**T.C.**
**HARRAN ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARI KULLANILARAK İYONOSFERİK PARILDAMA İNDEKSİ İLE UZAY İKLİM KOŞULLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

**Yunus ARPACI**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA**
**2021**

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**


ÖZET ..... i
ABSTRACT ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... iv
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... v
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. İyonosfer ..... 2
1.2. Uzay İklim Koşulları ..... 4
1.3. GPS ve Sinyal Yapısı ..... 7
1.4. Atmosferin GNSS Sistemlerine Etkisi ..... 9
1.5. Sabit GNSS İstasyonları ..... 9
1.6. Sabit GNSS İstasyonlarında Zaman Serileri ..... 11
1.6.1. GNSS İstasyonları Zaman Serisi Bileşenleri ..... 12
1.7. Sabit GNSS İstasyonlarında Trend Analizi ..... 14
1.7.1. Regresyon Analizi ile Trend Belirleme ..... 15
1.7.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi ..... 16
1.7.1.2. Regresyon Modelinin Anlamlılık Testi ..... 19
1.7.1.3. Regresyon Katsayılarının Anlamlılık Testi ..... 20
1.8. Kaba Hatalı ve Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi ..... 21
1.9. Korelasyon Analizi ..... 22
1.9.1. Pearson Korelasyon Katsayısı ..... 22
1.9.1.1. Korelasyon Katsayısı Anlamlılık Testi ..... 23
1.10. GPS Gözlemlerinden S4 Değişimlerinin Belirlenmesi ..... 24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 26
3. MATERYAL ve YÖNTEM ..... 36
3.1. Materyal ..... 36
3.2. Yöntem ..... 37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA ..... 40
4.1. Trendin belirlenmesi ve Hipotez testleri ..... 40
4.2. S4 değişimlerine ait anomalilerin belirlenmesi ..... 43
4.3. S4 değişimlerine ait anomaliler ile Uzay İklim Koşullarının Analizi ..... 49
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER ..... 61
KAYNAKLAR ..... 63
ÖZGEÇMİŞ ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARI KULLANILARAK İYONOSFERİK PARILDAMA İNDEKSİ İLE UZAY İKLİM KOŞULLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

**Yunus ARPACI**

**Harran Üniversitesi**
**Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ULUKAVAK**
**Yıl: 2021, Sayfa: 67**

Dünya üzerindeki Küresel Seyrüsefer ve Uydu Sistemleri (GNSS) istasyonlarında toplanan GPS uydularına ait sinyaller Dünya'ya ulaşırken atmosfer tabakasının farklı katmanlarından geçmektedir. Bu katmanlardan biri olan iyonosfer, elektromanyetik dalgaların iletilmesi için ihtiyaç duyulan pozitif ve negatif yüklü iyonların bünyesinde serbest bir şekilde dolaştığı katmandır. İyonosfer, Dünya'nın üst atmosferinin yaklaşık 70 ile 1000 km aralığında yer alan kısmen iyonize (plazma) bölgesidir. İyonosfer katmanı genellikle değişkendir ve güneş patlamaları-manyetosfer-iyonosferik etkileşimlerden dolayı bünyesindeki elektron yoğunluğunda düzensizlikler oluşur. Bu düzensizliklerin boyutları birkaç metre ile kilometreye kadar değişmekle birlikte uzay ikliminin bilinen en eski etkilerinden biri olan iyonosferik parıldamaları da oluştururlar. Bu tür hızlı gerçekleşen elektron yoğunluğu düzensizlikleri sonucu oluşan parıldamalar literatürde auroral ışıltılar olarak da bilinirler ve iyonlaşma yoğunluklarındaki düzensizliklerden kaynaklanan bu parıldamalar, sinyallerin faz ve genliklerinde hızlı bir değişime sebep olur. Bu sebeple iyonosferik parıldamalar, elektromanyetik sinyallerin iyonosferde düzensiz yayılmasına neden olur. S4 indisi olarak bilinen genlik parıldaması, kaydedilen sinyal gücünün standart sapmasının, ortalama sinyal gücüyle normalizasyonuna denilmektedir. Bu nedenle çalışmalarda, iyonosferik parıldamanın GNSS sinyalleri üzerindeki etkilerinin bir alıcı vasıtasıyla belirlenmesi daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait 01.01.2016 ve 30.06.2019 tarihleri arasındaki GPS gözlemleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında; ANTL, TRBN, GEME, HEND ve SURF istasyonlarından elde edilen S4 değişimleri değerlendirilmiştir. Orta-enlem bölgesinde yer alan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait GPS gözlemlerinden elde edilen S4 değişimleri ile uzay iklim koşulu indisleri (Kp, Dst ve $N_P$) arasındaki ilişki araştırılmıştır. İstasyonlardan elde edilen S4 değişimleri k-sigma metodu ile kaba hatalı ölçülerden ayıklanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde, uzay iklim koşullarının aktif olduğu zamanlarda özellikle jeomanyetik aktivite indisi olan Dst değişimleri ile S4 anomalileri arasında daha fazla benzerlik olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** İyonosfer, Uzay İklim Koşulları, S4, GNSS.

# ABSTRACT

**MSc Thesis**

**INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN IONOSPHERIC SCINTILLATION INDEX AND SPACE WEATHER CONDITIONS BY USING CORS-TR STATIONS**
**Yunus ARPACI**

**Harran University**
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Department of Geomatics Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa ULUKAVAK**
**Year: 2021, Pages: 67**

The signals of GPS satellites recorded at Global Navigation and Satellite Systems (GNSS) stations on Earth pass through different layers of the atmosphere layer while reaching the Earth. One of these layers, the ionosphere in which the positively and negatively charged ions needed for the transmission of electromagnetic waves circulate freely. The ionosphere is the partially ionized (plasma) region of the Earth's upper atmosphere, located about 70 to 1000 km apart. The ionosphere layer is generally variable and irregularities occur in the electron density within its body due to solar flares-magnetosphere-ionospheric interactions. Although these irregularities vary in size of a few meters to kilometers, they also produce ionospheric scintillation, one of the oldest known effects of space weather. Scintillation that occur as a result of such rapid electron density irregularities are also known as auroral scintillation in the literature, and these scintillation caused by irregularities in ionization densities cause a rapid change in the phase and amplitude of the signals. Therefore, ionospheric scintillation cause electromagnetic signals to propagate unevenly in the ionosphere. The amplitude scintillation, known as the S4 index, is the normalization of the standard deviation of the recorded signal power with the average signal strength. Therefore, in studies, it is more preferred to determine the effects of ionospheric luminescence on GNSS signals by means of a receiver. In this study, GPS observations of TUSAGA-Active stations between 01.01.2016 and 30.06.2019 were used. Scope of work; S4 variations obtained from ANTL, TRBN, GEME, HEND and SURF stations were evaluated. The relationship between S4 variations obtained from GPS observations of TUSAGA-Active stations located in the mid-latitude region and space weather condition indices (Kp, Dst and $N_P$) was investigated. The S4 variations obtained from the stations were extracted from the coarse errors by the k-sigma method. When the results of the analysis were examined, it was determined that there was more similarity between Dst changes, which is the geomagnetic activity index, and S4 anomalies, especially when space weather conditions were active.

**KEY WORDS:** Ionosphere, Space Weather Conditions, S4, GNSS.

# TEŞEKKÜR

Tezin konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ULUKAVAK'a teşekkür ederim. Bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif sabit GNSS istasyonlarına ait RINEX gözlem dosyalarını sağlayan Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'ne (TKGM), uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin elde edildiği NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Merkezi'ne (OMNIWeb) ve S4 değişimlerini hesaplamada kullandığımız GPS-TEC Analiz Uygulamasını hazırlayan Gopi K. Seemala'ya en içten teşekkürlerimi sunarız.

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa No**

Çizelge 1.1. Kp indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi (Canck, 2007; Kp İndisi Değişimlerinin Sınıflandırılması, 2021). ..... 6
Çizelge 1.2. Dst indisi sınır değerleri (Loewe, 1997'den değiştirilerek) ..... 7
Çizelge 4.1. TUSAGA-Aktif İstasyonu Regresyon Katsayıları ve Hipotez Test Sonuçları ..... 43
Çizelge 4.2. TUSAGA-Aktif İstasyonları ve aktif SWC oranı ..... 49
Çizelge 4.3. HEND TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi . 52
Çizelge 4.5. ANTL TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi .. 54
Çizelge 4.6. GEME TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi . 56
Çizelge 4.7. SURF TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi... 58
Çizelge 4.8. TRBN TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi .. 60

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No**

Şekil 1.1. Atmosferin Katmanları (URL-1, 2021) ..... 3
Şekil 1.2. Uzay İklim Koşulları (Uzay İklim Koşulları, değiştirilerek) ..... 5
Şekil 1.3. TUSAGA-Aktif İstasyonları ve Kapsama Alanları (TUSAGA-Aktif istasyonlar ve kapsama alanı, 2021) ..... 10
Şekil 1.4. TUSAGA-Aktif İstasyon Tesisleri (TUSAGA-Aktif İstasyonları, 2021) ..... 11
Şekil 1.5. Trend Gösterimleri (Kara, 2009) ..... 13
Şekil 1.6. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Trend ..... 15
Şekil 1.7. Değişkenler Arasındaki İlişki Durumu ..... 16
Şekil 3.1. Türkiye'de bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları (TUSAGA-Aktif, 2021) ..... 11
Şekil 3.2. Uzay İklim Koşulları ..... 12
Şekil 4.1. S4 değişimlerine ait doğrusal trend (Sol) ve trendsiz S4 değişimleri (Sağ) ..... 17
Şekil 4.2. HEND istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri ..... 19
Şekil 4.3. ATNL istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri ..... 20
Şekil 4.4. GEME istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri ..... 21
Şekil 4.5. SURF istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri ..... 22
Şekil 4.6. TRBN istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri ..... 23
Şekil 4.7. HEND istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki ..... 26
Şekil 4.8. ANTL istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki ..... 28
Şekil 4.9. GEME istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki ..... 30
Şekil 4.10. SURF istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki ..... 32
Şekil 4.11. TRBN istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki ..... 34

# 1. GİRİŞ

Konumlama ve yer ölçmeleri alanlarında uzun yollar kat edilen uydu ve uzay teknikleri; jeodezi, jeodinamik, mühendislik ölçmeleri ve farklı disiplinlerdeki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır (Kurt, 2009).“Mühendisliğin tüm alanlarında yoğun bir biçimde kullanılan uydu ve uzay teknikleri, klasik yöntemlere göre, doğruluk, zaman, uygulanabilirlik ve maliyet açısından oldukça önemli üstünlükler sağlamaktadır” (Kurt, 2009). Atmosferden geçen GNSS (Global Navigation Satellite System) sinyalleri, elektromanyetik dalgaların yayılımı ilkelerine göre çalışmaktadır. Atmosfer, GNSS’in $L_1$ ve $L_2$ sinyallerinde bozulmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle atmosferik etkilerin hesaba katıldığı düzeltmeler sonuç ürünlerine uygulanmalıdır. Bunun nedeni; güneş patlamalarına, günlük ve mevsimsel değişimlere, uydudan gelen sinyalin iyonosfer katmanından geçerken ki elektron yoğunluğu farklılığına bağlı olarak değişmesidir.

Uzay ortamındaki iyonosfer, genellikle rastgele etkilere maruz kalır ve güneş patlamaları-manyetosfer-iyonosferik etkileşimlerden dolayı bünyesinde elektron yoğunluğu düzensizlikleri meydana gelir. Bu iyonosferik düzensizliklerin boyutları konum doğruluğunda birkaç metre ile kilometre arasında değişmekte ve uydu sinyallerinde genel olarak genlik ve faz parıldaması ile sinyallerin saçılmasına neden olmaktadır (Kintner ve ark., 2007). İyonosferde gerçekleşen bu hızlı değişimler 20 dB’yi aşan genlik değişimleri ile parıldamakta ve "parıldama" ifadesi elektromanyetik dalgadaki hızlı genlik ve faz dalgalanmalarını tanımlamaktadır. S4 indisi olarak bilinen genlik parıldaması, kaydedilen sinyal gücünün standart sapmasının, ortalama sinyal gücüyle normalizasyonuna denilmektedir (Briggs ve Parkin, 1963).

Yüksek enlemdeki auroral düzensizlikler, karasal manyetik alan çizgileri boyunca enerji yüklü elektronların, iyonosferin yüksek enlem bölgelerinde çökelmesinden oluşur. Bu elektronlara, güneş rüzgârları ve yeryüzü manyetik alanları arasındaki karmaşık etkileşim yoluyla enerji aktarılır, bu da genellikle aurora olarak bilinen optik ve aşırı mor ötesi (UV: Ultra-Violet) yayılımı ile sonuçlanır. Bu olay, elektron yoğunluğuna ilişkin düzensizliklerin büyük ölçekteki plazma yapıları ile

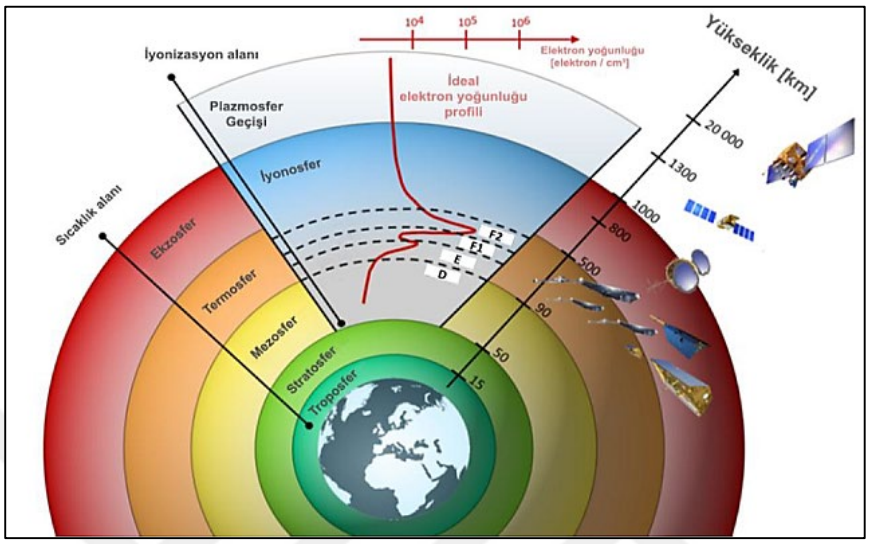
ilişkilendirilmesine neden olduğu manyetosfer tabakasının alt tabakalarında gerçekleşen fırtınaları karakterize eder. Polar yamalardan geçen bir radyo dalgası, faz ve genlikte bir bozulmaya uğrar ve dalgalanmaların büyüklüğü; kullanılan frekans, manyetik ve güneş aktivitesi koşulları, günün saati, mevsim ve yere göre değişir. Şiddetli genlik azalması ve güçlü faz parıldaması, uydu iletişiminin sağlıklı biçimde gerçekleşmesini etkiler. Bu nedenle, iyonosferik parıldamanın, Küresel Seyrüsefer ve Uydu Sistemleri (GNSS)'ne ait sinyallerin üzerindeki etkilerin bir alıcı vasıtasıyla daha fazla anlaşılması tercih edilmektedir (Van Der Meeren ve ark., 2014).

Bu çalışmanın amacı, farklı disiplinlerden GNSS kullanıcılarının konum belirleme ve atmosferik araştırma uygulamalarına katkı sağlamaktır. Bu tez çalışması kapsamında iyonosferik parıldama indeksi (S4) değişimleri ile uzay iklim koşulları arasındaki ilişki (jeomanyetik fırtına indisi: Kp, jeomanyetik aktivite indisi: Dst ve plazma yoğunluğu indisi: $N_P$), orta-enlem bölgesinde yer alan Türkiye'deki TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait GPS gözlemleri kullanılarak incelenmiştir.

## 1.1. İyonosfer

Dünya'nın etrafını saran atmosfer tabakasının yeryüzünden 70-1000 km arasında tanımlanan kısmına iyonosfer katmanı denir. Bilindiği gibi iyonosfer, rastgele parıldamalar ile sonuçlanan düzensiz bölgelerde sinyalin frekansına ve elektron yoğunluğuna bağlı olarak radyo sinyallerinin kırıldığı bir saçılım ortamıdır. İyonosfer katmanı dağtıcı etkiye sahiptir ve yüksüz moleküllerin güneş ışımalarından kaynaklı iyonlaşma sonucu bünyesinde serbest elektronlar içermektedir (Hartman ve Leitinger, 1984). Bu serbest elektronlar uydu sinyallerinin gecikmesine sebep olmaktadır. GNSS sinyallerinin iyonosferin etkisiyle gerçekleşen gecikme etkisi elektron yoğunluğuna doğrudan ilişkilidir. Elektron yoğunluğunun en fazla olduğu bölge atmosferin 300-400 km yükseklikleri arasındadır. Bunun nedeni atmosferden geçen güneş ışımalarının yer yüzüne yaklaştıkça etkisinin azalması ve yer yüzünden uzaklaştıkça azalan atmosfer yoğunluğuyla açıklanabilir (Hartman ve Leitinger, 1984). Atmosfer tabakası sıcaklık değişimine göre; troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer gibi tabaklardan oluşmaktadır. Atmosferdeki bu tabakalar dünyanın manyetik alnına,

yerçekimine, sıcaklığına ve iyonizasyonuna bağlı olarak oluşmaktadır. Bu tabakalardan mezosfer, termosfer ve ekzosfer tabakaları iyonosfer tabakasını bünyesinde barındırmaktadır (Şekil 1.1).




Şekil 1.1. Atmosferin Katmanları (Atmosferin Katmanları, 2021)

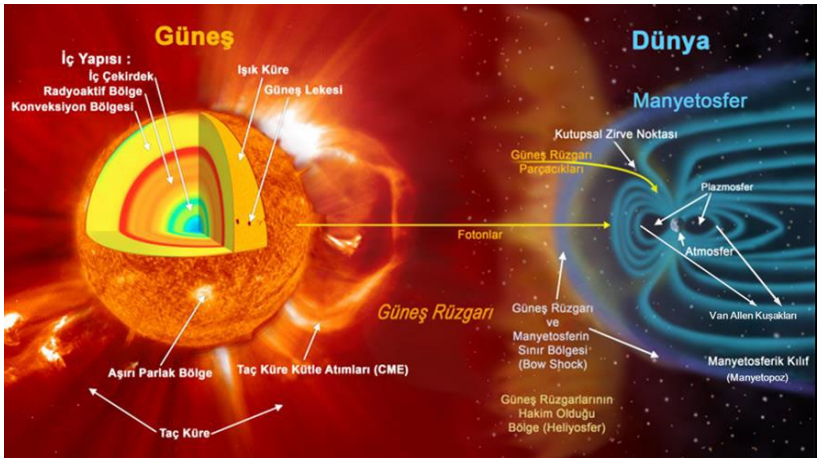
İyonosferdeki iyonizasyon, güneş aktiviteleri ve jeomanyetik alan değişimlerinden etkilenmektedir. Güneş'in dış yüzeyine yakın fotosfer bölgesi üzerinde bulunan Güneş lekeleri, Güneş'teki etkili manyetik çekim bölgelerinin, daha alt bölgelerden gelen sıcak gazları fotosfer bölgesine çıkarmasını engellemesi sonucunda oluşmaktadır. Güneşteki Güneş lekeleri manyetik alan şiddetinin en fazla yaşandığı bölgeleri temsil etmektedir (Zolesi ve Cander, 2014) Güneş lekelerinin ortaya çıkması birkaç günden birkaç aya kadar sürebilmektedir. Güneş lekelerinin boyutları değişiklik gösterir ve bazı durumlarda çıplak gözle görülebilirler. Güneş lekelerinin sayısı sabit değildir ve güneş döngüsü adı verilen 11 yıllık bir döngü sırasında değişiklik gösterir.

İyonlaşma oluşmasının temel nedeni özellikle alçak ve orta enlemlerde gerçekleşen Güneşten gelen mor ötesi ışınları ve X-ışınlarıdır. Bu nedenle, iyonosferik yapıdaki değişiklikleri tam olarak anlayabilmek için iyonosferik değişimler ile güneşte gerçekleşen hareketlerin arasındaki bağlantıyı tanımlayabilmek oldukça önemlidir. UV akısı ile ilgili sınırlı veriler nedeniyle, bu veriler yerine güneş aktivite indisi

kullanılabilmektedir. Güneş aktivitesi indislerinden en çok kullanılan indisler güneş lekesi sayısı endeksi, güneş akısı endeksi ve güneş parlaklık endeksidir (Özgüç ve ark., 1998). Güneş aktivitesi çeşitli tarihlerde değişir ve bu olayın en çarpıcı olanı 11 yıllık solar aktivitedir. Solar aktivite olayları 11 yıllık döngüde bir tekrarlanan yapıda olsa da solar aktivite kuvveti her döngüde farklılıklar gösterebilir. Ayrıca 11 yıllık solar aktivitesinin yükselme ve azalma evrelerinde güneş aktivite indisindeki değişimler ve iyonosferdeki etkisi mevsime ve enleme göre değişiklik göstermektedir (Özgüç ve ark., 1998). Bu nedenle, iyonosferik parametrelerin güneş aktivitesine ve fiziksel özelliklerine bağımlılığının incelenmesi her zaman güncel konu olmuştur.

## 1.2. Uzay İklim Koşulları

Güneş ve / veya jeomanyetik aktivitenin etkisi altında atmosferde gerçekleşen olaylar dâhil bütün güneş sistemindeki zaman içinde oluşan değişiklikler uzay iklimi koşullarını oluşturmaktadır. Güneş aktivitesi, Dünya'nın uzay iklimi koşullarını çeşitli şekillerde etkileyebilir. İlki, aşırı sıcak plazmayı uzaya saçan Taç Küre Atımları (CME-Coronal Mass Ejections), ikincisi güneş rüzgârlarını oluşturan taç küre deliğinden salınan yüksek hızlı plazma ve üçüncüsü güneş patlamasıdır (Uzay İklim Koşulları, 2021). İyonosferin etkilenmesi, iyonosferdeki yoğunluk dağılımında değişiklikleri, TEC değerinde artış veya azalma ve iyonosferdeki akım dengesinin bozulması gibi büyük değişikliklere neden olabilir (Komjathy, 1997). İyonosferdeki bu değişiklikleri modellemek için, güneş aktivitesi ve/veya jeomanyetik indis tanımlanarak güneş ve jeomanyetik etki seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. İyonosferde değişikliklere neden olan güneş ve jeomanyetik aktiviteleri açıklamak için uzay iklimi koşulu değişkeni adı verilen indis değerleri kullanılır. Uzay iklim koşulları endeksi, yer veya uzay ekipmanı kullanılarak sürekli gözlem yoluyla tanımlanabilir. Jeomanyetik fırtına(Kp), jeomanyetik aktivite(Dst), plazma yoğunluğu gibi çeşitli indisler uzay iklimi koşullarını belirlemek için kullanılabilir (Ratcliffe ve Holzer, 1973; Komjathy, 1997; Mujiber Rahman, Manoharan ve Umapathy, 2010; Manyetosfer ve Yapısı, 2021).




Şekil 1.2. Uzay İklim Koşulları (Uzay İklim Koşulları, 2021)

Radyasyon fırtınalarının taşıdığı protonlarla meydana gelen plazma yapısı, Dünya yörüngesine girdikten sonra manyetik alanın yönlendirmesi sonucunda kutup bölgelerinin üst atmosferinde yoğunlaşarak çarpışırlar. Çok hızlı hareket eden bu parçacıklar iyonosferin D-tabakasında hacmi artarak yüksek enlem bölgelerinde taşınan frekansı yüksek sinyallerin iletiminde kesintilere sebep olurlar (Ulukavak, 2016). Auroral etkiler sırasında azalan elektronlar diğer katmanlarda artar ve sinyal iletiminde aksamalar (parazitler) oluştururlar. Proton yoğunluğunda meydana gelen tepe noktalarının (>15 proton/cm$^3$), manyetik alan indisi değerlerinden Bz indisinde meydana gelen +5 nT (hafif fırtına) değerinden büyük veya -5 nT (hafif fırtına) değerinden küçük olduğu durumlarda direkt ilişki halinde olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle 15 proton/cm3 değerinden büyük olan proton yoğunluğu indisi değerleri aktif uzay iklim koşulu olarak değerlendirilmektedir (Dashora ve ark., 2009).

