T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ HAREKETLİLİĞİNİN İYONKÜREDE NEDEN OLDUĞU BOZULMALARIN DROT YÖNTEMİ İLE TESPİTİ

Aboulqasim Mohamed A. AJAL

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. M. Serdar ÇAVUŞ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2020

TEZ ONAYI

Aboulqasim Mohamed A. AJAL tarafından hazırlanan "**Güneş Hareketliliğinin İyonkürede Neden Olduğu Bozulmaların DROT Yöntemi ile Tespiti**" adlı tez çalışması **17/01/2020 tarihinde** aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL Karabük Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. M. Serdar ÇAVUŞ Kastamonu Üniversitesi	.....

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Nur BELKAYALI .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Aboulqasim Mohamed A. AJAL



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ HAREKETLİLİĞİNİN İYONKÜREDE NEDEN OLDUĞU BOZULMALARIN DROT YÖNTEMİ İLE TESPİTİ

Aboulqasim Mohamed A. AJAL
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY

İyonküre, üst atmosferde plazma olarak da adlandırılan ve atmosferin 50 ila 1000 km yüksekliklerinde yer alan katmanıdır. İyonkürenin önemi, uydu iletişim sistemlerinde ve Kısa Dalga haberleşmesinde sinyallere olan zayıflatıcı, soğurucu ve bozucu etkisidir. Bu nedenle iyonkürenin yapısını ve yapısında meydana gelen bozulmaları tespit edip modellemek, uydu iletişiminin ve Kısa Dalga haberleşmesinin daha sağlıklı yapılabilmesine olanak sağlar.

İyonküre, jeomanyetik, güneş, yerçekimi ve sismik hareketlilik gibi birçok etkene bağlı olarak yapısında uzamsal ve zamansal bozulabilir. Bu bozulmaların sınıflandırılması, süreleri ve sıklıkları, genliklerine ve frekanslarına bakılarak yapılabilir. Yerküresel Konumlama Ssistemi alıcılarından temin edilen Toplam Elektron İçeriği (TEİ) verileri üzerinde gradyan bazlı bir yöntem kullanarak iyonkürede meydana gelen bozulmalar incelenebilir.

Bu çalışmada, Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen bozulmaların tespiti ve sınıflandırılması amacıyla, Türkiye genelinde konumlanmış olan Türkiye Ulusal GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) ağındaki on sekiz istasyondan 2010-2012 yılları arasında kestirilen YKS-TEİ verilerine hızlı ve otomatik bir değişkenlik algılama algoritması olan TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT) yöntemi uygulanmıştır. Üç yıl birbirleriyle karşılaştırıldığında, DROT ≥ %60 değerlerindeki kümelenme sayısının 2010'dan 2011'e azaldığı gözlenmiştir. Uzamsal ve zamansal değerlendirme bir arada ele alındığında; DROT < %50 değerlerinin sayısının, 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe arttığı; buna karşın DROT > %70 değerlerinin sayısının da 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe azaldığı gözlenmiştir. DROT değerlerinin Türkiye'nin Kuzey'inden Güney'ine ve Batı'sından Doğu'suna doğru arttığı gözlenmiştir. Güneş ışınımlarının daha dik bir açıyla geldiği Güney bölgesindeki istasyonların, günlük bozulmalardan en çok etkilenen istasyonlar olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, YKS, TEİ, DROT, İyonküresel bozulmalar

2020, 96 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETECTION OF DISTURBANCES CAUSED BY SOLAR ACTIVITY BY DROT METHOD

Aboulqasim Mohamed A. AJAL
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Seçil KARATAY

Ionosphere is the layer in the upper atmosphere, which is also called plasma, located at altitudes from 50 to 1000 km. The importance of the ionosphere is its attenuating, absorbing and disturbing effect on signals in satellite communication systems and Short Wave communication. For this reason, detecting and modeling the structure and disturbances of the ionosphere makes it possible to make satellite communication and Short Wave communication more healthier.

Ionosphere can be significantly disturbed in space and time due to many factors such as geomagnetic, solar gravitional and seismic activity. The classification of these disturbances can be done according to their amplitude, duration and frequency. Ionospheric disturbances can be analyzed by using a gradient-based method on Total Electron Content (TEC) obtained from Global Positioning System receivers.

In this study, to detect and to classify the disturbances in ionosphere over Turkey, a fast and automatic variability detection algorithm, Differential Rate Of TEC (DROT), is applied to GPS-TEC obtained from eighteen Turkish National Permanent GPS Network (TNPGN Active) stations between 2010 and 2012. When three years compared with each other, it is observed that the number of DROT $\geq$ 60% decreases from 2010 to 2011. When spatial and temporal comparison are considered together; it is observed that the number of DROT <50% values increases from 2010 to 2012 and the number of DROT> 70% values decreases from 2010 to 2012. DROT values increases from North to South and from East to the West in Turkey. It is observed that the stations in the southern region are most affected from daily disturbances.

Key Words: Ionosphere, GPS, TEC, DROT, Ionospheric disturbances.

2020, 96 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamdaki anlayış ve yardımları için çalışmamın başından sonuna kadar çok yardımını gördüğüm, bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY' a teşekkür etmek istiyorum.

Bana her zaman destek olan ve yanımda duran anneme teşekkür etmek istiyorum.
Bu tezi babamın ruhuna ithaf etmek istiyorum.

Aboulqasim Mohamed A. AJAL
2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. İYONKÜRE VE YAPISI	5
2.1. D Katmanı	7
2.2. E Katmanı	7
2.3. F1 Katmanı	8
2.4. F2 Katmanı	8
2.5. İyonkürenin Coğrafik Yapısı	9
2.5.1. Düşük Enlem İyonküresi	9
2.5.2. Orta Enlem İyonküresi	11
2.5.3. Yüksek Enlem İyonküresi	12
3. İYONKÜRESEL BOZULMALAR	14
3.1. Kayan İyonoküresel Bozulmalar	14
3.2. Ani İyonküresel Bozulmalar	16
3.3. Güneş Patlaması	17
3.4. Sismik Hareketlilik Bozulmaları	20
3.5. Jeomanyetik Bozulma	20
3.6. Jeomanyetik Bozulmaların İletişim Ve Navigasyon Sistemlerine Etkileri	24
4. YERKÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ VE İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ	25
4.1. Yerküresel Konumlama Sistemi	25
4.2. Toplam Elektron İçeriği	29
5. LİTERATÜR TARAMASI	33
6. TEİ'NİN DİFERANSİYEL ORANI (DROT) YÖNTEMİ	38
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
8. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	59
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

TEİ	Toplam Elektron İçeriği
YKS	Yerküresel Konumlama Sistemi
ETEİ	Eğik Toplam Elektron İçeriği
DTEİ	Dik Toplam Elektron İçeriği
KİB	Kayan İyonküresel Bozulmalar
AİB	Ani İyonküresel Bozulmalar
DROT	TEİ'nin Diferansiyel Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Atmosferin tabakaları ve ışıma görüngüleri.	6
Şekil 2.2.	İyonkürenin katmanlarının gece ve gündüze göre yükseklikleri.	6
Şekil 2.3.	Ekvatoral Aykırılık. 20° enlemlerde "tepelerle" birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş "çukur".	10
Şekil 3.1.	29 Ekim 2003 tarihindeki BÖKİB için a) colb, b) pktn ve c) coso; 20 Temmuz 2006 tarihindeki OÖKİB için d) ccv3, e) pit1 ve f) kyw1 istasyonlarından kestirilen GPS-TEC değerleri (IONOLAB).	16
Şekil 3.2.	06 Eylül 2017 tarihindeki GP esnasında yayılan güneş ışınımlarının türü ve seviyesinin zamana göre değişimi.	19
Şekil 3.3.	06 Eylül 2017 tarihindeki GP için djig istasyonundan kestirilen GPS-TEC değerleri (IONOLAB).	19
Şekil 4.1.	YKS Segment diyagramı.	27
Şekil 4.2.	YKS ölçümlerine etki eden hata kaynakları.	29
Şekil 4.3.	ETEİ ve DTEİ'nin Yer'e göre geometrisi.	31
Şekil 7.1.	Çalışma kapsamında seçilen içindeki TUSAGA-Aktif Ağı istasyonları.	42
Şekil 7.2.	17 Mart 2010 tarihi kstm istasyonu için a) IONOLAB-TEC, $\boldsymbol{x}u;d$; b) zamana bağlı türev (ROT) $\boldsymbol{R}u;d$; c) kayan pencere medyan filtreler $\boldsymbol{Y}u;d$ (mavi) ve $\boldsymbol{Y}u;d$ (kırmızı) ve d) $\boldsymbol{Y}u;d$ ve $\boldsymbol{Y}u;d$ arasındaki fark vektörü $\boldsymbol{D}u;d$.	44
Şekil 7.3.	GLS'nin yıllara göre değişimi: a) 2010; b) 2011; c) 2012	45
Şekil 7.4.	kstmn istasyonu için IONOLAB-TEC değerleri: a) 03 Mart 2009; b) 03 Mart 2010; c) 03 Mart 2011 ve d) 03 Mart 2012.	46
Şekil 7.5.	On sekiz istasyon 2010 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.	48
Şekil 7.6.	On sekiz istasyon 2011 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.	48
Şekil 7.7.	On sekiz istasyon 2012 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.	49
Şekil 7.8.	On sekiz istasyon 2010 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.	54
Şekil 7.9.	On sekiz istasyon 2011 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.	54
Şekil 7.10.	On sekiz istasyon 2012 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.	54

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 7.1. Çalışma kapsamında seçilen içindeki TUSAGA-Aktif Ağı istasyonlarının kodu ve konumlandığı coğrafik koordinatlar. 43

Tablo 7.2. 03 Mart 2009, 03 Mart 2010, 03 Mart 2011 ve 03 Mart 2012 günlerine ait Ap ve Kp indisleri ve kstm istayonu için hesaplanan DROT (%) değerleri. 46

Tablo 7.3. 40° K ve 42° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%). 50

Tablo 7.4. 38° K ve 40° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%). 50

Tablo 7.5. 36° K ve 38° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%). 51

Tablo 7.6. 2010, 2011 ve 2012 yılları için on sekiz istasyonun DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorilerine göre yüzde oranları. 52

Tablo 7.7. On sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yıllarına göre DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorileri yüzde oranları. 53

1. GİRİŞ

Yüksek frekanslı radyolar, radarlar ve Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) teknolojisi gibi buluşlar, 1047' de fizikte Nobel Ödülü alan İngiliz fizikçi Sir Edward Appleton tarafından iyonkürenin yani dünyanın üst atmosferinde iyonlaşmış tabakanın varlığı konusundaki önemli keşfi olmadan bulunamayacaktı (Pellinen vd., 2011). Bununla birlikte iyonize katman kavramı, düşük frekansı etkili bir şekilde yansıtma yeteneğine sahip oluşu ilk olarak İngiliz fizikçi Edward Victor Appleton tarafından ortaya konulmamıştır. 1882'de İskoç fizikçi Balfour Stewart, dünyanın manyetik alanındaki kesintisiz ama küçük değişimlerin, bir hava tabakasının varlığından kaynaklanabileceği için üst atmosfere elektrik iletebileceğini ileri sürdü: Yer'deki bu katmanın hareketi, dinamo etkisi kullanarak elektrik akımları üretebilir, bu akımlar dünyanın yüzeyinde fark edilen normal manyetik alan üzerine bindirilecek manyetik alan üretebilirdi. Ne yazık ki, Stewart teorisi yüzyılın başında İtalyan Guglielmo Marconi tarafından deneysel olarak gösterilene kadar çok dikkat çekmedi. Bir yıl sonra da, isimleri bu iletken tabaka ile anılır hale gelen Arthur Kennelly ve Oliver Heaviside, üst atmosferde sinyalin uzak mesafeden yansıtılmasından sorumlu olan ve serbest elektrik yüküne sahip iletken bir katman olduğunu söylediler. 1926'da İskoç fizikçi Robert Watson Watt *iyonküre* kavramını ortaya attı ve 1969' da yayınlanan bir mektupta iyonküre kavramını adlandıran kişi olarak adlandırıldı. Appleton, sadece gün boyunca sinyallerin gücünün kesintisiz olduğunu tespit ederken geceleri neredeyse tek bir formda artıp azaldığı için yayıldığını veya saptığını ileri sürdü. Ona göre gece boyunca iki dalga vardı; biri doğrudan yer boyunca ilerlerken diğeri iyonküredeki bir tabakadan geri yansıyordu. Tüm bu sonuçları, yukarı doğru gönderilen kesintisiz radyo dalgalarından yansımalar alarak elde etti (Kirby vd., 1934). Uzun mesafeli radyo iletişiminde önemli bir rolü olduğu için, iyonküre son 50 yıldaki kapsamlı araştırmaların temel alanlarından biri haline gelmiştir. Radyo dalgalarının yayılımındaki en büyük etken, iyonkürenin elektron yoğunluğudur. İyonküre, radyo iletişimi, uydu sistemleri, Yüksek Frekans (YF) (HF-High Frequency) dalgaların yayılımı, plazma fiziği ve uzay havası çalışmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle, uydu seyir sitemleri ve uzak

mesafe telsiz haberleşmelerini iyonküre boyunca etkileyen faktörleri tespit etmek ve tanımlamak, radyo iletişiminin sağlıklı yapılabilmesine olanak tanır.

İyonküre, Yer atmosferinin 50 ile 1000 km yükseklikleri arasında yer alan bölgesidir. İyonküredeki en önemli parametre, coğrafik ve coğrafik ve manyetik konuma, günün saatine, mevsimlere, yüksekliğe, Güneş'in hareketlerine ve Güneş'te meydana gelen patlamalara, Yer'in manyetik alanındaki değişimlere, sismik hareketliliğe ve yerçekimi etkisine bağlı olarak büyük değişimler sergiler. İyonküre, belirli yüksekliklerde sahip olduğu elektron yoğunluğuna göre dört katman altında incelenir: D, E, F1 ve F2 katmanı. Bu katmanlara bir sonraki bölümde yer verilmiştir. İyonküre tabakalarının kritik frekansları başta olmak üzere, iyonküredeki birçok parametre, iyonkürenin elektron yoğunluğuna bağlı olarak ifade edilen parametrelerdir. Bunlardan en önemlilerinden biri de, Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. Toplam Elektron İçeriği 1 m^2 kesitli bir silinindir içindeki elektronların toplam sayısı olarak tanımlanabilir. Birimi TECU olup 1 TECU=10^{16} el/m^2 değerine eşittir. (Arikan vd., 2003; Arikan vd., 2004; Arikan vd., 2007; Nayir vd., 2007; Arikan vd., 2008) İyonosonda, evreuyumsuz geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu, çift frekanslı Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) alıcıları, TEİ kestirimi için kullanılan sistemlerden bazılarıdır.

İyonküre özellikle güneş ve jeomanyetik hareketliliğe bağlı olarak kısa süreli önemli değişimler gösterir. Özellikle iyonküredeki serbest elektronların ortaya çıkması büyük ölçüde 11-yıllık güneş döngüsüne, gün döngüsüne, dünyanın güneş etrafındaki ve ayın dünya etrafındaki aylık, mevsimlik ve yıllık döngüsüne bağlıdır. İkincil olarak iyonkürede önemli değişimlere, bozulmalara ya da düzensizliklere sebep olan etkiler, güneş hareketliliği, jeomanyetik hareketlilik, sismik hareketlilik ve yerçekimidir. Bu uzamsal-zamansal değişimler iyonküre içinde *dalga-benzeri salınımlar* olarak gözlenir ve Kayan İyonosferik Bozulmalar-KİB (Traveling Ionospheric Disturbances-TIDs) olarak adlandırılırlar. Frekanslarına ve genliklerine bağlı olarak bu salınımlar orta ölçekli ve büyük ölçekli olmak üzere iki grupta incelenir. Bu dalga benzeri salınımlara kesin olarak neyin sebep olduğu tam olarak bilinmese de, Atmosferik Yerçekimi Dalgalarının-AYD (AGW-Atmospheric Gravity Waves), sismik hareketlerin, jeomanyetik ve güneş fırtınalarının dalga benzeri

bozulmalara sebep olduğu düşünülmektedir (Hocke ve Schlegel, 1996). Hem büyük hem de orta ölçekli iyonküresel bozulmalar, lojistik, güdümlü roket ve insansız hava araçlarının inişi gibi hem askeri hem de sivil uygulamalarda navigasyon ve konumlandırma sistemleri için önemli hatalara sebep olurlar.

İyonküre, güneşin hareketliliğine ve dünyanın güneş etrafındaki hareketlerine göre de bazı düzensizlikler ve aykırılıklar (anormallikler) sergiler. Kış aykırılığı, ekvatoral aykırılık ve ekvatoral elektro-jet olarak isimlendirilen bu aykırılıklar, iyonküre plazmasının homojen olmayan yapısı yüzünden ağırlıklı olarak gece saatlerinde ve yüksek enlemlerde gözlenir. Bununla birlikte, her enlem kuşağında farklı taşınma ve dinamik süreçlerin etkisinde farklı ölçeklerde etkilenir. Bir sonraki bölümde, iyonkürede üç enlem bölgesinde gözlenen aykırılıklarla ilgili detaylı bilgilere yer verilmiştir.

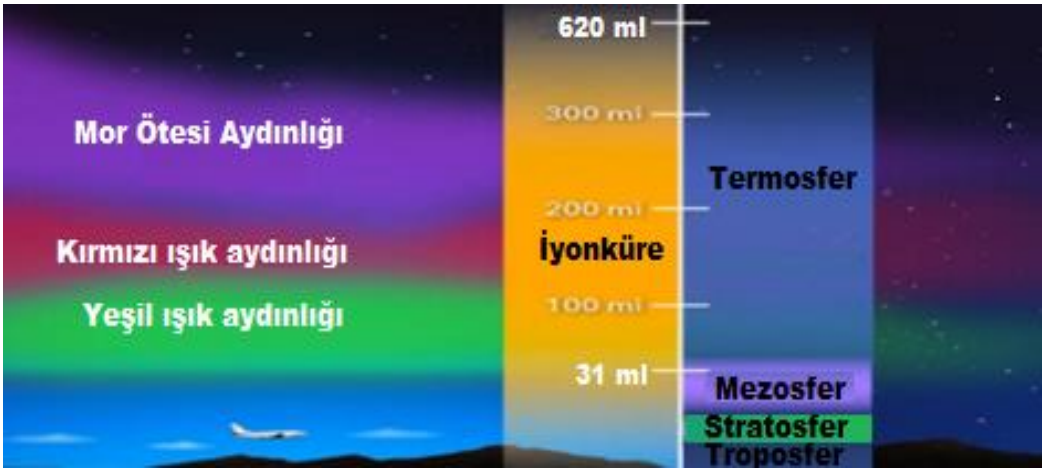
İyonkürede yukarıda bahsedilen dalga-benzeri salınımlar ve aykırılıkların tespitinde literatürde çeşitli yöntemler kullanılmıştır (Ding vd., 2003; Wang vd., 2007; Tsugawa vd., 2007; Afraimovich vd., 2010; Federenco vd., 2013; Efendi ve Arikan, 2017; Arıkan veYarici, 2017; Koroglu ve Arikan, 2019). İyonkürede gözlenen bu değişimleri incelemek için kullanılan bu yöntemlerden birisi de, TEİ'nin Oranı (ROT-Rate Of TEC) yöntemidir (Basu vd., 1999; Cherniak vd., 2014; Ho ve Mannucci, 1998; Krankowski vd., 2005; Zhang ve Xiao, 2003; Efendi ve Arikan, 2017; Koroglu ve Arikan, 2019). Buradaki sorun, ROT yönteminin Dik TEİ (DTEİ) verilerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçların, Eğik TEİ'nin (ETEİ) alıcının yerel zenith doğrultusunda hesaplanan DTEİ'ye dönüştürülmesinde kullanılan eşleme (mapping) fonksiyonundan kaynaklanan hatalara sebebiyet vermesidir. Dolayısıyla burada sonuçlar gürültülü olduğu için, iyonküredeki değişimlerden bozulmaların ayrılmasını zora sokmaktadır (Koroglu ve Arikan, 2019). ROT'a bağlı olan bir diğer yöntem de TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT-Differantial Rate Of TEC) yöntemidir. DROT, ROT'un yönsemesinin (trend) düzgelenmiş (normalize) farkının yüzde oranı olarak tanımlanır. Bu çalışmada DROT yöntemi, Türkiye üzerindeki iyonkürede mevsimsel ve jeomanyetik hareketliliğe bağlı olarak ortaya çıkan bozulmaları ve düzensilikleri tespit etmek amacıyla, Türkiye üzerinde konumlanmış olan Türkiye Ulusal GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) ağındaki on sekiz istasyondan

2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen GPS-TEİ verilerine uygulanmıştır. DROT algoritmasına ve uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara sırasıyla Bölüm 6 ve 7'de yer verilmiştir.

2. İYONKÜRE VE YAPISI

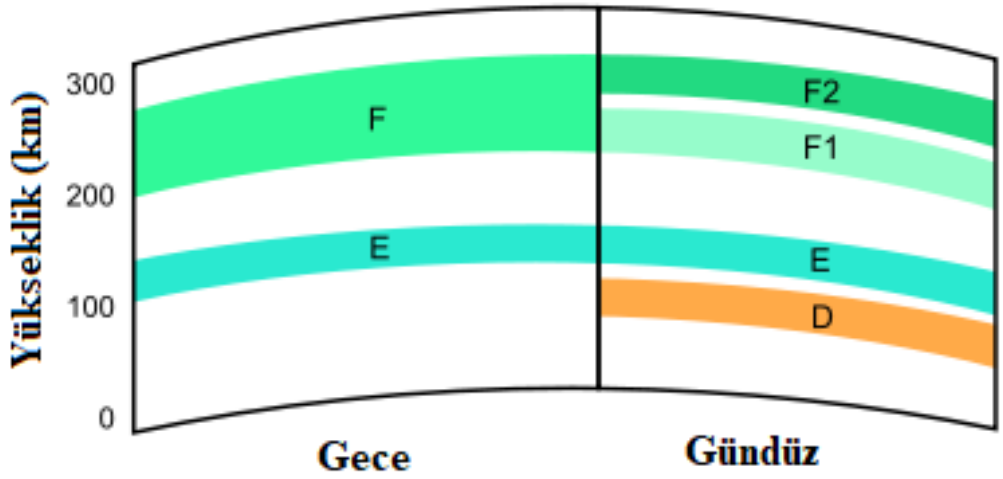
Gökyüzüne geceleri baktığımızda, gezegenimizin üstünde karanlık bir boşluk var olduğunu görürüz. Bu karanlık boşluktan başka bir şeye bakmıyoruz gibi görünse de aslında atmosfer olarak bilinen ve farklı atomlara, moleküllere ve enerji türlerine sahip katmanlar vardır. Ancak bu bölümde, atmosferin bölgelerinden biri olan iyonküre anlatılacaktır.

İyonkürenin, belirli yüksekliklerdeki elektron yoğunluğuna göre farklı katmanları vardır. İyonküre, her yerinde iyonlaşma olduğu için bu tabakalar aslında iyonlaşma seviyelerinde zirve noktalarıdır İyonküreye önem ve anlam katan, radyo dalgaları üzerindeki önemli etkisidir. Bu nedenle iyonküre, güneşten gelen ışınımların neden olduğu iyonlaşmanın, radyo dalgalarının iletimini etkilediği dünya atmosferinin bir bölgesi olarak da tanımlanabilir. İyonkürenin her iki üst ve alt sınırı tam olarak tanımlanmamış olsa da, en yakın tanım, Yer yüzeyin 50 km. (31 mil) yüksekliğinden 1000 km. (620 mil) yüksekliği arasında uzanan atmosfer bölgesidir (Rishbeth ve Garriott, 1969). Başka bir deyişle iyonküre, serbest elektronların ve elektrik yüklü parçacıkların kabuğudur (atomlar ve moleküller). Aynı zamanda gezegeni çevreleyen plazma olarak da bilinir. Plazmadaki elektrostatik kuvvet, hem pozitif iyonları hem de negatif serbest elektronları birbirine çekme eğilimindedir. Bununla birlikte, büyük enerjileri nedeniyle, elektriksel olarak nötr bir molekülde sabit kalamazlar. Oksijen ve Azot molekülleri burada iyonlaşmaların ana kaynağıdır. Güneşten gelen çok yüksek şiddetteki ışınımlar, foto-iyonlaşma adı verilen bir işlem sırasında atomları uyarır. Atomlar sırasıyla negatif yüklü parçacıklar olan elektronları etkisiz hale getirir. Atomlar elektronları serbest bıraktıklarında, pozitif bir yük elde ederler ve daha fazla kimyasal reaksiyon meydana gelir ve bu olduğunda, uyarılmış elektronlar, karanlıkta nesneleri tanımamıza izin veren dağınık ışık olarak bilinen bir ışıma görüngüsü şeklinde bir miktar enerji salarlar. Şekil 2.1.'de bu görüngü gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Atmosferin tabakaları ve ışıma görüngüleri.

İyonkürenin içinde atomlar ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre farklı yüksekliklerde yer almaktadır. Atomların ve moleküllerin yer aldığı yüksekliklere ve iyonlaşma potansiyellerine bağlı olarak iyonküredeki iyonlaşma, her yükseklikte farklı derecelerde olmaktadır. Her yükseklikte farklı olan iyonlaşma, iyonkürenin D, E, F1 ve F2 harfleriyle karakterize edilen Şekil 2.2'de gösterilmiş olan farklı bölgelere sahip olmasına neden olur. Sonraki alt bölümlerde bu katmanlar ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.2. İyonkürenin katmanlarının gece ve gündüze göre yükseklikleri.

İyonküredeki iyonlaşmadaki en büyük etki güneş hareketliliğidir. İyonlaşma güneş gelen ışınımların şiddetine miktarına bağlı olarak değişir. Günlük ışınım şiddeti, iyonlaşma üzerinde günlük ve mevsimsel farkları yaratır. Yarımküre, yerel kış aylarında güneşten uzaklaşır, ışınımlar da, yılın mevsimlerine göre azalır veya artar.

Güneş hareketliliği, her 11 yıllık bir döngüyle meydana gelen güneş lekelerinin sayısına bağlıdır. Güneş ışınımları, güneş lekelerinin sayısına bağlı olarak artar veya azalır. Güneşten gelen ışınımlar, coğrafik konuma (ekvator bölgeleri, orta enlemler, kutup bölgeleri ve auroral bölgeler) bağlı olarak değişir. Güneş patlamaları sonucunda ortaya çıkan parçacıklar Yer'in manyetik alanı ile etkileşerek iyonlaşmayı arttırır ya da azaltır.

2.1. D Katmanı

D katmanı, iyonkürenin 50 km' den 90 km.' ye kadar uzanan en içteki katmandır. İyonlaşma yüksek enerjili X ışınları ile başlar. Bu katman, dalga boyu 10 Å'dan küçük X-ışınımı ve dalga boyu 1000 Å'dan büyük UV ışınımlarından etkilenir. Lyman-α (1216 Å) ışınımı, bu bölgede NO bileşenin iyonlaştırmaktadır. Ayrıca 1027-1118 Å dalga boyundaki ışınımlar, O_2 molekülünün iyonlaşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte 10^9 eV'dan büyük enerjiye sahip yüksek enerjili galaktik kozmik ışınlar, atmosferde tamamen emilmeden D-bölgesine kadar inebilmekte ve bu bölgenin alt kısımlarında iyonlaşmaya neden olmaktadır (Karatay, 2005). Bu katmandaki elektron yoğunluğu cm^3 başına yaklaşık 10^2-10^4 değerindedir. İyonlaşmanın etkisiyle uzun dalga ve orta dalga bandındaki sinyalle bu bölge tarafından soğurulur ve zayıflatılır. Gece saatlerinde ise yeniden birleşme süreçlerinin bir sonucu olarak bu bölge kaybolur. Bu bölge, iyonküredeki dalga kılavuzu içinde yol alan çok alçak frekanslı dalgaları etkiler. Bu durum, uzun menzilli, çok alçak frekanslı dalga yayılımı için önemlidir. Kısa menzilli yayılım için alçak ve orta frekans dalgalarını kırar; yüksek frekans (HF) dalgalarını da emer. Çok yüksek frekans dalgalarına etkisi çok azdır (Karatay, 2010; Komjathy, 1997; McNamara, 1994).

2.2. E Katmanı

E katmanı iyonkürenin 90 km ile 150 km yükseklik alanında yer alır. Bu katmandaki elektron yoğunluğu cm^3 başına 10^5 değerindedir. Bu katman en çok N^{2+}, O^{2+} ve NO^+ gibi moleküler iyonları içerir. Bu katmanın davranışı neredeyse tamamen güneş hareketliliğine ve ayrıca güneşin zirve açısına bağlıdır. Güneşin X-ışını yayılımları,

iyonlaşma için birincil kaynaktır ve bu da elektronun yoğunluğunun ayırt edilebilir güneş döngüsü, günlük ve mevsimsel değişiklikler göstermesine neden olur (Komjathy, 1997). E katmanı sadece gündüz görünür, ancak geceleri de tamamen kaybolmaz. E-bölgesi işaretler üzerinde kırınım etkisi yaratır. Bu bölge gün içinde 20 Mhz'e kadar olan YF (Yüksek Frekans-High Frequency) dalgalarını kırar. Bu katmanın uydu işaretlerine etkisi azdır. Daha güçlü bir E-bölgesi yüksek iyonlaşmanın olduğu bulutlar tarafından oluşturulur ve *düzensiz E-bölgesi* (sporadic E-layer: E_s) olarak adlandırılır. Düzensiz E katmanı'nin çok ince olduğu zamanlarda radyo dalgaları içeri kolaylıkla girer ve dünyaya daha yukarıdaki katmanlardan geri dönerler. E-bölgesinin etkisi ile 100-150 Mhz aralığındaki frekanslara sahip işaretler iyonküreden yansır ve 1000 km'nin üstünde yol alabilir (Türel, 2008).

2.3. F1 Katmanı

F1 katmanı, iyonkürenin 150 km' den 200 km'ye olan yükseklik alanına uzanır. Buradaki elektron yoğunluğu cm^3 başına ~10^5-10^6 değerindedir. Elektron yoğunluğu yoğunluklu olarak güneşin zirve açısı tarafından kontrol edildiğinden, F1 katmanı sadece gündüz görülür. . F1 katmanında en çok NO^+ ve $O_2{}^+$ iyonları yanı sıra ikinci derecede O^+ ve N^+ iyonlarına da rastlanmaktadır. Bu katmanın en önemli özelliği, F2 katmanından geçen YF dalgalarını emmesidir. Güneş lekelerinin sayısı az olsa bile, iyonküresel fırtınalarının etkisiyle bu bölge, yaz mevsiminde kıştan daha belirgindir (Karatay, 2010; Komjathy, 1997; McNamara, 1994; Türel, 2008).

2.4. F2 Katmanı

F2 katmanı, YF iletişimi için en verimli katman olarak kabul edildiğinden ve radyo dalgalarının yayılmasından önemli ölçüde sorumlu olduğu için iyonkürenin en önemli katmanıdır. İyonkürenin 200 km ile 500 km yükseklikleri arasında yer alır. Bu katmandaki elektron yoğunluğu cm3 başına 10^{14}–10^{16} değerindedir. Elektron yoğunluğu en fazla olarak bu katmanın 250 km ile 300 km arasında bulunur. F2 katmanında O^+ temel iyonunun yanı sıra H^+, He^+ ve N^+ iyonları da bulunmaktadır. KD (Kısa Dalga) haberleşmesi açısından önemi ise KD işaretlerine karşı yansıtıcı özellik göstererek dünya çapında KD haberleşmesinin yapılabilmesine olanak

sağlamaktadır. F2 katmanının kritik frekansı, güneş lekelerinin sayısıyla doğrusal bir bağlılık gösterir (Komjathy, 1997). Ne yazık ki, diğer bölgeler arasında bu bölge en düzensiz, değişken ve öngörülmesi zor bölgedir (Chapagain, 2016).

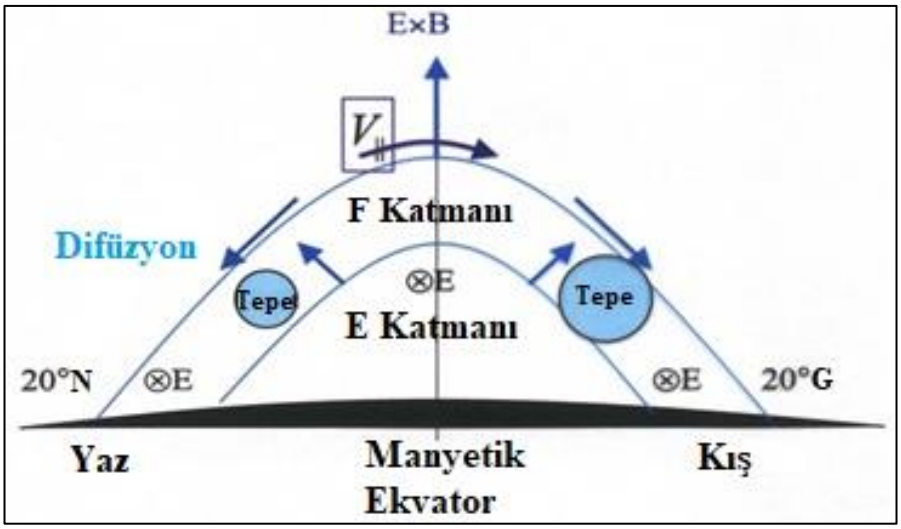
2.5. İyonkürenin Coğrafik Yapısı

İyonküre, günün saati, güneş jeomanyetik ve sismik hareketliliğin yanı sıra coğrafik enleme boylama da bağlı olarak büyükdeğişimler gösterir. Dünyanın dipolar manyetik alan çizgileri, geometrisinden dolayı, iyonkürede ayırt edilebilir bir enlem özelliği yaratır. İyonküre üç enlem bölgesine içinde incelenebilir: Düşük enlem, orta enlem ve ekvatoral bölge. Aşağıdaki alt bölümlerde, bu enlem bölgeleri anlatılmıştır.

2.5.1. Düşük Enlem İyonküresi

Düşük enlemler üzerindeki iyonküre, orta ve yüksek enlemlerdeki iyonküreye göre daha karmaşık yapıya sahiptir. Yer'in manyetik alan çizgilerinin bu enlem bölgesine paralel olması sebebiyle elektromanyetik sürüklenme bu bölgede oldukça etilidir. Bu bölgedeki iyonküredeki en belirgin özellik, düşük enlemlerde gün boyu gözlenen ve Appleton Aykırılığı (Anormalliği) olarak da biline ekvatoral aykırılıktır (Appleton, 1946).

Ekvatoral aykırılık veya Appleton aykırılığı, ekvatorun her iki tarafında, yaklaşık ±10° ile ±15° enlemlerde, daha yüksek plazma yoğunluğu ile karakterize edilir. Bu özellik, manyetik alan çizgileri boyunca iyonkürede iyonlaşmaya sebep olan yerçekimi kuvveti ve plazma basıncının gradyanı etkisiyle oluşur. Bu fiziksel mekanizma fıskiye etkisi olarak bilinir. Ekvatoral bölgede elektron yoğunluğunu dağılımı kuzey ve güney yarımkürede 15°-20° enlemlerde "tepelerle" birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş "çukur" denilen bir durum sergiler. Çukur, F2-pikinin aşağısındaki ve yukarısındaki sabit yükseklikteki elektron yoğunluğuna ait dağılımlardan elde edilir (Rishbeth ve Garriott, 1969). Yaz yarımküresinden kış yarımküresine üflenen termosferik rüzgârlar, ekvatoral bölgede asimetrik iki tepeyle birlikte tepeler arasında bir çukur meydana getirir. Şekil 2.3'te bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ekvatoral Aykırılık. 20° enlemlerde "tepelerle" birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş "çukur".

Ekvatoral enlemler içinde gözlenen aykırılığa ait iki teori bulunmaktadır: İlk teoride elektron yoğunluğunun bu bölgedeki dağılımı, jeomanyetik alan çizgilerinden aşağıda, yerçekimi altındaki plazmanın difüzyonuna bağlıdır. Bu difüzyon, plazmanın boşalarak kuzeyde ve güneydeki yoğunluğa etki etmesine sebep olur. Plazmanın boşalmasıyla görülen anormallik, iyonlaşmanın ekvator bölgesinden dağılmasına ve kuzey ve güney yarımkürede elektronların birikmesine neden olur (Rishbeth ve Garriott, 1969).

İkinci teoride de, termosferik rüzgârlar tarafından ekvatoral bölgedeki E katmanında üretilen dinamo-elektrik alanları, yüksek iletkenlikleri sebebiyle F katmanına dipol manyetik alanlar boyunca iletilir. Gündüz saatlerindeki bu dinamo-elektrik alanın yönü doğuya doğrudur ve yukarı yönlü bir "$\boldsymbol{ExB}$" plazma sürüklenmesi meydana getirir. Gece saatlerinde ise bu durum tam tersidir. Gündüz saatlerinde yukarı doğru kaldırılan plazma, sonrasında yerçekiminin etkisiyle ekvatoral bölgeden uzakta manyetik alan çizgilerinden aşağıya doğru "yayılır". Elektromanyetik "sürüklenme" ($\perp\mathbf{B}$) ve "yayılımdan" (difüzyon) ($//\mathbf{B}$) oluşan bu birleşim, plazma hareketinde bir fıskiye modeli üretir ve buna *ekvatoral fıskiye* adı verilir (Rishbeth ve Garriott, 1969; Rishbeth, 1975; Anderson ve Roble, 1981; Abdu, 1997; Schunk ve Nagy, 2009).

