

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 6 / Sayı 3 - Aralık 2021

ISSN:2564-6761



Dergi Hakkında	Geomatik Dergisi bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir.
Amaç & Kapsam	<p>Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.</p> <p>GEOMATİK dergisinin kapsamı;</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,✓ Lidar, Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,✓ Jeodezi✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,✓ Kartografik uygulamalar,✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.
Yayımlanma Sıklığı	Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık aylarında sayı çıkarılır.)
e-ISSN	2564-6761
WEB	https://dergipark.org.tr/geomatik
İletişim	geomatikdersisi@gmail.com



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Dr. Öğr. Üyesi Osman ORHAN
Mersin Üniversitesi,
Mersin

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Reha Metin ALKAN, Hitit Üniversitesi
- Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Haluk ÖZENER, Boğaziçi Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ, Selçuk Üniversitesi
- Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. İ. Rakıp KARAS, Karabük Üniversitesi
- Doç. Dr. Mevlüt YETKİN, Katip Çelebi Üniversitesi
- Doç. Dr. Şinasi KAYA, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Selçuk Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
- Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yavuz ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Fatih TAKTAK, Uşak Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ, Mersin Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 6 / SAYI 3

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

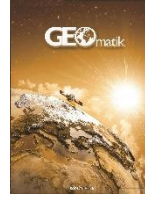
** Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi	
Umut G. Sefercik, Ayhan Ateşoğlu, Can Atalay	179
** Enerji nakil hattı projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması sürecinin değerlendirilmesi	
Fatih Döner, Erhan Kaya	189
** Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi	
Selim Serhan Yıldız	198
** Galileo uydu sistemi ve sinyal yapısı	
Atınç Pırtı, Ramazan Gürsel HOŞBAŞ, Burak Şenel, Mehmet Köroğlu, Serdar Bilim	207
** Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği	
İrem Yakar, Seda Nur Gamze Hamal, Mehmet Özgür Çelik, Serdar Bilgi	217
** CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi	
Fuat Başçiftçi	227
** Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu – Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye)	
Cengiz Zabcı	238
** Farklı GNSS uydu sistemlerinin hassas nokta konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi	
Ahmet Can UÇARLI, Fatih DEMİR, Serdar EROL, Reha Metin ALKAN	248



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi

Umut G. Sefercik^{*1}, Ayhan Ateşoğlu², Can Atalay³

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

³Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hava kaynaklı lazer tarama
Orman meşcere yükseklik haritası
DYM
DAM
NDYM

ÖZ

Orman envanterinde önemli bir parametre olan meşcere yükseklik bilgisi, az gelişmiş ya da Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde halen yaygın şekilde yersel tekniklerle tekil ağaç bilgisi edinme ve hata payı oldukça yüksek kestirimler ile bu bilgiyi genele yayma prensibi ile elde edilmektedir. Uzaktan algılama (UA) temelli modern ölçüm teknolojilerinin devinimi ile Amerika ve Avrupa ülkeleri başta olmak üzere gelişmiş ülkeler orman meşcere yükseklik belirleme çalışmalarında hata payı yüksek yersel yöntemlerin kullanımından vazgeçmişlerdir. Bu çalışma, hava kaynaklı lazer tarama (ALS) yoğun nokta bulutları ile orman meşcere yükseklik haritası üretimi ve üretilen haritanın mutlak konum doğruluğu potansiyelinin ortaya koyulmasını amaçlamaktadır. Amaç doğrultusunda, Houston, ABD'de orman-yoğun bir çalışma alanı seçilmiş, ALS verileri ile dijital yüzey ve arazi modelleri üretilmiş ve bu ürünler temelinde normalize dijital yüzey modeli tekniği kullanılarak üç boyutlu orman meşcere yükseklik haritası elde edilmiştir. Üretilen haritanın doğruluğu, aynı çalışma alanında yersel lazer tarama (TLS) tekniğinden elde edilen veriler ile üretilen orman meşcere yükseklik haritası kullanılarak model bazlı yaklaşımlarla değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde, standart sapma ve normalize medyan mutlak sapma uluslararası doğruluk metrikleri kullanılmıştır. Sonuçlar ışığında, ALS verileri ile üretilen meşcere yükseklik haritasının yatayda ± 1 cm düşeyde ise ± 40 cm dolayında mutlak konum doğruluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir.

Airborne laser scanning performance analysis in the forest stand map production

Keywords

Airborne laser scanning
Forest stand height map
DSM
DTM
NDSM

ABSTRACT

Stand height information, a significant parameter for forest inventory, is widely obtained with acquiring single tree information with geodetic techniques in underdeveloped or developing countries like Turkey. Acquired single tree information is generalized for whole forest stand with high error rate estimations. Developed countries, especially America and European countries, have completely excluded terrestrial methods with a high margin of error in forest stand height determination studies with the development of modern measurement technologies based on remote sensing (RS). This study aims to produce forest stand height map with airborne laser scanning (ALS) dense point clouds and to reveal the absolute location accuracy potential of the produced map. For this purpose, a forest-dominant study area was selected in Houston, USA, digital surface and terrain models were produced with ALS data, and a three-dimensional forest stand height map was obtained using a normalized digital surface model technique. The accuracy of the map produced was evaluated with model-based approaches using the forest stand height map produced with the data obtained from terrestrial laser scanning (TLS) technique in the same study area. International accuracy metrics for standard deviation and normalized median absolute deviation were used in the evaluations. In the light of the results, it has been determined that the stand height map produced with ALS data has an absolute position accuracy of ± 1 cm horizontally and ± 40 cm vertical.

*Sorumlu Yazar

(sefercik@gtu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2403-5956
(aatesoglu@bartin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4030-7782
(canatalay@beun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6499-8071

Kaynak Göster (APA)

Sefercik U G, Ateşoğlu A & Atalay C (2021). Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi. Geomatik, 6(3), 179-188. DOI: 10.29128/geomatik.721916

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz on yıllar içerisinde, üç boyutlu (3B) coğrafi bilgi sağlayan uzaktan algılama (UA) teknikleri, özellikle Dünya'nın yüzeyini analiz eden topoğrafik araştırmalar için vazgeçilmez hale gelmiştir. UA teknolojileri, haritacılık başta olmak üzere şehir bölge planlama, peyzaj, ormancılık, (Vatandaşlar ve Zeybek 2020), jeoloji, felaket izleme (Zeybek ve Şanlıoğlu 2015), arkeoloji (Şanlıoğlu ve ark. 2013), tarım, oşinografi vb. gibi bir çok disiplin tarafından yoğun şekilde tercih edilmektedir.

Orman envanter çıkarımı, ortalama meşcere yüksekliği, ağaç türleri ve bunların dağılımı ve kereste hacmi gibi tekil ağaçla ilgili parametrelere dayanan tekrarlı yapılar zorunluluğu olan ve maliyetli yersel ölçümler gerektiren bir konudur (Koch ve ark. 2006). Günümüzde, bu parametrelerin çoğuna ilişkin bilgiler, UA verileri ve 3B sonuç ürünleri ile elde edilmektedir. UA'da yeryüzünün ve/veya üzerindeki nesnelere 3B betimlemesi, çıplak topoğrafya ve üzerindeki tüm doğal ve insan yapısı objelerin kuşbakışı kartoğrafik 3B sunumu olan dijital yüzey modeli (DYM) ve yalnızca çıplak topoğrafyanın 3B temsili olan dijital arazi modeli (DAM) ve dijital yükseklik modeli kavramlarıyla yapılır. Bu çalışmada, orman meşcere üst yüzeyleri DYM, orman altı çıplak topoğrafya ise DAM terimi ile tanımlanmıştır. Hava kaynaklı lazer taramadan (ALS) elde edilen yoğun nokta bulutlarından DYM ve DAM temelinde yüksek çözünürlüklü (25 cm) 3B orman meşcere haritası üretimi ve üretilen haritanın model bazlı görsel ve istatistiksel sorgulamaları ana motivasyon kaynağı olmuştur.

DYM ve DAM doğrulukları, orman envanter çalışmalarının sonuçlarını direk olarak etkilediğinden mutlaka sorgulanmalıdır. UA tekniklerinde düz ve açık alanlarda 3B modelleme potansiyeli, yüksek konum doğruluklu yersel ölçümlerden elde edilen kadar yüksektir (Birdal ve ark. 2017). Ancak, görüntüleme geometrileri ve sınırlı algılama yetenekleri nedeniyle, uzaktan algılanan veriler eğimli veya orman kaplı topoğrafyalarda 3B tasvirde doğruluk kaybına uğrarlar. Uzay kaynaklı stereo optik görüntüleme ve fotogrametriden elde edilen pasif uzaktan algılama verilerini kullanarak, 3B yeryüzü modellemesi operatöre bağlı yarı otomatik bir süreçtir. Dijital görüntüler çok yüksek mekansal ve spektral çözünürlüğe sahip olsa bile, alan ve obje tabanlı otomatik görüntü eşleştirme algoritmalarının performansı sınırlıdır ve operatör sonuç ürünlerin doğruluğunu artırmak için görsel olarak ek eşleştirme noktaları eklemelidir. Dahası, yoğun orman alanlarında, düşük optik korelasyon nedeniyle, operatörün işlevselliği daha da önemli hale gelir ve otomatik eşlemede ayrıntıların eksikliğinden dolayı operatörler, stereo model üzerinde durgun su ve yangın yolları gibi detaylardan sınırlı sayıda nokta tayini ile kot noktası üretmeye çalışırlar. Optik uydu görüntüleri üzerinde bilgi içeriği çıkarımında, yapay renk (false color) ve

normalize bitki örtüsü indeksi (NDVI) gibi bant kombinasyonlarına dayanan görüntü iyileştirme yöntemleri uygulanabilmesine rağmen, 3B bilgi çıkarımında bu yöntemler yetersiz kalmaktadır.

Yapay açıklıklı radar (SAR) görüntüleri cephesinde ise, DYM'leri üretmek için tam otomatik bir süreç sunan interferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) teknolojisini kullanma avantajı vardır. Ancak, radarın orman penetrasyon kabiliyetine sahip uzun dalga-boylu P ve L bantları (19.3 - 133 cm), tek ağaç tabanlı orman envanteri çalışmaları için gerekli olan mekansal çözünürlüğü (≤ 1 m) karşılayamamaktadır. Diğer SAR görüntüleme bantları (S, C ve X gibi) ise düşük penetrasyon kabiliyetleri nedeniyle orman örtüsüne gereğince nüfuz edemez ve alttaki çıplak topoğrafya hakkında doğru ve yeterli bilgi sunmaları olanaksızdır. Bahsedilen UA teknolojilerindeki bu sınırlamalardan dolayı, hızlı elde edilebilir, yoğun ve yüksek doğruluklu 3B topoğrafik nokta bulutları sunan ALS, UA teknolojileri içinde orman alanlarının haritalanmasında temel teknik olma potansiyeline sahiptir (Baltasvias 1999, Hill ve ark. 2000, Hyyppä ve ark. 2006, Hollaus ve ark. 2007). Bilim camiası tarafından, orman penetrasyon yeteneğine sahip lazer sinyallerinden elde edilen çoklu ekoların (dönüşlerin) algılanması ile üretilen yoğun nokta bulutları DYM ve DAM'ların üretimi için etkili bir çözüm olarak düşünülmektedir ve bu konuda literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır (Lohr 1998, McIntosh ve ark.2000, Shan ve Sampath 2005, Mandlbürger ve ark. 2007, Baligh ve ark. 2008, Liu 2008, Akay ve ark. 2012, Sefercik ve ark. 2015). ALS tekniği, hava kaynaklı lazer tarayıcı yanısıra taramanın yapıldığı anki platformun yüksek doğruluklu konum ve dönüklük bilgilerinin elde edilmesi prensibi doğrultusunda çoklu global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) ve atalet ölçüm birimi (IMU) entegrasyonu ile çalışmaktadır (Vosselman ve Maas, 2010).

Bu çalışmada, Houston Üniversitesi ana kampüsünde yer alan orman-yoğun bir alanda, normalize dijital yüzey modeli (nDYM) tekniği kullanılarak 3B orman meşcere yükseklik haritası üretilmiştir. NDYM, DYM ve DAM'ın diferansiyel modelidir ve orman meşcere yüksekliklerini belirlemek için en güvenilir ve sık kullanılan tekniklerden biridir (Sterenczak ve ark. 2008, Smreček 2012). Literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, yoğun ALS nokta bulutları kullanarak nDYM üretiminde en önemli ve hataya açık noktalar tespit edilmiş ve doğru bir modelin nasıl elde edileceğine dair öneriler sunulmuştur. Ayrıca, oluşturulan nDYM tabanlı haritanın doğruluğu, literatürdeki nokta bazlı değerlendirmelerin aksine, yersel lazer tarama (TLS) verisinden elde edilen referans nDYM'ye dayalı model-bazlı yaklaşım kullanılarak analiz edilmiştir. TLS, sağladığı milimetre mertebesinde hızlı ve periyodik nokta bulutları ile gelişmiş ülkelerde ormancılık envanter çalışmalarında sıkça tercih edilen bir yöntemdir (Liang ve ark. 2016). ALS ve TLS

verileri literatürde ormancılık çalışmalarında çeşitli amaçlarla sıkça birlikte kullanılmışlardır. Hilker ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada orman örtüsü yüzeylerini ve yaprak alanlarını ALS ve TLS teknikleri ile ölçmüş ve kıyaslamışlardır (Hilker ve ark. 2010). Holopainen ve arkadaşları, üç ayrı test alanında manuel olarak TLS verisinden oluşturdukları orman haritalarını ALS, mobil lazer tarama (MLS) ve yine TLS verileriyle kıyaslayarak doğruluk sıralaması yapmışlardır (Holopainen ve ark. 2013). Hauglin ve arkadaşları, normalde GNSS ile tespit ettikleri orman alanlarındaki tekil ağaç konum bilgilerini TLS ve ALS ile belirlemeye çalışmış ve performans değerlendirmesi yapmışlardır (Hauglin ve ark. 2014). Ma ve arkadaşları ormandaki yaprak vb. elemanların yok olma katsayılarını inceledikleri ve orman örtüsünde radyasyonun zamansal etkisini modellemeye çalıştıkları çalışmalarında TLS ve ALS verilerinden faydalanmışlardır (Ma ve ark. 2017). Paris ve arkadaşları çalışmalarında ağaç taç yapılarını ALS ve TLS ile belirlemeye çalışmışlardır (Paris ve ark. 2017). Bazezew 2017 yılında tamamladığı doktora tez çalışmasında yer üstü biyokütle/karbon hesaplamasında ALS ve TLS verilerinin entegrasyonundan elde edilen orman parametrelerini kullanmıştır (Bazezew 2017).

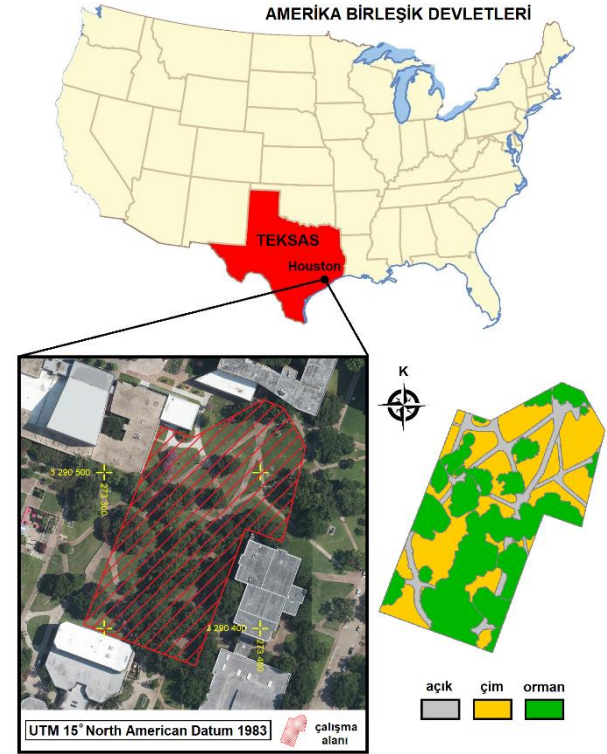
Makale, amaçları doğrultusunda şu şekilde düzenlenmiştir: ikinci bölümde, çalışma alanı ve materyaller sunulmuştur. Üçüncü bölümde, 3B orman meşcere yükseklik haritası üretimi ve doğruluk değerlendirme metodolojisi verilmiştir. Dördüncü bölümde, üretilen harita ve doğruluk potansiyeline ilişkin bulgular sunulmuş ve takip eden beşinci bölümde tartışılmıştır. Sonuç ve öneriler bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE MATERYALLER

ABD'nin Teksas Eyaletinde bulunan Houston Üniversitesi ana kampüsünde orman-yoğun bir bölge, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Alan, 13.000 m² ve açık, çim ve orman olmak üzere üç farklı arazi sınıfından oluşmaktadır. Alanın ortometrik yüksekliği 10 ile 33 m arasında değişmektedir. Şekil 1, çalışma alanı ve içerdiği arazi sınıflarını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan ALS verileri, Houston Üniversitesi Hava Kaynaklı Lazer Tarama Ulusal Merkezi (NCALM) tarafından gerçekleştirilen uçuşlar neticesinde elde edilmiştir. Uçuşlar esnasında, tüm ana kampüs alanı (3 × 9 km = 27 km²) kaplanmış ve çok yüksek çözünürlüklü nokta bulutları, helikoptere monte edilmiş Optech Gemini hava kaynaklı lazer tarayıcı ile toplanmıştır. Nokta bulutlarının yoğunluğu nedeniyle, bilgisayar ve yazılım kapasiteleri göz önünde bulundurularak, veriler 1 × 1 km'lik 27 bölüme ayrılmış ve ayrı ayrı değerlendirilmiştir. TLS ölçümleri Riegl VZ-400 cihazı ile elde edilmiştir. Ölçüm aletleri ve özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo.1'de görülebileceği gibi, ALS ve TLS verileri yılın aynı döneminde

toplanmamıştır. Ancak, çalışma alanındaki ağaçlar canlı meşe olduğundan, tüm yıl boyunca yapraklarını korumaktadırlar. Bu nedenle yapraklı ve yapraksız verilerin toplanmasına gerek kalmamıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve içerdiği arazi sınıfları

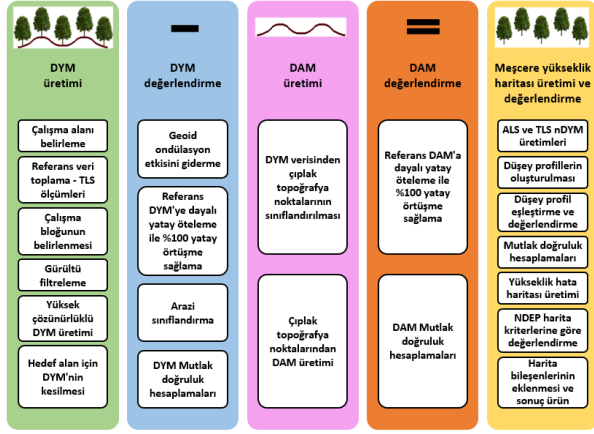
Tablo 1. Kullanılan aletlerin ve ölçümlerin özellikleri

Parametre	ALS	TLS
Tarayıcı	Optech Gemini ALTM	Riegl VZ-400
Nokta yoğunluğu (m ²)	45	≈10000 ≤ 10m yatay mesafede
Puls oranı (kHz)	167	300
Dalgaboyu (nm)	1064	1550
Tarama frekansı (Hz)	0-70	-
Işın genişliği (mrad)	0.25	0.35
Bakış açısı (°)	-25 ten +25	360 yatay / -40 dan +60 düşey
Sinyal dönüş sayısı	4	~limitsiz
Uçuş yüksekliği (m)	1000	-
Veri alım tarihi	23/06/12	13/11/13

3. ÜRETİM VE DEĞERLENDİRME METODOLOJİSİ

3B orman meşcere yükseklik haritasının üretimi ve doğruluğunun değerlendirilmesi için beş adım bir metodoloji izlenmiştir (Şekil 2). Ham ALS verilerinin işlenebilir hale gelmesi için uçuş şeritlerinin kalibrasyon işlemi yatay ve düşey çarpaz korelasyon tekniği ile obje (genelde bina çatısı) eşleştirme bazında gerçekleştirilmiştir (Glennie ve ark. 2013). Çalışmada, ALS verilerini işlemek, DYM, DAM ve 3B orman meşcere haritalarını

oluşturmak ve üretilen modellerin ve haritaların konum doğruluğunu belirlemek için Microstation Terrascan, BLUH (Bundle Block Leibniz University Hannover), Surfer ve LISA yazılımları kullanılmıştır. Koordinat sistemi ve yatay datum olarak, evrensel enlem merkatörü (UTM) 15° ve Kuzey Amerika Datumu 1983 (NAD83) kullanılırken, yükseklik değerleri ortometrik uygulanmıştır.



Şekil 2. 3B Meşcere yükseklik haritası üretim ve değerlendirme adımları

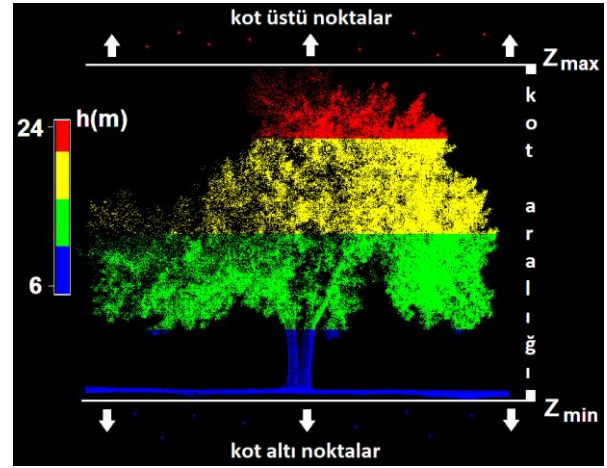
3.1. DYM ve DAM üretimi

DYM ve DAM üretimi için öncelikle çalışma alanını kapsayan bir çalışma bloğu tanımlanmıştır. Çalışma bloğu, DYM ve DAM'da enterpolasyon etkisine bağlı hatalı sınır kenar hatlarını önlemek için tüm sınır çizgileri doğrultusunda çalışma alanından daha geniş alınmıştır. Tam sınırda seçim yapılması durumu, enterpolasyon sırasında arama yarıçapında (radius) sınır hattı dışında nokta olmaması nedeniyle 3B modelin sınır hatlarının hatalı üretimi sonucunu doğurur.

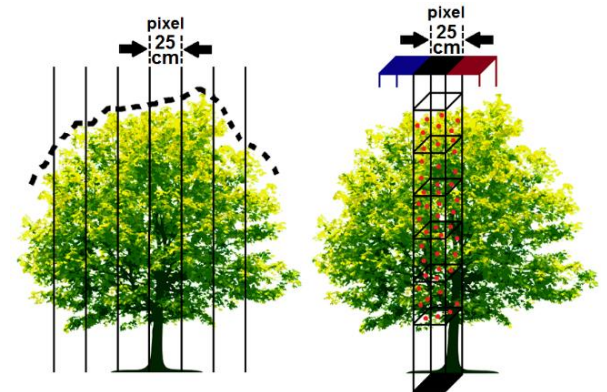
ALS nokta bulutlarında meydana gelen gürültüyü ortadan kaldırmak için üç aşamalı bir filtreleme işlemi uygulanmıştır. İlk olarak, çalışma alanının üst ve alt kot seviyeleri, ilk ve son lazer sinyal dönüşlerine göre, düşey profiller çizilerek belirlenmiştir. Daha sonra bir DYM sınıfı oluşturulmuş ve düşey profil seviyeleri arasında kalan tüm noktalar bu sınıfa dahil edilmiştir. Son olarak, bu sınıfın dışında kalan gürültülü noktalar ayrı bir sınıfa dahil edilerek elemine edilmiştir. En doğru DAM ile çıplak topografyayı elde etmek için de yer noktaları benzer şekilde sınıflandırılmış ve gürültü filtrelemesi yapılmıştır. Detaylı filtrelemeye ihtiyaç duyan objelerde alan çevirme ile alan dışı kalan noktalar elemine edilmiştir. Şekil 3, kullanılan filtreleme mantığını anlatan düşey bir ağaç profili örneğini yansıtmaktadır. Örnekte 6 ve 24 m kotlar minimum ve maksimum olarak belirlenmiş ve kot dışı noktalar elemine edilmiştir.

ALS ve referans TLS nokta bulutlarının konum geometrileri ve yapıları göz önüne alınarak, DYM ve DAM üretimlerinde farklı enterpolasyon teknikleri kullanılmıştır. ALS ve TLS yoğun nokta bulutlarıyla DYM üretimi sırasında önemli bir problem, ağaçlar

ve duvarlar gibi düşey nesnelere ortaya çıkmaktadır. Düşey nesnelere, yoğun lazer sinyallerine bağlı olarak çok sayıda noktanın kuşbakışı raster model üretiminde aynı piksel içinde kalması o piksele hangi yükseklik değerinin verileceği konusunda probleme yol açmaktadır. Şekil 4, 25 cm'lik örnek piksel için bu problemi yansıtmaktadır. Bu sorun, "Data Metrics" enterpolasyon yöntemi ve maksimum kot değeri kullanımı yardımıyla, piksel içindeki noktaların ortalaması alınmak yerine maksimum nokta yüksekliği kullanılarak aşılmıştır. Bu sayede objelerin maksimum kotlarını kullanan DYM en doğru şekilde edilmiştir. Sadece yer noktaları kullanılarak DAM üretiminde en yakın komşuluk (nearest neighbour) enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. DYM ve DAM üretiminin ardından, sınır hatlarında enterpolasyon etkisini yok etmek için geniş üretilen modeller, çalışma alanının önceden belirlenmiş sınırlarına uyacak şekilde kesilmiştir.



Şekil 3. Gürültü filtreleme mantığı



Şekil 4. Düşey objelerde aynı piksel içine fazla sayıda nokta düşmesi sorunu

3.2.3B Orman Meşcere Yükseklik Haritası Üretimi

3B orman meşcere yükseklik haritası, 25 cm eş gridli elde edilen DYM ve DAM raster modellerinin diferansiyel modeli olan nDYM'nin üretilmesi ve harita bileşenlerinin eklenmesi ile elde edilmiştir. nDYM'nin hesaplanmasında eşitlik 1 kullanılmıştır.

Temel prensibe göre, çıplak topoğrafya, binaların veya bitki örtüsünün kuşbakışı görünür yüzeylerinden çıkarıldığında, geriye kalan nesnenin yüksekliği olacaktır (bakınız Şekil 2).

$$nDYM = DYM - DAM \quad (1)$$

ALS'de, nDYM, lazer sinyalinin ilk ve son geri yansıdığı yüzeyler arasındaki fark olarak özetlenebilir. Bir nDYM üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli konu, kullanılan DYM ve DAM'ın % 100 yatay örtüşmesidir. Yatay örtüşme sağlanmaması durumunda yataydaki konum farklılığı raster modelde farklı piksellerin diferansiyelinin hesaplanmasına ve hatalı nDYM üretimine sebep olur. Bu çalışmada nDYM'ler, ALS ve TLS nokta bulutlarının her ikisinde de kendi DYM ve DAM'larının %100 yatay örtüşmesinin sağlanmasından sonra üretilmişlerdir. Gerçekleştirilen analizlerde DYM ve DAM'larda mm boyutunda yatay kayıklıklar tespit edilmiş ve bu önemsiz düzeydeki kayıklıklar alan bazlı çapraz korelasyon tekniği ile yatay öteleme yöntemi kullanılarak elimine edilmiştir.

3.3. Üretilen Haritanın Konum Doğruluğu Değerlendirmesi

Konum doğruluğu değerlendirmesi, uzaktan algılanan verilerden oluşturulan bir haritanın üretiminde ana süreçlerden biridir. Konum doğruluğu, her ölçüm yönteminden beklenen performansa göre harita ölçeği ve veri çözünürlüğü bileşenleri göz önünde tutularak standartlara bağlanmıştır (NDEP, 2004).

Uzaktan algılanan veriler kullanılarak üretilen 3B ürünlerin doğruluğu, genel olarak GNSS ölçümleri ile sahada toplanan yer kontrol noktalarının (YKN) nokta-bazlı konum değerlendirmesi yaklaşımı ile ortaya konmaktadır. Ancak sınırlı sayıda YKN ile yapılan nokta-bazlı değerlendirme, çok yüksek çözünürlüklü ALS nokta bulutları ile oluşturulan 3B sonuç ürünlerin doğruluğunu değerlendirmek için yeterli değildir. Bu yöntem, özellikle ani değişken, eğimli topoğrafyalarda yanıltıcı sayısal sonuçlara ve yorumlara yol açabilmektedir. En güvenilir sonuçlara ulaşmak için, ALS raster haritasının tüm piksellerini doğruluk hesaplamasına dahil eden bir yöntem gereklidir. Bu bağlamda, en uygun teknik, test edilen modelin referans bir modelle model-bazlı karşılaştırmasıdır (Lin ve ark. 1994, Jacobsen 2012). Referans model seçilirken, aşağıdaki kriterler mutlaka göz önünde tutulmalıdır: (i) referans model, dikkate değer bir boşluk yada distorsiyon içermeksizin tüm çalışma alanını kapsamalıdır; (ii) referans modelin çözünürlüğü test edilen modele eşit veya daha yüksek olmalıdır; ve (iii) referans modelin mutlak konum doğruluğu, test edilen modelinkinden üstün olmalıdır. Özellikle (ii) ve (iii) koşulları ve mevcut haritalama teknolojileri göz önünde bulundurularak, oluşturulan ALS 3B meşcere yükseklik haritasının doğruluğunun TLS referans modeli ile değerlendirilmesine karar

verilmiştir. TLS nokta bulutları dört bağımsız istasyondan toplanmış ve en az üç harici hedefle dengelenerek geometrik yönelmeleri yapılmıştır. Bu hedeflerin hassas konumları (<5 mm) çift frekanslı GNSS alıcıları kullanılarak, uzun statik (> 1 saat) gözlemlerle belirlenmiştir. TLS çoklu geri dönüş sinyali sunan bir tarama teknolojisidir ve bu nedenle, 1 cm'lik ortalama nokta aralığı ile bitki örtüsünün tüm seviyelerinden ölçümler elde edilmiştir. Yoğun TLS örnekleme ve çoklu geri dönüş kabiliyeti (bazen giden sinyal başına > 5 geri dönüş), 100 m mesafede 5 mm mutlak ve 3 mm rölatif (bağıl) konum doğruluğu ile meşcerenin tacını modellemeye olanak vermiştir.

Meşcere yükseklik haritasının doğruluk analizleri sırasında Geoid 12A'ya göre 27.284 m geoid ondülasyonu uygulanmış ve piksel bazlı yükseklik farklılıklarına bağlı mutlak düzey doğruluk, standart sapma (STD) ve normalize medyan mutlak sapma (NMMS) uluslararası standartlarına göre hesaplanmıştır (eşitlik 2 ve 3). Arazi eğiminin STD üzerindeki etkilerini görebilmek için, bir arazi eğim fonksiyonu da eşitlik 4'teki şekilde hesaplanmıştır.

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$NMMS = 1.4815 \times \tilde{x}_i \left[|\Delta Z_i - \tilde{x}_j (\Delta Z_j)| \right] \quad (3)$$

$$STD_{eğim} = STD + b \times \tan(\alpha) \quad (4)$$

Eşitlik 2'de μ , analiz edilen model ile referans model arasındaki piksel bazlı yükseklik farklılıklarının (ΔZ) aritmetik ortalamasını yani sistematik hatayı, n ise karşılaştırılan piksel sayısını ifade etmektedir. Eşitlik 3'de ise \tilde{x}_j , yükseklik farklarının tek değişkenli veri setinin medyanını, \tilde{x}_i ise \tilde{x}_j 'den gelen yükseklik farklarının medyan değerini ifade eder. Eşitlik 4'te α , arazi eğimini ve b , eğim çarpanını ifade etmektedir.

NMMS, majör yükseklik farklılıklarının ortaya konması için robust bir doğruluk metriği olmasına rağmen minör yükseklik farklarını ortaya koyma anlamında STD kadar performanslı değildir (Hellerstein 2008). Yükseklik farklılıklarının düzenli dağılımında NMMS ve STD'nin birbirine çok yakın değerinde olması ya da NMMS'in daha küçük olması beklenir (Höhle ve Höhle 2009). Doğruluğu değerlendirilen modelde düzensiz hata dağılımına sebep olan bir yapı var ise NMMS değeri STD'den büyük çıkacaktır. Bu durum anormal dağılımı işaret eder ve mutlak düzey doğruluk analizlerinde test edilen modelin rastlantısal majör hatalar içerdiğini gösteren istenmeyen bir durumdur. Böyle bir durumda, 3B modelin üretim teknikleri ve kullanılan parametreler gözden geçirilmelidir. Referans ve analiz edilen modelin diferansiyel yükseklik hata haritaları üretilerek modelin hatalı bölgeleri gözlemlenmeli ve hatalı kısımlardaki hata kaynakları sorgulanmalıdır. Analizde, yükseklik farklılıklarının

doğrusal bir fonksiyonu olan sistematik hatalar lineer regresyon ile belirlenmiştir. Mutlak düşey doğruluklar, sistematik hatalar düşey öteleme ile elemine edilerek hesaplanmıştır.

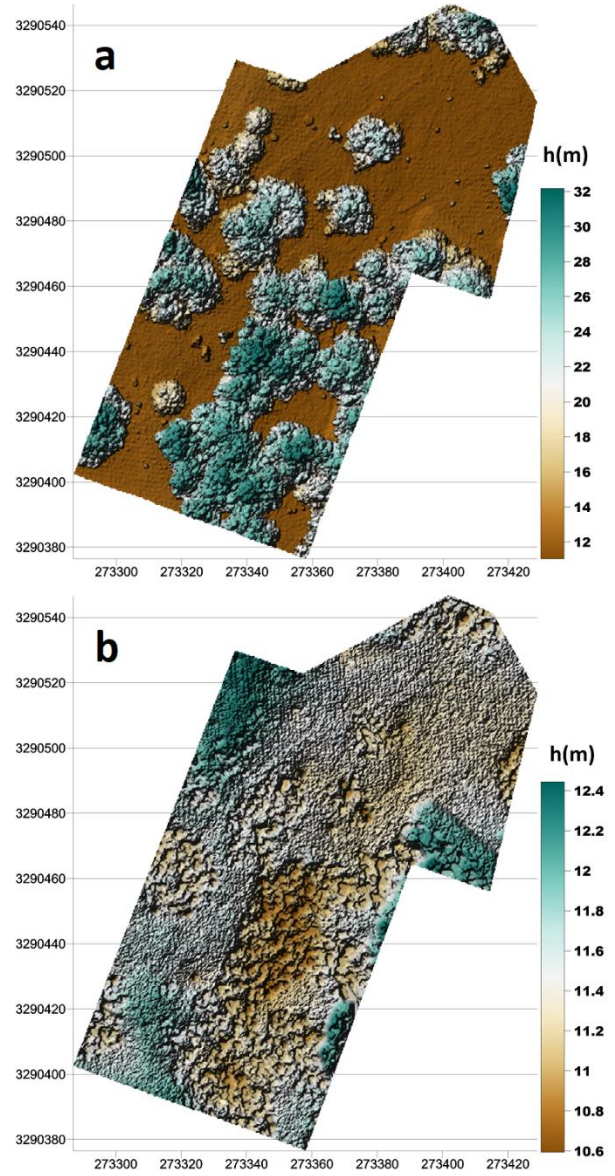
4. BULGULAR

Şekil 5, ALS yoğun nokta bulutlarından 25cm orjinal grid aralıklı olarak üretilmiş DYM ve DAM'ı yükseklik renk skalaları eşliğinde sergilemektedir. Şekilden rahatlıkla görülebileceği gibi ALS DYM oldukça güçlü bir tasvir yeteneğine sahiptir. Yerdeki küçük bitkiler dahi modelde net şekilde görülmektedir. DAM'a bakıldığında ise yoğun orman tabakası altının modellenmesi sırasında ortaya çıkan enterpolasyon etkisi açık şekilde görülmektedir. ALS tekniğinde DAM üretimi için uygulanan teknik lazerin son dönüş sinyallerinden elde edilen yer (ground) noktalarının yalnız bırakılması ve modellenmesidir. Ancak, lazerin son dönüş sinyalleri yoğun orman dokusunda her zaman çıplak topoğrafyaya ulaşmayabilir. Bu nedenle, çalışmanın DAM üretimi ile ilgili bölümünde de vurgulandığı üzere düşey profiller üzerinden filtrelemeler uygulanmış ve gerçek yer noktaları elde edilmiştir. Gerçek yer noktalarının sayısının DYM noktalarına göre oldukça az olmasının sonucunda oluşan boşlukları (gap) doldurmak için enterpolasyona daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, çıplak topoğrafyanın modellenme kalitesini objelerin görünür üst yüzeylerinin modellenmesine kıyasla azda olsa düşürmektedir. Açık alanlarda ise nokta yoğunluğunda azalma söz konusu olmadığından enterpolasyon etkisi DYM üretimi ile aynı olacak ve kalite farklılığı ortaya çıkmayacaktır. Şekil 5'te, ALS DYM ve DAM'ının yükseklik skalaları üst kotları incelendiğinde bölgede 20m yüksekliğinde ağaçlar bulunduğu yorumu rahatlıkla yapılabilmektedir. Diğer bir çıkarım, ALS DAM'ın yükseklik skalası alt kotları incelendiğinde genel olarak ağaç altı topoğrafyanın arazi ortalamasından daha düşük seviyede olduğudur.

Şekil 6, çalışma alanında arazi ölçümleri ile toplanan TLS verilerinden üretilen ALS ile eş grid aralıklı DYM ve DAM'ı yükseklik renk skalaları eşliğinde göstermektedir. Referans TLS modelleri beklendiği gibi ALS'ye nazaran yakın mesafe ölçümlerinin getirdiği avantajla gerçek topoğrafyanın çok daha yakın bir tasvirini yapmıştır. TLS DAM incelendiğinde ağaç altı topoğrafyanın arazi ortalamasından daha düşük seviyede olduğu çıkarımı doğrulanmıştır.

Şekil 7, NDYM temelinde üretilmiş 25 cm gridli ALS ve TLS meşcere yükseklik haritalarını, Y yönünde ALS ve TLS meşcere yükseklik haritası düşey profillerini ve ALS-TLS düşey profil karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir. Düşey profil örtüşmesi incelendiğinde ALS meşcere yükseklik haritasının tasvir yeteneğinin TLS ile oldukça uyumlu olduğu gözlenmektedir. Tablo 2, ALS yoğun nokta bulutlarından elde edilen DYM, DAM ve meşcere yükseklik haritasının yatay ve

düşey mutlak doğruluk değerlerini STD ve NMMS metrikleri cinsinden ortaya koymaktadır.



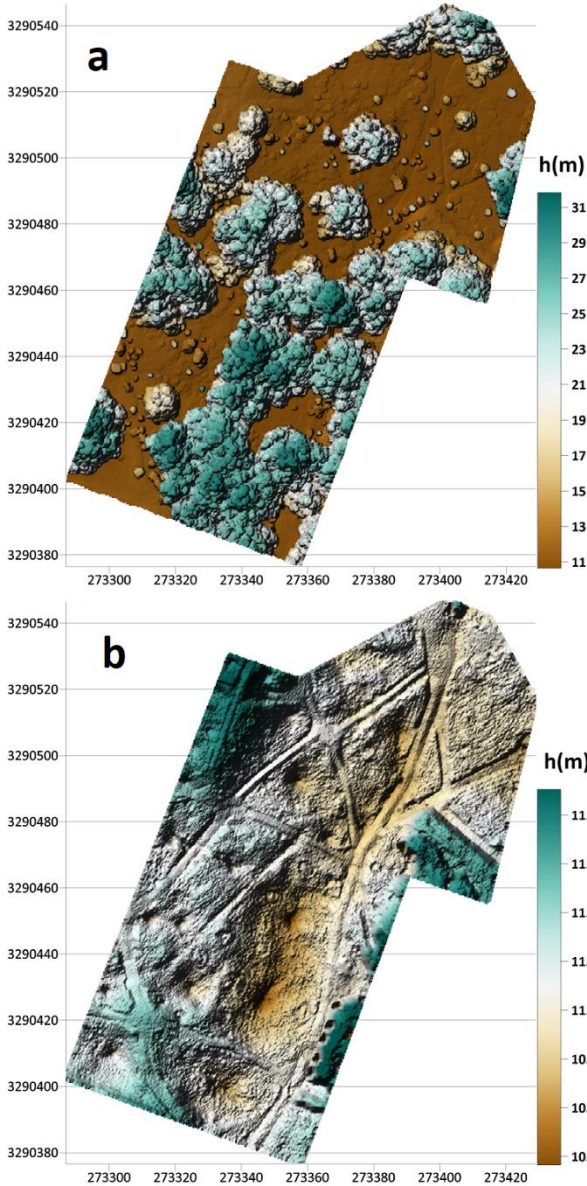
Şekil 5. 25 cm gridli ALS DYM (a) ve DAM (b)

Tablo 2'de yatay mutlak doğruluk değerleri incelendiğinde ALS DYM'nin TLS DYM ile çok iyi uyum sağladığı ancak ALS DAM yatay doğruluğunun X yönünde ± 8 cm, Y yönünde yaklaşık ± 10 cm mertebesinde olduğu görülmektedir. DAM mutlak yatay doğruluğunun DYM'ye göre daha düşük seviyede olma sebebi üretiminde yalnızca yer noktalarının kullanılması ve filtreleme etkisiyle oluşan boşlukların doldurulması ve boşluksuz raster model elde edilmesi için uygulanan enterpolasyon etkisidir. Enterpolasyon için kullanılan arama yarıçapının (search radius) genişletilme etkisi elde edilen DAM'ın sınır hatlarında bir miktar genişlemeye sebep olmaktadır. İşte bu durum, yatay mutlak doğruluk düşüşünde ana etmendir. Unutulmamalıdır ki, enterpolasyon etkisi ne kadar artarsa 3B modelin mutlak konum doğruluğu o kadar olumsuz etkilenecektir. Enterpolasyon işleminin DYM'ler üzerindeki doğruluk kaybı etkisi

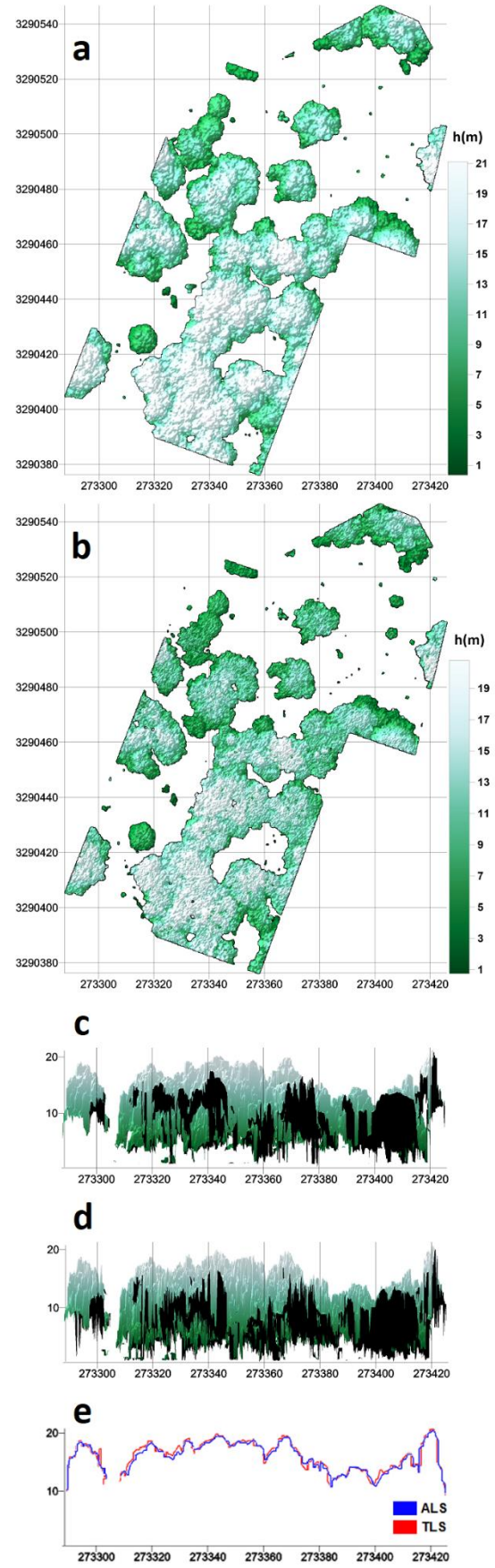
Sefercik ve Alkan 2009’da detaylı olarak sunulmuş ve bu etkinin teoride çözünürlüğün karesi ile doğru orantılı olduğu ortaya konmuştur. Metodoloji bölümünde de belirtildiği üzere, yatayda elde edilen konum farklılıkları düşey analizler gerçekleştirilmeden önce alan bazlı çarpaz korelasyon yöntemi ile ötelenerek elemine edilmiştir.

Tablo 2. ALS DYM, DAM ve meşcere yükseklik haritası yatay ve düşey mutlak doğruluk değerleri

Ref. model	Test edilen model	STD _x (cm)	STD _y (cm)	STD _z (m)	STD _z eğim etkili (m)	NMMS (m)
TLS DYM (0.25m)	ALS DYM (0.25m)	0.31	-0.22	0.18	$0.11+0.18 \times \tan(\alpha)$	0.09
TLS DAM (0.25m)	ALS DAM (0.25m)	8.02	9.61	0.14	$0.18+0.35 \times \tan(\alpha)$	0.13
TLS nDYM (0.25m)	ALS nDYM (0.25m)	0.01	0.89	0.42	0.42	0.42

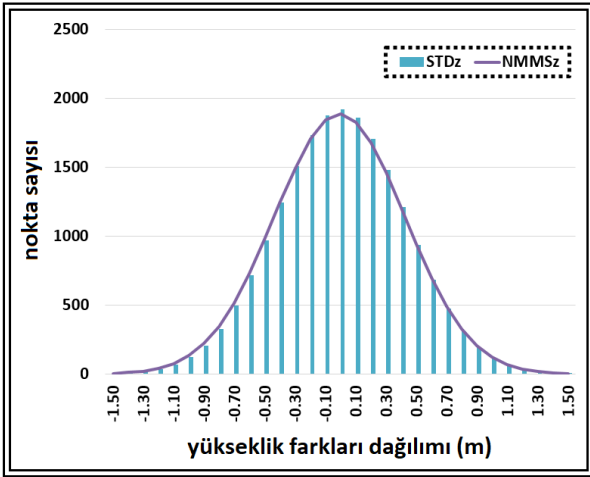


Şekil 6. 25 cm gridli TLS DYM (a) ve DAM (b)



Şekil 7. (a) 25 cm gridli ALS meşcere yükseklik haritası, (b) 25 cm gridli referans TLS meşcere yükseklik haritası, (c) Y yönünde ALS meşcere yükseklik haritası düşey profili, (d) Y yönünde referans TLS meşcere yükseklik haritası düşey profili, (e) ALS-TLS düşey profil karşılaştırması

Tablo 2’de, DYM ve DAM mutlak düşey doğrulukları incelendiğinde majör hatalara duyarlı NMMS değerlerinin STD değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, ALS ve referans TLS modelleri arasında normal yükseklik farkı dağılımı olduğuna işaretir. NDYM değerlerine bakıldığında ise NMMS ve STD arasında bir eşitlik olduğu görülmektedir. Burada yine olağan dışı (abnormal) bir değişim gözlenmemekle beraber DYM ve DAM değerlerine göre NMMS değerinin STD’ye eşitlenmesi hem majör hem minör yükseklik farklılıklarında ormanın doğruluk düşürücü etki yaptığını işaretir. DYM ve DAM mutlak düşey doğrulukları sırasıyla ± 18 ve ± 14 cm iken nDYM’de bu değer çıplak topoğrafya ve buna bağlı olarak açık alanların hariç olması nedeniyle yalnızca orman meşceresi etkisi altında ± 42 cm olarak hesaplanmıştır. Şekil 8, ALS nDYM’si ile referans TLS nDYM’si arasındaki piksel bazlı yükseklik farklarının STD ve NMMS metrikleri cinsinden histogramını göstermektedir.



Şekil 8. ALS ve TLS meşcere yükseklik haritası piksel bazlı yükseklik farkları STD ve NMSS dağılımı histogramı

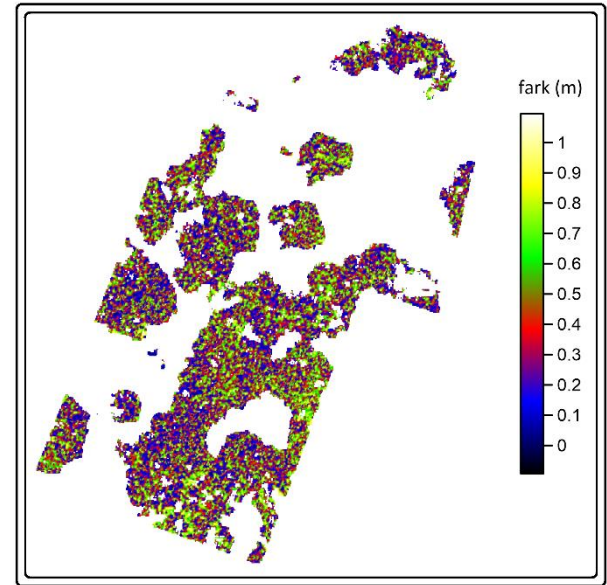
Histogram incelendiğinde, mor renkli NMMS değerleri ve mavi renkle ifade edilen STD değerlerinin her ikisinde modlarının (tepe noktalarının) “0” yükseklik farkında olduğu ve dağılımlarının simetrik olduğu gözlemlenmektedir. Histogramdaki simetrik yapı daha öncede bahsedildiği üzere normal dağılıma işaretir. Her iki histogramda farklı bir doğruluk değerinde yoğunlaşma ve buna bağlı ikinci bir mod sergilememiştir. Bu durum, ALS nDYM’sinin herhangi bir distorsiyon ya da olağanüstü hatalı bölge içermediğine işaretir. Histogram ayrıca, piksel bazındaki yükseklik farklarının STD ve NMMS değerlerinin genel itibarıyla ± 0.5 m ve altında konumlandığını açık şekilde ortaya koymaktadır.

ALS meşcere yükseklik haritası ile referans TLS haritası arasında piksel yükseklik farklarının yani hataların konumlandığı bölgeleri analiz etmek amacıyla üretilen yükseklik hata haritası Şekil 9’da sunulmuştur. Hata haritası incelendiğinde, hataların

haritanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmadığı ve rastlantısal şekilde dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, üretilen haritanın herhangi bir distorsiyon içermediğinin göstergesidir.

Tablo 3. Harita ölçeklerine göre ALS ürünleri yatay ve düşey mutlak konum doğrulukları (KOH: Karesel ortalama hata)(NDEP, 2004)

Harita ölçeği	Kontur aralığı (m)	Yatay hata (m)		Düşey hata (m)	
		KOH	STD (KOH/√2)	KOH	STD (KOH/√2)
1:1000	1	0.56	0.40	0.30	0.21
1:2000	2	1.12	0.79	0.61	0.43
1:5000	5	2.79	1.97	1.52	1.07



Şekil 9. ALS ve referans TLS meşcere yükseklik haritaları yükseklik hata haritası

5. TARTIŞMA

Bu bölümde, elde edilen tüm bulguların işaret ettiği nesnel sonuçlar ve ALS verilerinin hangi ölçekte harita üretimine olanak verdiği tartışılmıştır. ALS verilerine ilişkin ülkemizde bir harita ölçeklendirme ilişkisi henüz yayınlanmamış durumda olup bir çok ülke gibi Amerikan Ulusal Dijital Yükseklik Programı (NDEP) tarafından yayınlanmış kriterlere göre yorumlama yapılmaktadır. Tablo 3, NDEP’in 2004 yılında yayınladığı ALS verileri ile harita üretiminde harita ölçeklerine göre aranan yatay ve düşey doğrulukları göstermektedir.

