

GEOmatik

The cover features a dramatic, golden-hued scene of Earth from space. A satellite with two solar panels is positioned in the upper middle, orbiting the planet. The sun is a large, brilliant orb on the right side, creating a lens flare effect that radiates across the sky. The Earth's surface is detailed with landmasses and oceans, appearing in shades of brown and gold. The top of the cover is a dark, starry space background. The title 'GEOmatik' is prominently displayed at the top in a white, 3D-style font, with the 'O' containing a globe icon.

ISSN:2564-6761

Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği

Fatih TAKTAK^{1*}, Mehmet ILI²

¹Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Uşak
(fatih.taktak@usak.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1324-2036

²OEDAŞ, Harita Mühendisi, Uşak
(mehmetili@hotmail.com.tr) ORCID ID 0000-0001-5261-5603

Öz

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi enerji tüketimleriyle doğru orantılıdır. Sanayisi sürekli gelişmekte olan ülkeler enerji ihtiyacını karşılamak için şimdiye kadar kullandıklarından farklı kaynaklar bulmak zorundadır. Fosil yakıtların giderek pahalalanması, Türkiye'yi enerji politikası açısından, fosil kaynakların kullanımı sonucu çevre kirliliği ortaya çıkmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı zorunlu bir hal almıştır. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Günümüzde yenilenebilir enerji kapsamında güneş enerjisi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi için 2016 senesi, Brüksel'de düzenlenen Güneş Enerjisi Zirvesi'nde yayınlanan raporda, dünyada 76,1 Gigawatt'lık güneş enerjisinin kurulduğunu doğruladı.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, Türkiye'de uzun yıllardan beri ihmal edilmiş bir konu olmuştur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2016 yılı sonu itibariyle, ülkemizde kurulu gücü 402 MW olan 34 güneş enerjisi santraline ön lisans, kurulu gücü 12,9 MW olan 2 güneş enerjisi santraline lisans verilmiştir. Bu çerçevede, güneş enerjisi potansiyeline sahip Uşak ilinde Gayrimenkul Geliştirme adı altında örnek bir çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan GES projesi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Uşak ili Güneş Enerji Santrali Projesi için arazi seçimi, yasal süreçler, konum analizleri, GES kurulum aşamaları ve finansman modeli detaylıca incelenmiştir. Ayrıca projede SWOT analizi yapılarak proje için en uygun yer tespit edilmiştir. Gayrimenkul geliştirme projelerinde fizibilite çalışmasının önemi gösterilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gayrimenkul Geliştirme, GES, SWOT analizi

Solar Power Plant (SPP) Development: An Example Of Uşak

Abstract

Development rates of countries are directly proportional to their energy consumption. Industrial constantly developing countries; They have to find resources that are different from those used up to now in order to meet their energy needs. The increasing cost of fossil fuels has made Turkey dependent externally in terms of energy policy. As a result of environmental pollution with the use of fossil resources; The use of renewable energy sources has become compulsory. Because of its geographical location, Turkey has a great solar energy potency. Today, solar energy is widely used within the scope of renewable energy. 2016 years for solar energy; The report, published in Solar Energy Summit held in Brussels, confirmed that solar energy of 76.1 Gigawatts was established in the world.

Electricity generation from solar energy has been an issue that has been neglected in Turkey for many years. According to the Ministry of Energy and Natural Resources in recent years, as of the end of 2016, 34 solar power plants with an installed capacity of 402 MW were awarded associate degrees. In addition, two solar power plants with an installed capacity of 12.9 MW were licensed.

For this purpose; Solar energy potansiyeline In Uşak province, under the name of Real Estate Development, Renewable Energy Sources Solar Power Plant Project is developed. Land selection, legal processes, location analysis, GES installation phases and financing model for the project have been examined in detail. In addition, SWOT analysis is performed on the project to determine the most suitable location for the project. In real estate development projects, it has attempted to show the importance of the feasibility study.

Keywords: Real Estate Development, SPP, SWOT analysis

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Güneş, dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biridir ve çevre açısından temiz bir enerji kaynağı özelliği taşıdığı için, fosil yakıtlara alternatif olabilmektedir. Güneş enerjisi, yer ve atmosferdeki fiziksel oluşumları etkileyen bir kaynaktır. Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi ile mümkündür. (Varınca, 2006; Külekçi, 2009).

Türkiye’de ve dünyada elektrik enerjisine olan ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamada kullanılan elektrik enerjisi temininde; büyük çoğunlukla kömür, petrol ve doğalgaz gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığı ve sanayileşmenin belirli bölgelerde yoğunlaşması nedeniyle fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre kirliliği artmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu karbondioksit (CO₂), azot dioksit (NO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) değerleri, önemli sonuçlara ulaşmıştır (Ültanır, 1996). Elektrik enerjisi elde edilen sistemlerin çevreye verdikleri zararların her geçen gün artması sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten sistemler önemli bir hal almıştır.

Doğaya ve insanlara zarar vermeyecek bir şekilde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması, yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile bir taraftan elektrik ihtiyacı karşılanırken bir taraftan da küresel anlamda iklim değişikliğinin önlenmesine yardımcı olabilecektir. Bu anlamda güneş enerjisi; yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı ve çevre dostu olması nedenleriyle kullanımı büyük önem arz etmektedir.

Türkiye konumundan dolayı güneş enerjisi bakımından yüksek bir potansiyele sahiptir. Türkiye’nin güneşlenme süreleri sene içerisinde değişiklik gösterse de yıllık olarak yaklaşık 2 bin 738 saattir. Ortalama olarak günlük 7,5 saat güneşlenme süresine sahip olan Türkiye’nin Almanya’dan yüzde 60 daha fazla güneş ışınlarından yararlanmaktadır. Buna rağmen 2015 yılı kurulu güç kapasite artışı bakımından Almanya’nın binde 6’sı kadar bir ilerleme kaydedilmiştir.

Türkiye’nin güneşten elektrik üretim potansiyeli yapılan hesaplamalar doğrultusunda en az 500 bin MW olarak tahmin edilmektedir. Diğer 27 yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında güneş, Türkiye’de en fazla potansiyele sahip enerji kaynağıdır. 2016 yılı itibarıyla elektrik enerjisi toplam kurulu gücünün yaklaşık 79 bin MW olduğu göz önüne alındığında güneş enerjisindeki potansiyelin üretime dönüştürülmesinin önemi anlaşılmaktadır.

Elektrik üretiminde güneş enerjisi teknik potansiyeli 189 GWh/yıl olan Türkiye, bu alanda kendisine en yakın ülkeler olan İspanya ve Fransa’dan yaklaşık yüzde 30 daha fazla potansiyele sahiptir. Türkiye’nin yeryüzündeki konumu gereği yıl içerisindeki güneşli gün sayısının fazla olması, teknik açıdan, yüksek bir potansiyele sahip olmasında en büyük etkenlerin başında gelmektedir.

Güneş enerjisi piyasasının özellikle 2014 yılından sonra yüzde 25’lik bir büyüme kaydettiği görülmektedir. Güneş enerjisinden 2015 yılında 50 GW’lık bir kapasite artışı gerçekleştirilmiş ve küresel ölçekte toplam 227 GW kapasiteye ulaşılmıştır. Bölgesel ölçekte güneş enerjisi kurulu gücünde en fazla kapasite Avrupa kıtasında bulunurken, onu Asya ve Kuzey Amerika kıtaları takip etmektedir. Diğer taraftan dünya genelinde en fazla güneş fotovoltaik sistem kapasitesi sırasıyla Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya’ya aittir. Kişi başına düşen güneş fotovoltaik sistem kapasitesi bakımından ise 2015 yılında Almanya ilk sırada yer alırken Çin, Japonya ve ABD’nin önemli kapasite artış performansı sergiledikleri görülmektedir (Kern, 2015; Karagöl, 2017).

Bu çalışmada, GES geliştirme projelerinde ön etüt çalışmasının önemi gösterilmeye çalışılmıştır. Gayrimenkul geliştirme projeleri ülkemizde son yıllarda profesyonel bir biçimde ele alınmaya başlanmıştır. Gayrimenkul pazarındaki sürekli değişim, girişimcileri, kullanıcıların beklentilerini karşılamak üzere, daha sistematik düşünmeye zorlamaktadır. Artık yapılan projelerin ölçekleri büyümekte ve karmaşık hale gelmektedir. Yapılan projelerin ölçekleri büyüdükçe, buna bağlı olarak riskleride orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle

girişimciler, riskleri azaltmak için, proje öncesinde yapılan çalışmalara daha önem vermek zorunda kalmışlardır. Çalışmada, tüm gayrimenkul geliştirme projelerinde olduğu gibi önerilen GES projenin finansal açıdan verimliliği test edilmiştir. Stratejik planlama adımlarının sonucunu olan finansal analizlere ve diğer gayrimenkul geliştirme süreci ve bu süreçte rol alan aşamalar analiz sonuçlarına dayanarak, kent dışında GES projeleri için öneri, proje yönetimi ve finansman modeli oluşturulmuştur.

1.1. Gayrimenkul Geliştirme

Gayrimenkul geliştirme, çevreyi şekillendiren, düzenleyen, yön veren aynı zamanda politik, ekonomik, sosyal, yasal, fiziksel birçok bileşene bağlı canlı ve evrimsel bir süreçtir. Üretilen projelerin biri diğerine benzemez ve süreç boyunca gerçekleşen çalışmalar sürekli değişim içindedir. Gayrimenkul geliştirme, ayrıntılarda gizli olan ve özel yetenek isteyen, yaratıcı ve karmaşık, kısmen içgüdüsel kısmen de mantıklı olabilen sanatsal bir iş koludur. Gayrimenkul geliştirme süreci disiplinler arası bir çabaya dayanmaktadır. Çeşitli disiplinler arası ilişkilerin iyi yürütülmesi başarılı bir geliştirme için şart olmaktadır (Taktak, 2010; Peiser, 1991; Gülsün, 2002; Bostancı, 2008).

Bir Gayrimenkul geliştirme projesinde yer alan ana süreç ve etkinlikler aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

- Kağıt üzerindeki sözlü düşünce ve tekliflerin araştırılarak değerlendirmeye alınması; pazar koşulları, ekonomi, inşa edilebilirlik, yasal durum ve pazarlanabilirlik açısından finansal uygulanabilirlik analizlerinin yapılması
- Pazarlama ve satış programının yapılması ve her aşamada pazar koşullarının incelenmesi
- Proje için finans kaynaklarının temin edilmesi, bütçe çıkarılması ve hedeflerin belirlenmesi
- Tasarımın ve yapımın gerçekleştirilmesi
- Geliştirilen taşınmazın işletme ve yönetimi.

Gayrimenkul geliştirme projesi gerçekleştirmek için 3 önemli kaynağı bir araya getirilmelidir. Bu kaynaklar: Arazi, proje düşüncesi ve sermayedir (Taktak, 2010).

1.2. Güneş Enerjisi Nedir?

Günümüzde insanlığın ve bilgi toplumunun her alanında ihtiyaç duyulan enerjinin önemi giderek artmaktadır. Devamlı artan enerji ihtiyacının karşılanmasında mevcut kaynakların yetersiz kalmasıyla, alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları artmıştır. Fakat klasik yöntemlerle yapılan, özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, doğada geri dönüşü mümkün olmayan zararlara yol açmaktadır. Dünyada yaşanabilir ortamların korunması, iklim değişiminin sebep olduğu zararlı etkilerin yanı sıra, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan çevresel zararlarının azaltılması gibi konular tüm insanoğluna sorumluluk yüklemektedir. Bu sebeple, küresel çaplı çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojilerinin yerine, çevresel etkileri az olan, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek ihtiyaç hale gelmiştir. Güneş enerjisi bu nedenle önem kazanmıştır (D. E. K. T. M. komitesi, 2009; Varınca, 2005).

Güneş enerjisinin kullanım kolaylığı, potansiyeli, hijyeni, yenilenebilirliği ve çevrel dost olması nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran daha kolay bir şekilde yaygınlaşacak durumdadır. Diğer enerji kaynaklarına nazaran kurulum maliyetlerinin fazlalığı, düşük verim faktörü gibi benzeri bazı teknolojik ve ekonomik zorlukların aşılması, güneş enerjisini gelecekte daha cazip hale getirecektir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli son derece elverişli olmasına rağmen yeterince kullanılmamaktadır (Bahnmann, 2004; Winston, 1975).

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m²-yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (URL-1).

2. PROJENİN UYGULANACAĞI BÖLGE

Uşak İli Coğrafi Konumu olarak; Uşak, Ege Bölgesinin İçbatı Anadolu bölümünde, 38° 13" ve 38° 56" enlemleri ile 28° 48" ve 29° 57"

boylamları arasındadır. Kuzeyde Kütahya, doğusunda Afyonkarahisar, güneyinde Denizli ve batısında Manisa illeri bulunmaktadır. 5.341 km² alana sahip olan Uşak yüzölçümü itibariyle iller sıralamasında 64. sıradadır. Ülkenin yüzölçümünün % 0.7'lik kısmını oluşturmaktadır.

Murat Dağı, Bulkaz Dağı ve Ahır Dağı ilin kuzey, kuzeydoğu ve doğudaki doğal sınırlarını oluşturmakta ve arazinin batısı, Gediz vadisi ile Ege Bölgesine açılmaktadır. İl toprakları birçok vadiyle yarılmış dalgalı yaylalar görünümündedir. Bu yaylalar kuzeydoğudan güneybatıya doğru alçalarak bazı kesimlerde dalgalı bir görünüş seğılemektedir.

Uşak ilinin arazisi genel olarak dalgalı plato görünümündedir. Kuzey ve doğu kesimi dağlık, güney ve batı kesimi ovalar ve dalgalı arazilerden oluşmaktadır. Topraklarının % Tablo 1. Uşak İli Arazi Dağılımı

| İLÇELER | TARIM ALANI (ha) | ORMAN VE FUNDALIK (ha) | ÇAYIR VE MERA (ha) | TARIM DIŞI ARAZİ (ha) | TOPLAM |
|-----------|------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|---------|
| MERKEZ | 87.801 | 39.432 | 3.120 | 6.294 | 136.647 |
| BANAZ | 33.949 | 66.948 | 3.000 | 2.403 | 106.300 |
| EŞME | 43.170 | 62.286 | 21.365 | 3.632 | 130.453 |
| KARAHALLI | 14.734 | 12.045 | 3.205 | 2.316 | 32.300 |
| SIVASLI | 27.358 | 18.655 | 1.561 | 1.026 | 48.600 |
| ULUBEY | 35.102 | 37.312 | 4.586 | 2.800 | 79.800 |
| TOPLAM | 242.114 | 236.678 | 36.837 | 18.471 | 534.100 |
| YÜZDESİ | 45,33 | 44,31 | 6,9 | 3,46 | 100 |

Fiziki Yapısı itibariyle; Uşak İli 5.341 km² yüzölçümüne sahiptir. 5 ilçe, 6 Belde, 256 Köy ve 298 Köy Bağılısından oluşan bir ilimizdir.

Uşak'ın komşuları olan Kütahya ve Afyonkarahisar gibi İç Anadolu ile Ege Bölgesi arasında geçiş bölümünü oluşturur. Kuzeyinde Şaphane, Kuzeydoğusunda Murat Dağı, Güneydoğuda Bulkaz Dağı ile çevrilidir. Uşak-Kütahya il sınırını oluşturan Murat Dağı volkanik yapılıdır. Bu Dağın batı eteğinde kaplıcalar bulunmaktadır.

Konumundan dolayı Akdeniz iklimi ile İç Anadolu'nun karasal iklimi arasında olduğu için bitki örtüsü de buna uygun durum göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise iç Anadolu'ya göre daha ılık geçen bir

karasal iklim egemendir. Ege Denizi üzerinden gelen bulutların getirdiği yağışlar, il iklimini Orta Anadolu ikliminden ayırır (URL-3).

57.5'i platolardan, % 37'si dağlardan ve % 5,5'i de ovalardan meydana gelmektedir. (Tablo 1.)

Zengin bitki örtüsü, sıcak-soğuk su kaynakları ve doğal güzelliklere sahip olan Murat Dağının zirvesini 2309 m. kotunda bulunan Kartaltepe oluşturmaktadır. Zirve kısmı Kütahya ili sınırları içinde bulunan Murat Dağı'nın Uşak sınırları içerisinde kalan tepelik alanlarının ortalama yükselliği 1500 m. civarındadır.

Bulkaz Dağı, Sivaslı ilçesinin doğu ve güneydoğusunda bulunmaktadır. Zirve noktası 1930 m. de bulunan dağın yapısında kireçtaşları hâkim durumdadır. Bulkaz Dağı, aynı zamanda Uşak-Afyonkarahisar illerinin doğal sınırını oluşturmaktadır. Zengin su kaynaklarına sahip olan dağ, bitki örtüsü açısından fakirdir. (URL-2).

Ulaşım açısından; Karayolu ile, İl tamamında 294 km si il, 173 km si devlet olmak üzere karayolu ağı 467 km'dir. Uşak, Ankara-İzmir Karayolu üzerindedir. Bu yolun bütünü bölünmüş yol olarak tamamlanarak ulaşım açılmıştır. Diğer karayolu bölümlerinde onarım çalışmaları devam etmektedir. Uşak il ve devlet yollarında Uşak-Banaz 62 km, Uşak-Kula 54 km, Uşak-Sivaslı 7 km, Uşak-Ulubey 5.5 km, olmak üzere toplam 128.5 km. bölünmüş yol bulunmaktadır. Köy yolları toplamı ise 3624 km. (ham 71 km, tesviye 38 km, stabilize 1.016 km, asfalt 1378 km, köy içi tesviye yol 1.121 km.) dir.

Demiryolu ile; Afyonkarahisar-Uşak-İzmir Demiryolu da il merkezinden geçmekte olup il sınırları içindeki demiryolu uzunluğu 159 km.'dir. 1897 yılından bu tarafa hizmet veren hat, hızlı tren projesi kapsamına alınmıştır.

Havayolu ile; Ülkenin en önemli kavşak noktalarından olan Uşak, gelişen ekonomik ve

sosyal yapı ile ege de bir eğitim kültür merkezi olma yolundadır. Şehir Merkezine 7 km uzaklıkta doğu batı konumunda kurulan Uşak Havalimanı, deniz seviyesinden 2898 feet (883 m.) yükseklikindedir. Yaz-Kış mevsimlerinde belirlenen uçuş tarifelerine göre hizmet veren havalimanı ilk olarak 20 Haziran 1998 tarihinde sivil hava ulaşımına açılmıştır. 2002 yılında kapatılan havalimanı daha sonra 2006 yılında tekrar sivil hava ulaşımına açılmıştır. 2560 x 30 metre pist uzunluğu vardır. Terminal Binası Toplam Büyüklüğü 1.460 m²'dir (URL-4).

Tablo 2. İklim Haritası

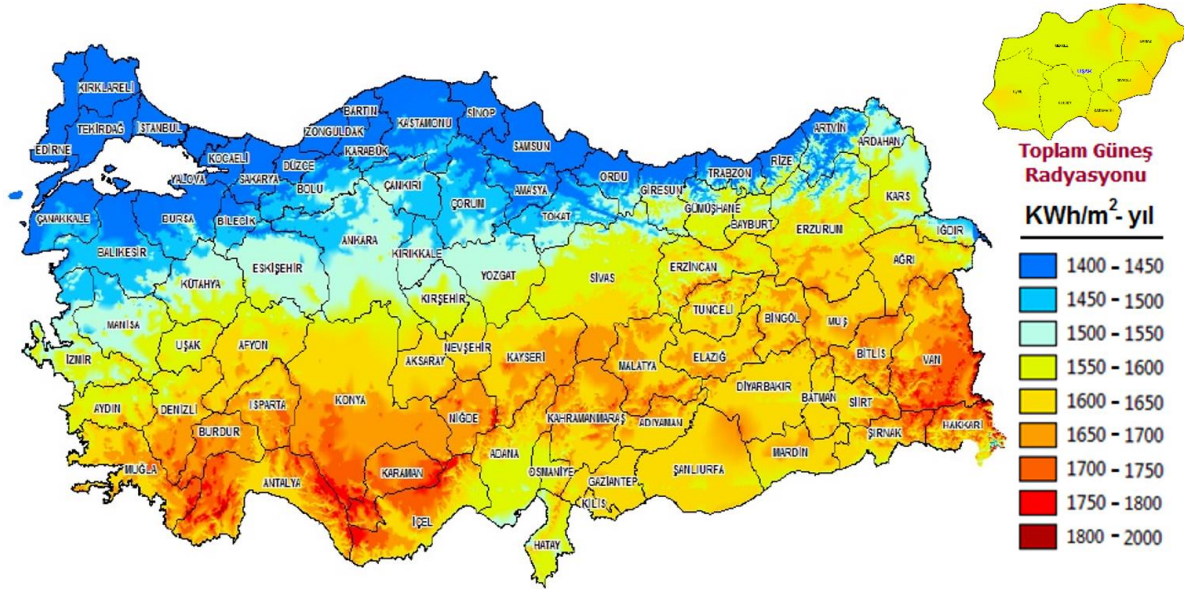
| USAK | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Son İklim Periyoduna (1939 - 2016) Göre | | | | | | | | | | | | | |
| Ort. Sıcaklık (°C) | 2.2 | 3.2 | 6.0 | 10.8 | 15.7 | 20.2 | 23.5 | 23.5 | 19.0 | 13.3 | 8.0 | 4.0 | 12.5 |
| Ort. En Yük. Sic. (°C) | 6.8 | 8.1 | 11.6 | 16.7 | 21.7 | 26.5 | 30.2 | 30.5 | 26.2 | 20.2 | 14.0 | 8.7 | 18.4 |
| Ort. En Düşük Sıcaklık (°C) | -1.3 | -0.7 | 1.3 | 5.2 | 9.2 | 12.6 | 15.4 | 15.5 | 11.8 | 7.9 | 3.8 | 0.6 | 6.8 |
| Ort. Güneşlenme Süresi (saat) | 4.0 | 4.5 | 5.4 | 7.0 | 9.0 | 11.1 | 12.1 | 11.4 | 9.5 | 7.3 | 5.3 | 3.5 | 90.1 |
| Ort. Yağışlı Gün Sayısı | 12.5 | 11.1 | 10.9 | 10.3 | 9.8 | 5.4 | 2.6 | 1.9 | 3.2 | 6.7 | 8.2 | 12.9 | 95.5 |
| Aylık Top. Yağış Mik. Ort. (mm) | 74.9 | 66.0 | 58.8 | 50.4 | 48.3 | 27.7 | 14.9 | 9.6 | 16.3 | 40.4 | 58.7 | 81.7 | 547.7 |
| Son İklim Periyoduna (1939 - 2016) Göre | | | | | | | | | | | | | |
| En Yük. Sıcaklık (°C) | 18.3 | 23.6 | 27.0 | 30.0 | 32.1 | 36.6 | 40.2 | 38.2 | 35.7 | 32.6 | 26.0 | 21.8 | 40.2 |
| En Düşük Sıcaklık (°C) | -19.9 | -15.0 | -12.5 | -6.2 | -1.0 | 2.9 | 7.4 | 6.8 | 2.0 | -4.8 | -11.8 | -18.9 | -19.9 |

2.1. Uşak İli GES Uygulanabilirliği Açısından Değerlendirilmesi

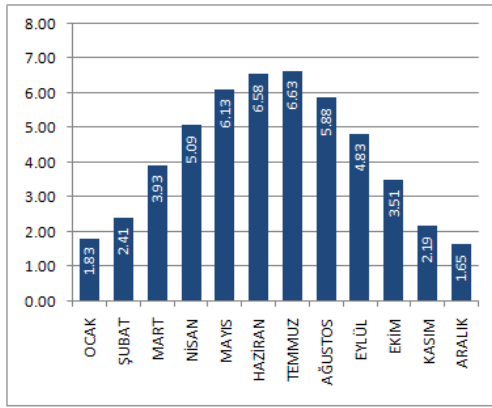
Uşak İline düşen yıllık ışınım miktarı 1 m² alana 1550-1600 yer yer 1650 kWh/m²-yıl dır. (Şekil 1a) Ülke ortalamasının 1350kWh/m²-yıl olduğu düşünülürse Uşak güneş enerjisi alanında yatırım yapmak için uygun üretim koşullarına en uygun illerimizden biridir. Almanya en çok

İklim şartları açısından; Uşak iklimi Ege ve İç Anadolu bölgeleri arasında bir geçiş özelliği gösterir. Daha çok karasal iklim hüküm sürer. Yazları sıcak, kışları uzun ve sert geçer. Senelik yağış miktarı 430 mm ile 700 mm arasındadır. Sıcaklık -24°C ile +39,8°C arasında seyrederek 0°C altında geçen gün sayısı 70'dir. Yağışların çoğunu kışın alır. Yazın yağış oldukça azdır (Tablo 2) (URL-5).

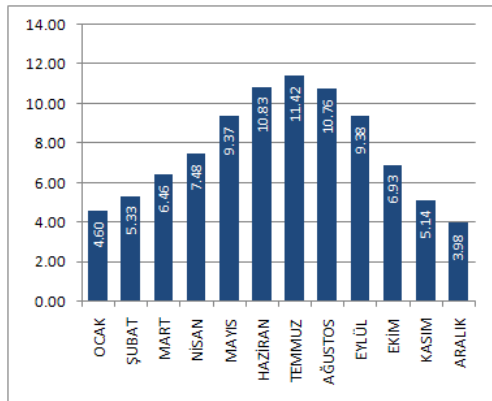
1130 kWh/m²-yıl ışınım miktarına sahiptir. Ancak, Dünyadaki güneş enerji sistemlerine en fazla yatırım yapan ülkedir. Uşak bölgesinde yapılan Şebekeye Paralel Fotovoltaik yatırımların mevcut teşvikler ve doğru tasarlanmış sistemler ile en fazla 10 yıl içerisinde kendisini amorti edeceği öngörülmektedir. Günümüz teknolojisi ile üretilen sistemlerin doğru tasarlanması halinde 25 yıl ömürlü sistemler olduğu düşünülürse, kurulan sistemler yatırımcıyı kara geçireceği bilinmektedir (URL-6).



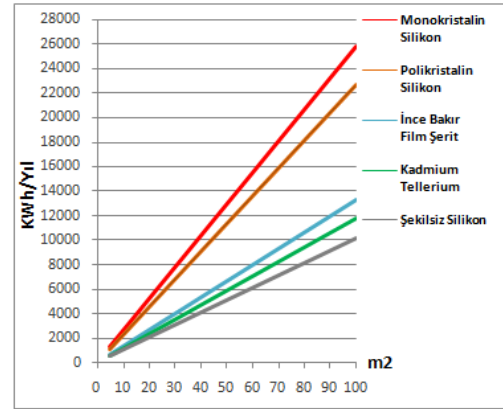
Şekil 1a. Türkiye Güneş Radyasyon Haritası



Şekil 1b. Uşak Global Radyasyon Değeri (kWh/m²-gün)



Şekil 1c. Uşak Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 1d. UŞAK PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)

2.2. Uşak Güneş Enerjisi Santralleri

Uşak ilinde, aktif üç ve yapım aşamasında üç olmak üzere toplam 6 güneş enerjisi santrali (Tablo 3, Tablo 4) bulunmaktadır.

Tablo 3. Aktif Güneş Enerji Santralleri (URL-7)

| Santral Adı | İl - İlçe | Kurulu Güç |
|--|--------------|------------|
| Akm, Anadolu ve Molino Güneş Enerji Santrali | Uşak, Merkez | 2,85 MW |
| Masfen 558, 585 ve PE 558, 585 GES | Uşak, Merkez | 4,80 MW |
| Ahmetler Mepa, Engolde, Engolde Gedikler, Özener, Gürden GES | Uşak, Eşme | 3,00 MW |

Tablo 4. Yapım Aşamasındaki Güneş Enerji Santralleri (URL-7)

| Santral Adı | İl - İlçe | Kurulu |
|-------------|-----------|--------|
|-------------|-----------|--------|

| | | Güç |
|---------------------------------|-----------------|------------|
| T Dinamik Enerji Uşak Aktaş GES | Uşak, Merkez | 7,00 MW |
| Çamurtarla 1-2, Köycivarı GES | Uşak, Merkez | 3,50 MW |
| Karakuyu 1-3-4-5-6 GES | Uşak, Merkez | 6,25 MW |

2.3. Güneş Enerji Santrali İçin Arazi Seçimi

GES için arazi seçiminde bulunurken dikkat edilmesi gereken hususlar (URL-8; Güçlüer, 2010);

- Arazinin eğimi,
- Arazinin özellikleri,
- DSİ sulama programının dışında olması,
- Maden arazisi statüsünde olmaması,
- Tarım dışı arazi statüsünde olması,
- Arazinin toprak türü,
- Çevresinde gölgelenmeye sebep olacak engel bulunmaması,
- Dağıtım şebekesine yakınlığı,
- Güneye cephe olması.

Şeklinde sıralanabilir. Ancak bu maddelerde dikkat etmemiz gereken bazı hususlar da vardır. Bir araziyi satın alma veya kiralama işlemi yapmak seçimin uygunluğu ve verimi açısından önemli olduğundan, arazi bulunduğu satın alma veya kiralama işlemi yapmak için aşağıdaki maddeleri değerlendirmek gerekir,

- Arazinin eğimi uygun mu? (Güneye eğimli olmasına dikkat edilmeli.)
- Ekstra arazi düzenleme veya hafriyat işlemi çıkacak mı?
- Araziye ulaşım için yol var mı?
- DSİ sulama arazisinde mi?
- Tarımsal arazi statüsünde mi? (Çevresinde ekili tarla olup olmadığı belirleyici etkenlerdir.)

2.5. Konum Analizi

Gayrimenkul geliştirme projelerinde; en avantajlı proje seçimin yapılabilmesi için çalışma bölgesinde farklı alternatiflerin konumsal analiz değerlendirmelerinin yapılması gereklidir. Bu çalışmada 3 alternatif üzerinde durulmuştur.

2.5.1. Alternatif 1

Proje Kapsamında Uşak Merkez ilçesi Derbent Köyü Ortaburun Mevkii 117 Ada 23 Parsel üzerinde 1950 kW gücünde lisanssız GES santrali kurulması düşünülmektedir (Şekil 2a, 2b, 2c).

- Arazide gölgeleme yapabilecek cisim var mı?
- Arazinin ön zemin etüdü yapılmalıdır.
- Arazinin satın alınmasında veya kiralanmasında sorun var mı? (Mirasçılarının çok olması, ipotek, şerh konulması gibi unsurlar takip edilmelidir.)
- Arazinin çevresindeki yapılar toz ve kirlenmeye sebep olur mu?
- Elektrik Altyapısının uygun olup olmadığı araştırılmalıdır.
- Bölgedeki hava şartları uygun mudur?

2.4. Güneş Enerji Santrali Kurulumu için Yasal Süreç

GES kurulacağı arazi tespiti yapıldıktan sonra gerekli yasal izinlerin alınması gerekmektedir. Yasal izin süreci yaklaşık 4-6 ay sürmektedir.

1. Aşama; Elektrik Dağıtım A.Ş.'e Başvuru Yapılması ve Çağrı Mektubunun Alınması

2. Aşama: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin (TEDAŞ) Projeyi onaylaması ve Elektrik Dağıtım A.Ş. ile Bağlantı Anlaşmasının Yapılması

3. Aşama: TEDAŞ'ın Geçici Kabulü yapması ve Elektrik Dağıtım A.Ş. ile Sistem Kullanım Anlaşmasının Yapılması

GES kurmak için yapılacak işlemler sırasıyla; Tarım dışı arazi kullanım izni

- Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) muafiyet veya ÇED yazısı
- Elektrik Dağıtım A.Ş.'tan bağlantı görüşü
- TEDAŞ proje onayı
- TEDAŞ'a tesis kabulü yaptırmak

Projeyi onaylattıktan sonra, Elektrik Dağıtım A.Ş. ile bağlantı anlaşması imzalayarak GES sahada kurulum aşamasına geçilebilir (Büyükzeren v.d., 2015).

Çalışma alanı Uşak ilinin Kuzey Batısında yer almaktadır. Uşak il merkezine 36 km mesafededir. Çevre illere ulaşım karayolu ile yapılmaktadır. Ulaşım olanakları yaz kış sürekli olmaktadır. Çalışma alanına ulaşım problemi bulunmamaktadır. Proje alanı yazları kurak ve sıcak kışları soğuk ve yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış 560,6 mm civarındadır. Yıllık ortalama sıcaklık ise 20 derecedir. Proje sahası ve civarında don derinliği 50-60 cm civarındadır. 24.100 m² alana sahip tarla niteliğinde olan arazinin saha üzerinde şev hareketliliği, kaya düşmesi gibi problemler beklenmemektedir. Arazinin genel olarak eğimi % 1-30° arasında değişmektedir. Proje alanına en yakın yerleşim alanı olan Derbent Köyü'nün büyük kısmı tarım ve hayvancılık yaparak geçimini sağlamaktadır.