Uzay iklim koşullarının karakterize edilmesinde kullanılan Jeomanyetik fırtına indisi (Kp) dünyanın manyetik alanını ve jeomanyetik değişiklikleri belirlemek, ikaz ve uyarılar vermek için çok yararlı bir indistir (Zolesi ve Cander, 2014). Jeomanyetik fırtına indisi olan Kp- indisi, Dünya'nın manyetik alanına ve jeomanyetik değişimlerin belirlenmesinde, ikaz ve uyarılarının duyurulması için kullanışlı bir indistir. Kp indisi değeri, NOAA Uzay Hava Tahmin Merkezi tarafından yeryüzünde ve kuzey ve güney enlemleri arasında bulunan 13 manyetometre sahasından elde edilen ölçümler sonucunda belirlenmektedir. 0 ile 9 arasında değişen Kp indisi ölçeğini belirlemek için dünyanın manyetik alanının yatay bileşenini kullanmaktadır (Zolesi ve Cander, 2014;

Uzay İklimi Değişimlerinin Tahmini, 2021). Jeomanyetik fırtına indisi verileri, NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin (SPDF) Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite, 2021) internet ara yüzünden bir saat çözünürlükte alınabilmektedir. Kp indisinin ölçek değeri, nanoTesla (nT) biriminde jeomanyetik alandaki değişikliklere ve jeomanyetik fırtına etkisine göre belirlenir (Çizelge 1.1.).

Çizelge 1.1. Kp indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi (Canck, 2007; Kp İndisi Değişimlerinin Sınıflandırılması, 2021).

| Kp-İndisi | Jeomanyetik Alan (nT) | Fırtına Etkisi |
|---|---|---|
| 0 | 0-5 | Aktivite Yok |
| 1 | 5-10 | Çok Sakin Aktivite |
| 2 | 10-20 | Sakin Aktivite |
| 3 | 20-40 | Tedirgin Aktivite |
| 4 | 40-50 | Faal Aktivite |
| 5 | 50-120 | Küçük Fırtına |
| 6 | 120-200 | Büyük Fırtına |
| 7 | 200-330 | Şiddetli Fırtına |
| 8 | 330-500 | Çok Şiddetli Fırtına |
| 9 | >500 | Aşırı Fırtına |

Uzay iklim koşullarının karakterize edilmesinde, Jeomanyetik fırtınanın ortaya çıkma sürecinin takip edilmesinde kullanılır ve ekvatoral bölgede meydana gelen manyetik akım değişimlerini tanımlayan indistir (Cahyadi, 2014; Zolesi ve Cander, 2014). Ekvatoral bölgelere yerleştirilmiş manyetometrelerle ölçülmektedirler. Dst-indisi, ekvatoral bölgelerde meydana gelen manyetik akıdaki değişiklikleri tanımlayan jeomanyetik bir indistir ve ölçümü, ekvatoral bölgelere yerleştirilmiş manyetometreler ile gerçekleşmektedir (Cahyadi, 2014; Mošna ve ark., 2006; Zolesi ve Cander, 2014). Japonya, Kyoto Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeomanyetizma ve Uzay Manyetizması Veri Analiz Merkezi tarafından değerlendirilen, manyetik sarsılmalardan elde edilen Dst endeksi verileri Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite, 2021) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak yayımlanır. Loewe ve Prölss (1997) jeomanyetik aktivite endeksini beş farklı sınır değeri ayırmıştır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Dst indisi sınır değerleri (Loewe, 1997)

| Dst – İndisi (nT) | Jeomanyetik Aktivite |
|---|---|
| $Dst_{min} \geq -30$ | Sakin |
| $-30 \geq Dst_{min} \geq -50$ | Zayıf Fırtına |
| $-50 \geq Dst_{min} \geq -100$ | Hafif Fırtına |
| $-100 \geq Dst_{min} \geq -200$ | Kuvvetli Fırtına |
| $-200 \geq Dst_{min}$ | Yoğun Fırtına |

Çizelge 1.2'de Dst indisi değişimlerine ait beş farklı jeomanyetik aktivite sınır değeri verilmiştir.

## 1.3. GPS ve Sinyal Yapısı

İyonosferik elektron yoğunluğu düzensizlikleri GNSS radyo dalgası yayılması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genlik ve faz parıldamaları olarak adlandırılan radyo sinyal yoğunluğunun ve fazının rastgele dalgalanmaları, ağırlıklı olarak F katmanında meydana gelir. Şiddetli genlik parıldamaları sırasında, minimum taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı ($C/N_0$) kaybolur. İyonosfer yapısı gereği 30 MHz ve altındaki frekanslarda uydu sinyali kesintilerine neden olur. Bu nedenle, parıldama olgusunun dağılımı ve morfolojisi üzerine çalışma, radyo sistemlerini ve bunların performansını korumak için önemli olacaktır (Subirana ve ark., 2013).

GNSS mimarisinin uzay bölümü, 26.600 km yarıçaplı ve 55 derece eğimli dairesel bir yörüngede bulunan 24-28 uydudan oluşan bir sistemdir. Yükselen düğüm noktaları ortalama 60 derece aralıklı altı yörünge düzleminden oluşmaktadır. Her bir uydu, tam olarak aynı iki frekansta yayın yapar: L1= 1575.42 MHz ve L2= 1227.6 MHz. Her bir taşıyıcının her bir uyduya özgü bir sözde rasgele gürültü (PRN) kodu ile modüle edilmesiyle, uydu sinyali, bir kod bölmeli çoklu erişim bağlantısı (CDMA) oluşturmak için ayrılır. L1'de iki kod vardır; kaba edinim kodu (C/A) ve şifrelenmiş kesin kod P (Y), L2'de yalnızca P (Y) kodu iletilir. L1 ve L2 frekanslarından yararlanılarak, iyonosferik toplam elektron içeriği (TEC) hesaplanabilir ve iyonosferik hata giderilebilir. GPS uydusundan gönderilen C/A ve P kodu ölçümleri, GPS sinyalinin uydudan ayrıldığı zamanı taşır. Konum, GPS alıcısı tarafından kaydedilen kodu belirli aralıklarla taşıyan koda ve faz ölçümüne göre belirlenir (Subirana ve ark.,

2013). GPS sinyalinin uydudan çıkış zamanı ($T_s$) ile alıcıya ulaşma zamanı ($T$) arasında geçen zaman farkı hesaplanarak, ($c$) elektromanyetik dalganın boşlukta yayılma hızı ile çarpımından uydu ile alıcı arasındaki kod ölçüleri (Pseudo-range) eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_u^m = c(T - T_s) \tag{1}$$

Eşitlik 1'de hesaplanacak mesafe ($\rho_u^m$), iyonosferik ve troposferik etkiler ile alıcı ve uydu saati hataları hesaba katılmadığı için gerçek mesafe olmayacaktır. m uydu için, n ölçüm anında GPS alıcısının $f_1$ ve $f_2$ frekansları için ölçtüğü kod ölçüleri eşitlik 2 ve 3'te verilmiştir.

$$\rho_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop1,u}^m + d_{ion1,u}^m + c\left(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}\right) + \alpha \tag{2}$$

$$\rho_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop2,u}^m + d_{ion2,u}^m + c\left(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}\right) + \alpha \tag{3}$$

Eşitlik 2 ve 3'te, $m$, uydu numarasını; $u$ alıcı numarasını; $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$, sırasıyla $f_1$ ve $f_2$ frekanslarındaki iyonosfer kaynaklı grup gecikmelerini; $d_{trop1,u}^m$ ve $d_{trop2,u}^m$ , sırasıyla $f_1$ ve $f_2$ frekanslarındaki troposfer kaynaklı grup gecikmelerini; $\Delta t^m$ ve $\Delta t_u$ , uydu ve alıcı saat hatalarını; $\varepsilon^m$ ve $\varepsilon_u$ , uydu ve alıcının birim zamandaki donanımsal gecikmelerini; α, rasgele hataları ya da artıkları temsil etmektedir. Benzer bir model faz ölçüleri için de kurulabilmektedir. GPS sinyal taşıyıcı faz gözleminde faz değeri sinyalin gidiş-dönüş sayısını ifade etmektedir. GPS alıcıları uydudan alınan sinyalin o andaki faz kesrini kayıt eder. Sinyalin uydudan alıcıya kadar olan mesafede kaç tur attığı ise bilinmemektedir. Çift frekanslı alıcılarda bu faz iki sinyalde de aynı olması gerektiğinden aradaki fark tur sayısını verir. Ancak kod ölçülerinde olduğu gibi faz ölçülerinde de atmosferik etkiler, alıcı uydu saat hataları, uydu konum bilgisi hataları gibi birçok hata ölçüme etki eder. Ayrıca ölçümde meydana gelen kesiklikler (cycle-slip) faz bilinmeyenini meydana getirir. Tekrar sinyal alınmaya başlandığında ise hangi faz tam sayısında olduğu bilinmediğinden bunun da hesaplanması gerekmektedir. Faz gözlem modeli için eşitlik 4 ve 5 yazılabilir.

$$\lambda_1 \phi_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \phi_{trop1,u}^m - \lambda_1 \phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 B_u^m + \alpha \tag{4}$$

$$\lambda_2\phi_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2\phi_{trop2,u}^m - \lambda_2\phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 B_u^m + \alpha \quad (5)$$

Eşitlik 4 ve 5'te, $m$ uydu numarasını; $u$ alıcı numarasını, $\lambda_1\phi_{ion1,u}^m$ ve $\lambda_2\phi_{ion2,u}^m$, sırasıyla $f_1$ ve $f_2$ frekanslarındaki iyonosferden kaynaklı faz gecikmelerini; $\lambda_1\phi_{trop1,u}^m$ ve $\lambda_2\phi_{trop2,u}^m$ sırasıyla $f_1$ ve $f_2$ frekanslarındaki troposferden kaynaklı faz gecikmelerini göstermektedir. Burada, $B_u^m = \lambda_i\left(N_{i,u}^m + \delta N_{i,u}^m\right) + c(\varepsilon_i^m + \varepsilon_{i,u})$ sırasıyla $f_1$ ve $f_2$ frekanslarındaki sabit yanlılıkları; $N_{i,u}^m$, tamsayıyı; $\delta N_{i,u}^m$, tamsayı faz belirsizliğini göstermektedir.

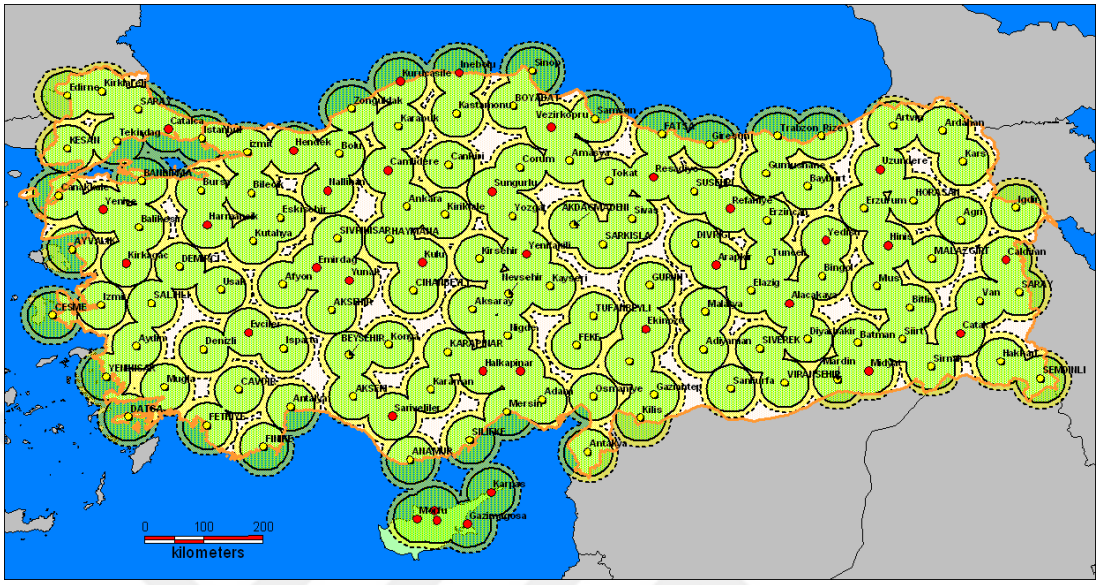
## 1.4. Atmosferin GNSS Sistemlerine Etkisi

Atmosferden geçen GNSS sinyalleri, elekromanyetik dalgaların yayılması ilkelerine tabidir. GNSS'in $L_1$ ve $L_2$ sinyallerini etkileyen atmosfer, bu sinyallerde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu yüzden atmosferik etkilerin hesaba katıldığı düzeltmeler sonuç ürünlerine uygulanmalıdır. Atmosferden geçen GNSS sinyallerinin uğradığı bozulma ve farklılıklar en fazla yükseklik parametresinde görülmektedir. Bu duruma somut bir örnek vermemiz gerekirse; atmosferik ve troposferik gecikmeden kaynaklı oluşacak 1 cm'lik hata yükseklik parametresinde 3 cm'lik bir hataya sebep olmaktadır (Mekik, 1999). GNSS konumlandırmadaki önemli hatalardan birini temsil eden iyonosferik gecikmelerde ise GNSS sinyalleri 300 ns'lik (100 m) zamansal gecikme değerine kadar ulaşabilir (Klobuchar, 1987). Bunun nedeni; güneşte gerçekleşen aktiviteleri, mevsimsel etkileri, GPS sinyalinin atmosferden geçiş açısı ve GNSS alıcısının konumu gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir (Klobuchar, 1987). İyonosferin sinyaller üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için GPS sinyalinin her iki frekansında yapılan gözlemleri birleştirmek oldukça faydalı bir yöntemdir" (Klobuchar, 1987).

## 1.5. Sabit GNSS İstasyonları

TUSAGA-Aktif Sisteminin Türkiye ve KKTC'yi kapsayacak şekilde toplamda 159 adet Sabit GNSS İstasyonu bulunmaktadır. Türkiye kapsamında belirli aralıklarla yaygın olarak yerleştirilen TUSAGA-Aktif istasyonları sürekli ve aralıksız olarak

askeri/sivil kullanım için anlık konum verileri toplayan sistemdir  Bu verilere TKGM sitesinden ulaşılabilmektedir (TUSAGA-Aktif, 2021).




Şekil 1.3. TUSAGA-Aktif İstasyonları ve Kapsama Alanları (TUSAGA-Aktif istasyonlar ve kapsama alanı, 2021)

TUSAGA-Aktif istasyonları; istasyonlar arası 100 km'den az olması, kullanıcı yoğunluklu merkezi noktalara kurulması, tesisin sağlam zeminlere yerleştirilmesi, lojistik destek sağlanabilmesi, istasyon için gerekli olan enerji ve haberleşme şartlarını sağlaması gibi kriterler düşünülerek 2009 yılında faaliyete geçirilmiştir. TUSAGA-Aktif sabit GNSS istasyonlarının dağılımları yaklaşık 100 km kapsama alanlı bölgeler oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Şekil 1.3'te gösterilen haritada TUSAGA-Aktif istasyonlarının ülkemizdeki kapsama alanı ve dağılımı gösterilmektedir. Bu sayede istasyon ve alıcı arasındaki iletişim kopukluğu söz konusu olmamaktadır.




Şekil 1.4. TUSAGA-Aktif İstasyon Tesisleri (TUSAGA-Aktif İstasyonları, 2021)

TUSAGA-Aktif istasyonlarının kurulması için gerekli şartları sağlayacak tesisler ülke ve bölge koşulları da düşünülerek toprak zeminde ve yapıların çatılarında beton pilye veya çelik pilyeler olarak zemine tesis edilmiştir (TUSAGA-Aktif İstasyonları, 2021) (Şekil 1.4). TUSAGA-Aktif Projesi kapsamında TKGM ve HGM bünyesinde 2 adet kontrol merkezi kurulmuştur. Kontrol merkezi GNSS sinyallerinin çeşitli sebeplerle ortaya çıkan hatalarının giderilmesi, GNSS gözlemlerinin kullanıcılara iletilmesi, sinyallerin konum doğruluğunu düzeltmek için gerekli parametrelerinin hesaplanması ve yayınlanması, istasyonlarının konum parametrelerinin hesaplanması, kullanıcıları izleme ve veri depolama gibi fonksiyonları gerçekleştirmektedir (TUSAGA-Aktif İstasyonları, 2021). Bütün TUSAGA-Aktif istasyon verileri kontrol merkezlerine iletilmekte, kontrol merkezlerinde yapılan düzeltmeler ve parametreleri kullanıcılar ile paylaşılmaktadır. İstasyonlardan toplanan veriler sayesinde jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda konum bilgisine ait hesaplama ve kestirim yapmak mümkün hale gelmiştir.

## 1.6. Sabit GNSS İstasyonlarında Zaman Serileri

Zaman serisi kavramı, zaman içinde gözlenen ölçümler dizisidir ve bilimin her alanından kullanılabilmektedir. Zaman serilerinin uygulama alanı oldukça geniştir.

Örneğin; ekonomi alanında, faiz ve işsizlik, sosyolojide; suç ve boşanma oranları, meteorolojide; yağış miktarı, sıcaklık değişimlerinin zaman serilerini incelemek mümkündür. Zaman serileri analizi, gözlemlenen verilerin incelenmesini ve gelecek dönemler için öngörü yapmayı mümkün kılar. Genel olarak zaman serilerinin dört temel amacı vardı.

I. Veriler temin edildikten sonra bir grafiğe dökülür ve verilerin göstermiş olduğu davranışlar hakkında (kaba hatalar, genel eğilim, mevsimsellik vb.) kabaca bilgi edinilir.
II. Verilerde bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişki çeşitli matematiksel modeller (doğrusal regresyon vb.) ile analiz edilir.
III. Kurulan modelin doğruluğunun anlaşılması için matematik modelin belirlediği tahmin ile aynı dönemin gözlemi karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucu aradaki fark fazlaysa model yeniden kurulur.
IV. Verilerin analiz sonuçlarına göre elde edilen çıkarımlar değerlendirilerek geleceğe yönelik gerekli önlemler alınabilir.

Jeodezik ve jeodinamik amaçlı verilerin zamana göre değişim serilerinde GNSS istasyonlarından elde edilen konum bilgisinin sıcaklık, basınç, nem gibi çeşitli verilerle analizi yapılabilmektedir (Kara, 2009). Kullanılan veriler üzerinde oluşturulan fonksiyonel modeller yardımıyla değerlendirmeler yapılmakta, ileriye yönelik öngörü ve kestirimlerde bulunmak mümkün olmaktadır.

### 1.6.1. GNSS İstasyonları Zaman Serisi Bileşenleri

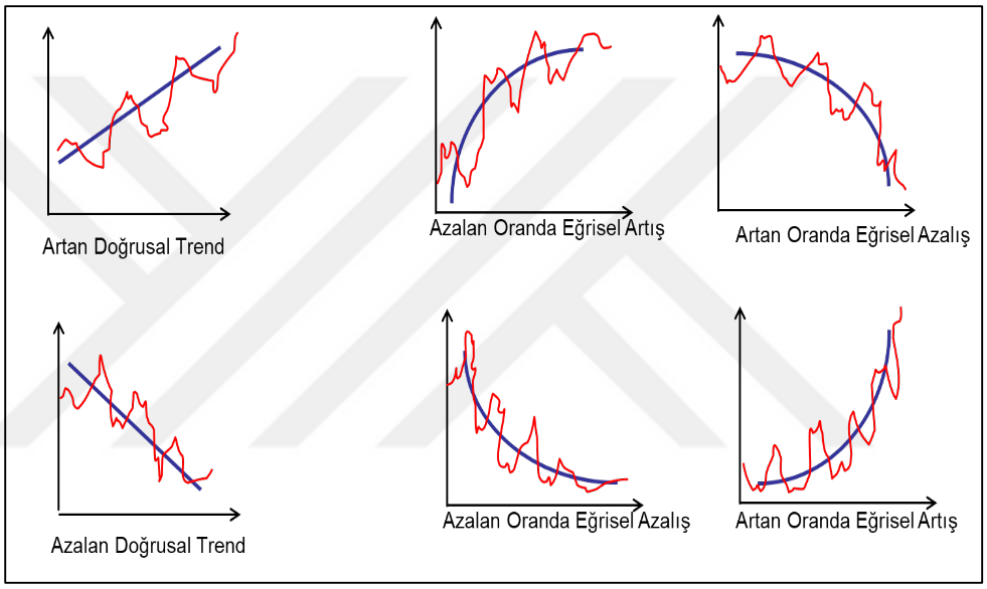
Zaman serisi verileri çeşitli faktörlerin etkisi altında olabilir ve buna bağlı olarak seride bazı değişimler görülür. Söz konusu bu değişimler dört farklı değişimin birlikte gösterdiği etkiden kaynaklanmaktadır. Bu etkiler zaman serilerinde;

- Trend
- Mevsimsellik
- Dönemsellik
- Rassallık,

olarak adlandırılır. Zaman serileri analizlerinde, verilerde gözlenen hata bileşenlerinin analiz edilmesi gerekmektedir.

- **Trend**

Bir zaman serisinin uzun süre aynı yönde gösterdiği ana eğilime uzun – dönemli genel trend denir. Trend'in yön ve kuvveti değişkenlik gösterebilmektedir. (Kara, 2009). Trend etkisi doğrusal ya da eğrisel olarak belirlenebilir (Şekil 1.5).




Şekil 1.5. Trend Gösterimleri (Kara, 2009)

Zaman serisi grafiklerinde serinin özelliklerine göre doğrusal yönde artış veya azalış meydana gelebileceği gibi eğrisel olarak artış ve azalış gözlenebilmektedir.

- **Mevsimsellik**

Zaman serisi verilerinde doğal ve beşeri sebeplerle meydana gelen trend üzerinde sürekli tekrarlanan periyodik hareketler mevsimsel dalgalanmalardır. Mevsimsellik zaman serisi grafiklerinde verilerdeki özelliklere dalga uzunlukları ve şiddetleri birbirine benzeyen aynı sıklıkla gözlemlenen hareketlerdir. Örnek olarak bu

durum bir yıl içinde değişen deniz seviyesinde açıkça gözlemlenebilmektedir (Alçı, 2017).

- **Rassallık**

Zaman serilerinde belirli bir sistematiğe uyum sağlamadan gerçekleşen rastgele değişimlere veya tesadüfi hareketler rassallık denir. Rassallığın oluşumundaki faktörlerin kestirimi mümkün değildir. Rastgele gerçekleşen hareketlerin istatistiksel bir biçimde ifade edebilmek zordur (Alçı, 2017).

- **Dönemsel Dalgalanmalar**

Zamana göre değişimlerin uzun süre gösterdiği eğilim olan trend doğrusu veya eğrisi etrafında oluşan uzun dönemli dalgalanmalar dönemsel dalgalanmalardır. Bu hareketler genel anlamda mevsim dalgalanmalarına benzese de periyot uzunluğu ve süre değişkenlikleriyle farklılık gösterir (Kara, 2009). Mevsimsel değişimlere bağlı olmayan daha uzun zaman aralığındaki belirli dönemlerde çeşitli etkiler sonucunda oluşan değişim dönemsel dalgalanma olarak tanımlanır.

## 1.7. Sabit GNSS İstasyonlarında Trend Analizi

Bir zaman serisinin uzun süre gösterdiği eğilime trend denir. Amaç, geçmişe ait sonuçları kullanarak geleceğe yönelik kestirim yapmaktır. Serilerde oluşan trend artan veya azalan olabilir. Zaman içerisinde değişim göstermeyen serilerde ise trend yoktur (Zaman Serileri Analizinde Temel Kavramlar, 2021). Verilerin eğilimine uygun doğru ya da eğri geçirilmesi işlemine trend analizi denir. Trend analizi için; veriler normal dağılım varsayımına dayanıyorsa parametrik testler, normal dağılıma uymuyorsa parametrik olmayan testler uygulanır. Zaman serilerinde trendin hesaplanmasında grafiksel yöntem, parametrik veya parametrik olmayan gibi çeşitli yöntemler de kullanılmaktadır.