Ekvatoral anormallikle birlikte ekvatoral enlemlerde gözlenen bir diğer anormallik de *Ekvatoral Elektrojet*'tir. Dünya üzerinde güneş kaynaklı rüzgârlar, iyonkürenin

100 ile 130 km yükseklikleri arasındaki E-bölgesinde Sq (Solar quiet) akım sitemi adı verilen bir akım sistemi yaratır. Bu akım da, ekvatoral iyonkürede yönü batıdan doğuya (şafak-akşam) olan bir elektrostatik alan meydana getirir. Bu elektrik alanı, manyetik alan çizgilerinin yatay olduğu manyetik dip ekvatorda manyetik ekvatorun ± 3° doğusuna doğru, Ekvatoral Elektrojet adlandırılan bir akım meydana getirir (Stening, 1995).

2.5.2. Orta Enlem İyonküresi

Orta enlem iyonküresi, en kolay anlaşılabilen enlemsel bölgedir. Orta enlemlerdeki iyonkürede, plazma taşınmasına sebep olan nedenler şunlardır: Bu bölgedeki manyetik alan çizgileri eğimlidir, yani yer ile bir açıya sahip şekilde dağılır. İkincisi, iyonküre plazması bu bölgede manyetik alan boyunca hareket etmek üzere çevrelenmiş gibidir. Bu nedenle, termosferik rüzgârlar, plazmayı alan çizgileri boyunca etkili bir şekilde yeniden birleşme oranlarının az olduğu düşük veya daha büyük yüksekliklere taşır ve bu da plazmada yoğunluk değişimlerine yol açar. Gün boyunca, plazma, yeniden birleşme hızının büyük olduğu kutup bölgesinden, nötr rüzgarının etkili olduğu daha düşük enlem bölgelerine doğru, aşağı yönlü hareket eder. Bu hareket gece boyu devam ederken F2 katmanının tepe yüksekliğinde ve elektron yoğunluğunda bir azalmaya sebep olur. Bu nedenle, plazmanın içindeki nötr bileşenlerle yeniden birleşme olayları azalır, tepe noktası yüksekliği artar ve elektron yoğunluğu neredeyse durağan hale gelir.

Orta enlem iyonküresinde, öğle saatlerinde F2 katmanının tepe noktasının elektron yoğunluğu dağılımının mevsimsel değişime ait birçok aykırılık kaydedilmiştir. Güneşten gelen ışınıma bağlı olarak iyonküredeki iyonlaşmanın yaz mevsiminde kış mevsiminden daha fazla olması beklenmektedir. Ancak literatürdeki bazı çalışmalarda (Bailey vd., 2000; Millward vd., 1996; Rapoport ve Sinelnikov, 1996; Rishbeth ve Garriott, 1969; Zhang vd., 2000). Elektron yoğunluğunun kış değerlerinin yaz değerlerinden öğle saatlerinde çok daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, iyon ve elektron üretiminin kışın çok küçük olmasının beklenmesine ters bir durumdur. Bu duruma genellikle *Mevsimsel Aykırılık* veya *Kış Aykırılığı* denilmektedir. Kış Aykırılığı genellikle kuzey yarımkürede gözlenir ancak, güneş

hareketliliğinin az olduğu dönemlerde güney yarımkürede genellikle gözlenmez. Orta enlemlerde özellikle gece saatlerinde gözlenen bu anormalliğe, dinamik süreçlerden olan nötr rüzgarların iyonkürenin F katmanının gece saatlerde kaybın ve yeniden birleşme sürecinin daha az olduğu yukarı bölgelere kaldırması sebep olmaktadır (Rishbeth ve Garriott, 1969). Nötr rüzgârlar, plazmayı aşağı ve yukarı hareket ettirerek elektron yoğunluğundaki değişime etki eder.

2.5.3. Yüksek Enlem İyonküresi

Orta enlemden farklı olarak, yüksek enlem bölgelerindeki iyonküre, biraz karmaşık bir yapıya sahiptir. Yer'in manyetik alan çizgileri bu bölgelere neredeyse diktir ve düşük enlem ve orta enlem bölgelerinden önemli ölçüde daha karmaşık bir durum ortaya çıkarır. Manyetik alan çizgileri bu bölgede Manyetosfer'in dış kısmına bağlı olduğu için çok etkilidir. Bu bölgede dipolar olan jeomanyetik alanın geometrisi göz önüne alındığında, yüksek enlem iyonküresi büyük ölçüde güneş rüzgârı ile dünyanın manyetosferi arasındaki etkileşim tarafından kontrol edilen dinamik manyetosferik süreçlerle şekillenmektedir. Bu bölge iyonküresi, Gezegenler-arası Manyetik Alan'a (IMF-Interplanetary Magnetic Field) bağlanma yoluyla, güneş rüzgâr plazmasına ve manyetosferik süreçlerle enerjilenmiş ve özellikle auroral bölgede iyonlaşma kaynakları olan parçacıklara doğrudan erişim kazanır. Aynı şekilde, iyonküresel plazma uzaya kaçabilir (polar rüzgâr ve birkaç eV enerjili iyonların auroral yığın yukarı akışları) veya manyetosferde sıkışabilir. Yukarı akan iyonların bir kısmı, iyon ışınları, iyon konileri, yukarı doğru iyonlar ve enine hızlandırılmış iyonları içeren çeşitli işlemlerle yüksek enerjilere hızlandırılabilir (Karatay, 2010).

Yüksek enlemlerde, güneş EUV (Ekstra Ultra Viyola) ve X ışınları olan ana iyonlaşma kaynağı, enerjik parçacık azalmasıyla ile artar. Manyetosferik süreçlerle (örn. Alt fırtınalar) hızlanan elektronlar, bu bölgelerde auroraya neden olan bir iyonlaşma kaynağıdır. Daha enerjik parçacıklar atmosferin derinliklerine nüfuz ederek daha düşük yüksekliklerde iyonlaşmada artma sağlar. Jeomanyetik kutuplar, jeomanyetik alan ekseninin dikey olarak yönlendirildiği yüksek enlemlerde bulunur. Manyetosferik elektrik alanı **E**, manyetik alan çizgileri boyunca **E**'nin temelde yatay hale geldiği yüksek enlem iyonküresinde eşleşir. Yüklü parçacıkların hareketi bu

bölgede, manyetik alanın dik ve paralel olduğu bölgelerden oldukça farklıdır. Eğer parçacıkların çarpışmaları engellenirse, parçacıklar manyetik alan boyunca serbestçe hareket edebilir. Ancak manyetik alanın varlığından dolayı sadece manyetik alana dik olarak hareket edebilirler. Yüksek enlemlerde, güneş rüzgarı ve manyetosfer arasındaki etkileşim yoluyla iyonküre üzerinde etkili olan elektrik alanları, iyonküre plazmasının yatay hareketlerini yönlendirir ve $\boldsymbol{ExB}$ sürüklenmesinden dolayı da iyonküresel yayılım olarak adlandırılır (Karatay, 2010).

Yüksek enlem iyonküresi ile ilgili olarak aşağıdaki temel özellikler söylenebilir:

(1) Yüksek enlem iyonküresi, esasen değişken olan güneş rüzgârı tarafından kontrol edilebildiği için dinamiktir.
(2) Yüksek enlem iyonküresi genellikle güneşten gelen enerjili parçacık yayılımına ulaşabilir ve bu da fazladan iyonlaşma üretir. Bu nedenle, kutupsal yayılımı ciddi bir şekilde azaltabilen sporadik olaylardan etkilenmektedir.
(3) Yüksek enlemlerde de orta enlem bölgeleri gibi, daha az iyonlaşmanın olduğu "çukuru" şekillenebilir. Çukur oluşumuna yol açan mekanizmanın asıl nedeni, mayetosferin iç ve dış kısımları arasındaki değişimlerdir.
(4) Yüksek enlem bölgesi, manyetosfer ile bağlantışı olan auroral bölgeleri içerir. Auroral unsurlar, manyetik tedirginliklere yol açan elektronlar içerir. Buradaki iyonlaşma oranı enerjili elektronların gelişiyle arttığı için "alt fırtınalar" oluşur. Auroral bölgeler özellikle radyo yayılımı için karmaşık ve zor bir bölgedir (Hunsucker ve Hargreaves, 2003).

İyonkürenin elektron miktarı, hem uzamsal hem de zamansal olarak iyonküreyi karakterize eden en önemli parametredir. Ancak bu miktar gündüz-gece döngüsüne, coğrafi konuma, mevsimlere ve güneşteki, Yer'in manyetik alanındaki ve Yer kabuğundaki değişimlere göre farklılık gösterir. Elektronların iyonküre boyunca sayısını doğrudan ölçmek çok zordur. Bu sorunun üstesinden gelmek için geliştirilmiş bazı dolaylı yöntemler vardır ve bu yöntemlerden biri de, bir sonraki bölümde anlatılacak olan Toplam Elektron İçeriği'dir.

3. İYONKÜRESEL BOZULMALAR

Hem jeomanyetik alan bozulmaları hem de güneş bozulmaları, bir şekilde güneş hareketliliği ile ilişkili olan iyonküresel bozulmalara neden olurlar. Görünüşe göre, jeomanyetik bozulmalara güneşten başlayan olaylar da neden olmaktadır, ancak güneş hareketliliği en dıştaki jeomanyetik alan çizgisini bir dereceye kadar etkilemektedir ve ayrıca jeomanyetik alanı bozmak için bu alanı sıkıştırmaktadır (Komjathy, 1997). Bu bölümde, iyonkürede gözlenen bozulmalara yer verilecektir.

3.1. Kayan İyonoküresel Bozulmalar

İyonoküredeki zamana ve konuma bağlı değişimler genellikle Yer ekseni ve güneş etrafındaki dönüşüne ve manyetik alan çizgilerinin dağılımına bağlıdır. Herhangi bir jeomanyetik fırtına yoksa Yer'in manyetik alanının sakin olduğu kabul edilir. Bu tür eğilimler ve zamana bağlı değişimler, *sakin iyonküre* olarak bilinen iyonkürenin şekillenmesinden sorumludur. Uzun süreli gözlemlerin bir sonucu olarak güneşteki hareketlilik, sismik hareketlilik, jeomanyetik fırtınalar ve Yerçekimi'nin, iyonkürenin sakin durumundan bazı sapmalara neden olduğu bulunmuştur. Bu tür sapmalar iyonküresel bozulmaları olarak bilinir. Başka bir deyişle, *Kayan İyonküresel Bozulmalar* (KİB) (TIDs-Traveling Ionospheric Disturbances), plazma hızındaki, hem hız hem de frekanslarda çok geniş bir aralıkta iyonküre boyunca dalga benzeri salınımlar olarak yayılan bozulmalar olarak tanımlanır. KİB'in bir başka tanımı da, iyonkürenin olağan yapısındaki kaymalardır. İyonlaşma kaynaklarındaki ani değişimler, kararsız manyetik akı değişimleri, denge dışı dinamik süreçler ve bazı insansal etmenler, iyonlaşma bozulmalarına neden olabilir. Bu bozulmalar genellikle iyonküredeki radyo dalgalarının yayılmasını ciddi şekilde etkiler. KİB, uydudan iletilen polarize Elektro Manyetik (EM) dalgalarının Eşevresiz Saçılım Radarı (ESR), Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) ve Faraday Rotasyon ölçümleri gibi iyonküre ölçümlerinin çoğunda gözlenmiştir (Kelley, 2009).

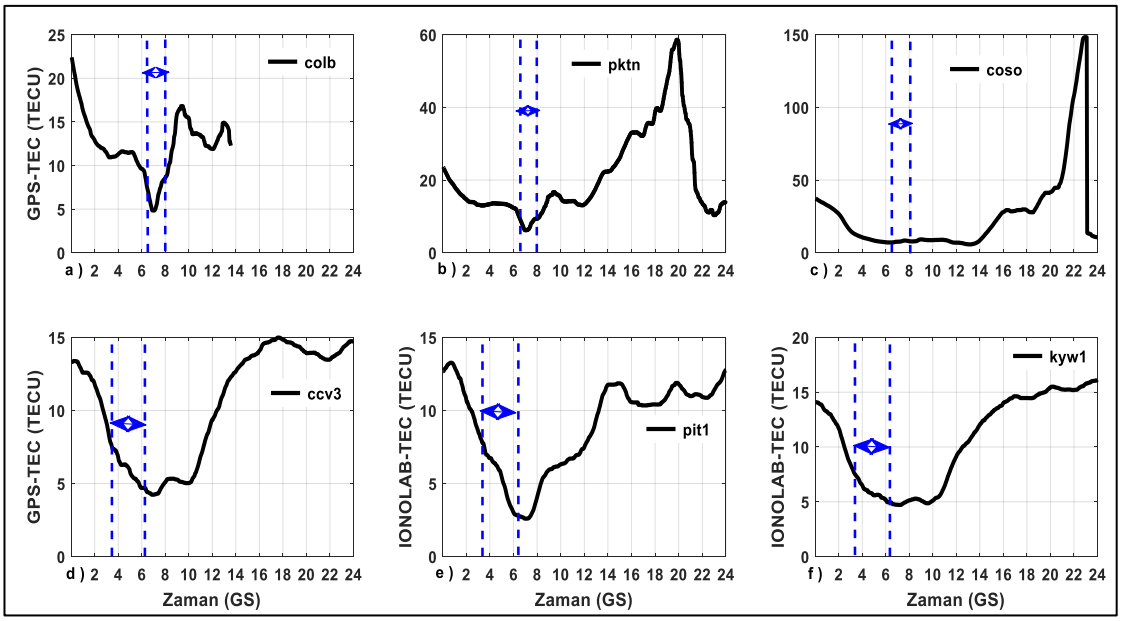
KİB hem termosfer hem de iyonküre dinamiklerinde önemli bir rol oynar. KİB, zamanla azalan elektron yoğunluğu eğrilerinde dalga benzeri salınımlar olarak ifade edilen iyonküre düzensizlikleridir. Hem gerçekleşme hem de hareket yönü günlük,

mevsimsel ve güneş lekesi döngüsüne göre önemli farklılıklar gösterir. KİB, frekans, periyot, genlik, hız ve sürelerine göre iki kategoriye ayrılır: Büyük Ölçekli KİB (BÖKİB) ve Orta Ölçekli KİB (OÖKİB) (Zolesi vd., 2014).

Süresi bir saatten üç saate kadar değişen ve yatay dalga boyu 1000 ila 4000 km arasında olan bozulmalar BÖKİB olarak adlandırılır. BÖKİB hızları saniyede 400 m ila 1000 m arasında değişmektedir (Hocke ve Schlegel, 1996). BÖKİB'e, kuzey ve güney yarım kürelerin kutup bölgelerindeki kaynaklar tarafından uyarılan Akustik Yerçekimi Dalgaların (AYD) sebep olduğu söylenmektedir. Auroral elektrojetdeki elektrik yüklerinin, her iki yarımkürede ekvatora doğru yayılan BÖKİB üretebileceği yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Hocke ve Schlegel, 1996).

Birkaç yüz kilometre yatay dalga boyuna sahip olan bozulmalar da OÖKİB olarak tanımlanır. Yatay hızları saniyede 100 m ile 250 m arasında değişmektedir. Periyotları ise 15 ile 60 dakika arasında değişen sürelerdedir (Hocke ve Schlegel, 1996). Genellikle, yaz aylarında sıklıkla görülür ve doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu yönündedir; güneybatıya doğru yayılırlar. Gündüz saatlerinde görülen OÖKİB, genellikle ekvator yönünde yayılırlar ve kışın sık görülürler (Hernández-Pajares vd., 2006; Husin vd., 2011; Kalikhman, 1980; Lee vd., 2008; Tsugawa1 vd.,2007; Yoon ve Lee, 2014).

Şekil 3.1'de, Literatür'de iyi bilinen BÖKİB ve OÖKİB zamanlarında elde edilmiş GPS-TEC değişimleri verilmiştir. 29 Ekim 2003 tarihinde Hallowen Fırtınasıyla birlikte Kuzey Amerika üzerinde bir BÖKİB gözlenmiştir America (Ding vd. 2007, 2008; Wang vd. 2007; Efendi ve Arikan 2017). BÖKİB, Greenwich Saati (GS) ile 06:20 - 08:00 arasında colb (39.77° K, 83.04° B), pktn (38.85° K, 83.02° B) ve coso (35.98° K, 117.81° B) istasyonları üzerinde gözlenmiştir (Şekil 3a, 3b, 3c). Yine, 20 Temmuz 2006 tarihinde Kuzey Amerika üzerinde GS 03.30 - 06.10 arasında bir OÖKİB gözlenmiştir (Tsugawa vd. 2007; Efendi ve Arikan 2017). OÖKİB gözlendiği istasyonlar ccv3 (28.29° K, 80.54° B), pit1 (40.36° K, 79.69° B) ve kyw1(24.43° K, 81.65° B), sırasıyla Şekil 3d, 3e ve 3f'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 29 Ekim 2003 tarihindeki BÖKİB için a) colb, b) pktn ve c) coso; 20 Temmuz 2006 tarihindeki OÖKİB için d) ccv3, e) pit1 ve f) kyw1 istasyonlarından kestirilen GPS-TEC değerleri (IONOLAB).

İster BÖKİB, ister OÖKİB olsun, Kayan İyonküresel Bozulmalar, lojistik, güdümlü roket ve insansız hava araçlarının inişi gibi hem askeri hem de sivil uygulamalarda navigasyon ve konumlandırma sistemlerinde çok önemli hatalara neden olurlar. Uzay tabanlı ve yer tabanlı iyileştirme sistemleri üzerindeki artan talep, iyonküreyi yerel ve bölgesel olarak görüntülemeyi, muhtemel bir bozulmayı tespit etmeyi ve yakın-gerçek zamanlı risk ve tehditleri hesaplamayı zorunlu hale getirmiştir (Bergeot vd., 2014; Hernández-Pajares vd., 2006; Jakowski vd., 2012; Kim vd., 2015; Yoon ve Lee, 2014).

3.2. Ani İyonküresel Bozulmalar

Ani İyonküresel Bozulmalar (AİB), Dellinger olarak da bilinir. Adını 1935'te keşfeden kâşif John Howard Dellinger'den almıştır. AİB, iyonkürenin durumundaki ani değişikliklerin ve bu değişikliklerin etkilerinin karmaşık birleşimi olarak tanımlanır. AİB, iyonkürenin D katmanında Güneş Patlamalarından (GP) (SF-Solar Flares) kaynaklanan, iyonlaşmadaki olağandışı artıştır. Güneş hareketliliği, 11-yıllık güneş döngüsü boyunca artar. Güneş üzerindeki çok parlak olan bölgeler ve güneş lekeleri, X ışınları yayarlar. Bazen çok etkili bir patlama, bu parlak bölgelerde aniden meydana gelebilirler. Güneşte meydana gelen bu patlamalardan yayılan 2 ile 10 Å

şiddetindeki X ışınları, iyonkürenin D katmanında iyonlaşmaya sebep olurlar. GP, iyonküredeki KD sinyallerinin sönümüne neden olurlar ve bu bozulmalar AİB olarak tanımlanır.

AİB, Orta Frekans (MD-Medium Frequency) veya daha düşük Yüksek Frekans (YF) (HF-High Frequency) bandında olan radyo dalgalarının emilimine ve çoğu zaman telekomünikasyon sistemlerinde kesintilere neden olurlar. AİB genellikle elektrik kesintisi olarak da bilinen kısa dalga bantlarında veya YF'de birkaç saat sürebilir. Ancak YF aralığında yaşanabilecek birçok karartma türü olduğu için daha uzun bir karartmanın başlangıcı olabilirler. Genel olarak, büyük güneş patlaması AİB'e neden olan en önemli etkendir.

Güneş tarafından gönderilen radyasyon seviyesinde, güneş patlaması ile birlikte muazzam bir artış olmaktadır. Güneşten gelen radyasyonların dünyaya ulaşmak için harcadığı süre ortalama sekiz dakikadır. Güneşten yayılan radyasyon için, patlamadan kaynaklanan özel bir biçim yoktur. Fakat patlamalar, D katmanına nüfuz edebildikleri, bu bölgede iyonlaşmanın artmasına neden oldukları ve D katmanının zayıflamasına neden oldukları için, radyasyonun tüm biçimlerini ve X-ışınlarını içerir.

Genelde AİB büyüklüğü, güneşin Zenith açısına bağlıdır ve 20 Å altındaki X ışını patlamalarının hepsi AİB'e neden olur. Yaklaşık %90'ının oluşumu, 10-50 keV enerjili X ışını patlamalarıyla oluşur (Momin, 2019). AİB etkileri, güneş zirvede olduğu saatlerde daha yoğundur. Bu bozulmalar, Yer'in manyetik alanında ve iyonkürenin D katmanınında önemli ölçüde değişimlere neden olurlar. Ekvatora yakın bölgelerde de öğle saatlerinde gözlenirler. 11-yıllık güneş döngüsüyle de sıkı sıkıya ilişkilidir (Letfus ve Apostolov, 1982; Whitken ve Poppoff, 1971).

3.3. Güneş Patlaması

Güneş Patlamaları (GP), güneş yüzeyinde çok güçlü manyetik alanlara sahip güneş lekelerinin etrafında meydana gelen bir olaydır. Güneş hareketliliğin en etkili olayı olduğu kabul edilir. Genellikle Jeomanyetik Fırtınalar (JMF) olarak bilinen güneşin Koronal Kütle Boşalımı (CME-Coronal Mass Ejection) ile ilişkilidir. Patlamalar,

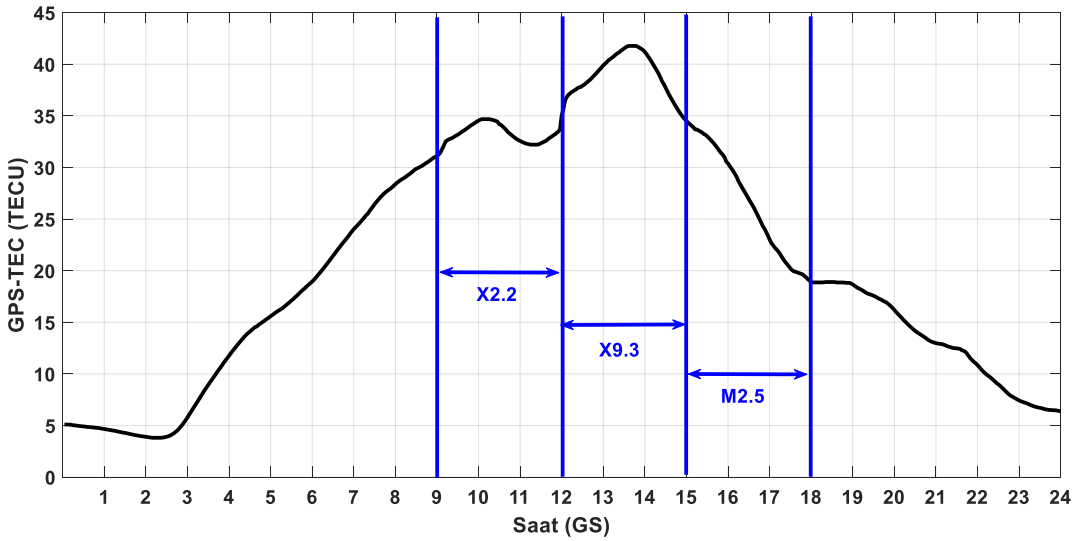
CME ve Yüksek Hızlı Güneş Rüzgârı Sistemi (HSSWS-High Speed Solar Wind System), dünyaya yüklü parçacıklar yollarlar ve iyonküresel (jeomanyetik) fırtınalara sebep olurlar (Karatay, 2010).

Genellikle yüzeyin yakınında fark edilen, güneşte öngörülemeyen muazzam bir enerji patlaması olarak tanımlanır. GP dakikalar veya saatler sürebilir. Patlamalar esnasında, ışınımların şiddetinin, GP yoğunluğuna bağlı olduğu, şiddetli ışınımların sekiz dakika içinde dünyaya ulaştığı ve uzun mesafeli radyo sinyallerini bozabilecek, hatta uyduların yörüngesini bozabileceği bilinmektedir. 1 ila 8 Å dalga boyu aralığındaki X ışınım şiddetine göre, GP üç kategoriye ayrılır: X sınıfı patlamalar, M sınıfı patlamalar ve C sınıfı patlamalar. X sınıfı patlamaların boyutu büyüktür, bunlar gezegen çapında radyo kesintilerini ve uzun süreli radyasyon fırtınalarını açığa çıkarabilecek büyük olaylardır. M sınıfı patlamalar orta büyüklüktedir, dünyanın kutup bölgelerini etkileyen kısa radyo kesintilerine neden olabilirler. C sınıfı patlamalar, yeryüzünde göze çarpan birkaç yansıma boyundadır (Roy, 2017).

Şekil 3.2'de 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen GP olayında ışınım seviyesinin zamana göre değişimi verilmiştir. 06 Eylül tarihli bu GP çok büyük bir patlamadır ve iyonküreyi çok büyük ölçüde etkilemiştir. X2.2 sınıflandırılmış ilk patlama GS 09:10'da zirveye ulaşmıştır. Son güneş döngüsündeki en yoğun patlama olan ikincisi X9.3, GS 12:02'de zirveye çıkmıştır. Şekil 3.8'de bu pikler açıkça görülmektedir (URL-3). Şekil 3.3'te de 06 Eylül 2017 meydana gelen patlamadan çok etkilenen istasyonlardan biri olan djig (39.69° N, 32.75° D) istasyonundan kestirilen GPS-TEC değerleri verilmiştir. Bu tarihte gerçekleşen büyük patlamanın iyonkürenin elektron yoğunluğunda meydana getirdiği bozulmalar, Şekil 3.3'te açıkça gözlenmektedir.



Şekil 3.2. 06 Eylül 2017 tarihindeki GP esnasında yayılan güneş ışınımlarının türü ve seviyesinin zamana göre değişimi (URL-3).



Şekil 3.3. 06 Eylül 2017 tarihindeki GP için djig istasyonundan kestirilen GPS-TEC değerleri (IONOLAB).

GP enerjisinin çoğu, optik aralığın dışındaki frekanslar aracılığıyla yayılmaktadır ve bu yüzden işaret fişeklerinin çoğunun sadece çıplak gözle bakılması yerine özel cihazlarla gözlenmesi gerekir. GP ilk gözlemi 1859 yılında varlığını gösteren ve

dünya ve auroraları üzerindeki elektriksel etkilerini gözlemleyen Richard Christopher Carrington tarafından yapıldı (Başak, 2013).

3.4. Sismik Hareketlilik Bozulmaları

Sismik hareketlilik veya deprem, belirli bir dönemde meydana gelen depremlerin tip, sıklığı ve büyüklüğü olarak bilinir. Son çalışmalar, sismik aktivite ile iyonkürenin durumu arasında bir ilişki olduğunu düşündürmektedir (Liu vd., 2004; Pulinets vd., 2007; Karatay vd., 2010). Bu varsayımlardan birinde, gözlenen yerel iyonküresel bozulmaların, yer kabuğunda ortaya çıkan elektrik akımı ve iyonküresel elektron içeriğinde değişikliklerden sorumlu olan büyük depremlerden önce, kaya oluşumları üzerinde artan stresle ilişkili olduğu yönündedir. Çalışmalar, iyonkürede depremle ilgili deprem başlangıcından günler önce meydana gelebilecek yerel anormalliklerin olduğunu göstermektedir. Sismik hareketliliğin, 11 Mart 2011 tarihinde Japonya'nın Tokoho bölgesinde meydana gelen 9 büyüklüğündeki depremden önce iyonküredeki bozulmaların arkasındaki neden olduğu görülmüştür. Bu depremden önceki günlerde, iyonküresel elektron içeriğinin, 8 Mart'a kadar arttığını ve aynı ayın 11'inde zirveye ulaştığı gözlenmiştir. İyonküresel elektron içeriğinin depremden sonraki dönemde de geleneksel seviyesine döndüğü gözlemlenmiştir (Akyol vd., 2013). Sismik hareketliliğin iyonküre üzerinde yarattığı bozulmaları tespit etmek için yapılan araştırmalarda, "TEİ Farkı (TEC Difference)" ve varyasyon analizi gibi istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Bu istatistiksel yöntemler, büyüklüğü 6 veya daha büyük olan depremlerin çoğuna uygulanmasına rağmen, veri setleri ve araştırılan süre hala çok sınırlıdır ve istatistiksel güvenilirlik analizi, deprem öncüllerinin olmaması nedeniyle, depremlerin iyonküresel parametrelerden tahmini zorlaştırmaktadır (Akyol vd., 2013).

3.5. Jeomanyetik Bozulma

Jeomanyetik Bozulma (JB)veya jeomanyetik fırtına, güneş ve dünya arasındaki etkileşimlerin en iyi bilinen sonuçlarından biridir. Jeomanyetik fırtınalar, dünyanın manyetik alanını en azından geçici olarak etkiler. Jeomanyetik fırtına, manyetosferin ana bozulmasıdır ve Jeomanyetik İndüklenen Akım'a (JİA) yol açar. 19. Yüzyılda

Richard Carrington tarafından bilimsel olarak gözlemlenen ilk jeomanyetik fırtına etkileri, güneş patlaması, beyaz ışık gözlemi ve ardından büyük jeomanyetik fırtına idi. Carrington gözleminin jeomanyetik fırtınaların güneş patlamasıyla ilişkili olduğunu gösteren ilk çalışma olduğunu belirtmek gerekir.

Jeomanyetik fırtınanın üç aşaması vardır ve bunlar başlangıç, ana ve toparlanma aşamalarıdır. Başlangıç aşaması, onlarca dakika içinde 20 ila 50 nT artan bozulma fırtınası süresi ile tanımlanır ayrıca Ani Fırtına Başlangıcı (AFB) olarak da adlandırılır. Tüm jeomanyetik fırtınaların bir başlangıç aşamasına sahip olmayabilir. Bozulma süresi ve bir jeomanyetik indis olan SYM-H'deki ani artışları da fırtınanın başlangıcından sonra takip edilemeyebilir. Ana faz, -50 nT'den daha az azalan bozulma fırtına süresi ile tanımlanır. Ana fazın süresi normalde 2 ila 8 saattir. İyileşme aşaması, bozulma süresi yaklaşık -50 ile -600 nT değerindeki bir fırtınanın en küçük değerinden tam değerine değiştiğinde tanımlanabilir (Cander ve Mihajlovic, 1998). Bir jeomanyetik fırtına sırasında F2 katmanının kararsız, parçalanmış ve tamamen yok olabileceğini belirtmek gerekir. JB, tüm dünya üzerinde jeomanyetik alan yoğunluğunun yaklaşık on ila yüz nT azaldığı yerde tanımlanabilir. Güneş rüzgârı - manyetosfer – iyonosfer bağlaşımında meydana gelen en büyük ölçekteki olay olarak kabul edilir. Güneş rüzgârı - manyetosfer bağlaşımının, Güney yönündeki Gezegenler-arası Manyetik Alana'a eşlik eden güneş rüzgârı bozulmaları ile sevileri artar. Jeomanyetik fırtınaların, hem radyo hem de radarın sistemleri kırpışımları, manyetik pusula ile navigasyon sistemlerindeki bozulmalar, güneş enerjili parçacık olayları ve çok düşük enlemlerdeki auroral olaylardan sorumlu olduğu düşünülmektedir.

JM'nin, manyetosferik yayılımdaki bir artışla birlikte geliştiğine inanılmaktadır. Fakat manyetik yayılımın aksine, güneş rüzgârı ile manyetosferik yayılım ve jeomanyetik bozulmalar arasındaki ilintinin bozulması, JM'nin artmasının bu elektrik alanıyla doygunluğa ulaşmadığını ortaya koymaktadır. Bu da, hem jeomanyetik alanın hem de manyetosferik yayılımın artmasının ideal olarak ilişkili olmadığını göstermektedir (URL-1).

İyonkürede ciddi bozulmalara, düzensizliklere ve karışıklıklara yol açan JM'nin ölçüsü, bir takım indislerle ifade edilir. Jeomanyetik İşleklik İndisleri adı verilen bu indisler, Yer'in manyetik alanındaki değişimleri tanımlar. Genel olarak şöyle sıralayabiliriz:

1. ***K-indisi***: 13 tane orta-enlem istasyonundan elde edilir. Yer'in manyetik alanının tüm dünya üzerinden elde edilen değerlerinin ortalamasıdır (URL-4). Yerel olan K-indisi, manyetik alandaki 3 saatlik düzensizliklerin ya da bozulmaların büyüklüğünü. Her bir istasyon için nT (1 nT=10-12 Tesla) cinsinden manyetik alan ve 0 ile 9 arasında değer alan K-indisi arasındaki logaritmik dönüşümdür. Her bir istasyon için farklılık gösterir (De Canck, 2007). *Kp-indisi* ise, 44° ile 60° arasındaki güney ya da kuzey enlemlerinde yer alan 12-13 istasyondan alınan 3 saatlik K-indisinin ağırlıklı ortalaması alınarak oluşturulan indistir (URL-4; De Canck, 2007). 0 ile 9 arasında değişen değerler alır.
2. ***a-indisi***: Yerel jeomanyetik hareketliliğin 3 saatlik bir *eşdeğer genlik* indisidir (URL-4). Her bir K değeri, eşdeğer 3 saatlik dizi olarak adlandırılan bir lineer ölçek olan a-indisine dönüştürülür. Yerel *A-indisi*, jeomanyetik hareketliliğin uzun süreli değişimlerini ifade eder (De Canck, 2007). Sekiz a-indisinin 3 saatlik ortalamasına eşit olan günlük jeomanyetik bir indistir. Dinamik indistir ve uç değere sahip değildir. A-indisi, 0-100 ve üstü değerlerle ifade edilir. *Ap-indisi* ise bir dizi özel istasyondan elde edilmiş A-indisi verilerinin ortalamasıdır (URL-4).
3. ***Dst-indisi (Disturbance storm time)***: Ekvatoral akım zincirindeki değişimleri tanımlayan bir indistir. Bu indis daha ziyade, ekvator bölgesindeki jeomanyetik fırtınaların yoğunluğunun derecesini gösterir. NanoTesla (nT)cinsinden ifade edilir ve biribirine yakın dört ekvatoral jeomanyetik gözlemevinde saatlik ölçülen Yer'in manyetik alanının yatay bileşen ortalama değerine eşittir. Dst, manyetik fırtına indisi olarak kullanılır çünkü düşük enlemlerde yüzey manyetik alanının şiddeti, jeomanyetik fırtınalar sırasında artan akım zincirinin enerjisi ile ters orantılıdır. Manyetik fırtınalar esnasında Dst ani bir fırtınaya karşılık gelen

ani bir yükselişi gösterir ve daha sonra halka akımı yoğunluğu arttıkça keskin bir şekilde azalır (Mosna vd.,2007).

4. ***Polar Zirve-indisi (PC-Polar Cap index)***: Kutup bölgelerinde iyonküredeki akımlardan kaynaklanan JM ölçmektedir. Bu indis, manyetoküresel alan çizgilerinin iletiminden kaynaklanan iyonküresel akım sistemini ölçmek için geliştirilmiştir. Güneş rüzgârlarıyla ilişkili olan PZ-indisi, güneş rüzgârlarından Yer'in manyetoküresine olan enerji girişini ölçmektedir. 1975 yılından beri elde edilmektedir (Letfus ve Apostolov 1982; Whitten, ve Poppoff, 1971). Kuzey Kutbu ve Güney Kutbu olmak üzere iki şekilde ölçülür. Kuzey Kutbu, Vostok, Antartika yakınlarında ve Güney Kutbu, Thule, Greenland yakınlarında iki istasyon ölçüm için kullanılır (Stauning, 2013).
5. ***AE-indisi (Auroral Elektrojet)***: 1966 yılında, Davis ve Sugiura tarafından auroral bölgedeki küresel elektrojet aktivitesinin bir ölçüsü olarak ifade edildi. Bu indis, kuzey yarıkürede 61°-70° enlemleri arasındaki 12 gözlemevinden alınan manyetik alanın yatay bileşenlerinden elde edilir. Gözlenen üst değer *AU indisi*, alt değer de *AL* indisi olarak tanımlanır ve AU eksi AL arasındaki fark AE-indisini verir (Davis ve Sugiura, 1966).
6. ***Güneş Akısı-İndisi (Sun Flux Index-SFI)***: 10.7 cm dalga boyunda (2800 MHz) bant üzerindeki ışıma miktarını ifade eden indistir. Güneş Akısı, güneş hareketliliğinin seviyesini gösteren, en yaygın kullanılan indistir. Bu indis Penticton, Kanada gözlemevinde ölçülmektedir ve UV ve X-ışınlarıyla çok yakından ilişkilidir. Yüksek güneş akısında iyonküre güçlenir, yüksek frekansların kırılmasına olanak sağlar. Güneş akısı görgül olarak *Güneş Lekeleri Sayısı* (GLS) ile de ilişkilidir. Birimi sfu olarak tanımlanır ve sfu=10-22 Wm^{-1} Hz^{-1}'dir (URL-4). Güneş akısı değerleri 50 ile 300 arasında değişir. Düşük değerler, koşulların iletişim için iyi olmadığını, özellikle kullanılabilecek frekansın çok düşük ve HF aralığında olduğunu gösterir. Yüksek değerler iyonlaşmanın, normalden daha yüksek frekanslara izin verdiğini ve uzun mesafe iletişimi için çok iyi seviyede olduğunu gösterir (Cliver vd., 2013).

3.6. Jeomanyetik Bozulmaların İletişim Ve Navigasyon Sistemlerine Etkileri

İletişim sistemleri, radyo sinyallerini uzun bir mesafeden yansıtabilmek için iyonküreyi kullanır. Dolayısıyla bu fırtınalar, tüm enlemlerde radyo iletişimini etkileyebilir çünkü beklenmedik yayılma yollarına ve hızla dalgalanan sinyallere neden olurlar. Ticari radyo istasyonları, güneş hareketliliğinden, karadan havaya, gemiden kıyıya, kısa dalga yayını ve amatör radyodan (çoğunlukla 30 MHz'nin altındaki bantlardan) sık sık kesintiye uğramakta daha az etkilenmektedir. İletişim devresini çalışır durumda tutmak için telsiz operatörü güneş ve jeomanyetik uyarılara bağlı YF bantlarını kullanır.