Şekil 2a. Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası



Şekil 2b. Çalışma Alanı Uydu Görüntüsü

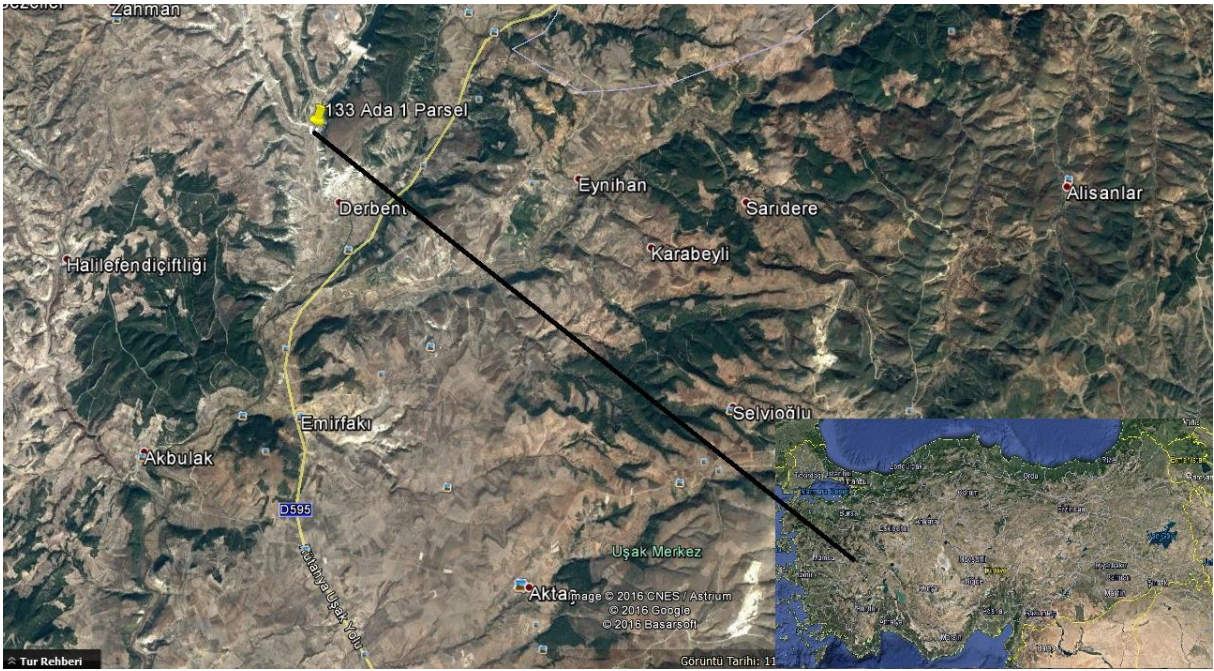


Şekil 2c. Çalışma Alanından Görünüm

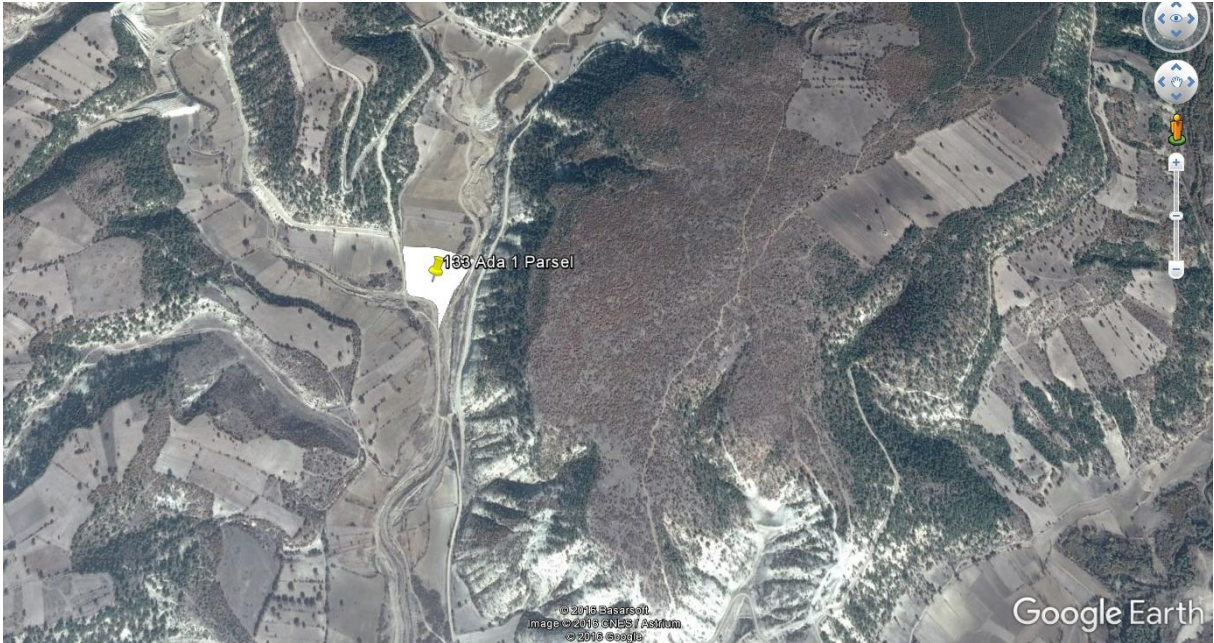
2.5.2. Alternatif 2

Proje kapsamında Uşak Merkez ilçesi Derbent Köyü Camii deresi Mevki 133 Ada 1 Parsel üzerinde 1950 kW gücünde lisanssız GES santrali kurulması düşünülmektedir (Şekil 3a, 3b).

Çalışma alanı Uşak ilinin Kuzey Batısında yer almaktadır. Uşak il merkezine 34,5 km mesafededir. Çevre illere ulaşım karayolu ile yapılmaktadır. Ulaşım olanakları yaz kış sürekli olmaktadır. Çalışma alanına ulaşım problemi bulunmamaktadır. Proje alanı yazları kurak ve sıcak kışları soğuk ve yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış 560,6 mm civarındadır. Yıllık ortalama sıcaklık ise 20 derecedir. Proje sahası ve civarında don derinliği 50-60 cm civarındadır. 23.000 m² alana sahip tarla niteliğinde olan arazinin saha üzerinde şev hareketliliği, kaya düşmesi gibi problemler beklenmemektedir. Arazinin genel olarak eğimi % 1-8° arasında değişmektedir. Proje alanına en yakın yerleşim alanı olan Derbent Köyü'nün büyük kısmı tarım ve hayvancılık yaparak geçimini sağlamaktadır.



Şekil 3a. Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası



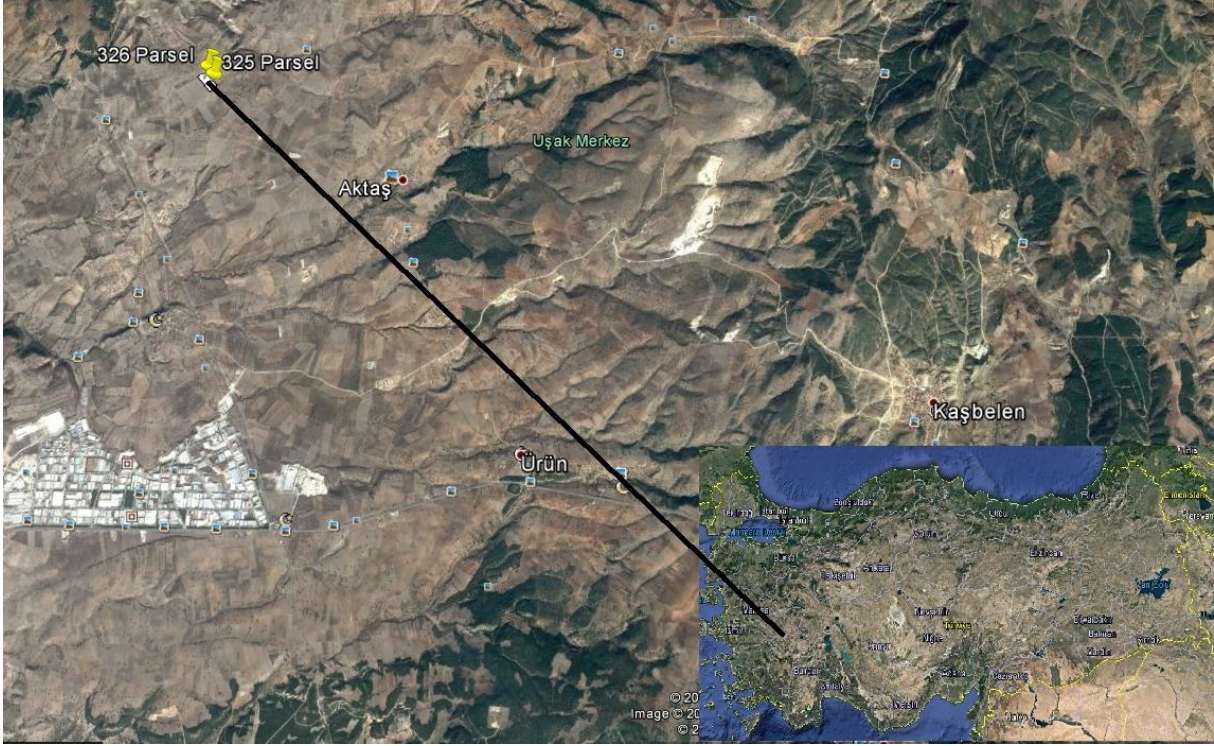
Şekil 3b. Çalışma Alanı Uydu Görüntüsü

2.5.3. Alternatif 3

Proje kapsamında, Uşak Merkez ilçesi Aktaş Köyü Köletpesi Mevki 325-326 Parseller üzerinde 1950kW gücünde lisanssız GES santrali kurulması düşünülmektedir (Şekil 4a, 4b).

Çalışma alanı Uşak ilinin Kuzey Batısında yer almaktadır. Uşak il merkezine 21,5 km mesafededir. Çevre illere ulaşım karayolu ile yapılmaktadır. Ulaşım olanakları yaz kış sürekli olmaktadır. Çalışma alanına ulaşım problemi bulunmamaktadır. Proje alanı yazları kurak ve sıcak kışları soğuk ve yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış 560,2 mm civarındadır. Yıllık ortalama sıcaklık ise 20 derecedir.

Proje sahası ve civarında don derinliği 50-55 cm civarındadır. 35.500 m² alana sahip tarla niteliğinde olan arazinin saha üzerinde şev hareketliliği, kaya düşmesi gibi problemler beklenmemektedir. Arazinin genel olarak eğimi % 1-14° arasında değişmektedir. Proje alanına en yakın yerleşim alanı olan Aktaş Köyü'nün büyük kısmı hayvancılık yaparak ve OSB'de çalışarak geçimini sağlamaktadır.



Şekil 4a. Çalışma Alanının Yer Buldu Haritası



Şekil 4b. Çalışma Alanı Uydu Görüntüsü

2.6. SWOT Analizi

İlk 1970'lerde iş yönetimi maksadıyla kullanılmaya başlayan SWOT analizi, diğer yıllarda farklı uygulama alanlarında analiz ve planlama aracı olarak kullanılmıştır. SWOT, güçlü yönler (Strengths), zayıf yönler (Weaknesses), fırsatlar (Opportunities) ve tehditler (Threats) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Mevcut yapılara ait, dört parametrenin irdelenerek analiz edilmesi ilkesi ile çalışan bu yöntemle, niceliksel ve niteliksel özelliklere ilişkin analizler yapılmaktadır. SWOT analizi, iç ve

dış durum değerlendirmesini içeren ve yönetim açısından konumunu ve önünü görebilmede büyük kolaylık sağlayan stratejik bir yöntemdir. Diğer bir söyleyişle SWOT analizi, planlamada dikkate alınan temel bilgilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır (URL 4; Newton, 2013; Karapınar, 2017).

Çalışma alanında, bu tür projenin uygulanabilirliğinin irdelenmesi ve hangi alanın uygun olduğunu belirlemek için SWOT analizi yapılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Seçilen arsaların SWOT analizi

| Alternatif 1 | Güçlü Yanları | Zayıf Yanları |
|---|--|---|
| | Arazi eğimi en ideal olan yerlerden biridir. | Tüketim tesislerine uzak olması. |
| | Tarım arazisi olarak kullanılmaması. | Dağıtım şebekesinin kapasite yetersizlikleri. |
| | DSİ sulama alanı dışında olması. | Bürokratik işleyişin uzun sürmesi |
| | Güneşlenme süresi oldukça fazla olan bölgelerden biridir. | Elektrik birim fiyatının düşük olması. |
| | Maden bölgesi içerisinde olmaması | Bakım onarım çalışmalarında personelin deneyimsiz ve yetersiz olması. |
| | Güneşlenmeye engel teşkil edecek doğal yapı ve tesislerin bulunmaması. | Hatalı montaj yapılması. |
| | Güney cephe olması. | Dağıtım şebekesindeki arızaların sık sık yaşanması. |
| | Çevresinde araziye gölgenleme yapacak ağaçların bulunmaması. | Deprem bölgesinde bulunması. |
| | Dağıtım şebekesine oldukça yakın olması. | Mücbir sebeplerin oluşması.(Aşırı yağış, fırtına, kar vb.) |
| | Ulaşımın kolay sağlanması. | |
| | Araziye ait yolun bulunması. | |
| | Fırsatlar | Tehditler |
| Teşvik bölgesinde bulunması. | Sektörün elektrik birim fiyatlarındaki belirsizlikleri. | |
| Yüksek güneşlenme süresi sayesinde tesisin verimliliği. | Zamanla işletme giderlerinin artması. | |
| Ülkenin enerji ihtiyacına katkı sağlaması. | Elektrik üretiminin zamanla veriminin düşmesi. | |
| Bölge için istihdam sağlaması. | Doğal afetlerin tesise zarar vermesi. | |

| Alternatif 2 | Güçlü Yanları | Zayıf Yanları |
|---|--|---|
| | Arazinin eğimi ideal olan yerlerden biridir. | Tüketim tesislerine uzak olması. |
| | Tarım arazisi olarak kullanılmaması. | Dağıtım şebekesinin kapasite yetersizlikleri. |
| | DSİ sulama alanı dışında olması. | Bürokratik işleyişin uzun sürmesi |
| | Güneşlenme süresi oldukça fazla olan bölgelerden biridir. | Elektrik birim fiyatının düşük olması. |
| | Maden bölgesi içerisinde olmaması | Bakım onarım çalışmalarında personelin deneyimsiz ve yetersiz olması. |
| | Güneşlenmeye engel teşkil edecek doğal yapı ve tesislerin bulunmaması. | Hatalı montaj yapılması. |
| | Güney cephe olması. | Arazinin kayalık olması. |
| | Çevresinde araziye gölgenleme yapacak ağaçların bulunmaması. | Dağıtım şebekesindeki arızaların sık sık yaşanması. |
| | Dağıtım şebekesine yakın olması. | Deprem bölgesinde bulunması. |
| | Ulaşımın kolay sağlanması. | Mücbir sebeplerin oluşması.(Aşırı yağış, fırtına, kar vb.) |
| | Fırsatlar | Tehditler |
| | Teşvik bölgesinde bulunması. | Sektörün elektrik birim fiyatlarındaki belirsizlikleri. |
| Yüksek güneşlenme süresi sayesinde tesisin verimliliği. | Zamanla işletme giderlerinin artması. | |

| | |
|--|--|
| Ülkenin enerji ihtiyacına katkı sağlaması. | Elektrik üretiminin zamanla veriminin düşmesi. |
| Bölge için istihdam sağlaması. | Doğal afetlerin tesise zarar vermesi. |

| Alternatif 3 | Güçlü Yanları | Zayıf Yanları |
|--------------------------------|--|---|
| | Arazinin eğimi ideal olan yerlerden biridir. | Tüketim tesislerine uzak olması. |
| | Tarım arazisi olarak kullanılmaması. | Dağıtım şebekesinin kapasite yetersizlikleri. |
| | DSİ sulama alanı dışında olması. | Bürokratik işleyişin uzun sürmesi |
| | Güneşlenme süresi oldukça fazla olan bölgelerden biridir. | Elektrik birim fiyatının düşük olması. |
| | Maden bölgesi içerisinde olmaması | Bakım onarım çalışmalarında personelin deneyimsiz ve yetersiz olması. |
| | Güneşlenmeye engel teşkil edecek doğal yapı ve tesislerin bulunmaması. | Hatalı montaj yapılması. |
| | Güney cephe olması. | Arazinin kayalık olması. |
| | Çevresinde araziye gölgelenme yapacak ağaçların bulunmaması. | Dağıtım şebekesindeki arızaların sık sık yaşanması. |
| | Dağıtım şebekesine yakın olması. | Deprem bölgesinde bulunması. |
| | Ulaşımın kolay sağlanması. | Mücbir sebeplerin oluşması.(Aşırı yağış, fırtına, kar vb.) |
| | Fırsatlar | Tehditler |
| | Teşvik bölgesinde bulunması. | Sektörün elektrik birim fiyatlarındaki belirsizlikleri. |
| | Yüksek güneşlenme süresi sayesinde tesisin verimliliği. | Zamanla işletme giderlerinin artması. |
| | Ülkenin enerji ihtiyacına katkı sağlaması. | Elektrik üretiminin zamanla veriminin düşmesi. |
| Bölge için istihdam sağlaması. | Doğal afetlerin tesise zarar vermesi. | |

Yapılan SWOT analizi sonucunda oluşturulan matris sisteminde; güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler ana başlıklar altındaki başlıklar incelendiğinde; diğer alternatiflere nazaran, arazi eğiminin uygun olması, dağıtım şebekesine yakın olması ve fiziki açıdan araziye tesisin kurulmasına elverişli olması gibi gerekçelerden dolayı, Alternatif 1 isimli Derbent Köyü Ortaburun Mevki 117 Ada 23 Parsel de bulunan 24.100 m² alana sahip arazinin proje için Alternatif 2 ve Alternatif 3'e kıyasla daha avantajlı olduğuna karar verilmiştir.

2.7. Güneş Enerji Santrali Kurulum Aşamaları

Arazi tipi GES kurulumu için 5 ayrı bölümden oluşan bir yapının tesis edilmesi gerekir;

Fotovoltaik (PV) Panel: Yüzeylerine gelen güneş ışını yardımıyla doğru akım (DC) elektrik üreten yarı iletken (genellikle

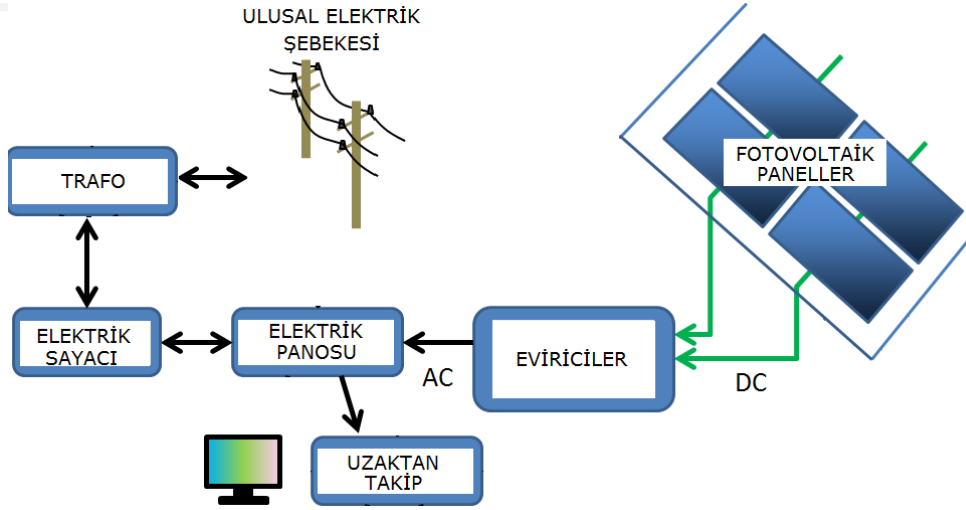
silisyum) PV hücrelerin bir panel üzerinde birleştirilmesinden oluşmaktadır.

İnvertör (Evirici): PV panellerin ürettiği doğru akım (DC) elektriği, alternatif akıma (şebeke elektriği) dönüştürür.

Panel Taşıyıcı Sistemi: Arazi ve çatı tipi olarak ikiye ayrılmakla birlikte, genellikle galvanizli çelik veya alüminyumdan mamul panel taşıyıcı sistemleri ve montaj aparatlarından oluşmaktadır.

Elektrik Panosu: Kısa devre, şebeke dalgalanmaları, aşırı gerilim gibi pozisyonlarda olumsuz etkiyi en aza indirerek, GES'in güvenli bir biçimde ağa (trafoya) bağlanması sağlar.

Trafo: Eviriciden gelen AG (400 Volt) şebekesini ulusal şebeke hattına uygun OG gerilim seviyesine (31,5 kV- 15,8 kV gibi) ayarlamasına yarar.



Şekil 5. Güneş Enerji Santrali Kurulum Planı (URL-9)

Şekil 5'de belirtilen kurulum aşaması için iş planında aşağıdaki işlem adımları takip edilmelidir:

- Arazi sahası belirlenerek, etrafı çevrilmelidir.
- Tedarik: Malzemenin temin edilmelidir. Fotovoltaik panellerin üzerine montaj edileceği konstrüksiyon sistemi projeye uygun biçimde yaptırılacaktır. Yapılan tüm montajlar tekrar kontrol edilmelidir.
- Fotovoltaik paneller yerine montaj edilerek, Fotovoltaik panellerin dc kabloları birbirine bağlanmalıdır.
- İnverterlerin planlanan yerlere montaj edilmelidir.
- Tüm inverterlerin AG bağlantı noktalarına bağlantısının yapılması.
- Tüm OG ve trafo bağlantıları yapılmalıdır.
- Baştan itibaren her nokta tekrar kontrol edilmelidir.

2.8. Proje Kapsamında Yıllık Elektrik Üretimi

Projenin Yıllık Işınım ve elektrik üretim değerleri hesaplanırken Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nin Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) verilerinden yararlanılmıştır. Elektrik üretim verisi hesaplanırken tam olarak Uşak projesinin konumunun değerleri dikkate alınmıştır.

Toplam kurulu gücü 1950 kWe (2230.8 kWp) olacak bu proje ile yılda 3.150.000,00 kWh

elektrik üretileceği öngörülmektedir. Hesaplamalar yapılırken AC çıkış gücü olan 1950 kWe dikkate alınmıştır.

Yine de panel kurulu gücünün 2230.8 kWp olduğu göz önüne alındığında üretim değerinin 3.600.000 kWh mertebesine ulaşacağı beklenmektedir. 1950 KWe Kurulu güç ve 25° sabit açılı taşıyıcı sisteme göre yapılmış elektrik üretim ve enerji hesabı aşağıda verilmiştir (URL-10).

2.9. Izgaralı PV'nin Performansı

Güneş enerjisi üretiminin PVGIS tahminleri (Tablo 4.)

Yer: 38°48'46.29" Kuzey, 29°12'41.34" Doğu, Yükseklik: 1926 m

Güneş radyasyonunda kullanılan veri tabanı: PVGIS-CMSAF (İklim İzleme Üzerinde Uydur Uygulama Tesisi)

PV sisteminin Nominal gücü: 1950,0 kW (kristal silikon)

Sıcaklık ve düşük aydınlatma nedeniyle tahmini kayıplar: % 8,3 (yerel ortam sıcaklığı kullanılarak)

Açısal yansıma etkilerinden dolayı Tahmini kaybı: % 2,6

Diğer kayıplar (kablolar, invertör vb.): % 8,0

Kombine PV sistem kayıpları: % 17,9

Sabit sistem: eğim = 25 °, yönlendirme = 0 °

Tablo 4. 1950 KWe Kurulu güç ve 25° sabit açılı taşıyıcı sisteme göre yapılmış elektrik üretim ve enerji hesabı

| AY | E _d | E _m | H _d | H _m |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ocak | 4980.00 | 154000 | 2.86 | 88.8 |
| Şubat | 5970.00 | 167000 | 3.51 | 98.2 |
| Mart | 8310.00 | 258000 | 5.01 | 155 |
| Nisan | 9050.00 | 271000 | 5.59 | 168 |
| Mayıs | 10300.00 | 319000 | 6.53 | 202 |
| Haziran | 11500.00 | 345000 | 7.43 | 223 |
| Temmuz | 12000.00 | 373000 | 7.89 | 245 |
| Ağustos | 11600.00 | 360000 | 7.63 | 237 |
| Eylül | 10300.00 | 309000 | 6.57 | 197 |
| Ekim | 8100.00 | 251000 | 5.00 | 155 |
| Kasım | 6590.00 | 198000 | 3.93 | 118 |
| Aralık | 4590.00 | 142000 | 2.67 | 82.8 |
| Yıllık Ortalama | 8620 | 262000 | 5.40 | 164 |
| Yıl için Toplam | 3150000 | | | 1970 |

E_d: Verilen sistemden ortalama günlük elektrik üretimi (kWh)

E_m: Verilen sistemden aylık ortalama elektrik üretimi (kWh)

H_d: Verilen sistemin modülleri tarafından alınan kare başına metre küresel ışınlaşmasının günlük ortalama toplamı (kWh / m²)

H_m: Verilen sistemin modülleri tarafından alınan metrekare başına küresel ışınlaşma ortalama miktarı (kWh / m²)

2.10. Yıllık Gelir

Lisanssız Elektrik Üretimi yönetmeliği kapsamında (URL-1), geliştirilen bu projede Yenilenebilir Enerji Kanunu kapsamındaki destek bedellerinden yararlanılacaktır. Üretilen her kWh başında ödenecek bedel yasa ile minimum 0,133\$ / kWh'tir. Yerli katkı payı ile bu değer daha da yükselebilmektedir. Ancak yapılan hesaplarda güvenli tarafta kalmak amacı ile olası yerli katkı payından sağlanacak fayda dikkate alınmamıştır. Yıllık 3.150.000,00 kWh elektrik üretimi ile 418.950,00 \$'lık bir satış geliri beklenmektedir.

2.11. Projenin Yatırım Maliyeti

Proje yatırım bedeli:

- Arazi bedeli,

- TEDAŞ Proje Onayı ve İmar Plan onayı izin gideri,
- İletim Hattı ve Şebeke Yatırımları,
- Ekipman tedariki ve kurulumu maliyeti olarak 4 ana kaleme toplanabilir.

Bahsi geçen 1,95 MW gücündeki projenin toplam arazi maliyeti, piyasa araştırmasına göre 70.000 \$ olarak hesaplanmıştır. TEDAŞ Projesi ile İmar Plan onayı için yapılan harcamalar ise piyasa araştırmasına göre 60.000 \$ civarındadır. İletim Hattı maliyeti ise 32.000 \$ olarak öngörülmüştür. Kurulum ve Ekipman maliyeti ise her MW başına 1.100.000 \$ olarak belirlenmiştir. Toplam Yatırım Maliyeti ise 2.347.000 \$ hesaplanmıştır.

2.12. İşletme Bakım Maliyetleri

Tesisin kurulumu sonrasında oluşacak işletme ve bakım maliyetleri tesis geri ödemesinde büyük önem arz eder. Bu kalemlerin bir kısmı sabit bir kısmı ise değişkendir. Başlıca maliyet kalemleri:

Bakım Giderleri; Yıllık cironun %2,5'u ile %9,85'i arasında değişen değerlere sahiptir. 25 yıllık proje ömrü boyunca giderek artan bir gider kalemidir.

Güvenlik Giderleri; Yıllık piyasa araştırmasına göre 24.000 \$ olarak hesap edilmiştir.

Sigorta Gideri; tesisleri olası doğal veya teknik arızalara karşı korumak amacı ile yapılan bu harcamanın değeri yatırım bedelinin %0,50'si olarak öngörülmüştür.

Yıllık Verim Düşüşü; Kullanılan fotovoltaiik güneş panellerinde her yıl %0,30 oranında bir verim düşüşü gözlemlenir ve bu da üretim değerini yıldan yıla düşürür. Tesislerin ilk yıl üretiminin 418.950,00 \$ olması öngörülürken bu değer 10. yıl itibari ile 407.773,00 \$ alacağı tahmin edilmektedir.

2.13. Finansman Modeli

Proje finansmanı için gelir temlikli yolu ile kredilendirilmesi öngörülmektedir. Yıllık Faiz'in % 4,5, öz sermaye oranının % 15 ve amortisman süresinin 10 yıl olduğu bir model üzerinde çalışılmıştır. 1+8 yıllık bir kredi kullanılarak ve yatırımın % 85'i yani 2.088.213,00 \$'lık kısmının

kredilendirilebileceği düşünülmektedir. Sağlanacak kredi şartlarına göre bu değerler değişkenlik gösterecektir. (Tablo 5.)

Tablo 5. Finansman Modeli

| Finans | Değer | Birim |
|--|--------------|-------------|
| Santral Boyutu (sabit) | 1950 | kWp |
| Elektrik Satış Bedeli (10 yıl boyunca) | 0,13 | USD/kWh |
| Elektrik Satış Bedeli (11. Yıl+) | 0,12 | USD/kWh |
| 11. Yıldan Sonra Yıllık Ortalama Zam | 2% | %/yıl |
| İlk Yıl Verimi | 1.615 | kWh/KWp |
| USD/TL Parite | 3,5 | |
| Enflasyon Oranı (USD) | 2% | |
| Toplam Yerli Teşvik Miktarı | 0 | USD/kWh |
| KW başına PV Sistemi Bedeli (sabit sistem) | 1.100 | USD/ kW |
| İletim Hattı ve Şebeke Yatırımları Bedeli | 32.000 | USD |
| Arazi Bedeli | 70.000,00 | USD/MW |
| Proje Geliştirme Hizmet Bedeli | 0 | USD/MW |
| İzin Bedelleri | 100.000 | USD |
| Toplam Yatırım Bedeli | 2.347.000 | USD |
| KDV | 109.721 | USD |
| Bakım Giderleri | (* tablodan) | % |
| Aylık Güvenlik Gideri | 1000 | USD/ay |
| Dağıtım Bedeli | 0,0158 | TL/kWh |
| Sigorta Bedeli | 0,50% | % |
| Diğer İşletme Giderleri | 1000 | USD/MW/ yıl |
| Ödeme Planı | 1+8 | Yıl |
| Yıllık Verim Düşüş Oranı | 0,30% | % |
| Faiz Oranı | 4,50% | % |
| Öz sermaye/Yatırım Oranı | 15,00% | % |
| Yıllık Amortisman Oranı | 10% | % |

Tablo 6. Bakım Giderleri ve Garanti Süreleri

| Yıllar | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Bakım Gideri Yüzdesi | 2,50 | 2,50 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 7,00 | 7,15 | 7,30 | 7,45 | 7,60 | 7,75 | 7,90 | 8,05 | 8,20 | 8,35 | 8,50 | 8,65 | 8,80 | 8,95 | 9,10 | 9,25 | 9,40 | 9,55 | 9,70 | 9,85 | |
| EPC Garantisi | Garanti | Garanti | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Invertör Garantisi | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Panel Ürün Garantisi | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | | | | | | | | | | | | | |
| Panel Performans Garantisi | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti | Garanti |

Tablo 7. İşletme Bakım Giderleri

| İşletme Giderleri (USD) | 1.Yıl | 2.Yıl | 3.Yıl | 4.Yıl | 5.Yıl | 6.Yıl | 7.Yıl | 8.Yıl | 9.Yıl | 10.Yıl | 11.Yıl | 12.Yıl | 13.Yıl | 14.Yıl | 15.Yıl | 16.Yıl | 17.Yıl | 18.Yıl | 19.Yıl | 20.Yıl | 21.Yıl | 22.Yıl | 23.Yıl | 24.Yıl | 25.Yıl |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Bakım Giderleri | 10.474 | 10.442 | 24.986 | 24.911 | 24.837 | 28.889 | 29.420 | 29.947 | 30.471 | 30.991 | 31.508 | 32.021 | 32.531 | 33.038 | 33.541 | 34.041 | 34.538 | 35.032 | 35.522 | 36.009 | 36.493 | 36.973 | 37.451 | 37.925 | 38.396 |
| Güvenlik Giderleri | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 |
| Dağıtım Bedeli | 16.426 | 16.376 | 16.327 | 16.278 | 16.230 | 16.181 | 16.132 | 16.084 | 16.036 | 15.988 | 15.940 | 15.892 | 15.844 | 15.797 | 15.749 | 15.702 | 15.655 | 15.608 | 15.561 | 15.514 | 15.468 | 15.421 | 15.375 | 15.329 | 15.283 |
| Sigorta | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 | 11.735 |
| Diğer İşletme Giderleri | 1.000 | 1.020 | 1.040 | 1.061 | 1.082 | 1.104 | 1.126 | 1.149 | 1.172 | 1.195 | 1.219 | 1.243 | 1.268 | 1.294 | 1.319 | 1.346 | 1.373 | 1.400 | 1.428 | 1.457 | 1.486 | 1.516 | 1.546 | 1.577 | 1.608 |
| Toplam İşletme Gideri | 51.634 | 51.574 | 66.089 | 65.986 | 65.884 | 69.909 | 70.413 | 70.914 | 71.413 | 71.908 | 72.401 | 72.891 | 73.379 | 73.863 | 74.345 | 74.824 | 75.301 | 75.775 | 76.246 | 76.715 | 77.182 | 77.645 | 78.107 | 78.566 | 79.022 |

Tablo 8. Yıllık Gelirler (Satışlar)

| Satış (USD) | Yıl 1 | Yıl 2 | Yıl 3 | Yıl 4 | Yıl 5 | Yıl 6 | Yıl 7 | Yıl 8 | Yıl 9 | Yıl 10 | Yıl 11 | Yıl 12 | Yıl 13 | Yıl 14 | Yıl 15 | Yıl 16 | Yıl 17 | Yıl 18 | Yıl 19 | Yıl 20 | Yıl 21 | Yıl 22 | Yıl 23 | Yıl 24 | Yıl 25 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| kWh Üretilen | 3.150.000 | 3.140.550 | 3.131.128 | 3.121.735 | 3.112.370 | 3.103.033 | 3.093.724 | 3.084.442 | 3.075.189 | 3.065.963 | 3.056.766 | 3.047.595 | 3.038.453 | 3.029.337 | 3.020.249 | 3.011.188 | 3.002.155 | 2.993.148 | 2.984.169 | 2.975.216 | 2.966.291 | 2.957.392 | 2.948.520 | 2.939.674 | 2.930.855 |
| Satış Elektrik Bedeli | 418.950 | 417.693 | 416.440 | 415.191 | 413.945 | 412.703 | 411.465 | 410.231 | 409.000 | 407.773 | 406.550 | 405.330 | 404.114 | 402.902 | 401.693 | 400.488 | 399.287 | 398.089 | 396.894 | 395.704 | 394.517 | 393.333 | 392.153 | 390.977 | 389.804 |
| Satış Yerli Katkı Ödemesi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Toplam Satış | 418.950 | 417.693 | 416.440 | 415.191 | 413.945 | 412.703 | 411.465 | 410.231 | 409.000 | 407.773 | 406.550 | 405.330 | 404.114 | 402.902 | 401.693 | 400.488 | 399.287 | 398.089 | 396.894 | 395.704 | 394.517 | 393.333 | 392.153 | 390.977 | 389.804 |

Tablo 9. Nakit Akış Tablosu

| İL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | TOPLA M | |
|---------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|
| Öz sermaye (+) | 368.508 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 368.508 |
| Banka Kredisi (+) | 2.088.213 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.088.213 |
| Yatırım Giderleri KDV'siz | 2.347.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yatırım KDV'si | 109.721 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yatırım Giderleri (-) | 2.456.721 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.456.721 |
| Satışlar (+) | 418.95 | 417.693 | 416.44 | 415.191 | 413.945 | 412.703 | 411.465 | 410.231 | 409 | 407.77 | 406.55 | 405.33 | 404.11 | 402.9 | 401.69 | 400.49 | 399.29 | 398.09 | 396.89 | 395.7 | 394.52 | 393.33 | 392.15 | 390.98 | 389.8 | 10.105.226 | |
| Satışların KDV'si | 75.411 | 75.185 | 74.959 | 74.734 | 74.51 | 74.287 | 74.064 | 73.842 | 73.62 | 73.399 | 73.179 | 72.959 | 72.741 | 72.522 | 72.305 | 72.088 | 71.872 | 71.656 | 71.441 | 71.227 | 71.013 | 70.8 | 70.588 | 70.376 | 70.165 | 1.818.941 | |
| İşletme Giderleri (-) | -51.634 | -51.574 | -66.089 | -65.986 | -65.884 | -69.909 | -70.413 | -70.914 | -71.413 | -71.908 | -72.4 | -72.89 | -73.379 | -73.863 | -74.345 | -74.824 | -75.301 | -75.775 | -76.246 | -76.715 | -77.182 | -77.645 | -78.107 | -78.566 | -79.022 | -1.791.987 | |
| İşletme Giderleri KDV'si | -4.225 | -4.223 | -6.845 | -6.835 | -6.825 | -7.559 | -7.658 | -7.757 | -7.856 | -7.953 | -8.051 | -8.148 | -8.244 | -8.34 | -8.435 | -8.53 | -8.624 | -8.718 | -8.811 | -8.904 | -8.996 | -9.088 | -9.179 | -9.27 | -9.361 | | |
| Kredi Ödemeleri (-) | -93.97 | -343.25 | -331.5 | -319.76 | -308.01 | -296.27 | -284.52 | -272.77 | -261.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | -2.511.076 |
| Ana Para* | 0 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | -261.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | -2.088.213 |
| Faiz | -93.97 | -82.223 | -70.477 | -58.731 | -46.985 | -35.239 | -23.492 | -11.746 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | -422.863 |
| Dönemsel KDV Tahakkuk | 71.186 | 70.962 | 68.114 | 67.899 | 67.685 | 66.728 | 66.405 | 66.084 | 65.764 | 65.446 | 65.128 | 64.812 | 64.497 | 64.183 | 63.87 | 63.558 | 63.248 | 62.938 | 62.63 | 62.323 | 62.017 | 61.712 | 61.408 | 61.106 | 60.804 | 1.620.506 | |
| Yıllık Net nakit | 344.532 | 93.831 | 86.961 | 97.346 | 107.735 | 113.257 | 122.939 | 132.629 | 142.324 | 401.31 | 399.28 | 397.25 | 395.23 | 393.22 | 391.22 | 389.22 | 387.23 | 385.25 | 383.28 | 381.31 | 379.35 | 377.4 | 375.46 | 373.52 | 371.59 | 12.166.407 | |
| Kümülatif Nakit | 344.532 | 438.363 | 525.324 | 622.67 | 730.405 | 843.662 | 966.601 | 1099.23 | 1241.55 | 1642.9 | 2042.1 | 2439.4 | 2834.6 | 3227.8 | 3619.1 | 4008.3 | 4395.5 | 4780.8 | 5164 | 5545.4 | 5924.7 | 6302.1 | 6677.6 | 7051.1 | 7422.7 | | |

3. SONUÇ

Gerekli kaynağa sahip ve ihtiyaç duyacağı ek kaynağı temin edebilecek yatırımcılar, kaynaklarını kuşkusuz riski düşük ve getirisi büyük yatırım alanlarında değerlendirmek isterler. Bu itibarla öngörülen sermaye yatırımı için karar verilmeden önce “Gayrimenkul Geliştirme” çalışması yapılması mutlak zorunluluk arz etmektedir. Ön çalışma, bir yatırım fikrinin yatırımcının yatırım yapma kararının kesinleştirilmesinden önce proje ile ilgili olarak yapacağı her türlü ekonomik ve teknik çalışmaları kapsar. Ön çalışmaların yatırımcı tarafından olumlu bulunması neticesinde yatırımcı ayrıntılı bir çalışma olan Gayrimenkul Geliştirmeye yönelik girişimlerde bulunur.

