

JEOMANYETİK FIRTINALAR, GÖZLEMEVLERİ VE ÜLKEMİZDE JEOMANYETİK KP İNDİSİNİN HESAPLANMASI

*Prof.Dr.M.Bilge DEMİRKÖZ¹, Gülce KARAGÖZ², Prof.Dr.Yusuf Kağan KADIOĞLU³,
Doç.Dr.Hüseyin SÖZERİ⁴, Sultan Eylül ÖCAL⁵*

¹Prof. Dr.M.Bilge Demirköz, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İVMER, 06800, Çankaya, Ankara, demirkoz@metu.edu.tr

²Gülce Karagöz, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İVMER, 06800, Çankaya, Ankara, gulce.karagoz@metu.edu.tr

³Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara, kadi@ankara.edu.tr

⁴Doç.Dr.Hüseyin Sözeri, TÜBİTAK-UME, 41470, Gebze, Kocaeli, huseyin.sozeri@tubitak.gov.tr

⁵Sultan Eylül Öcal, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara, eylul.ocal@metu.edu.tr

ÖZET

Güneş fırtınaları ve taşıdığı kütle atımları, Güneş rüzgarındaki parçacık akısını arttırmakta ve Dünya'mızın jeomanyetik alanını etkileyebilmektedir. Manyetik alan sapmalarının büyüklükleri 3 saatlik dilimlerle lokal olarak "K" ve küresel olarak "Kp" indisleriyle 1 ile 9 arasında ifade edilmektedir. Kp indisinin hesaplanması, Dünya'da 1938'den beri ölçüm almaya devam eden ve INTERMAGNET'in standartlarını sağlayan 13 adet "subauroral" gözlemeviden gelen K indisi verilerinin birleştirilmesiyle sağlanır. Araştırmalar sonucunda K indisinin Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsüne bağlı İznik manyetik gözleminde alınan verilerle hesaplanabildiği ancak farklı isterler gerektiren Kp indisinin hesaplanmadığı görülmüştür. Kp değeri hesabının tarihsel gelişimi sebebi ile istasyonlar Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Avustralya'da yoğunlaşmıştır. Ülkemizin bulunduğu coğrafyada kurulu bir Kp indisi istasyonunu bulunmamakta ve kurulması ile Türkiye'deki farklı ekonomik sektörlerde meydana gelebilecek aksamlar önceden saptanabilecek ve önüne geçilebilmesi imkânı olacaktır. Kuvvetli bir Güneş fırtınası, hastanelerin yoğun bakımlarındaki yaşam destek ünitelerinde elektroniklerin bozulması ile can kaybına bile neden olabilir. Kuvvetli Güneş fırtınasına örnek olarak "Carrington olayı" verilebilir ve 1859'da gerçekleşen bu olay yeryüzüne de etki etmiş, telgraf hatlarını ve elektrik şebekelerini kullanılamaz hale getirmiştir. Orta şiddetteki Güneş fırtınaları, uydu iletişimde aksaklıklara neden olabilmektedir. Örneğin bu ani değişimler GNSS (GPS, GALILEO vb.) uydularının konumlanmalarını hatalı hale getirebilmekte, radyo kontrol sinyallerini etkileyebilmekte ve yerleşik elektronik aksamalarda tahribata yol açabilmektedir. Dünya yörüngesindeki birçok uydu orta şiddetteki Güneş fırtınalarından gelen radyasyondan etkilenecek görev ömrünü tamamlayacaktır.

Bu makalede kurulması önerilen jeomanyetik gözlemevi ile Türkiye'de Kp indisinin hesaplanması mümkün olacaktır. Öncelikle, literatür çalışmalarından, böyle bir istasyonun fay hatlarına, demiryollarına, manyetik bozulmalara neden olabilecek element yataklarına, tuzlu ve sodalı sulara, yıldırım ve şimşek etkisinden uzak olması gerektiği öğrenilmiş ve Türkiye'nin deprem kuşağı, demiryolu, demir cevheri yatakları, yıldırım ve manyetik haritaları detaylı olarak incelenmiştir. Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesi eleme yöntemiyle ele alınmış, en uygun bölgenin İç Anadolu bölgesi olacağı saptanmış, kurak ve daha düz topografya sunan Konya ovası incelemesi detaylandırılmıştır. İstasyonun kurulması için önerilen Konya'nın Karapınar ve Çeltik ilçelerinin Kp indisini belirleyebilecek coğrafi niteliklere sahip olduğu saptanmış ve INTERMAGNET'in isterlerini karşılayacak bir manyetometre istasyonunun da yerli imkanlarla üretilebileceği bulunmuştur. Güneş döngüsü maksimumun 2024'te yaşanacağı öngörüldüğünde, Türkiye'de güneş fırtınalarının farklı ekonomik sektörlerde negatif etkisinin çalışılabilmesi için böyle bir istasyonun kurulması ve hesaplanmasının yapılması faydalı olacaktır.

Anahtar Sözcükler: GNSS, Güneş fırtınaları, jeomanyetik gözlem evleri, Kp indisi, Türkiye ekonomisi üzerine negatif etkiler

ABSTRACT

JEOMAGNETIC STORMS, OBSERVATORIES AND CALCULATION OF JEOMAGNETIC KP INDEX IN TURKEY

Solar storms and coronal mass ejections increase the particle flux in the solar wind and can affect the Earth's geomagnetic environment. The magnitudes of the magnetic field deviations are calculated in 3 hour long periods with indices "K" locally and "Kp" globally, between 1 and 9. Calculation of the Kp index is achieved by combining the K index data from 13 subauroral observatories on the Earth that have been taking measurements since 1938 and meet the standards of the INTERMAGNET collaboration. In Turkey, the K index can be calculated with the data obtained from the Iznik magnetic observatory affiliated to the Boğaziçi University Kandilli Observatory Earthquake Research Institute, but the Kp index, has specific requirements can not be. Due to the historical development of the Kp value calculation, stations are concentrated in North America, Western Europe and Australia. There is no Kp index station installed in the vicinity of Turkey, and with its establishment of the proposed station here, it would be possible to detect and prevent disruptions that may occur in different economic sectors in Turkey. A strong solar storm can even result in death, if the electronics of life support units in hospital intensive care units fail. An example of a strong solar storm can be given as the "Carrington event", which took place in 1859, also affected the Earth's surface, rendering telegraph lines and electrical networks unusable. Moderate solar storms can cause disruptions in satellite communications. For example, these sudden changes can disrupt the position information from GNSS (GPS, GALILEO, etc.) satellites, affect radio control signals and cause damage to onboard electronics. Many satellites in Earth orbit have failed before their planned mission lifetime due to radiation from moderate solar storms.

