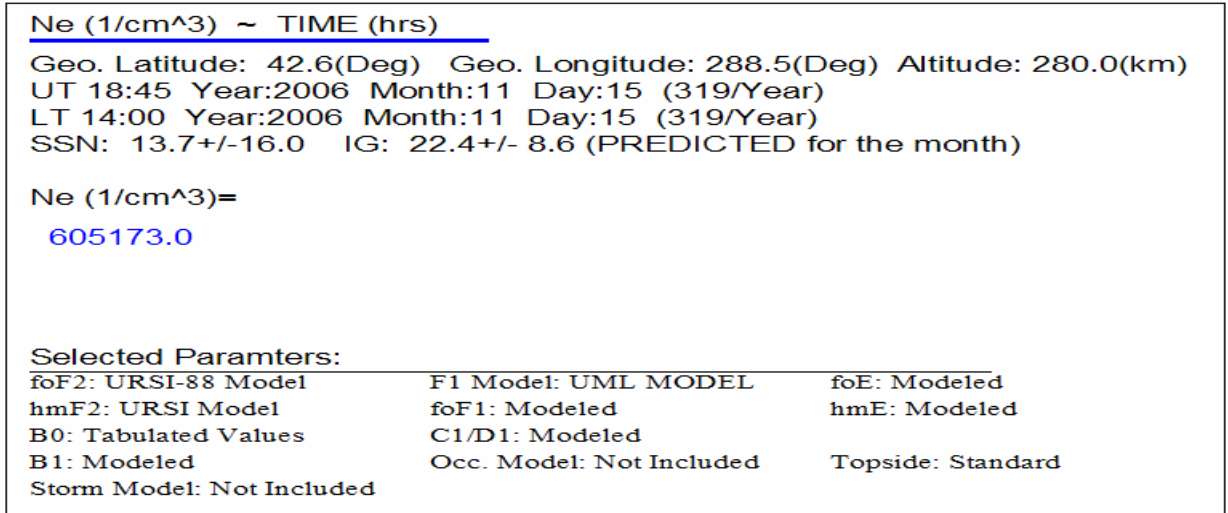
- Plasma Temperature (Tn,Ti,Te)
- Neutral Temperature (Tn)
- Ion Temperature (Ti)
- Electron Temperature (Te)

Üçüncü alanın alt başlıkları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

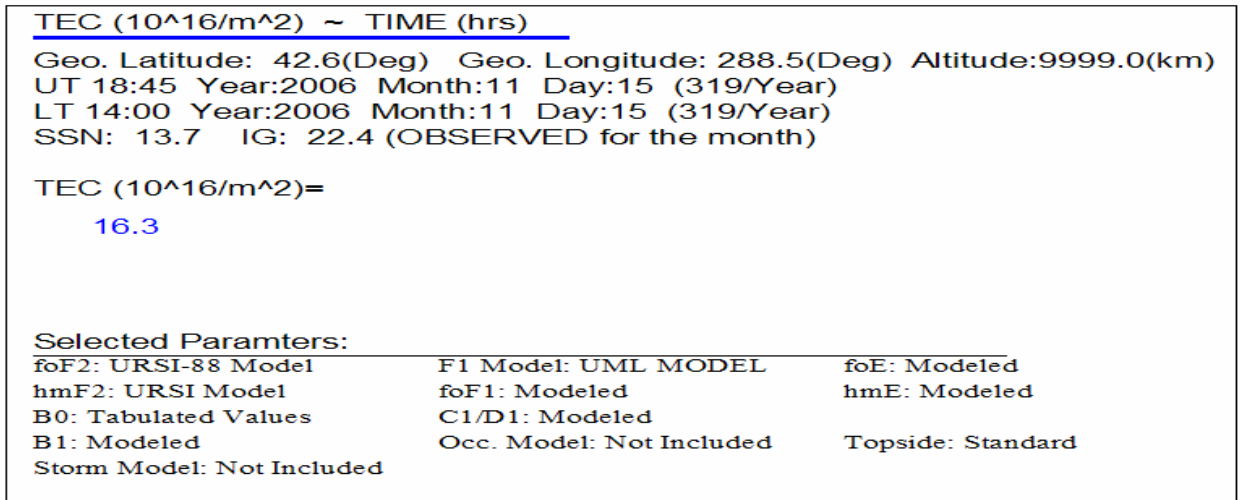
- Percentage of Ion O<sup>+</sup>
- Percentage of Ion H<sup>+</sup>
- Percentage of Ion N<sup>+</sup>
- Percentage of Ion He<sup>+</sup>
- Percentage of Ion NO<sup>+</sup>
- Percentage of Ion O<sub>2</sub><sup>+</sup>