Örnek yatırım yeri olarak düşünülen Uşak'ta GES tesisi sayısı çok azdır. Diğer taraftan Yenilenebilir Enerji Kanunu'na göre GES'lerden elde edilen elektrik için devlet tarafından alım garantisi verilmesi de yatırımı cazip kılmaktadır. Projenin sabit yatırım tutarı ve sağlanacak hizmete olan talep dikkate alındığında ihtiyaç duyulan kaynakların (öz kaynak, kredi, hibe vb.) temininde herhangi bir sıkıntı yaşanması beklenmemektedir.

Gayrimenkul Geliştirme amaçlı örnek bir çalışma olan, GES projesi için Alternatifler içinden seçilen yatırım yerinin, Uşak iline 36 km mesafede bulunan Merkez Derbent Köyünde 24.100 m² alana Güneş Enerji Santrali kurulumu yapılabilmesi için bir ön fizibilite çalışması yapılmıştır. Uşak bölgesinde yapılan Şebekeye Paralel Fotovoltaik yatırımların mevcut teşvikler ve doğru tasarlanmış sistemler ile yaklaşık olarak 10 yıl içerisinde kendisini amorti edeceği öngörülmektedir. Projenin risk faktörü göz önüne alınarak ekonomik ömrü yaklaşık 25 yıl olan bu tesis 15 yıl süresince kar edeceği hesaplamalar sonucu görülmektedir.

Proje geliştirme sırasında gerçekleştirilen analizler yardımıyla, gayrimenkul projelerinin artan karmaşıklığı ortadan kaldırılabilen, olası sorunlar projeye başlamadan görülerek mevcut projede çözümler aranmakta ya da

alternatif projeler geliştirilebilmektedir. Verimli kullanıma ilişkin çözüm yaklaşımları oluşturulabilmekte ve uygulanmaktadır. Bu tür gayrimenkul geliştirme çalışmaları, özellikle kapsamı geniş ve maliyeti yüksek projelerin sürdürülebilirliği yönünden oldukça önemli ve mutlaka yapılması gerekli bir süreçtir.

KAYNAKÇA

- Bahnemann, D. (2004). Photocatalytic water treatment: solar energy applications. *Solar energy*, 77(5), 445-459.
- Bostancı, B. (2008). Taşınmaz Geliştirmede Değer Kestirim Analizleri ve İstanbul Konut Alanı Örneğinde Bir Uygulama. *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Büyükczeren, R., Altıntaş, H. B., Martin, K., ve Kahraman, A. (2015). Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği. *EMO BİLİMSEL DERGİ*, 5(10), 9-14.
- D. E. K. T. M. Komitesi (2009). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. *EKC Form Ofset, ISBN, 978-605.*
- Güçlüer, D. (2010). Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi. *Yıldız Teknik Üniv., Fen Bil. Ens. (Doctoral dissertation).*
- Gülsün, R. (2002). Gayrimenkul Geliştirme Projeleri ve Türkiye Koşullarında Belirlenen Problemlere Yönelik Bir Gayrimenkul Geliştirme Model Önerisi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Karagöl, E. T.ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji. *(SETA) Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı. Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul.*
- Karapınar, E., ve Barakazı, M. (2017). Kültürel Miras Turizminin Sürdürülebilir Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Göbeklitepe Ören Yeri. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 5-18. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/guntad/issue/30023/324121>
- Kern, J. ve Trieb, F. (2015). BETTER–Bringing Europe and Third Countries closer

- together Through Renewable Energies A Framework for successful RES-E Expansion in NA. *European Commission, EASME; Intelligent Energy Europe (IEE) - Programme, Contract No. IEE/11/845/SI2.616378.*
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Newton, P., ve H. Newton. (2013). SWOT analysis strategy skills. 1st ed. Free Management Ebooks, Warwickshire, UK. <http://www.free-management-ebooks.com/dldebk-pdf/fme-swot-analysis.pdf> (accessed 9 Mar. 2017).
- Peiser, R.B. ve Schwanke, D. (1991). Professional Real Estate Development. *Urban Land Institute, Washington.*
- Taktak, F., ve Demir, H. (2010). Termal Otel Geliştirme: Afyonkarahisar Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 20-35.
- Ültanır, M. Ö. (1996). 21. yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi. *Bilim ve Teknik*, 340(3), 50-55.
- Varınca, K. B., ve Varank, G. (2005). Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri. *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel*, 24-25.
- Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 270-275.
- Winston, R., ve Hinterberger, H. (1975). Principles of cylindrical concentrators for solar energy. *Solar Energy*, 17(4), 255-258.
- URL-1, 2017, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>
- URL-2, 2017, Uşak ili Coğrafyası. <http://www.usak.gov.tr/cografya>
- URL-3, 2017, Uşak Fiziki yapısı. <http://www.cografya.gen.tr/tr/usak/fiziki.html>
- URL-4, 2017, Uşak Ulaşım. <http://www.usak.bel.tr/sayfa/ulasim/>
- URL-5, 2017, Resmi İstatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=USAK>
- URL-6, 2017, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/64.aspx>
- URL-7, 2017, Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. “Sistem İşletme Müdürlüğü”. <http://www.osmangaziedas.com.tr/>
- URL-8, 2017, Güneş Santrali için Arazi Seçimi. <http://www.enerjibes.com/gunes-santrali-icin-arazi-secimi/>
- URL-9, 2017, <http://makale.eceylan.com/1-mva-gunes-enerji-santrali-kurulum-asamalari/>
- URL-10, 2017, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvGIS/apps4/pvest.php>

İki Boyutlu Bazı Datum Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Mustafa HÜSREVOĞLU^{1*}, Ekrem TUŞAT²

¹Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(mustafahusrev@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 1324 – 9617

²Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(etusat@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 4130 – 3764

Öz

Birçok mühendislik projesi, kuruluş ve ülkeler yeryüzündeki konumları nedeniyle veya çalışma amaçlarına göre birbirlerinden farklı koordinat sistemleri kullanır. Günümüzde genellikle, daha önce yerel koordinat sistemleri ile belirlenmiş olan konum değerlerinin ve harita altlıklarının, global koordinat sistemleri üzerindeki karşılıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum datum dönüşümü yapmayı gerektirmektedir. Çeşitli koordinat sistemlerine ait verilerin diğer bir sistemdeki karşılığı bulunmak istendiğinde datum dönüşümü uygulanır. Datum dönüşümleri yapılırken benzerlik, afin ve projektif dönüşüm yöntemleri kullanılabilir. Her bir yöntem için ayrı işlem adımları uygulanır ve aynı işlem için sonuçlar farklı olabilir. Arazi koordinatlarının dönüşümünde benzerlik dönüşümü yaygın olarak kullanılırken, fotogrametri ile kartografya alanlarında afin ve projektif dönüşüm yöntemleri sıklıkla kullanılır. Bu çalışmada iki farklı koordinat sistemindeki karşılıkları bilinen noktalar ile arazi koordinatlarının iki boyutlu dönüşüm uygulamaları incelenmiştir. Hesaplamalar MS Excel ortamında yapılmış olup dayanak noktalarının konumları ile uygulanan yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulamalar sonucunda arazi koordinatlarının dönüşümünde projektif dönüşüm yönteminin uygun olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: datum dönüşümleri, koordinat dönüşümleri, benzerlik dönüşümü, afin dönüşümü, projektif dönüşüm

Examination of Some Two-Dimensional Datum Transformations Methods

Abstract

Many engineering projects, organizations and countries use different coordinate systems because of their position on the earth or for their working purposes. Today, there is a need for correspondences, on global coordinate systems, of the position values and map bases previously determined using local coordinate systems. This requires datum transformation. Datum transformation is applied when data of various coordinate systems are to be provided in another system. Similarity, affine and projective transformation methods can be used when datum transformations are made. Separate process steps are applied for each method and the results may be different for the same process. While similarity transformation is widely used in the transformation of land coordinates, affine and projective transformation methods are frequently used in the fields of photogrammetry and cartography. In this study, the applications of two-dimensional transformations of the known points and the terrain coordinates in two different coordinate systems were examined. Calculations were made in MS Excel environment and the positions of the reference points were compared with the applied methods. As a result of the applications, it has been determined that the projective transformation method may be suitable for transforming the terrain coordinates.

Keywords: datum transformations, coordinate transformations, similarity transformation, affine transformation, projective transformation

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Dünya çapında birçok ülke tarafından haritacılık ve ölçüm işleri için, yüzlerce yerel jeodezik koordinat sistemi geliştirilmiştir (Mitsakaki, Agatza-Balodimou, & Papazissi, 2006; Vaniček & Steeves, 1996). WGS84 (World Geodetic System 1984) gibi global jeosentrik datumlar kullanan uydularla konum belirleme (GNSS) sistemlerinin hızlı gelişimi, yaygın kullanımı ve ölçüm işlerinde rutine dönüşmesi, lokal koordinat sistemleri kullanan ülkelerin global referans sistemleri ile kendi datum sistemleri arasında dönüşüm yapma ihtiyacını ve ilgisini artırdı. Uydu teknolojileri ile birlikte kullanılan global jeosentrik datumlar, jeodezik kontrol ve gözlem ağlarının yaygın datumu olmaya başlamıştır. Ülkeler uydularla konum belirleme sistemlerinden faydalanmak için mevcut verileri ile sürekli olarak dönüşüm yapmakta veya tamamen datumlarını değiştirmektedirler. Uydu teknolojilerinin gelişimi ve eski haritaların güncellenmesi ihtiyacı ile birlikte datum dönüşümlerinin kullanımı ve önemi artmıştır (Even-Tzur, 2000; Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2007; Kwon, Bae, Choi, Lee, & Lee, 2005; Mitsakaki ve diğ., 2006; Ogaja, 2011).

Datum ve datum dönüşümü terimlerin sözlük karşılıkları şöyle verilmiştir;

Datum: 'Diğer niceliklerin hesaplanabilmesi için referans veya temel oluşturan bir grup ya da herhangi bir niceliktir. Kullanılan bir koordinat sistemini belirlemek-tanımlamak için gereken tüm nicelikleri içeren bir referanstır. Jeodezik kontrol için kullanılan koordinat sistemini belirten bir sabitler setidir'(Geodetic Glossary, 1986).

Datum dönüşümü: 'Farklı datumların nirengi ağları arasındaki bitişiklik ve örtüşme farklılıklarının sistematik olarak elimine edilmesi ve ağların döndürülerek, ölçeklenerek, merkezlerinin taşınarak birbirleri ile uygun hale getirilmesi işlemine datum dönüşümü denir'(A DOD Glossary of Mapping, Charting and Geodetic Terms, 1967).

Yeryüzü üzerinde konumların belirlenebilmesi için çeşitli koordinat sistemleri tanımlanmıştır.

Farklı koordinat sistemlerine ait koordinat verilerinin ortak bir koordinat sistemindeki karşılığının belirlenmesi istendiğinde datum dönüşümü uygulanır. Datum kelimesi, "hesaplamalarda temel olarak kullanılması kabul edilen yüzeyler için temel bilgi veya başlangıç yüzeyi ile ilgili sabit bilgiler" olarak tanımlanabilir (Şişman & Dilaver, 2005). Boyutları belirlenmiş bir elipsoit ve jeoit arasındaki ilişkinin kurulmasına 'Jeodezik Datum' adı verilir (Üstün, 1996). Datum ve referans koordinat sistemi tanımlamak aynıdır (Uzun, 2003). Bir jeodezik ağın datumu ile hem ağın temelini oluşturan referans elipsoidi hem de jeodezik ağ noktalarının koordinatının elde edileceği koordinat sistemi tanımlanmış olur. Bu nedenle iki datum arasındaki datum dönüşümü ile iki koordinat sistemi arasındaki koordinat dönüşümü aynı işlem olur (Aksoy, 1999). Koordinat dönüşümünde iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametreleri her iki sistemde de koordinatları bilinen ortak noktalardan hesaplanır. Gereğinden fazla ortak nokta bulunması durumunda bu işlem 'En Küçük Kareler' (EKK) yöntemi ile gerçekleştirilir (Akyılmaz, Acar, & Özlüdemir, 2007). Datum dönüşümleri iki yada üç boyutlu olarak yapılabilir. Dönüşüm doğruluğu genel olarak ortak noktaların sayısı ve dağılımına, her iki sistemdeki konum doğruluklarına ve kullanılan dönüşüm modeline bağlıdır (Deniz ve diğ., 2012). Bu çalışmada iki boyutlu benzerlik, afin ve projektif dönüşüm yöntemleri uygulamalı olarak incelenmiştir. Uygulama için gerekli hesaplamalar MS Excel yazılımı aracılığı ile yapılmıştır. Farklı yöntemlere ait sonuçlar ve dayanak noktası olarak belirlenen noktaların konumları dikkate alınarak sonuç veriler incelenmiştir.

1.1. İki Boyutlu Datum Dönüşümleri

İki elipsoidal datum arasındaki farklar; koordinat başlangıç nokta konumlarının farklı olması, koordinat eksenlerinin yönlendirmesinin farklı olması ve referans elipsoidinin büyüklüğü ve şeklinin farklı olması nedenleriyle meydana gelmektedir (Kahveci & Yıldız, 2012). Teorik olarak iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm, en basit şekilde kartezyen koordinatlar ile ifade edilir, eğer konumlar eğri koordinatlar ile ifade edilmiş ise denklemlerin kullanılabilmesi için ve dönüşüm hesaplamalarında netlik olması adına ilk önce koordinatlar kendi sistemlerinde

temsil ettikleri kartezyen koordinat formuna dönüştürülür (Featherstone & Vanicek, 1999; Vanıček & Steeves, 1996). Bu işleme koordinat dönüştürme denilmektedir. Datum dönüşümü kartezyen koordinatlar ile uygulanırken iki sistem arasındaki geometrik ilişki ortaya çıkar ve böylece dönüşüm yapılırken herhangi bir referans sistemine ait özellikleri dikkate almak gerekmez.

Dönüşüm işlemi benzerlik, afin ve projektif yöntemleri ile yapılabilir. Her yöntem farklı sonuçlar verebilir ve parametre değerleri farklıdır. Uygulanacak yöntem, yapılacak çalışmalara uygun şekilde seçilir.

1.1.1. Benzerlik dönüşümü

İki boyutlu benzerlik dönüşümü, Helmert dönüşümü olarak ta bilinir. Benzerlik dönüşümünden sonra gerçek şekil korunur ve genellikle ayrı referans sistemlerinde yapılan ölçümlerin ortak bir referans sistemine dönüşümü için kullanılır (Ghilani, 2011). Benzerlik dönüşümü işlemi Ghilani üç ayrı adımla açıklamıştır, bu adımlar; iki sistemde eşit boyutlar oluşturmak için ölçekleme, iki sistemin eksenlerinin paralel olması için döndürme ve ortak bir orijin oluşturmak için yapılacak ötelemedir. Ölçekleme ve döndürme için ölçek faktörü (m), dönüklük açısı (E) olmak üzere iki parametre belirlenmiştir. Bu parametrelere ek olarak yukarı ve sağa yönde yapılacak öteleme işlemi için ise iki ayrı parametre belirlenir. Böylece benzerlik dönüşümü için bu dört parametrenin hesaplanması gerekir. Dört parametrenin çözümü için bu dört parametreye karşılık gelen her iki sistemde koordinatları bilinen en az iki ortak noktaya ihtiyaç vardır (Başçiftçi & İnal, 2008).

Birinci sistem koordinatları :x, y ve ikinci sistem koordinatları :X, Y olmak üzere iki koordinat sistemi arasında uygulanacak benzerlik dönüşümünde kullanılacak bağıntı, denklem ve dönüşüm matrisleri (1-9) (Ghilani, 2011) ;

$$\begin{aligned} X &= ax-by+c \\ Y &= ay+bx+d \end{aligned} \quad (1)$$

olmak üzere ;

$a=m.\cos E$, $b=m.\sin E$, m:ölçek faktörü, E:iki sistem arasındaki dönüklük açısı.

$$m = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

$$\tan \varepsilon = \frac{a}{b} \quad (3)$$

Koordinatların düzeltme denklemleri;

$$\begin{aligned} ax_1-by_1+c &= X_1+V_{X1} \\ ay_1+bx_1+d &= Y_1+V_{Y1} \\ ax_2-by_2+c &= X_2+V_{X2} \\ ay_2+bx_2+d &= Y_2+V_{Y2} \\ &\dots \\ ax_n-by_n+c &= X_n+V_{Xn} \\ ay_n+bx_n+d &= Y_n+V_{Yn} \end{aligned} \quad (4)$$

Parametrelerin hesabı için kullanılacak dönüşüm matrisleri;

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix}_{2n \times 4}$$

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}_{4 \times 1} \quad L = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (5)$$

$$V = AX-L \quad (6)$$

a,b,c ve d bilinmeyenlerinin bulunması için X matrisi hesaplanır;

$$N=A^T P A, n=A^T P L, X=N^{-1}n \quad (7)$$

eşitliği ile bulunur. Koordinatların ortalama hatası;

$$m_o = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n-4}} \quad (8)$$

bir P noktasının konum hatası;

$$m_p = m_o \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n-2}} \quad (9)$$

xy sisteminde bir kare benzerlik dönüşümünden sonra kare olarak kalır, ancak ötelenmiş, dönmüş ve ölçek olarak değişmiştir. Buna karşın bu karenin afin dönüşümünden sonra bir paralel kenar elde edilir (Kraus, 2007).

1.1.2. Afin dönüşümü

Afin dönüşüm hesaplamalarında altı parametre kullanılır. Bunlar, yukarı ve sağa yönde ayrı ayrı olarak belirlenen iki ölçek faktörü, iki dönüklük ve iki öteleme parametreleridir. Parametrelerin çözümü için en az üç ortak nokta gerekir ve üçten fazla nokta mevcut ise en küçük kareler yöntemi uygulanabilir. Afin dönüşüm genellikle basılı haritaların sayısallaştırılması, fotogrametri uygulamalarında ve resim koordinat sistemlerinin dönüşümünde kullanılır. Bunun sebebi yukarı ve sağa yönde iki ayrı ölçek ve dönüklük parametresinin belirlenmesidir.

Birinci sistem koordinatları : x,y ve ikinci sistem koordinatları : X,Y olmak üzere iki koordinat sistemi arasında uygulanacak afin dönüşümünde kullanılacak bağıntı, denklem ve dönüşüm matrisleri (10-16) (Ghilani, 2011);

$$\begin{aligned} X &= ax+by+c \\ Y &= dx+ey+f \end{aligned} \quad (10)$$

olmak üzere, koordinatların düzeltme denklemleri;

$$\begin{aligned} ax_1+by_1+c &= X_1+V_{X1} \\ dx_1+ey_1+f &= Y_1+V_{Y1} \\ ax_2+by_2+c &= X_2+V_{X2} \\ dx_2+ey_2+f &= Y_2+V_{Y2} \\ &\dots \\ ax_n+by_n+c &= X_n+V_{Xn} \\ dx_n+ey_n+f &= Y_n+V_{Yn} \end{aligned} \quad (11)$$

Parametrelerin hesabı için kullanılacak dönüşüm matrisleri;

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}_{2n \times 6}$$

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad L = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (12)$$

$$V = AX - L \quad (13)$$

a, b, c, d, e, f bilinmeyenlerinin bulunması için X matrisi hesaplanır;

$$N = A^T P A, \quad n = A^T P L, \quad X = N^{-1} n \quad (14)$$

Koordinatların ortalama hatası;

$$m_o = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n-6}} \quad (15)$$

bir P noktasının konum hatası;

$$m_p = m_o \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n-3}} \quad (16)$$

1.1.3. Projektif dönüşüm

Projektif dönüşümde sekiz parametrenin çözümü için her iki sistemde koordinatları bilinen en az dört eşlenik noktaya ihtiyaç duyulmaktadır (Başçıftçi & İnal, 2008). Bu dönüşüm yöntemi fotogrametri alanında yaygın olarak kullanılmakla birlikte afin dönüşüm ile benzerlik gösterir.

Projektif dönüşüm uygulanırken $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3$ parametrelerinin hesabı için ilk olarak afin dönüşüm yapılır, afin dönüşüm ile $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ parametrelerinin ilk değerleri hesaplanmış olur. Projektif dönüşüme devam ederken $a_3 = b_3 = 0$ olarak kabul edilir ve dönüşüm matrislerine uygulanır, a_3 ve b_3 parametreleri bulunduktan sonra iteratif olarak sekiz parametre arasında fark görülmeyinceye

kadar işlem sürdürülür. Parametrelerin yeni değerleri ile ikinci sistemin koordinatları belirlenir.

Projektif dönüşümde A matrisi oluşturulurken x ve y değerlerinden birinci sistem ortak noktaların ortalaması x_0 ve y_0 değerlerinin farkı alınarak işleme devam edilir aynı şekilde L matrisi ise X ve Y değerleri ile ikinci sistem ortak noktalarının ortalaması X_0 ve Y_0 farkları ile oluşturulur. Bu bakımdan projektif dönüşüme başlamadan önce yapılacak afin dönüşümde de A ve L matrisleri oluşturulurken bu işlemler uygulanmalıdır.

Projektif dönüşüm için kullanılacak bağıntı, denklem ve dönüşüm matrisleri (17-23) (Ghilani, 2011);

$$X = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + 1} + X_0$$

$$Y = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + 1} + Y_0 \quad (17)$$

Parametrelerin hesabı için kullanılacak dönüşüm matrisleri;

A matrisi;

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{\partial X}{\partial a_1}\right)_0 & \left(\frac{\partial X}{\partial b_1}\right)_0 & \left(\frac{\partial X}{\partial c_1}\right)_0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{\partial X}{\partial a_3}\right)_0 & \left(\frac{\partial X}{\partial b_3}\right)_0 \\ 0 & 0 & 0 & \left(\frac{\partial Y}{\partial a_2}\right)_0 & \left(\frac{\partial Y}{\partial b_2}\right)_0 & \left(\frac{\partial Y}{\partial c_2}\right)_0 & \left(\frac{\partial Y}{\partial a_3}\right)_0 & \left(\frac{\partial Y}{\partial b_3}\right)_0 \end{bmatrix}_{2n \times 8}$$

$$\frac{\partial X}{\partial a_1} = \frac{x}{a_3x + b_3y + 1} \quad \frac{\partial Y}{\partial a_2} = \frac{x}{a_3x + b_3y + 1}$$

$$\frac{\partial X}{\partial b_1} = \frac{y}{a_3x + b_3y + 1} \quad \frac{\partial Y}{\partial b_2} = \frac{y}{a_3x + b_3y + 1}$$

$$\frac{\partial X}{\partial c_1} = \frac{1}{a_3x + b_3y + 1} \quad \frac{\partial Y}{\partial c_2} = \frac{1}{a_3x + b_3y + 1}$$

$$\frac{\partial X}{\partial a_3} = -\frac{a_1x + b_1y + c_1}{(a_3x + b_3y + 1)^2} x$$

$$\frac{\partial X}{\partial b_3} = -\frac{a_1x + b_1y + c_1}{(a_3x + b_3y + 1)^2} y$$

$$\frac{\partial Y}{\partial a_3} = -\frac{a_2x + b_2y + c_2}{(a_3x + b_3y + 1)^2} x$$

$$\frac{\partial Y}{\partial b_3} = -\frac{a_2x + b_2y + c_2}{(a_3x + b_3y + 1)^2} y \quad (19)$$

$$X = \begin{bmatrix} a_{1_0} \\ b_{1_0} \\ c_{1_0} \\ a_{2_0} \\ b_{2_0} \\ c_{2_0} \\ a_{3_0} \\ b_{3_0} \end{bmatrix}_{8 \times 1} \quad L = \begin{bmatrix} X_1 - X_0 \\ Y_1 - Y_0 \\ \dots \\ \dots \\ X_n - X_0 \\ Y_n - Y_0 \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (20)$$

$$V = AX - L \quad (21)$$

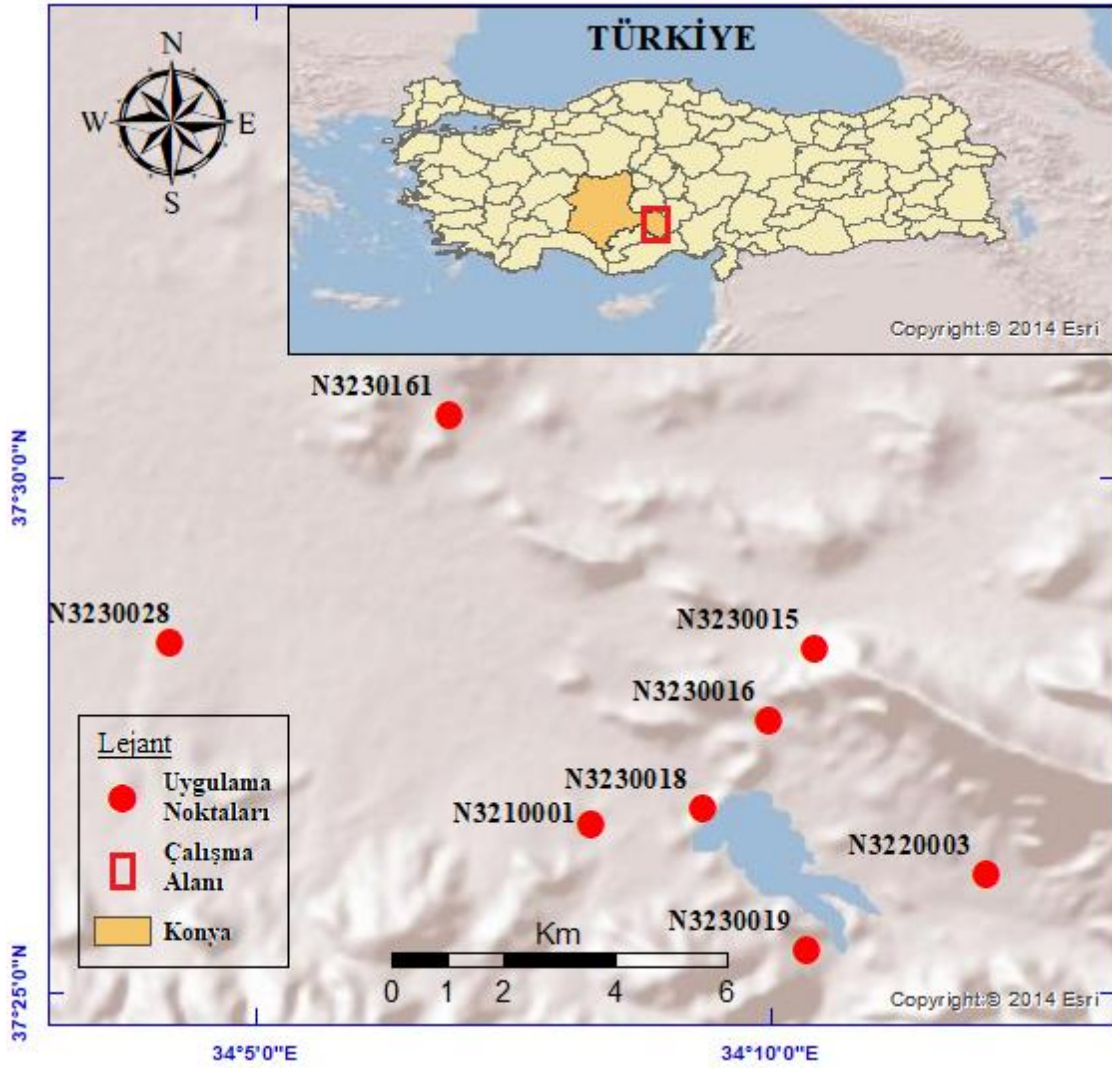
$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ parametrelerinin afin dönüşümü ile hesaplanmasının ardından, $a_3 = b_3 = 0$ kabul edilerek projektif dönüşüm için ilk A matrisi oluşturulur ve X matrisi hesaplanır. İşlemler sonucunda hesaplanan X matrisi ile yeni parametre değerleri elde edilir ve yeniden A matrisi oluşturularak, X matrisi hesaplanır. Bu işlem her işlem sonucunda elde edilen parametreler ile önceki işleme ait parametreler arasında fark görülmeinceye kadar iteratif olarak sürdürülür. Elde edilen parametreler ile ikinci sisteme ait koordinatlar hesaplanır.

Koordinatların ortalama hatası;

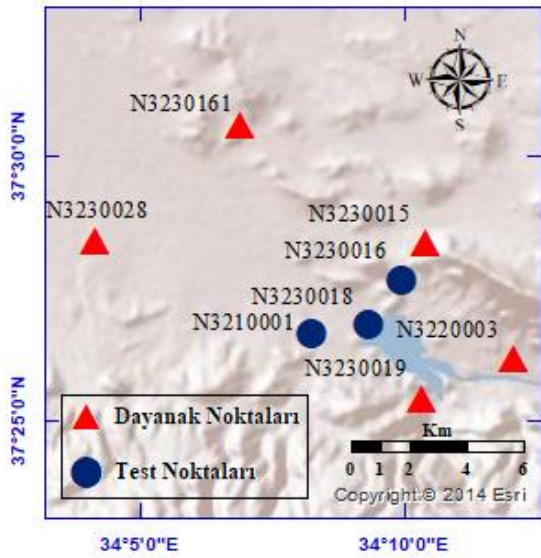
$$m_o = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n - 8}} \quad (22)$$

bir P noktasının konum hatası;

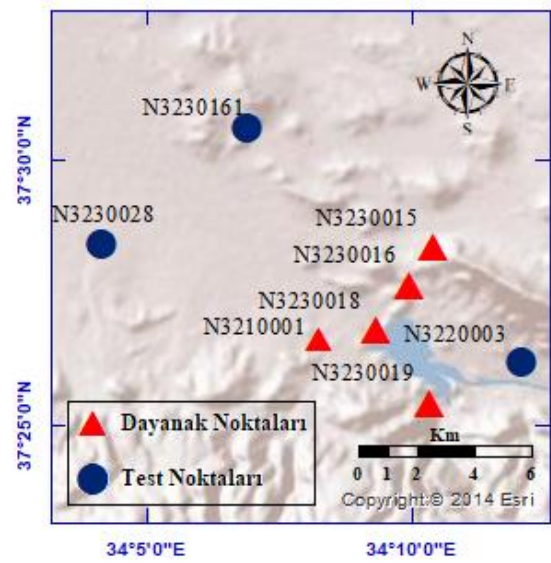
$$m_p = m_o \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n - 4}} \quad (23)$$



Şekil 1. Uygulama Noktalarının Konumları



Şekil 2. Uygulama-1 için Dayanak ve Test Noktalarının Konumları



Şekil 3. Uygulama-2 için Dayanak ve Test Noktalarının Konumları

2. UYGULAMA

Bu bölümde benzerlik, afin, ve projektif yöntemleriyle iki farklı sisteme ait arazi koordinatları arasında datum dönüşümü örneklerine yer verilmiştir.

Her yöntem için yapılacak hesaplamalar MS Excel ortamında programlanmıştır. Hesaplamalarda her iki sistemdeki koordinatları bilinen beş dayanak noktası ile parametreler hesaplanarak dönüşümlere uygulanmıştır. İki farklı uygulama ile yöntemlerin verdiği sonuçlar ve dayanak noktalarının mevcut koordinatlar arasındaki konumları dikkate alınarak sonuçlar incelenmiştir.

Dönüşümde kullanılan uygulama noktalarının arazi üzerindeki konumları ve uygulamalarda dayanak noktası olarak belirlenen noktalar Şekil 1, 2 ve 3. ile gösterilmiştir. Uygulama noktalarının 1. ve 2. sisteme ait bilinen koordinatları, 'A' ve 'L' matrisleri makale sonunda yer alan 'EK-1' ile gösterilmiştir.

3. BULGULAR

Dönüşüm sonucunda her yöntem için bulunan parametreler ve ortalama hatalar Tablo 1. ile gösterilmiştir.