Yerküresel Konumlandırma Sistemi (YKS), yayılma sinyalini bozduğu için güneş hareketliliğinden olumsuz etkilenen sistemlerden biridir. Güneş hareketliliği, iyonkürenin parçacık kompozisyonunda ani değişikliklere neden olduğunda YKS etkilenir. Ancak YKS sinyallerinin kırpışımına yol açan fakat YKS alıcılarının kafa karıştırıcı sinyallere rağmen işlemlerine devam etmelerini sağlayan Alıcı Özerk Bütünlük İzleme (AÖBİ) adı verilen bir teknoloji vardır. YKS kümelerinin çoğunluğuna bağlı olan AÖBİ, YKS kümelerinin çoğunluğu jeomanyetik fırtına gibi küresel etkilerden rahatsız olduğunda daha az faydalı olmaktadır. Bu durumda tam doygunluk kaybının tespit edilmesiyle, AÖBİ yararlı ve güvenilir bir sinyal sağlayamayabilir (Tuna, 2014).

4. YERKÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ VE İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ

İyonküresel sondaj, uzamsal ve zamansal örnekleme açısından Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) tarafından kuantum sıçraması yapılmadan evvel çok sınırlı imkânlara sahipti. İyonosondaların sayısı sınırlıdır ve alt tabakaların varlığında elektron yoğunluğu profiline doğrudan ilişkili ölçümler sağlar. İyonkürenin YKS sinyallerine olan etkilerini anlamak için YKS'nin ne olduğunu ve nasıl çalıştığını anlamak mecburiyetindeyiz. Bir sonraki bölümde YKS ve yapısı anlatılacaktır.

4.1. Yerküresel Konumlama Sistemi

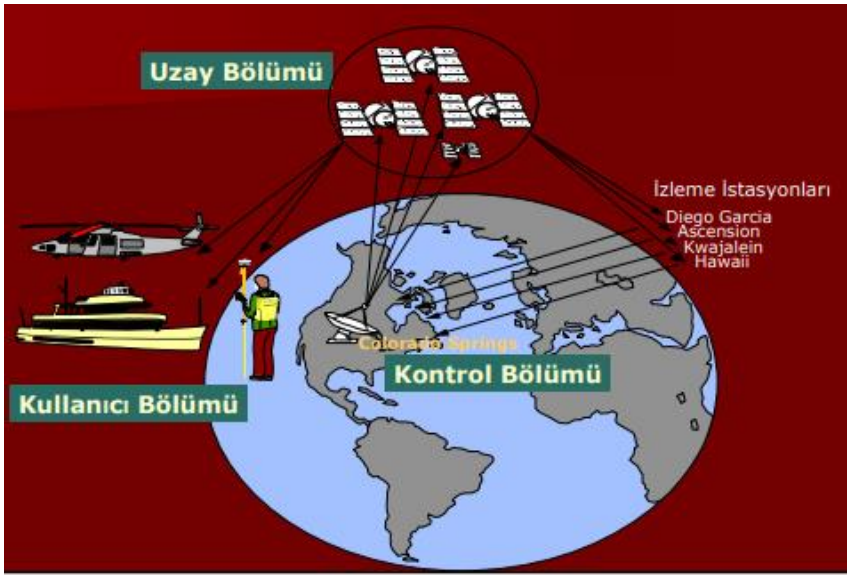
Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), hem sinyalin hem de performansın küresel kullanılabilirliği nedeniyle en çok kullanılan küresel uydu konumlandırma sistemlerinden biridir. Amerikan Savunma Bakanlığı'nın denetiminde ve kontrolünde olup askeri veya sivil amaçlı olarak kullanılmaktadır. Hem Amerikan Hava Kuvvetleri hem de Deniz Kuvvetleri, yüksek frekanslı radyo vericilerinin, uyduları kullanarak uzamsal olarak yerleştirilmelerinden sorumludurlar. İlk olarak, yüksek frekanslı radyo vericisine bütünleşmiş olan GPS uydusu Blok I'i geliştirdiler. I. Blok projesi 1978 yılında başlatıldı ve ardından 1988 yılının sonunda toplam on yörünge uydusu için dokuz adet I Blok daha geliştirildi. Blok I uydularının Savunma departmanı ile yapılan sözleşmesine göre geliştirilmesine rağmen, kesinlikle sadece ulusal savunma için kullanılmıştır. Sürekli artan sivil talep yüzünden, YKS, 1984'te sivil kullanıma sunuldu. Blok I uydularının hızla büyüyen taleple başa çıkamaması, düşük maliyetli YKS alıcısının üretilmesine yol açtı. Daha sonra 4 yeni YKS Blok II uydusu geliştirildi ve piyasaya sürüldü ve hala askeri ve sivil seviyelerde uygulamada kullanılmaktadır (El-Rabbany, 2002).

YKS, 24 uydudan oluşmaktadır ve bu uyduların hepsi, gezegenin yüzeyinin 10.600 mil yüksekliğine yerleştirilen üç uydu hariç, aktiftir (El-Rabbany, 2002). Uzay Segmenti, Kontrol Segmenti ve Kullanıcı Segmenti olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Uzay Segmenti yaklaşık 20.200 km yükseklikte bulunan 24 aktif uyduyu kapsamaktadır. Bazı eski uydularının yerine yenilerinin gönderilmesi nedeniyle bu

sayı değişebilmektedir. Her bir uydu dünya üzerindeki turunu 12 saatte tamamlamaktadır. Dünyanın kendi ekseni etrafındaki hareketinden dolayı her bir uydu dünya üzerindeki belirli bir noktadan 24 saat içinde iki kez geçmektedir. İlk uydu 1978 yılında yörüngeye oturtulmuş olup 24 aktif uyduya ulaşılması 1994 yılında gerçekleşmiştir. YKS uyduları güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Güneş enerjisini kullanamadığı durumlarda faaliyetlerinin devamı için uydular üzerinde yedek piller bulunmaktadır. Her bir uydunun ömrü yaklaşık 10 yıldır (Nayir, 2007).

Kontrol Segmenti YKS uydularını izler, uydular için gerekli olan zaman ve yörünge düzeltme bilgilerini sağlar. YKS Kontrol Segmenti beş yer istasyonundan oluşmaktadır. Ana kontrol merkezi Colorado'da bulunan Falcon Hava Kuvvetleri Üssüdür. Burada YKS uydularından alınan işaretlerin seviyelerine göre yörünge verileri hesaplanır, yörünge ve zaman düzeltme bilgileri uydulara gönderilir (Nayir, 2007). Herhangi bir zamanda, dünyanın herhangi bir yerinde bulunan bir kullanıcının konumunu belirleyen ve en az 4 uydudan kod-faz varış zamanının ölçülmesi esasına dayanan bir uydu ölçme sistemidir. Uyduların yörünge hareketi 12 saat sürer. Ufuk çizgisi üzerinde erişilebilen maksimum uydu sayısı günün saati ve konuma bağlı olarak 8–12 arasında değişir. 3 boyutlu pozisyon elde edebilmek için en az 4 adet uydudan yayınlanan sinyalin işlenmesi gerekir. Normal şartlarda yani çevrede YKS sinyallerini engelleyecek fiziksel engel yok ise en az 6–8 arası sayıda uydu ile iletişim kurulur (Karatay, 2010).

Kullanıcı Segmenti, sivil ve askeri kullanıcıları ifade eder. Sinyalleri algılamaya yarayan bir detektör ve sinyali işlemeye yarayan bir işlemci içerir. Sinyalin gücü, bir ampulün harcadığı gücün katrilyonda birinden daha azdır. Şekil 4.1’de Uzay Segmenti, Kontrol Segmenti ve Kullanıcı Segmenti diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. YKS Segment diyagramı (URL-6).

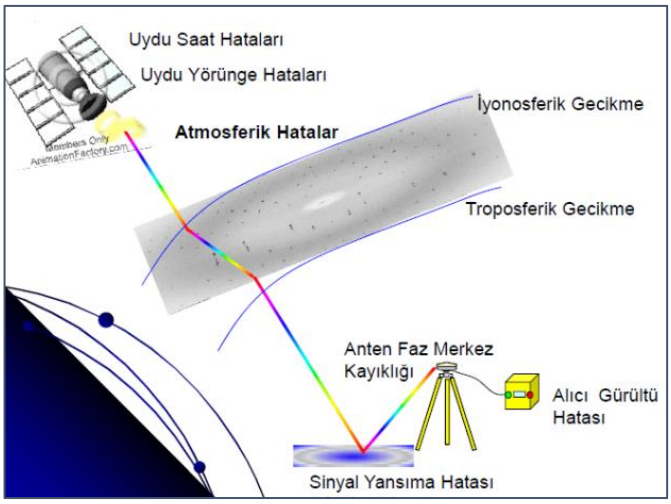
YKS uyduları dünya üzerindeki yörüngelerinde, dünyayı bir günde iki kez dolaşacak şekilde dönerler. Bu uydular dünyaya sürekli sinyal gönderirler. Bu sinyaller YKS alıcıları tarafından algılanır. Böylece YKS kullanıcısının dünya üzerindeki konumu belirlenir. YKS alıcısı, uydunun yayınladığı sinyalin ne kadar sürede kendisine ulaştığını hesaplayarak aradaki mesafeyi belirler. Sinyalin yayınlanması ve algılanması arasında geçen süre ile YKS kullanıcısının uyduya olan uzaklığı belirlenir. 2 boyutta pozisyonu belirlemek ve izlenen rotayı takip etmek için en az üç uydudan gelen sinyallerin YKS tarafından algılanması gerekir. 3 boyutta konum belirlemek için (enlem, boylam ve yükseklik) YKS alıcının dört veya daha fazla uydunun sinyalini alması gerekir (URL-6; Seeber, 2003).

Uyduların her biri, L1 ve L2 olmak üzere iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Sivil YKS alıcıları L1 frekansını (UHF bandında 1575.42 Mhz), ABD Savunma bölümü alıcıları L2 (1227.60 Mhz) frekansını dinlemektedirler. Bu sinyal *Görüş Hattında* (Line of Sight) ilerler. Yani bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez. YKS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Yeraltına kazılan tünellerde ise sinyal elde edilemez. Hatalı sinyallerin elde edilebileceği ya da hiç sinyal elde edilemeyen bölgelerde kullanılmak üzere geliştirilen Diferansiyel YKS'ler tarafından bu hatalar en aza indirilerek daha hassas bir yer ölçümü yapılabilir. Daha rahat anlaşılması için, bildiğimiz radyo istasyonu

sinyalleri ile L1 frekansını kıyaslamak istersek; FM radyo istasyonları 88 ile 108 Mhz arasında yayın yaparlar, L1 ise 1575.42 Mhz'i kullanır. Ayrıca YKS'in uydu sinyalleri çok düşük güçtedirler. FM radyo sinyalleri 100.000 Watt gücünde iken L1 sinyali 20-50 Watt arasındadır. Bu yüzden YKS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir (URL-5).

Her uydu yerdeki alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel şifrelenmiş rastgele kod (pseudo-random) yayınlar. Bunlar Korumalı (Protected P code) kod ve Coarse/Acquisition (C/A code) kodudur. P kodu karıştırılarak sivil izinsiz kullanımı engellenir, bu olaya *Anti-Spoofing* adı verilir. P koduna verilen başka bir isimde P(Y) ya da sadece Y kodudur. Bu sinyallerin ana amacı yerdeki alıcının, sinyalin geliş süresini ölçerek, uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile hızının çarpımına eşittir. Sinyallerin kabul edilen hızı ışık hızıdır. Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve iyonküresel gecikme bilgisini içerir. Uydu sinyalleri çok güvenilir atom saatleri kullanılarak zamanlanır. Yer'in yüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığındaki tabakayı Troposfer, buradan itibaren yaklaşık 950 km kalınlığındaki tabakayı ise iyonküre olarak kabul ediyoruz. Uydu sinyalleri alıcıya ulaşıncaya kadar bu tabakalarda bir yol izlemektedir (URL-5). Bu tabakalarda karşılaştığı dirençten dolayı bir gecikmeye uğrar.

İyonküre saçıcıdır (dispersif). İyonkürenin YKS sinyallerine olan gecikme etkisi elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonküre boyunca seyahat eden bir elektromanyetik sinyal iki biçimde etkilenir. Faz hızı artarken grup hızı yavaşlar. Her iki etki de büyüklük olarak aynı fakat ters işaretlidir. Diğer bir deyişle YKS kod ölçmeleri gecikir, fakat taşıyıcı faz ölçmeleri ise hızlanır. Bu yüzden uydu ile alıcı arasındaki geometrik uzunluğa kıyasla kod sözde menzil (pseudoranges) daha uzun, taşıyıcı faz sözde menzil daha kısa ölçülür. Her ikisinde de boyut aynıdır. İki frekansta yapılan gözlemleri birleştirme, iyonoküresel etkileri gidermede en kolay ve doğruluğu en yüksek yöntemdir. Zaten YKS'de iki tane taşıyıcı dalga yerleştirilmiş olmasının ana nedeni de bu çift-frekans yöntemi kullanımına olanak tanımaktır (URL-8). Şekil 4.2'de, YKS sinyallerinin gecikmesine etki eden hata kaynakları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. YKS ölçümlerine etki eden hata kaynakları (URL-5).

İyonküresel gecikmenin, sinyalin yayılma hızının değişmesi ve frekansa bağımlılık gibi sonuçları olabilir. İyonkürenin elektromanyetik dalgaların yayılmasındaki etkisi Toplam Elektron İçeriği (TEİ) ile ifade edilmektedir. Bir sonraki bölümde TEİ, Eğik TEİ (ETEİ) ve Dik TEİ (DTEİ) anlatılacaktır.

4.2. Toplam Elektron İçeriği

Toplam Elektron İçeriği (TEİ), bir işaret yolu boyunca hesaplanan toplam elektron miktarı olarak ifade edilir:

$$TE\dot{I} = \int_A^U N_e(l)dl \tag{4.1}$$

Burada, U, YKS uydusunu; A, YKS alıcısını; N_e, metreküpteki veya santimetreküpteki elektron yoğunluğunu ifade etmektedir. TEİ'nin birimi TECU' dır ve 1 TECU=10^{16} el/m^2 veya 10^{12} el/cm^2'dir (Kersly, 2004). TEİ kestirimi için yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler bulunmaktadır. Yer tabanlı teknikler arasında İyonosonda, Geri Saçlım Radarı ve Evreuyumsuz Geri Saçılım Radarı sayılabilir. Bu tekniklerin ortak özelliği iyonküreye radyo dalgaları gönderilerek incelemeler yapılmasıdır. İyonküredeki TEİ incelemeleri için uydu sistemlerinden bazıları Yerküresel Konumlama Sistemi-YKS (Global Positioning System, GPS), GLONASS ve TOPEX/Poseidon sistemleridir (Karatay, 2010).

İyonkürenin grup gecikme ifadesi Eşitlik (4.2) ile tanımlanabilir (Karatay, 2010):

$$\Delta t = \frac{40.3}{cf^2} TE\dot{I} \tag{4.2}$$

Burada 40.3 sabitinin birimi m^3/s^2 dir (Hawarey ve Ayan, 2004; Schuh, Hobiger ve Boehm, 2002). Eşitlik (4.2)'de c ışık hızı, f sinyalin frekansıdır. YKS'nin L1 ve L2 iki taşıyıcı frekansı Eşitlik (4.3)'teki gibi tanımlanabilir (Hawarey ve Ayan, 2004):

$$\begin{matrix} \rho 1 = \frac{40.3}{cf_1^2} TE\dot{I} \\ \rho 2 = \frac{40.3}{cf_2^2} TE\dot{I} \end{matrix} \tag{4.3}$$

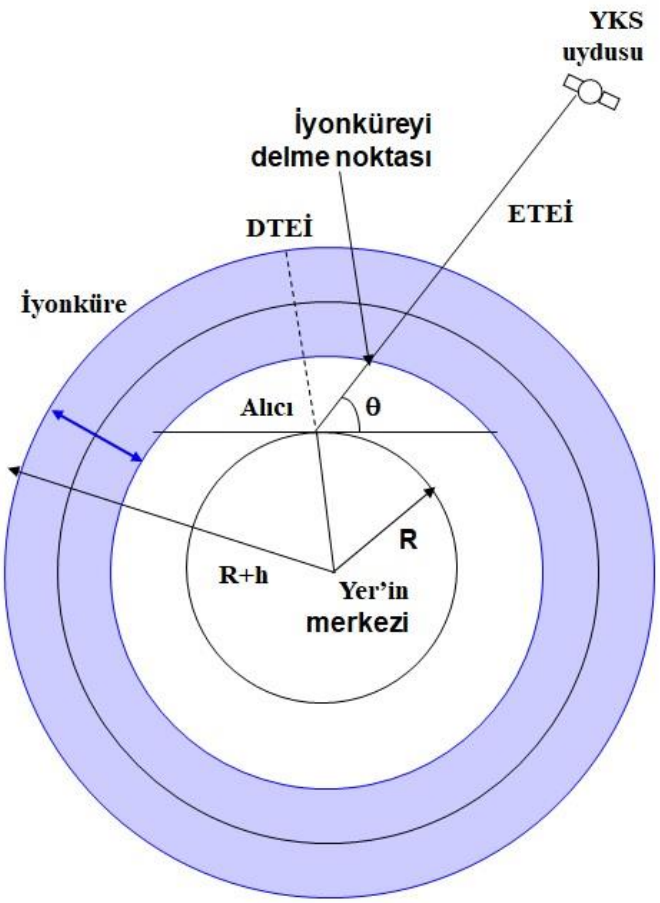
Eşitlik (4.3)'ten de anlaşılacağı gibi gecikme, elektron sayısıyla doğru orantılı, sinyal frekansı ile ters orantılıdır. Burada, elektromanyetik dalganın hızı GHz bandındaki bir bağımlı frekanstır. Bu durum da, uydu-alıcı, görüş hattı boyunca TEİ kestirmeyi sağlar (Naaman vd., 2001). Buna göre TEİ:

$$TE\dot{I} = \frac{\Delta \rho . c}{40.3} \frac{f_1^2 . f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \tag{4.4}$$

Burada f_1, L1 dalgasının frekansı; f_2, L2 dalgasının frekansıdır (Hawarey ve Ayan, 2004; Naaman vd., 2001).

TEİ, yerel zamana, coğrafik konuma, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğe ve mevsimlere bağlı değişim gösteren bir parametredir. Alıcılar ile uydular arasındaki radyo sinyal yayılımı üzerindeki iyonküre etkisinin doğru hesaplanmasında ana parametrelerden biri olarak kabul edilir. TEİ, sayısız iletişim bağlantısının, gözetleme ve navigasyon sisteminin kalitesinin sınırlarının çizilmesinde etkili bir parametredir (Reznychenko, 2016).

TEİ, *Eğik Toplam Elektron İçeriği-ETEİ* (STEC-Slant Total Electron Content) ve *Dik Toplam Elektron İçeriği-DTEİ* (VTEC-Vertical Total Electron Content) olmak üzere iki şekilde ifade edilir. ETEİ, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan toplam serbest elektron miktarı, DTEİ ise alıcıya göre yerel zenit doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarıdır (Nayir, 2007). Şekil 4.3, ETEİ ve DTEİ arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.3. ETEİ ve DTEİ'nin Yer'e göre geometrisi.

Yaygın olarak kullanılan YKS, sözde menzil ve çift frekans Yer tabanlı alıcıların faz gecikme kayıtlarını kullanarak, ETEİ hesaplamak için uygun maliyetli olanaklar sunar (Komjathy, 1997). ETEİ, hem iyonküredel tomografi kullanarak iyonkürenin alt yapısını anlamak için iyonküre fiziğinde, hem de iyonküresel gecikmeye göre hata düzeltmelerinin yerini belirlemede çok yağın kullanılmaktadır (Tuna, 2014).

DTEİ, çift frekanslı yükseklik ölçerli tüm uyduların yolu boyunca sağlanmaktadır. DTEİ, alıcı konumlarının ve uydunun ETEİ işlevine değil, yalnızca zamana ve coğrafi konuma bağlıdır. DTEİ, sinyal yolu boyunca 1 m^2'lik bir kesit alanına sahip dikey bir sütunda bulunan elektronların toplam sayısı olarak tanımlanır. Şekil 4.3 göz önüne alınarak $O(\theta)$ yatıklık faktörüne bağlı ETEİ ve DTEİ arasındaki ilişki, Eşitlik (4.5) ile ifade edilir (Suparta, 2017; Eftaxiadis vd., 1999):

$$ETE\dot{I} = DTE\dot{I}.O(\theta) \tag{4.5}$$

Basit trigonometrik tanımlamayla yatıklık faktörü

$$O(\theta) = 1/cos\left[arcsin\frac{R\cos(\theta)}{R+h}\right] \tag{4.7}$$

şeklinde yazılır. Burada h, etkili (geçerli) iyonküresel yükseklikdir (Eftaxiadis vd., 1999).

TEİ haritaları, yerel istasyonlardan toplanan YKS gözlemlerinin haritalandırılmasıyla Gerçek-Zamanlı (RT-Real Time) olarak üretilir. Bu gerçek-zamanlı TEİ haritaları, radyo seyir sistemlerinde doğru iyonküresel ölçümler alabilmeyi sağlar.

5. LİTERATÜR TARAMASI

İyonküre, yapısında uzamsal ve zamansal değişimlere neden olan jeomanyetik, yerçekimi, güneş ve sismik hareketlilikleri içeren sürekli kuvvetlerin etkisi altındaki önemli bir atmosfer tabakasıdır. Bu değişimler, en yaygın olarak iyonkürenin Toplam Elektron İçeriği ile ölçülebilir. Türkiye, orta enlem iyonküresinin tanımlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. İyonosfer Araştırma Laboratuvarı, IONOLAB (URL-11), Türkiye üzerindeki iyonküreyi tanımlamak ve modellemek için Harita Genel Komutanlığı'nın Türkiye üzerinde konumlandırmış 147 Türkiye Ulusal GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) YKS istasyonunu, TUBİTAK tarafından desteklenmiş ulusal projeler çerçevesinde kullanmıştır. TUSAGA-Aktif ağında bulunan istasyonlar 2009 yılından sonra işlevsel hale gelmiştir. Günümüzde IONOLAB grubu TÜBİTAK projeleri ile uzay-zaman enterpolasyonu ve TEİ' nin otomatik haritalanması için yeni ve kullanışlı teknikler geliştirmektedirler. Jeodezik sistemlere göre, iyonküresel gecikmenin düzeltmesi için bölgesel-stokastik modeller geliştirmek ve iletişim yolları karakterizasyonu için bilimsel bir temel oluşturmak, büyük önem taşımaktadır. IONOLAB grubu bu anlamda da, uzay havasını gözlemlemek ve TUSAGA-Aktif ağını kullanarak iyonküre ile ilgili jeodezik konumlandırma hatalarını düzeltmek için çalışmalar yürütmektedir. Ayrıca, IONOLAB grubu tarafından, TEİ kullanılarak deprem alanında niteliksel öncü bir çalışmaya yol açacak bir deprem alarm sinyali modeli geliştirmek için de ciddi bir girişim vardır.

Ding vd. (2007), 2003 yılı Ekim ayı sonunda meydana gelen büyük ölçekli jeomanyetik fırtınaları gözlemleyerek büyük ölçekli iyonküresel bozulmaları araştırmışlardır. Amerika üzerinden kestirilen TEİ'den elde edilen iki boyutlu haritaları hem Amerikan YKS şebekesinden hem de Uluslararası GNSS servisinden alınan TEİ verileri kullanarak oluşturmuşlardır. BÖKİB'lerin faz cephelerinin Amerika'yı geçtiğini ve güneybatıdan iki saatten kısa bir sürede ~2000 mesafesine ve ~4000 km maksimum ön genişliğe ulaştığını ortaya koydular. Bu çalışmada, çapraz spektral analiziyle, büyük jeomanyetik fırtınalar sırasında BÖKİB'lerin dünyaya yayılma özellikleri incelemişlerdir. Amerika, Avrupa ve Asya'nın her

yerinde fark edilen bu tropikal BÖKİB'lerin, auroral alt fırtınalar ile güçlü bir bağlantısın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Wang vd. (2007), Ekim 2003'de meydana gelen fırtınalar sırasında dünya çapındaki YKS ağını kullanarak KİB görüntülemişleridir. Görüntüleme için Asya-Avustralya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da konumlandırılmış YKS ağlarından elde edilen TEİ verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada, GNSS (Global Navigation Satellite System) servisindeki 900'den fazla YKS istasyonundan en kapsamlı TEİ verileri grubu toplanmış ve KİB parametrelerini elde etmek için polinom uydurma ve çok kanallı maksimum entropi spektral analizini karıştırabilecek bir mekanizma sunulmuştur. Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir: Hem BÖKİB hem de OÖKİB, beklenmedik manyetik fırtınalardan sonra yukarıda bahsettiğimiz her üç sektörde de tespit edildi ve karakteristiklerinin boylamsal ve enlemsel bağımlılıkları sunuldu. KİB süresinin yüksek enlemlerde en fazla on altı saat ve bu sürenin orta enlemlerde daha uzun olduğu görüldü. BÖKİB için TEİ genişliğinin Amerika'da, diğer iki bölgeden daha büyük olduğu fark edildi. Alt enlemlerde, iyonkürenin tedirginliklerinin daha karmaşık ve genişlikleri ve periyotlarının nispeten daha büyük ve uzun olduğu gözlendi. Bahsedilen üç bölgenin KİB süreleri ve faz hızları farklıdır. Ekvatora yakın bölgelerde, Coriolis kuvvetinin etkisini gösteren 210 derecede azimut çarpıklıkların yayıldığı tespit edildi: Güney Yarımkürede BÖGİB, kuzeybatı yönünde mevzilenmiştir. BÖKİB, ekvatoral enlemlerin hem güneybatı hem de kuzeybatısına yerleşmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada, BÖKİB dalga yayılımı söz konusu olduğunda ve yayılma yönü kutuplardaki manyetik hareketlilik ile ilişkili olduğu zaman Coriolis etkisinin göz ardı edilemeyeceğini açıkladı.

Tsugawa vd. (2007), BÖKİB gece ve gündüz saatlerini tespit etmek için Amerika üzerinden GPS alıcı ağından kapsamlı TEİ haritaları kullandılar. TEİ haritaları, 60–

130° B ve 24–54° K koordinatlarından elde edildi. Bu çalışmada ilk kez TEİ haritaları, Amerika üzerinden güneybatıya doğru 200-500 km dalga boyunda ve ~2000 km'den uzun dalga cepheleri olan, gece saatlerinde ortaya çıkan OÖKİB tespit edildi. Ayrıca, OÖGİB'in öğle saatlerinden akşama saatlerine kadar, kadar güneye doğru ilerlediği ve 300-1000 km dalga boyuna sahip olduğu tespit edildi.

Afraimovich vd. (2010) çalışmasında, 12 Mayıs 2008'de Wenchuan, Çin'de meydana gelen depreme en yakın istasyonlardan sağlanan YKS-TEİ verisini kullandılar. Sichuan Havzası'nın kuzeybatı sınırındaki kuzeydoğu itme fayındaki hareket nedeniyle GS 06:28de meydana gelen bu depremin büyüklüğü 7.8'dir. Merkez üssü güney-doğu yönünde olan, yaklaşık 200 s yarı düzlemli bir dalga biçimine sahip yoğunlaştırılmış N-şekilli şok-akustik dalgasının, merkez üssünden yaklaşık 1000 km hızla 580 m s^{-1} ile ilerlediği bulunmuştur. Bu çalışmada, TEİ'nin bu depreme verdiği tepkilerin, depremin jeodinamiği sebebiyle zorlanmış tepki olduğunu kestirdiler. Çalışmada, Wenchuan depreminde TEİ tepkileri, diğer şiddetli depremlerle karşılaştırıldı ve Japonya ve hem de Güney Kore'nin uzak alan bölgelerinde meydana gelen depremlerde dikkate değer TEİ tepkisinin olmadığı gözlendi.

Federenco vd. (2013) çalışmasında, güneş hareketliliğiyle KİB oluşumu arasındaki ilişki incelenmiştir. Çok ölçekli bir yarı deneysel modelin geliştirildiği bu çalışma, şu varsayımlara dayandırılmıştır: 1) KİB, Akustik Yerçekimi Dalgaları (AGW-Acoustik Gravity Waves') tarafından üretilir ve basınç dalgaları olarak çoğalırlar. 2) Bir bozulma kaynağındaki atmosferik basınç titreşimlerinin birbirine çok yakın uç noktaları (maksimum ve minimum noktalar) arasındaki zaman aralıkları sabittir. 3) Basınç uç noktaları, kaynağı sabit bir yatay hızla 14 000 km'ye kadar yayılır. 4) Her bir uç değerin hızı, sadece bir KİB eğitimindeki sayısı ile belirlenir. Bu çalışmada geliştirilen model, yaklaşık 20 yüzey ve yüksek irtifa nükleer patlaması, iki volkan patlaması, bir deprem ve enerjik protonun kuzey yarımkürenin manyetosferik uçlarında meydana gelen olaylara ilişkin literatürde kullanılan veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Literatür verileri kullanılarak yapılan testler, KİB uzamsal ve zamansal sürelerin %12 doğrulukla tahmin edilebildiğini göstermiştir. Modelin yeterliliği, transferik sondaj kullanılarak elde edilen gözlemlerde de kanıtlanmıştır. Uyarma kaynağı ile AGW arasındaki boşluk arttıkça, genlik, yatay uzamsal periyotlar ve dikey düzlemde bir KİB ön eğim açısı gibi bazı parametrelerin de arttığı gözlenmiştir. KİB oluşumunun, 1987'de % 50'den 2010'da % 98'e arttığı tespit edilmiştir. KİB oluşumunun GLS'ye bağlı olmadığını fakat jeomanyetik hareketlilikle ilintili olduğu saptanmıştır. KİB oluşumunun, güneş hareketliliğin arttığı 1987'den 2010'a kadar geçen süre içinde iki katına çıktığı gözlenmiştir. Bu

çalışmada, uzamsal yatay dönemlerin dinamikleri 150-35000 km aralığında incelenmiştir.

Efendi ve Arikan (2017) çalışmasının amacı, DROT (Diferansiyel TEİ Oranı) adı verilen gelişmiş bir yöntem kullanılarak iyonkürede meydana gelen bozulmaları ETEİ üzerinden otomatik olarak tespit etmektedir. DROT, yeni ve hızlı bir algoritmadır ve literatürde yaygın kullanılan TEİ Oranı (ROT-Rate Of TEC) yöntemine dayanmaktadır. Çalışmada, DROT oranına göre iyonkürenin bozulma yüzdesi, ETEİ üzerine değişen genlik, frekans ve süresi olan sentetik veriler eklenmesiyle tespit edilmiştir. Sonuç olarak, DROT yönteminin üç sınıftaki bozulmaları tespit edebildiği fark edildi: DROT değeri %50'den az olduğunda, ETEİ verilerindeki önemli ölçüde bir bozulma olmamaktadır. DROT, %50 ile %70 arasında ise OÖKİB gözlenebilmektedir. Eğer DROT, %70'den büyük ise BÖKİB gibi güçlü bozulmalar gözlenebilmektedir. DROT yöntemi bu çalışmada, dal benzeri salınımların frekansına oldukça duyarlı olarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan DROT yöntemiyle, genliği 1.01 TECU kadar olan bir bozulma için, 20 dakikaya eşit veya daha uzun süreleri olan ve 1.095 mHz'den daha yüksek frekanslara sahip olan bozulmalar, DROT'un %50 değeri ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir. DROT yöntemi, bozulmalı günler için orta enlemlerden elde edilen ETEİ verilerine uygulandığında, GPS istasyonundan alınan veriler on beş dakikalık aralıklarla yeniden yüklenmesine rağmen, DROT'un gerçek zamanlı olarak bozulmayı algılayabildiği fark edildi.

Arıkan ve Yarici (2017), dalga benzeri salınımların TEİ üzerinde yarattığı bozulmaların frekans ve süresinin tespiti için Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) algoritması kullanmışlardır. HFD'yi ETEİ verilerine uygulamışlardır. Bu çalışmada HFD, değişen frekanslara ve sürelere sahip sentetik salınımlar kullanılarak geliştirilmiştir. Daha sonra BÖKİB ve OÖKİB'in frekans ve sürelerinin tespiti için, HFD, bazı orta enlem YKS istasyonlarından alınan ETEİ verilerine uygulanmıştır. HFD'nin şu durumlarda %80'den fazla hassasiyetle KİB'i tahmin edebileceği gözlenmiştir: 0.6 mHz'den 2.4 mHz'e kadar olan frekanslar ve 10 dakikadan uzun süreler; 0.15 mHz ila 0.6 mHz arasındaki frekanslar ve 50 dakikadan uzun süreler; 0.29 mHz'den yüksek frekanslar ve 50 dakikadan uzun süreler.

Koroglu ve Arikan (2019), çalışmasının amacı, Türkiye üzerindeki iyonkürede gözlenen aykırılıkların ve bunların yönsemesini tespit etmektir. Bu amaçla, ETEİ verilerinin uzamsal ve zamansal değişkenliği analizi yapılmıştır. Bu çalışmada da, Efendi ve Arikan (2017) çalışmasında geliştirilen DROT yöntemi, ETEİ verilerine uygulanmıştır. Çalışmada GPS uydu yörüngeleri kuzey, doğu, batı olmak üzere dört yönle ayrılmıştır. Bir günlük (24 saat) zaman dilimi de dört ayrı zaman dilimine bölünmüştür. Her bir DROT kategorisinin yüzdesi ve ETEİ yönsemesinden sapmalar hesaplanmış; 2010 (düşük güneş hareketliliği), 2011 ve 2012 (orta güneş hareketliliği) dönemleri için için uydu yolu yönleri ve zaman aralıkları olarak gruplandırılmıştır. En yüksek bozulma seviyesi kuzey ve batı yönlerinde, gündoğumu ve gün batımı saatlerinde görülmüştür. Baskın yüzde oranlarının, günlük (22-25 saat), yarı-dönem (12-13 saat) ve üç günlük (8-9 saat) ve bunu takiben iki günlük yarı ve yarı 16 günlük periyotlara sahip olduğu bulunmuştur. %50 <DROT < %70 ‘e karşılık gelen bozulmalar genellikle 1 ila 2 TECU büyüklüğünde düşük güneş hareketliliğinde ortaya çıktığı saptanmıştır. DROT >%70 değerlerin büyük ölçekli bozulmalara ortaya çıktığı ve 2012 yılında büyüklük bozulmaların genliğinin 5 TECU’ya kadar ulaşabildiği gözlenmiştir.

6. TEİ'NİN DİFERANSİYEL ORANI (DROT) YÖNTEMİ

Literatürde zamansal değişkenliği ölçmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi TEİ'nin Oranı (ROT) yöntemidir. Tipik olarak, ROT, 1 dakika boyunca faz seviyeli TEİ'nin zaman türevine karşılık gelir ve birimi TECU / dak olarak verilir (Basua vd., 1999; Krankowski vd., 2006; Cherniak vd., 2014). ROT'un standart sapması olan TEİ Endeksi (ROTI) oranı da TEİ düzensizlik oranını belirtmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. ROT, belirli bir zaman aralığı için elde edilmiş TEİ'nin düzgelenmiş (normalize edilmiş) türevi olarak tanımlanabilir (Efendi ve Arikan, 2017).

Bu çalışmada, iyonküre bozulmalarının otomatik ve neredeyse gerçek zamanlı olarak yüksek doğrulukla tespit etmek için TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT) adlı yöntem kullanılmıştır. DROT yöntemi daha önce Efendi ve Arikan (2017) çalışmasında YKS-ETEİ verileri üzerinden iyonküresel bozulmaların tespiti için geliştirilmiştir. Yöntem daha sonra, Koroglu ve Arikan (2019) çalışmasında, Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen bozulmaların YKS-ETEİ üzerinden tespiti için kullanılmıştır. Bu çalışmada, DROT yöntemi, IONOLAB-TEC olarak kestirilen YKS-TEİ verilerine uygulanacaktır.

DROT, TEİ'nin ROT'una dayanmaktadır. Çoğu jeofizik sinyal gibi, STEC verilerinin ROT değeri, güçlü bir yönseme bileşeni içerir. DROT, ROT ve yönsemesi ile ROT'un metrik normu arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Yani DROT, ROT'un yüzde değerindeki düzgelenmiş farkına karşılık gelir tanımlanabilir (Efendi ve Arikan, 2017; Koroglu ve Arikan, 2019).

Herhangi bir u YKS alıcısının d. günü için YKS-TEİ vektörü, $\boldsymbol{x}_{u;d}$ ile tanımlanır:

$$\boldsymbol{x}_{u;d} = \left[x_{u;d}(1) \dots \dots \dots \; x_{u;d}(n) \dots \dots \dots \; x_{u;d}(N)\right]^T \tag{6.1}$$

Burada T, matris devriği; n, örnek numarası ve N, toplam örnek sayısıdır ve $1 < n \leq N$.

YKS-TEİ verisi üzerinden ROT (Rate Of TEC) şu şekilde hesaplanır:

$$R_{u;d} = \frac{x_{u;d}(n+1) - x_{u;d}(n)}{T_s} \tag{6.2}$$

Burada T_s, iki TEİ değeri arasındaki süreyi ifade eder. Bu çalışmada kullanılan TEİ verilerinin çözünürlüğü 2.5 dakika ve T_s, 2.5 x 60 = 150 saniyedir. Böylelikle ROT vektörü, Eşitlik (6.3)'teki gibi elde edilir:

$$\boldsymbol{R}_{u;d} = \left[R_{u;d}(1) \dots \dots \dots \; R_{u;d}(n) \dots \dots \dots \; R_{u;d}(N)\right]^T \tag{6.3}$$

Burada ROT'un birimi TECU/s'dir..