Tablo 3 incelendiğinde üretilen ALS DYM ve DAM’ın yatay ve düşey mutlak konum doğruluklarının (Tablo 2) 1/1000 ölçekli harita üretimine olanak verdiği görülmektedir. Ancak, ağaç altı topoğrafya ve beraberinde açık alanların hariç tutulduğu nDYM temelinde üretilen ALS orman meşcere yükseklik haritasının 1/1000 ölçekli harita doğruluk gereksinimlerini karşılamadığı ve 1/2000 ölçekli harita üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Ülkemizdeki orman haritalarının genelde 1/10000 ve nadiren 1/5000 ölçekte üretilmekte ve kullanılmakta olduğu göz önünde bulundurulduğunda ALS verisinin orman haritalamasında çok önemli ve gelişmiş bir çözüm olduğu açıkça kanıtlanmıştır. Ek olarak, orman envanter çalışmalarının halen yersel ve çoğunlukla kestirime dayalı tekniklerle gerçekleştiriliyor olması havadan orman altı penetrasyon avantajı sunan ve yersel olarak çok uzun zamanlarda elde edilebilecek envanter verilerini çok hızlı elde etmeyi sağlayan ALS tekniğinin bir an önce orman haritalama çalışmalarına dahil edilme gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Etkin bir uzaktan algılama yöntemi olan ALS, çok yüksek çözünürlüklü, 3B koordinatlı ve yüksek konum doğruluklu nokta bulutları sunmaktadır. Her lazer sinyali başına çoklu ekoların algılanması ve sinyalin penetrasyon yeteneği sayesinde orman örtüsüne nüfuz ederek örtü altı çıplak topoğrafyanın modellenebilmesi tekniğin en büyük avantajlarından. Bu çalışmada, ALS verileri kullanılarak orman-yoğun bir hedef sahada orman meşcere yüksekliğinin 3B haritası üretilmiş ve STD ve NMSS gibi uluslararası kriterlerden faydalanılarak doğruluk değerlendirmeleri yapılmıştır. Doğruluk değerlendirmelerinde hedef sahada gerçekleştirilen TLS ölçümlerinden elde edilen ve nokta yoğunluğu ALS'den katbekat fazla olan veriler ile üretilmiş referans bir harita kullanılmıştır. Uygulamada, geometrik kalibrasyonu tamamlanan ALS verilerinden sırasıyla DYM, DAM ve nDYM üretimleri yapılmıştır.

Bulgular, ALS DYM ve DAM'larının yatay ve düşey mutlak konum doğruluklarının 1/1000 ölçekli harita üretimine olanak verdiğini ortaya koymuştur. nDYM temelinde üretilen ALS orman meşcere yükseklik haritasının ise 1/2000 ölçekli harita üretiminde kullanılabilmesi belirlenmiştir. Ülkemizdeki orman haritalarının genelde 1/10000 ve nadiren 1/5000 ölçekte üretilmekte ve kullanılmakta olduğu göz önünde bulundurulduğunda ALS verisinin orman haritalamasında çok önemli ve gelişmiş bir çözüm olduğu açıkça kanıtlanmıştır.

Bu bulgular ışığında, %29'u orman kaplı olan ülkemizde, yersel çalışmalar ile yürütülmeye çalışılan orman envanteri çıkarım faaliyetlerinde ALS'nin mutlaka kullanılması gereken modern bir yöntem olduğu ve doğruluğunun 1/5000 ve 1/10000 ölçekli orman haritalarına göre çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan ALS verilerini sağlayan Houston Üniversitesi Ulusal Hava Kaynaklı Lazer Tarama Merkezi'ne (NCALM) teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- Akay A E, Wing M, Sessions J (2012) Estimating Structural Properties of Riparian Forests with Airborne LiDAR Data. *International Journal of Remote Sensing* 33(22): 7010-7023.
- Baligh A, Valadan Zoj MJ, Mohammadzadeh A (2008) Bare Earth Extraction from Airborne Lidar Data Using Different Filtering Methods. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII (B3b)*: 237-240.
- Baltsavias E (1999) A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (2): 83-94.
- Bazezew MN (2017) Integrating airborne lidar and terrestrial laser scanner forest parameters for accurate estimation of above-ground biomass/carbon in Ayer Hitam tropical forest reserve, Malaysia. Doctoral dissertation, University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Birdal A C, Avdan U, Türk T (2017). Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 8.2, 1144-1156.
- Glennie C, Carter WE, Shrestha RL, Dietrich WE (2013) Geodetic Imaging with Airborne LiDAR: The Earth's Surface Revealed. *Reports on Progress in Physics* 76 (8): 086801.
- Hauglin M, Lien V, Næsset E, Gobakken T (2014) Georeferencing forest field plots by co-registration of terrestrial and airborne laser scanning data. *International Journal of Remote Sensing* 35(9): 3135-3149.
- Hellerstein J M (2008). Quantitative data cleaning for large databases. Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), p. 42.
- Hilker T, Van Leeuwen M, Coops NC, Wulder MA, Newnham GJ, Jupp DL, Culvenor DS (2010) Comparing canopy metrics derived from terrestrial and airborne laser scanning in a Douglas-fir dominated forest stand. *Trees* 24(5): 819-832.
- Hill JM, Graham LA, Henry RJ, Cotter DM, Ping A, Young P (2000) Wide-area Topographic Mapping and Applications Using Airborne Light Detection and Ranging (Lidar) Technology. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (8): 908-914.
- Hollaus M, Wagner W, Maier B, Schadauer K (2007) Airborne Laser Scanning of Forest Stem Volume in a Mountainous Environment. *Sensors (Basel)* 7(8):1559-1577.
- Holopainen M, Kankare V, Vastaranta M, Liang X, Lin Y, Vaaja M, Kukko A (2013) Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning—A case study in a heterogeneous urban

- forest. *Urban forestry & urban greening* 12(4): 546-553.
- Höhle J, Höhle M (2009) Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64: 398-406.
- Hyypä J, Yu X, Hyypä H, Matti M (2006) Methods of airborne laser scanning for forest information extraction. *Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry*, 14th-15th Feb 2006, Vienna.
- Jacobsen K (2012) Characteristics of Nearly World Wide Available Digital Height Models. 10th Seminar on Remote Sensing and GIS Applications in Forest Engineering, Curitiba, Brazil, October 15-18, p. 8.
- Koch B, Heyder U, Welnacker H (2006) Detection of individual tree crowns in airborne LiDAR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72: 357-363.
- Liang X, Kankare V, Hyypä J, Wang Y, Kukko A, Haggren H, Yu X, Kaartinen H, Jaakkola A, Guan F, Holopainen M, Vastaranta M (2016) Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 115: 63-77.
- Lin Q, Vesecky JF, Zebker HA (1994) Comparison of Elevation Derived from Insar Data with DEM over Large Relief Terrain. *International Journal of Remote Sensing* 15 (9): 1775-1790.
- Liu X, (2008) Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues. *Progress in Physical Geography* 32: 31-49.
- Lohr U (1998) Digital Elevation Models by Laser Scanning. *The Photogrammetric Record* 16 (91): 105-109.
- Ma L, Zheng G, Eitel JU, Magney TS, Moskal LM (2017) Retrieving forest canopy extinction coefficient from terrestrial and airborne lidar. *Agricultural and Forest Meteorology* 236: 1-21.
- Mandlbürger G, Briese C, Pfeifer N (2007) Progress in LiDAR Sensor Technology- Chance and Challenge for DTM Generation and Data Administration. In: D. Fritz (Ed.): *Proceedings of 51st Photogrammetric Week '07*, Wichmann Verlag, Hiedelberg, pp. 159-169.
- McIntosh K, Krupnik A, Schenk A (2000) Improvement of Automatic DSM Generation over Urban Areas Using Airborne Laser Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXIII (B3)*: 563-570.
- NDEP (2004) Guidelines for Digital Elevation Data. <https://files.nc.gov/ncdit/documents/files/ND-EP-Elevation-Guidelines-Ver1-10May2004.pdf>
- Paris C, Kelbe D, Van Aardt J, Bruzzone L (2017) A novel automatic method for the fusion of ALS and TLS LiDAR data for robust assessment of tree crown structure. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 55(7): 3679-3693.
- Sefercik UG, Alkan M (2009) Advanced Analysis of Differences Between C and X Bands Using SRTM Data for Mountainous Topography. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(3): 335-349.
- Sefercik UG, Glennie C, Singhanian A, Hauser D (2015) Area-based quality control of airborne laser scanning 3D models for different land classes using terrestrial laser scanning: sample survey in Houston, USA. *Int J Remote Sens* 36(23):5916-5934.
- Shan J, Sampath A (2005) Urban DEM Generation from Raw Lidar Data: A Labeling Algorithm and Its Performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 71 (2): 217-226
- Smreček R (2012) Utilization of ALS data for forestry purposes. In: T. Jekel, A. Car, J. Strobl and G. Griesebner (Ed.): *GI Forum 2012: Geovizualisation, Society and Learning*, ISBN 978-3-87907-521-8, pp. 365-375.
- Stereńczak K, Będkowski K, Weinacker H (2008) Accuracy of crown segmentation and estimation of selected trees and forest stand parameters in order to resolution of used DSM and nDSM models generated from dense small footprint LIDAR data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 37 (B6b): 27-32.
- Şanlıoğlu İ, Zeybek M, Karauğuz G (2013) Photogrammetric Survey And 3d Modeling Of İvriz Rock Relief In Late Hittite Era. *Mediterranean Archaeology & Archaeometry* 13.2.
- Vatandaşlar C, Zeybek M. (2020) Application of handheld laser scanning technology for forest inventory purposes in the NE Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* : 44.
- Vosselman G, Maas H G (2010) *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing. 318 pages.
- Zeybek M, Şanlıoğlu İ (2015). Accurate determination of the Taşkent (Konya, Turkey) landslide using a long-range terrestrial laser scanner. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 74.1 (2015): 61-76.



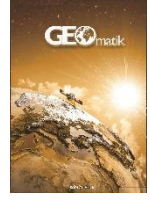
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Enerji nakil hattı projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması sürecinin değerlendirilmesi

Fatih Döner^{*1}, Erhan Kaya²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye
²TEDAŞ, ARAS Bölge Müdürlüğü, Kamulaştırma Birimi, Erzurum, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Enerji Nakil Hattı
Mülkiyet
Kadastro
Taşınmaz Değerleme

ÖZ

ENH (Enerji Nakil Hattı) projeleri hazırlanırken başta ekonomik, çevresel ve güvenlik gibi konular dikkate alınarak ENH'nın geçirileceği araziler belirlenmektedir. ENH projelerinin hayata geçirilebilmesi belirlenen bu arazilerin mülkiyetinin kazanılması süreci sonrasında mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, ENH projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması süreci değerlendirilmektedir. Veriler incelendiğinde, son bir yılda ENH ile ilgili açılan dava sayısının 15759 ve beş yıllık dönemde arazi malikleriyle mahkemesiz uzlaşma oranının %13 olduğu görülmektedir. Dava sayısının fazla, uzlaşma oranının düşük olmasındaki en büyük etken ENH'nın geçirileceği arazi için ödenecek bedelin belirlenmesindeki taşınmaz değerlendirme çalışmalarıdır. Referans alınan değerlendirme yöntemleri, ölçütler ve oranlar sonucunda belirlenen arazi değeri çoğu durumda gerçek değeri yansıtmadığından arazi sahipleriyle uzlaşma sağlanamamaktadır. En ideal çözümün yasal boyutta, taşınmaz değerlendirme faaliyetlerini tek başına düzenleyen bütüncül bir değerlendirme yasanın hazırlanması, kurumsal boyutta kadastro nun taşınmaz değerlemeyi de içermesi ve teknik boyutta güncel alım-satım değerleriyle birlikte taşınmaz özelliklerinin bir arada yönetilebileceği bir veri tabanının oluşturulması olduğu değerlendirilmektedir.

Evaluation of the process for acquisition of land property in the implementation of power transmission line projects

Keywords

Power Transmission Line
Property
Cadastre
Real Estate Valuation

ABSTRACT

While preparing PTL (Power Transmission Line) projects, the land where the PTL is crossing is determined by considering criteria such as economy, environment and security. The realization of PTL projects is possible after acquisition of property of these lands. In this study, the process of acquisition land property in the implementation of PTL projects is evaluated. When data are examined, it is seen that the number of lawsuits filed against the PTL in past year was 15759 and rate of non-court settlement with land owners in the five-year period was 13%. The main factor for the high number of lawsuits and low settlement rate is real estate valuation studies in determining the price to be paid for land to which the PTL will be established. As land value determined as a result of valuation methods, criteria and rates referenced does not reflect real value in most cases, no agreement can be reached with the land owners. It is considered that most ideal solution from a legal point of view is to prepare a holistic valuation law that regulates real estate valuation activities, from an organizational point of view is to set a connection between cadastre and real estate valuation and from a technical point of view is to set-up a database which enables managing properties of real estates and their up-to-date values.

*Sorumlu Yazar

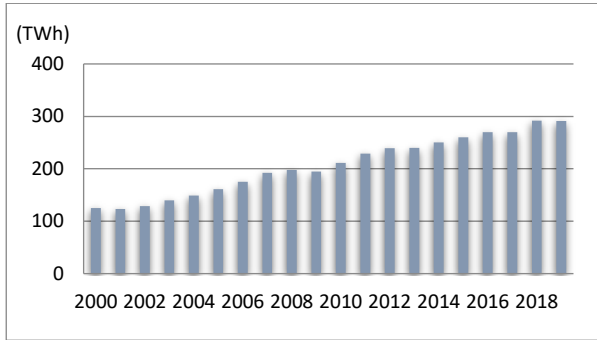
(fatihdoner@gumushane.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-3620-5687
(erhan.kaya@tedas.gov.tr) ORCID ID 0000-0003-2734-5343

Kaynak Göster (APA)

Döner F & Kaya E (2021). Enerji nakil hattı projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması sürecinin değerlendirilmesi. Geomatik, 6(3), 189-197. DOI: 10.29128/geomatik.733149

1. GİRİŞ

Elektrik üretim tesisleri ile transformatör merkezleri ve son tüketici arasında elektrik enerjisi iletimini sağlayan sistemlere enerji nakil hatları (ENH) denir. Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olması ve artan nüfusu nedeniyle elektrik ihtiyacı artmakta, bu ihtiyacı karşılamak için yeni üretim tesisleri ve ENH oluşturulmaktadır. Türkiye elektrik üretim istatistikleri (TEİAŞ, 2020a) incelendiğinde 2000 yılında 125 teravatsaat (TWh) olan yıllık elektrik üretiminin 2019 yılı için 291 TWh olduğu görülmektedir (Şekil 1). Elektrik üretimindeki bu artışla birlikte, hem yer üstü hem de yer altı iletim hattı uzunluğu da yıllar içinde artış göstermiştir (TEİAŞ, 2020b). 2000 yılında Türkiye'deki yer üstü toplam iletim hat uzunluğu 41202 km iken bu değer 2018 yılında 68203 km'ye çıkmıştır (Şekil 2). Türkiye'nin 2000 yılında 100 km olan toplam yer altı iletim hattı uzunluğu ise 2018 yılına gelindiğinde 554 km'ye ulaşmıştır.

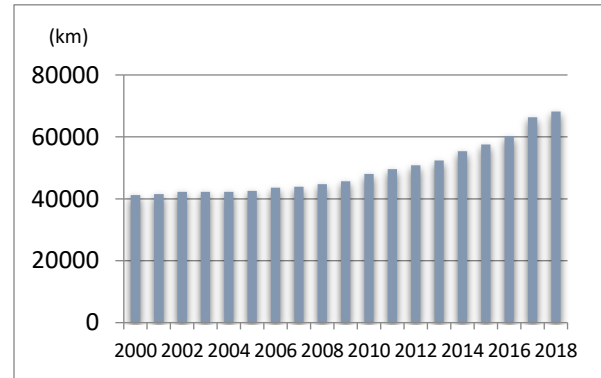


Şekil 1. Türkiye'de yıllara göre TWh biriminde elektrik enerjisi üretimi

Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaştırılmasında üç aşamalı bir kurumsal yapılanma bulunmaktadır. Elektrik enerjisi üretim faaliyeti kamu ve özel şirketler tarafından gerçekleştirilir. Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), kamuya ait elektrik santrallerindeki üretimden sorumludur. Elektrik santrallerinde (termik, hidroelektrik, doğalgaz, jeotermal, güneş ve rüzgâr) üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilim hatlarıyla transformatör merkezlerine iletilir. Bu iletim faaliyetinden Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) sorumludur. Orta ve düşük gerilim hatları vasıtasıyla elektrik enerjisinin yerleşim yerlerine dağıtılması ise dağıtım şirketlerinin sorumluluğundadır. Türkiye genelinde 21 farklı bölgede faaliyet gösteren dağıtım şirketlerinin denetiminden Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) sorumludur (Şekil 3).

ENH projeleri hazırlanırken başta ekonomik, çevresel ve güvenlik gibi konular dikkate alınarak ENH'nın geçirileceği araziler belirlenmektedir. ENH projelerinin hayata geçirilebilmesi, belirlenen bu arazilerin mülkiyetinin kazanılması (veya mülkiyetin edinimi) süreci sonrasında mümkün olmaktadır. Türkiye'de kamu yararı için arazi mülkiyetinin kazanılmasında temel yasal dayanak

Medeni Kanun'dur (RG, 2001). Bununla birlikte, Kamulaştırma Kanunu'na göre ENH'dan etkilenen her bir parsel için ödenecek bedel belirlenmektedir. Kamulaştırma (ya da irtifak) bedeli, ENH'nı tesis edecek kurum bünyesinde oluşturulan bir kıymet takdir komisyonu tarafından belirlenmektedir. Kurumların kendi bünyesinde oluşturdukları bu komisyon marifetiyle belirledikleri kamulaştırma bedeli çoğu durumda gerçek değeri yansıtmadığından taşınmaz sahipleriyle anlaşma sağlanamamaktadır. TEDAŞ tarafından 2013-2018 yılları arasında gerçekleştirilen ENH kamulaştırma çalışmalarında maliklerle uzlaşma oranı %13 olarak gerçekleşmiştir. Bunun yanında, TEDAŞ verilerine göre 2018 yılında kamulaştırmaz el atma ve bedel tespitiyle ilgili olarak açılan toplam dava sayısı 15759 olmuştur (TEDAŞ, 2018). Bu durum, hukuki ve sosyal problemleri beraberinde getirmekte aynı zamanda gelecekteki ENH kamulaştırma çalışmaları için de emsal değerlerin yükselmesi, taşınmaz sahiplerinin beklentilerinin artması, uzlaşma oranlarının düşmesi gibi sonuçlar doğurabilmektedir.



Şekil 2. Türkiye yer üstü iletim hat uzunluklarının km biriminde yıllık gelişimi



Şekil 3. Türkiye'de elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımındaki kurumsal yapı

Türkiye'de ENH güzergâhlarının belirlenmesiyle ilgili bazı teknik çalışmalar yapılmıştır. Başlak (2013)'te Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme Tekniği ile ENH için optimum güzergâh belirleme gerçekleştirilmiştir. Eroğlu (2014)'de CBS destekli bir model, en uygun ENH güzergâhının belirlenmesi için kullanılmıştır. Yıldırım vd. (2016)'da bir ENH güzergâhının çevreye olan etkisini en aza indirmek için CBS destekli bir güzergâh belirleme modeli önerilmiştir. Güzergâh belirleme çalışmaları yanında Bayındır (2018)'te ENH

kamulaştırmalarında değer tespitinde karşılan sorunlar incelenmiştir. Marabaoğlu ve Uzun (2019)'da ENH'nın taşınmazların değeri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunlar yanında, ENH'dan bağımsız olarak literatürde kamulaştırma (Çelik ve Baz, 2019; Ünel ve Yalçır, 2019; Çağla vd., 2016) ve taşınmaz değerlendirme (Şenyıldız 2017; Erdem, 2019; Tanrıvermiş ve Aliefendioğlu, 2019) ile ilgili olarak çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

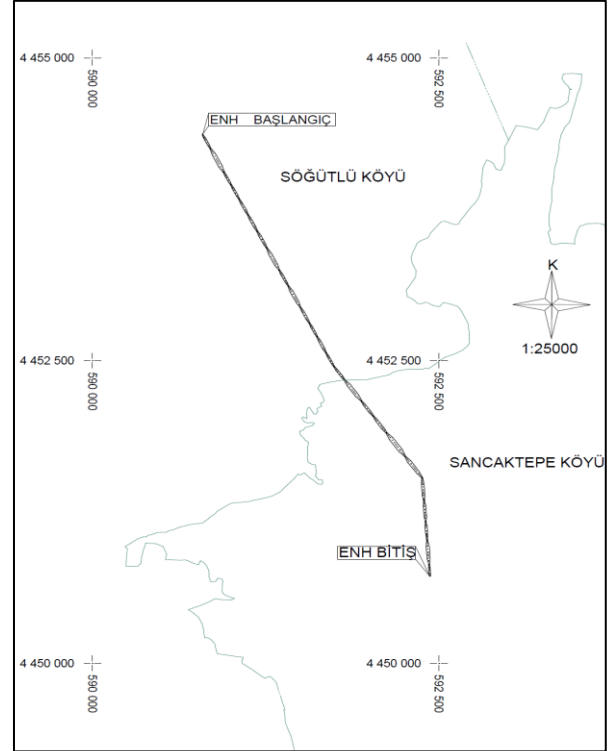
Mevcut çalışmalar dikkate alındığında, bunların ENH projelerinin ya sadece teknik ya da sadece yasal konularını ele aldıkları görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada ENH projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması süreci teknik ve yasal boyutlarıyla bir arada ele alınmaktadır. İkinci bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve yöntem tanıtılmaktadır. Üçüncü bölümde ENH geçişi nedeniyle kamulaştırılacak parsellerin ve parsel kamulaştırma alanlarının belirlenmesindeki teknik hazırlık aşamaları değerlendirilmektedir. Dördüncü bölümde ENH projelerinin uygulanabilmesi için gerçekleştirilen hukuki işlemler kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme başlıkları altında incelenmektedir. Beşinci bölümde bulgular ve tartışma yer almaktadır. Çalışma sonuç bölümüyle sona ermektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, materyal olarak seçilen bir ENH projesi kullanılmıştır. Bu proje ile ilgili teknik çalışmalar, kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme faaliyetleri çalışmanın sonraki bölümlerinde incelenmiştir. Böylece mevcut mevzuat, literatür ve seçilen projenin uygulanmasıyla elde edilen verinin incelenmesine dayalı bir yöntem izlenmiştir. Seçilen örnek ENH projesi, Bayburt ili Merkez ilçe Söğütlü ve Sancaktepe köylerinden geçmekte olup 4069.04 m uzunluğundadır. Proje ayrıca 26 direk (pilon) yeri içerecek şekilde planlanmıştır. Proje sahasında, özel mülkiyete konu tarım arazisi niteliğinde 22 parsel, devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşlık ve dere cinsinde 11 parsel, tarla cinsinde hazine arazisi niteliğinde 8 parsel ve köy tüzel kişiliği adına kayıtlı yol cinsinde 4 adet parsel olmak üzere toplam 45 parsel bulunmaktadır. Bu parsellerin toplam büyüklüğü 468431,83 metrekaredir.

Ön inceleme çalışmasıyla proje bölgesinin temel nitelikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, ENH tesis edilecek bölgeye genel olarak ulaşım sorunu bulunmamaktadır. Bölgedeki taşınmazların tamamı tarım arazi niteliğinde olup tapu kayıtlarında taşınmaz cinsleri tarla olarak belirtilmektedir. Bazı tarım arazilerinde birkaç yıldır tarım yapılmadığı belirlenmiştir. Bunun yanında, proje kapsamındaki taşınmazların tamamına yakını hisselidir. Bazı taşınmazların tapu kaydında ipotek, haciz gibi kısıtlamalar bulunmaktadır. Nüfus yoğunluğu çok düşük olan köylerde, yaşayan halkın gelir durumu orta

seviyededir. Proje bölgesinde, taşınmazların alım satımına yönelik bir pazar oluşmamıştır. Bu nedenle taşınmazlar için alım-satım kolaylığı bulunmamaktadır. Taşınmazların yakınında akaryakıt istasyonları ve akaryakıt temin edilebilecek tarım kooperatifleri mevcuttur. Bölgede yetiştirilen meyve ve sebze ürünleri açısından çeşitlilik vardır. ENH güzergâhının geçtiği bölgede orman alanı bulunmamakta olup kadastro çalışmaları tamamlanmıştır. Şekil 4'te, Söğütlü - Sancaktepe ENH güzergâh planı köy sınıрыyla birlikte gösterilmektedir.

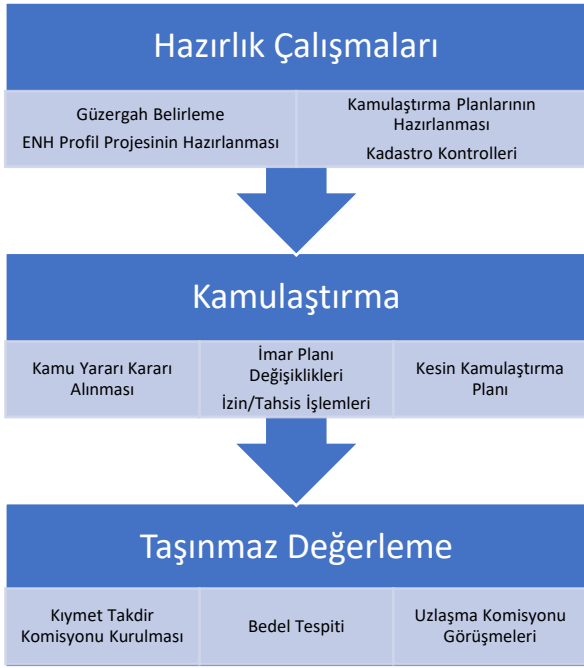


Şekil 4. Söğütlü ve Sancaktepe ENH güzergâh planı

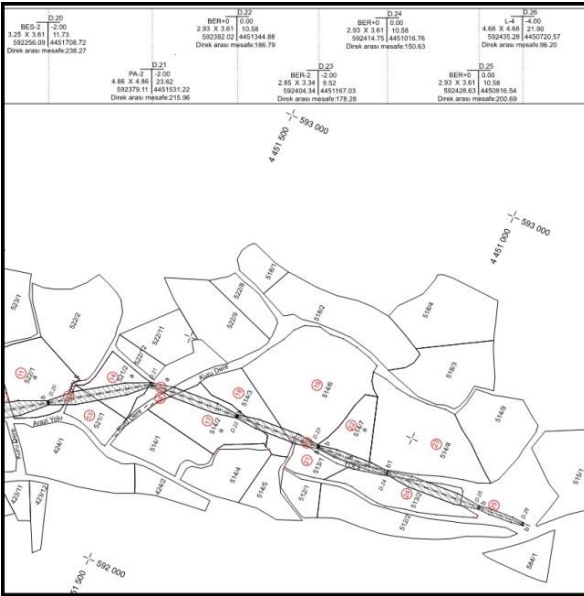
Çalışma kapsamında ENH projesinin uygulanmasındaki süreç Şekil 5'deki gibi parçalara ayrılarak ele alınacaktır. Bu sayede, hazırlık çalışmaları, kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme faaliyetleri kendi içerisinde sürecin bir parçası olarak değerlendirilebilecektir.

3. ENH PROJELERİNİN UYGULANMASINDA HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

Hazırlık çalışmaları ön arazi etüdü ile gerçekleştirilen ölçme/haritalama faaliyetlerini, ilgili kurumlardan proje alanına ilişkin bilgi/belgelerin teminini, toplanan bu bilgiler kullanılarak hazırlanan profil projesinin (elektrik projesi) üretimini, ilgili teknik mevzuata göre ENH için kamulaştırma/irtifak yüzölçümlerinin hesaplanmasını ve kamulaştırma planının hazırlanmasını kapsamaktadır. Şekil 6'da örnek olarak seçilen Söğütlü-Sancaktepe ENH projesi kamulaştırma planının bir bölümü gösterilmektedir.



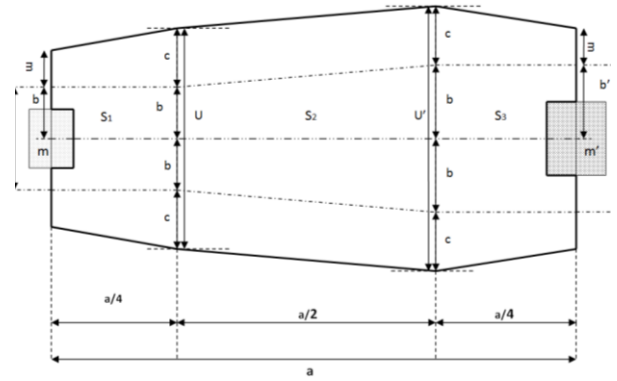
Şekil 5. Çalışma için belirlenen ENH projelerinin uygulanmasındaki süreç aşamaları



Şekil 6. ENH kamulaştırma planının bir bölümü

Arazide Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği esas alınarak gerçekleştirilen ölçme çalışmalarında günümüzde yaygın olarak GNSS (Global Navigation Satellite Systems-Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri) tekniği kullanılmaktadır. Söğütlü-Sancaktepe ENH projesi ölçme işlerinde çift frekanslı GNSS alıcıları ile TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif- Gerçek Zamanlı Kinematik hizmet veren GNSS Ağı-) sisteminde konum belirlenmiştir. Kadastro Müdürlüğü'nden temin edilen kadastro haritaları ITRF (International Terrestrial Reference Frame-Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi) esas alınarak üretildiği için GNSS tekniği ile üretilen ITRF96 harita bilgileri ITRF'e dönüştürülmüştür. Dönüşüm işleminde Kadastro Müdürlüğü'nden

temin edilen dönüşüm parametreleri kullanılmıştır. Harita mühendisliği faaliyet alanına giren bu çalışmalar yanında, ENH için profil projesinin hazırlanarak Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ne göre iletken salınım değerleri ve yaklaşma mesafelerinin belirlenmesi elektrik mühendisinin sorumluluğundadır. Ölçme çalışmalarıyla üretilen veriler ve elektrik projesinden elde edilen veriler birlikte kullanılarak, ENH nedeniyle kadastro parsellerinin kamulaştırılacak veya irtifak hakkı tesis edilecek kısımlarının (yüzölçümlerinin) hesabı gerçekleştirilir. Bu hesap için, TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Direk Yeri İstimlak ve İrtifak Alan Hesabı Tabloları kullanılır. Günümüzde yaygın olarak NetCAD yazılımı ile yapılan bu hesaplama işlemine ait bir örnek aşağıda verilmektedir. Bu örneğe göre, Söğütlü-Sancaktepe ENH projesi 25 ve 26. direkleri arasındaki irtifak alanı 723.46 m² olarak belirlenmiştir. İrtifak alanı hesabında kullanılan değerlerin sembolleri, Şekil 7'de gösterilmektedir. ENH projesinin tamamı için kamulaştırma ve irtifak yüzölçümleri sırasıyla 307.82 m² ve 67100.76 m² olmuştur.



Şekil 7. İrtifak alanı hesabında kullanılan değerler

- $m = 10.58 \text{ m}^2$ (birinci direğin istimlak alanı-direk tipine göre idare tarafından verilir)
- $m' = 21.9 \text{ m}^2$ (ikinci direğin istimlak alanı-direk tipine göre idare tarafından verilir)
- $a = 96.21 \text{ m}$ (iki direk arasındaki mesafe)
- $t = 3.12 \text{ m}$ (birinci direğin travers boyu-direk tiplerine göre idare tarafından verilir)
- $t' = 2.20 \text{ m}$ (ikinci direğin travers boyu-direk tiplerine göre idare tarafından verilir)
- $b = 1.56 \text{ m}$ (birinci direğin konsol boyu - $t/2$)
- $b' = 1.10 \text{ m}$ (ikinci direğin konsol boyu - $t'/2$)
- $e = 2.0 \text{ m}$ (emniyet mesafesi - 34.5 KV ENH için)
- $c = 2.684893 \text{ m}$ (maksimum salınım-projeden almır)
- U : birinci direğe yakın irtifak hakkı sınırı genişliğini (m)
- U' : ikinci direğe yakın irtifak hakkı sınırı genişliğini (m)
- S : toplam irtifak alanı

$$U = 2(b + c) = 8.49 \text{ m}$$

$$U' = 2(b' + c) = 7.57 \text{ m}$$

$$\frac{(U + 2(b + e)) a}{2} - \frac{m}{4} - \frac{m}{2} = S1 = 182.44 \text{ m}^2$$

$$\frac{(U + U') a}{2} - \frac{m}{2} = S2 = 386.27 \text{ m}^2$$

$$\frac{(U' + 2(b' + e)) a}{2} - \frac{m'}{4} - \frac{m'}{2} = S3 = 154.65 \text{ m}^2$$

$$S = (S1 + S2 + S3) = 723.36 \text{ m}^2$$

Kamulaştırma planı ENH tesisini gerçekleştirecek kurumun kendi personeli tarafından hazırlanabileceği gibi ihale usulüyle özel sektöre de hazırlanabilir. Kamulaştırma planıyla birlikte bir teknik rapor, direk tevzi listesi, direk orta noktalarının coğrafi ve UTM koordinatları, dönüşüm parametreleri, kamulaştırma ve irtifak köşe koordinatları, varsa orman alanları için ölçü krokileri, ENH'nın imar planı olan bölgeye isabet etmesi halinde isabet eden kısmın imar planı ve belediye meclis kararı, tescil bildirim beyannameleri, taşınmaz listeleri, taşınmazların cins ve malik bilgileri kontrol edilmek üzere Kadastro Müdürlüğü'ne gönderilir. Kontrol ve onay gerçekleştikten sonra ENH projesi kamulaştırma süreci başlatılır.

4. ENH PROJELERİ İÇİN HUKUKİ İŞLERİN YÜRÜTÜLMESİ

Bu bölümde, ENH projelerinin uygulanabilmesi için gerçekleştirilen hukuki işlemler kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme faaliyetleri başlıkları altında incelenmektedir.

4.1. Kamulaştırma

Taşınmaz mülkiyetinin sahibinin rızası aranmadan kamu yararı için bedeli ödenerek alınması olarak kısaca tanımlanabilecek kamulaştırma, kamu yararı kararı alınmasıyla başlamaktadır. ENH projeleri için kamu yararı kararı alınması ve onaylanması süreci kamulaştırmayı hangi idarenin gerçekleştireceğine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. TEİAŞ Yönetim Kurulu'nun aldığı kamu yararı kararı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı tarafından onaylanır. TEDAŞ tarafından gerçekleştirilecek ENH projeleri için, 30.03.2013 tarihinde yürürlüğe giren 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'ndan önce başlatılan projelerde, kamu yararı kararı TEDAŞ Yönetim Kurulu tarafından alındıktan sonra Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı tarafından onaylanmaktadır. 30.03.2013 tarihinden sonraki ENH projeleri için hem kamu yararı kararı alınması hem de onaylanması Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Söğütü-Sancaktepe ENH projesi için EPDK tarafından kamu yararı kararı verildikten sonra özel mülkiyete konu taşınmazların tapu kayıtlarına şerh koyma işlemi gerçekleştirilir. Proje bölgesindeki

tarım arazilerinin ENH tesisi için tarım dışı amaçla kullanılabilmesi, Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'na göre Tarım Reformu Genel Müdürlüğü onayına bağlıdır. Onay sonrasında taşınmazların tarım dışı kullanımına izin verilen kısımları ifraz edilebilir. Bu çalışmada örnek olarak seçilen ENH güzergâhı imar planı dışındaki alanlardan geçmektedir. ENH'nın planlı alanlardan geçmesi durumunda kamu yararı kararı alınmasından sonra kamulaştırmayı yapan idarenin başvurusu ve ilgili Belediye Encümeni kararıyla plan tadilatı gerçekleştirilerek ENH güzergâhı imar planına işlenir.

Özel mülkiyete konu taşınmazlar dışında, ENH'nın mera veya orman alanına isabet etmesi durumunda Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan ilgili kanunlara göre izin talep edilir. Seçilen örnek projede 11 adet devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşlık ve dere cinsinde arazi, 8 adet tarla cinsinde Hazine arazisi ve 4 adet köy tüzel kişiliği adına kayıtlı tescil harici arazi olmak üzere toplam 23 taşınmaz bulunmaktadır. Tescil harici taşınmazların devir işlemleri Kamulaştırma Kanunu'nun 30.maddesine göre gerçekleştirilir. Bu göre, TEDAŞ'ın taşınmazların devri için başvurusuna muvafakat edilmez veya 60 gün içinde cevap verilmezse Danıştay ilgili dairesine başvurularak iki ay içinde verilecek kesin karara göre devir gerçekleşmektedir. ENH için devletin hüküm ve tasarrufu altındaki yerler ile hazine arazilerinin kamulaştırma veya irtifak işlemleri Elektrik Piyasası Kanunu ile düzenlenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Milli Emlak Genel Müdürlüğü (MEGM) tarafından ilgili taşınmazlar için TEDAŞ lehine irtifak hakkı tesisi gerçekleştirilir. 10.07.2018 tarih ve 30474 sayılı 1 numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile daha önce Maliye Bakanlığı'na bağlı olan MEGM, ÇŞB'na bağlandığından işlemler ÇŞB tarafından yürütülür.

Gerekli izin/tahsis işlemleri sonrasında varsa proje alanıyla ilgili diğer kurumların görüş ve önerileri dikkate alınarak kesin kamulaştırma planları hazırlanır. Görüldüğü gibi, ENH güzergâhının isabet ettiği arazinin mülkiyet durumuna göre kamulaştırma sürecinde farklı kurumlar yer almakta ve işlemler çeşitli kanunlar referans alınarak sürdürülmektedir (Şekil 8). Bu durum genel olarak kamulaştırma sürecini zorlaştırmaktadır. Bu noktada, kamulaştırma işlemini yürüten kurum personelinin bilgi ve tecrübesi ile kurumlar arası koordinasyon önem kazanmaktadır. Projenin uygulandığı bölgede bir kurum tarafından başlatılan kamulaştırma işlemleri devam ederken başka bir kurum tarafından taşınmazların mülkiyet durumunu değiştirecek çalışmaların planlanması (örneğin arazi toplulaştırması) hukuki problemlere, zaman kaybına ve kamulaştırma maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

4.2. Taşınmaz Değerleme

Kamulaştırma için Türkiye'deki temel yasal dayanaklar Anayasa ve Kamulaştırma Kanunu'dur. Anayasa'nın 46.maddesinde, devlet ve kamu tüzel kişilerinin kamu yararının gerektirdiği hallerde, gerçek karşılıklarını peşin ödemek şartıyla, özel mülkiyette bulunan taşınmaz malların tamamını veya bir kısmını, kanunla gösterilen esas ve usullere göre kamulaştırmaya ve bunlar üzerinde idarî irtifaklar kurmaya yetkili oldukları ifade edilmektedir. 46.maddenin birinci fıkrasında ödeme şeklinin peşin olarak ifade edilmesine karşın aynı maddenin ikinci fıkrasında tarım reformunun uygulanması, büyük enerji projelerinin gerçekleştirilmesi, iskân ve turizm gibi amaçlarla kamulaştırılacak toprakların bedellerinin beş yılı aşmayacak şekilde eşit taksitlerle ödenebileceği belirtilmektedir.

Tarım

- Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
- Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu

Orman

- Tarım ve Orman Bakanlığı
- Orman Kanunu

Mera

- Tarım ve Orman Bakanlığı
- Mera Kanunu

Tescil Harici

- Mal Sahibi İdare
- Kamulaştırma Kanunu

Hazine/Devletin H.T.A.

- Milli Emlak Genel Müdürlüğü
- Elektrik Piyasası Kanunu

Şekil 8. Arazi sınıfına göre ENH kamulaştırma sürecindeki kurum ve kanunlar

ENH projesi için kamulaştırılacak ve irtifak hakkı tesis edilecek taşınmazlara ödenecek bedeli tespit etmek amacıyla TEDAŞ bünyesinde üç kişiden oluşan bir kıymet takdir komisyonu görevlendirilir. Kamulaştırma Kanunu'nun 8.maddesine göre oluşturulan bu komisyon uzman kişi, kurum ya da kuruluşlardan varsa ticaret odalarından ve mahalli emlak bürolarından rapor veya bilgi olarak taşınmaz değerlendirme çalışmasının altyapısını oluşturur. Daha sonra, Kamulaştırma Kanunu'nun 11.maddesinde belirtilen kriterleri dikkate alarak kamulaştırılacak taşınmazların değerlerini belirleyen bir rapor komisyon tarafından hazırlanır. Raporda dikkate alınan değer kriterleri taşınmazın cinsi, yüzölçümü, kıymetine etki edebilecek nitelikleri, vergi beyanı, daha önce yapılmış kıymet takdirleri, net geliri, arsalarda emsal satış değeri,

yapılarda birim fiyatları ve maliyetleri kapsamaktadır.

ENH projesinde pilon yerleri için kısmi kamulaştırma söz konusudur. Parsellerin kamulaştırmaya girmeyecek kısımlarında kamulaştırma nedeniyle bir değer değişikliği olmayacağı değerlendirilmiştir. Bu nedenle, direk yerleri için kamulaştırma bedelleri, takdir edilen parsel değerinin kamulaştırmaya düşen kısmı üzerinden hesaplanmıştır. ENH'nın üzerinden geçtiği parseller için ise taşınmaz mülkiyetinin kamulaştırılması yerine kamulaştırma yoluyla irtifak hakkı kurumaktadır. Bu aşamada da kıymet takdir komisyonunun belirlediği irtifak hakkı kamulaştırma bedelleri esas alınır.

Kıymet takdir çalışmalarının ardından TEDAŞ bünyesinde kurulan Uzlaşma Komisyonu ile taşınmaz malikleri arasında uzlaşma görüşmelerinin yapılabilmesi için maliklerin Mekanîsal Gayrimenkul Sisteminde (MEGSİS) kayıtlı adreslerine Pazarlığa Çağrı Bildirimleri (PÇB) gönderilir. PÇB'de taşınmazla ilgili bilgiler, taşınmazın kamulaştırılacak yüzölçümü, uzlaşma görüşmelerinin yer ve tarihine ilişkin bilgiler bulunmakta, kamulaştırma bedeline ilişkin bilgi ise bulunmamaktadır. Ayrıca, uzlaşma görüşmelerine katılım sağlanmaması durumunda ilgili kanuna göre işlem yapılacağı belirtilir. Bu aşamada, ölü kişiler adına kayıtlı taşınmazlar, yetersiz adres, tebligatın ulaşmaması gibi durumlar için ilave çalışma yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar kamulaştırmayı yapan idare personeli tarafından yürütülmekte olup aracı, avukat veya başka kişilerin görevlendirilmesi söz konusu olmamaktadır.

Uzlaşma görüşmeleri sonucunda uzlaşmaya varılan taşınmazlar için taşınmaz sahibi ve uzlaşma komisyonu üyelerinin imzaladığı satın alma tutanağı hazırlanır. Bu tutanak tescil işleminin hukuki dayanağını oluşturacağından ilgili taşınmaz, malik ve ödenecek bedele ilişkin ayrıntılı bilgi içermektedir. Uzlaşma sağlanan taşınmazlar için hazırlanan tutanaklar tescil işlemleri yapılmak üzere Tapu Sicil Müdürlüğü'ne gönderilir. Uzlaşamayan durumlarda anlaşmazlık tutanağı düzenlenerek taraflarca imzalanır. Ayrıca, tebligat ulaşıp görüşmeye katılmayan veya görüşmeye katılıp anlaşmazlık tutanağını imzalamayan taşınmaz sahipleri için imtina tutanağı düzenlenir. Uzlaşma sağlanamayan taşınmazlar için kamulaştırmayı yapan idare taşınmazın bulunduğu yerin bağlı olduğu Asliye Hukuk Mahkemesi'ne müracaat ederek kamulaştırmaya yönelik bedel tespitini ve taşınmazların idare adına tescilini talep eder. Söğütlü-Sancaktepe ENH projesinde parsellerin %36'sı için anlaşma/uzlaşma sağlanmıştır.

Uzlaşma oranının düşük olmasının temel nedeni taşınmaz için takdir edilen bedelin malikler tarafından yeterli bulunmamasıdır. Türkiye'de taşınmaz değerlemede yaşanan sorun büyük oranda taşınmazların güncel alım satım değerleriyle taşınmaz özelliklerini bir arada yönetebilecek bir

altyapısının olmamasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında, taşınmaz değerlemenin uluslararası standartları benimsenmediğinden bir taşınmazın farklı uygulamalar için (kamulaştırma, alım-satım, vergilendirme gibi) farklı değerleri ortaya çıkabilmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sadece ENH projeleri için değil, genel olarak Türkiye'deki kamulaştırma çalışmaları hazırlık aşamasında karşılaşılan en büyük problem mevcut kadastro verilerinin kalitesiyle ilgilidir. Kadastro Kanunu'nun 22-a maddesine göre kadastro yenile çalışması yapılmamış proje alanlarında geçmişte farklı standartlarda üretilen kadastro haritaları günümüz ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır (Döner, 2015). Farklı ölçme teknikleriyle, farklı koordinat sistemlerinde ve farklı doğruluklara sahip olarak üretilmiş olan kadastro haritaları çeşitli ölçü, tersimat ve yüzölçümü hesap hatalarıyla yüklü olduklarından kamulaştırma çalışmalarında kullanılmaları zorlaşmaktadır (İşcan ve Vargeloğlu, 2019; Alkan, 2019). Teknik problemlerden diğeri de, proje sonrası özellikle tarım arazilerinin parsel boyutlarının verimli üretime imkân vermeyecek şekilde değişikliğe uğramasıdır (Boztoprak, 215; Boztoprak vd., 2016).

Kamulaştırmanın izin/tahsis işlemleri sonraya bırakılarak devam ettirildiği bir süreç Kamulaştırma Kanunu'nun 27.maddesi dayanak alınarak mümkündür. Kanunda acele kamulaştırma olarak adlandırılan bu yöntem yurt savunması ihtiyacının gerekli kılması, aceleliğine Cumhurbaşkanınca karar alınacak hallerin bulunması ve özel kanunlarla öngörülen olağanüstü durumların olması halinde başvurulabilir. Acele kamulaştırma yapılması durumunda, doğrudan taşınmaz değerlendirme aşamasına geçilmektedir. Projelerin hayata geçirilmesini hızlandırmakla birlikte, Anayasa ile güvence altına alınmış mülkiyet hakkının sıklıkla bu şekilde kısıtlanmasının hukuka olan güveni zedelediği, toplum tepkisine neden olduğu, Anayasa Mahkemesi ve Avrupa İnsan Hakları Mahkemesine yapılan başvuruları artırdığı birçok çalışmada ifade edilmiştir (Göztepe, 2017; Çakır, 2019; Kuru, 2019; Mamal, 2019).

İdeal çözüm kadastronun taşınmaz değerlemeyi de içerek şekilde yeniden modellenerek bir arazi idaresi sistemi halini almasıdır. Türkiye'de bu yönde adımlar da atılmaktadır. 4 Şubat 2019 tarih ve 30677 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 30 numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 16-23 maddeleri uyarınca yapılan yasal düzenleme ile Tapu ve Kadaastro Genel Müdürlüğü (TKGM) bünyesinde Taşınmaz Değerlemesi Daire Başkanlığı kurulmuştur (RG, 2019a). Düzenlemeyle TKGM'ne taşınmazların toplu değerlendirme yöntemleriyle değerini belirleme, değer bilgi merkezini kurma, yönetme ve değer haritalarının üretilmesi ile güncel tutulmasını sağlama görevi verilmiştir. Ayrıca, 7

Kasım 2019'da ulusal konumsal veri altyapısına ilişkin hedef ve stratejini oluşturulması, kurumlar arası koordinasyonun sağlanması, ulusal veya uluslararası standartlara uygun olarak hazırlanacak coğrafi veri temalarının güncellenmesi amacıyla bir Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi yayınlanmıştır (RG, 2019b). Toplam 32 coğrafi veri temasının listelendiği kararnamede Kadaastro Veri Teması (KVT) da bulunmaktadır. KVT ilk olarak 2012 yılında Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından bir ISO standardı olan ISO 19152 LADM (Land Administration Domain Model-Arazi İdaresi Temel Modeli) ile uyumlu olarak hazırlanmıştır (Döner ve Bıyık, 2013).

Arazi idaresi alanındaki bilgileri modellemek için 2012 yılında ISO standardı olarak kabul edilen LADM, 2022 yılında taşınmaz değerlemeyi de modelleyecek şekilde güncellenecektir (Kalogiannia vd., baskıda; Kara vd., baskıda). Türkiye'deki kadaastro veri temasının da buna uygun olarak güncellenmesi gelecekte taşınmazların değer bilgilerinin kadaastro verileriyle birlikte kullanılabilmesi ve uluslararası standartların benimsenmesi açısından önemlidir. Alternatif bir çözüm olarak daha önce yapılmış taşınmaz değer takdirlerinin tutulduğu bir veritabanının oluşturulması ve kıymet takdiri sırasında bu veritabanının kullanılması önerilebilir (Bakan, 2019).