**\* Elektron Yoğunluğu ve Toplam Elektron İçeriği Hesaplama Yöntemi**

a ) Grafikleme/Listeleme Çeşidi (Plot/Tabulation Type), tek bir yer ve zaman (For one location and time) için girildiğinde, tek bir sonuç elde edilecektir. Aşağıda elektron yoğunluğu ve toplam elektron içeriği için IRI çıktı örnekleri görülmektedir.

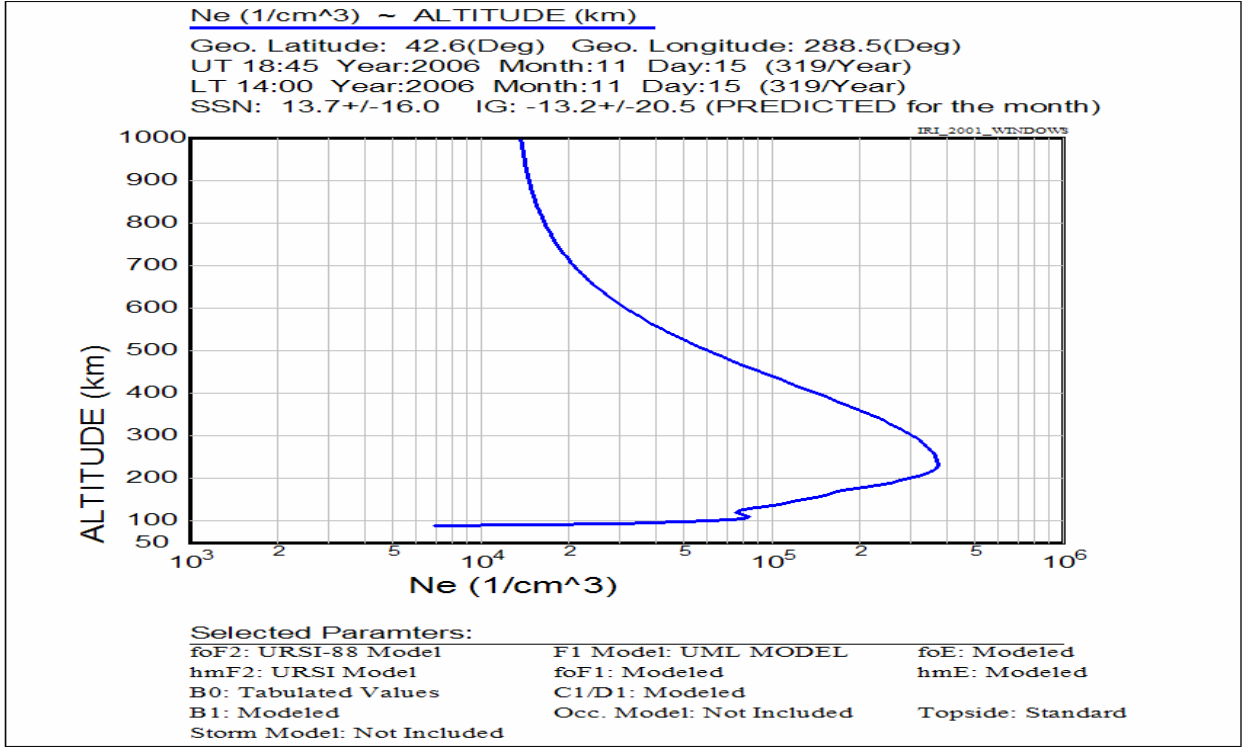


Şekil 3 Tek Bir Yer ve Zaman İçin Elektron Yoğunluğu