If the geomagnetic observatory proposed in this article is built and commissioned, it will be possible to calculate the Kp index in Turkey. First of all, the list of requirements obtained from a literature survey are that a station should be away from faultlines, railway lines, geological deposits of elements that can cause magnetic fields, salty and soda water, centers of high lightning activity. Therefore, Turkey's earthquake belt, railway, iron ore deposits, lightning and magnetic maps. Turkey's 7 geographical regions were screened and eliminated if it did not fit the criteria. The most suitable region was found to be the Central Anatolia region, and the dry and flat Konya plain was examined more in depth. It has been determined that the Karapınar and Çeltik districts of Konya, which are here proposed for the location of the station, have geographical characteristics that can determine the Kp index and a magnetometer which satisfy the requirements of the INTERMAGNET collaboration can be produced locally in Turkey. Considering that the predicted maximum of the current solar cycle will be in 2024, the installement of such a station and future calculation of the Kp index will be useful in order to study the adverse effects of solar storms on different economic sectors in Turkey.

Keywords: GNSS, geomagnetic observatories, Kp index, Solar storms, adverse effects on Turkish economy

1. GİRİŞ

1.1 Güneş Fırtınalarının Dünya'ya Etkisi

Güneş aktivitesi, 11 yıllık bir döngü içerisinde yükselir ve alçalır. Güneş fırtınalarının artması ile birlikte Dünya'mıza ulaşan kozmik ışın miktarında da artış meydana gelmektedir. Bu fırtınalardan kaynaklanan taçküre kütle atımları enerjisi yüksek parçacıkları ivmelendirebilir ve bu parçacıklar da Dünya'nın atmosferinde radyokarbon oluşumuna neden olur. Güneş fırtınaları radyokarbon etkisinden başlayarak pek çok farklı alanda etkilere sahiptir (Zhang, 2022). Güneş aktivitesinin maksimum olduğu dönemde Güneş fırtınaları ve taçküre kütle atımlarının da yoğunluğu artar. Dünya'nın atmosferinde ısınmaya ve yoğunluk artışına neden olan bu olaylar pek çok uzay aracının faaliyetini de etkiler. Örneğin 2008 yılında gerçekleşen Qantas uçak kazasında yüzden fazla insan yaralanmıştır (Australian Government, 2008). Yapılan araştırmalarda, hava verileri atalet referans biriminin uçuş esnasında maruz kaldığı kozmik ışın radyasyonundan etkilenmiş olabileceği ortaya çıkmıştır. Kozmik ışınların atmosferle etkileşimi sonucu oluşan ikincillerden olan nötron uçak aviyonik sistemlerini etkileyebilir. Kuvvetli bir Güneş fırtınasının Dünya'yı doğrudan etkilediği olaylardan biri de Carrington olayıdır. 1859'da meydana gelen Güneş fırtınası solar döngü 10 esnasında gerçekleşmiş son derece güçlü bir güneş fırtınasıdır. Tarihte kaydedilen en büyük manyetik fırtına olarak tanımlanır ve tekrarlama ihtimali vardır (Muller, 2014), (Tsurutani vd., 2003). Carrington olayı meydana geldiği tarihte, telgraf hatlarını ve elektrik şebekelerini kullanılamaz hale getirmiştir. Güneş fırtınası esnasında, indüklenmiş akım sebebi ile elektronik aletler etkilenmektedir. Elektriğin çok daha yaygın kullanıldığı günümüzde böyle bir olayın yaşanması büyük bir felakete sebep olacaktır. Aynı zamanda meydana gelen aksamalardan kaynaklı ekonomik etkiler de oldukça ağır olacaktır. Güneş fırtınaları aynı zamanda iyonosferdeki toplam elektron içeriğini de etkilemektedir. Bu durum sebebiyle GNSS (GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU, QZSS, IRNSS) uydularının konumlandırılmasında hatalar olabilmektedir. Güneş fırtınaları bir uydunun radyo kontrol sinyallerini ve hatta elektronik parçalarını da etkileyebilir (Shprits vd., 2019). Güneş fırtınaları sebebi ile iyonosferin toplam elektron yoğunluğunda meydana gelen değişim, radyo sinyallerinin ilerlediği hızı değiştirebilir ve bu sebeple uydunun konumlandırılmasında kullanılacak GNSS sinyali hatalı alınmış olur. Dünya'nın manyetik alanının homojen olmaması sebebi ile kutup ve auroral olarak adlandırılan enlemlerde kalan bölgeler, Güneş fırtınaları ve fırtınaların sebep olduğu sorunlardan en çok etkilenmektedir.