6. SONUÇLAR

ENH projeleri hazırlanırken başta ekonomik, çevresel ve güvenlik gibi konular dikkate alınarak ENH'nin geçirileceği araziler belirlenmektedir. ENH projelerinin hayata geçirilebilmesi belirlenen bu arazilerin mülkiyetinin kazanılması süreci sonrasında mümkün olmaktadır. Arazi mülkiyetinin kazanılması sürecinde yaşanan problemler ENH projelerinin uygulanmasında gecikmelere, dava sayılarının artmasına ve kamuoyu tepkisine yol açmaktadır. Bu çalışmada, ENH projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması süreci örnek bir proje üzerinden değerlendirilmiştir. TEDAŞ tarafından gerçekleştirilen ENH projelerinde beş yıllık dönem için maliklerle mahkemesiz uzlaşma oranı %13'dür. ENH için arazi mülkiyetinin kazanılmasında en büyük problem taşınmaz değerlendirme faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Taşınmaz değerlemede kurumlardaki personel sayısı yetersizliği, taşınmazların güncel alım-satım değerlerine ulaşamama ve bir standart birliğinin sağlanamaması sonucunda, belirlenen arazi değeri çoğu durumda gerçek değeri yansıtmadığından arazi sahipleriyle uzlaşma olmamaktadır. En ideal çözümün yasal boyutta, taşınmaz değerlendirme faaliyetlerini tek başına düzenleyen bütüncül bir değerlendirme yasaının hazırlanması, kurumsal boyutta kadastronun taşınmaz değerlendirme de içermesi ve teknik boyutta güncel alım-satım değerleriyle birlikte taşınmaz özelliklerinin bir arada yönetilebileceği bir veri tabanının

oluşturulması olduğu değerlendirilmektedir. Bunun yanında, kıymet takdiri sırasında mahkeme kararlarıyla kesinleşmiş bedeller üzerinden taşınmaz bedelinin belirlenmesi taşınmaz değerlemeyle ilgili problemlerin çözümüne katkı sağlayacaktır. Kadastro altlıklarının yetersiz olduğu yerlerde öncelikle kadastro yenilemenin yapılması karşılaşılan teknik problemleri azaltacaktır. Ayrıca, Anayasa güvencesi altındaki mülkiyet hakkına müdahale edilirken adaletli bir yaklaşım benimsenmeli, kamu yararı yanında taşınmaz sahiplerinin hayatlarını sürdürmek için ihtiyaç duydukları mülkleri de korumayı hedefleyen dengeli bir çözümün araştırılması gerekmektedir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

TEDAŞ-ARAS Bölge Müdürlüğü'ne bilgi ve belge sağlayarak çalışmaya katkıları için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Alkan, U. (2019). Karayolları kamulaştırmasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bakan, D. (2019). Karayolları kamulaştırmasında değerlendirme sürecinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Başlak, A. (2013). Çok kriterli karar verme tekniği kullanarak enerji nakil hattı (ENH) güzergâh seçimi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bayındır, B. (2018). Enerji Nakil Hattı Kamulaştırmalarında; Değer Tespiti ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Boztoprak, T. (2015). Kamulaştırmanın parsel sayısı ve ortalama parsel büyüklüğüne etkisi. S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., 3(2), 10-17.
- Boztoprak, T., Demir, O. ve Çoruhlu, Y.E. (2016). Comparison of expropriation and land consolidation on the regulation of agricultural land. Sigma J Eng & Nat Sci, 34(1), 43-55.
- Çağla H., İşcan, F. ve Hekim, B. (2016). Kamulaştırma kanununun 27.madde uygulaması (Acele Kamulaştırma). Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknik-Online Dergi, 15 (1), 23.
- Çakır, Y. (2019). Kamulaştırmatsız el atmanın mülkiyet hakkı bakımından anayasal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, D. ve Baz, İ. (2019). Kurumların açtığı kamulaştırma bedel tespit dosyalarına ilişkin bir inceleme. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 1(2), 63-69.
- Döner, F. (2015). Evaluation of cadastre renovation studies in Turkey, Survey Review, 47(341) 141-152.
- Döner, F. ve Bıyık, C. (2013). Conformity of LADM for modeling 3D/4D cadastre situations in Turkey. In Proceedings of The 5th Land Administration Domain Model Workshop, 24-25 September 2013, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Erdem, N. (2019). Türkiye taşınmaz değerlendirme sisteminin etkinliğinin araştırılması. Geomatik Dergisi, 4(1), 1-13.
- Eroğlu, H. (2014). Coğrafi bilgi sistemleri, kullanılarak gerçekleştirilecek olan bilgisayar destekli bir modelle elektrik enerji nakil hatlarının güzergâh optimizasyonu, Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Göztepe, Ö. (2017). Tarihsel kapitalizmin yapısal unsuru ilkel birikim ve bir araç olarak Türkiye'de acele kamulaştırma. Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- İşcan, F. ve Vargeloğlu, F. (2019). Boru hattı kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan teknik, ekonomik, hukuki sorunlar ve çözüm önerileri. Geomatik Dergisi, 4(3), 239-253.
- Kalogiannia, E., Dimopoulou, E., Thompson, R. J., Lemmen, C., Ying, S. ve van Oosterom, P. (baskıda). Development of 3D spatial profiles to support the full lifecycle of 3D objects. Land Use Policy, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104177>.
- Kara, A., van Oosterom, P., Çağdaş, V., Işıkdag, Ü. ve Lemmen, C. (baskıda). 3 Dimensional data research for property valuation in the context of the LADM Valuation Information Model. Land Use Policy, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104179>.
- Kuru, İ. (2019). Mülkiyet hakkı kapsamında kamulaştırma bedelinin tespiti ve tescil davaları. Yüksek Lisans Tezi. Çaç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mersin.
- Mamal, M. (2019). Kamulaştırmatsız el atmada tazminat ve ecrimisil. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Samsun.
- Marabaoğlu, S. N. ve Uzun, B. (2019). Yüksek voltajlı iletim hatları ve taşınmaz değeri. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- RG (Resmi Gazete), 2001. 08.12.2001 tarih ve 24607 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Türk Medeni Kanunu, (Erişim Tarihi:18.06.2020) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2001/12/20011208.htm>.
- RG (Resmi Gazete), 2019a. 30 Numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, (Erişim Tarihi: 03.05.2020)

- <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190205-7.pdf>.
- RG (Resmi Gazete), 2019b. Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, (Erişim Tarihi: 03.05.2020), <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/19.5.49.pdf>.
- Şenyıldız, Z. (2017). Türkiye için taşınmaz değerlemesine yönelik bütüncül bir yönetim modelinin tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tanrıvermiş, H. ve Aliefendioğlu, Y. (2019). Türkiye’de gayrimenkul ve varlık değerlendirme çalışmalarının gelişimi ve kurumsallaşma eğilimlerinin değerlendirilmesi. Kent, İnşaat ve Ekonomi Kongresi, 2-3-4 Mayıs 2019, Gaziantep.
- TEDAŞ, (2018). TEDAŞ 2018 yılı faaliyet raporu: https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/faaliyetrapor//FAALIYET_RAPORU_2018_Tr.pdf.
- TEİAŞ, (2020a). Türkiye elektrik üretim istatistikleri: <https://webapi.teias.gov.tr/file/428bcf3c-d041-4c7b-95b0-aac1ef80d2a8?download>.
- TEİAŞ, (2020b). Türkiye iletim hat uzunluklarının yıllık gelişimi: <https://webapi.teias.gov.tr/file/3cddf092-28d1-4920-8a37-691607e4e01f?download>.
- Ünel, F. ve Yalçın, Ş. (2019). Türkiye’de taşınmazların değerini etkileyen kriterlere yaklaşım. Geomatik Dergisi, 4(2), 112-133.
- Yıldırım V., Yomralıoğlu T., Nişancı R., Çolak H.E., Bediroğlu Ş. ve Memişoğlu T. (2016). An integrated spatial method for minimizing environmental damage of transmission pipelines. Polish Journal of Environmental Studies, 25, 2563-2653.



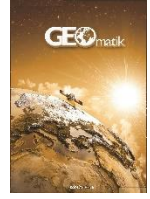
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi

Selim Serhan Yıldız*¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Rüzgâr Hızı
Rüzgâr Potansiyeli
Yenilenebilir Enerji
Balıkesir

ÖZ

İnsan hayatında barınma, gıda, sağlık hizmetleri gibi büyük öneme sahip ihtiyaçlardan birisi de enerjidir. Günümüzde teknolojinin geldiği nokta göz önünde bulundurulduğunda hayatın hemen hemen her yerinde enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına araştırmalar yapmakta ve bu doğrultuda yatırımlar gerçekleştirmektedirler. Enerji kaynakları yenilenemez ve yenilenebilir olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının çevreye yaydıkları zararlı gazlar ve rezerv ihtiyacı ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisini içeren yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenemez kaynaklarına göre daha çevreci ve süreklidir. Enerji üretim tesisinin ömrü kullanılan donanım ve teknolojinin ömrüne bağlıdır. Bu çalışmada, Balıkesir ilinin 50 ve 80 metre yükseklikteki rüzgâr hızı haritaları üretilmiştir. Rüzgâr enerjisi üretimine uygun olmayan ve izin verilmeyen alanların belirlenmesinde çevre düzeni planları verilerinden yararlanılmıştır. Rüzgâr hızı haritalarının üretiminde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen 32 adet meteoroloji istasyonunun beş yıllık verileri kullanılmıştır. Balıkesir ilinde 6 m/s ve üzeri hıza sahip toplam alanlar belirli hız aralıklarına göre hesaplanmıştır. Ayrıca ilçelerin en düşük, ortalama ve en yüksek rüzgâr hızı değerleri de ortaya koyulmuştur. Sonuç olarak, Balıkesir ilinde ekonomik verimlilik sınırı olarak ifade edilen 6m/s hızın üzerinde 50 metre yükseklik için toplam 1114,80 km² ve 80 metre yükseklik için 3289,92 km² elverişli alan olduğu belirlenmiştir.

Preparation of wind speed maps of Balıkesir province and examination in terms of wind energy potential

Keywords

Wind Speed
Wind Potential
Renewable Energy
Balıkesir

ABSTRACT

One of the most important needs such as shelter, food and health services in human life is energy. Today, considering the point where technology has come, energy is needed almost everywhere in life. Countries perform research in order to meet their energy needs and they make investments in this direction. Energy sources consist of two main components as non-renewable and renewable. The harmful gases emitted by the non-renewable energy sources and the need for reserves have directed the countries to renewable energy sources. Renewable energy sources, including solar and wind energy, are more environmentally friendly and sustainable than non-renewable sources. In this study, wind speed maps of Balıkesir province were produced at a height of 50 and 80 meters. Environmental plan data were used to identify areas that are not suitable for wind power generation and forbidden areas. Five-year data of 32 meteorology stations obtained from Turkish State Meteorological Service were used in the production of wind speed maps. Total areas with a speed of 6m/s and over in Balıkesir province were calculated according to particular speed ranges. In addition, the lowest, average and highest wind speed values of the districts were also revealed. As a result, it was determined that there is a suitable area of 1114.80 km² for a height of 50 meters and 3289.92 km² for a height of 80 meters above the speed of 6m/s, which is expressed as the economic efficiency limit.

*Sorumlu Yazar

(serhan@osmaniye.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0001 – 6221 – 7035

Kaynak Göster (APA)

Yıldız S S (2021). Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi. Geomatik, 6(3), 198-206. DOI: 10.29128/geomatik.737567

1. GİRİŞ

Devletler tarih boyunca doğal kaynakları daima kullanmış ve doğal kaynaklarını kullanarak bazı dönemlerde hızla gelişerek zenginleşmişlerdir. Bugün endüstri devrimini tamamlamış olan ülkeler öncelikle doğal kaynaklarını kullanarak bu düzeye ulaşmışlardır (MTA, 2000). Hızla artan nüfusun karşısında insanlar, ihtiyaçlarını karşılamak için dünyadaki tüm kaynaklardan yararlanmak istemektedir. İnsanların doğada var olan doğal kaynakları tespit etmeye çalışması ve bunlardan yararlanmak için projelerin ve planların geliştirilmesi, bilimin bu doğrultuda ilerlemesi doğal kaynakların tüm dünya için ne derece önemli olduğunu göstermektedir (ESİAD, 1993).

Gelişen teknoloji, nüfusun artışı ve sanayileşme gibi nedenlerden dolayı hızla artan enerji ihtiyacını karşılamak için doğal kaynaklara başvurulamaya başlamıştır. Yaşamın her aşamasında kullanılan enerji; rüzgâr, güneş, jeotermal, kinetik, kimyasal enerji gibi değişik formlarda bulunabilmektedir. Bu enerji türleri birbirlerine dönüştürülebilmektedir. Farklı yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır ve kaynağın türüne göre sınıflandırılmaktadır (Koç ve Şenel, 2013). Oluşumu çok uzun zaman alan kömür, petrol, doğalgaz, bor gibi enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları olarak adlandırılır. Güneş ışığı, rüzgâr, akan su, hidrojen, biyolojik süreçler ve jeotermal gibi sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan kaynaklardan elde edilen enerjilere de yenilenebilir enerji denilmektedir. (Albayrak, 2011).

Yakıldığında karbondioksit, azot oksit, toz, kükürt dioksit gibi gazları ortaya çıkaran, yenilenemez enerji kaynaklarından, fosil yakıtlar tüm dünyada yaşamı tehdit etmektedir (Uyar, 2001). Yenilenebilir enerji kaynakları, sınırsız miktarda olması, çevreye az zarar vermesi ve güvenli olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarına göre daha avantajlıdır (Mutlu, 2002). Dünyada sürdürülebilir kalkınmayı sağlamada yardımcı olacak en fazla bilinen ve en hızlı büyüme kaydeden yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjisidir (Savin, 2003).

Yenilenebilir enerji üretiminin ülkemizdeki durumunu ve hedefleri incelemek açısından T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan 2019-2023 yılları arasını kapsayan on birinci kalkınma planı incelendiğinde, yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki payı 2023 yılı için % 38,8 olarak tahmin edilmektedir (TCCB-SBB, 2019). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (EİGM) Türkiye Elektrik Yatırımları 2020 Yılı Nisan Ayı Özet Raporuna göre 30 Nisan 2020 tarihi itibarıyla 91565 MW olan toplam kurulu gücün % 49,49'u yenilenebilir enerji üretim tesislerinden oluşmaktadır (EİGM, 2020). Bu durum yenilenebilir enerji üretimi açısından 2023 hedeflerine şimdiden ulaşıldığını göstermektedir.

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyada en gelişmiş ve ticari olarak en elverişli enerji türüdür (Albostan ve ark., 2009). Son yıllarda rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminde göstermiş olduğu gelişmeyle Çin Halk Cumhuriyeti ilk sırada yer alırken onu ABD, Almanya, Hindistan ve İspanya takip etmektedir (GWEC, 2017; GWEC, 2018; Dawn ve ark., 2019). Tablo 1'de ülkelerin kurulu rüzgâr gücü kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 1. Ülkelerin kurulu rüzgâr gücü kapasiteleri (GWEC, 2017; GWEC, 2018)

Sıra	Ülke	2018 Yılı Toplam Kapasite [MW]	2018 Yılı Büyüme Oranı [%]	2018 Yılı Yeni Kurulum [MW]	2017 Yılı Toplam Kapasite [MW]
1	Çin	211392	12,2	23000	188392
2	ABD	96665	8,5	7588	89077
3	Almanya	59561	6,0	3371	56190
4	Hindistan	35129	6,7	2191	32938
5	İspanya	23394	1,0	224	23170
6	İngiltere	20964	10,0	1901	19063
7	Fransa	15320	11,4	1563	13757
8	Brezilya	14708	15,2	1939	12769
9	Kanada	12806	4,6	566	12240
10	Türkiye	7369	7,2	497	6872
11	İsveç	7216	11,0	717	6499
12	Avustralya	5362	11,4	549	4813
13	Meksika	4935	23,2	929	4006
14	Japonya	3661	7,7	262	3399

Türkiye'de rüzgârdan enerji üretimi ilk olarak 1998 yılında İzmir'de başlamıştır (Gültekin, 2019). İlk kurulumdan sonra Türkiye'deki rüzgârdan enerji üretimi gelişimi Dünya genelindeki gelişimi ile uyumlu bir şekilde ilerlemiştir. Ancak Türkiye'de rüzgâr enerji üretimi yatırımları son yıllarda önemli derecede artışa geçmiştir. 2008 yılında 364 MW olan toplam kurulu güç 2019 yılı Temmuz ayı itibarıyla 7615 MW olmuştur. Bu süreçteki kurulu güç açısından en büyük büyüme 2015-2016 yılları arasında toplam 1388 MW olarak gerçekleşmiştir. Bu artış, Türkiye'nin sektördeki sıralamasını belirgin bir şekilde yükseltmiştir. İlk yıllarda %30 civarında olan yıllık artış oranı son üç yılda gözle görülür bir şekilde azalarak 2019 yılında %3,34'e kadar gerilemiştir. Toplam kurulu güç açısından şehirler karşılaştırıldığında 1462,20 MW ile İzmir birinci, 1135 MW ile Balıkesir ikinci ve 669,95 MW ile Manisa üçüncü sırada yer almaktadır. Bu üç şehrin toplam kurulu gücü Türkiye'nin kurulu gücünün %42,90'ını oluşturmaktadır (TUREB, 2019). Yine şehirlerin Temmuz 2018 ile Temmuz 2019 arasındaki kurulu güç artışı incelendiğinde, 143,90 MW artış ile Konya ve 142,80 MW artış ile Çanakkale başı çekmektedir. Bu şehirleri sırasıyla İzmir ve Balıkesir takip etmektedir (TUREB, 2018; TUREB, 2019). Türkiye'de şehirlerin 2018 ve 2019 Temmuz ayına ait kurulu rüzgâr gücü kapasiteleri, büyüme oranları ve ülke kapasitesindeki payları Tablo 2'de gösterilmiştir. Ayrıca Türkiye'de kurulu rüzgâr gücü

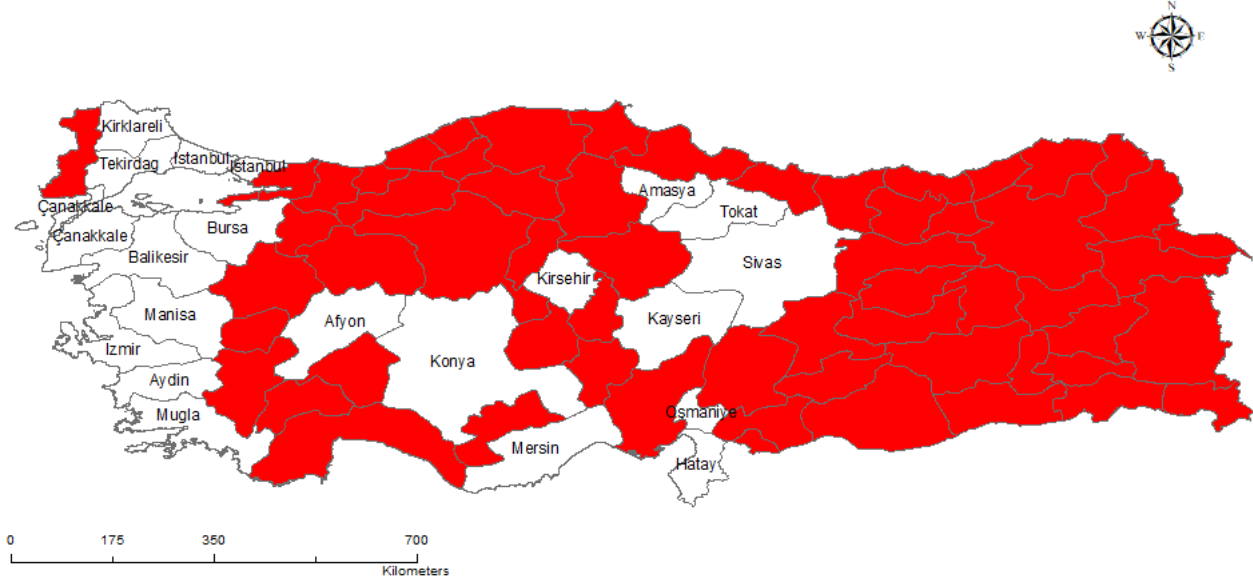
kapasitesi yönünden ilk yirmide yer alan şehirlerin konumu Şekil 1’de verilmiştir.

Balıkesir ili gerek toplam kurulu güç gerekse güç artışı yönünden ele alındığında rüzgâr enerjisi yönünden büyük öneme sahiptir. Ayrıca Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA) verileri incelendiğinde Balıkesir ilinde 50 m yükseklikte toplam kurulu güç potansiyeli 13827,36 MW olarak

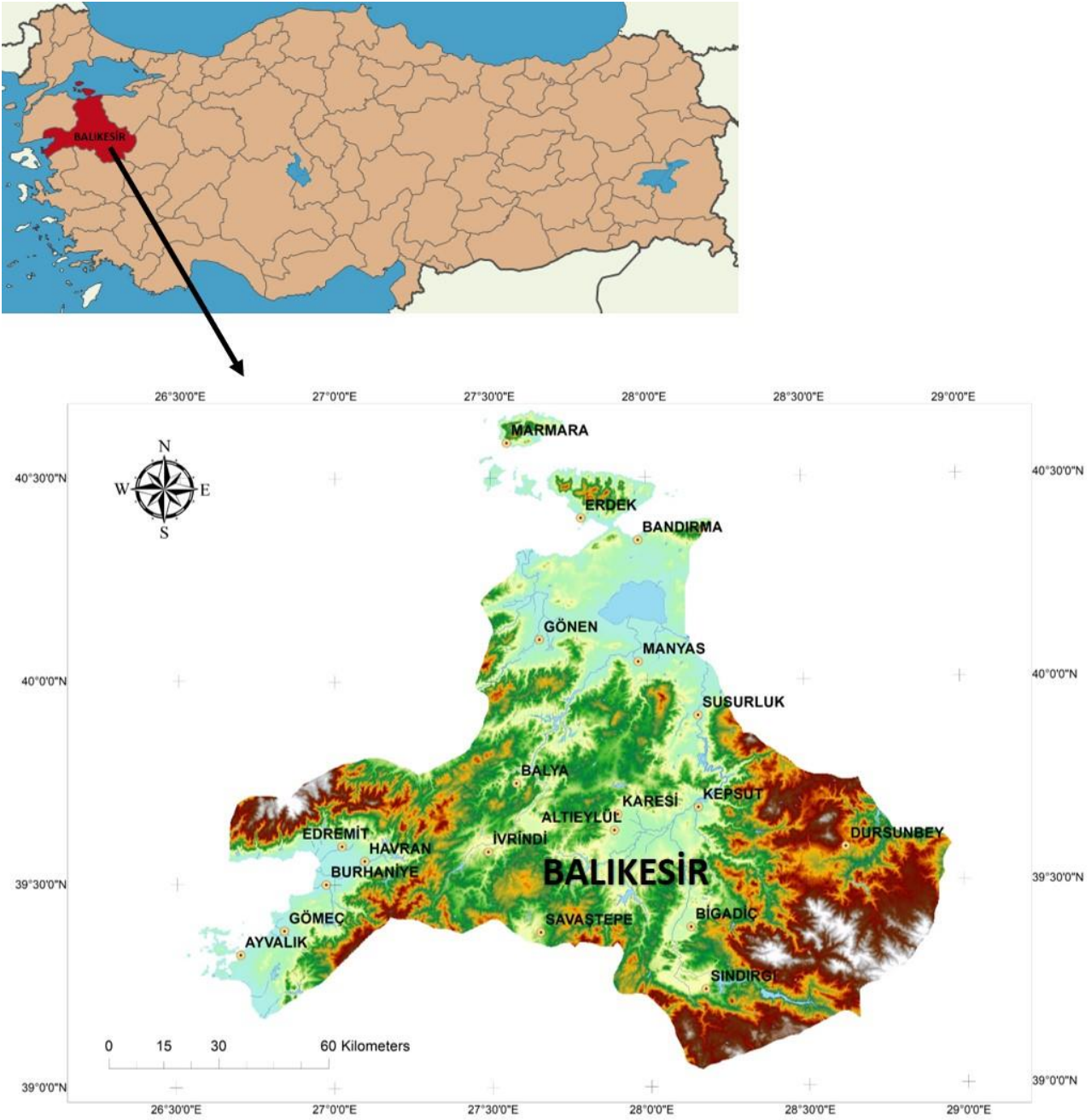
ifade edilmektedir (EİGM, 2019). Mevcut toplam kurulu güç miktarı 1135 MW ve bu miktar potansiyelin sadece %8,2’sini oluşturmaktadır. Bu durum Balıkesir ilinde potansiyel rüzgâr enerji alanı belirleme çalışmalarının halen büyük bir öneme sahip olduğunu desteklemektedir. Çalışma alanını oluşturan Balıkesir ilinin ülke içindeki konumu ve fiziki haritası Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye’de şehirlerin kurulu rüzgâr gücü kapasiteleri (TUREB, 2018; TUREB, 2019)

Sıra	Şehir	Toplam Kapasitedeki Payı [%]	Temmuz 2019 Toplam Kapasite [MW]	Büyüme Oranı [%]	Yeni Kurulum [MW]	Temmuz 2018 Toplam Kapasite [MW]
1	İzmir	19,20	1462,20	6,2	85,00	1377,20
2	Balıkesir	14,90	1135,00	5,2	55,75	1079,25
3	Manisa	8,80	669,95	0,0	0,00	669,95
4	Çanakkale	6,64	505,60	39,4	142,80	362,80
5	Hatay	4,79	364,50	0,0	0,00	364,50
6	Kayseri	3,61	275,10	3,9	10,20	264,90
7	Afyon	3,53	268,45	17,0	39,00	229,45
8	Osmaniye	3,48	265,30	0,0	0,00	265,30
9	İstanbul	3,37	256,90	12,4	28,35	228,55
10	Aydın	3,12	237,20	16,5	33,60	203,60
11	Mersin	2,87	218,70	0,0	0,00	218,70
12	Kırklareli	2,62	199,60	0,0	0,00	199,60
13	Muğla	2,59	197,25	1,3	2,50	194,75
14	Kırşehir	2,21	168,00	0,0	0,00	168,00
15	Konya	2,17	164,90	685,2	143,90	21,00
16	Tekirdağ	2,05	155,80	0,0	0,00	155,80
17	Sivas	2,04	155,30	0,0	0,00	155,30
18	Tokat	1,85	140,70	0,0	0,00	140,70
19	Amasya	1,83	139,00	8,4	10,80	128,20
20	Bursa	1,69	128,40	0,0	0,00	128,40



Şekil 1. Türkiye’de kurulu rüzgâr gücü kapasitesi yönünden ilk yirmide yer alan şehirler



Şekil 2. Çalışma alanının Türkiye’deki konumu ve fiziki haritası

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulmasında en önemli faktörlerin başında rüzgâr hızı gelmektedir. Rüzgâr türbinlerinin çalışmaya başlayabilmesi için gerekli olan en düşük hız genel olarak 3 m/s’dir. Günümüzde 2,5 m/s hızda çalışmaya başlayabilen rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Voivontas ve ark. 1998’de kabul edilebilir en düşük rüzgâr hızı 6 m/s olarak belirlenmiştir. Hayli 2001’de rüzgâr enerjisi üretiminin ekonomik olabilmesi için en düşük rüzgâr hızının 5-6 m/s olması gerektiği ifade edilmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nun 1995 yılında alternatif enerji kaynakları üzerine gerçekleştirdiği bir çalışmada Taylan ve ark. elektrik enerjisi üretimi için kullanılacak en düşük rüzgâr hızını 6,5 m/s olarak tanımlamışlardır. Çalışma kapsamında rüzgâr enerjisi üretimi için gerekli olan en düşük hız ise 6 m/s olarak belirlenmiştir (TAEK, 1995).

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli yönünden önemli bir yere sahip olan Balıkesir ilinin 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı haritaları üretilmiş ve bu haritalar rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenerek sonuçlar ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Balıkesir ilinde bulunan 32 adet meteoroloji istasyonunun 01.01.2014 – 30.06.2019 tarihleri arasındaki günlük ortalama rüzgâr hızı verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarının coğrafi dağılımı Şekil 3’te gösterilmiştir. MGM istasyonlarının rüzgâr hızı ölçümleri 10m yüksekliğe sahip direkler üzerinde gerçekleştirilmektedir. İstasyonlarda opto-

elektronik prensibi ile çalışan üç kepçeli rüzgâr hız sensörü yardımıyla rüzgâr hızı belirlenmektedir. Sensör içerisindeki optik sayıcı, sensör milinin birim zamandaki dönüş sayısını ölçmekte ve buradan yola çıkarak rüzgâr hızı hesaplanmaktadır.

Çalışmanın amacını oluşturan 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr hızlarının elde edilebilmesi için Hellmann eşitliği kullanılmıştır. Bu yaklaşımda MGM istasyonlarının yer aldığı bölgenin yüzey pürüzlülüğüne ve hızın taşınmak istendiği yüksekliğe bağlı olarak hesaplamalar yapılmaktadır (Tar, 2008).

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

Eşitlik 1’de, V_0 MGM’den temin edilen 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı değerini, H rüzgâr hızının taşınmak istendiği yüksekliği, α rüzgâr ölçümü yapılan istasyondaki yüzeyin pürüzlülüğüne göre belirlenen sürtünme katsayısını ve V taşınmak istenen yükseklikteki rüzgâr hızı değerini ifade etmektedir. H_0 , MGM rüzgâr hızlarının ölçüldüğü yükseklik olan 10 m olarak alınmıştır. Tablo 3 çalışma kapsamında kullanılmış olan arazi türü sınıflarını ve karşılık gelen sürtünme katsayılarını göstermektedir (Masters, 2004).

Tablo 3. Arazi karakteristiğine göre sürtünme katsayıları (Masters, 2004)

Arazi Karakteristiği	Sürtünme Katsayısı (α)
Pürüzsüz sert zemin, durgun su	0,10
Toprak seviyesinde uzun çimen	0,15
Yüksek boylu mahsul ve çalılar	0,20
Kırsal orman alanı, birçok ağaç	0,25
Ağaçlar ve çalılar içeren küçük kasaba	0,30
Yüksek binaların bulunduğu şehirler	0,40

MGM istasyonlarının buldukları konumların sürtünme katsayılarını elde edebilmek için CORINE arazi örtüsü haritası Copernicus Services envanterinden temin edilmiştir (EEA, 2019). İstasyonların bulunduğu konuma ait olan arazi örtüsü sınıfı rüzgâr hızı hesaplarında kullanılan pürüzlülük sınıflarından uygun olan sınıf ile eşleştirilerek o istasyonun 50 ve 80 m yükseklikteki hız değerleri 1 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada 50 ve 80 m yüksekliklerin seçilmesinin sebebi halihazırda kurulu olan rüzgâr enerji santrallerindeki türbin göbek yüksekliklerinin bu değerlere yakın olmasıdır. Buradan yola çıkarak ilerleyen çalışmalarda mevcut toplam kurulu güç kapasitesi ile hesaplanacak güç potansiyelinin karşılaştırması daha anlamlı olarak gerçekleştirilebilecektir. Kapasite tabirini bir başka deyişle yorumlanır ise, mevcut kurulu rüzgâr güç santrallerinin toplam gücü ile Balıkesir ilinin üretilen rüzgâr haritalarından yola çıkarak

hesaplanan genel güç potansiyeli karşılaştırılabilecektir.

Ardından Balıkesir il genelinin rüzgâr hızı haritalarını oluşturmak üzere 32 adet MGM istasyonuna ait hız verileri ters mesafe ağırlıklı (IDW), krigging ve doğal komşu (natural neighbour) olmak üzere 3 farklı yöntemle enterpolasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. MGM istasyonlarının gerçek hız verileri ile enterpolasyon yöntemiyle elde edilen değerler karşılaştırıldığında en uygun yöntemin IDW olduğu tespit edilmiş ve Balıkesir iline ait 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı haritaları 200 x 200 m boyutlarına sahip hücreler halinde bu yöntemle raster olarak üretilmiştir.

Günümüzde çoğunlukla tek istasyon bazında yürütülen rüzgâr hızının farklı yüksekliklere taşınması ve güç potansiyeli hesaplamaları, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımı ve çok sayıda istasyon noktası verisinin kullanımı ile belirli bölge için hız haritasını üretimine imkân sağlamaktadır. Bu kapsamda sadece noktasal olarak değil tüm bölge için bir hesaplama gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmalarının sonraki adımlarını Balıkesir ilinin rüzgâr gücü potansiyelinin hesaplanması ve CBS ile çok ölçütlü karar analiz yöntemleri yardımıyla rüzgâr enerji santrali uygunluk haritalarının üretimi oluşturmaktadır. Bu çalışmada bir CBS yazılımı olan ArcMap yazılımı kullanılmıştır.

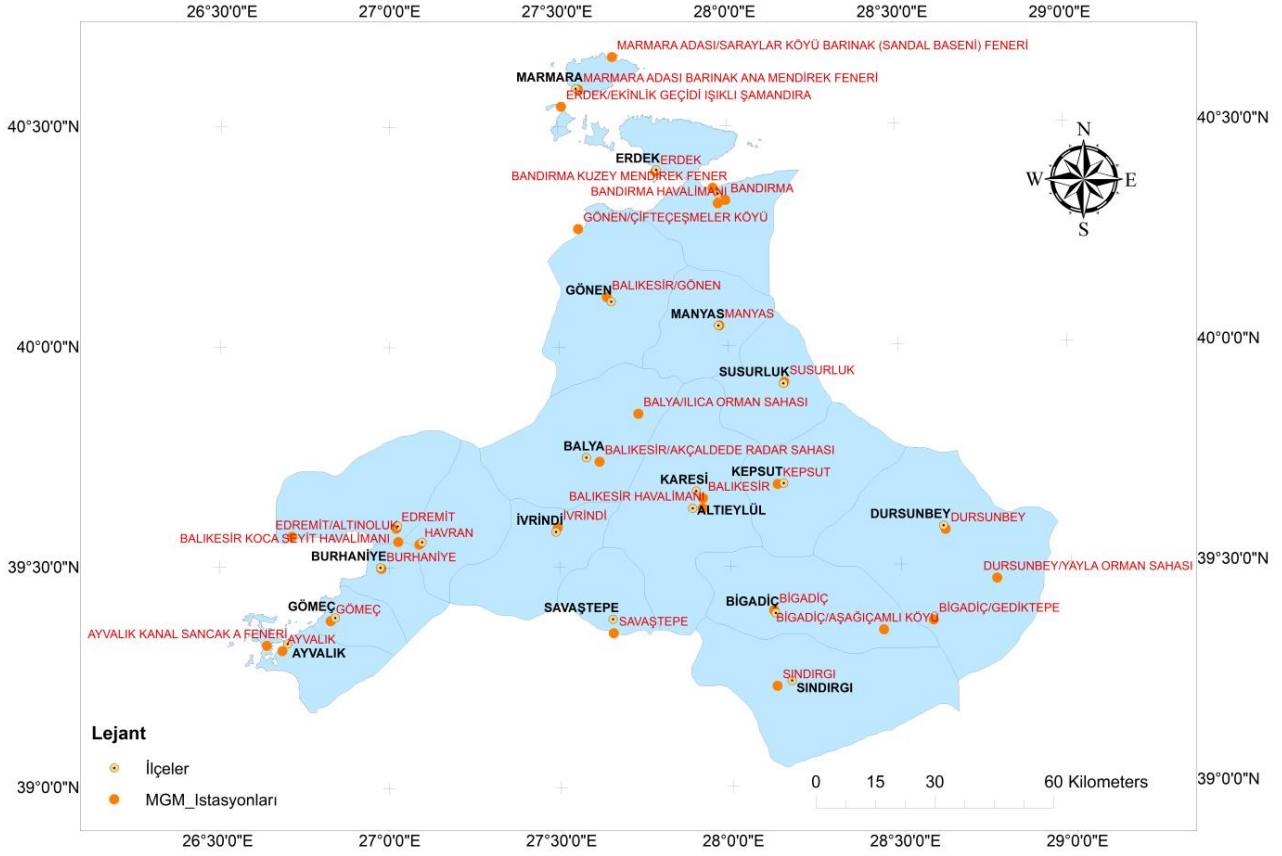
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü’nden resmi yazışma ile Türkiye Coğrafi Veri Portalı kullanılarak temin edilen çevre düzeni planlarında yer alan yerleşim alanları, turizm alanları, havalimanları, doğal karakteri korunacak alanlar, askeri alanlar, maden alanları, organize sanayi bölgesi, lojistik merkez, küçük sanayi alanı, organize tarım ve hayvancılık bölgesi, sanayi ve depolama alanı gibi çalışma alanları, su yüzeyleri, eğimin %30’dan fazla olduğu yerler çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Çalışmada referans elipsoidi olarak World Geodetic System 1984 (WGS 84) elipsoidi kullanılmış ve bu doğrultuda MGM istasyonları ve çevre düzeni planları gibi kurumlardan temin edilen coğrafi verilerin tamamının WGS 84 elipsoidine koordinat dönüşümleri gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Balıkesir ili için üretilmiş olan 50m yükseklikteki rüzgâr hızı haritası (Şekil 4) incelendiğinde hızların 2,12 ile 9,16 m/s arasında, 80m yükseklikteki rüzgâr hızı haritası (Şekil 5) incelendiğinde 2,38 ile 10,30 m/s arasında bir dağılıma sahip oldukları görülmektedir.

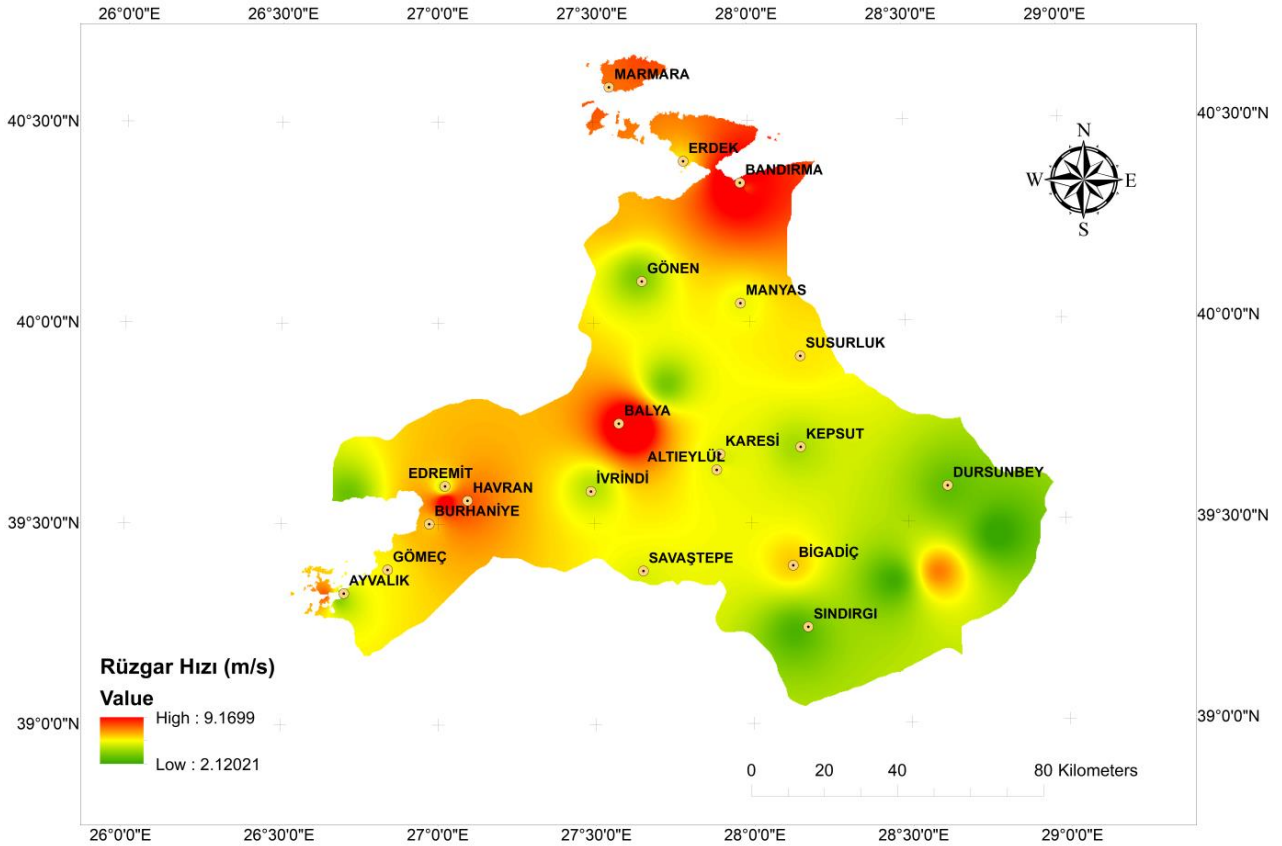
Hız dağılımları konumsal olarak değerlendirildiğinde; Balya, Bandırma, Burhaniye, Edremit, Erdek ve Havran ilçelerinde en yüksek hız değerlerinin diğer ilçelere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 4’te 50 ve 80 m yükseklikteki en yüksek, en düşük ve ortalama rüzgâr hızları ilçelere göre gösterilmektedir.

BALIKESİR İLİ MGM İSTASYONLARI



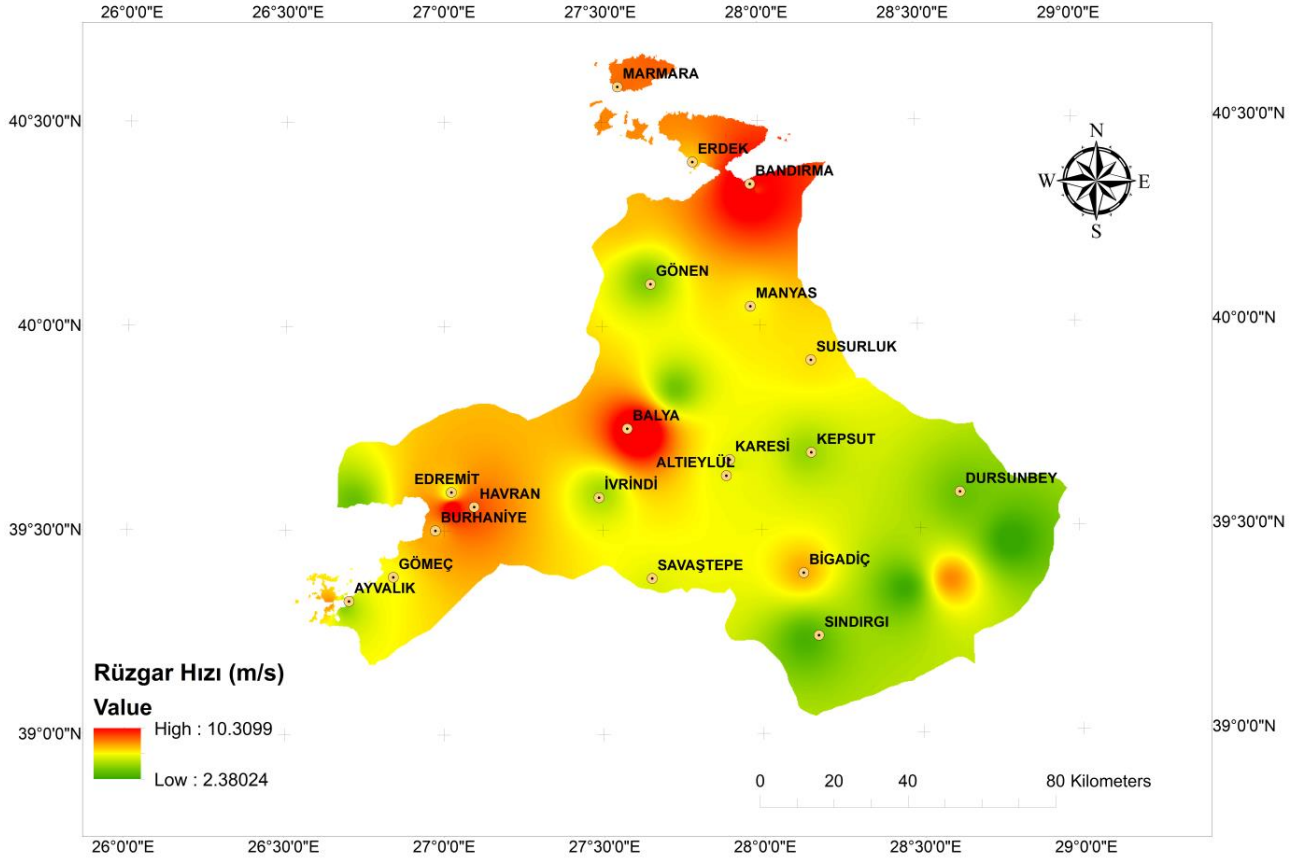
Şekil 3. Balıkesir ilinde yer alan MGM istasyonları

BALIKESİR İLİ RÜZGAR HIZI HARİTASI (h=50m)



Şekil 4. Balıkesir ilinin 50 m yükseklikteki rüzgâr hızı haritası

BALIKESİR İLİ RÜZGAR HIZI HARİTASI (h=80m)



Şekil 5. Balıkesir ilinin 80 m yükseklikteki rüzgar hızı haritası

Tablo 4. İlçelerde 50 ve 80 m yükseklikteki en yüksek, en düşük ve ortalama rüzgâr hızları

İlçe Adı	h=50 m			h=80 m		
	Rüzgar Hızı (En yüksek) (m/s)	Rüzgar Hızı (En düşük) (m/s)	Rüzgar Hızı (Ortalama) (m/s)	Rüzgar Hızı (En yüksek) (m/s)	Rüzgar Hızı (En düşük) (m/s)	Rüzgar Hızı (Ortalama) (m/s)
Ayvalık	6,30	3,40	4,74	6,62	3,92	5,31
Balya	9,16	3,19	5,59	10,30	3,58	6,32
Bandırma	8,19	5,32	6,61	9,89	6,17	7,60
Bigadiç	5,61	2,39	4,20	6,31	2,69	4,88
Burhaniye	8,14	4,99	5,64	9,36	5,74	6,59
Dursunbey	5,92	2,12	3,64	6,66	2,38	4,18
Edremit	8,16	3,00	4,95	9,39	3,37	5,72
Erdek	7,14	4,85	6,07	7,94	5,85	6,94
Gömeç	5,36	4,71	4,99	6,25	5,30	5,70
Gönen	6,17	3,27	4,74	7,09	3,77	5,42
Havran	7,76	4,98	5,61	8,95	5,65	6,46
İvrindi	6,01	3,92	4,87	6,79	4,31	5,52
Kepsut	4,71	3,74	4,24	5,40	4,11	4,82
Manyas	5,79	4,45	4,89	6,70	5,08	5,71
Marmara	6,47	5,73	6,20	7,11	6,52	6,89
Merkez (Altieylül- Karesi)	6,11	3,95	4,67	6,91	4,47	5,34
Savaştepe	4,91	4,35	4,62	5,58	5,01	5,28
Sındırgı	4,91	2,58	3,70	5,54	2,90	4,23
Susurluk	5,14	4,30	4,79	5,96	4,86	5,51

Balıkesir ilinin 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr potansiyelinin daha açık bir şekilde anlayabilmek üzere rüzgâr hızı değerleri için aralıklar belirlenmiş

ve belirlenen aralıklarda bulunan hücre sayıları ve karşılık geldikleri toplam alanlar belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı aralıklarına göre hücre sayıları ve toplam alan

Rüzgâr Hızı (m/s)	h=50 m		h=80 m	
	Hücre Sayısı	Toplam Alan (km ²)	Hücre Sayısı	Toplam Alan (km ²)
6,0 - 7,0	20815	832,60	58918	2356,72
7,0 - 7,5	4157	166,28	8950	358,00
7,5 - 8,0	1463	58,52	7327	293,08
8,0 - 8,5	708	28,32	4044	161,76
8,5 - 9,0	554	22,16	1434	57,36
9,0 - 9,5	173	6,92	764	30,56
9,5 - 10,0	0	0,00	530	21,20
> 10	0	0,00	281	11,24

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Balıkesir iline ait 50 ve 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı haritaları üretilmiş ve ilçeler arasındaki dağılımları da ortaya konulmuştur. Rüzgâr hızları ilçeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek hız değerlerine göre sıralama büyükten küçüğe doğru Balya, Bandırma, Edremit, Burhaniye, Havran, Erdek ve diğer ilçelerden oluşmaktadır. Diğer yandan ortalama hız değerleri karşılaştırıldığında sıralama Bandırma, Marmara, Erdek, Burhaniye, Havran, Balya ve diğer ilçeler şeklinde oluşmaktadır. Bu sonuçlar gerek en yüksek hız gerekse ortalama hız yönünden Bandırma ilçesinin rüzgâr hızı verimliliği yönünden en iyi durumda bulunan ilçe olduğunu göstermektedir.

Balıkesir iline ait rüzgâr hızları ekonomik verimlilik sınırı olarak ifade edilen 6 m/s hızdan itibaren belirli aralıklara ayrılmış olarak incelendiğinde 50 m yükseklik için toplam 1114,80 km² ve 80 m yükseklik için 3289,92 km² elverişli alan olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar yükseklik arttıkça rüzgâr hızının ve dolayısıyla üretilebilecek enerji miktarının önemli derecede arttığı ortaya koymaktadır.

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda üretilebilen yüksek ve uzun pervaneli rüzgâr türbinleri sayesinde enerji verimliliği oldukça artmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma Balıkesir ilinin rüzgâr enerjisi yönünden oldukça güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca rüzgâr hızı haritalarının üretilmesi çalışmalarının diğer iller için de gerçekleştirilmesi, ilerleyen süreçte tüm Türkiye'deki rüzgâr enerji potansiyelinin güncel bir şekilde belirlenmesine yönelik çalışmalara altlık oluşturması yönünden faydalı olacaktır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan rüzgâr hızı verilerinin temin edildiği T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, çevre düzeni planlarının temin edildiği T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü'ne

ve coğrafi verilerin paylaşımı konusunda koordinasyon görevini yürüten Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

KAYNAKÇA

- Albayrak, B. (2011). Elektrik Enerjisi Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Finansmanı : Bir Uygulama. Doktora Tezi, Kadir Has Üniversitesi.
- Albostan, A., Çekiç, Y. ve Eren, L. (2009). Rüzgar Enerjisinin Türkiye'nin Arz Güvenliğine Etkisi. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24 (4), 641-649.
- Dawn, S., Tiwari, P. K., Goswami, A. K., Singh, A. K. ve Panda, R. (2019). Wind power: Existing status, achievements and government's initiative towards renewable power dominating India. Energy Strategy Reviews, 23, 178-199.
- Ege Sanayicileri ve İşadamları Derneği (ESİAD). (1993). Ege Bölgesinin Doğal Ortam Koşulları ve Doğal Kaynakları. İzmir: ESİAD Yayını.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM). (2019). Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası: Balıkesir İli Rüzgar Kaynak Bilgileri. <https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2fepa%2fbALIKESIR-REPA.pdf> (erişim tarihi: 09.10.2019)
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM). (2020). Türkiye Elektrik Yatırımları 2020 Yılı Nisan Ayı Özet Raporu. <https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2fRapor%2fElektrik%20Yat%2fc4%b1r%2fc4%b1mlar%2fc4%b1%202020%20Nisan%20Ayl%2fc4%b1k%20%2fc3%96zet%20Raporu.pdf> (erişim tarihi: 01.07.2020)
- European Environment Agency (EEA). (2019). Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20. Release Date: 14-06-2019.
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2017). Global Wind Statistics 2017. https://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf (erişim tarihi: 08.10.2019)

- Global Wind Energy Council (GWEC). (2018). Global Wind Report 2018. <https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf> (erişim tarihi: 08.10.2019)
- Gültekin, U. (2019). Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Gelişimi. *Turkish Studies*, 14 (4), 2333-2348.
- Hayli, S. (2001). Rüzgâr Enerjisinin Önemi, Dünya’da ve Türkiye’deki Durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11 (1), 1-26.
- Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2000). Madencilik’in Ülke Ekonomisindeki Önemi. Ankara.
- Masters, G. M. (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. New Jersey, USA: John Wiley and Sons.
- Mutlu, A. (2002). Nükleer Demodelik mi, Sürdürülebilir Enerji mi? *Standart:Ekonomik ve Teknik Dergi*, 487, 64-72.
- Savin, J. (2003). Enerji İçin Yeni Bir Gelecek Yaratmak, Dünyanın Durumu 2003 (ss.103-135). Çev. Ş. T. Gürçağlar. İstanbul, TEMA Vakfı Yayınları.
- Tar K. (2008). Some statistical characteristics of monthly average wind speed at various heights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12 (6), 1712-1724.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). (1995). *Alternatif Enerji Kaynakları*. İstanbul: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (TCCB-SBB). (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*.
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB). (2018). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2018*. http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/08/istatistik_raporu_temmuz_2018.pdf (erişim tarihi: 10.10.2019)
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB). (2019). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2019*. http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_temmuz_2019.pdf (erişim tarihi: 10.10.2019)
- Uyar, T. S. (2001). Enerji Sorunu Nedir? Alternatif Enerji Çözüm müdür? *NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium*, 23-26, Lefkoşa, TRNC.
- Voivontas, D., Assimacopoulos D., Mourelatos A. ve Corominas J. (1998). Evaluation of Renewable Energy Potential Using A GIS Decision Support System. *Renewable Energy*, 13 (3), 333-344.



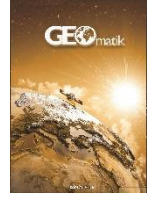
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Galileo uydu sistemi ve sinyal yapısı

Atınc Pırtı^{*1}, Ramazan Gürsel HOŞBAŞ¹, Burak Şenel¹, Mehmet Köroğlu¹, Serdar Bilim¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Galileo
GPS/GNSS
Uydu bileşenleri
Sinyal yapısı

ÖZ

Küresel konum belirleme sistemleri günümüz uygulamalarında devrim olarak nitelendirilebilir. Bu sistemler herhangi bir cismin yaklaşık olarak konumunun belirlenmesinde, ulaşım araçlarının navigasyonunda, birçok ölçme işleminde ve hayatı kolaylaştıracak birçok alanda kullanılabilir. Çok hassas zaman bilgisiyle üç boyutlu uzay geriden kestirme yöntemi sonucunda yüksek doğruluk ve hızlı işlem süreleriyle konum bilgisi kestirilebilir. Dünya çapında Global Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System-GPS), GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema) sistemleri aktif olarak kullanılmaktadır. Bu iki sistemin yanında GALILEO uydu sistemi de sivil olarak birçok alana hizmet vermek için planlanmaktadır. Bu çalışmada GALILEO'nun özelliklerine, sinyallerine, ortaya çıkış aşamalarına, diğer sistemlerle arasındaki farklılıklara ve neden ihtiyaç duyulduğuna değinilmektedir.

Galileo Satellite System and Signal Structure

Keywords

Galileo
GPS/GNSS
Satellite components
Signal structure

ABSTRACT

Global positioning systems can be described as revolution today. These systems can be used in determining the approximate location of any object, navigating the means of transportation, in many measuring processes and in many areas that will make life easier. As a result of the three-dimensional space shortcut method with very precise time information, location information can be estimated with high accuracy and fast processing times. Global Positioning System (GPS), GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema) systems are actively used worldwide. In addition to these two systems, the GALILEO satellite system plans to serve many areas civilianly. In this study, the features of the GALILEO, its signals, the stages of its emergence, the differences between other systems and why it is needed.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji geliştikçe birçok alanda yenilikler görülmektedir. Bu yeniliklerden biri de, hayatımızda zamanla daha fazla yer alan konum belirleme sistemlerinde yaşanmaktadır. Konum belirleme sistemleri askeri, sivil ve ticari hayatta insanoğluna birçok kolaylık sağlamaktadır. Bu alandaki gelişmeler, çağın getirdiği kolaylıklara ayak uydurmak ve rekabetin dışında kalmamak için birçok dünya ülkesini bu alanda çalışmalara sevk etmektedir.