Parametrik olmayan yöntemler; gözlemlerin kısa dönemli, aralıklı, dağınık ve çarpık olması gibi zaman serisini olumsuz etkileyen faktörleri ortadan kaldırmak için tercih edilen yöntemlerdir. (Büyükyıldız ve Berktay, 2004). Bunlar;

- Mann-Kendall testi
- Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testi
- Spearman'ın Rho testi
- Sen'in Trend Eğim metodu
- Sen'in T testi

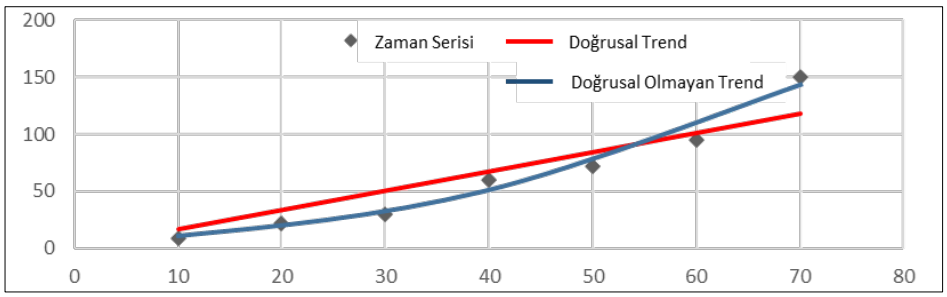
ile belirlenebilir. Parametrik yöntemlerde ise; süreklilik gösteren verilere,

- Regresyon Analizi
- T-testi

uygulanmaktadır (Büyükyıldız ve Berktay, 2004).

### 1.7.1. Regresyon Analizi ile Trend Belirleme

Regresyon analizinde trendler doğrusal ve doğrusal olmayan şekilde olabilir. Doğrusal trend, zaman serisi verilerinin genel eğiliminin doğrusal olarak değiştiği durumlarda görülmektedir. Doğrusal olmayan trend, zaman serisinin genel eğiliminin üstel veya logaritmik olarak değiştiği durumlarda ortaya çıkmaktadır (Şekil 1.6).




Şekil 1.6. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Trend

Zaman serilerinde değişkenlerin davranışlarının matematik model kullanarak tahmin edilmesi ve değişkenler arasındaki ilişkinin büyüklüğünün ölçülmesi gerekir (Kayikçı, 2017). Zaman serilerinde doğrusal ve doğrusal olmayan trendlerin regresyon analizlerinin yapılması çeşitli yöntemlerle sağlanmaktadır. Yapılacak analizlerde iki

değişken kullanılıyorsa Basit regresyon, daha fazla değişken kullanıldığında ise Çoklu regresyon uygulanabilir.

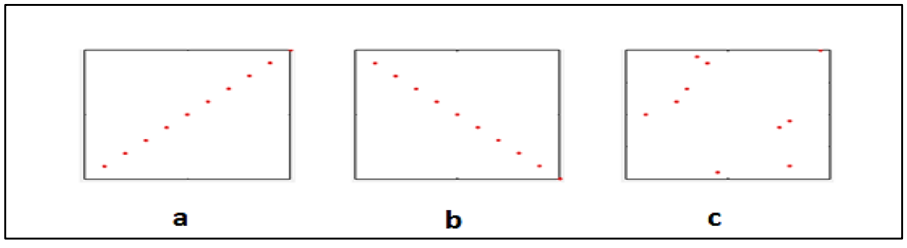
#### 1.7.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Değişkenlerden birinin bilinmesi, diğerinin kestirilmesi ya da tahmin işine regresyon problemi denir. Basit doğrusal regresyon probleminde bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki değişken vardır. Örneğin, bir koordinat zaman serisinde koordinatlar bağımlı değişken olmak üzere genellikle Y ile gösterilirken, bağımsız değişken olan zaman ise genellikle X ile gösterilir. Bağımsız değişken olan X, başka değişken tarafından etkilenmez ve Y, bu değişkene bağımlı olarak değişmektedir (Regresyon Analizi, 2021).

Değişkenler arasında ilişkiyi verilerin değişimlerinden anlamak mümkündür.

- X değişkenine ait değerler azalır veya artarken, Y değişkeni de aynı şekilde azalır veya artarsa bu durum aralarında bir ilişki olduğunu gösterir.
- Değişkenlerden birinin azalıp artması durumunda diğeri sabit kalıyorsa, bu durumda herhangi bir ilişkiden söz edilemez.

Değişkenler arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için değişkenler arasında doğrudan bir ilişki olup olmadığı, değişkenler arasında ilişki bulunuyorsa bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğu serpilme diyagramı ile anlaşılabilir (Şekil 1.7).




Şekil 1.7. Değişkenler Arasındaki İlişki Durumu (Kara, 2009).

Regresyon modelini belirlemek için En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin amacı, zaman ile zamana bağlı değişimler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ortaya çıkarmaktır. Zaman; X ve söz konusu olayın olduğu

değişken değerler; Y ekseni üzerinede belirtilerek zamana göre değişim grafiği elde edilir. Zamana göre değişim grafiğinden olgunun uzun dönem tahmini ve fonksiyonel modeli belirlenebilir (Ulukavak, 2010). Basit doğrusal regresyon modeli eşitlik 6'daki gibi ifade edilir.

$$y_n + v_n = a_0 + a_1 x_n \tag{6}$$

Eşitlik 6'da x; bağımsız değişken, y; zamana bağlı değişimi ifade eden veriler, $a_1$; eğim, $a_0$; kesişim sabitidir. $v_n$ ise n. terime karşılık gelen düzeltme terimidir. $a_0$, x=0 olduğunda regresyon doğrusunun y ekseninde kestiği değer, $a_1$ ise regresyon katsayısını ifade eden x bağımsız değişkeninin bir birim değişmesi sonucu y bağımlı değişkeninde meydana gelen değişimdir ya da eğim olarak adlandırılır. Eşitlik 6'daki parametrelerin matris gösterimleri eşitlik 7-11 arasında gösterilmiştir. Bağımlı değişken değerleri için,

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \tag{7}$$

bağımsız değişkenler için,

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \tag{8}$$

katsayılar matrisi için,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{bmatrix} \tag{9}$$

bilinmeyenlerin katsayıları için,

$$x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

ölçülere ait düzeltmeler için,

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \tag{11}$$

eşitliklerindeki gibi matris gösterimi ile ifade edilebilir. Bu eşitlikler içerisinde yer alan A katsayılar matrisi içerisindeki sayısal değerler farklı ondalık ve tam sayılı ifadeleri barındırdığı için A matrisi, kondisyonu bozuk bir matris olduğu oluşacaktır. Bu nedenle, EKK ilkesine göre çözüm yapılmadan önce A katsayılar matrisinde öteleme ve normlandırma işlemlerinin yapılması gerekmektedir (Eşitlik 12 ve 13).

$$x_{s=} \frac{[X]}{n} \qquad x_i' = x_i - x_s \tag{12}$$

$$y_{s=} \frac{[Y]}{n} \qquad y_i' = x_i - x_s \tag{13}$$

Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla öteleme değerleri hesaplanır. Bu eşitlikte görüldüğü gibi öncelikli olarak bağımsız değişkenleri toplayıp değişken sayımıza bölerek ortalama $x_s$ ve $y_s$ değerleri elde edilir. Daha sonra her bir değişkenden ortalama değerler çıkartılarak ötelenmiş $x_i'$ ve $y_i'$ değerler elde edilir. Ötelenmiş değerleri normlandırılması için eşitlik 14 kullanılır (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017)

$$\begin{aligned} c_x &= \sqrt{\sum x_i'^2} \qquad & x_i'' &= \frac{x_i'}{c_x} \\ c_y &= \sqrt{\sum y_i'^2} \qquad & y_i'' &= \frac{y_i'}{c_y} \end{aligned} \tag{14}$$

Eşitlik 14'te ifade edildiği gibi ötelenmiş değerlerin kareleri toplamının karekökünü alınarak elde edilen $c_x$ ve $c_y$ katsayıları, ötelenmiş her bir değere bölündüğünde normlandırılmış $x_i''$ ve $y_i''$ katsayılar bulunur. EKK yöntemiyle $a_1$ve $a_0$ regresyon

katsayıları hesaplanırken ötelenmiş ve normlandırılmış değerler, eşitlik 15 ve 16'da kullanılmıştır.

$$x = (A^T A)^{-1}(A^T y) \tag{15}$$

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 x_i'' \tag{16}$$

Eşitlik 15 ve 16 kullanılarak EKK yöntemiyle $a_1$ve $a_0$ regresyon katsayıları bulunur. Doğrusal denklemde $a_1$ ve $a_0$ değerlerini ve $x_i''$, ötelenmiş ve normlandırılmış katsayılar yerine yazılarak kesin değer $\hat{Y}$ bulunabilir (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

### 1.7.1.2. Regresyon Modelinin Anlamlılık Testi

$\beta_0$ ve $\beta_1$, regresyon katsayılarının kestirimi olan $a_0$ ve $a_1$'dir, $a_0$ regresyon sabiti ve $a_1$ de kestirim olup regresyon katsayısıdır. $\beta_1$ değerinin sabit bir değer olan $\theta$ değerine eşit olup olmadığını aşağıdaki eşitlik 17 ve 18 ile formüle edebiliriz.

$$H_0: E\{\beta_1\} = \theta \tag{17}$$

$$H_S: E\{\beta_1\} \neq \theta; \quad (\theta \neq 0) \tag{18}$$

Eşitlik 17 ile 18'deki denklemler yardımıyla sıfır ve seçenek hipotezi kurulur. İki yönlü hipotez söz konusudur. Eşitlik 19 ve 20 de verilen formülde; veri sayısı, n ve serbestlik derecesi n-2 olmak üzere hesaplama yapılır (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

$$m_0 = \sqrt{\frac{(V^T V)}{n-2}} \tag{19}$$

$$Q_{xx} = (A^T A)^{-1} \tag{20}$$

Eşitlik 19'da birim ölçünün ortalama hatası ($m_0$) ve eşitlik 20 yardımıyla ters ağırlık matrisi $Q_{xx}$ bulunur. Regresyon kat sayılarının ortalama hataları eşitlik 21 ve 22 de verilen formül ile hesaplanır (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

$$m_{a_1} = m_0 \sqrt{q_{x_1} q_{x_1}} \tag{21}$$

$$m_{a_0} = m_0 \sqrt{q_{x_2} q_{x_2}} \tag{22}$$

Eşitlik 21 ve 22 yardımıyla $m_{a_0}$ ve $m_{a_1}$regresyon katsayılarının ortalama hataları hesaplanır. $H_0$ hipotezini test etmek için kullanılacak test istatistiği aşağıdaki eşitlik 23 ve 24 ile hesaplanır.

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \qquad m_0 > s_0 \tag{23}$$

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} \qquad m_0 < s_0 \tag{24}$$

Eşitlik 23 ve 24 yardımıyla test büyüklüğü değerleri üretilir. Burada $s_0$ birim ölçünün öncül varyansı, $m_0$ ise EKK sonucunda elde edilen birim ölçünün ortalama hatasıdır. Bulunan test büyüklüğünü *F*-tablosundaki tablo değeri ile karşılaştırılır. *F*-tablo değeri bulunurken eşitlik 25'ten yararlanılır (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

$$F = F_{f_1, f_2, 1-\alpha/2} \tag{25}$$

Eşitlik 25'te görüldüğü üzere karşılaştırma $1 - \alpha/2$ güven aralığında n-2 serbestlik derecesinde *F*-Tablosundan bulunan değer, *T*-test değerinden büyük ise $H_0$ hipotezi kabul edilir ve model anlamlı değildir kararı verilir. Aksi durumda, *F*-tablo değeri *T*-test değerinden küçük ise $H_0$ hipotezi reddedilir ve modelin anlamlı olduğu kararı verilir. Modelin anlamlı olmaması demek Y eksenindeki değişmelerin X eksenindeki değişkenden kaynaklanmadığını göstermektedir (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

#### 1.7.1.3. Regresyon Katsayılarının Anlamlılık Testi

Her bir katsayı için ayrı ayrı test yapılarak anlamlılıkları test edilir. Bunlar $a_0$ regresyon sabiti ve $a_1$ eğim kat sayılarıdır. Aşağıdaki eşitlik 26 ve 27 yardımıyla hipotezler kurulur (Veri Analizi Regresyon Analizi, 2021).

$$H_0: E\{a_i\} = 0 \quad \text{“}a_i \text{ katsayısı anlamsızdır”} \; i = 0,1 \tag{26}$$

$$H_S: E\{a_i\} \neq 0 \quad \text{“}a_i \text{ katsayısı anlamlıdır”} \; i = 0,1 \tag{27}$$

Eşitlik 26 ve 27 yardımıyla kurulan hipotezlerden sonra test büyüklükleri için aşağıdaki,

$$Ta_0 = \frac{|a_0|}{m_{a_0}} \tag{28}$$

$$Ta_1 = \frac{|a_1|}{m_{a_1}} \tag{29}$$

$$t = t_{n-u,1-\alpha/2} \tag{30}$$

eşitlik 28 ve 29’da görüldüğü üzere regresyon kat sayılarını, ortalama hatalarına bölerek test büyüklüklerine ulaşırız. Eşitlik 30’da görüldüğü gibi bir değer kendi ortalamasına bölündüğü için *t*-testine uymaktadır. Bulunan test büyüklüğü ile $1-\alpha/2$ güven aralığında n-2 serbestlik derecesinde *T*-Tablosundan bulunan değer, *t*-test istatistiğinden büyük ise $H_0$ hipotezi kabul edilir, model anlamlı değildir. Küçük ise hipotez reddedilir ve model anlamlıdır (Veri Analizi Regresyon Analizi, 2021).

## 1.8. Kaba Hatalı ve Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Bilimsel çalışmalarda kullanılan veri kümelerinde var olan kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçülerin tespiti yapılan çalışmanın güvenirliği ve kalitesi açısından çok önemlidir. Bu nedenle çalışmamızda kullanılan TUSAGA-Aktif sabit GNSS istasyonlarından elde edilen verilerin büyük fark gösteren değerlerinin aynı veri kümesine ait olup olmadığını araştırmak için kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçülerin tespitinde kullanılan yöntemlerden k-sigma metodu kullanılmıştır. K-sigma metodunun genel yapısı oldukça basit bir gösterim ile eşitlik 31’te verilmiştir.

$$sınır\ değer = \mu \pm k\sigma \;, (k = 1,2,3) \tag{31}$$

Eşitlik 31'de μ; gözlemlerin ortalama değeri ve σ ise standart sapma değerini belirtmektedir. Burada $k$; sabit kat sayı olup 2, 3 ya da 6 değerlerini almaktadır. $k$ katsayısı mühendislik uygulamalarında 3 değerini alarak kullanılmaktadır (Ovla ve Taşdelen 2012). Buradaki amaç belirtilen sınırların dışında kalan aykırı değişimleri belirlemektir.

## 1.9. Korelasyon Analizi

Veriler arasındaki ilişkinin araştırılmasında, biri bağımlı diğeri bağımsız olan veri gruplarının birlikte değişimi gözlemlenebilmektedir. Bu değişim, değişkenler arasındaki ilişkinin varlığıyla ilgilidir. Bu ilişkide değişkenlerden biri artıyor diğeri azalıyorsa zıt yönlü, her ikisi de artıyorsa aynı yönlü ilişki olduğu görülebilir. İki veya daha fazla parametre arasındaki ilişkinin gücü ve yönünün araştırılmasına korelasyon analizi denir (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

### 1.9.1. Pearson Korelasyon Katsayısı

Değişkenler arasındaki ilişkinin gücü ve yönü ile ilgili bilgi edinmek amacıyla korelasyon kat sayısı belirlenir. Değişkenler arasındaki ilişkinin gücü ve yönünü belirlemek için *r* ile gösterilen Pearson korelasyon kat sayısı eşitlik 32 ile hesaplanır.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \tag{32}$$

eşitlikte $x_i$ ve $y_i$; değişken gözlemlerini, $\bar{x}$ ve $\bar{y}$; değişkenlerin ortalamalarını, $s_x$ ve $s_y$; değişkenlerin standart sapmalarını ve $n$; gözlem çiftleri sayısını belirtmektedir. Hesaplanan *r* katsayısı -1'den küçük olamayacağı gibi 1'den de büyük olamaz. Pozitif çıkar ise iki değişkenin de aynı yönde ilişkili olduğunu yani değişkenlerden biri artar iken diğerinin de arttığını ifade etmektedir. *r* katsayısı negatif olarak belirlenirse, değişkenlerden birinin artarken diğerinin azaldığı anlamına gelmektedir. *r* katsayısının sıfır olduğu durumda, iki değişken arasında bir ilişkinin olmadığı kararı verilir (Kayikci ve Yalcinkaya, 2015).

Bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarı bağımsız değişkene bağlı olduğu belirlilik katsayısı ile açıklanabilir. Belirlilik kat sayısı Pearson korelasyon kat sayısının karesi ile hesaplanır. Belirlilik katsayısı olan $r^2$, sıfır ile bir arasında bir değer almaktadır. $r^2$ değeri bir ise $y$ değişiminin tamamının $x$ değişkeni tarafından belirlendiği kabulü yapılır. $r^2$ değeri birden uzaklaşıp sıfıra yaklaştıkça $y$ değişkeni ile $x$ değişkeni arasındaki ilişkinin azaldığı görülmektedir (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

#### 1.9.1.1. Korelasyon Katsayısı Anlamlılık Testi

Korelasyon katsayısı anlamlılık testinde, β değerinin sabit bir değer olan $\theta$ değerine eşit olup olmadığını test edebiliriz. Bunun için eşitlik 33 ve 34'deki hipotezler kurulur (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2017).

$H_0: E\{\beta\} = \theta$ "Korelasyon katsayısı sıfıra eşittir." (33)

$H_S: E\{\beta\} \neq \theta; \quad (\theta = 0)$ "Korelasyon katsayısı sıfıra eşit değildir." (34)

Eşitlik 33 ve 34'deki sıfır ve seçenek hipotezi kurulduğunda, $H_0$ hipotezi korelasyon katsayısının sıfıra eşit, $H_S$ hipotezi sıfırdan farklı olduğunu belirtmektedir. İki yönlü hipotez söz konusudur. $H_0$ hipotezini test etmek için eşitlik 35 ve 36 kullanılır (Kayikci ve Yalcinkaya, 2015).

$$T = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \tag{35}$$

$$t = t_{n-u,1-\alpha/2} \tag{36}$$

Eşitlik 35'de *T*-test büyüklüğü bulunur. Eşitlik 36'da $1-\alpha/2$ güven aralığında n-2 serbestlik derecesinde *t*-tablosundan bulunan değer ile *T*-test büyüklüğü değerleri karşılaştırılır. *T*-test büyüklüğü, *t*-Tablo değerinden büyük ise $H_0$ hipotezi kabul edilir ve korelasyon katsayısının anlamlı olmadığı ortaya çıkarılır. *T*-test büyüklüğü, *t*-tablo değerinden küçük ise hipotez reddedilir ve katsayının anlamlı olduğu kararı verilir (Kayikci ve Yalcinkaya, 2015).

## 1.10. GPS Gözlemlerinden S4 Değişimlerinin Belirlenmesi

Küresel seyrüsefer sistemlerinden gelen sinyallerin atmosferden geçerken uğradığı değişimler, genlik parıldamaları olarak adlandırılan ve sinyalin genliğindeki değişimlere sebep olan bir süreçtir. Bu etkiler ekvator, auroral (güneşin doğuşuna ait) ve kutup bölgelerinde çok güçlüdür. İyonosferden geçen bir radyo dalgasının, faz ve genliği bir bozulmaya uğrar ve dalgalanmaların büyüklüğü kullanılan frekans, manyetik ve güneş aktivitesi koşulları, günün saati, mevsim ve yere göre değişir. Şiddetli genlik azalması ve güçlü faz parıldaması, uydu iletişiminin sağlıklı biçimde gerçekleşmesini etkiler. Bu nedenle, iyonosferik parıldamanın ve Küresel Seyrüsefer ve Uydu Sistemlerine ait sinyaller üzerindeki etkilerinin bu gibi durumlarda yapabilecek bir alıcı vasıtasıyla daha fazla anlaşılması tercih edilmektedir (Van Der Meeren ve ark., 2014).

Genlik parıldaması, GNSS uydularından alınan sinyallerin yoğunluklarından türetilen S4 indisi ile tanımlanır. S4 indisi 60 saniyelik aralıklarla hesaplanabilir ve İyonosferik Parıldama İzleme Alıcısı (GNSS Ionospheric Scintillation and Monitor: GISM) veri günlüğünde faz ölçümleriyle birlikte depolanır. Buna Toplam S4 veya $S_{4T}$ denir. S4 (genlik parıldaması indisi), normalleştirilmiş sinyal yoğunluğu dalgalanmalarının standart sapmasıdır ve GNSS sinyalinin gücüne sahip olan parıldamaları temsil eder. Genlik parıldaması, sinyal yoğunluğunun standart sapması ($SI$) olarak tanımlanan hesaplamada S4 endeksi ile ortalama değerine bölünerek elde edilir. Ortam gürültüsünün etkilerini içeren normalleştirilmiş S4 endeksi eşitlik 37'deki formül ile hesaplanır (Bhawre ve ark., 2013).

$$S_{4T} = \sqrt{\frac{< SI^2 > - < SI >^2}{< SI >^2}} \tag{37}$$

Burada $< SI >$, 60 sn aralığındaki ortalama sinyal yoğunluğu değeridir (Bhawre ve ark., 2013). Genlik ölçümünü filtrelemek ve $S_{4T}$'den kaynaklanan çevresel gürültü etkisini ortadan kaldırmak için düşük geçişli bir filtre (LPF) kullanılır. Uydu sinyallerinin gücü çok yolluluk etkisi, uyduların hareketi ve sinyallerin uzun mesafeli

iletiminden dolayı etkilenebilir. Bu nedenle, sinyallerdeki verilerin kaybına neden olacak etkileri azaltmak için dalga filtreleme uygulanır ve ardından $SI$, $SI'$ olarak kullanılır. Ortalama sinyal gücü $< SI' >$, çevresel gürültü nedeniyle beklenen S4 düzeltmesini belirlemek için kullanılır. $SI'$, gerçekte GNSS sinyalini aldığında, eşitlik 40'da gösterildiği gibi $S/N_0$ sinyal-gürültü oranına göre hesaplanabilen, çevredeki gürültüden etkilenen $S_{4N_0}$ olur. $S/N_0$ biliniyorsa, çevresel gürültü nedeniyle benzer hale gelir (Bhawre ve ark., 2013).

$$S_{4N_0} = \sqrt{\frac{100}{S/N_0}\left[1 + \frac{500}{19S/N_0}\right]} \tag{38}$$

İkinci denklem, S4 düzeltmesi olarak adlandırılır. Eşitlik 38'ı Eşitlik 39'un sağ tarafındaki eşitlikten çıkarıp ve $S/N_0$'ı 60 saniyelik tahmini değerle değiştirilir (Bhawre ve ark., 2013).

$$S_4 = \sqrt{\frac{< SI^2 > - < SI >^2}{< SI >^2} - \frac{100}{S/N_0}\left[1 + \frac{500}{19S/N_0}\right]} \tag{39}$$

Çevresel gürültünün etkisini ortadan kaldırarak eşitlik 38'de gösterildiği gibi S4 indeksine sahip olacak şekilde elde edilebilir (Bhawre ve ark., 2013).

