

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 4 / Sayı 3 - Aralık 2019

ISSN:2564-6761



Dergi Hakkında	Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki 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. Yayınlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayımlanan 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

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

Dr. Osman ORHAN
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 KARAŞ, 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. Ali ULVİ, Selçuk 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 4 / SAYI 3

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** GPS Yayın Efemerisi Doğruluğunun İncelenmesi

SümeYra ERVURAL, Ekrem TUŞAT 170

** GNSS Uydu Dağılımının Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS ve Ağ-RTK Ölçülerindeki Önemi

İlknur MUTLU, Muzaffer KAHVECİ 179

** Kaynaştırılmış Görüntülerden Elde Edilen Doku Özellikleri ile DVM Sınıflandırma Performansının İyileştirilmesi

Volkan YILMAZ 190

** Headwall Hyperspec VNIR Kamerası İle Elde Edilen Hiperspektral Hava Fotoğrafı İçin Boyut İndirgeme Yöntemlerinin Performanslarının Analizi

Esra Tunç GÖRMÜŞ , Özlem AKAR 201

** Spektral Eşleştirme Yöntemleri Kullanarak Hiperspektral Görüntülerin Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırılması

Tuğcan DÜNDAR, Taner İNCE 215

** GNSS Gözlem Süresine Bağlı Deformasyon Parametrelerinin Kestirimi

Fuat KAYA, Alpay ÖZDEMİR, Deniz ÖZ DEMİR, Uğur DOĞAN 227

** Boru Hattı Kamulaştırma Çalışmalarında Karşılaşılan Teknik, Ekonomik, Hukuki Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Fatih İŞCAN, Fatih VARGELOĞLU 239

** İmar Uygulamalarında Farklı Dağıtım Metotlarının Karşılaştırılması

Ramazan GÜNGÖR*, Şaban İNAM 254

“

GPS Yayın Efemerisi Doğruluğunun İncelenmesi

Sümeýra ERVURAL^{1*}, Ekrem TUŞAT²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
(sumeyraglmz@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-7470-3938

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(etusat@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4130-3764

Öz

GPS ile konum belirlemede, konum belirleme yöntemine ve hedeflenen doğruluğa bağlı olarak iki farklı yörünge bilgisinden bahsedilebilir. Bunlar; yayın (broadcast) efemerisi ve hassas (precise) efemerisidir. Gerçek zamanlı konum belirlemede yayın efemerisi kullanılmakta olup yaklaşık 1-10 m doğruluğu elde etmek olanaklıdır. Ancak daha yüksek doğruluk beklenen uygulamalar ve özellikle ölçü sonrası büro hesaplamaları ile konum belirleme (statik GPS) için IGS hassas efemeris verileri tercih edilmektedir. Yayın efemeris bilgileri dünyaya dağılmış GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonları tarafından yapılan gözlemler yardımıyla üretilmekte ve anlık olarak yayınlanmaktadır. Hassas efemeris verileri ise IGS yörünge bilgilerinden yararlanılarak 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla yapılan gözlemlerin değerlendirilmesiyle oluşmaktadır. Bunun sonucunda haftalık hassas efemerisler yayınlanmaktadır. Bir navigasyon mesajı şeklinde yayınlanan bu efemeris verileri herhangi bir zamanda uydunun anlık konumunun hesaplanabilmesini sağlayan bir Kepler elipsini ifade eder. Bu çalışmada ilk olarak 1 Ocak 2018 tarih 00:00 zamanına ait yayın efemerisi bilgisinden hesaplanan X, Y ve Z koordinatları ile aynı zamana ait IGS sonuç hassas efemeris verisi arasında karşılaştırma yapılarak yayın ve hassas efemeris verilerinin koordinatlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra 31 Aralık 2017 tarih 22:00 zamanı ile 1 Ocak 2018 tarih 02:00 zamanı arasında 15 dakika aralıklarla X, Y ve Z koordinatları hesaplanmış ve aynı şekilde hassas efemeris verileriyle farkları alınmıştır. Bu uygulamada seçilen zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın efemerisi ve hassas efemeris verileri aralarındaki farklar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GPS, yayın efemerisi, hassas efemeris, Kepler yörünge parametreleri

Analyzing of GPS Broadcast Ephemeris Accuracy

Abstract

The GPS positioning, depending on the target location accuracy and detection methods may be mentioned two different orbital information. These are broadcast ephemeris and precise ephemeris. In real-time geodetic applications, generally broadcast ephemeris is used and it is sufficient by providing about 5-10 m accuracy. Precise ephemeris data are preferred for applications with higher accuracy. Publication ephemeris information is produced and instantaneously released by observations made by six GPS Control Departments monitoring stations. Precise ephemeris data are obtained by evaluating the observations made at 30 second intervals for 24 hours using IGS orbital information. As a result, weekly precise ephemeris are published. This ephemeris data, published as a navigation message, refers to a Kepler ellipse that allows the instantaneous location of the satellite to be calculated at any given time. In this study, the X, Y and Z coordinates calculated from the broadcast ephemeris information of the 00:00h of January 1, 2018 and the effects IGS final precise ephemeris data on coordinates were investigated by comparing the ephemeris data of the same time. Then, X, Y and Z coordinates were calculated at 15 min intervals between 22:00h of 31 December 2017 and 02:00h on January 1, 2018, and the differences were obtained with precise ephemeris data. In this application, the relation

* Sorumlu Yazar

between the broadcast ephemeris and the precise ephemeris data obtained by changing the time chosen was examined.

Keywords: GPS, broadcast ephemeris, precise ephemeris, Kepler orbit parameters.

1. GİRİŞ

GNSS sistemleri kullanılarak yüksek doğrulukta konum belirlemek mümkün olabilmektedir. GNSS verilerinin doğruluğu birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, GNSS alıcısının özellikleri, verilerin kaydedildiği andaki GNSS uydularının geometrisi, ölçü noktasındaki çevrenin özellikleri ve atmosferik etkiler GNSS verilerinin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerdir. GPS sistemi, kullanıcılara açılmış ilk GNSS sistemi olmakla birlikte son yıllarda, GLONASS, QZSS, Beidou, Galileo vb. gibi pek çok yeni GNSS sistemi de kullanıcıların hizmetine açılmıştır. Böylece artık kullanıcıların elindeki GNSS alıcılarının özelliklerine (kanal sayısı, jeodezik alıcı, navigasyon alıcı vb.) bağlı olarak tüm bu uydu sistemlerinden gerçek amanlı olarak yararlanmak olanaklı hale gelmiştir.

Uydu jeodezisinde birçok uygulama, zamana bağlı konum belirleyebilmek için belirli bir andaki uydu yörünge elemanları ve bozulmaları kullanarak hesaplanan uydu yörünge bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgi yayınlanan navigasyon mesajından elde edilmektedir (Kim ve Kim 2015). Jeodezik uygulamalarda elde edilen sonuçların doğruluğu kullanılan uydu yörünge bilgisinin hassasiyetine bağlıdır. Uydularla Global Konum Belirleme Sistemleri ile bağlı koordinatların belirlenmesi gibi jeodezik uygulamalar için elde edilen doğruluk giderek artmaktadır. Koordinatlarda 1 cm'lik bağlı doğruluk koşulu, uydu yörüngelerinin birkaç metre doğruluk seviyesinde veya daha da iyi olması gerekliliğini ifade eder (Seeber 1993).

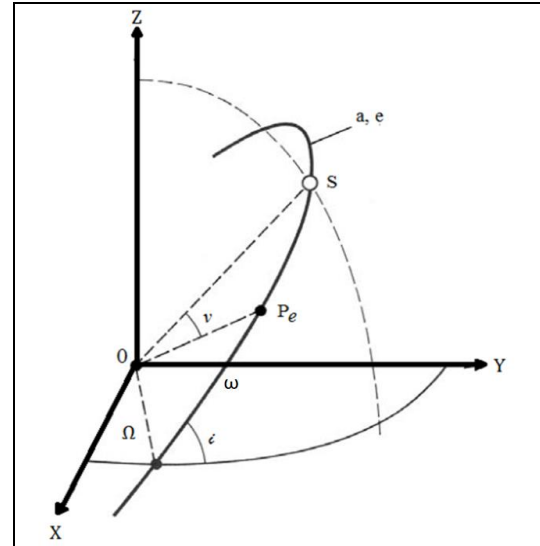
Uydu yörüngeleri ve bu yörünge üzerindeki hareketlerini belirlemek için Kepler kanunlarından yararlanılmaktadır. Kepler kanunları; uydunun güneş sistemi içerisinde yaptığı yörünge hareketini açıklamaktadır (Karaali ve Yıldırım 1996). Bu üç hareket kanunu aşağıdaki gibidir:

- Uydu yörüngesi odak noktalarının birinde yerin ağırlık merkezinin bulunduğu bir elipstir.
- Uydunun yer merkezli konum vektörü yörüngede eşit zaman içinde yörünge üzerinde eşit alanı tarar. Bu kanun uydu hızının sabit olmadığını yani uydunun yere en yakın olduğu noktada (perigee) hızlı, yere en uzak olduğu noktada (apogee) yavaş olduğunu göstermektedir.
- Uydunun yörüngesel dönmesini tamamladığı P süresinin karesi, yörünge elipsinin büyük yarı eksenini olan a 'nın küpü ile doğru orantılı ve sabittir (Formül 1).

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{\mu} \quad (1)$$

Burada $\mu = GM$ olup, G , uluslararası gravite sabiti, M , dünyanın kütesidir.

Bir uydunun Kepler hareketinin veya yörüngesinin bulunması ve uydunun bu yörünge üzerindeki konumunun belirlenmesi için, uydu yörüngesine ait 6 tane parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar Şekil 1 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kepler Yörünge Elemanları (Seeber 1993)

Kepler yörünge elemanlarından yarı ana eksen (a) yörüngenin boyutunu ve dış merkezlik (e)

yörüngenin şeklini belirtir. Yerberi (Perigee) argümanı (ω) ise yörüngenin yönünü belirtir. Yani yükselen düğüm ile Yerberi arasındaki açı uydunun hareket yönünü gösterir (İpek 2017).

Tablo 1. Kepler Yörünge Parametreleri

Parametre	Açıklama
Ω	Düğüm noktasının ilkbahar noktasından itibaren gök ekvator düzleminde yaptığı açı
i	Ekvator düzlemi ile uydu yörüngesi arasındaki açı
ω	Yerberi (Perigee) noktasının argümanı
a	Yörünge elipsinin büyük yarı eksenini
e	Dış merkezlik (Eksantrisite)
Pe	Yerberi (Perigee) den uydunun geçiş zamanı

2. GPS UYDU YÖRÜNGELERİ (EFEMERİSLER)

Efemeris verileri herhangi bir zamanda uydunun anlık konumunun hesaplanmasını sağlayan bir Kepler elipsini ifade eder (Parkinson ve Spilker, 1996). İki tür efemeristen söz edilebilir.

Yayın efemerisleri bir navigasyon mesajı şeklinde yayınlanmakta olup anlık konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Hassas efemeris ise daha çok GPS verilerinin ölçü sonrası büroda değerlendirilme aşamasında kullanılmaktadır (Tuşat ve Turgut 2004). GPS ile elde edilen verilerdeki noktaların konum doğruluğu efemeris bilgilerinin doğruluğu ile orantılıdır.

Günümüzde bilimsel çalışmalarda ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek GPS ölçümlerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtılmasından Jeodinamik için Uluslararası GPS Servisi (IGS) sorumludur. Yayın ve NGS hassas efemerislerinin aksine IGS hassas efemeris yörünge bilgileri, duyarlı P-Kod alıcılarının kurulu olduğu global ağda yapılan faz gözlemlerinden elde edilmektedir. IGS yörünge doğrulukları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. IGS Yörünge Doğrulukları (IGS, 2019)

Yörünge	Doğruluk	Elde Etme Süresi
Yayın Efemerisi (Broadcast)	~100 cm / 5 ns	Anlık
IGS Kestirim (predicted)	~5 cm / 3 ns	Anlık
IGS Kestirim (observed)	~3 cm / 150 ps	3-9 saat
IGS Hızlı (Rapid)	2.5 cm / 75 ps	17-41 saat
IGS Sonuç (Final)	< 2.5 cm / 20 ps	1-18 gün

2.1. Yayın Efemerisi

Yayın efemerisleri yeryüzüne dağılmış altı GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonları tarafından yapılan gözlemler yardımıyla üretilmektedir. Ana kontrol istasyonu düzeltilmiş bilgileri uydulara yükler ve GPS uyduları tarafından kullanıcıya “yayın” olarak iletilir. Yayın bilgisine GPS navigasyon mesajı dosyası olarak ulaşılabilmekte olup, her bir uydu için koordinatları ve saat düzeltmesini hesaplamak üzere gerekli Kepler parametrelerini verir. Bu efemeris verileri aynı zamanda uydunun saatini GPS saati ile eşleştirmek için gereken süreyi de içerir. Uydu saatindeki hata ve yörünge parametreleri hatalı yörünge kestirme hesabıyla sonuçlanır (Bidikar vd. 2014).

Yayın efemerisleri ölçme sonrası değerlendirmede de kullanılabildiği gibi genellikle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılır. Bu efemeris ile elde edilen uydu koordinat doğrulukları yaklaşık ± 5 m civarında olup birçok jeodezik uygulamada yeterli doğruluğu vermektedir (Seeber 1993). Fakat çözümünde kullanılan ekstrapolasyondan dolayı yüksek duyarlılık gerektiren uygulamalar için yeterli olmamaktadır (Xu 2016).

2.2. Hassas Efemeris

Hassas efemeris, dünya genelinde dağılmış çok sayıda istasyondan gelen uydu verilerini değerlendirerek elde edilir. İnternet üzerinden ücretsiz olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Hassas efemeris bilgilerini üreten kurum ve kuruluşlardan en çok bilinenleri Tablo 3’te gösterilmiştir. Bunların dışında hassas yörünge bilgisi üreten çok sayıda kurum ve kuruluş bulunmaktadır.

Tablo 3. Hassas Yörünge ve Saat Bilgileri Üreten Kurum ve Kuruluşlardan Bazıları (Kahveci ve Yıldız 2009)

Kurum/ Kuruluş Adı	Kullanılan Yazılım
Jet Propulsion Laboratory (JPL)	GIPSY-OASIS II
Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)	GAMIT
Center for Orbit Determination in Europe (CODE)	BERNESE
National Geodetic Survey (NGS)	PAGE5

Efemeris dosyalarında her uydu için 15 dakika aralıklarla km cinsinde X, Y, Z konum vektörleri ve ilgili saat hataları yer almaktadır. Bu veri dosyaları kullanılarak enterpolasyon yöntemiyle istenilen herhangi bir zaman için yörünge hesabı yapılabilir (Xu 2016).

Hassas efemerislerin doğruluğu yaklaşık birkaç santimetre seviyesindedir (IGS 2019). Günümüzde halen kullanılmakta olan birçok jeodezik kontrol noktası, nokta konumlandırma teknikleri ve hassas efemerisler ile belirlenmiştir (Seeber 1993).

3. YÖNTEM

Bu çalışmada koordinatların belirlenmesinde efemeris bilgisinin etkileri incelenmiştir. Uygulamada 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanına ait hassas (igs19821.sp3) efemeris (IGS sonuç) ve yayın (brdc0010.18n) efemerisi ile 31 Aralık 2017 tarihine ait hassas (igs19820.sp3) efemeris bilgileri kullanılmıştır. Efemeris verileri ile ECEF koordinat sisteminde koordinatlar hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ECEF koordinat sisteminde bir GPS uydu yörüngesini hesaplamak için kullanılan RINEX navigasyon dosyasının 1 numaralı uyduya ait veri bloğu Şekil 2' de verilirken hesaplama için kullanılacak olan algoritmalar Tablo 4'de gösterilmiştir.

```

2 NAVIGATION DATA RINEX VERSION / TYPE
CRINEXN V1.6.0 UX CDIS 01-JAN-18 23:30 PGM / RGN BY / DATE
IGS BROADCAST EPHemeris FILE COMMENT
0.7451D-08 -0.1490D-07 -0.5960D-07 0.1192D-06 ION ALPHA
0.9216D+05 -0.1147D+06 -0.1311D+06 0.7209D+06 ION BETA
-0.931322574615D-09-0.266453525910D-14 319488 1982 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER

1 18 1 1 0 0 0.0-0.207438133657D-04-0.272848410532D-11 0.000000000000D+00
0.570000000000D+02-0.933437500000D+02 0.384158858901D-08-0.240481491488D+01
-0.479072332382D-05 0.722405873239D-02 0.124592334032D-04 0.515368130112D+04
0.864000000000D+05 0.186264514923D-07-0.115918152708D+00-0.63329350738D-07
0.970129298099D+00 0.144343750000D+03 0.623034676009D+00-0.747388274579D-08
0.379301513716D-09 0.100000000000D+01 0.198200000000D+04 0.000000000000D+00
0.200000000000D+01 0.000000000000D+00 0.558793544769D-08 0.570000000000D+02
0.893700000000D+05 0.400000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
    
```

Şekil 2. 1 Numaralı Uydu için RINEX Veri Bloğu

Tablo 4. Uydu Konum Hesabı Algoritması

Parametre	Eşitlik
Yerçekim sabiti	$GM_e = 3986004418.10^8 m^3 / s^2 (WGS84)$
Yerin açılal dönme hızı	$We = 7.292115146710^{-5} rad / s (WGS84)$
Yörünge büyük yarı eksen	$a = (\sqrt{a})^2$
Ortalama yörünge hızı	$n_0 = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$
Düzeltilmiş yörünge hızı	$n = n_0 + \Delta n$
toe'ye göre zaman	$t_k = t - t_{0e}$
Ortalama anomali	$M_k = M_0 + n \cdot t_k$
Dış merkez anomali	$E_k = M_k - e \cdot \sin E_k$
Gerçek anomali	$v_k = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \sin E_k}{\cos E_k - e} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{\cos E_k - e}{1 - e \cdot \cos E_k} \right)$
Enlem argümanı	$U_k = \omega + V_k$
Enlem argümanı düzeltmesi	$\delta U_k = C_{uc} \cdot \cos 2U_k + C_{us} \cdot \sin 2U_k$
Yarıçap düzeltmesi	$\delta r_k = C_{rc} \cdot \cos 2U_k + C_{rs} \cdot \sin 2U_k$

Eğim düzeltmesi	$\delta i_{\dot{k}} = C_{ic} \cdot \cos 2U_{\dot{k}} + C_{is} \sin 2U_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş enlem argümanı	$\Phi_{\dot{k}} = U_{\dot{k}} + \delta U_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş yarıçap	$r_{\dot{k}} = a(1 - e \cdot \cos E_{\dot{k}}) + \delta r_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş yörünge eğimi	$i_{\dot{k}} = i_o + i.t_{\dot{k}} + \delta i_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş çıkış düğümü boylamı	$\Omega_{\dot{k}} = \Omega_o + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_{\dot{k}} - \dot{\Omega}_e t_{oe}$
Yörünge koordinatları	$X'_{\dot{k}} = r_{\dot{k}} \cdot \cos \Phi_{\dot{k}}$ $Y'_{\dot{k}} = r_{\dot{k}} \cdot \sin \Phi_{\dot{k}}$
Yer merkezli koordinatlar	$X_{\dot{k}} = X'_{\dot{k}} \cdot \cos \Omega_{\dot{k}} - Y'_{\dot{k}} \cdot \sin \Omega_{\dot{k}} \cdot \cos i_{\dot{k}}$ $Y_{\dot{k}} = X'_{\dot{k}} \cdot \sin \Omega_{\dot{k}} + Y'_{\dot{k}} \cdot \cos \Omega_{\dot{k}} \cdot \cos i_{\dot{k}}$ $Z_{\dot{k}} = Y'_{\dot{k}} \cdot \sin i_{\dot{k}}$

İlk olarak 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanına ait yayınlanan yörünge verileri kullanılarak bütün uydular için ECEF koordinat sistemindeki X, Y ve Z koordinatları hesaplanmış ve aynı zamana ait hassas efemerislerle farkı alınmıştır. Böylece yayın ve IGS hassas efemerisin koordinatlar üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Daha sonra yayın efemeris verileri kullanılarak seçilen 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanında 15 dakikalık öteleme hesapları yapılmıştır. 31 Aralık 2017 tarih 22:00 zamanı ve 1 Ocak 2018 tarih 02:00 zamanı arasında bütün uydular için 15 dakika aralıklarla ECEF koordinat sistemindeki X, Y, Z koordinatları hesaplanarak aynı şekilde hassas efemeris verileriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde her zaman diliminde en yüksek ve en düşük değer, ortalama değer ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu uygulamada seçilen zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın ve hassas efemeris verileri arasındaki ilişki incelenmiştir.

4. BULGULAR

1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 saati için yayınlanan verilerden hesaplanan ECEF koordinat sistemindeki X, Y ve Z koordinatları ile aynı zamana ait hassas efemeris verileri ve

bu verinin karşılaştırıldığı çizelgeler Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Yayın Efemerisi Verilerinden Hesaplanan Koordinatlar

YAYIN EFEMERİSİ			
18 1 1 0 0 00:00			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-7746387.7902	-13820659.3845	-21494942.4716
PG02/2	-16146095.7934	14527213.7790	15627540.0631
PG03/3	-12362480.8175	-22753025.5019	-6038320.6393
PG05/5	-4900809.9500	16694000.4726	19909026.5437
PG06/6	-24712779.6785	7688502.1966	6021510.6784
PG07/7	-22163680.3846	-6866636.3715	13521019.9381
PG08/8	4333532.8797	-25046337.1296	-7426493.4808
PG09/9	-12036085.1535	-10539771.4526	21163355.2617
PG10/10	19069679.6251	3749340.5944	-18140980.2745
PG11/11	-3534266.8310	-16963021.6099	-20714962.0147
PG12/12	9185358.6275	23532040.3514	-8696332.2425
PG13/13	-12056095.1235	23649241.5880	-1219772.0412
PG14/14	17484432.5449	-14927326.4443	-12876711.2420
PG15/15	-999757.4085	24916629.6580	-8766109.0732
PG16/16	5256643.2264	-16163001.0183	20153073.9072
PG17/17	-16954250.2487	6398054.5045	-18984750.5905
PG18/18	20772760.2425	13717704.4358	-8894617.7929
PG19/19	-18042461.5743	13563900.0964	-14444622.3032
PG20/20	12034092.4904	21965766.3276	8752969.0682
PG22/22	-7161011.4258	-22314072.2408	-12240051.0192
PG23/23	-4762876.1044	-20376873.2103	16364016.0608
PG24/24	4650222.6738	15020451.8549	-21522336.9964
PG25/25	17827033.3187	19590600.6024	3092182.3060
PG26/26	13438898.8081	-7595925.3116	21623966.4478
PG27/27	12421154.0722	-22889476.8879	4466444.9541
PG28/28	-18544560.5789	-8914616.1350	-16141433.5266
PG29/29	7867522.2095	15087399.5113	20389820.6573
PG30/30	-26181661.7740	-1244744.4498	4754123.1813
PG31/31	24737691.3380	-7541964.7174	6996503.0608
PG32/32	17216801.8621	-7995767.1809	-18526452.1300

Tablo 6. Hassas Efemeris Dosyasından Alınan Koordinatlar

HASSAS EFEMERİS (PG)			
18 1 1 0 0 00:00			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-7746389.210	-13820659.479	-21494943.319
PG02/2	-16146095.026	14527214.173	15627540.391
PG03/3	-12362480.870	-22753026.810	-6038321.404
PG05/5	-4900810.713	16693999.959	19909026.570
PG06/6	-24712780.585	7688503.452	6021512.570
PG07/7	-22163680.755	-6866636.968	13521019.272
PG08/8	4333533.776	-25046338.006	-7426494.909
PG09/9	-12036085.259	-10539771.655	21163356.509
PG10/10	19069680.003	3749341.392	-18140981.202
PG11/11	-3534268.730	-16963022.391	-20714963.195
PG12/12	9185357.848	23532040.166	-8696332.711
PG13/13	-12056096.069	23649242.912	-1219772.260
PG14/14	17484433.477	-14927327.815	-12876711.732
PG15/15	-999757.486	24916629.494	-8766109.619
PG16/16	5256644.115	-16163001.999	20153075.239
PG17/17	-16954250.928	6398056.130	-18984749.562
PG18/18	20772761.087	13717705.750	-8894618.323
PG19/19	-18042461.985	13563899.127	-14444622.602
PG20/20	12034093.628	21965767.793	8752968.685
PG22/22	-7161012.283	-22314072.663	-12240050.279
PG23/23	-4762877.326	-20376871.632	16364017.964
PG24/24	4650223.399	15020452.529	-21522337.630
PG25/25	17827033.275	19590602.218	3092181.529
PG26/26	13438899.779	-7595926.227	21623966.592
PG27/27	12421154.886	-22889477.768	4466444.145
PG28/28	-18544561.327	-8914617.585	-16141434.218
PG29/29	7867521.185	15087399.631	20389820.773
PG30/30	-26181663.067	-1244744.301	4754122.711
PG31/31	24737691.381	-7541964.340	6996502.646
PG32/32	17216802.573	-7995768.161	-18526452.608

Tablo 7. Yayın ve Hassas Efemeris Verilerinden Elde Edilen Koordinatlar Arasındaki Farklar

FARKLAR			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-1.4197	-0.0945	-0.8473
PG02/2	0.7674	0.3939	0.3278
PG03/3	-0.0524	-1.3080	-0.7646
PG05/5	-0.7629	-0.5136	0.0262
PG06/6	-0.9064	1.2553	1.8915
PG07/7	-0.3703	-0.5964	-0.6661
PG08/8	0.8962	-0.8763	-1.4281
PG09/9	-0.1054	-0.2023	1.2472
PG10/10	0.3778	0.7975	-0.9274
PG11/11	-1.8989	-0.7810	-1.1802
PG12/12	-0.7795	-0.1854	-0.4684
PG13/13	-0.9454	1.3239	-0.2187
PG14/14	0.9320	-1.3706	-0.4899
PG15/15	-0.0774	-0.1640	-0.5457
PG16/16	0.8885	-0.9806	1.3317
PG17/17	-0.6792	1.6254	1.0285
PG18/18	0.8444	1.3141	-0.5300
PG19/19	-0.4106	-0.9694	-0.2987
PG20/20	1.1375	1.4653	-0.3832
PG22/22	-0.8571	-0.4221	0.7402
PG23/23	-1.2215	1.5783	1.9031
PG24/24	0.7251	0.6740	-0.6335
PG25/25	-0.0437	1.6155	-0.7770
PG26/26	0.9708	-0.9153	0.1441
G27/27	0.8137	-0.8800	-0.8091
PG28/28	-0.7480	-1.4499	-0.6913
PG29/29	-1.0245	0.1196	0.1156
PG30/30	-1.2929	0.1488	-0.4703
PG31/31	0.0429	0.3774	-0.4148
PG32/32	0.7108	-0.9800	-0.4779

Tablo 8. Yayın ve Hassas Efemeris Verilerinden Elde Edilen Koordinatlar Arasındaki Farkların Ortalama, En Büyük, En Küçük ve Standart Sapma Değerleri

	X(m)	Y(m)	Z(m)
ORTALAMA	-0.1496	-0.0000	-0.1422
EN KÜÇÜK	-1.8989	-1.4499	-1.4281
EN BÜYÜK	1.1375	1.6254	1.9031
STD. SAPMA	0.8707	0.9969	0.8668

Bu tablolar incelendiğinde farkların X ekseninde -1.9 m ile +1.1 m, Y ekseninde -1.5 m ile +1.6 m, Z ekseninde -1.4 m ile +1.9 m değerleri arasında olduğu görülmektedir. Tabloda yer alan farkların ortalama değerleri X koordinat bileşeni için ~ -15 cm, Y koordinat bileşeni için ~ 0 cm, Z koordinat bileşeni için ~ -14 cm olup, standart sapmaları ise X koordinat bileşeni için 0.9 m, Y koordinat bileşeni için 1 m, Z koordinat bileşeni için 0.9 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yayın efemerisi yörünge verileri kullanılarak 31 Aralık 2017 tarihi 22:00 zamanı ve 1 Ocak 2018 tarihi 00:00 zamanı arasında bütün uydular için t değeri değiştirilerek 15 dakikalık zaman farklarında X, Y ve Z değerleri elde edilmiştir. Bulunan bu değerler yine hassas efemeris değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma sonuçları Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Yayın Efemerisi ve Hassas Efemeris Arasındaki Farkların Minimum, Maksimum, Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (22:00-00:00 arası)

	x	y	z	
22 0 0.00	Minimum(m)	-3.265	-2.251	-2.769
	Maksimum(m)	2.907	3.435	3.482
	Ortalama(m)	0.018	0.020	0.090
	Std Sapma(m)	1.585	1.467	1.779
22 15 0.00	Minimum(m)	-3.681	-2.267	-2.646
	Maksimum(m)	2.119	2.607	3.043
	Ortalama(m)	-0.086	-0.040	0.017
	Std Sapma(m)	1.374	1.280	1.592
22 30 0.00	Minimum(m)	-3.810	-2.329	-2.739
	Maksimum(m)	1.653	2.139	2.653
	Ortalama(m)	-0.138	-0.066	-0.036
	Std Sapma(m)	1.246	1.173	1.469
22 45 0.00	Minimum(m)	-3.720	-2.278	-2.729
	Maksimum(m)	1.497	1.959	2.590
	Ortalama(m)	-0.159	-0.072	-0.074

	Std Sapma(m)	1.142	1.089	1.351
23 0 0.00	Minimum(m)	-3.468	-2.087	-2.641
	Maksimum(m)	1.433	1.868	2.555
	Ortalama(m)	-0.163	-0.065	-0.101
	Std Sapma(m)	1.057	1.022	1.227
23 15 0.00	Minimum(m)	-3.110	-1.820	-2.373
	Maksimum(m)	1.406	1.869	2.420
	Ortalama(m)	-0.161	-0.050	-0.119
	Std Sapma(m)	0.994	0.984	1.108
23 30 0.00	Minimum(m)	-2.695	-1.580	-2.019
	Maksimum(m)	1.373	1.852	2.239
	Ortalama(m)	-0.157	-0.033	-0.130
	Std Sapma(m)	0.949	0.977	1.003
23 45 0.00	Minimum(m)	-2.268	-1.515	-1.677
	Maksimum(m)	1.289	1.765	2.055
	Ortalama(m)	-0.152	-0.016	-0.136
	Std Sapma(m)	0.907	0.987	0.920

Tablo 10. Yayın Efemerisi ve Hassas Efemeris Arasındaki Farkların Minimum, Maksimum, Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (00:00 – 02:00 arası)

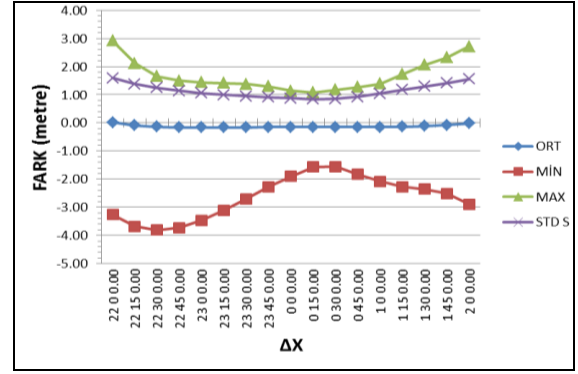
		x	y	z
0 0 0.00	Minimum(m)	-1.899	-1.450	-1.428
	Maksimum(m)	1.138	1.625	1.903
	Ortalama(m)	-0.150	0.000	-0.142
	Std Sapma(m)	0.871	0.997	0.867
0 15 0.00	Minimum(m)	-1.572	-1.627	-1.380
	Maksimum(m)	1.080	1.656	1.923
	Ortalama(m)	-0.147	0.008	-0.147
	Std Sapma(m)	0.841	0.992	0.853
0 30 0.00	Minimum(m)	-1.551	-1.733	-1.507
	Maksimum(m)	1.177	1.660	1.788
	Ortalama(m)	-0.146	0.013	-0.154
	Std Sapma(m)	0.852	0.985	0.882
0 45 0.00	Minimum(m)	-1.835	-1.811	-1.659
	Maksimum(m)	1.273	1.701	1.515
	Ortalama(m)	-0.146	0.016	-0.164
	Std Sapma(m)	0.920	0.994	0.942
1 0 0.00	Minimum(m)	-2.086	-1.905	-1.945
	Maksimum(m)	1.387	1.938	1.254
	Ortalama(m)	-0.145	0.021	-0.172
	Std Sapma(m)	1.036	1.034	1.013
1 15 0.00	Minimum(m)	-2.270	-2.050	-2.163
	Maksimum(m)	1.726	2.125	1.397
	Ortalama(m)	-0.138	0.030	-0.171

	Std Sapma(m)	1.169	1.102	1.075
1 30 0.00	Minimum(m)	-2.353	-2.147	-2.272
	Maksimum(m)	2.058	2.246	1.488
	Ortalama(m)	-0.119	0.043	-0.148
	Std Sapma(m)	1.292	1.180	1.116
1 45 0.00	Minimum(m)	-2.509	-2.280	-2.250
	Maksimum(m)	2.312	2.277	1.973
	Ortalama(m)	-0.081	0.057	-0.090
	Std Sapma(m)	1.405	1.253	1.161
2 0 0.00	Minimum(m)	-2.885	-2.991	-2.103
	Maksimum(m)	2.714	2.186	2.748
	Ortalama(m)	-0.021	0.061	0.019
	Std Sapma(m)	1.556	1.335	1.302

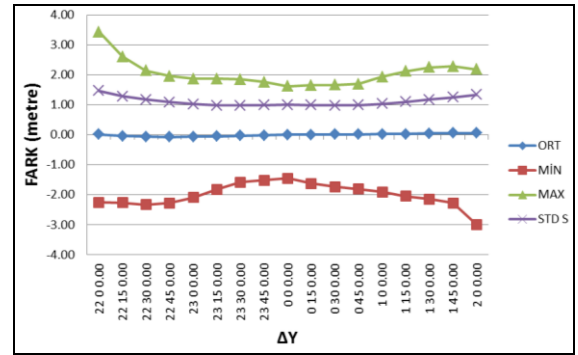
Tablo 9 ve Tablo 10'da ifade edilen yayın ve hassas efemeris arasındaki farklara göre X, Y ve Z değerleri için minimum ve maksimum değerleri düzensiz dağılım gösterirken, bütün uydular için alınan ortalama değerlerin her üç bileşen içinde sıfıra yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir. Hesaplamalarda 1 Ocak 2018 ve 00:00 zamanı referans kabul edildiğinde değiştirilen t değerinin pozitif olduğu durumlarda yayın ve hassas efemeris arasındaki farkın 3 m'nin altında olduğu görülürken, t değerinin negatif alınarak kullanıldığı durumlarda ise bu fark 3.8 m'ye yaklaşmıştır. 3 m'nin üstünde çıkan farkların en çok X bileşeninde olduğu ve zaman değişse bile belirli uydularda bu durumun tekrarlandığı sonucuna varılmıştır.

Tablolarda ifade edilen X, Y ve Z koordinatlarındaki farklara ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri zaman ekseninde grafik şekline dönüştürülmüş olup Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

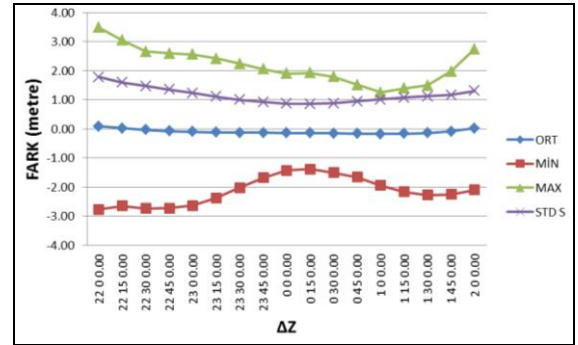
Aşağıdaki verilmiş olan grafiklerde görülen bir diğer bileşen olarak hesaplanan standart sapma ise X, Y ve Z bileşenlerinde yaklaşık benzer eğriyi oluşturduğu ve sıfır anından uzaklaştıkça standart sapma değerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Üç bileşen içinde 00:00 zamanında minimum değerlerde olan standart sapmalar X bileşeni için 1.6 m, Y bileşeni için 1.5 m, Z bileşeni için 1.8 m en yüksek değerlerini almıştır.



Şekil 3. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen X Koordinatı Fark Değerleri



Şekil 4. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen Y Koordinatı Fark Değerleri



Şekil 5. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen Z Koordinatı Fark Değerleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yayın ve hassas efemeris verileri ile elde edilen koordinatlar zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Yayın efemeris verileri GRS80 referans elipsoidini kullanan WGS84 sisteminde iken hassas efemeris verileri yine GRS80 referans elipsoidini kullanan ITRF sistemindedir. Ancak bu iki

sistem arasında belirgin bir fark bulunmadığı bilinmektedir. Ayrıca efemeris verilerinden elde edilen koordinatların doğruluğuna gravite alanının, troposferik ve iyonosferik faktörlerin etki ettiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Hassas efemeris ve yayın efemerisi arasındaki farkların az olduğu ve mühendislik çalışmalarının çoğu için yayın efemerisinin yeterli doğruluğu sağlayacağı değerlendirilebilir (Hull 1989, Tuşat ve Turgut 2004, Tusat ve Ozyuksel 2018).