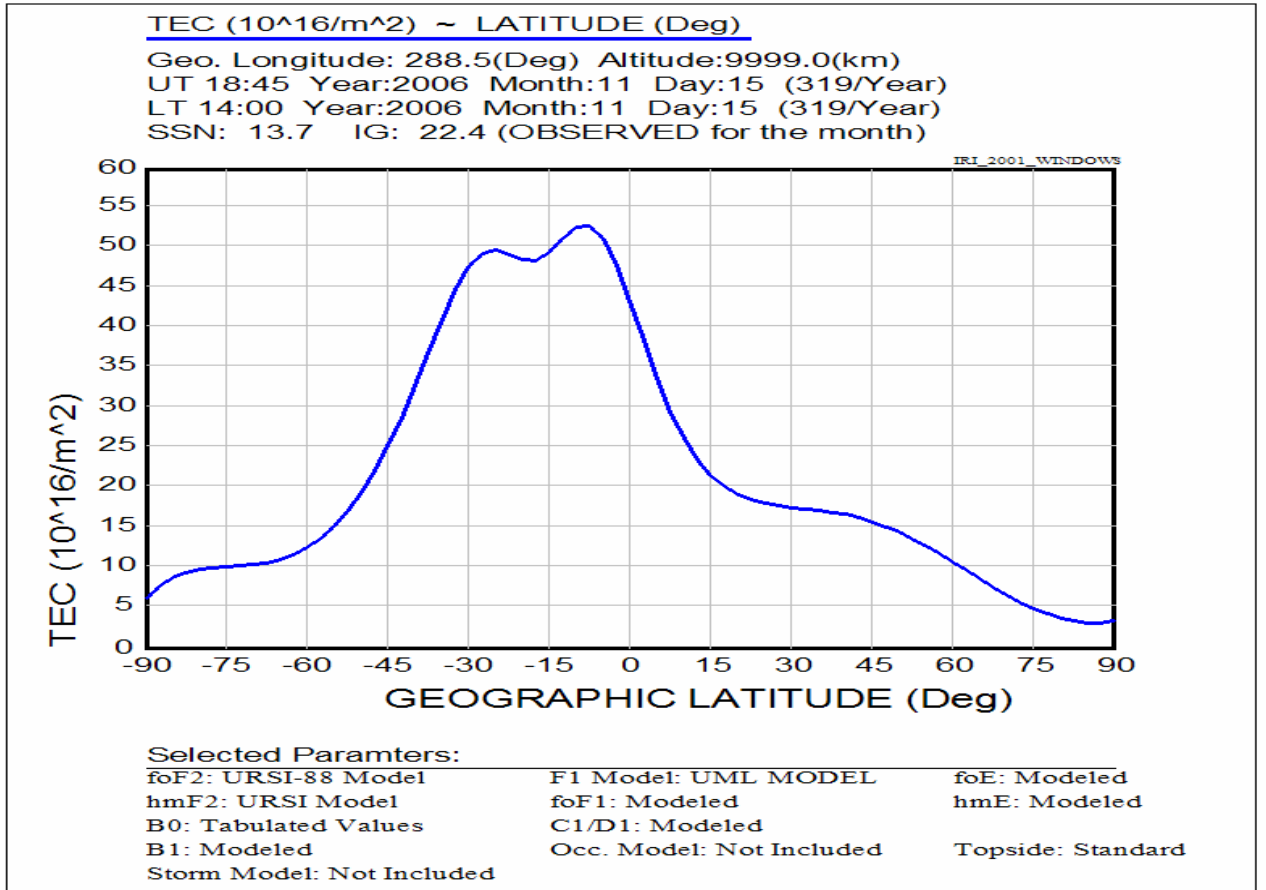


Şekil 4 Tek Bir Yer ve Zaman İçin Toplam Elektron İçeriği

b ) Grafikleme/Listeleme Çeşidi, Parametre - 1.değişken (Profile/parameter vs 1. variable) şeklinde girildiğinde, çıktı olarak Elektron yoğunluğu - değişken grafiği elde edilecektir. Aşağıda elektron yoğunluğu ve toplam elektron içeriği için IRI çıktı örnekleri görülmektedir.