Elde edilen verilere göre her iki uygulama için, dönüşüm yöntemleri arasında en düşük ortalama hata miktarı projektif dönüşüm yönteminde gözlemlenmektedir. Ayrıca mevcut koordinat ağının dışındaki noktaları dayanak noktası olarak kullanan uygulama-1, koordinat ağının içerisinde kalan noktaları dayanak noktası olarak kullanan uygulama-2'ye göre daha düşük ortalama hatalar ve düzeltme değerleri vermiştir. Dönüşümlere ait veriler Tablo 1, 2, 3 ve Tablo 4. üzerinde yer almaktadır.

Tablo 1. Dönüşüm Parametreleri ve Ortalama Hatalar

| Uyg.1 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
|------------------|--------------------|---|----------------|----|-------------------|--|
| a | 0,9999994172 | a | 0,9999997383 | a1 | 0,9999997718 | |
| b | -0,0000050449 | b | 0,0000051735 | b1 | 0,0000051927 | |
| c | 181,3745117188 | c | 179,9687500000 | c1 | 0,0004403814 | |
| d | 50,3291015625 | d | -0,0000052924 | a2 | -0,0000052727 | |
| | | e | 0,9999991575 | b2 | 0,9999991783 | |
| | | f | 51,5124511719 | c2 | -0,0003950093 | |
| | | | | a3 | 3,34524E-11 | |
| | | | | b3 | -4,66529E-12 | |
| m ₀ = | ± 0.13 cm | | ± 0.34 cm | | ± 0.03 cm | |
| Uyg.2 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
| a | 0,9999998650 | a | 0,9999999655 | a1 | 0,9999999328 | |
| b | -0,0000054445 | b | 0,0000056996 | b1 | 0,0000062115 | |
| c | 179,2799604178 | c | 178,7031250000 | c1 | 0,0008711331 | |
| d | 51,7163085938 | d | -0,0000052875 | a2 | -0,0000050497 | |
| | | e | 0,9999995123 | b2 | 0,9999992593 | |
| | | f | 51,2773437500 | c2 | 0,0002356464 | |
| | | | | a3 | 2,02944E-10 | |
| | | | | b3 | 1,01134E-10 | |
| m ₀ = | ± 0.30 cm | | ± 0.33 cm | | ± 0.03 cm | |

Tablo 2. Dönüşüm Sonrası Dayanak Noktalarının Düzeltme Miktarları

| Uyg.1 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| N.N. | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| N3230161 | -0,138 | 0,048 | 0,354 | 0,047 | 0,009 | 0,013 |
| N3220003 | -0,047 | 0,041 | 0,284 | 0,040 | -0,010 | 0,013 |
| N3230015 | -0,183 | 0,107 | 0,245 | 0,071 | -0,006 | -0,022 |
| N3230019 | 0,099 | -0,040 | 0,351 | 0,060 | 0,014 | 0,001 |
| N3230028 | -0,044 | -0,149 | 0,264 | 0,055 | -0,008 | -0,004 |
| Uyg.2 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
| N.N. | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| N3210001 | 0,426 | -0,005 | -0,243 | 0,007 | 0,009 | 0,004 |
| N3230015 | 0,307 | 0,063 | -0,248 | 0,014 | -0,013 | 0,003 |
| N3230016 | 0,261 | 0,007 | -0,324 | -0,040 | 0,030 | -0,002 |
| N3230018 | 0,243 | -0,002 | -0,382 | -0,041 | -0,030 | -0,008 |
| N3230019 | 0,344 | 0,131 | -0,267 | -0,002 | 0,004 | 0,002 |

Tablo 3. Dönüşüm Sonrası Test Noktalarının Düzeltme Miktarları

| Uyg.-1 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| N.N. | | | | | | |
| N3210001 | -0,206 | -0,053 | -0,489 | -0,178 | -0,211 | -0,073 |
| N3230016 | 0,145 | -0,027 | -0,232 | -0,04 | 0,021 | 0,048 |
| N3230018 | 0,055 | 0,004 | -0,259 | -0,073 | 0,013 | 0,018 |
| Uyg.-2 | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
| | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| N.N. | | | | | | |
| N3230161 | -0,326 | 0,395 | 0,323 | 0,194 | 0,799 | -0,495 |
| N3220003 | -0,363 | -0,27 | 0,169 | -0,07 | -0,409 | 0,044 |
| N3230028 | -0,077 | 0,605 | 0,714 | 0,329 | 0,681 | 0,273 |

Tablo 4. Dayanak ve Test Noktalarının Her Yöntem İçin Maksimum-Minimum Düzeltme Miktarları

| Dayanak Noktalarının Maksimum ve Minimum Düzeltme Miktarları | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Dönüşüm | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
| Maksimum (V) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| Uyg.1 | -0,183 | -0,149 | 0,354 | 0,071 | 0,014 | -0,022 |
| Uyg.2 | 0,426 | 0,131 | -0,382 | -0,041 | 0,03 | -0,008 |
| Minimum (V) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| Uyg.1 | -0,044 | -0,04 | 0,245 | 0,04 | -0,006 | 0,001 |
| Uyg.2 | 0,243 | -0,002 | -0,243 | -0,002 | 0,004 | 0,002 |
| Test Noktalarının Maksimum ve Minimum Düzeltme Miktarları | | | | | | |
| Dönüşüm | Benzerlik Dönüşümü | | Afin Dönüşümü | | Projektif Dönüşüm | |
| Maksimum (V) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| Uyg.1 | -0,206 | -0,053 | -0,489 | -0,178 | -0,211 | -0,073 |
| Uyg.2 | -0,363 | 0,605 | 0,714 | 0,329 | 0,799 | -0,495 |
| Minimum (V) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) | V _X (cm) | V _Y (cm) |
| Uyg.1 | 0,055 | 0,004 | -0,232 | -0,04 | 0,013 | 0,018 |
| Uyg.2 | -0,077 | -0,27 | 0,169 | -0,07 | -0,409 | 0,044 |

Dayanak noktaları için düzeltme değerleri arasında yukarı değer yönünde en yüksek düzeltme miktarı N3210001 numaralı noktada 0,426 cm ve sağa değer yönünde N3230019 numaralı noktada 0,131cm olarak belirlenmiştir. Bu düzeltme miktarları uygulama-2 sonrasında elde edilen benzerlik dönüşümü değerleridir. Dayanak noktaları için en düşük düzeltme miktarları ise projektif

dönüşüm yöntemi ile elde edilmiş olup, yukarı yönde N3230019 numaralı noktada uygulama-2 için 0,004 cm ve sağa değer yönünde N3230019 numaralı noktada uygulama-1 için 0,001 cm olarak belirlenmiştir.

Test noktaları için yukarı değer yönünde en yüksek düzeltme değeri uygulama-2 için projektif dönüşüm sonrasında N3230161 numaralı noktada 0,799 cm ve sağa değer yönünde N3230028 numaralı noktada uygulama-2 için benzerlik dönüşümü sonrasında 0,605 cm olarak belirlenmiştir. Test noktaları için en düşük düzeltme miktarları ise yukarı değer yönünde N3230018 numaralı noktada uygulama-1 için projektif dönüşüm sonrasında 0,013 cm ve sağa değer yönünde N3230018 numaralı noktada uygulama-1 için benzerlik dönüşümü sonrasında 0,004 cm olarak belirlenmiştir.

Hem dayanak hem de test noktaları için en yüksek ve en düşük düzeltme değerleri arasında afin dönüşüm yöntemine ait sonuç verisi yoktur. Afin dönüşüm yöntemi ile her iki uygulama için yakın değerler ve ortalama hatalar elde edilmiştir. Dayanak noktalarının koordinat ağındaki konumlarının durumu afin dönüşüm yöntemi için önemli farklılıklar göstermemektedir. Hesaplamalar sonucunda en yüksek ortalama hata uygulama-1 ve afin dönüşüm yöntemi ile ± 0.34 cm olarak ortaya çıkmıştır. En düşük ortalama hata ise uygulama-1 ve projektif dönüşüm yöntemi ile ± 0.03 cm olarak hesaplanmıştır. Benzerlik dönüşüm yöntemi ile ise uygulamalarda afin dönüşüm yöntemine göre daha düşük ortalama hatalar hesaplanmıştır ancak hesaplamalar sonucunda meydana gelen düzeltme miktarları arasında önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Her yöntem için uygulama-1, uygulama-2'ye göre daha uygun sonuçlar vermiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygulamalardan elde edilen bulgulara göre projektif dönüşüm yöntemi en düşük ortalama hata ve düzeltme miktarlarına sahip olan yöntem olarak belirlenmiştir. Afin dönüşüm yöntemi sonucunda ise hesaplanan düzeltme miktarları, her yöntem için ortaya çıkan maksimum ve minimum düzeltme miktarlarının arasında kalmaktadır. Hem afin hem de projektif dönüşüm yöntemi için

uygulama-1 ve uygulama-2 sonucunda ortaya çıkan değerler önemli farklılıklar göstermemektedir. Benzerlik dönüşümü için ise uygulamalar sonucunda önemli farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle arazi koordinatlarının diğer bir koordinat sistemine dönüşümünde bu çalışmada yapılan uygulamaların bulgularına göre projektif dönüşüm yöntemi ile daha uygun sonuçlar ortaya çıkmıştır. Projektif dönüşüm yöntemi için her iki sistemde koordinatları bilinen en az dört ortak nokta bilinmesi gerekirken afin dönüşüm yöntemi için en az üç bilinen ortak noktanın gerekmesi ve afin dönüşüm yönteminin projektif dönüşüm yöntemine göre uygulamalarda hesap kolaylığı sağlaması nedeniyle afin dönüşüm yöntemi de yapılan uygulamalar için uygun dönüşüm yöntemi olarak seçilebilir. Uygulama-1 ve uygulama-2 arasında yapılan karşılaştırmalara göre ise uygulama-1 de olduğu gibi dayanak noktalarının, koordinat ağını çevreleyen noktalardan seçilmesi daha uygun sonuçlar vermiştir. Koordinat dönüşümleri uygulanırken, dayanak noktalarının konumları ve uygulanacak yöntem hesaplamaların sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Uygulamaların bulgularına göre arazi koordinatlarının dönüşümü için en uygun yöntem projektif dönüşüm yöntemi olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, A. (1999). Jeodezide Değişimler. *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, 86, 40-60.
- Akyılmaz, O., Acar, M., & Özlüdemir, M. T. (2007). Koordinat Dönüşümünde En Küçük Kareler Ve Toplam En Küçük Kareler Yöntemleri. *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 97, 15-22.
- Başçiftçi, F., & İnal, C. (2008). Jeodezide Kullanılan Bazı Koordinat Dönüşümlerinin Programlanması. *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ*, 23(1), 27-40.
- Deniz, R., Çelik, R., N., Kutoğlu, H., Özlüdemir, M., T., Demir, C., & Kınık, İ. (2012). *Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*.
- A DOD Glossary of Mapping, Charting and Geodetic Terms. (1967). Washington: U. S. Army Topographic Command.
- Even-Tzur, G. (2000). Datum Definition for GPS Networks. *Survey Review*, 35(277), 475-486.
- Featherstone, W., & Vanicek, P. (1999). The Role of Coordinate Systems, Coordinates and Heights in Horizontal Datum Transformations. *Australian surveyor*, 44(2), 143-150.
- Geodetic Glossary*. (1986). Rockville, MD: National Geodetic Survey.
- Ghilani, C. D. (2011). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*: John Wiley & Sons.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems* (1 ed.): Springer-Verlag Wien.
- Kahveci, M., & Yıldız, F. (2012). *GPS/GNSS: Uydularla Konum Belirleme Sistemleri: Teori ve Uygulama* (5 ed.): Nobel.
- Kraus, K. (2007). *Fotogrametri Cilt 1* (O. Altan, S. Külür, G. Toz, H. Demirel, Z. Duran, & M. Çelikoyan, Trans.). İstanbul Teknik Üniversitesi: Nobel Yayın Dağıtım.
- Kwon, J. H., Bae, T.-S., Choi, Y.-S., Lee, D.-C., & Lee, Y.-W. (2005). Geodetic Datum Transformation to The Global Geocentric Datum for Seas and Islands Around Korea. *Geosciences Journal*, 9(4), 353-361.
- Mitsakaki, C., Agatza-Balodimou, A., & Papazissi, K. (2006). Geodetic Reference Frames Transformations. *Survey Review*, 38(301), 608-618.
- Ogaja, C. A. (2011). *Applied GPS for Engineers and Project Managers*.
- Şişman, Y., & Dilaver, A. (2005). *Datum Dönüşümünde Kalite Kontrol*. Paper presented at the 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Uzun, Y. (2003). *Üç Boyutlu Astrojeodezik Dik Koordinat Sistemlerinde Dönüşüm Modelleri ve Uyuşumsuz Ölçü Gruplarının Belirlenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Üstün, A. (1996). *Datum Dönüşümleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Vaniček, P., & Steeves, R. R. (1996). Transformation of Coordinates Between Two Horizontal Geodetic Datums. *Journal of Geodesy*, 70(11), 740-745.

EK-1

Uygulama Noktalarının 1. ve 2. Sisteme Ait Bilinen Koordinatları ;

| Nokta No | Uygulama-1 | 1. Sistem Koordinatları | | 2. Sistem Koordinatları | |
|----------|-----------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| | | x (m) | y (m) | X (m) | Y (m) |
| N3230161 | Dayanak Noktası | 4153869,344 | 598620,722 | 4154051,319 | 598649,746 |
| N3220003 | Dayanak Noktası | 4145749,901 | 606385,748 | 4145931,919 | 606414,808 |
| N3230015 | Dayanak Noktası | 4149774,186 | 603885,358 | 4149956,190 | 603914,399 |
| N3230019 | Dayanak Noktası | 4144342,828 | 603836,344 | 4144524,833 | 603865,414 |
| N3230028 | Dayanak Noktası | 4149760,923 | 594664,170 | 4149942,880 | 594693,219 |
| N3210001 | Test Noktası | 4146561,245 | 600716,849 | 4146743,231 | 600745,908 |
| N3230016 | Test Noktası | 4148459,658 | 603253,359 | 4148641,660 | 603282,408 |
| N3230018 | Test Noktası | 4146865,503 | 602317,171 | 4147047,500 | 602346,229 |

| Nokta No | Uygulama-2 | 1. Sistem Koordinatları | | 2. Sistem Koordinatları | |
|----------|-----------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| | | x (m) | y (m) | X (m) | Y (m) |
| N3210001 | Dayanak Noktası | 4146561,245 | 600716,849 | 4146743,231 | 600745,908 |
| N3230015 | Dayanak Noktası | 4149774,186 | 603885,358 | 4149956,190 | 603914,399 |
| N3230016 | Dayanak Noktası | 4148459,658 | 603253,359 | 4148641,660 | 603282,408 |
| N3230018 | Dayanak Noktası | 4146865,503 | 602317,171 | 4147047,500 | 602346,229 |
| N3230019 | Dayanak Noktası | 4144342,828 | 603836,344 | 4144524,833 | 603865,414 |
| N3230161 | Test Noktası | 4153869,344 | 598620,722 | 4154051,319 | 598649,746 |
| N3220003 | Test Noktası | 4145749,901 | 606385,748 | 4145931,919 | 606414,808 |
| N3230028 | Test Noktası | 4149760,923 | 594664,170 | 4149942,880 | 594693,219 |

Uygulamalarda Kullanılan 'A' ve 'L' Matrisleri;

Benzerlik Dönüşümü (Uygulama-1) ;

$$A = \begin{pmatrix} 4153869,344 & -598620,722 & 1 & 0 \\ 598620,722 & 4153869,344 & 0 & 1 \\ 4145749,901 & -606385,748 & 1 & 0 \\ 606385,748 & 4145749,901 & 0 & 1 \\ 4149774,186 & -603885,358 & 1 & 0 \\ 603885,358 & 4149774,186 & 0 & 1 \\ 4144342,828 & -603836,344 & 1 & 0 \\ 603836,344 & 4144342,828 & 0 & 1 \\ 4149760,923 & -594664,170 & 1 & 0 \\ 594664,170 & 4149760,923 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad L = \begin{pmatrix} 4154051,319 \\ 598649,746 \\ 4145931,919 \\ 606414,808 \\ 4149956,19 \\ 603914,399 \\ 4144524,833 \\ 603865,414 \\ 4149942,88 \\ 594693,219 \end{pmatrix}$$

(10x4) (10x1)

Afin Dönüşümü (Uygulama-1) ;

$$\begin{pmatrix} 4153869,344 & 598620,722 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4153869,344 & 598620,722 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 4145749,901 & 606385,748 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4145749,901 & 606385,748 & 1 \\ 4149774,186 & 603885,358 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4149774,186 & 603885,358 & 1 \\ 4144342,828 & 603836,344 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4144342,828 & 603836,344 & 1 \\ 4149760,923 & 594664,170 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4149760,923 & 594664,170 & 1 \end{pmatrix}$$

(10x6)

$$L = \begin{pmatrix} 4154051,319 \\ 598649,746 \\ 4145931,919 \\ 606414,808 \\ 4149956,19 \\ 603914,399 \\ 4144524,833 \\ 603865,414 \\ 4149942,88 \\ 594693,219 \end{pmatrix} \quad (10 \times 1)$$

Projektif Dönüşüm (Uygulama-1) ;

$$A = \begin{pmatrix} 5169,90748 & -2857,74632 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5169,90748 & -2857,74632 & 1 \\ -2949,53552 & 4907,27918 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2949,53552 & 4907,27918 & 1 \\ 1074,74908 & 2406,88968 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1074,74908 & 2406,88968 & 1 \\ -4356,60802 & 2357,87578 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4356,60802 & 2357,87578 & 1 \\ 1061,48698 & -6814,29832 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1061,48698 & -6814,29832 & 1 \end{pmatrix} \quad (10 \times 6)$$

$$\begin{pmatrix} 5169,8908 \\ -2857,7712 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} -2949,5092 \\ 4907,2908 \\ 1074,7618 \\ 2406,8818 \\ -4356,5952 \\ 2357,8968 \\ 1061,4518 \\ -6814,2982 \end{pmatrix}$$

(10x1)

Helmert Dönüşümü (Uygulama-2) ;

$$A = \begin{pmatrix} 4146561,245 & -600716,849 & 1 & 0 \\ 600716,849 & 4146561,245 & 0 & 1 \\ 4149774,186 & -603885,358 & 1 & 0 \\ 603885,358 & 4149774,186 & 0 & 1 \\ 4148459,658 & -603253,359 & 1 & 0 \\ 603253,359 & 4148459,658 & 0 & 1 \\ 4146865,503 & -602317,171 & 1 & 0 \\ 602317,171 & 4146865,503 & 0 & 1 \\ 4144342,828 & -603836,344 & 1 & 0 \\ 603836,344 & 4144342,828 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad L = \begin{pmatrix} 4146743,231 \\ 600745,908 \\ 4149956,19 \\ 603914,399 \\ 4148641,66 \\ 603282,408 \\ 4147047,5 \\ 602346,229 \\ 4144524,833 \\ 603865,414 \end{pmatrix}$$

(10x4) (10x1)

Afin Dönüşümü (Uygulama-2) ;

$$A = \begin{pmatrix} 4146561,245 & 600716,849 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4146561,245 & 600716,849 & 1 \\ 4149774,186 & 603885,358 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4149774,186 & 603885,358 & 1 \\ 4148459,658 & 603253,359 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4148459,658 & 603253,359 & 1 \\ 4146865,503 & 602317,171 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4146865,503 & 602317,171 & 1 \\ 4144342,828 & 603836,344 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4144342,828 & 603836,344 & 1 \end{pmatrix}$$

(10x6)

$$L = \begin{pmatrix} 4146743,231 \\ 600745,908 \\ 4149956,19 \\ 603914,399 \\ 4148641,66 \\ 603282,408 \\ 4147047,5 \\ 602346,229 \\ 4144524,833 \\ 603865,414 \end{pmatrix} \quad (10 \times 1)$$

Projektif Dönüşüm (Uygulama-2) ;

$$A = \begin{pmatrix} -639,43944 & -2084,9678 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -639,43944 & -2084,9678 & 1 \\ 2573,50156 & 1083,5418 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2573,50156 & 1083,5418 & 1 \\ 1258,97436 & 451,543 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1258,97436 & 451,543 & 1 \\ -335,18094 & -484,6449 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -335,18094 & -484,6449 & 1 \\ -2857,85554 & 1034,5279 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2857,85554 & 1034,5279 & 1 \end{pmatrix} \quad (10 \times 6)$$

$$L = \begin{pmatrix} -639,4518 \\ -2084,9636 \\ 2573,5072 \\ 1083,5274 \\ 1258,9772 \\ 451,5364 \\ -335,1828 \\ -484,6426 \\ -2857,8498 \\ 1034,5424 \end{pmatrix} \quad (10 \times 1)$$

2016 Yılı 6 $M_w \geq 7.0$ Depremin İyonküre Değişimlerinin İncelenmesi

Erman ŞENTÜRK^{1*}, Murat Selim ÇEPNİ²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
(erman.senturk@kocaeli.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-0833-7113

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
(muratselim.cepni@kocaeli.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9349-6417

Öz

Çalışmada, orta enlem bölgesinde 2016 yılında meydana gelen magnitudü 7'den büyük 6 depremin deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrası olmak üzere 15 günlük zaman aralığında iyonküre değişimleri CODE-GIM'den elde edilen deprem dış merkezine ait toplam elektron içeriği (TEİ) değerleri ile incelenmiştir. İyonkürede meydana gelen aykırılıkları ve anormal günleri belirlemek amacıyla çeyrek açıklık tabanlı kayan ortancalar yöntemi kullanılmıştır. 15 günlük dönemde elde edilen TEİ değerlerinden üst sınırı geçen, alt sınırın altında kalan zaman aralıkları sırasıyla pozitif ve negatif anormal gün olarak belirlenmiştir. Belirlenen anormal günlerdeki aykırılıkların sismik kaynaklı olduğu düşüncesini güçlendirmek amacıyla iyonküre uzay iklim koşullarını temsil eden Dst, Kp jeomanyetik ve F10.7 güneşsel indisleri ilgili zaman aralıklarında incelenmiştir. Hareketli ve sakin günler belirlenerek sakin günlere denk gelen aykırılıkların sismik kaynaklı olabileceği ön planda tutulmuştur. 6 depremin 5'inde deprem öncesi aykırılıklara rastlanmıştır. İlgili günlerdeki iyonküre uzay iklim koşullarının sakin olmasında dolayı, belirlenen aykırılıklardan günlük zaman diliminin 1/4'ünü kapsayanlarının sismik kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Deprem Öncülü, İyonküre, Toplam Elektron İçeriği

Investigation of Ionosphere Variation the 6 $M_w \geq 7.0$ Earthquakes in 2016

Abstract

In the study, the ionospheric anomalies were investigated by total electron content (TEI) of the epicenter obtained from CODE-GIM in mid-latitude for six earthquakes occurred in 2016 that are greater than magnitude 7 with the period of 15 pre-earthquake, earthquake and after the earthquake days. Quartile-based sliding medians method was used to detect the anomalies and the abnormal days in the ionosphere. Time intervals above the upper bound, below the lower bound of the TEI values obtained during the 15-day period were determined as positive and negative abnormal days, respectively. The determined abnormal days were examined with the Dst, Kp geomagnetic and F10.7 solar effect indices representing the ionospheric space weather factors to substantiate the idea of the anomalies were originating from seismo-ionospheric coupling. Estimating the disturbed and quietest days, the anomalies correspond to quietest days were thought to be originating from seismic source. The pre-earthquake anomalies were detected five in six earthquakes. Due to the quietest of the ionospheric space weather conditions in the days concerned, the result of the determined irregularities is that the ones covering 1/4 of the daily period could be seismically sourced.

Keywords: Earthquake, Earthquake Precursor, Ionosphere, Total Electron Content

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Güçlü depremlerin, güneş patlamalarının ve manyetik fırtınaların iyonkürede beklenmedik değişimlere neden olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir. Bu çalışmalarda yer merkezli iyonosonda verileri (Tsolis ve Xenos, 2010; Xu ve diğ., 2011), DEMETER uydu verileri (Sarkar ve Gwal, 2010), GPS verileri (Afraimovich ve diğ., 2004; Zakharenkova ve diğ., 2008; Liu ve diğ., 2004, 2009; Pulnits ve diğ., 2010, Le ve diğ., 2011) ve diğer bazı teknikler (Hsiao ve diğ., 2010, Ouzonov ve diğ., 2011) kullanılmıştır. İyonküre-deprem ilişkisiyle ilgili ilk çalışmalar 1964 Alaska depreminin incelenmesiyle başlamıştır (Davies ve Baker, 1965; Leonard ve Barnes, 1965). Deprem öncesi iyonkürede meydana gelen değişimlerin incelendiği diğer çalışmalarla konu önem kazanmıştır (Weaver ve diğ., 1970; Antsilevich, 1971; Datchenko ve diğ., 1972). İlk çalışmalarda kullanılan veriler çeşitli yer merkezli iyonosondalardan elde edilmiştir. Uydu verilerine dayalı çalışmalara 1980'lerde başlanmıştır (Gokhberg, 1983) ve ilk kez 17 Ocak 1994, Mw 6.7 Northridge depreminde iyonküre-deprem çalışmalarında GPS teknolojisi kullanılmıştır (Calais ve Minster, 1995).

Özellikle son yirmi yılda iyonküre-deprem çalışmaları gelişen teknoloji ve ölçme yöntemlerindeki çeşitlilik ve kalitenin artmasıyla hız kazanmıştır. Liu ve diğ., (2004), 1999-2002 yılları arasında Tayvan ve çevresinde gerçekleşmiş 20 $M \geq 6$ depremi GPS-TEİ verileriyle 15 Günlük Kayan Ortanca ve Çeyrekler Açıklığı yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. 20 depremden 16'sında, depremden yaklaşık 5 gün öncesinde iyonkürede değişime rastlanmıştır. Buna göre başarı oranı %80'dir. Sonuç olarak GPS-TEİ verilerinin büyük depremlerde deprem öncesi iyonküre değişimlerini algılamada başarılı olduğu belirtilmiştir. Liu ve diğ., (2006), 1994-1999 yılları arasında Tayvan'da gerçekleşen 184 adet $M=5+$ depremini, Chung-Li iyonosonda istasyonundan elde ettikleri f_0F_2 iyonosonda verileriyle incelemişlerdir. Çalışmada çeyrek açıklık yöntemi kullanılarak 184 depremden 1-5 gün öncesinde iyonkürede 307 olası deprem ilişkili aykırılığa rastlanmıştır. Ayrıca deprem magnitud değeri yükseldikçe ve deprem dış merkezine olan yakınlık arttıkça

aykırılık görülme sıklığının artmakta olduğu gözlenmiş ve depremle ilgili iyonküre değişimlerinin enerji ilişkili olduğu belirtilmiştir. Doğan ve diğ., (2011), 17 Ağustos 1999 İzmit depremini MAGNET ağına ait 4 istasyondan (TUBI, DUMT, MERT, KANT) elde ettikleri GPS-TEİ verileriyle incelemiş ve depremden 3 gün öncesinde TUBI, MERT VE KANT istasyonlarında 8-10 TECU değerinde negatif aykırılık yakalamışlardır. İlgili günün jeomanyetik açıdan sakin güne denk gelmesi nedeniyle bu aykırılık İzmit depremiyle ilişkilendirilmiştir. Ouzounov ve diğ., (2011), 11 Mart 2011 tarihli M_w 9.0 Tohoku, Japonya depremini OLR (outgoing long wave radiation), GPS/TEİ, LEOIT (lower Earth orbit ionospheric tomography) ve İyonosonda (f_0F_2 critical frequency) yöntemlerini kullanarak incelemiş ve 4 yöntemin hepsinde depremden 3 gün önce iyonkürede aykırılık belirlenmiştir. İlgili günün güneşsel ve jeomanyetik açıdan sakin güne denk gelmesi nedeniyle değişimin deprem kaynaklı olduğuna karar verilmiştir. Arıkan ve diğ., (2012), 23 Ekim 2011 M_w 7.2 Van depremini CORS-TR'ye ait GPS istasyonlarıyla simetrik Kullback-Leibler Uzaklığı yöntemiyle incelemişlerdir. Buna göre depremden 8-9 gün öncesinde iyonkürede deprem kaynaklı aykırılık tespit edilmiştir. Deprem etki alanı içerisindeki CORS-TR istasyonlarına deprem merkezine uzaklığına göre 5 farklı bölge tanımlanmış (150 km den 780+ km'ye) ve yakından uzağa doğru her bölgede azalarak devam eden iyonküre-deprem etkisi görülmüştür. Ulukavak ve Yalcinkaya (2010) orta enlem bölgesinde (32.128^0 K, 115.303^0 B) 2010 yılında meydana gelen $M7.2$ Baja Kaliforniya depremini 5 (SIO3, GOL2, QUIN, AMC2 ve DRAO) deprem bölgesine yakın ve 1 (GRAZ) deprem bölgesine uzak toplam 6 IGS istasyonundan elde ettikleri TEİ değerleriyle incelemişlerdir. Sonuçlar depremden 1-5 gün öncesinde sismik kaynaklı aykırılıkların var olduğuna işaret etmiştir.

İyonküre-deprem arasındaki fiziksel süreç halen tam olarak ispatlanamamış olsa bile en güçlü varsayım, aktif fay yakınındaki yer kabuğundan radon ve diğer gazların çıkışı ve bunların atmosfere doğru ilerleyerek iyonlaşmaya neden olmasıdır (Toussaint ve Baubron, 1998). Artan radon salınımı atmosferde, su moleküllerinin iyonlara

bağlanmasıyla (yoğunlaşma) belirgin olmayan bir ısı salınımı (artan hava sıcaklığı) oluşturur. Bu hava sıcaklığındaki artış hava iletkenliğinde değişkenliğe yol açar (Pulinets ve diğ., 2006). Tüm bu zincirleme fiziksel sürecin sonucunda iyonküredeki elektron yoğunluğunda pozitif ya da negatif yönlü değişim meydana gelir. Deprem dışında iyonküre, gezici iyonosferik bozucu etki, güneş, manyetik fırtına ve mevsimsel değişimlerden anlık ya da dönemsel olarak etkilenmektedir. İyonküre-deprem arasında anlamlı bir ilişki kurulabilmesi için diğer tüm bu etkilerin eksiksiz modellendirilmesi gerekmektedir. Örneğin; gezici iyonosferik bozucu etki ve iyonküre kabarcığı gibi kısa süreli iyonküre değişimine neden olan bazı fiziksel olayları iyonküre-deprem etkisinden ayırmak için iyonküredeki değişimin en az 4-6 saat süreyle sürekli olması beklenmelidir (Pulinets ve diğ., 2004). Yine jeomanyetik ve güneşsel aktivitenin yüksek olduğu günlerde TEİ değerlerinde tespit edilen değişimlerin kesin olarak deprem ile ilişkisini kurmak tartışmaya açık bir yaklaşım olacaktır.

Çalışmada orta enlem bölgesinde 2016 yılında meydana gelen 6 depremin ($M_w \geq 7.0$) CODE-GIM (CODE's Global Ionosphere Maps) ile elde edilen deprem dış merkezi TEİ değerleriyle iyonküre değişimleri zamansal olarak incelenmiştir. Bu amaçla çeyrek açıklık tabanlı kayan ortancalar yöntemi uygulanmıştır. İlgili değişimlerin sismik aktiviteyle ilişkisini kurabilmek için Dst, Kp jeomanyetik ve F10.7 güneşsel indisleri incelenen zaman aralıklarında elde edilerek iyonküre uzay iklim koşulları dikkate alınmıştır. Çalışmadaki istatistiksel analizler ve grafikler MATLAB® ortamında yazılan fonksiyonlar kullanılarak hazırlanmıştır.

2. VERİ VE YÖNTEM

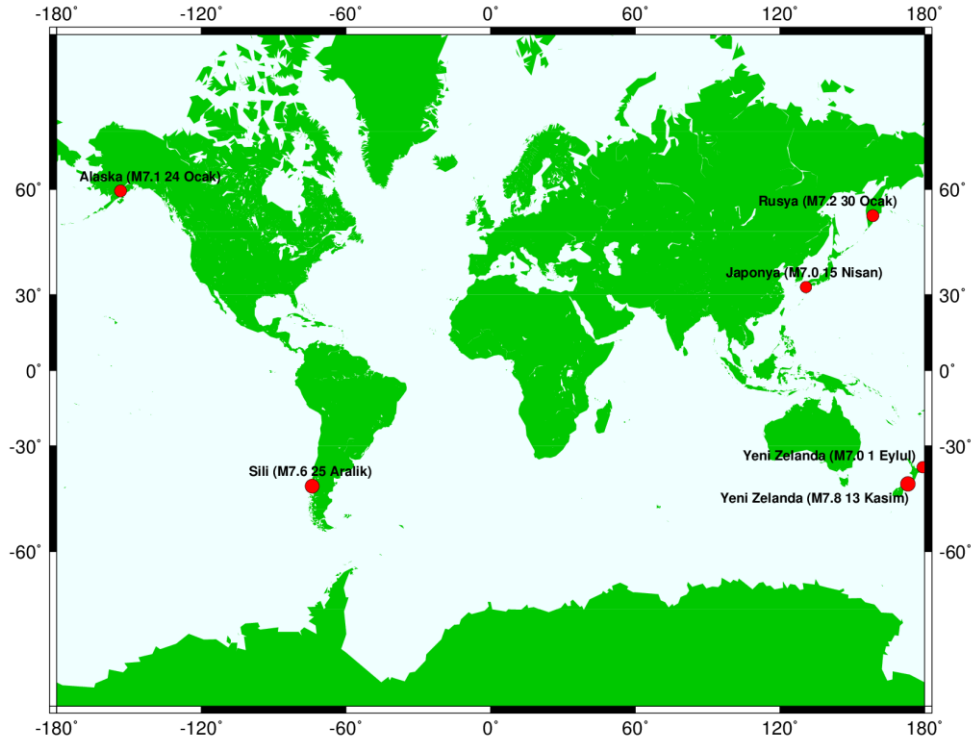
İyonosfer bilimsel çalışmalarda temel alınmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır: düşük enlem bölgesi (0^0 - 30^0 coğrafi kuzey ve güney enlemleri), orta enlem bölgesi (30^0 - 60^0 coğrafi kuzey ve güney enlemleri) ve yüksek enlem bölgesi (60^0 - 90^0 coğrafi kuzey ve güney

enlemleri). Ayrıca her bölgenin kendine özgü karakteristiği bulunmaktadır ve çalışmalarda çoğu zaman bölgeler ayrı olarak ele alınmaktadır. 2016 yılında orta enlem bölgesinde meydana gelen 6 deprem ($M_w \geq 7.0$), olası deprem öncüllerinin belirlenmesi amacıyla çalışma kapsamında seçilmiştir. İlgili depremlerin deprem parametreleri ve yerküre üzerindeki dağılımları Tablo 1 ve Şekil 1'de gösterilmektedir. Çalışma bölgelerinde meydana gelen depremlere ait veriler Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS: United States Geological Survey) web sitesinden elde edilmiştir (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>).