# 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İyonosfer, rastgele parıldamalar ile sonuçlanan düzensiz bölgelerde sinyalin frekansına ve elektron yoğunluğuna bağlı olarak Radyo Frekans sinyallerinin kırıldığı bir saçılım ortamıdır. Bhawre ve ark., (2013) yüksek enlem bölgelerinde gözlemlenen L bandına etki eden parıldamaların oluşum özellikleri, Hint-Antarktika istasyonu Maitri'de 2008 yılının düşük güneş aktivitesi süresince incelenmiştir. Bu araştırmada çift frekanslı GPS alıcısı kullanılarak yüksek enlemdeki istasyonunda yaklaşık bir yıllık gözlem yapılmıştır. Çalışma, yüksek enlem bölgesindeki L-bandında gerçekleşen parıldamaların sadece gece boyunca gözlemlenebildiğini ve güneş aktivitesinin düşük olduğu zamanlarda gözlemlenen parıldamaların genellikle zayıf tipte olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmada, dönemselliğe bağlı olarak kış mevsiminde, yaz ve ekinoks dönemlerine göre maksimum oranda parıldama oluştuğunu ortaya çıkarmıştır (Bhawre ve ark., 2013).

L-bandındaki uydu sinyallerinin genliği ve fazı, iyonosferik parıldamalar olarak bilinen kısa değişimler sonucunda küçük ölçekli rastgele elektron yoğunluğu düzensizliklerinden kaynaklı oluşmaktadır (Sahithi ve ark., 2019). Global navigasyon uydu sistemi (GNSS), İyonosferik hava koşullarını izlemek, modellemek ve tahmin etmek için önemli bir uzaktan algılama aracıdır. Çalışmada Hint düşük enlem bölgesi üzerinde analizler, Bengaluru (IISC) 12.90°N, 77.59°E ve Lucknow (LCK) 26.85°N, 80.95°E istasyonlarında 2013 yılında gözlemlenen GNSS ölçüleri ile yapılmıştır. Yapılan deneysel sonuçlardan, parıldamaların ortaya çıkma olasılığının Ekvatoral İyonlaşma Anomali (EIA: Equatorial Ionization Anomaly) bölgesinde, ekvatoral bölgelere göre daha yüksek değerlerde gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan çalışmada özellikle Mart ve Aralık gün dönümlerinde parıldama görülme olasılığı yüksek iken; Haziran ayında, güneşin ekvatordan en uzakta bulunduğu zaman aralığında ise düşük olarak gözlemlenmiştir. İki istasyonda bulunan parıldama oluşumlarının maksimum değişimi Kasım ayında kaydedilmiştir. Ayrıca, parıldama oluşumlarının en yüksek değişimi 17 Mart 2013 tarihindeki jeomanyetik fırtınanın gerçekleştiği günde meydana gelmiştir (Sahithi ve ark., 2019).

İyonosfer tabakasında meydana gelen güçlü parıldamalar; sinyal kaybına, taşıyıcı faz sinyalindeki kaymalara veya taşıyıcı faz sinyalinde meydana gelebilecek gürültüye neden olurlar. Radyo sinyallerinin neden olduğu hatalar hassas konum belirleme, iletişim ve haberleşme, navigasyon vb. uygulamalarda kesintilere sebep olabileceği sonuçlar doğurabilir. Bu sebeple iyonosferin iyi anlaşılması için iyonosferik parıldama özelliklerinin takibi ve yorumlanması önem kazanmıştır. İyosferik parıldama özelliklerinin takibi için GNSS İyonosferik Parıldama ve TEC İzleme Sistemi (GNSS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor: GISTM), iyonosferik bozuklukların tespit edilmesine, GPS sinyalleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine ve GPS alıcılarının performansının belirlenebilmesi için kullanılmıştır. GISTM verilerine dayanarak, Çin'de Ocak ve Aralık 2011 tarihleri arasında BCT (E116°15', N40°15'), BDT (E116°18', N40°0'), MDT (E116°58', N40°30') ve SZT (E113°58', N22°35') istasyonlarında iyonosferik parıldamaya ait değişimler araştırılmıştır. Bu kapsamda iyonosferik faz ve genlik parıldamalarının günlük, aylık ve mevsimsel değişimlerine ait özellikleri ve ayrıca faz parıldaması, genlik parıldaması ve TEC arasındaki ilişki analizi (korelasyon) kullanılarak incelenmiştir (Ahmed ve ark., 2016).

İyonlaşma yoğunluğu düzensizliklerinden kaynaklanan parıldama, sinyalleri beklenmedik bir şekilde, faz ve genlik değişimine neden olmaktadır (Kintner ve ark., 2007). GPS zayıf bir sinyal sistemi olup 20 dB'yi aşan genlik değişimleri ile parıldamakta ve bu parıldamalar GPS alıcısına gelen sinyalin yapısını değiştirmektedir. GNSS alıcısına gelen sinyallerin yapısını bozan ani parıldamalar en çok solar maksimum sırasında manyetik ekvatorun yakınında meydana gelmektedirler ancak güneş döngüsünün herhangi bir aşamasında Dünya'nın herhangi bir yerinde de oluşabilmektedir. Çalışmada, uzay iklim koşullarıyla ilgilenen ve GPS alıcılarının üzerindeki iyonosferik parıldamaların tasarımı ve kullanımı üzerine çalışan mühendislerin ilgi alanında GNSS ve iyonosferik parıldamaların konusu incelenmiştir (Kintner ve ark., 2007).

Ekvatoral bölgelerdeki iyonosferde gün batımı sonrası oluşan rahatsız bölgeler boyunca yayılan radyo dalgaları hızlı faz ve genlik değişimlerine neden olur (Groves ve ark., 2000). Parıldamaların yoğunluğu, güneş döngüsü ile pozitif olarak ilişkilidir

ve sinyal azalması maksimum güneş aktivitesi sırasında L-bandı frekanslarında genellikle 20 dB'yi aşmaktadır. Böyle bir ortamın GPS sistemlerinin performansı üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılamamıştır. 2000 yılının Mart ayında Ascension Adası'ndaki Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'nda (Air Force Research Laboratory: AFRL), potansiyel olarak ciddi parıldama koşulları altında birkaç GPS alıcısının performansını test etmek için bir araştırma yapılmıştır. Ascension Adası, yaklaşık 16°S manyetik enlemde bulunan ve yoğun iyonosferik bozuklukların gerçekleştiği bir bölgedir. Bu adada genlik parıldaması için farklı GNSS alıcılarıyla gözlemler yapılmıştır. Test edilen sistemler bir Plessey GPS Oluşturucu, parıldama uygulamaları için özel olarak geliştirilmiş bir Novatel tabanlı prototip İyonosferik Parıldama Monitörü (ISM:Ionospheric Scintillation Monitor) ve Ashtech Z-12 tarafından AFRL için geliştirilen özel bir Yüksek Kazançlı Gelişmiş GPS Alıcısı (High Gain Advanced GPS Receiver: HAGR) kullanılmıştır. Şiddetli parıldama sırasında farklı alıcıların tepkileri önemli ölçüde değişmiştir ancak genel olarak, Ashtech alıcısının taşıyıcı sinyalin genliğini ve fazını izlemede daha verimli olduğu kanıtlanmıştır. GPS alıcılarından alınan verilerde, taşıyıcı sinyal genliği ve fazını takip etmede belirlenen sekiz gecelik gözlemin dördünde parıldama kaynaklı iletişim kesintileri yaşanmıştır ve bu durum GPS performansı üzerindeki iyonosferik etkileri modelleyen alıcıların, GPS alıcısına özel olması gerektiğini düşündürmüştür (Groves ve ark., 2000).

İyonosferik değişimler, güneş fırtınası gibi birçok olguya yanıt olarak iyonosferde ani oluşabilen elektron yoğunluğu bölgeleri olarak da gösterilir. Son yıllarda, iyonosferik parıldamaları ve toplam elektron içeriği (TEC) değişikliklerini izlemek için, güneydeki orta ve yüksek enlem bölgelerine yüksek frekanslı örnekleme alıcıları yerleştirmiştir. GPS alıcısına gelen sinyallerle iyonosferin L-bandındaki sürekli ve sistematik gözlemlerin arşivinden faydalanarak, Latin Amerika'dan Antarktika'ya ilk kez iyonosferik parıldama ve TEC haritalaması yapılmıştır. Çalışma bölgesinde mevsimsel parıldamaların ortaya çıkmasının daha muhtemel olduğu, iyonosferik bölgeleri tanımlayabilen bir yöntem olan zemin bazlı parıldama ile belirlenmiştir. Çalışmada yeni iyonosferik parıldama "hot-spot" analizi de tanıtılmaktadır. Çalışmada ilk önce iyonosferin kritik bölgeleri, parıldama olayının

artma olasılığı açısından tanımlanmaktadır. Daha sonra ana parıldama ve TEC ile ilgili parametrelerin mevsimsel değişimleri incelenmektedir. Bu karmaşık analiz ile elde edilen sonuçlar, parıldamalara neden olan mekanizmaların mevcut bilgisinin genişlemesine katkıda bulunan plazma düzensizliklerinin uzaysal/zamansal yinelenmelerine ve dolayısıyla uzay-hava ara yüzünde tahmin için etkin araçların geliştirilmesine katkıda bulunan önemli göstergeler sağlamaktadır (Luca Spogli ve ark., 2013).

Srinivasu ve ark. (2019), 17 Mart 2015 tarihli St. Patrick Günü'nde gerçekleşen parıldamaların değişkenliğini, jeomanyetik fırtına sırasında Visakhapatnam üzerindeki iyonosferik TEC ve GNSS verileri kullanılarak araştırılmıştır. Visakhapatnam istasyon literatürde Waltair (17.70° N) (WALT) olarak bilinir. Fırtına sırasında beş IGS istasyonunun (SGOC, IISC, HYDE, LCK4 ve LHAZ) gözlemlerinden elde edilen VTEC değişimleri ve WALT'dan elde edilen TEC değişimleri karşılaştırılmıştır. Bahsedilen istasyonlar üzerinde, fırtınanın ana fazı boyunca meydana gelen pozitif fırtına etkisi ve fırtınanın geri kazanımı sırasında olumsuz fırtına etkisi gözlemlenmiştir. GPS ve GLONASS uydularının L-bandı sinyallerinde güçlü genlik ve faz parıldamaları gözlemlenmiştir. On iki uydu GPS L1'in PRN'leri ve her GLONASS L1 ve L2-band sinyalinin dokuz PRN'leri güçlü genlik ve faz parıldamasından etkilenmiştir. WALT üzerinden GPS L1 ve GLONASS L1-bant sinyallerinden etkilenen PRN'lerinden elde edilen genlik parıldama indisi (S4), sırasıyla 0.36 ila 0.74 ve 0.36 ila 0.76 arasında değişmektedir. Söz konusu istasyonlarda TEC endeksi oranındaki güçlü dalgalanmalar kaydedilmiştir. Bu gelişmiş parıldama aktivitesi, esas olarak Hint bölgesinde akşam sektöründeki fırtına düşüşlerinin ana aşamasından kaynaklanmaktadır. (Srinivasu ve ark., 2019).

Japonya'da yer alan iyonosondanın, 1968–2004 yılları arasındaki kayıtlarından elde edilen verileri kullanılarak, magnitüdü 6.5'den büyük depremlerden önce iyonosfer tabakasında meydana getirdikleri muhtemel değişiklikler incelenmiştir (Korsunova ve Khegai, 2018). Veriler, E katmanının sanal yükseklik ve frekans parametrelerinin saatlik ölçümlerine ve kuvvetli jeomanyetik bozuklukların olmaması koşuluyla depremlerden önceki üç günlük süre boyunca F2 katmanının kritik

frekansında meydana gelen değişimlere göre analiz edilmiştir. Tüm depremlerden önce incelenen zaman aralıklarında hem E hem de F2 iyonosferik katmanlarının frekanslarında ve sporadik E katmanının sanal yüksekliğinde anormal değişiklikler belirlenmiştir. Değişiklikler aynı gün içinde birkaç yüz kilometre mesafedeki istasyonlarda da gözlenmiştir. Sismik etkiden önceki bu iyonosferik anomalilerin oluşum süresinin, depremlerin büyüklüğüne duyarlı olduğu ve deprem büyüklüğünün yükselmesi ile artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu tür iyonosferik bozuklukların, depremlerin kısa vadeli iyonosferik öncüleri olabileceği sonucuna varılmıştır (Korsunova ve Khegai, 2018).

İyonosferik parıldama, GNSS sinyallerini özellikle kutup ve ekvator bölgelerinde, konumlandırma performansını doğruluk açısından bozarak ciddi hatalara neden olabilir (Acharya ve Majumdar, 2019). Çalışmada, S4 genlik parıldama indisi ile TEC Endeks Oranı'nın (ROTI: Rate of TEC Index) iyonosferik düzensizlikleri kullanılarak istatistiksel olarak ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Hindistan genelinde kurulan GAGAN ağındaki istasyonlardan eşzamanlı olarak ölçülen S4 ve TEC verileri kullanılmıştır. TEC değişimleri, ROTI'nin türetilmesi için kullanılmaktadır. ROTI'de farklı aralıklarda gözlemlenen S4'ün dağılımı standart modellerle ayrı ayrı eşleştirilmiştir. Bu hem sakin hem de aktif jeomanyetik koşullar için yapılmıştır. Eşleşen dağılımlar için parametrelerin, ilgili aralıktaki ortalama ROTI değerleriyle sistematik olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu dağılım parametrelerine karşılık gelen ROTI değerleri modellenmiştir. Elde edilen model bağımsız verilerle başarılı bir şekilde doğrulanmış ve uygunlukları istatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada, iyonosferik düzensizliğin ROTI cinsinden belirlenmesi durumunda muhtemel parıldama kuvvetinin (S4) tahmin edilmesinde faydalı olabileceği ayrıca, gözlenen bir ROTI değerinin, S4'ün öngörülmesi şartıyla uyduya bağlanma olasılığının belirlenebileceği öngörülmüştür (Acharya ve Majumdar, 2019).

Grzesiak ve ark. (2018), GNSS sinyalleri üzerinden hem TEC hem de parıldama indislerinin bölgesel ve kısa dönemli tahmini için bir çalışma gerçekleştirmiştir. TEC tarafından öngörülen değerleri sağlamak için kullanılan yöntemde süreklilik denkleminden faydalanılmış, parıldama tahmini için ise kaynak terim ile süreklilik

denklemi kullanılmıştır. Modelin performansı Brezilya'da ekvator enlemlerinde ve parıldamanın meydana gelme olasılığının yüksek olduğu gün batımında uygulanmış olup tatminkâr sonuçlar elde edilmiştir. Model performansını test etmek ve model doğruluğunu değerlendirmek için güçlü genlik parıldama olaylarından (S4>0.7) etkilenen beş gün kullanılmıştır. Ek olarak, genlik parıldama tahmininin performansı daha büyük istatistiklerden yararlanılarak değerlendirilir. Tahmin doğruluğu, öngörülen ve gerçekleşen değerler arasındaki farkların dağılımının standart sapması açısından, TEC için yaklaşık % 5 ve parıldama parametreleri için % 15 – 20 olarak ortalama değerleri elde edilmiştir (Grzesiak ve ark., 2018).

İyonosferik parıldamanın meydana gelmesiyle, GNSS alıcılarının performansında ciddi şekilde düşüşler gözlemlenebilir. Bu durum konumlandırma hassasiyeti üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarır. Presidente Prudente (Enlem 22.12°G, Boylam 51.41°W, Manyetik Enlem 12.74°S) konumundaki düşük enlem istasyonunda son güneş döngüsünün maksimum olduğu periyotta GPS alıcısından alınan L1 sinyalindeki yoğunluk azalmasının özellikleri araştırılmıştır (Guo ve ark., 2019). Bu çalışma, istasyona ait verilerde, parıldama oluşumunun çok sık olduğunu ve sinyal yoğunluklarındaki azalma olaylarının analizi, sinyal yoğunluklarındaki azalma derinliği ve süresi arasında ters bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Matematiksel modeller, yoğunluk solması ile yaygın olarak kullanılan S4 indisi arasındaki istatistiksel ilişkiyi araştırmak ve açıklamak için yapılmıştır. Hem sinyal yoğunluklarının azalması hem de sürenin izleme döngüsü performansını etkileyebileceği sonucuna varılmıştır, ancak izleme hatası sapması, sinyal yoğunluğunun azalma süresine oranı olarak tanımlanan azalma hızıyla daha güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bu çalışma, düşük enlemlerde iyonosferik parıldama yoğunluğu ile azalma özelliklerini daha iyi anlamak için büyük önem taşımaktadır (Guo ve ark., 2019).

Spogli ve ark. (2009), Ekim, Kasım ve Aralık 2003 döneminde 44°-88° N'deki coğrafi enlem aralığındaki iyonosferik parıldama verilerini, Kuzey Avrupa üzerinde bir "parıldama klimatolojisi" geliştirmek için ilk adım olarak analiz etmiştir. Parıldama oluşumunun manyetik yerel zamanın ve düzeltilmiş manyetik enlemin bir fonksiyonu

olarak davranışı, parıldama senaryolarına yol açan dış koşulları karakterize etmek için araştırılmıştır. Burada gösterilen sonuçlar, dört GISTM'den birleştirilmiş gözlemler elde ederek, çok çeşitli enlemlerden gelen bilgileri birleştirerek parıldamaya neden olan düzensizliklerin dinamiklerini araştırma olasılığını da vurgulamaktadır. Bulgular, iyonosferik düzensizliklerin oluşumunu, Aurora bölgesi ve iyonosferik pencerelerin beklenen pozisyonu ile ilişkilendirmekte ve kutup yamalarının manyetik yerel zamanındaki dağılım ile benzerlikler göstermektedir. Sonuçlar aynı zamanda, iyonosferik rahatsızlıkların faz ve GNSS sinyallerinin genliği üzerindeki etkisini göstererek, iyonosferin farklı katkılarını kanıtlamaktadır.

Carter ve ark. (2011), iyonosferik parıldama S4 indisinin küresel özellikleri ile jeomanyetik aktivite seviyesi arasındaki ilişkisini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan dört yıllık veri seti, 23. güneş döngüsünün azalan aşamasının tabanını kapsamakta ve çok sayıda GNSS Radyo Örtülmesinden elde edilen S4 ölçümlerinin günlük ve mevsimsel değişimlerini incelemek için kullanılmıştır. Gözlenen istatistiksel modeller, farklı konumlarda ölçülen iyonosferik parıldama seviyeleri üzerindeki jeomanyetik bozuklukların etkilerini araştırmak için sakin zamanlardaki taban çizgileri olarak kullanılır. Ayrıca, bu özellikler farklı boylam sektörleri için incelenmiştir. Yer tabanlı İyonosferik Parıldama Monitörü (ISM), yerde ölçülen S4 indisi ve Asya bölgesinde GNSS Radyo Örtülmesinden elde edilen S4 indisi arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Radyo Örtülmesinden S4 endeksini zeminde ölçülen genlik parıldaması seviyesi yerine kullanmanın çalışması uzay havası ile ilgili GNSS parıldama tahmini bağlamında araştırılmış ve tartışılmıştır.

S4 indisi, iyonosferik düzensizlikler adı verilen küçük ölçekli yapılardan yayılırken sinyallerin hızlı bir şekilde değiştirilmesi sinyalin parıldamasına neden olur. Çalışmada, iyonosferik düzensizlikler boyunca sinyal yayılım yolunu tahmin etmek ve daha sonra alınan sinyalin genlik ve S4 indisini hesaplamak için ışın izleme yöntemini kullanarak S4 indisinin özelliğini doğrulamaktır. İyonosferik parıldama S4 indisi ve sinyal yayılma yolu arasındaki ilişki anlaşılabilir. Daha sonra, gelecekte iyonosferik düzensizliği izlemek için S4 endeksi için asimilasyon yöntemi geliştirilebilir (Yeh ve ark., 2020).

Radyo sinyalleri ve navigasyon sistemleri, çeşitli radyasyon ve güneş etkileri tarafından oluşan iyonosferik koşullardan güçlü bir şekilde etkilenebilir. Bu iyonosferik etkiler santimetre boyutlarından yüz kilometreye kadar değişen ölçek boyutlarına sahip düzensizlikler oluşturabilir. Bu iyonosferik düzensizlikler, küresel navigasyon uydu sistemi sinyallerinin genliği ve fazında hızlı dalgalanmalar üreterek GNSS ölçümlerinin doğruluğunu düşürür. Çalışmada Güney Amerika bölgesinde uzun dönemli (mevsimsel ve güneş döngüsü ölçekleri) TEC varyasyonları ve parıldamaların iklim bilimi araştırmalarında güneş olaylarıyla ilişkili iyonosferik varyasyonlar ve gerçek sanat durumu hakkında kısa bir inceleme sunulmuştur (Correia ve ark., 2019).

İyonosferdeki düzensiz plazma veya yoğunluk değişimleri ile ilgili olan iyonosferik düzensizlikler, GNSS sinyallerinin genliği ve fazında hızlı dalgalanmalara neden olabilir. Bu makalede GNSS gözlemleriyle iyonosferik parıldama izlemede daha iyi bir yöntem elde etmek için, düşük genlik parıldama indisi ile korelasyonunu karşılaştırarak iyonosferik parıldamasını yansıtarak farklı hesaplama stratejilerinden ROTI (TEC İndeksi Oranı) yeteneğini CMONOC (Çin Yerkabuğu Hareket Gözlem Ağı) verileri ile Çin'in enlem bölgesinde inceledik. Sonuçlar, çeşitli örneklemelerin hepsinin genel olarak parıldama indisi S4 ile güçlü bir tutarlılık gösterebileceğini ve daha yüksek örneklemlerin S4 ile daha yüksek korelasyonlar izlediğini göstermektedir. Çalışma kapsamında ROTI hesaplama zaman aralığının S4 ile korelasyona katkısı örnekleme oranına bağlı olduğu görülmüştür (Wei ve ark., 2019).

Ekvatoral iyonosferik parıldama uzay tabanlı küresel navigasyon ve iletişim sinyalleri üzerindeki etkilerini araştırmak için, IPS Radyo ve Uzay Hizmetleri ve Savunma Bilim ve Teknoloji Organizasyonu Vanimo'da parıldama ve çift frekanslı GPS ölçümleri almak için çalışmalar yapılmıştır. Araştırmada kullanılan istasyon, parıldamanın sıklıkla meydana geldiği ekvator anomalisinin güney tepesinin altında bulunmaktadır. İyonosferik parıldama Monitörü (ISM) her dakika S4 ve diğer parametreleri kaydederken, çift frekanslı bir GPS alıcısı taşıyıcı-gürültü oranını, taşıyıcı fazını ve veriyi 2 saniyelik aralıklarla kaydetmektedir. Çift frekanslı GPS verileri, TEC (ROT) işlem hızı, ROT (DROT) türevi ve standart sapmaları (ROTI ve

DROTI) için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Hem ROTI hem de DROTI'nin S4 ile benzer değişiklikler gösterdiği anlaşılmıştır (Du ve ark., 2001).

Uydu tabanlı iletişim, navigasyon sistemleri ve birçok bilimsel yöntem iyonosferik sinyallerin gözlemlerine dayanır. Bu sinyallerin kalitesi, bahsedilen uygulamalar üzerinde zararlı etkilere sahip olabilen iyonosferik parıldama ile bozulabilir. Bu nedenle, iyonosferik parıldamanın izlenmesi ve bunun konum üzerindeki etkisinin miktarının belirlenmesi önemli bir ilgi konusudur. Çalışmada, gökyüzündeki parıldama kaynaklı iyonosferik belirsizlikleri tahmin eden ve etkilerini yerdeki son kullanıcılara çeviren bir yöntem geliştirilmiştir. İlk olarak, karar teorisindeki risk kavramını kullanarak parıldama olaylarının yoğunluğunu ve süresini S4 indisi ile ölçüldüğü üzere kullanarak, parıldamanın uydu üzerindeki etkileri hakkında kolayca bir ilk izlenim verebilecek iyonosferik risk haritaları tahmin edilmiştir. Bununla birlikte, parıldamanın zemindeki konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, belirli uydu-alıcılar için ağırlık faktörleri olarak iyonosferik parıldama risklerini içeren yeni bir ağırlıklı hassasiyet seyreltme (WPDOP) ölçüsü formüle edilmiştir. Çalışma kapsamında Güney Amerika'dan gelen parıldama verilerini kullanılmış ve özellikle ekvator anomalisinde geniş parıldama aktivitesini gösteren iyonosferik risk haritaları oluşturulmuştur (Koulouri ve ark., 2020).