Yayın efemerisi ve hassas efemeris karşılaştırıldığında istenen hassasiyet ve efemeris verilerine ulaşmak için geçen zaman belirleyici faktörler olmaktadır. Mühendislik uygulamalarının çoğu için yayın efemerisi gerekli hassasiyeti sağlarken aynı zamanda bu veriye anlık olarak ulaşılabilir. Bu özellikleri ile hassas efemerise göre kullanımı daha pratiktir. Hassas efemeris verilerine ise yaklaşık bir gün ile iki hafta sonra internet üzerinden ulaşılabilir. Ancak yayın efemerisi verileri ile hassas efemeris verileri arasındaki fark her ne kadar az olsa da yüksek hassasiyet gerektiren jeodezik uygulamalar için hassas efemeris verilerinin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Bidikar, B., Rao, G., S., Ganesh, L., ve Kumar, S., (2014). Satellite clock error and orbital solution error estimation for precise navigation applications. *Positioning*, 5, 22-26.
- Hull, W. V., (1989). Geometric geodetic accuracy standards and specifications for using GPS relative positioning techniques. *MD: National Geodetic Survey*.
- IGS, (2017). International GNSS Service. <http://www.igs.org/>, [Erişim Tarihi; 01.03.2019]
- İpek, M., (2017). Satellite Orbit Estimation Using Kalman Filters. Phd Thesis. In *Middle East Technical University*.
- Kahveci, M., ve Yıldız, F., (2009). GPS/GNSS: uydularla konum belirleme sistemleri: teori ve uygulama. *Nobel Yayınları, Ankara*.
- Karaali, C. ve Yıldırım, Ö., (1996). Global Konum Belirleme Sistemi (GPS). *Pamukkale Üniversitesi Mühendis. Fakültesi Mühendis. Bilim. Derg.*, 2(2), 103-108.
- Kim, M., ve Kim, J., (2015). A Long-term Analysis of the GPS Broadcast Orbit and Clock Error Variations. *Procedia Engineering*, 99, 654-658.

- Parkinson, B., W., ve Spilker, J.J., (1996). Global positioning system: Theory and applications. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2.
- Seeber, G., (1993). Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. *Walter de Gruyter*.
- Tuşat, E., Turgut, B., (2004). GPS Efemeris Bilgisinin Görelî Konumlamada Koordinatlara ve Baz Bileşenlerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(1), 65-72.
- Tusat, E., Ozyuksel, F., (2018). Comparison of Gps Satellite Coordinates Computed From Broadcast and Igs Final Ephemerides. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, Vol; 3, Issue 1, pp. 012-019, February, 2018 .
- Xu, G., (2016). GPS: theory, algorithms and applications. *Springer*.

GNSS Uydu Dağılımının Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS ve Ağ-RTK Ölçülerindeki Önemi

İlknur MUTLU¹, Muzaffer KAHVECİ^{2*}

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(ilknur.mutlu42@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-5289-1915

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(mkahveci@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5380-7164

Öz

A.B.D.nin Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) 1980'li yıllarda sivil kullanıma açıldığında tüm sistemin toplam 24 uydudan oluşması öngörülmüştü. Bu öngörü başta haritacılar olmak üzere potansiyel kullanıcılar arasında GPS uydu dağılımının homojen olacağı ve böylece herhangi bir yerdeki gözlemcinin tüm azimut ve yükseklik açılarında sorunsuz olarak uydulara gözlem yapabileceği gibi bir algının oluşmasına neden olmuştur. Ancak, GPS'in sivil kullanıma açılmasıyla birlikte GPS uydu görünürlüğünün coğrafi bölgeye ve özellikle gözlemcinin enlemine bağlı olarak değiştiği ve kuzey enlemlerinde ise yeterli kapsama alanını sağlamadığı görülmüştür. Bu durum özellikle son 20 yıl içerisinde gerçek zamanlı konum belirleme ve navigasyon uygulamalarında önemli bir sakınca olarak ortaya çıkmıştır.

Zaman içerisinde GPS sistemine alternatif olarak GNSS olarak adlandırılan farklı uydu sistemlerinin (Rusya GLONASS, AB Galileo, Çin Beidou vb.) yaşantımıza girmesiyle ve tüm bu uydu sistemlerinin eşzamanlı kullanımının öngörüldüğü durumlarda bu sorun büyük ölçüde aşılmış gibi görünmektedir. Ancak, her bir uydu sisteminin bağımsız kullanılacağı durumlarda ve gerçek zamanlı klasik kinematik ve ağ-RTK (örn. TUSAGA-Aktif) ölçüleri söz konusu olduğunda sorunun devam ettiği görülmektedir.

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesinde devam etmekte olan yüksek lisans tezinin bir bölümünü kapsamakta olup, burada GNSS uydu dağılımının özellikle gerçek zamanlı kinematik GNSS ve Ağ-RTK uygulamalarındaki önemini araştırılması amaç edinilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 2 gün boyunca 7 saat süren statik oturum ve 2 farklı günde Ağ-RTK (VRS yöntemi ile) ölçümü yapılmıştır. Noktalara ait uydu görünürlüğü (Skyplot), uydu sayıları ve DOP grafikleri, günümüzdeki uygulamalarda tercih edilen 5 ve 10 derecelik yükseklik açılarında oluşturulmuş ve elde edilen grafikler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: GPS, GNSS, DOP, uydu geometrisi

* Sorumlu Yazar

The Importance of GNSS Satellite Distribution in Real-Time Kinematics GNSS and Network-RTK Measurements

Abstract

When the GPS was begun to be used by the civil community in 1980, it was anticipated that the full constellation would consist of 24 satellites. This plan caused users, particularly geodetic surveyors, think that the deployment of the full GPS constellation would provide a uniform distribution in the sky. In another saying, they thought that the observer anywhere on the Earth 's sky will have a uniform sky distribution which means it would be possible to make observation in all azimuths and elevation angles. But, in real applications it was noticed that GPS sky distribution changes depending on the observer's latitude. And this reality showed that this insufficiency of GPS sky distribution is an important problem particularly for navigational and real time positioning purposes.

On the other hand, in time, as the other satellite positioning systems (GLONASS, Galileo, Beidou, etc.) called as GNSS have appeared this situation seemed to change. When an observer use all these systems simultaneously it can be thought that so-called problem would be eliminated to a great extent. But, if one wants to use any of the GNSS system separately or in real time CORS applications then this problem is said to be still in question in most geographical regions.

This study gives some results obtained via an MSc thesis in Technical University of Konya and it is aimed to investigate the importance of GNSS sky distribution particularly in real time CORS applications.

Keywords: GPS, GNSS, DOP, satellite geometry

1. GİRİŞ

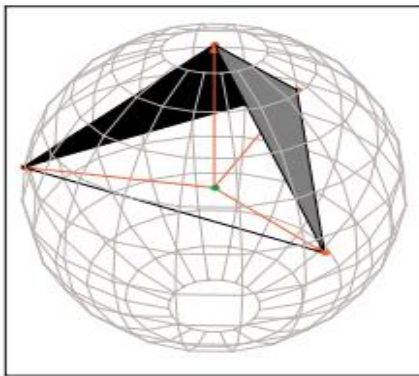
Günümüzde GNSS sistemleri yaşantımızın hemen her aşamasında girmiş durumdadır ve temel olarak konum, hız ve zaman belirleme amaçlarıyla kullanılmaktadır. GNSS'in kullanım alanlarına bakıldığında navigasyon amaçlı kullanımına ilave olarak, jeodezik ve jeodinamik amaçlı hassas konum belirleme ilk sıralarda yer almaktadır. Günümüzde bu amaçlı en yaygın mesleki kullanım gerçek zamanlı sabit istasyonlar ağı (örneğin TUSAGA-Aktif) uygulamalarında görülmektedir.

Bu kadar yaygın ve önemli kullanım olanaklarına karşın ister statik görelî ister gerçek zamanlı veya mutlak konum belirleme olsun GNSS ölçülerinde de doğruluk kısıtlayıcı hata kaynaklarının olduğu bilinmektedir. Bu hata kaynaklarından bazıları; yörünge hataları, atmosferik hatalar, sinyal yansıma hataları, uydu geometrisi vb. olarak sayılabilir, (Kahveci ve Yıldız 2018). Söz konusu hatalar ise doğal olarak nihai amaç olan nokta koordinatlarının doğruluklarını olumsuz yönde etkilemekte ve bu da hataların konum belirlemedeki etkilerinin analizini gerektiren önemli bir husus haline gelmektedir. Bilindiği gibi bu hatalar gözlemci ile uydu arasındaki

doğrultunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu hatalar gözlem yapılan uydunun azimut ve yükseklik açısının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, konum belirleme açısından önemli olan En Küçük Karelerle (EKK) dengeleme işlemi yapılırken bu hataların ana amaç olan nokta koordinatlarını nasıl etkilediğinin hesaplanmasıdır (Santerre 1989).

Uyduların birbirlerine ve alıcıya göre olan konumları ve alıcının gördüğü uydu sayısı genel bir ifadeyle uydu geometrisi olarak adlandırılmaktadır. Uydu geometrisi, ölçme öncesi ölçme planı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken ve hesaplamalar sonucu elde edilecek doğrulukta payı yüksek olan faktörlerinden biridir. Uydu geometrisinin uygunluğu DOP (Dilution Of Precision: Duyarlılık Kaybı) faktörleri ile ifade edilebilir. DOP faktörleri, uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmekte yaygın olarak kullanılmaktadır. DOP, alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirlerine göre olan görelî konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin "pseudorange" hataları ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı faktörlerdir (Kahveci 2017). Başka bir ifadeyle DOP, GNSS alıcıları ile toplanan verilerin doğruluğuna ilişkin uydu

geometrisinin gücünü tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Babayo ve arkd.,2017; Rita, 2003). DOP değerinin düşük olması uyduların gökyüzüne uygun dağıldığını gösterir. Bu değer büyüdükçe görülen uyduların uygun dağılımda olmaması durumu yani uyduların birbirine yakınlığı söz konusudur. Yüksek bir DOP, zayıf uydu geometrisini ve daha düşük bir ölçüm uydu konfigürasyonunu gösterir (Opaluwa ve arkd., 2015; Corvallis, 2000). Başka bir ifadeyle görülen uydular ile alıcı arasında çizdiğimiz doğruların oluşturduğu çokgenin alanı ne kadar büyük ise DOP değeri o kadar düşüktür ve konum doğruluğuna etkisi en az seviyededir. DOP kavramının bu yapı ile ifade edilmesi Geometrik DOP olarak adlandırılmaktadır. En uygun uydu geometrisi için ise uydunun birinin alıcının zenit doğrultusunda olduğu ve diğer üçünün bir eşkenar üçgen oluşturduğu tetrahedron yapısı kabul edilmektedir. Bu geometrik şeklin hacmi ne kadar büyükse uydu geometrisinde ölçüm için en uygun zamandır. Mümkün olan en büyük tetrahedron, bir uydunun zenit doğrultusunda ve üç uydunun gözlemcinin ufuk hattının altında, -19.47 derecelik bir yükseklik açısında olduğu ve eşit azimut aralıklarında bulunduğu geometridir (Şekil 1). Bu durumda GDOP 1.581 olmaktadır, ancak, dünyanın yüzeyindeki veya yakınındaki bir GPS alıcısının, ufuk altındaki üç uyduyu görmesi pratik olarak olanaklı olmadığından bu senaryo gerçekçi değildir. Bu durumda, mümkün olan en düşük GDOP (1.732), alıcının başucu doğrultusunda bir uydu ve ufukta eşit miktarda yayılmış 3 uydu olarak kabul edilebilir (Langley R.B., 1999).



Şekil 1. Tetrahedron (Langley R.B., 1999)

DOP faktörlerini “matematiksel” ve “geometrik” olarak iki farklı şekilde tanımlamak olanaklıdır. Matematiksel DOP, dengeleme sonrası elde edilen kofaktör (veya varyans-kovaryans) matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak elde edilir. Geometrik DOP ise dört yüzlü üçgen şeklinin hacminin karşılığıdır. Daha yaygın olmasının nedeni; hesaplanmasının kolay olması, matematiksel DOP gibi değişmemesi ve dört uydu gözlemine dayanıyor olmasıdır.

Geometrik DOP’un zayıf yanları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Dörtten fazla uydu kullanılamaz.
- Bileşenleri (HDOP ve VDOP) geometrik olarak yorumlanamaz.
- Zenit simetrik uydu takımı için dört yüzlü üçgen şeklinin en yüksek olduğu zaman "matematiksel" PDOP değeri en düşük değer değildir.
- Dört uydu aynı düzlemde olduğunda, dört yüzlü üçgen şeklinin hacmi sıfır (ve 'geometrik' PDOP en yüksek değere ulaşır) olur.

Matematiksel DOP ise yalnızca gözlem noktası da bu düzlemde olduğunda en yüksek değere sahip olur (Krauter, 1998).

Uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve saat bilinmeyenine toplam etkisi GDOP (Geometric Dilution Of Precision), yatay ve dikey koordinatlara etkisi PDOP (Position Dilution Of Precision), enlem ve boylama (yatay koordinatlara) etkisi HDOP (Horizontal Dilution Of Precision), nokta yüksekliğine etkisi VDOP (Vertical Dilution Of Precision), zaman bilgisine etkisi TDOP (Time Dilution Of Precision) olarak ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Bu faktörlerden navigasyon çerçevesinde konum doğruluğuna etkisi baz alındığında GDOP ve PDOP değerleri ilgilenilen değerler olacaktır. Diğer faktörlerden HDOP, denizcilikte; VDOP daha çok havacılıkta ve TDOP zaman transfer uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu hesaplanan değerlerin uygulamalarda kabul gören sınır değerleri NATO standartlarına göre Tablo-1’de verilmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Tablo 1. NATO standartlarına göre DOP faktörleri sınır değerleri

PDOP	Kullanılabilir	PDOP < 6
	Sınırdadır	PDOP = 6-10
	Kullanılmamalı	PDOP > 10
HDOP	Kullanılabilir	HDOP ≤ 4
VDOP	Kullanılabilir	VDOP ≤ 4.5
TDOP	Kullanılabilir	TDOP ≤ 2

Uygulamada bazı GPS alıcı markaları, almanak bilgisine bağlı olarak mevcut uyduların konumlarını analiz etmekte ve DOP değerinin olabildiğince küçük olmasını sağlamak için bu uyduları en iyi geometriye göre seçmektedirler. Başka bazı GPS alıcı markaları, kullanıcı tanımlı sınırları aşan DOP değerleri ile elde edilen GPS okumalarını yok saymakta ve kullanmamaktadır. Bazı GPS alıcı markaları ise, tüm uyduları gözlem

yapabilme yeteneğine sahip olduğu için DOP'u optimum değere indirecek uydu geometrilerini seçerek konumlarını belirlemektedir (Opaluwa ve arkd. 2015).

Bu çalışmada, GNSS uydu geometrisinin statik ve gerçek zamanlı GNSS ölçülerindeki önemi araştırılmış olup, arazide 3 noktada yapılmış olan statik ve Ağ-RTK (VRS: Sanal referans İstasyonu) ölçü ve hesaplamaları ile elde edilen sayısal sonuçlar ve grafikler karşılaştırılmaktadır.

2. SAYISAL UYGULAMA

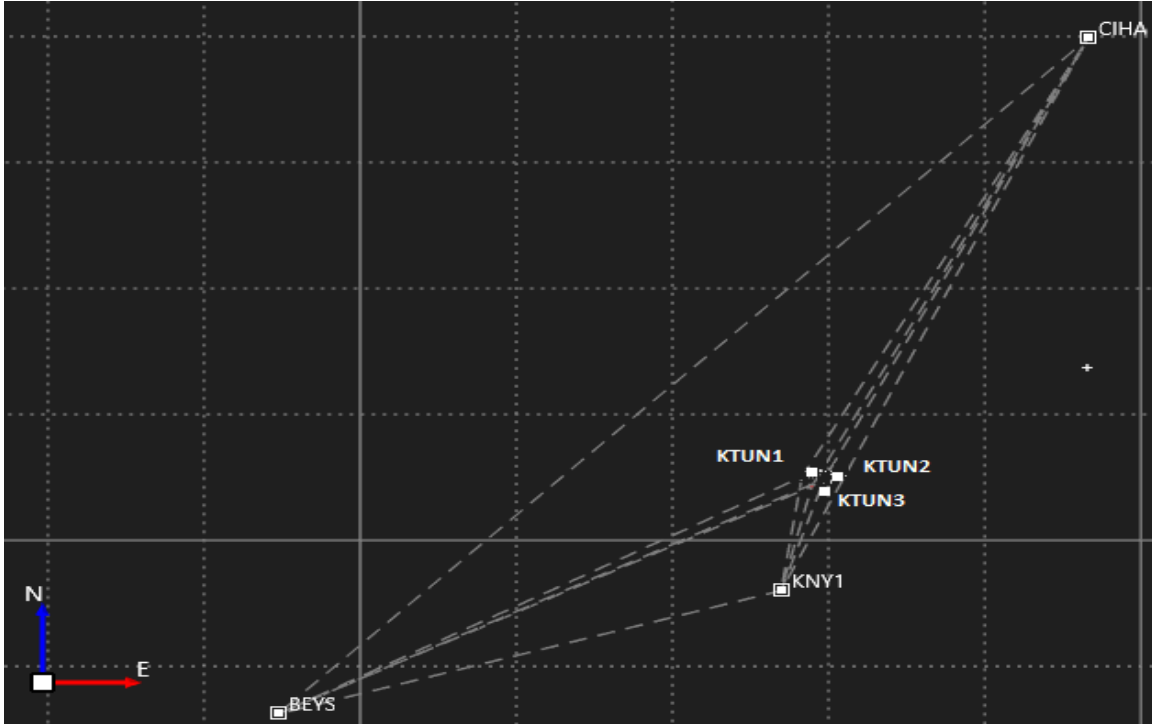
Uydu geometrisinin statik GNSS ölçülerinde ve gerçek zamanlı konum belirlemedeki önemini tespit etmek için 2 gün boyunca 7 saat süren statik oturumlar ve 2 farklı günde Ağ-RTK ölçüsü yapılmıştır. Arazi noktaları Konya Teknik Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi kampüsü çevresinden seçilmiş daha önceden koordinatları bilinen noktalardır. Bu noktalar kampüs içerisinde yer alan KTUN1 (TUTGA), Bosna Hersek mahallesinde yer alan KTUN2 (TUTGA C2) ve KTUN3 (Poligon) noktalarıdır. Noktaların yaklaşık konumları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Noktaların Yaklaşık Konumu (Google Earth ekran görüntüsü)

Bu noktaların kesin koordinatlarının hesaplanmasında Konya ilinde yer alan TUSAGA-Aktif noktalarından CIHA (Cihanbeyli), BEYS (Beyşehir) ve KNY1 (Konya) noktaları sabit (referans) nokta olarak alınmıştır. GNSS yazılımında hesaplamaya

dahil olan tüm noktaların grafik görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

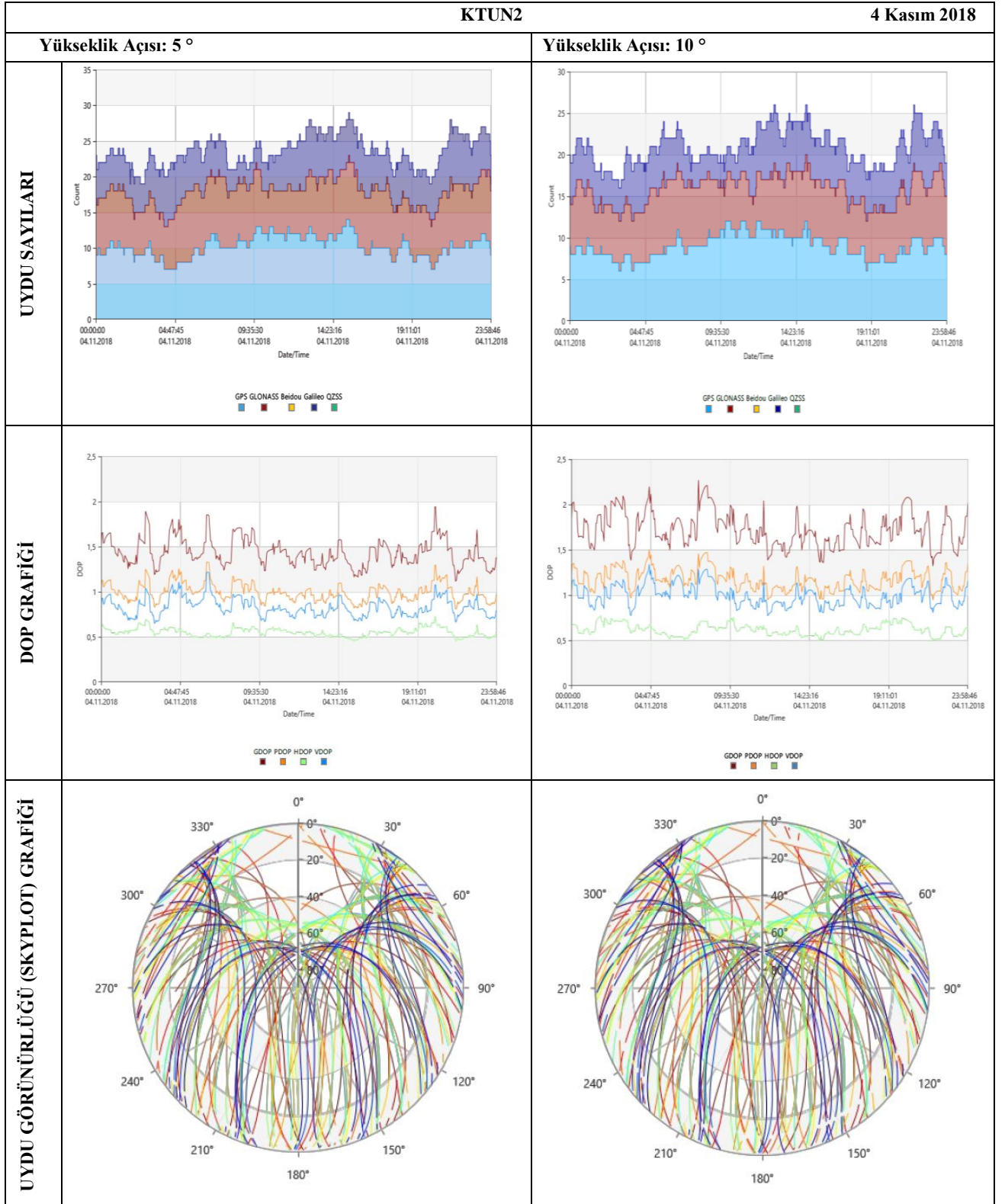


Şekil 3. Hesaplamalarda Oluşturulan Bazlar

4 ve 5 Kasım 2018 günlerinde 09:00-16:00 saatleri arasında statik ölçüler, 6 ve 10 Kasım 2018 günlerinde sırasıyla 10:00-10:30 ve 11:30-12:30 saat aralıklarında Ağ-RTK ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Statik ölçümlerde TOPCON GR-5 alıcısı, Ağ-RTK ölçüleri için ise TOPCON HiPer SR alıcıları kullanılmıştır.

Arazide elde edilen GNSS verilerinin değerlendirilmesi işlemi için Leica Geo Office yazılımının son sürümü olan Leica Infinity programı kullanılmıştır. Hesaplamalar, 30 saniye veri aralığında ve IGS sonuç yörünge bilgileri kullanılarak yapılmıştır.

KTUN1, KTUN2 ve KTUN3 noktalarına ait 5 ve 10 derece uydu yükseklik açılarında uydu sayıları, DOP grafiği ve uydu görünürlüğü (Skyplot) grafikleri ayrı ayrı elde edilmiş olup, noktalar birbirine yakın mesafede oldukları ve aynı uyduları göreceklerinden, bu grafikler sadece 4 Kasım 2018 ve KTUN2 noktası için Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekillerde ölçü noktaları merkez olarak kabul edildiğinde söz konusu yükseklik açılarında gökyüzünde görülebilen tüm uydular yer almaktadır.



Şekil 4. KTUN2 Noktasında 4 Kasım 2018 İçin Uydu Sayıları ve Görünürlük Grafiği

Söz konusu uydu grafikleri incelendiğinde, ölçü yapılan noktalarda 5° için gözlenen uydu sayısının maksimum 30, ortalama 25 olduğu görülmüştür. Konum belirleme doğruluğunu ifade eden DOP faktörlerinden GDOP maksimum 2, ortalama 1.5 olarak gerçekleşmiştir. PDOP ise ortalama 1.0 olarak elde edilmiştir. 10° yükseklik açısında gözlenen uydu sayısının maksimum 26, ortalama 20 olduğu görülmüştür. Buna paralel olarak DOP değerleri yükselmiştir ve maksimum 2.20, ortalama 1.80 olmuştur. Bunlara ek olarak 5 Kasım günü yaklaşık olarak öğlen saatlerinde uydu sayısında oluşan azalma ile DOP değerleri 2.80'e kadar ulaşmıştır. 10° yükseklik açısında görülen ortalama PDOP değeri ise ortalama 1.30 olmuştur. GNSS ölçüsü yapılan 3 noktanın (KTUN1, KTUN2, KTUN3) aralarındaki mesafenin yaklaşık olarak 2 km olduğu dikkate alındığında 3 nokta arasında uydu geometrisi açısından önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ancak uydu yükseklik açısının artırılmasının görülen uydu sayısında azalmaya neden olduğu ve bunun da DOP değerlerini etkilediği görülmüştür. Tüm grafiklerin ortak özelliği ise GDOP tanımından da anlaşılacağı üzere uydu sayısı ile DOP değerlerinin ters orantı içerisinde olmasıdır. GPS ve GLONASS uydularından veri alan bir alıcı ile yapılan bu sayısal uygulamada uydu sayısının azaldığı durumlarda DOP değerlerinde artış meydana gelmektedir ve bu durum teorik olarak beklenen bir sonuçtur. Bu çalışmada uydu sayısının ve geometrisinin özellikle gerçek zamanlı kinematik ve ağ-RTK konum belirlemeye etkisinin incelenmesi için bazı varsayımlarda bulunularak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bunlardan KTUN2 noktası ele alınarak bu noktada 10 derece uydu yükseklik açısında doğu, batı, kuzey ve güney yönlerinde engeller olduğu varsayılmıştır.

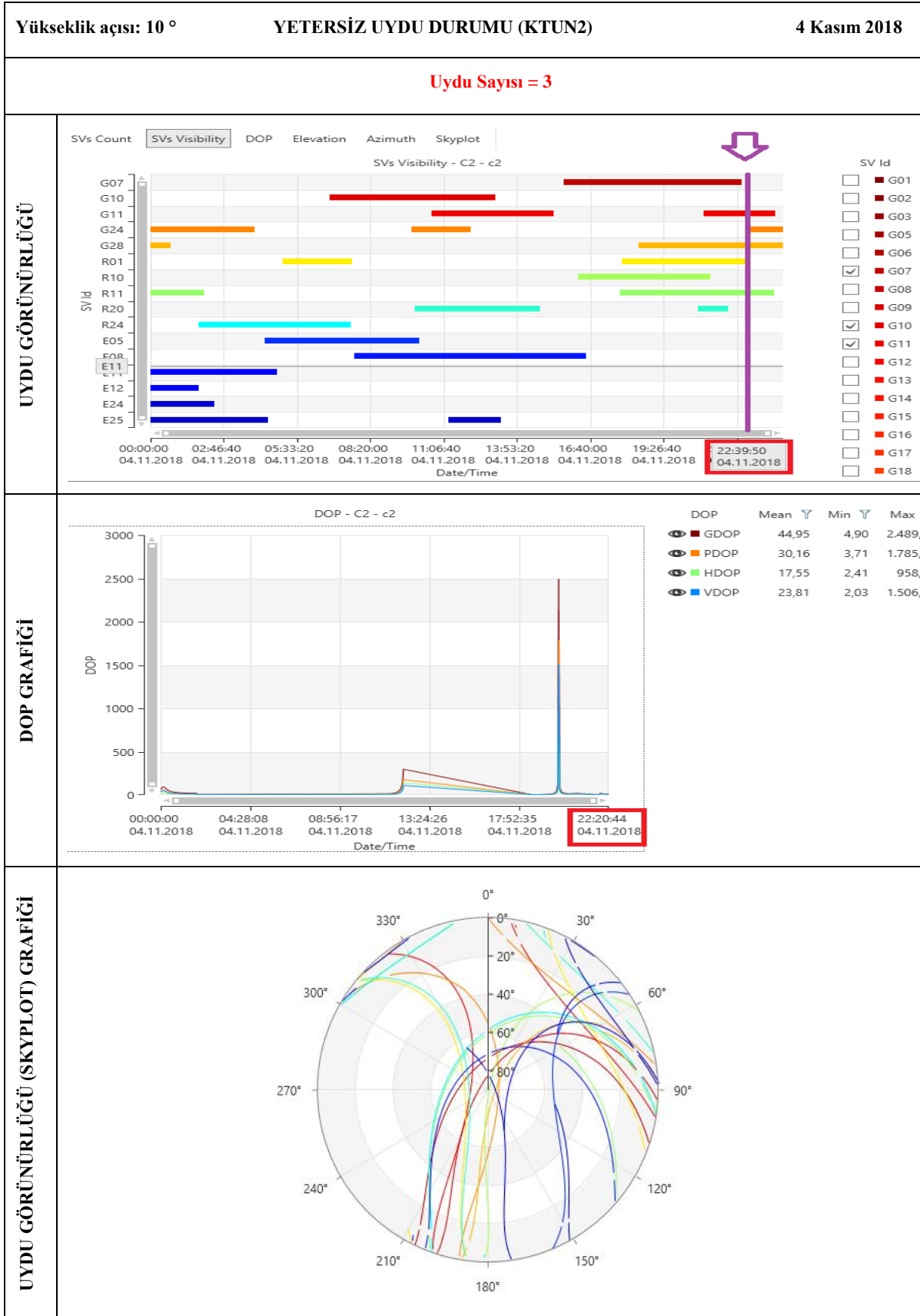
Engel çalışması için hesaplamalarda kullanılan Leica Infinity programının uydu gökyüzü grafiği (Sky plot) seçeneği kullanılmıştır. GNSS sistemlerinin her bir uydusunun yer aldığı uydu gökyüzü grafiğinden uydu ekleme çıkarma elle yapılmıştır. Böylelikle engel grafikleri için varsayılan engeller doğrultusunda en uygun seçimler oluşturulmuştur.

Hesaplamalar sırasında elle uydu çıkartma işlemlerinde DOP grafiğinin oluşumunda sorunla karşılaşmıştır. Şekil 5'de KTUN2 noktası ve 10 derece yükseklik açısı için verilen grafiklerde saat 22:20 sonrası DOP grafiği oluşmamıştır. Bunun nedeni Şekil 5'de görüldüğü üzere bu saatte uydu sayısının 3'e düşmüş olmasıdır. Bu deneyimden de görüleceği gibi günün herhangi bir saatinde alıcının gördüğü uydu sayısının 4'ün altına düşmesi durumunda DOP değerinin hesaplanması olanaksız olmaktadır. Dolayısıyla, ölçü noktasındaki alıcı etrafında uydu görülmesini engelleyen doğal veya yapay engellerin olması durumunda alıcının nokta konumunu hesaplaması için gereken minimum 4 uydu şartının bile sağlanamayacağı açıktır. Söz konusu senaryolara göre Doğu ve Batı yönlerinde engel olması durumunda uydu görünürlüğü ve DOP grafikleri Şekil 6'da, Kuzey ve Güney yönleri için ise Şekil 7'de verilmiştir.

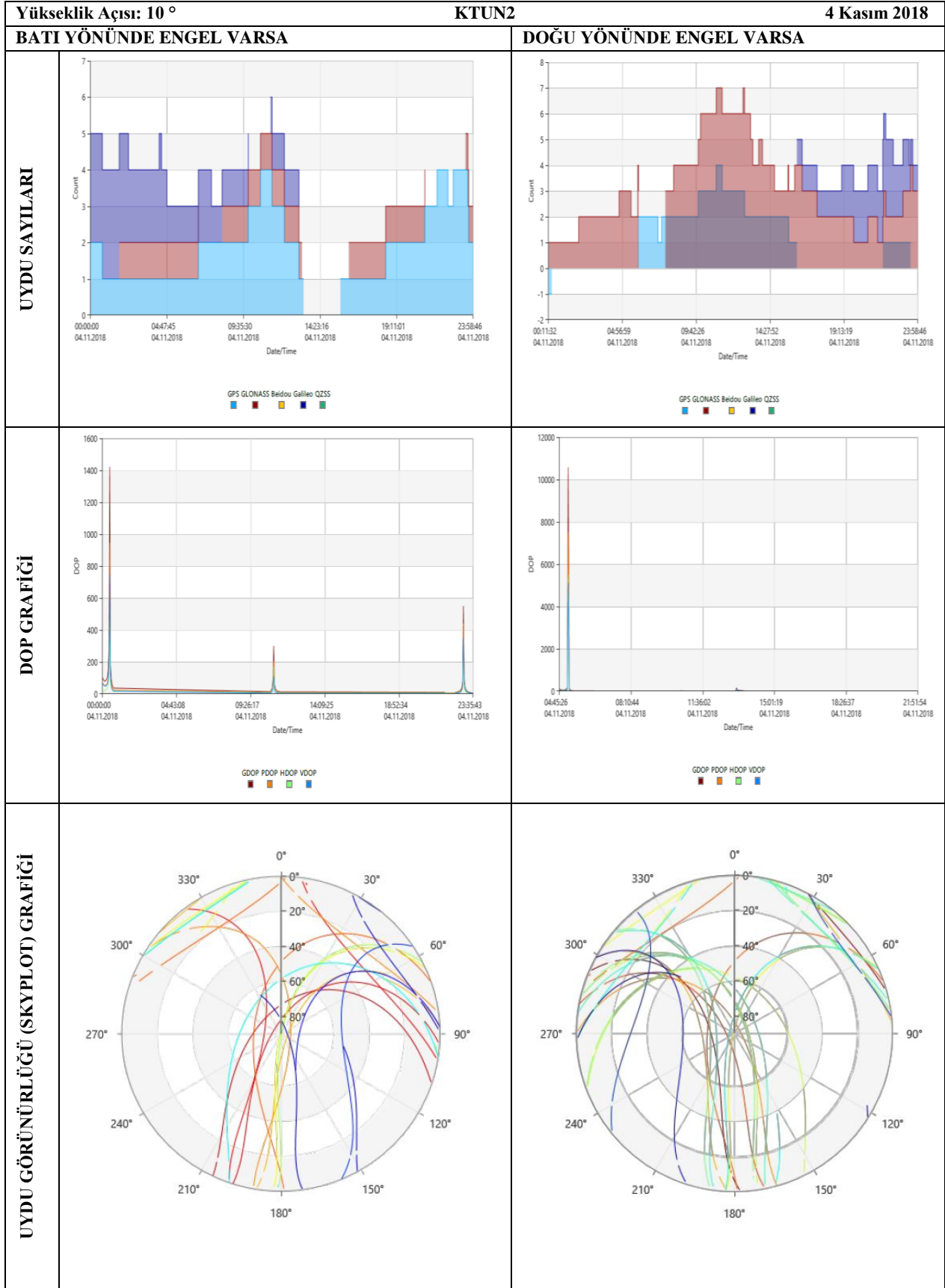
Şekil 5 irdelendiğinde, uydu sayısının 4'ün altına düşmesi ile aynı zaman aralığı için PDOP değerinin yaklaşık 1800'e, GDOP grafiğinin ise 2500'e kadar çıktığı görülmektedir. Bu değerler Tablo 1'de verilen sınır değerlerle karşılaştırıldığında sadece birkaç epokluk ölçü yapılarak koordinat belirlenen gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda konunun önemi daha da iyi anlaşılmaktadır.

Şekil 6 ve 7 irdelendiğinde şu sonuca ulaşmak olanaklıdır; eğer zorunlu olarak ölçü yapılacak noktanın etrafında engel varsa ve sadece birkaç epokluk ölçü ile nokta koordinatları belirlenecekse, bu durumda optimum ölçü zamanının belirlenmesi için bu çalışmaya benzer senaryoların yapılarak karar verilmesinde yarar olacağı sonucuna varılabilir.

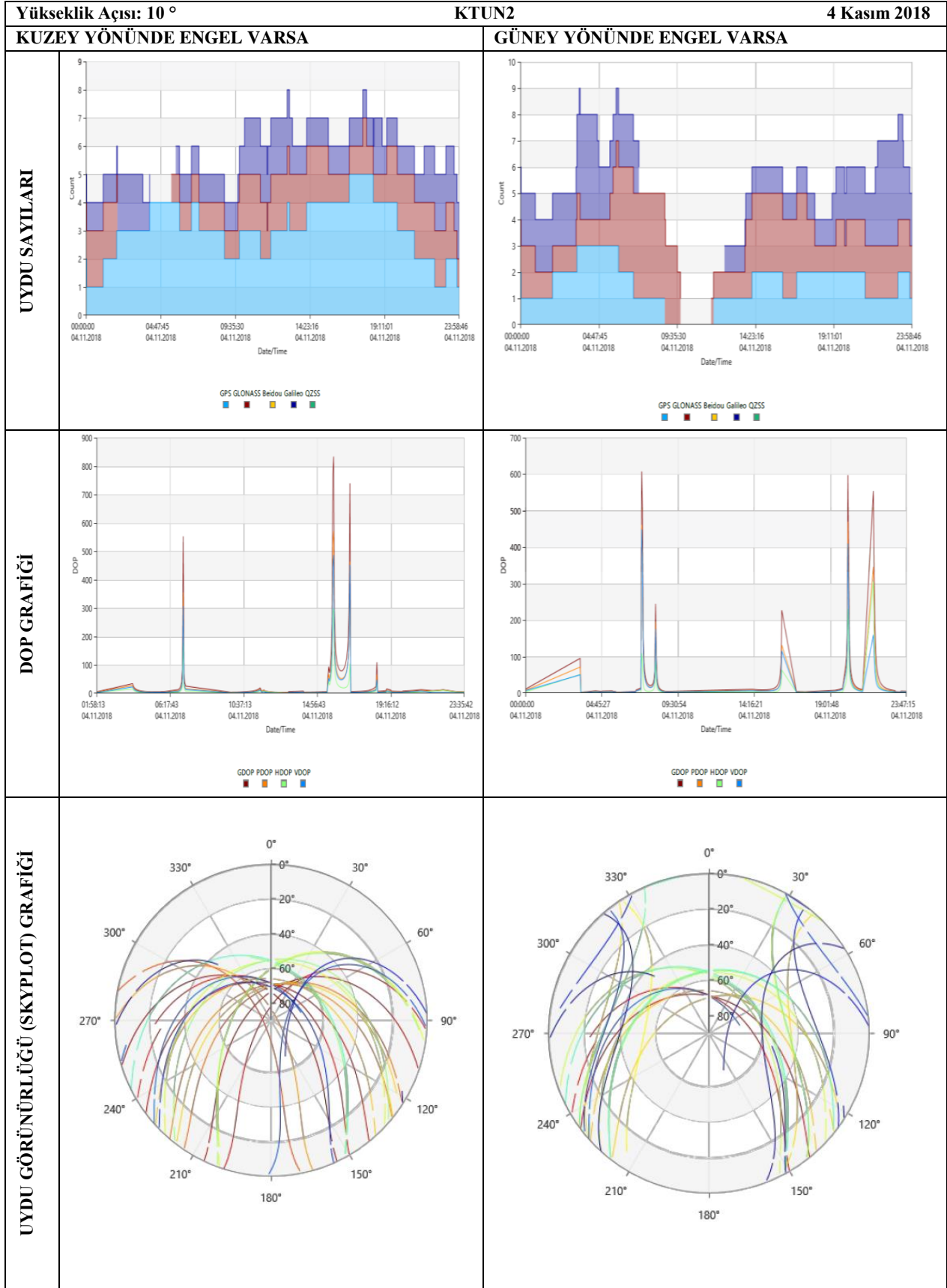
Tüm bu grafiklerden de görüleceği gibi, DOP değerleri, ölçü yapılan nokta etrafında hiç engel olmaması durumuna göre ideal değerlere ulaşmaktadır. Bunun anlamı ise alıcı etrafında alıcının uyduları görmesini engelleyen doğal ve yapay engellerin olması durumunda gözlem yapılan uydu sayısının ve dolayısıyla DOP faktörlerinin olumsuz olarak etkilendiği ve konum belirleme sonuçlarında önemli ölçüde kötüleştirmelere neden olduğudur.