Şu an aktif olarak kullanılan ABD'ye ait GPS ve Rusya'ya ait GLONASS sistemlerinin hakları ülkelerin ordularının elinde olduğu için savaş ya da başka bir olağan dışı halde kullanım dışı bırakılma durumları vardır. GALILEO sistemi ise Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından alınan kararlar ile tamamen sivil kullanıma yönelik, sürekli hizmet garantili ve yüksek konum duyarlılığı olan bir program olarak Avrupa ülkeleri, GPS ve GLONASS' a alternatif olarak GALILEO küresel uydu navigasyon sistemini geliştirmiştir.

Galileo sistemi girişimi 1999 yılında Fransa, Almanya, İtalya ve Birleşik Krallık' tan gelen dört farklı proje önerisinin ele alınmasıyla başlamıştır. 26 Mayıs 2003 tarihinde ise Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı projesi üstlenmiştir.

Projenin aşamaları aşağıda verilmiştir (Tablo.1).

Tablo 1. Galileo uydu sisteminin aşamaları

Aşamada Adı	Gerçekleşme Tarihi
Projenin İlk Çıkışı	2001
Geliştirme Aşaması: Görev gereksinimlerinin birleştirilmesi ve sonuçlandırılması	
#2-4 adet uydunun geliştirilmesi	2002-2005
#Yer istasyonları ve altyapı tesislerinin oluşturulması	
#Sistemin uzayda denenmesi	
#Uzaya uydu gönderme aşaması	
#Geriye kalan 26-28 adet uydunun tamamlanması ve yörüngelerine oturtulması	2006-2013
#Yer istasyonları ve alt yapı istasyonlarının tamamlanması	
#Sistemin kullanıma açılması	2014(OS) 2016(PRS) 2020-(HEPSI)

Başlangıçta Galileo sisteminin finansmanı için kamu-özel işbirliği (Public Private Partnership - PPP) modelinin en uygun model olduğu düşünülmüş ancak geçen zaman içerisinde programın taşıdığı riskler (tasarıma ilişkin riskler, pazar riskleri,

yüksek maliyet) nedeniyle özel sektör işbirliğini öngören finansman modelinin uygun bir yöntem olmadığı sonucuna varılmış ve böylece 8 Haziran 2007 tarihinde Avrupa Konseyi tarafından PPP için imtiyaz müzakerelerinin durdurulması kararı alınmıştır. Bunun sonucunda Galileo projesinin AB bütçesinden finanse edilmesi kararına varılmış ve sistemin mülkiyetinin AB'ye ait olacağı açıklanmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Tasarıya destek olacağı söylenen birçok ülke olmuştur. 2003 Eylülde Çin, 2004 Temmuzda İsrail, 3 Haziran 2005'de Ukrayna, 2005 Kasımında Fas, 12 Ocak 2006 tarihinde ise Güney Kore programa katılan ülkeler arasında yer almıştır. Hindistan, Eylül 2005'te, European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) çerçevesinde bölgesel katılımı arttırmak amacıyla tasarı ortağı olmuştur [URL3]. Avrupa Birliği üyesi 27 ülke ise uzun tartışmalar sonucunda 2007 yılında topluca programa dâhil olmuşlardır. Çin ise 2006 yılının Kasım ayında, Galileo yerine bağımsız olarak BeiDou (COMPASS) uydu konumlandırma sistemini geliştirme kararı alarak projeden ayrılmıştır (Marks, 2006). Başlangıç da katılmayı reddeden İspanya'nın da katılmayı kabul etmesiyle beraber, projenin finansman problemleri sona ermiş ve resmen bu fikir bir Avrupa Birliği projesi haline gelmiştir (Koca ve Ceylan, 2018).

Projede planlanmış olan toplam uydu sayısı 30'dur. 2020 itibari ile iptal olan uydularla beraber 22 tane uydu yörüngede yer almaktadır. Gelecekte uydu sayısının 30 olması hedeflenmektedir.

Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaştırma Genel Müdürlüğü, bu sisteme ihtiyacın gerekçelerini şu şekilde vermiştir;

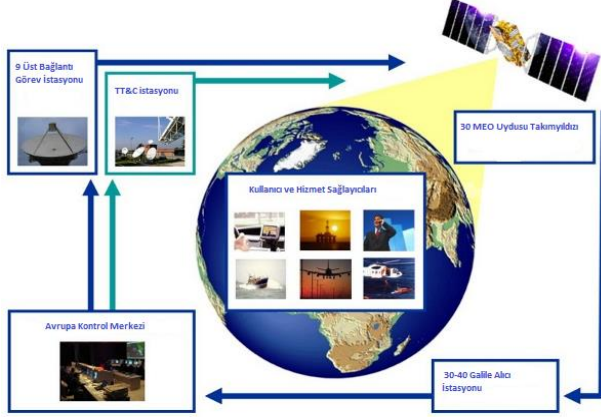
- 1- GPS' in sivil kullanıcılara sağladığı doğruluğun zamana ve konuma bağlı olarak değişmesi, bunun Avrupa açısından özellikle ulaşım sektörünün gereksinimleri için yeterli olmaması
- 2- Avrupa'nın özellikle hava yolu taşımacılığında kullandığı kuzey bölgelerde GPS' in kapsama alanının sınırlı olması, bunun ise birçok Kuzey Avrupa ülkesinde GPS kullanımını olumsuz yönde etkilemesi, dolayısıyla, halen %50 olan kapsama alanının Galileo ile birlikte %95 e çıkacak olması
- 3- Herhangi bir nedenle GPS sisteminin devre dışı kalması ya da ABD tarafından kullanıma kapatılması durumunda, bunun Avrupa ekonomisine maliyetinin günlük olarak 130 ile 500 milyon Euro arasında olması.

Bu sayılan nedenlerin dışında ekonomik, teknolojik, siyasi ve askeri nedenlerin de olduğu bilinmektedir. (Kahveci ve Yıldız, 2017)

2. GALİLEO SİSTEMİ

Galileo altyapısı, Avrupa'da kontrol merkezleri, dünya çapında kurulu izleme istasyonları ve yer-

uydu istasyonları ile birlikte 30 uydudan oluşacaktır. Her uyduda bir navigasyon eklentisi ve Arama ve Kurtarma (SAR) vericisi bulunacaktır. Ayrıca bu sistemde 16 sensör istasyonu, 2 kontrol merkezi, 9 çıkış hattı istasyonu, 5 telemetri, izleme ve kumanda (TT&C) istasyonu, 4 servis tesisinden (Galileo servis merkezi, Galileo Referans Merkezi, Arama ve Kurtarma Veri Servis sağlayıcısı ve Galileo güvenlik izleme merkezi) oluşacaktır (URL-3).



Şekil 1. Galileo altyapısı(URL-3)

2.1. Galileo Uyduları

İlk olarak fırlatılan iki deneme uydusundan 2005 yılındaki GIOVE-A ve 2008 yılındaki GIOVE-B olarak adlandırılan uydulardır. Bu ilk test uyduları yardımıyla uydu üzerindeki kritik teknolojilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada adı geçen kritik teknolojiler, uydulara yerleştirilecek on-board (uydunun yapısında bulunan) yüksek duyarlılık saatlerin geliştirilmesi, her bir saatin ortak bir GALILEO sistem zamanına göre düzeltilmesini sağlayacak zaman üniteleri, uydu sinyallerini üretecek sinyal jeneratörleri, güç yükselticiler, radyo frekansı yayınlayıcıları, antenler, sinyal göndericiler vb. bileşenleri kapsamaktadır (URL-1).

GIOVE-A aylık bir görev için tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır. Halen faaliyette olmasına rağmen, kullanım ömrünün iki katından daha fazla süre görev yapmış ve 30 Haziran 2012 tarihinde emekli edilmiştir. GIOVE-B ise 4 yıldan fazla hizmet ettikten sonra 23 Temmuz 2012 de hizmetten emekli edilmiştir [URL-5].

2011 ve 2012 yıllarında 4 adet Yörünge İçi Doğrulama (IOV) uydusu fırlatılmış; 2013 yılında teknoloji gösterim ve sistem doğrulama gibi test uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şubat 2014 itibarıyla Galileo Yörünge Doğrulaması yapılmıştır. Buraya kadar anlatılan kısımlar Yörünge İçi Doğrulama (IOV) aşamasıdır.

İkinci aşama ise takım olarak İlk Operasyonel Yeteneğine (IOC) ulaşmak için çalıştırılmıştır. IOC evre 2014 yılından itibaren zemin ve uzay altyapısının sağlanmasını içerir. Açık Hizmeti, Arama ve Kurtarma Hizmeti ve PRS Aralık 2016 yılında ilan edilmiştir. IOC aşaması ilk uydu yığını (4 IOV uydusuna 14 ek uydu), fırlatma hizmetlerini, gerekli görev ve kontrol zemin altyapısını, sistem destek hizmetlerini ve ilgili işlemleri içerdiği belirtilmiştir.

Üçüncü aşama Tam Operasyonel Kapasite (FOC) aşamasıdır. FOC uyduları tam operasyonel kapasiteli uydulardır. Bu aşamada uydu takımının tamamlanması amaçlanmaktadır. Sistemdeki uydu sayısı 2014'ten beri fırlatılan FOC uyduları ile kademeli olarak artırılmaktadır. Galileo'nun yaklaşık 2020 yılı sonunda tam operasyonel kabiliyete erişmesi beklenmektedir (İçen, 2018). Galileo FOC uyduları, önceki IOV uydularıyla genel olarak aynı özelliklere sahip olmakla beraber, daha yüksek iletişim gücüne sahiptirler (URL-5).

Fırlatıldıktan sonra iki Galileo uydusu kullanım dışı kalmıştır. Bunlardan ilki Galileo- IOV FM4, diğeri ise Galileo-FOC FM4 uydusudur.

Bunların dışında fırlatılıp yanlış yörüngeye giren uydular da olmuştur. Galileo-FOC FM1 ve Galileo-FOC FM2 uyduları yanlış yörüngeye girdikten sonra Mart 2015' te kullanılabilir yörüngeye sokulmuştur. 5 Ağustos 2016 tarihinden itibaren bu uydular için yayın servisi test aşamasındadır. Galileo sisteminin aktif olan güncel uyduları ve planlanan fırlatmalar aşağıda (Tablo 2 ve Tablo 3) verilmiştir.

Tablo 2. Aktif Uydular

Uydu	Fırlatılma Tarihi
Galileo-IOV PFM	2011-10-21 10:30
Galileo-IOV FM2	
Galileo-IOV FM3	2012-10-12 18:15
Galileo-FOC FM3	2015-03-27 21:46
Galileo-FOC FM5	2015-09-11 02:08
Galileo-FOC FM6	
Galileo-FOC FM8	
Galileo-FOC FM9	2015-12-17 11:51
Galileo-FOC FM10	
Galileo-FOC FM11	2016-05-24 08:48
Galileo-FOC FM7	
Galileo-FOC FM12	
Galileo-FOC FM13	2016-11-17 13:06
Galileo-FOC FM14	
Galileo-FOC FM15	
Galileo-FOC FM16	
Galileo-FOC FM17	2017-12-12 18:36
Galileo-FOC FM18	
Galileo-FOC FM19	
Galileo-FOC FM20	
Galileo-FOC FM21	2018-07-25 11:25
Galileo-FOC FM22	

Tablo 3. Fırlatılacak Uydular

Uydu	Fırlatılma Tarihi
Galileo-FOC FM23	
Galileo-FOC FM24	2020
Galileo-FOC FM25	
Galileo-FOC FM26	2021
Galileo-FOC FM27	
Galileo-FOC FM28	2022+
Galileo-FOC FM29	
Galileo-FOC FM30	2022+
Galileo-FOC FM31	
Galileo-FOC FM32	2022+
Galileo-FOC FM33	
Galileo-FOC FM34	2022+

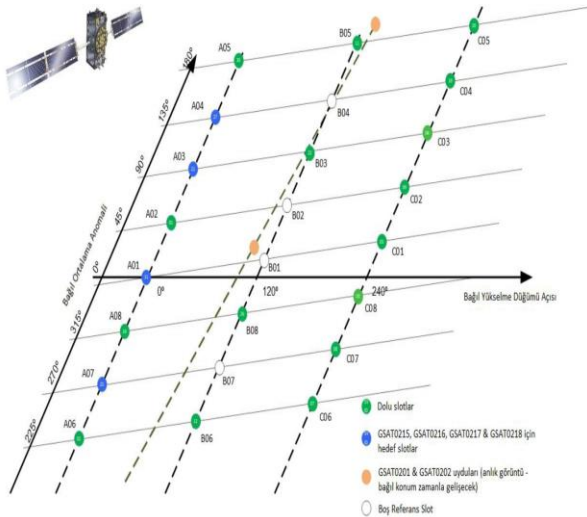
2.2. Galileo Sistemini Oluşturan Bölümler

Galileo sistemi üç ana bileşenden oluşur. Bunlar;

- 1- Uzay Bölümü
- 2- Yer Kontrol Bölümü
- 3- Kullanıcı Bölümü

Galileo Uzay Bölümünün başlıca görevleri, Galileo sinyal yapısına sahip kod ve taşıyıcı faz sinyallerini üretmek ve bu üretilen sinyallerin iletilmesini sağlamaktır. Ayrıca Kontrol Bölümü tarafından gönderilen navigasyon mesajını saklamak ve yeniden iletmektir. Bu aktarım işlemleri, uydulardaki yüksek duyarlılığa sahip atomik saatler tarafından kontrol edilmektedir.

Uzay bölümü, Walker 27/3/1 takımıydı olarak adlandırılan 3'ü yedek olmak üzere toplam 30 uydudan oluşacaktır. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık olarak 23222 km (yer merkezinden 29593 km) olup, bu yörüngeler Orta Uzaklıklı Yörünge (Medium Earth Orbit - MEO) olarak adlandırılmaktadır. Uydular üç yörünge düzlemine dağıtılacak olup her yörünge düzleminin eğim açısı 56°dir (M. Kahveci, F. Yıldız 2017). Sistemdeki bütün uydular 120° olarak ayrılmış 3 farklı yörünge düzlemine eşit bir şekilde dağılmışlardır. Her bir yörünge düzleminde toplamda 10 uydu bulunur; bunlardan 8 tanesi ana uydu, 2 tanesi ise yedek uydudur. 8 ana uydu 45° açılarla yerleştirilmektedir. Yedek uydular, işlev durumunda olan uydulardan birinde herhangi bir sıkıntı olması durumunda devreye girmek için beklemektedirler.



Şekil 3. Galileo Yörünge Slotları (European GNSS Agency, 2018)

Uyduların yörüngedeki teğetsel dönüş hızları yaklaşık olarak 4 km/sn'dir. Uydunun yörüngeyi bir tam devir süresi 14 saat 4 dakika 42 saniye sürmektedir. Yörüngelerin yer izi her 17 turda (10 günde) bir tekrarlanır (Monterbruck&Teunissen, 2017). Uyduların 56°lik eğim açısı ile kutup bölgeleri de dâhil olmak üzere, herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır. Her uydu kesin zaman sinyalleri, efemeris ve diğer

verileri yayınlayacaktır. Galileo uydularının kullanım ömrünün 10-12 yıl olacağı öne sürülmektedir.

2.3. Yer Kontrol Bölümü

Yer Kontrol Bölümünün, Avrupa'da bulunan iki kontrol merkezinden oluşması planlanmıştır. Bu iki merkez, 20 kadar Galileo sensör algılayıcı istasyonu (GSS: Galileo Sensor Stations) tarafından desteklenecektir. Kontrol merkezleri ile uydular arasındaki veri alışverişi için tüm dünyaya dağıtılmış 15 istasyonun kurulması düşünülmektedir. Sonuç olarak, yer kontrol merkezleri uyduların yönetiminden, sinyallerin doğruluk ve bütünlüğünden, uydu atomik saatlerin senkronizasyonundan sorumlu olacaklardır (Kahveci ve Yıldız, 2017).



Şekil 5:Galileo Kontrol Bölümünün Dağılımı

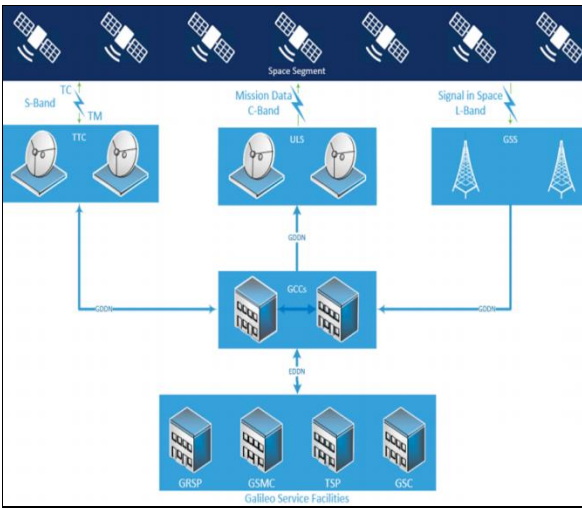
Yer Kontrol Bölümü (GCS) ile uyduların kontrolü yapılırken, Yer Görev Bölümü (GMS) ile de gerekli hizmete ilişkin görevler yerine getirilmektedir. Galileo Yer Bölümü'nün kurulumu Thales-Alenia Space (Fransa, İtalya) ve Airbus Defence and Space (İngiltere, Fransa) ortaklığı ile yapım aşamasına devam edilmektedir.

Bir Yer Kontrol Merkezi (GCC) ile Telemetri, İzleme ve Komut Tesislerinden/İstasyonlarından (TTCF/TT&C) oluşmakta olan GCS, uydu kontrolüyle alakalı bütün işlemleri yapmaktadır. Merkezi Almanya Oberpfaffenhofen'dedir. Dünya geneline dağılmış olan TT&C istasyonları aracılığıyla S bant kullanarak konumlama uydularıyla temas kurar ve bu uyduların yönetilmesini sağlar.



Şekil 6. TTCF S-Band 11m boyutunda çanak anten

Yer Görev Bölümü (GMS), konumlama sinyallerinin devamlılığını sağlamaktadır. Bir Yer Kontrol Merkezi, yaklaşık yirmi adet Yer Algılama İstasyonları (GSS) ve Yukarı Yönlü Yerel İstasyonları (ULS) ağını içermektedir. Bu bölümün merkezi İtalya'da bulunmaktadır. Uydu navigasyon sinyallerinin takibini yapar, bu sinyallere ilişkin verilerin hesaplamasını yaparak bunların uydulara dağıtılmasını üstlenir. GSS(Yer Algılama İstasyonları), yörünge belirlenmesi ve eş zamanlamanın sağlanması için L bant sensörler aracılığıyla Uzay Bölümünden gönderilen konumlama sinyallerini yakalayıp merkeze iletir. Diğer bileşen olan ULS ise merkezden gönderilen düzeltme verilerinin uyduya yüklenmesinde görev almaktadır. Galileo kontrol bölümünün genel olarak mimarisi Şekil 6'da gösterilmektedir [URL-21].



Şekil 7. Galileo Genel Mimarisi

Avrupa GNSS Servis Merkezi (GSC): Torrejón'da (İspanya) bulunan merkez, Galileo Başlangıç İşletim Sistemi (ve gelecekte HAS) kullanıcı toplulukları ile Galileo sistemi arasındaki bağlantıyı temsil eder.

Jeodezik Referans Servis Sağlayıcısı (GRSP): Galileo Karasal Referans Çerçevesini (GTRF) Uluslararası Karasal Referans Çerçevesi (ITRF) ile tutarlı bir şekilde gerçekleştirmek için Galileo Kontrol Merkezlerini sürdüren veri işlemeden sorumludur.

Zaman Hizmet Sağlayıcısı (TSP): GCC'yi, Eşgüdümlü Evrensel Zamana (UTC) hizalamak için Galileo Sistem Zamanını (GST) gerçekleştirerek destekler.

Galileo Güvenlik İzleme Merkezi (GSMC): St. Germain-en-Laye (Fransa) ve Swanwick (İngiltere) 'de bulunan bu tesisler sistem güvenliği izlemesinden sorumludur.

2.4. Kullanıcı Bölümü

Bu sisteme erişimi olan herkes bir kullanıcıdır. Galileo'nun kullanım alanlarına bakıldığında zaman hem askeri hem sivil amaçlı olarak planlanmıştır. Kullanıcılara beş farklı hizmet sunmaktadır. Bu

hizmetler; Sınırsız Ulaşım (OS: Open Service), Ticari Kullanım (CS: Commercial Service), Kamu Kullanımı (PRS: Public Regulated Service), Güvenlik ve Acil Durum Kullanımı (SOL: Safety of Life) ve Arama - Kurtarma (SAR - Search And Rescue) kullanımındır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

2.4.1. Sınırsız Ulaşım (OS) Hizmeti

Tüm kullanıcılara açık ve ücretsiz olacaktır. Özellikle araç navigasyon sistemlerinde ve cep telefonlarında kullanılabilir. Buradan elde edilecek doğruluk, mevcut diğer uydu sistemlerinden (GNSS) elde edilenlerle aynı olacak ve onlarla birlikte çalışabilecektir. Açık erişim servisinin performansları Tablo 4'de gösterilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Tablo 4. Galileo Açık Servis Performansları

	Galileo Açık Servis (konumlandırma ve zamanlama)	
	Tek Frekans (SF)	Çift Frekans (DF)
Kapsama	global	
Doğruluk (% 95)	Yatay: 15 m	Yatay: 4m
	Dikey: 35 m	Dikey: 8m
Kullanılabilirlik	% 99,5	
UTC / TAI ile Zamanlama Hassasiyeti	30 ns	

2.4.2. Ticari kullanım (CS) hizmeti

OS ile karşılaştırıldığında daha profesyonel kullanımlar içindir ve ücretlidir. Olası kullanım alanları; sabit uydu ağları, yüksek doğrulukta konum ve hız belirleme çalışmaları ile yüksek doğrulukla navigasyon uygulamalarıdır. Bu hizmete ilişkin uydu sinyalleri, E6 bandı üzerinde, OS sinyallerine ilave olarak iki şifreli (kod bilgisi ve veri) sinyal şeklinde olacaktır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

2.4.3. Yüksek doğruluk hizmeti (HAS)

Bu hizmet eskiden Galileo Ticari Hizmeti (CS) olarak biliniyordu. Farklı bir frekans bandında ek bir navigasyon sinyali ve ilave hizmetler sağlayarak açık servis (OS) sistemini tamamlayan bir hizmettir. HAS hizmetinin sinyali, bu servislere erişimi kontrol altında tutabilmek için şifrelenir. Alıcının konum doğruluğunun desimetre düzeyinde tutturulması düşünülmektedir [URL-20].

2.4.4. Kamu (PRS) hizmeti

Emniyet kuvvetleri, sahil güvenlik, ulusal istihbarat ve gümrük birimleri tarafından kullanılacaktır. Bu hizmete erişim için Avrupa'daki güvenlik politikası kuralları geçerli olacaktır. Bu hizmetin özellikle kriz dönemlerinde sürekli açık olması hedeflenmektedir. PRS amaçlı sinyal elektronik karıştırmaya, taklide ve aldatmaya karşı

üst seviyede korumalı hale getirilmiştir. Bu hizmete erişim Avrupa seviyesinde tanımlanacak yetkili kurumlar tarafından kontrol edilecektir ve AB üyesi ülkelerle diğer katılımcı ülkelerin açık bir şekilde tanımlanacak olan kullanıcı kategorileri ile sınırlı olacaktır (Kahveci ve Yıldız, 2017). Bu hizmetin performans değerleri Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Galileo PRS için Hizmet Performansları

Galileo Kamu Düzenlemeli Hizmet (PRS)	
	Çift Frekans (DF)
Doğruluk (% 95)	Yatay: 6,5 m
	Dikey: 12 m
Kullanılabilirlik	% 99,5
UTC / TAI ile Zamanlama Hassasiyeti	30 ns

2.4.5. Güvenlik ve Acil Durum (SOL) Hizmeti

Gerçek zamanlı navigasyon sisteminin doğruluğunda sorun oluştuğunda, yine gerçek zamanlı olarak ikaz/tedbir sisteminin olmaması durumunda hayati tehlikelerle karşılaşılması olasılığı olan ve çoğunlukla ulaşım sektöründe kullanılacaktır. Bu hizmetle sağlanan konum ve zaman doğruluğu OS ile aynı olacaktır. Aradaki temel fark ise, SOL kullanılarak dünya genelinde garantili doğruluğun ve güvenli ulaşımın önemli olduğu denizcilik, havacılık ve demiryolu gibi uygulamalarda yüksek seviyede bütünlük (süreklilik) sağlanmasıdır. Bu hizmet için çift frekanslı alıcıların kullanılması gerekmektedir. Bu hizmete ilişkin sinyaller E5a+E5b ve L1 bandı üzerinden yayınlanacaktır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

2.4.6. Arama - Kurtarma (SAR) Hizmeti

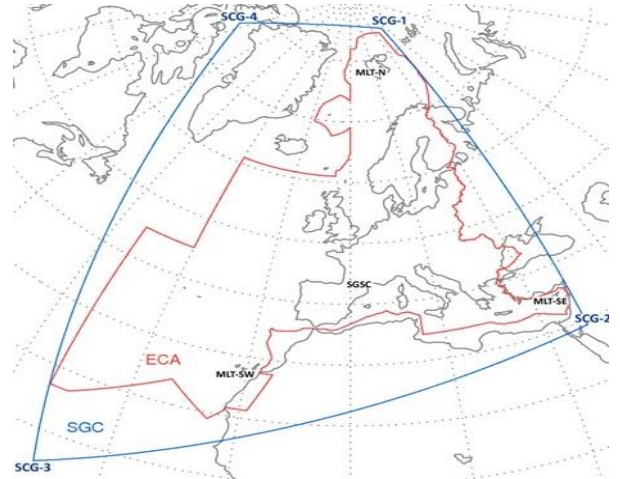
İnsani arama ve kurtarma çalışmaları için AB'nin uluslararası işbirliği faaliyetlerine bir katkı olarak düşünülmektedir. Bu hizmet ile dünyanın neresinde olunursa olunsun sorun yaşanan olaya ilişkin mesajın yaklaşık gerçek zamanlı olarak alınması ve birkaç metre doğruluğunda konum belirlenmesi gibi konularda uluslararası insani amaçlı çalışmalara (COSPAS-SARSAT) katkı sağlayacaktır. Bu hizmet ile COSPAS-SARSAT istasyonlarından 406-406.1 MHz bandında yayınlanan sinyalleri alacak ve bu bilgileri yer istasyonlarına E6 bandında yayınlayacaktır. (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Galileo uyduları, gemi, uçak veya insanların yolladıkları acil durum işaretlerini alarak; bu işaretleri ulusal kurtarma merkezlerine aktaracaktır. Bu işaretleri yollayanlara, yolladıkları işaretlerin kurtarma merkezlerine iletişimine dair bir geri dönüş yapılabilecektir. Bunun gösteriminin örneği Şekil 8’de belirtilmektedir.



Şekil 8. Galileo SAR sisteminin işleyişi (URL-22)

Projedeki toplam 26 Galileo uydusundan ilk ikisi hariç hepsi bir Cospas-Sarsat arama kurtarma paketi taşımaktadır. Sadece 8 kg ağırlığı ile bu hayat kurtarıcı yükler, ana navigasyon anteninin yanında yer alan alma-gönderme tekrarlayıcıları ile dâhili gücün sadece yüzde 3’ünü tüketmektedir (URL-8). SAR/Galileo hizmeti gün geçtikçe gelişmekte ve kapsama alanı genişlemektedir. Bu sayede herhangi bir olaya müdahale etme, olay yerini belirleme gibi işlemler için gerekli olan süre gittikçe kısalmaktadır. Bu hizmetin gelişme süreçleri şu şekildedir. İlk hizmet 2016 yılında başlamış, geliştirilmiş hizmet Ocak 2020 yılında kullanılmıştır ve tam hizmete ise 2020 yılı içinde geçiş öngörülmektedir. Zamanla gelişen hizmet ile arama ve kurtarma kapsamının genişletilmiş sınırları Şekil 9’ da görülmektedir.



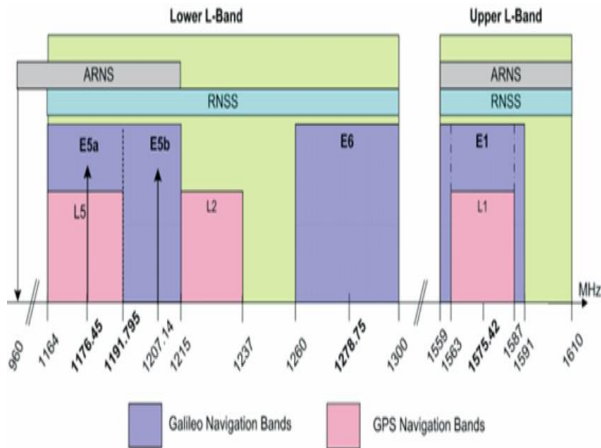
Şekil 9. Avrupa'nın arama ve kurtarma kapsamının genişletilmiş sınırları. SGC(Sar Galileo Coverage), ECA(European Space Agency)

2.5. Uydu Donanımları

L-bandı: 1200-1600 MHz frekans aralığında navigasyon sinyallerini iletir.

SAR (Arama ve Kurtarma) anteni: Dünya üzerindeki işaretlerden gelen tehlike sinyallerini alır ve bunları yerel kurtarma servislerine iletmek için bir yer istasyonuna iletir.

Bu frekans bantları, Radyo Seyrüsefer Uydu Servisleri (RNSS) için izin verilen spektrumdan seçilmiştir. Ayrıca E5a, E5b ve E1 bantları, sivil havacılık kullanıcıları tarafından kullanılan ve özel güvenlik açısından kritik uygulamalara izin veren Havacılık Radyo Seyrüsefer Hizmetleri (ARNS) için ayrılan spektrumda yer almaktadır. Galileo sinyalleri geniş bir bant genişliğine sahip dört frekans ile iletilir. Galileo sinyallerinin frekans aralıkları Şekil 10 ve 13’de görülmektedir. Ayrıca bu sinyallere karşılık gelen alıcı referans bant genişliği Tablo 6’da gösterilmektedir [URL-17].



Şekil 13. Galileo Sinyalleri Frekans Aralıkları

Tablo 6. Galileo Sinyallerinin Frekansları ve Alıcı Referans Bant Genişlikleri

Sinyal	Taşıyıcı Frekansı(MHz)	Alıcı Referans Bant Genişliği (MHz)
E5A	1176.450	20.460
E5B	1207.140	20.460
E5	1191.795	51.150
E6	1278.750	40.920
E1	1575.420	24.552

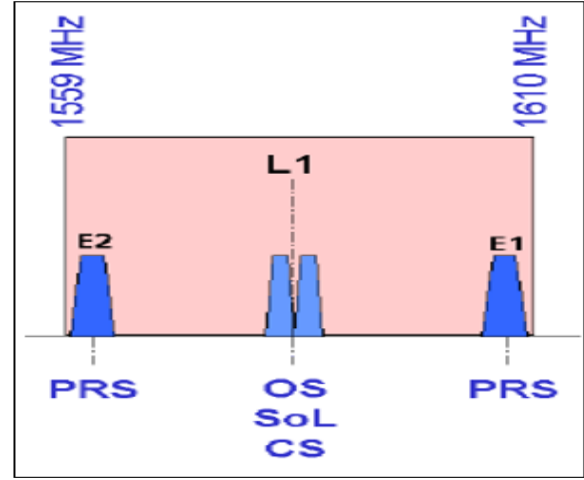
2.6.1. Galileo E1 bandı

E1 bandı 1575.42 MHz merkezi frekans değerine sahiptir. Bu bantın temsil ettiği E1 ve E2 sinyalleri kullanılarak Kamu Hizmeti (PRS) sağlamaktadır. Diğer bileşen olan L1 sinyaliyle ise Açık Hizmet (OS), Hayat Güvenliği (SOL) ve eski adıyla Ticari Hizmet (CS) yeni adıyla Yüksek Doğruluk Hizmeti (HAS) sunulmaktadır. Bu sağlanan hizmetlerden OS verileri şifresizdir ancak diğer SOL, HAS ve PRS hizmetleri şifrelenebilir veya erişimleri kontrol edilebilir. E1 bantının frekans aralığı ve hizmetleri Şekil 14’de gösterilmektedir.

2.6.2. Galileo E6 bandı

E6 bandında 1260 MHz ile 1300 MHz arasında iki özel sinyal iletilir. Bunlar E6-B ve E6-C sinyalleridir. Sırasıyla E6-B veri bileşeni, E6-C sinyali ise pilot bileşenidir. E6 sinyalleri C-NAV mesajlarını ve Ticari Servise (CS) desteklerini iletmektedirler (European Union[EU], 2016). Bu iki sinyal şu anda şifreli veya şifresiz olarak iletilmektedir. E6-C

kodları gelecekte kontrollü erişim uygulamalarında kullanmak için şifrelenebilir (URL-9). E6 sinyalinin genel olarak çalışma mantığı rastgele kodlar oluşturmaktır. (URL-9).



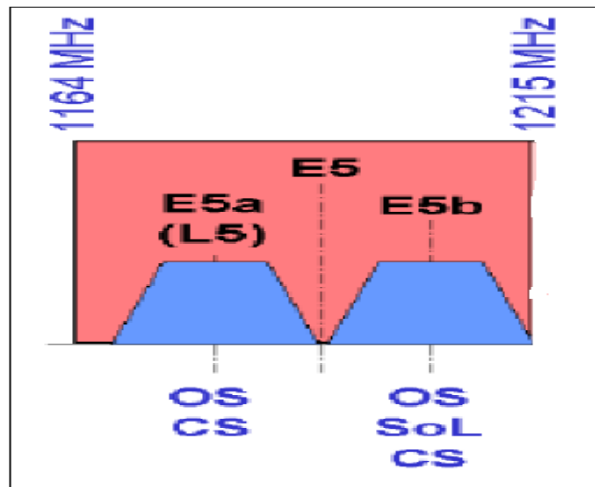
Şekil 14. Galileo E1 bandı ve hizmetleri

2.6.3. Galileo E5 bandı

E5 bandı, 1191.795 MHz merkezi frekansa sahiptir. E5a ve E5b adındaki iki alt sinyalden oluşur. Bu sinyaller Radyo Seyrüsefer Uydu Servisleri (RNSS) için ayrılan 1164-1215 MHz aralığında iletilmektedirler. Ayrıca Havacılık Radyo Seyrüsefer Hizmetleri (ARNS) için ayrılan bantı paylaşmaktadırlar.

E5a sinyali, 1176.45 MHz frekansı ile GPS’in L5 sinyali ile örtüşmektedir. Bu sinyal Galileo Açık Hizmet (OS) ve eski adıyla Ticari Hizmet (CS)’i vermektedir.

E5b sinyali, 1207.14 MHz taşıyıcı frekansı ile Yüksek Doğruluk Hizmeti (HAS)’ni vermektedir. Şekil 15’de E5 sinyalleri ve sundukları hizmetler gösterilmektedir.



Şekil 15. Galileo E5 bandı ve hizmetleri

Belirli sinyal yapıları bazı durumlarda (iç mekânda uzun kod kullanılırken, dış mekânda hızlı hareket eden durumda kısa kod kullanılması) yetmeyebilir. Bu yüzden Galileo sinyalleri üzerinde

farklı özelliklere sahip alternatif kodlar sağlamışlardır. Galileo sisteminde bu kadar çok sinyale sahip olmanın başka bir nedeni ise alıcının iyonosferik gecikme hatasını tahmin etmesine izin vermektir. Bu hata, navigasyon sinyallerinin iyonosferden geçerken maruz kaldığı gecikmeden kaynaklanmaktadır. Bu gecikme nedeniyle uydunun kullanıcıya olan mesafesi yanlış hesaplanmaktadır ve düzeltilmediği takdirde konum doğruluğu düşmektedir. Bu gecikme sinyal frekansıyla doğru orantılı olduğu için aynı uydudan iki farklı frekansta ölçüm yapılarak sorun çözülmüş olur.

L1 ve E5a (iyonosferik hata iptali için) veya çift frekans servisi (L1, E5a, E5b veya E5a ve E5b birlikte) kullanımına dayanan çift frekanslı servis gibi çeşitli kombinasyonlar da mümkündür. Bütün sinyalleri beraber kullanarak çok hassas doğrulukla yapılan uygulamalarda iyonosferik etki ortadan kaldırılabılır.

2.7. GALİLEO/GPS/GLONASS Sinyal Karşılaştırılması

Üç uydu sistemi de kendilerine ait sinyallere sahiptir. GPS ve GALİLEO sinyalleri, CDMA teknolojisini kullanırken, GLONASS sinyalleri FDMA teknolojisini kullanmaktadır. GLONASS sistemi de diğer teknolojiye geçmek için çalışmaktadır. Bu sistemlerin hepsi L bantta yer almaktadır; fakat frekansları farklıdır. GPS ve GLONASS sinyallerini adlandırılmasında "L" harfi kullanılır, ikisinde de bulunan L1 ve L2 sinyallerinin frekansları farklıdır. Galileo sisteminin sinyallerinin adlandırılmasında ise "E" harfi kullanılmaktadır. Tablo 7'de sinyal frekanslarının karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 7. GNSS Frekans Tahsisleri

Frekans Adı	Tahsis Edilen Frekans Aralığı(MHz)				
	L1	L2	L3	L5/E5	E6
GPS	1563-1588	1215-1240	Yok	1164-1189	Yok
GLONASS	1592-1615	1237-1257	1194-1209	Yok	Yok
GALİLEO	1154-1596	Yok	Yok	1145-1238	1258-1300

Galileo sistemi referans zamanı olarak GST (Galileo System Time) kullanılmakta ancak bu zaman sisteminin GPS zamanından farkı çok küçük (nanosaniyeler mertebesinde) olduğundan yaklaşık aynı kabul edilmektedir. Dolayısıyla GST saniyesi aynı GPS'de olduğu gibi Cumartesi'yi Pazar'a bağlayan gece, GST haftası ise 22 Ağustos 1999 00:00:00.00 GPS zamanında başlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

3. SONUÇLAR ve KARŞILAŞTIRMALAR

GPS, GLONASS gibi sistemlerin ne kadar sivil hayatta kullanılmasına izin verilse de uyduların sahibi ülkeler bir sıkıntı gördükleri anda sistemleri kapatma haklarını saklı tutarlar. Avrupa da bu

kısıtlamalar ve giderek cazip hale gelen bu pazardan dolayı, sivil ve ticari kullanıma yönelik sivil otoritenin yönetiminde olan bir sisteme ihtiyaç duymuşlardır. Bu ihtiyaçtan dolayı oluşturulan Galileo sistemi, diğer sistemlerle entegre olabilmekte ve insanlığa doğruluk, hız anlamında daha faydalı olmaktadır. Kapsama alanında da büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Kritik, acil müdahale gerektiren durumlarda gerekli hizmetlere katkı sağlamıştır. Galileo'nun gelecekte çok daha gelişen, avantajlı bir sistem olacağı düşünülmektedir.

Günümüzde, dünya çapında 1.3 milyardan fazla akıllı telefon ve cihaza yerleştirilmiş olan Galileo sistemi özellikle kentsel alanlarda uydu-navigasyon doğruluğunu artırmaya yardımcı olmaktadır. Galileo uydu sistemi gelecek yıllarda tam kapasiteyle çalışması halinde performansı daha da iyi olacak ve kullanıcıların daha kısa sürede istedikleri konum doğruluğunu ve kullanılabiliğini elde etmelerini sağlayacaktır. Bununla beraber Galileo sistemi MEOSAR'ın (Orta Dünya Yörünge Arama ve Kurtarma sistemi) önemli bir parçası olacaktır ve Cospas-Sarsat 'a çok önemli katkıda bulunacaktır.

Galileo sistemi gelişmiş performans ve artan doğruluğu sayesinde haritacılık alanında da çok önemli gelişmeler sağlayacağı açıktır. Galileo ve GPS sinyallerinin konumlandırma ve hassas yörünge belirleme için birlikte çalışabilir şekilde kullanılması, özellikle biz haritacılar için daha hassas konum belirleme açısından büyük avantajlar getirecektir.

KAYNAKÇA

- European GNSS Agency. (2018). Orbital and Technical Parameters. European GNSS Service Centre: <https://www.gsc-europa.eu/system-status/orbital-and-technical-parameters>
- European Union, (2016). The European GNSS (Galileo) Open Service Signal-In-Space Interface Control Document Issue 1.3 (OS SIS ICD), December 2016
- İçen, E. (2018). Küresel Ve Bölgesel Konumlandırma Sistemleri, Teknolojileri ve Uygulamaları Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi, Haziran 2018, Ankara, Türkiye
- Kahveci M., Yıldız, F.(2017). GPS/GNSS Uyduların Konum Belirleme Sistemleri Teori Ve Uygulama Kitabı (183-187)
- Koca, B. ve Ceylan, A. (2018). Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler, April 2018
- Marks, P. (2006). "China's satellite navigation plans threaten Galileo". NewScientist.com. Erişim tarihi: 19 Kasım 2006.
- Montenbruck, O., & Teunissen, P. (2017). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Cham: Springer International Publishing AG.
- Nurmi, J., Lohan, E.S., Sand, S., Hurskainen, H.(2015). GALİLEO Positioning Technology Chapter 2 (10-32)

URL1:http://www.esa.int/esaNA/GGG28850NDC_index0.html, Aralık
URL2:https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_18_4023
Accessed date:6 June 2018
URL-3: https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en
URL-4: https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumlandırma_sistemi
URL-5: <https://www.gsceuropa.eu/galileo/progRamme>
URL-6: <https://galileognss.eu/galileo-signal-polarization/>
URL-7: <https://galileognss.eu/galileo-prs-signals/>
URL-8: <https://www.gpsworld.com/galileo-now-replying-to-sos-messages-worldwide/>
URL-9: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/E6BC_SIS_Technical_Note.pdf
URL-10: https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_satellites
URL-11: <https://www.ohb-system.de/main-company.html>
URL-12: <http://spaceflight101.com/spacecraft/galileo/>
URL-13: http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo_satellite_recovered_and_transmitting_navigation_signals

URL-14: https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumlandırma_uyduları_listesi#cite_note-:0-10
URL-15: <https://www.arianespace.com/press-release/galileo-constellation-deployment-arianespace-to-orbit-two-more-satellites-on-a-soyuz-launcher-in-may-2016/>
URL-16: <https://www.ohb.de/en/2018/what-is-galileo-capable-of/>
URL-17: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Signal_Plan#cite_note-GAL_SIS_ICD_2010-2
URL-18: http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_navigation_signals_and_frequencies
URL-19: <http://www.esa.int/espab/br/br251/br251.pdf>
URL-20: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_\(HAS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_(HAS))
URL-21: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Ground_Segment
URL-22: https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/sar_en



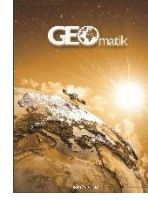
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği

İrem Yakar^{*1}, Seda Nur Gamze Hamal², Mehmet Özgür Çelik², Serdar Bilgi¹

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

²*Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye*

Anahtar Kelimeler

3B Modelleme
Kültürel Miras
Lazer Tarama
Dokümantasyon

ÖZ

Türkiye tarih boyunca pek çok farklı medeniyete ev sahipliği yapmış bir ülke olması dolayısıyla bu medeniyetlere ait, oldukça çeşitli kültürel miras öğelerini içinde barındırmaktadır. Bu bağlamda, sahip olduğu kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere ulaştırılması oldukça önem arz etmektedir. Kültürel miras öğeleri zaman içerisinde birçok farklı sebepten ötürü deformasyona uğrayabilmekte veya tamamen yok olabilmektedir. Bu durum önüne geçilebilmesi için öncelikle bu kültürel miras öğelerinin 3 Boyutlu (3B) dokümantasyonunun (belgelenmesinin) yapılması gerekmektedir. Dokümantasyon sürecinde elde edilen veriler, kültürel miras öğeleri üzerindeki deformasyonların izlenmesi, restorasyon çalışmaları gibi pek çok farklı alanda katkı sunabilmektedir. Günümüzde dokümantasyon çalışmalarında kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Arazi üzerinde veri toplama aşamasında kullanılan yöntemlerden birkaçı; yersel fotogrametri, hava fotogrametrisi ve yersel lazer tarama (YLT) olarak gösterilebilir. Öte yandan, arazi çalışması aşamasında toplanan verilerin işlenebileceği birçok yazılım mevcuttur. Bu çalışmada, İstanbul Fatih ilçesi sınırlarındaki Sultanahmet Meydanı'nda bulunan tarihi Dikilitaş'ın YLT tekniği kullanılarak taraması yapılmış ve üç farklı yazılım aracılığıyla nokta bulutu üretilmiştir. Bu yazılımların kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında kullanılabilirlikleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

A comparison of different software in documentation of cultural heritage: Case Study of Obelisk of Theodosius

Keywords

3D Modelling
Cultural Heritage
Laser Scanning
Documentation

ABSTRACT

Turkey is a country that has hosted many civilizations throughout history. As a result of this situation, it incorporates elements of very diverse cultural heritage elements of these civilizations. In this context, it is very important to protect and transfer this cultural heritage to future generations. Cultural heritage elements can be deformed or be completely demolished over time because of many different reasons. To prevent this situation, 3-dimensional (3D) documentation of these cultural heritage elements must be carried out first. The data obtained because of the documentation process can contribute to many different areas such as monitoring deformations on cultural heritage elements and restoration works. Today, there are different methods used in documentation studies. Some of the methods used in the data collection phase during the fieldwork can be listed as terrestrial photogrammetry, aerial photogrammetry, and terrestrial laser scanning (TLS). On the other hand, there are different software in which the data collected during the field study can be processed. In this study, historical Dikilitaş located in Sultanahmet Square within the borders of Fatih district of Istanbul was scanned using TLS technique and point cloud of it was produced through three different software. The usability of this software within the scope of cultural heritage preservation was examined comparatively.

*Sorumlu Yazar

^{*}(yakari@itu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 7823 – 9674
(sedanurgamzeshamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(mozgurcelik@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 4569– 888X
(bilgi@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8396-3202

Kaynak Göster (APA)

Yakar İ, Hamal S N G, Çelik M Ö & Bilgi S (2021). Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. Geomatik, 6(3), 217-226. DOI: 10.29128/geomatik.761475

1. GİRİŞ

Kültür ve tabiat varlıkları açısından oldukça zengin bir ülke olan Türkiye, arkeolojik zenginlikler açısından da başka hiçbir ülke ile kıyaslanamayacak kadar büyük bir çeşitliliğe sahiptir (URL-1). Bu bağlamda Türkiye, arkeolojik zenginliğin getirdiği pek çok somut kültürel miras ögesine de ev sahipliği yapmaktadır.

Kültürel miras öğelerinin korunması ve geleceğe aktarılması, bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak ilerlemesi açısından oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu değerlerin korunması, yönetilmesi ve sonraki nesillere iletilmesi sürecinde önemli hususlardan biri de hassas dokümantasyondur.

Kültürel miras niteliğindeki taşınmazların dokümantasyonu çalışmaları geçmişte klasik çizim yöntemleri ile yapılmakta iken gelişen teknoloji ile birlikte, modern dokümantasyon yöntemleri öne çıkmaya başlamıştır. Günümüzde kullanılan başlıca dokümantasyon yöntemleri yersel fotogrametri, İHA fotogrametrisi ve yersel lazer tarama (YLT) yöntemidir. Bu yöntemler, klasik yöntemlere göre doğruluk, hassasiyet ve zaman avantajı ile öne çıkmaktadır (Çelik ve ark., 2020).

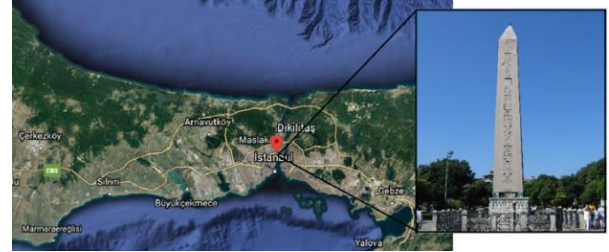
Söz konusu yöntemler arasında yer alan YLT tekniğinde; kullanılan lazer teknolojisi ile milyonlarca 3 boyutlu (3B) nokta verisi hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu nedenle, kültürel miras öğelerine ait yüzey geometrileri hızlı ve etkili bir şekilde oluşturulabilmektedir (Barber ve ark., 2001; El-Hakim, 2001; Ulvi ve Yakar, 2014; Deniz ve ark., 2017). Bu çerçevede yapılan çalışmada dokümantasyon işlemi için YLT yöntemi seçilmiştir.

Lazer tarama ile elde edilen 3B nokta bulutu (nokta verisi kümesi), kültürel açıdan önemli eserlerin korunması, yönetimi ve onarımı için kullanılmaktadır (Fai ve ark., 2012; Dore ve ark., 2015; Chien ve ark., 2016; Barrazetti, 2016; Baik, 2017; Noor ve ark., 2018). Bu bağlamda, elde edilen veriler rölöve planları için oldukça önem arz eden cephe, plan ve kesit çizimlerinde de kullanılabilir. Rölöve; bir kültürel miras ögesinin zarar görmesi veya yıkılması durumunda, restorasyonu için gereken ve yapıyı detayları ile gösteren ölçme ve planlar bütünü olarak tanımlanabilir (Ulvi, 2008; Uluengin, 2013; Ulvi ve Yakar, 2014; Alptekin ve ark., 2019).

Çalışmanın hedefi, kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarına farklı yazılımların katkılarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Bu amaçla, kültürel miras özelliğinde olan tarihi Dikilitaş'ın Faro Focus^s 350 yersel lazer tarayıcı ile taraması yapılmıştır. Lazer tarama verileri Faro Scene, JRC 3D Reconstructor ve Autodesk ReCap yazılımlarında işlenmiş ve Her bir yazılımın dokümantasyon çalışmasına katkısı irdelenmiştir. Farklı programlar aracılığıyla oluşturulan 3B modelin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla doğruluk analizi yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

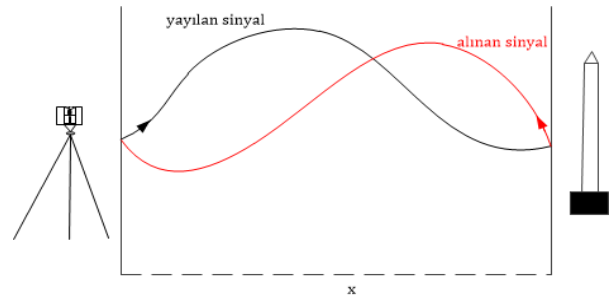
Çalışmaya konu edilen eser, İstanbul Fatih ilçesi sınırlarında Sultanahmet Meydanı'nda bulunan Dikilitaş (Theodosius Obeliski)'tir. Dikilitaş, bir Mısır eseri olup M.Ö. 1547 yıllarında Firavun III. Tutmosis adına Mısır'da dikilmiştir (Ulutürk, 2010). Bundan dolayı literatürde geçen bir diğer adı da Mısır Obeliski'dir. M.S. 390 yıllarında ise Bizans imparatoru I. Theodosius'un isteğiyle İstanbul'a getirilerek, günümüzde Sultanahmet Meydanı olarak adlandırılan Hipodrom'a dikilmiştir (Roulet, 1972; Fowden, 1991). Üzerinde Hiyeroglif yazısı ile III. Tutmosis'in zaferleri anlatılmaktadır (Dethier, 1993). Kaidesindeki kabartmalarda, I. Theodosius'un oğulları, Arkedios, Honorios ile İmparator II. Valantinianos tasvirleri yer almaktadır (Dethier, 1993). Ayrıca Hipodrom sahneleri ve anıtın dikilişi de tasvir edilmiştir (URL-1). Çalışmaya konu olan eser ve uydu görüntüsü üzerindeki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dikilitaş (URL-2, 2020)

3. YÖNTEM

Yersel lazer tarayıcılar ile istenen herhangi bir nesneye ilişkin X, Y ve Z koordinatlı nokta bulutu üretilebilmektedir. Elde edilen nokta bulutundan objeye ait 3B model oluşturulabilmektedir (Elkhrachy ve Niemeir, 2006; Uzar ve Ögütçü, 2016). Lazer tarama teknolojisi, nesne yüzeylerinin 3B koordinatlar ile temsil edilmesine olanak sağlayan bir sistemdir (Şekil 2). Temel olarak, tarayıcı ile nesne yüzeyindeki belirli bir nokta arasındaki mesafe, lazer sinyalinin gidiş-geliş zamanının yüksek doğrulukla belirlenmesi ile elde edilir (Akyol, 2011) (Eşitlik1).