Yıldızlardan veya uydulardan alınan radyo dalgaları için, parıldama derinliği ve genliğindeki değişimlerin sinyal kaynağının Zenit (Tepe) açısına göre değiştiği teorisi dikkate alınmalıdır (Briggs ve Parkin, 1963). Radyo sinyalleri iyonosferden geçerken faz dalgalanmalarının etkileneceği ve iyonosferin altındaki boş uzayda yayıldığında, genlik dalgalanmalarının kırınımına sebep olacağı varsayılmaktadır. Radyo sinyali kaynağının zenit açısını artırmanın iki etkisi vardır. Görüş hattı boyunca iyonosferin kalınlığının artması ve kırınım sürecinin geometrisi değiştikçe faz genliğinin de artmasıdır. Çalışma kapsamında hem izotropik düzensizlikler hem de dünyanın manyetik alanı doğrultusunda uzayan düzensizlikler için teorik sonuçlar verilmiştir. İki dalga boyu üzerinde aynı anda gözlem yapmanın avantajları vurgulanmıştır. Mevcut deneysel verilerle bazı karşılaştırmalar yapılmış ve gelecekteki deneyler için

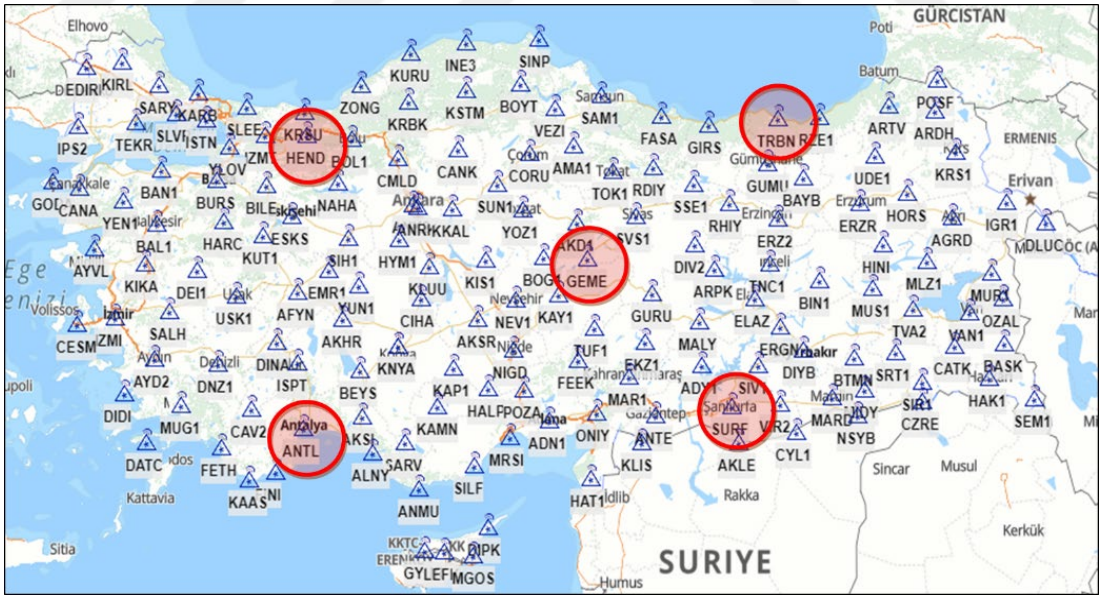
önerilerde bulunulmuştur. Gözlemciden farklı mesafelerdeki düzensizlikler, genlik titremesi üretmede o kadar etkili değildir ve bunların etkililiğini belirleyen bazı "ağırlıklandırma fonksiyonları" örnekleri verilmiştir. Çeşitli "titreşim derinliği" ölçümleri tartışılmış ve ilişkilendirilmiştir.

31 Ekim 2011 tarihinde, Kanada bölgesindeki iyonosferin Svalbard'a kadar kutup başlığından geçen bir iyonizasyon dilini (TOI) incelenmiştir (Van Der Meeren ve ark., 2014). Bu TOI cephesiyle ilgili olarak GNSS parıldaması ve düzensizlikleri araştırılmıştır. Bu, bir TOI cephesiyle ilgili olarak parıldama ve düzensizliklerin bu kadar ayrıntılı çok cihazlı verilerini sunan ilk çalışmadır. European Incoherent Scatter Svalbard Radar, Super Dual Auroral Radar Network Hankasalmi radar, Longyearbyen ve Ny-Ålesund'daki üç GPS parıldama ve toplam elektron içeriği (TEC) monitöründen gelen verileri birleştirerek, faz parıldamaları gözlemlenmiştir. Gözlem Noktaları TOI bölgesi boyunca yerel olarak yapılandırılmış, TOI'nin içinde ve önünde benzerlikler göstermiştir.

# 3. MATERYAL ve YÖNTEM

## 3.1. Materyal

Bu çalışmada, "Sürekli Gözlem Yapan Ulusal GNSS İstasyonları (TUSAGA-Aktif/CORS-TR)" kullanılmıştır. TUSAGA-Aktif Sistemi; HGM ve TKGM'de olmak üzere 2 adet kontrol merkezi ile Türkiye genelinde toplam 159 adet sürekli veri kaydeden istasyonlardan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında bu istasyonlardan; Antalya'daki ANTL İstasyonu, Trabzon'daki TRBN istasyonu, Kayseri'deki GEME istasyonu, İzmit'teki HEND ve Şanlıurfa'daki SURF istasyonu kullanılmıştır (Şekil 3.1). Bu istasyonlara ait veriler TKGM sitesinden temin edinilmiştir (TUSAGA-Aktif, 2021). Çalışma kapsamında, TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait 01.01.2016 ve 30.06.2019 tarihleri arasındaki GPS gözlemleri kullanılmış olmakla birlikte ANTL, TRBN, GEME, HEND ve SURF istasyonlarından elde edilen S4 değişimleri değerlendirilmiştir.

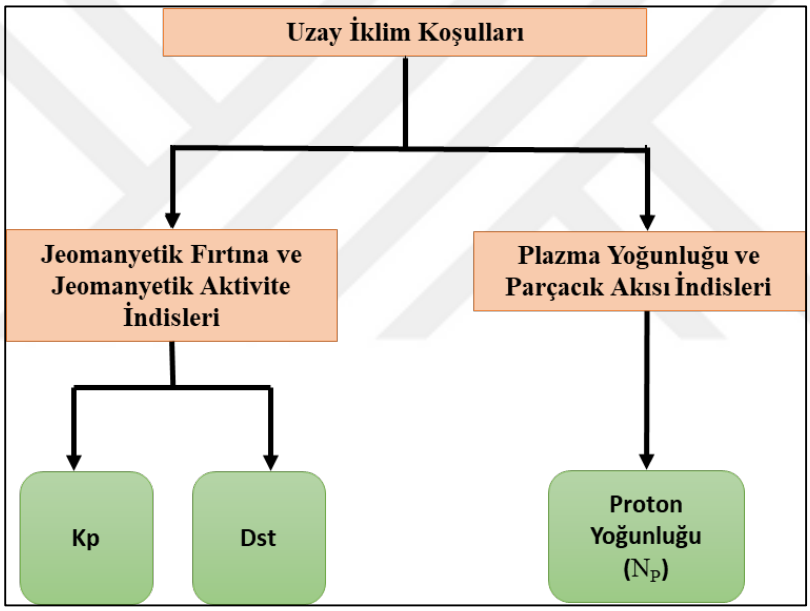



Şekil 3.1. Türkiye'de bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları (TUSAGA-Aktif, 2021)

Şekil 3.1'de, Sakarya ilinde yer alan HEND (Enlem: 40.79499°, Boylam: 30.74075°), Trabzon ilinde yer alan TRBN (Enlem:41.00541°, Boylam:39.71149°),

Sivas ilinde yer alan GEME (Enlem: 39.18513°, Boylam: 36.08084°), Antalya ilinde yer alan ANTL (Enlem: 36.88845°, Boylam: 30.66642°), ve Şanlıurfa ilinde yer alan SURF (Enlem: 37.19184°, Boylam: 38.81802°) sabit GNSS istasyonlarına ait gözlemler kullanılarak hesaplanan S4 değişimleri ve uzay iklim koşulları (SWC) arasındaki ilişki araştırılmıştır.

İyonosferin sakin zamanlarını belirlemek için uzay iklim koşulları incelenmiştir. Bu çalışmada uzay iklim koşulları indislerinden; jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (Kp ve Dst), ve plazma yoğunluğu ($N_P$) değişimlerine ait indis değerleri kullanılmıştır (Şekil 3.2).




Şekil 3.2. Uzay İklim Koşulları

Uygulamada kullanılan uzay iklim koşulları jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve plazma yoğunluğu indisleri (Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite, 2021) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınmıştır.

## 3.2. Yöntem

Çalışmada bölgesinde kullanılan istasyonların konumları dikkate alındığında TRBN-SURF ile HEND-ANTL istasyonlarının yaklaşık aynı boylamlarda, HEND-

TRBN ile ANTL-SURF istasyonları da yaklaşık aynı enlemlerde olduğu görülmektedir. Şekil 3.1'de belirtilen TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarından güneyde yer alan ANTL ve SURF istasyonları ekvatora daha yakın, GEME istasyonu çalışma alanının ortasında ve HEND ve TRBN istasyonları ise bu istasyonların kuzeyinde yer almaktadır. İstasyon verilerine uygulanacak kestirimin doğruluğunu artırmak için kaba hatalı verilerin ayıklanması gerekmektedir. İstasyon verilerinden ayıklanan kaba hatalı verilerden sonra istasyonların her bir bileşeninin trend etkisi giderilmelidir. S4 değişim grafiklerinde görülen dönemsel benzer hareketlerin İyonosfer kaynaklı etkilerden olabileceği düşünülerek, Uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin elde edildiği NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Merkezi'ne (OMNIWeb) ait internet ara yüzünden 1 saat çözünürlüklü değişimler elde edilmiştir. Uzay iklim koşullarının Kp>4, Np>15proton/cm$^3$ ve Dst<-50nT fırtına başlangıcı sınır değerleri ile TUSAGA-Aktif istasyonlarının S4 değişimlerinin K-sigma metodu ile üç standart sapma eşik değeri arasındaki ilişki araştırılmıştır. TUSAGA-Aktif istasyon verileri kullanılarak elde edilen S4 değişimlerine ait yapılacak analizde K-sigma metodu kullanılmıştır (Eşitlik 34). Bu çalışmada, TUSAGA-Aktif istasyonlarından elde edilen S4 değişimleri ile birlikte uzay iklim koşulları indis değerleri (Kp, Dst ve $N_P$ ) ayrı ayrı analiz edilmiştir. Gopi K. Seemala'ya ait GPS-TEC Analiz Uygulaması yazılımının kullanıldığı bu çalışmada S4 değişimleri 60 saniye zamansal çözünürlükle elde edilmiştir (Seemala, 2011). Uzay iklim koşullarının bir saat çözünürlüklü indis değerleri ile S4 değişimlerinin aynı zamansal çözünürlükte olması için, TUSAGA-Aktif istasyonlarında elde edilen 60 saniye çözünürlüklü S4 değişimlerine polinomal yüzey modeli oluşturulmuştur. TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait coğrafi koordinatlar kullanılarak 2.dereceden polinomal yüzey modelinden bir saat çözünürlüklü S4 değişimleri elde edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında TUSAGA-Aktif istasyonlarından hesaplanan 60 sn çözünürlüklü S4 değerleri ile yüzey polinomu katsayıları, iz düşüm fonksiyonu kullanılarak her bir sürekli yay boyunca hesaplanmıştır. TUSAGA-Aktif istasyonlarından hesaplanan S4 değerleri her bir saat için gözlem penceresinin boyutu 60 veri olarak belirlenerek elde edilen değerlere uygun yüzey polinomu katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra belirlenen yüzey polinomu katsayıları ile her bir

TUSAGA-Aktif istasyonu üstündeki saatlik S4 değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, S4 değişimleri ikinci dereceden polinom yüzeyleri geçirilerek elde edilmiştir. Bir gün boyunca, her bir istasyonu üzerindeki S4 değerlerinden saatlik değişimler, ikinci dereceden polinom yüzeyinin geçirimi yaklaşımıyla eşitlik 40 ile elde edilmiştir (Durmaz ve Karslioglu, 2014).

$$S4_{(\varphi,\lambda)} = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3\varphi^2 + a_4\varphi\lambda + a_5\lambda^2 \quad (40)$$

Eşitlik 42'de $\varphi$ ve $\lambda$, TUSAGA-Aktif istasyonlarının coğrafi koordinatlarını; $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ ve $a_5$ polinomal yüzey katsayılarını göstermektedir. Polinomal yüzey katsayılarının saatlik kestirimi için kullanılan veri penceresi 60 epok olarak ayarlanmıştır (önce ve sonra 30 epok). Eşitlik 42'daki bilinmeyen saatlik polinomal yüzey katsayıları EKK yöntemine göre kestirilmiştir. Her bir istasyonun küresel koordinatları, belirlenen yüzey polinomunda yerine koyularak her gün içinde bir saat çözünürlüklü istasyon üstü S4 değerleri hesaplanmıştır.

# 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

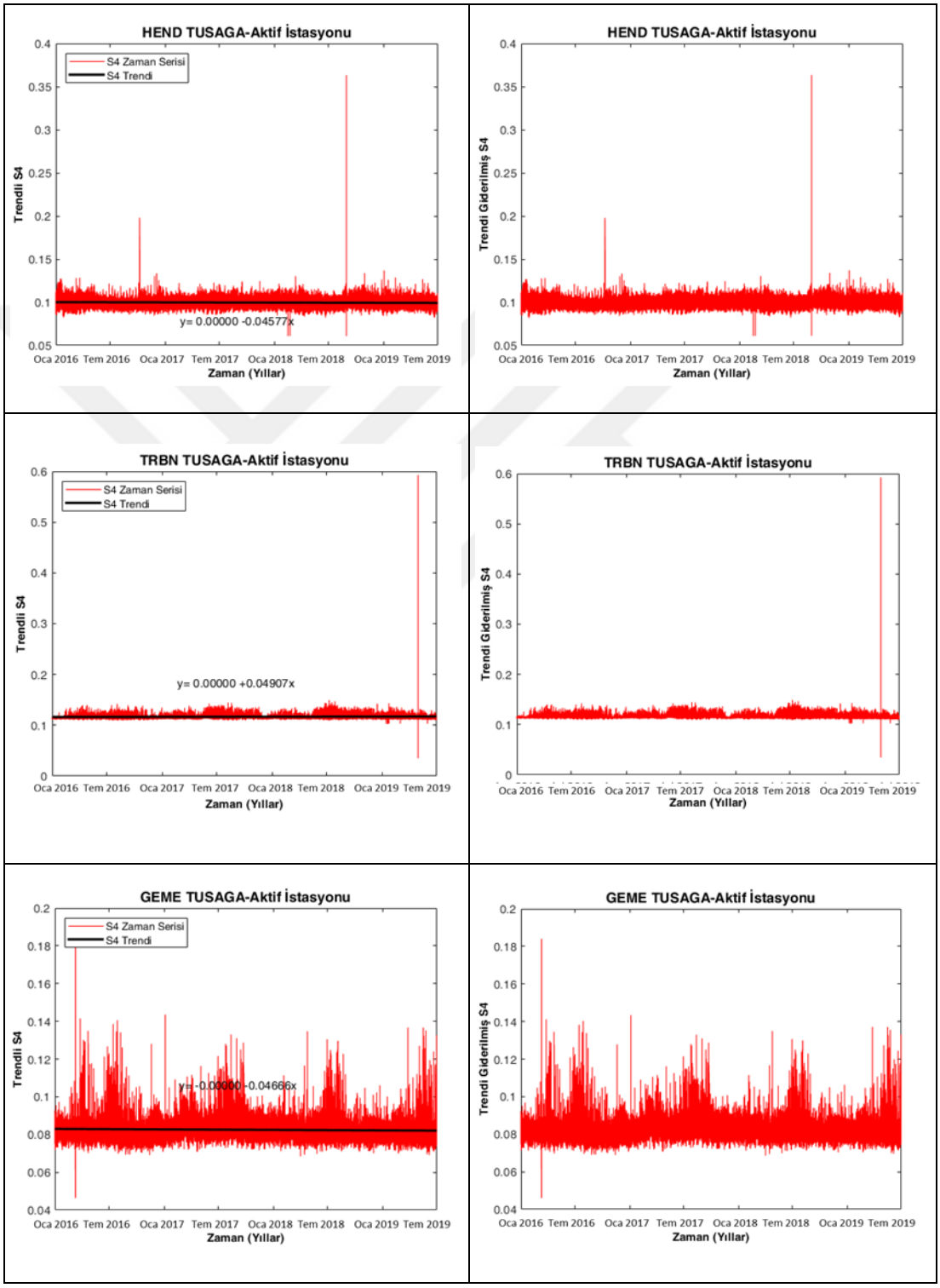
Dünya'nın etrafını saran atmosfer tabakasının yeryüzünden 70-1000 km arasında tanımlanan kısmına iyonosfer katmanı denir. Bilindiği gibi iyonosfer, rastgele parıldamalar ile sonuçlanan düzensiz bölgelerde sinyalin frekansına ve elektron yoğunluğuna bağlı olarak radyo sinyallerinin kırıldığı bir saçılım ortamıdır. İyonosfer katmanı dağıtıcıdır (dispersif) ve yüksüz moleküllerin güneş ışınımları sebebiyle iyonlaşması sonucu bünyesinde serbest elektronlar bulundurur. Bu serbest elektronlar uydu sinyallerinin gecikmesine sebep olmaktadır. İyonosferdeki bu değişiklikleri modellemek için, Türkiye'de bulunan TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarındaki ani değişimlere neden olan genlik parıldaması (S4) ile uzay iklim koşulları arasındaki ilişkinin incelenmesi gerekmektedir.

TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarından elde edilen veriler ayrı ayrı incelendiğinde verilerde kaba hatalı değerler olduğu görülmüş ve bu hataların analiz sonuçlarına olumsuz etkiler yapacağından dolayı, kaba hatalı S4 değerlerini elimine etmek için istatistiksel yöntemlerden biri olan k-sigma metodu ile yapılmıştır. Çalışma bölgesindeki HEND, TRBN, GEME, ANTL ve SURF istasyonlarının GNSS ölçülerinden elde edilen S4 değişimleri Seemala (2011) tarafından geliştirilen GPS-TEC Analiz Uygulaması yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır ve polinomal yüzey modeli oluşturularak bir saat çözünürlüklü istasyon üstü S4 değişimlerine dönüştürülmüştür. Çalışma kapsamında yapılan bütün hesaplamalar ve çizdirilen grafikler MATLAB® ortamında tarafımızca hazırlanan yazılımlarla gerçekleştirilmiştir.

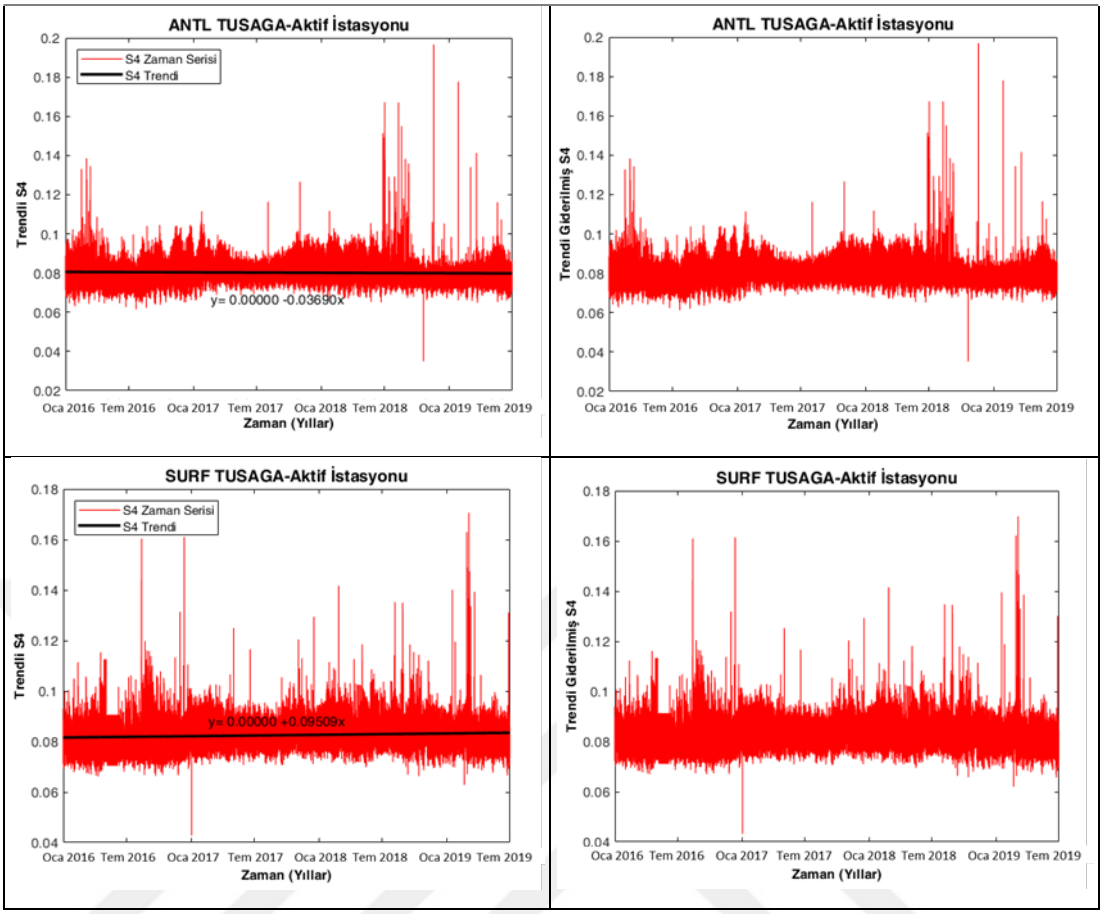
## 4.1. Trendin belirlenmesi ve Hipotez testleri

Çalışma kapsamında orta-enlemde yer alan istasyonlardan hesaplanan S4 değişimlerinin trend modelini belirlemek için EKK yöntemi kullanılarak zamana bağlı fonksiyonel ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Zaman değişkeni $x$ ve S4 indis değerleri $y$ ekseni üzerinde işaretlenerek değişimin zamana bağlı grafiği çizdirilmiştir.

İstasyonlardan elde edilen GPS gözlemlerine ait veriler kullanılarak hesaplanan S4 değişimlerinden uzay iklim koşullarına ait indis değerleri arasındaki ilişkinin daha doğru tahmini ve analizi için trend etkisi giderilmiştir (Şekil 4.1).




Şekil 4.1. S4 değişimlerine ait doğrusal trend (Sol) ve trendsiz S4 değişimleri (Sağ)




Şekil 4.1.'in devamı. S4 değişimlerine ait doğrusal trend (Sol) ve trendsiz S4 değişimleri (Sağ)

Şekil 4.1'de uyuşumsuz veya kaba hatalı verilerden arındırılmış S4 değişimine ait zamana göre değişimlerin analizini yapabilmek için trendi belirlenmiş ve S4 değişimlerinden çıkarılmıştır. Bu grafiklerden S4 değişimlerinin uzun dönemli tahmini ve fonksiyonel modeli görülebilmektedir (Ulukavak, 2010). TUSAGA-Aktif istasyonlarından elde ettiğimiz S4 değişimlerinin zaman serisi ile incelendikten sonra grafikte gösterilmiş ve kaba hatalı veriler hakkında bilgi edinilmiştir. Grafik üzerinden daha doğru analiz yapabilmek için kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçüleri çıkarılan istasyon verilerinin trend etkisi giderilerek grafiği yeniden çizdirilmiştir. Tahmin edilen model parametrelerinin anlamlılık testi Model Hipotezi Testi uygulanarak yapılmıştır. Elde edilen t-tablo değeri, T test değerinden büyük ise $H_0$ hipotezi kabul edilir ve trend parametresi anlamlı değildir kararı verilir. Aksi durumda, t-tablo değeri T test değerinden küçük ise hipotez reddedilir ve trend parametrelerinin anlamlı olduğuna karar verilir. Yapılan hipotez testi sonucunda elde edilen trend parametrelerine ait anlamlılık testi sonuçları çizelge 4.1'de verilmiştir.