Şekil 5. KTUN2 Noktasında Yetersiz Uydu Sayısının Etkisi



Şekil 6. Doğu ve Batı Yönlerinde Engel Olması Durumu



Şekil 7. Kuzey ve Güney Yönlerinde Engel Olması Durumu

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, uydu görünürlük grafiklerinin araziye çıkılmadan önce gerek statik gerekse gerçek zamanlı kinematik (Ağ-RTK dahil) ölçü planlarının tasarımında ne kadar etkili ve önemli olduğunu ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, ölçü yapılmak üzere seçilecek veya tesis edilecek noktaların çevresinde öncelikle engel olup olmadığı konusunun belirlenmesi ve bu bağlamda her ölçü noktası için engel grafiklerinin hazırlanması, özellikle ölçü planlamasında söz konusu noktalarda hangi zaman aralıklarının ölçüler için daha uygun olacağı önceden belirlenmelidir. Böylece, zaman ve emek kaybı önlenerek optimum ölçü planı gerçekleştirilmiş olacaktır. Söz konusu engel grafikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi (Kahveci ve Yıldız 2018)'de verilmektedir. Bu konu, günümüzde özellikle birkaç epokluk ölçü ile kurumların arşivine kabul edilen gerçek zamanlı kinematik GNSS ile konum belirlemede çok önemli ve göz önünde tutulması gereken bir husustur. Mevcut GNSS uydu sistemlerinden günümüzde tam kapasite ile hizmet verenlerin (GPS ve GLONASS) datum, zaman sistemleri, sinyal polarizasyonu, vb. teknik detaylarda farklılıklarının da ölçü sonrası elde edilecek sonuç koordinatlarının doğruluklarını etkileyen faktörler olduğu göz önünde tutulduğunda konunun önemi daha da artmaktadır.

Çalışma kapsamında çok sayıda senaryo denenmiş ve hesaplanmış olmakla birlikte bu makalede örnek olarak sadece KTUN2 noktasına ait sonuçlar paylaşılmıştır. Elde edilmiş olan sonuçlar irdelendiğinde, statik (en az 1 saat ve daha uzun) GNSS ölçü ve hesaplamalarında uydu geometrisi sürekli değiştiği ve her durumda çok sayıda uydu gözlenebildiği için ölçü noktası etrafındaki uydu sinyalinin engelleyici doğal veya yapay engellerin olması, bu engellerin 5 derecenin altında kaldığı ve noktadan belirli bir uzaklıkta olduğu sürece önemli olmadığı söylenebilir. Ancak, ölçü noktası yakın civarındaki yüksek gerilim hatları ve manyetik alanlar çok farklı bir hata kaynağı oluşturdukları için ulaşılan bu sonuçların dışında ayrı bir çalışma ve yorum konusudur.

Bu bağlamda ulaşılabilecek en önemli sonuç ise, gerçek zamanlı kinematik GNSS ile

konum belirlemede bir kaç epokluk ölçümlerin istatistik olarak çok riskli olduğu, ölçü süresi ne kadar uzun olursa o kadar tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde edileceği çıkarımıdır. Dolayısıyla, bir kaç epokluk kinematik GNSS ölçümleri ile jeodezik ve kadastro amaçlı konum belirlemelere ilişkin mevzuatın bu çalışmadaki sonuçlar göz önünde tutularak güncellenmesinde yarar olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Babayyo A., Abubakar T., Umar S. (2017). Time Optimization for GPS Observation using GNSS Planning, Department of Surveying and Geoinformatics Federal Polytechnic Bauchi, Nigeria.
- Corvallis. (2000). Introduction to Global Positioning System for GIS and Traverse. Corvallis, USA: Corvallis Microtechnology, Inc. 413 S.W Jefferson Avenue..
- Kahveci M., (2017). Kinematik GNSS ve RTK Cors Ağları, 2. Basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Kahveci M., Yıldız F., (2018). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, 10.basım, Nobel Yayıncılık, Ankara
- Krauter A., (1998). Role Of The Geometry In Gps Positioning, Department of Surveying Technical University of Budapest, 1998, Budapest, Hungary.
- Langey R.B., (1999). Dilution of Precision, GPSWORLD, may1999, University of New Brunswick
- Opaluwa Y., Abazu C. I., Okorocho C. V., Odumosu J., (2015). The Effect Of Gps Satellite Geometry On The Precision Of Dgps Positioning In Minna, Nigeria, Jurnal , Teknologi, Department of Surveying & Geoinformatics, Federal University of Technology Minna, Nigeria
- Rita, D., (2003). Civil Gps service interference, United State: Us Department Of Homeland Security, Coastland Navigation Center.
- Santerre, R. (1989). GPS Satellite Sky Distribution: Impact on the Propagation of Some Important Errors in Precise Relative Positioning. Ph.D. dissertation, Department of Surveying Engineering Technical Report No. 145, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, pp. 220.

Kaynaştırılmış Görüntülerden Elde Edilen Doku Özellikleri ile DVM Sınıflandırma Performansının İyileştirilmesi

Volkan YILMAZ^{1*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin.
(volkanyilmaz.jdz@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 0685 – 8369

Öz

Uzaktan algılanmış görüntülerden elde edilen doku bilgisi yardımıyla yüksek doğruluklu arazi örtüsü haritalarının üretilmesi mümkündür. Kaynaştırılmış bir görüntüdeki doku bilgisinin sınıflandırma işlemine entegre edilmesinin sınıflandırma işleminin doğruluğuna olumlu yönde katkı yapması muhtemeldir. Bu çalışmada Brovey, Multiplicative (MCV), PCA (Principal Component Analysis), Gram-Schmidt (GS), HPF (High-Pass Filtering), Wavelet, Ehlers ve HCS (Hyperspherical Colour Sharpening) kaynaştırma yöntemleri kullanılarak bir WorldView-2 ÇB görüntüsü ile bir WorldView-2 PAN görüntüsü kaynaştırılmıştır. Elde edilen kaynaştırılmış görüntüler Watershed bölütleme (WB) algoritması ile bölütlenmiştir. Elde edilen bölütlerden dört adet eşdizimlilik doku özelliği çıkartılmıştır. Çıkartılan bu doku özellikleri destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırıcısına entegre edilerek görüntü üzerindeki sınıfların birbirinden ayrılabilirliğinin artırılması irdelenmiştir. Deneysel sonuçlar bütün kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özelliklerinin sınıflandırma doğruluğunu belli bir oranda arttırdığını göstermektedir. Wavelet ve Ehlers kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özelliklerinin sınıflandırma doğruluğunu %20.4 ve %18.9 oranında arttırarak bu alanda en başarılı kaynaştırma yöntemleri oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: görüntü kaynaştırma, doku özelliklerinin hesaplanması, görüntü sınıflandırma, destek vektör makineleri, görüntü bölütleme

Exploiting Image Fusion-Based Texture Features to Increase the Performance of the SVM Classifier

Abstract

Texture information extracted from remotely sensed imageries enables accurate production of land cover maps. Integrating the texture information of a fused image to a classification process is a reasonable approach to increase the classification accuracy. This study used the Brovey, Multiplicative (MCV), PCA (Principal Component Analysis), Gram-Schmidt (GS), HPF (High-Pass Filtering), Wavelet, Ehlers and HCS (Hyperspherical Colour Sharpening) algorithms to fuse the WorldView-2 MS and WorldView-2 PAN images. Four GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) texture features of the fused images were extracted from the image segments obtained from the WS (Watershed Segmentation) algorithm. Extracted texture features were integrated into the SVM (Support Vector Machines) classification process to increase the separability among classes. Experiments revealed that the texture features of all fused images helped increase the classification accuracy to some extent. However, the Wavelet- and Ehlers-derived texture features led to the greatest classification accuracy increase by 20.4% and 18.9%, respectively.

Keywords: image fusion, texture feature calculation, image classification, support vector machines, image segmentation

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Görüntü kaynaştırma yüksek konumsal çözünürlüklü bir pankromatik (PAN) görüntüdeki konumsal detayların düşük konumsal çözünürlüklü bir çok bantlı (ÇB) görüntüye aktarılacak yüksek çözünürlüklü bir ÇB görüntü elde edilmesidir (Yılmaz ve Gungor 2016a). Başarılı bir görüntü kaynaştırma algoritması PAN görüntüdeki konumsal detayları aktarırken ÇB görüntünün renk yapısını da mümkün olduğunca korumalıdır. Literatürde oldukça fazla sayıda görüntü kaynaştırma yöntemi tanımlanmıştır. Literatürdeki görüntü kaynaştırma yöntemleri hakkında detaylı bilgiler Pohl vd. (1998), Blum ve Liu (2005), Stathaki (2011), Pohl ve van Genderen (2016) ve Yılmaz ve Gungor (2016a) tarafından sağlanmıştır. Brovey, Multiplicative (MCV), Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) ve Gram-Schmidt (GS) gibi yöntemler konumsal detay aktarımında genelde daha başarılı iken High-Pass Filtering (HPF), Wavelet, Ehlers ve Hyperspherical Colour Sharpening (HCS) gibi daha gelişmiş kaynaştırma yöntemleri renk yapısının korunmasında daha başarılıdır. Ancak, literatürde renk yapısını tamamen korurken konumsal detayları da kusursuz bir şekilde aktarabilen herhangi bir görüntü kaynaştırma yöntemi mevcut değildir (Yılmaz ve Gungor 2016b). Bu nedenle görüntü kaynaştırma yöntemlerinden faydalanırken ya renk yapısından ya da konumsal detay kalitesinden belli bir oranda fedakârlık yapmak gerekmektedir. Kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırılması literatürdeki birçok çalışmaya konu olmuştur (Simone vd. 2002; Colditz vd. 2006; Yılmaz ve Gungor 2016a). Yılmaz ve Gungor (2016a), Amarsaikhan ve Douglas (2004) ve Wenbo vd. (2008) görüntü kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırma doğruluğuna olumlu yönde etki ettiği sonucuna varanlardan sadece birkaçıdır.

Görüntü sınıflandırma doğruluğunu arttırmak amacıyla faydalanılan yöntemlerden bir tanesi sınıflandırma işlemine doku bilgisinin entegre edilmesidir. Lloyd vd. (2004) Yapay Sinir Ağları (YSA) sınıflandırıcısının performansını eşdizimlilik matrisinden türetilen doku özellikleri (kontrast, entropi, açısız ikinci moment/angular second moment, asimetri ve ters mesafe) (Haralick vd. 1973) ve istatistiksel

bazı fonksiyonlar yardımıyla iyileştirmişlerdir. Puissant vd. (2005) çalışmalarında farklı boyutlarda pencereler yardımıyla çıkartılan homojenlik (homogeneity), benzeşmezlik (dissimilarity), entropi ve açısız ikinci moment doku özelliklerini kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırma performanslarını iyileştirmişlerdir. Akar ve Güngör (2015) Rastgele Orman (Random Forest) yönteminin sınıflandırma performansını arttırmak için Gabor doku özellikleri ile beraber eşdizimlilik matrisinden türetilen benzerlik (similarity), entropi, kontrast, homojenlik ve korelasyon doku özelliklerinden faydalanmışlardır. Serifoglu Yılmaz vd. (2017) yaptıkları çalışmada Gabor doku özelliklerinin yanı sıra ortalama, varyans, homojenlik, kontrast, benzeşmezlik, entropi, ikinci moment (second moment) ve korelasyon doku özellikleri yardımıyla Destek Vektör Makineleri (DVM) sınıflandırma yönteminin performansını iyileştirmişlerdir. Çalışmada Gabor doku özelliklerinin DVM sınıflandırma performansını en fazla oranda iyileştiren doku özellikleri oldukları belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı Watershed bölütleme (WB) algoritması ile WorldView-2 kaynaştırılmış görüntülerinden elde edilen segmentlerden çıkartılan doku özellikleri yardımıyla DVM sınıflandırma yönteminin performansının iyileştirilmesidir. Çalışma kapsamında DVM yönteminin seçilmesinin nedeni bu sınıflandırıcının yüksek performansla çalışması ve bu nedenle bir çok görüntü işleme çalışmasında kullanılmasıdır.

1.1. Görüntü Kaynaştırma Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS kaynaştırma yöntemleri kullanılmıştır.

Brovey yöntemi ilk olarak ÇB görüntünün bantlarını toplayarak bir yoğunluk bileşeni üretir. Daha sonra ÇB görüntünün her bir bandını PAN ve yoğunluk bileşeninin oranı ile çarpılarak kaynaştırılmış bantları elde eder (Hallada ve Cox 1983; Pohl ve van Genderen 1998).

MCV yöntemi oldukça basit bir yöntemdir. Bu yöntemde ÇB görüntünün her bir bandı PAN görüntü ile çarpılarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Crippen 1989).

PCA yöntemi ÇB görüntünün bantlarına PCA dönüşümü uygulayarak görüntünün bantları arasındaki korelasyonu minimize eder. PCA dönüşümü sonucu elde edilen ilk bileşen ÇB görüntüdeki varyansın çoğunu içinde barındırır. Bu bileşenin PAN görüntüdeki konumsal detayları tek başına içerdiği varsayımı ile bu bileşen PAN ile yer değiştirilir. Elde edilen görüntüye ters PCA dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış görüntü elde edilir (Chavez ve Kwarteng 1989).

GS yöntemi PCA yöntemine oldukça benzeyen istatistik tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde ilk olarak ÇB görüntünün bantlarının doğrusal (linear) kombinasyonları şeklinde düşük çözünürlüklü bir bant oluşturulur. GS yöntemi ÇB görüntünün bantlarının ortalamasını alarak da bu bantı oluşturabilir. Oluşturulan bu bant ilk bant olmak üzere ÇB görüntünün bantları ile birleştirilir. Ardından, elde edilen bu ara görüntüye GS dönüşümü uygulanır. İlk GS bileşeni ile PAN bant yer değiştirilir ve elde edilen görüntüye ters GS dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Laben ve Brower 2000).

HPF yöntemi PAN bant üzerinde bir yüksek geçiren filtre gezdirerek o banttaki konumsal detayları zenginleştirir. Zenginleştirilen bu detaylar daha sonra ÇB görüntünün bantlarına eklenir (Schowengerdt 1980; Gangkofner vd. 2007).

Wavelet (Dalgacık) dönüşümü tabanlı kaynaştırma yöntemi girdi PAN bandına ardışık olarak Ayrık Wavelet Dönüşümü (Discrete Wavelet Transformation) uygular. Her bir dönüşüm seviyesinde konumsal çözünürlük iki kat kötüleştirilerek renk bilgisini içeren yaklaşım (approximation) bandının yanı sıra, yatay, düşey ve çapraz yönlerdeki detayları temsil eden dört adet alt bant elde edilir. Konumsal çözünürlük ÇB görüntünün çözünürlüğüne kötüleşinceye kadar dönüşümler devam eder. En son aşamada elde edilen yaklaşım bandı ile ÇB görüntünün bantları yer değiştirilir. Son olarak, ters Ayrık Wavelet Dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Hill vd. 2002; Yılmaz ve Gungor 2016a).

Ehlers yöntemi ilk aşama olarak ÇB görüntüye IHS (Intensity-Hue-Saturation) dönüşümü uygular. Elde edilen intensity (yoğunluk) bileşeni ile PAN bandına Fourier dönüşümü

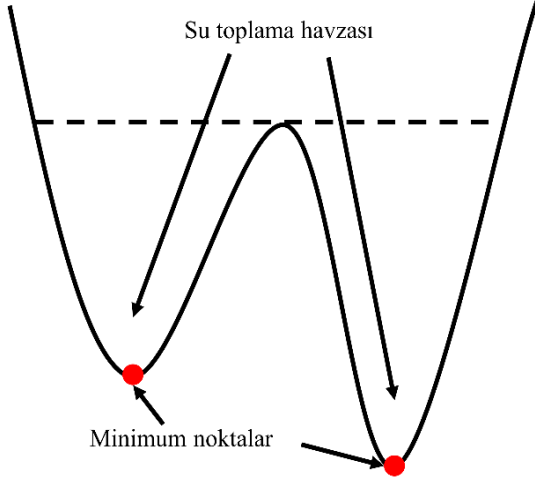
uygulanır. PAN spektrumu yüksek geçiren bir filtre ile filtrelenirken yoğunluk spektrumu düşük geçiren bir filtre ile filtrelenir. Filtrelenen spektrumlara ters Fourier dönüşümü uygulanır ve sonuçlar birbirine eklenerek yardımcı bir yoğunluk bandı üretilir. Elde edilen bu yardımcı yoğunluk bileşeni ve daha önceden elde edilen hue (ton) ve saturation (renksel doygunluk) bileşenleri ters IHS dönüşümüne tabi tutularak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Ehlers 2004; Klonus ve Ehlers 2007).

HCS yöntemi PAN görüntüsü üzerinde kayan bir filtre gezdirerek onun yumuşatılmış bir versiyonunu üretir. Daha sonra ÇB görüntüden elde edilen yoğunluk bileşeni ile yumuşatılmış PAN bandının karelerinin ortalama ve standart sapmaları hesaplanır. Doğal renk uzayından (native colour space) hiperküresel renk uzayına (hyperspherical colour space) dönüşüm gerçekleştirilerek kaynaştırılmış bantlar üretilir (Padwick vd. 2010).

1.2. Görüntü Bölütleme

Watershed bölütleme yöntemi literatürde en fazla kullanılan bölütleme yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntem gri seviyeli görüntüleri topoğrafik bir rölyef gibi kabul etmektedir (Parvati vd. 2008). Rölyef üzerindeki minimum yüksekliğe sahip olan noktalar tespit edilir ve 'delinir'. Rölyefin suya batırıldığı düşünüldüğünde 'delinen' noktalardan su içeriye girer ve rölyefteki bölgeler suyla dolmaya başlar. Belli bir seviyedeki noktalardan sonra bölgelerdeki sular birleşmeye başlar. Suların birleşmenin önlenmesi için suların birleşmeye başladığı noktalara sonsuz yükseklikte duvarlar yerleştirilir. Bu şekilde yerleştirilen duvarların hepsi verinin watershed bölütleme sonucunu verir (Shafarenko vd. 1997). WB yönteminin teorisi Şekil 1' de özetlenmiştir.

WB yöntemi genellikle görüntünün gradyanına uygulanır (Tarabalka vd. 2010). Görüntüdeki her bir noktanın etrafındaki 8 komşu nokta kullanılarak görüntüdeki en inişli ve çıkışlı yönler tespit edilir. Görüntüdeki minimum yüksekliğe sahip olan noktalar ayrı ayrı tanımlayıcılar ile işaretlenir. Görüntüdeki gradyan bilgisi kullanılarak inişli bölgeler belli oranlarda takip edilir. WB yöntemi bütün pikselleri ilgili oldukları minimum noktalar ile ilişkilendirir (Gauch 1999).



Şekil 1. WB yönteminin teorisi

1.3. Doku Özelliklerinin Çıkartılması

Bu çalışma kapsamında aralık (range), ortalama (mean), varyans ve entropi eşdizimlilik matrisi doku özellikleri kullanılmıştır. Anys vd. (1994) bu doku özelliklerini şöyle vermektedir:

$$\text{Aralık } (R) = g_{max} - g_{min} \quad (1)$$

$$\text{Ortalama } (M) = \sum_{i=0}^{P_g-1} i T(i) \quad (2)$$

$$\text{Varyans } (V) = \sum_{i=0}^{P_g-1} (i - M)^2 T(i) \quad (3)$$

$$\text{Entropi } (E) = - \sum_{i=0}^{P_g-1} T(i) * \ln T(i) \quad (4)$$

Bu formüllerde g_{max} ve g_{min} kullanılan kerneldeki maksimum ve minimum değerleri ifade etmektedir. $T(i)$ her bir piksel değerinin olasılığını ve P_g ise görüntüdeki gri seviye sayısını göstermektedir (Anys vd. 1994; Harris Geospatial Solutions).

1.4. DVM Sınıflandırma Yöntemi

Literatürde en fazla kullanılan görüntü sınıflandırma yöntemlerinden olan ve Vapnik (1995) tarafından geliştirilen DVM sınıflandırıcısı sınıflar arasındaki ayrılabilirliği maksimum seviyede tutan optimum hiper düzlemin belirlenmesi esasına dayanır. Optimum düzleme en yakın olan veri noktaları 'destek vektörleri' olarak adlandırılır. Eğer iki sınıf birbirinden doğrusal bir eşitlikle ayırt edilebiliyorsa destek vektörleri üzerinden

geçirilen ve birbirine paralel olan düzlemlerin tam ortasına yerleştirilen optimum hiper düzlem yardımıyla sınıflar birbirinden ayrılır. Birbirine paralel olan düzlemler arasındaki mesafeyi maksimum yapmak için 2. dereceden standart optimizasyon teknikleri kullanılır (Vapnik 1995). Eğer sınıflar doğrusal olarak birbirinden ayrılamıyorsa veri doğrusal olmayan dönüşümler yardımıyla daha yüksek boyutlu başka bir uzaya dönüştürülür ve bu uzayda sınıfların ayrılabilirliği artırılır (Tso ve Mather 2009). DVM sınıflandırıcısı ilk başta iki sınıflı problemler için önerilmiştir. Ancak, gerçek dünyadaki birçok durumda ayırt edilmesi gereken sınıf sayısı ikiden fazla olduğu için çok sınıflı yaklaşımlar öne sürülmüştür (Yılmaz vd. 2018). Bire karşı bir (Melgani ve Bruzzone 2004) ve Bire karşı hepsi (Liu ve Zheng 2005) yaklaşımları bu yaklaşımlardan sadece ikisidir.

2. UYGULAMA

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veri

Çalışma bölgesi Trabzon ilinin Sürmene ilçesinde yer almaktadır. Çalışma bölgesine ait 2012 yılında elde edilmiş WorldView-2 ÇB ve WorldView-2 PAN görüntüleri kaynaştırma için kullanılmıştır. 11 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip olan WorldView-2 ÇB görüntüsü konumsal çözünürlüğü 2 m olan 8 adet banttan (kırmızı, mavi, yeşil, kızılötesi-1, kırmızı kenar/red edge, kıyı/coastal, sarı ve kızılötesi-2) oluşmaktadır. WorldView-2 PAN bandının konumsal çözünürlüğü ise 50 cm' dir. Şekil 2 çalışma bölgesinin konumunu, Şekil 3 ise çalışma bölgesini göstermektedir.



Şekil 2. Çalışma bölgesinin konumu



Şekil 3. Çalışma bölgesi

2.2. Metodoloji

WorldView-2 ÇB ve WorldView-2 PAN görüntüleri geometrik ve atmosferik olarak düzeltilmiş için herhangi bir ön işleme işlemine gerek duyulmamıştır. Ayrıca, her iki girdi görüntünün de çekim tarihi aynı gün olduğundan dolayı görüntüler arasında atmosfer koşullarından kaynaklı olağanüstü farklar bulunmamaktadır.

Girdi görüntüleri Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS yöntemleri ile kaynaştırılarak konumsal çözünürlüğü 50 cm olan 8 bantlı ÇB görüntüler elde edilmiştir. Üretilen kaynaştırılmış görüntüler WB yöntemi ile segmentlere ayrılmıştır. Elde edilen görüntü segmentleri üzerinde gezdirilen 3x3 boyutundaki filtre sayesinde aralık, ortalama, varyans ve entropi doku özellikleri çıkartılmıştır. Çıkartılan bu doku özellikleri orijinal ÇB görüntünün bantları ile farklı kombinasyonlarda birleştirilmiştir. Elde edilen bu bant kombinasyonları DVM sınıflandırıcısı yardımıyla sınıflandırılarak görüntüler orman, çay, fındık, yol, kırmızı çatı, parlak çatı, toprak ve gölge olmak üzere sekiz sınıfa ayrılmıştır.

Sınıflandırılmış görüntülerin doğrulukları irdelenirken görüntüdeki bütün piksellerin tematik görüntüdeki sınıflarının gerçek sınıf değerleri ile kıyaslanması pratik değildir. Bu nedenle görüntüdeki arazi sınıflarını temsil eden belli sayıda test noktası kullanılarak sınıflandırılmış görüntüler için doğruluk analizi gerçekleştirilir.

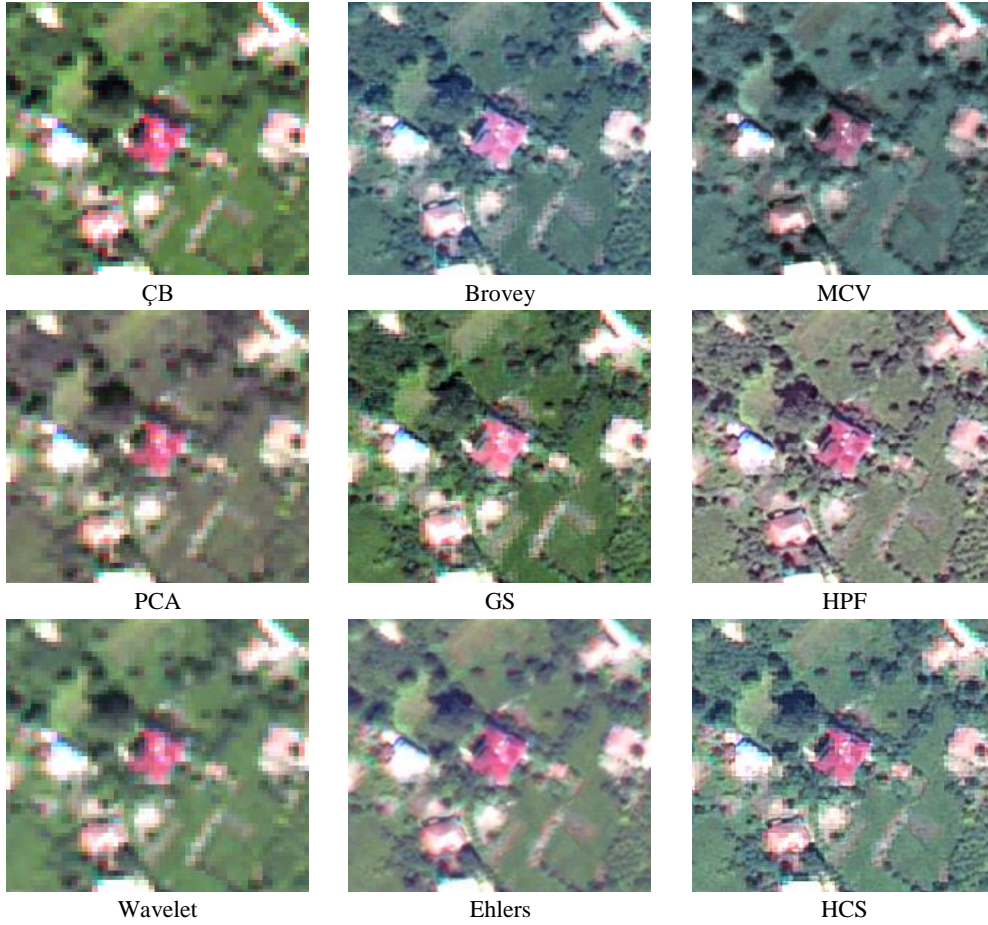
Kullanılacak olan test noktalarının sayısı doğruluk analizi işleminin istatistiksel anlamlılığı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılması gereken minimum test noktası sayısı Congalton ve Green (1999) tarafından önerilen multinomial dağılım yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre arazideki sınıfların dağılımı hakkında net bir bilgi yoksa minimum test noktası sayısı (n) aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$n = \frac{B}{4\rho^2} \quad (5)$$

Bu formüldeki $B = \rho/k$ ($\rho = 1 - \text{güven aralığı}$ ve $k = \text{toplam sınıf sayısı}$) olarak hesaplanmaktadır. Çalışmada güven aralığı 0.95 olarak seçilmiştir. Kaynaştırılmış görüntüler toplamda sekiz sınıfa ayrıldığı için $B = 0.006$ (0.05/8) olarak hesaplanmıştır. 0.006 değerinin ki-kare tablosunda 1 serbestlik derecesindeki karşılığı ise 7.55'tir. Bu nedenle B değeri 7.55 olarak belirlenmiştir. Bu durumda minimum kullanılması gereken test noktası sayısı 755 olarak hesaplanmıştır. Ancak, sınıflandırma doğruluğunun daha yüksek bir hassasiyette hesaplanabilmesi için 2045 adet test noktasının kullanılmasına karar verilmiştir. Her bir sınıflandırılmış görüntü için aynı 2045 test noktası kullanılmıştır. Farklı bant kombinasyonlarından elde edilen görüntülerin sınıflandırma doğrulukları ÇB görüntünün sınıflandırma doğruluğu ile karşılaştırılarak hangi kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen bantların sınıflandırma doğruluğunu en fazla oranda arttırdığı tespit edilmiştir.

3. BULGULAR ve İRDELEME

Görüntü kaynaştırma yöntemleri PAN bantlardaki konumsal detayları aktarırken orijinal ÇB görüntüdeki renk yapısını da korumalıdır. Bu nedenle kaynaştırma işlemi sonucu elde edilen görüntüler ile orijinal ÇB görüntünün renk yapısının karşılaştırılması kullanılan kaynaştırma yönteminin başarısı hakkında fikir verebilmektedir. Şekil 4' de orijinal ÇB görüntü ve kaynaştırılmış görüntülerin bir bölümü gösterilmiştir. Şekil 4' de yer alan bütün görüntüler gerçek renk (true colour) bant kombinasyonu (5-3-2) ile herhangi bir kontrast iyileştirme olmadan görüntülenmiştir.



Şekil 4. Orijinal ÇB görüntü ve kaynaştırılmış görüntüler

Şekil 4’ de görüldüğü üzere Brovey, MCV, HPF, HCS, GS ve Ehlers yöntemleri konumsal detay kalitesini arttırmada diğer yöntemlere göre daha başarılı olmuşlardır. PCA ve Wavelet yöntemleri görüntüyü bulanıklaştırdıkları gibi yer yer piksel efektleri de üretmişlerdir. Şekil 4’ de de görüldüğü gibi hiçbir kaynaştırma yöntemi renk içeriğini tam anlamıyla koruyamamıştır. Brovey, MCV ve HPF yöntemleri konumsal detay aktarmadaki başarılarına rağmen orijinal ÇB görüntünün renk yapısını koruyamamışlardır. Özellikle Brovey ve MCV yöntemleri arazi sınıflarının renk yapılarında ciddi değişikliklere neden olmuşlardır. Görsel irdeleme GS, Wavelet, HCS ve Ehlers yöntemlerinin orijinal ÇB görüntünün renk içeriğini en fazla koruyan yöntemler olduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynaştırılmış görüntülerin görsel olarak değerlendirilmesi kullanılan kaynaştırma yöntemlerinin başarısı hakkında sadece fikir sahibi olmaya yarar, ancak kesin bir hükme varmak için kullanılamaz. Bunun nedeni ise görsel değerlendirmenin tamamen subjektif

olup, kişilerin bakış açısına bağlı olmasıdır. Görüntü kaynaştırma yöntemleri gözle tespit edilemeyen renk bozulmalarına neden olabilmektedir (Yılmaz ve Gungor 2016b). Bu nedenle kaynaştırılmış görüntülerin renk yapılarının niceliksel olarak irdelenmesi için literatürde kullanılan performans metriklerinden faydalanılarak daha objektif ve tutarlı bir değerlendirme yapılabilir.

Kaynaştırılmış görüntülerin renk kalitelerinin irdelenmesi için Karesel Ortalama Hata (KOH) (Wald 2002), Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS) (Wald 2000), Relative Average Spectral Error (RASE) (Ranchin ve Wald 2000) ve Universal Image Quality Index (UIQI) (Wang ve Bovik 2002) metriklerinden faydalanılmıştır. Kaynaştırılmış görüntülerinin kalitelerinin irdelenmesi için kullanılan bu metrikler Wald vd. (1997) tarafından öne sürülen birinci protokole göre hesaplanmıştır. Bu protokole göre kaynaştırılmış bir bandın boyutu orijinal ÇB görüntünün boyutuna yeniden örneklendiğinde elde edilen görüntü orijinal ÇB görüntüye eşit olmalıdır. Bu protokol daha önce Park ve Kang

(2004), Padwick vd. (2010) ve Yılmaz ve Gungor (2016a) tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, kaynaştırılmış görüntüler ile ÇB görüntünün bantları arasındaki korelasyon katsayıları (KK) da hesaplanmıştır. KOH, ERGAS ve RASE metrikleri için optimum değer 0 iken, UIQI ve KK metrikleri için optimum değer 1' dir.

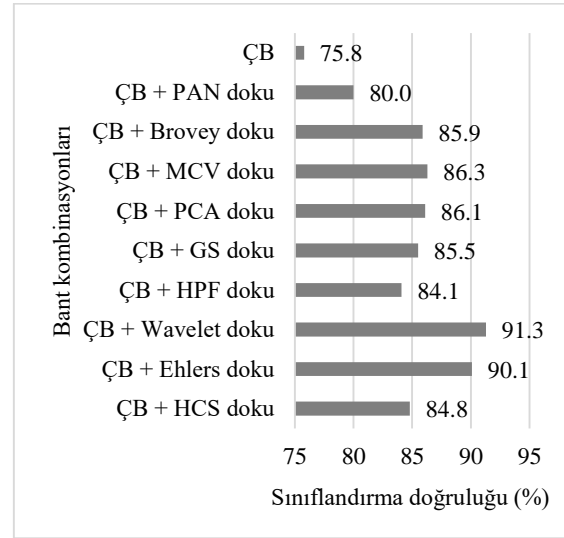
Tablo 1' de kaynaştırılmış görüntülerden hesaplanan metrik değerleri gösterilmiştir. Her bir metrikten alınan en başarılı sonuçlar tabloda gri renkle vurgulanmıştır.

Tablo 1. Kaynaştırılmış görüntüler için hesaplanan metrik değerleri

Yöntem	KOH	ERGAS	RASE	UIQI	KK
Brovey	370.510	228.360	18.353	0.020	0.854
MCV	517.245	28.912	598.290	0.001	0.837
Ehlers	45.110	4.350	2.235	0.337	0.934
HPF	49.870	3.780	2.471	0.229	0.867
Wavelet	60.060	3.260	2.975	0.306	0.875
PCA	279.240	7.970	13.832	0.279	0.560
GS	54.610	3.220	2.705	0.272	0.884
HCS	49.470	3.310	2.451	0.263	0.864

Tablo 1' e göre Ehlers yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış görüntünün ERGAS metriği hariç bütün metriklerden en başarılı sonuçları aldığı görülmektedir. Bu, Ehlers yönteminin niceliksel sonuçlara göre renk yapısını korumada en başarılı yöntem olduğunu göstermektedir. Bu yargı görsel değerlendirme sonuçları tarafından da desteklenmektedir. Ayrıca, Ehlers yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış bantlar orijinal ÇB görüntünün bantları ile en yüksek korelasyona sahip olan bantlardır. ERGAS metriğine göre renk içeriğini en başarılı şekilde koruyan yöntem GS yöntemi olmuştur. GS yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış görüntü Ehlers yönteminden sonra en başarılı metrik sonuçlarını almıştır. Bu durum da niteliksel değerlendirme sonuçlarını doğrulamaktadır. Wavelet, HCS ve HPF yöntemlerinin metrik değerlere renk yapısını korumada ortalama bir başarı elde ettikleri sonucuna varılabilir. Ancak, Brovey, MCV ve PCA yöntemleri en kötü metrik sonuçlara ulaşmışlardır, bu da bu yöntemlerin renk yapısına ciddi zararlar verdiğini göstermektedir. Bu yöntemler aynı zamanda orijinal ÇB görüntünün bantları ile en düşük korelasyona sahip bantları üretmişlerdir. Çalışma kapsamında, metrik sonuçlarının genel olarak görsel sonuçlarla paralel doğrultuda olduğu sonucuna varılmıştır.