Şekil 2. Lazer tarama yöntemi

$$x = c * \frac{t}{2} \quad (1)$$

Lazer tarayıcı cihazlar hem yatayda hem düşeyde taranacak noktanın konumuna göre çeşitli yönlendirmeler yapar ve nokta dizini şeklinde ölçme işlemlerini gerçekleştirir (Öksüz ve Topan, 2012). YLT teknolojisi kullanılarak hem arazi detaylarının hem de nesnelerin konumlarının elde edilebilmesi mümkündür (Safkan ve ark., 2014).

Yüksek doğruluklu, hızlı ve kısa zamanda ölçüm yapabilmesi gibi özellikleri nedeniyle lazer tarama teknolojisi restorasyon, restitüsyon, 3B modelleme ve tersine mühendislik gibi pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Altuntaş ve Yıldız, 2008). Kültürel mirasın korunması kapsamında da özellikle son yıllarda geniş bir kullanım alanına ulaşmıştır. Kültürel miras öğelerinden olan tarihi yapıların gerçeğe birebir yakınlıkta 3B modellenmesinde hızlı ve yüksek doğruluklu sonuçlar vermektedir (Yakar ve Bilgi, 2019). Bu bağlamda, özellikle 3B modelleme gerektiren çalışmalarda; hızlı ve yüksek doğruluklu bir ölçme yapmak için yersel lazer tarama teknolojisi oldukça öne çıkan bir yöntemdir (Öksüz ve Topan, 2012).

4. UYGULAMA

4.1. Arazi Çalışmaları

3B model üretimi için, temel teknik özellikleri tablo 1'de sunulmuş olan lazer tarayıcı üreticilerinden Faro'nun Focus^S 350 model cihazı kullanılmıştır.

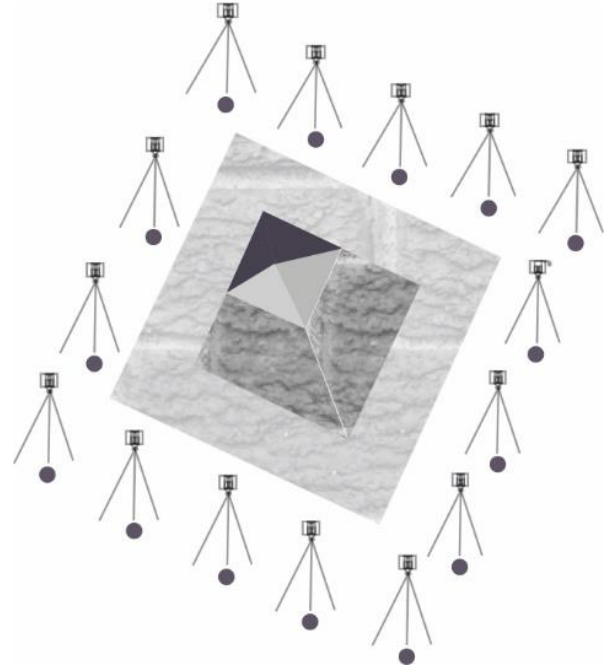
Tablo 1. Faro Focus^S 350 cihazının genel özellikleri (URL-3)

Tarama Mesafesi	0.6 m- 350 m
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32
Kalite	2x, 3x, 4x, 6x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
İç doğruluk	±1mm
Ağırlık	4,2 kg
Boyut	230x183x103mm

Dikilitaş'ın çevresinde 15 farklı noktada, her noktada iki oturum yapılmak üzere toplamda 30 tarama gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



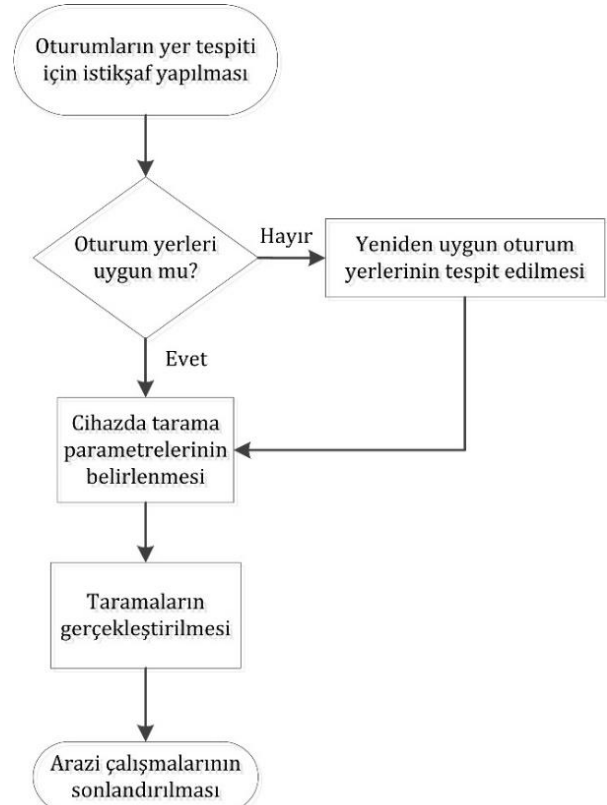
(a)



(b)

Şekil 3. Çalışmada gerçekleştirilen tarama görselleri

Arazi çalışmaları sırasında gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 4'te özetlenmiştir.



Şekil 4. Arazi çalışması iş akış şeması

4.2. Büro Çalışmaları

Arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra elde edilen nokta bulutları aracılığıyla 3B modellerin üretimi için Faro Scene, JRC 3D Reconstructor ve Autodesk ReCap ticari yazılımları kullanılmıştır.

4.2.1. Faro Scene Yazılımı ile Modelleme

Faro Scene yazılımı, tüm Faro Focus ve 3B tarama yapabilen diğer lazer tarayıcılar için geliştirilmiştir. Bu yazılımın sahip olduğu gerçek zamanlı tarama, otomatik nesne tanıma, tarama kaydı oluşturma ve konumlandırma gibi teknik özellikleri ile tarama verileri etkin ve basit şekilde işlenebilmektedir. Otomatik hedefsiz (targetless) ve hedef (target) tabanlı tarama konumlandırmasından gelen görüntüler dâhil edilerek hızlı ve rahat bir şekilde tam renkli yüksek kaliteli veriler oluşturulabilmektedir (URL-3).

Arazide gerçekleştirilen taramalardan elde edilen verilerin işlenmesi için yazılıma taramalar eklenmiş ve ardından veri işleme (process) aşamasına geçilmiştir. Veri işleme aşamasında taramalar nokta bulutundan nokta bulutuna (cloud to cloud) tekniği ile birleştirilmiştir.

Otomatik birleştirme aşamasından sonra, dağınık ve düzensiz olan nokta bulutları; renklendirme (coloration), yansıtma eşiği (reflectance threshold), mesafe filtresi (distance filter) seçenekleri kullanılarak düzenlenmiştir. Böylelikle 3B model üretimi için düzgün ve anlamlı nokta verisi kümesi elde edilmiştir (Şekil 5).

Gürültü giderilme işlemi yapıldıktan sonra nokta bulutundan katı (mesh) model oluşturulmuştur (Şekil 6). Yazılımda gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 7'da sunulmuştur.

Yazılım, birleştirme sonucunda elde edilen maksimum nokta hatası ve ortalama nokta hatası değerlerini de vermektedir. Çalışmaya konu eser için maksimum nokta hatası: ± 3.6 mm ve ortalama nokta hatası: ± 2.1 mm'dir.



Şekil 5. Faro Scene ile elde edilen nokta bulutu



Şekil 6. Faro Scene ile elde edilen katı model

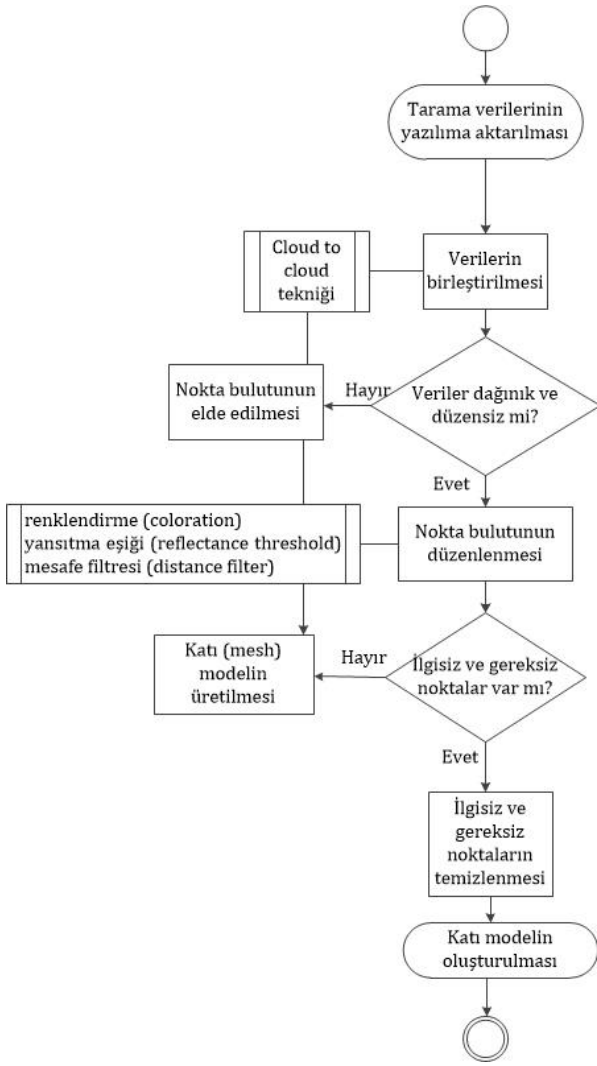
4.2.2. JRC 3D Reconstructor Yazılımı ile Modelleme

Çalışmada lazer tarayıcıyla elde edilen tarama verilerinin işlendiği ikinci yazılım JRC 3D Reconstructor'dır. Bu programda toplanan verilerin kayıt süreci, doğal noktaları veya bağlantı noktalarını (iki tarama arasındaki bileşenlerin konumlarına, yoğunluğuna ve RGB'ye göre en az 20.000 tanımlanmış bağlantı noktası) tanımlayan algoritmaya dayanır (Mulahusić ve ark., 2018).

Verilerin işlenmesi aşamasında taramalar yazılıma aktarılıp veri ön işleme (pre-processing) yapılmıştır. Dağınık ve düzensiz nokta bulutları oluşturulmuştur. Scene yazılımında olduğu gibi gürültü giderilme işleminden sonra düzenli ve tek nokta bulutu elde edilmiştir (Şekil 8). Bu işlem tek nokta bulutu (single point cloud) işlemi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu aşamadan sonra, nokta bulutundan katı (mesh) model üretilmiştir (Şekil 9). Yazılımda gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 10'da gösterilmiştir.

Yazılımda, birleştirme sonucu modele ait iteratif en yakın ortalama nokta hatası: ± 1.3 mm, karesel ortalama hata: ± 0.9 mm olarak elde edilmiştir.



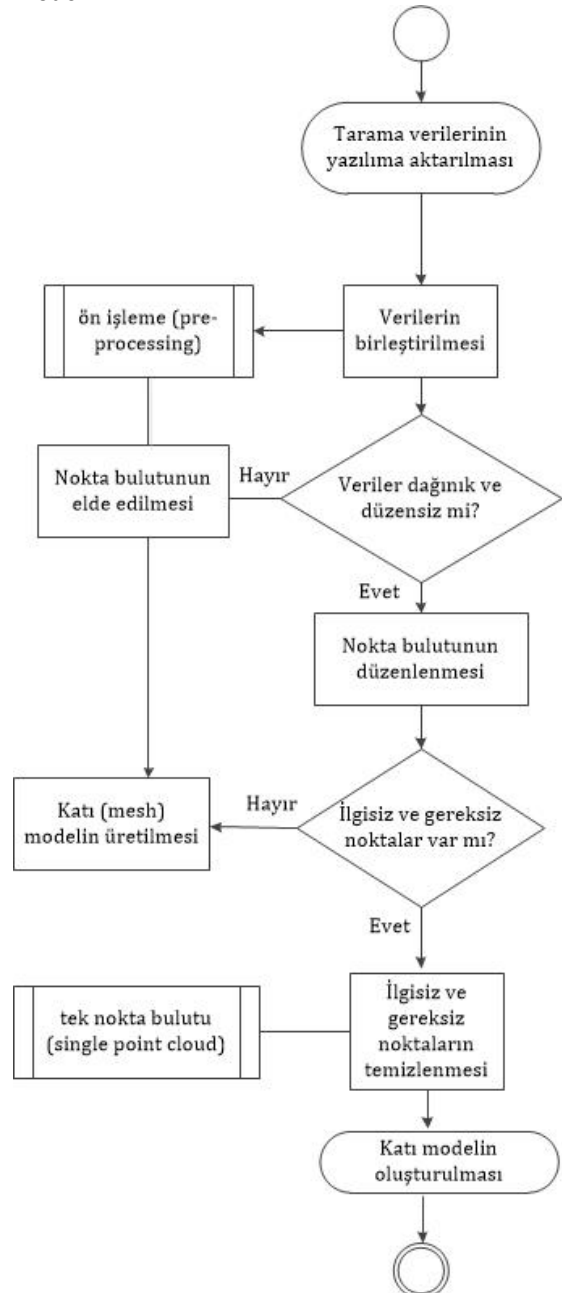
Şekil 7. Faro Scene yazılımında işlem akış şeması



Şekil 8. JRC 3D Reconstructor ile elde edilen nokta bulutu



Şekil 9. JRC 3D Reconstructor ile elde edilen kıta model



Şekil 10. Reconstructor yazılımında işlem akış şeması

4.2.3. Autodesk ReCap Yazılımı ile Modelleme

Autodesk ReCap yazılımı fotoğraflardan veya lazer taramalarından nokta bulutları ve 3B model oluşturmada kullanılan bulut tabanlı bir fotogrametri yazılımıdır. Fotogrametrik yaklaşımdan ve algoritmalarından yararlanan yazılım, kareler arasındaki homolog noktaların uzayda konumunu yeniden yapılandırmaktadır. Yazılım, yarı otomatik bir şekilde çalışmaktadır. Kullanıcı tarafından nokta bulutu, katı model vb. ürünlerin oluşturulması için ilgili parametreler seçilir.

Parametrelerin seçimi sonrasında ise yazılım istenilen ürünü oluşturur (Galizia vd., 2015).

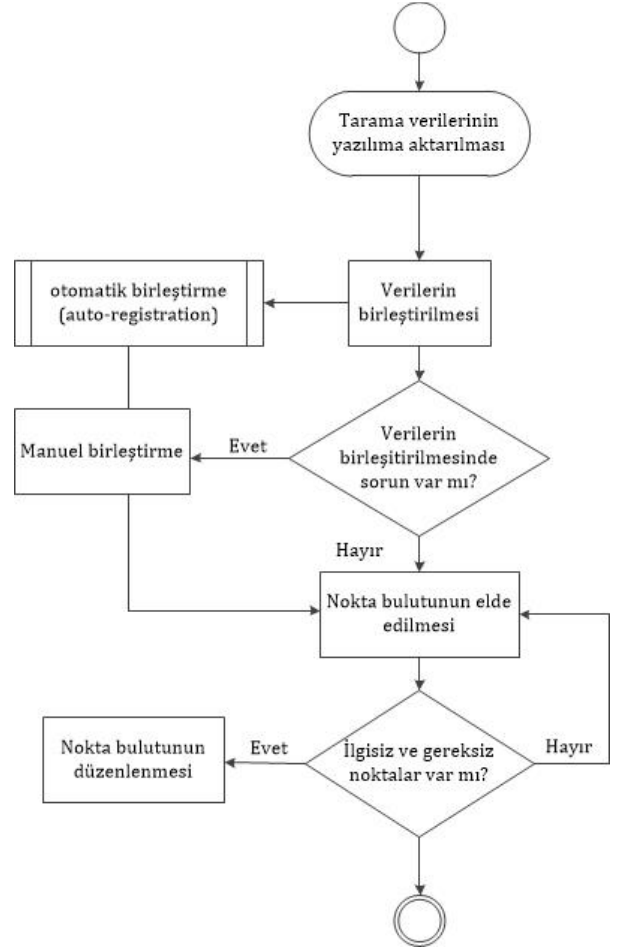
Arazi çalışması sürecinde lazer tarayıcıyla elde edilen veriler son olarak bu yazılıma aktarılmıştır. Taramaların yazılıma yüklenmesinden sonra birleştirme kısmına geçilmiştir. Birleştirme aşamasında öncelikle otomatik birleştirme (auto-registration) yapılmıştır. Baz taramalar (8 tarama) arasındaki bindirme oranının (overlap) %40'ın altında kalmasıyla, otomatik birleştirme tam anlamıyla gerçekleştirilememiştir. Bunun üzerine taramalar manuel olarak birleştirilmiştir. Bu özellik nedeniyle çalışmada kullanılan diğer iki yazılımdan farklılık göstermektedir.

Birleştirme sonrasında iki yazılımdaki benzer işlem adımları takip edilmiştir. Nokta bulutu üretilmiştir (Şekil 11). Yazılımda gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 12'de gösterilmiştir. Çalışmada yazılımın deneme (trial) sürümü kullanılmıştır. Programın bu sürümünde katı model üretim modülü bulunmamaktadır. Bundan dolayı katı model oluşturulamamıştır.



Şekil 11. Autodesk ReCap yazılımı ile elde edilen nokta bulutu

Bu yazılımda maksimum nokta hatası: ± 8.6 mm, ortalama nokta hatası: ± 3.1 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 12. ReCap yazılımında işlem akış şeması

5. BULGULAR

Çalışma alanı İstanbul'un turistik anlamda yoğun ziyaret edilen noktalarından biri olan Sultanahmet Meydanı'nda olduğu için, arazi çalışmaları sırasında insan yoğunluğu sorun teşkil etmiştir. Özellikle tarama işlemine başlandığında; insanların eser ile cihaz arasından geçmeye çalışması, insanların merak duygusu ile cihaza dokunmasıyla yersel lazer tarayıcının yatay-düşey dengesinin bozulması sonucunda tarama işleminin sağlıklı gerçekleştirilememesi gibi problemler meydana gelmiştir. Bu sorunların aşılması amacıyla her oturum yerinde (15 nokta) ikişer tarama, toplamda 30 tarama gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen tarama verilerinin işlenmesi ve değerlendirilmesinde farklı özelliklere sahip ticari yazılımlar kullanılmıştır. Çalışma alanına ilişkin üç programda farklı nokta bulutu sayıları elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Yazılımların nokta bulutu sayısı

Yazılım	Nokta Bulutu Sayısı
Faro Scene	18,175,342
JRD Reconstructor	15,462,125
Autodesk ReCap	12,357,568

Bu çalışmada tercih edilen her bir yazılımın güçlü ve zayıf yanları tespit edilmiş ve buna bağlı

olarak uygun kullanım alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu noktada yazılımlar, çalışmadan elde edilen tecrübe ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işleminde yazılımın kullanım kolaylığı, veri işleme süresi, görsel bütünlük, 3B modelde algılanabilen detay seviyesi ve metrik doğruluk gibi parametreler kullanılmıştır (Tablo 3).

Yazılımlar kullanım kolaylığı açısından kıyaslandığında; Faro Scene ve Autodesk ReCap yazılımları benzer kullanım özelliği gösterirken, JRC 3D Reconstructor yazılımı çok daha fazla farklı parametreyi içinde barındırmasıyla daha kompleks bir yapıda olduğu ve profesyonel uygulamalarda kullanılabilirliği gözlenmiştir.

Verilerin işlenmesi ve değerlendirmesi süreci çalışmada kullanılan üç yazılımda da yaklaşık 24 saat sürmüştür.

Görsel bütünlük ve sonuç modelin detay seviyesi açısından ise en başarılı sonuç JRC 3D Reconstructor yazılımı ile, en verimsiz sonuç ise Autodesk ReCap yazılımı ile elde edilmiştir. ReCap programının deneme sürümünün kullanılması bu sonucun elde edilmesinde etkili olmuştur.

Yazılımlar metrik doğruluk açısından değerlendirildiğinde yine en başarılı sonucu Reconstructor yazılımı vermiştir (Tablo 4). Ayrıca ReCap yazılımında taramaların otomatik birleştirilmesinde sorun meydana gelmiştir. Bu özellik bakımıyla diğer iki yazılımdan ayrılmaktadır.

Tablo 3. Yazılımların sınıflandırılması

Kullanım kolaylığı	Veri işleme süresi	Görsel bütünlük	Detay seviyesi	Metrik doğruluk
1	24 saat	3	3	3
2		1	1	1
3		2	2	2

¹Faro Scene

²Autodesk ReCap

³JRC 3D Reconstructor

Tablo 4. Yazılımlardaki hata değerleri

Yazılımlar	Ortalama nokta hatası	Maksimum nokta hatası	Karsel ortalama hata
Faro Scene	±2.1 mm	±3.6 mm	-
JRC 3D Reconstructor	±1.3 mm	-	±0.9 mm
Autodesk ReCap	±3.1 mm	±8.6 mm	-

Belgeleme çalışması sonucunda elde edilen 3B modelde meydana gelen konumsal hatanın tespit edilebilmesi amacıyla doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu hedef doğrultusunda çalışma alanında homojen olarak 4 adet yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmiştir. YKN koordinatları TOPCON Hiper Sr GNSS alıcısı ile TUSAGA-Aktif sisteminde, UTM projeksiyonunda, ITRF-96 datumu (EPSG: 5254), 2005.0 epok, GRS80 elipsoidinde ölçülmüştür. Eser üzerindeki 10 adet detay noktası elektronik takeometre (total station) aleti ile ölçülmüş ve bu noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Jeodezik ölçümler sonucunda elde

edilen koordinatlar kesin koordinat olarak kabul edilmiştir (Tablo 5). Aynı noktaların koordinatları modeller üzerinden de alınmıştır (Tablo 6, 7 ve 8). Kesin koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Hata değerinin bulunmasıyla (Tablo 9, 10) noktaların y, x yönündeki karesel ortalama hataları (m_y , m_x) hesaplanmıştır (Tablo 11).

Tablo 5. Ölçülen (Kesin) Koordinatlar

NN	Y	X
YKN1	413798.928	4541720.392
YKN2	413785.529	4541733.816
YKN3	413814.306	4541736.255
YKN4	413795.971	4541747.269
1	413800.219	4541730.867
2	413796.056	4541734.618
3	413803.772	4541734.836
4	413799.371	4541738.281
5	413798.417	4541727.552
6	413802.821	4541735.124
7	413791.335	4541729.493
8	413804.014	4541732.197
9	413805.142	4541735.547
10	413789.073	4541730.356

Tablo 6. Scene Yazılımından Elde Edilen Koordinatlar

NN	Y	X
1	413800.216	4541730.865
2	413796.059	4541734.620
3	413803.774	4541734.837
4	413799.373	4541738.280
5	413798.418	4541727.554
6	413802.823	4541735.127
7	413791.331	4541729.488
8	413804.011	4541732.200
9	413805.144	4541735.545
10	413789.075	4541730.355

Tablo 7. ReCap Yazılımından Elde Edilen Koordinatlar

NN	Y	X
1	413800.220	4541730.866
2	413796.057	4541734.619
3	413803.770	4541734.838
4	413799.369	4541738.279
5	413798.420	4541727.549
6	413802.816	4541735.127
7	413791.340	4541729.499
8	413804.007	4541732.194
9	413805.144	4541735.545
10	413789.075	4541730.355

Tablo 8. Reconstructor Yazılımından Elde Edilen Koordinatlar

NN	Y	X
1	413800.216	4541730.864
2	413796.059	4541734.620
3	413803.774	4541734.834
4	413799.364	4541738.284
5	413798.415	4541727.554
6	413802.822	4541735.122
7	413791.334	4541729.495
8	413804.016	4541732.198
9	413805.143	4541735.546
10	413789.072	4541730.354

Tablo 9. Hata değerleri

NN	V ₁ (mm)		V ₂ (mm)		V ₃ (mm)	
	V _Y	V _X	V _Y	V _X	V _Y	V _X
1	-3	-2	2	-1	-3	-3
2	3	2	1	1	3	2
3	2	1	-2	2	2	-2
4	-2	-1	-1	-2	-2	3
5	1	2	3	-3	-2	2
6	2	3	-5	3	1	-2
7	-4	-5	5	6	-1	2
8	-3	3	-7	-3	2	1
9	2	-2	2	-2	1	-1
10	2	-1	2	-1	-1	-2

* V₁:Scene yazılımındaki hata* V₂:ReCap yazılımındaki hata* V₃:Reconstructor yazılımındaki hata**Tablo 10.** Hataların karesi

[V ₁ V ₁]		[V ₂ V ₂]		[V ₃ V ₃]	
Y	X	Y	X	Y	X
9	4	4	1	9	9
9	4	1	1	9	4
4	1	4	4	4	4
4	1	1	4	4	9
1	4	9	9	4	4
4	9	25	9	1	4
16	25	25	36	1	4
9	9	49	9	4	1
4	4	4	4	1	1
4	1	4	1	1	4

Hata değerinin bulunmasıyla (Eşitlik 2) model üzerinden belirlenen y ve x koordinat değerlerine ilişkin karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$V = L - X \quad (2)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (3)$$

Tablo 11. Karesel ortalama hata

Yazılım	[VV] _Y	[VV] _X	m _Y	m _X
	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(mm)
Scene	64	62	±2.67	±2.63
ReCap	126	78	±3.74	±2.94
Reconstructor	38	44	±2.05	±2.21

Yapılan belgeleme çalışmasının doğruluğu hakkında bilgi edinebilme adına doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Kültürel mirasın 10 farklı bölgesinden GNSS alıcısı ile ölçümü yapılmış, üretilen 3B model üzerinden alınan koordinat değerleriyle karşılaştırılıp karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR

Geçmişten günümüze bizlere miras olarak kalan tarihi ve kültürel değerlere sahip eserlerin

yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılması için koruma çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında teknolojik gelişime bağlı olarak fotogrametrik yaklaşımlar ve lazer tarama yöntemleri (özellikle YLT) kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler aracılığıyla da tarihi önemi bulunan varlıkların 3B modeli üretilmeye başlanmıştır. Oluşturulan 3B model kültürel mirasın daha iyi şekilde korunması, yönetilmesi, yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılması amacı güden çalışmalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, arazi çalışması sonucunda elde edilen yersel lazer tarama verileri Faro Scene, RJC 3D Reconstructor, Autodesk ReCap yazılımları kullanılarak işlenmiş ve elde edilen sonuçlar kültürel mirasın dokümantasyonu ve korunması kapsamında değerlendirilmiştir.

Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında konumsal doğruluk önemli faktörlerden biridir (Yakar ve Yılmaz, 2008; Korumaz Güleç ve ark., 2011; Varol ve ark., 2018). Tarihi önemi bulunan kültür varlığı üzerinde yapılacak restitüsyon ve restorasyon çalışmalarında metrik doğruluk yapının aslına uygun şekilde yenilenmesi, yapıya ait modellerin düzgün ve doğru şekilde oluşturulması için son derece önemlidir. Bu konuda yapılmış uygulamalar ve yayınlanmış bilimsel çalışmalar incelendiğinde iyi ve kötü örneklerle rastlamak mümkündür (Ersen ve ark., 2011; Eriş ve ark., 2013; Tavşan ve ark., 2014; Öner ve ark., 2015; Gönül Yıldırım ve Yaşar Balcı, 2019). Bundan dolayı tarihi eserin sahip olduğu özellikleriyle korunması ve de gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için konumsal doğruluk önem arz etmektedir.

Çalışmada kullanılan yazılımlar ile hassas şekilde metrik doğruluğun elde edilmesine dikkat edilmiştir. Çalışmaya konu Dikilitaş'ın metrik doğruluğu tarama verileri kullanılarak mm düzeyinde belirlenmiştir. Üç ticari yazılımda farklı doğruluk değerleri elde edilmiştir (Tablo 3). Bu değerler doğrultusunda çalışmada tercih edilen programların kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında kullanılabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte verilerin işlenmesi sonucunda her bir programın farklı özellikleri ortaya çıkmıştır. Genel anlamda detaylı ve büyük bir yapının kapsamlı 3B modellenmesi, belgelenmesi, restitüsyon-restorasyon ve mimari çalışmalarında JRC 3D Reconstructor yazılımının tercih edilmesinin daha uygun olacağı görülmüştür. Görece daha küçük ve sade yapı veya mekanlardaki çalışmalarda diğer iki yazılımın da güçlü alternatifler arasında yer aldığı saptanmıştır.

Bu noktada, yapılacak çalışmanın amacı ve çalışma sonucunda beklenen çıktı ürünün özelliği kullanılacak yöntem ve yazılımın seçiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte ölçme ve değerlendirme yöntemleri gelişim göstermiş, buna bağlı olarak da herhangi bir objeye

ilişkin 3B model oluşturma süreci kolay hale gelmeye başlamıştır. Günümüz teknolojisi 3B modelleme açısından hızlı ve yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmeyi sağlayan çözümler ortaya sunmaktadır. Özellikle kültürel mirasın korunması açısından hem yüksek doğruluklu hem de hızlı sonuçlar alınması gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda, modern 3B modelleme yaklaşımlarının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Kültürel mirasın dokümantasyonu amacıyla Dikilitaş örneği incelenen bu çalışmanın lazer tarama alanında çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. YLT yöntemin literatür taraması sonucunda açıklanması, arazide yersel lazer tarayıcı ile yapılan işlemlerin iş akış şemasıyla ifade edilmesi, tarama sonucunda elde edilen verilerin farklı yazılımlarda işlenmesi ve değerlendirilmesi aşamalarının ayrıntılı şekilde anlatılması ve dışağramlar aracılığıyla gösterilmesi bu alanda çalışmaya yeni başlayan veya istekli olan araştırmacılar için referans noktası olabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akyol O (2011). Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Alptekin A, Çelik M & Yakar M (2019). Anıtmezarın Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 1-4. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/melid/issue/50713/641560>.
- Baik A (2017). From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house- case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 4, 1-18.
- Barber D, Mills J & Bryan P G (2001). Laser Scanning and Photogrammetry: 21st century metrology. 18-21 Sempther, 360-366. Potsdam, Germany.
- Barrazeti L (2016). Parametric as built model generation of complex shapes from point clouds. *Advance Engineering Informatic*, 30(3), 298-311.
- Chien S, Choo S, Schnabel M A, Nakapan W, Kim M J & Roudavski S (2016). Living Systems and MicroUtopias: Towards Continuous Designing. *Proceedings of the 21st International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 477-486*.
- Çelik M, Alptekin A, Ünel F B, Kuşak L & Kanun E (2020). The Effect Of Different Flight Heights On Generated Digital Products: DSM and Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 1-9. Retrieved from <https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Mephoj/Iss ue/52791/636366>.
- Deniz S, Öktem S, Kırbaş İ & Tarkan D (2017). Alansal/Yersel Lazer Tarayıcıların Arkeolojik Mekânların Fiziki Özelliklerinin Tespitinde Kullanılması: Kibrya Antik Kenti Odeon Yapısı Sahne Duvarı Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 211-217.
- Dethier P A (1993). Boğaziçi ve İstanbul (19. Yüzyıl Sonu). *Eren Yayıncılık*, İstanbul.
- Dore C, Murphy M, McCarthy S, Brechin F, Casidy C & Dirix E (2015). Structural simulations and conservation analysis - historic building Information model (HBIM). In *3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures 2015 proceedings of the international conference in Avila, Spain*.
- El-Hakim S F (2001). A flexible approach to 3D reconstruction from single images *ACM Proceedings of SIGGRAPH '01, Technical Sketches*, Los Angeles, California, 12th to 17th August 2001. 280 pages: 186.
- Elkhrachy I & Niemeir W (2006). Optimization And Strength Aspects For Geo-Referencing Data With Terrestrial Laser Scanner Systems. 3rd IAG/12t FIG Symposium, CD Room, Baden, 22-24 May.
- Eriş İ, Yüzereroğlu U & Demir N (2013). Atik Valide Sultan Külliyesi 2011-2013 Yılları Restorasyonu ve Uygulamaları. *Vakıf Restorasyon Yıllığı Dergisi*, 6(3), 99-114.
- Ersen A, Olgun N, Akbulut S S & Yıldırım B Ş (2011). Süleymaniye Camii 2007- 2009 Yılları Restorasyonu ve Restorasyon Kararları. *Vakıflar Restorasyon Yıllığı Dergisi*, 3, 7-27.
- Fai S, Grham K, Duckworth T, Wood N & Attar R (2011). Building information modeling and heritage documentation. In *proceedings of the international symposium in Pragueu, Chez Republic*.
- Fowden G (1991). Constantine's Porphyry Column: The Earliest Literary Allusion. *The Journal of Roman*, 8, 119-131.
- Galizia M, Inzerillo L & Santagati C (2015). Heritage and technology: novel approaches to 3D documentation and communication of architectural heritage. *Le Vie Dei Mercanti*, 686-696. Italy.
- Gönül Yıldırım B & Yaşar Balcı S (2019). Türkiye ve KKTC'de İç Mimarlık Eğitiminde Koruma Bilinci Üzerine Güncel Bir Araştırma. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 294-311.
- Korumaz Güleç A, Dülgerler O N & Yakar M (2011). Kültürel Mirasın Belgelemede Dijital Yaklaşımlar. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Mulahusić A, Tuno N, Gajski D & Jusuf Topoljak. (2018). Comparison and analysis of results of 3D modelling of complex cultural and historical objects using different types of terrestrial laser scanner. *Survey Review*, 52(371), 107-114.

- Noor N M, Kamaruddin Z. Abdullah A., Abdullah A. A., Eusoff S. S., & Mustafa H. M. (2018). Using terrestrial laser scanner for Malay heritage documentation: preliminary approach to Istana Balai Besar, Kelantan. *International Journal of Development and Sustainability*, 7(6), 1886-1897.
- Öksüz, M., ve Topan, H. (2012). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi ve Kültürel Mirasın Korunması Uygulamasında Tarihi Gölyazı Kilisesi Örneği. Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.
- Öner, C.Ö., Kutlu, G., & Bilginperk, C. (2015). Mimari Restorasyon Projelerinin Uygulama Sürecindeki Zorlukları: Konak Kemeraltı'nda Tarihi Bir Yapı Örneği. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 479, 492, 1-3 Ekim 2015.
- Roulet, A. (1972). The Egyptian and Egyptianizing monuments of imperial Rome. *Études Préliminaires aux Religions Orientales dans l'Empire Romain*, 20, Leiden.
- Safkan, S., Hamarat, H., Duran, Z., Aydar, U., & Çelik, M.F. (2014). Yersel Lazer Tarama Yönteminin Mimari Belgelemede Kullanılması. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Tavşan, C., Ergin, H.E., & Aydıntan, E. (2014). Trabzon Bedesteni Restorasyon Uygulaması. *Vakıflar Dergisi*, 42, 123-132.
- URL-1: <https://www.ktb.gov.tr/TR-134106/somut-kulturel-miras.html>
Erişim tarihi: 25 Nisan 2020
- URL-2: https://www.google.com/maps?rlz=1C1SQJL_trTR877TR877&sxsrf=ALeKk01t9-FN_Z8nw8Lw1xPobe8XwFnw0g:1588716648858&q=theodosius+dikilita%C5%9F+google+maps&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQARgAMgUIIRCgATIFCCEQoAE6BAGAEec6BAgjECc6AggAOGYIABAWEb5QiV9YmI0BYJaSAWgBcAJ4AIAbWQGIAdUMkgEEMc4xMJgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&u m=1&ie=UTF8&sa=X&ved=2ahUKEwiZut_l3p3pAhXRQxUIHWEQAIQQ_AUoAXoECBUQA w
- Erişim tarihi: 27 Nisan 2020
- URL-3: <https://www.faro.com/tr-tr/>
Erişim tarihi: 27 Nisan 2020
- URL-4: www.gexcel.homeip.net/Reconstructor/R_Manual/R_Manual_EN.pdf
Erişim tarihi: 25 Nisan 2020
- Uluengin, N.B. (2013). *Rölöve. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*, İstanbul.
- Ulutürk, B. (2010). İstanbul'daki Geç Antik ve Bizans Dönemine Ait Dikilitaşlar'ın Kent İçindeki Konumları ve Geçirdikleri Tarihsel Değişim. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ulvi, A. (2008). Antik Tiyatroların Fotogrametrik Rölöve Planlarının Çıkarılması Üzerine Deneyel Bir Çalışma. T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Ulvi, A., ve Yakar, M. (2014). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması. *Electronic Journal of Map Technologies*, 6 (1), 25-36.
- Uzar, M. ve Ögütçü, H. (2016). Yersel Lazer Tarayıcı Kullanılarak Tavra Deresi Kilisesi'nin Ölçümü ve Ortofoto Üretimi, 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Varol, F., Ulvi, A., & Yakar, M. (2018). Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Yersel Fotogrametri Tekniğinin Kullanılması: Sazak Köprüsü Örneği. *11(57)*, 986-991.
- Yakar, İ., ve Bilgi, S. (2019). Mobil Telefonlar Kullanılarak Elde Edilen 3 Boyutlu Modellerin Kültürel Mirasın Korunması Kapsamında Kullanılabilirliği: III. Ahmet Çeşmesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 25-29. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod/issue/50271/638005>.
- Yakar, M., ve Yılmaz, H.M. (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu



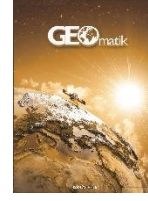
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi

Tuğrul Urfalı*¹, Abdurrahman Eymen²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat M.Y.O., Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tokat, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yenilenebilir Enerji
RES
CBS
ÇKKV
Kayseri

ÖZ

Dünya çapında eşi benzeri olmayan bir hızla gelişen kentleşme süreci, nüfusun hızlı artışı ve yükselişe geçen enerji ihtiyacıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaçta büyük ölçüde artış göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde dünyanın birçok bölgesinde üretilebilen, çevreye zarar vermeyen ve ticari açıdan en elverişli enerji türlerinden birisi de rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr Enerji Santralleri (RES), sürdürülebilir enerji projeleri için enerji üretmede en uygun yöntemler arasındadır. 2022 yılına gelindiğinde dünyada enerji ihtiyacının %12'sinin rüzgâr enerjisinden karşılanacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada Kayseri ilinde rüzgâr enerji santrallerinin uygun sahalara kurulabilmesi için literatür araştırması sonrasında gerekli olan 12 ana kriter belirlenmiştir. Kriterlerin önem sıralamasını belirlemek için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin önem dereceleri belirlenirken uzman görüşleri AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir; rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi ve yükseklik kriterleri en önemli 3 kriter olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin konumsal analizleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları ve AHP yöntemi ile belirlenen önem sıralaması birleştirilerek Kayseri ilinde kurulabilecek RES için potansiyel uygun sahalara belirlenmiştir. Kayseri ili kapsamında rüzgâr enerjisi için var olan bu potansiyelin kullanılıp, en ekonomik en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmanın gelecekte kurulacak RES projeleri için yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Site selection of wind power plants in the Example of Kayseri with the help of CBS and AHP Method

Keywords

Renewable Energy
WPP
GIS
MCDM
Kayseri

ABSTRACT

The need for renewable energy sources increases greatly with the urbanization process, which has been developing with an unprecedented speed throughout the world, the rapid increase of the population and the requirements for rising energy. Wind energy is one of the most commercially available types of energy that can be produced in many regions of the world, which does not harm the environment and is among the renewable energy sources. Wind Power Plants (WPP) are among the most suitable methods of generating energy for sustainable energy projects. By 2022, it is estimated that 12% of the energy need in the world will be met by wind energy. In this study, 12 main criteria that are necessary after the literature research have been determined in order to establish WPP in the appropriate areas in Kayseri. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is one of the Multiple Criteria Decision Making (MCDM) techniques, was used to determine the importance order of the criteria. Expert opinions were taken while determining the importance of the criteria and the wind speed, wind capacity and elevation criteria were determined as the 3 most important criteria. Spatial analysis of the determined criteria was done by using Geographic Information System (GIS) software. By combining the analysis results and the order of importance determined by the AHP method, potentially suitable sites were determined for WPP that can be established in Kayseri. Within the scope of Kayseri province, it is necessary to use this potential for wind energy and evaluate it in the most economical and efficient way. For this purpose, it is aimed that the study will be a guide for WPP projects to be established in the future.

*Sorumlu Yazar

(tugrulurfali@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-6609-6410
(ageymen@erciyes.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5347-2173

Kaynak Göster (APA)

Urfalı T & Eymen A (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. Geomatik, 6(3), 227-237. DOI: 10.29128/geomatik.772453

1. GİRİŞ

Tüm dünyada nüfusun hızlı artışı ile orantılı olarak enerjiye duyulan ihtiyaçta her geçen gün artmaktadır. Bugün dünyadaki enerji ihtiyacının yüzde 80'inden fazlası fosil yakıtlar kullanılarak üretilmektedir. Fosil yakıtların kullanılması, küresel ısınmaya büyük etkisi olan sera gazlarının başında gelen karbondioksit (CO₂) salınımının ortaya çıkmasındaki en büyük etkidir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan dünyadaki toplam CO₂ salınımları 1973'ten 2015'e %108 oranında artış göstermiştir (Messaoudi ve ark, 2018; IEA, 2017).

Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye verdiği zararların önüne geçilememesi, insanları bu kaynakları daha verimli kullanma konusunda yeni arayışlara itmiş ve enerji açığının kapatılması için alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır (Memduhoğlu ve ark. 2014). Bu yönelim yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, hidro, rüzgâr, jeotermal, gelgit, biyokütle, dalga vb.) olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji, tüketilmesine oranla daha hızlı bir şekilde yeri doldurulan enerji kaynaklarından elde edilen enerji olarak ifade edilir. (Şimşek, 2014; Vaysman ve ark, 2019).

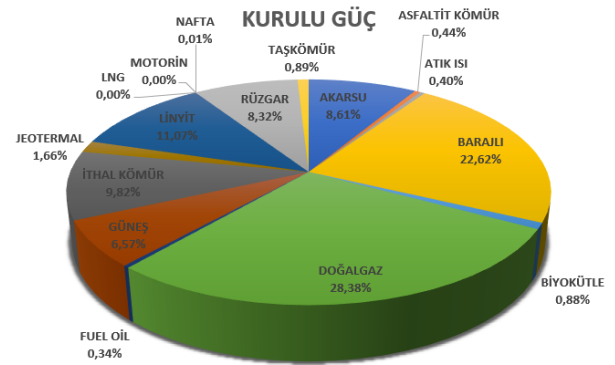
Türkiye Avrupa ile Asya kıtaları arasındaki geçitte yer alan jeopolitik konumu sayesinde Avrasya enerji ticaretinde önemli bir yere sahiptir. Enerji koridoru olarak hizmet vermenin yanı sıra, artan kentsel nüfus, yerleşim alanlarının yeniden yapılandırılması ve gelişmekte olan sanayileşme nedeniyle Türkiye enerjiye ihtiyaç duyan bir ülkeye dönüşmüştür. Bu dönüşüm doğal olarak yeni enerji kaynaklarına olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Yeni enerji kaynakları ihtiyacına ek olarak, Türkiye Avrupa Birliği (AB) adaylığı için halen görüşmelere devam etmektedir. AB, 2030 yılına kadar enerjisinin %27'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmeyi hedeflemektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına kayması Türkiye'nin katılım sürecinde düzenleyici yüklerini azaltacaktır. Daha fazla yenilenebilir enerji, Türkiye'nin sera emisyonlarını azaltmasını ve ithal enerjiye daha az bağımlı olmasını sağlayacaktır. (Çildir & Bayraç, 2017; Atici ve ark, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Dünya'nın her yerinde bolca bulunabilen, düşük maliyetli, temiz, en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türlerinden birisi de rüzgâr enerjisidir. Bu nedenle rüzgâr enerjisinin kullanımı son yıllarda hem Dünya'da hem de Türkiye'de giderek artan oranda ilgi görmektedir (Özşahin & Kaymaz, 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr, diğer geleneksel enerji üretim araçlarına kıyasla, rekabetçi enerji maliyeti ve dünyada hemen hemen her bölgede rüzgâr kaynaklarının bulunması nedeniyle yüksek oranda tercih edilmektedir (T.R. Ayodele ve ark, 2018).

Rüzgâr enerjisinden yararlanma süreci çok eski dönemlere dayanmaktadır. Yelkenli gemiler ve yel değirmenleri rüzgâr enerjisini kullanan en eski teknolojilerdir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte rüzgârdan daha verimli şekilde yararlanılmaya başlanılmıştır. Bu noktada rüzgâr santralleri, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yönelindikleri önemli bir alternatif enerji kaynağı haline gelmiştir. Sürdürülebilir enerji projeleri için rüzgâr enerji santralleri (RES) en uygun enerji üretim yöntemlerinden biri olarak ifade edilmektedir (Şimşek, 2014).

Dünyada 100'den fazla ülkenin rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yaptığı bilinmektedir. Dünyada üretilen toplam rüzgâr enerjisinin yaklaşık %29'unu üreten Çin bu alanda en büyük paya sahiptir. Çin her geçen gün hızla büyüyen sanayisi, yoğun nüfusu ve buna bağlı olarak her geçen gün artan enerji ihtiyacı sebebiyle, yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapmış ve rüzgâr enerjisinde ilk sırada yerini almıştır. Çin'den sonra gelen Amerika Birleşik Devletleri ile Almanya dünyada rüzgâr enerjisi üretiminde önde gelen ülkeler olarak görülmektedir. Türkiye bu sıralamada 11'inci sırada yer almaktadır. Avrupa ülkeleri arasında ise 6'ncı sırada gelmektedir (Can & Yücel, 2019). Şekil 1'de Türkiye'nin 2019 yılı kurulu güç dağılımına bakıldığında %8,32 ile rüzgâr enerjisinin önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin, yer seçimi çalışmalarının artması, yatırımcıların doğru yerlere yönlendirilmesi ve devlet destekli projeler ile mevcut konumundan daha üst sıralara yükseleceği düşünülmektedir (Can & Yücel, 2019).



Şekil 1. Türkiye 2019 yılı kaynak bazlı kurulu güç dağılımı (TEİAŞ,2019) (Elektrik port, 2020)

Rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi analizlerinde eğim, yükseklik, arazi kullanım kabiliyeti, koruma alanları, su alanları yerleşim merkezleri gibi birçok konumsal etkenin birlikte analiz edilmesi gerekmektedir. Son dönemde hızla gelişen ve kullanım alanı artan, farklı meslek gruplarının bir arada kullandığı coğrafi bilgi sistemleri, rüzgâr enerjisi alanında da sıklıkla tercih edilir durumdadır (Heimiller & Haymes, 2001). CBS sadece RES projesi için değil, diğer yenilenebilir enerji uygulamalarında da başarılı bir şekilde

kullanılmaktadır (Uyan, 2013; Sadeghi ve Karimi, 2017). Çeşitli konumsal kriterleri göz önüne alıp kriterlerin önem sırasına göre en uygun alanı seçmek, çevresel etkiler ve ekonomik açıdan maksimum fayda elde etmek için önemlidir. Özellikle ekonomik olarak RES projelerinin maliyetlerinin oldukça yüksek olmasından dolayı santraller yapılmadan önce projelerin fizibilite çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır (Said, Akil, & Muzakir, 2019; Bennui ve ark, 2007). Rüzgâr enerjisinden yararlanma potansiyeli yüksek sahaları bulmak için belirlenen karar kriterlerinin birlikte değerlendirilmeye ihtiyacı vardır. Çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV) bu karmaşık problemlerde kullanılabilir en iyi yöntemdir (Sadeghi ve ark, 2017). ÇKKV'nin coğrafi konum bileşeni ile kullanılması klasik ÇKKV tekniklerinden ayrılmasına neden olmaktadır. Konumsal ÇKKV'de her bir seçeneğin hem coğrafi konumu hem de her kriter için değeri gereklidir. Bundan dolayı konumsal karar problemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve ÇKKV teknikleri birlikte kullanılır. (Öztürk & Kılıç, 2010).

Literatürde CBS ve ÇKKV tekniklerinin bir arada kullanıldığı çalışmaların fazlasıyla olduğu görülmektedir. Latinopoulos ve Kechagia (2015), rüzgâr çiftliği projelerinde uygun sahaları seçmek için CBS ve ÇKKV yöntemini birlikte kullanmıştır. Villacreses ve ark. (2017), Ekvator bölgesinde rüzgâr santralleri kurmak için uygun alanları CBS ve ÇKKV yöntemlerini kullanarak belirlemiştir. Uyan (2013), Türkiye'de Karapınar bölgesinde güneş enerji santralleri (GES) için uygun alanları belirlemede (AHP) ve CBS'yi birlikte kullanmıştır. Özşahin ve Kaymaz (2013) Hatay ilinde RES'lerin yapım yeri seçiminde CBS destekli ÇKKV yöntemi kullanarak farklı kaynaklardan elde ettikleri verileri değerlendirmişlerdir. 15 farklı kriterle yapılan analizde, Hatay'ın RES yapımı için orta (% 45.19) ve iyi (% 25.64) duyarlılık düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, uygunluk açısından zayıf (% 1.33) arazilerin de çok az yer kapladığı görülmüştür. Memduhoğlu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, rüzgâr türbinlerinin konumlandırılmasında en uygun alanın ortaya konması amacıyla belirledikleri kriterleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırmış daha sonra CBS-ÇKKV kullanarak en uygun potansiyel alanı tespit etmiştir. Can ve Yücel (2019) çalışmalarında Çanakkale ilini çalışma alanı olarak belirlemiş, CBS ve AHP kullanarak RES için uygun yer tespiti yapmışlardır. Sadeghi ve Karimi (2017) yaptıkları çalışmada, İran'ın Tahran kentinde rüzgâr tribünleri ve güneş enerji santralleri için potansiyel uygun alanları ÇKKV ve CBS kullanarak bulmuşlardır. Atici ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, RES için uygun sahaları CBS tabanlı ÇKKV tekniğini kullanarak tespit etmişlerdir.