Efendi ve Arikan (2007) çalışmasında da DROT algoritmasında ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, ROT'un yönsemesi, ETEi verileri YKS uyduları hareket ederken arttıkça ve/veya azaldığı için, doğrusal bir fonksiyona en az kareler yöntemi oturtularak çıkartılmıştır. Diğer yandan TEİ, orta enlem bölgesindeki iyonlaşmanın günlük yapısını sergilediği için yerel zamanla şafaktan hemen önce bir düşüş yaşar, ardından iyonlaşmada bir artışla yerel öğle saatlerinde bir zirve değerine sahip olur. Ardından, TEİ değerlerinin gün batımına kadar düşmesi ve akşam ve gece geç saatlerde neredeyse sabit bir seviyede kalması beklenmektedir. Dolayısıyla, yerel saatte TEİ'nin yönsemesi ETEİ'nin yönsemesinden çok farklıdır. Bu nedenle, TEİ için yönsemenin çıkarılması, bu çalışmada, aşağıda tarif edileceği şekilde iki kayan pencere medyan filtresi kullanılarak modifiye edilmiştir.

ROT'un yönsemesinin çıkarılması, T_{f1} ve T_{f2} uzunluklarında iki farklı kayan pencere medyan filtresinin uygulanmasıyla sağlanmıştır. YKS anten faz hataları, sinyal işleme, anlık veri kaybı ve düşük Sinyal-Taşıyıcı veya Sinyal-Gürültü Güç Oranları gibi iyonküresel değişkenlikle ilişkisi olmayan nedenlerden dolayı uzunlukları T_{f1} olan ilk fitre, ani fark veya bozulmalar gibi gürültü verilerini düzeltmek için uygulanmaktadır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\boldsymbol{Y}_{u;d} = medfilt(\boldsymbol{R}_{u;d}, T_{f1}) \tag{6.4}$$

Burada T_{f1}, 12.5 dakikaya karşılık gelmektedir. İyonküre bölgelerinin yukarıdan veya aşağıdan zorlanması nedeniyle iyonküresel bozulmaların genellikle dalga benzeri salınımlar olarak görüldüğü bilinmektedir. Bu tür kesintiler yaygın olarak KİB olarak bilinir ve literatürdeki çalışmalara göre, OÖKİB tipik olarak 5 dakikadan daha uzun sürerler (Francis, 1974; Shiokawa vd., 2003; Hernandez-Pajares vd., 2006; Tsugawa vd., 2007; Fedorenko vd., 2011; Husin vd., 2011). BÖKİB sürelerinin de 4 saate kadar çıktığı gözlenmiştir (Davis, 1971; Francis, 1973; Nicolls vd., 2004; Ding vd., 2007). Bu nedenle, 5 dakika ila 4 saatlik zaman süresi içindeki, yani OÖKİB ve BÖKİB olarak sınıflandırılabilen aralıktaki bozulmaların tespiti için ikinci kayan pencere medyan filtresi T_{f2} Eşitlik (6.5)'teki gibi uygulanır:

$$\widehat{\boldsymbol{Y}}_{u;d} = medfilt\left(\boldsymbol{Y}_{u;d},\ T_{f2}\right). \tag{6.5}$$

Burada T_{f1}, 4.2 saate karşılık gelmektedir. Eşitlik (6.4) ve (6.5) kullanılarak fark vektörü $\boldsymbol{D}_{u;d}$:

$$\boldsymbol{D}_{u;d} = \boldsymbol{Y}_{u;d} - \widehat{\boldsymbol{Y}}_{u;d} \tag{6.6}$$

ile hesaplanır. Böylelikle, $\boldsymbol{D}_{u;d}$ ortaya çıkan değerler ROT üzerindeki KİB değişebilirliğinin bir ölçümüne karşılık gelir. $\boldsymbol{D}_{u;d}$ ve ROT'un yönsemesi kullanılarak elde edilen DROT, Eşitlik (6.7) ile ifade edilmektedir (Efendi ve Arikan, 2017; Koroglu ve Arikan, 2019):

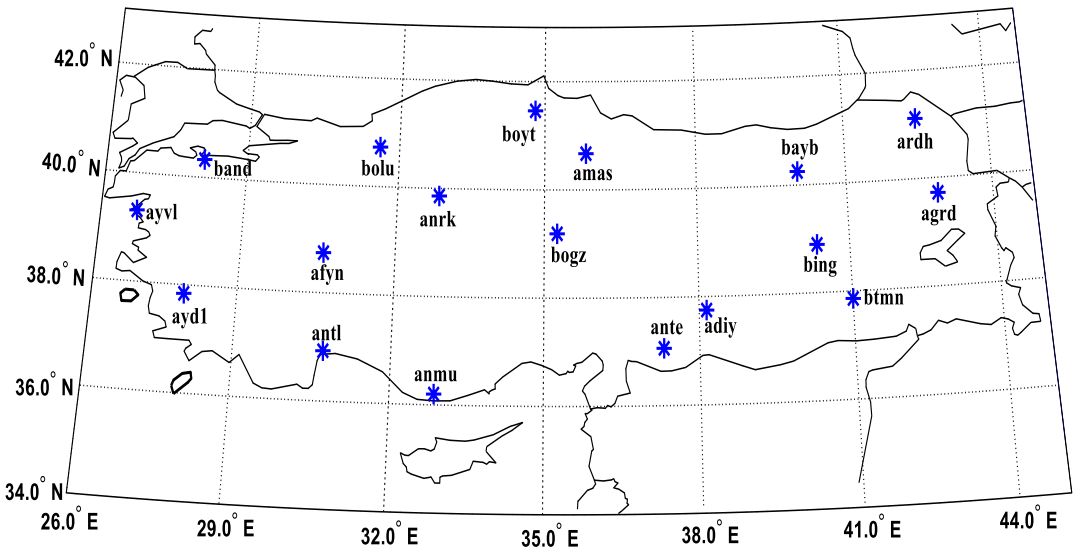
$$\mathrm{DROT}_{u;d} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\left[D_{u;d}\,(n)\right]^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\left[Y_{u;d}\,(n)\right]^2}} \times\ 100 \tag{6.7}$$

Eşitlik (6.7)'den de anlaşılacağı gibi, fark vektör arttıkça DROT değeri de artar. DROT değerleri, TEİ zamansal türevi olan ROT üzerindeki bozulma seviyesinin göstergesidir. Efendi ve Arikan(2007)'de, iyonküresel değişkenliğin yoğunluğu, arka plan orta şiddetinde ETEİ'e eklenen frekansları, genlikleri ve süreleri ile karakterize edilen sentetik titreşimler kullanılarak üç kategoriye ayrılmaktadır: Eğer DROT, %50'den küçük değerlerde ise, iyonkürede önemli bir bozulma yaşanmadığı kabul edilmiştir. Eğer DROT %50 ile %70 arasında değişiyorsa, iyonkürede orta ölçekli bir

bozulma olduğu kabul edilmiştir. DROT, %70'ten büyük değerler alıyorsa, iyonkürede ciddi ve büyük ölçekli bozulmalar yaşandığı kabul edilmiştir. Bu çalışmada da, DROT'un bu sınır değerleri üzerinden değerlendirilme yapılacaktır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezde Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen bozulmaların ölçüsü, TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT) yöntemiyle tespit edilmeye çalışılmıştır. DROT yöntemi, Türkiye Ulusal Sabit YKS Ağı'nda (TUSAGA-Aktif) yer alan 18 istasyondan 2010 (düşük güneş hareketliliği), 2011 ve 2012 (orta güneş hareketliliği) yılları için kestirilen YKS-TEİ verilerine uygulanmıştır. TUSAGA-Aktif Ağı, Türkiye üzerinde 142 tane CORS İstasyonları (Constantly Operating Reference Station) istasyonuna sahiptir. Ayrıntılı çalışmalar yapabilmek için Türkiye üzerinde düzgün dağılmış bu istasyonlar, 2.0° enlem ve 3.0° boylam çözünürlüğünde 18 alt bölgeye ayrılmıştır (Koroglu ve Arikan, 2017; Karatay vd., 2017). Her bir bölgede bulunan istasyonların birbirine uzaklıkları 80 ile 150 km arasında değişmektedir (Deviren vd., 2013). Karatay vd. (2010) çalışmasında, birbirine çok yakın komşulukta olan bu istasyonlardan aralarında 100 km'den daha az mesafe bulunanların TEİ değerlerinin birbirine yakın olduğu; 150 km mesafeden fazla olan istasyonlar için de iyonkürenin konumsal olarak ilintili olmadığı bulunmuştur. Çalışmanın amacı için her bir alt bölgeden bir istasyon seçilmiştir. Seçilen bu istasyonlar Şekil 7.1'de mavi yıldızlarla gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Çalışma kapsamında seçilen içindeki TUSAGA-Aktif Ağı istasyonları.

Çalışma kapsamında kullanılan on sekiz TUSAGA-Aktif istasyonunun kodu ve coğrafik konumları, Tablo 7.1'de verilmiştir.

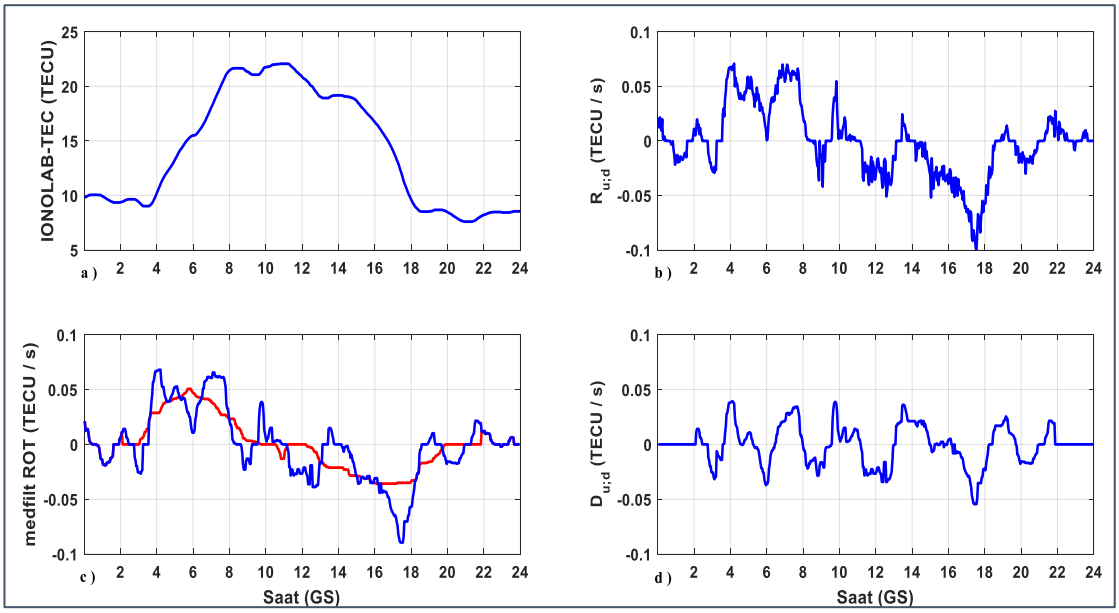
Tablo 7.1. Çalışma kapsamında seçilen içindeki TUSAGA-Aktif Ağı istasyonlarının kodu ve konumlandığı coğrafik koordinatlar.

YKS İstasyonu	İstasyon Kodu	Enlem (° K)	Boylam (° D)
Adıyaman	adiy	37.75	38.23
Afyon	afyn	38.74	30.56
Ağrı	agrd	39.72	43.03
Amasya	amas	40.67	35.85
Anamur	anmu	36.07	32.87
Ankara	anrk	39.86	32.85
Gaziantep	ante	37.06	37.37
Antalya	antl	36.89	30.67
Ardahan	ardh	41.11	42.70
Aydin	ayd1	37.84	27.84
Ayvalık	ayvl	39.31	26.69
Bandırma	band	40.33	28.00
Bayburt	bayb	40.25	40.19
Bingöl	bing	38.89	40.50
Boğazlıyan	bogz	39.19	35.26
Bolu	bolu	40.73	31.60
Boyabat	boyt	41.46	34.80
Batman	btmn	37.86	41.15

Tablo 7.1'de verilen istasyonlar için elde edilen YKS-TEİ verileri, IONOLAB grubu tarafından geliştirilen yüksek çözünürlüklü, güvenilir ve gürbüz bir YKS-TEİ kestirim algoritması ile kestirilmiştir (Arikan vd., 2003; Arikan vd., 2004; Nayir vd., 2007; Arikan vd., 2008; URL-11). Bu çalışmada kullanılan YKS-TEİ verileri, IONOLAB-TEC olarak hesaplanmıştır (URL-11). IONOLAB-TEC servisi, DTEİ Toplam Elektron İçeriği Kestirim algoritmasını kullanan bir JAVA uygulamasıdır. IONOLAB-TEC kestirimleri da 2.5 dakikalık çözünürlükte kullanıcıya sağlanmaktadır.

Bölüm 6'de anlatılan DROT algoritmasının nasıl uygulandığı ve her bir basamağında algoritmanın nasıl çalıştığını gösterebilmek için algoritma, 17 Mart 2010 tarihinde kstmn (41.18° K ve 33.77° D) istasyonundan elde edilen IONOLAB-TEC verisine uygulanmıştır. Şekil 7.2'de, algoritmanın her bir adımı gösterilmiştir. Şekil 7.2a'da

03 Mart 2009 için IONOLAB-TEC verilmiştir (Eşitlik 6.1). Şekil 7.2b'de Eşitlik (6.2) ile ifade edilen zamana bağlı türev sunulmuştur. Şekil 7.2c'de mavi çizgi ile ROT'un birinci medyan filtreden, kırmızı çizgi de ROT'un ikinci medyadan geçirilmiş vektörü verilmiştir (Eşitlik 6.4 ve 6.5). Şekil 7.2d'de ise Eşitlik (6.6) ile verilen fark vektörü hesaplanmıştır. 17 Mart 2010 günü, jeomanyetik sakin bir gündür. Bugün için kstm istasyonu için hesaplanan DROT değeri, %58.22'dir.

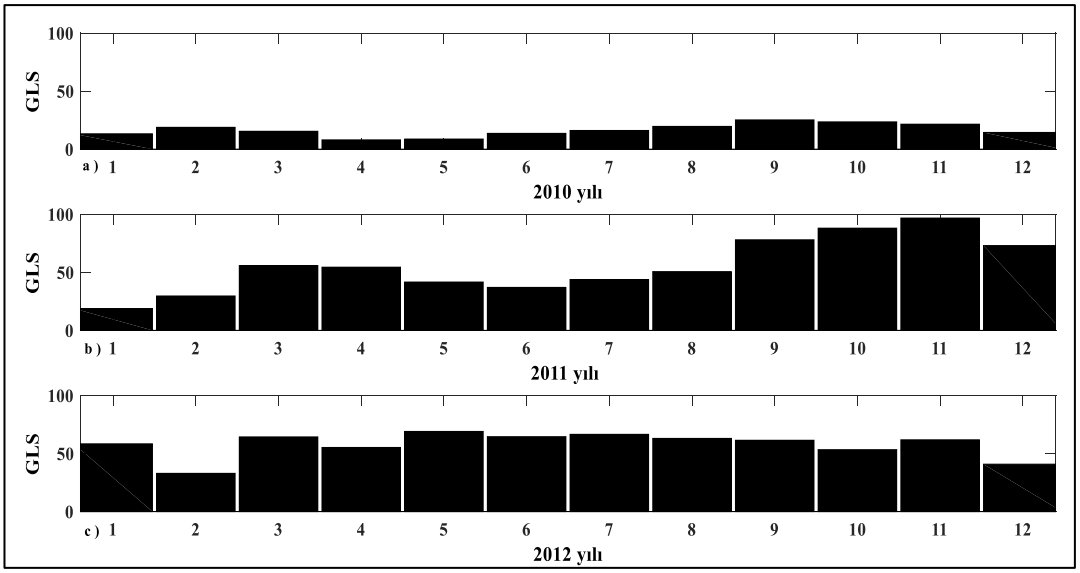


Şekil 7.2. 17 Mart 2010 tarihi kstm istasyonu için a) IONOLAB-TEC, $\boldsymbol{x}_{u;d}$; b) zamana bağlı türev (ROT) $\boldsymbol{R}_{u;d}$; c) kayan pencere medyan filtreler $\boldsymbol{Y}_{u;d}$ (mavi) ve $\widehat{\boldsymbol{Y}}_{u;d}$ (kırmızı) ve d) $\boldsymbol{Y}_{u;d}$ ve $\widehat{\boldsymbol{Y}}_{u;d}$ arasındaki fark vektörü $\boldsymbol{D}_{u;d}$ (URL-11).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye üzerindeki iyonkürede güneş hareketliliğine bağlı meydana gelen dalga benzeri salınımların neden olduğu, bozulmaları ya da aykırılıkları tespit etmek ve ölçüsünü ortaya koymaktır. Bunların en önemlilerinden birisi de, Güneş yüzeyindeki lekelerin ya da grup lekelerinin sayısını ifade eden Güneş Lekesi Sayısı'dır (GLS). GLS, yaklaşık 11-yıllık bir döngü içinde azalır ve artar (Whitten ve Poppoff, 1971; Momin, 2019). Bu 11-yıllık döngü içinde GLS, maksimum ve minimumların gözlendiği yıllara sahip olur. Bu yıllar "Güneş maksimum" veya "Güneş minimum" yılları olarak adlandırılır. Bu lekelerin en önemli etkisi, jeomanyetik hareketliliği tetiklemesi ve TEİ gibi iyonkürede birçok parametrede önemli ölçülerde anormallikler yaratmasıdır. Bu nedenle çalışmanın kapsamı için, 2010 (düşük güneş hareketliliği), 2011 ve 2012 (orta güneş

hareketliliği) olmak üzere üç yıl seçilmiştir. Şekil 7.3'te üç yıla ait GLS değerlerinin aylık ortalama değerleri verilmiştir (URL-9).

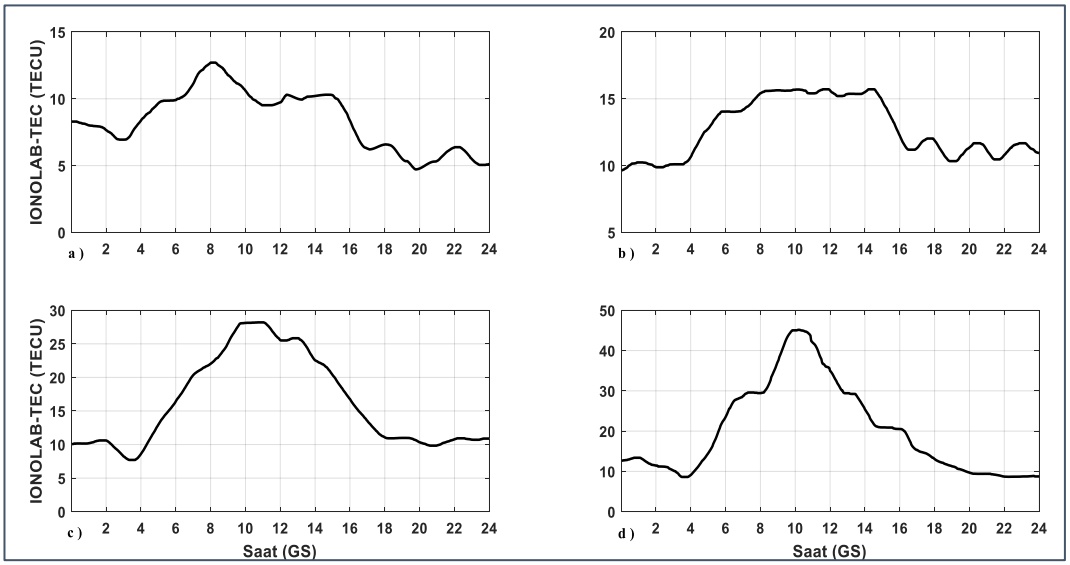
Dünya üzerinde herhangi bir yerde, herhangi bir zamanda meydana gelen güneş ya da jeomanyetik hareketliliğin ölçüsü için birçok indis geliştirilmiştir. Bu indislere Bölüm 3'te geniş yer verilmiştir. DROT değerlerinin güneş hareketliliğine ve dolayısıyla jeomanyetik hareketliliğe göre nasıl değiştiğini ölçmek için, değişen jeomanyetik indislere sahip 03 Mart 2010, 03 Mart 2011 ve 03 Mart 2012 tarihlerinde yine kstm istasyonundan elde edilen IONOLAB-TEC verilerine DROT yöntemi uygulanmıştır. Şekil 7.4'te, bu üç güne ait kstm istasyonundan kestirilen IONOLAB-TEC değerleri verilmiştir.



Şekil 7.3. GLS'nin yıllara göre değişimi: a) 2010; b) 2011; c) 2012 (URL-9).

Bu üç güne ait Kp ve Ap indisleri (URL-10) ve DROT değerleri Tablo 7.2'de verilmiştir. Şekil 7.4'ten de görüleceği üzere, DROT yöntemi dalga benzeri salınımlara duyarlı bir yöntemdir. 2010 yılındaki IONOLAB-TEC değerinin en büyük değeri yaklaşık 16 TECU olmasına karşın DROT değeri %95.79 ile en yüksektir. Güneş hareketliliği arttıkça IONOLAB-TEC değerleri de artmıştır. Buna karşın, IONOLAB-TEC değerinin daha büyük olduğu 2011 yılındaki DROT değeri %51.13'tür. DROT'taki bu küçük değerin, IONOLAB-TEC'in o gündeki karakteristiğinin daha pürüzsüz olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.4'ten görüldüğü üzere, güneş hareketliliğin en fazla ve dolayısıyla GLS'nin en büyük

değerlerde olduğu yıl 2012'dir. 03 Mart 2012 tarihinde IONOLAB-TEC değerleri 50 TECU'ya ulaşmıştır. IONOLAB-TEC'deki GS 11.00 ila 16.00 arasındaki dalga benzeri salınımlardan dolayı DROT değeri 2011 yılına göre daha yüksek çıkmıştır. Böylelikle, DROT yönteminin, TEİ değerlerinin aldığı en büyük değerlerden bağımsız olarak, güneş ve jeomanyetik hareketliliğin TEİ üzerinde yarattığı salınımları hassa ölçtüğü ve bu durumlarda DROT değerlerinin %70'den büyük olduğu gözlenmiştir.



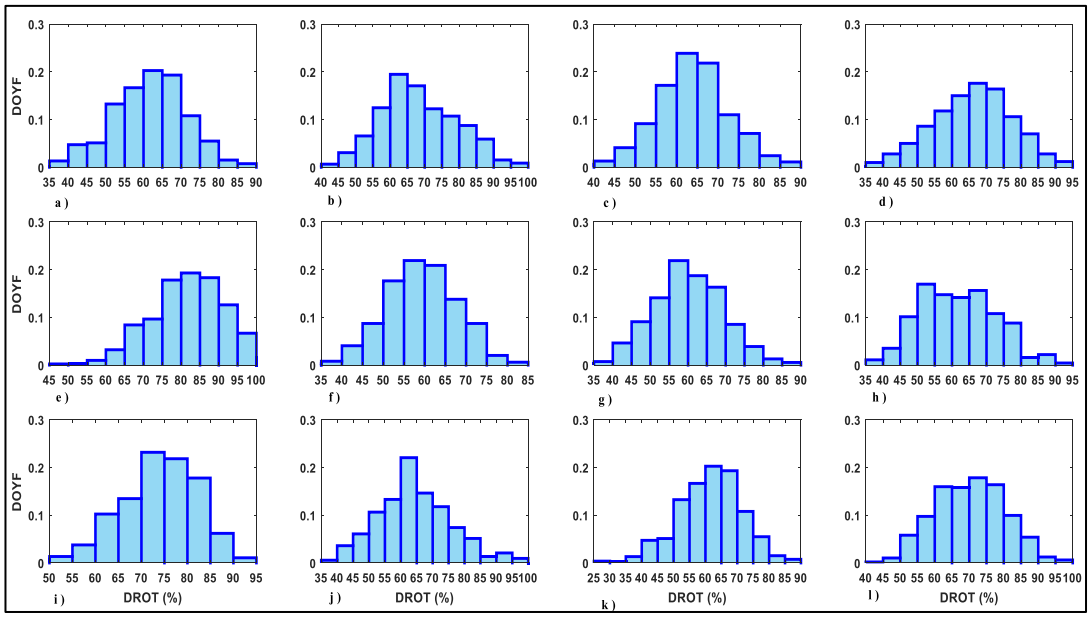
Şekil 7.4. kstmn istasyonu için IONOLAB-TEC değerleri: a) 03 Mart 2009; b) 03 Mart 2010; c) 03 Mart 2011 ve d) 03 Mart 2012 (URL-11).

Tablo 7.2. 03 Mart 2009, 03 Mart 2010, 03 Mart 2011 ve 03 Mart 2012 günlerine ait Ap ve Kp indisleri ve kstm istayonu için hesaplanan DROT (%) değerleri.

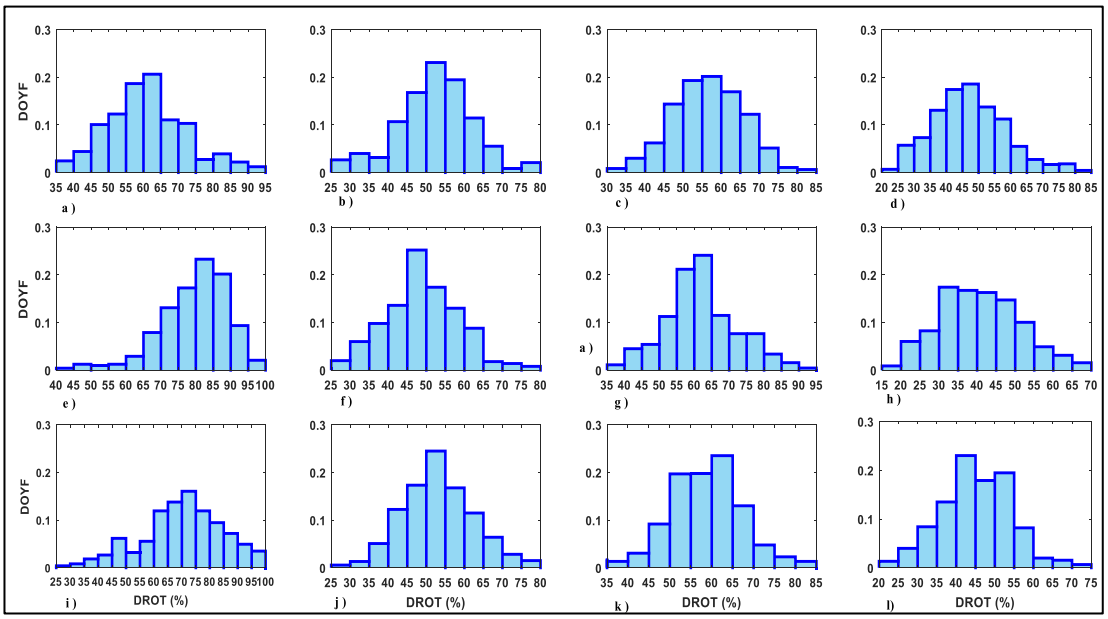
	03 Mart 2009	**03 Mart 2010**	**03 Mart 2011**	**03 Mart 2012**
Ap İndisi	2	2	4	67
Kp İndisi	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 1 1 0 1	2 1 1 1 1 1 2 2	5 6 7 7 6 5 4 2
DROT (%)	73.64	95.79	51.13	77.43

Çalışma kapsamında DROT yöntemi, Tablo 7.1'de verilen on sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yıllarındaki tüm günlerine, ortan enlemlerdeki iyonkürenin yapısında güneş hareketliliği ile meydana gelebilecek uzamsal ve zamansal değişimleri tespit etmek için uygulanmıştır. On sekiz istasyonun üç yıldaki tüm günleri için, süresi 15

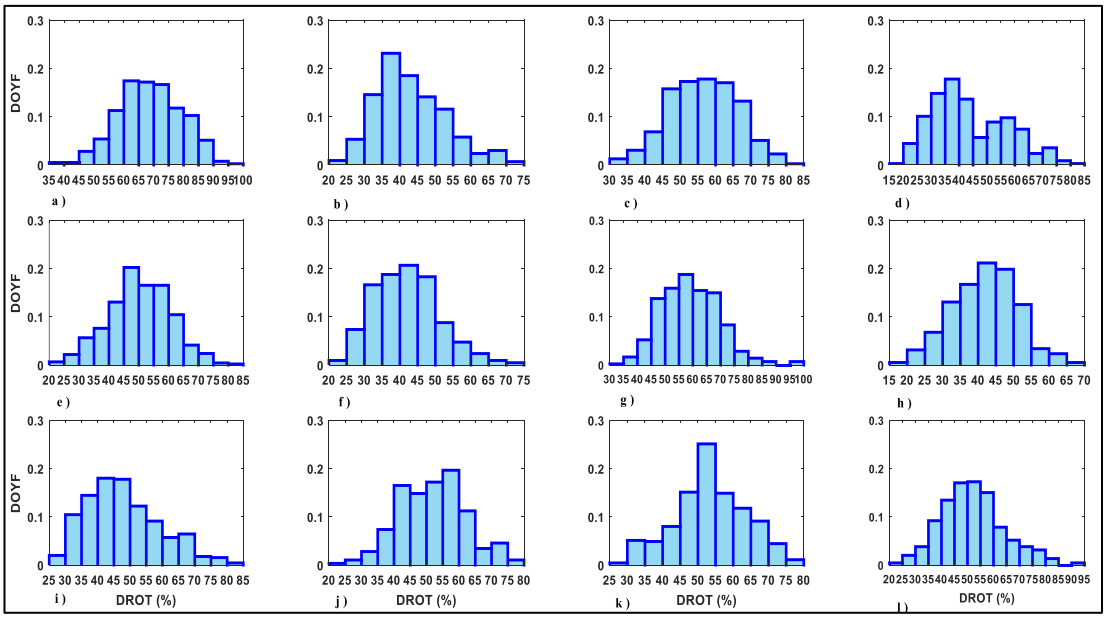
dakikadan uzun, 4.2 saatten daha kısa olan bozulmaların tespiti amacıyla DROT değerleri hesaplanmıştır. Üç yılın her günü için hesaplanan DROT değerlerinin Deneysel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (DOYF) (EPDFs-Experimental Probability Density Functions) hesaplanarak düzgelenmiş kutular içinde histogramları elde edilmiştir. Histogramlar önce on sekiz istasyonun bir yılının her günü için elde edilerek, DROT değerlerinin üç yıl içinde nasıl kümelendiği ve değiştiği incelenmiştir. Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7'de sırasıyla 2010, 2011 ve 2012 yıllarının tüm aylarının, on sekiz istasyonu içeren DROT DOYF'ları verilmiştir. 2010 yılı için en yüksek kümelenme kış için %70 ile %75 arasında; bahar için %60 ile %65 arasında; yaz için %60 ile %65 arasında; sonbaharda %70 ile %75 arasında gözlemlenmiştir. 2011 yılı için en yüksek kümelenme %80 ile %85 arasında kış mevsiminde görülmektedir. İlkbaharda gözlemlenen en yüksek kümelenme %50 ile %55 arasındadır. Yazın en fazla kümelenme %60 ile %65 arasında, sonbahar için en çok kümelenme ise %45 ile %50 arasındadır. 2012 yılı kış ayı için gözlemlenen en yüksek kümelenme %60 ile %65 arasında, ilkbahar için %55 ile %60 arasında, yaz için %50 ile %55 arasında ve sonbahar için %50 ile %55 arasındadır. Üç yıl birbirleriyle karşılaştırıldığında, DROT ≥ %60 değerlerindeki kümelenme sayısının 2010'dan 2011'e azaldığı görülmektedir. Güneşin hareketliliğinin daha az olduğu 2010 yılında en büyük kümelenmeler yaz mevsiminde gözlenirken, güneş hareketliliğinin daha yoğun olduğu 2011 ve 2012 yıllarındaki en büyük kümelenmeler ilkbahar mevsiminde; özellikle de ekinoks ayı olan Mart ayında gözlenmektedir. Üç yılın ekinoks ve gündönümü ayları karşılaştırıldığında, 2010 yılında en büyük kümelenme Haziran ayında ve %60 ile %65 arasında; 2011 yılında Mart ayında ve %50 ile %55 arasında ve 2012 yılında yine Mart ayında ve %50 ile %55 arasında olduğu görülmektedir. 2010 yılı için en büyük kümelenmelerin gündönümlerinde, ekinokslardan daha fazla sayıda ve %60 ile %65 olduğu gözlenmektedir. 2011 ve 2012 yıllarında ise ekinokslardaki en büyük kümelenme sayısının gündönümlerinden fazla olduğu gözlenmektedir. En büyük kümelenme 2011 yılı için %45 ile %55 arasında; 2012 yılı için de %35 ile %40 arasında değişmektedir. Tüm yıllar için mevsimler birbirleriyle karşılaştırıldığında, en büyük kümelenmenin sola doğru yığıldığı; dolayısıyla da DROT değerlerinin de arttığı görülmektedir. Yani kış mevsiminden sonbahar mevsimine doğru gidildikçe, DROT ≥ %60 değerlerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7.5. On sekiz istasyon 2010 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.



Şekil 7.6. On sekiz istasyon 2011 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.



Şekil 7.7. On sekiz istasyon 2012 yılı için DROT DOYF'ları: a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım.

On sekiz istasyonun her bir yıldaki ayır ayrı tüm aylara ait histogram grafiklerine EK 1 Bölümü'nde yer verilmiştir. DOYF'lar 2010, 2011 ve 2012 yılları için istasyonların alfabetik sıralamasına göre sıralanmıştır. Uzamsal değerlendirmeyi özetleyebilmek için, on sekiz istasyonun üç yılın her günü için elde edilen DROT değerlerinin en büyük olduğu ay ve değerleri, üç tablo ile özetlenmiştir. Tablo 7.3, 7.4 ve 7.5'te, sırasıyla 2010, 2011 ve 2012 yıllarının her gününde on sekiz istasyon için hesaplanan DROT değerlerinin en büyük değerlerde gözlendiği aylar ve değerleri ayrı ayrı verilmiştir. İstasyonlar Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya doğru sıralanarak incelenmiştir. İstasyonlar Batı'dan Doğu'ya kıyaslandığında, DROT değerlerinin daha büyük aralıkta kümelendiği gözlenmiştir. En büyük kümelenmenin Batı'dan Doğu'ya ve Kuzey'den Güney'e tüm istasyonlar için Mart ayında olduğu gözlenmiştir. Tüm yıllar ve istasyonlar için mevsimlerde ekinoks ve gündönümü aylarında en büyük kümelenme baskın olarak gözlenmiştir. Yani en büyük kümelenmelerin gözlendiği aylarda Mart ekinoksu ve Aralık gündönümü baskın aylardır. İstasyonlar Kuzey'den Güney'e karşılaştırıldığında ise, DROT değişim aralığının Güney'deki istasyonlarda daha büyük olduğu görülmüştür. En küçük DROT değerlerinin de 2012 yılında ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Tablo 7.3. 40° K ve 42° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%).

	İstasyonlar					
	band	bolu	boyt	amas	bayb	ardh
2010	Oc/60-70	Oc/60-70	Oc/50-60	Şu/60-70	Oc/50-60	Oc/60-70
	Mar/80-100	Mar/80-90	Mar/80-90	Mar/80-90	Mar/70-80	Ni/60-70
	Te/60-70	Te/60-70	Ha/70-80	Ha/70-80	Te/60-70	Te/60-70
	Ek/50-60	Ek/60-70	Ek/50-60	Ey/60-70	Ek/60-70	Ek/60-70
2011	Ar/40-60	Ar/40-60	Ar/50-60	Şu/50-60	Oc/40-50	Ar/60-70
	Mar/70-80	Mar/70-80	Mar/80-90	Mar/80-90	Mar/80-90	Mar/80-90
	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-70	Te/50-60	Te/50-60	Te/50-60
	Ka/40-50	Ka/40-50	Ek/50-60	Ka/40-50	Ek/50-60	Ka/40-50
2012	Oc/30-40	Ar/60-70	Ar/40-50	Şu/50-60	Ar/60-80	Oc/40-50
	May/20-40	May/40-60	Ni/40-60	Ni/40-60	Ni/50-60	Ni/50-60
	Ağ/40-50	Ha/40-50	Ağ/40-50	Te/50-60	Ha/40-60	Ağ/40-60
	Ka/40-50	Ka/40-50	Ka/50-60	Ka/50-60	Ek/40-60	Ka/50-60

Tablo 7.4. 38° K ve 40° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%).

	İstasyonlar					
	ayvl	afyn	anrk	bogz	bing	agrd
2010	Ar/70-80	Oc/50-60	Şu/60-70	Oc/50-60	Ar/70-80	Oc/50-60
	Ni/60-70	Ni/60-70	Ni/60-80	Mar/80-90	May/50-60	Ni/60-70
	Ha/60-80	Ha/60-70	Te/60-70	Te/60-70	Te/60-70	Te/60-70
	Ek/50-60	Ka/60-70	Ey/60-80	Ey/70-80	Ey/60-70	Ey/60-70
2011	Ar/40-60	Şu/60-70	Şu/50-60	Oc/40-50	Oc/40-50	Oc/40-50
	May/40-50	Mar/80-90	Mar/80-90	Mar/80-90	Ni/60-70	Mar/80-90
	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-80	Te/50-60	Te/50-60
	Ka/40-50	Ka/40-50	Ka/50-60	Ka/40-50	Ey/50-60	Ey/50-60
2012	Oc/30-40	Ar/60-70	Şu/50-60	Oc/40-50	Oc/40-50	Ar/60-70
	May/20-40	Ni/40-50	Ni/40-50	May/20-40	Ni/50-60	Ni/40-50
	Ha/40-50	Ağ/40-50	Ha/50-60	Ha/50-60	Ha/40-60	Te/50-60
	Ka/40-60	Ka/40-60	Ey/60-70	Ka/40-60	Ey/30-40	Ka/50-60

Tablo 7.5. 36° K ve 38° K ile 26° D ve 44° D koordinatları arasında konumlanan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarında gözlenen en büyük DROT değerleri ve gözlendiği ay: Ay/DROT aralığı (%).