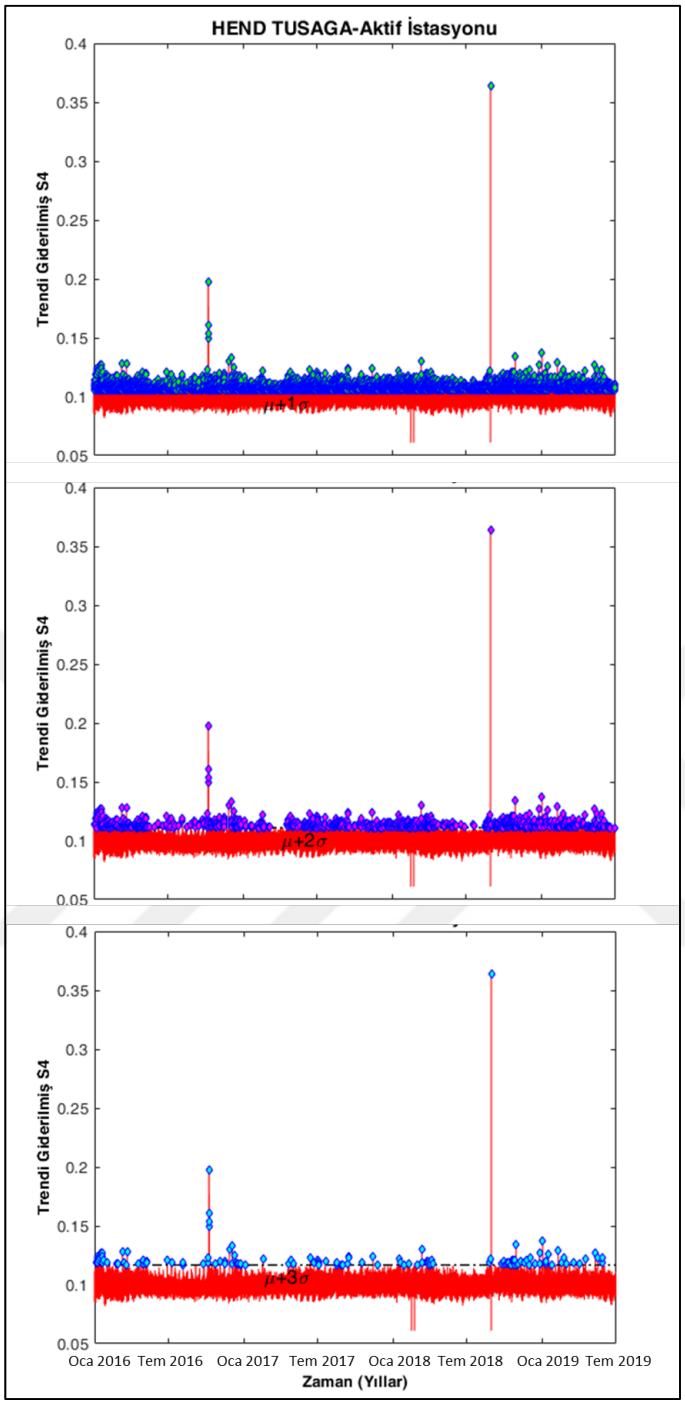
Çizelge 4.1. TUSAGA-Aktif İstasyonu Regresyon Katsayıları ve Hipotez Test Sonuçları

| İstasyon | $m_{a_0}$ | $m_{a_1}$ | Test Büyüklüğü | | Tablo Değeri | Parametrelerin Anlamlılığı | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $a_0$ | $a_1$ | | $a_0$ | $a_1$ |
| TRBN | $3.259x10^{-4}$ | 0.006 | $2.757x10^{-7}$ | 0.066 | 1.96 | Anlamsız | Anlamlı |
| ANTL | $3.261x10^{-5}$ | 0.006 | $2.57x10^{-17}$ | -0.037 | 1.96 | Anlamsız | Anlamlı |
| HEND | $3.259x10^{-5}$ | 0.006 | $-1.92x10^{-16}$ | -0.047 | 1.96 | Anlamsız | Anlamlı |
| HEND | $3.260x10^{-5}$ | 0.006 | $3.209x10^{-7}$ | -0.048 | 1.96 | Anlamsız | Anlamlı |
| SURF | $3.248x10^{-5}$ | 0.006 | $1.22x10^{-16}$ | 0.103 | 1.96 | Anlamsız | Anlamlı |

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi matematik modele ait katsayıların anlamlı olduğu belirlenmiştir. Modelinin anlamlılığı ve kestirimi için EKK yöntemi yardımıyla $a_1$ ve $a_0$ katsayıları bulunmuştur. Doğrusal denklemde $a_1$ ve $a_0$ katsayıları yerine yazılarak kesin değerin tahmini değerleri (Ŷ: model=trend) bulunabilir (Kayikçı, 2017). Çizelge 4.1'de yapılan hipotez testi sonuçlarına bakıldığında $a_1$ katsayısının anlamlı ve modelin genişletilebilir olduğu görülmüştür. Yapılan uygulama verilerin trend bileşenine ait doğrusal modeli ortaya çıkarmak için yapıldığından modelin genişletilmesine gerek yoktur (Kayikci ve Yalcinkaya, 2015). Elde edilen test sonuçları, modelin genişletilebilir ve bu çalışma için yeterli olduğunu göstermiştir.

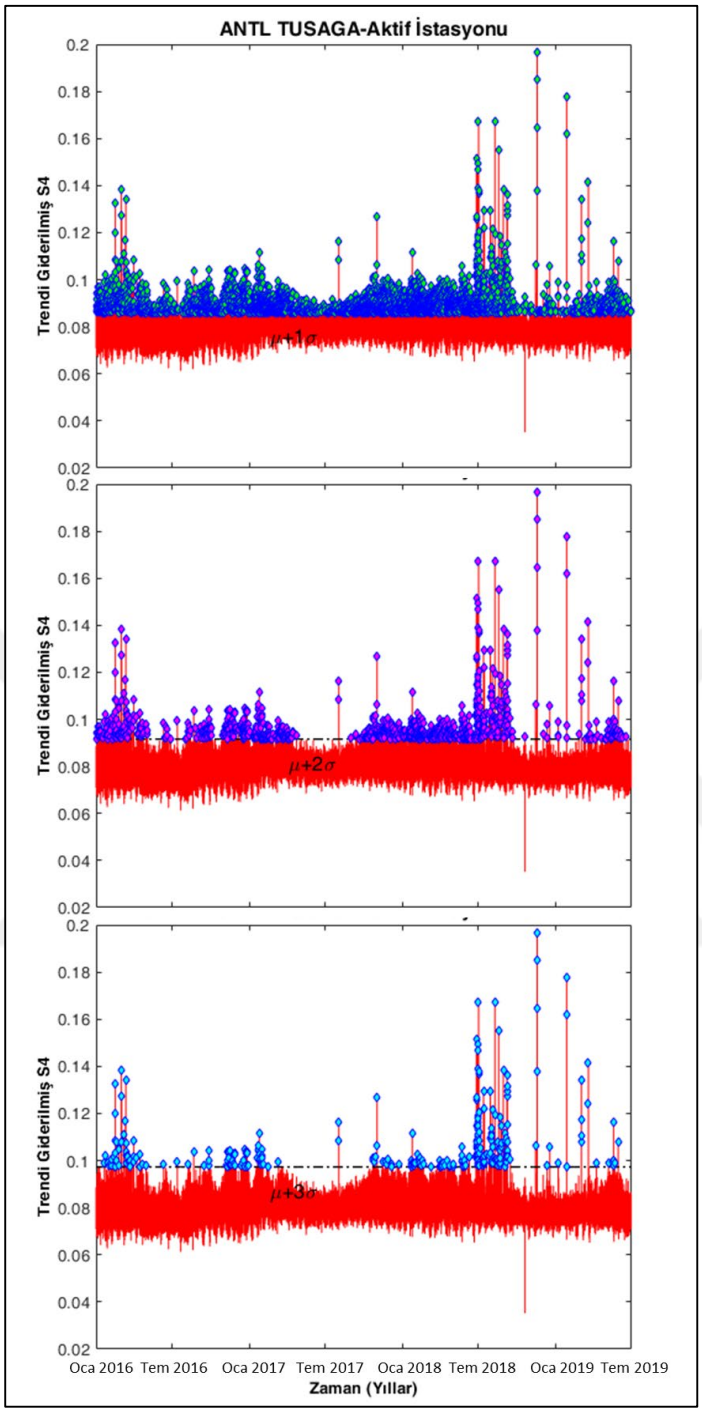
## 4.2. S4 değişimlerine ait anomalilerin belirlenmesi

Çalışma kapsamında S4 değişimlerine ait verilerden uzun dönemli etkilerin giderilmesi tren analizi ve hipotez testleri ile gerçekleştirilmiştir. S4 değişimlerine ait anomalilerin belirlenmesine yönelik k-sigma metodu uygulanmıştır. K-sigma metodunda veri gruplarına 1, 2 ve 3 standart sapma eşik değerleri ile uygulanırken mühendislik uygulamalarında bu eşik değer 3 standart sapma olarak kabul edilmektedir (Ovla ve Taşdelen 2012). Bir saat çözünürlüklü uzun dönemli istasyon üstü S4 değişimlerinin tamamına k-sigma metodu 1, 2 ve 3 standart sapma eşik değerlerinde uygulanarak ($\mu+1\sigma$, $\mu+2\sigma$ ve $\mu+3\sigma$) iyonosferik parıldama anomalileri ayrı ayrı elde edilmiştir (Şekil 4.2-4.6).



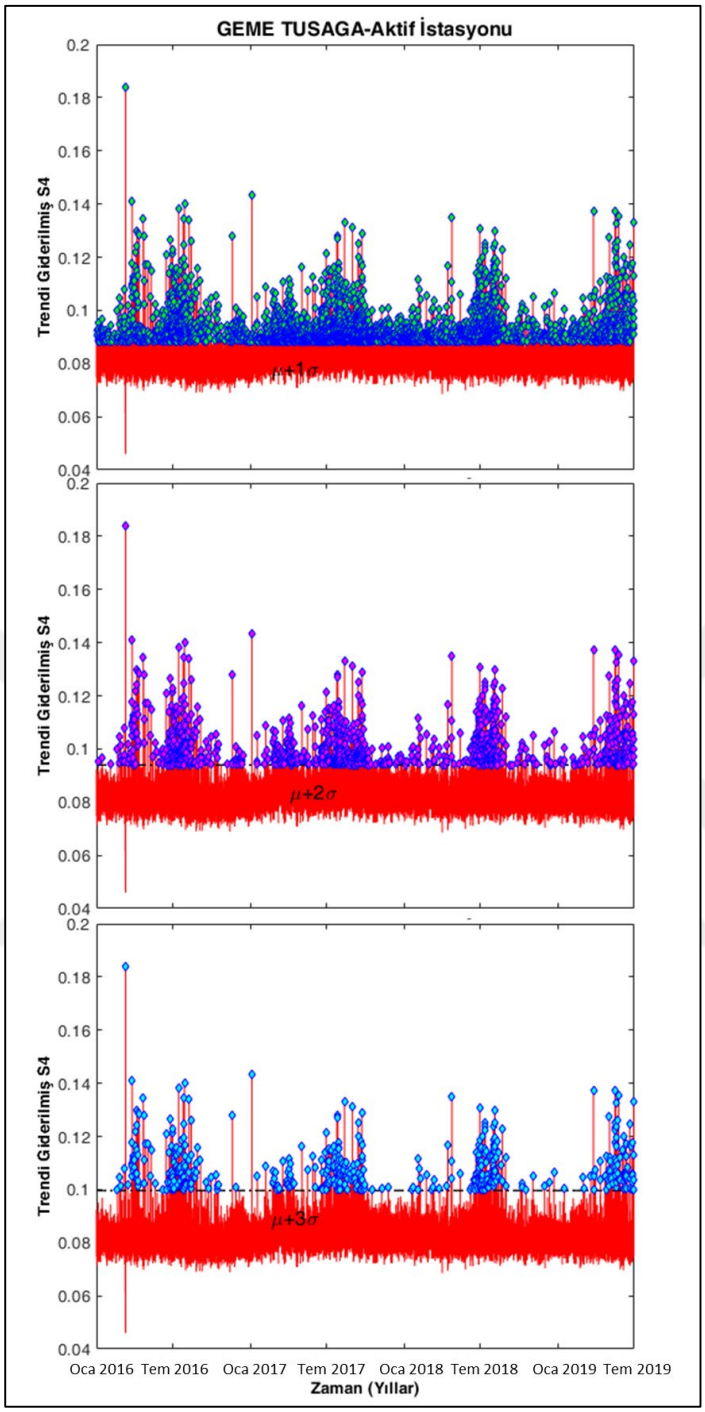

Şekil 4.2. HEND istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri

Şekil 4.2'de Sakarya ilinde yer alan HEND (Enlem: 40.79499°, Boylam: 30.74075°) TUSAGA-Aktif istasyonundan elde ettiğimiz S4 değişimlerinin zaman serisi gösterilmiştir. Trendi giderilmiş S4 değişimleri ile uzay iklim koşulu indisleri arasındaki ilişkinin analizi ve k-sigma metodunun üç farklı eşik değerleri gösterilmiştir.



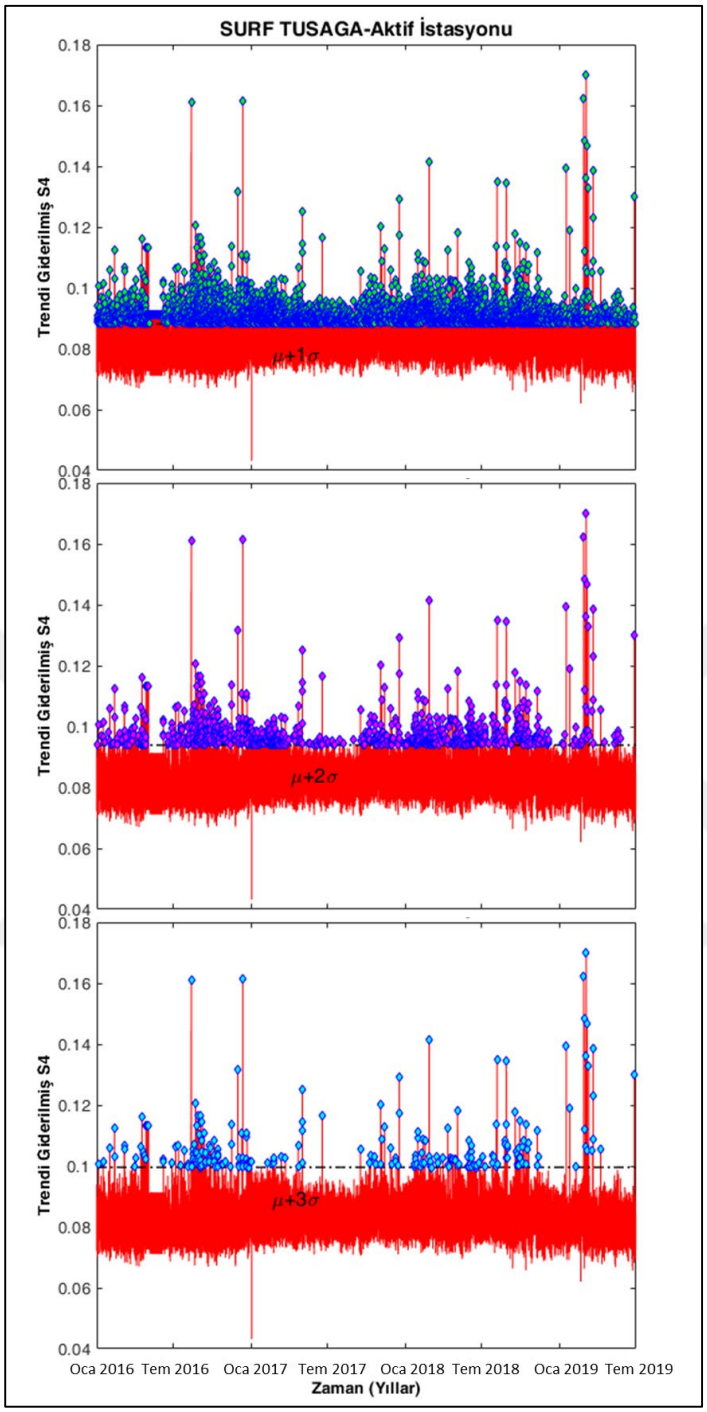

Şekil 4.3. ATNL istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri

Şekil 4.3'te Antalya ilinde yer alan ANTL (Enlem: 36.88845°, Boylam: 30.66642°) TUSAGA-Aktif istasyonundan elde ettiğimiz S4 değişimleri ve k-sigma metodunun üç farklı eşik değerleri gösterilmiştir.



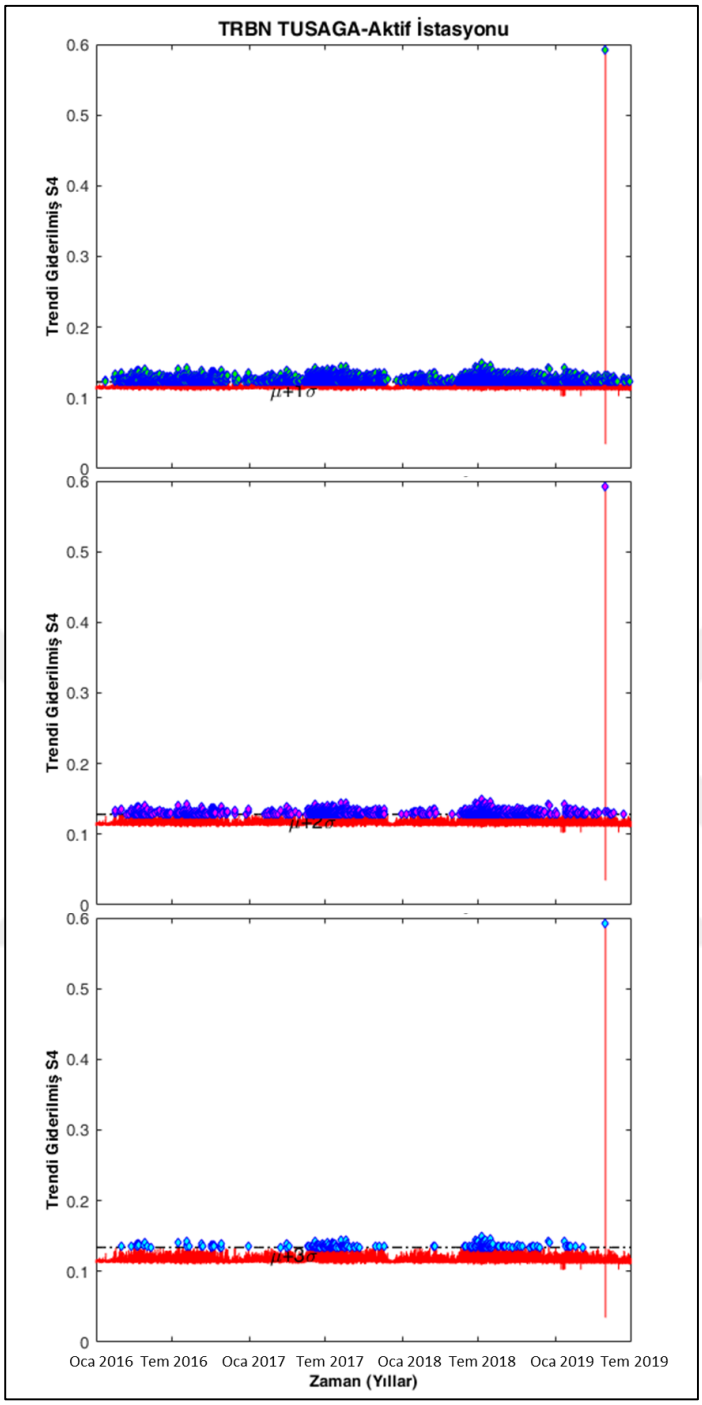

Şekil 4.4. GEME istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri

Şekil 4.4'te Sivas ilinde yer alan GEME (Enlem:39.18513°, Boylam:36.08084°) TUSAGA-Aktif istasyonundan elde ettiğimiz S4 değişimleri ve k-sigma metodunun üç farklı eşik değerleri gösterilmiştir.




Şekil 4.5. SURF istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri

Şekil 4.5'te Şanlıurfa ilinde yer alan SURF (Enlem:37.19184°, Boylam:38.81802°) TUSAGA-Aktif istasyonundan elde ettiğimiz S4 değişimleri ve k-sigma metodunun üç farklı eşik değerleri gösterilmiştir.




Şekil 4.6. TRBN istasyonu S4 değişimlerine ait iyonosferik parıldama anomalileri

Şekil 4.6'da Trabzon ilinde yer alan TRBN TUSAGA-Aktif istasyonundan elde ettiğimiz S4 değişimleri ve k-sigma metodunun üç farklı eşik değerleri gösterilmiştir. TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait S4 değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.2-4.6) verilerdeki anomali sayılarının μ+σ ve μ+2σ eşik değerlerine göre çok fazla olduğu görülmüştür. Anomali sayılarının verilerdeki toplam S4 değişimi sayısına oranı

hesaplandığında sırasıyla yaklaşık %84 ve %63 oranlarında anomali ortaya çıkardığı görülmektedir ve bu durum, SWC değişimleriyle birlikte değerlendirildiğinde anlamlı sonuçların yorumlanmasını olumsuz yönde etkileyecektir. Ancak, mühendislik uygulamalarında normal dağılıma uygun uzun dönemli verilerde genellikle $\mu+3\sigma$ eşik değeri kullanıldığı bilinmektedir (Ovla ve Taşdelen 2012). S4 değişimleri ile uzay iklim koşulu indisleri arasındaki ilişkinin analizi için k-sigma metodunun üç sigma ($\mu+3\sigma$) eşik değeri kriterinden yararlanılmıştır. $\mu+3\sigma$ ile belirlenen anomali sayılarının verilerdeki toplam S4 değişimi sayısına oranı hesaplandığında ise yaklaşık %0.5 oranında anomali belirlendiği görülmektedir. Bu bağlamda da S4 değişimlerine $\mu+3\sigma$ eşik değerini aşan anomalilerin SWC değişimleriyle daha tutarlı sonuçların ortaya çıkardığı görülmüştür.

## 4.3. S4 değişimlerine ait anomaliler ile Uzay İklim Koşullarının Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, S4 değişimlerine ait verilerin $\mu+3\sigma$ eşik değerini aşan anomalileri ile uzay iklim koşulları değişimlerinin aktif zamanları karşılaştırılmıştır. TUSAGA-Aktif istasyonlarından elde edilen GNSS gözlemleri kullanılarak hesaplanan bir saat çözünürlüklü S4 değişimleri ile NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Merkezi'ne ait OMNIWeb ara yüzünden elde edilen bir saat çözünürlüklü Kp, Dst ve Np uzay iklim koşullarına ait indis değerleri arasında bir analiz gerçekleştirilmiştir. TUSAGA-Aktif İstasyonlarından elde edilen $\mu+3\sigma$ eşik değerini aşan S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait değişimlerin hesaplanan istatistiksel değerler çizelge 4.2'de görülmektedir.