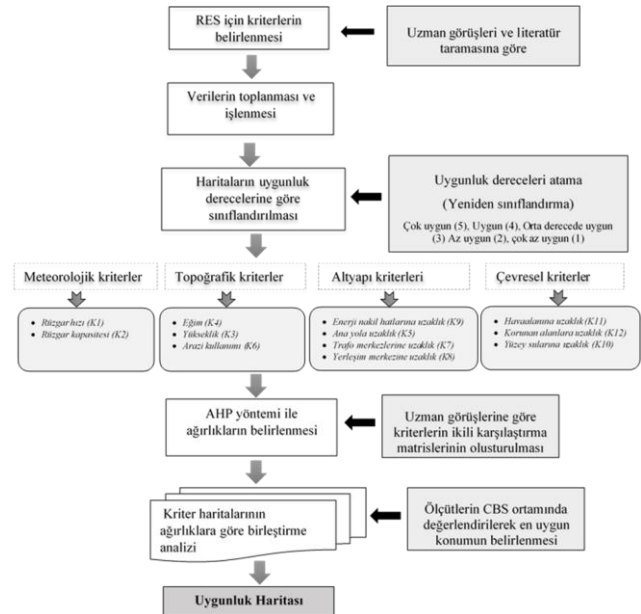
Bu çalışmada ÇKKV yöntemi kullanılarak Kayseri ilinde mevcut duruma göre rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimine etki eden kriterler incelenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde yapılan literatür taramasının yanında Erciyes Üniversitesi

Harita Mühendisliği, Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri, kamu kurumları ve özel sektörden uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda meteorolojik, altyapı, arazi kullanımı ve topoğrafya ve çevresel kriterler olmak üzere 4 ana başlık altında toplam 12 alt kriter belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıkları ve birbirlerine göre önem derecesi belirlenirken 4 uzman AHP ikili karşılaştırma tablosunu doldurmuş ve sonrasında bu tabloların ortalaması alınarak ortalama kriter matrisine göre ağırlıklar ve önem derecesi belirlenmiştir. AHP yöntemiyle belirlenen ağırlıklar ve CBS ile üretilen konumsal analiz haritaları bir araya getirilerek Kayseri ili için RES kurulumunun yapılabileceği potansiyel alanlar belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL ve METHOD

CBS belirlenen kriterlere göre yapılan konumsal analizlerin sonuçlarının görselleştirilmesinde karar vericiye yardımcı olmaktadır. Yer seçiminde uygun olmayan seçeneklerin elenip, uygun sahalardan belirlenmesinde konumsal analizler kullanılmaktadır. CBS'nin karar destek sistemi konumsal analizlerin ÇKKV teknikleriyle birleştirilmesi sonucunda başarılı olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan metodoloji Şekil 2'de gösterilmektedir. İlk olarak, ilgili kriterler tanımlanmış ve kriterlere göre gerekli veriler elde edilmiştir. Daha sonra CBS tarafında yeniden sınıflandırma haritaları üretilmiştir. ÇKKV sürecinde ise, kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Son olarak konumsal CBS analizleri sonucu elde edilen kriterlerin haritaları ağırlıklarına

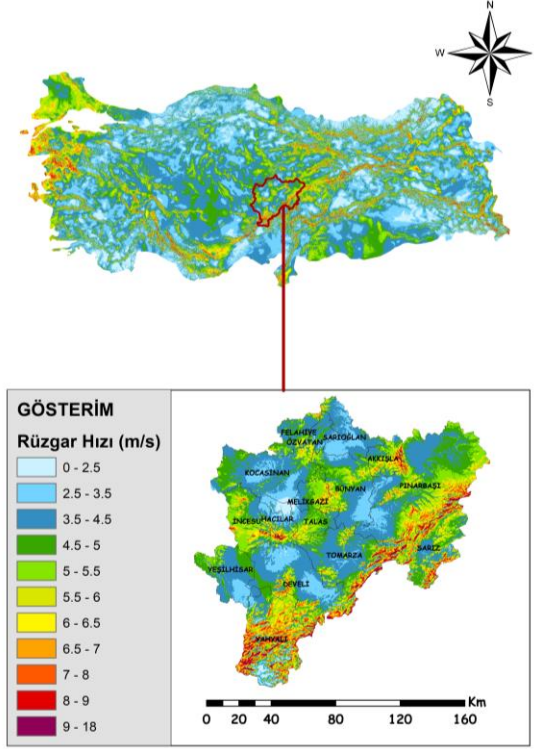


Şekil 2. İş akış şeması göre işleme sokularak uygunluk sonuç haritası elde edilmiştir

2.1. Çalışma Alanı

Kayseri, İç Anadolu'nun güney bölümü ile Toros dağlarının birbirine yaklaştığı yerde Orta Kızılırmak

bölümünde yer alır. Doğu ve kuzeydoğusu Sivas, kuzeyi Yozgat, batısı Nevşehir, güneybatısı Niğde, güneyi ise Adana ve Kahramanmaraş illeri ile çevrilidir. İl de, İç Anadolu Bölgesi'nin tamamında olduğu gibi, bozkır iklimi hüküm sürer. Yazlar sıcak ve kurak, kışın ise soğuk ve yağışlı geçer. Kayseri 37 derece 45 dakika ile 38 derece 18 dakika kuzey enlemleri ve 34 derece 56 dakika ile 36 derece 58 dakika doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kayseri, elverişli ulaşım ve enerji olanakları ve zengin yeraltı kaynaklarının yanı sıra sanayisi de gelişmiş illerendir (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2020) (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Kayseri ilinde rüzgâr enerji santrali alanı için en uygun yer seçim çalışması gerçekleştirilecektir. Çalışma alanı olarak Kayseri seçilirken rüzgâr enerji potansiyelinin yüksek olması önemli rol oynamıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'de illere göre kurulabilecek RES'lerin toplam alanı 22.834,85 km², toplam kurulu gücü ise 114.174,08 MW'tır. Kayseri bu gruplandırmada 377,06 km² toplam alana ve 1.855,28 MW potansiyel güç kapasitesiyle 18. sırada yer almaktadır (Tablo 1). Türkiye rüzgâr enerjisi birliği tarafından 2018'de yayınlanan rapora göre Kayseri RES kurulu güç sıralamasına göre 264 MW ile 7. sırada yer almaktadır (TUREB, 2018) (YEGM, 2019).

2.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Literatürde en çok tercih edilen çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ilk olarak 1968 yılında

Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve Saaty tarafından 1980 yılında bir model olarak geliştirilmiştir. AHP ön fizibilite, çalışma öncesi planlama ve proje önceliklendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. AHP'nin kullanım alanlarına bakıldığında enerji, eğitim, çevre, sanayi, inşaat kamu kaynaklarının planlanması, stratejik planlama, sağlık gibi birçok alanda tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir.

Tablo 1. İllere Göre Kurulabilecek RES'lerin Güç Kapasiteleri (YEGM, 2019)

Sıra	İl Adı	Toplam Kurulu Güç (MW)	Toplam Alan (km ²)
1)	Balıkesir	13.827	2.765
2)	Çanakkale	13.013	2.603
3)	İzmir	11.854	2.371
4)	Manisa	5.302	1.060
5)	Samsun	5.222	1.045
6)	Muğla	5.171	1.034
7)	Tekirdağ	4.627	925
8)	İstanbul	4.177	835
9)	Bursa	3.882	776
10)	Mersin	3.531	706
11)	Edirne	3.470	694
12)	Hatay	3.414	683
13)	Kırklareli	3.079	616
14)	Tokat	3.002	600
15)	Aydın	2.524	505
16)	Ordu	2.276	455
17)	Kahramanmaraş	2.072	414
18)	Kayseri	1.885	377
19)	Konya	1.860	372
20)	Sivas	1.642	328

AHP'de ikili karşılaştırma metodu kullanılarak kriterler arasındaki önem derecesi ve kriterlerin ağırlıkları belirlenmektedir. Bu ağırlıklara göre karar verici "Hangisini seçeceğiz?" veya "En iyisi hangisidir?" sorularına yanıt bulmuş olacaktır (Haliloğlu & Odabaş, 2018) (Öztürk & Kılıç, 2010). AHP ile ağırlıkların bulunmasında, ilk olarak hiyerarşik yapı oluşturularak problemin amacı, kriterleri ve alternatifleri belirlenir. Daha sonra kriterler için ölçütlerin ikili kıyaslamaları yapılır ve bunun sonucunda kriterlerden hangisinin önemli olduğu belirlenir. Saaty tarafından oluşturulmuş 1-9 ölçekli değerlendirme tablosu ile karşılaştırma yapılır. Son olarakta kriterlerin ağırlıkları ve tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranının 0.10 dan büyük çıkması durumunda değerlerin tutarsız olduğu anlaşılır ve ikili karşılaştırma matrisleri tekrardan kontrol edilir. Tutarlılık oranını hesaplamak için ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksi (CI) 0.13 olarak hesaplandı (1).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Tutarlılık oranı endeksini (CR) bulmak için RI (tesadüfîlik göstergesi) Saaty'nin tesadüfîlik göstergesi tablosundan 12 kriter için 1.53 olarak alınmış ve 0,08 olarak hesaplanmıştır (2). Tutarlılık oranı 0.10'un altında ise değerlendirmelerin yeterli bir tutarlılık gösterdiği kabul edilmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0.10'un üstünde ise ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilir (Öztürk & Kılıç, 2010).

3. BULGULAR

3.1. Kriterler ve Uygunluk Sınıfları

Çalışma alanı olarak seçilen Kayseri ili için, rüzgâr enerji santrallerinin yer seçiminde etkili olan kriterler Tablo 2'de gösterilmektedir. Bu veri katmanlarından arazi eğimi, arazi kullanımı, rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi ve arazi yüksekliği gibi katmanlar raster yapıda kullanılmıştır. Kayseri rüzgâr hızı haritası Kayseri rüzgâr enerji potansiyel atlasından sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Kayseri rüzgâr enerji potansiyel atlasına bakıldığında rüzgâr hızının en az 6,5 m/s olması, rüzgâr kapasitesinin ise en az %30 olan alanların seçilmesi gerektiği görülmüştür. (YEGM, 2019).

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Kriterler

Kriterler

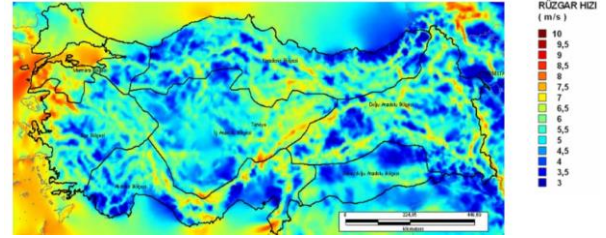
Rüzgâr Hızı (K1)
Rüzgâr Kapasitesi (K2)
Yükseklik (K3)
Eğim (K4)
Ana Yola Uzaklık (K5)
Arazi Kullanımı (K6)
Trafo Merkezlerine Uzaklık (K7)
Yerleşim Merkezine Uzaklık (K8)
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (K9)
Havaalanına Uzaklık (K10)
Yüzey Sularına Uzaklık (K11)
Korunan Alanlara Uzaklık (K12)

RES alanları genellikle koruma altındaki alanlara ve yerleşim merkezlerine uzak, trafo merkezlerinin ve iletim hatlarının da üzerinde olmayacak şekilde yakın olmalıdır (Baban ve ark.,2001). Ayrıca, karayolu ağına yakın olması önem arz etmektedir. Çünkü rüzgâr tribünlerinin inşa edilmesi sırasında kolaylık olması açısından karayolu ağına yakın alanlar tercih edilmelidir. Eğim en fazla %20 olmalı, yükseklikte Kayseri için en az 1000 m olmalıdır (Bennui ve ark., 2007).

3.1.1. Meteorolojik kriterler

Rüzgâr hızı (K1) kriteri için, ülkemiz de 30 m yükseklikteki rüzgâr hızları RES yatırımları için ekonomik olmadığından dolayı 50 m yükseklikteki rüzgâr hızları alınmıştır. Şekil 4'te Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli atlası (REPA) verilmiştir. Rüzgâr

hızı faktörü de RES yatırımları için en önemli kriterlerden birisidir. Rüzgâr hızına göre belirlenen bu faktör, REPA'nın 50 m yükseltideki kapasite faktörü dağılımı haritasından elde edilmiştir. Rüzgâr kapasite faktörü (K2) rüzgâr hızı ile paralel bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4. Türkiye Rüzgâr Hız Dağılımı Haritası (50 m) (YEGM, 2019)

3.1.2. Altyapı kriterleri

RES'lerin kurulum yerleri seçiminde yol hatlarına olan uzaklıkları da (K5) değerlendirmeye alınmaktadır. Santraller inşa edilirken maliyet açısından santralin yapılacağı yere ulaşmak önemli olduğu için bu kriter değerlendirilmiştir. RES'lerin kurulum yeri seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörlerden birisi de enerji nakil hatlarına olan uzaklıktır(K9). RES'ler yapılırken enerji nakil hatları üzerine kurulmamalıdır (Baban ve ark.,2001). Bununla birlikte enerji nakil hatlarına yakın olmayan yerlerde kurulum ekonomik olamayacağı için çok uzak alanlarda tercih edilmemektedir. Trafo merkezleri enerjinin dönüştürüldüğü alanlardır ve enerji nakil hatlarına benzer şekilde trafo merkezlerine uzaklıkta (K7) da RES'lerin kurulum yeri seçiminde önemli bir kriterdir. Enerji iletimi sırasındaki kayıplar da göz önüne alındığında RES'lerin trafo merkezlerine yakın olması enerji verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir. (Heimiller & Haymes, 2001).

3.1.3. Topoğrafik kriterler

RES'lerin kurulacağı yerlerin seçiminde arazi kullanımının (K6) da rolü vardır. Özellikle yerleşim alanları (K8), yeşil alanlar ve su alanları RES yapımı için uygun değildir. Topoğrafyanın yapısı da RES kurma alanları için değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir. Yükseklik (K3) ve eğim (K4) gibi topoğrafik kriterlere çalışmada yer verilmiştir. Düz arazinin, yüksek eğimli alanlarda ihtiyaç duyulan yüksek yatırım maliyetlerinden kaçınmaya yardımcı olacağını bilinmektedir. Rüzgâr hızı da yükseklikle orantılı biçimde artmaktadır. (Bennui ve ark, 2007).

3.1.4. Çevresel kriterler

Kültür varlıkları, tabiat varlıkları, yabani hayatı koruma ve geliştirme sahaları ve millî parklar koruma alanları (K12) olarak değerlendirilmektedir. Bu alanlar RES yapımı için uygun olmayan alanlardır. Literatürde korunan alanlara en az 500 m uzakta RES yapımı için uygunluk görülmektedir. Su alanları da

(K11) rüzgâr tribünlerinin kurulumu için uygun olmayan alanlar arasındadır. Güvenlik açısından havaalanlarına da en az 3 km uzaklıkta bulunması gerekmektedir (Bennui ve ark, 2007).

3.2. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimine Etki Eden Kriterlerin AHP Yardımıyla Ağırlıklandırılması

AHP yöntemi kullanılarak yer seçiminin yapılabilmesi için belirlenen kriterlere göre hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. AHP karmaşık karar verme problemlerini çözmek için kriterlerin birbirine göre ilişkisini analiz eden bir tekniktir. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için ilk olarak uzmanlar tarafından doldurulan ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Belirlenen kriterlerin birbirlerine göre önemleri 1 ile 9 arasında puanlanarak hesaplama matrisleri oluşturulur. Oluşturulan matrisin her sütunundaki değer sütun toplamına bölünerek matris normalize edilmiş ve normalizasyon matrisi oluşturulmuştur. Bu çalışmada 12 kriter belirlenmiş olup 4 uzman tarafından ikili karşılaştırma yöntemi ile karar matrisleri oluşturulmuştur. Karar vericiler tarafından oluşturulan karar matrislerinin geometrik ortalaması alınmış ve daha sonra bu matris normalize edilerek normalizasyon matrisi oluşturulmuş ve bu işlem sonrası kriter ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 3).

Karar vericiler tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin kendi içerisindeki denetimi tutarlılık oranı hesaplanarak kontrol edilmiştir. İnsan hatasına dayalı olası tutarsızlığı önlemek için, çeşitli benzer çalışmalarda kullanılan tutarlılık oranı (CR) kullanılmıştır. Tutarlılık oranını hesaplamak için İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksi (CI) 0.13, tutarlılık oranı endeksi (CR) ise 0.08 olarak hesaplanmıştır. İkili karşılaştırma matrislerinin, tutarlılık oranı 0,1'den düşük olduğu için uygun kabul edilmiştir.

RES 'lerin yer seçimi için belirlenen kriterlerin hesaplanan ağırlıkları Tablo 3'te gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere kriter sıralamasında ilk iki sırada rüzgâr hızı (%23) ve rüzgâr kapasitesi (%17) gelmektedir. Daha sonra en önemli kriter %14 ile yükseklik kriteridir. Bunu %11 ile arazi kullanım kriteri izlemektedir. Altyapı kriterlerinden olan enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezlerine uzaklık ve topoğrafik kriterlerden eğim kriteri %6'lık eşit önem derecesine sahiptir.

3.3. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimine Etki Eden Konumsal Faktörlerin CBS ve AHP Yardımıyla Analizi

Bu çalışmada Kayseri ili sınırları içerisinde rüzgâr enerji santralleri kurulumu için uygun alanların tespiti gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan veriler ve yapılan analizlerin tümü ArcGIS 10.4 programı kullanılarak yapılmıştır.

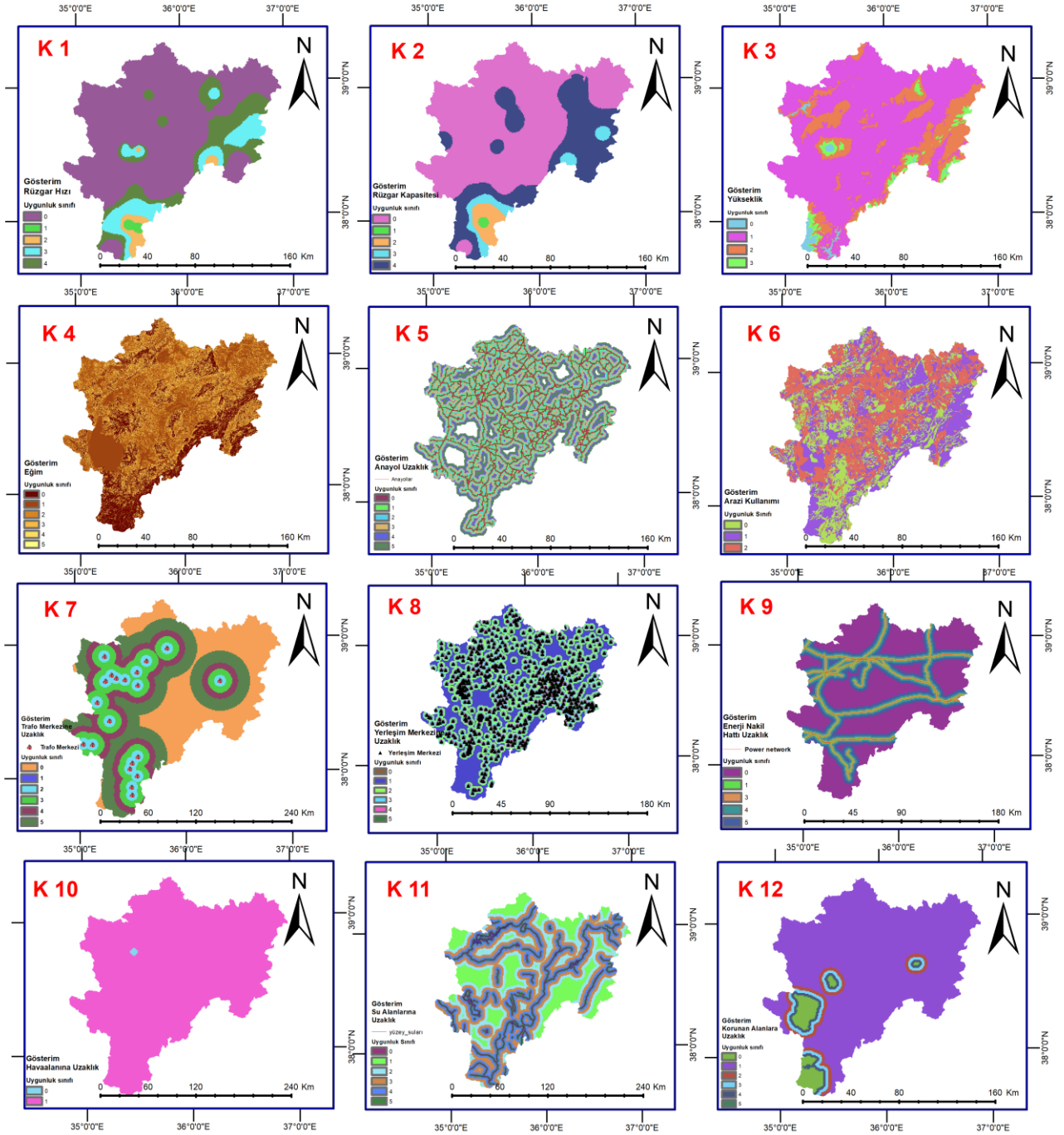
Belirlenen kriterlerden yerleşim merkezlerine, korunacak alanlara, yüzey sularına, enerji nakil hatlarına, trafo merkezlerine, havaalanına ve ana yollara olan uzaklıklar "Euclidian Distance" yöntemiyle, raster veri şekline dönüştürülmüştür. Euclidean Distance, vektör verilerle veya raster verilerle yaptığınız analiz sonucunda, elinizdeki detaylara olan uzaklığı ölçüp çıktı olarak, her bir hücrede yani pikselinde sizin kaynak verinize olan uzaklığı değer olarak saklayan bir raster katman oluşturur. Çalışmada kullanılan bu veriler uzaklıklarına göre yeniden sınıflandırılmış ve raster haritaları elde edilmiştir (Şekil 5). Elde edilen bu haritalar Kayseri il sınırlarından kesilmiştir. Öklid mesafesi (Euclidean Distance) işlemi sonrasında elde edilen veriler raster formatında olduğu için yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanabilmektedir. Arazi kullanım kabiliyeti, rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi, eğim, yükseklik verileri için mesafeye ihtiyaç duyulmadığından öklid mesafesi (Euclidean Distance) uygulanmamış, sadece yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi RES yer seçimine etki eden konumsal faktörler mesafeye göre puanlandırılmıştır. Tablo 3'te yer alan kıstaslara göre atanan uygunluk sınıfları da şu şekilde belirlenmiştir; uygun değil (0), çok uygun (1), uygun (2), orta derecede uygun (3) az uygun (4), çok az uygun (5) (Tablo 3).

ArcGIS yazılımında belirlenen 12 kriter ve Tablo 3'te gösterilen sınıflara göre haritalar oluşturulmuştur (Şekil 5). CBS analizleri ile elde edilen yeniden sınıflandırma haritaları ve AHP yöntemi ile belirlenmiş olan kriter ağırlıkları ArcGIS ortamında "Weighted Overlay" yöntemi ile birleştirilerek çakıştırılmış ve sonuç haritası elde edilmiştir (Şekil 6). Ağırlıklı bindirme (weighted overlay) aracı uygun alanın seçiminde çok kriterli sorunları çözmek için kullanılan yaklaşımlardan biridir. Kriter haritaları ağırlıklar ile çarpılır ve sonra üst üste çakıştırılarak sonuç haritası elde edilir. Bu çalışmada da Şekil 5'te elde edilen kriter sınıflandırma haritaları ağırlıklı bindirme yöntemi ile üst üste çakıştırılmış ve Kayseri ili için RES uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 7).

Elde edilen potansiyel alanlar alan bazlı olarak hesaplanmış ve son olarak çalışmanın denetimi açısından Kayseri'de mevcut durumda kullanımda olan rüzgâr enerji santrallerinin konumları elde edilen uygunluk haritası ile çakıştırılmış ve sonuçlar bölümünde yorumlanmıştır.

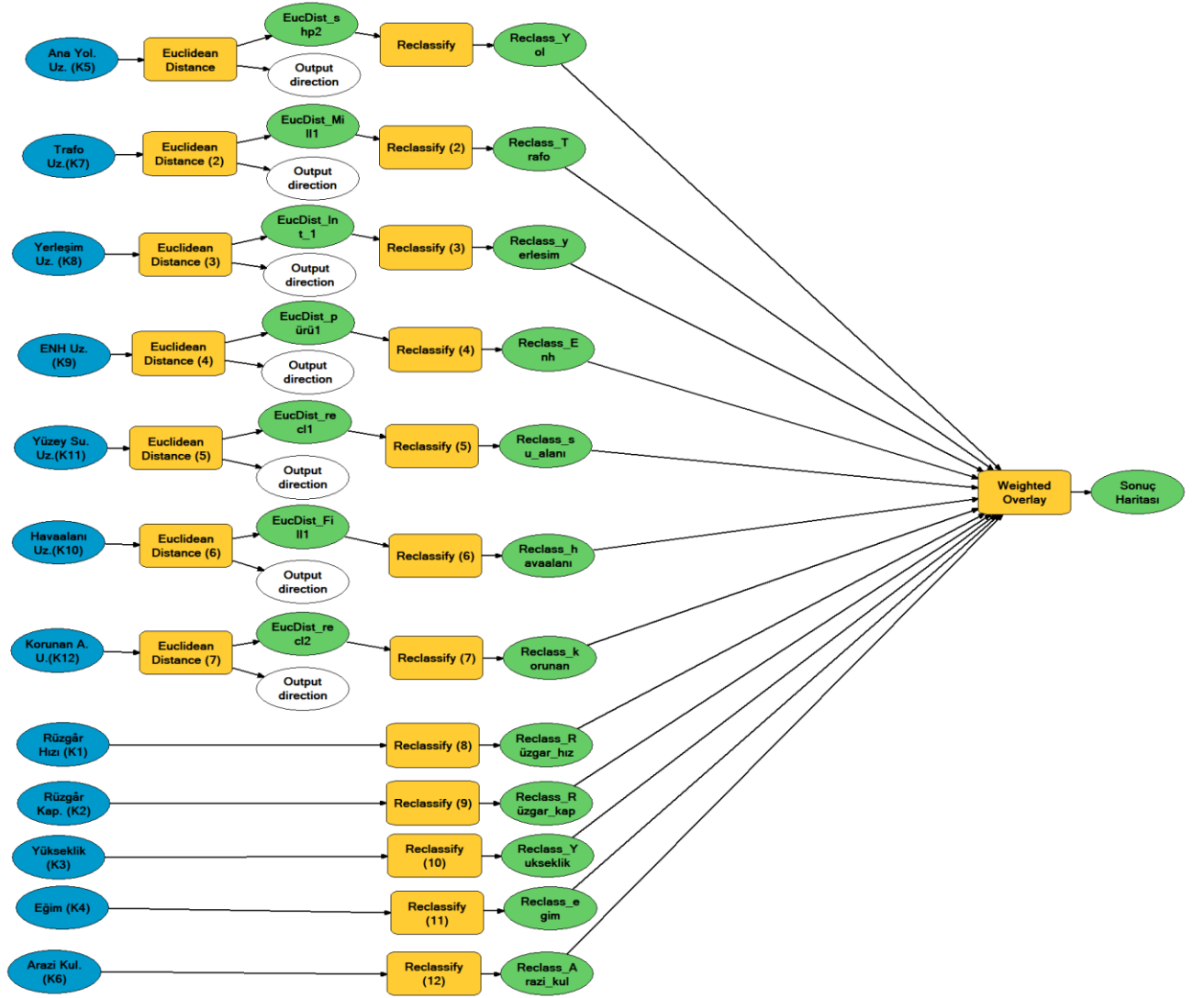
Tablo 3. Seçilen Değerlendirme Kriterlerinin Uygunluk Sınıfları ve Ağırlık

Kriterler	Birim	Ağırlıklar	Uygunluk sınıfları ve değer aralıkları					
			Çok uygun (1)	Uygun (2)	Orta derece uygun (3)	Az uygun (4)	Çok az uygun (5)	Uygun değil (0)
Rüzgâr Hızı (K1)	m / s	23	9 - 10	8- 9	7- 8	6.5- 7	-	3.5-6.5
Rüzgâr Kapasitesi (K2)	%	17	50- 60	40- 50	35- 40	25- 35	11-11.7	10- 25
Yükseklik (K3)	m	14	1100 -1750	1000-1100, 1750-2250	2250- 2750	-	-	0-1000, >2750
Eğim (K4)	%	6	0-5	5-10	10-13	13-16	16-20	>20
Ana Yola Uzaklık (K5)	m	4	100- 1000	1000- 1500	1500- 2500	2500- 3500	>3500	0-100
Arazi Kullanımı (K6)	-	11	Kayalık	Tarımsal alan	-	-	-	Yeşil alan, Yerleşim, Su
Trafo Merkezlerine Uzaklık (K7)	m	6	0- 1000	2500- 3500	5000- 10000	10000- 15000	15000- 25000	>25000
Yerleşim Merkezine Uzaklık (K8)	m	3	>5000	2000-2500	2000- 2500	1500- 2000	500- 1500	0- 500
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (K9)	-	6	0- 100	100- 500	500- 1000	1000- 2500	2500- 5000	>5000
Havaalanına Uzaklık (K10)	m	3	>3000	-	-	-	-	0-3000
Yüzey Sularına Uzaklık (K11)	m	3	>7500	5000- 7500	2500- 5000	1000- 2500	500- 1000	0- 500
Korunan Alanlara Uzaklık (K12)	m	4	>7500	5000- 7500	2500- 5000	1000- 2500	500- 1000	0- 500



Şekil 5. 12 Kriter İçin Yeniden Sınıflandırılmış Haritalar *.

* K1 Rüzgar hızı, K2 Rüzgar kapasitesi, K3 Yükseklik, K4 Eğim, K5 Anayola uzaklık, K6 Arazi kullanımını, K7 Trafo merkezine uzaklık, K8 Yerleşim merkezine uzaklık, K9 Enerji nakil hatlarına uzaklık, K10 Havaalanına Uzaklık, K11 Yüzeysel sularına uzaklık, K12 Korunan alanlara uzaklık.



Şekil 6. RES Yer Seçimi İşlemi İçin Hazırlanan Model

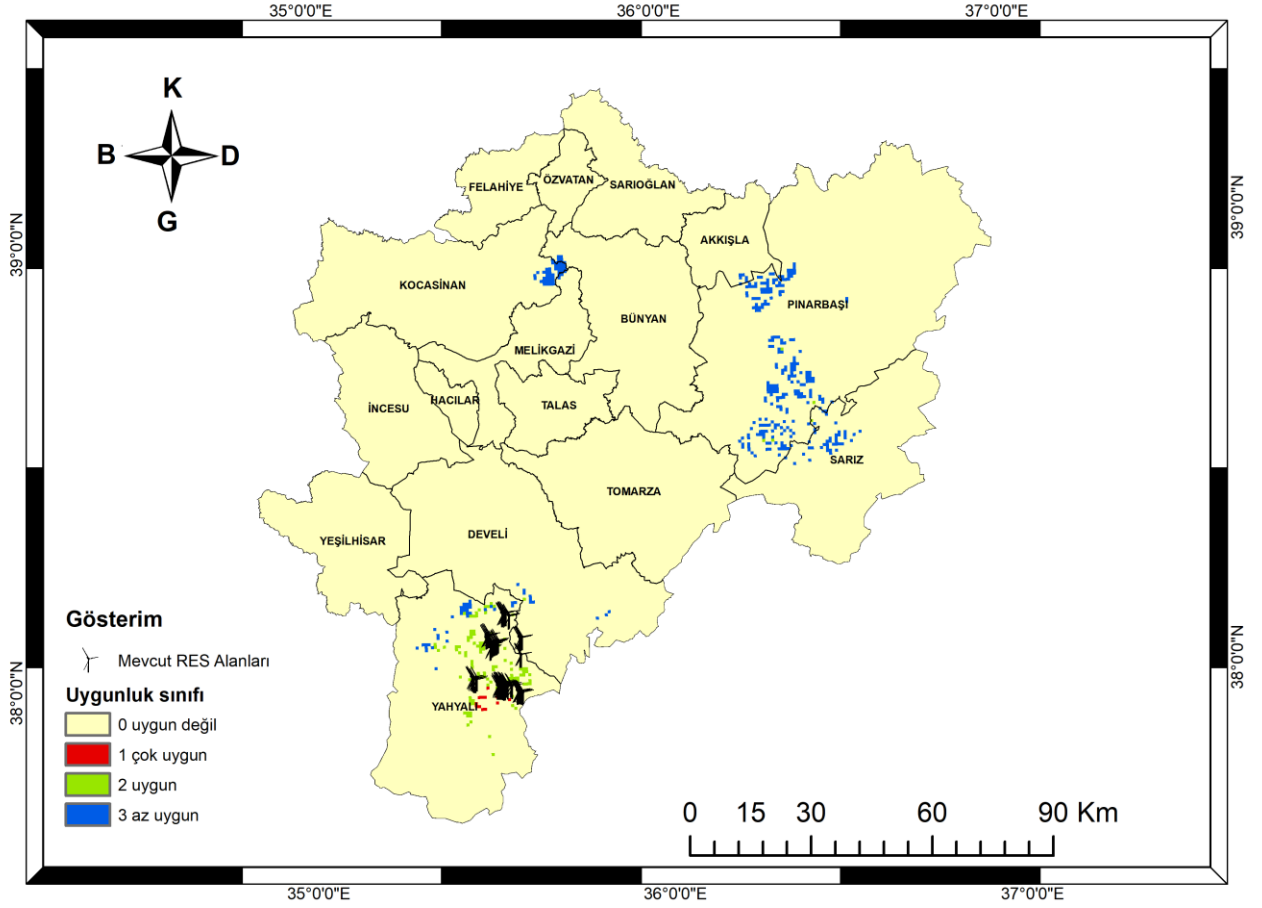
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada rüzgâr enerji santralleri için yer seçimi sürecinin hangi aşamalardan oluştuğu irdelenmiş, yer seçimi için belirlenen kriterlerin uygunluk haritaları elde edilmiş, AHP yöntemi kullanılarak bu kriterler ağırlıklandırılmış ve sonuçta Kayseri ili için RES alanı uygunluk haritası elde edilmiştir.

Nihai uygunluk haritası (Şekil7), gösterim kısmında gösterildiği gibi “0 uygun değil”, “1 çok uygun”, “2 uygun”, “3 az uygun” olarak dört sınıf olarak çıkmıştır. Bu haritadan bölgenin 0,652 km²'sinin yüksek derecede uygun olduğu, 0,892 km²'lik alanın rüzgâr santrali için orta derecede uygun olduğu, son olarak bölgenin 162 km²'lik

kısımının az uygun sınıfa düştüğü görülmüştür. Belirlenen kriterlere göre uygun olmayan alan, çalışma alanının 16852 km²'lik kısmını oluşturmakta olup, potansiyelin yüksek olduğu alanlar esas olarak şehrin güney ve doğu bölgelerinde bulunan ilçeleri Yahyalı ve Pınarbaşı'nda görülmüştür. Mevcut bulunan lisanslı santral yerleri veya henüz inşa halinde olan alanlar daha çok Yahyalı ilçesinde bulunmaktadır.

Çıkan sonuç haritası, mevcut durumda kullanımda olan rüzgâr santralleri konum verisi ile karşılaştırıldığında, santrallerin çalışmamızda belirlemiş olduğumuz uygun olmayan alanların dışında olduğu, hatta büyük bir bölümünün puanlandırmada en uygun olarak belirlenen sınıfa düştüğü görülmüştür.



Şekil 7. Kayseri İli RES Alanı Uygunluk Haritası

Bu sonuçlar çalışmada uygulanan AHP ve CBS analizleri ile yer seçimi metodunun makul ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Şekil 7). Ayrıca elde edilen potansiyel alanlar Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın çevresel, sosyo-kültürel ve ekonomik açıdan etkilerini inceleyecek olursak; korunan alanlar kriteri ile Kayseri ilindeki milli parklar santral yerleri için uygun olmayan sınıfa atanmış ve bu alanların korunması sağlanmıştır. Arazi kullanım kriteri ile verimli tarım alanları ve yeşil alanlar da yine uygun olmayan sınıfa atanarak bu alanların korunması sağlanmıştır. Irmak, nehir ve göl alanları da su alanlarına uzaklık kriteri dikkate alınarak analiz edilmiş ve bu alanlarında RES için uygun olmayan alanlar sınıfına alınarak korunması sağlanmıştır. Rüzgâr türbinlerinde oluşabilecek en önemli çevresel sorun gürültü olarak değerlendirilmektedir. Bu sebeple, rüzgâr enerjisi santralleri yerleşim yerinin olmadığı ya da yükselti farklılıklarından dolayı gürültünün çok az hissedildiği yerlere inşa edilmektedir. Çalışmamızda yerleşim yerlerine uzaklık kriteri göz önüne alınmış ve yerleşim bölgelerinden uzak alanlar uygun alan olarak seçilmiştir. Yapılan bu çalışma ile rüzgâr enerjisinden alınan verimin artması da ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlanmasını mümkün

kılacaktır. Sonuç olarak potansiyeli yüksek alanlara yapılan doğru yatırımlar sayesinde hem ekonomik hem çevresel hem de sosyo-ekonomik açıdan olumlu etkilerin olacağı öngörülmektedir.

Kayseri ili kapsamında rüzgâr enerjisi için var olan bu potansiyelin kullanılıp, en ekonomik en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile RES yer seçim sürecinde; doğru yatırımların yapılabilmesi, CBS ve AHP yardımıyla doğru alanların tespit edilmesi yönüyle literatüre katkı sağlamıştır. CBS ve AHP yöntemleri kullanılarak yapılan bu çalışma, benzer sahalarda aynı yöntemin kullanılabilirliğini göstermekte olup gelecekte kurulacak RES projeleri için yol gösterici olacaktır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince, veri paylaşımı konusunda desteklerinden dolayı Kayseri Büyükşehir Belediyesine teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- Atici, K. B., Simsek, A. B., Ulucan, A., & Tosun, M. U. (2015,). A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.
- Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S., Odigie, O., & Munda, J. L. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2

- fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*, 228, 1853-1869.
- Baban, S. M. J., Parry, T., (2001). Developing And Applying A GIS-Assisted Approach To Locating Wind Farms In The UK, *Renewable Energy*, 24, 59–71.
- Bennui, A., Rattanamane, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007). Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS. *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment*, (s. 561-566). Phuket:ICEE.
- Can, G., & Yücel, M. A. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. 25-27 Nisan, Ankara.
- Çildir, M., & Bayraç, H. (2017). AB Yenilenebilir Enerji Politikalarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Management Economics and Business*. 13. 10.17130/ijmeb.20171CMEB1735446.
- Haliloğlu, M., & Odabaş, M. S. (2018). Çok ölçütlü karar vermede ahp yöntemi. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 13-18.
- Heimiller, D. M., & Haymes, S. R. (2001). Geographic Information Systems in Support of Wind Energy Activities at NRE. *39th AIAA Aerospace Sciences Meeting Reno, Nevada*.
- Elektrikport,(2020) URL-4:. 25.06.2020 tarihinde Elektrikport.com Web Sayfası: (<https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/2019-yili-turkiye-elektrik-istatistikleri/22488#ad-image-0>) adresinden alındı.
- IEA Int Energy Agency (2017). Agency for Natural Resources and Energy. Key World Energy statistics.doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Latinopoulos, D., & Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, 78, 550-560.
- Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., & Kılıç, F. (2014). Rüzgar Türbini Kurulacak Alanların CBS Çok Ölçütlü Karar Analizi Kullanılarak Belirlenmesi Davutpaşa Kampüsü . *5. Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 14 Ekim 2014, s. 1. İstanbul.
- Messaoudi, D., Settou, N., Negrou, B., & Rahmouni, S. (2018). Site Selection Methodology For The Wind-Powered Hydrogen Refuelig Statin Based On AHP-GIS in Adrar, Algeria. *Energy Procedia*, 162, 67-76.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin (Res) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir Cbs Analizi: Hatay Örneği. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 1-18.
- Öztürk, D., & Kılıç, F. (2010). Konumsal karar verme problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Sadeghi, M., & Karimi, M. (2017). GIS-Based Solar and Wind Turbine Site Selection Using Multi-Criteria Analysis: Case Study Tehran, Iran. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.XLII-4/W4*. 469-476. 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-469-2017. Tahran.
- Said, S. M., Akil, Y. S., & Muzakir, M. H. (2019). GIS approach for wind power plant development in South Sulawesi, Indonesia: A location suitability analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2097.30085.10.1063/1.5098260.
- Şimşek, A. B. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgar Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- TEİAŞ. (2019). URL-3 05.04.2020 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri> adresinden alındı.
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı (2020). URL-5 05.04.2020 tarihinde <https://kayseri.ktb.gov.tr/TR-54966/cografi-yapi.html> adresinden alındı.
- TUREB. (2018). URL-2 14.05.2020 tarihinde https://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/03/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2018.pdf adresinden alındı.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Vaysman, Y., Surkov, A., Surkova, Y., Vlasov, A., & Kychkin, A. (2019). Methodology to Evaluate the Placement of Wind Turbine Based on GIS Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 317. 012001. 10.1088/1755-1315/317/1/012001.
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez, J., & Jijón, D. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286.
- YEGM. (2019). URL-1:. 28.02.2019 tarihinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Kayseri İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri: Web Sayfası: (<http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/KAYSERI-REPA.pdf>). adresinden alındı

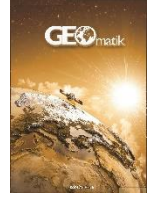




GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu – Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye)

Cengiz Zabcı*¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Jeoloji
Landsat-8
Sentinel-2
Doğu Anadolu Fayı

ÖZ

Jeoloji haritalarının yapımında, özellikle erişimi zor sahalar için son yıllarda çok bantlı uydu görüntülerinin kullanımı yaygınlık kazanmıştır. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak bu tarz görüntü alan uyduların sayısının yanı sıra, kaydettikleri görüntü kalitesinde de belirgin bir artış olmuştur. Bu çalışma, farklı uzay ajansları tarafından yörüngeye fırlatılarak işletilen Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A MSI uydularına ait uzay görüntülerinin Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan bir bölgenin jeolojisi için karşılaştırmasını içerir. Türkiye'nin en önemli deprem kuşaklarından Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) yer aldığı bu bölgede kayaç gruplarının hassas olarak belirlenmesi, fayın yakın ve uzun dönem davranışının anlaşılması açısından büyük öneme sahiptir. Her iki veri seti için uygulanan bant kombinasyonu, bant oranlaması, Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) ve Temel Bileşen Analizi (PCA) işlemleri sonucunda, veri setinden bağımsız olarak bant kombinasyonu ve MNF analizlerinin daha iyi sonuç verdiği görülür. Farklı uydu tiplerinden, jeoloji haritası ile karşılaştırıldıkları zaman, Sentinel 2'ye ait RGB bant kombinasyonu renk zenginliği ile öne çıkar. Açık erişime sahip olan bu uydu görüntülerinin kullanımının, özellikle erişimi zor alanlarda jeolojik harita yapma hassasiyetini arttıracak bir gerçektir. Bu veri kaynaklarından Sentinel 2A MSI uydusu hem bant zenginliği hem de göreceli yüksek çözünürlüğü ile ön plana çıkmaktadır.

Comparison of Landsat 8 OLI and Sentinel-2A MSI spaceborn datasets for geological mapping: a case study for the Palu – Hazar Gölü region along the East Anatolian Fault (Elazığ, Turkey)

Keywords

Remote sensing
Landsat-8
Sentinel-2
Geology
East Anatolian Fault

ABSTRACT

It is an increasing trend to use multi spectral satellite imagery in geological mapping, especially for remote regions. Moreover, the quality and quantity of such satellites have significantly increased parallel to the technological evolution. In the frame of this study, I use and compare multi spectral imagery of Landsat 8 OLI and Sentinel 2A MSI satellites for geological mapping of a region between Palu and Hazar Gölü (Elazığ). This region is also known to host one of the most important earthquake belts of Turkey, the East Anatolian Fault (EAF), thus, it is quite crucial to generate precise geological maps in order to document the long- and short-term kinematics of this fault zone. I processed both data sets by using RGB band combinations, bant ratio, Minimum Noise Fraction (MNF) and Principal Component Analysis (PCA) techniques. The RGB band combination and MNF provide the best results for both Landsat 8 and Sentinel 2 images. When I compare the results of both data sets, the RGB band combination of Sentinel 2 shows the richest image with respect to the geological map of the region. It is quite obvious that multi spectral imagery are powerful tools to increase the precision of geological maps, especially for remote regions. Sentinel 2A MSI imagery is an ideal source for geological mapping with their relatively high resolution and band quality.

*Sorumlu Yazar

{zabci@itu.edu.tr} ORCID ID 0000-0003-0814-0422

Kaynak Göster (APA)

Zabcı C (2021). Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu – Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye). Geomatik, 6(3), 238-246. DOI: 10.29128/geomatik.776280

1. GİRİŞ

Jeolojinin çok disiplinli yapısında, maden aramalarından aktif fay araştırmalarına kadar pek çok farklı çalışmada, jeoloji haritalarının üretilmesi en temel gereklerden biridir. Günümüzde bir jeoloji haritasının yapılmasında en etkili yöntem halen saha çalışmalarıdır. Ancak, son yıllarda coğrafi olarak engebeli ve/veya ulaşımı zor bölgelerde jeoloji haritalarının üretilmesinde çok bantlı uydu görüntülerinin kullanılması yaygınlık kazanmaktadır (ör: Goetz ve Rowan, 1981, Khalifa ve ark., 2020, Peña and Abdelsalam, 2006, Richetti, 2000, Rigol ve Chica-Olmo, 1998, van der Meer ve ark., 2012, Zumsprekel ve Prinz, 2000). Bu görüntülerin sahip olduğu farklı dalga boylarında çok sayıda bantın uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak işlenmesi sonucu sadece jeolojik birimlerin değil, aynı zamanda bitki örtüsü dağılımı, tarım alanlarının yayılımı ve diğer benzeri haritalama çalışmalarını yapmak mümkündür (ör: Akar ve Tunç Görmüş, 2019, Apaydın ve Abdikan, 2021, Dilekçi ve ark., 2021, Doğru ve Yücel, 2017, Erdem ve ark., 2018, Erener ve Sarp, 2017, Karip ve Göksel, 2017, Köküm, 2019, Tunay ve Ateşoğlu, 2008). Landsat uydu ailesi (NASA/USGS) ve ASTER (NASA/Japonya Ekonomi Bakanlığı/Japonya Uzay Sistemleri) ürünlerinin yaygınca kullanıldığı bu tip uygulamalara, özellikle son yıllarda Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) dünya yörüngesine kazandırdığı Sentinel-2 uydusu ile elde edilen görüntülere dayalı çalışmalar da eklenmiştir (Costa ve ark., 2017, Fal ve ark., 2019, Salehi ve ark., 2019, van der Meer ve ark., 2014, van der Werff ve van der Meer, 2015, van der Werff ve van der Meer, 2016).

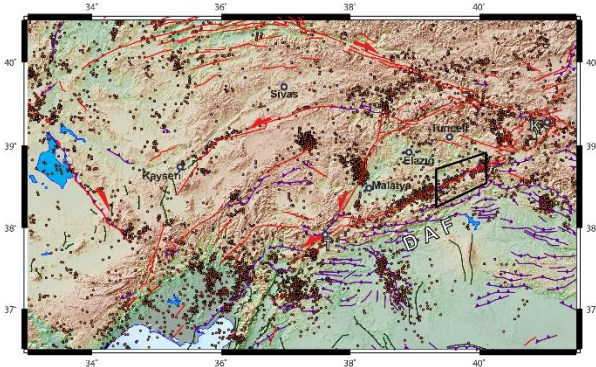
Bu çalışma, yörüngeye fırlatıldığı 11 Şubat 2013 tarihinden bugüne çok sayıda farklı uygulamada karşımıza çıkan Landsat 8 OLI ile 23 Haziran 2015 tarihinden beri çok bantlı görüntü sağlayan Sentinel-2A MSI uydularına ait verilerin jeolojik haritalama amacıyla karşılaştırmasını içerir. Karşılaştırma yapılacak yer olarak Palu-Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan bölge seçilmiştir. Bunun ana sebebi, inceleme alanı içerisinde Türkiye'nin en önemli deprem kuşaklarından Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) yer alması ve bu bölgede kayaç gruplarının DAF'ın yakın ve uzun dönem davranışının anlaşılması açısından büyük öneme sahip olması yüzündendir. Bu amaçla, aynı zaman dilimine (Ağustos 2019) ve hemen hemen aynı mekânsal kapsama sahip birer çerçeve Landsat 8 OLI ve Sentinel-2 görüntüsü aşağıda ayrıntıları anlatılan uzaktan algılama yöntemleri ile işlenmiş ve bölgenin bilinen jeoloji haritaları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları sadece Palu ve Hazar Gölü arasında kalan sınırlı bölge için değil, benzer morfojenetik bölgelerde litolojik birimlerin mekânsal dağılımının haritalanmasında karşılaştırmalı bir yöntemin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. DOĞU ANADOLU FAYI'NIN HAZAR-PALU ARASINDAKİ KESİMİ VE BÖLGE JEOLJİSİ

Avrasya, Afrika ve Arabistan levhalarının birbirlerine göre gerçekleştirdikleri yakınlaşma hareketi, daha küçük olan Anadolu Bloğu'nun Avrasya Levhası'na göre batı yönüne doğru kaçmasına sebep olmuştur (McKenzie, 1972, Reilinger ve ark., 2006, Şengör ve ark., 1985,). Bu kaçma hareketi, Anadolu Bloğu'nun kuzey sınırında Kuzey Anadolu Fayı, doğu-güneydoğu sınırında ise Doğu Anadolu Fayı boyunca gerçekleşir (Barka ve Reilinger, 1997, Şengör, 1980, Şengör ve ark., 1985).

Türkiye'nin en önemli deprem kuşaklarından birini oluşturan Doğu Anadolu Fayı (DAF), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl), güneybatıda ise Türkoğlu (Kahramanmaraş) arasında yaklaşık 450 km uzunluğa sahip sol yanal doğrultu atımlı karakterde bir tektonik yapıdır (Dewey ve ark., 1986, Gülen ve ark., 1987). DAF'ın güneybatı yönünde İskenderun Körfezi'ne kadar uzandığı yönünde görüşler de mevcuttur (ör: Herece, 2008, Yönlü ve ark., 2017). Farklı geometrik ve kinematik özelliklere sahip fay parçalarından oluşan DAF, en son 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice (Elazığ) depremi ile bölge için ne denli bir doğal tehlike unsuru olduğunu bizlere bir kez daha hatırlatmıştır.

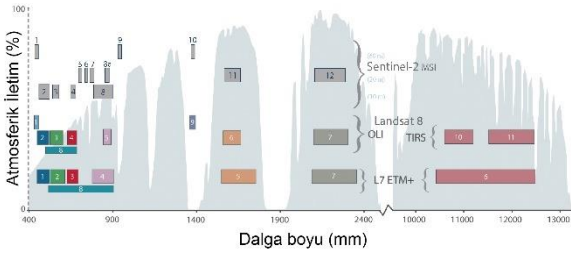
Bu çalışmanın odaklandığı bölge, Duman ve Emre (2013)'nin sınıflandırmasına göre DAF'ın Palu Segmenti üzerinde, Palu İlçesi ile Hazar Gölü arasında kalan alan üzerindedir (Şekil 1). Bu bölge için saha çalışması tabanlı hazırlanmış jeoloji haritalarında en altta ağırlıklı olarak Palaeozoyik-Mesozoyik zamana ait metamorfik kayaçlar görülür. Genel olarak şistler, mermerler ve metavolkaniklerden oluşan bu grubun üzerinde, Mesozoyik'te Neotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkili olarak oluşan (Şengör ve ark., 2019) ve ofiyolit stratigrafisinin farklı kesimlerine karşılık gelen gabro, bazalt ve peridotit gibi mafik-ultramafik kayaç toplulukları yer alır. Bu birimlerin arasında yer alan sedimanter topluluklar ofiyolit stratigrafisinin en üst kesimlerine aittir. Neotetis Okyanusu'nun kapanmasını takiben oluşan Senozoyik seri Eosen zamanında kırıntılı ve karbonatlı kayaçların yanı sıra volkanik serilerle temsil edilirken, Eosen - Miyosen zaman aralığı denizel-sığ denizel ve karasal ortamda oluşan karbonatlı ve kırıntı kayaçları içerir. Bütün bu birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı farklı flüvyal fasiyeslerde oluşmuş kırıntılı çökel paketleri ile uyumsuz bir şekilde örtülür (Herece, 2008, Kesin, 2011a, Keskin, 2011b, Sümengen, 2011a, Sümengen, 2011b). Bu birimlerin birbirlerinden ayırt edilmesi, özellikle ofiyolitik kayaçların fay davranışı üzerinde (ör: asismik kayma hareketini tetikleme gibi) bilinen etkisi açısından (Kaduri ve ark., 2017) ve bölgenin deprem tehlikesinin ortaya konmasında büyük öneme sahiptir.



Şekil 1. Orta-Doğu Türkiye'nin neotektonik fayları (Şengör ve Zabcı, 2019) ve aletsel dönem depremleri (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2020). Türkiye'nin en önemli deprem kuşaklarından birini oluşturan Doğu Anadolu Fayı (DAF), kuzeydoğuda Karlıova (K) ile güneydoğuda Türkoğlu (T) arasında yaklaşık 450 km uzunluğa sahiptir. Bu çalışmanın coğrafi kapsamı siyah dörtgenle gösterilmiştir

3. MATERYALLER VE YÖNTEM

Landsat 8 OLI ve Santinel-2A MSI, sırasıyla 2013 ve 2015 yıllarından itibaren yörünge yolculukları boyunca düzenli çok bantlı görüntü verisi sağlayan uydulardır. İki uydu birlikte değerlendirildiğinde, her 3 günde bir küresel ölçekte veri alımı gerçekleştirir (van der Werff ve van der Meer, 2016). Bu uyduların, alıcı özellikleri karşılaştırıldığında, Landsat 8'in farklı dalga boylarında toplam 11, Sentinel-2'nin ise 13 adet bant içerdiği görülür (Şekil 2).