	İstasyonlar					
	ayd1	antl	anmu	ante	adiy	btmn
2010	Ar/70-80	Oc/50-60	Oc/50-60	Ar/80-90	Ar/70-90	Oc/50-60
	May/60-70	Mar/60-70	Mar/80-90	Mar/80-90	May/60-70	Mar/80-90
	Ha/70-80	Te/60-70	Ha/70-80	Ha/70-80	Te/60-70	Ha/70-80
	Ka/60-70	Ek/50-60	Ey/40-60	Ek/50-60	Ey/60-80	Ey/60-70
2011	Oc/50-60	Şu/60-70	Şu/50-60	Şu/60-70	Oc/40-50	Şu/60-65
	Mar/70-80	Mar/40-60	Mar/70-80	Mar/80-90	Mar/80-90	Ni/50-60
	Ha/80-100	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-80	Ha/60-80
	Ey/50-60	Ek/60-80	Ey/40-50	Ey/40-60	Ek/50-60	Ey/50-60
2012	Oc/30-40	Şu/50-60	Ar/60-80	Şu/50-60	Ar/60-70	Ar/60-70
	May/20-40	Ni/40-60	Ni/40-60	Mar/50-60	May/20-40	Mar/30-40
	Ağ/30-40	Ha/40-60	Ağ/40-60	Ağ/40-50	Ha/40-60	Te/40-60
	Ka/40-60	Ka/40-60	Ka/40-60	Ka/50-60	Ka/50-60	Ka/50-60

Çalışmanın ikinci kısmında DROT değerleri:

- C1: DROT < %50
- C2: %50 ≤ DROT ≤ %70
- C3: DROT > %70

olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Tablo 7.6'da, 2010, 2011 ve 2012 yılları için on sekiz istasyonun DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorilerine göre yüzde oranları verilmiştir. Efendi ve Arikan (2017) ve Koroglu ve Arikan (2019) çalışmalarında, %50'den daha düşük DROT değeri, iyonkürenin nispeten bozulmamış olduğunu göstermektedir. Yine aynı çalışmalarda, DROT'un %50 ile %70 arasındaki değerleri, OÖKİB; DROT'un %70'den büyük değerleri de iyonkürede BÖKİB olduğunu göstermektedir. Tablo 7.6'ya bakıldığında, C1 kategorisinin 2010'dan 2012'ye arttığı; buna karşın C2 ve C3 kategorisinin de 2010'dan 2012'ye azaldığı görülmektedir. Güneş hareketliliğinin en yoğun olduğu 2012 yılında C3 kategorisinin %9.78'den fazla olmadığı görülmektedir. 2010 yılında ise C1 kategorisinin en fazla %14.05 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.6. 2010, 2011 ve 2012 yılları için on sekiz istasyonun DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorilerine göre yüzde oranları.

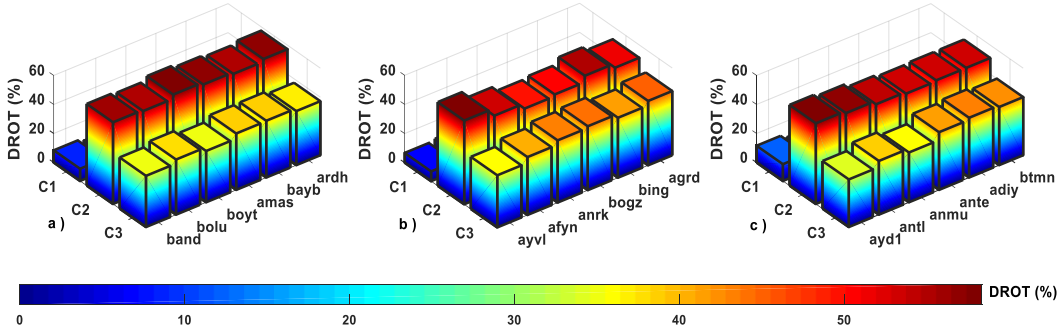
İstasyon	2010			2011			2012		
	C1 (%)	C2 (%)	C3 (%)	C1 (%)	C2 (%)	C3 (%)	C1 (%)	C2 (%)	C3 (%)
adiy	7.73	51.08	41.17	36.39	46.83	16.77	51.16	43.02	5.81
afyn	7.89	52.33	39.76	39.65	43.44	16.90	55.98	37.32	6.69
agrd	4.62	51.15	44.21	29.72	51.05	19.21	48.06	44.18	7.75
amas	4.38	56.73	38.87	29.52	49.84	20.63	41.07	50.89	8.03
anmu	14.05	51.63	34.31	36.29	47.10	16.60	48.81	44.48	6.69
anrk	8.60	48.66	42.72	31.21	50.57	18.20	46.13	45.20	8.66
ante	9.79	50.44	39.76	36.15	46.06	17.78	51.86	42.23	5.90
antl	8.86	54.11	37.02	36.32	45.69	17.97	41.89	49.09	9.00
ardh	5.51	57.24	37.24	25.88	57.28	16.82	43.46	45.38	11.15
ayd1	11.56	55.62	32.81	36.26	46.52	17.21	54.05	37.50	8.44
ayvl	6.70	57.50	35.78	42.77	42.16	15.06	53.27	37.38	9.34
band	8.41	56.31	35.27	42.51	41.01	16.46	53.51	37.00	9.48
bayb	5.36	55.52	39.11	28.80	53.39	17.79	49.03	44.23	6.73
bing	4.64	54.17	41.17	33.43	49.68	16.87	46.03	45.07	8.88
bogz	6.26	49.85	43.88	34.48	45.14	20.37	47.70	45.41	6.87
bolu	6.49	55.51	37.98	40.42	44.07	15.50	53.82	36.39	9.78
boyt	6.30	58.35	35.33	34.71	49.68	15.60	49.63	43.06	7.29
btmn	8.79	51.14	40.06	33.22	48.10	18.67	49.61	41.60	8.77

Tablo 7.7'de, On sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yıllarına göre DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorileri yüzde oranları verilmiştir. Tablo 7.7'ye bakıldığında, güneş hareketliliği arttıkça C3 kategorisinin azaldığı görülmektedir. 2010 yılında en az kategori C1'dir. 2012 yılında ise en az kategori C3'tür. Buradan sonuçla, DROT yönteminin, güneş hareketliliği olmadığı yıllarda, TEİ'de meydana gelen dalga benzeri salınımları hassasiyetle ölçebildiği söylenebilir.

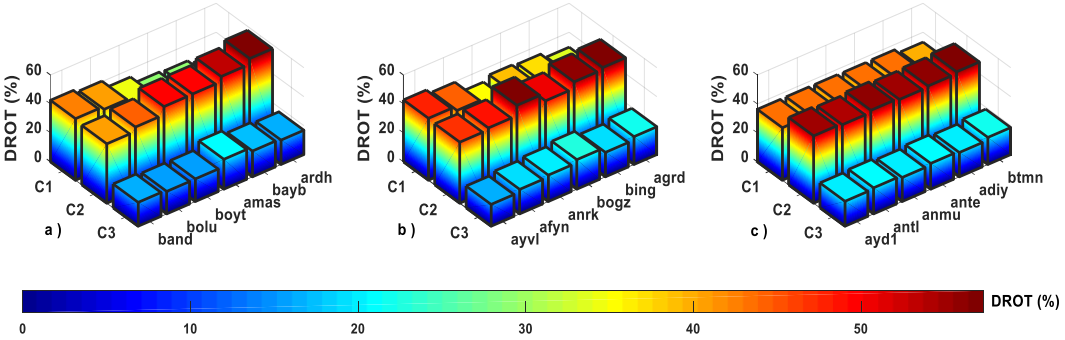
Tablo 7.7. On sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yıllarına göre DROT değerlerinin C1, C2 ve C3 kategorileri yüzde oranları.

Yıllar	C1 (%)	C2 (%)	C3 (%)	Toplam (%)
2010	7.54	53.66	38.78	99.99
2011	34.91	47.61	17.47	99.99
2012	49.52	42.33	8.13	99.99

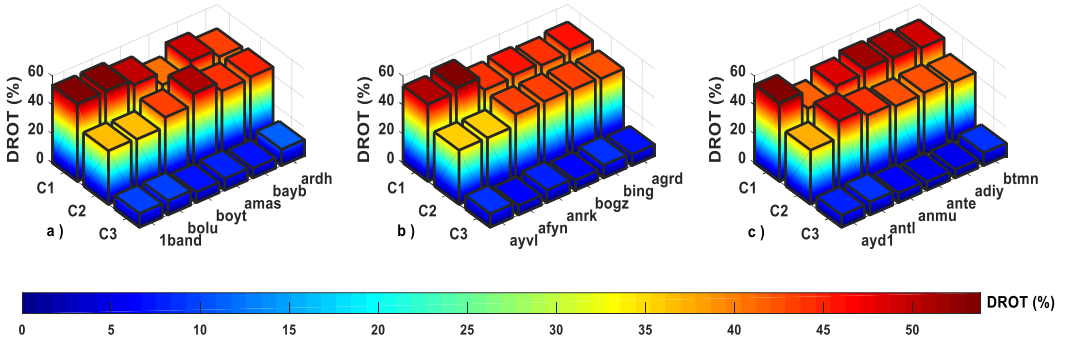
Uzamsal-zamansal değerlendirmenin detaylı analizi için Şekil 7.8, 7.9 ve 7.10'da, on sekiz istasyonun sırasıyla 2010, 2011 ve 2012 yılları için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları verilmiştir. Şekil 7.8'e bakıldığında, Türkiye'nin en Kuzey'indeki istasyonların C2 kategorisinde fazla sayıda DROT değerine sahip olduğu görülmektedir. C2 kategorisi aynı zamanda Batı'dan Doğu'ya doğru azalmaktadır. Buna karşın C3 kategorisi de 2010 yılında Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya artmaktadır. Şekil 7.9'a bakıldığında, 2011 yılında C1 kategorisindeki DROT değerlerinin sayısının 2010'yılına göre oldukça fazla olduğu gözlenmektedir. 2011 yılında C1 kategorisi artmış, C3 kategorisi de azalmıştır. Yine C2 kategorisindeki DROT değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya arttığı gözlenmektedir. Şekil 7.9'a bakıldığında, güneş hareketliliğinin en yoğun olduğu 2012 yılında C3 kategorisindeki DROT değerlerinin sayısının çok az olduğu gözlenmektedir. Buna karşın C1 kategorisindeki değerler, 2010 ve 2011 yılına göre oldukça fazladır. İstasyonların uzamsal dağılımı bu yılda da benzerlik sergilemiştir. Sayının fazla olduğu C1 kategorisinin yine Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya arttığı görülmektedir. Uzamsal ve zamansal değerlendirme bir arada ele alınırsa; DROT < %50 değerlerinin sayısı, 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe arttığı; buna karşın DROT > %70 değerlerinin sayısının da 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe azaldığı gözlenmiştir. Hangi kategori olursa olsun, DROT değerlerinin sayısı Türkiye'nin Kuzey'inden Güney'ine ve Batı'sından Doğu'suna arttığı gözlenmiştir. Güneş ışınımlarının daha dik bir açıyla geldiği Güney bölgesindeki istasyonların, günlük bozulmalardan en çok etkilenen istasyonlar olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7.8. On sekiz istasyon 2010 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.



Şekil 7.9. On sekiz istasyon 2011 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.



Şekil 7.10. On sekiz istasyon 2012 yılı için C1, C2 ve C3 kategorilerindeki DROT (%) değerlerinin Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya dağılımları.

Bu çalışmadan çıkan sonuçla, bu bölümde verilen sonuçlar DROT'un YKS-TEİ'deki dalga benzeri bozuklukları tespit etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Orta enlem iyonküresinin arka planında TEİ'nin yapısı veya yönsemesi, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğe, atmosferik / meteorolojik değişikliklere bağlı mevsimsel değişimlere bağlıdır. Aynı zamanda, YKS istasyonunun uzamsal konumu, orta enlem iyonküresinin enlemsel ve boylamsal değişkenliğinde önemli bir etkendir.

Gelecekteki çalışmalarda, DROT algoritması, konumlandırma ve iletişim sistemlerinde sorunlara neden olabilecek aykırılıkların ve bozulmaların tespiti için Türkiye'deki iyonküresel görüntüleme çalışmalarının bir parçası olarak kullanılacaktır.

8. SONUÇ

İyonküre uzamsal konuma, Yer'in kendi ve güneş etrafındaki hareketine, güneş, jeomanyetik ve simik hareketliliğe bağlı olarak uzamsal ve zamansal değişimler sergiler. İyonkürenin önemi, iyonkürenin uydu sinyallerini zamanla sönüme, soğrulmaya veya kesintiye uğratmasıdır. İyonkürenin uydu sinyallerine olan bu etkisi, iletişim sistemlerinde ve Kısa Dalga (KD) haberleşmesinde önemli hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle, uydu tabanlı ve KD iletişimde bu hataların giderilmesi için iyonkürenin yapısını ve yapısında meydana gelen bozulmaları anlamak ve modellemek, uydu iletişim sistemlerinin ve KD haberleşmesinin sağlıklı yapılabilmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye üzerinde konumlanmış TUSAGA-Aktif ağından elde edilen YKS-TEİ verisi kullanılarak 2010, 2011 ve 2012 yılları boyunca iyonkürede meydana gelen bozulmaların varlığı ve yapısı araştırılmıştır. TUSAGA-Aktif ağında yer alan on sekiz istasyondan 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen IONOLAB-TEC yöntemiyle elde edilen YKS-TEİ verilerine IONOLAB Grubu tarafından geliştirilen TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT) yöntemi, üç yılın her günü için uygulanmıştır. Üç yılın her günü için hesaplanan DROT değerlerinin Deneysel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (DOYF) hesaplanarak düzgelenmiş (normalize) kutular içinde histogramları elde edilmiştir. Histogramlar önce on sekiz istasyonun bir yılının her günü için elde edilerek, DROT değerlerinin üç yıl içinde nasıl kümelendiği ve değiştiği incelenmiştir. Üç yıl birbirleriyle karşılaştırıldığında, DROT $\geq$ %60 değerlerindeki kümelenme sayısının 2010'dan 2011'e azaldığı gözlenmiştir. Güneşin hareketliliğinin daha az olduğu 2010 yılında en büyük kümelenmeler yaz mevsiminde gözlenirken, güneş hareketliliğinin daha yoğun olduğu 2011 ve 2012 yıllarındaki en büyük kümelenmeler ilkbahar mevsiminde; özellikle de ekinoks ayı olan Mart ayında olduğu görülmüştür. 2010 yılı için en büyük kümelenmelerin gündönümlerinde, ekinokslardan daha fazla sayıda ve %60 ile %65 olduğu gözlenmiştir. 2011 ve 2012 yıllarında ise ekinokslardaki en büyük kümelenme sayısının gündönümlerinden fazla olduğu gözlenmiştir. Tüm yıllar için mevsimler birbirleriyle karşılaştırıldığında, en büyük kümelenmenin sola doğru yığıldığı; dolayısıyla da DROT değerlerinin de arttığı görülmektedir. Yani kış

mevsiminden sonbahar mevsimine doğru gidildikçe, DROT ≥ %60 değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında DROT değerleri üç kategoride incelenmiştir: C1: DROT < %50, C2: %50 ≤ DROT ≤ %70 ve C3: DROT > %70. Efendi ve Arikan (2017) ve Koroglu ve Arikan (2019) çalışmalarında, %50'den daha düşük DROT değerinin, iyonkürenin nispeten bozulmamış olduğunu gösterdiği verilmiştir. Yine aynı çalışmalarda, DROT'un %50 ile %70 arasındaki değerleri, Orta Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar; DROT'un %70'den büyük değerleri de iyonkürede Büyük Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar olduğunu göstermektedir. Bu grup çalışmada, C1 kategorisinin 2010'dan 2012'ye arttığı; buna karşın C2 ve C3 kategorisinin de 2010'dan 2012'ye azaldığı görülmüştür. Güneş hareketliliği arttıkça C3 kategorisinin azaldığı gözlenmiştir. Hareketliliğin en az olduğu 2010 yılında en az kategori C1'dir. 2012 yılında ise en az kategori C3'tür. Buradan sonuçla, DROT yönteminin, güneş hareketliliği olmadığı yıllarda, TEİ'de meydana gelen dalga benzeri salınımları hassasiyetle ölçebildiği sonucu elde edilmiştir. Uzamsal ve zamansal değerlendirme bir arada ele alındığında; DROT < %50 değerlerinin sayısının, 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe arttığı; buna karşın DROT > %70 değerlerinin sayısının da 2010 yılından 2012 yılına gidildikçe azaldığı gözlenmiştir. Üç kategori için de, DROT değerlerinin sayısının Türkiye'nin Kuzey'inden Güney'ine ve Batı'sından Doğu'suna doğru arttığı gözlenmiştir. Güneş ışınımlarının daha dik bir açıyla geldiği Güney bölgesindeki istasyonların, günlük bozulmalardan en çok etkilenen istasyonlar olduğu gözlenmiştir.

Bu tez çalışması TUBİTAK 114E541 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmayla Türkiye'nin de yer aldığı orta enlem coğrafyası üzerindeki iyonkürenin uzamsal ve zamansal değişimleri analiz edilmiş; güneş hareketliliğinin az olduğu 2010 ve orta yoğunlukta olduğu 2011 ve 2012 yıllarında meydana gelen günlük değişimlerden kaynaklı bozulmalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgularla, DROT yönteminin coğrafi, meteorolojik, jeomanyetik, mevsimsel ve güneş hareketliliğine bağlı olan iyonküresel bozulmaların tespiti ve sınıflandırılması için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ve DROT yöntemi, gelecekte Kayan İyonküresel Bozulmaların yönünü ve

kapsamını tahmin etmek için daha geniş YKS ağına ve zaman dilimine uygulanacaktır.

KAYNAKLAR

Abdu, M. A., (1997). Major phenomena of the equatorial ionosphere thermosphere system under disturbed conditions. *Journal of Atomspheric Solar Terrestrial Physics, 59*(13), 1505-1519.

Afraimovich, E., Ding , F., Kiryshkin, V., Astafyeva, E., Shuanggen,J. & Asnkov, V., (2008). TEC response to the 2008 Wenchuan Earthquake in comparison with other strong earthquakes. *International Journal of Remote Sensing, 31* (13).

Arikan, F., Erol, C.B. & Arikan, O., (2003). Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*. *108*(A12).

Arikan, F., Erol, C.B. & Arikan, O., (2004). Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period. *Radio Science*. *39*(6), 1-10.

Arikan, F. Arıkan, O. & Erol, C.B., (2007). Regularized estimation of TEC from GPS data for certain mid-latitude stations and comparison with the IRI model. *Advances in Space Research, 39*, 867-874.

Arikan, F. Nayir, H. Sezen, U. & Arikan, O., (2008). Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC. *Radio Science, 43*(4), 1-13

Arikan, F. & Yarici, A. (2017). Spectral investigation of traveling ionospheric disturbances: IONOLAB-FFT. *Geodesy and Geodynamics,8*(5), 297-304.

Akyol, A. A. (2013). Investigation on the Reliability of Earthquake Prediction Based on Ionospheric Electron Content Variation. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilkent Üniversitesi*. Ankara.

Andrews, A. P., Weill, L. R. & Grewal, S. G.(2007). Global Positioning Systems: Inertial Navigation, and Integration. New Work.John Wiley & Sons.Inc.

Anderson, D. N. & Roble, R. G. (1981). Neutral wind effects on the equatorial F-region ionosphere. *Journal of Atomspheric Solar Terrestrial Physics, 43*, 835.

Appleton, E.V. (1946). Two anomalies in the ionosphere. *Nature 157*, 691.

Basak, T. (2013). Study of the Effects on Lower Ionosphere Due to Solar Phenomena Using Very Low Frequency Radio Wave Propagation. Doktora Tezi, *Fizik Bölümü Calcutta Üniversitesi*. Hindistan.

Basu, S., Groves, K. M., Quinn, J. M. & Doherty, P. (1999). A comparison of TEC fluctuations and scintillations at Ascension Island. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 61*(16), 1219-1226. http://doi.org/10.1016/ S164/6826(99) 00052-8.

Bailey, G., Su, Y. & Oyama, K.I. (2000). Yearly variations in the low-latitude topside ionosphere. *Annales Geophysicae, 18*(7), 789-798.

Bergeot, N., Chevalier, J.M., Bruyninx, C., Pottiaux, E., Aerts, W., Baire, Q. & Huang, W. (2014). Near real-time ionospheric monitoring over Europe at the Royal Observatory of Belgium using GNSS data. *Journal of Space Weather and Space Climate, 4*(A31), 1-10.

Cander, L. R. & Mihajlovic, S. J. (1998).'Forecasting ionospheric structure during the great geomagnetic storms' *Journal of geophysicalResearch: Space Physics. 103* (A1): 391-398.

Chapagain, N.P. (2016). Ionosphere and its Influence in Communication Systems.*An Annual Publication of Central Department of Physics,X*, 1-2.

Cherniak, I., Zakharenkova, I. & Krankowski, A. (2014). Approaches for modeling ionosphere irregularities based on the TEC rate index. Earth, Planets and Space, 66 http://doi.org/10.1186/s40623-014-0165-z, 165.

Cliver, E., Clette, F. & Svalgaard, L. (2013). Recalibrating the sunspot number (SSN): the SSN workshops. *Central European Astrophysical Bulletin, 37*(2), 401-416.

Davis, T.N. & Sugiura, M., (1966). Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations, *Journal of Geophysical Researches, 71*, 785-801.

De Canck, M.H. (2007). Ionosphere properties and behaviors, *Antennex, 119*, 6-7.

Deviren, M.N., Arikan, F., Arikan, O. (2013). Spatio-temporal interpolation of total electron content using a GPS network. *Radio Science, 48*(3), 302–309.

Ding, F., Wan, W., Ning, B. & Wang, M. (2007). Large scale traveling Ionospheric disturbances observed by GPS total electron content during the magnetic storm of 29–30 October 2003. *Journal of Geophysical Research Space Physics, 112*(A6), 1-15.

Ding, F., Wan, W., Liu, L., Afraimovich, E.L., Voeykov, S. V. & Perevalova, N.P. (2008). A statistical study of large-scale traveling Ionospheric disturbances observed by GPS TEC during major magnetic storms over the years 2003–2005. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 113*(A3), 1-8.

Efendi, E. & Arikan, F. (2017). A fast algorithm for automatic detection of Ionospheric disturbances: DROT. *Advances in Space Research*, 59(12), 2923-2933.

Eftaxiadis, K., Cervera, M.A. & Thomas, R.M. (1999). A Global Positioning System Receiver for Monitoring Ionospheric Total Electron Content. Defence Scıence And Technology Organisation, Canberra, Australia.

El- Rabbany, A. (2002). Introduction to GPS:The Global Positioning System. London: Artech House Publishers.

Fedorenko, Y.P., Tyrnov, O.F., Fedorenko, V.N. & Dorohov, V.L. (2013). Model of traveling ionospheric disturbances. *Journal of Space Weather and Space Climate, 3*(A30), 1-28.

Hocke, K. & Schlegel, K. (1996). A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995. *Annales Geophysicae*, *14*(9), 917-940.

Hawarey, M. & Ayan, T. (2004). Uzay mekiği tırmanışı, deprem ve füze fırlatışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜ Dergisi, 3*, 45-46.

Hernández-Pajares, M., Juan, J. & Sanz, J. (2006). Medium-scale traveling ionospheric disturbances affecting GPS measurements: Spatial and temporal analysis. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, *111*(A7), 1-13.

Ho, C. M., Mannucci, A. J., Lindqwister, U. J., Pi, X., Tsurutani, B. T., Sparks, L., et al. (1998). Global ionospheric TEC variations during January 10, 1997 storm. *Geophysical Research Letters, 25*(14), 2589-2592. http://doi.org/10.1029/98G L00539.

Hunsucker, R. D. & Hargreaves, K.G. (2003) The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation. 2-5.

Husin, A., Abdullah, M. & Momani, M. (2011). Observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Peninsular Malaysia based on IPP trajectories. *Radio Science, 46*(02), 1-10.

Ismail, M., Abdullah, M. & Suparta, W. (2017). Ionospheric Total Electron Content: Space Science and Communication for Sustainability. Singapore: Springer Press.

Jakowski, N., Béniguel, Y., De Franceschi, G., Pajares, M. H., Jacobsen, K. S., Stanislawska, I &., Wautelet, G. (2012). Monitoring, tracking and forecasting ionospheric perturbations using GNSS techniques. *Journal of Space Weather and Space Climate, 2*(A22), 1-14.

Kalikhman, A. (1980). Medium-scale travelling ionospheric disturbances and thermospheric winds in the F-region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 42*(8), 697-703.

Karatay, S. (2010). Deprem ile İyonküre Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Elazığ.

Kelley, M.C., (2009). The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics. New York: Academic press.

Kersly, L., Malan, D., EleriPryse, S. & Cander, L.R. (2004).Total electron content - A key parameterinpropagation: *measurement and using ionospheric imaging.Annals of Geophysics, 47*(2/3), 1067-1091.

Kim, M., Choi, Y., Jun, H.-S. & Lee, J. (2015). GBAS ionospheric threat model assessment for category I operation in the Korean region. *GPS Solutions, 19*(3), 443-456.

Komjathy, A. (1997). Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System.University of New Brunswick Fredericton Canada.

Koroglu, M. & Arikan, F., (2019) Spatio-temporal analysis of ionospheric disturbances for ground based augmentation systems over a midlatitude region. *Advances in Space Research*.InPress. http://doi.org/10.1016/j.asr2019.10.024.

Kirby, S.s., Berkner, L.V. & Stuart, D.M.(1934). Studies of the Ionosphere and Their Application to Radio Transmission.*Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 22*(4), 481-521.

Krankowski, A., Shagimuratov, I. I., Baran, L. W. & Ephishov, I. I. (2005). Study of TEC fluctuations in Antarctic ionosphere during storm using GPS observations. *Acta Geophysica Polonica, 53*(2), 205-218. http://doi.org/10.2478/v10018-007-0005-5.

Li, J.Y., Chen, C.H., Chen, Y.I., Yang , W.H.,Oyama, K.I.,&Kuo, K.W.(2010).A statical study of ionospheric earthquake precursors monitored by using equatorial ionization anomaly of GPS TEC in Taiwan during 2001-2007. *Journal of Asian Earth Sciences, 39* (1-2).

Letfus,V. & Apostolov, E.M. (1982). Solar Cycle and Seasonal Variations in the Effiency of Solar Flares in Producing Suddden Ionospheric Disturbunces. *Journal of Atmospheric And Solar Terrestrial Physics, 44*(4) 359-362.

Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A. & Yu S.B., (2004) Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae, 22*(5):1585–1593

McNamara, L.F. (1994). Radio Amateur's Guide to the Ionosphere. Florida: Krieger Pub Co.

Millward, G., Rishbeth, H., Fuller-Rowell, T., Aylward, A., Quegan, S. & Moffett, R. (1996). Ionospheric F 2 layer seasonal and semiannual variations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 101*(A3), 5149-5156.

Mosna, Z., Sauli, P. & Santolik, O. (2007). Preparation of a database for the study of scaling phenomena in the ionosphere. *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers, 2*, 86-92.

Naaman, S., Alperovich, L., Wdowinski, S., Hayakawa, M. & Calais, E. (2001). Comparison of simultaneous variations of the ionospheric total electron content and geomagnetic field associated with strong earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Science, 1*(1/2), 53-59.

Nayir, H. (2007). Ionospheric total content estimation using GPS signals, Yüksek Lisans tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Nayir, H., Arikan, F. Arikan. O. & Ero,. C.B., (2007). Total electron content estimation with Reg-Est. *Journal of Geophysical Research-Space Physics, 112*(A11), 1-11. https://doi.org/10.1029/2007JA012459.

Pellinen, R. & Brekke, A. (2011). Introduction The history of Ionospheric radars. History of Geo- and Space Sciences, 2, 113–114.

Pulinets, S.A., Kotsarenko, A.N., Ciraolo, L & Pulinets, I.A., (2007) Special case of ionospheric day-to-day variability associated with earthquake preparation. *Advances in Space Research, 39*(5), 970–977.

Rapoport, Z. T. & Sinelnikov, V. (1996). Experimental Electron-Density Profiles in the Mid-Latitude Lower Ionosphere and the Winter Anomaly. *Geomagnetism and Aeronomy, 36*(2), 248-252.

Rishbeth, H. & Garriott, O. (1969). Introduction to Ionospheric Physics. New York: Academic Press.

Reshbeth, H. (1975) F-region storms and thermosphere circulation, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 37*, 1055-1064.

Reznychenko, A. (2016) Investigations of ionospheric disturbances using coherent HF instrumentation.Faculty of Science and Technology Department of Physics and Technology, 15.

Roy, A. (2017). Ionosphere Affects on GPS Signals. *International Journal of Advanced Research in Electronics and communication Engineering*, (IJARECE) 6,598-599.

Momin, S. O. R. (2019). Türkiye Üzerindeki İyonkürede Meydana Gelen Bozulmaların Ionolab-Hızlı Fourier Dönüşümü (I-FFT) İle İncelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

Seeber, G. (2003). Satellites Geodesy. Berlin: Walter de Gruyter Inc.

Schuh, H., Hobiger, T. & Boehm, J., (2002). Determination of Ionospheric Parameters by Geodetic VLBI. *Report of Institute of Geodesy and Geophysics IGG*, University of Technology, Vienna.

Schunk, R. & Nagy, A. (2009). Ionospheres: physics, plasma physics, and chemistry: Cambridge University Press.

Stauning, P. (2013). The Polar Cap index: A critical review of methods and a new approach. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, *118*(8), 5021-5038.

Stening, R. (1995). What drives the equatorial electrojet? *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, *57*(10), 1117-1128.

Tsui, B.J. (2005).Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach. New Work.

Tsugawa, T., Otsuka, Y., Coster, A.J. & Saito, A.(2007). Medium-scale travelling ionospheric disturbances detected with dense and wide TEC maps over North America. *Geophysical Research Letters*, *34*(22), 1-5.

Tuna, H. O., Arikan, F., Arikan, T. L., Gulyaeva. & Sezen, U. (2014). Online user-friendly slant total electron content computation from IRI-Plas: IRI- Plas-STEC, *Speace Weather*, *12*(1), 64-75.

Türel, N. (2008). İyonosfer Katmanının Toplam Elektron İçeriğinin İzgel Güç Yoğunluğu ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Kestirimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Ankara.

URL-1. 20.09.2019 tarihinde *https://www.ahdictionary.com* adresinden alınmıştır.

URL-2. 10.09.2019 tarihinde *https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/rma-geomagnetic-storms.pdf* adresinden alınmıştır.

URL-3. 12.10.2019 tarihinde *https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/xray* adresinden alınmıştır.

URL-4. 10.08.2019 tarihinde *http://www.haarp.alaska.edu* adresinden alınmıştır.

URL-5. 30.07.2019 tarihinde *https://www.bilgiustam.com/gps-nedir-ve-nasil-calisir/* adresinden alınmıştır.

URL-6. 28.08.2019 tarihinde *https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/* adresinden alınmıştır.

URL-7. 18.11.2019 tarihinde *https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gps-nedir-yaps-ve-uygulamalar/* adresinden alınmıştır.

URL-8. 23.11.2019 tarihinde *https://www.hkmo.org.tr/* adresinden alınmıştır.

URL-9. 02.09.2019 tarihinde *http://www.ngdc.noaa.gov/stp/spaceweather/* adresinden alınmıştır.

URL-10. 01.12.2019 tarihinde *ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/* adresinden alınmıştır.

URL-11. 15.07.2019 tarihinde *www.ionolab.org*

Wang, M., Ding, F., Wan, W., Ning, B. & Zhao, B. (2007). Monitoring global traveling ionospheric disturbances using the worldwide GPS network during the October 2003 storms. *Earth, Planets and Space, 59*(5), 407-419.

Whitten, R.C. & Poppoff, I.G. (1971). Fundamentals of Aeronomy. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.

Yoon, M. & Lee, J. (2014). Medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Korean region on 10 November 2004: Potential impact on GPS-based navigation systems. *Space Weather, 12*(4), 173-186.

Zhang, S. R., Oliver, W., Fukao, S. & Otsuka, Y. (2000). A study of the forenoon ionospheric F 2 layer behavior over the middle and upper atmospheric radar. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 105*(A7), 15823-15833.

Zhang, D. H. & Xiao, Z. (2003). Study of the ionospheric total electron content response to the great flare on 15 April 2001 using the International GPS Service network for the whole sunlit hemisphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 108*(A8). http://doi.org/10.1029/2002JA009822.

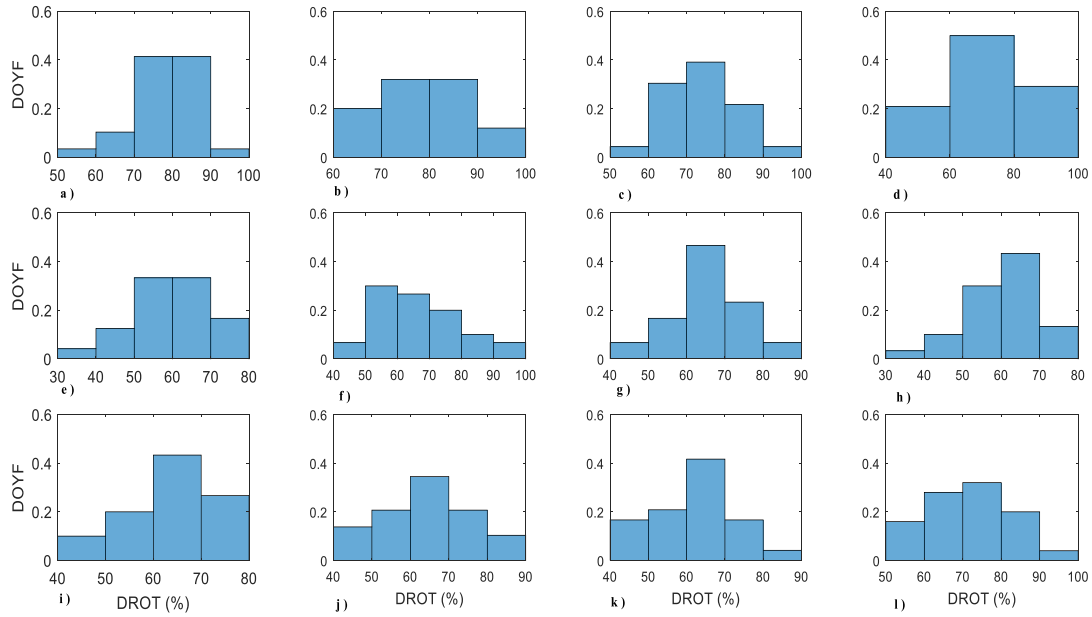
Zolesi, B. & Cander, L.R. (2014). Ionospheric Prediction and Forecasting. Berlin: Springer Geophysics.

EKLER

EK-1. TUSAGA-Aktif Ağı istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarının her ayına ait DROT değerlerinin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları.

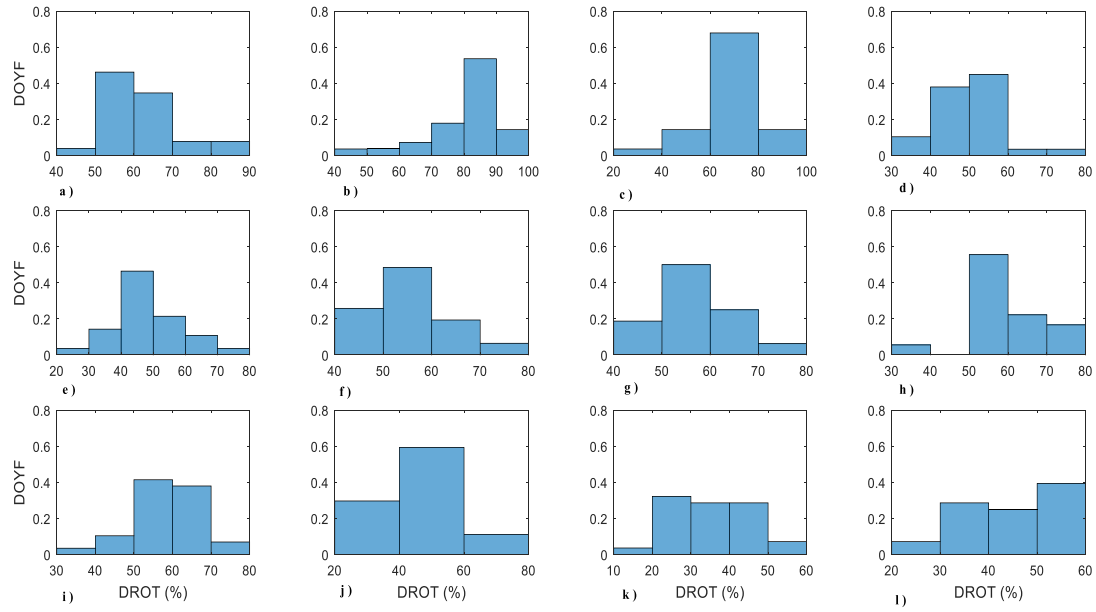
EK-1. TUSAGA-Aktif Ağı istasyonlarının 2010, 2011 ve 2012 yıllarının her ayına ait DROT değerlerinin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları.

Bu bölümde, Bölüm 7'deki Tablo 7.1'de sunulan on sekiz TUSAGA-Aktif istasyonunun her biri için 2010, 2011 ve 2012 yıllarında elde edilen IONOLAB-TEC verileri için elde edilen DROT değerlerinin Deneysel Olasılık Yoğunluk Fonkiyonları'nın (DOYF), düzgelenmiş değerleri verilmiştir. Histogramlar, istasyonların alfabetik sıralamasına göre sırayla 2010, 2011 ve 2012 yıllarının her bir ayı için sunulmuştur.