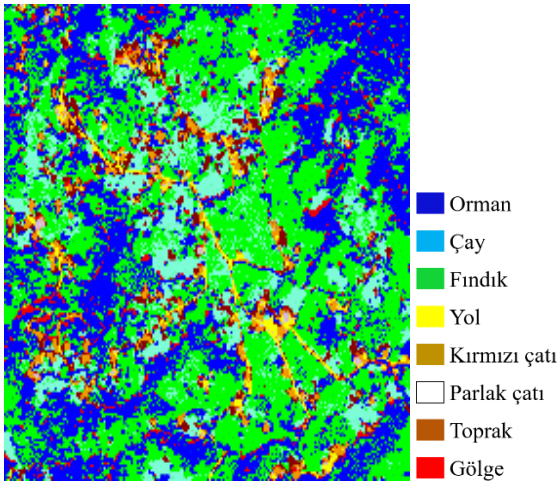
Şekil 5' de orijinal ÇB görüntünün, ÇB görüntüye PAN bandının doku özellikleri eklenmesiyle elde edilen görüntünün (ÇB+PAN doku) ve kaynaştırma sonuçlarından elde edilen doku özelliklerinin ÇB görüntüye eklenmesiyle elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılması sonucu üretilen tematik görüntülerin sınıflandırma doğrulukları verilmiştir.



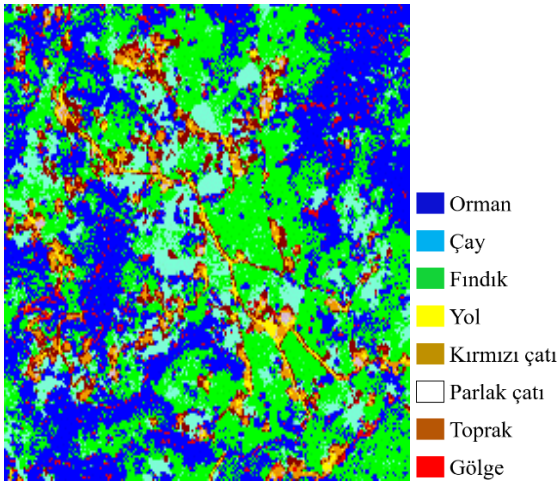
Şekil 5. Çalışmada kullanılan bütün bant kombinasyonlarının sınıflandırma doğrulukları

Şekil 5' de görüldüğü üzere PAN bandından elde edilen doku özellikleri ÇB görüntünün %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu %80' e çıkartmıştır. Ayrıca, bütün kaynaştırma yöntemleri ile elde edilen doku özelliklerinin DVM performansına olumlu yönde etki ettikleri Şekil 5' de görülmektedir. HPF ve HCS yöntemleriyle üretilen kaynaştırılmış görüntülerden elde edilen doku özellikleri sınıflandırma doğruluğunu sırasıyla %10.9 ve %11.8 oranında arttırmıştır. Bu iki yöntemin sağladığı doku özellikleri sınıflandırma doğruluğunu en az oranda arttırmışlardır. Başarılı metrik sonuçlarına rağmen GS yöntemi DVM sınıflandırma performansını arttırmada beklenen başarıyı gösterememiştir. GS sonucundan üretilen doku özellikleri %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu %85.5' e çıkartabilmiştir. Brovey, PCA ve MCV yöntemlerinden elde edilen doku özellikleri GS yönteminden elde edilen doku özellikleri ile benzer oranda sınıflandırma performansını arttırmışlardır. Buna karşın, Wavelet ve Ehlers yöntemleri sınıflandırma performansını en fazla arttıran doku özelliklerini üretmişlerdir.

Wavelet ve Ehlers yöntemlerinden üretilen doku özellikleri %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu sırasıyla %20.4 ve %18.9 oranında arttırarak %91.3 ve %90.1'e çıkarmışlardır. Wavelet ve Ehlers kaynaştırma sonuçlarından elde edilen doku özelliklerinin ÇB görüntüye eklenmesi ile elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasıyla üretilen tematik görüntüler sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. ÇB görüntü ile Wavelet kaynaştırma sonucundan elde edilen doku özelliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen görüntünün DVM sınıflandırma sonucu (ölçek=1:75 m)



Şekil 7. ÇB görüntü ile Ehlers kaynaştırma sonucundan elde edilen doku özelliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen görüntünün DVM sınıflandırma sonucu (ölçek=1:75 m)

Brovey yöntemi yoğunluk bileşenini üretirken ÇB görüntünün her bir bandının ağırlığını eşit olarak kabul eder. Kaynaştırılmış görüntüleri

üretirken herhangi bir normalizasyon işlemi de gerçekleştirmediğinden dolayı Brovey yöntemi ile üretilen kaynaştırılmış görüntünün piksel değerleri olması gerektiğinden daha yüksek olmaktadır. Bu durum da orijinal ÇB görüntünün renk yapısında ciddi oranda renk bozulmalarına yol açmaktadır. MCV yöntemi de Brovey yöntemi gibi yüksek piksel değerleri üreterek renk yapısını bozmaktadır.

PCA yöntemi istatistiksel bir yöntemdir ve başarısı ÇB ve PAN görüntülerinin birbirleriyle olan ilişkisine bağlıdır. Orijinal ÇB görüntünün bantları ve PAN bant arasında ortalama 0.58 oranında korelasyon (KK) olduğu tespit edilmiştir. Bu da her iki girdi görüntünün de aynı algılayıcı aynı anda çekilmiş olmalarına rağmen, birbirleriyle istatistiksel olarak yüksek oranda ilişkilerinin olmadığını göstermektedir. Bu nedenle PCA yöntemi bu bölgede düşük performans göstermiştir.

HPF yönteminin performansı PAN görüntü üzerinde gezdirilecek olan yüksek geçirgen filtrenin boyutu ve içeriği ile doğru orantılıdır. Çalışma kapsamında kullanılan HPF yöntemi yüksek geçirgen filtre boyutunu girdi görüntülerinin konumsal çözünürlüklerinin oranının bir fonksiyonu belirler (Erdas Imagine Field Guide). Kullanılan yöntem girdi görüntüleri için 9x9 boyutunda bir yüksek geçirgen filtre kullanılmasını öngörmüştür. Daha yüksek filtre boyutlarının daha keskin görüntüler üretilmesine olanak sağladıkları ancak renk yapısını daha da bozdukları gözlemlenmiştir.

Wavelet yöntemi ardışık dalgacık dönüşümleri gerçekleştirirken konumsal detayların bir kısmının yutulmasına neden olmasına rağmen renk yapısını belli oranda korumada başarılı olduğu söylenebilir. 2 boyutlu Ayrık Wavelet Dönüşümünün sadece yatay, düşey ve çapraz yöndeki detayları ortaya çıkartabilmesi bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biridir. Bu yönlerin dışındaki yönlerde uzanan detayların yutulması muhtemeldir. Wavelet dönüşümünün avantajı sadece görüntüdeki frekans detaylarını yakalamaması, bunun yanında frekanslara ait konum bilgilerini de tespit edebilmesidir.

HCS yönteminin performansının da PCA yöntemi gibi girdi görüntülerinin birbirleri ile olan istatistiksel ilişkisine bağlı olduğu tespit edilmiştir. HCS yöntemi kaynaştırma işlemi esnasına üretilen yoğunluk bandı ile PAN bant

arasında histogram eşleme uygulamaktadır. Bu işlem esnasında hem konumsal detayların bir kısmının yutulduğu hem de renk yapısının belli oranda bozulduğu gözlemlenmiştir.

GS yöntemi de PCA yöntemi gibi istatistiksel bir yöntemdir ve başarısı girdi görüntülerinin frekansına bağlıdır. Bu yöntemde kullanılan düşük çözünürlüklü PAN görüntü ÇB görüntünün bantlarının ortalamasının alınması ile elde edilmiştir. Bu şekilde renk yapısının korunması sağlanmıştır. Aynı çözünürlüğe sahip renk dağılımı daha başarılı olan başka bir PAN görüntünün kullanılması bu yöntemin performansını daha da artırabilir.

Ehlers yöntemi Fourier dönüşümünün görüntüyü frekanslarına ayırmadaki başarısından faydalanmaktadır. Ehlers yönteminin Fourier dönüşümü ile elde edilen PAN spektrumunu yüksek geçiren bir filtre ile filtrelerken yoğunluk spektrumunu düşük geçiren bir filtre ile filtrelemesi bu yöntemin renk yapısını korumasında çok önemli rol oynamıştır. Bu sayede ters Fourier dönüşümü uygulandığında konumsal detaylar başarılı şekilde aktarılmış olur. Ayrıca, farklı bir IHS dönüşümü yöntemi uygulanarak daha faydalı bir yoğunluk bileşeni elde etmek de mümkündür. Bu sayede Ehlers yönteminin hem konumsal hem de spektral anlamda başarısı artacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı farklı kaynaştırma yöntemleriyle üretilen görüntülerden çıkartılan doku özelliklerinin DVM yönteminin sınıflandırma performansına etkilerinin irdelenmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS kaynaştırma yöntemlerinin hepsinin sınıflandırma performansına olumlu yönde etki eden doku özellikleri elde edilmesine olanak sağladıkları tespit edilmiştir. Wavelet ve Ehlers yöntemleri sınıflandırma doğruluğunu en yüksek oranda arttıran doku özelliklerinin üretilmesini sağlamışlardır. Bu çalışma kapsamında, kaynaştırma yoluyla üretilen görüntülerin doku özellikleriyle sınıflandırma doğruluğunu belli oranda arttırmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, additive wavelet luminance proportional (Otazu vd. 2005), criteria-based method (Gungor 2008) ve nearest neighbour diffuse (Sun vd. 2014) gibi daha iyi performans sergileyen ileri seviye

görüntü kaynaştırma yöntemleriyle sınıflandırma doğruluklarını daha da fazla arttıran doku özelliklerinin elde edilmesi mümkündür. Gelecek çalışmalar daha gelişmiş görüntü kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özellikleri ile sınıflandırma performansını iyileştirmeye odaklanacaktır.

KAYNAKÇA

- Akar, Ö., ve Güngör, O. (2015). Integrating multiple texture methods and NDVI to the Random Forest classification algorithm to detect tea and hazelnut plantation areas in northeast Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 36 (2), 442-464.
- Amarsaikhan, D., ve Douglas, T. (2004). Data fusion and multisource image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (17), 3529-3539.
- Anys, H., Bannari, A., He, D.C., ve Morin, D. (1994). Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images. *1st International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, 3, 231-245.
- Blum, R.S., ve Liu, Z. (2005). *Multi-sensor image fusion and its applications*. CRC press.
- Chavez, A., ve Kwarteng, P. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 339-348.
- Colditz, R.R., Wehrmann, T., Bachmann, M., Steinnocher, K., Schmidt, M., Strunz, G., ve Dech, S. (2006). Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (15), 3311-3335.
- Congalton, R.G., ve Green, K. (1999). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, FL: Lewis.
- Crippen, R.E. (1989). A simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan-line noise from Landsat TM P-tape imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 327-331.
- Ehlers, M. (2004). Spectral characteristics preserving image fusion based on Fourier domain filtering. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV*, 5574, 1-14.
- Erdas Image Field Guide, Leica Geosystems.
- Gangkofner, U.G., Pradhan, P.S., ve Holcomb, D.W. (2007). Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion.

- Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73 (9), 1107-1118.
- Gauch, J.M. (1999). Image segmentation and analysis via multiscale gradient watershed hierarchies. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8 (1), 69-79.
- Gungor, O. (2008). Multi sensor multi resolution image fusion. PhD thesis, Purdue University.
- Hallada, W.A., ve Cox, S. (1983). Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems". *17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, MI, 1023-1032.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., ve Dinstein, I.H. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3 (6): 610-621.
- Harris Geospatial Solutions, online help, <http://www.harrisgeospatial.com/docs/backgroundtexturemetrics.html#Data>, Erişim Tarihi: 13 Aralık 2018).
- Hill, P.R., Canagarajah, C.N., ve Bull, D.R. (2002). Image Fusion Using Complex Wavelets. In *BMVC*, 1-10.
- Klonus, S., ve Ehlers, M. (2007). Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preservation algorithm. *GIScience & Remote Sensing*, 44 (2), 93-116.
- Laben, C.A., ve Brower, B.V. (2000). Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. U.S. Patent No. 6,011,875, Washington, DC: U.S.
- Liu, Y., ve Zheng, Y.F. (2005). One-against-all multi-class SVM classification using reliability measures. *Neural Networks*, 2, 849-854.
- Lloyd, C.D., Berberoglu, S., Curran, P.J., ve Atkinson, P.M. (2004). A comparison of texture measures for the per-field classification of Mediterranean land cover. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (19), 3943-3965.
- Melgani, F., ve Bruzzone, L. (2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42, 1778-1790.
- Otazu, X., González-Audicana, M., Fors, O., ve Núñez, J. (2005). Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (10), 2376-2385.
- Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., ve Smallwood, S. (2010). WorldView-2 pan-sharpening. *ASPRS 2010 Annual Conference*, San Diego, CA, USA, vol. 2630.
- Park, J.H., ve Kang, M.G. (2004). Spatially adaptive multiresolution multispectral image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (23), 5491-5508.
- Parvati, K., Rao, P., ve Mariya Das, M. (2008). Image segmentation using gray-scale morphology and marker-controlled watershed transformation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Pohl, C., ve van Genderen, J. (2016). *Remote sensing image fusion: A practical guide*. Crc Press.
- Pohl, C., ve van Genderen, J.L. (1998). Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (5), 823-854.
- Puissant, A., Hirsch, J., ve Weber, C. (2005). The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (4), 733-745.
- Ranchin, T. ve Wald, L. (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66, 49-61.
- Schowengerdt, R.A. (1980). Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46 (10), 1325-1334.
- Serifoglu Yılmaz, C., Tunc Gormuş, E., ve Gungor, O. (2017). Texture Based Classification of Hyperspectral Images with Support Vector Machines Classifier. *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences (ISGGG)*, Çanakkale, Turkey.
- Shafarenko, L., Petrou, M., ve Kittler, J. (1997). Automatic watershed segmentation of randomly textured color images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6 (11), 1530-1544.
- Simone, G., Farina, A., Morabito, F.C., Serpico, S.B., ve Bruzzone, L. (2002). Image fusion techniques for remote sensing applications. *Information Fusion*, 3 (1), 3-15.
- Stathaki, T. (2011). *Image fusion: algorithms and applications*. Elsevier.
- Sun, W., Chen, B., ve Messinger, D. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53 (1).
- Tarabalka, Y., Chanussot, J., ve Benediktsson, J.A. (2010). Segmentation and classification of hyperspectral images using watershed transformation. *Pattern Recognition*, 43 (7), 2367-2379.

- Tso, A., ve Mather, P.M. (2009). *Classification methods for remotely sensed data*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group. ISBN: 978-1-4200-9072-7.
- Vapnik, V.N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Wald, L. (2000). Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion? *In Proceedings of the third conference "Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images*, Sophia Antipolis, France, 99-103.
- Wald, L. (2002). Fusion of Images of Different Spatial Resolutions. *Presses de l'Ecole, Ecole des Mines de Paris*, Paris, France, ISBN: 2-911762-38-X, 200 pp.
- Wald, L., Ranchin, T., ve Mangolini, M. (1997). Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 691–699.
- Wang, Z., ve Bovik, A.C. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9 (3), 81-84.
- Wenbo, W., Jing, Y., ve Tingjun, K. (2008). Study of remote sensing image fusion and its application in image classification. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (B7), 1141-1146.
- Yılmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O., ve Gökalg, E. (2018). Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos. *Geocarto International*, 33 (3), 310-320.
- Yılmaz, V., ve Gungor, O. (2016a). Determining the optimum image fusion method for better interpretation of the surface of the Earth. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 70 (2), 69-81.
- Yılmaz, V., ve Gungor, O. (2016b). Fusion of very high-resolution UAV images with criteria-based image fusion algorithm. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (1).

Headwall Hyperspec VNIR Kamerası İle Elde Edilen Hiperspektral Hava Fotoğrafı İçin Boyut İndirgeme Yöntemlerinin Performanslarının Analizi

Esra Tunç GÖRMÜŞ^{*1}, Özlem AKAR²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon
(etuncgormus@ceng.ktu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7667-199X

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü,
Harita ve Kadastro Programı, Erzincan
(oakar@erzincan.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-6381-4907

Öz

Çalışmada yaygın olarak kullanılan farklı boyut indirgeme yöntemlerinin performanslarının Headwall Hyperspec VNIR Kamerası ile elde edilen hiperspektral hava fotoğrafı için analizi amaçlanmıştır. Bunun için Harita Genel Müdürlüğü tarafından, BHKPK-Bilimsel Araştırma ve Koordinasyon Komisyonunca (BARKOK) 2017 yılında Bergama bölgesinde 2100 metre ortalama yükseklikten Headwall Hyperspec VNIR kamerası ile elde edilen hiperspektral hava fotoğrafı kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak, çekimin gerçekleştiği Bergama bölgesinde kentsel ve kırsal arazi kullanım sınıflarını barındıran pilot bir bölge seçilmiştir. Çalışmada öncelikli olarak hiperspektral hava fotoğrafına atmosferik ve radyometrik düzeltmeler yapılmıştır. Ardından bozuk ve kullanılmayan bantların temizlenmesi için yaygın olarak kullanılan Temel Bileşen Analizi (PCA), Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT), Faktör Analizi (FACTORNAL), Çok Boyutlu Ölçekleme yöntemi (MDS – Multidimensional Scaling) ve En Fazla Daralan Metrik Öğrenme (MCML-Maximally Collapsing Metric Learning) gibi 5 farklı yöntemle bant indirgeme işlemi uygulanmıştır. Sonrasında tüm görüntülerin geometrik düzeltmeleri yapılarak aynı koordinat sisteminde olması sağlanmıştır. Görüntüler ön işlemde geçirildikten sonra indirgeme yöntemlerinin performanslarının analizi için yaygın olarak kullanılan ve yüksek sınıflandırma doğruluğu sağlayan makine öğrenme yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman (RO) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen tematik görüntüler için doğruluk analizleri yapılmış ve elde edilen doğruluklar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, en yüksek sınıflandırma doğruluğunu % 91.67 (RO) doğrulukla DWT boyut indirgeme yönteminin sağlandığı gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında RO ile elde edilen sonuçlarda genel sınıflandırma doğrulukları yüksekten düşüğe sırasıyla DWT, MCML, MDS, FACTORNAL ve PCA olarak elde edilmiştir. DVM sonuçlarına göre bu sıranın ise DWT, MCML, MDS, PCA ve FACTORNAL olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre her iki sınıflandırma yönteminde de en yüksek doğruluğu DWT'nin, en düşük sınıflandırma doğruluğunu da FACTORNAL ve PCA yöntemlerinin verdiği görülmüştür. Çalışma sonucu göstermektedir ki, bu hiperspektral hava fotoğrafı için denenilen yöntemler arasında en uygun boyut indirgeme yöntemi DWT'dir.

Anahtar Kelimeler: Hiperspektral hava fotoğrafı, Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Destek vektör makineleri, Rastgele Orman, Boyut indirgeme

* Sorumlu Yazar

Analysis Of Performances Of Dimensionality Reduction Methods For Hyperspectral Aerial Photo Obtained From Headwall Hyperspec VNIR Camera

Abstract

In this study it is aimed to analyse the performances of dimensionality reduction methods in processing the hyperspectral aerial photos that obtained from Headwall Hyperspec VNIR camera. Data have been produced by General Directorate of Maps in 2017 in Bergama region. Aerial photos have been taken from 2100 m height by Headwall Hyperspec VNIR camera. As the exact area is very big, only one part of the area which includes both urban and rural classes was chosen as a study area in this work. First of all radiometric and atmospheric corrections were conducted. Then, 5 of commonly used dimensionality reduction methods like Principle Component Analysis (PCA), Discrete Wavelet Transform (DWT), Factor Analysis (FACTORNAL), Multi-Dimensional Scaling (MDS) and Maximally Collapsing Metric Learning (MCML) were exploited. Next, the photos were geometrically corrected in order to get them in the same coordinate system. After pre-processing steps, two different classification methods belong to the machine learning systems, namely; Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) were exploited to investigate the performances of dimensionality reduction methods. Accuracy assessment was carried out and compared according to the classification performance results. When the results were investigated, it was seen that DWT method has the highest classification accuracy of 91.67% with RO. In general classification accuracies of RO method were listed as; DWT, MCML, MDS, FACTORNAL and PCA in decreasing order. Whereas in SVM method, classification accuracies were ordered as DWT, MCML, MDS, PCA and FACTORNAL in decreasing order. According to these results it was seen that DWT is the dimensionality reduction method with the highest classification accuracy for both classification methods and PCA and FACTORNAL methods are the least successful ones. Consequently, this study showed that DWT is the best dimensionality reduction method for hyperspectral aerial photos amongst other methods used in this study.

Keywords: *Hyperspectral Aerial Photo, Discret Wavelet Transform, Support Vector Machine, Random Forest, Dimensionality Reduction,*

1. GİRİŞ

Uzaydan ya da havadan çekilen hiperspektral görüntüler son yıllarda diğer optik görüntüler yerine ya da onları tamamlayıcı olarak sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek spektral çözünürlüklü hiperspektral görüntüler yeryüzündeki geniş alanların izlenmesi, birbirine benzeyen tarımsal ürünlerin sınıflandırılması, jeolojik materyallerin ayırt edilmesi, orman yönetimi ve şehir planlaması (Somers, 2013; Liu vd., 2017) gibi birçok uzaktan algılama uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak verinin yüksek boyutlu olması, yeteri kadar eğitim verisinin olmaması, katışimli pikseller, farklı geometrik ve atmosferik bozukluklar gibi bazı faktörler

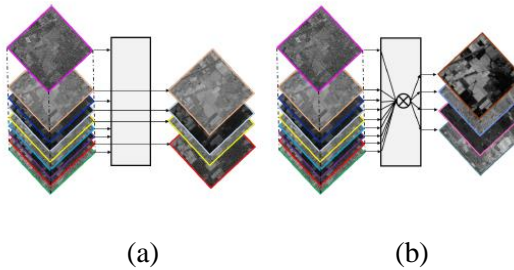
hiperspektral görüntülerin mevcut yöntemler ile etkin bir biçimde işlenmesini ve analiz edilmesini zorlaştırmaktadır (Ghamisi vd., 2017). Belirtilen faktörlerin her biri araştırmacıların üzerinde çalıştıkları geniş başlıklardır. Bu çalışmada ise hiperspektral görüntülerin yüksek boyutlu olmasından dolayı meydana gelen olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve veriyi sonraki işlem adımları için hazırlayabilmek için hiperspektral görüntülerin boyutlarının indirgenmesi ele alınacaktır.

Hiperspektral görüntülerin boyut indirgemesi, yüksek boyutlu verinin özetlenerek, orijinali kadar anlamlı, daha düşük bir boyutta temsil edilmesini sağlayan dönüşümdür (Maaten vd., 2007). Verilerin işlenebilmesi için gerekli olan ön işlem adımlarındandır.

Spektral bantların sayısı eğitim örneklerinin sayısından çok fazla olursa, Hughes etkisi denilen (Pal ve Foody, 2010) çok boyutluluk problemi ile karşılaşmaktadır. Elde edilen indirgenmiş verinin, orijinal verinin içindeki çoğu bilgiyi içermesi (Jia vd., 2013), saklamayı kolaylaştırması sınıflandırma, spektral katışım, hedef tanıma gibi bir çok uygulamanın performansını artırması ve uzaktan algılanmış verilerin görüntülenmesinde kolaylık sağlaması (Jia vd., 2013; Kuybeda ve Barzohar, 2007; Ren vd., 2014) boyut indirgeme işleminin hiperspektral görüntülerin işlenmesinde ne kadar yararlı olduğunu göstermektedir.

Boyut indirgeme yöntemleri literatürde farklı şekillerde gruplandırılmaktadır. En genel hali Şekil 1'de gösterildiği gibi öznitelik seçme (ÖS) ve öznitelik çıkartma (ÖÇ) yöntemleridir. ÖS, sınıflandırma, hedef tanımlama gibi belli bir uygulamanın performansını daha çok artırmak için, belirlenen bir seçme kriterine göre, orijinal öznitelik kümesinden belli sayıda öznitelik seçilmesidir. ÖÇ'nin amacı ise yüksek boyutlu veri kümesini çoğu bilgisini koruyabilecek ve bu veriyi orijinal boyuttan daha küçük bir veri kümesine dönüştürecek bir dönüşüm fonksiyonu bulmaktır. Bu dönüşüm doğrusal olabilir ya da doğrusal olmayabilir. ÖS yöntemlerinin aksine, ÖÇ yüksek boyutlu orijinal veriyi daha küçük sayıda yeni öznitelikler bulabilmek için sıkıştırılmaktadır (Ghamisi vd., 2017).

Boyut indirgeme yöntemleri en son yapılan genel tarama çalışmasında (Ghamisi vd., 2017) eğitilmiş, eğitimsiz ve yarı eğitilmiş olmak üzere üçe ayrılmıştır.



Şekil 1: Hiperspektral görüntülerde boyut azaltımı a) Öznitelik Seçme yöntemi b) Öznitelik Çıkartma yöntemi

Etiketli örneklerin olmadığı durumlarla ilgilenen eğitimsiz boyut indirgeme yöntemleri,

verilen bazı kriterleri sağlayarak daha az sayıda bant kümesini bulmayı amaçlarlar.

Eğitimsiz yöntemlerden olan doğrusal temel bileşen analizi (PCA) (Jolliffe, 1986), verideki en yüksek varyansı bularak, bağımsız bileşen analizi (ICA) (Hyvriinen, 2001) istatistiksel bağımsızlığı maksimum yapıp projeksiyon matrisini bularak ve en az gürültü giderme dönüşümü (MNF) (Green vd., 1988) sinyal-gürültü oranı (SNR) kriterini kullanarak indirgenmiş öznitelikleri elde ederler.

Eğitilmiş boyut indirgeme yöntemleri sınıfların ayrılabilirliklerini arttırmak için, etiketli örnekleri kullanarak boyut indirgemesi gerçekleştirmektedir. Çok kullanılan birkaç eğitilmiş boyut indirgeme yöntemi Lineer Diskriminant analizi (LDA) (Chang ve Ren, 2000), ve parametrik olmayan ağırlıklı öznitelik çıkartma (NWFE) (Kuo ve Landgrebe, 2004), Jeffries-Matsushita mesafesini (Swain ve Davis, 1978) ve karşılıklı bilgiyi kullanan (Battiti, 1994) bant seçme yöntemidir. Bu yöntemlerin uzantısı olan diğer yöntemler, değiştirilmiş Fishers LDA ve düzenlenmiş LDA, konumsal ve spektral bilgiyi kullanan değiştirilmiş NWFE ve Kernel NWFE yöntemleridir (Ghamisi vd., 2017). Son zamanlarda çıkan eğitilmiş boyut indirgeme yöntemleri lokal komşuluk özelliklerini kullanmaktadır. Li vd. (Li, 2012) ilgili çok modellen yapıyı koruyarak boyutu indirgemek için Fishers Discriminant analiz yöntemini kullanmaktadır.

Gerçek uygulamalarda etiketli veriler çok az bulunmaktadır. Yeterli olmadığı durumlarda da üretilmesi uzun süre almakta ve çok maliyetli olmaktadır. Diğer yandan çok az maliyet ile bolca etiketsiz veri bulunmaktadır. Bu yüzden hem etiketsiz, hem de az bulunan etiketli verileri kullanarak, sınıflandırma başarımını iyileştirmeyi amaçlayan yarı eğitilmiş metodlar geliştirilmeye başlanmıştır (Blum ve Mitchell, 1998; Bruzzone vd., 2006). Bu yöntemlerden bazıları grafik tabanlı yarı eğitilmiş öğrenme yöntemleridir. Bazıları da verinin kesin potansiyel özelliklerini korumak için düzenleyici bir terim ekleyerek öznitelik çıkartan yöntemlerdir. Bu yöntemler sınırlı sayıda etiketli örnekleri sınıf ayrımlarını maksimum yapmak için ve hem etiketli hem etiketsiz örnekleri verinin lokal özelliklerini saklamak için kullanılır. Yöntemler hakkında

daha ayrıntılı bilgi Ghamisi vd. yazdığı tarama yayınında yer almaktadır (Ghamisi vd., 2017).

Bu çalışmada Harita Genel Müdürlüğü tarafından, araştırmacıların kullanımına sunulan, Headwall Hyperspec VNIR kamerası ile Bergama ili üzerinde elde edilen hiperspektral hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uçaktan çekilen Bergama'ya ait hava fotoğraflarına uygulanan boyut indirgeme yöntemlerinin sınıflandırma başarılarına olan etkileri araştırılmıştır.

1.1. Çalışma Alanı ve Veri Setleri

Çalışma alanı olarak Bergama Bölgesi seçilmiştir (Şekil 2). Bu bölgede 2100 metre ortalama yükseklikten Headwall Hyperspec VNIR kamerası ile görüntü alımı gerçekleştirilmiştir (URL-2, 2019). Hyperspec kamerası ile 90 cm çözünürlükte, 380-1000 nm dalgaboyu aralığında ve 400 spektral bant içeren hiperspektral görüntüler çekilmiştir. Bu çalışmada 1004 piksel yükseklik, 5500 piksel genişlik bilgisayarda kullanım açısından çok büyük olacağı için 512x512 piksel boyutunda bir alt görüntü kesilmiş ve işlemler onun üzerinden yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma Alanı

2. YÖNTEM

Sınıflandırma, boyut indirgeme yöntemlerinin performanslarını ölçmek için en çok tercih edilen yöntemdir. Dolayısı ile bu çalışmada da 5 farklı yöntem ile hiperspektral görüntülerin boyutları indirgendikten sonra, 2 farklı sınıflandırma yöntemi ile boyut indirgeme yöntemlerinin performansları ölçülmüştür.

2.1. Boyut İndirgeme Yöntemleri

Bu çalışmada kullanılan boyut indirgeme yöntemleri Temel Bileşen Analizi (PCA), Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT), Faktör Analizi (FACTORNAL), Çok Boyutlu Ölçekleme yöntemi (MDS – Multidimensional Scaling) ve En Fazla Daralan Metrik Öğrenme (MCML- Maximally Collapsing Metric Learning) yöntemidir. Bu yöntemlerden PCA, FACTORNAL, MDS ve MCML Maaten (Maaten, 2007) tarafından Matlab'ta geliştirilen boyut indirgeme araç kutusunda gerçekleştirilmiştir (URL-1, 2019). DWT yönteminde ise Matlab'ta DWT2 fonksiyonu kullanılmıştır.

Temel Bileşenler Analizi (PCA), veriyi daha az bir boyuttaki doğrusal alt uzaya yerleştirdiği için doğrusal bir boyut indirgeme yöntemidir (Hotelling, 1933). PCA verileri varyanslarının en yüksek oldukları değerlere göre birbirleri ile kolerasyonsuz bir uzaya izdüşüm yapan boyut indirgeme yöntemidir (Saralioğlu ve Görmüş, 2018). Birinci temel bileşen değişimin en fazla olduğu bileşen, ikinci temel bileşen değişimin ikinci en fazla olduğu bileşen olmak üzere istenen boyut sayısı kadar sıralanmaktadır.

Çok Boyutlu Ölçekleme (MDS) analizi, n nesne ya da birim arasındaki p değişkene göre belirlenen uzaklıklara dayalı olarak nesnelerin k boyutlu $k < p$ bir uzayda gösterimini elde etmeyi amaçlayan, böylece nesnelere arasındaki ilişkileri belirlemeye yarayan bir yöntemdir. Verilerin sınıflandırılması ve gruplandırılması amacıyla geliştirilmiş bir analiz olan çok boyutlu ölçekleme analizi, bu açıdan kümeleme analizi ve diskriminant analizi ile benzerlik taşımaktadır. Çok boyutlu ölçekleme analizi çok boyutlu uzayda verilerin ilişki yapısını grafiksel olarak ortaya koyarken birimlerin benzerlik veya farklılık değerlerini dikkate almaktadır (Bulbul ve Kose, 2010). Temel bileşenlere benzer bir yaklaşım kullanılmaktadır. n tane nesne arasındaki

uzaklıklar matrisi S verildiğinde bu nesne ($n-1$) boyutlu uzayda n nokta ile gösterilmektedir. Buradaki S_{ij} ' ler tüm i, j ve k için $S_{ij} < S_{ik} + S_{kj}$ koşulunu sağlamaktadır. Bu koşulu sağlayan her n nesnenin geometrik modeli kurulabilmektedir (Filiz ve Çemrek, 2005).

Faktör Analizi yöntemi, başta sosyal bilimler olmak üzere pek çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Faktör analizinde amaç, p değişkenli bir olayda, birbiriyle ilişkili değişkenlerden faktör adı verilen az sayıda yeni ilişkisiz değişken bulmaktır. Bu analiz boyut indirgemeye ve bağımlılık yapısını gidermeye çalışır (Filiz ve Çemrek, 2005). $X_{p \times n}$ ham veri matrisi standartlaştırılarak $Z_{p \times n}$ standartlaştırılmış veri matrisi kullanılır. Z_j değişkenleri ile ortak faktörler arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal model aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$z_j = a_{j1}f_1 + a_{j2}f_2 + \dots + a_{jm}f_m + b_ju_j \quad (1)$$

$j = 1, 2, \dots, p$

Burada; a_{jm} , j . değişkenin m 'inci faktör üzerindeki yükü yada ağırlığı, f_m : m . faktörü, u_j : artık faktörü, b_j : artık faktöre ilişkin katsayıyı göstermektedir.

(1) denklemini matris formunda aşağıdaki gibi yazmak da mümkündür:

$$Z = AF + BU \quad (2)$$

Faktör Analizi uygulandıktan sonra faktör dönüşümüyle değişkenler arasındaki korelasyonları en iyi açıklayan en az sayıda faktörler tanımlanarak, boyut indirgenmesi gerçekleştirilmiş olur.

En Fazla Daralan Metrik Öğrenme (MCML), Mahalanobis uzaklığını kullanarak sınıflandırma yapan, aynı sınıftaki verilerin metrik olarak birbirine en yakın olacağını kabul eden ve buna göre verileri daraltan bir öğrenme yöntemidir (Saralioğlu ve Görmüş, 2018). MCML algoritması benzerlik ve farklılık sınırlamaları tabanlı Mahalanobis mesafesi metriğini öğrenmeyi amaçlamaktadır. Burada aynı sınıftaki tüm örneklerin tek bir noktaya yığılmasını sağlayan ve diğer sınıflardaki örneklerin ise mümkün olduğunca uzağa iten

bir optimizasyon problemi kurulmuştur. Benzer etiketlenen ve farklı etiketlenen örnekler arasında lokal komşuluk kısıtlamalarını kullanmaktadır (Globerson, Roweis, 2005).

DWT metodu ile boyut indirgeme yöntemi, istenilen seviyede ve istenilen dalgacık filtresi ile iki boyutlu dalgacık dönüşümü yapmaktadır. Girdi verisini yaklaşım ve detay katsayıları şekline matrislere ayrıştırır. Daha sonra yaklaşım katsayılar matrisinden ilk d tane alınan bantlar d boyutlu indirgenmiş yeni veriyi oluşturmaktadır. Bu uygulamada dalgacık dönüşümü olarak Daubechies 3 (db3) ve ayrışım seviyesi olarak 4 kullanılmıştır.

2.2. Makine Öğrenme Yöntemleri

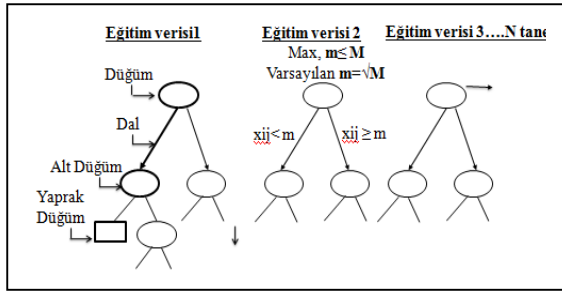
Son yıllarda sınıflandırma doğruluğunu ciddi derecede artırdığı için uzaktan algılama uygulamalarında Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman (RO) gibi makine öğrenme yöntemleri sıklıkla tercih edilmektedir (Thanh ve Kappas, 2018).

Toplu öğrenme sınıflandırıcıları arasında yer alan ve doğruluğu eşsiz olarak tanımlanan RO, hızlı ve belirli bir kalıpla olmayan bir yöntemdir (Breiman, 2001; Breiman ve Cutler 2005; Akar ve Güngör, 2015). İstenilen sayıda ağaç üretmek sınıflandırma işlemini gerçekleştirir (Breiman ve Cutler 2005). RO yönteminin kullandığı ağaç tipi sınıflandırıcılar $\{h(x, \theta_k) \mid k = 1, \dots\}$ şeklindedir. Burada, x , girdi verisini; θ_k , rastgele vektörü temsil etmektedir (Breiman, 2001; Breiman, 2009). Ağaç gelişimi için T gerçek eğitim veri setinden yer değiştirmeli olarak ve rastgele özellik seçimi kullanılarak T_k yeni bir eğitim veri seti oluşturulur. Bu yeni veri setine göre ağaçlar budanmadan geliştirilir ve $h(x, T_k)$ sınıflandırıcısı oluşturulur. Sınıflandırıcı ile çantaya atılmış tahminlerden oylama yapılır. Eğitim verisindeki her x , y için sadece bu sınıflandırıcı ile oylama gerçekleşir. T_k , x ve y ' yi içermez (Archer, 2008; Breiman, 2001). Ağaç geliştirme sırasında kullanıcı tarafından değişkenlerin sayısı (m) ve geliştirilecek ağaçların sayısı (N) olmak üzere 2 parametre tanımlanmalıdır (Pal, 2005). m değeri ağacın nasıl oluşturulacağını belirleyen bir parametredir. Kullanıcı tarafından başlangıç m değeri rastgele seçilir sonraki m 'ler genelleştirilmiş hatalara (OBB) göre tespit edilir. m değişken değeri seçilirken, m değerinin M (toplam değişken sayısı)

değişkeninin kareköküne eşit olarak alınması genellikle optimum sonuçlar verir (Breiman, 2002). Kısaca m değeri, sınıflandırmada önemli olan değişken sayısını ifade etmektedir. (Chen, 2008). Bunun yanında RO en büyük boyutta ağaç geliştirmek için kullandığı CART (Classification and Regression Tree) algoritmasında, düğümlerde homojenliği ölçen Gini indeksini kullanır (Özkan, 2008). T eğitim veri seti için C_i sınıfına ait rastgele bir piksel seçildiğinde Gini indeksi Eşitlik 3 ile ifade edilir.

$$\sum \sum_{j \neq i} (f(C_i, T)/|T|) (f(C_j, T)/|T|) \quad (3)$$

Eşitliğinde (3), $f(C_i, T)/|T|$ seçilen örneğin C_i sınıfına ait olma olasılığını gösterir (Pal, 2005). Gini indeksi sıfıra ulaştıkça yani her bir yaprak düğümde bir sınıf kaldığında ağaç dallanma işlemi sonlanır (Watts vd., 2011). Kullanıcı tarafından tanımlanan sayıda ağaç üretilir (Liaw ve Wiener, 2002). RO sınıflandırıcısının ağaç yapısını Şekil 3'teki gibidir.