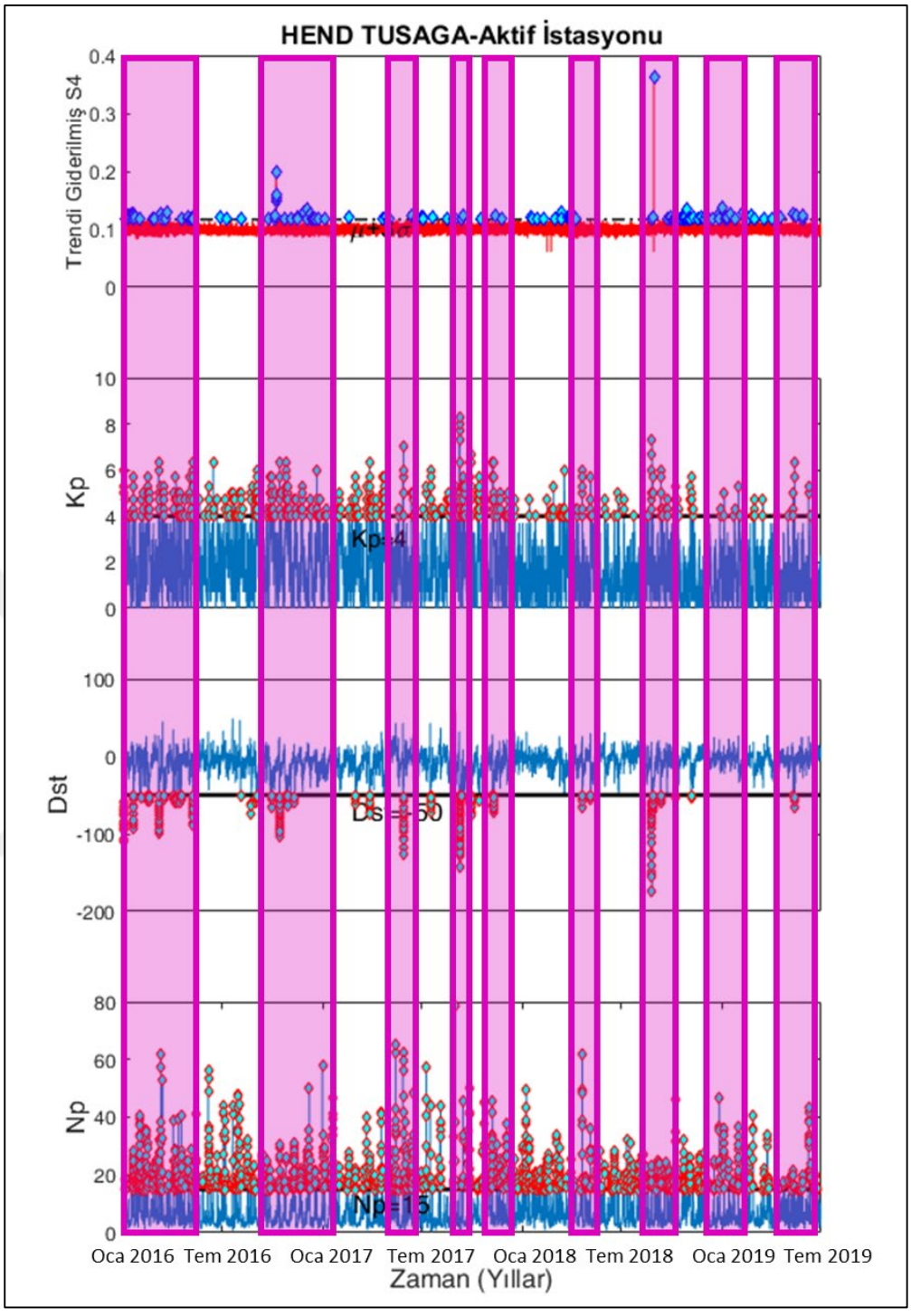
Çizelge 4.2. TUSAGA-Aktif İstasyonları ve aktif SWC oranı

| İstasyon Adı | S4 Anomali (Adet) | S4 Anomali (%) | Kp > 4 (%) | Dst < -50nT (%) | $N_P$>15proton/cm$^3$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| HEND | 140 | 0.46 | 6.57 (2002 Adet) | 1.21 (370 Adet) | 5.59 (1706 Adet) |
| TRBN | 223 | 0.73 | | | |
| GEME | 238 | 0.78 | | | |
| ANTL | 295 | 0.96 | | | |
| SURF | 248 | 0.81 | | | |

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi TUSAGA-Aktif İstasyonlarından elde edilen ve μ+3σ eşik değerini aşan S4 anomalilerinin, toplam S4 değerlerine (30470 Adet) oranları ile aktif uzay iklim koşullarına ait değişimlerin toplam SWC indis değerlerine (30470 Adet) göre hesaplanan oranları verilmiştir. Bu bağlamda uzay iklim koşulları ile S4 değerlerine ait ilişki incelenirken jeomanyetik aktivite indisi (Dst) ile S4 anomali değişimlerinin yakın sayısal değerler gösterdiği görülmüştür.

Trendi giderilmiş S4 değişimlerinin ortalama değerlerine üç standart sapma eklenerek hesaplanan eşik değerini aşan değişimler ile uzay iklim koşullarının aktif olduğu (Kp>4, $N_P$>15proton/cm3 ve Dst<-50nT) zamanlara ait parametrelerin incelemesi yapıldığında birbiriyle ilişkili olduğu zaman dilimleri görülmektedir. S4 değişiminin grafikleri yaklaşık aynı enlem üzerindeki istasyonlara göre incelendiğinde HEND ve TRBN istasyonlarının μ+3σ S4 eşik değerinin 0.1'den yüksek; GEME istasyonuna ait μ+3σ S4 eşik değerinin 0.1 değerinde; ANTL ve SURF istasyonlarından elde edilen μ+3σ S4 eşik değerinin ise 0.1'den az ortaya çıktığı görülmektedir.

S4 değişimleri ile uzay iklim koşulları arasındaki ilişkinin görülmesi için eflatun renk ile belirlenen gözlem pencereleri çizdirilmiştir. S4 değerlerinin μ+3σ eşik değerini aşan değişimlerinin maksimum değerleri aktif uzay iklim koşullarına (Kp>4, Np>15proton/$cm^3$ ve Dst<-50nT) ait etkileri belirlemede kullanılmıştır (Şekil 4.7-4.11).



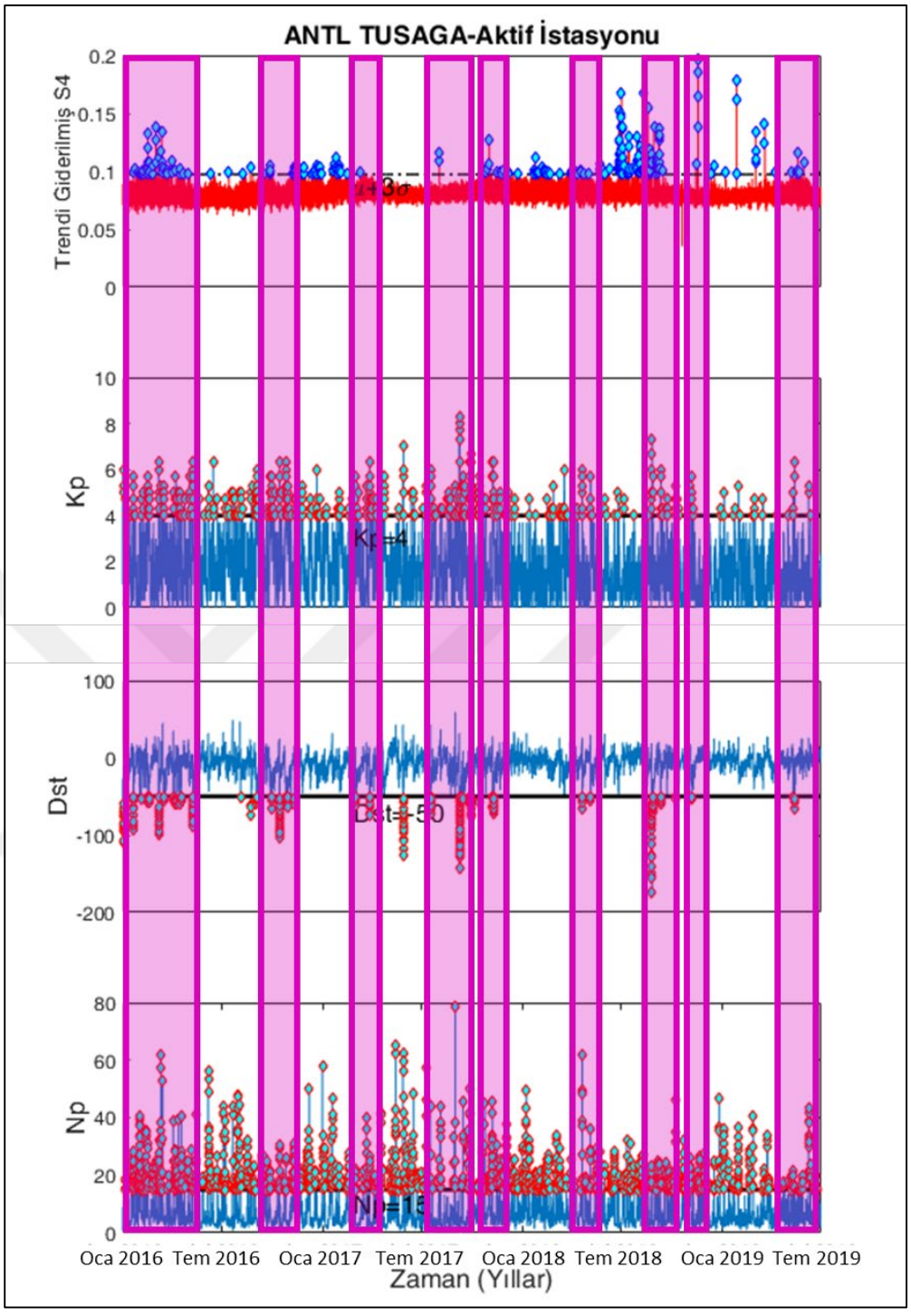

Şekil 4.7. HEND istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki

Şekil 4.7'de HEND TUSAGA-Aktif istasyonuna ait S4 değişimleri ile aktif Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki incelenmiştir. S4 değerlerinin $\mu+3\sigma$ eşik değerini aşan değişimleri ve SWC değişimlerinin aktif olduğu zamanlar çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. HEND TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi

| Tarih | Maksimum S4 | Kp | Dst | Np |
|---|---|---|---|---|
| 1 Oca 2016- 1 May 2016 | 0.128 | 6.3 | -100 | 61.0 |
| 13 Eyl 2016- 4 Eki 2016 | 0.140 | 6.3 | -104 | 30.5 |
| 16 Ara 2016- 16 Şub 2017 | 0.135 | 6.0 | -61 | 57.8 |
| 03 Agu 2017- 15 Eyl 2017 | 0.123 | 8.3 | -142 | 78.8 |
| 17 Eki 2017- 10 Ara 2017 | 0.124 | 6.3 | -72 | 48.8 |
| 01 Nis 2018- 20 May 2018 | 0.122 | 6.0 | -66 | 61.6 |
| 25 Tem 2018- 25 Eyl 2018 | 0.363 | 7.3 | -174 | 25.1 |
| 13 Ara 2018- 13 Oca 2019 | 0.137 | 5.0 | -34 | 46.9 |
| 17 Nis 2019- 17 Haz 2019 | 0.127 | 6.3 | -65 | 43.4 |

Çizelge 4.3 incelendiğinde, HEND TUSAGA-Aktif istasyonuna ait dokuz farklı tarih aralığı için belirlenen maksimum S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin ilişkisi görülmektedir. İncelenen dokuz tarih aralığında en yüksek anomali değeri 03 Agu 2017- 15 Eyl 2017 tarihleri arasında S4 değeri 0.363 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=7.3, Dst=-174nT ve $N_P$=25.1proton/$cm^3$ olarak; en düşük anomali değeri ise 01 Nis 2018- 20 May 2018 tarihleri arasında S4 değeri 0.122 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.0, Dst=-66nT ve $N_P$=61.6 proton/$cm^3$ olarak belirlenmiştir.



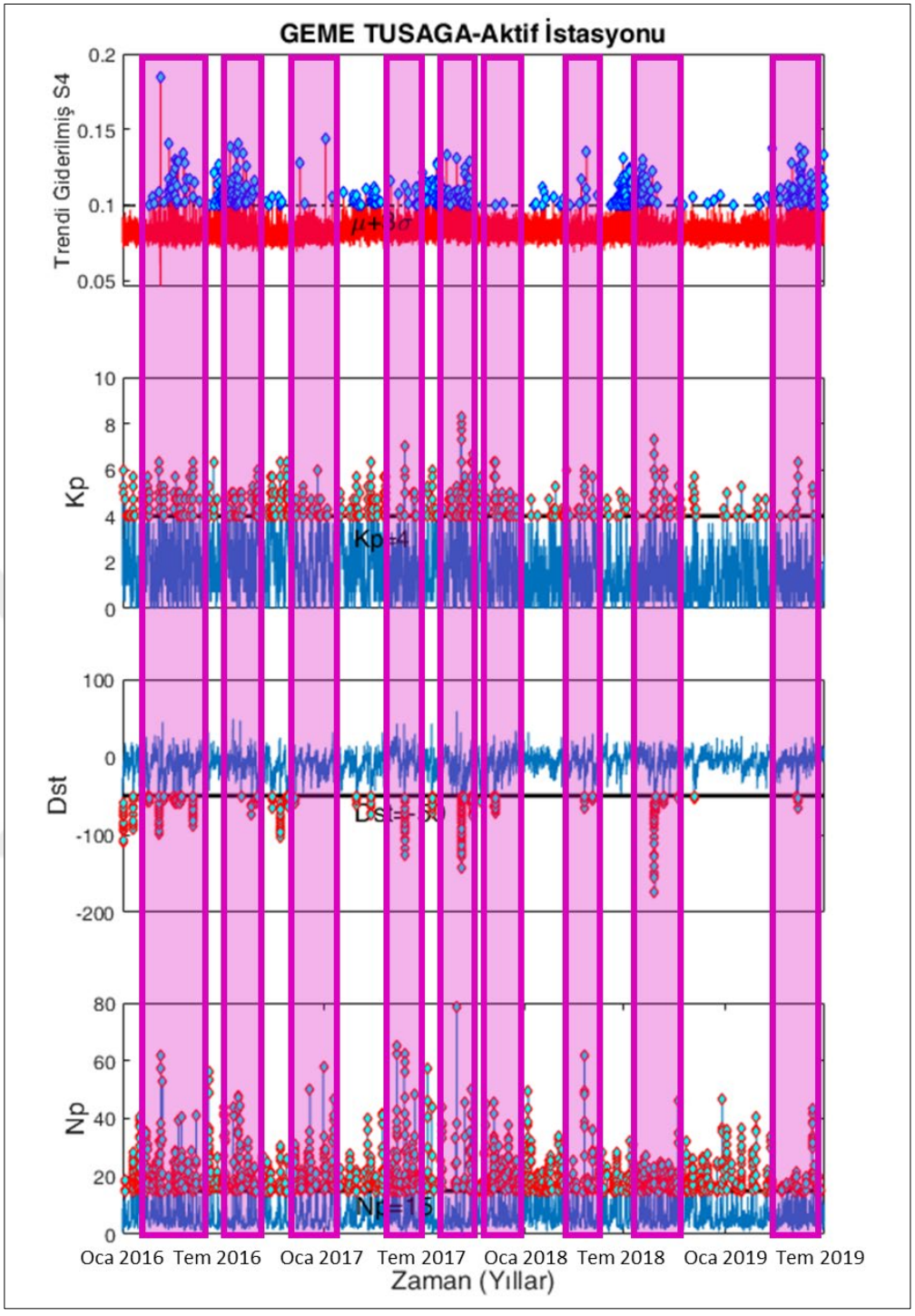

Şekil 4.8. ANTL istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki

Şekil 4.8'de ANTL TUSAGA-Aktif istasyonuna ait S4 değişimleri ile aktif Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki incelenmiştir. S4 değerlerinin μ+3σ eşik değerini aşan değişimleri ve SWC değişimlerinin aktif olduğu zamanlar çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. ANTL TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi

| Tarih | Maksimum S4 | Kp | Dst | Np |
|---|---|---|---|---|
| 01 Oca 2016- 01 May 2016 | 0.138 | 6.3 | -98 | 61.6 |
| 15 Eyl 2016- 04 Kas 2016 | 0.104 | 6.3 | -104 | 30.5 |
| 15 Şub 2017- 30 Mar 2017 | 0.099 | 6.3 | -74 | 40.2 |
| 18 Tem 2017- 01 Eki 2017 | 0.116 | 8.3 | -142 | 78.8 |
| 22 Eki 2017- 22 Kas 2017 | 0.126 | 6.3 | -72 | 45.8 |
| 12 Nis 2018- 30 May 2018 | 0.100 | 6.0 | -66 | 61.6 |
| 09 Ağu 2018- 21 Eki 2018 | 0.155 | 7.3 | -174 | 25.1 |
| 25 Eki 2018- 13 Kas 2018 | 0.196 | 5.7 | -53 | 26 |
| 08 Nis 2019- 20 Haz 2019 | 0.116 | 6.3 | -65 | 43.4 |

Çizelge 4.4 incelendiğinde, ANTL TUSAGA-Aktif istasyonuna ait dokuz farklı tarih aralığı için belirlenen maksimum S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin ilişkisi görülmektedir. İncelenen dokuz tarih arasında en yüksek anomali değeri 25 Eki 2018- 13 Kas 2018 tarihleri arasında S4 değeri 0.196 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=5.7, Dst=-53nT ve $N_P$=26proton/cm$^3$ olarak; en düşük anomali değeri 15 Şub 2017- 30 Mar 2017 tarihleri arasında S4 değeri 0.099 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.3, Dst=-74nT ve $N_P$=40.2proton/cm$^3$ olarak belirlenmiştir.



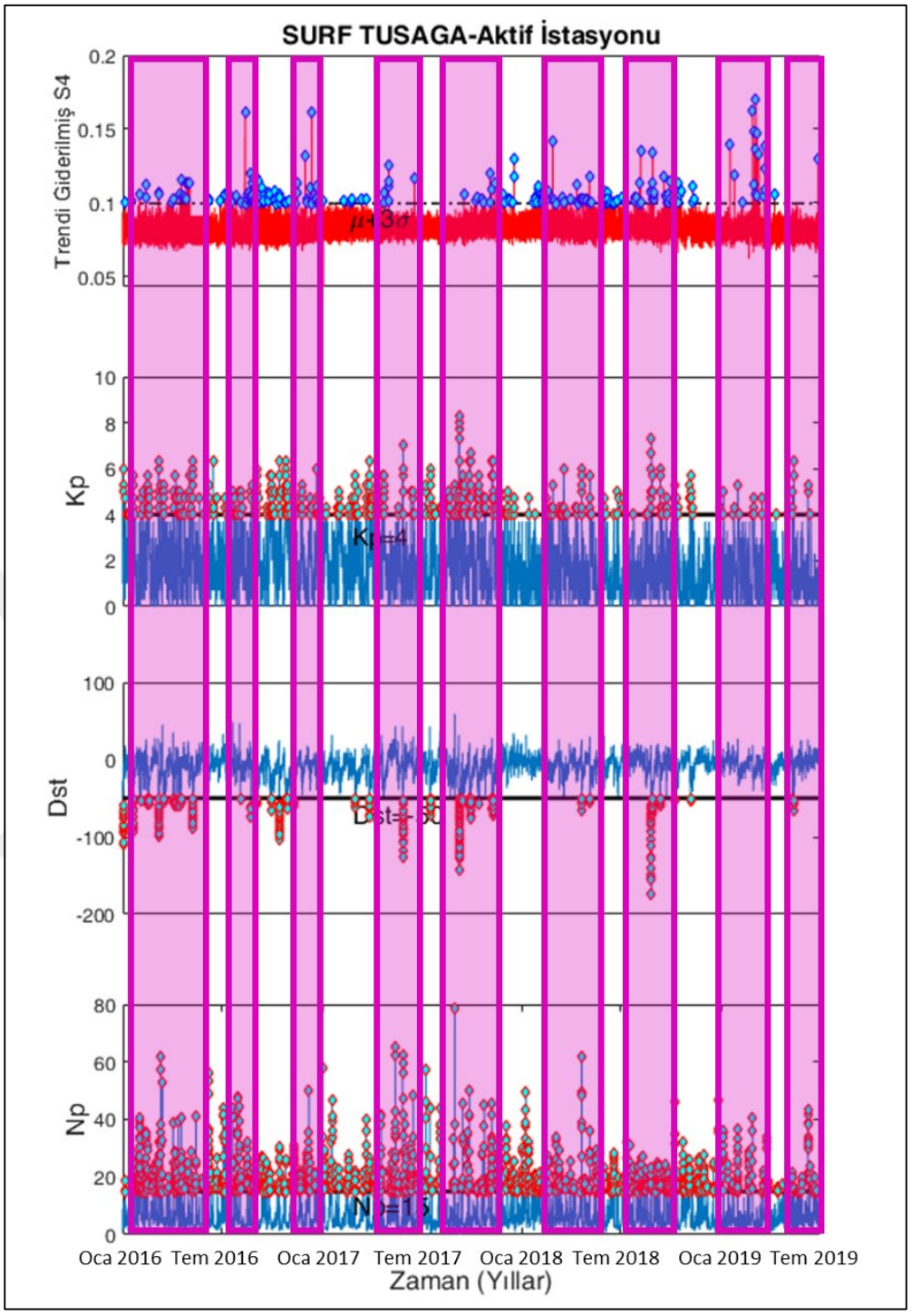

Şekil 4.9. GEME istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki

Şekil 4.9'da GEME TUSAGA-Aktif istasyonuna ait S4 değişimleri ile aktif Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki incelenmiştir. S4 değerlerinin μ+3σ eşik değerini aşan değişimleri ve SWC değişimlerinin aktif olduğu zamanlar çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. GEME TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi

| Tarih | Maksimum S4 | Kp | Dst | Np |
|---|---|---|---|---|
| 03 Şub 2016- 19 May 2016 | 0.184 | 6.3 | -98 | 61.6 |
| 25 Haz 2016- 25 Ağu 2016 | 0.140 | 6.0 | -74 | 47.6 |
| 06 Kas 2016- 20 Oca 2017 | 0.143 | 6.0 | -59 | 57.8 |
| 15 Mar 2017- 22 Haz 2017 | 0.111 | 6.3 | -125 | 65.3 |
| 26 Tem 2017- 27 Eyl 2017 | 0.133 | 8.3 | -142 | 78.8 |
| 20 Eki 2017- 20 Ara 2018 | 0.100 | 6.3 | -72 | 45.8 |
| 26 Mar 2018- 07 Haz 2018 | 0.135 | 6.0 | -66 | 61.6 |
| 31 Tem 2018- 07 Eki 2018 | 0.129 | 7.3 | -174 | 26.7 |
| 27 Mar 2019- 26 Haz 2019 | 0.137 | 6.3 | -65 | 43.4 |

Çizelge 4.5 incelendiğinde, GEME TUSAGA-Aktif istasyonuna ait dokuz farklı tarih aralığı için belirlenen maksimum S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin ilişkisi görülmektedir. İncelenen dokuz tarih arasında en yüksek anomali değeri 03 Şub 2016- 19 May 2016 tarihleri arasında S4 değeri 0.184 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.3, Dst=-98nT ve $N_P$=61.6proton/cm$^3$ olarak; en düşük anomali değeri 20 Eki 2017- 20 Ara 2018 tarihleri arasında S4 değeri 0.100 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.3, Dst=-72nT ve $N_P$=45.8proton/cm$^3$ olarak belirlenmiştir.