Deprem dış merkezi TEİ, CODE (Center for Orbit Determination in Europe) tarafından 2 saat zamansal ve $2.5^0 \times 5^0$ ($\pm 87.5^0$ enlem - $\pm 180^0$ boylam, 5184 ızgara) konumsal çözünürlükte günlük yayınlanan IONEX dosyalarından, deprem dış merkezine en yakın 4 ızgara noktasında iki değişkenli (bivariate) enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır (Schaer ve diğ., 1998). IONEX dosyaları <ftp://cdis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/> adresinden elde edilmiştir. TEİ değeri TECU biriminde ifade edilmekte ve 1 TECU 10^{16} elektron/m²'ye karşılık gelmektedir (Ciraolo ve diğ., 2007).

Tablo 1. Çalışma kapsamında ele alınan depremlerin fiziksel parametreleri

| Deprem Zamanı (UTC) | Dış Merkez Koordinatları | Magnitüd (M) | Derinlik (km) |
|------------------------|--------------------------|--------------|---------------|
| 24-01-2016 10:30:30 | 59.636°K 153.405°B | 7.1 | 129.0 |
| 30-01-2016 03:25:12 | 53.978°K 158.546°D | 7.2 | 177.0 |
| 15-04-2016 16:25:06 | 32.791°K 130.754°D | 7.0 | 10.0 |
| 01-09-2016 16:37:57 | 37.359°G 179.146°D | 7.0 | 19.0 |
| 13-11-2016 11:02:56 | 42.737°G 173.054°D | 7.8 | 15.1 |
| 25-12-2016 14:22:27 | 43.406°G 73.944°B | 7.6 | 38.0 |



Şekil 1: Depremlerin dış merkezleri

15 günlük zaman diliminde (10 gün deprem öncesi, deprem günü ve 4 gün deprem sonrası) TEİ de meydana gelen aykırılıkları tespit etmek için çeyrek açıklık tabanlı kayan ortancalar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre TEİ değerlerinin her epokta 15 gün önceki aynı epoga denk gelen değerlerinin ortanca (μ) ve standart sapma (σ) değerleri hesaplanmıştır. TEİ değerlerinin ortalaması $\bar{\mu}$ ve standart sapması σ olacak şekilde normal dağılımda olduğu varsayılmıştır. Olası aykırılıkları belirlemek için 15 günlük TEİ değerlerinin alt çeyrek (LQ) ve üst çeyrek (UQ) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca bu değerlere bağlı olarak üst sınır, $\mu+1.5(UQ-\mu)$ ve alt sınır, $\mu-1.5(\mu-LQ)$ değerleri hesaplanmıştır. Buna göre belirli bir epokta gözlemlenen TEİ değerinin üst sınır değerleri aşması veya alt sınır değerleri aşmaması durumunda ilgili epok sırasıyla pozitif veya negatif aykırılık olarak tanımlanmıştır. Gözlemlenen TEİ değerinin üst ve alt sınır içerisinde kalması durumunda ilgili epokta iyonkürede herhangi anormal durum söz konusu olmadığına karar verilmiştir. 15 günlük TEİ değişiminde aykırılıklar incelenirken ilgili depremden 15 gün önce ve sonra bölgede başka bir büyük deprem ($M_w \geq 6$) olup olmadığı elde edilen sonuçların bir başka sismik aktivite kaynaklı oluşamayacağını

ispatlamak amacıyla dikkate alınmıştır. Daha önceki bölümde, iyonkürede meydana gelen kısa süreli değişimleri sismik etkiden ayırmak için TEİ'de gözlemlenen değişimlerin en az 4-6 saat sürekli olması gerektiği belirtilmiştir. Buna nedenle çalışmada 6 saatten daha kısa süreli (3/12) aykırılıklar TEİ değişiminden çıkarılmıştır.

Ayrıca iyonküreyi önemli ölçüde etkileyen iyonküre uzay iklim koşullarını belirlemek için Dst, Kp jeomanyetik ve F10.7 güneşsel indisleri <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/> den elde edilmiştir. Dst indisi, 4 gözlem istasyonundan alçak enlem manyetogramları kullanılarak, 1 saatlik aralıklarla elde edilen, manyetik fırtınayı, derecesini ve iyonküre tabakasındaki değişimleri gösteren indistir. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Dst değerindeki azalma jeomanyetik fırtına şiddetinin arttığını göstermektedir. Dst birimi nanoTesla (nT)'dir (Hunsucker ve Hargreaves, 2003). Kp indisi, orta enlem bölgesinde bulunan 13 istasyondan, 3 saat zamansal çözünürlükte 1932 yılından beri çeşitli kurumlar tarafından üretilmektedir. İndisin hesaplanmasında tek bir gözlem merkezinin sakin gün olarak kabul edildiği zamana ait ölçümler referans alınır. Kp indisi güneşin manyetik alan etkisi ile parçacık yayılımını ölçmekte ve manyetik alan

farklılıklarına göre 0-9 arasında değerler almaktadır (Menvielle, 2001). F10.7 indisi 2800 MHz frekanslı 10.7 cm dalga boyundaki güneş radyo akışını tanımlamaktadır. F10.7 indisinin birimi solar akıdır (sfu) ve $1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ (Tapping, 2013). Tablo 2’de jeomanyetik fırtına seviyeleri gösterilmektedir. Çalışmada jeomanyetik aktiviteli günler $K_p \geq 4$ ve $|Dst| \geq 20$ koşullarının aynı anda sağlandığı günler olarak belirlenmiştir. Ayrıca güneşsel etki incelenirken F10.7’nin zamansal değişimi dikkate alınmış ve indiste meydana gelen ani değişimler göz önüne alınmıştır.

Tablo 2. Jeomanyetik fırtına seviyeleri

| Manyetik fırtınanın derecesi | K_p indisi | Dst indisi (nT) |
|------------------------------|--------------|---------------------|
| G1 Küçük | $K=5$ | $Dst > -20$ |
| G2 Orta | $K=6$ | $-20 > Dst > -50$ |
| G3 Kuvvetli | $K=7$ | $-50 > Dst > -100$ |
| G4 Ağır | $K=8$ | $-100 > Dst > -250$ |
| G5 Aşırı | $K=9$ | $-300 > Dst$ |

3. SAYISAL UYGULAMALAR

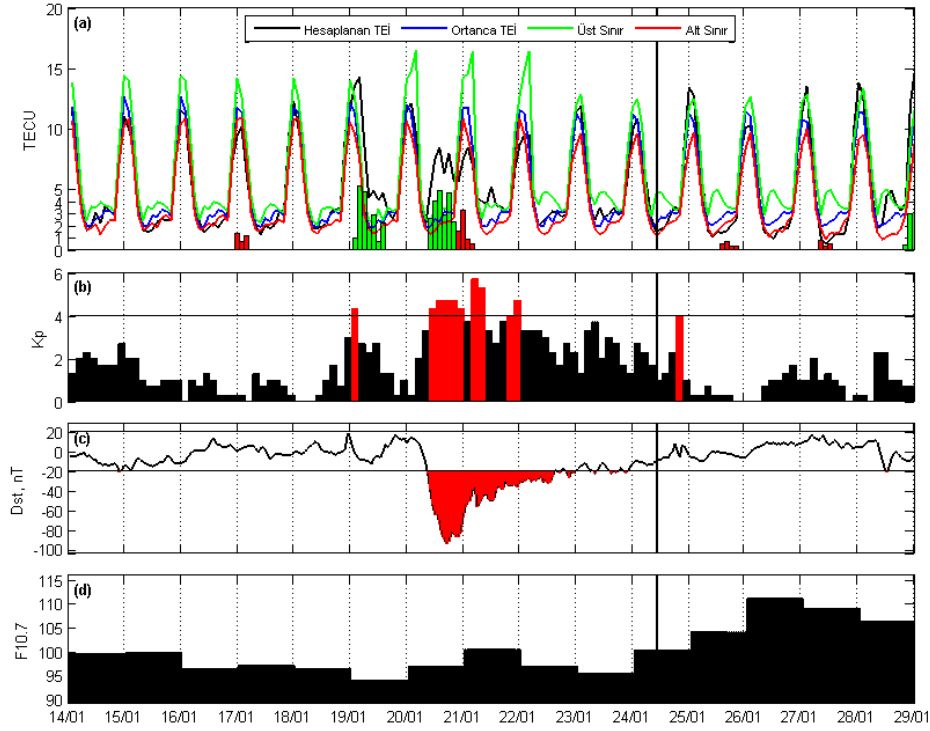
Çalışmada kullanılan tüm depremler için deprem öncesi 10 gün, deprem günü ve depremden sonraki 4 günü kapsayan 15 günlük bir aralıkta deprem anomalileri incelenmiştir. Ayrıca kullanılan tüm zaman birimleri Eş Gündümlü Evrensel Zaman (UTC - Coordinated Universal Time)’a göre dir. İncelenen depremlerin iyonosferik değişimlerine başka bir depremin etki etmediğini kanıtlamak amacıyla tüm depremlerde, depremden 15 gün önce ve sonrasında depremin yakın çevresinde başka bir büyük depremin meydana gelip gelmediği ayrıca incelenmiştir.

3.1. M_w 7.1 Alaska depremi, 24 Ocak 2016

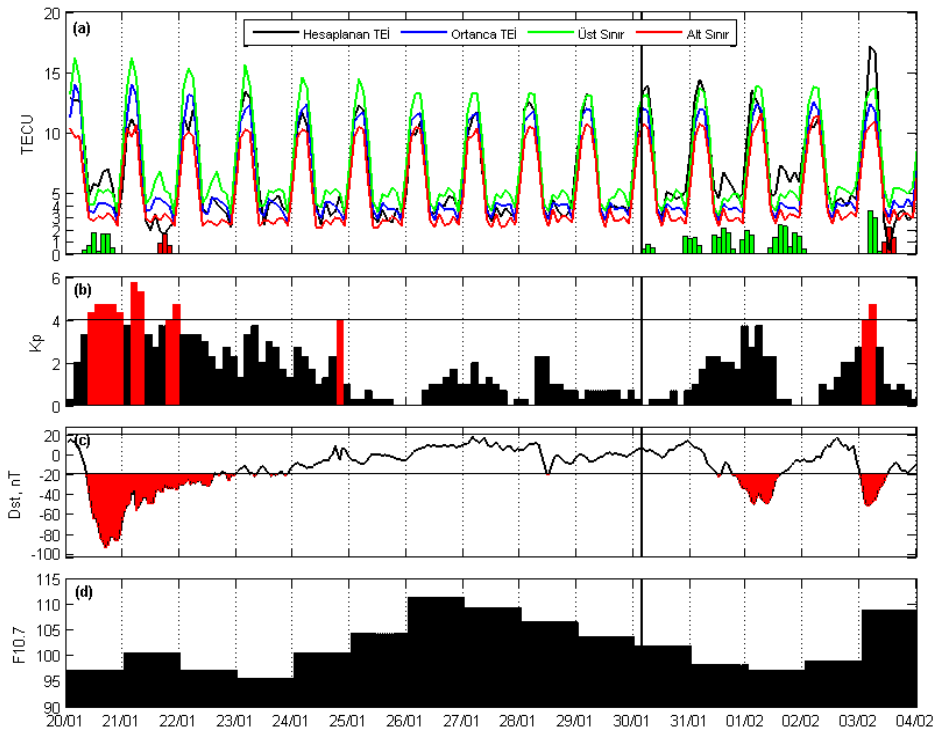
Deprem saat 10:30’da 129 km derinlikte meydana gelmiştir. Alaska depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde $M \geq 6$ depreme rastlanmamıştır. Şekil 2’ye göre 20-21 Ocak tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. Güneş etkisi incelendiğinde F10.7 değerlerinin 95-110 SFU arasında olduğu ve sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Alaska depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 7 gün önce ~1-2 TECU negatif, 4-5 gün önce ~5 TECU pozitif, 3 gün önce ~3 TECU negatif aykırılık görülmektedir. Ayrıca depremden 1 gün sonra ~1 TECU negatif, 3 gün sonra ~1 TECU negatif ve 4 gün sonra ~3 TECU pozitif aykırılığa rastlanmıştır.

3.2. M_w 7.2 Rusya depremi, 30 Ocak 2016

Deprem saat 03:25’de 177 km derinlikte meydana gelmiştir. Rusya depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde $M \geq 6$ depreme rastlanmamıştır. Şekil 3’e göre 20-21 Ocak ve 3 Şubat tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. F10.7 değerlerinin 95-110 SFU arasında olduğu ve sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Rusya depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 10 gün önce ~2 TECU pozitif, 9 gün önce ~2 TECU negatif aykırılık görülmektedir. Ayrıca deprem günü ile depremden 1-2 gün sonra ~1-2 TECU pozitif, 4 gün sonra ~3 TECU pozitif, ~2 TECU negatif aykırılığa rastlanmıştır.



Şekil 2: 24 Ocak 2016 Mw7.1 Alaska depremi TEİ, Kp, Dst ve F10.7 değerlerinin değişimi. Siyah dik çizgiler deprem anını temsil etmektedir. a) TEİ değişimi; siyah, mavi, yeşil ve kırmızı çizgiler sırasıyla hesaplanan TEİ, ortanca TEİ, üst sınır ve alt sınırı gösterir. Yeşil ve kırmızı barlar sırasıyla pozitif ve negatif aykırılıkları gösterir. b) Kp değişimi; siyah ve kırmızı çubuklar sırasıyla sakin ve hareketli jeomanyetik durumları gösterir. c) Dst değişimi; kırmızı alanlar hareketli jeomanyetik durumları gösterir. d) F10.7 değişimi.



Şekil 3: 30 Ocak 2016 Mw 7.2 Rusya depremi; Şekil 2'nin aynısı.

3.3. Mw 7.0 Japonya depremi, 15 Nisan 2016

Deprem saat 16:25'de 10 km derinlikte meydana gelmiştir. Japonya depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde Mw 6.0 ve Mw 6.2 Japonya depremlerinin olduğu görülmektedir. Bu depremler Mw7.0 Japonya depremine oldukça yakın bir konumda (~10km) meydana gelmiştir. Şekil 4'e göre 7-8, 12-15 ve 17 Nisan tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. F10.7 değerlerinin 80-110 SFU arasında olduğu ve sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Japonya depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 9 gün önce ~5 TECU pozitif, 1-3 gün önce ~3 TECU pozitif aykırılık görülmektedir. Ayrıca deprem günü ~6 TECU negatif, depremden 1 gün sonra ~5 TECU pozitif, ~2 TECU negatif ve 4 gün sonra ~4 TECU negatif aykırılığa rastlanmıştır.

3.4. Mw 7.0 Yeni Zelanda depremi, 1 Eylül 2016

Deprem saat 16:38'de 19 km derinlikte meydana gelmiştir. Yeni Zelanda depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde Mw 6.1 Yeni Zelanda depremi olduğu görülmektedir. Bu deprem Mw 7.0 Yeni Zelanda depremine oldukça yakın bir konumda (~10km) meydana gelmiştir. Şekil 5'e göre 23-24, 30 Ağustos ve 1-5 Eylül tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. F10.7 değerlerinin 80-100 SFU arasında olduğu ve sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Yeni Zelanda depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 4-6 gün önce ~1-2 TECU negatif, 1 gün önce ~2 TECU pozitif aykırılık görülmektedir. Ayrıca depremden 1

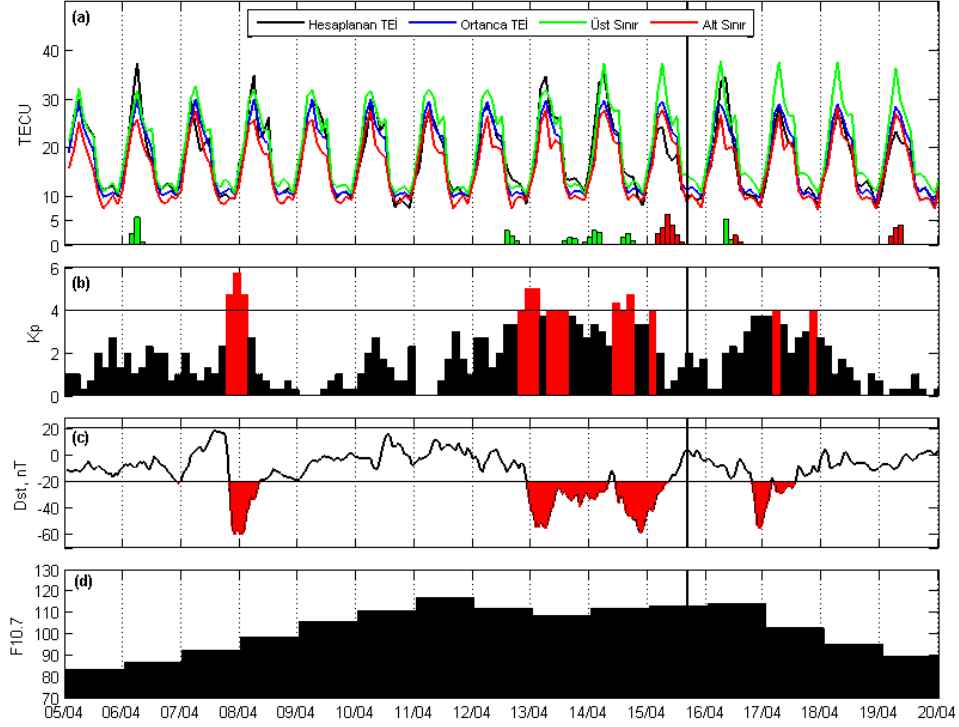
gün sonra ~5 TECU pozitif aykırılığa rastlanmıştır.

3.5. Mw 7.8 Yeni Zelanda depremi, 13 Kasım 2016

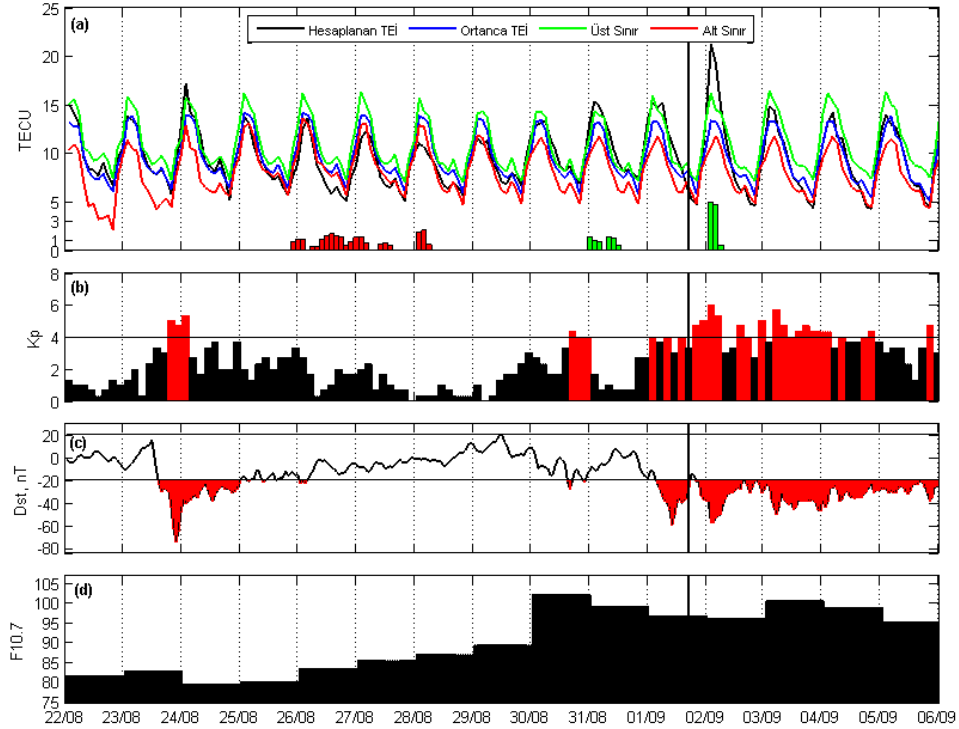
Deprem saat 11:03'de 15.1 km derinlikte meydana gelmiştir. Yeni Zelanda depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde Mw 6.1, Mw 6.2 ve 2 adet Mw 6.5 Yeni Zelanda depremleri olduğu görülmektedir. Bu depremler Mw 7.8 Yeni Zelanda depremine oldukça yakın bir konumda (~10-50km) meydana gelmiştir. Şekil 6'e göre 3, 10-13 Kasım tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. F10.7 değerlerinin 75-80 SFU arasında olduğu ve oldukça sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Yeni Zelanda depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 1-4 gün önce ~1-3 TECU pozitif aykırılık, 6-9 gün önce ~1-2 TECU pozitif aykırılık görülmektedir. Ayrıca deprem günü ~1 TECU pozitif, ~2 TECU negatif, depremden 1-2 gün sonra ~1-2 TECU negatif aykırılığa rastlanmıştır.

3.6. Mw 7.6 Şili depremi, 25 Aralık 2016

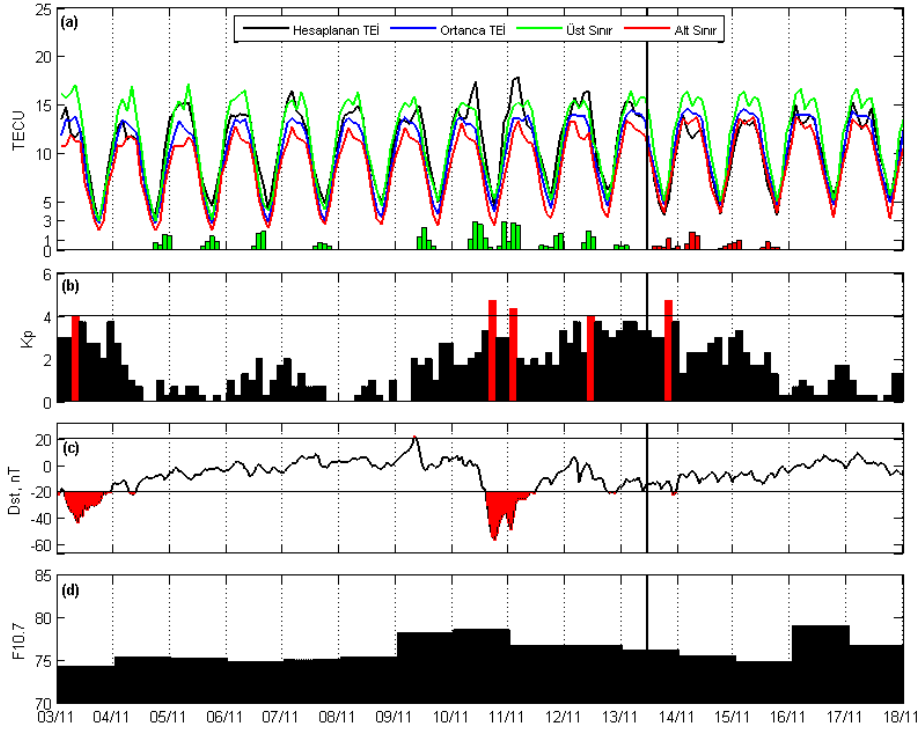
Deprem saat 14:22'de 38 km derinlikte meydana gelmiştir. Şili depreminden 15 gün önce ve sonra bölgedeki sismik durum incelendiğinde M≥6 depreme rastlanmamıştır. Şekil 7'e göre 21-23, 25-26 Aralık tarihlerinde jeomanyetik aktivite belirlenmiştir. Güneş etkisi incelendiğinde F10.7 değerlerinin 70-73 SFU arasında olduğu ve oldukça sakin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Şili depreminin TEİ değişimi incelendiğinde depremden 4 gün önce ~15 TECU pozitif, 6-10 gün önce ~3-6 TECU negatif aykırılık görülmektedir.



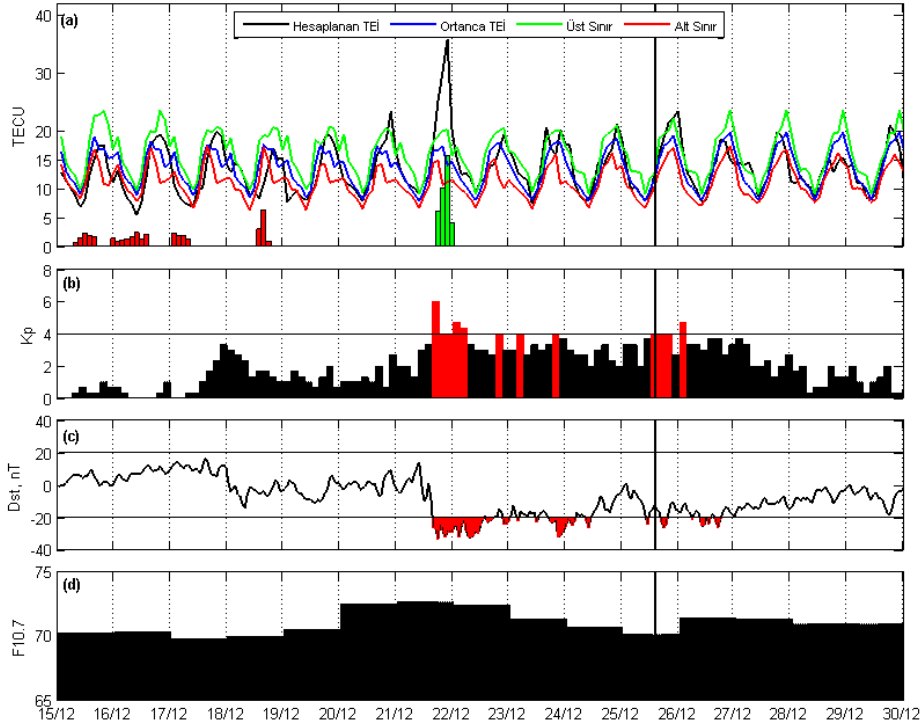
Şekil 4: 15 Nisan 2016 Mw 7.0 Japonya depremi; Şekil 2'nin aynısı.



Şekil 5: 1 Eylül 2016 Mw 7.0 Yeni Zelanda depremi; Şekil 2'nin aynısı.



Şekil 6: 13 Kasım 2016 Mw 7.8 Yeni Zelanda depremi; Şekil 2'nin aynısı.



Şekil 7: 25 Aralık 2016 Mw 7.6 Şili depremi; Şekil 2'nin aynısı.

Çalışmada ele alınan 6 depremin TEİ değişimleri yardımıyla belirlenen anormal günler ve ilgili günlerdeki iyonküre uzay iklim koşulları Tablo 3’de gösterilmektedir.

Jeomanyetik aktiviteli günler $K_p \geq 4$ ve $|Dst| \geq 20$ koşullarının aynı anda sağlandığı günler olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Deprem öncesi, deprem günü ve sonrası anormal ve aktif jeomanyetik günler. x, anormal günü; *, jeomanyetik aktivite gününü; kırmızı x ise jeomanyetik aktiviteye denk gelen anormal günü temsil etmektedir. Deprem günlerinde -, deprem öncesi günü; 0, deprem gününü; +, deprem sonrası günü ve ilgili sayılarda aktivite gününün deprem günü referans alınarak kaçınıcı güne denk geldiğini göstermektedir.

| | Deprem günleri | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|
| | -10 | -9 | -8 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | +4 |
| M _w =7.1 Alaska | | | | x | | x | x | x | | | | x | | x | x |
| | | | | | | * | * | | | | | | | | |
| M _w =7.2 Rusya | x | x | | | | | | | | | x | x | x | | x |
| | * | * | | | | | | | | | | | | | * |
| M _w =7.0 Japonya | | x | | | | | | x | x | x | x | x | | | x |
| | | | * | * | | | | * | * | * | * | | * | | |
| M _w =7.0 Yeni Zelanda | | | | | x | x | x | | | x | | x | | | |
| | | * | * | | | | | | * | | * | * | * | * | * |
| M _w =7.8 Yeni Zelanda | | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | | |
| | * | | | | | | | * | * | * | * | | | | |
| M _w =7.6 Şili | x | x | x | x | | | x | | | | | | | | |
| | | | | | | | * | * | * | | * | * | | | |

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma, 2016 yılında orta enlem bölgesinde meydana gelen $M_w \geq 7.0$ olan 6 depremin iyonküre ile ilişkili sismik, güneşsel ve jeomanyetik durumunu göstermektedir. CODE tarafında üretilen Küresel İyonosfer Haritaları’ndan elde edilen deprem dış merkezi TEİ değerleri 15 günlük çeyrek açıklık tabanlı kayan pencere yöntemine göre incelenerek aykırılıklar ve bununla ilişkili anormal günler belirlenmiştir. Tespit edilen aykırılıkların sismik aktivite kaynaklı olduğu varsayımını güçlendirmek için Dst, K_p jeomanyetik ve F10.7 güneş etkisi indisleri dikkate alınmıştır. Buna bağlı jeomanyetik ve güneşsel aktivitenin hareketli olduğu günler belirlenmiştir.

İncelenen 6 depremden sadece 177 km derinlikte meydana gelen M_w 7.2 Rusya depreminde deprem öncesi iyonküre değişimine rastlanmamıştır. Yine 129 km derinlikte meydana gelen M_w 7.1 Alaska depreminde de belirgin bir değişim

görülmemektedir. 19 Ocak 2016 günü meydana gelen ~5 TECU luk değişim 00:00 - 03:00 UTC saatlerinde $K_p = 4$ olmasından dolayı şüphelidir. Daha önce magnitüd değeri yüksek ($M \geq 7.0$) ve sığ (≤ 20 km) depremlerde iyonküredeki sismik etkinin daha belirgin ortaya çıktığı bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Le ve diğ., 2011). Ayrıca Xia ve diğ. (2011)’de depremin odak derinliğinin iyonküre değişiminde deprem magnitüdüne göre daha belirleyici olduğundan bahsedilmektedir. Çalışmada diğer 4 sığ (10km-38km) depreme göre (M_w 7.0 Japonya hariç) nispeten orta derinlikli (>100km) Alaska ve Rusya depremlerinde deprem öncesi daha az anormal gün görülmekte ve bu durum önceki çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Deprem magnitüdüleri dikkate alındığında M_w 7.8 Yeni Zelanda ve M_w 7.6 Şili depremlerinde deprem öncesi anormal günlerin sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. 6 depremden deprem öncesi 10 gün için 27 anormal gün (27/60), deprem günü

3 anormal gün (3/6) ve deprem sonrası 4 günde 11 anormal gün (11/24) belirlenmiştir. Anormal günler incelendiğinde deprem öncesi ve sonrası için özel bir aralık belirlemek mümkün değildir. Aykırılık durumu incelendiğinde yine pozitif ve negatif aykırılıklara göre özel bir durum belirlemek olanaksızdır. Bazı depremlerde pozitif (M_w 7.1 Alaska, M_w 7.2 Rusya, M_w 7.0 Japonya, M_w 7.8 Yeni Zelanda), bazılarında ise negatif (M_w 7.0 Yeni Zelanda, M_w 7.6 Şili) aykırılık daha sık görülmüştür.

Çalışmadaki yöntem ve seçimlerin iyonküre-deprem ilişkisini ortaya çıkarmadaki başarısı çeşitli kısıtlamalara bağlıdır. Örneğin, TEİ'de 15 günlük değişimin incelenmesi, 6 saatten kısa süreli değişimlerin göz ardı edilmesi, jeomanyetik aktiviteli günlerin seçiminde Dst, Kp indisleri için belirlenen sınır değerler vb. bazı varsayımlar tamamen deneysel ve istatistiksel çalışmaların sonucu olarak tanımlanmıştır (Forbes ve diğ., 2000; Liu ve diğ., 2006; Pulnits ve diğ., 2003). İyonküre-deprem ilişkisi arasındaki fiziksel model çeşitli yaklaşımlarla, örneğin; elektrik alan (Sorokin ve diğ., 2006; Pulnits, 2009), akustik ve gravite dalgaları (Rozhnoi ve diğ., 2007; Kaladze ve diğ., 2008; Klimenko ve diğ., 2011), elektromanyetik (Hayakawa ve Fujinawa, 1994; Hayakawa ve Molchanov, 2002) vb. açıklanmaya çalışılsa da, daha tam olarak kabul görmüş ya da ispatlanmış bir teori bulunmamaktadır. Bunun yanında konu çeşitli istatistiksel çalışmalarla desteklenmektedir (Hayakawa ve diğ., 2010; Le ve diğ., 2011; Liu ve diğ., 2006, 2010; Parrot, 2012). Bu çalışmalarda deprem parametreleri (magnitüdü, derinliği, zamanı, odak mekanizması, konumu vb.) ile iyonküre aykırılıkları arasında çeşitli ilişkiler ortaya koyulmaktadır. Bir deprem öncülü olarak iyonküredeki değişimler ancak özel bir zaman aralığında sınırları belirlenmiş şekilde ortaya çıkarılırsa anlamlı olacaktır. Bunun içinse öncelikle ve kesinlikle bu ilişki arasındaki fiziksel model tam anlamıyla ortaya koyulmalıdır. Daha sonra fiziksel modeli destekleyecek deneysel, istatistiksel çalışmalarla ve gelişen ölçme teknikleri ve hassasiyetleriyle deprem öncülü olarak iyonküre-deprem çalışmaları daha etkin bir çalışma alanı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Afraimovich, E.L., Astafieva, E.I., Gokhberg, M.B., Lapshin, V.M., Permyakova, V.E., Steblov, G.M., Shalimov, S.L. (2004). Variations of the total electron content in the ionosphere from variations of the total electron content in the ionosphere from GPS data recorded during the Hector Mine earthquake of October 16, 1999, California. *Russian J. Earth Sci.*, 6(5), 339-354.
- Antsilevich, M. G. (1971). The influence of Tashkent earthquake on the earth's magnetic field and the ionosphere, Tashkent earthquake 26 April 1966. *FAN Publ.*, 187-188.
- Arkan, F., Deviren, M.N., Lenk, O., Sezen, U., Arkan O. (2012). Observed Ionospheric Effects of 23 October 2011 Van, Turkey Earthquake. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 3(1), 1-8.
- Calais, E., Minster, J.B. (1995). GPS detection of ionospheric perturbations following the January 17, 1994, Northridge earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 22(9), 1045-1048.
- Ciraolo, L., Azpilicueta, F., Brunini, C., Meza, A., Radicella, S.M. (2007). Calibration errors on experimental slant total electron content (TEC) determined with GPS. *J. Geod.*, 81(2), 111-120.
- Datchenko, E.A., Ulomov, V.I., Chernyshova, C.P. (1972). Electron density anomalies as the possible precursor of Tashkent earthquake, *Dokl. Uzbek. Acad. Sci.*, 12, 30-32.
- Davies, K., Baker, D.M. (1965). Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.*, 70(9), 2251-2253.
- Dogan, U., Ergintav, S., Skone, S., Arslan, N., Oz, D. (2011). Monitoring of the ionosphere TEC variations during the 17th August 1999 Izmit earthquake using GPS data. *Earth Planets Space*, 63(12), 1183-1192.
- Forbes, J.M., Palo, S.E., Zhang, X. (2000). Variability of the ionosphere. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 62(8), 685-693.
- Gokhberg, M.B. (1983). Strong acoustic wave action. *ESA Special Publication*, 195, 99-110.