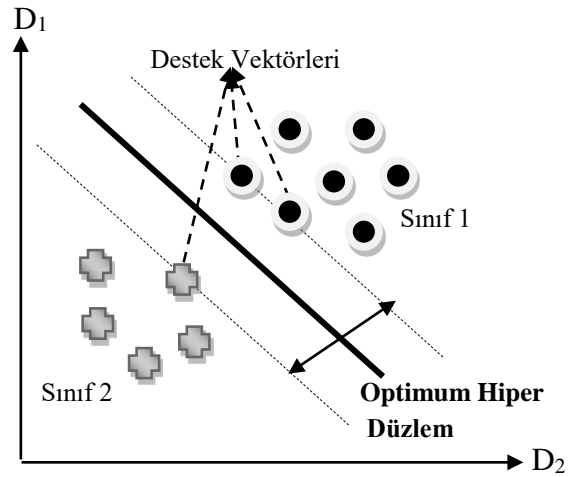


Şekil 3. RO sınıflandırıcısına ait ağaç yapısı

Şekildeki x_{ij} , girdi verilerini temsil etmektedir. İstenilen sayıda ağaçlar üretildikten sonra girdi verisi ormandaki her bir ağaca yerleştirilir ve ağaçlar arasında oylama yapılır ve o piksel ağaçlar arasında en çok hangi sınıfa atanmışsa o sınıfın etiketiyle etiketlenir (Liaw ve Wiener, 2002).

DVM sınıflandırıcısı, hem doğrusal olarak birbirinden ayrılabilen hem de doğrusal olarak birbirinden ayrılamayan verileri sınıflandırabilir. Amaç sınıfları birbirinden ayıran optimum hiper düzlem belirlenmesidir (Vapnik, 1995). Eğer sınıflar birbirinden doğrusal olarak ayrılabilirse, sınıfları birbirinden ayıran düzlemlerden mesafesi en büyük olan düzlemleri belirler ve bu düzlemleri kullanarak doğrusal bir ayırt edici fonksiyon oluşturur. Lineer fonksiyonlarla sınıflar

birbirinden ayrılır. Bu sınıflar doğrusal olarak ayrılabilirse ise sınıflandırma hatasını minimum, düzlemler arası mesafeyi maksimum yapmayı sağlayacak pozitif bir C parametresi ve kernel fonksiyonları kullanılarak sınıfların doğrusal olarak ayrılabilir oldukları daha yüksek boyutlu başka bir uzaya taşınırlar. Bu uzayda sınıflandırma işlemi gerçekleşir (Özkan, 2008; Tso ve Mather, 2009; Stephens ve Diesing; 2014, Çölkesen ve Yomralıoğlu, 2014). İyi performans gösterdiği için en yaygın kullanılan kernel fonksiyonu Radyal tabanlı fonksiyondur. (Thanh ve Kappas, 2018; Kavzoglu ve Çölkesen 2009). Şekil 4'te DVM yönteminin doğrusal problemlerde çalışma prensibi gösterilmiştir.

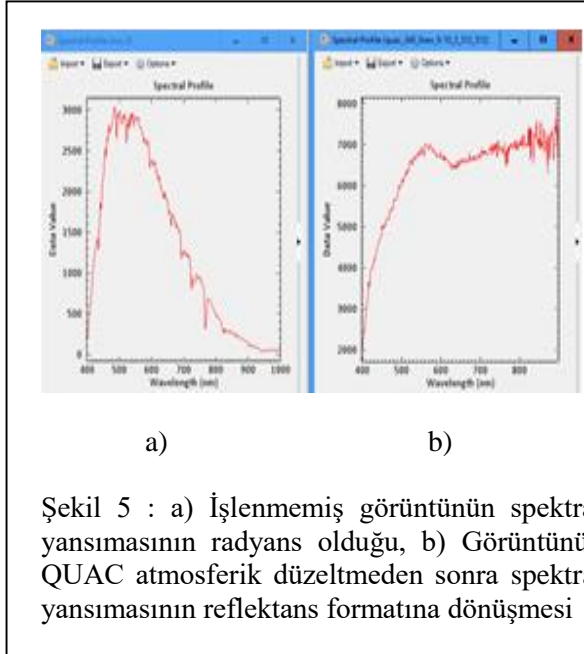


Şekil 4. Destek vektör makineleri

3. UYGULAMA

HGK'dan alınan veriler öncelikle ENVI programında manuel olarak incelenerek genellikle sonda ve başta bulunan çok bozuk ve çok gürültülü bantlar çıkartılmıştır. Kötü bantların çıkartılmasından sonra 400 banttan 340 bant kalmıştır. Daha sonra spektral özellikleri incelendiğinde veri formatının radyans olduğu görülmüştür. Radyans formatında görüntü hem alıcıdan hem de atmosferdeki gazlardan etkilenecek gerçek yeryüzündeki yansımaya değerlerinden farklı spektral özelliğe sahip olmaktadır. Bu Şekil 5-a'da yansımaya grafiğinde görülmektedir. Su buharı etkisinden dolayı belli dalga boylarında yansımaların çok düşük olduğu görülmektedir. Dolayısı ile diğer görüntü işleme adımlarına geçmeden önce radyans değerlerinin yeryüzü yansımaya değerlerine yani reflektans değerlerine

dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için de ENVI 5.2 programında Atmosfer Düzeltmesi (Quick Atmospheric Correction (QUAC)) yapılmıştır. Elde edilen reflektans görüntüsüne ait yeşil alan olmayan bir noktanın spektral yansıma grafiği Şekil 5-b'de gösterilmiştir.



pikseller toplanmıştır. Her bir sınıf için yaklaşık eşit sayıda piksel toplanmıştır.

Gölge sınıfı görüntüde az yer kapladığı için diğer sınıflara göre daha az sayıda piksel toplanmıştır. Toplamda görüntü üzerinden 9332 eğitim pikseli toplanmıştır. Sonrasında ENVI yazılımında DVM sınıflandırıcısı yardımıyla optimum sınıflandırma parametresine (C) ve Radyal tabanlı fonksiyona göre tüm indirgenmiş görüntüler sınıflandırılmıştır. (C) parametresi kullanıcı tarafından görüntülere göre denenerek belirlenmiştir. Sonrasında Matlab yazılımında her bir görüntü üzerinde seçilen bu örnek alanlara göre eğitim ve test verileri Rastgele Özellik Seçim Metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Görüntüler üzerinden toplanan 9332 pikselin 4666'ü eğitim verisi, kalan 4666'ü test verisi olarak seçilmiştir ve RO sınıflandırıcısı ile görüntüler, kullanıcı tarafından belirlenen optimum parametrelere (m) ve (N) göre sınıflandırılmıştır (Örn. Şekil 3).

DVM ve RO için aynı eğitim alanları kullanılmıştır. Gölge sınıfı sadece ormanlık alanlarda olduğu için sınıflandırma sonucu elde

Atmosferik düzeltmeden sonra reflektans görüntüsü PCA, DWT, MDS, FACTORNAL ve MCML yöntemleri ile 20 banda indirgenmiş 5 ayrı görüntü elde edilmiştir. Seçilen 5 farklı yonteme göre hiperspektral hava fotoğrafının boyut indirgeme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen her bir görüntüye geometrik düzeltme işlemi uygulanarak görüntü düzeltilmiştir. Google Earth üzerinden seçilen 8 kontrol noktası yardımıyla ERDAS Imagine yazılımı kullanılarak polynomial yontemine göre piksel altı doğrulukla (x yönünde 0.65 m, y yönünde 0.18 m) toplamda 0.67 m hatayla geometrik düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde hiperspektral hava görüntülerinin ön işlemleri tamamlanmıştır.

Ön işlemlerden sonra boyut indirgeme yöntemlerinin performanslarının analizi için görüntüler sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Sınıflandırma işlemi için görüntüler üzerinden toprak, yol, bitki, bina (beton çatılı), bina (kiremit çatılı) ve gölge olmak üzere 6 adet arazi kullanım sınıfı belirlenmiştir. ENVI yazılımında her sınıf için görüntüler üzerinden sınıflara ait örnek

edilen 8 adet tematik görüntüde orman sınıfı gölge sınıfıyla birleştirilmiştir. Her bir sınıflandırma sonucunun doğruluğu, en yaygın kullanılan sınıflandırma sonrası doğruluk analizleri yöntemlerinden biri olan hata matrisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu matris kullanılarak, bilinen referans veriler (yer gerçeği) ile buna karşılık gelen otomatik sınıflandırma sonucu elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler kategorik olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. (Lillesand, vd. 2004). Çalışmada 6 sınıf için, her bir görüntü üzerinde, sınıfların kapladıkları alanlara göre nokta üreten stratified random yöntemi kullanılarak her sınıf için en az 20 nokta olacak şekilde toplamda 120 nokta üretilmiştir. Bu noktalar kullanılarak sınıflandırılmış tematik görüntülerin doğrulukları analiz edilmiştir. Her bir sınıflandırma sonucu için elde edilen genel, üretici ve kullanıcı doğrulukları Tablo 1' de verilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan boyut indirgeme yöntemlerinin DVM ve RO ile sınıflandırılmaları neticesinde performanslarını

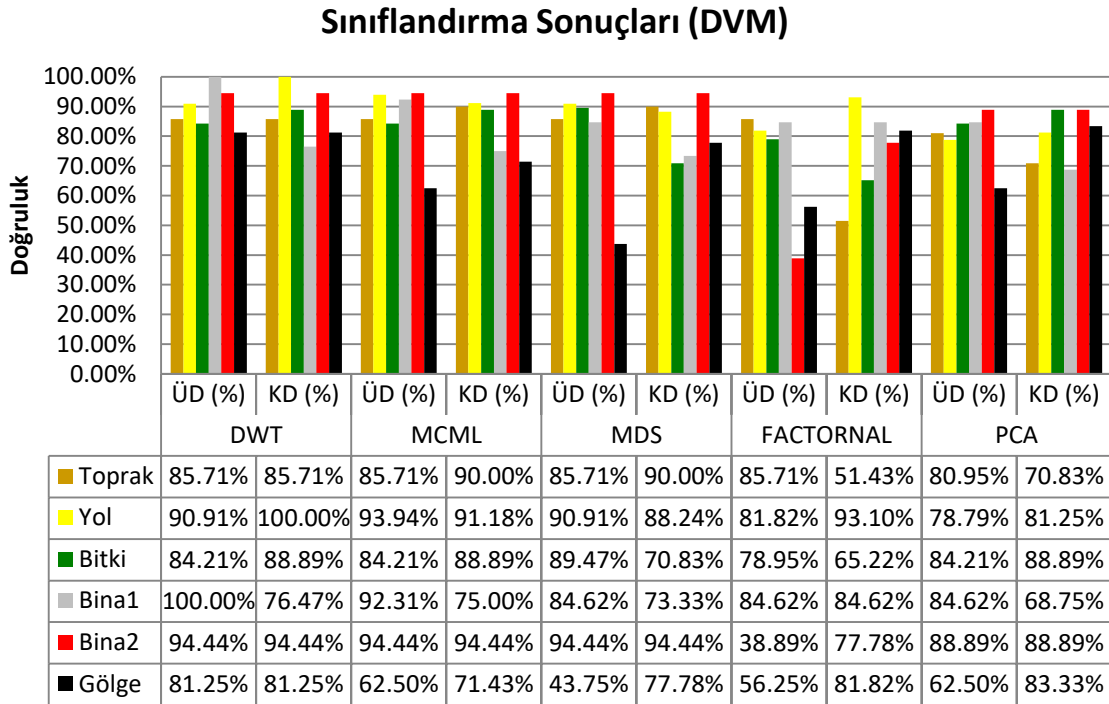
değerlendirmek için, doğruluk analizleri sonucu elde edilen hata matrisleri incelenmiştir. Buna göre en yüksek sınıflandırma doğruluğunu RO ile sınıflandırma sonucu, %91.67 genel doğruluk ve 0.91 κ değeri ile DWT boyut indirgeme yönteminin sağladığı gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında RO ile elde edilen sonuçlarda genel sınıflandırma doğrulukları yüksekten düşüğe sırasıyla DWT, MCML, MDS, FACTOR ve PCA olarak elde edilmiştir. DVM sınıflandırma sonuçlarına göre bu sıranın ise DWT, MCML, MDS, PCA ve FACTOR olduğu gözlenmiştir. Buna göre her iki sınıflandırma yönteminde de en yüksek sınıflandırma doğruluğunu DWT yönteminin, en düşük sınıflandırma doğruluğunu da FACTOR ve PCA yöntemlerinin verdiği görülmüştür.

Tablo 2’de elde edilen sınıflandırma doğrulukları Genel Doğruluk (%) ve

Kappa katsayısı cinsinden gösterilmiştir. Hiperspektral hava fotoğrafının RO ve DVM’e göre elde edilen üretici ve kullanıcı doğrulukları incelendiğinde çoğu sınıflarda en yüksek başarımın DWT yöntemi ile 20 banda indirgenen görüntünün sınıflandırılması sonucu elde edildiği görülmüştür.

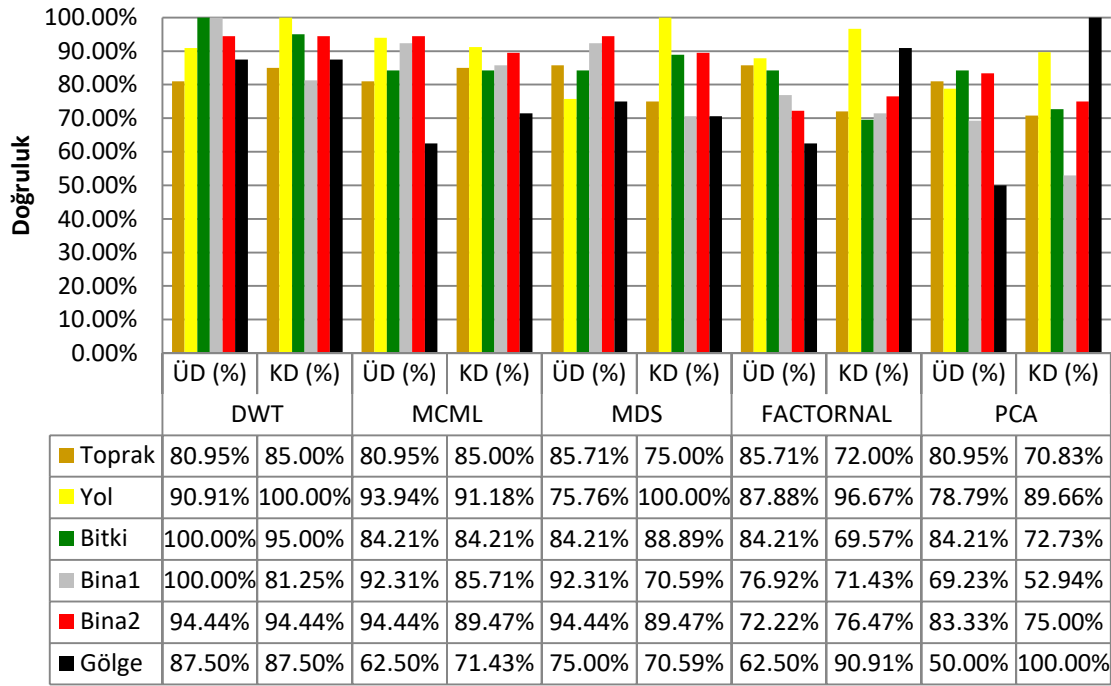
Her iki sınıflandırmada da (RO ve DVM) Bina1 sınıfı %100, Bina2 %94.44 ÜD ile DWT yöntemi ile elde edilmiştir. DVM’ye göre Toprak sınıfının en yüksek başarımı %87.71 ÜD, RO’ya göre Bitki ve Gölge sınıflarının en yüksek başarımaları sırasıyla %100 ve %87.50 ÜD ile yine DWT yöntemi ile indirgenmiş görüntünün sınıflandırılması sonucu elde edilmiştir.

Tablo 1. Üretici Doğrulukları (ÜD) ve Kullanıcı Doğrulukları (KD) a) DVM b) RO



(a)

Sınıflandırma Sonuçları (RO)



Tablo 2: DVM ve RO sınıflandırıcıları için Genel Doğruluk tablosu

Sınıflandırıcı	İndirgeme Yöntemi	Genel Doğruluk (%)	Kappa
DVM	DWT	89.17	0.8892
	PCA	80.00	0.7954
	MDS	83.33	0.8295
	FACTOR	72.50	0.7219
	MCML	86.67	0.8636
RO	DWT	91.67	0.9147
	PCA	75.83	0.7521
	MDS	83.33	0.8293
	FACTOR	80.00	0.7957
	MCML	85.83	0.8549

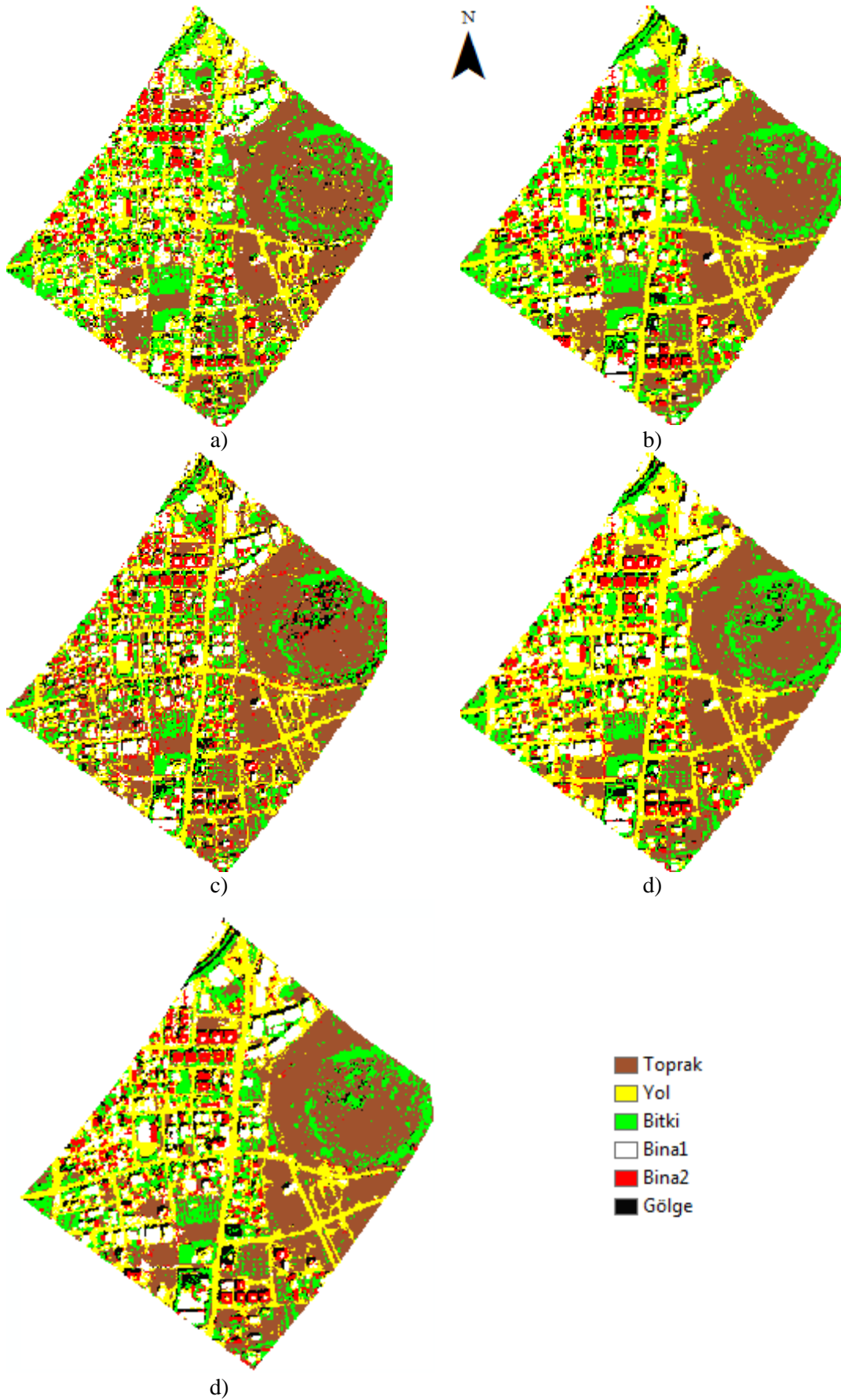
DWT'nin yanı sıra MCML ve MDS yöntemleri ile de DWT'ye yakın veya eşit başarımların elde edildiği Tablo1'de görülmektedir. Sadece Yol sınıfının en yüksek başarımları her iki sınıflandırıcıya göre %93.94 ÜD ile MCML yöntemine göre indirgenmiş görüntünün sınıflandırılması sonucu elde edilmiştir. Diğer yandan Yol sınıfı KD'ye göre en yüksek başarımları (%100) DWT yöntemi ile elde etmiştir. KD'ye göre başarımlara bakıldığında, Yol, bitki ve

(b)

Bina2 sınıflarının DWT ile en yüksek başarımları verdiği görülmektedir. Buna göre, Bina2 sınıfının her iki sınıflandırmada da %94.44, Bitki sınıfının da RO'ya göre %95 olduğu görülmektedir. Binal ve Gölge sınıflarında en yüksek KD RO'ya göre sırasıyla MCML (%85.71) ve PCA (%100) indirgeme yöntemleri, Toprak sınıfında ise DVM'de MCML (%90) yöntemi ile elde edilmiştir. DVM ve RO yöntemleri ile sınıflandırılan her bir indirgenmiş görüntünün tematik görüntüleri sırasıyla Şekil 6'da ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6: DVM ile elde edilen tematik görüntüler a)PCA, b)MDS, c) FACTORNAL, d)DWT, e)MCML



Şekil 7: RO ile elde edilen tematik görüntüler a)PCA, b)MDS, c) FACTORNAL, d)DWT, e)MCML

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan Headwall Hyperspec VNIR Kamerası ile elde edilen Hiperspektral Hava Fotoğrafı Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Abbak, A. (2007). Jeodezide Zaman Dizilerinin Dalgacık (Wavelet) Analizi. Doktora Semineri. Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Konya.
- Akar, Ö., ve Güngör, O. (2015). Integrating multiple texture methods and NDVI to the random forest classification algorithm to detect tea and hazelnut plantation areas in northeast Turkey, *International Journal of Remote Sensing*, 36, 442–464.
- Archer, K. J. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measure, *EDMputational Statistics & Data Analysis*, 52(4), 2249-2260.
- Başak, H. ve Yıldırım, M.A. (2017). Göktürk-2 Uydu Görüntüsünün Otomatik Detay Çıkarımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması “Eskişehir İli Örneği” TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- Battiti, R. (1994). Using mutual information for selecting features in supervised neural net learning, *IEEE Trans. Neural Networks*, 5(4), 537–550.
- Belward, A.S. ve Skoien, J.O. (2015) Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103(May 2015), 115-128.
- Blum, A., ve Mitchell, T., (1998) Combining labeled and unlabeled data with co-training, *Proceedings of the 11th Annual Conference on Computational Learning Theory*, 92–100.
- Breiman, L. (2001). Random Forests, *Machine learning, Kluwer Academic Publishers*, 45(1), 5-32.
- Breiman, L. (2002). Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1, http://oz.berkeley.edu/users/breiman/Using_random_forests_V3.1.pdf (06.11.2009)
- Breiman, L. ve Cutler, A. (2005). Random Forest, http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm (15.11.2009).
- Bruzzone, L., Chi, M., ve Marconcini, M. (2006) A novel transductive svm for semisupervised classification of remote-sensing images, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44 (11), 3363 – 3373.
- Bulbul, S. ve Kose, A. (2010). Türkiye’de bölgelerarası iç göç hareketlerinin çok boyutlu ölçkleme yöntemi ile incelenmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*. Cilt/Vol:39, Sayı/No:1, 75-94.
- Chang, C.I. ve Ren, C.I. (2000). An experiment-based quantitative and comparative analysis of target detection and image classification algorithms for hyperspectral imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(2), 1044–1063.
- Chen, C. H. (2008). *Image Processing For Remote Sensing*, CRS Press, Taylor&Francis Group, USA.
- Çölkesen, İ. ve Yomralıoğlu, T. (2014). Arazi Örtüsü ve Kullanımının Haritalanmasında WorldView-2 Uydu Görüntüsü ve Yardımcı Verilerin Kullanımı, *Harita Dergisi*, Temmuz 2014 (152), 12-24.
- Filiz, Z. ve Çemrek, F.(2005). Avrupa Birliğine Üye Ülkeler ile Türkiye’nin Karşılaştırılması, *İstanbul Üniversitesi VII.Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*.
- Ghamisi, P. vd. (2017), *Advances in Hyperspectral Image and Signal Processing: A Comprehensive Overview of the State of the Art*, in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 37-78.
- Globerson, A. ve Roweis, S. (2005). Metric learning by collapsing classes. In: *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*.
- Green, A., Berman M., Switzer, P., ve Craig, M.,(1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal, *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, 26 (1), 65–74.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24,417–441.
- Hyvriinen, A., Karhunen, J., ve Oja, E. (2001). *Independent Component Analysis*. New York: Wiley.

- Immitzer, M., Vuolo, F. ve Atzberger, C. (2016) First Experience With Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sens.* 2016, 8, 166.
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., Dedieu, G., Sepulcre, G., Bontemps, S. ve Defourny, P., (2015). Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. *Remote Sens.* 2015(7), 12356–12379.
- Jia, X., Kuo, B ve Crawford, M. (2013). Feature mining for hyperspectral image classification, *Proceedings of the IEEE*, 101 (3), 676–697, March.
- Jliffe, I. (1986). *Principal Component Analysis*. New York:Springer-Verlag,.
- Kalkan, K., Orhun, Ö., Filiz, B. ve Teke, M. (2015). Vegetation Discrimination Analysis from Göktürk-2, in *Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, 2015 7th International Conference on, 2015.
- Kavzoglu, T. ve Colkesen, I. (2009), A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352- 359.
- Kuo, B. ve Landgrebe, D.(2004) “Nonparametric weighted feature extraction for classification,” *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, 42 (5), 1096–1105.
- Kuybeda, D. M. O ve Barzohar, M. (2007). “Rank estimation and redundancy reduction of high dimensional noisy signals with preservation of rare vectors,” *IEEE Trans. on Signal Processing*, 55 (12), 5579–5592.
- Lahat, D., Adali, T. ve Jutten, C., (2015). Multimodal Data Fusion: An Overview of Methods, Challenges, and Prospects, in *Proceedings of the IEEE*, 103 (9), 1449-1477.
- Li, W., Prasad, S., Fowled, J. E., ve Bruce, L. M., (2012). Locality-preserving dimensionality reduction and classification for hyperspectral image analysis, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 50 (4), 1185–1198.
- Liaw, A. ve Wiener, M. (2002). Classification And Regression By Random Forest, *R News*, Vol.2/3, December.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. ve Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*, Wiley, United States of America, 804.
- Liu, N. W. A. L., Coops, N. C. ve Pang, Y. (2017). Mapping urban tree species using integrated airborne hyperspectral and lidar remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 200, 170–182.
- Maaten, L.J.P. van der (2007). An introduction to dimensionality reduction using Matlab. Technical Report 07-06, MICC-IKAT, Maastricht University, Maastricht, The Netherlands.
- Maaten, L.J.P. van der, Postma E.O., ve Herik, H.J. van den (2007). Dimensionality reduction: A comparative review. Preprint.
- Mather, P. M. (2004). *EDMputer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*, Third edition, Wiley, USA, ISBN 0-470-84918-5.
- Özkan, Y. (2008). *Veri Madenciliği Yöntemleri*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pal, M. (2005). Random Forest Classifier For Remote Sensing Classification, *International Journal of Remote Sensing*, 26(1) , 217-222.
- Pa,l M. ve Foody, G. M. (2010). Feature Selection for Classification of Hyperspectral Data by SVM, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48 (5), 2297-2307.
- Ren, J., Zabalza, J., Marshall, S., ve Zheng, J. (2014). Effective feature extraction and data reduction in remote sensing using hyperspectral imaging, *IEEE Signal Processing Magazine*, 31 (4), 149–154.
- Richards, J.A. ve Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction 4th Edition*, Springer-Verlag, Germany, ISBN-10: 3-540-25128-6.
- Saralioğlu, E. ve Tunç Görmüş E. (2018). Doku Bilgisinin Hiperspektral Görüntülerin Sınıflandırılmasına Olan Etkisinin Araştırılması, 26. IEEE Sinyal İşleme Ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, İzmir, Türkiye, 2-5 Mayıs,1-4.
- Somers, G. P. B. (2013). Multi-temporal hyperspectral mixture analysis and feature selection for invasive species mapping in rainforests, *Remote Sensing of Environment*, 136, 14–27.
- Srivastava, P.K., Han, D., Rico-Ramirez, M.A., Bray, M. ve Islam, T. (2012) Selection of Classification Techniques for Land Use/land Cover Change Investigation. *Adv. Space Res.*, 50, 1250–1265.

- Stephens, D. ve Diesing, M. (2014). A Comparison of Supervised Classification Methods for the Prediction of Substrate Type Using Multibeam Acoustic and Legacy Grain-Size Data. *Magar V, ed. PLoS ONE*,9(4):e93950.
- Swain, P. H. ve Davis, S. M., (1978) Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York: McGraw-Hill.
- Tardy, B., Inglada, J. ve Michel, J. (2017). Fusion Approaches for Land Cover Map Production Using High Resolution Image Time Series without Reference Data of the Corresponding Period, *Remote Sensing*, 9, 1151.
- Teke, M. (2016). Satellite Image Processing Workflow for Rasat and Göktürk-2, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 9 (1).
- Thanh, N. P. ve Kappas, M. (2018). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery, *Sensors (Basel, Switzerland)*,18(1),18.
- Vapnik, V.N. (1995). The Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag, New York.
- Watts, J. D., Powell, S.L., Lawrence, R. L. ve Hilker, T. (2011). Improved Classification of Conservation Tillage Adoption Using High Temporal And Synthetic Satellite Imagery, *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 66–75.
- URL-1(2019), <http://lvdmaaten.github.io/drtoolbox/>
- URL-2 (2019), <https://www.harita.gov.tr/images/kurumsal/ec160682cb3586d.pdf>

Spektral Eşleştirme Yöntemleri Kullanarak Hiperspektral Görüntülerin Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırılması

Tuğcan DÜNDAR^{1*}, Taner İNCE²

¹Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
(dundar@gantep.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 1374 – 8651

² Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
(tanerince@gantep.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 1757 – 5209

Öz

Seyrek gösterim tabanlı yaklaşımlar sinyal ve görüntü işleme alanlarında gösterdikleri performanstan dolayı son zamanlarda hiperspektral görüntüler üzerine de uygulanmaya başlanmış ve başarılı sonuçlar sağlanmıştır. Hiperspektral görüntü içerisindeki uzamsal bilginin de sınıflandırma işlemine dahil edilebilmesi için ortak seyrek gösterim sınıflandırıcı (OSGS) modeli geliştirilmiştir. Fakat bu modelde test pikseli etrafındaki sabit boyutlu bir pencere içerisindeki tüm komşu piksellerin ağırlık oranlarının eşit olduğu varsayılmaktadır. Özellikle de pencere boyutu arttıkça farklı sınıfa ait piksellerin sınıflandırma işlemine dahil olacağı düşünülürse hata payı artacaktır. Bu soruna bir çözüm üretebilmek için pencere içerisindeki merkez test pikseli ve her bir komşu piksele 3 adet spektral eşleştirme yöntemi uygulayıp OSGS ile birleştiren 3SE-OSGS metodu önerilmiştir. Eşleştirme yöntemlerinden elde edilen verilere ve eşik değerine göre ilgili komşu pikselin seçilmesi veya seçilmemesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: seyrek gösterim, spektral eşleştirme, hiperspektral görüntü, sınıflandırma.

Sparse Representation-Based Classification of Hyperspectral Images Using Spectral Matching Methods

Abstract

Sparse representation based approaches have recently begun to be applied to hyperspectral images due to the performance displayed in areas such as signal and image processing and successful results have been achieved. The joint sparse representation classifier (JSRC) model has been developed so that spatial information in the hyperspectral image can be included in the classification process. However, it is assumed that the weight ratios of all neighboring pixels in a fixed size window around the test pixel are equal in this model. Particularly, as the window size increases, the error rate will increase if it is considered that the pixels belonging to different classes will be included in the classification process. In order to solve this problem, 3SM-JSRC method utilizing 3 spectral matching methods to central test pixel and each neighbor pixel in the window and combines with JSRC is proposed. It is provided that the neighboring pixel is selected or not selected according to the data obtained from the matching methods and the threshold value.

Keywords: sparse representation, spectral matching, hyperspectral image, classification.

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Hiperspektral görüntüler birbirine bitişik olarak konumlandırılmış çok sayıda spektral banttan oluşmaktadır (Christophe, Leger ve Mailhes, 2005). Görüntü içerisindeki spektral bilginin oldukça fazla olması yeryüzündeki materyallerin tespitine ve sınıflandırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sebeple de askeri, tarım ve mineraloji gibi uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Datt, McVicar, Niel, Jupp ve Pearlman, 2003; Garcia ve Ustin, 2001; Manolakis ve Shaw, 2002; Shukla ve Kot, 2016). Hiperspektral görüntü sınıflandırma işlemindeki amaç verilen bir test pikselini sınıflandırma metotları yardımı ile ait olduğu doğru sınıfa atamaktır. Bu amaçla önerilen ilk çalışmalarda hiperspektral görüntüdeki spektral bilgi kullanılarak destek vektör makinaları tabanlı metotlar (Bruzzone, Chi ve Marconcini, 2006; Chi ve Bruzzone, 2007; Melgani ve Bruzzone, 2004), rastgele ormanlar (Dalponte, Örka, Gobakken, Gianelle ve Næsset, 2013; Ham, Chen, Crawford ve Ghosh, 2005) ve k en yakın komşuluk (Ma, Crawford ve Tian, 2010), yapay sinir ağları (Ratle, Camps-Valls ve Weston, 2010; Zhong ve Zhang, 2012), lojistik regresyon (J. Li, Bioucas-Dias ve Plaza, 2012, 2013), genetik algoritma (Stavroudis, Galidaki, Gitis ve Theocharis, 2012) ve karar ağaçları (Goel vd., 2003) gibi yöntemler sayesinde sınıflandırma işlemi yapılmıştır.

Son zamanlarda, seyrek gösterim tabanlı sınıflandırma modelleri hiperspektral görüntüler için önerilmiştir. Chen vd. tarafından spektral bilgiyi kullanan seyrek gösterim sınıflandırıcısı (Sparse Representation Classifier – SRC) (Chen, Nasrabadi ve Tran, 2011) önerilmiştir. SRC modelinde bir hiperspektral test pikselinin tüm sınıflara ait eğitim örneklerinden oluşan eğitim sözlüğü içerisinde sadece birkaç eğitim örneği ile temsil edilebileceği önerilmektedir. Ayrıca, görüntü içerisindeki uzamsal bilginin yani piksellerin komşuluk bilgilerinin sınıflandırma işlemine dahil edildiği ortak seyrek gösterim sınıflandırıcısı (Joint Sparse Representation Classifier – JSRC) (Chen vd., 2011) modeli de yine Chen vd. tarafından aynı çalışmada sunulmuştur. JSRC modelinde pencere içerisindeki merkez

test pikseli etrafındaki piksellerin hepsinin de aynı sınıfa ait olduğu varsayılır ve sınıflandırma işlemi yapılır.

Sonraki yıllarda JSRC yönteminin sağladığı sınıflandırma doğruluk sonuçlarında artış sağlayabilmek için birçok çalışma yapılmıştır (Dundar ve Ince, 2019; Fang, Li, Kang ve Benediktsson, 2014, 2015; W. Li ve Du, 2014; Sun, Qu, Nasrabadi ve Tran, 2014; Tu vd., 2018). (Tu vd., 2018)'de önerilen CCJSR (Correlation Coefficient – Joint Sparse Representation) çalışmasında test pikselinin sınıfını belirlerken hesaplanan artık değere test pikseli ile eğitim örnekleri arasındaki benzerlik korelasyon katsayısı yardımı ile eklenmiştir. (Fang vd., 2014)'daki MASR (Multiscale Adaptive Sparse Representation) metodunda test pikseli etrafında tek bir pencere oluşturmak yerine farklı boyutlarda pencereler oluşturularak uzamsal bilginin daha fazla kullanılması amaçlanmıştır. (Fang vd., 2015)'da önerilen SBDSM (Superpixel-Based Discriminative Sparse Model) yöntemi sayesinde sabit boyutlu pencere yerine uzamsal bilgiye göre şekil ve boyut değiştiren süperpikseller test pikseli etrafında oluşturulmuştur ve uzamsal bilgi daha verimli kullanılmıştır. Test örneği etrafında tek bir süperpiksel yerine farklı ölçeklerde süperpikseller oluşturan ve sınıflandırma sonuçlarına rehberli filtreyi ekleyerek uzamsal bilginin daha da verimli kullanılmasını sağlayan yöntem MSS–GF (Multi Scale Superpixels–Guided Filter) ise (Dundar ve Ince, 2019)'de önerilmiştir. (Sun vd., 2014)'de ise sınıflandırma problemine bazı seyreklik temelli sınırlandırmalar getirilerek sınıflandırma sonuçlarında artış sağlanması amaçlanmıştır. (W. Li ve Du, 2014)'de yapılan çalışmada komşuluk bilgilerini ve test pikseli ile eğitim örnekleri arasındaki benzerlikleri sınıflandırma yöntemine dahil eden JCR (Joint Collaborative Representation) metodu önerilmiştir.