1.2 Güneş Fırtınalarının GNSS Sinyalleri Üzerine Etkileri

Uzay havası bozunumlarından kaynaklanan elektron yoğunluğundaki hızlı değişiklikler, taşıyıcı faz takibinde döngü kaymasına neden olabilir. Tekrarlaması ihtimali olan birçok hasara yol açabilecek türde fırtınalar hakkında önceden bilgi sahibi olunması önem arz etmektedir. Örnek olarak, 8 ila 12 Kasım 2004 arasındaki dönemde meydana gelen birbirini takip eden iki jeomanyetik fırtına sırasında yapılan çalışmalar, yedi adet çift frekanslı GPS zincirinden yapılan Toplam Elektron İçeriği (TEC) ölçümlerinden anlaşıldığı üzere GPS menzil gecikmesi üzerindeki olumsuz etkileri açıkça ortaya koymuştur (Sreeja, 2016). İyonosfer üzerindeki gecikme Fermat prensibi ile açıklanabilmektedir. Uydudan alıcıya giden ışın boyunca kırılma indislerinin toplamının metre cinsinden iyonosferik gecikmeyi verdiği anlaşılmaktadır. TEC'de meydana gelen fırtına zamanındaki hızlı değişiklikler, sessiz günlerdeki kıyasla GPS sinyalinde bir dizi faz kaymasına neden olur. Bu faz kaymaları, GPS alıcılarının kilitlenmesinin kaybolmasıyla sonuçlanır ve GPS tabanlı navigasyonu olumsuz etkilemektedir (Rao vd., 2009). Kurulması planlanan gözlemevleri ve Kp indis hesaplamaları, Güneş'te meydana gelen fırtınaların ve iyonosferdeki bozulmaların kuvvetini belirleyerek, analizi yapılacak olan ön bilgiler için önemli bir araç olacaktır. Başka bir deyişle, özellikle yaklaşan Güneş maksimumu sırasında, teknoloji tabanlı Küresel Navigasyon Uydu Sistemlerinin potansiyel olarak maliyetli arızalardan kaçınmak amacıyla parıldama tahmini ve azaltma tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.3. Güneş Fırtınalarının Temel 10 Sektör Üzerindeki Etkisi

Güneş fırtınalarının yarattığı tahribat, meydana gelen fırtınanın kuvvetine bağlıdır ve Kp indisi de bu kuvvetin bir göstergesidir. Dolayısı ile aşağıdaki sektörel tehlikeler, kuvvetli Güneş fırtınalarının sonucunda veya başka bir deyiş ile Kp'nin 8 ve 9 değerlerine ulaştığı fırtınalar için geçerlidir.

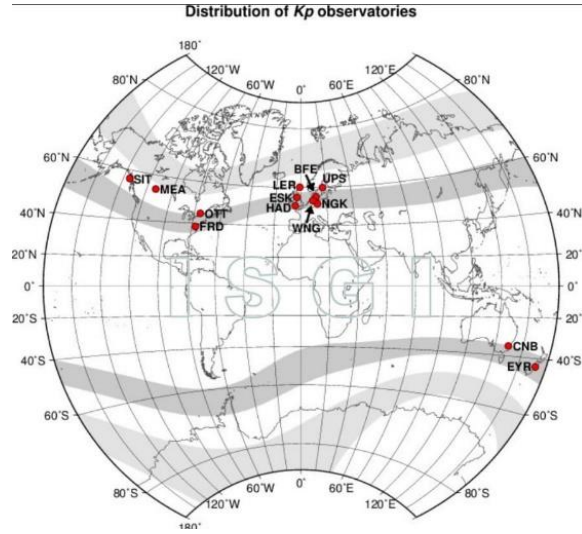
- **Sivil Havacılık Sektörü**
Güneş fırtınalarının fazla olduğu günlerde uçak elektronik bileşenlerinde sinyal hataları, yazılım bozulmaları, donanım hataları yaşanabilir. Gerekirse uçuşlar iptal edilmelidir. Bu duruma en büyük örnek, 2008'de Qantas uçağının yaşadığı kazadır.
- **Uluslararası Sağlık Turizmi Sektörü**
Güneş fırtınaları tarafından yaratılan yüksek elektromanyetik gerilim sebebi ile patlamaların yaşanmaması için yoğun bakımlardaki yaşam destek üniteleri ve MR cihazları fırtına süresince kapatılmalıdır. Aksi halde hastalar kurtarılamayabilir veya dönüşü olmayan etkilere maruz kalabilir.
- **Telekomünikasyon Sektörü**
Güneş fırtınalarının etkilediği toplam elektron içeriği sebebi ile bu sektörde fırtınadan bütün radyo frekansları etkilenir. Arka plan gürültüsünün artışıyla birlikte sinyal kaybı yaşanacaktır.
- **Savunma Sanayii Sektörü**
GNSS sinyal bozulmaları aynı zamanda savunma ve askeri sanayisinde de iletişim kopukluklarına sebep olabilecektir. Böyle bir durumda düzenlenme ihtimali olabilecek örneğin bir hava saldırısının tespiti yapılamayacaktır.
- **İlaç Sanayisi ve Tıbbi Malzeme Sektörü**
Güneş fırtınalarının sebep olabileceği elektrik kesintileri, aynı zamanda soğuk zincirde muhafaza edilmek zorunda olan ilaçların muhafazasını da tehlikeye sokacaktır. Bu durumda, önlem alınmadığı takdirde ilaç sektöründe meydana gelecek zaiyat ekonomik olarak büyük ölçekli olacaktır. Aynı zamanda organ nakli, doku örnekleri gibi taşınımı sırasında son derece dikkatli olunması gereken alanlarda etkiler büyük olacaktır.
- **Finansal Teknolojiler Sektörü**
Açık bankacılık ve dijital bankacılık kısmına bakıldığında hem internet kesintileri hem sistemlerin kapanması sebebiyle, bütün işlemler (para gönderimi, yatırımı vs.) aksayabilir, siber saldırılar ortaya çıkabilir.
- **Hayvancılık Sektörü**
Hayvanların jeomanyetik fırtınanın büyüklüğüne bağlı olarak, kapalı alanlara aktarılması gerekebilir.
- **İçecek ve Yiyecek Sektörü**
Soğuk zincir bozulmadan muhafaza edilmesi gereken yiyeceklerde de, ilaçlarda olduğu gibi zaiyat meydana gelebilir. Ekonomik olarak olumsuz etkisi olacaktır.
- **E-Ticaret Sektörü**
Sinyallerde meydana gelecek aksamaların düzenlenememesi durumunda, aksamaların süresi arttıkça sebep olduğu mali zarar da aynı oranda büyüyecektir.
- **Denizcilik Sektörü**
Otomatik kimlik saptama siteminde (AIS) yaşanacak sinyal kaybı sebebi ile gemi takibi trafiği yapılamayacak ve gemilerin rota kaybı ve kaza yapma ihtimali artacaktır.