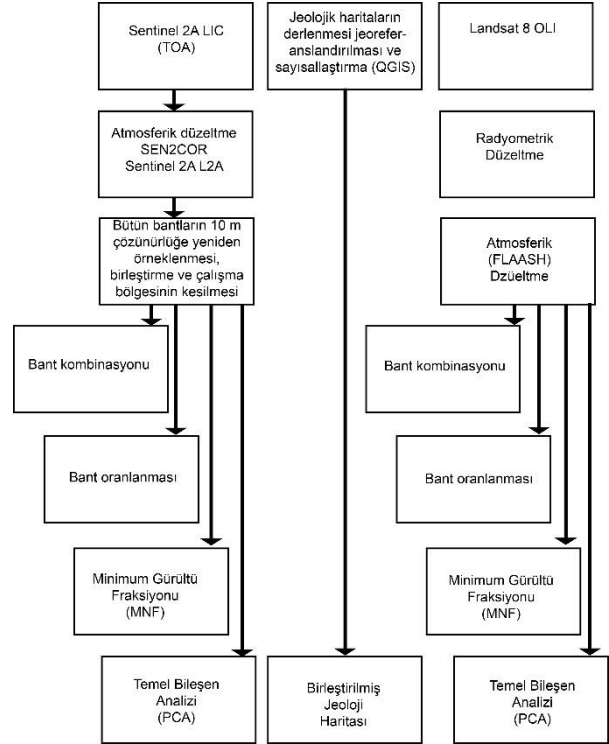


Şekil 2. Sentinel-2 ve Landsat 7-8 uydularının sahip olduğu bantların eni, dalga konumları ve sayılarının karşılaştırma grafiği. USGS'den Türkçeleştirilerek alınmıştır

Jeolojik birimlerin ayırt edilmesinde iki farklı uydu görüntüsünün karşılaştırılmasını hedefleyen bu çalışma çerçevesinde, atmosfer koşulları ve bitki örtüsünün birbirlerine en yakın durumda olduğu mümkün olduğunca benzer zaman dilimlerine ait çerçevelerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Bu doğrultuda Landsat 8 OLI için 8 Ağustos 2019, Sentinel 2A MSI içinse 16 Ağustos 2019 tarihinde alınan veriler işlenmiştir.

Açık erişimli Birleşik Devletleri Jeoloji Kurumu (USGS) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) sunucularından ücretsiz olarak tedarik edilen bu görüntülerin

işlenmesinde; Landsat 8 için sadece ENVI 5.3, Sentinel-2 için ise aynı yazılıma ek olarak gene ESA tarafından geliştirilen SNAP programı kullanılmıştır. Bütün işlemler sonucunda elde edilen görüntülerin düzenlenmesi, derleme jeoloji haritasının çizilmesi ve şekillerin son hali QGIS ile gerçekleştirilmiştir. Bütün bu işlemlerin özetini içeren akış şeması Şekil 3'te görülebilir.



Şekil 3. Bu çalışmada uygulanan yöntemler için izlenen akış şeması

3.1. Ön İşleme

Ham Sentinel 2A MSI görüntüsünün atmosfer üstü (TOA) haline ait granüller, SNAP yazılımına eklenti olarak çalışan SEN2COR paketi kullanılarak geometrik ve atmosferik düzeltmeden geçirilmiş ve L2A veri seti üretilmiştir. Bu yeni veri setinde 20 m çözünürlüğündeki bantlar (5, 6, 7, 8a, 11 ve 12) en yakın komşu yöntemi ile 10 m piksel çözünürlüğüne yeniden örnekleştirilmiştir. Yeni Sentinel 2 L2A veri seti, bütün bantları ile birlikte ENVI 5.3 ile işlenmek üzere Geotiff olarak dışa aktarılmıştır. Benzer şekilde Landsat 8 OLI çerçevesi, ENVI 5.3 yazılım paketinin sahip olduğu araçlar ile önce geometrik ve radyometrik, daha sonra da FLAASH (Hızlı görüş hattı hiper küplerinin atmosferik analizi) atmosfer düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. En son aşamada hem Sentinel 2 hem de Landsat 8 veri setleri, inceleme alanı olarak DAF boyunca belirlenen ortak dörtgen kullanılarak kesilmiş ve işlem aşamasına hazır hale getirilmiştir.

Uydu görüntülerinin ön işleme ek olarak, kâğıt baskı halinde 1:100000 ölçekli jeoloji haritaları taranarak sayısallaştırılmış ve daha sonra jeoreferanslandırma işleminden geçirilmiştir. Dört farklı jeoloji haritası kullanıldığı bu işlem sonrası,

Palu ve Hazar Gölü arasında, belirli bir çerçeve içerisinde jeoloji formasyonları QGIS kullanılarak VEKTÖR'leştirilmiştir. Bu vektör dosyası için bir öznetelik tablosu hazırlanmış ve buna birim sembolleri ve adları gibi temel bilgiler girilmiştir.

3.2. İşleme

Ön işlem süreci sonunda geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltmeden geçirilen Landsat 8 ve Sentinel 2 veri setleri, farklı jeoloji formasyonlarının görselleştirilmesi amacıyla sırasıyla ENVI 5.3 yazılım paketinin araçları arasında bulunan bant kombinasyonu, bant oranları, Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) ve Temel Bileşen Analizi işlemlerinden geçirilmiştir. Bu işlemlerin nasıl gerçekleştirildiği her bir veri seti için aşağıda alt başlıklar altında kısaca anlatılmıştır.

3.2.1. Bant Kombinasyonları

Çok bantlı uydu görüntülerinde farklı bantların RGB kombinasyonları bilinen en temel görüntü zenginleştirme araçlarından biridir (ör: Loughlin and Tawfiq, 1985, Novak ve Soulakellis, 2000, Rothery, 1987). Özellikle Landsat uydu verileri ile ilgili yapılan uygulamalarda çok sayıda standart bant kombinasyonu, amaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Chavez ve ark. (1982) tarafından geliştirilen, en yüksek bilgi ve en düşük tekrarlama içeren bantların tespit edilmesine dayalı Optimum İndeks Faktörü (OIF) kullanılmıştır. OIF'de optimum bant kombinasyonu, bantların standart sapması ve bantlar arası korelasyon katsayısına göre belirlenmektedir. Buna göre genellikle en çok bilgi içeren bantlar en düşük korelasyona ve büyük spektral çeşitliliğe sahip olanlardır. Bantların bütün üçlü kombinasyonları içerisinde en optimum olanı, en yüksek toplam standart sapmaya ek olarak en düşük duplikasyon miktarına sahip olan bantlardan oluşur.

Bu çalışmada akademik kullanımı serbest olan ILWIS yazılımı ile sırasıyla; (a) olası bütün bant kombinasyonlarının belirlenmesi, (b) aşağıda belirtilen denklem (1) kullanılarak her kombinasyon için OIF'nin hesaplanması ve (c) bütün RGB kombinasyonlarının OIF değerlerine göre sıralanmasını içeren otomatik adımlar uygulanmıştır.

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs(r_j)} \quad (1)$$

Bu denklemde S_k , k bantı için standart sapmayı, r_j ise korelasyon katsayısı için mutlak değeri temsil eder.

En yüksek OIF'in genelde en bilgi verici bant kombinasyonu olduğu kabul edilir. Buna göre, Landsat 8 veri seti için elde edilen en yüksek OIF değerine sahip bant kombinasyonu sırasıyla 7, 5 ve 1 (SWIR 2, Yakın kızıl ötesi ve kıyı aerosol) iken,

Sentinel 2 için 8a, 10 ve 2 (Dar yakın kızıl ötesi, SWIR ve Mavi) olarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Bant oranları

Bant oranı, bir bantın sahip olduğu sayısal değer diğer bir banta ait değere oranlanması sonucu elde edilir. Bu teknik özellikle ham bantların görüntü zenginleştirmesinde yeterli kalmadığı durumlarda işe yarar (ör: Inzana ve ark., 2003, Mars ve Rowan, 2011, Rockwell ve Hofstra, 2008).

Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntüleri ayrı veri setleri olarak değerlendirilip, farklı bant oranlarına tabi tutulmuşlardır. Buna göre, Landsat 8 için 4/3, 6/2 ve 7/4 (Kırmızı/Yeşil, SWIR 1/Mavi ve SWIR 2/Kırmızı), Sentinel 2 için ise van der Werff ve van der Meer (2016) tarafından önerilen 11/12, 4/2, 4/11 oranları ile zenginleştirme işlemi yapılmıştır.

3.2.3. Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF)

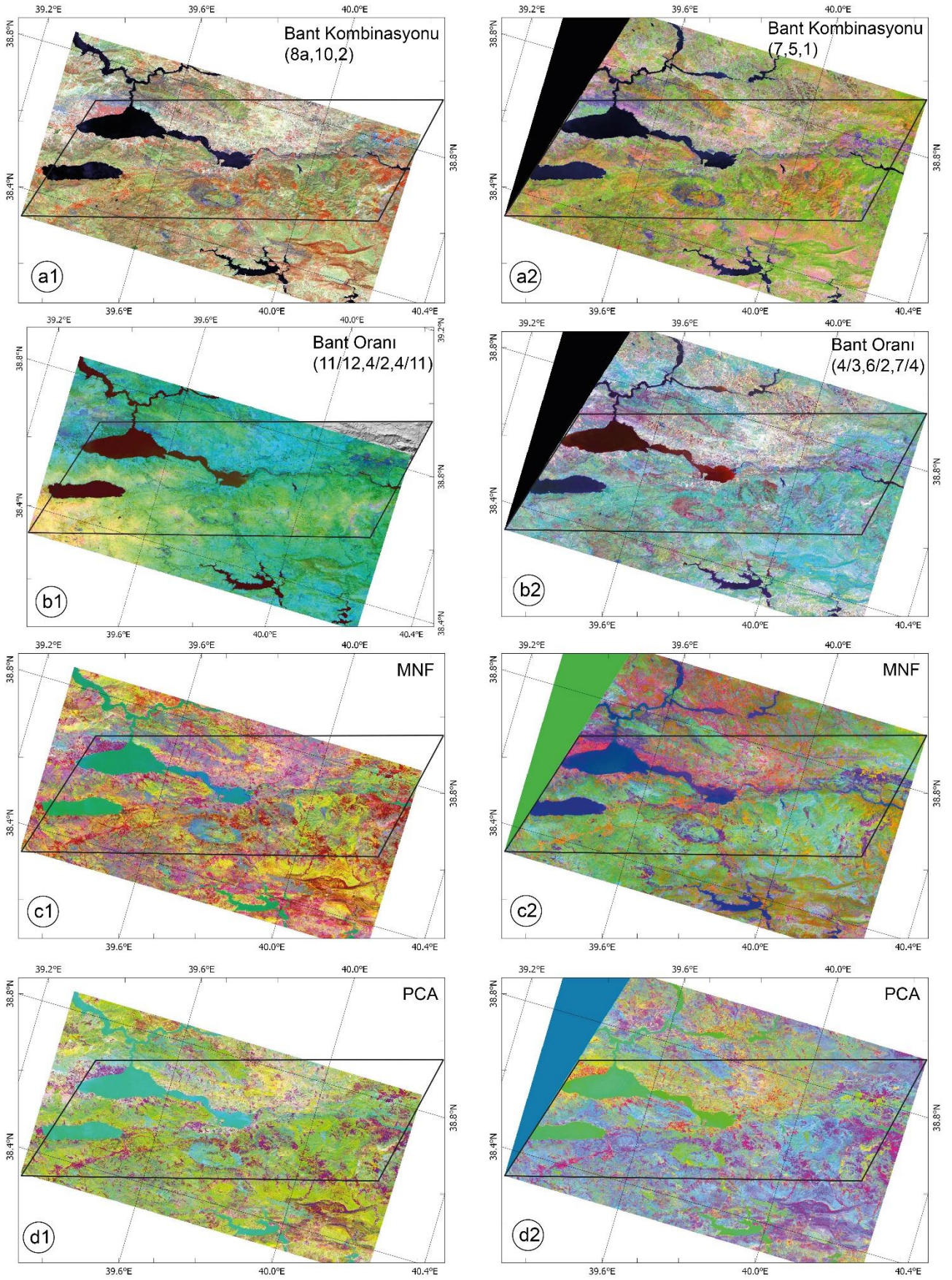
Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) çok sayıda banttan oluşan bir görüntüde, en çok bilgi taşıyanların belirlenmesi için kullanılan etkili bir transformasyon aracıdır. Bu teknik temelde, Green ve ark. (1988)'in art arda bağlanmış iki Temel Bileşen Analizi (PCA) transformasyonuna dayanır. İlk olarak gürültü kovaryans matrisinin kestirimine dayalı transformasyon uygulaması ile veride korelasyon kaldırılarak, gürültü yeniden ölçeklendirilir. İkinci aşamada ise standart PCA transformasyonu ile gürültü azaltılır. Bu çalışma kapsamında Landsat 8 ve Sentinel 2 veri setleri, ENVI yazılımının standart MNF aracıyla işlenerek sonuç elde edilmiştir.

3.2.4. Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel Bileşen Analizi (PCA), çok bantlı görüntülerde değişiklikleri yeniden düzenleyerek yeni görüntü bantlarından oluşan bir veri setinin üretilmesini sağlayan transformasyon tekniğidir. Bu çalışmada kullanılan ENVI yazılımı PCA transformasyonu için sırasıyla; (a) Girilen görüntüde kovaryans ve korelasyon matrislerinin hesaplanması, (b) Kovaryans ve korelasyon matrisleri kullanılarak öz değer vektörlerinin hesaplanması, (c) Girilen görüntülerden bant ortalamalarının çıkartılması ve (d) Richards (1999)'un yaklaşımı kullanılarak ortalamalar ile düzeltilmiş şekillerin dönüştürülmesi işlemlerini içerir. ENVI 5.3 ile otomatik olarak gerçekleştirilen bu işlem, ayrı ayrı Landsat8 ve Sentinel 2 veri setlerine uygulanmıştır.

4. BULGULAR

Dört farklı yöntem kullanılarak işlenen Landsat 8 ve Sentinel 2 veri setlerinden elde edilen sonuçlar, karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te sunulmuştur.

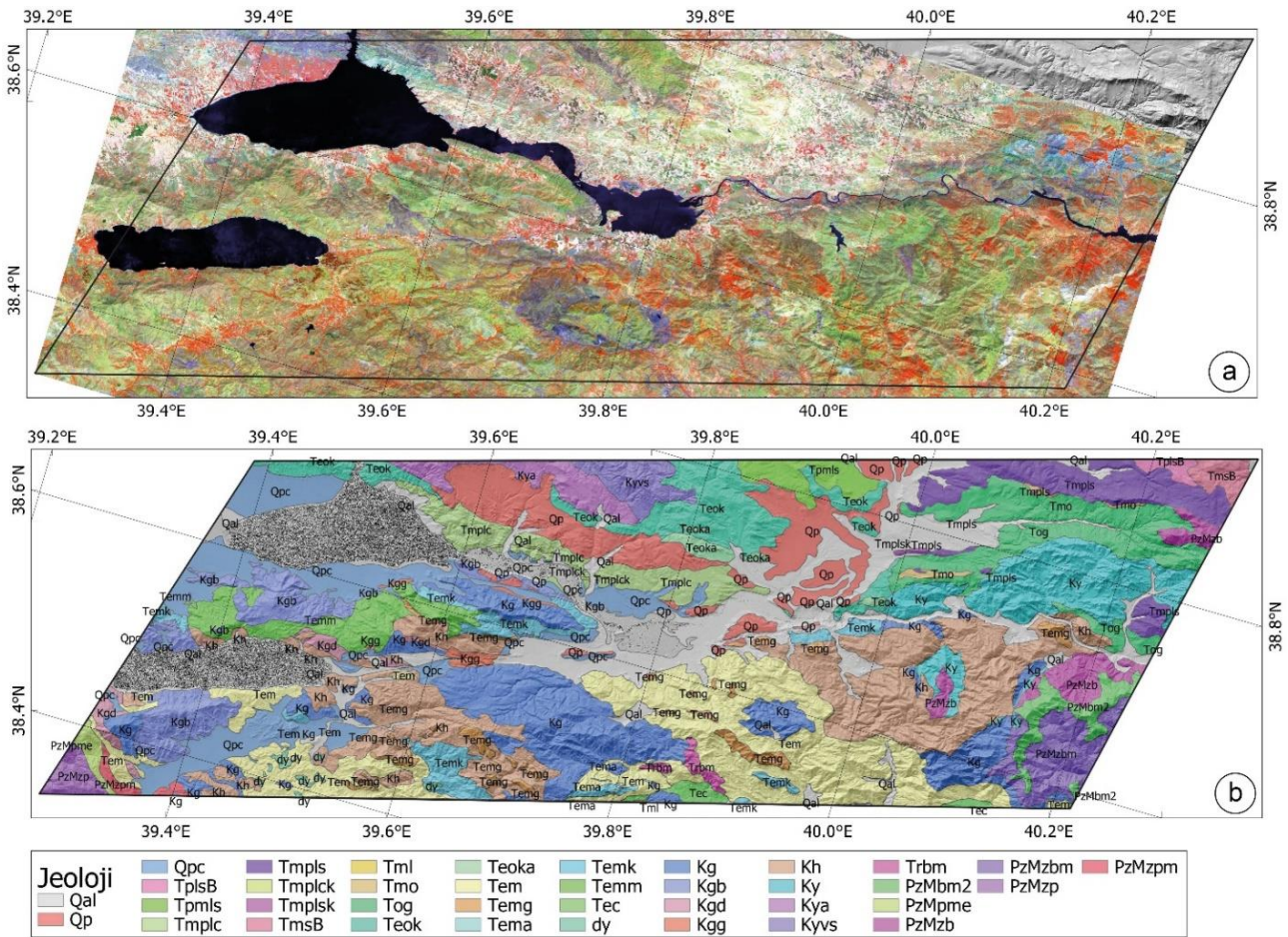


Şekil 4. Sentinel 2 MSI ve Landsat 8 OLI veri setlerinin farklı teknikler kullanılarak elde edilen sonuçlar. Sol sütun Sentinel -2, sağ sütun ise Landsat 8 veri setine dayalı sonuçları gösterir. Her teknik için kullanılan özel bant numaraları şekillerin üzerinde belirtilirken (Bant kombinasyonu ve bant oranı için), siyah çerçeve incelenen alanı temsil eder: **(a)** Bant kombinasyonu, **(b)** Bant oranı, **(c)** Ortalama Gürültü Fraksiyonu, **(d)** Temel Bileşen Analizi

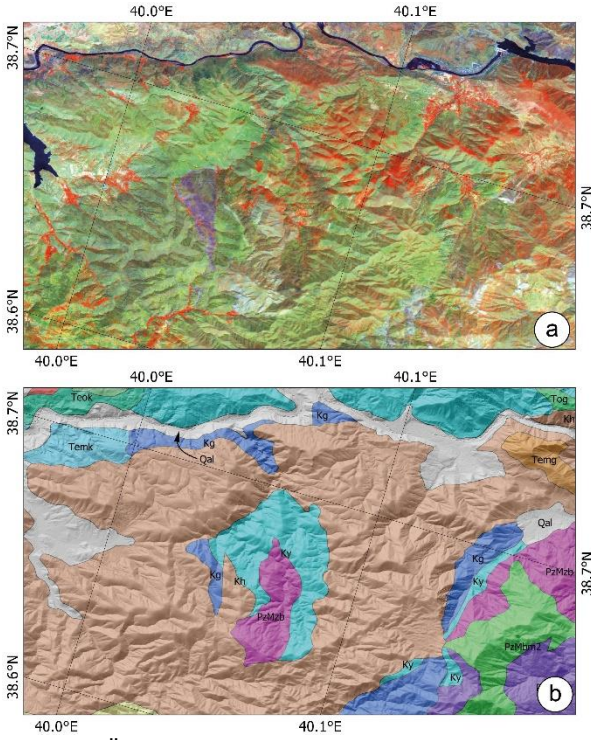
Elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, hangi uyduya ait görüntü kullanılırsa kullanılsın, Bant kombinasyonu ve MNF sonuçlarının çok daha zengin sonuçlar verdiği görülür (Şekil 4a ve c). Farklı veri setleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, Sentinel 2'nin Landsat 8 sonuçlarına göre hem bant kombinasyonunda hem de MNF'de yüksek kontrastı ile öne çıkar. Ancak Landsat 8 veri seti bant oranı ve PCA görüntülerinde belirgin bir şekilde daha çok renk sunar. Sentinel-2 veri setinin münferit kullanım alanlarında farklı bant oranlarının tercih edilmesi durumunda daha zengin sonuçlar elde edilmesi büyük olasılığa sahiptir.

Şekil 4a1'de gösterilen ve Sentinel 2 uydusunun sırasıyla 8a, 10 ve 2 bantlarının RGB kombinasyonu ile elde edilen görüntü, derlenen jeoloji haritası göz önünde bulundurulduğu zaman en zengin sonuç olarak öne çıkar (Şekil 5). Bu görüntüde, düzensiz bir şekilde saçılmış kırmızı-kırmızısı turuncu (RGB 228/71/29) renkli alanlar sınırlı mekânda yayılıma sahip zayıf orman örtüsünü gösterirken, genelde dörtgen poligonlar halinde pembe/kırmızı (232, 65, 65 ve 222/227/244) ve açık yeşil (181/218/195) kolajından oluşan kesimler alüvyon üzerindeki tarım alanlarını gösterir. Bunların dışında kalan

kesimlerde ise özellikle yeşil ve mavi'nin tonları farklı litolojik birimleri temsil etmektedir. Örneğin, mor (112/116/178) ve tonları Guleman Ofiyoliti'nin (Şekil 5'te Kg) mafik ve ultramafik kayalarını gösterirken, çalışma alanının doğu-kuzeydoğusunda açık mavi renk (150/193/227) gösteren alan Kırkgeçit Formasyonu'nun (Teok) karbonatlı kayalarına karşılık gelir. Hatta bu ve diğer karakteristik renk tonlarının dağılımı göz önünde bulundurulduğu zaman, jeoloji haritasının arazi ulaşımı güç kesimlerinden bir kısmının daha ayrıntılı haritalanabileceği görülür. Bu bağlamda Şekil 5a ve 5b ayrı ayrı incelendiği zaman, Guleman Ofiyoliti (Kg) olarak 39.8°D boylamında, 38.4°K ve 38.5°K enlemleri arasında oldukça geniş bir alanı kapsadığını, ama Sentinel 2 bant kombinasyonunda bu kesimin farklı renklere sahip litolojilerle temsil edildiği dikkati çeker. Benzer şekilde farklı renklerin yarattığı kontrast, birim sınırlarının daha hassas çizilmesi için ideal bir araç özelliği görür. Özel olarak seçilen bir alt alan bu perspektifte incelendiği zaman, özellikle Kg biriminin Sentinel 2 bant kombinasyonu üzerinde belirgin mor rengi sayesinde, komşu jeolojik birimlerle sahip olduğu sınırların daha ayrıntılı çizilebileceği açıktır (Şekil 6).



Şekil 5. (a) İşlenen veri setleri arasında inceleme alanı jeolojisi açısından en zengin görüntüyü sunan Sentinel 2 RGB bant kombinasyonu ve **(b)** Bölgenin saha çalışmalarına dayalı olarak üretilen derleme jeoloji haritası (Herece, 2008, Kesin, 2011a, Keskin, 2011b, Sümengen, 2011a, Sümengen, 2011b). Jeolojik birimler, bu çalışma açısından önem taşımadığı için sadece sembollerle gösterilirken, birim renkleri için jeoloji zaman çizelgesi kullanılmamıştır



Şekil 6. Özel seçilmiş bir alt alanın (a) Sentinel 2 bant kombinasyonu ve (b) saha çalışmalarına dayalı jeoloji haritaları. Mor rengi ile dikkati çeken Kg biriminin sınırlarının Sentinel 2 görüntüsü üzerinde çok daha belirgin olup diğer jeolojik birimlerle sahip olduğu sınırın daha ayrıntılı çizilebileceği açıkltır

5. SONUÇLAR

Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında özel olarak seçilen çalışma alanı için ayrı ayrı Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A MSI uydu görüntüleri kullanılarak bölgenin jeolojik birimlerinin dağılımı çalışılmıştır. RGB bant kombinasyonu, bant oranı, Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) ve Temel Bileşen Analizi (PCA) işlemlerinin arasından en iyi sonuçları uydu kökeninden bağımsız olarak bant kombinasyonu ve MNF yöntemleri vermiştir. İki uydu veri seti karşılaştırıldığında Sentinel 2, renk kontrastı ve mevcut jeoloji haritasıyla gösterdiği uyumla öne çıkar.

En iyi sonucu veren Sentinel 2 RGB bant kombinasyonuna göre, bölgede seyrek ormanlık alanlar kırmızı renkle belirgindir. Genelde farklı ofiyolit seviyelerinden oluşan jeolojik birimler, renk kontrastları ile açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle çalışma alanının yüksek rölyefli kesimlerinde, jeolojik birim sınırlarının bu veri seti kullanılarak daha ayrıntılı çizilebileceği görülür.

Elde edilen diğer bir sonuç ise, bölgenin deprem kaynağı olan Doğu Anadolu Fayı ve yersel kayaç gruplarının ilişkisidir. Bölgede gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi – GNSS ve Interferometrik Yapay Açıklıklı Radar – InSAR), fayın bu kesiminin neredeyse bütün tektonik yüklemeyi asismik krip hareketi ile karşıladığını göstermektedir (Çakır ve ark., 2018, Çetin ve ark., 2016, Doğan ve ark., 2019, Ergintav ve ark., 2017). Dünyanın farklı yerlerinde yapılan

çalışmalar sonucu, bu asismik krip hareketinin özellikle ofiyolitik kayaçların ağırlıkta olduğu kesimlerde gerçekleştiği bilinen bir gerçektir (ör: Kaduri ve ark., 2017). Sentinel 2 bant kombinasyonunda mor renkle belirlenen ve Guleman ofiyolitini temsil eden alanların, krip hareketinin en belirgin görüldüğü Palu – Hazar Gölü kesiminde, DAF boyunca yayılım göstermesi, kayaç toplulukları ile bu asismik davranış biçiminin mekânsal dağılımı arasında önemli bir bulgudur.

Özetle açık erişime sahip çok bantlı uydu görüntülerinin giderek yaygınlaşan kullanımları, jeoloji haritalarının üretilmesi ve revizyonunda önemli bir yere sahiptir. Özellikle erişimi zor uzak yerlerde, olası olarak çizilmiş sınırların düzeltilmesi/hassasiyetinin artırılması için bu veri gruplarından faydalanılabilir. Bu çalışmada karşılaştırılarak kullanılan veri setleri arasında Sentinel 2 görüntüsü, göreceli yüksek çözünürlüğü ve sağladığı zengin bant kombinasyonu ile öne çıkarak benzer morfojenetik bölgeler için potansiyel taşıdığını göstermiştir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 118Y429 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Birinci şekil, açık kaynak kodlu bir yazılım olan 'Generic Mapping Tools' kullanılarak hazırlanmıştır (Wessel ve ark., 2013).

KAYNAKÇA

- Akar, Ö ve Tunç Görmüş, E. (2019). Göktürk-2 ve Hyperion EO-1 uydu görüntülerinden rastgele orman sınıflandırıcı ile arazi kullanım haritalarının üretilmesi, *Geomatik Dergisi*, 4(1), 68-81.
- Apaydın, C. ve Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi, *Geomatik Dergisi*, 6(2), 107-114.
- Barka, A.A. ve Reilinger, R. (1997). Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Ann. di Geofis.* XL, 587-610.
- Chavez, P., Berlin, G. L. ve Sowers, L. B. (1982). Statistical method for selecting Landsat MSS, *Journal Appl. Photogt. Eng.*, 8, 23-30.
- Costa, S., Santos, V., Melo, D. ve Santos, P. (2017). Evaluation of Landsat 8 and Sentinel-2A data on the correlation between geological mapping and NDVI, *First International Symposium on Geoscience and Remote Sensing*, 15-16 Haziran 2017, Valdivia, Şili.
- Çakır, Z., Ergintav, S., Çetin, S., Şentürk, S., Özdemir, A., Doğan, U., Karabulut, H., Şaroğlu, F., Dikmen, U., Bilham, R. G., Julaiti, W. ve Özener, H. (2018). Surface creep along the East Anatolian Fault, *American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, Abstract #T51J-0332*

- Çetin, S., Ergintav, S., Doğan, U., Çakır, Z., Şentürk, S., Karabulut, H., Şaroğlu, F., Julaiti, W. ve Özener, H. (2016). Investigation of the Creep Along the Hazar - Palu Section of the East Anatolian Fault (Turkey) Using InSAR and GPS Observations, EGU General Assembly 2016, 17-22 Nisan, 2016, Viyana Avusturya, EPSC2016-3938.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia -- a young collision zone. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 19, 1-36.
- Dilekçi, S., Marangoz A., M. Ve Ateşoğlu, A., 2021, Zonguldak ve Ereğli orman işletme müdürlükleri orman yangını risk alanlarının belirlenmesi, *Geomatik Dergisi*, 6(1), 44-53.
- Doğan, U., Ergintav, S., Zabcı, C., Özarpacı, S., Özdemir, A., Erkoç, M. H., Yazıcı, M., Yiğitoğlu, A., Çakır, Z., Karabulut, H., Köküm, M., Bayram, B. Ve Bilham, R. (2019). Investigating the characteristic properties of creeping along the Hazar-Palu Segment of the East Anatolian Fault, Turkey, AGU Fall Meeting, San Francisco, T53C-07.
- Doğru, M. ve Yücel, M. A. (2017). LANDSAT 8 OLI Multispektral verileri kullanılarak litolojik harita yapımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 172-184.
- Duman, T. Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 372, 495-530.
- Erdem, F., Derinpınar, M. A., Nasırzadehdizaji, R., Oy, S., Şeker, D. Z. ve Bayram, B. (2018). Rastgele orman yöntemi kullanılarak kıyı çizgisinin çıkarımı İstanbul örneği, *Geomatik Dergisi*, 3(2), 100-107.
- Erener, A. ve Sarp, G. (2017). Barajların çevresel etkilerinin zamansal ve mekânsal olarak uzaktan algılama ile değerlendirilmesi: Atatürk Baraj örneği, *Geomatik Dergisi*, 2(1), 1-10.
- Ergintav, S., Çakır, Z., Doğan, U., Çetin, S., Şentürk, S., Karabulut, H., Şaroğlu, F., Dikmen, Ü., Bilham, R., Özdemir, A., Julaiti, W. ve Özener, H. (2017). Aseismic slip and surface creep on the Hazar-Palu section of the East Anatolian Fault, Turkey, AGU Fall Meeting: New Orleans, AGU.
- Fal, S., Maanan, M., Baidder, L. ve Rhinane, H. (2019). The contribution of Sentinel-2 satellite images for geological mapping in the South of Tafilalet basin (Eastern Anti-Atlas, Morocco), *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W12, 75-82.
- Green, A. A., Berman, M. Switzer, P. ve Craig, M. D. (1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26(1), 65-74.
- Goetz, A. F. H. ve Rowan, L. C. (1981). Geologic remote sensing, *Science*, 211(4484), 781-791.
- Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. (1987). Continental collision and related complex deformation: Maras Triple Junction and surrounding structures, SE Turkey, *Yerbilimleri*, 14, 319-336.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fay (DAF) Atlası, Special Publication Series-13.
- Inzana, J., Kusky, T., Higgs, H. ve Tucker, R. (2003). Supervised classifications of Landsat TM band ratio images and Landsat TM band ratio image with radar for geological interpretations of central Madagascar, *Journal of African Earth Sciences*, 37, 59-72.
- Kaduri, M., Gratier, J.-P., Renard, F., Çakır, Z. ve Lassare, C. (2017). The implications of fault zone transformation on aseismic creep: Example of the North Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, 122, 4208-4236.
- Karip, A. G. B. ve Göksel, Ç. (2017). İğneada koruma alanının arazi örtüsü/arazi kullanımının zaman bağlı değişiminin markov zincirleri ile modellenmesi, *Geomatik Dergisi*, 2(2), 94-105.
- Keskin, İ. (Derleyen) (2011a). Elazığ – L42 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Keskin, İ. (Derleyen) (2011b). Elazığ – L43 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Ankara.
- Khalifa, A., Çakır, Z., Kaya, Ş. Ve Gabr, S. (2020). ASTER spectral band ratios for lithological mapping: a case study for measuring geological offset along the Erkenek Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 832.
- Köküm, M. (2019). Landsat TM görüntüleri üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellik analizi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 119-127.
- Loughlin, W. P. ve Tawfiq, M. A. (1985). Discrimination of rock types and alteration zones from airborne MSS data: the Samram-Shayban and Mahd Adh Dhahab areas of Saudi Arabia, *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment, 4th Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology held in San Francisco, California*, 1-4 Nisan 1985, 207-217.
- Mars, J. C. ve Rowan, L. C. (2011). ASTER spectral analysis and lithologi mapping of the Khanneshin carbonate volcano, Afghanistan, *Geosphere*, 7, 276-289.
- McKenzie, D. (1972). Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 109-185.
- Novak, I. D. ve Soulakellis, N. (2000). Identifying geomorphic features using Landsat-5/TM data processing techniques on Lesvos, Greece, *Geomorphology*, 34, 101-109.

- Peña, S. A. ve Abdelsalam, M. G. (2006). Orbital remote sensing for geological mapping in southern Tunisia: implication for oil and gas exploration, *Journal of African Earth Sciences*, 44, 203-219.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 111, B05411.
- Richards, J. A. (1999). Remote sensing digital image analysis: An introduction, Springer-Verlag.
- Richetti, E. (2000). Multispectral satellite image and ancillary data integration for geological classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(4), 429-435.
- Rigol, J. P. ve Chica-Olmo, M. (1998). Merging remote-sensing images for geological-environmental mapping: application to the Cabo de Gata-Nijar Natural Park, Spain, *Environmental Geology*, 34, 194-202.
- Rockwell, B. W. ve Hofstra, A. H. (2008). Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data, implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well studies frontier areas, *Geosphere*, 4(1), 218-246.
- Rotherty, D. A. (1987). Improved discrimination of rock units using Landsat Thematic Mapper imagery of the Oman ophiolite, *Journal of the Geological Society of London*, 144, 587-597.
- Salehi, S., Mielke, C., Pedersen, C. B. ve Olsen, S. D. (2019). Comparison of ASTER and Sentinel-2 spaceborn datasets for geological mapping: a case study from North-East Greenland, *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 43, e2019430205-01-06.
- Sümengen, M. (Derleyen) (2011a). Elazığ – K43 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sümengen, M. (Derleyen) (2011b). Elazığ – K44 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengör, A.M.C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları (Principles of the Neotectonism of Turkey). Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi, Ankara.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Soc. Econ. Paleontol. Spec. Publ. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Oklahoma, 227-264.
- Şengör, A. M. C., Lom, N., Sunal, G., Zabcı, C. ve Sançar, T. (2019). The Phanerozoic palaeotectonics of Turkey. Part I: an inventory. *Mediterr. Geosci. Rev.*, 1, 91-161.
- Şengör, A. M. C. ve Zabcı, C. (2019). The North Anatolian Fault and the North Anatolian Shear Zone, In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (Eds) *Landscapes and Landforms of Turkey*, Springer, Berlin, 481-494.
- Tunay, M. ve Ateşoğlu, A. (2008). Çok zamanlı uydu görüntüleri ile Amasra ve yakın çevresine ait bitki örtüsü değişim analizi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10(13), 71-80.
- USGS, https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects, Accessed date: 30 Temmuz 2020.
- van der Meer, F.D., van der Werff, H.M.A., van Ruitenbeek, F.J.A., Hecker, C.A., Bakker, W.H., Noomen, M.F., van der Meijde, M., Carranza, E.J.M., Smeth, J.B. de ve Woldai, T. (2012). Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 14, 112-128.
- van der Meer, F. D., van der Werff, H. M. A. ve van Ruitenbeek, F. J. A. (2014). Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications, *Remote Sensing Environment*, 148, 124-133.
- van der Werff, H. M. A. ve van der Meer, F. D. (2015). Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters, *Remote Sensing*, 7(10), 12635-12653.
- van der Werff, H. M. A. ve van der Meer, F. D. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing, *Remote Sensing*, 8(11), 883.
- Wessel, P., Smith, W. S. F., Scharroo, R., Luis, J. ve Wobbe, F. (2013). Generic Mapping Tools: improved version released, *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 94(45), 409-420.
- Yönlü, Ö., Altunel, E. ve Karabacak, V. (2017). Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 469, 1-14.
- Zumsprekel, H. ve Prinz, T. (2000). Computer-enhanced multispectral remote sensing data: a useful tool for the geological mapping of Archean terrains in (semi)arid environments, *Computers & Geosciences*, 26(1), 87-100.

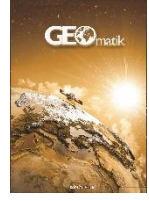




GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Farklı GNSS uydu sistemlerinin hassas nokta konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi

Ahmet Can UÇARLI¹, Fatih DEMİR¹, Serdar EROL¹, Reha Metin ALKAN*¹

¹ Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

MultiGNSS
Hassas Nokta Konumlama
PPP
Web-tabanlı Online GNSS
Veri Değerlendirme

ÖZ

Uydu jeodezisi ile veri işleme ve analizindeki gelişmeler sonucunda herhangi bir referans istasyonunda toplanan verileri kullanmaya gerek duymadan, tek bir GNSS alıcısı ile santimetre doğruluğunda konum belirlemeyi mümkün kılan PPP tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemde, tek bir alıcı ile toplanan veriler, farklı kuruluşlarca üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgileri ile birlikte değerlendirilerek, statik veya kinematik olarak yüksek doğrulukta konum belirlenebilmektedir. PPP tekniği ile koordinatların belirlenebilmesi için pek çok yaklaşım olmakla birlikte, son zamanlarda web-tabanlı online veri değerlendirme servisleri tüm dünyada başarıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Öte yandan GPS ile başlayan uydu-bazlı konum belirleme çalışmaları, izleyen zamanda GLONASS, Galileo ve BeiDou uydularının da eklenmesiyle birlikte GNSS olarak adlandırılan tümleşik bir konum belirleme sisteminin meydana gelmesini sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında İTÜ Ayazağa Kampüsünde, farklı uydu gözlem özelliklerine sahip noktalar tesis edilmiş ve çoklu-GNSS'in statik PPP nokta konum doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, PPP tekniği ile elde edilen doğrulukların ölçme yapılan noktadaki fiziki koşullara, uydu sayısına ve uyduların geometrisine bağlı olarak anlamlı şekilde değiştiğini, birden fazla uydu sistemi ile yapılan ölçmelerin de özellikle uydu görünürlüğü kısıtlı noktalarda yapılan ölçmelerin sonuçları üzerinde anlamlı düzeyde iyileştirici bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Investigation of the effect of different GNSS satellite systems on the performance of the precise point positioning (PPP) technique

Keywords

MultiGNSS
Precise Point Positioning
PPP
Web-based Online GNSS
Data Processing

ABSTRACT

As a result of developments in satellite geodesy and data processing and analysis, the PPP technique has been developed that enables centimeter-accurate positioning with a single GNSS receiver, without the need to use data collected from any reference station. In this method, the data collected with a single receiver is processed together with the precise satellite orbit and clock information produced by different organizations, and the position can be determined as static or kinematic with high accuracy. Although there are many approaches for determining the coordinates with the PPP technique, recently web-based online data processing services have been successfully used all over the world. On the other hand, satellite-based positioning studies that started with GPS, with the addition of GLONASS, Galileo and BeiDou satellites in the following time, led to the formation of an integrated positioning system called GNSS. Within this study, points with different satellite observation characteristics were established in İTÜ Ayazağa Campus and the effect of multi-GNSS on static PPP accuracy was examined. The results obtained from the study show that the accuracies obtained with the PPP technique vary significantly depending on the physical conditions at the point where the measurement is made, the number of satellites and the geometry of the satellites. Additionally, the measurements made with more than a single satellite system showed a significant improvement role in the results of the measurements made especially in restricted conditions with respect to satellite visibility.

*Sorumlu Yazar

(ucarli15@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6401-5477
(demirf15@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0903-5085
(erol@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7100-8267
(alkanr@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1981-9783

Kaynak Göster (APA)

Uçarlı A C, Demir F, Erol S & Alkan R M (2021). Farklı GNSS uydu sistemlerinin hassas nokta konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi. Geomatik, 6(3), 247-258. DOI: 10.29128/geomatik.779420

1. GİRİŞ

1 Ocak 1994 tarihinde resmi olarak faaliyete başlayan International GNSS Service (IGS), o tarihten bu yana yüksek kalitede pek çok Global Navigation Satellite System (GNSS) ürününü (farklı gecikme sürelerinde ve doğruluklarında üretilen hassas uydu yörünge ve saat ürünleri, yer dönme parametreleri, IGS istasyonlarının koordinatları ve hızları, sabit istasyonlara ilişkin saat bilgilerini) bilim dünyasının kullanımına sunmuştur (Kahveci ve Yıldız, 2012). Bu ürünler, farklı amaçları yerine getirmek üzere yapılan bilimsel araştırmalarda ve mühendislik projeleri ile jeodezik ve jeofizik amaçlı pek çok GNSS uygulamasında yaygın olarak kullanılmakla birlikte, uydu-bazlı konum belirlemede yeni algoritmaların ve tekniklerin ortaya çıkmasını da sağlamıştır. Bunların içerisinde en yaygın olarak kullanılanı, Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) olarak adlandırılan tekniktir. PPP her ne kadar 1970'li yıllarda R.J. Anderle tarafından önerilmiş olsa da, IGS ürünlerinin kalitesi ve doğruluğundaki gelişmelere bağlı olarak günümüzün standart konum belirleme tekniği haline gelmiş ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Söz konusu bu yöntem sadece GPS (Global Positioning System) uydularından değil, diğer uydu sistemlerinden de alınan verilerin birlikte değerlendirildiği çoklu-GNSS (multi-GNSS) PPP konseptine dönüşmüş, böylelikle çok daha fazla uydu ile daha zorlu ölçme koşullarında daha iyi performansla konum belirlemek mümkün hale gelmiştir. PPP, pek çok temel ölçme uygulamasında, heyelan izleme çalışmalarında, deprem araştırmalarında, erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasında, buzul hareketlerinin izlenmesinde, hassas tarımda, yapı sağlığı izlemede, deniz ölçmelerinde, fotogrametrik çalışmalarda ve İHA ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, çoklu-GNSS Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniğinin statik uygulamalardaki konum doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, orman alanı, su kıyısı, yerleşim alanı, açık alan gibi farklı fiziki koşullara ve yapay/doğal çevresel engellere sahip noktalarda ölçmeler yapılmış, farklı değerlendirme stratejileriyle toplanan veriler değerlendirilerek, çoklu-GNSS'in statik PPP nokta konum doğruluğuna etkisi araştırılmıştır.

2. HASSAS NOKTA KONUMLAMA TEKNİĞİ (PPP)

Günümüzde konum bilgisi teknolojinin gelişimine de bağlı olarak gerek mühendislik uygulamaları gerekse gündelik hayatta yaşamın önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu konuda en sık başvurulan yöntem hiç kuşkusuz uydu-bazlı konum belirleme sistemleridir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar 1994 yılında global olarak kullanıma sunulan Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nca geliştirilen NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System) ya da yaygın olarak kullanılan ve bilinen

biçimiyle GPS ile başlamıştır. Halen (18 Temmuz 2020 itibarıyla) mevcut 31 uydusu ile GPS (30'u aktif), çok farklı alanlarda tüm dünyada en çok kullanılan uydu-bazlı konum belirleme sistemidir. İzleyen zaman içerisinde Rusya'nın GLObal'naya NAVigationnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) sistemi geliştirilmiş, bir dizi süreçten sonra 2011 yılında tekrar tüm dünyada kullanılabilir hale gelmiştir. GLONASS sisteminde toplam 24 uydu olup, 23'ü fiili olarak çalışmaktadır. Bu iki sistem uzun süre kullanılmış, diğer yandan da Avrupa Birliği'ne ait Galileo ile Çin Halk Cumhuriyeti tarafından işletilen BeiDou Navigation Satellite System (BDS) sistemleri de devreye girmiştir. Bu uydu sistemlerinden Galileo 2016'da kullanıma başlanmış olup, halen 22'si aktif olmak üzere 24 uyduya sahiptir. BDS sistemi ise 2018'den beri tamamen kullanılmaya başlanmış olup, toplam 49 uyduya sahiptir (şu anda 44'ü aktif). Tüm bu uydu sistemleri Global Navigation Satellite System (GNSS) olarak tanımlanan, 100'ün üzerinde uydu ile tüm dünyaya hizmet veren tümleşik bir konum belirleme sistemini oluşturmuşlardır (Int Kyn. 1). GNSS ile uygulanan ölçme yöntemine ve kullanılan donanıma bağlı olarak metreler mertebesinde, santimetre-milimetreye varan doğruluk aralığında konum (hız ve zaman ile birlikte) belirlenebilmektedir.

Günümüzde Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) adı verilen teknik, tüm dünyada pek çok farklı uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PPP ile tek veya çok-frekanslı tek bir GNSS alıcısıyla toplanan kod ve taşıyıcı faz ölçüleri ile birlikte başta International GNSS Service (IGS) olmak üzere, GFZ (German Research Center for Geoscience), JPL (Jet Propulsion Laboratory), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi analiz merkezlerinin kullanıma sunduğu hassas uydu yörünge, saat düzeltmeleri ve kod-faz sapma değerleri de kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, statik ve dinamik olarak cm-dm doğruluğunda, global bir koordinat sisteminde 3D konum belirlenebilmektedir. Ancak yüksek doğruluk gereksinimi için ölçmelere etki eden hataların modellenmesi veya düzeltmelerin getirilmesi gereklidir. Bunlar, iyonosfer ve troposferden kaynaklanan hatalar, uydu/alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları, faz dönmesi, kutup ve katı yeryuvarı gel-giti, okyanus yüklemesi, ve Sagnac etkilerini içeren rölativistik etkiler, yeryuvarı dönme parametreleri, alıcı ve uydu kod ve faz sapma değerleridir (Héroux and Kouba, 2001; Nie et al., 2020).

Yöntem ilk olarak Anderle (1976) tarafından uygulanmış olmakla birlikte, günümüzdeki anlamda ilk kez Zumberge ve arkadaşları tarafından 1997 yılında gerçekleştirilen çalışmalarıyla birlikte yaygın kullanıma başlanmıştır (Zumberge et al., 1997). Bu çalışmada çift frekanslı GPS alıcıları ile toplanan pseudorange ve taşıyıcı faz ölçmeleri kullanılmış ve PPP tekniği ile oldukça yüksek doğrulukta konum belirlenebileceği ortaya konulmuştur. O zamandan bu yana PPP tekniği tüm dünyada birçok farklı

bilimsel ve pratik uygulamada başarıyla kullanılmıştır (Zumberge et al., 1997; Héroux and Kouba, 2001; Rizos et al., 2012; Choy et al., 2017; Bahadur and Nohutcu, 2019; Dawidowicz, 2020; Facio and Berber, 2020; Kiliszek and Kroszczyński, 2020; Liu et al., 2020).

PPP tekniği başlangıçta sadece GPS gözlemlerine uygulanmış olsa da, diğer uydu sistemleri için hassas ürünlerin üretilip, kullanıma sunulmasıyla birlikte GLONASS, Galileo ve BeiDou uydularının da kullanıldığı çoklu-GNSS (multi-GNSS) PPP konsepti ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım, özellikle yüksek katlı binaların yer aldığı yoğun yerleşim yerlerinde, ormanlık alanlarda, derin açık maden işletmelerinde, vadilerde ve buna benzer uydu gözlemleri açısından görüş açısının sınırlı olduğu ortamlarda daha fazla uydudan veri alınmasını sağlayarak, yüksek doğruluk ve güvenilirlikte konum belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca tek bir uydu sistemine bağımlılığı da ortadan kaldırmaktadır. Ancak GPS gözlemleri kullanılmadan diğer uydularla yapılan çözümlerde oldukça düşük performans elde edilmekte olup, GPS verileri PPP için hala en baskın ve vazgeçilmez uydu sistemi olma özelliğini korumaktadır (Bahadur ve Nohutcu, 2019). Bu yöntemde; kullanılan alıcı tipine (düşük maliyetli OEM tipi, jeodezik vb), kullanılan ölçü türüne (kod/faz), frekans sayısına (tek, çift ve çoklu-frekans), gözlem yapılan uydu sayısına ve türüne (GPS, GLONASS, Galileo, BDS veya Multi-GNSS) ve ölçme süresine bağlı olarak statik yöntemle mm-cm mertebesinde; kinematik yöntemle de cm-dm mertebesinde doğruluğa ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada en az iki veya daha fazla uydu sistemi ile yapılan konum belirleme işlemi, çoklu-GNSS PPP olarak kabul edilmiştir.

Konum belirleyebilmek için kullanıcıların tek bir GNSS alıcısı ile veri toplamalarının yeterli olması operasyon serbestisi sağlayarak yöntemi kolay uygulanabilir kılmakta ve ölçme maliyetini de ciddi şekilde düşürmektedir. Bu yöntemle, homojen doğrulukla küresel bir referans sisteminde konum belirlenebilmektedir. Bu önemli avantajlara karşın yöntemin bazı eksiklikleri de bulunmaktadır. Bunların en önemlisi cm mertebesinde bir doğruluğa erişebilmek için 20-30 dakika veya üzeri bir yakınsama süresine (convergence time) gereksinim duyulmasıdır. Bu durum yöntemin gerçek-zamanlı uygulamalarda kullanımını da zorlaştırmakta, hatta kısıtlamaktadır. Literatürde GPS uydu sistemlerine diğer Küresel Konum Belirleme sistemlerinin eklenmesinin, yakınsama süresinin azaltılmasına katkı sağladığı ifade edilmektedir. Tamsayı belirsizliğinin sabitlenerek yapılan PPP çözümleri, bu yakınsama süresinin kısılmasına katkı sağlamaktadır (Wang, 2014). Ayrıca bu çözüm yöntemi float tamsayı belirsizliği çözümüne göre çok daha yüksek doğruluk ve güvenilirlikte çözüm sağlamaktadır (Bisnath and Collins, 2012).