JSRC yönteminde özellikle de pencere boyutu arttıkça farklı sınıflara ait pikseller de pencere içerisine girecektir. Herhangi bir seçim yöntemi de olmadığı için bu durum sınıflandırma sonuçları üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilir. Zhang vd. test pikseli ile komşu piksellerin benzerliğine göre piksellere farklı ağırlıklar atayan NLW–JSRC (Non-Local Weighted–Joint Sparse Representation

Classifier) modelini (Zhang, Li, Huang ve Zhang, 2014) geliştirmişlerdir. Bu sayede test pikseline benzer piksellerin ağırlığı sınıflandırma işleminde fazla olurken, farklı karakteristiğe sahip komşu piksellerin ağırlığı düşük ya da sıfır olabilmektedir. Sonuç olarak da sınıflandırma doğruluklarının JSRC modeline göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, sınıflandırma aşamasında test pikseli ile birlikte hangi komşu piksellerin seçileceğine veya seçilmeyeceğine karar verebilmek için Öklit Uzaklığı, Spektral Açık Haritalama ve Pearson Korelasyon Katsayısı spektral eşleştirme yöntemleri ortak bir şekilde kullanılmıştır. Bu yöntemler birbirlerine benzer hiperspektral bantların seçimi ve sınıflandırma çalışmalarında kullanılmaktadır (Keshava, 2004; Tu vd., 2018; Yan, Cui ve Prasad, 2018). Eşleştirme metodları, test pikseli ile sırasıyla tüm komşu piksellere uygulanarak eşik değerine göre ilgili komşu pikselin seçilmesi veya seçilmemesi sağlanmıştır.

Makalenin 2. bölümünde seyrek gösterim ve ortak seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcılar anlatılmıştır. 3. bölümde, ortak seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcının performansını arttırmak için kullanılan spektral eşleştirme metodları verilmiştir. 4. bölümde önerilen metodun teorik altyapısı ve formülasyonu sunulmuştur. Deneysel kurulum ve deney sonuçları 5 bölümde verilmiştir. Son olarak bölüm 6 ise sonuç kısmıdır.

2. YÖNTEM

Bu bölümde sırası ile seyrek gösterim ve ortak seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcıların teorik alt yapısı anlatılmaktadır.

2.1. Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırıcı

Hiperspektral görüntü içerisindeki bir piksel \mathbf{p} , görüntünün sahip olduğu bant sayısı B uzunluğundaki bir vektör olarak tanımlanır ve $\mathbf{p} \in R^{B \times 1}$ ile ifade edilir. Tüm sınıflara ait eğitim örneklerinden oluşan sözlük matrisi ise $\mathbf{D} = [\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2, \dots, \mathbf{D}_M] \in R^{B \times N}$ ile gösterilir. Burada M toplam sınıf sayısını ve N toplam eğitim örneği sayısını temsil etmektedir. Seyrek gösterim tabanlı sınıflandırma modelinde bir test pikselinin sözlük matrisi

içerisindeki eğitim örneklerinden yalnızca birkaçı ile temsil edilebileceği varsayıldığı için bu durum

$$\mathbf{p} = \mathbf{D}\boldsymbol{\alpha} + \mathbf{n} \quad (1)$$

eşitliği ile gösterilebilir. Denklem (1)'de $\boldsymbol{\alpha} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M]^T \in R^{M \times 1}$ seyrek katsayı vektörünü ve \mathbf{n} ise görüntü içerisinde olabilecek bazı gürültüleri temsil etmektedir. Seyrek gösterim tabanlı yaklaşımlarda amaç seyrek katsayı vektörünü hesaplayarak geri çatlınmış test pikselini bulmaktır. Seyrek katsayı vektörünü bulmak için

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}} = \underset{\boldsymbol{\alpha}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{p} - \mathbf{D}\boldsymbol{\alpha}\|_2 \quad \text{öyle ki} \quad \|\boldsymbol{\alpha}\|_0 \leq L \quad (2)$$

denklem (2)'deki optimizasyon problemi çözümlidir. Burada $\|\cdot\|_0$ normu $\boldsymbol{\alpha}$ içerisindeki sıfır olmayan katsayıları sayar ve L ise seyreklik seviyesinin üst sınırını yani seyrek katsayı vektörü $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$ içerisindeki sıfır olmayan katsayıları temsil eder. (2) nolu problemin çözümü için literatürdeki Dik Eşleştirme Arayış (Orthogonal Matching Pursuit – OMP) (Tropp ve Gilbert, 2007) algoritması kullanılabilir.

Seyrek katsayı vektörü bulunduğundan sonra test pikseli \mathbf{p} 'nin ait olduğu sınıfı bulmak için \mathbf{p} ile sözlük matrisi \mathbf{D} ve seyrek katsayı vektörü $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$ kullanılarak artık değer

$$E_m(\mathbf{p}) = \|\mathbf{p} - \mathbf{D}_m \hat{\boldsymbol{\alpha}}_m\|_2, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

denklem (3)'teki gibi her sınıfa ait eğitim örnekleri için hesaplanır. Son olarak test pikseli \mathbf{p} 'nin sınıfı ise artık değerinin minimum olduğu eğitim örneğinin sınıfı olarak (4)'teki gibi belirlenir.

$$\hat{m} = \underset{m}{\operatorname{argmin}}(E_m) \quad (4)$$

2.2. Ortak Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırıcı

Seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcı (Sparse Representation based Classifier – SRC) modelinde piksellerin spektral bilgisi kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Ortak seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcı (Joint Sparse Representation Classifier – JSRC) modelinde ise görüntü içerisindeki spektral bilgiye ek olarak uzamsal bilgi de kullanılır. Yapılan bir çalışmada test

pikselli etrafında sabit boyutlu bir pencere oluşturularak komşu piksellerin de aynı sınıfa ait olacağı fikri ile tüm pikseller ortak bir şekilde sınıflandırılmıştır (Chen ve diğerleri, 2011). Test pikseli \mathbf{p}_1 'in $K = Q \times Q$ boyutlu kare bir penceredeki komşulukları $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_{Q \times Q}]$ ile gösterilebilir. SRC modelinde bir test pikseli için (1)'de uygulanan denklem test pikseli ile komşu piksellerin birleşiminden oluşan \mathbf{P} matrisi için

$$\mathbf{P} = \mathbf{D}\mathbf{A} + \mathbf{N} \quad (5)$$

ile ifade edilebilir. Denklem (5)'te $\mathbf{A} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{Q \times Q}] \in \mathbb{R}^{N \times K}$ seyrek katsayı matrisini ve \mathbf{N} ise gürültüleri temsil eder. \mathbf{A} matrisini bulmak için

$$\hat{\mathbf{A}} = \underset{\mathbf{A}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{P} - \mathbf{D}\mathbf{A}\|_F \quad \text{öyle ki} \quad \|\mathbf{A}\|_0 \leq L \quad (6)$$

denklem (6)'daki problem çözümlenmelidir. Çözüm için Eşzamanlı Dik Eşleştirme Arayış (Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit – SOMP) (Chen ve diğerleri, 2011) algoritması kullanılabilir. $\hat{\mathbf{A}}$ matrisi bulunduktan sonra artık değer

$$E_m(\mathbf{P}) = \|\mathbf{P} - \mathbf{D}_m \hat{\mathbf{A}}_m\|_F, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

(7) numaralı denklem yardımı ile her sınıfa ait eğitim örnekleri için hesaplanır. Son olarak pencere içerisindeki piksellerin sınıfı \hat{m} ise minimum artık değer kullanılarak (8) ile bulunur.

$$\hat{m} = \underset{m}{\operatorname{argmin}}(E_m) \quad (8)$$

2.3. Spektral Eşleştirme Metotları

Bu bölümde ortak seyrek gösterim tabanlı sınıflandırıcı modelinin geliştirilmesinde kullanılan Öklit Uzaklığı, Spektral Açık Haritalama ve Pearson Korelasyon Katsayısı metotları açıklanmış ve ilgili formüller verilmiştir.

2.3.1. Öklit uzaklığı

B boyutlu bir uzayda X ve Y vektörleri arasındaki uzaklığı belirlemek için Öklit Uzaklığı (Euclidean Distance – ED) kullanılmaktadır. Uzaklık değerinin küçük olması iki vektörün birbirine olan yakınlığını ifade etmektedir. Öklit uzaklığı

$$ED(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^B (X_i - Y_i)^2} \quad (9)$$

(9)'daki formül yardımı ile hesaplanabilir.

2.3.2. Spektral açı haritalama

Spektral Açık Haritalama (Spectral Angle Mapper – SAM) yöntemi sayesinde B boyutlu bir spektral uzayda X ve Y vektörleri arasındaki açı hesaplanabilir. Açık değerinin küçük olması iki vektörün benzer olduğunu göstermektedir. SAM değeri takip eden denklem yardımı ile hesaplanabilir.

$$SAM(X, Y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^B X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^B X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^B Y_i^2}} \right) \quad (10)$$

2.3.3. Pearson korelasyon katsayısı

Pearson Korelasyon Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient – PCC) da SAM yöntemi gibi iki vektörün benzerliğini gösterir ve -1 ile 1 arasında bir değerdir. Değerin -1'e yakın olması iki vektörün benzer olduğunu fakat zıt yönde olduğunu belirtir. Tam tersi durumda yani değer 1'e yakın olması ise iki vektörün benzer olduğunu ve aynı yönde olduğunu belirtir. Bu sebeple eğer B boyutlu bir uzayda X ve Y vektörleri birbirlerine benzer ise mutlak değer 1'e yakın olmaktadır. Tam tersi durumda ise bu değer 0'a yakın olmaktadır.

$$PCC(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^B (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^B (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^B (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (11)$$

(11)

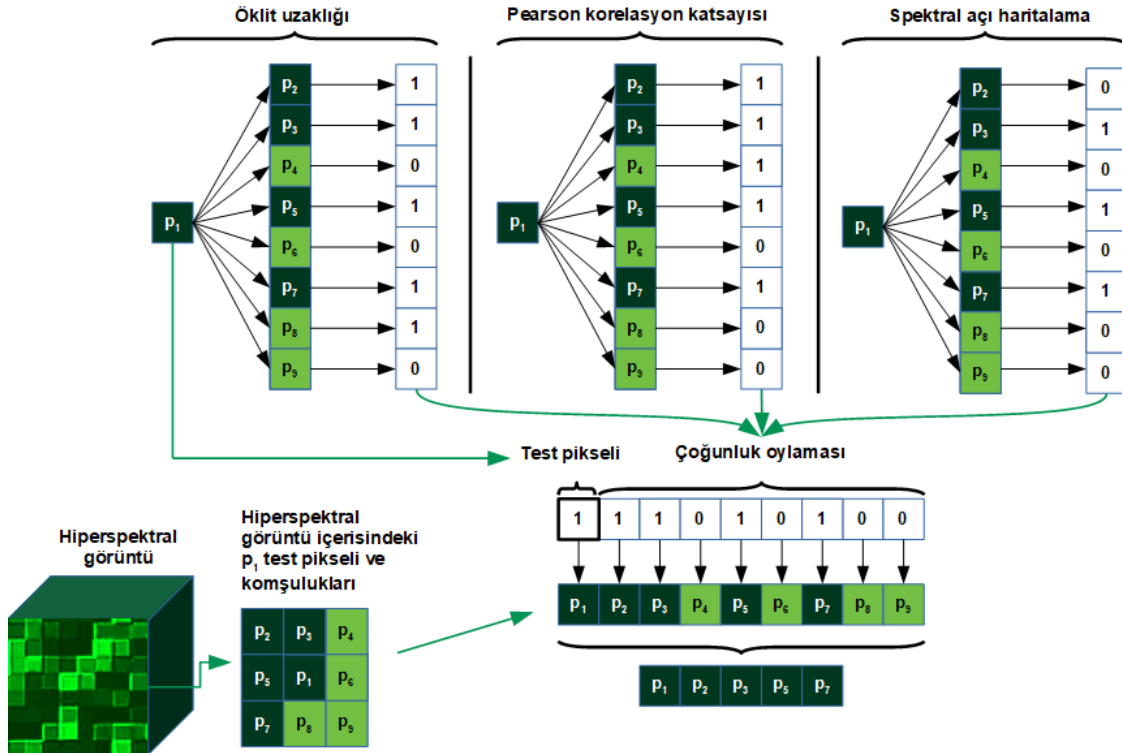
Denklem (11)'de $\bar{X} = \left(\frac{1}{B} \sum_{i=1}^B X_i \right)$ ve

$\bar{Y} = \left(\frac{1}{B} \sum_{i=1}^B Y_i \right)$ sırasıyla X ve Y vektörlerinin

ortalama değerlerini temsil etmektedir.

2.4. Problem Formülasyonu

Pencere içerisindeki pikseller \mathbf{p}_1 test pikseli olmak koşulu ile $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_{Q \times Q}]$ matrisi



Şekil 1. Test Pikseli Etrafında 3×3 Boyutunda Oluşturulan Pencere İçerisindeki Komşu Piksellerin Öklit Uzaklığı, Pearson Korelasyon Katsayısı ve Spektral Açık Haritalama Yöntemleri ile Seçilmesi

ile gösterilir. p_1 pikseli sırası ile pencere içerisindeki tüm komşu pikseller ile ED , SAM ve PCC yöntemlerine tabi tutulur. Bu durumu

$$ED_j = ED(p_1, p_j) \quad j = 2, 3, \dots, Q \times Q \quad (12)$$

$$SAM_j = SAM(p_1, p_j) \quad j = 2, 3, \dots, Q \times Q \quad (13)$$

$$PCC_j = PCC(p_1, p_j) \quad j = 2, 3, \dots, Q \times Q \quad (14)$$

Denklem (12), (13) ve (14)'teki gibi gösterebiliriz. Bu değerler tüm pikseller için bulunduktan sonra değerlerin ortalaması (15), (16) ve (17) numaralı denklemler aracılığı ile hesaplanır.

$$\overline{ED} = \frac{1}{(Q \times Q) - 1} \sum_{j=2}^{Q \times Q} ED_j \quad (15)$$

$$\overline{SAM} = \frac{1}{(Q \times Q) - 1} \sum_{j=2}^{Q \times Q} SAM_j \quad (16)$$

$$\overline{PCC} = \frac{1}{(Q \times Q) - 1} \sum_{j=2}^{Q \times Q} PCC_j \quad (17)$$

Ortalama değerler de bulunduktan sonra test pikseli ve ilgili komşu piksel için hesaplanan spektral eşleştirme metotlarının eşik değeri

olarak belirlenen ortalama değerlerden büyük veya küçük olması durumuna göre yalnızca $[0,1]$ değerlerini alan

$$ED_{1,0} = \begin{cases} 1 & ; ED_j \geq \overline{ED} \\ 0 & ; ED_j < \overline{ED} \end{cases} \quad (18)$$

$$SAM_{1,0} = \begin{cases} 1 & ; SAM_j \geq \overline{SAM} \\ 0 & ; SAM_j < \overline{SAM} \end{cases} \quad (19)$$

$$PCC_{1,0} = \begin{cases} 1 & ; PCC_j \geq \overline{PCC} \\ 0 & ; PCC_j < \overline{PCC} \end{cases} \quad (20)$$

$ED_{1,0}$, $SAM_{1,0}$ ve $PCC_{1,0}$ vektörleri oluşturulur. Daha sonra bu üç vektör üzerine çoğunluk oylaması (Majority Voting – MV) kuralı uygulanarak 1 ve 0'lardan oluşan V vektörü oluşturulur.

$$V = MV[ED_{1,0}; SAM_{1,0}; PCC_{1,0}] \\ = [V_2 \ V_3 \ \dots \ V_{Q \times Q}] \quad ; \quad V_{j=2,3,\dots,Q \times Q} \in [0,1] \quad (21)$$

Denklem (21)'de merkez test pikseli p_1 etrafındaki komşu pikseller için seçim yapılmaktadır. p_1 pikselini de hesaba katarak ağırlık vektörü W

$$W = [1 V_2 V_3 \dots V_{Q \times Q}] \quad (22)$$

oluşturulur. Son olarak ise test pikseli p_1 ve seçilen komşu pikselleri içeren \tilde{P} matrisi

$$\tilde{P} = WP \quad (23)$$

(23) nolu denklem yardımı ile oluşturulur. Bu işlemden sonra sırasıyla (5), (6), (7) ve (8) numaralı denklemler hesaplanarak pencere içerisindeki piksellerin sınıfı belirlenir.

Merkez test pikseli etrafındaki komşu piksellerin önerilen spektral eşleştirme metotları yardımı ile seçilmesini gösteren görsel Şekil 1'de bulunmaktadır. Ayrıca önerilen metoda ait aşamalar Algoritma 1'de özetlenmiştir.

Algoritma 1: 3SM—JSRC

Giriş: Hiperspektral veri seti H ; Eğitim örneği indeksleri ; Test örneği indeksleri ; Seyreklik seviyesi L ; Pencere boyutu K ; Sınıf sayısı M

Çıkış: Test piksellerinin sınıf etiketleri

Başlatma: H 'yi [0,1] arasında normalize et ve eğitim sözlüğü matrisi D 'yi oluştur

tekrarla her bir test pikseli için

1: Merkezde test pikseli olacak şekilde P 'yi oluştur

2: $ED_{1,0}$, $SAM_{1,0}$ ve $PCC_{1,0}$ vektörlerini oluştur

3: MV uygulayarak W ağırlık vektörünü oluştur

4: W 'yi P üzerine uygula ve \tilde{P} matrisini oluştur

5: Seyrek katsayı matrisi A 'yı bul

6: Her bir sınıf için artık değer E 'yi hesapla

7: Minimum artık değere göre pikselin sınıfını belirle

sonlandır

3. BULGULAR

Bu bölümde, önerilen 3SM—JSRC metodu iki adet hiperspektral veri seti üzerinde test edilmiştir. Literatürdeki SVM (Melgani ve Bruzzone, 2004), SRC (Chen vd., 2011), JSRC (Chen vd., 2011) ve NLW—JSRC (Zhang vd., 2014) metotları ise karşılaştırma amacı ile kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneyler farklı eğitim örnekleri ile 10 kez tekrarlanmıştır ve

sonuçların ortalaması alınmıştır. Elde edilen sınıflandırma sonuçlarını karşılaştırmak için

Tablo 1. Indian Pines Veri Setinde Her Sınıfa Ait Eğitim ve Test Örnekleri Sayısı

Sınıf	İsim	Eğitim	Test
1	Alfalfa	6	48
2	Corn-notill	144	1290
3	Corn-min	84	750
4	Corn	24	210
5	Grass/Pasture	50	447
6	Grass/Trees	75	672
7	Grass/Pasture-mowed	3	23
8	Hay-windrowed	49	440
9	Oats	2	18
10	Soybean-notill	97	871
11	Soybean-min	247	2221
12	Soybean-clean	62	552
13	Wheats	22	190
14	Woods	130	1164
15	Building-Grass-Tree-Drives	38	342
16	Stone-steel Towers	10	85
Toplam		1043	9323

ise bazı hesaplama metrikleri kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla genel doğruluk (GD), sınıf doğrulukları (SD), ortalama doğruluk (OD), ve kappa (K) değerleridir. Bu metrikler ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$GD = \frac{\text{Doğru sınıflandırılan test örneği sayısı}}{\text{Toplam test örneği sayısı}}$$

$$SD = \frac{\text{Sınıfa doğru atanan test örneği sayısı}}{\text{Sınıftaki toplam test örneği sayısı}}$$

$$OD = \frac{\text{Sınıf doğruluk değerlerinin toplamı}}{\text{Toplam sınıf sayısı}}$$

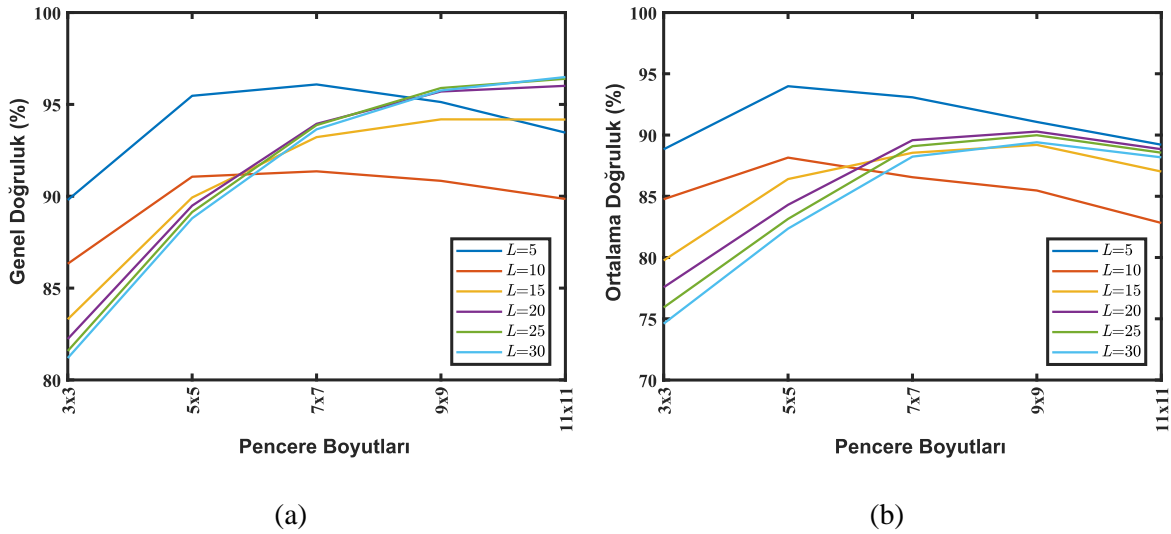
$$K = \frac{GD - \text{Beklenen doğruluk değeri}}{1 - \text{Beklenen doğruluk değeri}}$$

3.1. Indian Pines

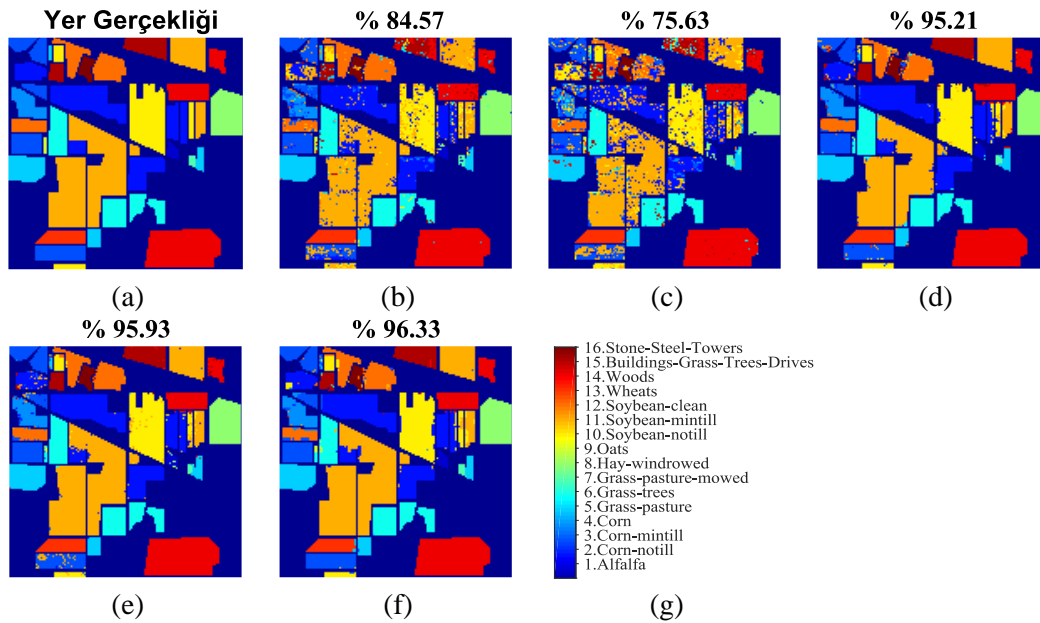
Bu veri seti Indian Pines test alanı üzerinde AVIRIS (Airborne/Visible Infrared Imaging Spectrometer) sensörü tarafından elde edilmiştir. Toplamda 224 adet spektral banttan oluşmaktadır ve bantların dalgaboyu 0.4–2.5 μm arasındadır. Su emilimi gibi sebeplerden dolayı 24 adet bant (104-108, 150-163, 220) veri setinden çıkartılmıştır (Gualtieri ve Cromp, 1999) ve dolayısıyla geriye 200 adet spektral bant kalmıştır.

Uzamsal olarak ise 145×145 adet pikselden oluşmaktadır. Çoğunluğu tarım ürünlerinden

oluşan 16 adet sınıf içermektedir. Bu veri seti ile ilgili yapılan tüm çalışmalarda her sınıftan



Şekil 2. Indian Pines Veri Setinde Farklı Pencere Boyutları ve Seyreklik Seviyeleri Kullanılarak Elde Edilen (a) GD, (b) OD Sonuçları



Şekil 3. Indian Pines Görüntüsüne Ait: (a) Yer Gerçekliği Haritası; (b) SVM, (c) SRC, (d) JSRC, (e) NLW-JSRC, (f) 3SM-JSRC Metotları ile Elde Edilen Sınıflandırma Haritaları ve GD Sonuçları; (g) Sınıf İsimleri

%10 kadar örnek eğitim için ve geriye kalan %90 örnek ise test için kullanılmıştır. Sınıflara ve örneklerle ait bilgiler Tablo 1'de bulunmaktadır.

SVM için Gauss RBF çekirdeği kullanılmış ve en iyi parametrelerin seçilebilmesi için 5-kat çapraz doğrulama yapılmıştır. SRC metodunda (Chen vd., 2011)'te önerilen $L=5$ seyreklik

seviyesi kullanılmıştır. JSRC metodu için 9×9 pencere boyutu ve seyreklik seviyesi olarak 30 kullanılmıştır (Chen vd., 2011). NLW-JSRC metodunda da en yüksek genel doğruluk değerlerine komşuluk için pencere boyutu 9×9 , yerel olmayan ağırlık hesaplaması için kullanılan pencere boyutu 7×7 ve seyreklik seviyesi olarak 30 değerleri ile ulaşılmıştır (Zhang vd., 2014).

Önerilen 3SM–JSRC metodu için optimum seyreklik seviyesi ve pencere boyutunun belirlenebilmesi için farklı değerler ile test yapılmıştır. Pencere boyutu olarak 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 ve 11×11 kullanılmıştır. Seyreklik seviyesi olarak da 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 değerleri kullanılmıştır.

Şekil 2’de ise bu parametreler ile elde edilen *GD* ve *OD* sonuçları bulunmaktadır. Görüleceği üzere 9×9 pencere boyutu ile 11×11 pencere boyutu arasında tüm seyreklik seviyeleri için *OD* sonuçlarında düşüş olmaktadır. 3×3 pencere boyutu ile 5×5 pencere boyutu arasında ise hem *GD* hem de *OD* sonuçlarında artış gözlemlenmektedir. Dolayısıyla pencere boyutu için 5×5 , 7×7 veya 9×9 arasında seçim yapılmalıdır. 9×9 ölçekte 25 seyreklik seviyesinde *GD* sonucu 5×5 ve 7×7 ölçeklerin sonuçlarına yakın çıksa da *OD* sonucu diğer iki ölçek sonuçlarına göre düşük çıkmaktadır.

Tablo 2. Indian Pines Veri Seti için SVM, SRC, JSRC, NLW–JSRC ve 3SM–JSRC Metotları Kullanılarak Elde Edilen Karşılaştırma Sonuçları (%)

Sınıf	SVM	SRC	JSRC	NLW–JSRC	3SM–JSRC
1	76.67	68.33	86.67	85.83	96.88
2	81.01	65.15	93.74	94.53	93.90
3	76.65	61.55	89.91	89.29	93.68
4	71.00	43.33	93.81	91.52	89.67
5	94.97	89.08	93.42	97.23	96.00
6	95.67	94.94	99.14	99.88	98.44
7	79.57	82.17	51.74	33.04	86.96
8	97.48	97.25	99.80	100	100
9	71.11	41.67	4.44	23.89	51.67
10	70.54	72.45	89.07	86.99	92.92
11	85.41	76.47	97.25	98.04	97.35
12	86.68	59.22	89.00	94.49	91.47
13	99.16	97.74	99.21	99.74	98.79
14	95.40	93.77	99.24	99.24	99.66
15	61.87	44.71	98.45	93.71	94.74
16	89.06	87.53	92.24	98.24	90.94
<i>GD</i>	84.83	75.91	94.86	95.31	95.83
<i>OD</i>	83.26	73.46	86.07	86.60	92.06
K	82.69	72.49	94.13	94.64	95.24

Dolayısıyla seçim için yalnızca 5×5 ve 7×7 ölçek boyutları kalmaktadır. Her iki ölçek boyutu için de $L=5$ seyreklik seviyesinde *GD* ve *OD* sonuçları daha yüksek çıkmaktadır. 7×7 ölçek boyutunda *GD* sonucu daha yüksek olduğu için optimum parametreler 7×7 pencere boyutu ve $L=5$ seyreklik seviyesi

olarak belirlenmiştir. Çünkü yüksek *GD* sonucu doğru sınıflandırılan test örneklerinin sayısının daha fazla olduğunu işaret etmektedir.

Parametre ayarlamaları ve deneyler yapıldıktan sonra elde edilen karşılaştırma sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Görüleceği üzere önerilen 3SM–JSRC metodu *GD*, *OD* ve K değerleri açısından diğer metotlara göre üstün gelmektedir. Herhangi bir şekilde komşuluk bilgilerinin kullanılmadığı SVM ve SRC yöntemlerinde sınıflandırma doğruluk sonuçları komşuluk bilgilerinin kullanıldığı JSRC, NLW–JSRC ve 3SM–JSRC yöntemlerine göre daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla komşuluk bilgileri sayesinde sınıflandırma doğruluk sonuçlarının arttığı rahatlıkla gözlemlenebilir. Pencere içerisindeki komşu pikseller için herhangi bir seçimin yapılmadığı JSRC metodu ile komşu pikseller için seçimin yapıldığı 3SM–JSRC metodunun sonuçları karşılaştırılacak olursa *GD* açısından yaklaşık olarak %1, *OD* açısından yaklaşık olarak %6 ve K açısından %1’den daha yüksek sınıflandırma doğruluk sonuçları 3SM–JSRC ile elde edilmektedir. Komşu piksellere ağırlık atamasının yapıldığı NLW–JSRC metoduna göre de 3SM–JSRC metodunda *GD* ve K değerlerinde ciddi bir farklılık olmasa da *OD* açısından metodumuz %6’ya yakın daha üstün gelmektedir.

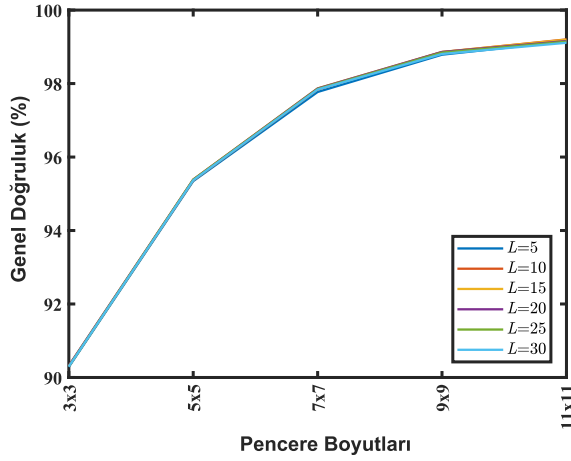
Sınıflandırma sonuçlarının görsel olarak daha iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi için Indian Pines verisine ait yer gerçekliği haritası, karşılaştırma yapılan metotlar ve önerilen metoda ait sınıflandırma haritaları Şekil 3’de sunulmuştur. Görüleceği üzere 3SM–JSRC metoduna ait sınıflandırma haritası benzerlik açısından yer gerçekliği haritası ile daha çok örtüşmektedir.

3.2. University of Pavia

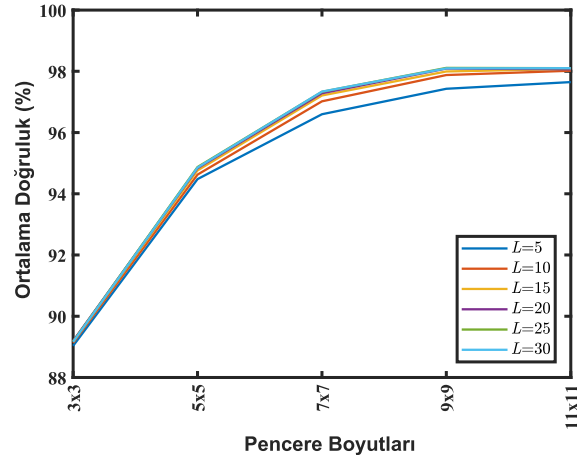
Bu veri seti ROSIS (Reflective Optics System Imaging Spectrometer) sensörü tarafından Pavia Üniversitesi üzerinde yapılan uçuş ile elde edilmiştir. Toplamda 103 adet spektral banttan oluşmaktadır. Orijinal görüntü 610×610 adet piksele sahip olsa da veri seti içerisindeki bazı kısımlar hakkında herhangi bir bilgi olmadığı için veri seti içerisinden çıkartılmıştır ve sınıflandırma amacı ile yapılan çalışmalarda 610×340 uzamsal boyut

kullanılmıştır. Farklı farklı gruplara ait (asfalt, çimenler, ağaçlar, toprak vs.) 9 adet sınıftan oluşmaktadır. Indian Pines veri setinde olduğu

gibi bu veri seti ile ilgili yapılan tüm çalışmalarda da her sınıftan %10 kadar örnek



(a)



(b)

Şekil 4. University of Pavia Veri Setinde Farklı Pencere Boyutları ve Seyreklik Seviyeleri Kullanılarak Elde Edilen (a) GD, (b) OD Sonuçları

eğitim için ve geriye kalan %90 örnek ise test için kullanılmıştır. Sınıflara ve örneklere ait bilgiler Tablo 3'de bulunmaktadır.

Tablo 3. University of Pavia Veri Setinde Her Sınıfa Ait Eğitim ve Test Örnekleri Sayısı

Sınıf	İsim	Eğitim	Test
1	Asphalt	664	5967
2	Meadows	1865	16784
3	Gravel	210	1889
4	Trees	307	2757
5	Painted metal sheets	135	1210
6	Bare Soil	503	4526
7	Bitumen	133	1197
8	Self-Blocking Bricks	369	3313
9	Shadows	95	852
Toplam		4281	38495

SVM için Gauss RBF çekirdeği kullanılmış ve en iyi parametrelerin seçilebilmesi için 5-kat çapraz doğrulama yapılmıştır. SRC metodunda $L=5$ seyreklik seviyesi kullanılmıştır. JSRC metodu için 3×3 pencere boyutu ve seyreklik seviyesi olarak 10 kullanılmıştır (Zhang vd., 2014). NLW-JSRC metodunda da en yüksek genel doğruluk değerlerine komşuluk için pencere boyutu 5×5 , yerel olmayan ağırlık hesaplaması için kullanılan pencere boyutu 7×7 ve seyreklik seviyesi olarak 15 değerleri ile ulaşılmıştır (Zhang vd., 2014). Önerilen

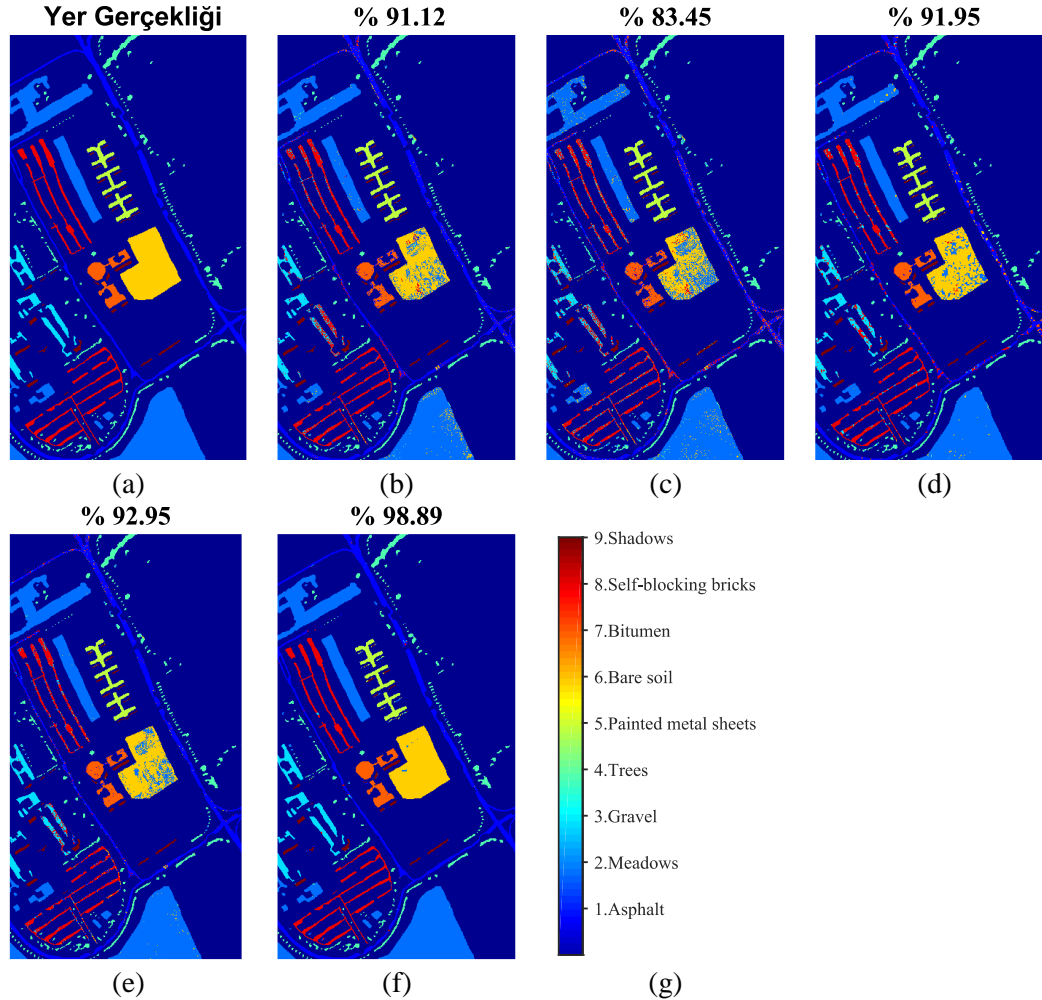
3SM-JSRC metodu için optimum seyreklik seviyesi ve pencere boyutunun belirlenebilmesi için farklı değerler ile test yapılmıştır. Pencere boyutu olarak 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 ve 11×11 kullanılmıştır. Seyreklik seviyesi olarak da 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 değerleri kullanılmıştır.