- Hayakawa, M., Fujinawa, Y. (Eds.) (1994). *Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction*. Terra Sci. Pub. Co., Tokyo, 667.
- Hayakawa, M., Molchanov, O.A. (Eds.) (2002). *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling*. TERRAPUB, Tokyo, 477.
- Hayakawa, M., Kasahara, Y., Nakamura, T., Muto, F., Horie, T., Maekawa, S., Hobara, Y., Rozhnoi, A.A., Solovieva, M., Molchanov, O.A. (2010). A statistical study on the correlation between lower ionospheric perturbations as seen by subionospheric VLF/LF propagation and earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 115, A09305.
- Hsiao, C.C., Liu, J.Y., Oyama, K.I., Yen, N.L., Liou, Y.A., Chen, S.S., Miao, J.J. (2010). Seismo-ionospheric precursor of the 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake observed by FORMOSAT-3/COSMIC. *GPS Solution*, 14(1), 83-89.
- Hunsucker R.D., Hargreaves J.K. (2003). *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kaladze, T.D., Pokhotelov, O.A., Shah, H.A., Khan, M.I., Stenflo, L. (2008). Acoustic-gravity waves in the Earth's ionosphere. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 70(13), 1607-1616.
- Klimenko, M.V., Klimenko, V.V., Karpov, I.V., Zakharenkova, I.E. (2011). Modeling of seismoionospheric effects initiated by internal gravity waves. *Russ. J. Phys. Chem.*, 30(5), 41-49.
- Le, H., Liu, J.Y., Liu, L. (2011). A statistical analysis of ionospheric anomalies before 736 M6.0+ earthquakes during 2002-2010. *J. Geophys. Res. A: Space Phys.*, 116, A02303.
- Leonard, R.S., Barnes, R.A. (1965). Observation of ionospheric disturbances following the Alaskan earthquake. *J. Geophys. Res.* 70(5), 1250-1253.
- Liu Z., Gao Y. (2004). Ionospheric TEC predictions over a local area GPS reference network, *GPS Solutions*. 8(1), 23-29.
- Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., Yu, S.B. (2004). Pre-earthquake-ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Ann. Geophys.*, 22(5), 1585-1593.
- Liu, J.Y., Chen, Y.I., Chuo, Y.J., Chen, C.S. (2006). A statistical investigation of preearthquake ionospheric anomaly. *J. Geophys. Res.*, 111, A05304.
- Liu, J.Y., Chen, Y.I., Chen, C.H., Liu, C.Y., Chen, C.Y., Nishihashi, M., Li, J.Z., Xia, Y.Q., Oyama, K.I., Hattori, K., Lin, C.H. (2009). Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake. *J. Geophys. Res.*, 114, A04320.
- Liu, J.Y., Chen, C.H., Chen, Y.I., Yang, W.H., Oyama, K.I., Kuo, K.W. (2010). A statistical study of ionospheric earthquake precursors monitored by using equatorial ionization anomaly of GPS TEC in Taiwan during 2001-2007. *J. Asian Earth Sci.*, 39(1), 76-80.
- Menvielle M. (2001). *The Geomagnetic Indices: Derivation, Meaning, and Availability*, Space Weather Workshop: Looking Towards a Future European Space Weather Programme, Noordwijk, Netherlands, 17-19 September 2001.
- Ouzounov, D., Pulinets, S., Romanov, A., Romanov, A., Tsybulya, K., Davidenko, D., Kafatos, M., Taylor, P. (2011). Atmosphere-ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multi instrument space-borne and ground observations: Preliminary results. *Earthq Sci*, 24(6), 557-564.
- Parrot, M. (2012). Statistical analysis of automatically detected ion density variations recorded by DEMETER and their relation to seismic activity. *Ann. Geophys.*, 55(1), 149-155.
- Pulinets, S.A., Legen'Ka, A.D., Gaivoronskaya, T.V., Depuev, V.K. (2003). Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 65(16), 1337-1347.
- Pulinets, S.A., Boyarchuk, K.A. (2004). *Ionospheric precursors of earthquakes*, Springer, Berlin.

- Pulinets, S.A., Ouzounov, D., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A., Pokhmelnikh, L.A. (2006). The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes. *Phys. Chem. Earth.*, 31(4), 143-153.
- Pulinets, S.A. (2009). Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic fault. *Adv. Space Res.*, 44(6), 767-773.
- Pulinets, S.A., Bondur, V.G., Tsidilina, M.N., Gaponova, M.V. (2010). Verification of the concept of seismoionospheric coupling under quiet heliogeomagnetic conditions, using the Wenchuan (China) earthquake of May 12, 2008, as an example. *Geomagn. Aeron.*, 50(2), 231-242.
- Rozhnoi, A., Solovieva, M., Molchanov, O., Biagi, P.F., Hayakawa, M. (2007). Observation evidences of atmospheric Gravity Waves induced by seismic activity from analysis of subionospheric LF signal spectra. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7(5), 625-628.
- Sarkar, S., Gwal, A.K. (2010). Satellite monitoring of anomalous effects in the ionosphere related to the great Wenchuan earthquake of May 12, 2008. *Nat. Hazards*, 55(2), 321-332.
- Schaer, S., Gurtner, W., Feltens, J. (1998). IONEX: The ionosphere map exchange format version 1. In *Proceedings of the IGS AC workshop, Darmstadt, Germany (Vol. 9, No. 11)*.
- Sorokin, V.M., Chmyrev, V.M., Yaschenko, A.K. (2006). Possible DC electric field in the ionosphere related to seismicity. *Adv. Space Res.*, 37(4), 666-670.
- Tapping, K. F. (2013). The 10.7 cm solar radio flux (F10.7). *Space Weather*, 11(7), 394-406.
- Toutain, J.P., Baubron, J.C. (1998). Gas geochemistry and seismotectonics: A review. *Tectonophysics*, 304(1), 1-27.
- Tsolis, G.S., Xenos, T.D. (2010). A qualitative study of the seismo-ionospheric precursor prior to the 6 April 2009 earthquake in L'Aquila, Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10(1), 133-137.
- Ulukavak, M., Yalcinkaya, M. (2016). Precursor analysis of ionospheric GPS-TEC variations before the 2010 M 7.2 Baja California earthquake. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-14.
- Weaver, P.F., Yuen, P.C., Prolss, G.W., Furumoto, A.S. (1970). Acoustic coupling into the ionosphere from seismic waves of the earthquake at Kurile Islands on August 11, 1969. *Nature*, 226(5252), 1239-1241.
- Xia, C., Yang, S., Xu, G., Zhao, B., Yu, T. (2011). Ionospheric anomalies observed by GPS TEC prior to the Qinghai-Tibet region earthquakes. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 22(2), 177-185.
- Xu, T., Hu, Y., Wu, J., Wu, Z., Li, C., Xu, Z., Suo, Y. (2011). Anomalous enhancement of electric field derived from ionosonde data before the great Wenchuan earthquake. *J. Adv. Space Res.*, 47(6), 1001-1005.
- Zakharenkova, I.E., Shagimuratov, I.I., Tepenitzina, N.Y., Krankowski, A. (2008). Anomalous modification of the ionospheric total electron content prior to the 26 September 2005 Peru earthquake. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 70(15), 1919-1928.

Kocaeli İli ve Çevresinde (1900-2016) Yılları Arasında Gerçekleşen Tarihsel Depremlerin Konumsal İstatistik Analizi

Özer AKYÜREK^{1*}, Ozan ARSLAN¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
(ozer.akyurek@kocaeli.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 5179 – 0191
(oarslan@kocaeli.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 1441 – 2965

Öz

Kocaeli 17 Ağustos 1999 yılında 7.4 ve sonrasındaki meydana gelen çeşitli büyüklüklerdeki artçı depremlerle gündeme gelmiştir. Sismik olarak dünyanın en diri faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde bulunan Kocaeli ili, deprem araştırmaları için özel bir yere sahiptir. Deprem çalışmalarında CBS tabanlı konumsal istatistik analizlerinin kullanımı konusunda son yıllarda artış görülmektedir. Çalışmanın amacı; tarihsel süreçte (1900-2016) Kocaeli ili ve çevresinde meydana gelen depremlerin konumsal istatistik yöntemlerle incelenerek yerel ve genel örüntülerin belirlenmesi ve konumsal analizinin yapılmasıdır. Bu çalışmada seçilen deprem veri seti üzerinde; global yöntemler olan Ortalama En Yakın Komşuluk, Genel Moran I ve Getis-Ord Genel G ve yerel yöntemler olan Anselin Moran I ve Getis-Ord G_i^* konumsal istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca meydana gelen depremlere göre yoğunluk haritalarının elde edilmesi ve riskli alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kocaeli, deprem, konumsal istatistik, kernel yoğunluk analizi

Spatial Statistical Analysis of Historical Earthquakes (1900-2016) in Kocaeli Province and Its Surroundings

Abstract

Kocaeli province came to the fore with about big earthquake which has 7.4 magnitude on 17 August 1999 and the aftershocks of various size from after this date. Located on the North Anatolian Fault which is seismically one of the world's most active faults, this city has a special place for earthquake investigations. There has been an increased trend on the use of GIS-based spatial statistical analysis in earthquake studies in recent years. The aim of the study is to investigate local and general patterns of the earthquakes in Kocaeli province and its surroundings in the historical process between 1900 and 2016 by using spatial statistical methods. The global spatial statistical methods such as Average Nearest Neighborhood, General Moran I and Getis-Ord General G and local ones such as Anselin Moran I and Getis-Ord G_i^* methods have been used in the study. In addition, it is aimed to determine risky areas considering the earthquakes and to obtain spatial density maps.

Keywords: Kocaeli province, earthquake, spatial statistics, kernel density analysis

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Günümüzde tarihsel depremler ile bu depremlerin sismik veri kataloglarının konumsal örüntü teknikleri ile analizi üzerine yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Bu çalışmalar belli bir zaman periyodu içinde meydana gelen depremlerin global/yerel konumsal örüntülerinin belirlenmesi ve kümelenmelerin saptanması konusunda yoğunlaşmıştır. Deprem oluşumlarının modellenmesinde anlamlı olabilecek jeolojik, tektonik ve sismik aktivitelerle ilişkili olarak ortaya çıkan kümelenmelerin konumsal dağılımlarının analizi konusunda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ileri araştırmalar yapılacağı öngörülmektedir (Shurygin, 1993; Holden ve diğ., 2003; Faenza ve diğ., 2004; Pei ve diğ., 2007; Vasudevan ve diğ., 2007; Han ve diğ., 2008; Zimeras, 2008; Pei, 2011).

Literatürde depremlerin konumsal istatistik ile incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Tağıl ve Alevkayalı (2013), Ege Bölgesinde meydana gelen depremlerin konumsal istatistiklerini Moran's I ve Geary's C yöntemleri yardımıyla araştırmışlar, meydana gelen kümelenme bölgelerini belirleyerek Kernel fonksiyonu yardımıyla yoğunluk haritalarını üretmişlerdir. Bakak (2016), İzmir'in Sığacık Körfezinde gerçekleşen depremleri ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve standart sapma elipsi analizleri ile inceleyerek bölgenin depremselliğini değerlendirmiştir. Ayrıca çalışma alanının yüksek deprem aktivitesine sahip olan bölgelerini, kernel yoğunluk fonksiyonunu uygulayarak belirlemiştir. Ayday ve diğ. (2015), Eskişehir ili genelinde meydana gelen depremleri inceleyerek, dönemsel olarak meydana gelen depremlerin Kernel fonksiyonu ile yoğunluk haritalarını üreterek çalışma alanı içerisindeki riskli bölgeleri belirlemiştir. Aktepe ve Aydın (2013), ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık, standart sapma elipsi ve nokta yoğunluğu konumsal analiz yöntemlerini kullanarak deprem merkezlerinin konumsal dağılımını belirleyerek, dağılım ve yoğunluk haritalarını üretmişlerdir. Ayrıca çalışma alanının depremselliğini inceleyerek risk oluşturabilecek alanları belirlemeye çalışmışlardır. Al-Ahmadi ve diğ. (2014), Kızıl

Denizde 1900 ile 2009 yılları arasında meydana gelen depremleri Moran's I, Getis-Ord Genel G, Anselin Yerel Moran's I ve Getis-Ord Gi* yöntemlerini kullanarak konumsal olarak incelemişler, yerel ve genel örüntüleri araştırmışlar ve çalışma alanındaki kümelenmeleri belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca depremlerin Kernel yoğunluk analizi yöntemiyle yoğunluk haritasını çıkararak depremsellik bakımından aktif olan bölgeleri belirlemiştir. Affan ve diğ. (2016), Sumatra adasının Aceh bölgesinde 1921-2014 yılları arasında meydana gelen depremleri En Yakın Komşu, Moran's I, Getis-Ord Genel G, Anselin Yerel Moran's I ve Getis-Ord Gi* yöntemlerini kullanarak konumsal istatistik analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmalarda; her bir çalışma bölgesinde meydana gelen depremlerin kümelenmeleri incelenerek, yerel ve genel konumsal örüntüleri belirlenmiştir.

Depremler ile ilgili yapılan çalışmalar büyük depremlerin belli dönemlerde zamansal ve mekânsal olarak kümelenme gösterdiğini ortaya koymuştur ve bu depremlerin birçoğu mekânsal olarak belirli fay zonları ile ilişkilidir. Büyüklüğü belirli bir değerin üzerinde olan büyük depremlerin özellikle tektonik statik stresin tetiklediği alanlarda kümelenmediği de bilinmektedir. Bu çalışmada 1999 yılında gerçekleşen 7.4 büyüklüğündeki deprem ile gündeme gelen Kocaeli ili ve çevresinde, tarihsel süreçte (1900-2016) meydana gelen depremlerin CBS tabanlı olarak konumsal analizinin yapılması, yerel ve global örüntülerinin belirlenmesi ve yoğunluk/dağılım haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde; 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ili ve çevresinde meydana gelen ve büyüklüğü 2'nin üzerinde olan 5301 adet deprem verisi AFAD deprem merkezinden elde edilmiş ve belirtilen yöntemlerle konumsal analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan haritalar üretilerek görsel hale getirilmiş ve risk alanları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

Kocaeli ili konum olarak 29°22'–30°21'E, 40°31'–41°13'N coğrafi koordinatlarında, kuzeyinde Karadeniz, doğusunda Sakarya, güneyinde Bursa ve batısında İstanbul ile Yalova illeri bulunmakta olup, yüz ölçümü 3.623 km² dir (Şekil 1). 2016 yılı TÜİK nüfus verilerine göre; 1.830.772 kişilik nüfusa ve kilometrekareye 505 kişi düşecek bir nüfus yoğunluğuna sahip Marmara bölgesinin 3. büyük şehridir. Kuzey Anadolu Fay hattı

Paleozoyik'i ve Kocaeli Triyasını bulunduran İzmit Körfezinin kuzeyinde konumlanmış Kocaeli Yarımadası, ikincisi ise Sakarya zonunun bir parçası olan ve İzmit Körfezinin güneyinde konumlanan Armutlu Yarımadası'dır. Kocaeli ili sınırları içerisinde kalan bölgede en kapsamlı jeolojik çalışmayı 2004 yılında Gedik ve diğ. gerçekleştirmiştir.

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Karlıova'dan başlayarak Saros Körfezine kadar ulaşan doğu



Şekil 1. Çalışma Bölgesi ve Çevresinin Genel Görünümü

üzerinde bulunması sebebiyle aktif bir deprem bölgesi olan Kocaeli ili, deprem araştırmaları için ideal bir konumdur. 17 Ağustos 1999'da meydana gelen 7.4 lük deprem ve sonrasındaki çok sayıda artçı depremlerle gündeme gelmiştir.

Kocaeli İli, jeolojik yapı olarak birbirini doğal olarak tamamlayan İstanbul ve Kocaeli Yarımadası ile birlikte İstanbul zonu olarak adlandırılan tektonik yapı üzerinde bulunmaktadır. Jeolojik pencereden bakıldığında iki önemli tektonik ve yapısal birliği bir araya getirmektedir. Bunlardan ilki Moezya platformundan koparak geldiği varsayılan ve içeriğinde genel olarak İstanbul

batı yönlü, sismik açıdan aktif, dünyanın en derin fay ve tektonik yapılarından birisidir.

Toplam uzunluğu 1.200 km civarındadır. 100 m - 10 km aralığında değişen genişlikteki bir kuşak doğrultusunda doğu-batı yönlü Anadolu levhası ile Karadeniz levhası arasındaki sağ yönlü doğrultu atımlı faydır. KAF, Sapanca Gölü güneyinden İzmit Körfezi'ne kadar çok belirgin bir biçimde takip edilebilmektedir. Gölcük ilçesi dolaylarında sola atlama yaparak küçük bir çek-ayır gerçekleştirmektedir. Bu çek-ayır, Sapanca-Gölcük bölümü ile Gölcük-Karamürsel bölümü arasında gelişmiştir. 17 Ağustos 1999 depremi, bu çek-ayır bölgeye denk gelen

Gölcük ile Değirmendere kıyı kesiminin körfüz içerisine kaymasına sebep olmuştur. Fay, Gölcük-Karamürsel aralığında kıyı hattına paralel bir biçimde deniz içerisine ilerlemektedir. Hereke-Çınarcık aralığında deniz içinde devam ederek batıya doğru yönelmektedir. Fayın güney kolu ise, Geyve-Mekece-İznik Gölü güneyi boyunca devam ederek, Bandırma ve Biga Yarımadası' nı izleyip Ege Denizi' ne doğru ilerlemektedir (ÇŞB, 2011).

Çalışmada 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ili ve çevresinde gerçekleşen, büyüklüğü 2'nin üzerinde gerçekleşen depremlerin konumsal örüntü analizinin yapılması ve konumsal dağılımlarının yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla seçilen veri kümesi üzerinde nokta örüntü analizleri, global ve yerel istatistikler kullanılacaktır.

2.1. Konumsal İstatistik Analizleri

Konumsal otokorelasyon bir noktada elde edilen bir özelliğin komşu konumlarda elde edilen özelliklerden bağımsız olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. Konumsal otokorelasyon pozitif ya da negatif değerler alır. Pozitif değerler komşu konumlardaki özelliklerin doğrusal olarak birbirlerini etkilediğini gösterirken (kümelenme), negatif değerler ise komşu konumlardaki özelliklerin ters olarak birbirlerini etkilediğini (dağılma) göstermektedir (Erdoğan, 2010).

2.1.1. Ortalama ve ortanca merkez analizi

Ortalama Merkez; çalışma alanındaki tüm verilerin x ve y koordinatlarının ortalamasıdır. Çalışma alanında bulunan verilerin değişikliklerini izlemek veya farklı öznitelik türlerinin dağılımlarını karşılaştırmak için kullanışlıdır.

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \bar{Y}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

x_i ve y_i veri noktasının konum değerlerini, w_i ise o konumda bulunan değerlerin ağırlığını temsil eder.

Ortanca merkez, dışsal değerlere karşı dayanıklı olan merkezi eğilimi ölçer. Ortanca merkez veri setindeki tüm veri noktalarıyla

olan en kısa mesafedeki merkez noktasını tanımlamaktadır (Mitchell, 2005). Ortanca merkezin Ortalama merkeze göre nerede konumlandığı deprem merkezlerinin dağılımının gidiş yönü hakkında önemli bilgiler vermektedir (Tağıl ve Alevkayalı, 2013).

2.1.2. Standart uzaklık

Veri noktalarının geometrik ortalama merkez çevresindeki yoğunluğunu veya dağılıma derecesini ölçer.

$$SD_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{X}_w)^2}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{Y}_w)^2}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (2)$$

\bar{X}_w ve \bar{Y}_w ağırlıklı ortalama merkezin koordinatlarını, w_i ise o konumda bulunan değerlerin ağırlığını temsil eder.

2.1.3. Standart sapma elipsi

Standart Sapma Elipsi çalışma alanındaki verilerin dağılım yönünü belirlemek amacıyla kullanılır. Bir dizi noktanın veya bölgenin trendini ölçmek amacıyla yaygın olarak kullanılan standart sapma elipsinde mesafe x ve y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bu iki mesafe, özellik dağılımını kapsayan bir elipsin eksenlerini tanımlarlar. Yöntem, elips eksenlerini tanımlamak için ortalama merkezden x-koordinatlarının ve y-koordinatlarının standart sapmasının hesaplanması şeklinde çalışmaktadır. Elips, veri setinin dağılımının uzunluğunu ve dolayısıyla belirli bir yönlendirmenin olup olmadığının gözlemlenmesini sağlar (Mitchell, 2005).

2.1.4. Ortalama en yakın komşuluk (Average nearest neighbor)

Ortalama En Yakın Komşuluk yöntemi, veri setinde bulunan her bir verinin en yakın komşusuyla konumu arasındaki mesafeyi ölçerek ortalamasını alır. Eğer hesaplanan ortalama mesafe, varsayımsal bir rastgele dağılımın ortalamasından daha düşükse,

analiz edilen özelliklerin dağılımı kümelenmiş olarak veya daha büyükse özellikler dağılmış olarak kabul edilir.

$$ANN = \frac{\bar{D}_O}{\bar{D}_E} \quad (3)$$

\bar{D}_O her bir öznitelik ile en yakın komşusu arasındaki gözlenen mesafenin ortalaması.

$$\bar{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4)$$

\bar{D}_E ise rastgele dağılımdaki öznitelikler için beklenen ortalama mesafedir.

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemlerde, d_i i inci öznitelik komşusuyla olan mesafesini, n toplam öznitelik sayısını, A ise toplam çalışma alanını temsil etmektedir.

Ortalama En Yakın Komşuluk, her bir verinin en yakın komşusu olan veriye (yalnızca x ve y koordinatlarına) ve bunlarla ilişkili z değerlerine olan ortalama mesafeye dayanan en yakın komşu indeks değerini hesaplar. Bu değer 1'den küçükse, çalışma alanındaki örüntü kümelemeyi gösterir. İndeks 1'den büyük ise, örüntü dağılım eğilimi gösterir. Z skoru veya standart sapma ölçüsü, istatistiksel önemi göstermektedir. Analizde Z skoru -1.96'dan düşük veya 1.96'dan büyükse, örüntü sırasıyla anlamlı kümelenme veya dağılımı göstermektedir ($p < 0.05$). Z skoru 1.96 ile -1.96 arasında ise, örüntü rastgele dağılım gösterir (Mitchell, 2005).

2.1.5. Genel Moran indeksi (Global Moran's I)

Genel Moran İndeksi (GMI) istatistiği, olayların yerleri ve aynı zamanda olaylarla ilişkili değerler temelinde konumsal otokorelasyon derecesinin bir ölçüsüdür. GMI istatistiği belirli bir nokta örüntüsü için konumsal otokorelasyon veya dağılım derecesini gösterir (Al-Ahmadi ve diğ., 2014; Affan ve diğ., 2016).

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (6)$$

z_i i inci öznitelik'in ortalama değerinden olan sapmasıdır, w_{ij} i ve j inci değerler arasındaki konumsal ağırlık, n toplam özellik sayısı, S_0 tüm ağırlık değerlerinin toplamını temsil etmektedir.

$$z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (7)$$

$$E[I] = -1 / (n-1) \quad (8)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (9)$$

denklemleriyle Z skoru hesaplanır.

Depremlerin konumsal modelinin kümelenmiş, dağılmış veya rastgele olup olmadığını belirlemek için GMI ve ilgili Z değerleri hesaplanmıştır. Konumsal otokorelasyon analizinde eğer Z skoru -1.96'dan düşük veya 1.96'dan büyükse, veri setinin sırasıyla dağılım veya kümelenme gösterdiği söylenebilir ($p < 0.05$). -1.96 ve 1.96 arasındaki Z skorları rastgele bir dağılımın olduğunu göstermektedir.

2.1.6. Getis-Ord Genel G (Getis-Ord General G)

Getis-Ord Genel G (GOGG), bir çalışma alanında sıcak noktalar (yüksek değerli kümeler) veya soğuk noktalar (düşük değerli kümeler) olup olmadığının bulunması için yüksek veya düşük değerler için kümelenme boyutunu belirlemeyi amaçlar. Eğer Z skoru değeri pozitif ise, gözlenen GOGG değeri, beklenen GOGG değerinden daha büyüktür, bu nedenle ilgili özellik için yüksek değerlerin çalışma alanında kümelenmeler oluşturduğu söylenebilir. Eğer Z skoru değeri negatif ise, gözlenen GOGG değeri beklenen değerden daha küçüktür, bu da çalışma alanında düşük değerlerin kümelenmiş olduğunu göstermektedir (Al-Ahmadi ve diğ., 2014; Affan ve diğ., 2016).

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \quad \forall j \neq i \quad (10)$$

x_i ve x_j i inci ve j inci verilere ait bilgiler, w_{ij} i ve j değerleri arasındaki ağırlık katsayısı, n toplam veri sayısını temsil etmektedir.

2.1.7. Kernel yoğunluk analizi

Kernel Yoğunluk Analizi, veri seti yoğunluğunu hesaplayarak verilerin dağılımının birinci derece özelliklerini analiz etmek için parametrik olmayan bir konumsal enterpolasyon yöntemidir (Al-Ahmadi ve diğ., 2014). Yöntem; belirlenen bir yarıçap değerine sahip çember içerisinde kalan veri seti noktalarının yoğunluğu ile çemberin merkezinden uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu tanımlamaktadır (Bakak, 2016; Ayday ve diğ., 2015).

$$\lambda(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi r^2} k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) \quad (11)$$

$\lambda(s)$ s konumundaki yoğunluk değerini, r tanımlanan yarıçap değerini, n toplam veri seti nokta sayısını, k i noktasının ağırlık değerini, d_{is} ise i noktası ile s noktası arasındaki mesafeyi tanımlamaktadır.

2.1.8. Anselin yerel Moran's I

Moran's I yöntemi genel ölçekli olup çalışma alanının genelinde dağılımın konumsal bağımlılık düzeyini ölçmektedir. Ancak çalışma alanının içerisinde dağılımın hangi bölgelerde kümelendiğini yerel olarak belirleyememektedir. Anselin Yerel Moran's I birbirine benzeyen ve benzemeyen değişkenlerin meydana getirdiği kümelenmelerin belirlenmesinde kullanılan yerel bir yöntemdir. İstatistiksel olarak sonuç değeri yüksek ise; ilgili bölgenin etrafındaki alanlarda da yüksek veya düşük değerlerin kümelenme oluşturduğunu göstermektedir. Eğer sonuç değeri düşük çıkmış ise birbirine benzemeyen değerlerin bir araya geldiğini göstermektedir. Z skoru değeri de çıkan sonuç değerinin istatistiksel anlamlılığı hakkında bilgi vermektedir (Yakar, 2011). Anselin Yerel Moran's I aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad (12)$$

x_i veri setindeki i. özelliğin değeri, \bar{x} ilgili değerlerin ortalaması (deprem büyüklüklerinin ortalaması), $w_{i,j}$, i inci ve j inci veri noktaları

arasındaki ağırlık değerini temsil etmektedir. Farklı komşuluk/yakınlık kriterlerine bağlı olarak tanımlanabilen (kesikli, sürekli vb.) ve tüm noktalar arasındaki rölatif konum ölçüsünü veren bir "konumsal ağırlık matrisi" olarak düşünülebilir.

2.1.9. Getis-Ord G_i^*

Getis-Ord G_i^* yöntemi veri setinde bulunan sıcak nokta (hot spots) ve soğuk nokta (cold spots) değerlerin konumsal olarak nerelerde kümelendiğini belirler. İstatistiksel olarak hesaplanan Z skoru ne kadar büyükse veri setinde bulunan yüksek/sıcak değerlerin kümelmesi o derecede yüksektir. Diğer yandan Z skoru ne kadar küçükse düşük değerlerin kümelmesi o oranda fazladır. Hesaplanan G_i^* değeri sifıra yakınsa hesaplanan özelliğin komşuluğunda yüksek veya düşük değerlerin olmadığı söylenebilir.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (13)$$

x_j veri setindeki j inci özelliğin değerini, w_{ij} , i inci ve j inci veri noktaları arasındaki konumsal ağırlık değerini/matrisini tanımlamaktadır.

3. BULGULAR

Çalışmada 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ili ve çevresinde gerçekleşen, büyüklüğü 2'nin üzerinde 5301 adet deprem verisi kullanılmıştır (Şekil 2). Kullanılan veri setinin özelliklerini yansıtan genel özet istatistik bilgileri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Buna göre tablolardan tüm veri seti için elde edilen değerler göz önüne alındığında Ortalama En Yakın Komşuluk, Moran's I ve Getis Ord Genel G istatistiği yöntemlerinin sonuçları sırasıyla 0.69, 0.09 ve 0.05 değerlerini aldığı görülmektedir.

Tablo 1'den de görüldüğü gibi en yüksek deprem sayısı %75'lik oranla 2 ile 2.9 büyüklükleri arasındaki depremlerde görülmüştür. İkinci olarak 3 ile 3.9 büyüklükleri arasındaki depremler %21'lik oranla gerçekleşmiştir. $4 \leq M \leq 4.9$ büyüklük aralığındaki depremler tüm depremlerin %2.9 luk bölümü oluşturmaktadır. %0.32 lik kısmı oluşturan 17 adet $5 \leq M \leq 7.4$ büyüklüğü

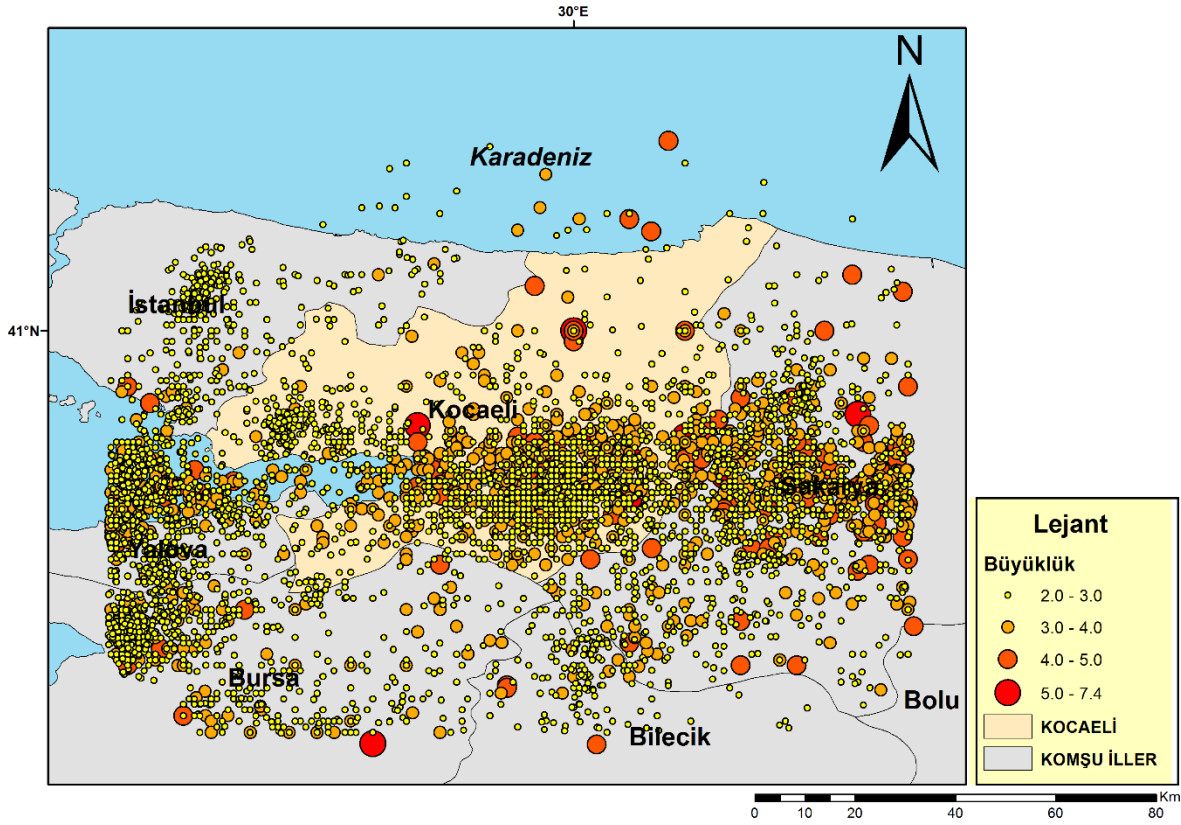
aralığındaki depremlerin sayısı da oldukça fazladır. Gerçekleşen 5301 adetlik deprem Kocaeli bölgesinin deprem ve depremsellik bakımından oldukça aktif bir bölge olduğunu göstermektedir.

Global konumsal istatistik yöntemleri olan Ortalama En Yakın Komşu, Moran's I ve Getis Ord Genel G istatistik yöntemlerinin sonuçları Tablo 2, 3 ve 4'te verilmektedir. Konumsal istatistik yöntemlerinde indeks değerlerinin 1'in altında değer alması veri setinin konumsal olarak kümelendiği anlamına gelmektedir (Tağıl ve Alevkayalı, 2013; Al-Ahmadi ve diğ., 2014; Affan ve diğ., 2016). Moran I için, sıfıra yakınsa rassal; 1'e yaklaştıkça pozitif otokorelasyon (kümelene); -1'e yaklaştıkça negatif otokorelasyon (dağılmış) örüntüden bahsedilir. Ayrıca anlamlılık testine bakılmalıdır.