Güneş fırtınaları bu temel 10 sektör haricinde başka sektörleri de etkilemektedir. Ancak yapılan araştırmalar sonucu, kuvvetli Güneş fırtınalarının en büyük hasara sebep olduğu sektörlerde önlem alınması oldukça önemlidir. Aksi halde, can kayıpları, toplu telefonlar, kırılgan başlangıcı gibi büyük felaketlere ilerleyebilecek küresel ihtimaller tetiklenebilmektedir.

1.4 K ve Kp İndisleri

Güneş fırtınaları ve taçküre kütle atımları sebebi ile Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşiminde meydana gelen değişimlerin büyüklükleri K ve Kp indisleri ile ifade edilmektedir (Bartels, 1957), (Elliot vd.,2013). K ve Kp indislerinin ölçümleri, her üç saatte bir jeomanyetik gözlemevlerinden alınan verilerle sağlanmaktadır. K indisinden farklı olarak, Kp indisi gezegensel K indisidir. Bu nedenle Kp ölçümüne katkıda bulunacak jeomanyetik gözlemevinin subauroral bölgede olması gerekmektedir (Matzka vd.,2021). Bu sayede, kutuplarda çok zayıf olan manyetik alan korumasının yan etkilerinden kaçınılmış olacak ve coğrafi konumu sebebi ile en uygun ölçüm alınabilecektir. Kp ağı, on üç istasyondan sırasıyla yedisi Batı Avrupa ve dördünün bulunduğu Kuzey Amerika'ya yöneliktir. Güney'de sadece iki istasyon vardır, Yarımkürede ve Doğu Avrupa veya Asya'da bulunmamaktadır. İki Avrupa istasyonunun

(Brorfelde/Danimarka ve Uppsala/İsveç) yanı sıra Güney Yarım küredeki iki istasyonun (Eyrewell/Yeni Zelanda ve Canberra/Avustralya) verileri birleştirilir, böylece ortalamaları nihai hesaplamaya girer; Güney Yarımküre böylece on bir bileşenden biri olarak indekslere katkıda bulunur.



Şekil 1: Kp jeomanyetik gözlemvlerinin dağılımı.

K ve Kp indisleri, jeomanyetik fırtınanın kuvvetine göre 0'dan 9'a kadar değer alır. 0-3 arasındaki bir Kp değeri sakin bölge, 4'e eşit olduğunda dalgalanmış bölge, 5-9 arasında ise jeomanyetik fırtına olarak adlandırılır.

K ve Kp indisleri	Anlamları
0	Sakin Bölge
1	
2	
3	
4	Dalgalanmış Bölge
5	Jeomanyetik Fırtına
6	
7	
8	
9	

Şekil 2: Kp değerleri ve anlamları

K indisleri, seneler boyu Mayaud kuralları olarak bilinen morfolojik kriterler izlenerek analog manyetogramlardan elle ölçeklendirilmiştir. Tüm gözlemvleri, analog manyetogramlardan K indislerinin rutin elle ölçeklendirilmesinde bu kuralları takip etmektedir. Gözlemvlerinin dijitalleşmesi ile birlikte, analog manyetogramlardan K ölçekleme konusunda deneyimli gözlemcilerin giderek sayısı azalmıştır. Bu nedenle, gözlemvleri işleten kuruluşlar, K indislerinin üretimi için telafi edici makine yöntemleri bulmaya zorlanmaktadır. Önce K indekslerinin temel özellikleri ve Mayaud kuralları gözden geçirilmiş, ardından K indekslerinin bilgisayarla türetilmesi için geliştirilen yöntemler tartışılmıştır. Önerilen algoritmalarından hangisinin uygun olduğuna karar vermek için, jeomanyetik indeksler üzerine IAGA Çalışma Grubu tarafından aralarında bir karşılaştırma düzenlenmiştir (Jankowski vd, 1996). IAGA böyle bir istasyonda bulunması gereken tüm elektronik, mekanik, ısı, veri alımı ve iletimi isterlerini bir raporda detaylandırmıştır. Karşılaştırma, aynı istatistiksel testler kullanılarak ortak bir veri seti ile yapılmıştır. 1991 yılında Viyana IUGG genel Kurulu sırasında Çalışma Grubu tarafından dört yöntem kabul edilmiştir (Menvielle vd.,1995). Sonuçlar, bu yöntemlerin elle ölçeklenen indislerin ortalama kalitesine kıyasla kabul edilebilir sonuçlar sağladığını doğrulamaktadır.

1.5 Jeomanyetik Gözlem Evlerinin Dünya Üzerindeki Dağılımı

Ülkemizde jeomanyetik K indisinin ölçümü öncelikle Kandilli’de yer alan jeomanyetik gözlemevi ile 1947’de başlamıştır. Merkez 1997’de INTERMAGNET’in üyesi olmuş ve merkez verilerini paylaşmaya başlamıştır. Ancak hızla artan şehir büyümesi sebebi ile gözlemevi şehir gürültüsünün içinde kalmış ve ardından çalışmalar Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsüne bağlı İznik manyetik gözleminde alınan verilerle 2005’ten itibaren hesaplanmaya devam etmiştir.