Her bir uydu navigasyon sisteminin datumu, zaman sistemi ve sinyal yapısı birbirinden farklı olduğu için, çoklu-GNSS sisteminde bu durumun

çözümde dikkate alınması gerekmektedir. Ancak, IGS Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi kapsamında bütün uydu yörünge bilgileri ve saat hataları aynı datumda ve zaman sisteminde belirlendiği için, çoklu-GNSS çözümlerinde bu ürünlerin kullanılması datum ve zaman sistemi problemlerini ortadan kaldıracaktır. Çoklu-GNSS PPP modeli için kod ve faz gözlem eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Cai et al., 2015):

$$P_{i,r}^s = \rho_r^s + c\Delta t_r^s - c\Delta T^s + T_r^s + I_{i,r}^s + O^s + \varepsilon(P_{i,r}^s) \quad (1)$$

$$L_{i,r}^s = \rho_r^s + c\Delta t_r^s - c\Delta T^s + T_r^s - I_{i,r}^s + \lambda_i^s N_i^s + O^s + \varepsilon(L_{i,r}^s) \quad (2)$$

Eşitliklerdeki r ve i sırasıyla alıcıyı ve sinyal frekansını, s ise GNSS türünü (G:GPS, R:GLONASS, E:Galileo ve C:BeiDou) göstermektedir. Ayrıca, $P_{i,r}^s$ kod ölçüsünü (m), $L_{i,r}^s$ faz ölçüsünü (m), ρ_r^s uydu-alıcı arası geometrik uzunluğu (m), c ışık hızını (m/sn), Δt_r^s alıcı-donanım kod hatasına göre düzenlenmiş alıcı saat hatasını (s), ΔT^s uydu donanım kod hatasına göre düzenlenmiş uydu saat hatasını (s), T_r^s troposferik gecikmeyi (m), $I_{i,r}^s$ ilgili frekanstaki iyonosferik gecikmeyi (m), O^s uydu yörünge hatasını (m), N_i^s alıcı ve uydu kod ve faz hatalarına göre düzenlenmiş tam sayı belirsizliğini, λ_i^s ilgili frekansın dalga boyunu (m) ve $\varepsilon(\cdot)$ ise çokyolluluk (multi-path) hatası dahil diğer modellenemeyen hataları (m) ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliklerdeki uydu yörünge ve saat hatalarını yok etmek için MGEX hassas ürünleri kullanılır. Ayrıca birinci dereceden iyonosferik gecikmeyi yok etmek için her bir sistemdeki frekansların (f_1 ve f_2) ikili kombinasyonu ile iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlem eşitlikleri aşağıdaki formüller yardımıyla oluşturulur.

$$P_{IF,r}^s = (f_1^2 P_1^s - f_2^2 P_2^s) / (f_1^2 - f_2^2) \quad (3)$$

$$L_{IF,r}^s = (f_1^2 L_1^s - f_2^2 L_2^s) / (f_1^2 - f_2^2) \quad (4)$$

Eşitliklerdeki $P_{IF,r}^s$ ve $L_{IF,r}^s$, sırasıyla iyonosferden bağımsız kod ve faz ölçülerini, f_1 ve f_2 ise taşıyıcı dalga frekanslarını göstermektedir. Böylelikle uydu saat hatası, yörünge hatası ve iyonosferik hatadan arındırılmış GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou sistemleri için kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız gözlem eşitlikleri aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

$$P_{IF,r}^G = \rho_r^G + c\Delta t_r^G + T_r^G + \varepsilon(P_{IF,r}^G) \quad (5)$$

$$L_{IF,r}^G = \rho_r^G + c\Delta t_r^G + T_r^G + \lambda_{IF}^G N_{IF}^G + \varepsilon(L_{IF,r}^G) \quad (6)$$

$$P_{IF,r}^R = \rho_r^R + c\Delta t_r^G + cdt_{sys}^R + T_r^R + \varepsilon(P_{IF,r}^R) \quad (7)$$

$$L_{IF,r}^R = \rho_r^R + c\Delta t_r^G + cdt_{sys}^R + T_r^R + \lambda_{IF}^R N_{IF}^R + \varepsilon(L_{IF,r}^R) \quad (8)$$

$$P_{IF,r}^E = \rho_r^E + c\Delta t_r^G + cdt_{sys}^E + T_r^E + \varepsilon(P_{IF,r}^E) \quad (9)$$

$$L_{IF,r}^E = \rho_r^E + c\Delta t_r^C + cdt_{sys}^E + T_r^E + \lambda_{IF}^E N_{IF}^E + \varepsilon(L_{IF,r}^E) \quad (10)$$

$$P_{IF,r}^C = \rho_r^C + c\Delta t_r^C + cdt_{sys}^C + T_r^C + \varepsilon(P_{IF,r}^C) \quad (11)$$

$$L_{IF,r}^C = \rho_r^C + c\Delta t_r^C + cdt_{sys}^C + T_r^C + \lambda_{IF}^C N_{IF}^C + \varepsilon(L_{IF,r}^C) \quad (12)$$

Eşitliklerde, her bir sistem için ayrı alıcı saat hatası belirtmek yerine GPS'e göre olan farkı yansıtan sistemler-arası fark parametreleri (cdt_{sys}^R , cdt_{sys}^E ve cdt_{sys}^C) modele dâhil edilmiştir.

3. WEB-TABANLI ONLINE GNSS VERİ DEĞERLENDİRME SERVİSLERİ

PPP yöntemi ile konum belirleyebilmek için farklı alternatifler bulunmaktadır. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Bilimsel (Akademik) Programlar (Bernese, GipsyX vd),
- Ticari Programlar (GrafNav vd),
- In-house Programlar (RTKLib, Net_Diff vd),
- Web-tabanlı Online GNSS Değerlendirme Servisleri (APPS, CSRS-PPP, magicGNSS, Trimble RTX-PP vd).

Bunlardan bilimsel tabanlı olanların kullanılabilmesi için güçlü bir GNSS teorik bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Bazıları ücretsiz olmakla birlikte, örneğin en yaygın kullanılanlarından birisi olan Bernese yazılımı için oldukça ciddi miktarda bir lisans ücreti ödenmesi gerekmektedir. Benzer durum ticari programlar için de geçerlidir. In-house programlar ise genellikle bir kurumun kendi imkanları ile yapılmakta olup, kodlayan kullanıcının ihtiyaçlarını ön plana aldığı, buna bağlı olarak da elde edilen sonuçların programı hazırlayanların kurduğu algoritmaya doğrudan bağlı olduğu, çoğunlukla da kullanımı pratik olmayan yazılımlardır (Alkan ve diğ., 2015). Son gruptakilerse, web-tabanlı online değerlendirme servisleri, diğer yaklaşımlardaki pek çok olumsuzluk olmaksızın, oldukça kolay bir şekilde GNSS verilerinin değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Hemen hemen tümü ücretsiz olan bu servislerin kullanılabilmesi için internet bağlantısı olan bir bilgisayar ile geçerli bir e-posta adresi genellikle yeterli olmaktadır. Temel seviyede GNSS bilgisine sahip bir kullanıcının yapması gereken, sahada topladığı GNSS verilerini servislerin web-tabanlı ara yüzlerinden yararlanarak veya e-posta/FTP aracılığıyla servise ulaştırmasıdır. Değerlendirme aşamasında ise, veri değerlendirme yöntemi (statik/kinematik), atmosferik hata düzeltme yöntemi, kullanılan antenin tanıtılması ve çözümün hangi koordinat sistemine dayalı olacağı gibi temel bazı bilgilerin girilmesinden ibaret olmaktadır. Servisler verileri aldıktan sonra değerlendirmeye başlamakta ve toplanan verinin boyutuna, internet hızına ve servisin yoğunluğuna bağlı olarak kısa sayılacak bir süre sonrasında (genellikle dakikalar mertebesinde) sonuçları çeşitli formatlarda göndermektedir. Bu sonuçlar, sadece

PPP koordinatlarını değil, aynı zamanda sonuçların yorumlanmasına imkân sağlayacak ek bilgileri (saat hataları, troposferik toplam zenit gecikmesi, DOP-Dilution of Precision) grafikler ve tablolarla zenginleştirerek rapor halinde kullanıcılara göndermektedir. Servislerin bazıları sadece GPS verilerini kabul ederken, pek çoğu buna ek olarak diğer uydu sistemlerini de hesaplarına katarak çoklu-GNSS PPP çözümü üretmektedir. Önemli bir kısmı float çözüm ile sonuçları hesaplarken (APPS, CSRS-PPP, magicGNSS gibi), kısıtlı sayıdaki birkaçı da (Trimble RTX-PP gibi) “başlangıç belirsizliği”ni ya da “tamsayı belirsizliği”ni sabitleyerek (PPP with ambiguity resolution - PPP-AR) çözüm vermektedir. Hiç şüphesiz ikinci yaklaşım, yakınsamanın gerçekleşmesi için yeterli ölçme süresi olması halinde float çözüme göre daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.

Diğer yandan bu tür servislerin dezavantajları, standart veri değerlendirme seçenekleri dışında kullanıcıya çoğunlukla alternatif sunulmaması veya sınırlı olması, değerlendirme süreci sonunda yapılan hesaplara ilişkin ayrıntılı bilgi verilmemesi, internet hızına bağlı olarak büyük hacimli verilerin yüklenmesi ve/veya sonuçların alınmasındaki gecikmelerdir. Ayrıca Internet bağlantısındaki kesintiler veya yapılan güncellemeler nedeniyle servislere erişilememesi de önemli bir sorun olabilmektedir.

Çalışmanın uygulama kısmında kullanılan online servisler ile ilgili veri değerlendirme yöntemleri, çözüm için kullandıkları ürünler ve genel olarak son kullanıcı deneyimi ile ilgili bilgiler, izleyen kısımlarda verilmektedir.

3.1. Automatic Precise Positioning Service (APPS)

Automatic Precise Positioning Service (APPS), NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından işletilen web-tabanlı bir GPS değerlendirme servisedir. Servis JPL tarafından üretilen gerçek zamanlı, günlük ve haftalık GPS yörünge ve saat bilgilerini kullanmaktadır. APPS, sadece GPS uydularından alınan çift frekanslı verileri değerlendirerek GIPSY 6.4 bilimsel yazılımı ile statik veya kinematik (kayıtlı kullanıcılar için) yöntemlerle PPP koordinatlarını hesaplamaktadır. RINEX 2, RINEX 2.11 formatlarındaki veriler, servisin web sayfası aracılığıyla kısıtlı seçeneklerle veya e-posta/FTP ile gönderilebilmektedir. Değerlendirme aşamasında NASA Jet Propulsion Laboratory tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat ürünlerinden (real-time, ultra-rapid, rapid ve final) yararlanılmaktadır. En yüksek doğruluklu hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri haftalık periyodlarda üretilerek yayınlanmakta olup, en yüksek doğruluk için bu sürenin beklenmesi gerekmektedir (Alkan ve diğ., 2017). Gönderilen veriler ITRF14 datumunda hesaplanarak, diğer ek bilgiler ile kullanıcılara gönderilmektedir. APPS-PPP

değerlendirme servisi ile ilgili güncel bilgiler servisin web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 2).

3.2. Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP)

CSRS-PPP, Geodetic Survey Division of Natural Resources Canada (NRCan) tarafından işletilen web-tabanlı bir GNSS-PPP değerlendirme servisedir. Üyelik sistemi ile çalışan servis ile tek veya çift frekanslı GNSS gözlemleri (GPS ve GLONASS), statik veya kinematik olarak PPP yöntemi ile değerlendirilmektedir. Servis, 2003 yılından bu yana 3 milyondan fazla GNSS veri setini değerlendirerek tüm dünyadaki kullanıcılara ücretsiz olarak hizmet vermektedir. Kullanıcıların yapması gereken, sahada topladıkları RINEX (max. 300 MB, *.zip, *.gzip, *.gz, *.Z, *.tar, veya *.??0 formatlarında) verileri, değerlendirme yöntemi (statik/kinematik), referans sistemi seçimi (NAD83 veya ITRF14) ile gerekirse kıyı bölgesi uygulamaları için okyanus gelgit yükleme dosyalarını yüklemesinden ibarettir.

Servis verileri aldıktan sonra, o zaman itibarıyla IGS veya NRCan tarafından üretilen en iyi hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini (ultra-rapid, rapid veya final) kullanarak verileri değerlendirmekte ve statik veya kinematik olarak PPP koordinatları hesaplamaktadır. Statik yöntem seçilmişse, düzeltilmiş tek bir ortalama koordinat hesaplanmakta, kinematik yöntemde ise düzeltilmiş bir iz (yörünge) üretilmektedir. Ancak GPS için ölçmeler yapıldıktan sonraki ilk 90 dakika, GLONASS için de 3 saat boyunca çözüm üretilememektedir. Yapılan değerlendirme sonuçları PPP koordinatları ve değerlendirmeye ait ek bilgileri içeren dosyalar halinde kullanıcıya e-posta aracılığıyla iletilir. CSRS-PPP değerlendirme servisi hakkında detaylı bilgiler servisin web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 3).

3.3. magicGNSS-PPP

İspanya menşeli GMV Aerospace and Defense Company tarafından geliştirilen magicGNSS değerlendirme servisi, 2008 yılında kullanıma sunulmuştur. Web-tabanlı olarak hizmet veren magicGNSS'in ücretsiz olan e-posta servisi aracılığıyla sadece GPS ve GLONASS verileri değerlendirilebilirken, belirli bir ücret ödenerek kayıt yaptıran kullanıcılar GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydularından alınan verileri de değerlendirebilmektedir. Statik ve kinematik değerlendirme seçeneklerine sahip servis, IGS ve GMV'nin ürettiği uydu yörünge ve saat ürünlerini kullanarak gönderilen çift frekanslı GNSS verilerini değerlendirmektedir. Servis, RINEX 2.xx ve 3.xx formatındaki GNSS verilerini kabul etmektedir. İşlemin tamamlanmasının ardından PPP koordinatları ve değerlendirme işlemine ait pek çok istatistiksel bilgiyi de içeren rapor ve grafikler, e-posta ile kullanıcılara kısa bir süre içerisinde gönderilmektedir. magicGNSS değerlendirme servisi

hakkında detaylı bilgiler servisin web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 4).

3.4. Trimble CenterPoint RTX Post-processing Service (Trimble RTX-PP)

Trimble firması tarafından kullanıma sunulan Trimble CenterPoint RTX (Real Time eXtended) Post-processing servisi (Trimble RTX-PP), statik ölçmelerle toplanan verilerin ücretsiz bir şekilde değerlendirilmelerine imkân sağlamaktadır. Servisten limitsiz bir şekilde yararlanmak isteyen kullanıcıların servise kayıt olması ve her yıl kayıtlarını yenilemeleri yeterli olmaktadır. Firmanın kendi alıcı formatı ile RINEX 2.xx ve RINEX 3.xx formatlarındaki verileri kabul eden servis, GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS) gözlemlerini içeren dosyayı aldıktan sonra değerlendirmeye başlamakta, sonuçları içeren bir PDF dosyasını kullanıcının e-posta adresine kısa bir süre içerisinde göndermektedir. Servis, ITRF sisteminde ve ölçme yapılan epokta hesaplanan koordinatları başka bir epoğa kaydırma işlemi, ölçmelerin yapıldığı konum için hesaplanmış yıllık tektonik plaka hareket verilerini kullanmaktadır. RTX-PP servisi "başlangıç belirsizliği"ni tamsayılarla sabitleyerek, ambiguity fixed çözüm ile noktaların koordinatlarını hesaplamaktadır. Bu durum yakınsama süresini ciddi şekilde kısaltmaktadır (Doucet et al., 2012). Servis aracılığıyla ulaşılabilecek doğruluk değeri, pek çok faktöre bağlı olarak değişmekle birlikte, en az 1 saatlik verilerin değerlendirilmesi sonucunda yatayda 2 cm ve daha iyi, düşeyde de 6 cm ve daha iyi olarak verilmektedir. Servis hakkında daha detaylı bilgiler, servisin ilgili web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 5).

4. UYGULAMA

4.1. GNSS Ölçmeleri

Farklı GNSS uydu sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniğinin doğruluk performansına etkisini belirleyebilmek için, İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde farklı çevresel ve topografik özelliklere (dolayısıyla farklı uydu gözlem özelliklerine) sahip;

- Açık Alan,
- Orman Alanı,
- Su Kıyısı (Gölet Alanı),
- Yoğun Yerleşim Alanı

olmak üzere 4 farklı bölgede jeodezik noktalar tesis edilmiş, bu noktalarda statik ölçmeler yapılmıştır. Söz konusu bu ölçme bölgelerinin temel özellikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Açık Alan: Gökyüzü görüşünün açık olduğu, herhangi bir engel bulunmayan ve uydulardan gelen sinyalleri engelleyici doğal veya yapay objelerin olmadığı alanlardır. Bu kapsamda 3 adet nokta tesis edilmiştir (Açık Alan 1, Açık Alan 2, Açık Alan 3). Tesis edilen noktalardan bazı görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Açık Alanda Tesis Edilen Nokta Örnekleri

Orman Alanı: Yüksek ağaçların yoğun bir şekilde bulunduğu alanlar olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda 3 adet nokta tesis edilmiştir (Orman 1, Orman 2, Orman 3). Tesis edilen noktalardan bazı görüntüler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ormanlık Alanda Tesis Edilen Nokta Örnekleri

Su Kıyısı (Gölet Alanı): Kampüs içerisinde bulunan göletin hemen çevresindeki alan olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda 3 adet nokta tesis edilmiştir (Gölet 1, Gölet 2, Gölet 3). Tesis edilen noktalardan bazı görüntüler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Su Kıyısında Tesis Edilen Nokta Örnekleri

Yoğun Yerleşim Alanı: Kampüste yer alan yüksek katlı yapıların çevresindeki alanlar olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda 3 adet nokta tesis edilmiştir (Yoğun 1, Yoğun 2, Yoğun 3). Tesis edilen noktalardan bazı görüntüler Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Yoğun Yerleşim Alanında Tesis Edilen Nokta Örnekleri

Tesis edilen 12 noktada 90 ila 120 dakika arasında değişen sürelerde CHCNAV i80 multi-frekans, multi-constellation GNSS alıcısı ile 9 ve 11 Mart 2020 tarihlerinde statik GNSS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. 10 derece uydu yükseklik açısı ve üzerinde görülebilen tüm uydu sistemlerine ait veriler 5 saniye kayıt aralığında toplanmıştır. Ölçmelerde kullanılan alıcıların temel bazı teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Int Kyn. 6).

Tablo 1. Ölçmelerde Kullanılan CHCNAV i80 GNSS Alıcılarının Temel Bazı Özellikleri

GNSS ÖZELLİKLERİ
- GPS: L1C/A, L2C, L2E, L5
- GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
- Galileo: E1, E5A, E5B
- BeiDou: B1, B2
- NavIC (IRNSS): L1C/A, L5
ÖLÇME DOĞRULUĞU
<u>Yüksek Hassasiyetli Statik</u>
Yatay: 2.5 mm + 0.1 ppm RMS
Düşey: 3.5 mm + 0.5 ppm RMS
<u>Post-Processed / Gerçek-Zamanlı Kinematic</u>
Yatay: 8 mm + 1 ppm RMS
Düşey: 15 mm + 1 ppm RMS
<u>Ağ RTK</u>
Yatay: 8 mm + 0.5 ppm RMS
Düşeyde: 15mm + 0.5 ppm RMS

Ölçmeler süresince her bir noktada gözlemlenen GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydularının sayıları ile DOP (Dilution of Precision-Duyarlılık Kaybı) değerleri Tablo 2’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2’de verilen değerlere bakıldığında, ölçme yapılan jeodezik noktalarda GPS (G) için en az 3 en fazla 9, ortalama 7; GLONASS (R) için en az 2 en fazla 8, ortalama 5; Galileo (E) için için en az 2 en fazla 8, ortalama 5; BeiDou (C) için en az 1 en fazla 10, ortalama 6 ve tümü için en az 12 en fazla 30, ortalama 23 uydudan veri alındığı görülmektedir.

Diğer yandan hemen her noktada GPS’e ait ortalama GDOP değeri, diğer sistemlerin tümünden daha iyi bulunmuştur. Ancak tüm uyduların bir araya gelmesiyle oluşan 4’lü sistemde (GREC) GDOP değerleri en az 1 en fazla 2.9 ve ortalama olarak da 1.4 gibi oldukça iyi bir değere ulaşmıştır. Literatürde verilen farklı sınıflandırmalar olmakla birlikte, genel

bir fikir vermesi açısından DOP değeri ile navigasyon performansı arasındaki ilişki Tablo 3’de verilmiştir (Liu et al., 2013).

Tablo 2. Ölçme Yapılan Noktalardaki Uydu Sayıları ve GDOP Değerleri

Nokta No	Uydu Sayısı/ GDOP	GPS (G)			Galileo (E)			GLONASS (R)			BeiDou (C)			Tümü (GREC)		
		Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Açık Alan 1	Uydu Sayısı	7	9	8	5	8	6	4	6	5	6	9	8	23	31	28
	GDOP	2.1	2.7	2.3	2.4	3.8	2.9	2.6	13.7	4.0	2.0	4.1	2.7	1.0	1.5	1.2
Açık Alan 2	Uydu Sayısı	6	9	8	5	7	6	3	6	5	6	9	8	23	29	26
	GDOP	1.7	3.4	2.4	2.6	4.5	3.1	0.0	13.7	5.9	2.1	9.0	3.1	1.0	1.5	1.2
Açık Alan 3	Uydu Sayısı	6	8	7	4	6	5	4	7	5	8	10	9	24	29	27
	GDOP	1.9	3.4	2.4	2.8	143840.9	274.2	1.8	15.9	3.9	2.4	4.1	3.0	1.0	1.4	1.2
Orman 1	Uydu Sayısı	5	9	7	4	6	5	3	8	6	3	8	5	17	28	24
	GDOP	2.2	10.4	3.1	2.9	449280.6	338.0	0.0	113.9	5.0	0.0	67.5	4.1	1.1	1.9	1.4
Orman 2	Uydu Sayısı	4	9	7	2	7	6	2	8	6	2	7	5	17	30	24
	GDOP	2.2	38.1	3.5	0.0	81.7	4.3	0.0	1321.8	10.5	0.0	1298.3	27.9	1.2	2.5	1.5
Orman 3	Uydu Sayısı	5	9	7	4	8	6	4	8	7	4	9	6	19	30	26
	GDOP	2.2	9.6	3.3	2.7	122.4	5.8	2.2	23.9	3.8	2.0	57.1	10.2	1.1	1.8	1.3
Gölet 1	Uydu Sayısı	5	8	7	4	6	5	4	7	5	4	6	5	19	26	22
	GDOP	2.1	6.8	3.3	2.7	32.0	7.0	2.3	86229.3	206.7	3.2	48.8	8.2	1.2	2.0	1.5
Gölet 2	Uydu Sayısı	5	7	6	4	5	5	4	6	5	3	6	4	16	24	20
	GDOP	2.8	6.7	4.0	3.3	63433.9	134.9	2.6	231.3	8.4	0.0	10722.2	35.8	1.2	2.9	1.6
Gölet 3	Uydu Sayısı	5	7	6	3	6	5	5	6	5	4	6	5	19	24	22
	GDOP	2.0	6.4	3.0	0.0	32.0	5.6	2.6	4.3	3.6	2.6	48.8	7.5	1.2	1.7	1.4
Yoğun 1	Uydu Sayısı	4	8	5	2	7	5	2	8	5	1	4	3	13	23	18
	GDOP	1.9	9364.1	14.4	0.0	33.0	5.0	0.0	100.3	4.7	0.0	180.1	5.1	1.2	2.1	1.6
Yoğun 2	Uydu Sayısı	3	7	5	3	6	5	2	7	5	1	3	2	12	21	17
	GDOP	0.0	9.7	4.2	0.0	29.4	5.2	0.0	68.0	6.1	0.0	0.0	0.0	1.2	2.3	1.6
Yoğun 3	Uydu Sayısı	4	8	6	4	6	5	5	8	7	5	8	7	20	29	25
	GDOP	2.0	6.8	3.3	2.5	249.3	7.9	2.2	13.6	3.0	2.3	3.9	3.0	1.1	1.5	1.3

Tablo 3. DOP Değerleri ve Navigasyon Performansı İlişkisi

DOP Değeri	Değerlendirme
≤1	İdeal
>1-2	Mükemmel
>2-5	İyi
>5-10	Orta Dereceli
>10-20	Makul
≥20	Zayıf

4.2. Verilerin Değerlendirilmesi ve Sayısal Sonuçlar

Farklı uydu sistemlerinin statik PPP çözümlerine olan etkisini araştırabilmek için 4’lü uydu sistemlerinin tümünden toplanan veriler aşağıda verilen farklı senaryolarda değerlendirilmiştir:

- Senaryo 1-** Sadece GPS (G)
- Senaryo 2-** GPS+GLONASS (G+R)
- Senaryo 3-** GPS+Galileo (G+E)
- Senaryo 4-** GPS+BeiDou (G+C)
- Senaryo 5-** GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E)
- Senaryo 6-** GPS+GLONASS+BeiDou (G+R+C)
- Senaryo 7-** GPS+Galileo+BeiDou (G+E+C)
- Senaryo 8-** GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou (G+R+E+C)

Günümüzde kullanılan online GNSS PPP değerlendirme yazılımlarının hemen tümünde çözümde kullanılmak istenilen uydu sistemleri seçilememekte, gönderilen RINEX dosyalarında hangi uydulara ait veriler varsa, onlar doğrudan değerlendirilmeye alınmaktadır. Bu yüzden ölçmelerde görünen tüm uydu sistemlerinden toplanan verilerin, yukarıdaki senaryolara göre değerlendirilebilmeleri için yeniden düzenlenmeleri gerekmektedir. Bunun içinde *gfzrnx-RINEX GNSS Data Conversion and Manipulation Toolbox* adlı programdan yararlanılmıştır. *gfzrnx* ‘GFZ Alman

Yerbilimleri Araştırma Merkezi (German Research Centre for Geosciences)’nin geliştirdiği bir yazılımdır. Bu yazılımla RINEX verilerinin;

- i-) kontrol ve onarımı,
- ii-) sürümler arasında dönüştürme,
- iii-) veri bölme/birleştirme,
- iv-) veri düzenlenmesi (veri toplama aralığı, GNSS uydu ve gözlem tipi seçimi,
- v-) veri karşılaştırması,

gibi pek çok işlem yapılabilir. Yazılım GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, IRNSS ve QZSS uydu sistemlerini desteklemektedir. Yazılım ile ilgili bilgiler Nischan (2016)’da detaylıca verilmektedir. Bu program aracılığıyla tüm uydu sistemlerinden toplanan verileri içeren RINEX dosyaları, sadece her bir senaryoda belirtilen uydu sistemlerini içerecek şekilde alt gruplara ayrılarak, düzenlenmiştir. Böylelikle her nokta için alt RINEX dosyaları oluşturulmuştur. Örneğin sadece GPS olarak tanımlanan senaryoda sadece GPS uydularından alınan veriler bulunurken, GPS+Galileo olarak tanımlanan senaryoda ise GPS uyduları ile Galileo uyduları olacak şekilde düzenlenmiştir.

Bu işlemten sonra noktaların PPP yöntemi ile koordinatlarının belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Bu kapsamda önceki bölümde incelenen web-tabanlı online GNSS PPP değerlendirme servisleri kullanılmıştır. Bunlar:

- Automatic Precise Positioning Service (APPS),
- Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP),
- magicGNSS-PPP,
- Trimble CenterPoint RTX Post-processing Service (Trimble RTX-PP)

servisleridir.

Tablo 4’de, her bir servisin hangi uydu sistemini/sistemlerini kullanarak değerlendirme yaptığı verilmiştir. Tabloda yer alan ✓ işareti servisten cevap alındığı, ✗ ifadesi ise servisten cevap alınmadığı anlamındadır.

Tesis edilen jeodezik noktalarda yapılan 4’lü uydu sistemlerinin tümünün toplandığı “Ana Veri Setleri (RINEX Dosyalar)” ile, çalışma kapsamında belirlenen senaryolara göre oluşturulan “Alt Veri Setleri (RINEX Dosyalar)” APPS, CSRS-PPP, magicGNSS ve Trimble CenterPoint RTX servislerine, statik PPP koordinatları hesaplanmak üzere gönderilmiştir. Bu süreçte ait bilgiler, servislerin özelliklerinin ele alındığı Bölüm 3’de verildiği için, tekrarlanmamıştır. Her bir servise uygun RINEX formatındaki veriler gönderildikten kısa bir süre sonra sadece PPP koordinatları değil, değerlendirme işlemine ve yapılan hesaplara ait pek çok bilginin yer aldığı raporlar ve dosyalar e-posta aracılığıyla tarafımıza iletilmiştir. Çalışmada magicGNSS yazılımından 2 nokta kümesi için (Açık Alan ve Orman Alanı) çözüm alınamamıştır.

Her bir servisten, Senaryo 1-8 için elde edilen statik-PPP nokta koordinatlarının doğruluğunu belirleyebilmek için, tesis edilen jeodezik noktaların yüksek doğrulukla elde edilmiş bilinen koordinatlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bilindiği

üzere günümüzde GNSS ile en yüksek doğrulukta konum, rölatif (görelî) yöntem ile belirlenmektedir. Bu çalışmada da noktaların koordinatlarının bu yöntemle belirlenmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bunun için İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi çatısında yer alan IGS noktalarından birisi olan ISTA istasyonu referans nokta olarak alınmış ve buna bağlı olarak klasik rölatif yöntemle noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplarda Trimble Business Center (TBC) yazılımı kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda her bir noktanın ITRF datumunda ve ölçme epoğundaki bilinen jeodezik koordinatları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda noktaların yatay konum ve yükseklikleri sırasıyla 5 mm ve 11 mm'lik bir ortalama hata ile

hesaplanmıştır. Burada vurgulanması gereken bir durum, PPP koordinatı hangi uydu sistemi ile belirlendiyse, noktaların sabit koordinatları hesaplanırken de sadece o uydu sisteminin dikkate alındığıdır. Bununla birlikte rölatif yöntemden elde edilen bu koordinat setleri arasında anlamlı sayılmayacak düzeyde (birkaç mm mertebesinde) farklar bulunmuştur.

Son aşama olarak yukarıda bahsedilen tüm senaryolara göre hesaplanan statik PPP koordinatları rölatif yöntem ile belirlenmiş (bilinen) nokta koordinatları ile yatay konum (2D) ve elipsoidal yükseklik (h) bileşenleri için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar Tablo 5'de ve Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada Kullanılan Servisler ve Değerlendirmeye Alınan Uydu Sistemleri

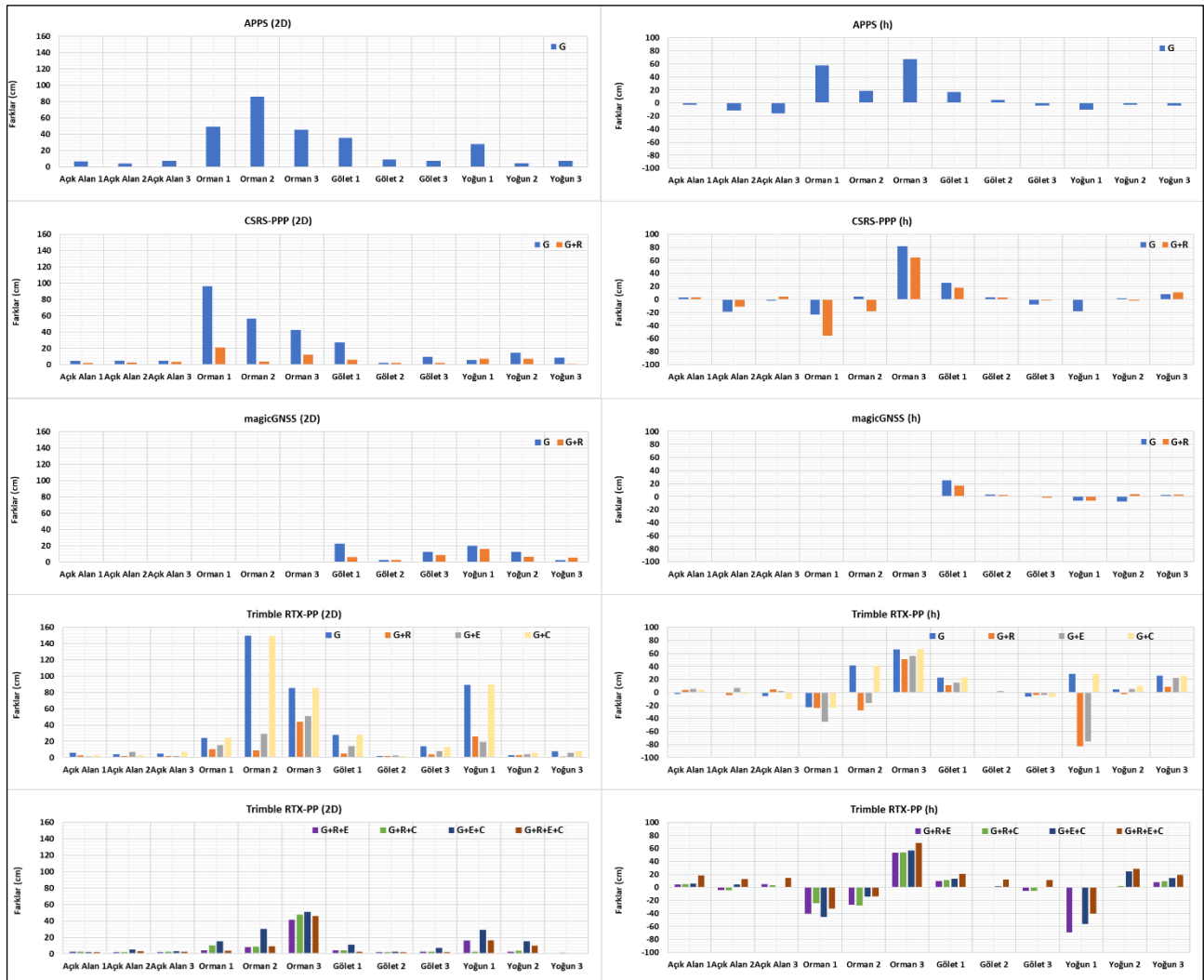
Nokta No.	APPS	CSRS-PPP			magicGNSS		Trimble CenterPoint RTX-PP						
	G	G	G+R	G	G+R	G	G+R	G+E	G+C	G+R+E	G+R+C	G+E+C	G+R+E+C
Açık Alan 1	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Açık Alan 2	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Açık Alan 3	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Orman 1	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Orman 2	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Orman 3	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gölet 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gölet 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gölet 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yoğun 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yoğun 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yoğun 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 5. Jeodezik Noktaların Bilinen Koordinatlarıyla, Statik-PPP Koordinatları Arasındaki Farklar

Nokta No.	APPS		CSRS-PPP				magicGNSS			
	G	G	G	G	G+R	G+R	G	G	G+R	G+R
	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)
Açık Alan 1	6.7	-2.8	4.3	2.6	2.2	3.6	N/A	N/A	N/A	N/A
Açık Alan 2	3.8	-11.9	5.0	-19.0	2.5	-11.2	N/A	N/A	N/A	N/A
Açık Alan 3	7.2	-15.5	4.6	-2.1	2.8	3.7	N/A	N/A	N/A	N/A
Orman 1	49.1	57.9	96.0	-23.2	21.0	-55.4	N/A	N/A	N/A	N/A
Orman 2	85.8	19.2	56.3	3.9	3.4	-18.1	N/A	N/A	N/A	N/A
Orman 3	45.3	67.8	42.6	82.1	12.1	64.4	N/A	N/A	N/A	N/A
Gölet 1	35.3	16.9	27.0	25.7	6.0	18.1	22.4	25.1	6.2	16.7
Gölet 2	8.9	5.1	2.2	3.3	1.9	2.3	2.4	2.7	2.5	2.3
Gölet 3	6.8	-4.3	9.2	-7.6	1.7	-1.5	12.7	-0.2	8.9	-2.0
Yoğun 1	27.3	-10.3	5.6	-18.3	7.1	-0.6	20.1	-5.8	16.2	-6.0
Yoğun 2	4.3	-2.4	14.3	1.6	6.8	-2.3	12.9	-7.3	6.4	3.4
Yoğun 3	7.1	-4.0	8.6	7.9	0.9	11.2	2.1	2.2	5.5	3.0

Tablo 5 (devamı). Jeodezik Noktaların Bilinen Koordinatlarıyla, Statik-PPP Koordinatları Arasındaki Farklar

Nokta No.	Trimble CenterPoint RTX-PP															
	G		G		G+R		G+R		G+E		G+E		G+C		G+C	
	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)	2D (cm)	h (cm)
Açık Alan 1	5.5	-2.3	2.2	4.3	1.2	5.5	3.0	3.2	2.2	4.1	2.8	-4.9	2.1	5.9	2.0	18.2
Açık Alan 2	3.8	0.0	2.1	-4.0	6.7	7.0	3.1	-2.4	2.1	-4.2	2.0	4.5	5.3	4.6	3.2	13.0
Açık Alan 3	4.9	-5.5	1.8	5.0	2.1	2.1	6.9	-10.6	1.8	4.8	2.5	-3.1	3.1	-0.6	2.5	14.8
Orman 1	24.4	-22.2	9.9	-24.1	15.2	-45.5	23.9	-23.5	4.0	-40.9	10.4	24.4	15.3	-45.7	3.7	-32.7
Orman 2	150.0	41.5	8.4	-27.1	29.2	-15.8	149.5	41.1	8.2	-26.9	8.9	27.4	30.5	-14.3	9.1	-13.9
Orman 3	85.5	66.2	43.6	51.1	50.8	56.3	85.4	66.9	41.3	53.0	47.5	-53.6	50.7	56.5	45.7	68.6
Gölet 1	27.6	22.7	4.6	11.1	14.4	15.0	27.8	22.6	4.1	10.1	4.4	-11.0	10.7	13.1	2.8	21.1
Gölet 2	1.9	0.7	1.7	0.5	2.2	1.9	1.8	0.6	2.0	-0.7	2.0	0.8	2.4	1.4	2.0	12.3
Gölet 3	13.3	-6.7	3.3	-3.6	8.0	-3.7	13.1	-6.6	2.3	-5.1	2.3	5.1	6.9	0.1	1.9	11.2
Yoğun 1	89.1	28.5	26.1	-83.3	19.0	-75.4	89.6	28.5	15.6	-69.4	2.3	0.2	29.4	-56.5	16.5	-40.2
Yoğun 2	3.3	4.8	2.8	-2.6	4.2	5.3	5.7	10.2	2.5	0.8	3.6	-2.0	15.5	24.6	9.8	28.6
Yoğun 3	7.4	25.7	1.1	9.2	5.6	22.2	7.8	25.9	1.0	7.8	1.2	-9.2	1.0	14.2	0.7	19.0

**Şekil 5.** Kullanılan Yazılımlara Göre Elde Edilen Farklar

4.3. Bulgular ve Tartışma

Ölçmelere ait GDOP değerleri ile gözlenen uydu sayılarının verildiği Tablo 2 incelendiğinde, GDOP değerlerinin ortalamalarının yalnızca GPS uydularına ait olan değerlerin, diğer uydu sistemleri ile karşılaştırıldığında en iyi olduğu; buna karşın bütün uydu sistemlerinin bir araya gelmesiyle oluşan dördü sistemde ise bu değer tekli sistemlere göre çok daha iyi olduğu (GDOP=1.4) görülmektedir. Noktaların bir kısmının GNSS

ölçmeleri açısından kısıtlı yerlerde olduğu, yani etraflarının veri almaya engel yapay/doğal objelerle kapatılmış olduğu göz önüne alındığında, bu sonuç son derece önemlidir. Bu tür zorlu koşullarda çoklu-GNSS yapısı uydu sayısını artırmakta, buna bağlı olarak da uyduların dağılım geometrisini iyileştirerek konum doğruluğunun artmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Tablo 5'de ve Şekil 5'de, en iyi koşullara sahip, genel olarak uydu gözlemi için bir kısıtın/engelin olmadığı "Açık Alan"larda yapılan ölçmelerden

yalnızca GPS ölçülerinin değerlendirildiği sonuçlara bakıldığında, APPS, CSRS-PPP ve Trimble RTX-PP servislerinden yatay konumda cm'ler mertebesinde, yükseklikte ise Trimble RTX-PP servisi ile yine cm, diğer servislerde ise 2 dm'ye varan farklar elde edilmiştir. Diğer ölçme bölgelerinde ise, gerek yatay konum, gerekse de yükseklik bileşeninde dm'ler mertebesine varan farklar bulunmuştur.

GPS ve GLONASS uydularının birlikte değerlendirilmesi sonucunda "Açık Alan" daki noktalar için elde edilen farkların, yalnızca GPS verilerinin değerlendirilmesine göre çok daha iyileştiği ve cm'ler mertebesine ulaştığı görülmüştür. Orman koşullarında yapılan ölçmelerin değerlendirilmesi sonucunda yatay konumda cm-dm mertebesinde farklar elde edilmişken, yükseklikte yarım metreye varan farklar elde edilmiştir. GPS+GLONASS konfigürasyonunun Gölet bölgesindeki 3 noktada da yatay konum doğruluğunu iyileştirdiği (cm mertebesinde), yükseklikte de Gölet 1 noktası hariç birkaç cm'lik farkların elde edildiği görülmüştür. Son olarak Yoğun 1, 2 ve 3 noktalarının tümünde de iyileşme görülmekteyken, Yoğun 1 noktası hariç diğerlerinde cm-dm mertebesinde farklar elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan APPS servisi yalnızca GPS verilerini değerlendirebilirken, CSRS-PPP ile magicGNSS'in ücretsiz hizmet veren servisi yalnızca GPS ve GPS+GLONASS uydularından alınan verileri birlikte değerlendirebilmektedir. Çalışmada kullanılan alıcılara bu uyduların dışında Galileo ve BeiDou uydularından da gözlemler yapılmış olup, bu verilerin değerlendirilebilmesi sadece Trimble CenterPoint RTX-PP servisi ile mümkün olabilmektedir. RTX-PP servisi ile "Açık Alan" da yapılan ölçmelerin değerlendirilmesi sonucunda G, GR, GE, GC, GRE, GRC, GEC ve GREC uydu konfigürasyonlarında cm'ler mertebesinde yatay konum farklarına ulaşılmıştır. Bunların yükseklik bileşenleri içinse GREC konfigürasyonunda dm, diğerlerinde ise cm mertebesinde fark elde edilmiştir. "Orman, Gölet ve Yoğun Alan" bölgelerinde birkaç istisna hariç olmak üzere, GR, GRE, GRC ve GREC konfigürasyonunda yatay konumda cm'ler mertebesinde farklar elde edilirken, yükseklikte cm ile dm'ler arasında değişen farklara ulaşılmıştır.

Sonuçlar, değerlendirmede kullanılan servislere göre de yorumlanmıştır (Tablo 5 ve Şekil 5). Yalnızca GPS verilerini değerlendirmesi nedeniyle çoklu-GNSS olarak kabul edilemeyecek olan APPS servisinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, ölçme koşullarının güçleştiği alanlarda noktaların yatay konum ve yüksekliklerinin bilinen koordinatlarla karşılaştırmasından elde edilen farkların arttığı, GNSS ölçme koşullarının zor olduğu bu tip bölgelerde yapılan konum belirleme çalışmalarının daha düşük doğrulukla sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

CSRS-PPP servisinden elde edilen yatay konum ve yükseklik farklarına bakıldığında, açık alanlarda hem GPS, hem de GPS+GLONASS senaryolarından oldukça benzer ve iyi sonuçlar alındığı; buna karşın

daha zor ölçme koşullarına sahip başta ormanlık alanlar olmak üzere diğerlerinde ise GPS+GLONASS kombinasyonunun yalnızca GPS'e göre sonuçları iyileştirdiği görülmüştür.

magicGNSS servisi ile hesaplanan PPP koordinatlarının karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında, GPS+GLONASS konfigürasyonunun yalnızca GPS'e göre yatay konumda iyileşme sağladığı gözlenmektedir. Ancak Orman ve Açık Alanlarda yapılan ölçmeler için sonuç alınamamıştır.

Diğer bir web-tabanlı servis olan Trimble CenterPoint RTX-PP, çalışmada ele alınan 8 ayrı senaryonun tümüne de olumlu cevap vermiş, tüm kombinasyonlar için sonuç alınabilmektedir. Bu servis ile PP-AR yaklaşımı ile çözüm elde edildiği belirtilmiş olsa da, genel olarak bakıldığında float çözüm yapan diğer servislere göre daha iyi sonuçlar elde edilememiştir. Ancak servisin kendi içerisindeki karşılaştırmasına bakıldığında çoklu-GNSS'in hemen tüm senaryolarda önemli iyileşmeler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların içerisinde en anlamlı iyileşmeler ölçme koşullarının daha zor olduğu Orman ve Yoğun Yerleşim Alanlarında olmuştur. Örneğin Orman 2 noktasında sadece GPS ile elde edilen yatay konum farkı 150 cm iken diğer GNSS sistemlerinin kullanılması ile cm'ler mertebesine indiği gözlenmektedir. Yine yoğun şehir alanını temsil eden Yoğun 1 noktasında çoklu-GNSS çözümlerinin, tekli sisteme göre daha iyi sonuçlar verdiği açık bir şekilde gözlenmektedir.

Kullanılan servislere göre yapılan bu değerlendirmeler sonucunda, aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

1-) Uydu gözlemleri için engellerin olmadığı, gökyüzünün açık olduğu durumlarda tüm servislerden elde edilen farklar, hem yatay konum hem de yükseklik için santimetreler mertebesinde elde edilmiştir.

2-) Değerlendirme servislerinin içinde CSRS-PPP servisinin GPS+GLONASS konfigürasyonunun genel olarak özellikle konum bileşeni için oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

3-) Servislerin hiç birisi tek başına tüm konfigürasyonlarda ve her türlü ölçme koşulunda en iyi sonucu verememiştir. Bir başka ifadeyle servislerin her birinden ölçme yapılan noktaya ve kullanılan uydu konfigürasyonuna göre değişen sonuçlar elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı uydu sistemlerinin statik PPP nokta konum doğruluğuna olan etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda farklı ölçme koşullarına sahip noktalarda yapılan ölçmelerden elde edilen GNSS verileri farklı senaryolar eşliğinde web-tabanlı online GNSS PPP değerlendirme servisleri ile değerlendirilmiş ve farklı GNSS uydu sistemlerinin kullanılmasının PPP konum doğruluğunu nasıl etkilediği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlardan uygun ölçme koşullarına sahip (yapay/doğal engellerin

olmadığı veya en az olduğu) ortamlarda yalnızca GPS uydu sistemi ile yapılan ölçmelerden cın mertebesinde doğrulukla konum belirlenebileceği, ancak daha zor ölçme koşullarına sahip bölgelerde tek GPS sistemi ile elde edilen doğruluğun düştüğü görülmüştür. Bu tür yerlerde çoklu-GNSS'in nokta konum doğruluğunu artırdığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmada kullanılan web-tabanlı GNSS değerlendirme servislerinin konum belirleme performanslarının, ölçmelerin yapıldığı noktanın koşullarına ve değerlendirmede kullanılan uydu sistemlerine çok yakından bağlı olduğu görülmüştür. Diğer yandan aynı verilerden dört farklı servisin tümünden de farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun en önemli nedeni servislerin arka planda kullandıkları yazılımların farklı olması, farklı stratejiler ile verileri değerlendirmeleridir. Buradan hareketle kullanıcıların tek bir servis ile yetinmeyip, oldukça kolay kullanıma sahip olan bu servislerin birden fazlası ile verilerini değerlendirmeleri, servislerce üretilen sonuç raporlarının titizlikle analiz edilerek yorumlamaları, dikkatle incelenmeleri önerilmektedir. Servislerden elde edilen koordinatlar arasındaki farkın ölçmelerden beklenen doğruluktan daha fazla olması durumunda bunun nedeni ortaya konulmaya çalışılmalı, hatta PPP yöntemine ek olarak SCOUT, OPUS, AUSPOS gibi rölatif yöntemle nokta koordinatlarını hesaplayan web-tabanlı online GNSS değerlendirme servislerinden de yararlanılmalıdır. Bu kapsamda mümkün olduğunca sahada bazı kontrol mekanizmalarının kurulması, tekrarlı ölçmelerin yapılması vb gibi işlemlerle ölçmelerin doğruluğu ve güvenirliliğinin artırılmasında da yarar bulunmaktadır. Zira servislerden elde edilen koordinatların derinlemesine analiz yapılmadan kullanılması durumu, özellikle zorlu koşullarda yapılan ölçmelerde kaba seviyede hatalara neden olabilecektir.

TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında sahada toplanan GNSS verilerimizin değerlendirilmesi imkanı sağladıkları için APPS, CSRS-PPP, magicGNSS ve Trimble CenterPoint RTX-PP online servislerine teşekkür ediyoruz.

KAYNAKÇA

- Alkan, R.M., Ozulu, İ.M. ve İlçi, V. (2015). Deniz Uygulamalarında Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin (PPP) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. *Harita Dergisi*, 154, 1-8.
- Alkan, R.M., Ozulu, İ.M. ve İlçi, V. (2017). Klasik GNSS Veri Değerlendirme Yazılımlarına Alternatif Olarak Web-tabanlı Online Değerlendirme Servisleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2), 603-619.
- Anderle, R.J. (1976). Satellite Doppler Positioning. *Proceedings of the International Geodetic Symposium*, Las Cruces, New Mexico, 12-14 October 1976, 47-75.
- Bahadur, B. and Nohutcu, M. (2019). Comparative Analysis of MGEX Products for Post-Processing Multi-GNSS PPP. *Measurement*, 145, 361-369; <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.094>.
- Bisnath, S., and Collins, P. (2012). Recent Developments in Precise Point Positioning. *Geomatica*, 66(2), 103-111; <https://doi.org/10.5623/cig2012-023>
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., and Zhu, J. (2015). Precise Point Positioning with Quad-Constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo. *Advances in Space Research*, 56(1), 133-143; <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.04.001>
- Choy, S., Bisnath, S. and Rizos, C. (2017). Uncovering Common Misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its Future Prospect. *GPS Solutions*, 21(1), 13-22; <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0545-x>.
- Dawidowicz, K. (2020). Sub-hourly Precise Point Positioning Accuracy Analysis – Case Study For Selected ASG-EUPOS Stations. *Survey Review*, 52(373), 341-351; <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1579988>.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M., Pagels, C. (2012). Introducing Ambiguity Resolution in Web-hosted Global Multi-GNSS Precise Point Positioning with Trimble RTX-PP. *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, Nashville, TN, USA; 17-21 September 2012, 1115-1125.
- Facio, Y. and Berber, M. (2020). Subsidence is Determined in the Heart of the Central Valley Using Post Processed Static and Precise Point Positioning Techniques. *Journal of Applied Geodesy*, 14(1); <https://doi.org/10.1515/jag-2019-0043>.
- Héroux, P. and Kouba, J. (2001). GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6-8), 573-578; [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(01\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(01)00103-X).
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. (2012). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kiliszek, D., and Kroszczyński, K. (2020). Performance of the Precise Point Positioning Method Along with the Development of GPS, GLONASS and Galileo Systems. *Measurement*, 164, 108009; <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108009>.
- Liu, R., Guo, B., Zhang, A. and Yimwadsana, B. (2020). Research on GPS Precise Point Positioning Algorithm with a Sea Surface Height Constraint. *Ocean Engineering*, 197, 106826;

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106826>.

- Liu, X., Wenhai, J., Bai, Y., and Fan, J. (2013). Global Coverage Performance Analysis Based on 4 BeiDou MEO Satellites. In: Sun J., Jiao W., Wu H., Shi C. (eds), China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2013 Proceedings: BeiDou/GNSS Navigation Applications, Test & Assessment Technology, User Terminal Technology, 319-330, Springer Science & Business Media.
- Nie, Z., Liu, F., and Gao, Y. (2020). Real-time Precise Point Positioning with a Low-cost Dual-frequency GNSS Device. *GPS Solutions*, 24(1), Article:9; <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0922-3>.
- Nischan, T. (2016). GFZRNX-RINEX GNSS Data Conversion and Manipulation Toolbox (Version 1.05). GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/GFZ.1.1.2016.002>.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. and Grinter, T. (2012). Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? *Proceeding of the FIG Working Week 2012*, Rome, Italy, 6-10 May, paper 5909.
- Wang, M. (2014). Ambiguity Resolution with Precise Point Positioning (Unpublished doctoral thesis). University of Calgary, Calgary, AB. doi:10.11575/PRISM/24782.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H. (1997). Precise Point

Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B3), 5005-5017; <https://doi.org/10.1029/96JB03860>.

Internet kaynakları

- Kyn. 1: CSNS-TARC Test and Assessment Research Center of China Satellite Navigation Office. <http://www.csno-tarc.cn/en/index/index> (11.08.2020).
- Kyn. 2: The Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS System. <https://apps.gdgps.net> (11.08.2020).
- Kyn. 3: Natural Resources Canada, Precise Point Positioning. <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (11.08.2020).
- Kyn. 4: magicGNSS Quality Data, Algorithms and Products for the GNSS User Community. <https://magicgnss.gmv.com> (11.08.2020).
- Kyn. 5: The Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service. <https://www.trimblertx.com> (11.08.2020).
- Kyn. 6: CHCNAV i80 GNSS. <https://www.chcnav.com/product-detail/i80-gnss> (11.08.2020).



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

GEOmatik

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi	
Umur G. Sefercik, Ayhan Ateşoğlu, Can Atalay	179
** Enerji nakil hattı projelerinin uygulanmasında arazi mülkiyetinin kazanılması sürecinin değerlendirilmesi	
Fatih Döner, Erhan Kaya	189
** Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi	
Selim Serhan Yıldız	198
** Galileo uydu sistemi ve sinyal yapısı	
Atınc Pırtı, Ramazan Gürsel HOŞBAŞ, Burak Şenel, Mehmet Köroğlu, Serdar Bilim	207
** Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği	
İrem Yakar, Seda Nur Gamze Hamal, Mehmet Özgür Çelik, Serdar Bilgi	217
** CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi	
Fuat Başçıftçi	227
** Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu - Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye)	
Cengiz Zabcı	238
** Farklı GNSS uydu sistemlerinin hassas nokta konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi	
Ahmet Can UÇARLI, Fatih DEMİR, Serdar EROL, Reha Metin ALKAN	248