Tablolarda verilen değerler 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ili ve çevresinde meydana gelen depremlerin konumsal olarak birbirleriyle ilişkili/bağımlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ve çevresinde meydana gelen depremlerin tanımsal istatistikleri

| Büyüklik | Deprem Sayısı | Deprem % | Minimum Büyüklik | Maksimum Büyüklik | Ortalama Büyüklik | Standart Sapma |
|---------------------|---------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| $2 \leq M \leq 2.9$ | 4011 | 75.66 | 2 | 2.9 | 2.6 | 0.2 |
| $3 \leq M \leq 3.9$ | 1120 | 21.13 | 3 | 3.9 | 3.2 | 0.2 |
| $4 \leq M \leq 4.9$ | 153 | 2.89 | 4 | 4.9 | 4.3 | 0.2 |
| $5 \leq M \leq 7.4$ | 17 | 0.32 | 5 | 7.4 | 5.7 | 0.7 |
| $2 \leq M \leq 7.4$ | 5301 | 100.00 | 2 | 7.4 | 2.8 | 0.5 |



Şekil 2. 1900-2016 Yılları Arasında Kocaeli İli ve Yakın Çevresinde Gerçekleşen Depremler

Tablo 2. Ortalama En Yakın Komşuluk yöntemi istatistikleri

| Büyüklik(M) | İndeks | Z Skor | P değeri | Kümelene Durumu |
|---------------------|--------|--------|----------|-----------------|
| $2 \leq M \leq 2.9$ | 0.71 | -34.33 | 0.00 | Kümelendi |
| $3 \leq M \leq 3.9$ | 0.69 | -19.48 | 0.00 | Kümelendi |
| $4 \leq M \leq 4.9$ | 0.66 | -7.99 | 0.00 | Kümelendi |
| $5 \leq M \leq 7.4$ | 1.13 | 1.01 | 0.31 | Rastgele |
| $2 \leq M \leq 7.4$ | 0.69 | -43.44 | 0.00 | Kümelendi |

Tablo 3. Moran's I yöntemi istatistikleri

| Büyüklik(M) | İndeks | Z Skor | P değeri | Kümelene Durumu |
|---------------------|--------|--------|----------|-----------------|
| $2 \leq M \leq 2.9$ | 0.07 | 58.68 | 0.00 | Kümelendi |
| $3 \leq M \leq 3.9$ | 0.01 | 4.61 | 0.00 | Kümelendi |
| $4 \leq M \leq 4.9$ | 0.01 | 0.91 | 0.36 | Rastgele |
| $5 \leq M \leq 7.4$ | -0.05 | 0.13 | 0.89 | Rastgele |
| $2 \leq M \leq 7.4$ | 0.09 | 82.00 | 0.00 | Kümelendi |

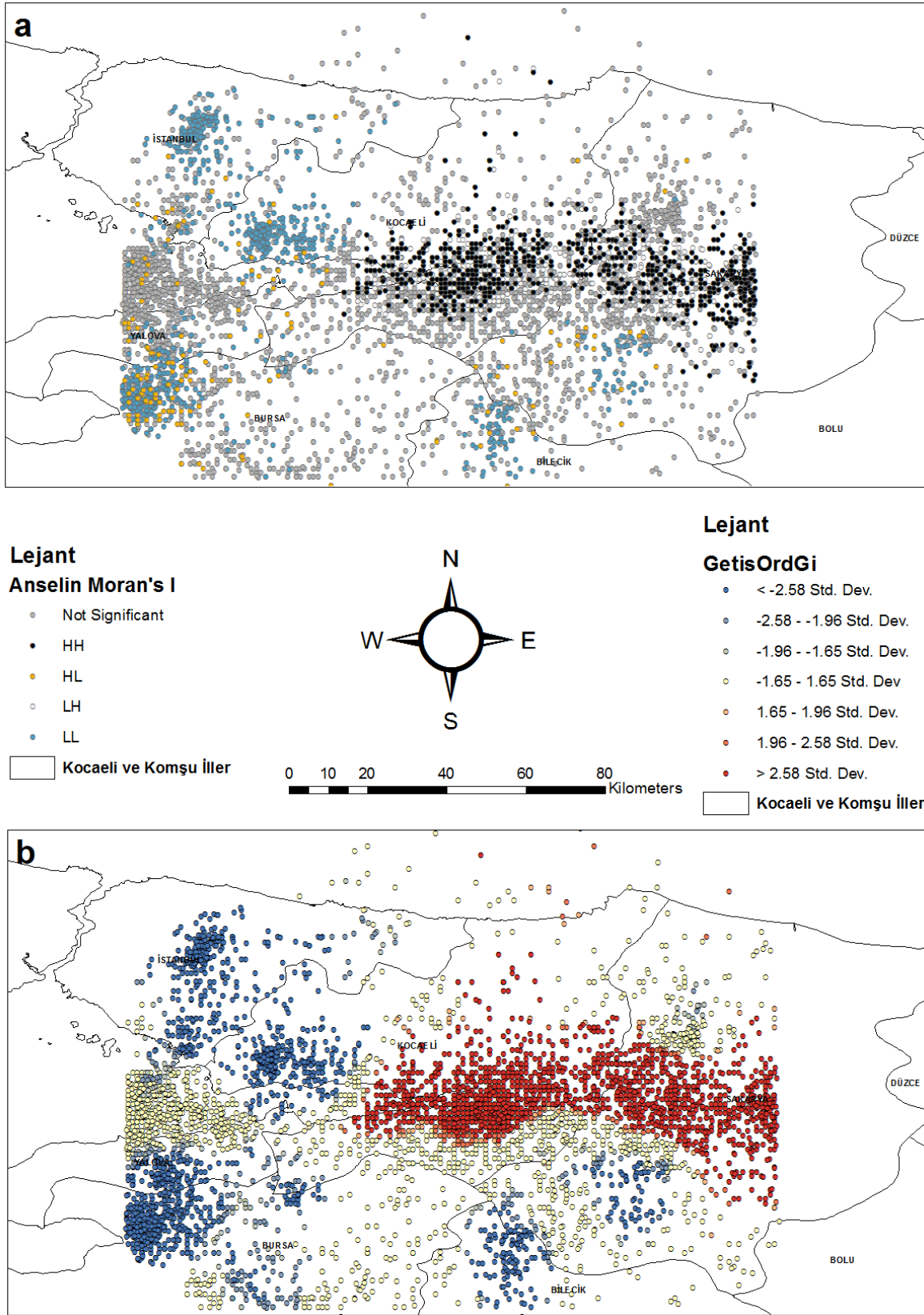
Tablo 4. Getis Ord Genel G yöntemi istatistikleri

| Büyüklik(M) | İndeks | Z Skor | P değeri | Kümelenme Durumu |
|---------------------|--------|--------|----------|------------------|
| $2 \leq M \leq 2.9$ | 0.06 | 5.44 | 0.00 | Yüksek Kümelenme |
| $3 \leq M \leq 3.9$ | 0.11 | 0.76 | 0.44 | Rastgele |
| $4 \leq M \leq 4.9$ | 0.13 | 0.87 | 0.38 | Rastgele |
| $5 \leq M \leq 7.4$ | 0.65 | 0.25 | 0.80 | Rastgele |
| $2 \leq M \leq 7.4$ | 0.05 | 5.50 | 0.00 | Yüksek Kümelenme |

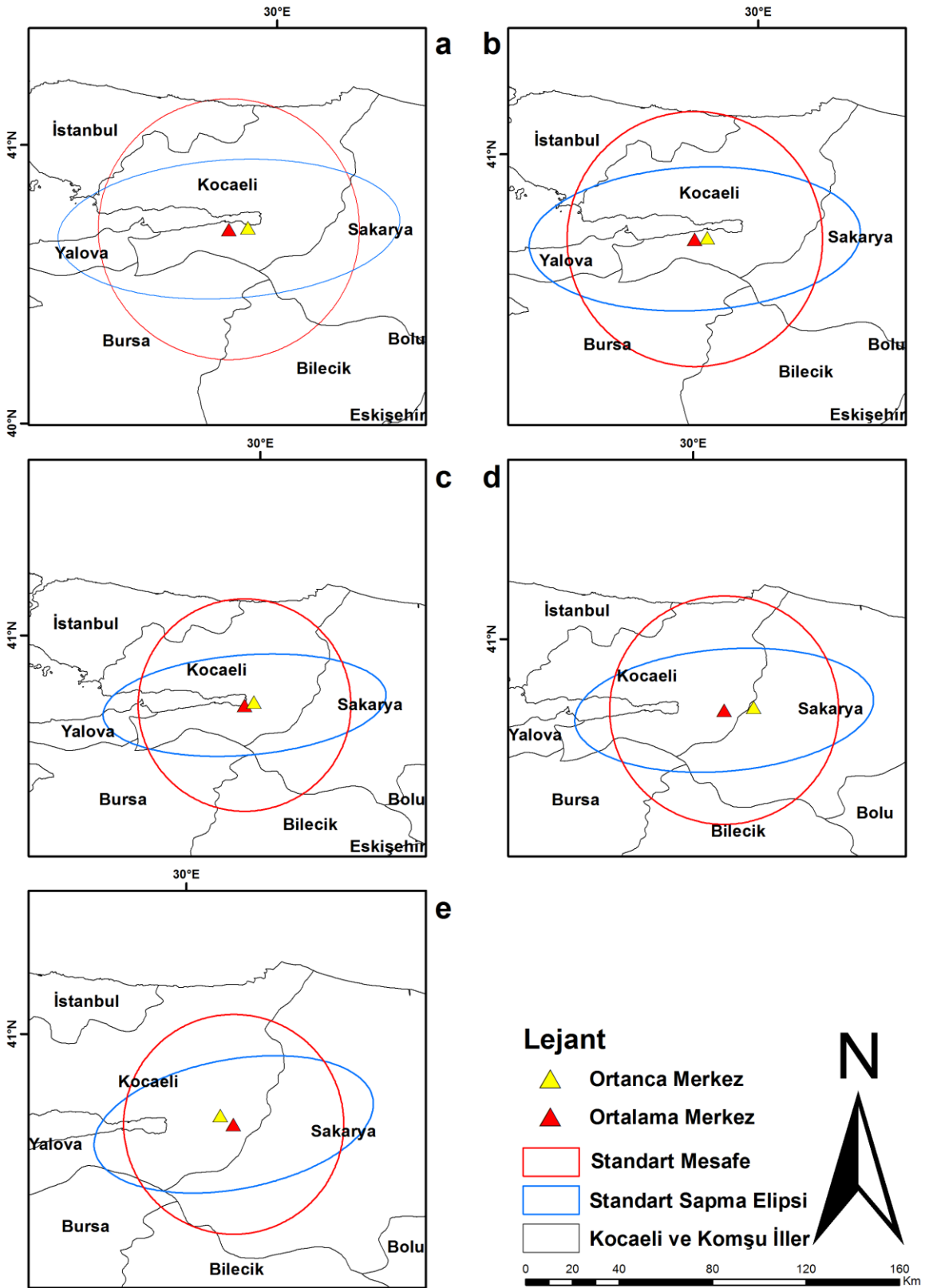
Ortalama En Yakın komşu yöntemine göre yapılan analizde meydana gelen depremlerden $5 \leq M \leq 7.4$ büyüklüğüne sahip depremler rastgele dağılım göstermiş, bunun dışındaki bütün depremler ise kümelenme özelliği göstermişlerdir (Tablo 2). Moran's I yöntemine göre meydana gelen depremler incelendiğinde $4 \leq M \leq 4.9$ ve $5 \leq M \leq 7.4$ büyüklüklerine sahip depremler rastgele dağılım sergilemişler, bunlar dışındaki depremler ise kümelenme özelliği göstermişlerdir (Tablo 3). Getis Ord Genel G yönteminde ise sadece $2 \leq M \leq 2.9$ büyüklüğüne sahip depremler yüksek kümeleme özelliği göstermiş, bunun dışındaki tüm büyüklüklere sahip depremler ise rastlantısal dağılım özelliği göstermişlerdir (Tablo 4). Buna göre genel konumsal istatistik yöntemleri birbirleri ile karşılaştırıldığında farklı sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Bu durumda çalışma alanı içerisindeki kümelenmeleri bölgesel ölçekte belirleyebilen Getis Ord G_i^* ve Anselin Yerel Moran's I gibi yerel konumsal istatistik yöntemlerinden faydalanılabilmektedir. Getis Ord G_i^* istatistiği yerel ortalama ile genel ortalamayı karşılaştırarak *belirli bir mesafe (veya band) içerisinde* kalan tüm veri seti özelliklerini hesaba katarak yüksek ve düşük değerdeki özelliklerin çalışma alanı içerisinde nerelerde kümelenmediğini belirleyebilmektedir. Bölgesel olarak otokorelasyonun mevcut olmadığı veya lokal olarak değişkenliğin mevcut olduğu durumlarda; Anselin Yerel Moran's I belirli bir alanda benzer değerlere sahip öznitelik değerlerini tanımlamak için kullanılır. Yöntem birbirine komşu tüm veri seti özelliklerinden ortalama bir değer belirler ve komşu değerlerin bu ortalama değerden farkını alarak çalışır. Bu prensip ile çalışma

alanındaki bölgesel komşulukları/değişkenlikleri belirleyebilmektedir (İlçi, 2013).

Şekil 3'te yerel konumsal istatistik yöntemlerinin (Anselin Moran's I ve Getis Ord G_i^*) sonuçları gösterilmektedir. Buna göre Şekil 3-a'da Anselin Moran's I yöntemine göre Kocaeli ve Sakarya illeri şehir merkezlerinde yüksek değerlerin kümelendiği, Dilovası, Gebze ilçelerinde, Yalova'nın güneyinde, İstanbul'un doğusunda ve Bilecik ilinin kuzeyinde kalan bölümlerde düşük değerlerin kümelendiği görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 3-b'de Getis Ord G_i^* yönteminin de aynı bölgelerde benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Kocaeli ve Sakarya illerinin şehir merkezlerinde yüksek değerlerin (sıcak noktalar) kümelendiği, diğer bölgelerde de (Yalova'nın güneyi, İstanbul'un doğusu, Bilecik'in kuzeyi ve Dilovası ve Gebze ilçeleri) düşük değerlerin (soğuk noktalar) kümelendiği görülmektedir.



Şekil 3. Yerel Konumsal İstatistik Yöntemleri; a) Anselin Moran's I, b) Getis Ord Gi*

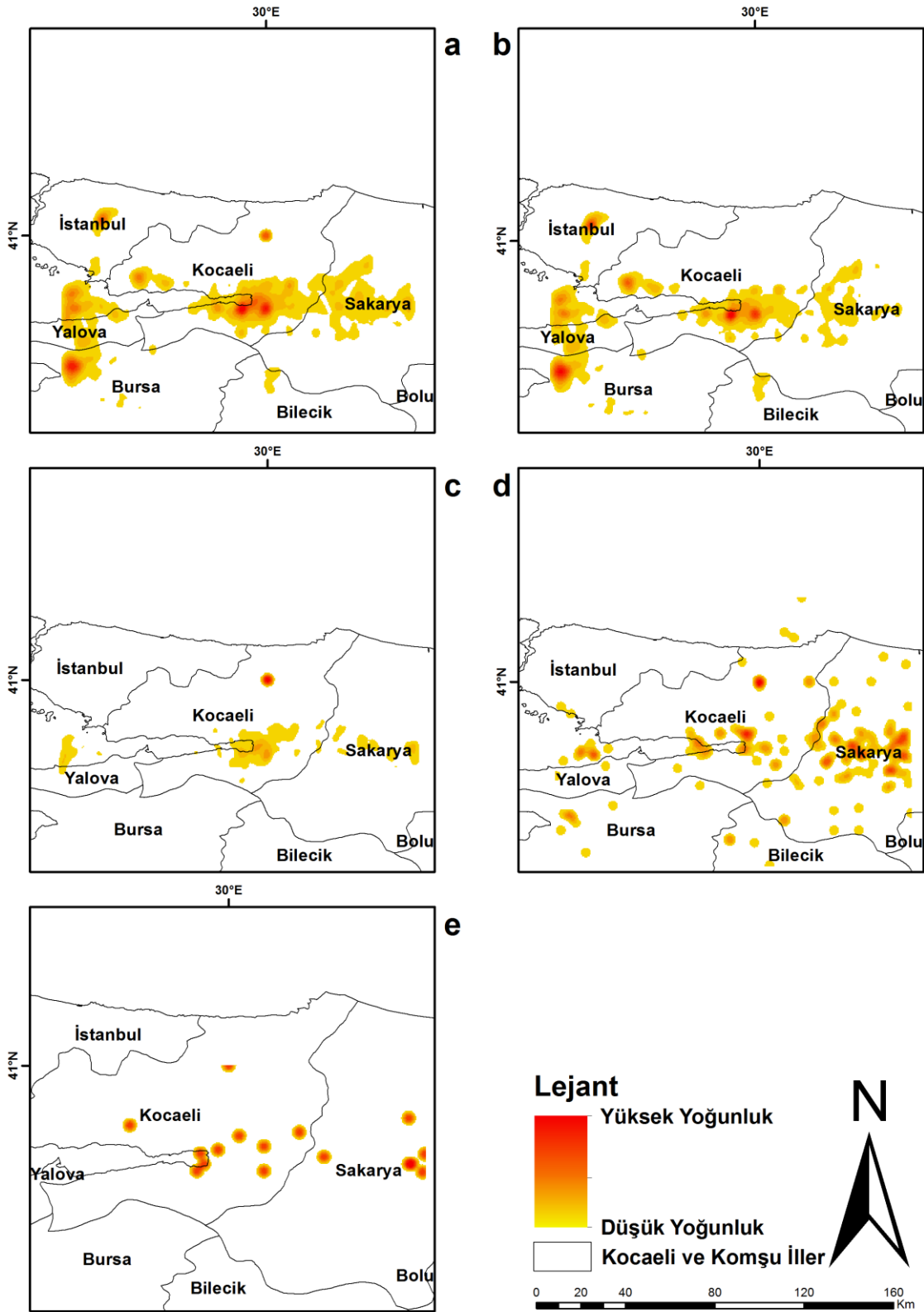


Şekil 4. Ortalama, Ortanca Merkezler, Standart Mesafe ve Standart Sapma Elipsleri; a) Tüm depremler, b) $2 \leq M < 3$, c) $3 \leq M < 4$, d) $4 \leq M < 5$, e) $5 \leq M \leq 7.4$

Şekil 4 a-e’de meydana gelen depremlerin ortalama ve ortanca merkezleri, Standart mesafeleri ve 1 standart sapmaya sahip standart sapma elipsleri gösterilmektedir. Ortalama ve Ortanca Merkez analizlerinde ağırlık değeri olarak gerçekleşen depremlerin büyüklükleri kullanılmıştır. Buna göre Ortalama Merkez tüm depremler için 29.8271 Boylam – 40.6977 Enlem koordinatlarında, Ortanca Merkez ise 29.8958 Boylam – 40.7041 Enlem koordinatlarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4-a). Depremlerin büyüklük değerleri arttıkça ortalama merkezin batıdan doğuya doğru kaydığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Ortanca merkezin, ortalama merkeze göre konumlanması depremlerin gidiş yönü hakkında bilgi vermesi bakımında önem arz etmektedir. Şekil 4-e dışındaki bütün ortanca merkezler, ortalama merkezlerin doğusunda konumlanmıştır. Şekil 4-e’de ise ortanca merkez, ortalama merkezin kuzey batısında bulunmaktadır. Standart mesafe çemberleri deprem merkezlerinin ortalama merkezden ne kadar uzağa yayıldığı hakkında bilgi vermektedir. Depremlerin büyüklük değerleri ağırlık katsayısı olarak analize katılmış ve standart uzaklık bilgisi elde edilmiştir. Gerçekleşen analiz sonucunda standart uzaklık çemberinin çalışma alanındaki tüm verileri içine alması, deprem merkezlerinin belirli bir konumda gruplanmayarak çalışma alanına yayılmış bir yapı sergiledikleri sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bütün standart mesafe çemberleri Kocaeli ili genelini kapsadığından, deprem merkezlerinin belirli bir alanda kümelenmedikleri, il sınırı geneline dağıldıkları söylenebilir. Standart sapma elipsleri incelendiğinde ortaya çıkan elipslerin hepsinin doğu batı yönünde olduğu bunun sebebinin ise Kuzey Anadolu Fay hattının da bu doğrultuda olması ve meydana gelen birçok depremin bu fay hattının üzerinde gerçekleşmesi olarak gösterilebilir (Şekil 4-a).

Şekil 5 a-e depremlerin büyüklüklerine göre kernel yoğunluk haritalarını göstermektedir. Şekil 5-a tüm deprem verilerinin yoğunluğunu göstermektedir. Şekil 5’te de görüleceği gibi en yoğun olan alan 17 Ağustos 1999 yılında gerçekleşen 7.4 büyüklüğündeki depremin merkezi ve çevresi olan bölge olduğu görülmektedir. Ayrıca Yalova’nın güney bölgesi Bursa sınırları içinde kalan bölgede de

yoğun depremlerin gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 5-b $2 \leq M < 3$ büyüklüğündeki depremlerin yoğunluk haritasını göstermektedir. Şekil 5-a ile benzerlik göstermekle birlikte deprem yoğunlukları genellikle Kocaeli şehir merkezinde ve Yalova’nın güneyinde yoğunlaştığını söylemek mümkündür. Şekil 5-c’de $3 \leq M < 4$ büyüklüğündeki depremlerin genellikle Kocaeli şehir merkezi genelinde gerçekleştiği ayrıca Kandıra ilçesinin belirli bir noktasında meydana geldiği görülmektedir. Şekil 5-d’de $4 \leq M < 5$ büyüklüğüne sahip depremlerin yoğunluk haritası göstermektedir. Depremlerin çalışma alanı geneline yayıldığı, bunun yanında Sakarya ili genelinde daha yoğun şekilde meydana geldiklerini söylemek mümkündür.



Şekil 5. Kernel Yoğunluk Haritaları; a) Tüm depremler, b) $2 \leq M < 3$, c) $3 \leq M < 4$, d) $4 \leq M < 5$, e) $5 \leq M \leq 7.4$

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Kocaeli ili ve çevresinde meydana gelen tarihsel süreçteki depremlerin CBS tabanlı konumsal analizinin yapılmasının amaçlandığı bu çalışmada; 1900-2016 yılları arasında Kocaeli ili ve çevresinde meydana gelen, büyüklüğü 2'nin üzerindeki depremler incelenmiş, yerel ve global konumsal istatistik analizleri uygulanarak meydana gelen depremlerin incelemesi yapılmıştır. Konumsal Analiz yöntemlerinin (genel ve yerel) tümü deprem verilerini kümeleyerek, meydana gelen bu depremlerin konumsal olarak birbirleriyle ilişkili/bağımlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen büyük Kocaeli depreminin merkezi etrafında yüksek büyüklüğe sahip depremlerin kümelendiği görülmüş, Yalova'nın güneyi, İstanbul'un doğusu, Bilecik'in kuzeyi ve Dilovası ve Gebze ilçeleri çevresinde ise düşük büyüklüğe sahip depremlerin kümelenme özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Meydana gelen depremlerin ortalama ve ortanca merkezleri incelenmiş ve depremlerin büyüklük değerleri arttıkça ortalama merkezin batıdan doğuya doğru kaydığı görülmüştür. Ortanca merkezin, ortalama merkeze göre nerede konumlandığı deprem merkezlerinin dağılımının gidiş yönü hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ortanca merkezlerin analizler sonrasında ortalama merkezin doğusunda konumlandığı belirlenmiştir. Standart mesafe çemberlerinin çalışma alanının tümünü kapsamaması gerçekleşen depremlerin çalışma alanının geneline yayıldığını ortaya çıkarmıştır. Standart Sapma Elipsinin doğu batı yönlü çıkması ve Kuzey Anadolu Fay hattı ile çakışması depremlerin genellikle bu sismik açıdan aktif olan fay hattı üzerinde meydana geldikleri sonucunu ortaya çıkarmıştır. Kernel yoğunluk haritaları incelendiğinde deprem yoğunluğunun genellikle İzmit şehir merkezi ve Yalova ilinin güney bölümünde yoğunlaştığını söylemek mümkündür.

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile konumsal olarak analiz edilen bu depremlerin hangi bölgelerde kümelenmeler gösterdiği, hangi bölgelerde dağınık yapıya sahip olduğunun belirlenmesi; gelecekte afet planlaması ve yönetimi açısından karar vericiler için önemli bir bilgi kaynağıdır. Geleceğe yönelik alınacak kararlarda ortaya çıkarılan sonuçlar doğrultusunda adımlar atmak sismik açıdan

aktif olan bölgeler üzerinde yaşayanlar için olası depremlerin zararlarının azaltılması bakımından önem arz etmektedir. Tarihsel deprem verileri ile güncel verilerin tutulduğu coğrafi veritabanları sayesinde belirtilen mekânsal analizlerin yanısıra; CBS teknolojisi ile depremle bağlantılı karmaşık mekanizma ve etkileşimleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılacak konumsal modellemenin etkin biçimde gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Affan, M., Syukri, M., Wahyuna, L., ve Sofyan, H. (2016), Spatial Statistic Analysis of Earthquakes in Aceh Province Year 1921-2014: Cluster Seismicity. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(2), 54-62.
- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A., ve See, L. (2013), A Spatial Statistical Analysis of the occurrence of earthquakes along the Red Sea floor spreading: Clusters of Seismicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2893-2904.
- Ayday, C., Yaman, N., ve Göçmez, A. (2015), 1900-2015 Arası Deprem Dış Merkez Verileri ile Eskişehir İli Deprem Risk Analizine Katkıları. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, Konya.
- Bakak, Ö. (2016), 2005 Sığacık Körfezi (İzmir) Depremlerinin Mekansal Değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 37(1), 51-63.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kocaeli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2011). *Kocaeli İl Çevre Durum Raporu*.
- Erdoğan, S. (2010), Epidemiyolojide CBS Uygulamaları: Konumsal Kümeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması-Menenjit Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (2), 23-31.
- Faenza, L., Marzocchi, W., Lombardi, A.M., ve Console, R. (2004) Some insights into the time clustering of large earthquakes in Italy. *Annales De Geophysique*, 47(5), 1635-1640.

- Gedik, İ., Pehlivan, S., Timur, E., Duru, M., Altun, İ., Akbas, B., Özcan İ., ve Alan, İ. (2004), Kocaeli Yarımadası Jeolojisi. *MTA raporu*.
- Han, S., Ishioka, F., ve Kurihara, K. (2008) Detection of hotspot for Korea earthquake data using echelon analysis and seismic wave energy. *Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology*, 13(1), 51–56.
- Holden, L., Sannan, S., ve Bungum, H. (2003), A stochastic marked point process model for earthquakes. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 3, 95–101.
- İlçi, V. (2013), Trafik Kaza Kara Noktalarının Mekansal İstatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi: Afyonkarahisar-Konya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye.
- Mitchell, A. (2005), The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press.
- Pei, T., Zhua, A.X., Zhou, C., Li, B., ve Qin, C. (2007) Delineation of support domain of feature in the presence of noise. *Computers & Geosciences*, 33, 952–965.
- Pei, T. (2011) A nonparametric index for determining the numbers of events in clusters. *Mathematical Geosciences*, 43, 345–362.
- Shurygin, A M. (1993), Statistical analysis and long-term prediction of seismicity for linear zones. *Mathematical Geology*, 25(7), 759–772.
- Tağlı, Ş., ve Alevkayalı, Ç. (2013), Ege Bölgesinde Depremlerin Mekansal Dağılımı: Jeostatistiksel Yaklaşım. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(28), 370-379.
- Vasudevan, K., Eckel, S., Fleischer, F., Schmidt, V., ve Cook, F. A. (2007) Statistical analysis of spatial point patterns on deep seismic reflection data: a preliminary test. *Geophysical Journal International*, 171(2), 823–840.
- Yakar, M. (2011), Nüfus Dağılımının Mekansal Analizi: Afyonkarahisar ili Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(19), 389-406.
- Zimeras, S. (2008) Exploratory point pattern analysis for modeling earthquake data. *1st WSEAS International Conference On Environmental And Geological Science and Engineering*, 11-13 September, Malta.

Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler

Başar KOCA^{1*}, Ayhan CEYLAN²

¹ T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü
(basarkoca@tcdd.gov.tr) ORCID ID 0000-0002-2290-9966

² Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(aceylan@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4408-4245

Öz

İnsanoğlu yaşadığı her dönemde yeryüzünde bulunduğu yeri bilmek istemiştir. Bu merakı gidermeye yönelik olarak ilk çağlarda kullanılan ilkel konum belirleme yöntemlerinden, günümüz teknolojik gelişmeleri sayesinde uydular yardımıyla dört boyutlu (4D) konum belirleme noktasına gelinmiştir. Konum belirlemelerine yeni bir anlayış getiren Uydu Konum Belirleme sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS), arama-kurtarma, hedef bulma, uçakların görüşün sınırlı yada hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı gibi askeri alanlarda, her türlü kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, Jeodezik ve Jeodinamik ölçmeler, kadastral ölçmeler, deformasyon ölçmeleri, araç takip sistemleri, turizm, tarım, ormancılık, spor, güvenlik, hidrografik çalışmalar ve CBS uygulamaları gibi bir çok sivil alanda etkin olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, halen kullanılmakta olan ve yapım aşamasında olan Küresel ve Bölgesel Uydu Konum Belirleme Sistemlerinin güncel durumu ve geleceği hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Konum Belirlemeleri, GPS, Glonass, Beidou

Current Status and Recent Developments in Global Positioning Satellite Systems (GNSS)

Abstract

Mankind wanted to know the place on earth every time he lived. From the primitive positioning methods used in the early ages to this curiosity, today's technological developments have led to the point of four-dimensional (4D) positioning with the aid of satellites. Global Navigation Satellite Systems (GNSS), which provides a new insight into location determinations, can be used to navigate all kinds of land, sea and air vehicles in military areas such as search and rescue, targeting, aircraft landing and departure. Many civilian areas such as geodetic and geodynamic measurements, cadastral measurements, deformation measurements, vehicle tracking systems, tourism, agriculture, forestry, sports, security, hydrographic studies and GIS applications are used effectively.

In this study, detailed information about the current status and future of Global and Regional Satellite Positioning Systems which are still in use and in construction stage are given.

Keywords: GNSS, Glonass, Beidou, positioning

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Küresel Uydu Konum Belirleme Sistemleri (Global Navigation Satellite System-GNSS) sivil ve askeri birçok alanda yaygın olarak kullanılan navigasyon sistemlerinden biridir. Giderek büyüyen ve gelişen Küresel Konum Belirleme Sistemlerini kullananların sayısı da her geçen gün artmaktadır.

Günümüzde Küresel Konum Belirleme sistemlerinde ana servis sağlayıcı olarak üç sistem faaliyet göstermekte olup, bunlar; ABD (GPS), Rusya (GLONASS) ve Avrupa Birliği (Galileo) dir. Çin (Compass/Beidou), Japonya (QZSS) ve Hindistan (IRNSS/GAGAN/NAVIC) ise uluslararası platformlarda söz sahibi olma çabalarına devam etmektedir.

Bu çalışmada, halen kullanılmakta olan Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki güncel gelişmelerin ve bu gelişmelerin sistemlerin işleyişinde ne gibi değişiklikler yaratacağı, yapımı tamamlanmış olan sistemlerde önümüzdeki yıllarda ne gibi güncellemelerin yapılacağı ve bu gelişmeler çerçevesinde ne tür kullanım alanlarına sahip olacağı ele alınacaktır. Ayrıca, halen yapım aşamasında olan sistemlerin hangi aşamada oldukları, sistemlerin hangi tarihte tam kapasiteye çalışır duruma geleceği ve ne şekilde çalışacağı konusunda bilgiler verilecektir.

2. Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)

Dünyanın her yerinde, her türlü hava koşullarında uydulardan alınan sinyaller yardımıyla global bir koordinat sisteminde (ITRF), anlık ve yüksek doğrulukta konum, hız ve zaman belirlemeye yarayan bir navigasyon sistemidir (Yıldız ve Kahveci, 2010).

Uydu Konum Belirleme Sistemleri, her türlü kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, insansız uçaklar, arama-kurtarma, hedef bulma, uçakların görüşün sınırlı yada hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı gibi

askeri alanlarda, Jeodezik ve Jeodinamik ölçmeler, kadastral ölçmeler, GNSS destekli fotogrametrik çalışmalar, deformasyon ölçmeleri, araç takip sistemleri, gerçek zamanlı sabit GNSS (CORS) ağları ve CBS uygulamaları gibi bir çok sivil alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde konum, hız ve zaman belirleme amaçlı kullanılan başlıca Uydu Konum Belirleme sistemleri;

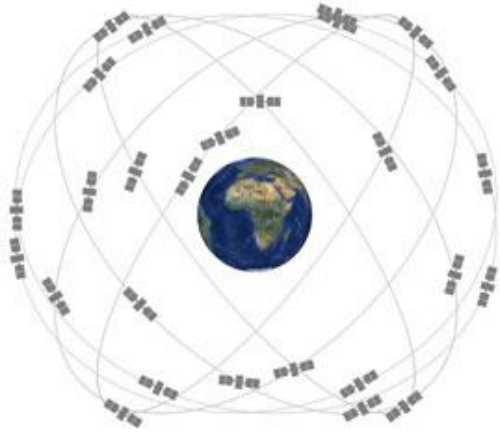
- GPS (ABD)
- GLONASS (RUSYA)
- BEIDOU/COMPASS (ÇİN)
- QZSS (JAPONYA)
- IRNSS/GAGAN (HİNDİSTAN)
- GALLILEO (AVRUPA BİRLİĞİ)

olarak sınıflandırabilir.

2.1. Global Positioning System (GPS)

GPS projesi, öncelindeki navigasyon sistemlerinin kısıtlı işlevselliğini aşabilmek amacıyla 1960'larda gelen bir dizi gizli mühendislik çalışması da dahil olmak üzere ilk denemelerde ortaya çıkan birkaç görüşün de birleşmesi ile 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından geliştirilmiştir ve 1994 yılında tam olarak işler hale gelmiştir. GPS'in uzay, yer kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bileşeni vardır.

- Esas olarak 24 uydu ile çalışacak şekilde geliştirilen sistem 1994 yılında tam olarak işler hale gelmiştir.
- Askeri amaçlı geliştirilen sistem 1983 yılında sivil kullanıma açılmıştır.
- GPS uyduları orta dünya yörüngesinde (MEO) yaklaşık 20.200 km'lik (12.550 mil) bir yörünge yüksekliğine sahiptir. Her uydu 11^h.58^mlik periyod ile Dünya'nın çevresini günde iki kez dolaşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. GPS uydu dağılımı



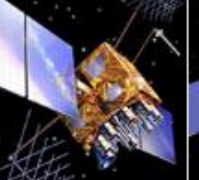
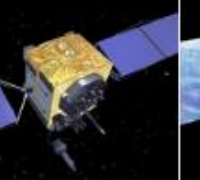
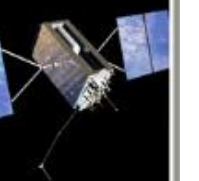
GPS uyduları, Dünya'yı çevreleyen eşit aralıklarla bulunan altı ayrı yörünge düzlemine yerleştirilmiştir. Uydu yörüngeleri dünyanın neredeyse her noktadan en az dört uydu görebilecek şekilde planlanmıştır.

Haziran 2011'de "Expandable 24" konfigürasyonu kapsamında, GPS, dünyanın birçok yerinde gelişmiş kapsama alanı ile 27 uydu ile daha etkin bir şekilde çalışır hale gelmiştir (URL 1), (URL 2), (GPS World, 2014).

GPS uyduları tarihsel gelişimi sürecinde yeni geliştirilen uydular ile ömürlerini tamamlamış olan eski uyduların yerleri değiştirilerek sürekli olarak iyileştirilmektedir. Bu süreçte, GPS uyduları Block IIA (Advanced), Block

IIR (Replenishment), Block IIR(M) (Modernized), Block IIF ("Follow-on") ve GPS III uyduları olarak isimlendirilmiştir. Mevcut ve yeni nesil GPS uydularının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. 18 Nisan 2017 tarihi itibarı ile GPS uydu sisteminde 31 adet operasyonel uydu bulunmaktadır (URL 1).