Kp ölçümünün yapıldığı jeomanyetik gözlemlerinde manyetik alan yer tabanlı manyetometreler ile ölçülür. Bu manyetometreler, INTERMAGNET tarafından belirlenen manyetometre isteklerini karşılamalıdır. Böylece bu jeomanyetik gözlemevi, INTERMAGNET’e üye olabilir ve veri paylaşımında bulunabilir. Bu istekleri sağlayan gözleminin ardından INTERMAGNET standartlarını sağlayan bir manyetometreye sahip olması gerekmektedir. Aşağıda INTERMAGNET’in belirlediği manyetometre istekleri yer almaktadır.

Manyetometre Türü	Vektör Manyetometre	Skalar Manyetometre
Çözünürlük	0.1 nT	0.1nT
Dinamik Aralık	8000nT Auroral ve Ekvatorial 6000nT Orta-Enlem	-
Bant Geçişi	Dc 0.1Hz	-
Örnekleme Oranı	1Hz (1sn)	0.033Hz (30sn)
Termal Kararlılık	0.25nT/Celcius	-
Uzun Vadeli İstikrar	5nT/yıl	-
Doğruluk	-	1nT

Tablo 1: INTERMAGNET manyetometrelerinin minimum standartları.

Bütün standartları karşılayan gözlemevi, manyetometresi bulunduğu enleme göre kalibre edildikten sonra çalışmaya başlayabilir. Aldığı ölçümlerle K hesabına katkıda bulunabilir ve INTERMAGNET’e üye olduktan sonra da kendi verileri ile karşılaştırma yapabilir. INTERMAGNET isteklerini karşılayacak bir manyetometrenin, TÜBİTAK UME ile yapılan çalışmalar sonucu, yerli olarak üretilebileceği görülmüştür. TÜBİTAK UME’de yüksek hassasiyetli (nT) manyetometre yapımı çalışmaları yaklaşık 10 yıl önce başlamıştır. Üretilen ilk manyetometre de süperiletken bir malzeme sensör elemanı olarak kullanılmış ve <1 nT çözünürlük seviyesine ulaşılmıştır (Topal, 2013). Süperiletken malzemelerin sıvı azot ya da sıvı helyum ile soğutulması gerektiğinden bu tip sensörlerin kullanım alanı oldukça kısıtlıdır. Ancak bu çalışma bize süperiletken malzemelerin de manyetik alana oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir. Daha sonra geliştirilen cihazlarda ise benzer ticari ürünlerde olduğu gibi yumuşak manyetik alaşımlar sensör malzemesi olarak kullanılmıştır. Çözünürlük seviyesi ise pT mertebesine kadar ulaşmıştır (Topal vd. 2021),(Can vd.,2017), (Topal vd., 2019). Aynı zamanda bu sensörleri kontrol eden elektronik kart ve yazılımda TÜBİTAK UME’de yapılmaktadır. TÜBİTAK UME’de üretilen son cihaz uzay kalifiye hazırlanmış olup tüm testlerden başarı ile geçmiştir. Dolayısıyla, Türkiye’de kurulacak jeomanyetik gözleminde kullanılacak yüksek hassasiyetli manyetometre TÜBİTAK UME tarafından sağlanabilecektir. Bu sayede, olası bir gözlemevi yerli ve milli olarak kurulabilecektir. Bir jeomanyetik gözleminin doğru ölçüm alabilmesi için bazı etkenlerden uzakta olması gerekir. Jeomanyetik gözleminin manyetik alanda meydana gelen değişimleri incelediği düşünüldüğünde, elektromanyetik dalga yayan depremlerin sık meydana geldiği bölgelerden uzakta olmalıdır. Bu nedenle kurulması hedeflenen jeomanyetik gözlem evinin fay hatlarından uzak bölgelerde konumlanması gerekmektedir (Gao vd.,2014), (Johnston, 2002), (Robbes,2006). Bir diğer etken ise DC elektrikli demir yollarıdır, gözlemevi benzer sebepten dolayı demir yollarından da uzakta olmalıdır (Pirola, 2011), (Love vd., 2009), (Margiono vd., 2021). Toprak jeomanyetik bozulmaya yol açabilecek elementlerden temiz olmalı (Girdler, 1971), iletkenlik sebebi ile tuzlu ve sodalı sudan uzak olmalı(Grant,2006) ve yıldırım etkisinden de korunmalıdır. Tablo 1’de, olası bir jeomanyetik gözleminin sahip olması gereken etkenler verilmiştir:

İSTERLER	NEDENLERİ	KAYNAKÇA
Gözlemevi fay hatlarından uzak bir bölgede olmalıdır.	Gözlemlerindeki manyetometreler, manyetik alan değişimini ölçer ve depremler manyetik alan üretir. Sinyalde yaşanacak bu etkiden kaçınılması gerekmektedir.	➤ Gao, vd. (2014) ➤ Johnston (2002) ➤ Robbes (2006)
Demiryollarından uzak bir bölgede olmalıdır.	Gözleminin, rayların elektromanyetik etkisinden uzak olabilmesi için DC elektrikli demiryolları ve tramvay	➤ Pirjola (2011). ➤ Love (2009) ➤ Margiono, vd. (2021).

	hatlarından en az 20km uzak olması gerekmektedir.	
Jeomanyetik bozulmaya yol açabilecek elementlerden uzak olmalı	Manyetik özellik taşıyan demir gibi element yataklarından manyetizmadan korunabilmek için uzak olmalıdır.	➤ Girdler (1971).
Tuzlu ve sodalı su havzalarından uzak olmalıdır.	Su kaynağı içerisindeki tuz ve sodanın miktarı suyun iletkenliğini değiştirmektedir. Bu nedenle iletkenliği en azda tutabilmek için bu etkenden uzak olmak gerekmektedir.	➤ Grant (2006)
Yıldırım ve şimşek etkisinin yoğun hissedildiği bölgelerden uzak olmalıdır.	Yıldırım ve şimşek hava olayları hızlı hareket eden elektrik akımlarıdır ve elektrik alan yaratırlar ve bu etki yapılacak gözlemi etkiler.	➤ Milev vd.(2014)

Tablo 2: Uzak havası amacı ile olası kurulacak bir jeomanyetik gözlemevinin istekleri.