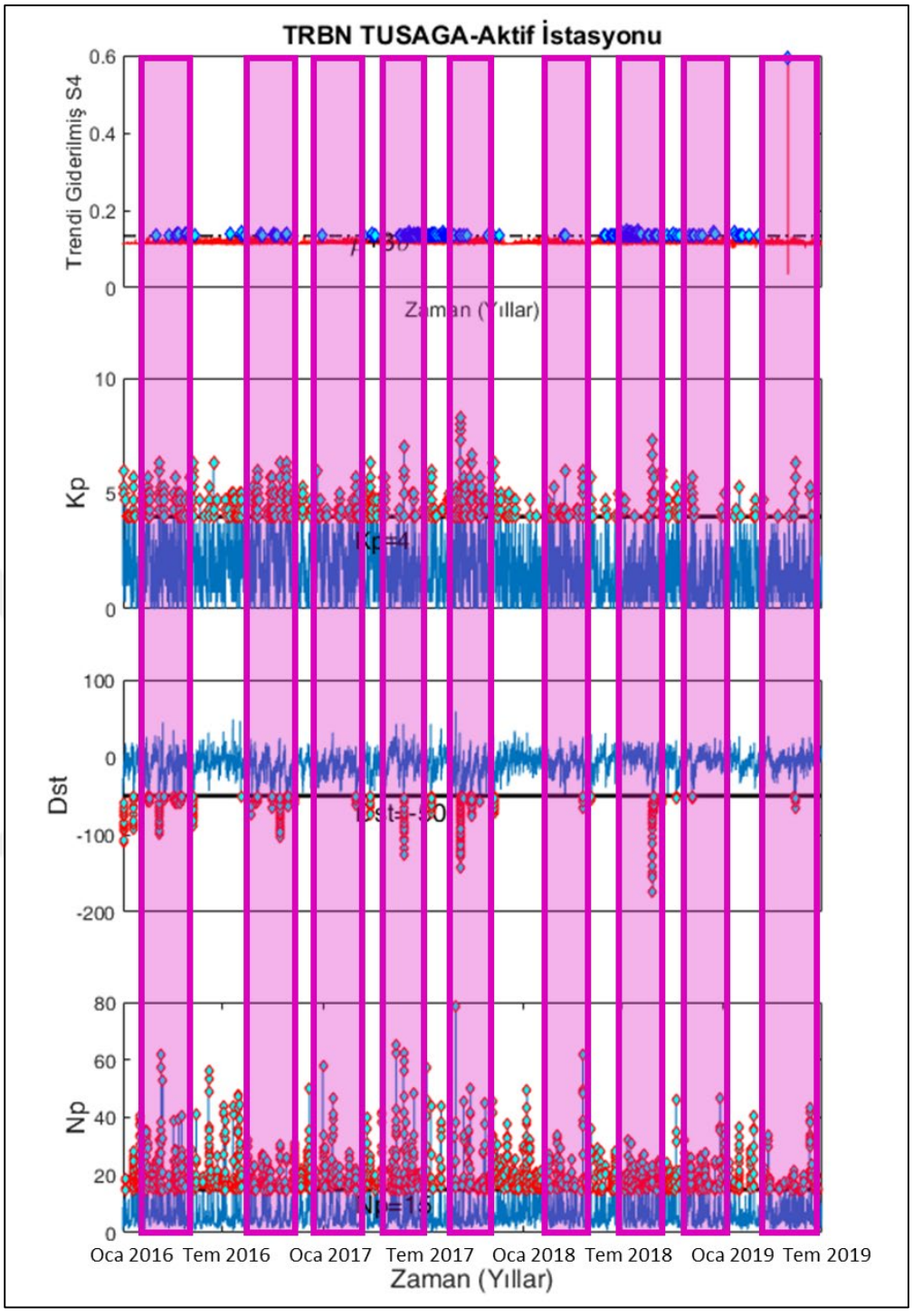

Şekil 4.10. SURF istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki

Şekil 4.10'da SURF TUSAGA-Aktif istasyonuna ait S4 değişimleri ile aktif Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki incelenmiştir. S4 değerlerinin μ+3σ eşik değerini aşan değişimleri ve SWC değişimlerinin aktif olduğu zamanlar çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. SURF TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi

| Tarih | Maksimum S4 | Kp | Dst | Np |
|---|---|---|---|---|
| 16 Oca 2016- 07 Haz 2016 | 0.116 | 6.3 | -98 | 61.6 |
| 18 Tem 2016- 25 Ağu 2016 | 0.161 | 5.0 | -74 | 47.1 |
| 02 Kas 2016- 31 Ara 2016 | 0.161 | 6.3 | -64 | 50.0 |
| 23 Mar 2017- 01 Tem 2017 | 0.125 | 7.0 | -125 | 65.3 |
| 17 Ağu 2017- 26 Kas 2017 | 0.120 | 8.3 | -142 | 78.8 |
| 08 Şub 2018- 28 May 2018 | 0.141 | 6.0 | -66 | 61.6 |
| 08 Tem 2018- 23 Eyl 2018 | 0.135 | 7.3 | -174 | 46.3 |
| 28 Ara 2018- 09 Nis 2018 | 0.169 | 5.3 | -44 | 40.3 |
| 12 May 2019- 30 Haz 2019 | 0.130 | 6.3 | -65 | 43.4 |

Çizelge 4.6 incelendiğinde, SURF TUSAGA-Aktif istasyonuna ait dokuz farklı tarih aralığı için belirlenen maksimum S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin ilişkisi görülmektedir. İncelenen dokuz tarih arasında en yüksek anomali değeri 28 Ara 2018- 09 Nis 2018 tarihleri arasında S4 değeri 0.169 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=5.3, Dst=-44nT ve $N_P$=40.3proton/cm$^3$ olarak; en düşük anomali değeri 16 Oca 2016- 07 Haz 2016 tarihleri arasında S4 değeri 0.116 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.3, Dst=-98nT ve $N_P$=61.6proton/cm$^3$ olarak belirlenmiştir.




Şekil 4.11. TRBN istasyonuna ait S4 değişimleri ile Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki

Şekil 4.11'de TRBN TUSAGA-Aktif istasyonuna ait S4 değişimleri ile aktif Uzay İklim Koşulları arasındaki ilişki incelenmiştir. S4 değerlerinin $\mu+3\sigma$ eşik değerini aşan değişimleri ve SWC değişimlerinin aktif olduğu zamanlar çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. TRBN TUSAGA-Aktif istasyonuna ait maksimum S4 değişimleri ve SWC ilişkisi

| Tarih | Maksimum S4 | Kp | Dst | Np |
|---|---|---|---|---|
| 17 Şub 2016- 17 May 2016 | 0.139 | 6.3 | -98 | 61.6 |
| 11 Ağu 2016- 11 Eki 2016 | 0.140 | 6.3 | -104 | 30.5 |
| 16 Ara 2016- 16 Şub 2017 | 0.135 | 6.0 | -61 | 57.8 |
| 02 May 2017- 20 Haz 2017 | 0.142 | 7.0 | -125 | 65.3 |
| 30 Ağu 2017- 30 Eki 2017 | 0.144 | 8.3 | -142 | 78.8 |
| 15 Şub 2018- 15 Nis 2018 | 0.134 | 6.0 | -66 | 61.6 |
| 23 Haz 2018- 22 Eyl 2018 | 0.149 | 7.3 | -174 | 46.3 |
| 01 Kas 2018- 05 Oca 2019 | 0.142 | 5.7 | -53 | 46.9 |
| 06 Mar 2019- 30 Haz 2019 | 0.590 | 6.3 | -65 | 43.4 |

Çizelge 4.7 incelendiğinde, TRBN TUSAGA-Aktif istasyonuna ait dokuz farklı tarih aralığı için belirlenen maksimum S4 değişimleri ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değişimlerinin ilişkisi görülmektedir. İncelenen dokuz tarih arasında en yüksek anomali değeri 06 Mar 2019- 30 Haz 2019 tarihleri arasında S4 değeri 0.590 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.3, Dst=-65nT ve $N_P$=43.4proton/$cm^3$ olarak; en düşük anomali değeri 15 Şub 2018- 15 Nis 2018 tarihleri arasında S4 değeri 0.134 ve aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerleri Kp=6.0, Dst=-66nT ve $N_P$=61.6proton/$cm^3$ olarak belirlenmiştir.

# 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, farklı disiplinlerden GNSS kullanıcılarının konum belirleme ve atmosferik araştırma uygulamalarına katkı sağlamaktır.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de bulunan TUSAGA-Aktif sabit GNSS istasyonlarına ait GPS gözlemleri kullanılarak elde edilen S4 değişimleri ile uzay iklim koşullarına ait jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve plazma yoğunluğu ($N_P$) indisleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesindeki HEND, TRBN, GEME, ANTL ve SURF istasyonlarının GNSS ölçülerinden elde edilen S4 değişimleri Seemala (2011) tarafından geliştirilen GPS-TEC yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarından hesaplanan 60 saniye zamansal çözünürlüğe sahip S4 değişimlerine polinomal yüzey modeli oluşturularak bir saat çözünürlüklü istasyon üstü S4 değişimine dönüştürülmüş ve uzay iklim koşulları ile analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan bütün istatistiksel hesaplamalar ve çizdirilen grafikler MATLAB® ortamında tarafımızdan hazırlanan yazılımlarla yapılmıştır.

TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait S4 değişiminin grafikleri yaklaşık aynı enlem üzerindeki istasyonlara göre sınıflandırıldığında; HEND ve TRBN istasyonlarının $\mu+3\sigma$ eşik değerinin 0.1 S4 değerinden yüksek; GEME istasyonuna ait $\mu+3\sigma$ eşik değerinin 0.1 S4 değerinde; ANTL ve SURF istasyonlarından elde edilen $\mu+3\sigma$ eşik değerinin ise 0.1 S4'den daha az olduğu görülmektedir.

S4 değişimlerinin k-sigma istatistiksel metoduna göre eşik değerleri aşan anomali sayılarının toplam S4 değerlerine (30470 adet) oranları incelendiğinde; HEND ve TRBN istasyonlarında sırasıyla %0.73 ve %0.46, GEME istasyonunda %0.78, ANTL ve SURF istasyonlarında sırasıyla %0.81 ve %0.96 olarak hesaplanmıştır. Bu durum orta enlem bölgesinde ekvatora yaklaştıkça ortaya çıkan S4 anomali sayılarına ait oranların artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait S4 değişimlerinin μ+3σ eşik değerlerini aşan anomaliler ile uzay iklim koşulu indis değerleri (Kp, Np ve Dst) arasındaki ilişkiler ayrı ayrı araştırılmıştır. S4 değişimlerinin k-sigma istatistiksel metoduna göre eşik değerleri aşan anomali sayılarının, aktif uzay iklim koşullarına ait indis değerlerinin (Kp, Dst ve $N_P$) sayılarına oranları incelendiğinde; HEND istasyonunda sırasıyla, %6.99, %37.84 ve %8.21; TRBN istasyonunda sırasıyla, %11.14, %60.27 ve %13.07; GEME istasyonunda sırasıyla, %11.88, %64.32 ve %13.95; ANTL istasyonunda sırasıyla, %14.73, %79.73 ve %17.29 ve SURF istasyonunda sırasıyla %12.39, %67.03 ve %14.54 olarak hesaplanmıştır. Bu durum orta enlem bölgesinde ekvatora yaklaştıkça ortaya çıkan S4 anomali sayılarına ait oranların uzay iklim koşullarının aktif olduğu zamanlara ait değişimlerde de artış gösterdiği görülmüştür.

S4 değişimlerinin μ+3σ eşik değerlerini aşan anomaliler ile uzay iklim koşulu indis (Kp>4, Np>15proton/$cm^3$ ve Dst<-50nT) değerleri arasındaki ilişki irdelendiğinde sırasıyla; HEND istasyonunda, S4 %0.5, Kp %6.99, Dst %37.84 ve $N_P$ %8.21; TRBN istasyonunda, S4 %0.7, Kp %11.14, Dst %60.27 ve $N_P$ %13.07; GEME istasyonunda, S4 %0.8, Kp %11.88, Dst %64.32 ve $N_P$ %13.95; ANTL istasyonunda, S4 %1.0, Kp %14.73, Dst %79.73 ve $N_P$ %17.29 ve SURF istasyonunda S4 %0.8, Kp %12.39, Dst %67.03 ve $N_P$ %14.54 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda; en düşük anomali oluşma yüzdesinin çalışma bölgesinin kuzeyinde yer alan HEND ve TRBN istasyonunda ve en yüksek anomali oluşma yüzde oranının çalışma bölgesinin güneyinde yer alan ANTL ve SURF istasyonunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışma alanının kuzeyinde aynı enlem civarında yer alan istasyonlardan (HEND ve TRBN) hesaplanan S4 değişimlerinde Jeomanyetik aktivite (Dst) indis değerlerine ait değişimlerin izlenebilirliği ortaya çıkarılmıştır. Bölgenin yaklaşık ortasına düşen GEME istasyonundan elde edilen S4 değişimleri ile Jeomanyetik aktivite indisi (Dst) arasında da bu duruma benzer ilişki görülmüştür.

Çalışma kapsamında daha duyarlı sonuçlar elde etmek için değişimler periyodik olarak değerlendirilerek S4 değişimlerinin daha fazla sayıda uzay iklim koşulu indisi ve daha fazla sayıda GNSS istasyonu ile incelenmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR


ACHARYA, R., ve MAJUMDAR, S. (2019). Statistical relation of scintillation index S4 with ionospheric irregularity index ROTI over Indian equatorial region. Advances in Space Research, 64(5), 1019–1033. https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.05.018

AHMED, W. A., WU, F., ve AGBAJE, G. I. (2016). Analysis of GPS ionospheric scintillation during solar maximum at mid-latitude. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016-Novem, 4151–4154. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730081

ALÇI, A. (2017). No Title [Karadeniz Teknik Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

ATMOSFERİN KATMANLARI, Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2021. http://www.dgfi.tum.de/en/research/cross-cutting-research-opics/atmosphere/

BHAWRE, P., GWAL, A. K., MANSOORİ, A. A., ve KHAN, P. A. (2013). Study of GPS derived Total Electron Content and Scintillation Index variations over Indian Arctic and Antarctic stations. Journal of Scientific Research, 5(2), 255–264. https://doi.org/10.3329/jsr.v5i2.12724

BRİGGS, B. H., ve PARKİN, I. A. (1963). On the variation of radio star and satellite scintillations with zenith angle. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 25(6), 339–366. https://doi.org/10.1016/0021-9169(63)90150-8

BÜYÜKYILDIZ, M., ve BERKTAY, A. (2004). PARAMETRİK Olmayan Testler Kullanilarak Sakarya Havzasi Yağişlarinin TrenAnalizi. In Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi (Vol. 19, Issue 2, pp. 23–38). Konya Teknik Üniversitesi.

CAHYADİ, M. N. (2014). Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia By Mokhamad Nur Cahyadi [北海道大学]. https://doi.org/info:doi/10.14943/doctoral.k11379

CANCK, M. DE. (2007). Ionosphere Properties and Behaviors - Part 10 (Issue 119, pp. 1–9). Antennex.

CARTER, B., WANG, C., Lİ, Y., ve ZHANG, K. (2011). Space Weather Effects on the GPS Scintillation Levels Received From Radio Occultations. February 2019.

CORREİA, E., TADEU DE ASSİS HONORATO MUELLA, M., ALFONSİ, L., DOS SANTOS PROL, F., ve DE OLİVEİRA CAMARGO, P. (2019). GPS Scintillations and Total Electron Content Climatology in the Southern American Sector. In Accuracy of GNSS Methods. https://doi.org/10.5772/intechopen.79218

DU, J., CARUANA, J., ve WİLKİNSON, P. (2001). Determination of Equatorial Ionospheric Scintillation S4 by dual frequency GPS. Beacon Satellite …, 1, 85–90. http://www.ips.gov.au/IPSHosted/NCRS/wars/wars2000/commg/du.pdf

GROVES, K. M., BASU, S., QUİNN, J. M., PEDERSEN, T. R., FALİNSKİ, K., BROWN, A., SİLVA, R., CORPORATİON, N., SPRİNGS, C., NİNG, P., ASSOCİATES, S., ve TOWNSEND, P. (2000). A Comparison of GPS Performance in a Scintillation Environment at Ascension Island. Proceedings of ION GSP, 1–9.

GRZESİAK, M., CESARONİ, C., SPOGLİ, L., FRANCESCHİ, G. DE, ve

ROMANO, V. (2018). Regional short-term forecasting of ionospheric TEC and scintillation. Radio Science, 53(10), 1254–1268. https://doi.org/10.1029/2017RS006310

GUO, K., AQUİNO, M., ve VADAKKE VEETTİL, S. (2019). Ionospheric scintillation intensity fading characteristics and GPS receiver tracking performance at low latitudes. GPS Solutions, 23(2). https://doi.org/10.1007/s10291-019-0835-1

GÜNEŞ LEKELERİ İLE ORANTILI ARTAN GÜNEŞ AKISI, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/907/more-solar-cycle-sunspots-sun-alsobombards- earth-high-speed-streams-wind

JEOMANYETİK FIRTINA (KP) VE JEOMANYETİK AKTİVİTE (DST), Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html

KARA, T. (2009). Sabit GPS istasyonlarında zaman serileri analizi, 1-6. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYIKÇI, E. T., ve YALCİNKAYA, M. (2015). Determination of Horizontal Movements by Static Deformation Models: A Case Study on the Mining Area. Experimental Techniques, 39(6), 70–81. https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2012.00869.x

KAYIKÇI, E. T. (2017). ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ Hafta 2 1-8.

KİNTNER, P. M., LEDVİNA, B. M., ve DE PAULA, E. R. (2007). GPS and ionospheric scintillations. Space Weather, 5(9). https://doi.org/10.1029/2006SW000260

KLOBUCHAR, J. A. (1987). Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-23(3), 325–331. https://doi.org/10.1109/TAES.1987.310829

KOMJATHY, A. (1997). Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System. In Engineering (Issue 188).

KORSUNOVA, L. P., ve KHEGAİ, V. V. (2018). Possible Short-Term Precursors of Strong Crustal Earthquakes in Japan based on Data from the Ground Stations of Vertical Ionospheric Sounding. Geomagnetism and Aeronomy, 58(1), 90–97. https://doi.org/10.1134/S0016793218010085

KOULOURİ, A., SMİTH, N. D., VANİ, B. C., RİMPİLÄİNEN, V., ASTİN, I., ve FORTE, B. (2020). Methodology to estimate ionospheric scintillation risk maps and their contribution to position dilution of precision on the ground, 1-5. In Journal of Geodesy. https://doi.org/10.1007/s00190-020-01344-0

KP İNDİSİ DEĞİŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. http://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index

LOEWE, C. A. (1997). Classification and mean behavior of magnetic storms. Journal of Geophysical Research A: Space Physics, 102(A7), 14209–14213. https://doi.org/10.1029/96JA04020

MOŠNA, Z., ŠAULİ, P., ve SANTOLÄK, O. (2006). Preparation of a Database for the Study of Scaling Phenomena in the Ionosphere 2-13. Babeta.Ufa.Cas.Cz. http://babeta.ufa.cas.cz/santolik/mff/papers/WDS07_212_f2_Mosna.pdf

MUJİBER RAHMAN, A., MANOHARAN, P. K., ve UMAPATHY, S. (2010). Propagation characteristics of coronal mass ejections and their effects at the near-Earth environment. Indian Journal of Radio and Space Physics, 39(5), 276–279.

OVLA, H. D., ve TAŞDELEN, B. (2012). Aykırı Değer Yönetimi. In Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi (Vol. 5, p. ). Mersin Üniversitesi.

ÖZGÜÇ, A., TULUNAY, Y., ve ATAÇ, T. (1998). Examination of the solar cycle variation of foF2 by using solar flare index for the cycle 21. Advances in Space Research, 22(1), 139–142. https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)01114-9

RATCLİFFE, J. A., ve HOLZER, T. E. (1973). An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere. American Journal of Physics, 41(5), 761–762. https://doi.org/10.1119/1.1987378

REGRESYON ANALİZİ, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-ontent/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf ,

SAHİTHİ, K., SRİDHAR, M., KOTAMRAJU, S. K., KAVYA, K. C. S., SİVAVARAPRASAD, G., RATNAM, D. V., ve DEEPTHİ, C. (2019). Characteristics of ionospheric scintillation climatology over Indian low-latitude region during the 24th solar maximum period. Geodesy and Geodynamics, 10(2), 110–117. https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.11.006

SPOGLİ, L., ALFONSİ, L., DE FRANCESCHİ, G., ROMANO, V., AQUİNO, M. H. O., ve DODSON, A. (2009). Climatology of GPS ionospheric scintillations over high and mid-latitude European regions. Annales Geophysicae, 27(9), 3429–3437. https://doi.org/10.5194/angeo-27-3429-2009

SPOGLİ, LUCA, ALFONSİ, L., CİLLİERS, P. J., CORREİA, E., DE FRANCESCHİ, G., MİTCHELL, C. N., ROMANO, V., KİNRADE, J., ve CABRERA, M. A. (2013). GPS scintillations and total electron content climatology in the southern low, middle and high latitude regions. Annals of Geophysics, 56(2). https://doi.org/10.4401/ag-6240

SRİNİVASU, V. K. D., PRASAD, D. S. V. V. D., NİRANJAN, K., SEEMALA, G. K., ve VENKATESH, K. (2019). L-band scintillation and TEC variations on St. Patrick's Day storm of 17 March 2015 over Indian longitudes using GPS and GLONASS observations. Journal of Earth System Science, 128(3). https://doi.org/10.1007/s12040-019-1097-6

SUBİRANA, J., ZORNOZA, J. M. J., ve HERNÁNDEZ PAJARES, M. (2013). GNSS Data Processing Volume I: Fundamentals and Algorithms (ESA TM-23/1; May 2013) (p. 238). Noordwijk, Netherlands: ESA Communications, ESTEC. https://gssc.esa.int/navipedia/GNSS_Book/ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_I.pdf

TUSAGA-Aktif, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. https://www.tusaga-aktif.gov.tr.

TUSAGA-Aktif İSTASYONLAR VE KAPSAMA ALANI, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021.http://cors-tr.iku.edu.tr,

TUSAGA-Aktif İSTASYONLARI, , Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. http://genderi.org/t-c-cevre-ve-sehircilik-bakanligi-tapu-ve-kadastro-uzmanlik-te.html?page=9,

UZAY İKLİMİ DEĞİŞİMLERİNİN TAHMİNİ, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. http://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index

UZAY İKLİM KOŞULLARI, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021. https://www.thoughtco.com/the-effects-of-solar-storms-3073703,

UZAY İKLİM KOŞULLARI, 17 Mayıs 2021. http://www.spaceweather.ca/sbg-en.php

VAN DER MEEREN, C., OKSAVİK, K., LORENTZEN, D., MOEN, J. I., ve ROMANO, V. (2014). GPS scintillation and irregularities at the front of an ionization tongue in the nightside polar ionosphere. Journal of Geophysical

Research: Space Physics, 119(10), 8624–8636. https://doi.org/10.1002/2014JA020114

WEİ, W., Lİ, W., SONG, S., ve SHAO, L. (2019). Study on the Calculation Strategies of Ionospheric Scintillation Index ROTI from GPS. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 9894–9897. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898494

VERİ ANALİZİ REGRESYON ANALİZİ, Erişim Tarihi: 22 Nisan 2021. https://www.coursehero.com/file/24554136/veri-analizi-regresyon-analizippt/,

YEH, W. H., LİN, C. Y., LİU, J. Y., CHEN, S. P., HSİAO, T. Y., ve HUANG, C. Y. (2020). Superposition Property of the Ionospheric Scintillation S4 Index. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17(4), 597–600. https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2928588

ZAMAN SERİLERİ ANALİZİNDE TEMEL KAVRAMLAR, Erişim Tarihi: 22 Nisan 2021. http://kisi.deu.edu.tr//hamdi.emec/UygEko/ZAMAN_SERI_ANALIZINDE_TEMEL_KAVRAMLAR.pdf,

ZOLESİ, B., ve CANDER, L. R. (2014). Ionospheric prediction and forecastin, 10-36. In Ionospheric Prediction and Forecasting. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38430-1