Tablo 1. GPS uyduları ve özellikleri (URL3)

| ESKİ UYDULAR | | MODERNİZE UYDULAR | | |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| BLOK IIA | BLOK IIR | BLOK IIR(M) | BLOK IIF | GPS III |
| 0 işletimde | 12 işletimde | 7 işletimde | 12 işletimde | üretimde |
| <ul style="list-style-type: none"> Sivil kullanıcılar için L1 frekansında kalitesiz (C / A) kodu Askeri kullanıcılar için L1 ve L2 frekanslarında hassas P (Y) kodu 7.5 yıllık tasarım ömrü 1990-1997'de fırlatıldı Sonuncusu 2016'da hizmetten kaldırıldı | <ul style="list-style-type: none"> L1 üzerinde C / A kodu L1 ve L2 üzerinde P (Y) kodu Araç üzerinde saat denetimi 7.5 yıllık tasarım ömrü 1997-2004'de fırlatıldı | <ul style="list-style-type: none"> Tüm eski sinyaller L2'de 2. sivil sinyal (L2C) Arttırılmış sıkışma direnci için yeni askeri M kodu sinyalleri Askeri sinyaller için esnek güç seviyeleri 7.5 yıllık tasarım ömrü 2005-2009'de fırlatıldı | <ul style="list-style-type: none"> Tüm Blok IIR (M) sinyalleri L5 frekansında 3. sivil sinyal (L5) Gelişmiş atom saatleri İyileştirilmiş doğruluk, sinyal gücü ve kalite 12 yıllık tasarım ömrü 2010-2016'de fırlatıldı | <ul style="list-style-type: none"> Tüm Blok IIF sinyalleri L1 üzerindeki 4. sivil sinyal (L1C) Geliştirilmiş sinyal güvenilirliği, doğruluğu ve bütünlüğü Seçmeli Erişilebilirlik yok Uydu sayısı 11+: Lazer yansıtıcılar; Arama kurtarma yükü 15 yıllık tasarım ömrü 2017'de kullanıma sunulacaktır |

GPS'in modernizasyonu programının asıl odak noktası, uydu sistemi için yeni navigasyon sinyallerinin eklenmesidir. Sistemde, sivil amaçlı tasarlanmış üç yeni sinyal bulunmaktadır: L2C, L5 ve L1C, L1'de L1 C/A veya C/A olarak adlandırılan eski sivil sinyal ile birlikte gelecekte dört sivil GPS sinyali yayını yapılacaktır. Kullanıcıların, yeni sinyallerden yararlanabilmek için donanımlarını da iyileştirmeleri gerekecektir.

L2C, ticari ihtiyaçları karşılamak için özel olarak tasarlanmış ikinci sivil GPS sinyalidir. L2C adı, sinyalin kullandığı radyo frekansını (1227 MHz veya L2) ve bunun sivil amaçlı olduğunu belirtir. Mevcut çift frekanslı işlemlere sahip profesyonel kullanıcılar için L2C, daha hızlı sinyal alımı, artırılmış güvenilirlik ve daha geniş çalışma aralığı sunmaktadır. L2C, eski L1 C/A sinyalinden daha yüksek güçle yayın yapma imkânı sunmaktadır. Böylece ağaçların altında ve hatta iç mekânlarda daha kolay çalışma imkânı sunmaktadır. L2C'nin kullanımı sayesinde 2030 yılına kadar ekonomik verimlilik avantajlarından 5,8 milyar dolar kazanabileceği tahmin edilmektedir (URL 4). L2C özellikli ilk GPS IIR (M) uydusu 2005 yılında hizmete sunulmuştur.

2014 Nisan ayında ABD Hava Kuvvetleri L2C ve L5 sinyallerinde sivil navigasyon (CNAV) mesajı yayınlamaya karar vermiştir. Bu amaçla GPS kontrol bölümünde bazı güncellemeler yapılmıştır (URL 4).

L5, can güvenliği ve diğer yüksek performanslı uygulamalar için zorlu gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmış üçüncü bir sivil GPS sinyalidir. L5 sinyalinin frekansı 1176 MHz dir. L5, sadece havacılık güvenliği hizmetleri için ayrılan bir radyo bandında yayınlanmaktadır.

Gelecekte L1 C/A ile L5'in birlikte kullanılması planlanmıştır. L5'in kullanımı ile sistemin doğruluğunun yanında, havayolları, demiryolları, denizyolları ve otoyollardaki kapasite kullanımını ve yakıt verimliliğini artırması hedeflenmiştir. L5 sinyali L1 C/A ve L2C sinyallerinin birlikte kullanımı (Trilaning)

ile metre altı (sub-meter) doğruluk ve çok uzun bazlarla çalışma imkânı sunulmuştur (URL 5).

2009 yılında ABD Hava Kuvvetleri, GPS IIR-20 (M) uydu üzerinden test amaçlı L5 sinyali başarıyla yayınlamıştır. Mayıs 2010'da L5 vericisi bulunan ilk GPS IIF uydusu sisteme eklemiştir. Nisan 2014'te ABD Hava Kuvvetleri L2C ve L5 sinyallerinde sivil navigasyon (CNAV) mesaj yayınlamaya başlamıştır.

L1C, GPS ve uluslararası uydu navigasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere tasarlanan dördüncü sivil GPS sinyalidir. L1C adı, sinyalin (1575 MHz veya L1) kullandığı radyo frekansına ve bunun sivil amaçlı kullanılması anlamına gelmektedir. L1'de iki askeri sinyalin yanı sıra eski C/A sinyali de vardır. L1C ve L1 C / A ile karıştırılmamalıdır.

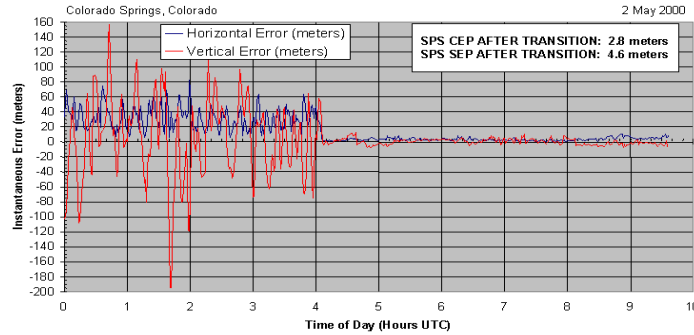
L1C, ABD ulusal güvenlik çıkarlarını koruyarak uluslararası işbirliğini mümkün kılan Çok Yönlü İkili Ofset Taşıyıcı (Multiplexed Binary Offset Carrier-MBOC) modülasyon tasarımına sahiptir (URL 6).

ABD ve Avrupa ilk olarak L1C'yi GPS ve Galileo için ortak bir sivil sinyal olarak geliştirmiştir. L1C sinyali, GPS III uyduları ile yayınlanması planlanmıştır. L1C geriye dönük uyumluluk için korunacak olan orijinal L1 C/A sinyaliyle aynı frekansta yayın yapmaya devam edecektir.

Seçmeli Erişilebilirlik (SA), ulusal güvenlik nedenleri uygulanan kamusal GPS sinyallerinin kasıtlı olarak bozulmasıdır. Seçmeli Erişilebilirlik (SA), kullanımını, Mayıs 2000 de GPS'i tüm dünyadaki sivil ve ticari kullanıcılara daha duyarlı hale getirmek için durdurmuştur. SA'nın devre dışı bırakılmasından öncesi ve sonrası GPS'in doğruluğu Şekil 2'de verilmiştir.



SA Transition -- 2 May 2000

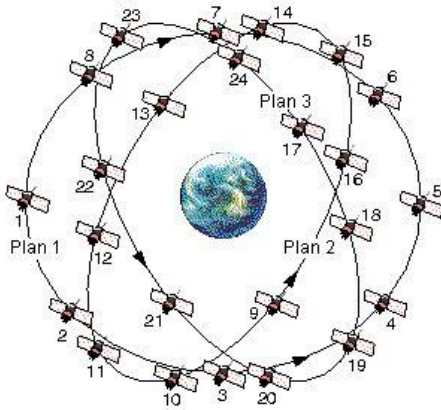


Şekil 2. SA öncesi ve sonrası GPS'in doğruluğu (Conley R.2000), (URL 7)

2.2. GLONASS

GLONASS, Rusya Federasyonu tarafından geliştirilmiş uydu konum belirleme sistemidir.

GLONASS'ın ilk testleri Kosmos-1413, Kosmos-1414 ve Kosmos-1415 uydularının uzaya fırlatılması ile 12 Ekim 1982'de başlanmış olmasına rağmen sistem 1995 yılında 24 uydu ile optimal seviyede çalışmaya başlamıştır (Şekil 3), (URL 8).



Şekil 3. GLONASS Uydu Bazlı Navigasyon Sistemi

2.2.1. GLONASS Sisteminin Gelişimi ve Geleceği:

Rusya hükümeti, 20 Ağustos 2001 tarihinde GLONASS sistemini

geliştirmesi programını kabul etmiştir. Bu program ile GLONASS performansının GPS'den daha kötü olması, atom saatlerinin performansı, sistemin uydu sayısı ve zemin bölümünün izlenmesi, denetimi ve Rus topraklarıyla sınırlı olduğu gerçeği de dahil olmak üzere birçok faktörü geliştirmeyi amaçlanmıştır. GLONASS, 2020 yılına kadar sistemdeki tüm uyduların hem yeni Code Division Multiple Access (CDMA) hem de eski FDMA sinyallerini iletmesi planlanmaktadır.

GLONASS uyduları, diğer tüm GNSS sistemlerinin kullandığı CDMA'nın aksine Frequency Division Multiple Access (FDMA) tekniğine dayanan navigasyon radyo sinyallerini iki frekans alt-bandında (L1 ~ 1602 MHz ve L2 ~ 1246 MHz) yayın yapmaktadır. Daha iyi doğruluk, multipath etkisi ve özellikle GPS, GALILEO ve diğer GNSS Sistemleri ile daha uyumlu çalışabilirlik hedefleyen yeni GLONASS-K uyduları, sistemin geleneksel FDMA sinyallerine ek olarak CDMA sinyalleri yayınlamaktadır (URL 9).

GLONASS Uzay Birimi modernizasyonu, ikinci nesil GLONASS-M uydularıyla başlamıştır. Yeni filtreler, out-of-band emisyonların azaltılmasına ve 24 saat boyunca dahili saat kararlılığının 5×10^{-13} 'ten 1×10^{-13} 'e yükseltilmesine imkân sağlamıştır. Eski

uyduların modernize edilmesi amacıyla

GLONASS-M uydularının ilk uydusu Nisan 2013'te fırlatılmıştır (Revnivykh S.2010), (URL 11).

Üçüncü kuşak uydusu olan GLONASS-K1'in ilk uydusu 26 Şubat 2011'de kullanılmaya başlanmıştır. İkinci uydusu ise 30 Kasım 2014'te uzaya fırlatılmıştır. Ardından 10 yıllık bir tasarım ömrüne sahip ve L3 bandında 1205 MHz frekanslı CDMA sivil sinyali taşıyan 9 GLONASS-K1 uydusu daha fırlatılmıştır. İkinci GLONASS-K1 uydusu, 15 Şubat 2016'da, 6 numaralı kanalda GLONASS sisteminin 2. düzlemindeki 9. yörüngesinden düzenli yayınlara başlamıştır (URL 12).

GLONASS-K2 uydularının ilk olarak 2014 yılına kadar fırlatılması planlanmıştı ancak plan değiştirilerek 2018'e ertelenmiştir. GLONASS-K2 uyduları 10 yıllık tasarım ömrüne ve $\sim 5 \cdot 10^{-14}$ saatlik bir kararlılığa sahip olacaktır. L3 üzerindeki CDMA sinyallerine ek olarak, L1 ve L2 üzerinde CDMA sinyalleri de iletilecektir. GLONASS-

değiştirilmesi planlanan

K uyduları hem eski FDMA hem de CDMA sinyallerini iletilecektir.

Uragan-K2 (GLONASS-K2) uyduları Uragan-K1 (GLONASS-K1) uydusu serisinin geliştirilmiş sürümüdür. Uragan-K2 uydularının fırlatma işleminin 2017 sonunda tamamlanması ve 2020'den itibaren K1 sürümünün yerini alması planlanmaktadır (Tablo 2).

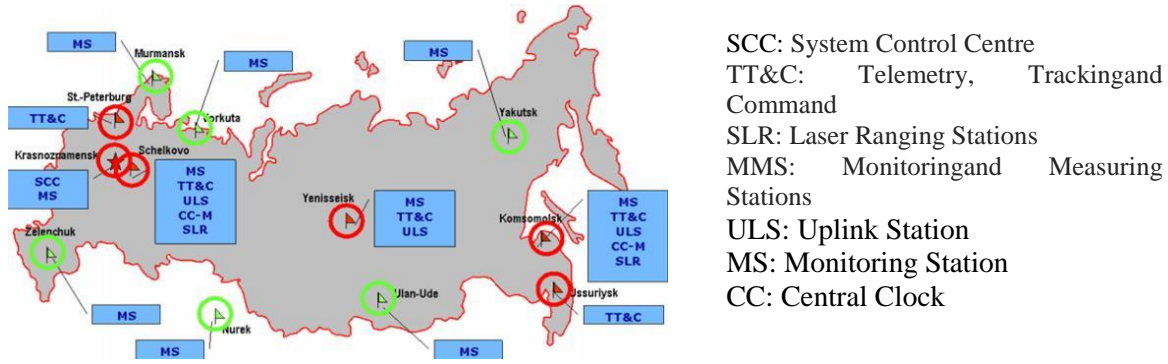
Uragan uydularının bir başka ve son versiyonu olan, GLONASS-KM olarak bilinen uydular navigasyon ağının kabiliyetini daha da genişletecektir. Ancak bu uydusu sürümünün 2020'li yıllardan önce kullanılamayacağı belirtilmektedir (Revnivykh, 2010).

GLONASS uydusu yörünge doğruluğunun artırılması amacıyla, altı tanesi Rusya toprakları dışında olmak üzere, Antarktika'ya kurulan ilk referans istasyonunun yanı sıra on beş yeni referans istasyonu daha kurulması planlanmıştır (Şekil 4).

Tablo 2. GLONASS uyduları ve özellikleri (URL 10)



| GLONASS | GLONASS-M | GLONASS-K | GLONASS-K2 |
|---|--|---|--|
| 1982-2005 | 2003-2016 | 2011-2018 | 2017 + |
| <ul style="list-style-type: none"> 3 yıllık tasarım ömrü Saat hassasiyeti $5 \cdot 10^{-13}$ Sinyaller: L1SF, L2SF, L1OF, (FDMA) Toplam 81 uydusu fırlatıldı Aktif işletme ömrü 4.5 yıl | <ul style="list-style-type: none"> 7 yıllık tasarım ömrü Saat hassasiyeti $1 \cdot 10^{-13}$ Sinyaller: Glonass + L2OF (FDMA) Toplam 39 uydusu fırlatıldı | <ul style="list-style-type: none"> 10 yıllık tasarım ömrü Platform Tasarımı: Basınçsız Beklenen saat hassasiyeti $\sim 10 \dots 5 \cdot 10^{-14}$ Sinyaller: Glonass-M + L3OC (CDMA) Search And Rescue (SAR)-Arama Kurtarma | <ul style="list-style-type: none"> 10 yıllık tasarım ömrü Platform Tasarımı: Basınçsız Beklenen saat hassasiyeti $\sim 5 \dots 1 \cdot 10^{-14}$ Sinyaller: Glonass-M + L1OC, L3OC, L1SC, L2SC (CDMA) Search And Rescue (SAR)-Arama Kurtarma |



Şekil 4. GLONASS Yer kontrol Bölümü (Revnivykh, 2008)

Bu sayede, 2008 yılındaki yörünge doğruluğu, 120 milimetre seviyesinde iken 2009 sonu itibarıyla 85 milimetre seviyesine düştüğü belirtilmiştir (Langley 2010), (URL 13).

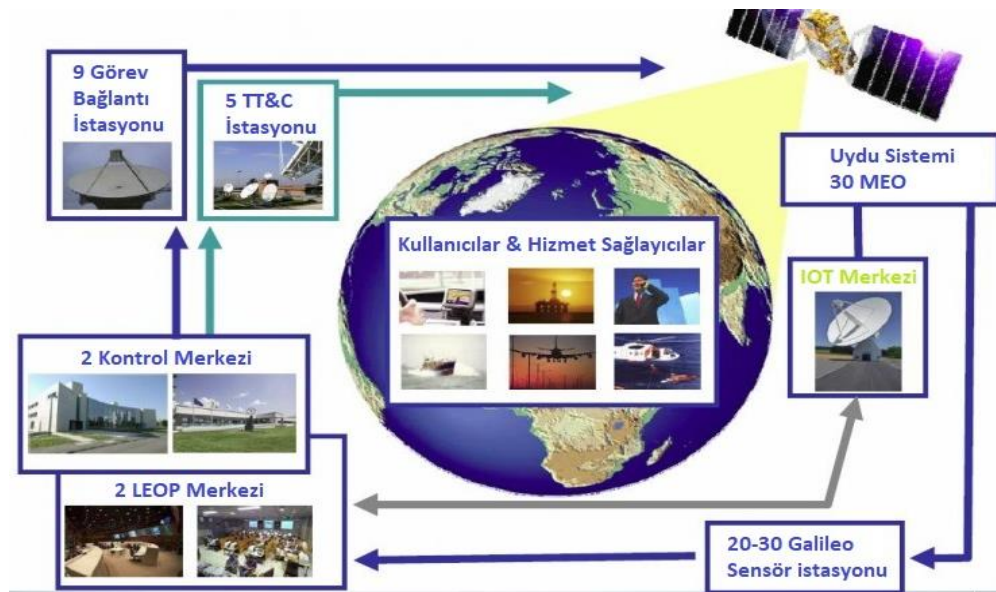
GLONASS koordinat sistemi, diğer GNSS sistemleri ile birlikte çalışabilirliği artırmak amacıyla International Terrestrial Reference System (ITRF) bağlanmıştır (URL 14).

2.3. GALİLEO SİSTEMİ:

Galileo Sistemi, Avrupa'nın kontrolündeki, global ve bağımsız olarak çalışan uydu bazlı bir navigasyon sistemidir. Galileo sistemi, uyumlu

alıcılarla donatılmış kullanıcılara hizmet sunacaktır.

Galileo Sisteminin alt yapısı Şekil 5'de verilmiştir. Sistemin alt yapısı, Orta Dünya Yörüngesindeki (MEO) 30 uydu, saat senkronizasyonu ve yörünge ölçümleri için kapsama alanı sağlayan küresel bir Galileo Sensor Stations (GSS) ağı, iki Kontrol Merkezi ve iki fırlatma öncesi operasyon (LEOP) Merkezi, bir Görev yerleşim istasyonları ağı ve İzleme ve Kontrol (TT & C) istasyonlarından oluşmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. GALİLEO Sisteminin alt yapısı

2.3.1. Galileo sisteminin gelişimi ve geleceği

Galileo programı, Avrupa'nın kontrolünde ve sivil kullanımı altında olan son derece doğru ve güvenilir küresel konumlandırma hizmeti sağlayan, en son teknoloji ürünü bir küresel uydu navigasyon sistemidir. Galileo programı altında kurulan sistem, özerk navigasyon ve konumlama hizmetleri sunarken, aynı zamanda GPS ve GLONASS gibi diğer GNSS sistemleri ile birlikte çalışabilecektir.

Galileo Projesi her ne kadar bir Avrupa Birliği ortak projesi gibi görünse de bu büyük ve tarihi projeye Avrupalı olmayan ülkeler de dahil olmuştur. 2003 Eylül ayında Çin, 2004 Haziran'da İsrail, 2005 Haziran'da Ukrayna, 2005 Eylül'de Hindistan ve Fas, 2006 yılında Güney Kore ve AB üyesi olmayan Avrupa ülkesi Norveç programa dahil olmuştur.

Avrupa Birliği üyesi 27 ülke ise uzun tartışmalar sonucunda 2007 yılında topluca programa dahil olmuşlardır. İlk başlarda katılmayı reddeden İspanya'nın da katılmayı kabul etmesiyle beraber, projenin finansman problemleri sona ermiş ve resmen bir Avrupa Birliği projesi haline gelmiştir. Arjantin, Avustralya, Brezilya, Japonya, Kanada, Malezya, Meksika, Pakistan, Rusya ve Şili de geliştirme programının üyesi olabileceklerini kesin olmamakla birlikte zaman zaman dile getirmişlerdir.

Galileo sisteminin gelişimi halen Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen bir program olan European GNSS Evolution Programme (EGEP) kapsamında teknik bir çalışma içinde yürütülmektedir. Birincil amacı, Space-Based Augmentation Systems (SBAS) ve Global Navigation Satellite Systems (GNSS) ile ilgili teknolojik araştırma ve geliştirmeleri yapmaktır. Sistemin, 2019-2020 yıllarına kadar çalışır duruma gelmesi planlanmaktadır (URL 15).

2.4. BeiDou Sistemi:

BeiDou-2 olarak da bilinen BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS), kullanıcılara kesintisiz dünya çapında konumlama, navigasyon ve zamanlama

hizmetleri sağlayan Çin'in ikinci nesil uydu navigasyon sistemidir.

BeiDou sisteminin uzay bölümü, 2020 yılında tamamlandığında 35 uydudan oluşacaktır. Bunlar arasında 5 adet geostationary yörünge (GEO) uyduları ve 30 adet non-GSO uydusu dur. BeiDou sistemi, dünya çapında bir kapsama alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (URL 19).

BeiDou sisteminin yer kontrol Bölümü, bir Ana Kontrol İstasyonu, bir Yükleme İstasyonları ve birkaç İzleme İstasyonundan oluşmaktadır (URL 16).

BeiDou Sistemi, Aralık 2011'de konumlama hizmeti vermeye başlamıştır ve 2012 Münih Uydu Navigasyon Zirvesinde bildirilen ilk performanslar şunlardır:

- **Hizmet Kapsamı:** Bölgesel
- **Konumlandırma Doğruluğu:** 25 metre yatay ve 30 metre düşeyde
- **Zamanlama Hassasiyeti:** 50 ns
- **Hız hassasiyeti:** 0,4 m / s

Bu performansların, yörüngedeki uyduların sayısı arttıkça ve kullanıcı birimi geliştikçe iyileşmesi beklenmektedir (URL 17) (Şekil 6).



Şekil 6. Beidou-2 kapsama alanı

2.4.1. BeiDou sisteminin geleceği ve gelişimi:

BeiDou sisteminin gelişimi üç aşamada ele alınabilir.

Birinci Aşama (2003+); Aktif bir navigasyon servisi sağlayan deneysel bir bölgesel navigasyon sistemi BeiDou-1'den oluşur.

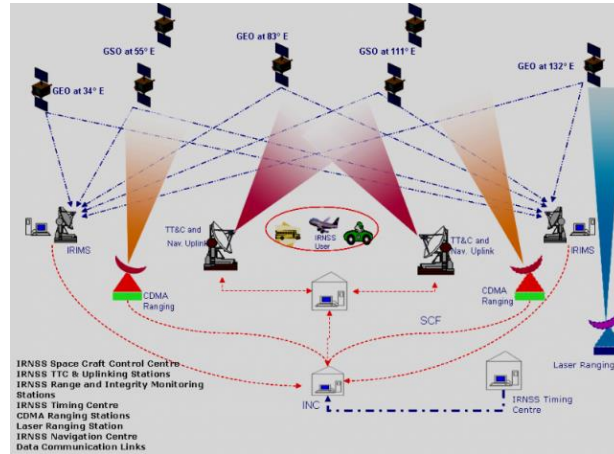
İkinci Aşama (2012+); BeiDou-2 olarak isimlendirilir ve Çin üzerinde hizmet sunmaktadır. Bu aşamada, pasif konumlandırma ve zamanlama kabiliyeti olan bir sistemin bölgesel bir alana yaymayı amaçlanmıştır.

Üçüncü Aşama (2020+); BeiDou sistemi, 2020 yılına kadar 27 MEO, 5 GEO ve 3 IGSO uydusuyla tam kapasiteye ulaşacaktır. BeiDou sistemi, GPS, GLONASS ve Galileo gibi şekilde küresel navigasyon hizmeti sunacaktır (URL 18).

2.5. IRNSS Uydu Sistemi

IRNSS uydu sistemi, Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO) tarafından geliştirilen bölgesel bir uydu navigasyon sistemidir. Sistem ikisi yedek olmak üzere dokuz uydudan oluşmaktadır. Nisan 2016'da, uydu sisteminin son uydusunun fırlatılmasıyla birlikte, IRNSS, Hindistan Başbakanı Narendra Modi tarafından Navigation Indian Constellation (NAVIC) olarak yeniden adlandırılmıştır.

IRNSS, Hindistan çevresindeki 1500 kilometrelik bir alanda çalışmayı hedefleyen bağımsız ve özerk bir bölgesel uydu tabanlı navigasyon sistemidir. NAVIC sistemi tam olarak hizmete sokulduğuna GEO yörüngede 3 uydu ve GSO yörüngede 4 uydu ile yeryüzü üzerinden yaklaşık 36.000 km yüksekte hizmet verecektir (Şekil 7), (URL 20).



Şekil 7. IRNSS uyduları ve çalışma prensibi

IRNSS projesinin yapımına Mayıs 2006 tarihinde başlanmıştır. Uydu sistemindeki üç GSO uydusunun ilk uydusu olan IRNSS-1A, 1 Temmuz 2013'te başarılı bir şekilde fırlatılmıştır. 2016 yılında projenin son uydusu yörüngeye gönderilmiştir. Yedek uyduların ise 2017 yılında uzaya gönderilmesi planlanmaktadır (URL 21).

IRNSS sisteminden; Hint Okyanusu Bölgesi'nde (Hindistan'da 1500 km'lik) 20 m, Hindistan ve çevre ülkelerde ise 10 m'nin altında konum doğruluğu beklenilmektedir (URL 22).

2.6. QZSS Sistemi:

Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), Japonya'yı kapsayacak şekilde Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından geliştirilmiş, uydu tabanlı navigasyon sistemidir. İlk uydusu 2010 yılında fırlatılmıştır. QZSS sistemi, 32000-40000 km yükseklikteki 4 uydudan oluşmaktadır.

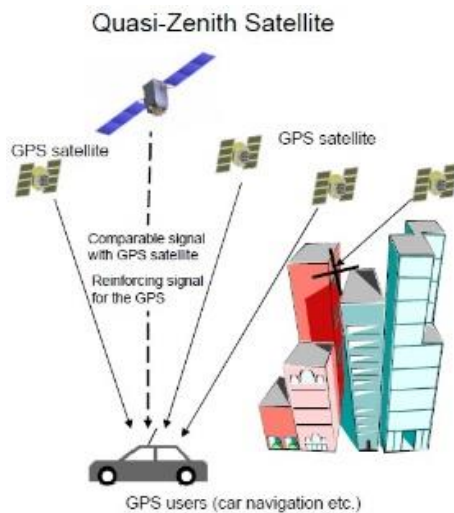
QZSS hizmet bölgesi Doğu Asya ve Okyanusya bölgesini kapsamaktadır QZSS sistemini diğer GNSS sistemine ait uydularından gelen verilerle birlikte çalışabilmektedir. Sistemin uzay bölümü,

Highly Elliptical yörüngede (HEO) üç uydu ve geo-stationary yörüngede bir uydu olmak üzere dört uydudan oluşmaktadır. HEO'daki uyduların yeryüzünden uzaklıkları yaklaşık 32000 km ve tepe noktası yüksekliği yaklaşık 40000 km'dir. Uyduların hepsi aynı yeryüzü rotasından geçmektedir. QZSS sistemi, üç uydusundan en az biri Japonya üzerinde olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 8). QZSS uydularının tasarım ömrü 10 yıldır (URL 23).

QZSS Sistemi, GPS uyduları ile entegre bir şekilde kullanılacak olup, ilerleyen yıllarda sistemin uydu sayısının 7'e yükseltilmesi planlanmaktadır (Şekil 9), (URL 24).



Şekil 8. QZSS uydu yörünge rotası



Şekil 9. QZSS ve GPS entegrasyonu

3.SONUÇLAR

Bu çalışmada, halen kullanılmakta olan ve yapım aşamasında olan Küresel ve Bölgesel Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki güncel gelişmeler yanında ileriki yıllarda ne gibi güncellemelerin yapılacağı ve bu gelişmeler çerçevesinde ne tür kullanım alanlarına sahip olacağı ele alınmıştır. Ayrıca, yapım aşamasında olan sistemlerin hangi aşamada oldukları, sistemlerin hangi tarihte tam kapasiteye çalışır duruma geleceği ve ne şekilde çalışacağı konusunda bilgiler verilmiştir.

GPS, A.B.D. Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen ve şu anda tam kapasite ile çalışan Küresel uydu navigasyon sistemidir. GPS'in BLOCK III uyduları ile güncellenmesi, sisteme sivil amaçlı tasarlanmış üç yeni sinyalin eklenmesi (L2C, L5 ve L1C) planlanmaktadır (URL 25).

GLONASS, Rusya Federasyonu tarafından geliştirilen ve halen tam kapasite ile çalışan ve GPS'den sonra küresel kapsama alanına sahip ikinci uydu konum belirleme sistemidir. 2001 yılında devreye sokulan GLONASS'ın geliştirilmesi programı ile GLONASS performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. GLONASS, 2020 yılına kadar sistemdeki tüm uyduların hem yeni CDMA hem de eski FDMA sinyallerini iletmesi ve sistemdeki uyduların K1, K2 ve KM uyduları ile güncellenmesi planlanmaktadır (URL 26).

GALİLEO, Avrupa Uzay Ajansı tarafından çalışmaları yürütülen, şuan kurulum aşamasında olan sistemin, deneysel amaçlı olarak fırlatılmış olan GOVE-A ve GOVE-B uyduları ile birlikte uzayda 20 adet uydusu bulunmaktadır. 30 uydudan oluşacak olan sistemin 2020 yılının sonuna kadar kurulumunun tamamlanması planlanmaktadır (URL 27).

BEİDOU, Çin Halk Cumhuriyeti tarafından çalışmaları 2000 yılından bu yana bölgesel olarak faaliyet gösteren navigasyon sistemi, 2020 yılından itibaren küresel kapsama alanına erişmesi planlanmaktadır (URL 28)

IRNSS (NAVIC), Hindistan Bölgesel Seyir Uydu Sistemi (IRNSS) ikisi yedek olmak üzere dokuz uydudan oluşmaktadır. Nisan 2016'da, uydu sisteminin son uydusunun fırlatılmasının ardından sistemin adı Navigation Indian Constellation (NAVIC)

olarak yeniden adlandırılmıştır. Yedek uyduların ise 2017 yılında uzaya gönderilmesi planlanmaktadır (URL 21).

QZSS, Japonya'yı kapsayacak şekilde Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından geliştirilmiş, uydu tabanlı navigasyon sistemidir. GPS sistemine entegre bir şekilde çalışması düşünülen sistemin ilk uydusu 2010 yılında fırlatılmıştır. Sistemin 2018 yılından itibaren 4 uydu ile 2023 yılından itibaren 7 uydu ile çalışması planlanmaktadır (URL 29).

KAYNAKÇA

Conley R. (2000). GPS Support Center, Air Force Space Command, Springs- Colorado, GPS.GOV internet sitesi bildiri (URL 7:<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/data/>) 10.08.2017

Langley R. B. (2010) Innovation: GPS, GLONASS, and More_University of New Brunswick (UNB) in Fredericton, Canada, "Innovation: GPS, GLONASS, and More" makalesi (URL 13:<http://gpsworld.com/innovation-gps-glonass-and-more/>) 10.08.2017

Revnivykh S. (2008) GLONASS Status and Progress, CGSIC-Meeting-Savannah, GA, US, "GLONASS Status and Progress" sunumu 1-7, ([https://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/48/Reports/International%20Subcommittee/\[24\]%20GLONASS%20CGSIC%2016.09.2008.pdf](https://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/48/Reports/International%20Subcommittee/[24]%20GLONASS%20CGSIC%2016.09.2008.pdf).) 10.08.2017

Revnivykh S. (2010) GLONASS Status and Progress, Deputy Director General Central Research Institute of Machine Building Head of PNT Center, CGSIC-Portland-Oregon, "GLONASS Status and Progress" sunumu 13-16, ([https://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/50/\[3\]CGSIC_GLONASS_Revnivykh_20_09_2010.pdf](https://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/50/[3]CGSIC_GLONASS_Revnivykh_20_09_2010.pdf).) 10.08.2017

GPS World (2014) New GPS IIF Satellite Launched, GPS World bildiri, (URL 2:<http://gpsworld.com/new-gps-iif-satellite-launched/>) 10.08.2017

Yıldız F., Kahveci M. (2010) GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri-Teori ve Uygulama Kitabı, Nobel Yayınları, 3, Ankara.

URL1:<http://www.gps.gov/systems/gps/space/> (11.08.2017)

URL3:<http://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations> (11.08.2017)

URL4:<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/> (13.08.2017)

URL5:<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L5> (13.08.2017)

URL6:<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#LIC> (13.08.2017)

URL8:http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_General_Introduction (18.08.2017)

URL9:http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Future_and_Evolutions#Signal_Modernization (18.08.2017)

URL10:<https://www.glonass-iac.ru/en/guide/> (18.08.2017)

URL11:http://www.navipedia.net/index.php/GLO_NASS_Future_and_Evolutions (20.08.2017)

URL12:http://www.navipedia.net/index.php/GLO_NASS_Future_and_Evolutions#Space_Segment (20.08.2017)

URL14:http://www.navipedia.net/index.php/GLO_NASS_Future_and_Evolutions#Ground_Segment (20.08.2017)

URL15:http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Future_and_Evolutions#Galileo_phases (20.08.2017)

URL16:http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Architecture (21.08.2017)

URL17:http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Performances (21.08.2017)

URL18:http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Future_and_Evolutions (23.08.2017)

URL19:<https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php> (23.08.2017)

URL20:http://www.navipedia.net/index.php/NAVIC#IRNSS_Architecture (23.08.2017)

URL21:<http://www.isro.gov.in/missions-0> (25.08.2017)

URL22:http://www.navipedia.net/index.php/NAVIC#IRNSS_Services_and_Performances (25.08.2017)

URL23:<http://www.navipedia.net/index.php/QZSS> (25.08.2017)

URL24:http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv02_why.html (25.08.2017)

URL25:<https://www.glonass-iac.ru/en/GPS/> (28.08.2017)

URL26:<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/> (28.08.2017)

URL27:<https://www.n2yo.com/satellites/?c=22> (28.08.2017)

URL28:<https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/> (28.08.2017)

URL29:http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html (28.08.2017)