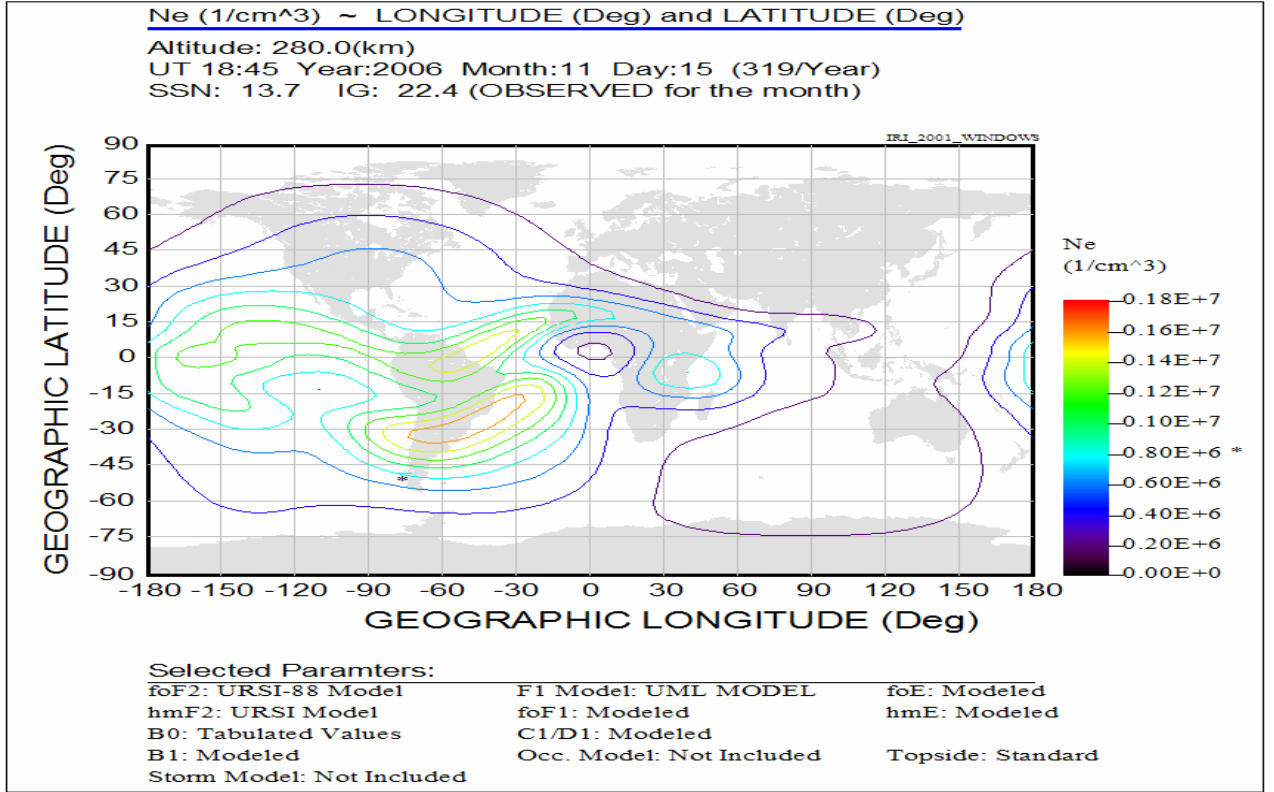


Şekil 5 Yerel Zamana Göre Elektron Yoğunluğu Değişimi

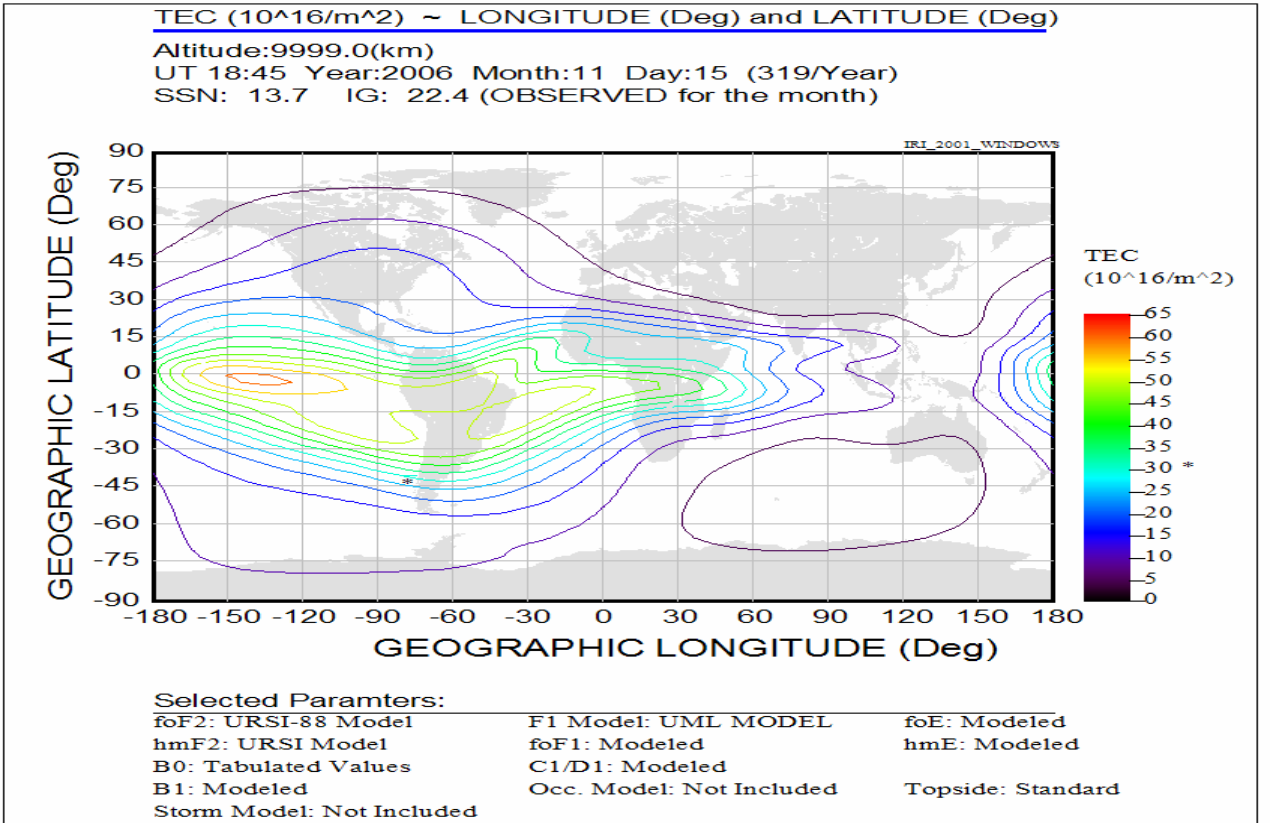


Şekil 6 Yerel Zamana Göre Toplam Elektron İçeriği Değişimi

c ) Grafikleme/Listeleme Çeşidi, Eşnicelik eğrisi – İki değişken (Contour vs. 2 variables ) şeklinde girildiğinde, çıktı olarak Yatay ve Dikey değişken düzleminde elektron yoğunluğu eşyoğunluk eğrileri olarak elde edilecektir. Aşağıda elektron yoğunluğu ve toplam elektron içeriği için IRI çıktı örnekleri görülmektedir.