1.6 Kp indisinin Hesabı için Uygun Gözlemevi Konumunun Belirlenmesi

Kurulması hedeflenen gözlemevinin hangi bölgeye kurulabileceği belirlenirken eleme yöntemi kullanıldı. Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinin de değerlendirildiği bu çalışmada Şekil 4'te belirtilen isteklerin tamamını karşılayacak bir coğrafi bölgenin bulunması için ilgili haritalar incelendi.

• Gözlemevi Fay Hatlarından Uzak Bir Bölgeye Kurulmalıdır

Uzak havası incelemeleri için özelleştirilecek bir jeomanyetik gözlemevinin korunması gereken en önemli etkenlerden biri depremlerin sebep olduğu elektromanyetik dalga salınımlarıdır. Aktif fay hatlarının yakınlara konumlandırılacak bir jeomanyetik gözlemevi, yer kabuğundan gelecek elektromanyetik sinyallerin sıklığı nedeni ile, uzak havası ölçümünde istenilen berraklığa ulaşamayacak ve sinyali yer kabuğundan gelen sinyaller sebebi ile aslında kirlenecektir. Deprem hareketlerinin çalışılması için özelleştirilmiş bir jeomanyetik gözlemevi için gereklilik olan bu ister, uzak havası çalışmaları için özelleştirilecek bir jeomanyetik istasyon için kaçınılması gereken bir etkidir. Şekil 5'te Türkiye'nin fay hattı haritası sunulmuştur:



Şekil 5: Türkiye Deprem Tehlike Haritası- AFAD

Bu harita incelendiğinde, deprem araştırmaları için kurulmuş olan İznik jeomanyetik rasathanesinin Kuzey Anadolu Fayına yakınlığından dolayı Kp indisi hesaplaması için kullanılamayacağı, aynı nedenle genel olarak Marmara ve Batı Karadeniz Bölgelerinin Kuzey Anadolu Fay Hattı sebebi ile böyle bir gözlemevini barındırmaya uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Doğu Anadolu Fay Hattı, Doğu ve Güneydoğu'nun büyük bir kısmının elenmesine neden olmuştur. Çok sayıda graben ve horst yapısı sergileyen Batı Anadolu Fay Hattı ise bütün Ege Bölgesini etkilemesi sebebi ile Ege'nin de uzay havası amaçlı bir jeomanyetik gözlemevi için uygun olmadığı kanaati oluşmuştur. Kp indisinin hesabı için uygun gözlemevinin kurulması için Türkiye'nin yapısı jeolojik ve tektonik açıdan incelenerek belirlenmiştir. Buna göre aktif deprem fay hattından uzak, herhangi bir magmatik sokuluma bağlı veya onların etkisi sonucu oluşmuş bir demir yatağından uzak ve özellikle gölsel istife bağlı tuzlu çözeltiler ve onlara bağlı evaporitik kaya çökelimlerinden uzak bir alan araştırıldığında Konya ovası en uygun bölge olarak belirlenmiştir. Projenin gerçekleşmesi durumunda kesin lokasyonun seçimi için yerinde örnek alımı gerçekleştirilecek ve jeokimyasal analizleri yapılacak ve aynı zamanda jeofizik ölçümlerde alınarak gömülü faylardan uzak alanlar seçilerek Kp indisinin hesabı için uygun Gözlemevinin konumu belirlenmiş olacaktır.

- **Demiryollarından Uzak Bir Bölgeye Kurulmalıdır**

Elektromanyetik dalgalanmalardan etkilenmemek için demiryollarına uzak kurulması gereken jeomanyetik gözlemevleri, DC elektrikli demiryolları ve tramvay hatlarından en az 20km uzakta olmalıdır. Şekil 6'da Güncel Türkiye Demiryolu Ağı verilmiştir:



Şekil 6: Güncel Türkiye Demiryolu Ağı – T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

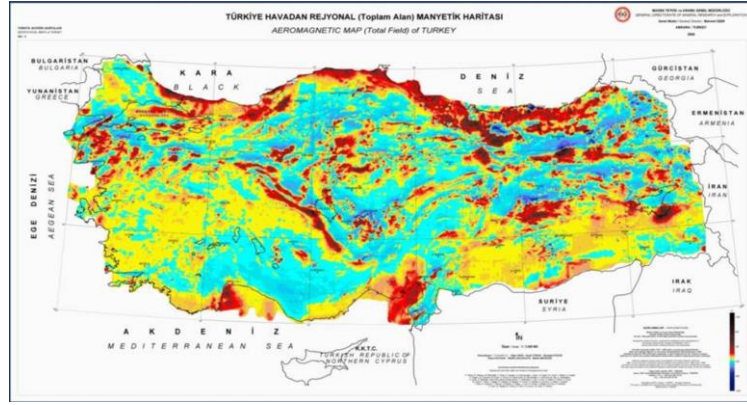
Bu haritanın incelenmesi ile birlikte, Marmara ve Ege Bölgesi'nin bu ısteri de karşılamadığı görülürken, İç Anadolu'da ve Doğu Anadolu yer alan bölgelerin bir kısmının bu etkilerden uzakta kalabileceği görülmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinin aşağı kesimleri de bu ısteri karşılamamaktadır.

- **Tuzlu ve Sodali Sudan Uzakta Olunmalıdır**

PH seviyesindeki değişiklik toprağın iyonlaşma oranını değiştirmektedir. Tuzlu veya sodali suya yakın olan bir bölgenin iletkenlik seviyesi iyonlaşma oranı sebebi ile artacaktır. İletkenlik artışı sebebi ile elektriksel bozulmalar meydana gelebileceği için gözlemevi bu etkenden de uzakta olmalıdır. 3 tarafı denizlerle çevreli olan ülkemizdeki kıyı şeritleri, özellikle de fay hatlarından uzak olan Doğu Karadeniz bölgesi bu nedenle elenmektedir. Ülkemizdeki çoğu gölün (Van, Eğridir, Beyşehir vb.) sodali olmasından dolayı, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin çoğu elenmektedir.