Şekil 4'de ise bu parametreler ile elde edilen GD ve OD sonuçları bulunmaktadır. Görüleceği üzere tüm seyreklik seviyeleri için de pencere boyutu arttıkça hem GD hem de OD sonuçları artmaktadır. Fakat 9×9 ölçekten 11×11 ölçüğe doğru geçiş yaparken OD sonuçlarındaki artış iyice azalmıştır. Şekil 4(a) dikkatli incelenecek olursa 11×11 ölçekte $L=15$ seyreklik seviyesi için GD sonucu en yüksek değere ulaşmaktadır. OD sonuçlarında ise 11×11 ölçekte $L=5$ seyreklik seviyesi haricindeki değerler neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu sebeple 11×11 pencere boyutu ve $L=15$ seyreklik seviyesi bu veri seti için optimum değerler olarak belirlenmiştir.

Parametre ayarlamalarından sonra yapılan karşılaştırma sonuçlarına ait veriler Tablo 4'de sunulmuştur. Görüleceği üzere GD, OD ve K değerleri 3SM-JSRC metodunda diğer metotlara göre oldukça yüksek çıkmaktadır.

JSRC ile *GD* açısından arasındaki fark yaklaşık olarak %7, *OD* açısından yaklaşık olarak %7 ve *K* açısından yaklaşık olarak %9.50 olmaktadır. NLW–JSRC ile ise *GD* açısından aradaki fark yaklaşık olarak %6, *OD*

açısından yaklaşık olarak %6 ve *K* açısından yaklaşık olarak %8 olmaktadır. Komşuluk bilgilerinin kullanılmadığı SVM ve SRC metotlarında ise sınıflandırma doğruluk sonuçları diğer 3 metoda göre düşük



Şekil 5. University of Pavia Görüntüsüne Ait: (a) Yer Gerçekliği Haritası; (b) SVM, (c) SRC, (d) JSRC, (e) NLW–JSRC, (f) 3SM–JSRC Metotları ile Elde Edilen Sınıflandırma Haritaları ve *GD* Sonuçları; (g) Sınıf İsimleri

kalmaktadır. Bu veri setinde JSRC ve NLW–JSRC metotlarına göre 3SM–JSRC metodunda sınıflandırma sonuçlarının daha yüksek olmasının sebebi büyük pencere boyutunun kullanılmasıdır. Çünkü JSRC ve NLW–JSRC metotlarında küçük pencere boyutlarında optimum değerlere ulaşılmıştır. Fakat küçük pencere ölçeklerinde uzamsal bilgi yeterince kullanılamayacağı için yüksek sınıflandırma doğruluk değerleri elde edilememiştir. 3SM–JSRC metodunda ise yüksek pencere ölçeği sayesinde uzamsal bilgi oldukça verimli bir

şekilde kullanılmıştır. Ayrıca pencere içerisine giren farklı sınıflara ait pikseller de spektral eşleştirme metotları sayesinde elenmiştir. Bu sayede de sınıflandırma doğruluk sonuçları oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır.

Tablo 4. University of Pavia Veri Seti İçin SVM, SRC, JSRC, NLW–JSRC ve 3SM–JSRC Metotları Kullanılarak Elde Edilen Karşılaştırma Sonuçları (%)

Sınıf	SVM	SRC	JSRC	NLW–JSRC	3SM–JSRC
1	91.53	77.18	82.14	93.30	98.73

2	97.19	94.97	98.79	99.60	99.94
3	70.70	61.90	83.34	84.66	99.33
4	93.80	84.54	91.58	94.60	95.50
5	99.51	99.49	100	100	99.98
6	75.92	56.36	79.54	73.29	99.51
7	83.13	78.59	94.06	92.44	99.56
8	87.60	76.88	91.34	83.39	99.62
9	99.07	94.92	94.99	97.51	82.58
<i>GD</i>	91.12	83.38	91.84	92.79	98.93
<i>OD</i>	88.72	80.54	90.64	90.98	97.19
<i>K</i>	88.13	77.64	89.09	90.30	98.58

Sınıflandırma sonuçlarının görsel olarak daha iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi için University of Pavia verisine ait yer gerçekliği haritası, karşılaştırma yapılan metotlar ve önerilen metoda ait sınıflandırma haritaları Şekil 5’te sunulmuştur. Görüleceği üzere 3SM–JSRC metoduna ait sınıflandırma haritası benzerlik açısından yer gerçekliği haritası ile daha çok örtüşmektedir. 3SM–JSRC metodu haricindeki metotlarda "Bare soil" sınıfına ait sonuçlar oldukça gürültülü olmasına rağmen 3SM–JSRC metodunda bu sınıfa ait sonuçlar yer gerçekliği haritası ile iyi bir şekilde örtüşmektedir. Yine aynı şekilde "Gravel" ve "Self-blocking bricks" sınıflarına ait sonuçlar sınıflandırma haritaları üzerinde incelenecek olursa 3SM–JSRC haricindeki yöntemlerde gürültü bulunmaktadır. 3SM–JSRC’de ise bu sınıfa ait sonuçlar yer gerçekliği haritasındaki ile neredeyse birebir örtüşmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada JSRC sınıflandırma modelinin başarımlarını arttırmak için spektral eşleştirme yöntemlerini ortaklaşa kullanan 3SM–JSRC modeli önerilmiştir. Test örneğinin sınıflandırılması aşamasında test pikseli etrafındaki komşu piksellerin spektral eşleştirme yöntemleri yardımı ile sınıflandırma işlemine dahil edilmesi veya edilmemesi sağlanmıştır. Oluşturulan sınıflandırma problemi ise SOMP yardımı ile çözülmüştür. 3SM–JSRC metodunun temel avantajı ise büyük pencere boyutları kullanılsa bile komşu piksellerin seçimi sayesinde farklı sınıflara ait piksellerin çoğunlukla pencere içerisinden çıkartılmasıdır. Önerilen sınıflandırma modeli iki adet hiperspektral veri seti üzerinde de test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 3SM–JSRC metodunun literatürdeki benzer metotlara göre daha iyi sınıflandırma doğruluk sonuçları sağladığı gözlemlenmiştir.

Piksellerin benzerlik durumlarını daha iyi bir şekilde ortaya çıkarabilecek eşleştirme yöntemlerinin kullanılması veya farklı bir ağırlık atama metodunun geliştirilmesi ve kullanılması ile önerilen metot geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Bruzzone, L., Chi, M. ve Marconcini, M. (2006). A Novel Transductive SVM for Semisupervised Classification of Remote-Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(11), 3363-3373.
- Chen, Y., Nasrabadi, N. M. ve Tran, T. D. (2011). Hyperspectral Image Classification Using Dictionary-Based Sparse Representation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(10), 3973-3985.
- Chi, M. ve Bruzzone, L. (2007). Semisupervised Classification of Hyperspectral Images by SVMs Optimized in the Primal. *IEEE*, 45(6), 1870-1880.
- Christophe, E., Leger, D. ve Mailhes, C. (2005). Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery. *IEEE*, 43(9), 2103-2114.
- Dalponte, M., Ørka, H. O., Gobakken, T., Gianelle, D. ve Næsset, E. (2013). Tree Species Classification in Boreal Forests With Hyperspectral Data. *IEEE*, 51(5), 2632-2645.
- Datt, B., McVicar, T. R., Niel, T. G. V., Jupp, D. L. B. ve Pearlman, J. S. (2003). Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. *IEEE*, 41(6), 1246-1259.
- Dünder, T. ve İnce, T. (2019). Sparse Representation-Based Hyperspectral Image Classification Using Multiscale Superpixels and Guided Filter. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(2), 246-250.
- Fang, L., Li, S., Kang, X. ve Benediktsson, J. A. (2014). Spectral–Spatial Hyperspectral Image Classification via Multiscale Adaptive Sparse Representation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(12), 7738-7749.
- Fang, L., Li, S., Kang, X. ve Benediktsson, J. A. (2015). Spectral–Spatial Classification of Hyperspectral Images With a Superpixel-Based Discriminative Sparse Model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(8), 4186-4201.
- Garcia, M. ve Ustin, S. L. (2001). Detection of interannual vegetation responses to climatic variability using AVIRIS data in a coastal

- savanna in California. *IEEE*, 39(7), 1480-1490.
- Goel, P. K., Prasher, S. O., Patel, R. M., Landry, J. A., Bonnell, R. B. ve Viau, A. A. (2003). Classification of hyperspectral data by decision trees and artificial neural networks to identify weed stress and nitrogen status of corn. *Comput. Electron. Agric.*, 39(2), 67-93.
- Gualtieri, J. A. ve Crompton, R. F. (1999). Support vector machines for hyperspectral remote sensing classification. *Proc. SPIE* içinde (C. 3584, ss. 221-232).
- Ham, J., Chen, Y., Crawford, M. M. ve Ghosh, J. (2005). Investigation of the random forest framework for classification of hyperspectral data. *IEEE*, 43(3), 492-501.
- Keshava, N. (2004). Distance metrics and band selection in hyperspectral processing with applications to material identification and spectral libraries. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7), 1552-1565.
- Li, J., Bioucas-Dias, J. M. ve Plaza, A. (2012). Spectral-Spatial Hyperspectral Image Segmentation Using Subspace Multinomial Logistic Regression and Markov Random Fields. *IEEE*, 50(3), 809-823.
- Li, J., Bioucas-Dias, J. M. ve Plaza, A. (2013). Semisupervised Hyperspectral Image Classification Using Soft Sparse Multinomial Logistic Regression. *IEEE*, 10(2), 318-322.
- Li, W. ve Du, Q. (2014). Joint Within-Class Collaborative Representation for Hyperspectral Image Classification. *IEEE*, 7(6), 2200-2208.
- Ma, L., Crawford, M. M. ve Tian, J. (2010). Local Manifold Learning-Based k -Nearest-Neighbor for Hyperspectral Image Classification. *IEEE*, 48(11), 4099-4109.
- Manolakis, D. ve Shaw, G. (2002). Detection algorithms for hyperspectral imaging applications. *IEEE*, 19(1), 29-43.
- Melgani, F. ve Bruzzone, L. (2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(8), 1778-1790.
- Ratle, F., Camps-Valls, G. ve Weston, J. (2010). Semisupervised Neural Networks for Efficient Hyperspectral Image Classification. *IEEE*, 48(5), 2271-2282.
- Shukla, A. ve Kot, R. (2016). An Overview of Hyperspectral Remote Sensing and its applications in various Disciplines. *IRA-Int. J. Appl. Sci.*, 5(2), 85-90.
- Stavroulakis, D. G., Galidaki, G. N., Gitis, I. Z. ve Theodoridis, S. (2012). A Genetic Fuzzy-Rule-Based Classifier for Land Cover Classification From Hyperspectral Imagery. *IEEE*, 50(1), 130-148.
- Sun, X., Qu, Q., Nasrabadi, N. M. ve Tran, T. D. (2014). Structured Priors for Sparse-Representation-Based Hyperspectral Image Classification. *IEEE*, 11(7), 1235-1239.
- Tropp, J. A. ve Gilbert, A. C. (2007). Signal Recovery From Random Measurements Via Orthogonal Matching Pursuit. *IEEE Transactions on Information Theory*, 53(12), 4655-4666.
- Tu, B., Zhang, X., Kang, X., Zhang, G., Wang, J. ve Wu, J. (2018). Hyperspectral Image Classification via Fusing Correlation Coefficient and Joint Sparse Representation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(3), 340-344.
- Yan, L., Cui, M. ve Prasad, S. (2018). Joint Euclidean and Angular Distance-Based Embeddings for Multisource Image Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(7), 1110-1114.
- Zhang, H., Li, J., Huang, Y. ve Zhang, L. (2014). A Nonlocal Weighted Joint Sparse Representation Classification Method for Hyperspectral Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(6), 2056-2065.
- Zhong, Y. ve Zhang, L. (2012). An Adaptive Artificial Immune Network for Supervised Classification of Multi-/Hyperspectral Remote Sensing Imagery. *IEEE*, 50(3), 894-909.

GNSS Gözlem Süresine Bağlı Deformasyon Parametrelerinin Kestirimi

Fuat KAYA¹, Alpay ÖZDEMİR¹, Deniz ÖZDEMİR¹, Uğur DOĞAN^{1*}

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(endazyar@hotmail.com) ORCID ID 0000-0002-7167-6601
(alpayoz@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1099-2002
(denizoz@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3927-6912
(dogan@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0927-0886

Öz

Bu çalışmada, GNSS ölçme süresinin deformasyon parametreleri (yer değiştirme, hız ve gerinim parametreleri) üzerindeki etkisinin araştırılması ve buna bağlı olarak doğruluk ölçütlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, TUSAGA-Aktif ağına ait 11 GNSS istasyonunun 2012.63 – 2017.63 yılları arasındaki 6 periyot gözlem verisi ölçme süresine (4, 6, 8, 12, 24 saat) bağlı olarak Bernese v5.2 yazılımı ile ITRF-08 referans sisteminde değerlendirilip istasyonlara ilişkin deformasyon parametreleri belirlenmiştir.

24 saat gözlem süresinden elde edilen deformasyon parametreleri doğru kabul edilerek, diğer gözlem sürelerinden elde edilen sonuçların doğruluk analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, istasyonların yer değiştirme vektörlerinin ve hızlarının büyüklük ve yön bakımından uyumlu olduğu, 24 saat gözlem süresinden elde edilen hızlar ile 12 saat gözlem süresinden elde edilen hızlar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamsız iken, 4, 6 ve 8 saat gözlem sürelerinden elde edilen hızlar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, farklı GNSS gözlem sürelerine (4, 6, 8, 12 saat) bağlı olarak elde edilen 2-boyutlu gerinim parametreleri 24 saatlik gözlem süresinden elde edilen parametreler ile karşılaştırılarak, GNSS gözlem süresinin gerinim parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve sonuçların doğruluk performanslarıyla ilgili analizler paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: GNSS, yer değiştirme vektörü, hız, gözlem süresi, gerinim parametreleri

Estimation of Deformation Parameters Based on GNSS Session Duration

Abstract

In this study, it is aimed to research the effect of GNSS observing-session duration on deformation parameters (displacement, velocity and strain parameters) and correspondingly determining the accuracy parameters. In this scope, the deformation parameters of 11 GNSS stations which belong to TUSAGA-Active network were determined 6 periods observation data (between 2012.63 and 2017.63 years) depend on observing-session duration (4, 6, 8, 12, 24 hours) by using Bernese v5.2 software in ITRF-08 reference system. The accuracy analysis of the results which obtained from observing-session duration data was determined using the deformation parameters obtained from 24 hour observation period were considered as true values. When the results are examined, it is determined that the displacement vectors and velocities of the stations in terms of size and direction are compatible. While the differences of velocities between obtained from the 24-hour observation period and the 12-hour observation period were statistically insignificant, it was determined that

* Sorumlu Yazar

the differences between the velocities obtained at the 4, 6 and 8 hours observation periods were statistically significant. Moreover, the effect of the GNSS observation duration on the strain parameters was investigated by comparing the 2-dimensional strain parameters obtained from the 24-hour observation period with different GNSS observation times (4, 6, 8, 12 hours) and the accuracy performance analysis of results was indicated.

Keywords: *GNSS, displacement vector, velocity, observing-session duration, strain parameters*

1. GİRİŞ

Günümüzde GNSS'in (Global Navigation Satellite System) sağlamış olduğu yüksek hassasiyetli konum belirleme doğruluğu sayesinde her türlü mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi, tektonik levhalar arasındaki bağıl hareketlerin araştırılması ve bir depremin öncesi, anı ve sonrası yüzeyde meydana gelen yer değiştirmelerin belirlenmesi gibi çalışmalarda etkin bir uydu ölçme yöntemi olarak kullanılmaktadır (Reilinger vd., 2006; Dogan vd., 2014; Ergintav vd., 2014; Konca vd., 2018).

GNSS yöntemi kullanılarak yapılan deformasyon izleme çalışmalarında bölgesel veya yerel ölçekte kurulan jeodezik ağlar amaca uygun olarak sürekli veya kampanya tipi ölçme yöntemleri ile ölçülmektedir. Sürekli istasyonlar ile yapılan deformasyon izleme çalışmaları oluşan deformasyonların zamana bağlı anlık izlenmesi ve 24 saatlik veri ile elde edilen konum doğruluğu açısından avantajları olmasına rağmen, sürekli istasyonların kurulma ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle her deformasyon izleme çalışmasında tercih edilememektedir.

Bundan dolayı, özellikle yerel ölçekte kurulan jeodezik ağlarda kampanya tipi ölçme yöntemi kullanılarak deformasyonlar izlenmektedir (Ozener vd., 2010; Dogan vd., 2014). Kampanya tipi ölçmelerde bütçe ve kampanya organizasyonuna bağlı koşullara göre (gün ışığından yararlanma vb.) kısa süreli ölçme zamanı (≤ 10 saat) seçilmektedir. Kampanya tipi ölçme yöntemiyle periyodik olarak ölçülen deformasyon ağlarının, kısa ölçme süreleri (≤ 10 saat) ve istasyonlardaki GNSS antenlerinin kurulmasında oluşabilecek insan kaynaklı sistematik hatalar nedeniyle sürekli istasyonlara göre daha büyük hatalara sahip olması beklenmektedir (Williams, 2003; Leonard vd., 2007; Demir ve Dogan, 2014).

Bir çok araştırmacı farklı yaklaşımlar kullanarak, yerel ve bölgesel deformasyon ağlarında GNSS ölçümlerinin doğruluğunun araştırılmasına yönelik bilimsel çalışmalar yapmıştır (Davis vd., 1989; Larson ve Agnew, 1991; Eckl vd., 2001; Snay vd., 2002; Soler vd., 2006; Dogan, 2007; Sanlı ve Kurumahmut, 2011). Betti vd. (1999), sürekli ölçme yöntemi ile veri toplanmayan farklı büyüklükteki ağlarda meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde, GPS'in ölçme duyarlılığı (sensitivity) ve doğruluğu araştırılmıştır. Eckl vd. (2001)'de 10 günlük GPS verilerini kullanarak istasyonlar arasındaki baz uzunluğunun ve gözlem süresinin bir fonksiyonu olarak istasyonların konum doğruluğunu araştırmıştır. Firuzabadi ve King (2012), gözlem süresinin bir fonksiyonu olarak statik ölçümlerden elde edilen hassas istasyon konum doğruluğunun farklı datum tanımlarında nasıl değiştiğini incelemiştir. Ayrıca, Demir ve Dogan (2014)'de Marmara Sürekli GPS Ağına ilişkin 11 GPS istasyonunda GPS gözlem süresine bağlı olarak istasyon hızlarının nasıl değiştiğini göstermiştir. Akarsu (2012) ise gözlem süresinin (24, 12, 8 saatlik) GPS istasyonu hızlarının belirlenmesine olan etkisini araştırmıştır. Duman ve Şanlı (2019)'da çok uzun baz uzunluklarında 12 saatlik gözlem süresi ile yapılan GPS kampanyalarından elde edilen yatay hız alanının doğruluğunun 24 saatlik gözlem süresine göre %85 güven doğruluğuyla yaklaştığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise, farklı GNSS gözlem sürelerinin (4, 6, 8, 12, 24 saat) deformasyon parametreleri (yer değiştirme, hız ve gerinim parametreleri) üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif) ağının Karadeniz, Doğu ve Güney Anadolu bölgeleri içerisinde yer alan 11 GNSS istasyonuna ilişkin 6 yıllık GNSS (sadece GPS) verisi analiz edilerek bölgeye ait hız ve gerinim birikimi hakkında

bilgiler elde edilmiştir. 24 saatlik gözlem süresinden elde edilen parametreler doğru kabul edilerek diğer gözlem sürelerinden elde edilen deformasyon parametreleri karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. GNSS Ölçüleri ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada GNSS gözlem süresine bağlı olarak bir jeodezik ağdaki deformasyon parametrelerinin nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla TUSAGA-Aktif ağına ait 11 istasyonun 2012 – 2017 yılları arasında 6 periyot ve her bir periyot için 3'er günlük verisi kullanılmıştır (Tablo 1).

GNSS ölçüleri Bern Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilen Bernese v5.2 yazılımı ile değerlendirilmiştir (Dach vd., 2015). Yer dönme parametreleri ve duyarlı GNSS yörüngeleri IGS (International GNSS Service)'in veri merkezinden, global GNSS istasyonun verileri ise SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) arşivinden elde edilerek değerlendirmede kullanılmıştır. Bernese v5.2 akademik yazılımı ile değerlendirmede aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır (Demir, 2015):

- İyonosfer bağımsız frekansı (L3) ile tek istasyon konumlaması yapılarak her epokta alıcı saat hataları ve yeni istasyonlar için yaklaşık koordinatlar belirlenmiştir.
- Ölçülerdeki faz kesikliği (cycle slip), kaba hatalar ve uyumsuz ölçüler üçlü farklar oluşturularak kontrol edilmiştir ve bu işlem sonucunda kaba hatalı ölçüler atılmış, tamir edilebilen faz kesiklikleri düzeltilmiş ve düzeltilemeyen kesikliklere faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) parametresi eklenmiştir.
- Kaba hatalı ölçüler atıldıktan sonra, iyonosfer bağımsız frekansı ile yeniden yapılan çözümde istasyonlara ilişkin yaklaşık koordinatlar güncellenmiştir. Bu koordinatlar bir sonraki adımdaki faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümünde kullanılmıştır.
- Faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümü için toplanan verilerin büyüklüğüne ve istasyonlar arasındaki baz uzunluğuna bağlı olarak QIF

(Quasi Ionosphere Free) stratejisi kullanılmıştır.

- Her istasyonda troposferik gecikme GMF (Global Mapping Function) modeline dayalı olarak 2 saat aralıklarla hesaplanan zenit gecikme parametresi belirlenerek elimine edilmiştir (Dach vd., 2015).

- Sonuç olarak gerçekleştirilen ağ dengelemesi aşamasında troposfer modeli olarak GMF kullanılarak istasyonlara ait dengeli bazlar, koordinatlar ve kofaktör matrisleri elde edilmiştir.

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde, referans sistemi tanımı olarak ITRF-08 epok 2012.63 göz önüne alınarak koordinat çözümü gerçekleştirilmiştir. GNSS istasyonlarındaki deformasyonların belirlenmesi için hem çalışma bölgesine olan mesafesi hem de veri kalitesine bakılarak ZECK istasyonunun (URL1) belirtilen sistem ve epoktaki koordinatları üzerine sıkı koşul konularak (datum tanımı) ağı diğer istasyonlarının koordinatları belirlenmiştir.

Değerlendirme aşamasında her istasyonun her bir yıla ait 3 günlük GNSS verisi 4, 6, 8,12 ve 24 saatlik periyotlara bölünerek, bir oturum şeklinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Ağ dengelemesi sonucu elde edilen koordinatlar ve bunların kovaryans matrisleri kullanılarak her yıla ait 3 günlük değerlendirme sonuçları birleştirilerek tek bir koordinat değeri ve onun doğruluk bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan örnek olarak 2012 yılına ilişkin tüm istasyonlar için hesaplanan tekrarlılık değerleri Şekil 1'de verilmektedir.

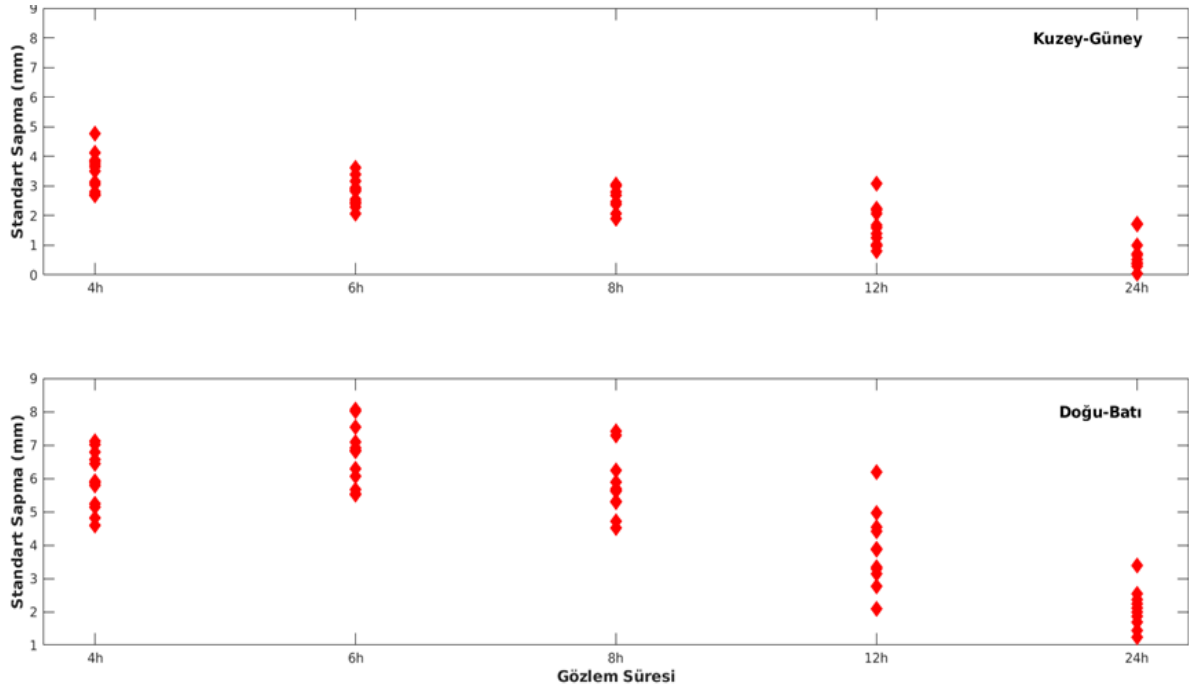
Şekil 1'e göre, genel olarak gözlem süresi arttıkça GNSS istasyonuna ait konum doğruluğunun arttığı görülmektedir. Kuzey-güney bileşende, 4 saat gözlem süresine göre elde edilen doğruluk 2-5 mm arasında değişirken, 24 saat gözlem süresine göre ise 2 mm'nin altında görülmektedir. Doğu-batı bileşende ise, 6 saat gözlem süresine göre elde edilen doğruluk daha düşük (5 - 9 mm) olarak elde edilirken, 24 saatlik gözlem süresine göre elde edilen doğruluk 3 mm'nin altında belirlenmiştir.

Kuzey-güney ve doğu-batı yönündeki koordinatlara ait standart sapma değerlerinin gözlem süresi azaldıkça arttığı görülmektedir.

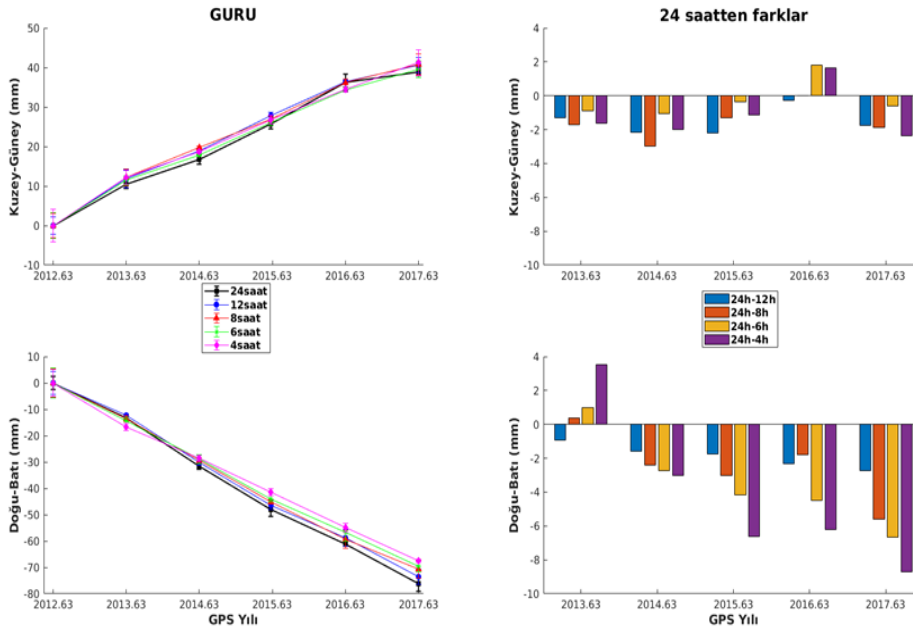
Tablo 1. GNSS istasyonları ve ölçme zamanları

İstasyon	Konum		Ölçme Zamanı (yıl)					
	Enlem(φ°)	Boylam(λ°)	2012.63	2013.63	2014.63	2015.63	2016.63	2017.63
ARPK	39.04059	38.48732	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
BING	38.88545	40.50078	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
DIVR	39.39432	38.10388	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
EKIZ	38.05883	37.18794	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ELAZ	38.64467	39.25647	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
FEEK	37.81512	35.91233	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
GEME	39.18513	36.08085	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
GURU	38.71735	37.30787	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
SIVS	39.74370	37.00250	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
SSEH	40.16247	38.07490	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
TNCE	39.10967	39.54563	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ZECK*	43.78839	41.56507	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

xxx üç günlük GNSS verisini ve * global GNSS istasyonunu göstermektedir.



Şekil 1. Koordinat bileşenlerine ait standart sapma değerlerinin gözlem süresine bağlı olarak değişimi



Şekil 2. GURU istasyonunun yatay koordinat bileşenlerine ait zaman serisi ve GNSS gözlem süresine bağlı olarak elde edilen koordinat farkları

Bütün istasyonlara ilişkin gözlem süresine bağlı 2-boyutlu zaman serileri oluşturulmuş ve 24 saatten daha küçük gözlem sürelerine (4, 6, 8, 12 saatlik) göre hesaplanan yatay koordinat değişimlerinin 24 saat gözlem süresinden olan farkları belirlenmiştir. Bu analize ilişkin elde edilen sonuçlardan örnek olarak GURU istasyonu için belirlenen zaman serisi Şekil 2’de verilmektedir.

Şekil 2’de, 24 saat gözlem süresine göre GURU istasyonunun kuzey-güney bileşeni için ölçme periyotları arasında 40 ± 1 mm, doğu-batı bileşeni için ise -80 ± 3 mm yer değiştirme değeri belirlenmiştir. Belirlenen yer değiştirmelerin istatistiksel olarak %95 güven aralığına göre anlamlı oldukları görülmektedir. Ayrıca, 24 saat gözlem süresi ile diğer gözlem sürelerinden elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki farklar incelendiğinde, kuzey-güney bileşeninde 3 mm’nin altında iken, doğu-batı bileşeninde ise 8 mm’nin altında farklar görülmektedir. Gözlem süreleri içerisinde en büyük farklar 4 saat gözlem süresinden, en küçük farklar ise 12 saat gözlem süresinden elde edilmiştir. Ayrıca, istasyonun doğu-batı bileşeninde gözlem süresinin koordinat değişimine olan etkisi daha net olarak görülmektedir.

2.2. GNSS Gözlem Süresine Bağlı Hız Kestirimi

Bir jeodezik ağın herhangi bir P istasyonunun koordinatlara göre hız modeli;

$$x_p(t) + v_p(t) = x_p(t_0) + u_p(t - t_0) \quad (1)$$

olur (Nocquet ve Calais, 2003). Burada, $x_p(t)$ t zamanında P istasyonunun konumu, $x_p(t_0)$ t_0 zamanında P istasyonunun kestirilen konumu, u_p P istasyonunun kestirilen hızını ve $v_p(t)$ düzeltme parametresini göstermektedir.

(1) no’lu eşitlikte verilen hız modeli kullanılarak en küçük kareler dengeleme yöntemiyle tüm istasyonların farklı gözlem sürelerine göre hızları kestirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil 3’e göre istasyon hızlarının homojen olduğu ve istasyonların kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık 16.3 ± 0.6 mm/yıl’lık hızla hareket ettiği görülmektedir.

24 saatlik gözlem süresine göre yapılan değerlendirme sonuçlarına göre (Şekil 3) en büyük yatay hız GEME istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 5.57 ± 0.40 mm, doğu-

batı doğrultusunda -18.58 ± 0.32 mm), en küçük yatay hızın ise SSEH istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 5.90 ± 0.06 mm, doğu-batı doğrultusunda -11.34 ± 0.12 mm) meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen sonuçların Ozdemir ve Karlıoğlu (2019)'nun yaptığı çalışma sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmektedir.

Gözlem sürelerine göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, istasyonların yer değiştirme vektör büyüklükleri ve yönleri bakımından uyumlu olduğu, bazı istasyonlarda (ARPK, BING) küçük dönüklükler olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Bu dönüklükler 4 saatlik gözlem süresine göre belirlenen çözümlerde görülmektedir. 24 saatlik gözlem süresine göre gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda elde edilen yatay hızlar doğru kabul edilerek, diğer gözlem sürelerine göre elde edilen sonuçlar bu büyüklüklerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4).

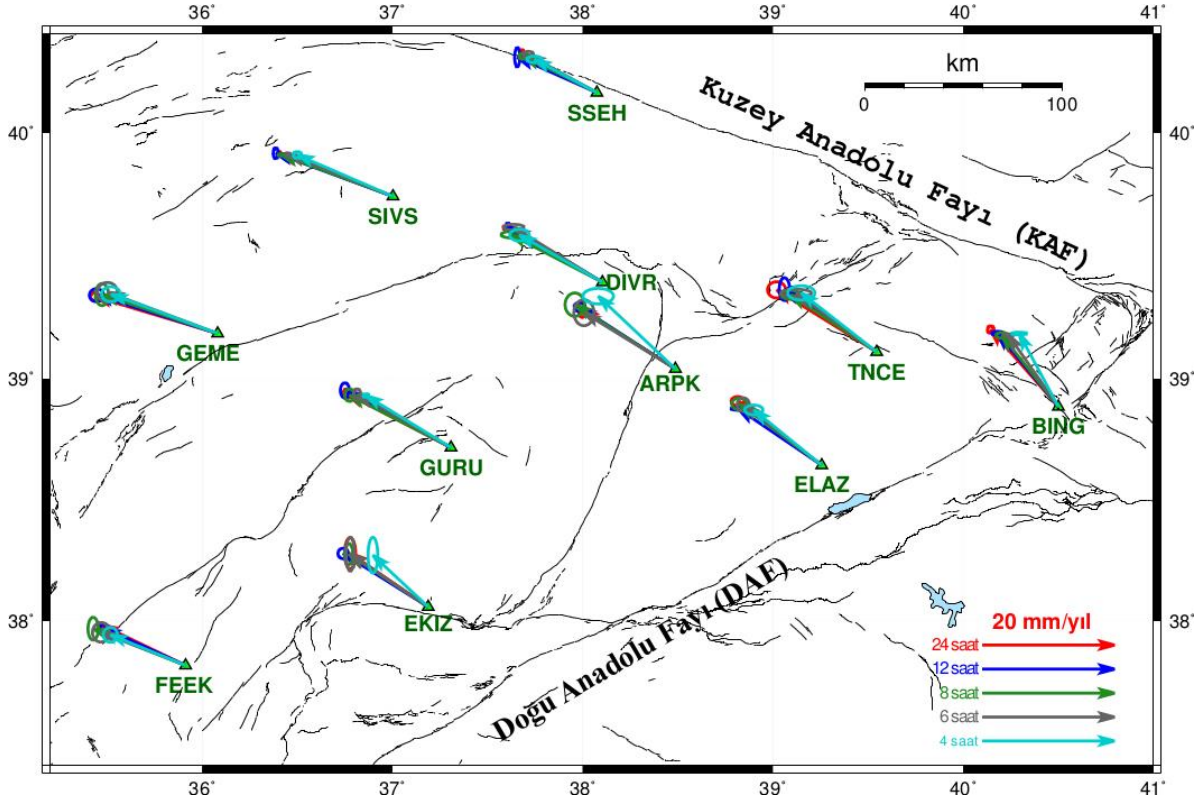
24 ve 4 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen istasyonlara ilişkin yatay hız vektörleri arasındaki büyüklüklerinin farkları Şekil 4.a'da verilmiştir. Şekil 4.a'ya göre, iki farklı çözümden elde edilen yatay hız vektörleri arasındaki farkın kuzey-güney bileşeninde mutlak olarak $0.20 - 2.03$ mm/yıl, doğu-batı bileşeninde mutlak olarak $1.32 - 4.30$ mm/yıl farklar hesaplanmıştır. İki çözüm arasında elde edilen en büyük fark BING istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda -4.30 mm/yıl, doğu batı doğrultusunda 0.58 mm/yıl) iken en küçük fark FEEK istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 1.47 mm/yıl, doğu-batı doğrultusunda -1.32 mm/yıl) hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgede tüm istasyonlar için belirlenen farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu da görülmektedir (Şekil 4.a).