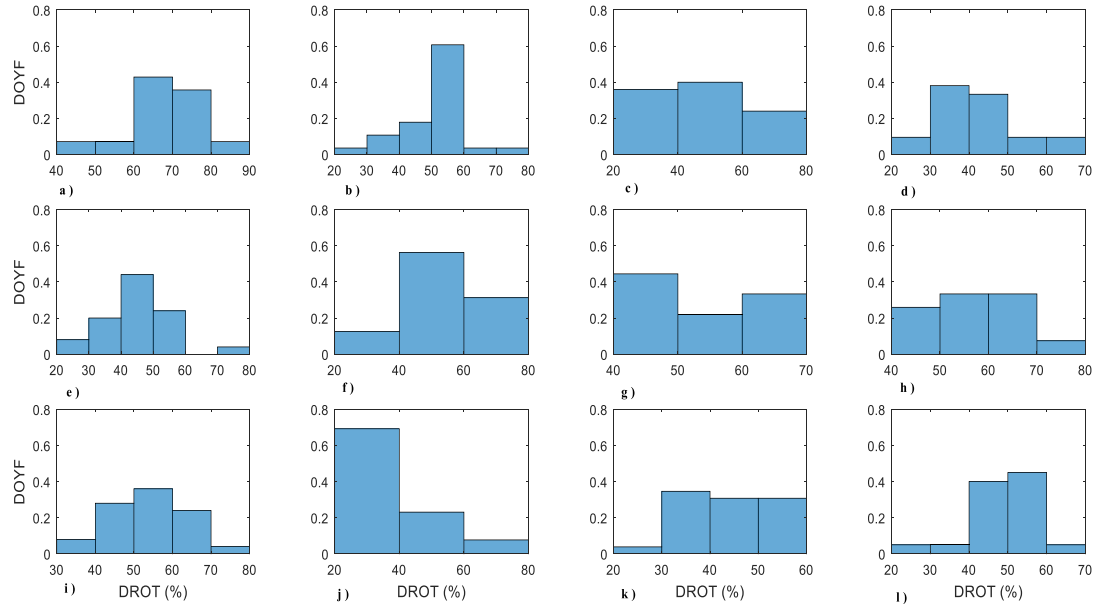


Ek 1.1. adiy istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

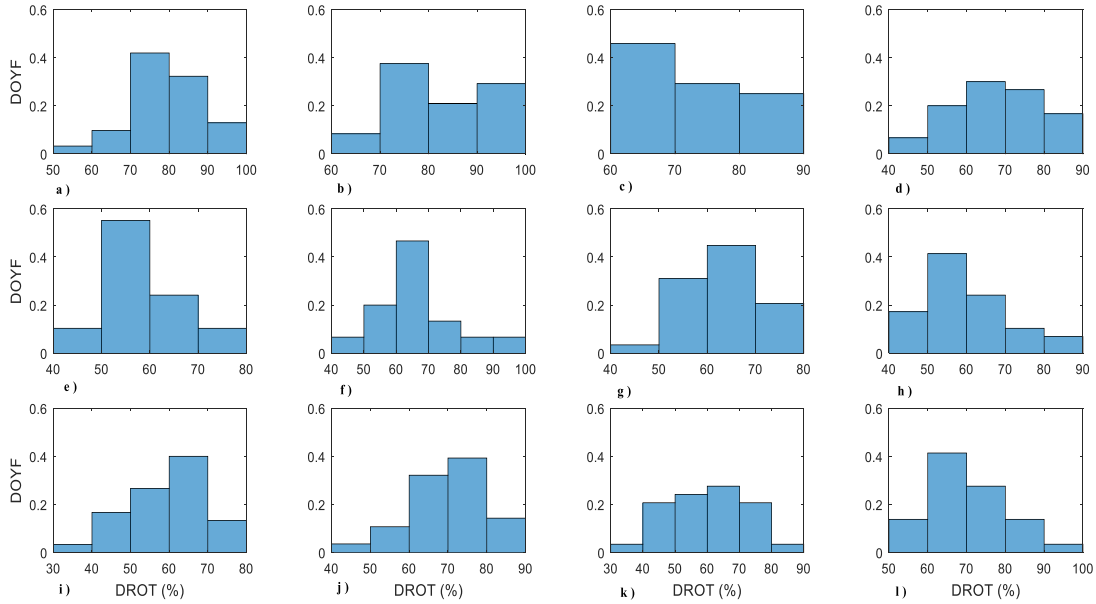


Ek 1.2. adiy istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

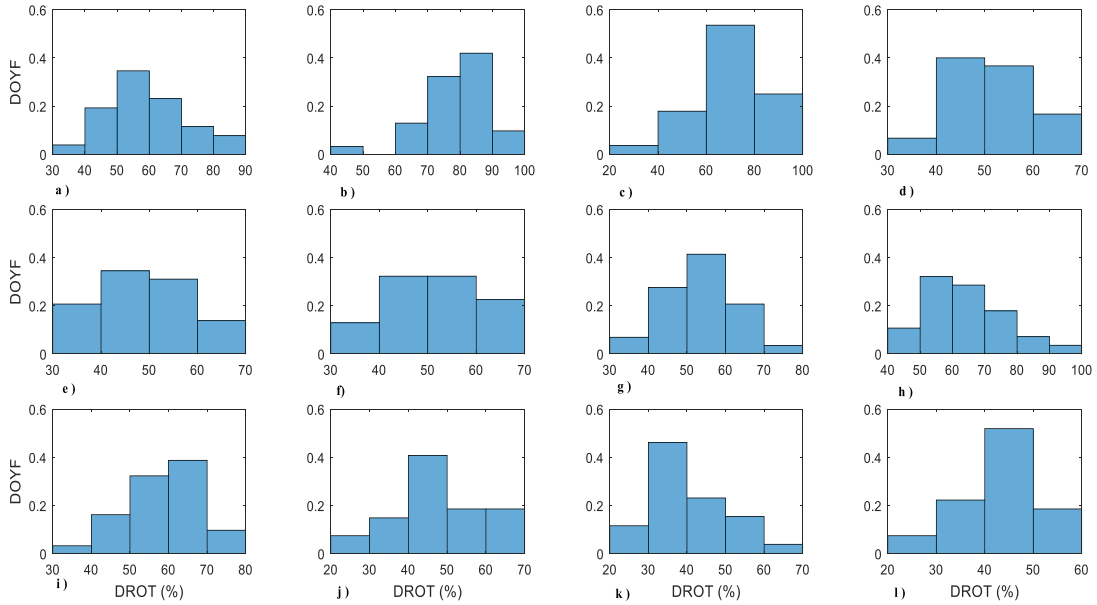


Ek 1.3. adiy istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

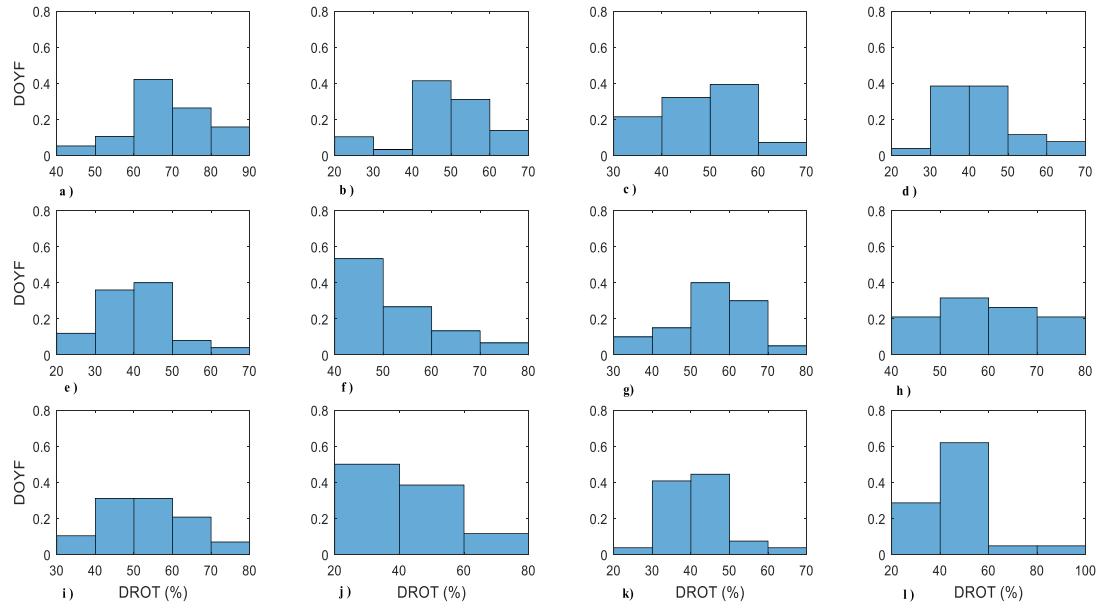


Ek 1.4. afyn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

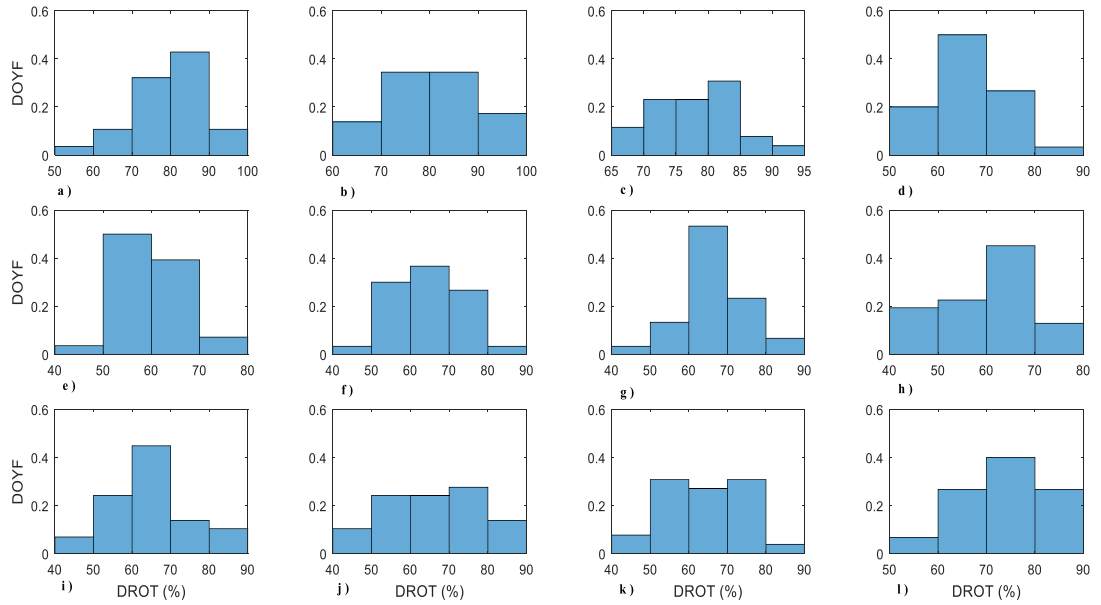


Ek 1.5. afyn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

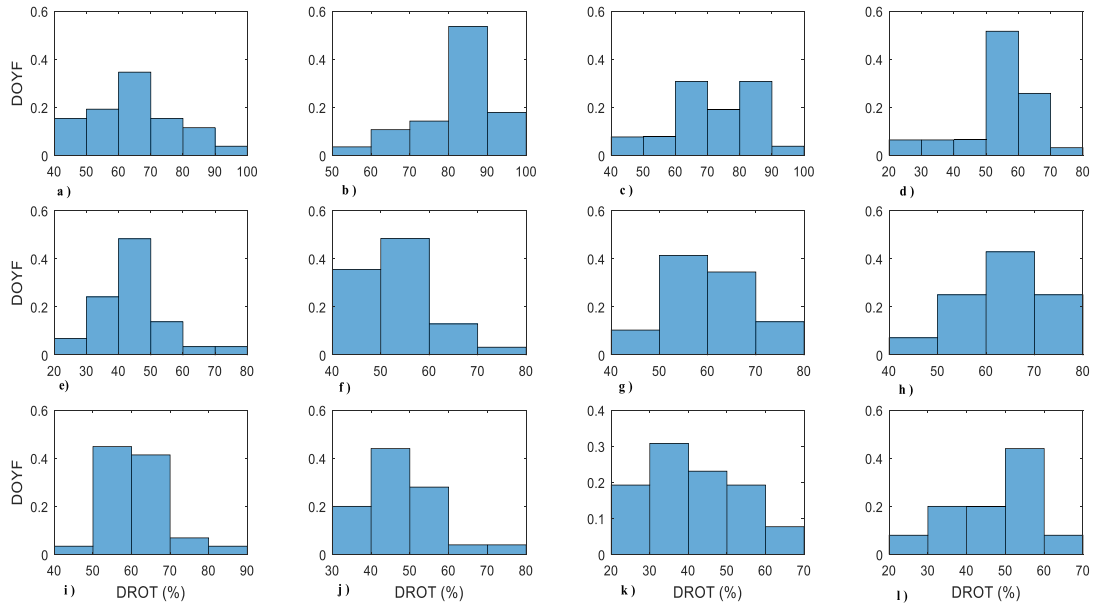


Ek 1.6. afyn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

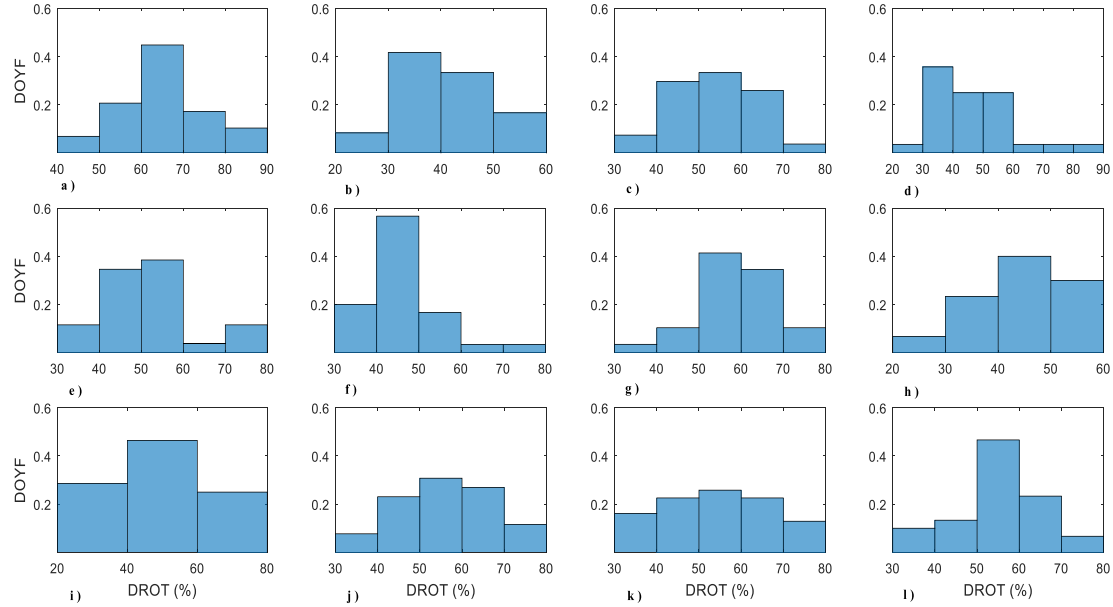


Ek 1.7. agrd istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

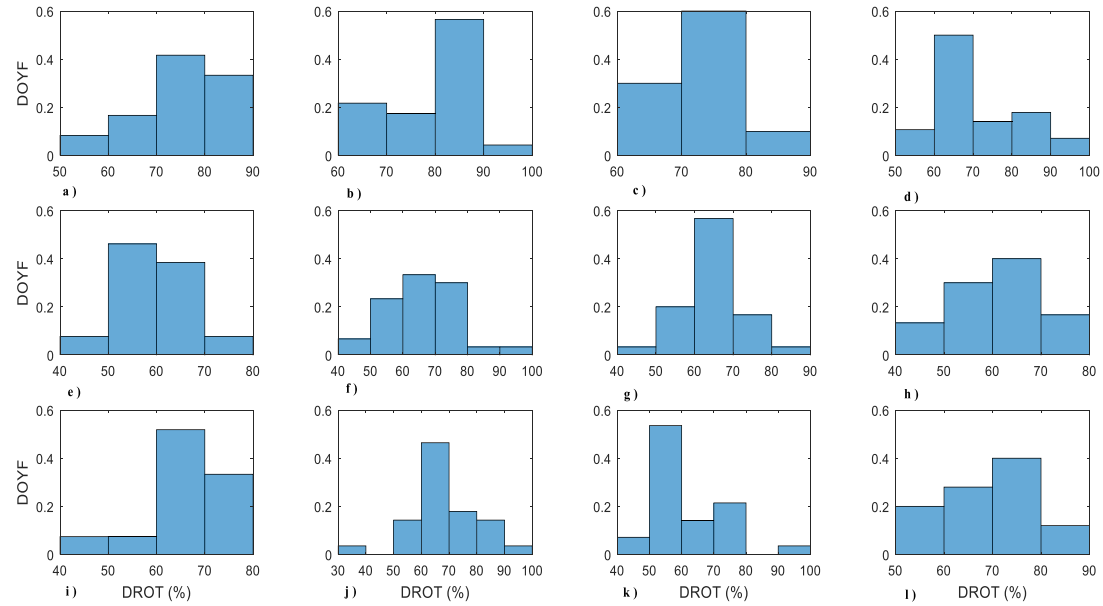


Ek 1.8. agrd istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

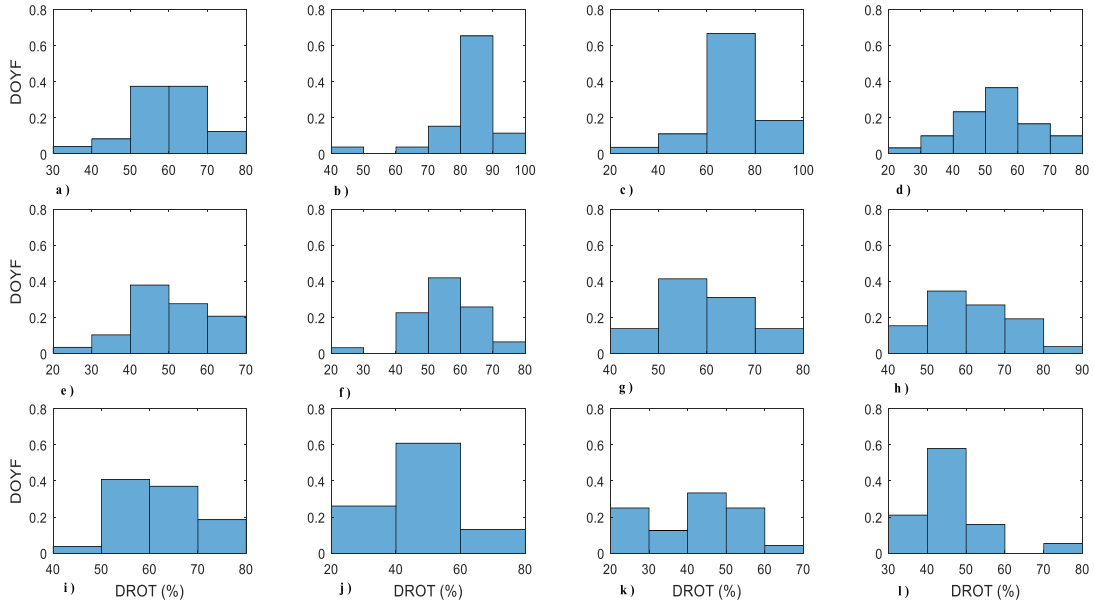


Ek 1.9. agrd istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

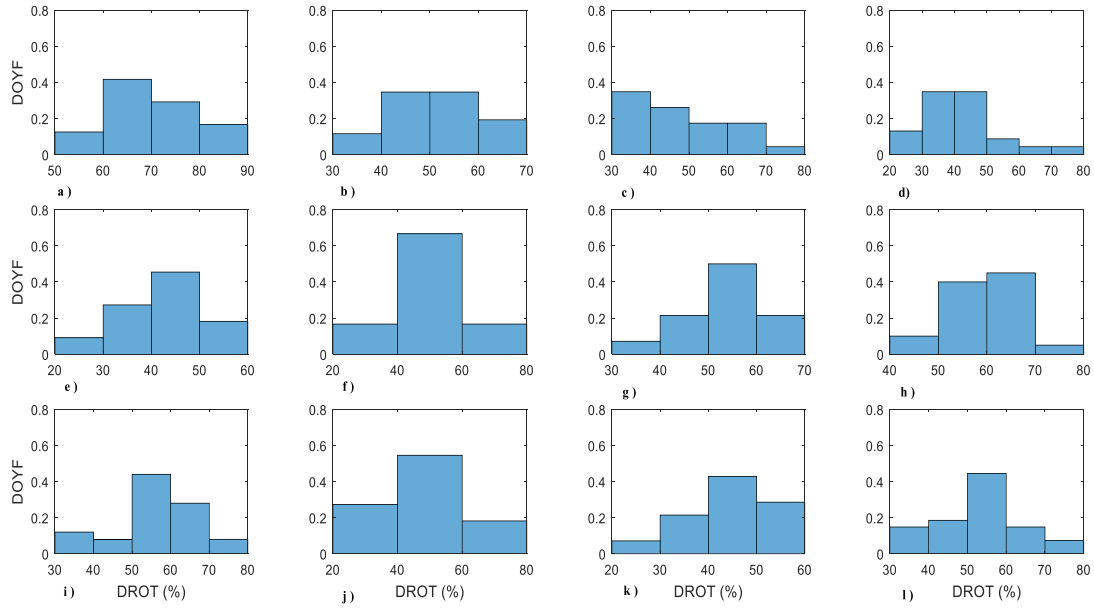


Ek 1.10. amas istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

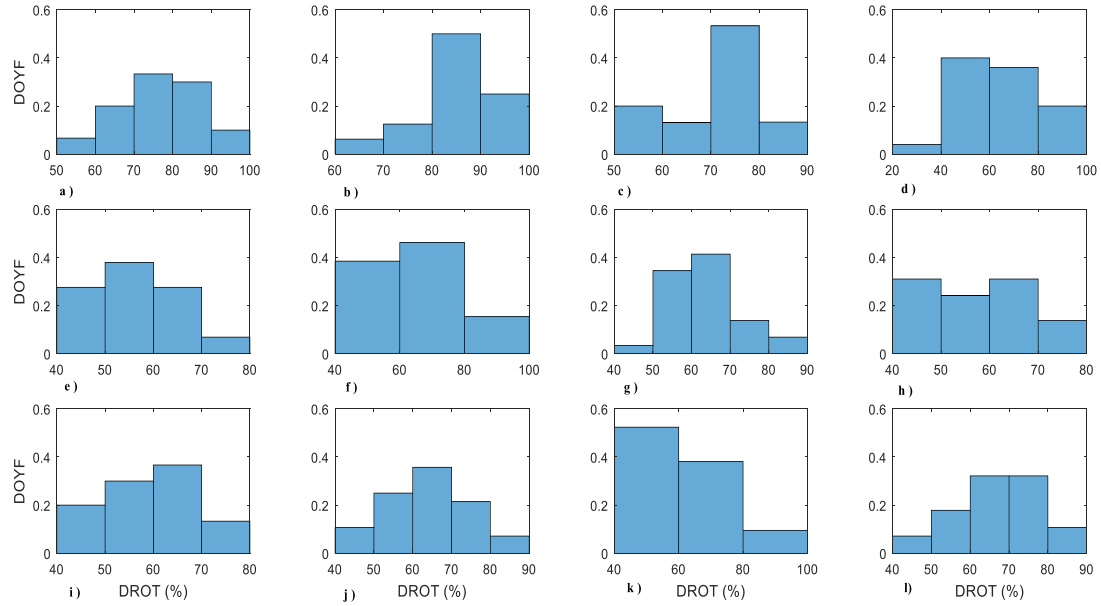


Ek 1.11. amas istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

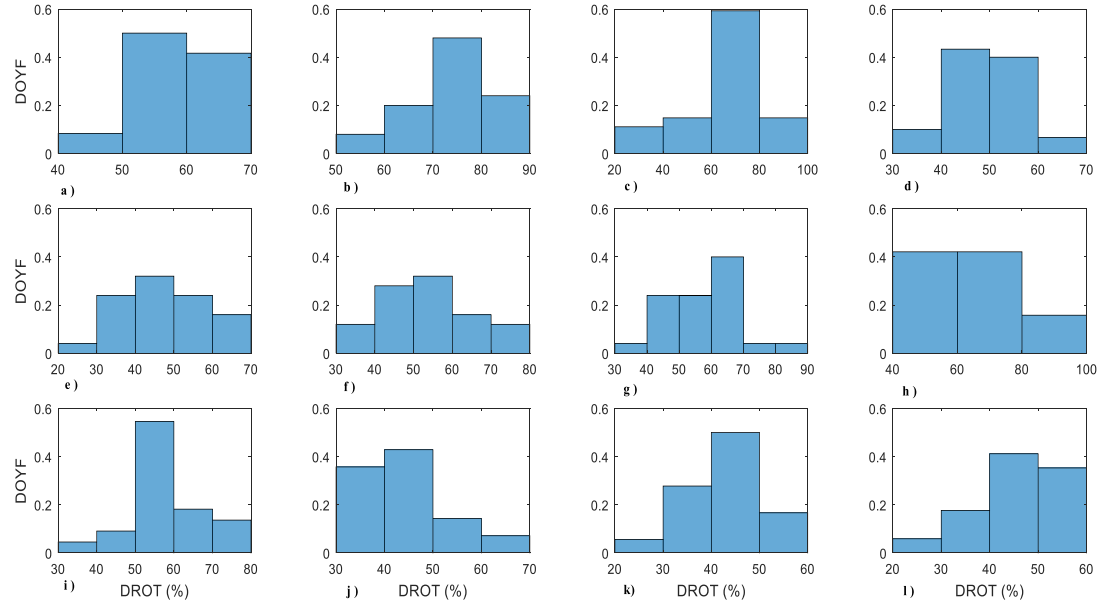


Ek 1.12. amas istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

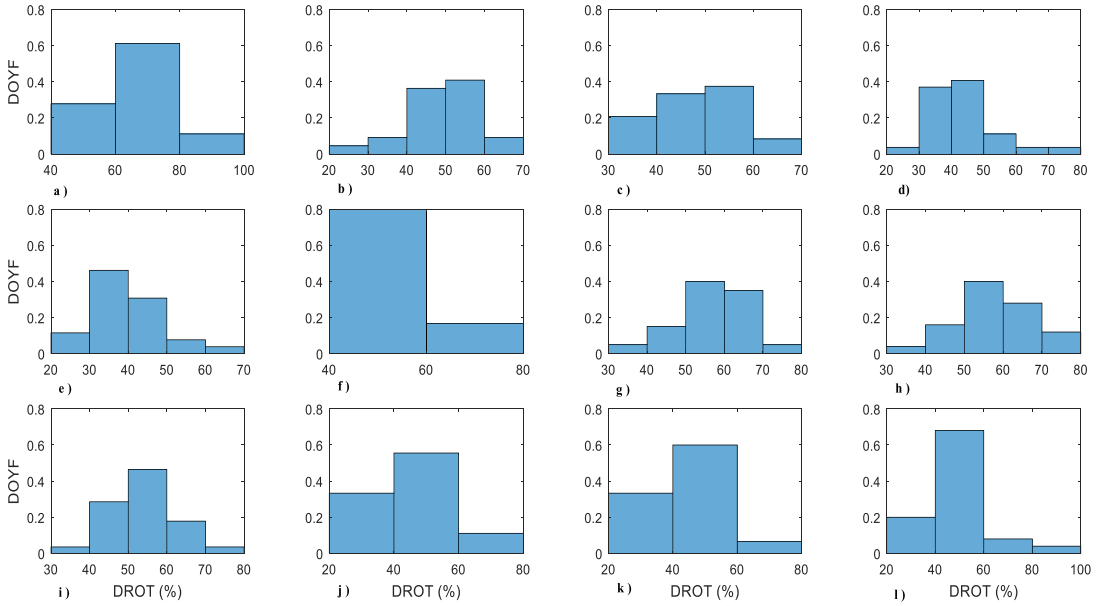


Ek 1.13. anmu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

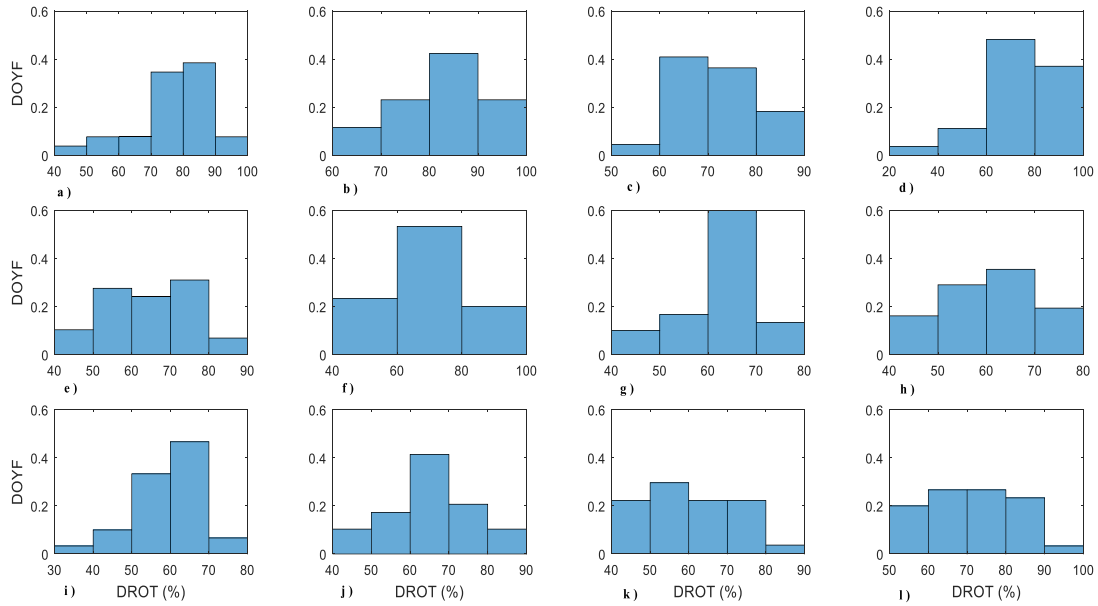


Ek 1.14. anmu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

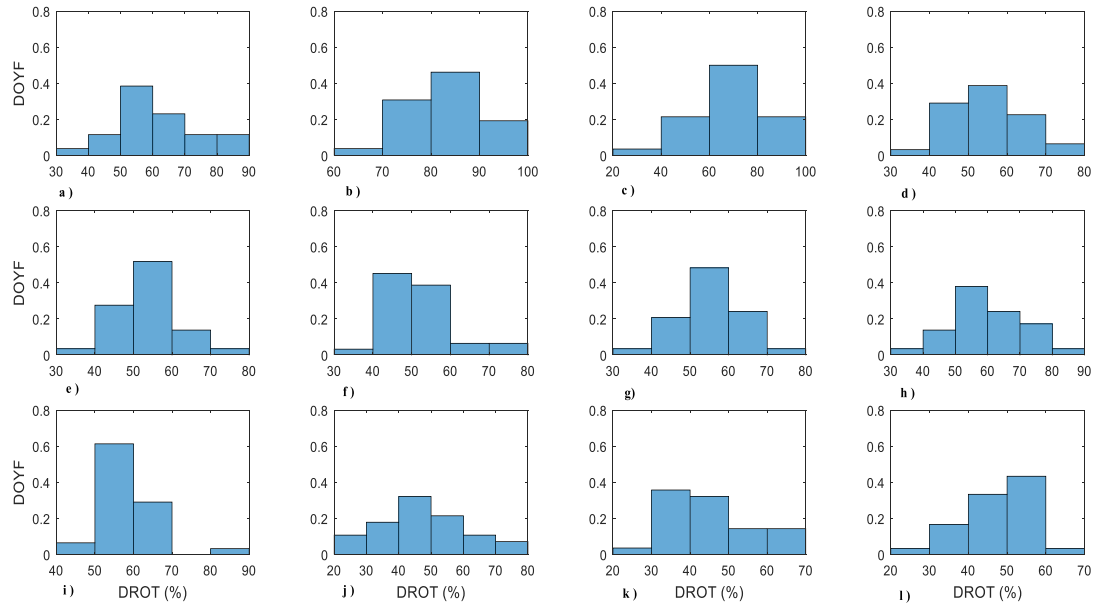


Ek 1.15. anmu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

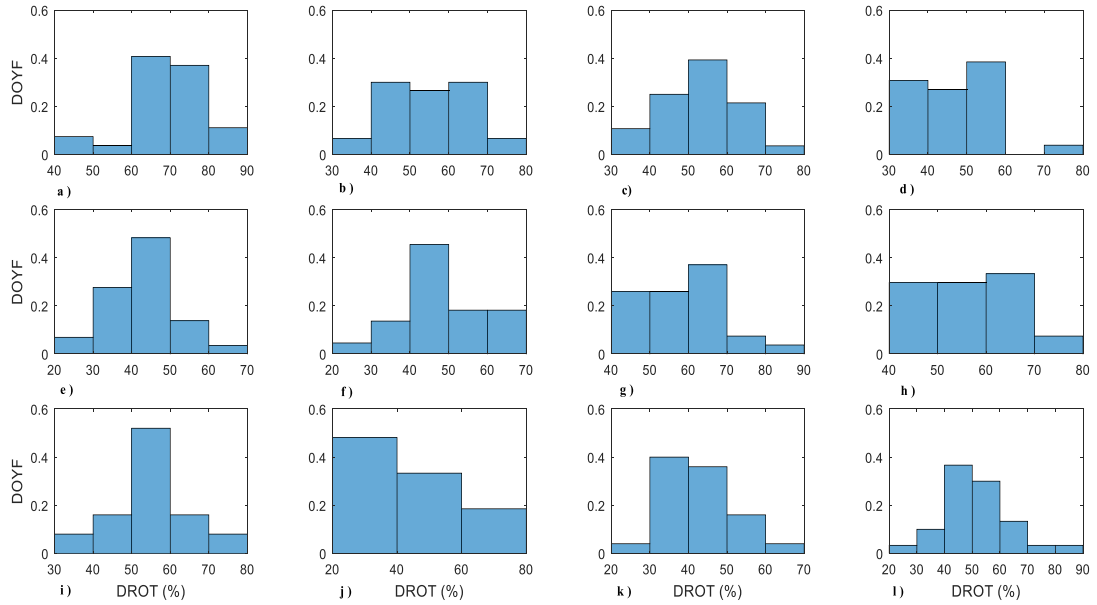


Ek 1.16. ankr istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

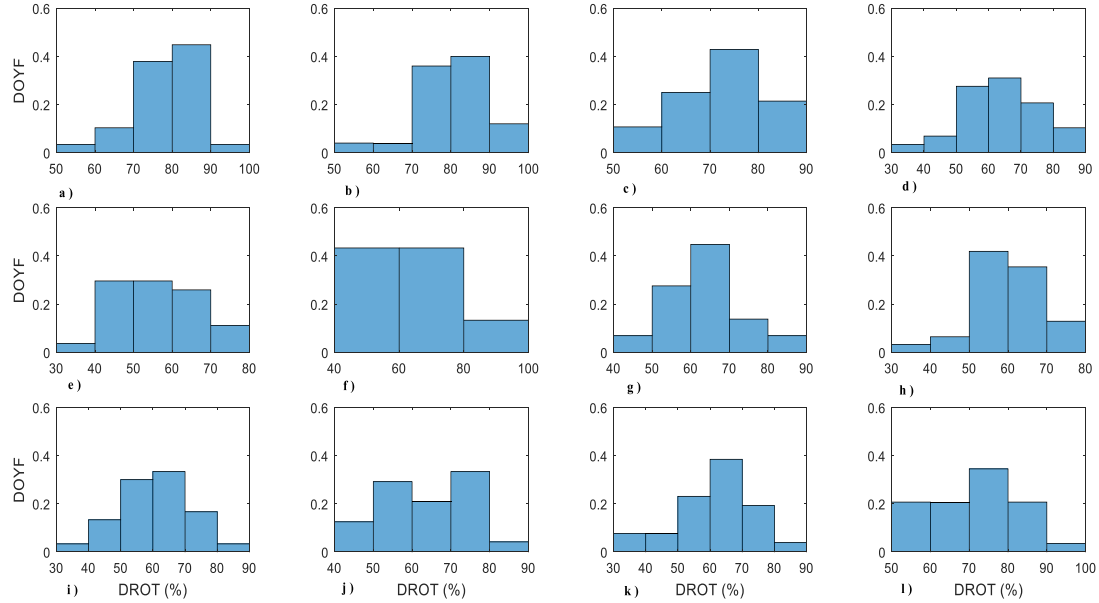


Ek 1.17. ankr istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

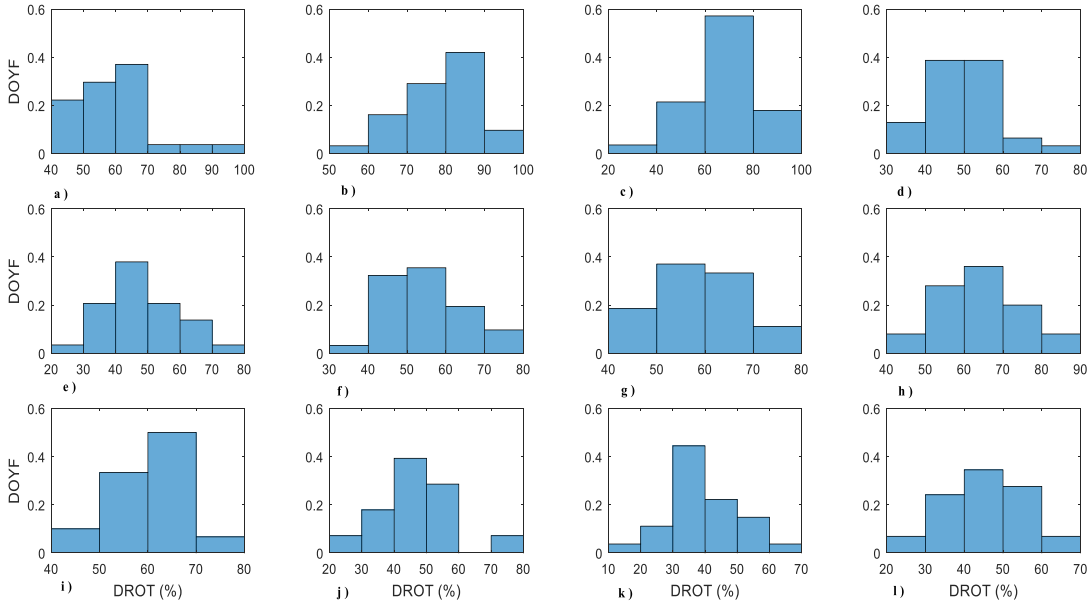


Ek 1.18. ankr istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

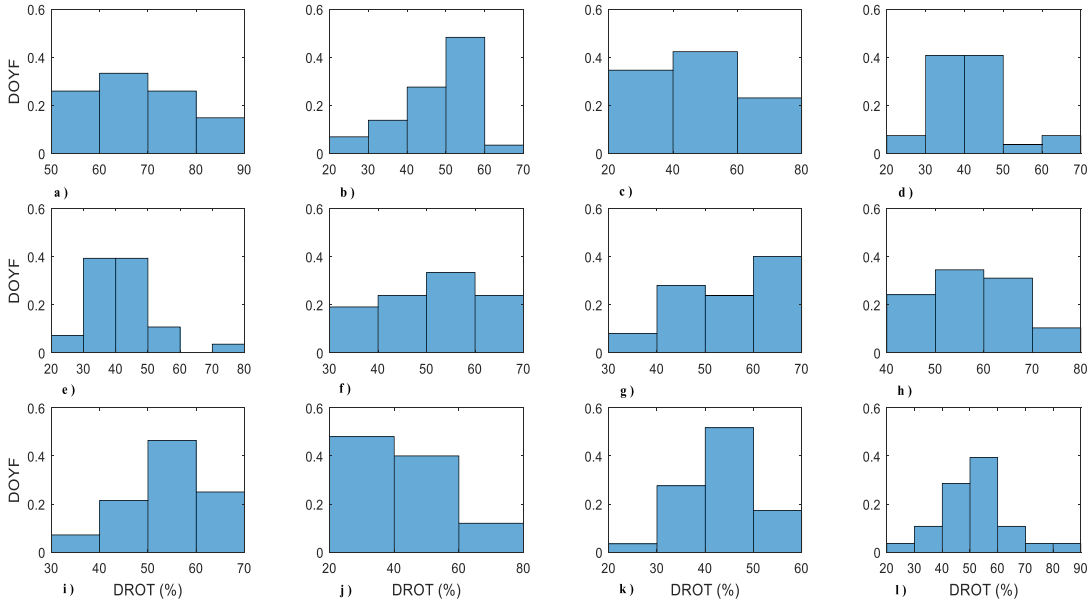


Ek 1.19. ante istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

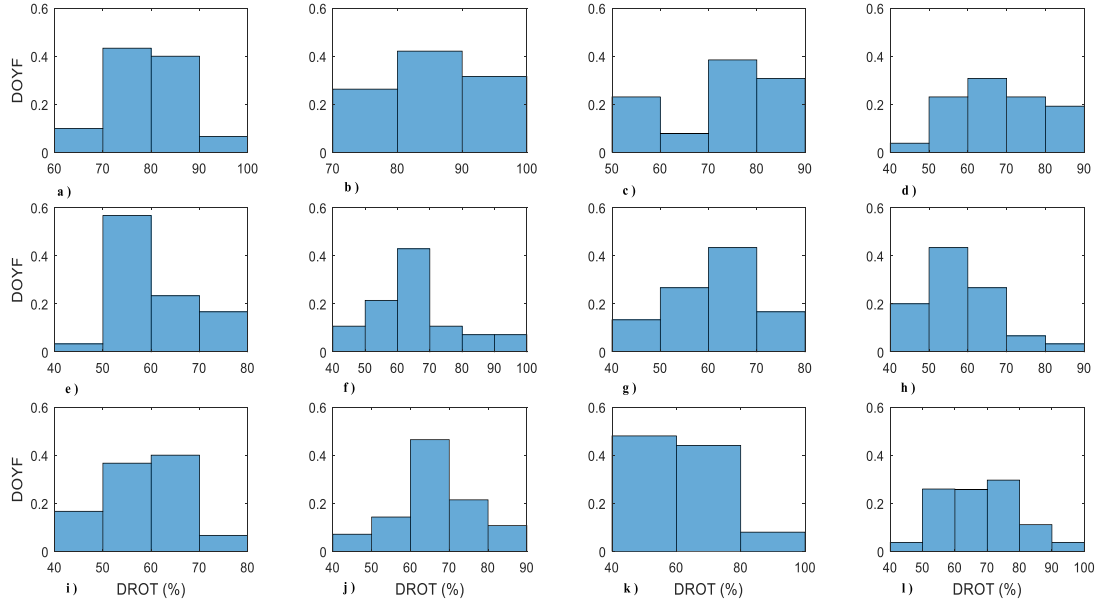


Ek 1.20. ante istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