- **Jeomanyetik Bozulmaya Neden Olabilecek Elementlerden Uzak Olmak**

Jeomanyetik gözlemevinin, manyetik özelliğe sahip jeolojik elementlerin olduğu toprak yapısından uzakta olması gerekmektedir. Şekil 7'de Türkiye'nin havadan toplanmış Toplam Alan Manyetik Haritası verilmiştir:

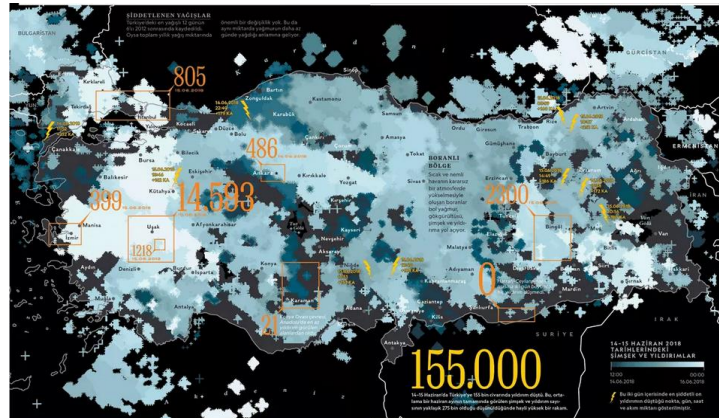


Şekil 7: Türkiye Toplam Alan Manyetik Haritası – MTA Internet Sayfası

Şekil 7 incelendiğinde, Doğu Karadeniz bölgesinin manyetik anomaliler sebebi ile isteri karşılamadığı görülmektedir. Aynı şekilde İç Anadolu bölgesinde de yaygın olmamakla birlikte bir miktar anomali söz konusudur.

- **Yıldırım ve Şimşek Etkisinden Uzak Olmalıdır**

Söz konusu istasyonun aynı zamanda şimşek ve yıldırımın çok olduğu bölgelerden, elektromanyetik etki sebebi ile uzak olması gerekmektedir. Yıldırım ve şimşek hızla hareket eden yüklü parçacıklar sebebi ile meydana gelir bu de elektromanyetik etkiye neden olur. Şekil 8’de Türkiye’nin yıldırım ve şimşek dağılımı verilmiştir:



Şekil 8: Yıldırım ve şimşek haritası- YILKOMER

Bu haritada açık renkler en fazla hareketliliğin olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. Ege ve Marmara'nın tamamı, Doğu Anadolu'nun ise bir kısmı bu isteri karşılamamaktadır.

Bütün isterler teker teker incelendiğinde, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nin en uygun adaylar olduğu görüldü. Ancak Akdeniz Bölgesi'nin dağlık yapısı ve düzlük alanlarının da denize (tuzlu su isteri) yakınlığı sebebi ile listenin dışında kaldığı görüldü. İç Anadolu Bölgesinde bahsedilen bütün isterleri karşılarken aynı zamanda düz bir coğrafyaya sahip olan ve ulaşımı kolay bir alan sağlayan Konya ili incelendi. Şekil 7 incelendiğinde, Konya ovasındaki manyetik anomali tespit edildi ancak yapılan görüşmeler sonucu bu anomaliden kaçınılmanın mümkün olduğu tespit edildi. Konya-Karapınar (37° 42'K, 33° 33'D) ve Konya-Çeltik (39° 1' K, 31° 47' D) ilçelerinin en uygun iki yer olduğu tespit edildi.

2. SONUÇLAR

Güneş fırtınaları GNSS konumlandırmasını hatalı hale getirmektedir. Askeri bölgelerde veya devlete bağlı yapılan herhangi bir uçuş veya özel bir durum için oluşan manyetik bozulmalar ve bundan dolayı oluşan kuvvetli fırtınalardan dolayı yaşanabilecek olan problemler öngörülebilir (Palacios,2018). Fırtınaların ve iyonosferik bozulmaların ortaya çıkardığı radyo kontrol sinyallerini veya yerleşik elektronik aksamalar üzerinde ortaya çıkan engeller ortadan kaldırılabilir. Bu sebeplere ek olarak, Dünya'nın manyetik alanında meydana gelebilecek olan sapmaların önceden tahmin edilmesini sağlamak, büyük bir fırtına örneği olan Carrington olayı gibi olaylar hakkında önden bilgi sahibi olunmasını sağlayacaktır. Tekrardan gerçekleşme ihtimali olan büyük fırtına, gelecek yıllarda içerisinde

bulunacağımız Güneş maksimum dönemi için önemli bir ön bilgi kaynağı olacaktır. Olası kurulacak bir jeomanyetik gözlemevinin isteklerini sağlamak için ilgili haritaların incelenmesinin ardından, Türkiye’de olası iki aday yer bulunmuştur. Bunlar Konya-Karapınar ve Konya-Çeltik’tir. Her iki bölgede aktif fay hatlarından uzak ve bölgede demir yatağına ait herhangi bir jeolojik bulgu da bulunmamaktadır. Gözlemevi kurulumu çalışmalarının başlaması durumunda olan Karapınar ve Çeltik bölgelerindeki toprak yapısı ve gerekli jeofizik ölçümleri (GPR ile yüzeyin altındaki katmanların incelenmesi ve detaylı manyetik ölçüm haritalanması) yapılarak yeraltı bilgileri elde edilerek gerçek konum belirlenecektir.