Şekil 7 Enlem ve Boylama Göre Elektron Yoğunluğu Değişimi



Şekil 8 Enlem ve Boylama Göre Elektron İçeriği Değişimi

#### 4.3.2 ) Elektron Yoğunluğu - Katman Modelleri (Electron Density Layer Models)

Bu bölüm 11 alandan oluşur. Alanların alt başlıkları aşağıda gösterilmiştir.

<u>foF2 (MHz)</u>	<u>foF1 (MHz)</u>	<u>foE (MHz)</u>
<ul style="list-style-type: none"><li>• URSI-88 Model</li><li>• CCIR Model</li><li>• User-input</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modeled</li><li>• User-input</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modeled</li><li>• User-input</li></ul>
<u>hmF2 (km)</u>	<u>C1/D1 Shape index</u>	<u>hmE (km)</u>
<ul style="list-style-type: none"><li>• URSI Model</li><li>• User-input</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modeled</li><li>• User-input</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modeled</li><li>• User-input</li></ul>
<u>B0,F2 Thickness(km)</u>	<u>F1 probability model</u>	<u>Topside</u>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tabulated Values</li><li>• Gulyaeva Formula</li><li>• User-input</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Not included</li><li>• Included</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Standard</li><li>• IRI-79 topside</li><li>• UML-Model</li></ul>
<u>B1,F2 Shape Index</u>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Modeled</li><li>• User-input</li></ul>		
<u>Storm Model</u>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Not included</li><li>• Included</li></ul>		

#### 4.3.3 ) Değişkenlerin Çözünürlükleri

IRI programı değişkenlerinin çözünürlükleri incelenmiştir. Buna göre programın enlem için 1<sup>0</sup>, boylam için 1<sup>0</sup>, yükseklik için 1 km ve zaman için 15 dakika çözünürlüklerine sahip olduğu gözlenmiştir.



## 5) SONUÇ

Bu çalışmada İyonosfer'in genel yapısı, İyonosfer modelleri ve IRI paket programı incelenmiştir. İncelenen elektron modelleri arasından IRI paket programı kolay ulaşılabilir olması, gözleme dayalı olması, kullanımının basit olması ve program çıktılarının kolay yorumlanabilir olması nedeniyle öne çıkmıştır.

Raporda IRI programının nereden indirilebilip nasıl çalıştırılabileceği anlatılmış, program parametreleri ve değişkenleri incelenmiş ve TEİ ve elektron yoğunluğu grafiklerinin nasıl elde edilebileceği açıklanmıştır.

Projenin ilerleyen aşamalarında değişik model seçimli IRI çıktıları, iyonosferin coğrafik bölgelere ve bozulmalı günlere verdiği tepkiler bazında parametrik olarak karşılaştırılacak ve yorumlanacaktır. Ayrıca bölge ve zaman değişkenlerinin seçilimine bağlı olarak en değerli katman modellerinin seçilimi incelenecektir.

## **6) KAYNAKLAR**

- [1] Bilitza D. International Reference Ionosphere 2000, Radio Science, 36(2), pp.261-275
- [2] D. Bilitza (ed.), International Reference Ionosphere 1990, NSSDC 90-22, Greenbelt, Maryland, 1990.
- [3] High Frequency Active Auroral Research Program WEB <http://www.harp.alaska.edu/harp/ionindex.html>
- [4] National Geophysical Data Center (NGDC) WEB <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/IONO/>
- [5] Guide to Reference and Standard Ionosphere Models (Paperback)  
by AIAA, American Institute of Aeronautics and as (Other Contributor)
- [6] International Reference Ionosphere WEB <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/iri.html>
- [7] National Space Science Data Center WEB [NSSDC] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>