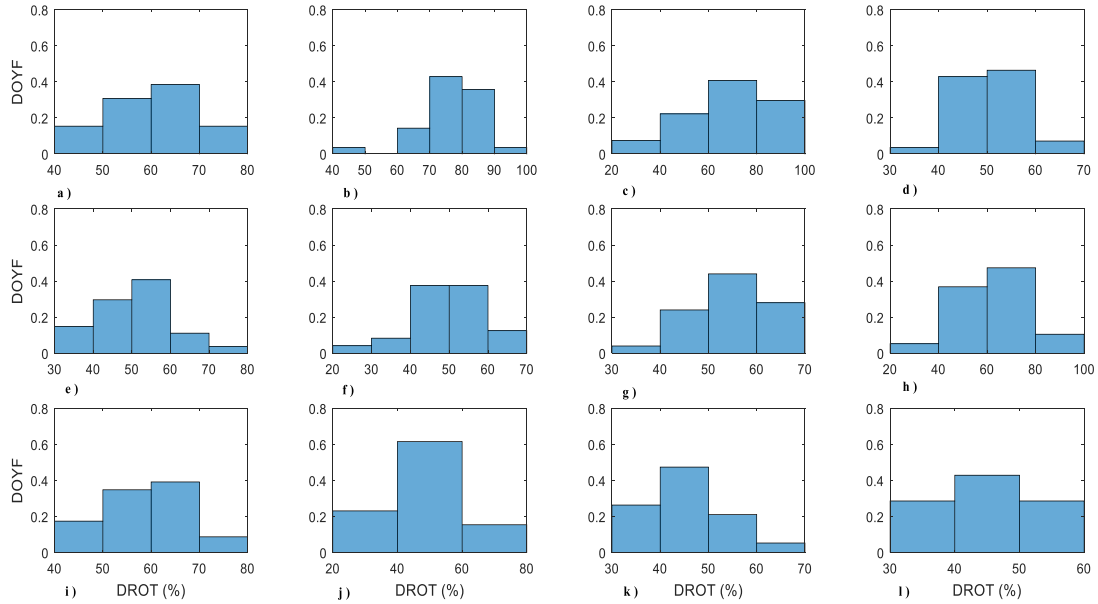


Ek 1.21. ante istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

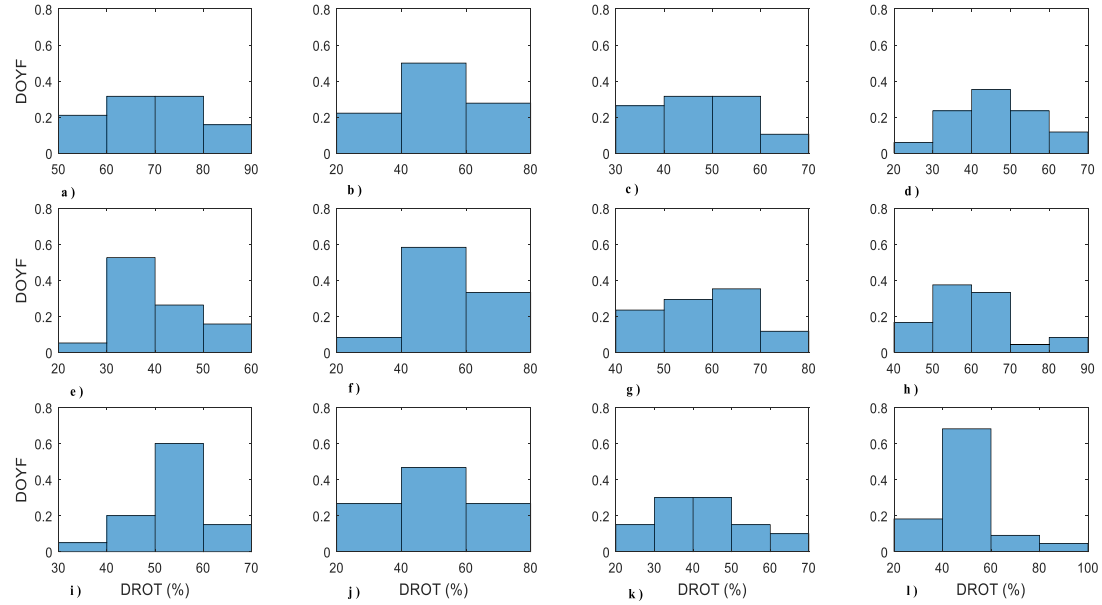


Ek 1.22. antl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

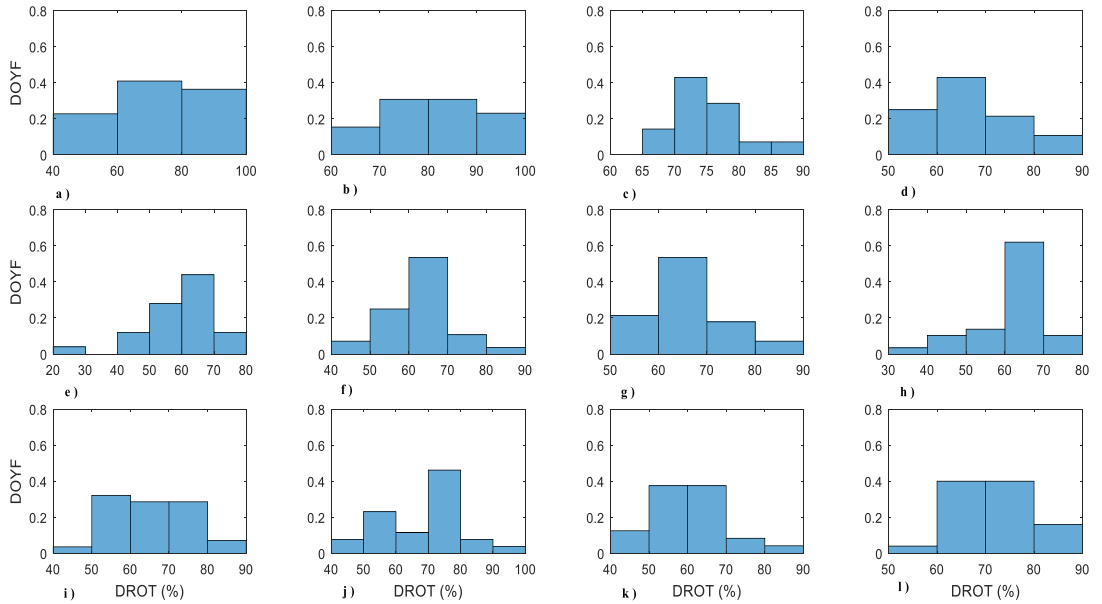


Ek 1.23. antl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

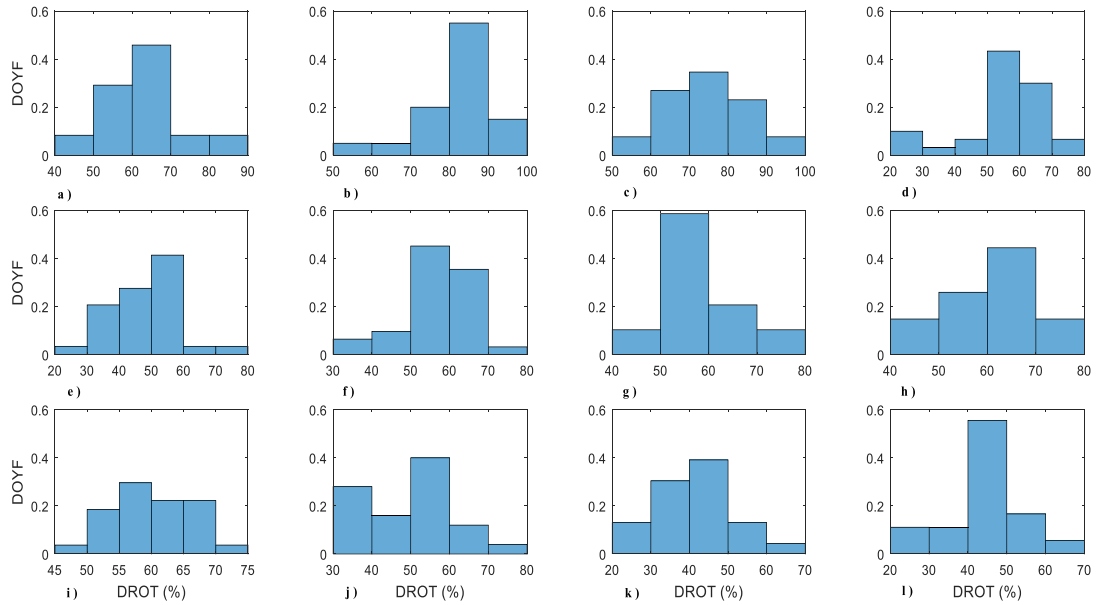


Ek 1.24. antl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

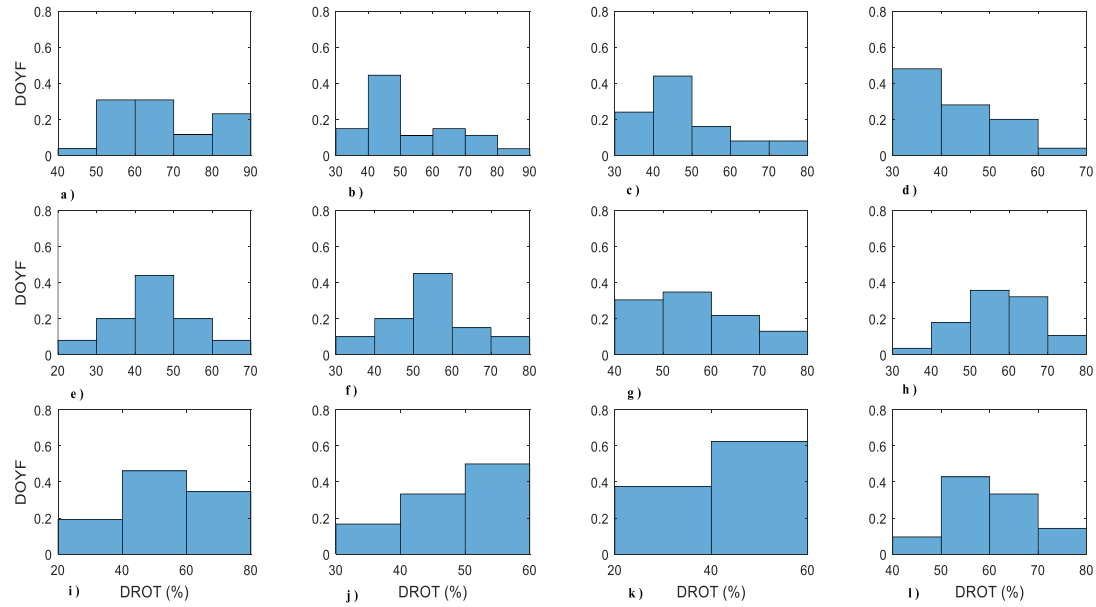


Ek 1.25. ardh istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

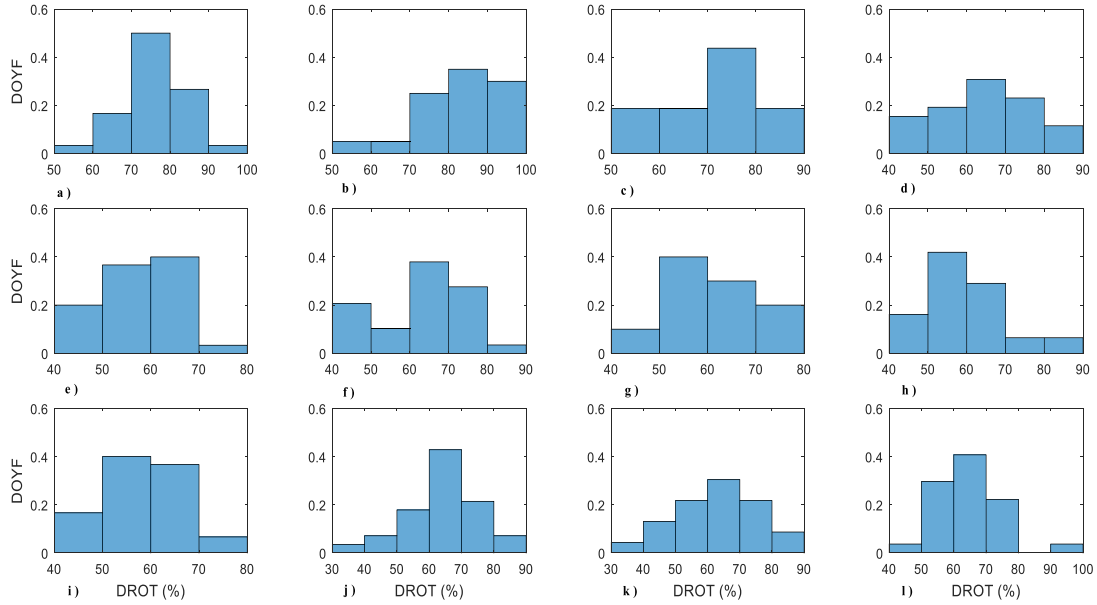


Ek 1.26. ardh istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

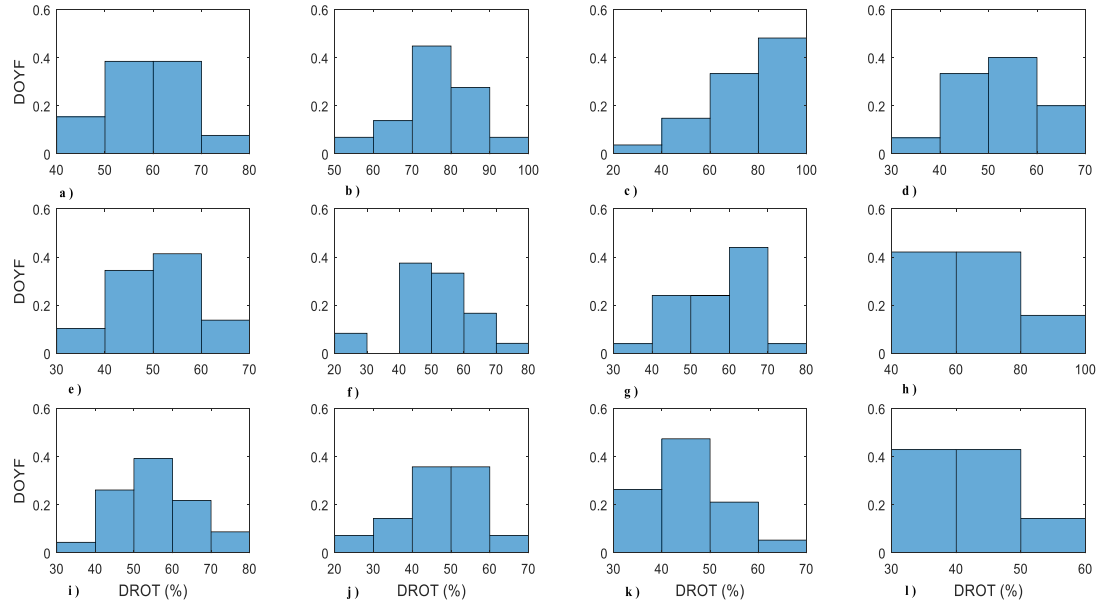


Ek 1.27. ardh istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

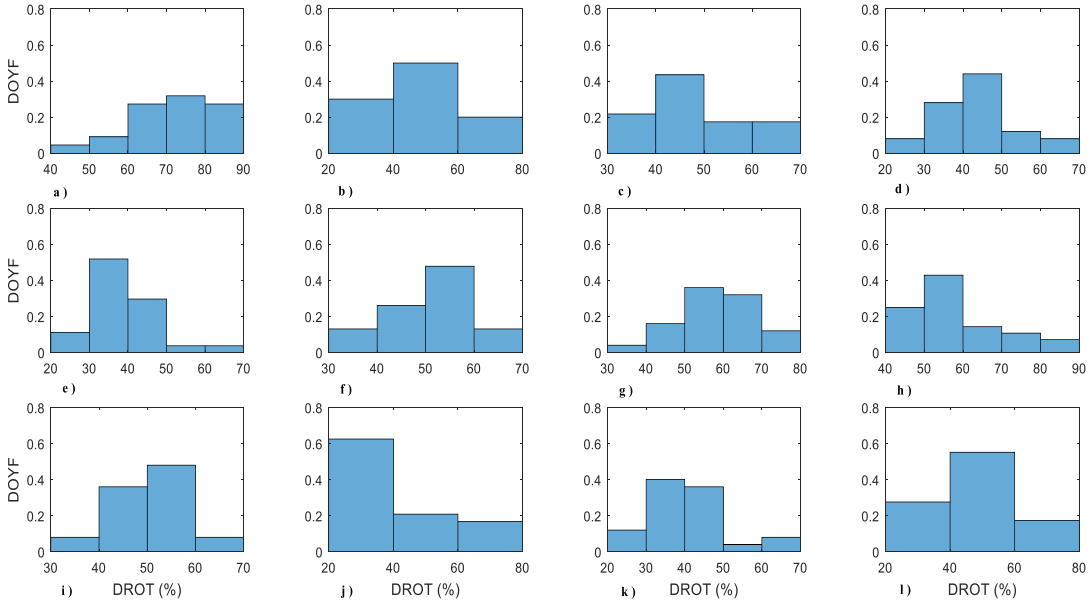


Ek 1.28. ayd1 istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

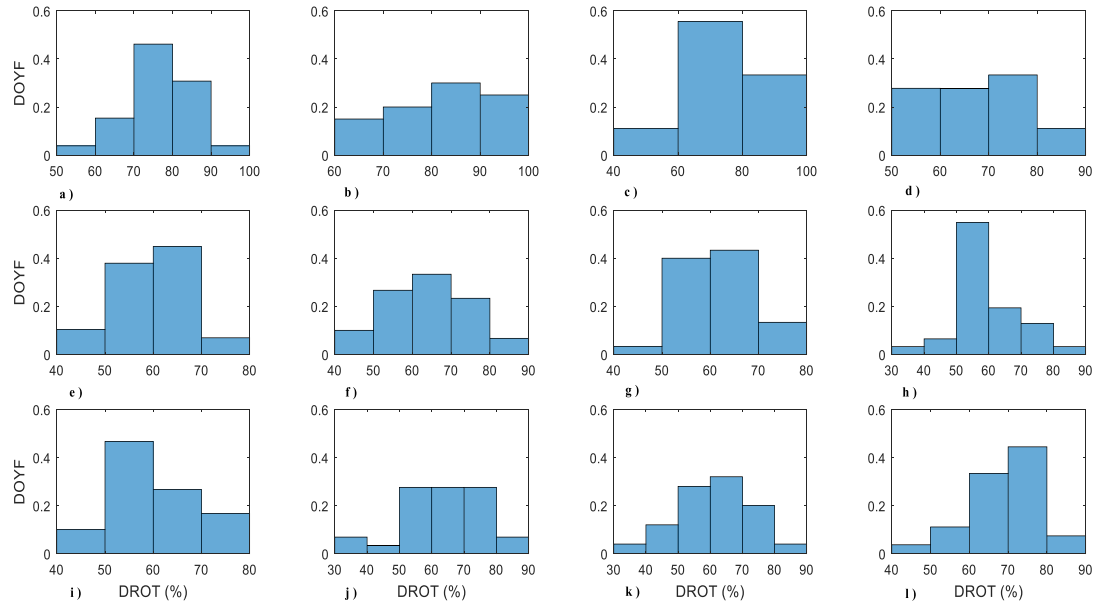


Ek 1.29. ayd1 istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

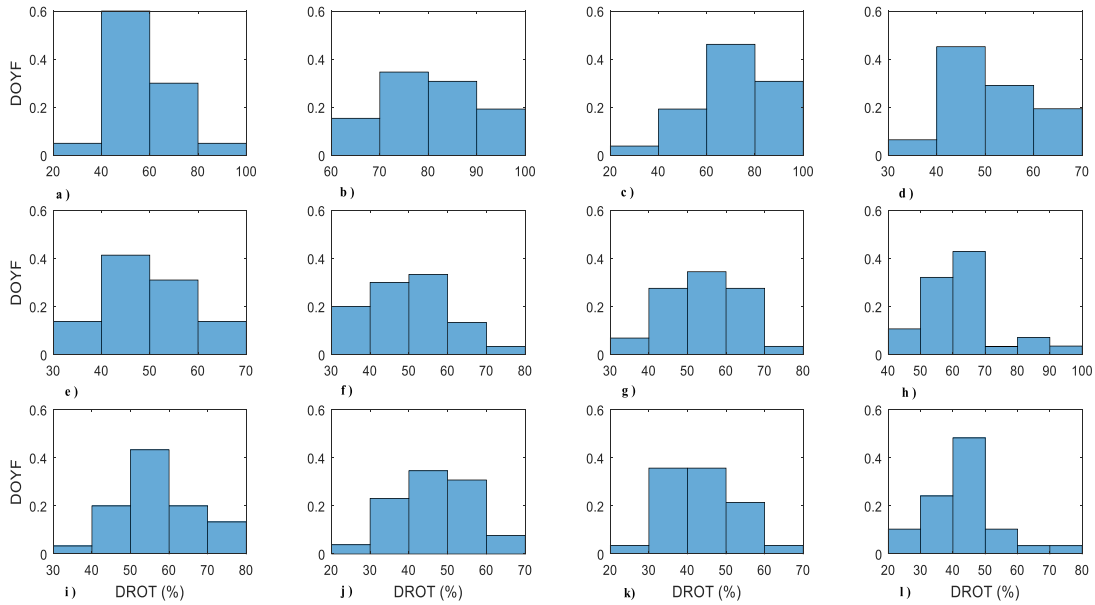


Ek 1.30. ayd1 istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

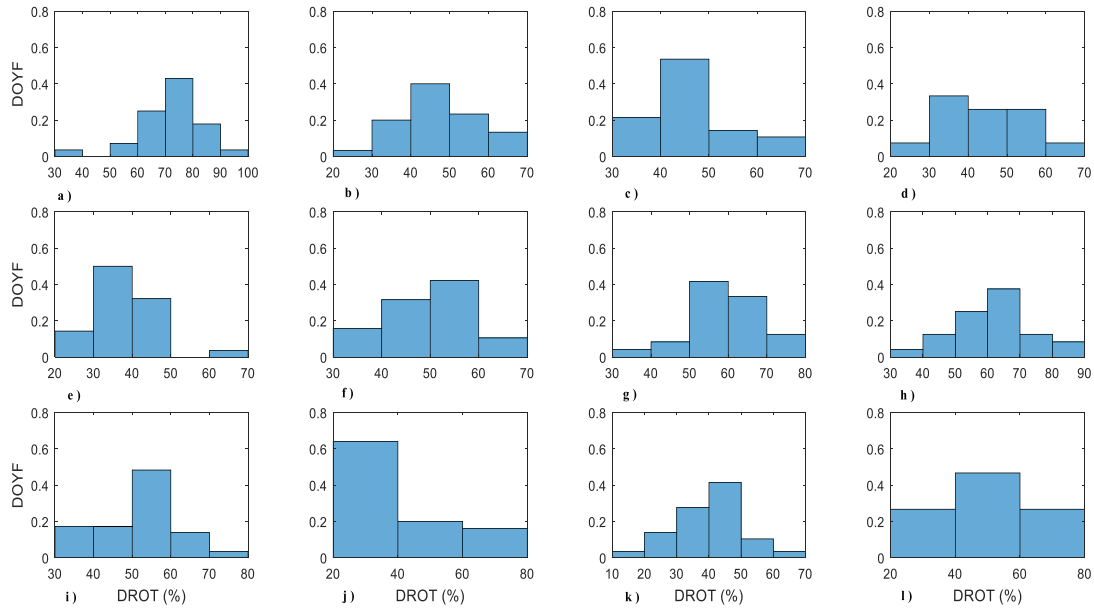


Ek 1.31. ayvl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

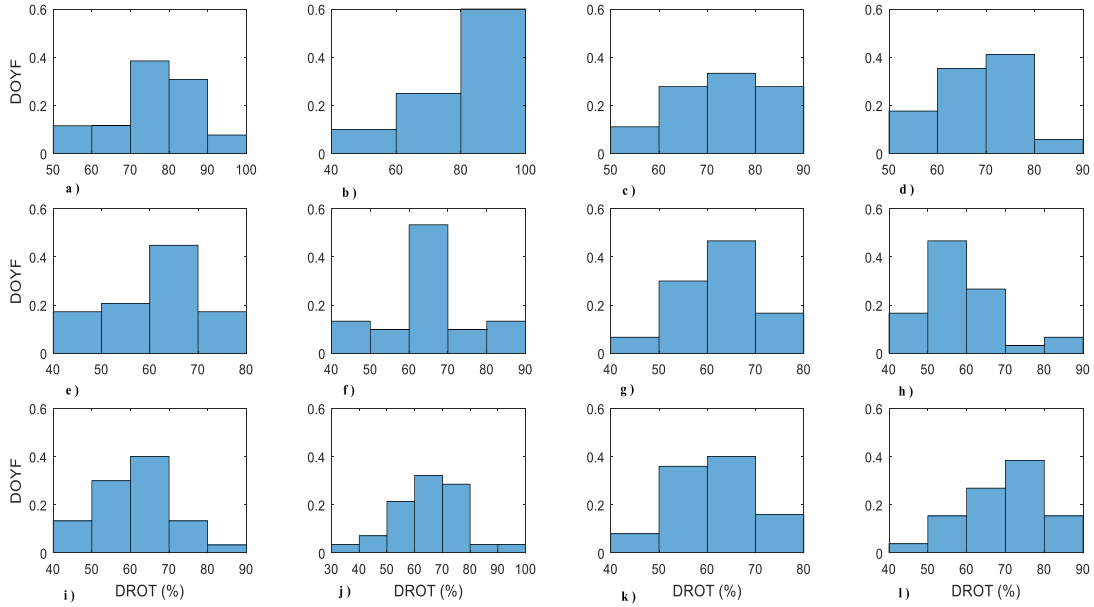


Ek 1.32. ayvl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

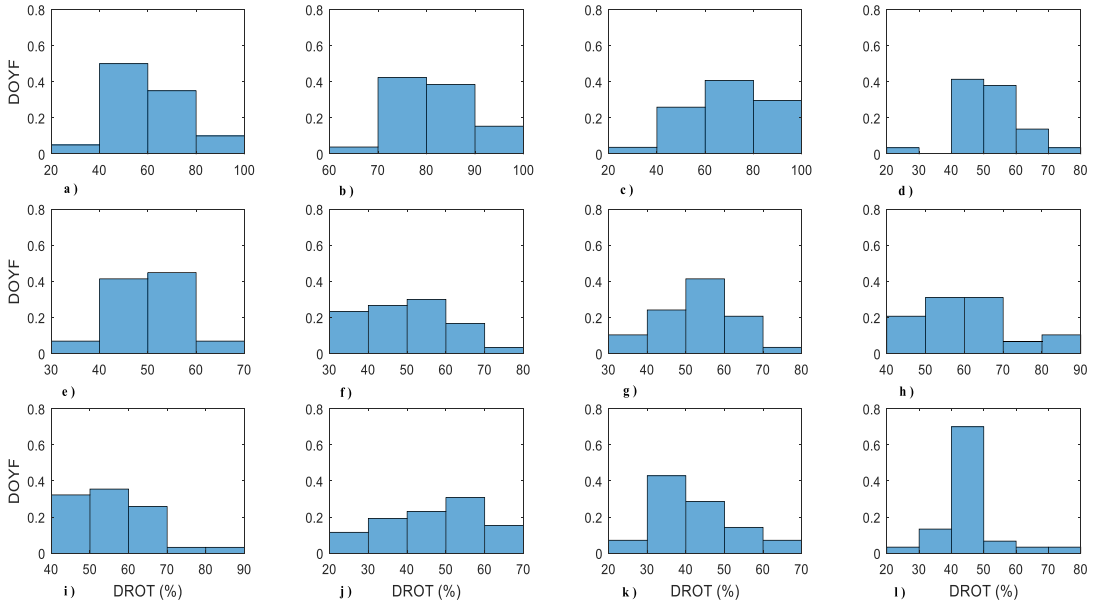


Ek 1.33. ayvl istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

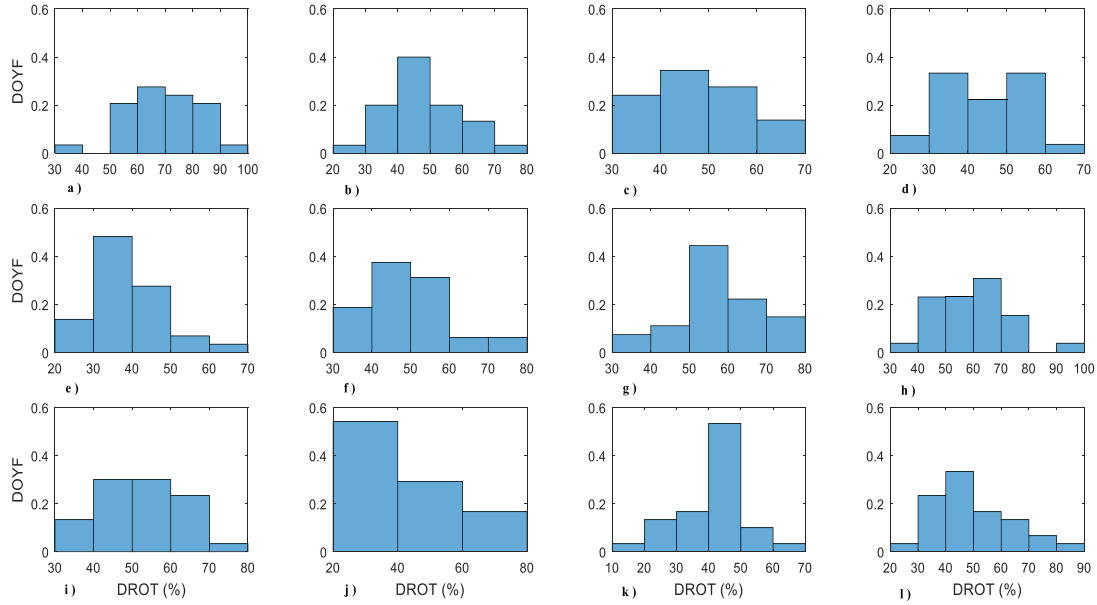


Ek 1.34. band istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

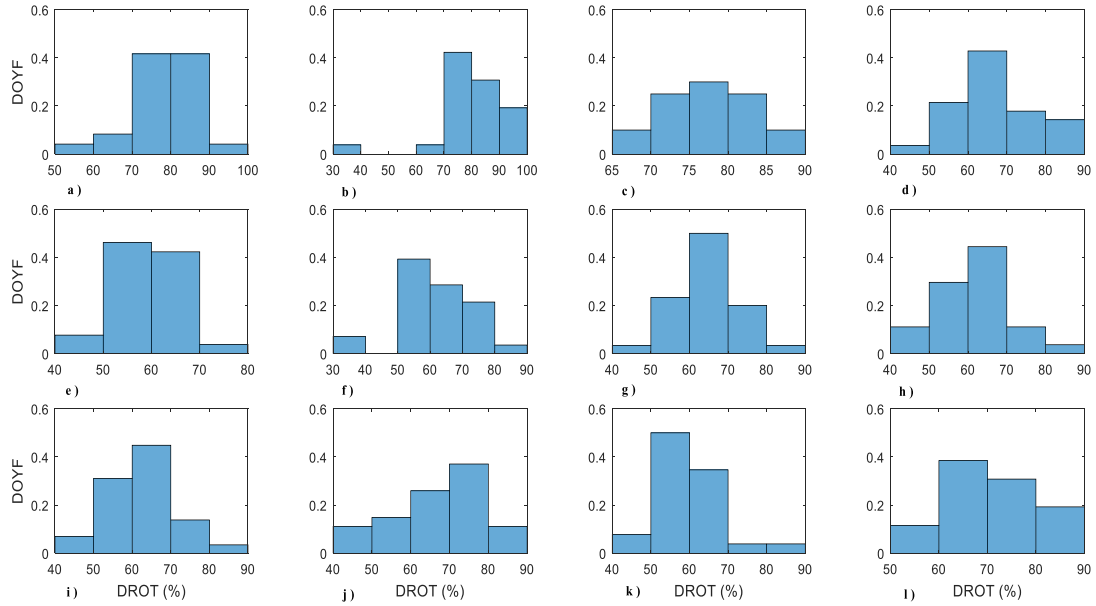


Ek 1.35. band istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

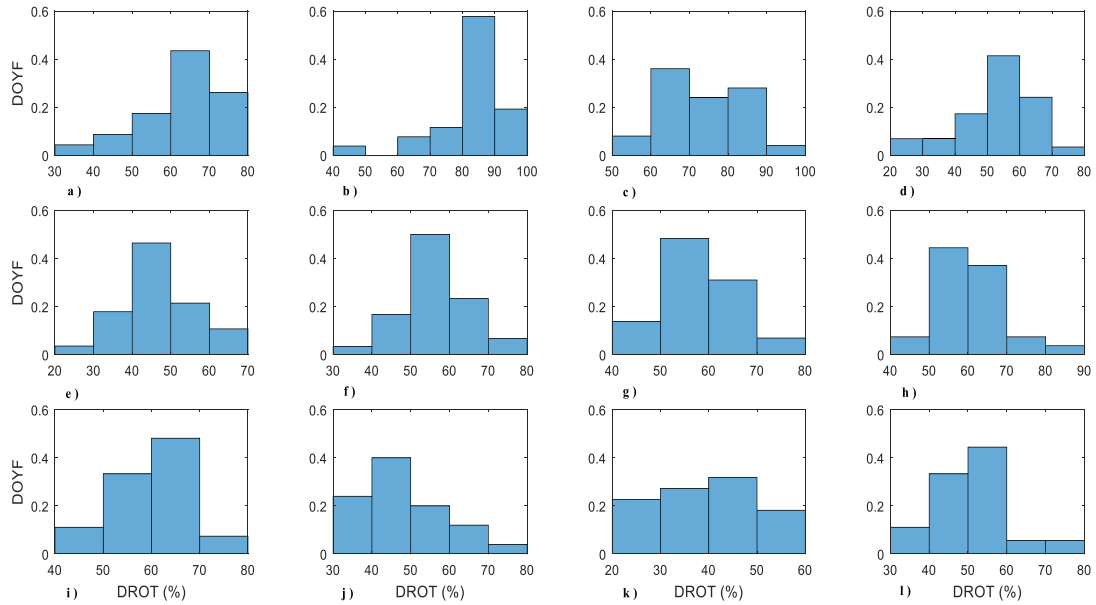


Ek 1.36. band istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

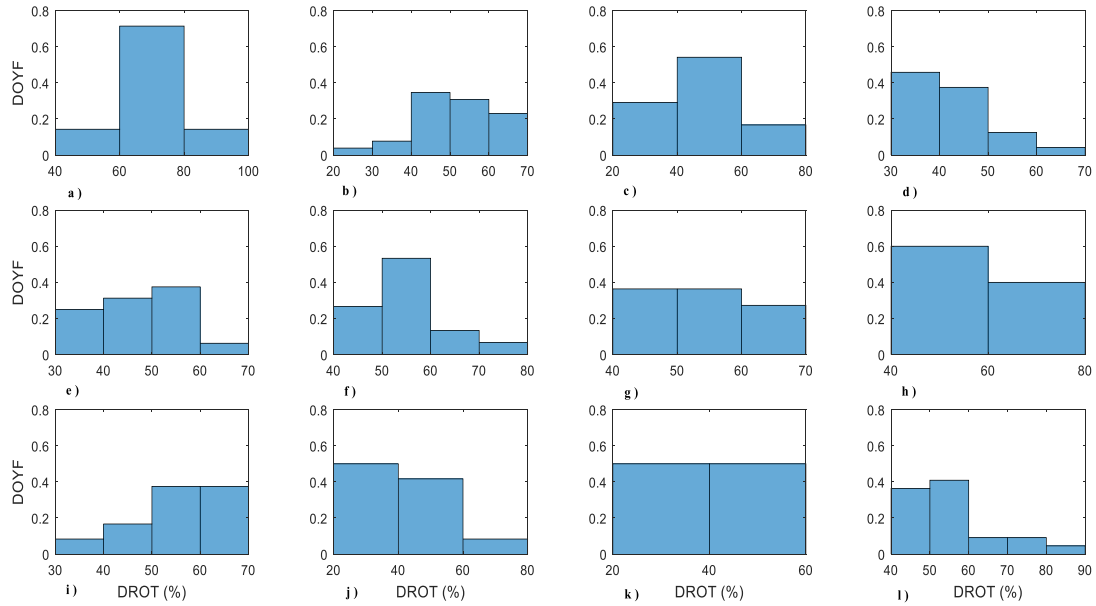


Ek 1.37. bayb istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

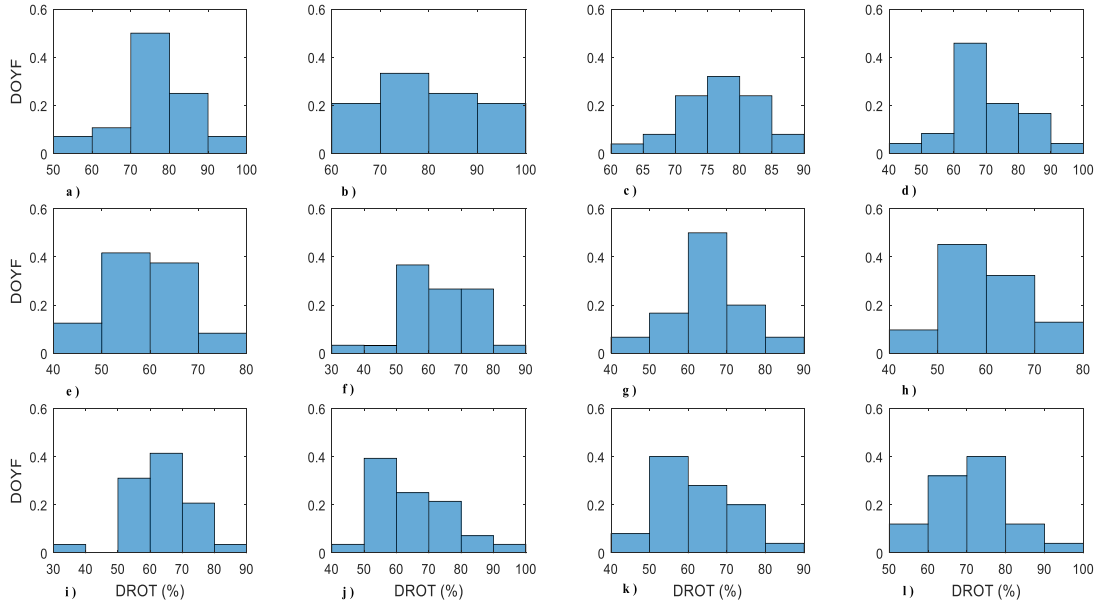


Ek 1.38. bayb istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

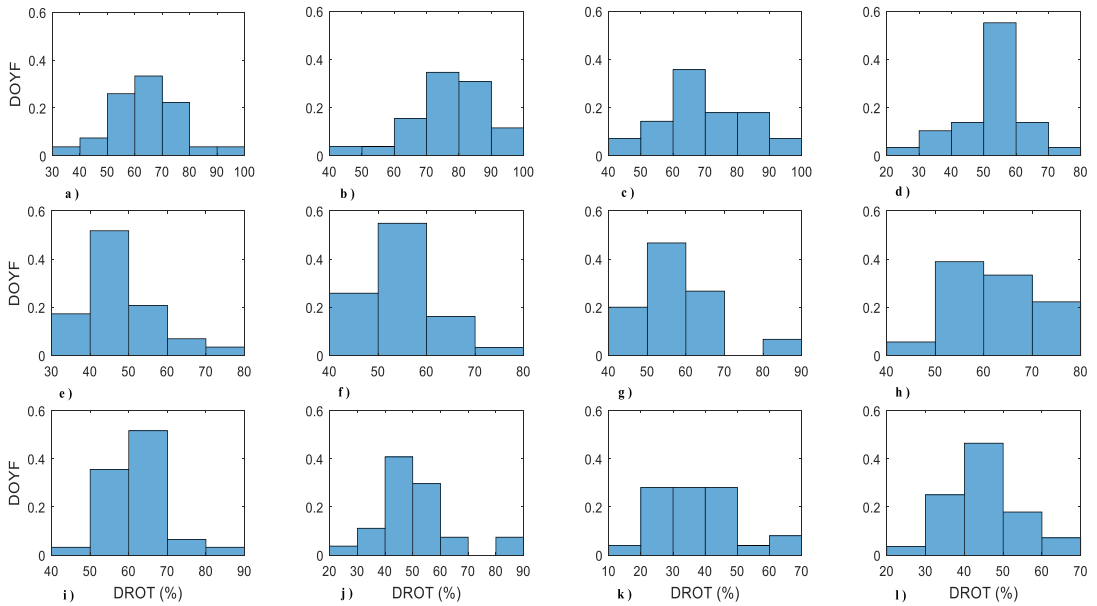


Ek 1.39. bayb istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

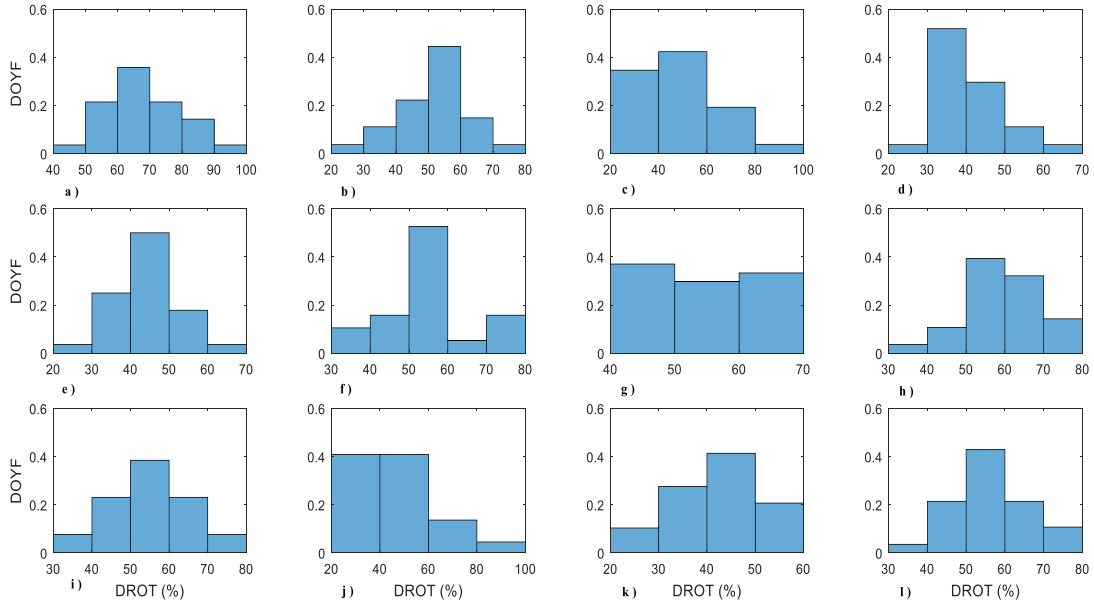


Ek 1.40. bing istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