Deprem çalışmaları amacıyla kurulan ve İznik’te faaliyetine devam eden Türkiye’nin tek jeomanyetik gözlemeviden gelen veriler INTERMAGNET ile paylaşılmaktadır (Çelik vd., 2012). Ancak İznik’te yer alan gözlem evi deprem incelemesi amacı ile kurulduğu için fay hattına yakındır ve uzay havası incelemeleri için kullanımı mümkün değildir. Uzay havası incelemeleri için kurulması planlanan bir ikinci gözlemevi hem İznik’teki gözlemevine referans olabilecek hem de elde edilen veriler arasındaki ilişkinin incelenmesini sağlayacaktır.

3. TEŞEKKÜR

İznik jeomanyetik gözlemevindeki çalışmalar hakkında bilgi paylaşan Doç.Dr. Cengiz Çelik’e yazarlar teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Australian Transport Safety Bureau, Aviation Occurrence Investigation, AO-2008-070, "In-flight upset 154 km west of Learmonth, WA, 7 October 2008, VH-QPAAirbus A330-303", 2022

Bartels J. 1957. The technique of scaling indices K and Q of geomagnetic activity. *Ann Intern Geophys Year* **4**: 215–226.

Can H., Peter Svec, Jan Bydzovsky, Peter Svec, Hüseyin Sözeri, Uğur Topal, Systematic optimization of the sensing properties of ring-core fluxgate sensors with different core diameters and materials, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 255, 2017, Pages 94-103 ;

C. Çelik, M. K. Tunçer, E. Tolak-Çiftçi, M. Zobu, N. Oshiman and S. B. Tank, "Solar and lunar geomagnetic variations in the northwestern part of Turkey," in *Geophysical Journal International*, vol. 189, no. 1, pp. 391-399, April 2012, doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05382.x.

Çop, Rudi & Milev, G. & Deželjin, Damir & Kosmač, J.. (2014). Protection against lightning at a geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*. 3. 10.5194/gi-3-135-2014.

Elliott, H. A., Jahn, J.-M., & McComas, D. J. (2013). The Kp index and solar wind speed relationship: Insights for improving space weather forecasts. *Space Weather*, *11*(6), 339–349. doi:10.1002/swe.20053

Gao, Y., Chen, X., Hu, H., Wen, J., Tang, J., & Fang, G. (2014). Induced electromagnetic field by seismic waves in Earth's magnetic field, *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, *119*, 10.1002/2014JB010962

Girdler, R. W. (1971). Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice K. A. Wienert (UNESCO, Paris, 1970, 217 pp., £2.11s.). *Geophysical Journal International*, *23*(2), 262–262. doi:10.1093/gji/23.2.262

Grant, W. D. (2006). "Alkali ortamlarda ve Ekstremofiller içinde biyolojik çeşitlilik.", 2006, UNESCO / Eolss Yayınları, Oxford, UK

Johnston, M. (2002). 38 Electromagnetic fields generated by earthquakes. *International Geophysics*, *81*, 621–635. doi:10.1016/S0074-6142(02)802418

J. Jankowski and C. Sucksdorff, (1996) IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice

Love, J.J., (2009), Proceedings of the XIIIth IAGA Workshop on geomagnetic observatory instruments, data acquisition, and processing: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009–1226, 271 p.

- Matzka, J., Stolle, C., Yamazaki, Y., Bronkalla, O., & Morschhauser, A.** (2021). The geomagnetic Kp index and derived indices of geomagnetic activity. *Space Weather*, 19, e2020SW002641. <https://doi.org/10.1029/2020SW002641>
- M. Menvielle, N. Papitashvili, L. Häkkinen, C. Sucksdorff.** (1995) Computer production of K indices: review and comparison of methods, *Geophysical Journal International*, Volume 123, Issue 3, December 1995, Pages 866–886, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb06895.x>
- Muller, C.** The Carrington Solar Flares of 1859: Consequences on Life. *Orig Life Evol Biosph* 44, 185–195 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11084-014-9368-3>
- Palacios, J., Guerrero, A., Cid, C., Saiz, E., & Cerrato, Y.** (2018). Defining scale thresholds for geomagnetic storms through statistics. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–17. doi:10.5194/nhess-2018-92
- Pirjola, R.** (2011). Modelling the magnetic field caused by a dc-electrified railway with linearly changing leakage currents. *Earth, Planets and Space*, 63(9), 991–998. doi:10.5047/eps.2011.06.032
- Rao, P., Seemala, G., Prasad, J., Prasad, S., Prasad, D., & Niranjan, K.** (05 2009). Geomagnetic storm effects on GPS based navigation. *Annales Geophysicae*, 27. doi:10.5194/angeo-27-2101-2009
- Robbes, D.** (2006). Highly sensitive magnetometers—a review. *Sensors and Actuators A-physical - SENSOR ACTUATOR A-PHYS*, 129, 86–93. doi:10.1016/j.sna.2005.11.023
- Shprits, Y., Vasile, R., & Zhelavskaya, I.** (2019). Nowcasting and Predicting the K p Index Using Historical Values and Real-Time Observations. *Space Weather*, 17. doi:10.1029/2018SW002141
- Sreeja, V.** Impact and mitigation of space weather effects on GNSS receiver performance. *Geosci. Lett.* 3, 24 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40562-016-0057-0>
- Topal, U.** 2013 Meas. Sci. Technol. 24 105110
- Topal, U. vd.,** "Optimization of the Temperature Stability of Fluxgate Sensors for Space Applications," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 3, pp. 2749-2756, 1 Feb.1, 2021
- Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Lakhina, G. S., and Alex, S.** (2003), The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859, *J. Geophys. Res.*, 108, 1268, doi:10.1029/2002JA009504, A7.
- Zhang, Q.** (2022), Modelling Cosmic Radiation Events in the Tree-Ring Radiocarbon Record, *Proceedings of the Royal Society A*, <https://doi.org/10.1098/rspa.2022.0497>