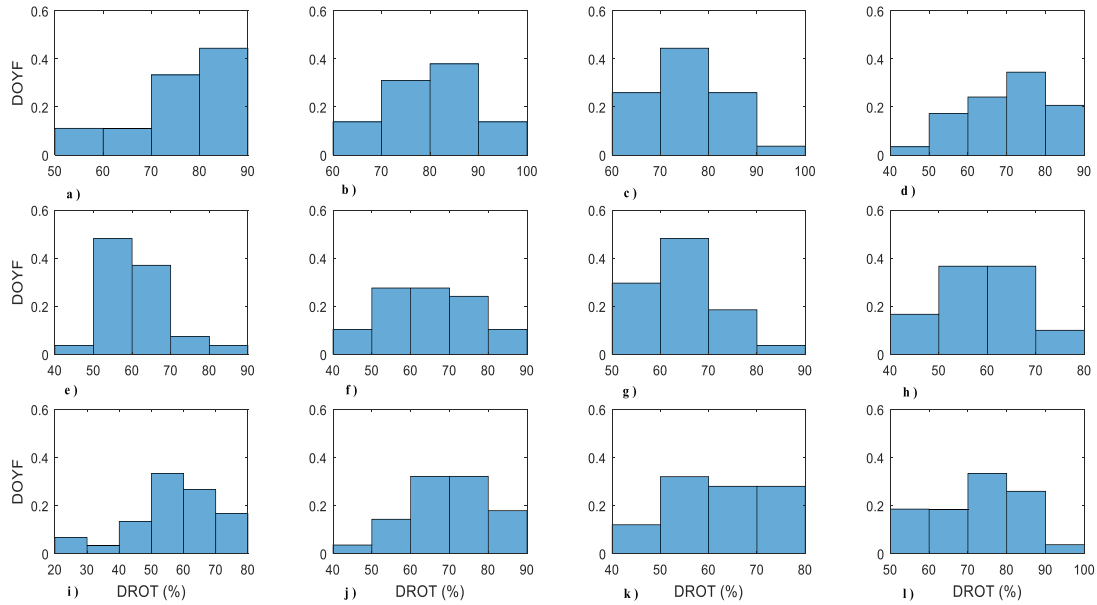


Ek 1.41. bing istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

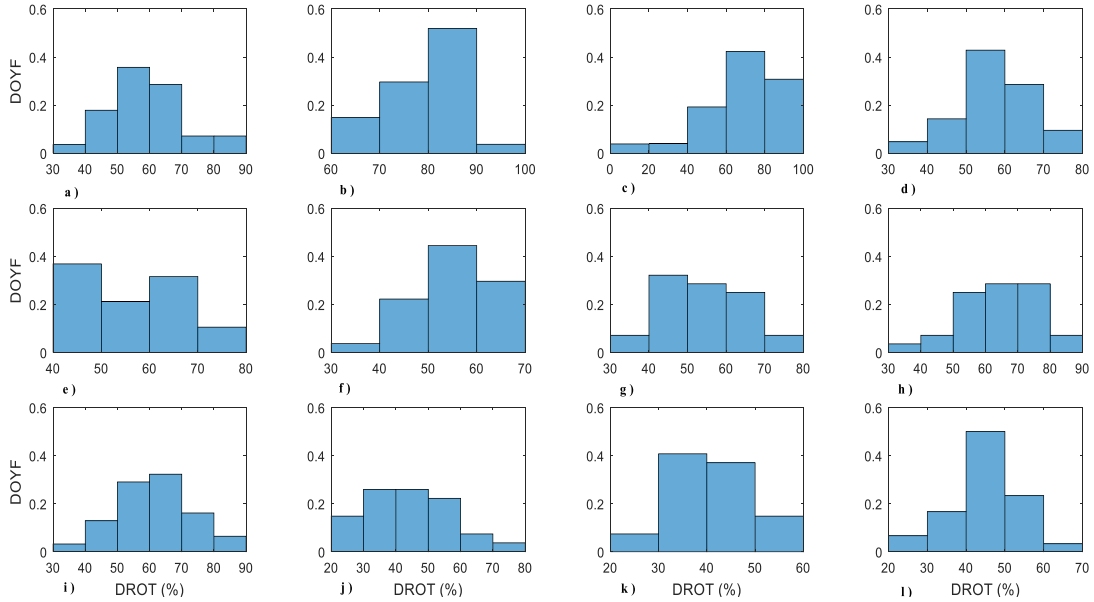


Ek 1.42. bing istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

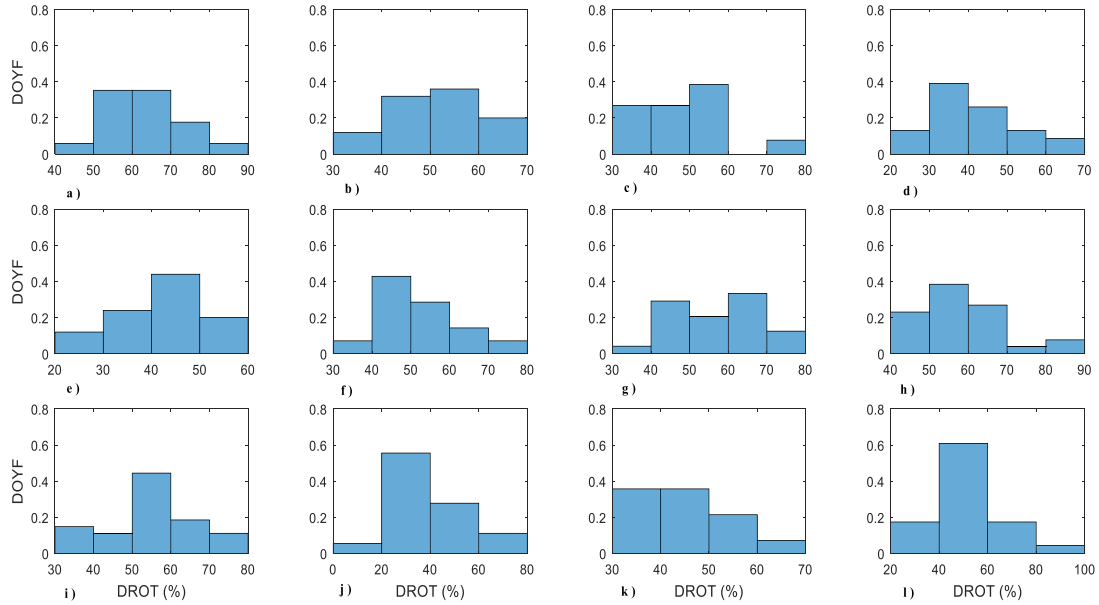


Ek 1.43. bogz istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

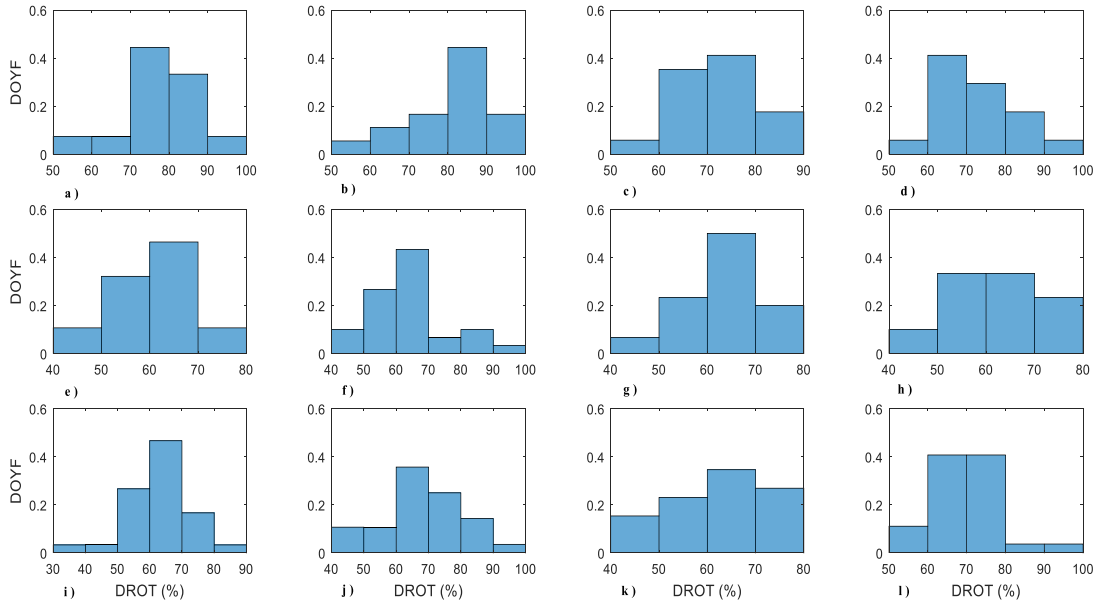


Ek 1.44. bogz istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

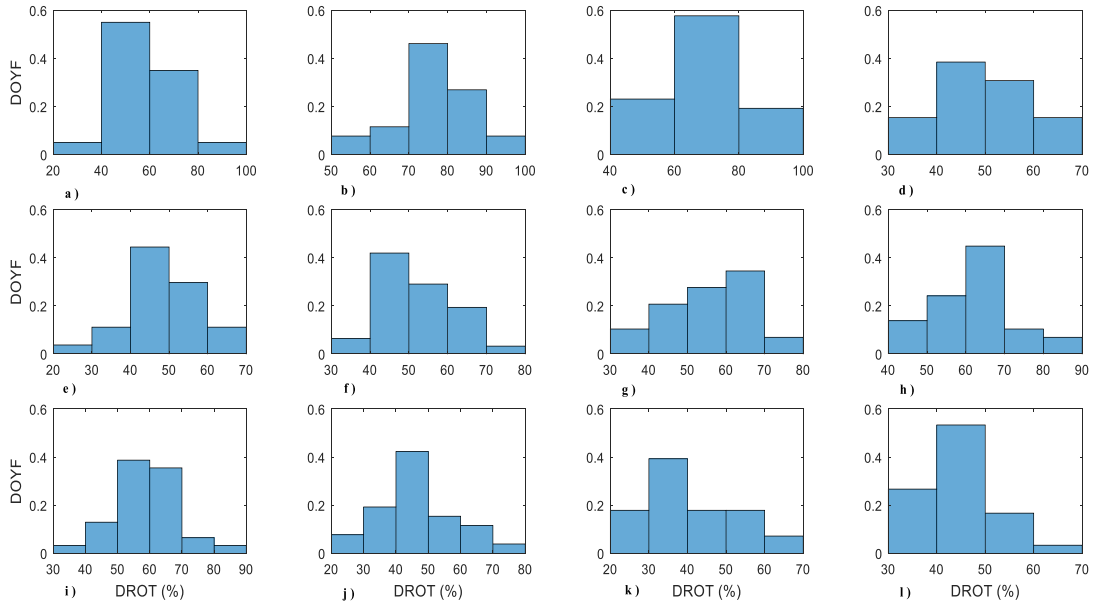


Ek 1.45. bogz istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

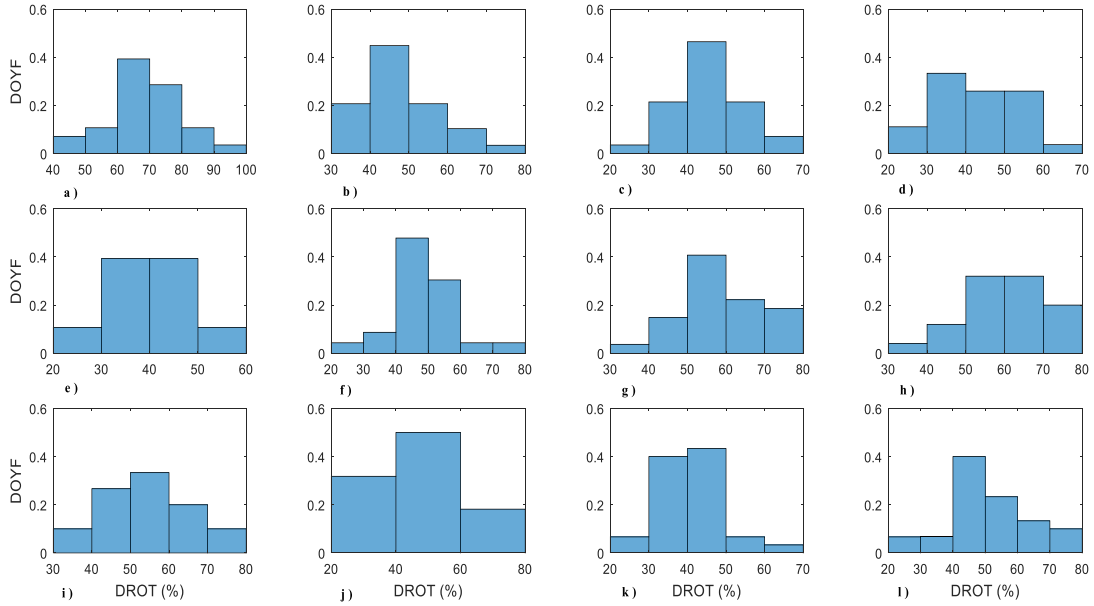


Ek 1.46. bolu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

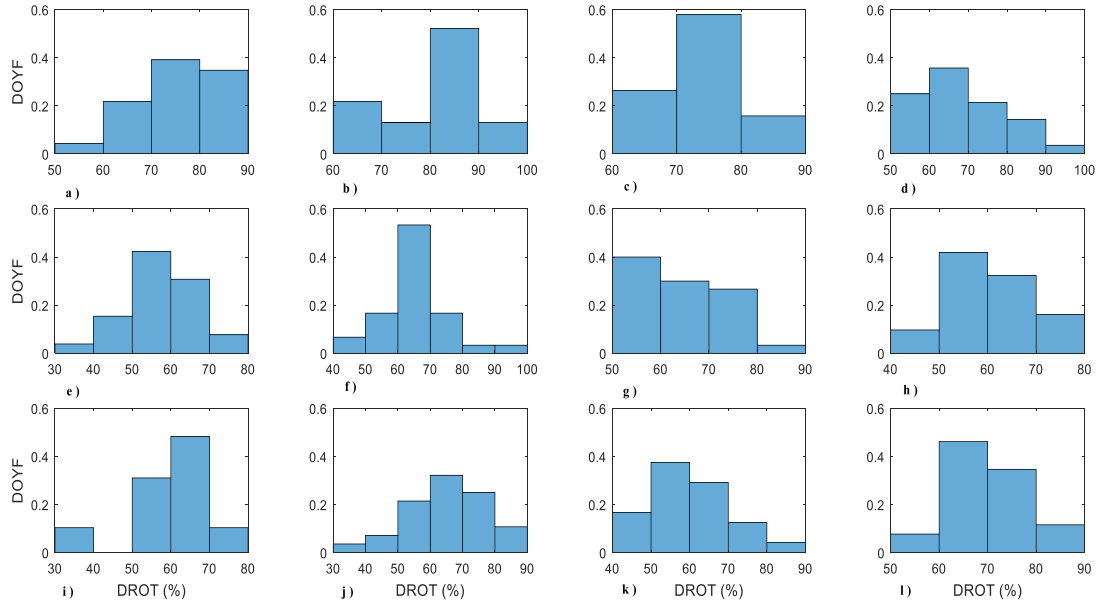


Ek 1.47. bolu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı

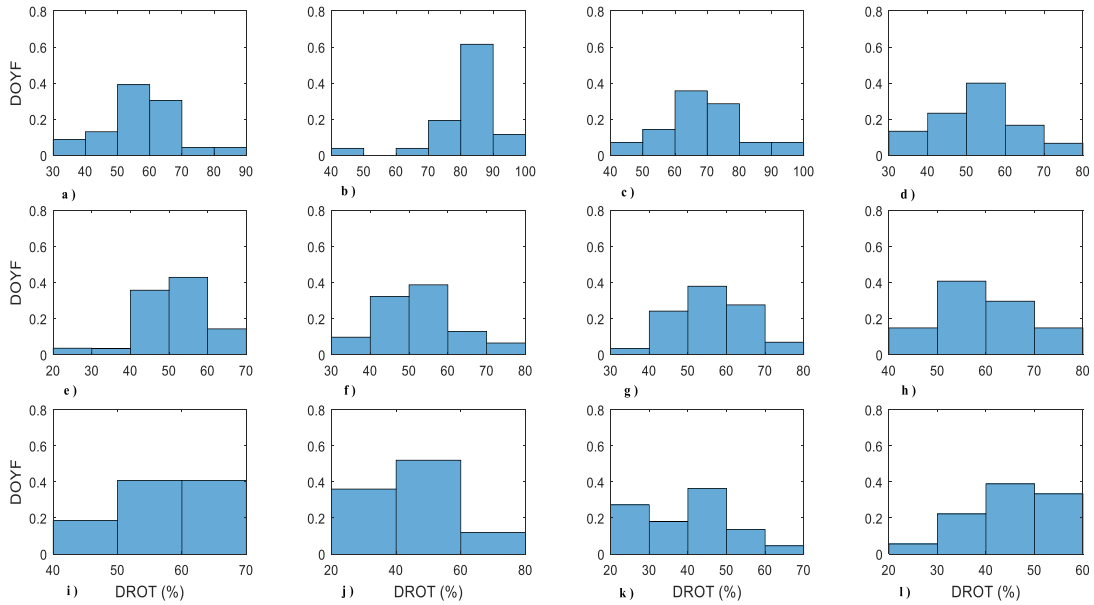


Ek 1.48. bolu istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

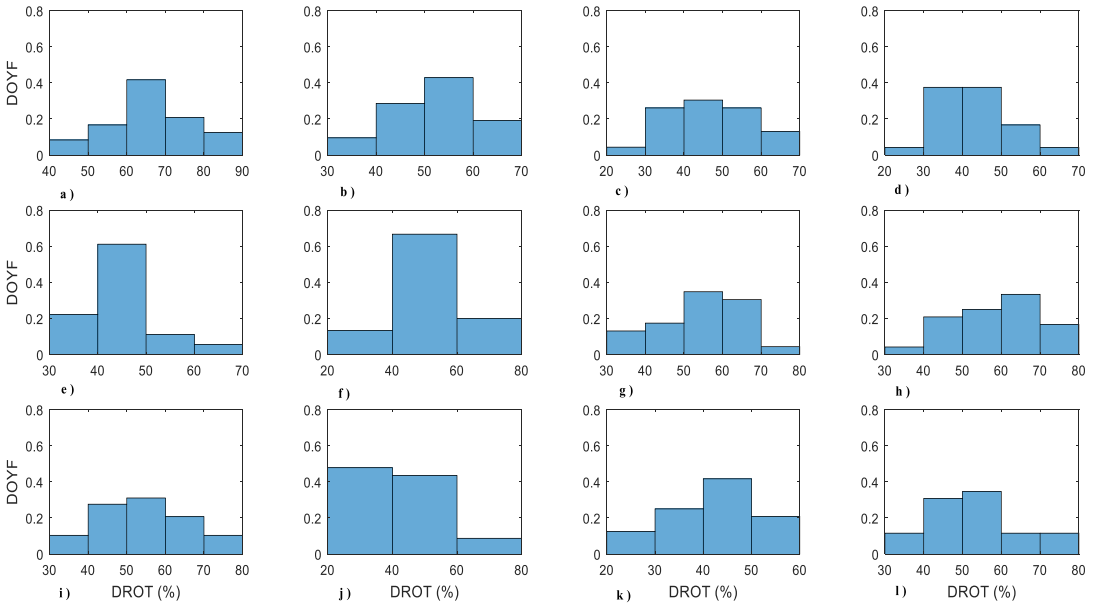


Ek 1.49. boyt istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.

Ek 1'in devamı

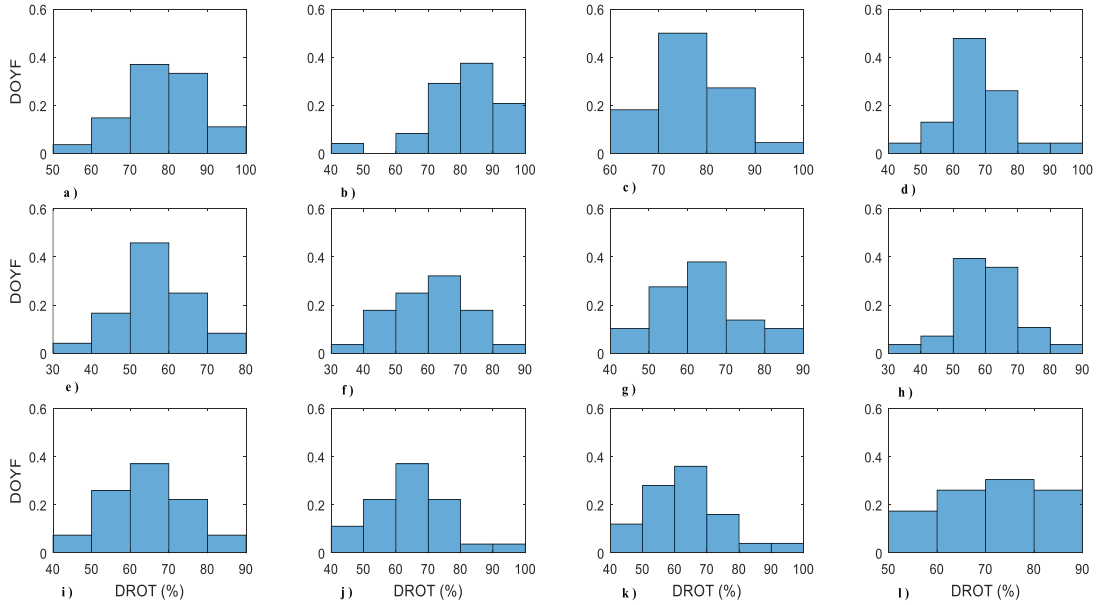


Ek 1.50. boyt istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

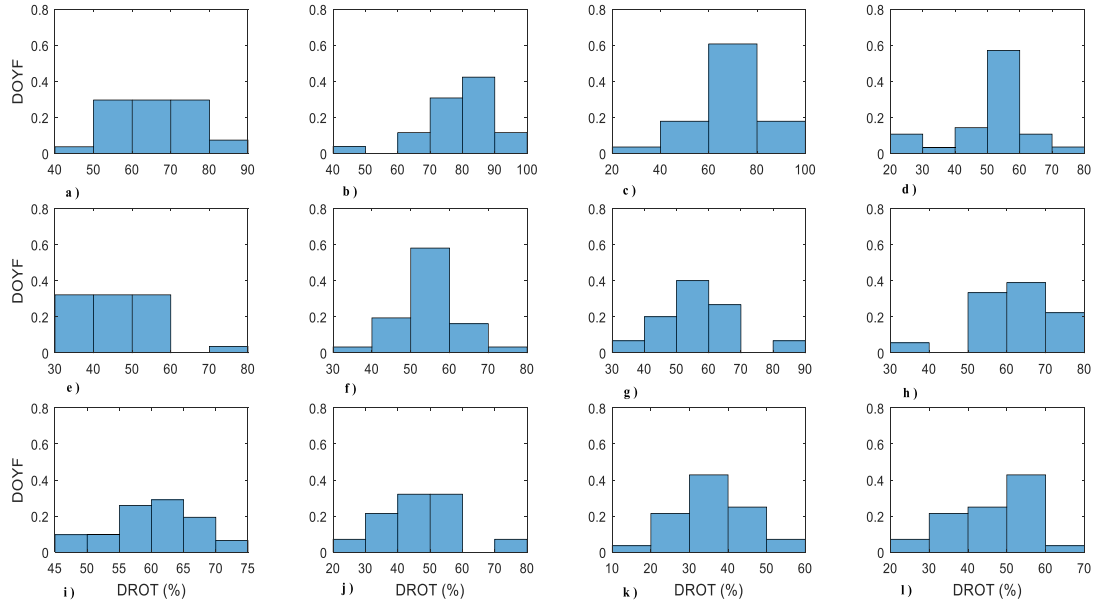


Ek 1.51. boyt istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

Ek 1'in devamı

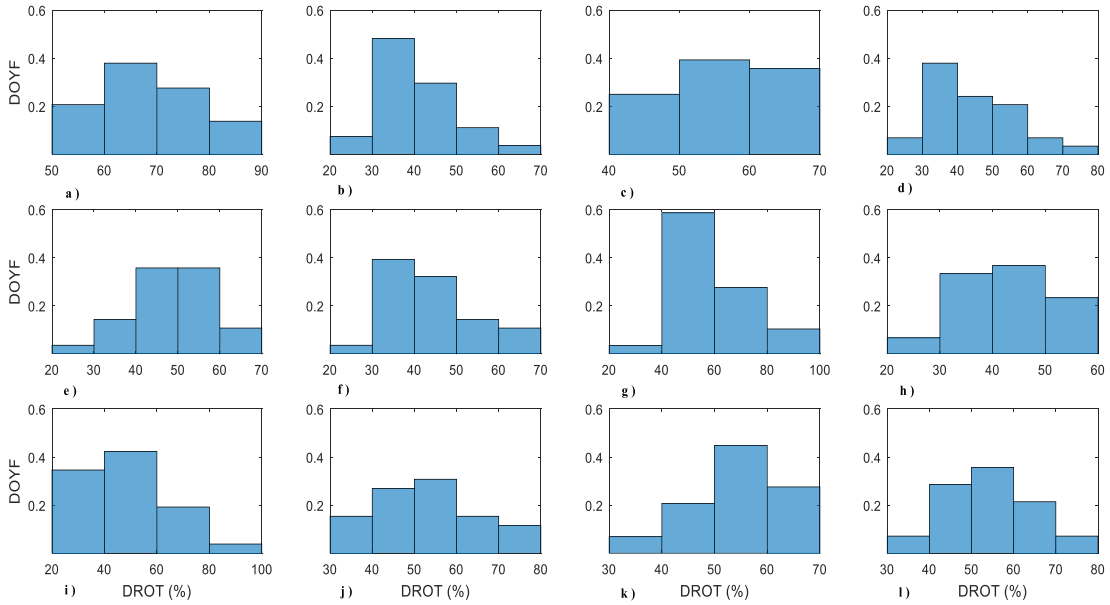


Ek 1.52. btmn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2010.



Ek 1.53. btmn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2011.

Ek 1'in devamı



Ek 1.54. btmn istasyonu için, DROT DOYF'ları (%): a) Aralık, b) Mart, c) Haziran, d) Eylül, e) Ocak, f) Nisan, g) Temmuz, h) Ekim, i) Şubat, j) Mayıs, k) Ağustos ve l) Kasım 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aboulqasim Mohamed A AJAL
Doğum Yeri ve Yılı : Yefren, Libya, 1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : blgsmmohamed@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : The Intermediate Comprehensive Proffesions Institue of O Aljersan, Libya, 2004.

Lisans : The High Comprehensive Proffesions Institue of Yefren, Libya, 2007.

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Fen Öğretmeni, The Intermediate Comprehensive Proffesions Institue of Om Aljersan, Libya, 2008-devam.