24 ve 6 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen istasyonlara ilişkin yatay hız vektörleri arasındaki büyüklük farkları Şekil 4.b'de verilmiştir. Şekil 4.b'ye göre, iki farklı çözümden elde edilen yatay hız vektörlerinin kuzey-güney bileşeninde mutlak olarak $0.08 - 1.09$ mm/yıl, doğu-batı bileşeninde mutlak olarak $0.02 - 2.94$ mm/yıl değerleri arasında değişen farklar belirlenmiştir. İki çözüm arasında elde edilen en büyük fark TNCE

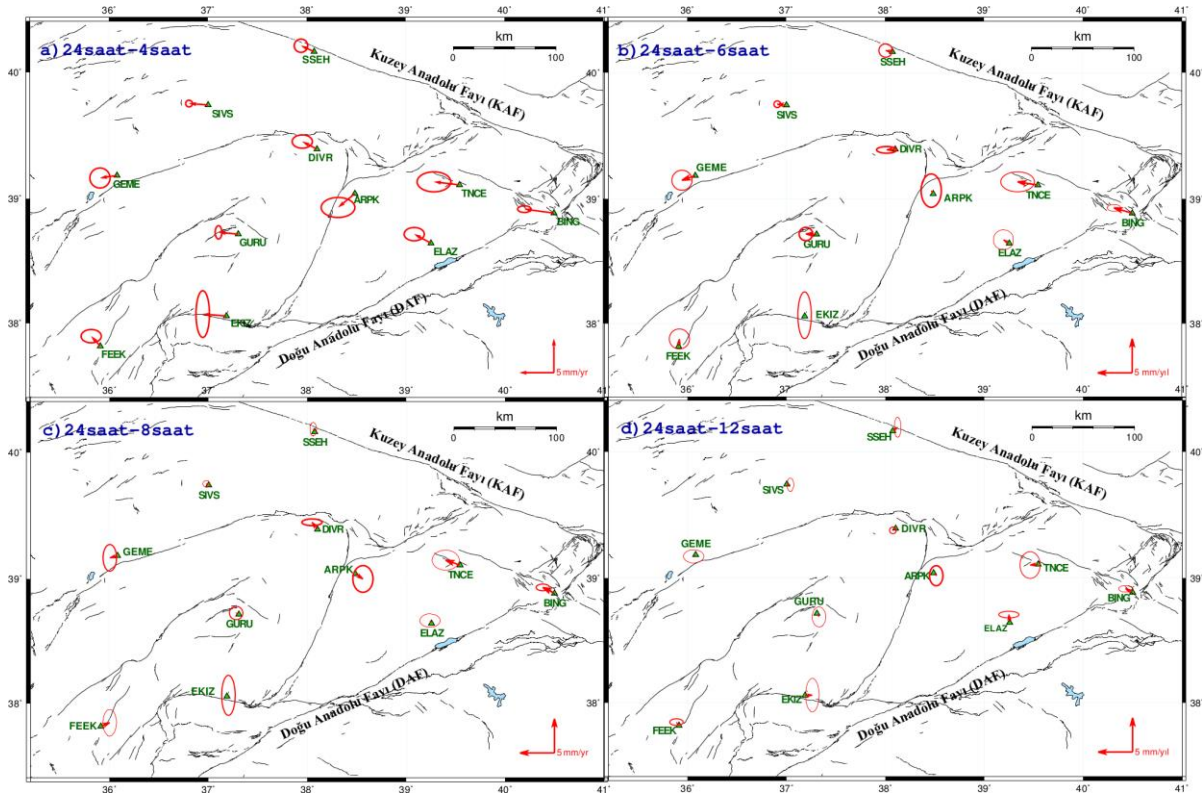
istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 0.49 mm/yıl, doğu batı doğrultusunda -2.94 mm/yıl) iken en küçük fark EKIZ istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 0.14 mm/yıl, doğu-batı doğrultusunda -0.02 mm/yıl) hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgede BING, GEME, GURU ve TNCE istasyonlarında belirlenen farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu, diğer istasyonlarda ise belirlenen farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu da görülmektedir (Şekil 4.b).

24 ve 8 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen istasyonlara ilişkin yatay hız vektörleri arasındaki büyüklüklerin farkları Şekil 4.c'de verilmiştir. Şekil 4.c'ye göre, iki farklı çözümden elde edilen yatay hız vektörlerinin kuzey-güney bileşeninde mutlak olarak $0.20 - 1.04$ mm/yıl, doğu-batı bileşeninde mutlak olarak $0.21 - 2.10$ mm/yıl arasında farklar belirlenmiştir. İki çözüm arasında elde edilen en büyük fark BING istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 0.87 mm/yıl, doğu batı doğrultusunda -1.70 mm/yıl) iken en küçük fark EKIZ istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 0.14 mm/yıl, doğu-batı doğrultusunda 0.21 mm/yıl) hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgede BING istasyonu hariç diğer istasyonlarda belirlenen farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu da görülmektedir (Şekil 4.c).

24 ve 12 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen istasyonlara ilişkin yatay hız vektörleri arasındaki büyüklüklerinin farkları Şekil 4.d'de verilmiştir. Şekil 4.d'ye göre, iki farklı çözümden elde edilen yatay hız vektörlerinin kuzey-güney bileşeninde mutlak olarak $0.04 - 1.17$ mm/yıl, doğu-batı bileşeninde mutlak olarak $0.11 - 1.18$ mm/yıl arasında değişen farklar belirlenmiştir. İki çözüm arasında elde edilen en büyük fark ELAZ istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda 1.17 mm/yıl, doğu batı doğrultusunda -0.11 mm/yıl) iken en küçük fark SIVS istasyonunda (kuzey-güney doğrultusunda -0.06 mm/yıl, doğu-batı doğrultusunda 0.51 mm/yıl) hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgede tüm istasyonlarda belirlenen farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu da görülmektedir (Şekil 4.d).



Şekil 3. Gözlem sürelerine bağlı TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait hız vektörleri ve hata elipsleri



Şekil 4. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 24 saatlik veri değerlendirme sonucuna göre elde edilen yatay hızları doğru kabul edilerek 12 (Şekil 4.d), 8 (Şekil 4.c), 6 (Şekil 4.b) ve 4 (Şekil 4.a) saatlik veri değerlendirme sonucuna göre elde edilen yatay hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri

2.3. GNSS Gözlem Süresine Bağlı Gerinim (Strain) Analizi

Bir istasyonda zamana bağlı meydana gelen farklı deformasyon oranları ile istasyonun doğrusal hızını kestirmek mümkün olmaz. Bundan dolayı, istasyondaki zamana bağlı hareketleri göstermek için, yer değiştirme vektörleri kullanılarak gerinim tensörünün öz değer parametreleri analiz edilir. Böylece, yer değiştirme alanının davranışına ilişkin birçok bilgi gerinim tensöründen elde edilir.

Gerinim tensörü:

$$E = \begin{bmatrix} \frac{\partial n}{\partial x} & \frac{\partial n}{\partial y} \\ \frac{\partial d}{\partial x} & \frac{\partial d}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

olarak tanımlanır (Prescott vd., 1976; Brunner, 1979; Teza vd., 2008). Burada, $n = x_{t2} - x_{t1}$, $d = y_{t2} - y_{t1}$, t_1 ve t_2 zamanlarında ölçülen bir istasyonun konum değişimlerini göstermektedir. e_{xx} ve e_{yy} koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan değişimi, köşegen dışındaki elemanları e_{xy} ise koordinat eksenlerine göre deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısal bozulmaları tanımlar.

Gerinim tensör parametreleri göz önüne alınarak maksimum ve minimum asal gerinim parametreleri (ε_{max} , ε_{min}) ile maksimum gerinim yönü (φ)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{max} \\ \varepsilon_{min} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left[(e_{xx} + e_{yy}) \pm \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \right] \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy}} \right) \quad (4)$$

olarak belirlenir (Prescott vd., 1976; Brunner, 1979; Zakarevicius vd., 2008; Dogan vd., 2013).

Çalışma kapsamında kullanılan TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarına ait GNSS verileri analiz edilerek bölgeye ilişkin yatay yer değiştirme değerlerinden 2-boyutlu gerinim analizi yapılmıştır.

Bölgeye ilişkin 2-boyutlu gerinim analizi için, analize konu olan istasyonların yer değiştirme vektörleri ve doğruluk ölçütleri kullanılarak,

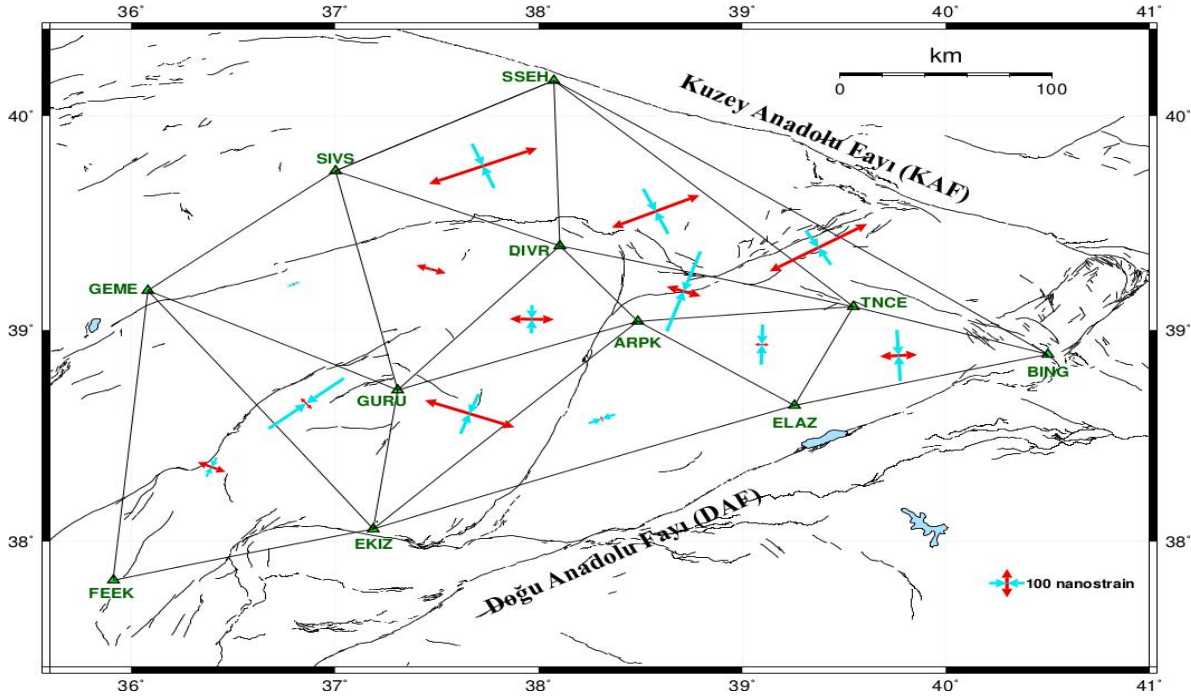
delaunay yöntemine göre oluşturulan üçgenlerin ağırlık merkezi koordinatları yerel koordinat sistemine (kuzey-güney, doğu-batı) dönüştürülmüş ve gerinim parametreleri hesaplanmıştır.

Farklı GNSS gözlem sürelerine (4, 6, 8, 12 saat) bağlı olarak elde edilen 2-boyutlu gerinim parametreleri, 24 saatlik GNSS verileri ile elde edilen gerinim parametreleri ile karşılaştırılarak, GNSS gözlem süresinin gerinim parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçların doğruluklarıyla ilgili analizler paylaşılmıştır.

24 saatlik gözlem süresine göre hesaplanan gerinim parametreleri kullanılarak asal gerinim büyüklükleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. En büyük asal gerinim parametresinin BING-SSEH-TNCE üçgeninde 322.92 nstrain, en küçük asal gerinim parametresi ise SIVS-DIVR-GURU üçgeninde -15.312 nstrain olduğu görülmektedir.

Şekil 5'e göre, genel olarak KAF (Kuzey Anadolu Fayı) zonuna yaklaştıkça gerinim parametrelerinin genişleme davranışı, DAF (Doğu Anadolu Fayı) zonuna yaklaştıkça ise sıkışma davranışı gösterdiği görülmektedir. Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fayları arasında kalan orta kısımda gerinim değerleri 126.44 nstrain (maksimum asal gerinim değeri) ve -98.05 nstrain (minimum asal gerinim değeri) olarak elde edilmiştir.

Genel olarak, bölgenin kuzeyinde (SIVS, SSEH, DIVR, TNCE, BING) kuzeydoğu-güneybatı (KD-GB) yönünde genişlediği ve kuzeybatı-güneydoğu (KB-GD) yönünde sıkıştığı görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. 24 saatlik veri değerlendirme sonuçlarına göre ait asal gerinim değerleri (Kırmızı oklar çekme, mavi oklar ise sıkışma olan bölgeleri göstermektedir.)

Ayrıca, diğer gözlem süreleri (4, 6, 8, 12 saat) kullanılarak asal gerinim büyüklükleri tekrar belirlenmiş ve 24 saatlik gözlem süresine göre belirlenen asal gerinim büyüklükleri ile karşılaştırmak için elde edilen sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir.

24 ve 12 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen gerinim değerleri Şekil 6a'da verilmiştir. Şekil 6a'ya göre, iki çözüm arasında elde edilen en büyük fark $DIVR-ARPK-TNCE$ üçgeninde (-0.504 nstrain) iken en küçük fark $ARPK-ELAZ-EKIZ$ üçgeninde (-0.004 nstrain) hesaplanmıştır. 12 saatlik gözlem süresine göre elde edilen gerinim parametrelerinde özellikle $DIVR-TNCE-APRK$ ve $DIVR-ARPK-GURU$ üçgenlerinde 24 saatlik sonuca göre daha büyük genişleme parametrelerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca, iki çözümden elde edilen sonuçlara göre belirli bölgelerde gerinim parametreleri arasında dönüklüklerin olduğu da saptanmıştır (Şekil 6a).

24 ve 8 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen gerinim değerleri Şekil 6b'de verilmiştir.

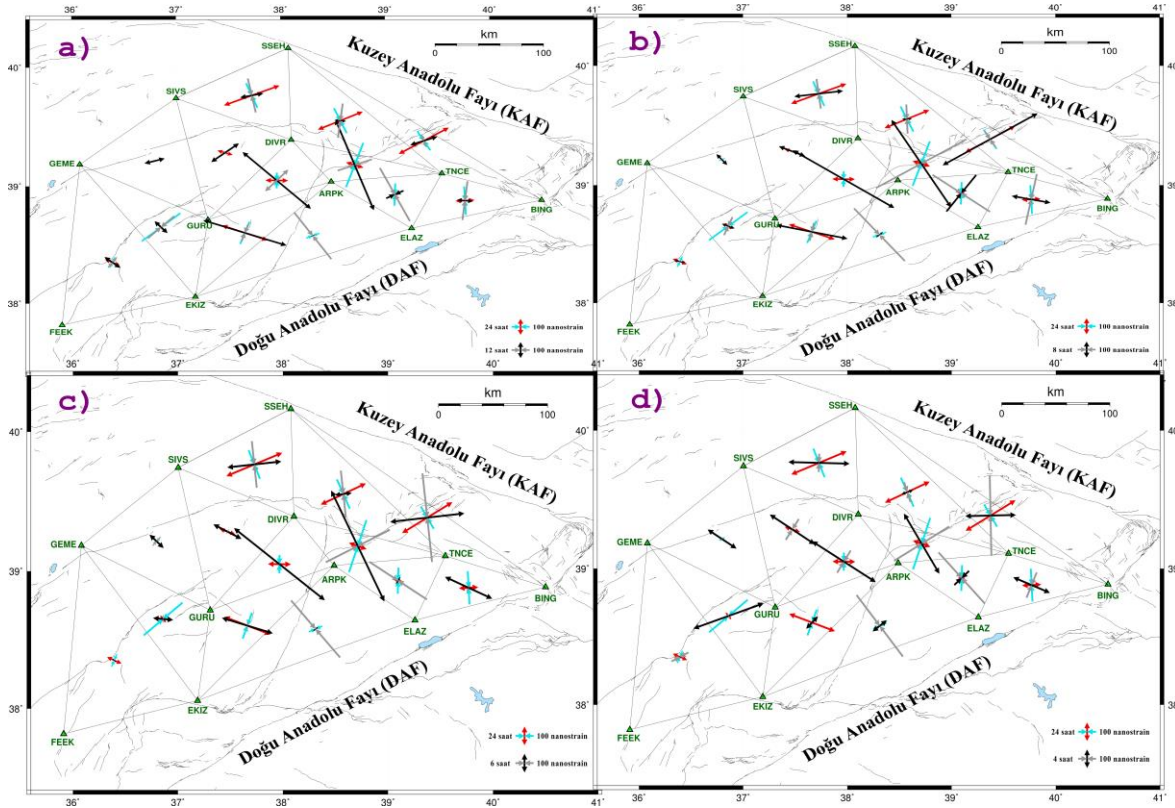
Şekil 6b'ye göre, iki çözüm arasında elde edilen en büyük fark $ARPK-GURU-DIVR$ üçgeninde (-0.544 nstrain) iken en küçük fark $GEME-EKIZ-FEEK$ üçgeninde (0.027 nstrain) hesaplanmıştır. 8 saatlik gözlem süresine göre elde edilen gerinim parametrelerinde özellikle $DIVR-TNCE-APRK$, $DIVR-ARPK-GURU$ ve $SSEHA-BING-TNCE$ üçgenlerinde 24 saatlik sonuçlara göre daha büyük genişleme parametrelerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca, iki çözümden elde edilen sonuçlara göre belirli bölgelerde gerinim parametreleri arasında dönüklüklerin olduğu da saptanmıştır (Şekil 6b).

24 ve 6 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen gerinim değerleri Şekil 6.c'de verilmiştir. Şekil 6.c'ye göre, iki çözüm arasında elde edilen en büyük fark $DIVR-ARPK-TNCE$ üçgeninde (-0.560 nstrain) iken en küçük fark $ARPK-ELAZ-EKIZ$ üçgeninde (-0.015 nstrain) hesaplanmıştır. 6 saatlik gözlem süresine göre elde edilen gerinim parametrelerinde özellikle $DIVR-TNCE-APRK$ ve $DIVR-ARPK-GURU$ üçgenlerinde 24 saatlik sonuçlara göre daha büyük

genişleme değerlerinin olduğu, SSEH-BING-TNCE, ARPK-ELAZ-EKIZ ve ARPK-TNCE-ELAZ üçgenlerinde ise daha büyük sıkışma değerlerinin olduğu saptanmıştır. Ayrıca, iki çözümden elde edilen sonuçlara göre belirli bölgelerde gerinim parametreleri arasında dönüklüklerin olduğu da belirlenmiştir (Şekil 6c).

24 ve 4 saatlik gözlem süreleri ile gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen istasyonlara ilişkin gerinim değerleri Şekil 6.d'de verilmiştir. Şekil 6.d'ye göre, iki

çözüm arasında elde edilen en büyük fark GEME-EKIZ-GURU üçgeninde (0.364 nstrain) iken en küçük fark ise SIVS-SSEH-DIVR üçgeninde (-0.008 nstrain) hesaplanmıştır. 4 saatlik gözlem süresine göre elde edilen gerinim parametreleri 24 saatlik sonuçlara göre farklı karakteristik özellikler göstermekte ve genel olarak iki çözümden elde edilen sonuçlar arasında uyumun olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. 24 saatlik veri değerlendirme sonuçları ile 12 (Şekil 6.a), 8 (Şekil 6.b), 6 (Şekil 6.c) ve 4 (Şekil 6.d) saatlik veri değerlendirme sonucuna göre elde edilen asal gerinim değerleri (Kırmızı ve siyah renkli oklar çekme, mavi ve gri renkli oklar ise sıkışma olan bölgeleri göstermektedir.)

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, GNSS ölçme süresinin deformasyon parametreleri (yer değiştirme, hız ve gerinim parametreleri) üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak doğruluk ölçütlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında, 11 adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait 24, 12, 8, 6 ve 4 saatlik veri değerlendirmesi sonucuna göre elde edilen yer değiştirme değerlerine bakıldığında genel olarak gözlem süresi arttıkça istasyon konum doğruluğunun arttığı görülmektedir. İstasyon hızlarının homojen olduğu ve istasyonların kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık $16.3 \pm$

0.6 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği belirlenmiştir. Bölgede tüm istasyonlar için 24 saatlik veri değerlendirme sonucu doğru kabul edilip, farklı gözlem sürelerine (4, 6 ve 8 saat) ait elde edilen hız değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu; 12 saatlik gözlem süresine göre olan farkların ise istatistiksel olarak anlamsız olduğu belirlenmiştir.

Bölgeye ilişkin 2-boyutlu gerinim analizi için, analize konu olan istasyonların yer değiştirme vektörleri ve doğruluk ölçütleri kullanılarak, delaunay yöntemine göre oluşturulan üçgenlerin ağırlık merkezi koordinatları yerel koordinat sistemine (kuzey-güney, doğu-batı) dönüştürülmüş ve gerinim parametreleri hesaplanmıştır.

24 saatlik veri değerlendirme sonuçlarından elde edilen gerinim parametrelerine göre KAF (Kuzey Anadolu Fayı) zonuna yaklaştıkça gerinim parametrelerinin genişleme davranışı, DAF (Doğu Anadolu Fayı) zonuna yaklaştıkça ise sıkışma davranışı gösterdiği görülmektedir. Genel olarak bölgedeki gerinim büyüklükleri gözlem sürelerine göre farklılıklar göstermektedir. Özellikle 4 saatlik gözlem süresine göre elde edilen gerinim parametreleri 24 saatlik sonuca göre farklı karakteristik özellikler göstermekte ve sonuçlar arasında uyumun olmadığı görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü tarafından işletilen TUSAGA-Aktif ağına ilişkin GNSS verileri kullanılmıştır. Ayrıca tüm şekiller GMT (Generic Mapping Tools) yazılımı kullanılarak çizilmiştir (Wessel vd. 2013).

KAYNAKÇA

Akarsu, V. (2012). Gözlem süresinin GPS Noktası hızlarının belirlenmesine olan etkisinin araştırılması, Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

Betti, B., Biagi, L., Crespi, M., & Riguzzi, F. (1999). GPS sensitivity analysis applied to non-permanent deformation control networks. *Journal of Geodesy*, 73(3), 158-167.

Brunner, F. K. (1979). On the analysis of geodetic networks for the determination of the incremental strain tensor. *Survey Review*, 25(192), 56-67.

Dach, R., Lutz, S., Walser, P., & Fridez, P. (2015). *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual*. Astronomical Institute, University of Bern, Bern.

Davis, J. L., Prescott, W. H., Svarc, J. L., & Wendt, K. J. (1989). Assessment of Global Positioning System measurements for studies of crustal deformation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B10), 13635-13650.

Demir, D. O., & Dogan, U. (2014). Determination of crustal deformations based on GPS observing-session duration in Marmara region, Turkey. *Advances in Space Research*, 53(3), 452-462.

Demir, D. O. (2015). 23 Ekim 2011 (Mw=7.2) Van depreminden kaynaklanan kabuk deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle araştırılması, Doktora Tezi. YTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

Dogan, U., Demir, D. O., Cakir, Z., Ergintav, S., Ozener, H., Akoglu, A. M., ... & Reilinger, R. (2014). Postseismic deformation following the Mw 7.2, 23 October 2011 Van earthquake (Turkey): Evidence for aseismic fault reactivation. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2334-2341.

Dogan, U., Oz, D., & Ergintav, S. (2013). Kinematics of landslide estimated by repeated GPS measurements in the Avcilar region of Istanbul, Turkey. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57(2), 217-232.

Dogan, U. (2007). Accuracy analysis of relative positions of permanent GPS stations in the Marmara region, Turkey. *Survey Review*, 39(304), 156-165.

Duman, H., & Sanli, D.U. (2019). Assessment of geodetic velocities using GPS campaign measurements over long baseline lengths. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(3), 571-582.

Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, 75(12), 633-640.

Ergintav, S., Reilinger, R. E., Çakmak, R., Floyd, M., Cakir, Z., Doğan, U., ... & Özener, H. (2014). Istanbul's earthquake hot spots: Geodetic constraints on strain accumulation along faults in the Marmara seismic gap. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5783-5788.

- Firuzabadi, D., & King, R. W. (2012). GPS precision as a function of session duration and reference frame using multi-point software. *GPS solutions*, 16(2), 191-196.
- Konca, A. O., Cetin, S., Karabulut, H., Reilinger, R., Dogan, U., Ergintav, S., ... & Tari, E. (2018). The 2014, M W6. 9 North Aegean earthquake: seismic and geodetic evidence for coseismic slip on persistent asperities. *Geophysical Journal International*, 213(2), 1113-1120.
- Larson, K. M., & Agnew, D. C. (1991). Application of the Global Positioning System to crustal deformation measurement: 1. Precision and accuracy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B10), 16547-16565.
- Leonard, L. J., Hyndman, R. D., Mazzotti, S., Nikolaishen, L., Schmidt, M., & Hippchen, S. (2007). Current deformation in the northern Canadian Cordillera inferred from GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B11).
- Nocquet, J. M., & Calais, E. (2003). Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996–2001. *Geophysical Journal International*, 154(1), 72-88.
- Ozener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B., & Dogan, U. (2010). Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Journal of geodynamics*, 49(3-4), 141-150.
- Ozdemir, S., & Karshioğlu, M. O. (2019). Soft clustering of GPS velocities from a homogeneous permanent network in Turkey. *Journal of Geodesy*, 1-25.
- Prescott, W. H. (1976). An extension of Frank's method for obtaining crustal shear strains from survey data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(6), 1847-1853.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... & Nadariya, M. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5).
- Sanli, D. U., & Kurumahmut, F. (2011). Accuracy of GPS positioning in the presence of large height differences. *Survey Review*, 43(320), 162-176.
- Snay, R. A., Soler, T., & Eckl, M. (2002). GPS precision with carrier phase observations: does distance and/or time matter. *Prof Surv*, 22(10), 20-22.
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., & Foote, R. H. (2006). Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions. *GPS solutions*, 10(1), 45-55.
- Teza, G., Pesci, A., Genevois, R., & Galgaro, A. (2008). Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation. *Geomorphology*, 97(3-4), 424-437.
- Wessel, P., Smith, W. H., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F. (2013). Generic mapping tools: improved version released. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(45), 409-410.
- Williams, S. D. (2003). Offsets in global positioning system time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B6).
- Zakarevičius, A., Šliaupa, S., Paršeliūnas, E., & Stanionis, A. (2008). Geodetic network deformation based on GPS data in the Baltic Region. *Geodezija ir Kartografija*, 34(4), 122-126.
- URL1:<https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/links/ZECK.html>

Boru Hattı Kamulaştırma Çalışmalarında Karşılaşılan Teknik, Ekonomik, Hukuki Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Fatih İŞCAN¹, Fatih VARGELOĞLU^{2*}

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya

(fiscan@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 0669 – 5830

²6009-214 Nolu Lihkab, Tokat

(fatihvargelolu@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 1635 – 4025

Öz

Enerji nakil hattı projeleri, petrol boru hattı projeleri, tren yolları, otoyollar gibi kamu hizmetlerinin hayata geçirilebilmeleri için gerekli arazilerin ya kamu malı olması ya da kamuya mal edilmesi gerekmektedir. Ancak kamunun elinde bu projeler için gerekli araziler çoğu zaman ihtiyaçlara cevap verebilecek büyüklük ve uygunlukta bulunmamaktadır. Bu hizmetler için gereksinim duyulan ve kamuya ait olmayan taşınmazların kamuya mal edilmesi Anayasal güvence altındaki mülkiyet hakkını sınırlayıcı olan kamulaştırma işlemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Kamulaştırma çalışmalarının uygulanması ise uzun ve detaylı işlemleri gerektiren bir süreçtir. Kamulaştırma işlemi gerçekleştirilirken hukuki, ekonomik ve teknik anlamda pek çok sorunla karşılaşmaktadır. Kamu hizmetlerinin zamanında ve en ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesi için bu sorunların tespiti ve giderilmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmada, Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı (TANAP) projesi özelinde boru hattı kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan teknik, ekonomik ve hukuki sorunlar irdelenmiş, hata kaynakları araştırılmış ve bu sorunlar için öneriler getirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, eski teknolojiyle üretilen kadastral paftalardan kaynaklanan hataların, taşınmazların bedel tespitinde karşılaşılan sorunların ve yasal mevzuattaki eksikliklerin kamulaştırma faaliyetlerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Kamulaştırma faaliyetlerinin bu olumsuzluklardan etkilenmemesi için genel olarak teknik anlamda sayısal altlıkların tek bir sistemde oluşturulması, ekonomik anlamda taşınmaz değerlendirilmesi ile ilgili ilke ve usullerin yeniden değerlendirilmesi, hukuki açıdan da yasal mevzuattaki boşluk ve eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Boru hattı, kamulaştırma, kamu yararı, mülkiyet hakkı, taşınmaz değerlendirme

Technical, Economic, Legal Problems and Solution Suggestions in Pipeline Expropriation Studies

Abstract

Required lands must be public property or be expropriated to make public services actual such as power transmission line projects, petroleum pipeline projects, train ways and highways. However, public often doesn't have required lands to meet needed size and suitability for these projects. Publication of nonpublic immovable properties needed for these services can be done by expropriation process limiting the property right which is under constitutional guarantee. The implementation of expropriation studies is a process that requires long and detailed procedures. In the expropriation process, many problems are encountered in legal, economic and technical fields. To carry out the public services in a timely and economic way, it is highly important to detect and solve these problems.

In this study, technical, economic and legal problems have been scrutinised encountered during the pipeline expropriation studies in the Trans Anatolian Natural Gas Pipeline (TANAP) project, error resources have been researched and suggestions for these problems have been introduced. As a result of this study, it has been seen

* Sorumlu Yazar

Geliş Tarihi: 08.04.2019

Kabul Tarihi: 12.05.2019

Geomatik Dergisi

Journal of Geomatics

that the errors caused by the cadastral sheets produced by the old technology, problems encountered in the price determination of immovable properties and the lacks in the legal regulations negatively affect the expropriation activities. For expropriation activities not to be affected by these negativities, in general, technically, the formation of the numerical bases in a single system, the reassessment of the principles and procedures about land valuation, fulfillment of legal gaps and shortcomings in legally are required.

Keywords: Pipeline, expropriation, public interest, property right, real estate valuation

1. GİRİŞ

Devlet ve kamu tüzel kişilerin, kamu yararının gerektirdiği hallerde, kamu hizmetlerinin veya yürütülebilmesi için, gerçek ve özel hukuk tüzel kişilerinin mülkiyetinde bulunan taşınmazların mülkiyet, kaynak veya irtifak haklarının bedellerini nakden ve peşin olarak veya Kamulaştırma Kanununda belirtilen hallerde eşit taksitlerle ödemek suretiyle ilgili idareler adına tesciline “Kamulaştırma” denilmektedir. Kamulaştırmanın amacı, kamusal projenin ihtiyacı olan gerçek ve özel hukuk tüzel kişilerinin mülkiyetinde bulunan taşınmazların, kamusal projenin ihtiyacına göre, mülkiyet, kaynak veya irtifak haklarının Anayasa ve yasaların ilgili hükümlerine uygun bir şekilde kamusal projeyi gerçekleştirecek olan devlet ve kamu tüzel kişilerine mal etmektir.

Kamu kurum ve kuruluşları, yapmakla yükümlü oldukları kamu hizmetlerini yerine getirebilmeleri amacıyla, özel veya tüzel kişilerde bulunan taşınmaz malların tamamını veya bir kısmını ayrıca irtifak hakkı olarak, kanun çerçevesinde kamulaştırabilmektedir. Kamulaştırılan taşınmazları belirli bir süre için ya da süresiz olarak kamu hizmetini yerine getirmek üzere kullanılabilir.

Türkiye’de kamulaştırma ile ilgili temel mevzuat T.C Anayasasının 35, 46, 47. maddelerinde düzenlenmiştir. T.C. Anayasasının 35. maddesi hükmünde “Herkes mülkiyet ve miras hakkına sahiptir. Bu haklar, ancak kamu yararı amacıyla sınırlanabilir” denilmekte, 46. maddesinin ilk fıkrasında ise “Devlet ve kamu tüzel kişileri; 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 yetkilidir.” denilmektedir. Anayasa maddelerinin uygulanmasına esas kanun ise 4650 Sayılı Yasa ile değişik 2942

sayılı Kamulaştırma Kanunu’dur. Ayrıca Kamulaştırma Kanunu’nun uygulanmasına ilişkin ilgili Bakanlıklar ve kamu kurumları tarafından yayınlanan ikincil mevzuatlar da mevcuttur.

Kamu Kurum ve Kuruluşları belirtilen temel mevzuat ile birlikte kuruluş yasalarında kendilerine verilen yetkiler çerçevesinde de hareket etmek durumundadırlar. Ayrıca özellikli projelerde, projenin amacına uygun olarak genel uygulamanın yanı sıra, projeye özgü bazı özel düzenlemeler de yapılabilmektedir (Akay ve Çiçek, 2005).

Kamulaştırma çalışmalarının uygulanması uzun ve detaylı işlemleri gerektiren bir süreçtir. Kamulaştırma işlemi genel olarak hukuki, ekonomik ve teknik olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. Aytaç 1987 yılında yaptığı çalışmada kamulaştırmanın uygulamada sadece belirli hukuksal usulleri olan bir yönetsel işlem olmakla kalmayıp; mali, teknik yönleri yanında ayrıca psikolojik ve bazen siyasal etkileri ve tepkileri de olan bir soruna dönüşebileceğini ifade etmiştir.

4650 Sayılı Yasayla değiştirilmiş 2942 Sayılı Kamulaştırma Kanununun 7. maddesinde “Kamulaştırmayı yapacak idare, kamulaştırma veya kamulaştırma yolu ile üzerinde irtifak hakkı kurulacak taşınmaz malların veya kaynakların sınırını, yüzölçümünü ve cinsini gösterir ölçekli planını yapar veya yaptırır; kamulaştırılan taşınmaz malın sahiplerini, tapu kaydı yoksa zilyetlerini ve bunların adreslerini, tapu, vergi ve nüfus kayıtları üzerinden veya ayrıca haricen yaptıracığı araştırma ile belgelere bağlamak suretiyle tespit ettirir.” ifadesi yer almaktadır. Bu çerçevede kamulaştırma işlemlerinin en önemli aşamalarından biride kamulaştırma planlarının ve dosyalarının üretilmesi sırasında yapılacak olan teknik çalışmadır.

Kamulaştırma Kanunu hükümlerine göre kamulaştırmanın hukuki sürecine başlanabilmesi için, hazırlanan kamulaştırma

plan ve dosyalarının ilgili Kadastro Müdürlüklerince kontrol edilmesi ve kamulaştırma dosyaları içerisindeki kamulaştırma listelerine göre ilgili idarenin kamulaştırma kararını alması gerekmektedir.

Kamulaştırma devletin, kamu yararının gerektiği hallerde kamu gücünü kullanarak, özel kişilere ait taşınmazlara karşılığını ödemek suretiyle el koyması ve bunları kamu hizmetine özgülemesidir. Hiç kimse istenci dışında kamu yararı gerekçesiyle de olsa, karşılığı da ödense taşınmazına el konulsun istemez. Çoğu kez manevi kaygıları maddi kayıplarının önüne geçmektedir. Öte yandan, ilgili kamu kurumu için kamulaştırma bedelleri projenin ederini önemli ölçüde artırmakta, kimi zamanda proje bedelinin üstüne çıkarmaktadır (Demirel, 2002; Sert, 2005).

Kamulaştırma sürecine bakıldığında, kamulaştırmanın bir takım işlemler zincirinden oluştuğu, bu zincirde bir halkanın eksik veya hatalı uygulanmasının kamulaştırma işleminin iptal edilmesine, hem idareyi hem de taşınmazı kamulaştırılacak olan malikleri olumsuz etkileyecek süreçlerin yaşanmasına neden olabileceği unutulmamalıdır. Yaşanabilecek olası olumsuzluklar sadece tarafları etkilemekle kalmayacak, kamulaştırma sonucu yapılacak olan kamu hizmetinin yapılamamasına veya gecikmeye uğramasına sebep olarak, daha başka sorunların ortaya çıkmasına da neden olabilecektir. Bu nedenle yapılacak işlemler bütün ayrıntıları ile birlikte dikkatli ve itinalı bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Alkan, 2014).

Ülkemizde kamulaştırma sürecinin hukuki (Berberoğlu, 2004; Hayta, 2007; Eren, 2014; Çoban Atik, 2013; Demirbaş, 2014; Karaman, 2015;), ekonomik (Pehlivan, 2008; Tepe 2009; Ayten ve Çay, 2012) ve teknik (Sert, 2005; Uzer, 2010; Erdin, 2010; Ergüven, 2013; Yıldız, 2013; Dörtgöz, 2014, Çağla ve ark., 2016) yönden işleyiş ve sorunları ile ilgili pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Göktepe 2010 yılındaki çalışmasında kamulaştırma kavramı, işlemin türleri ve yapılış şekilleri ile mülkiyet hakkı üzerinde doğurduğu etki ve sorunlar olduğunu ifade etmiştir. Akay ve Çiçek 2005 yılındaki

çalışmalarında, 1070 km uzunluğunda Bakü-Tiflis-Ceyhan(BTC) Ham Petrol Boru Hattı Projesinde karşılaşılan sorunların, kurumlardaki altyapı yetersizliği sorununun diğer birçok sorunun kaynağı olduğunu ve kamulaştırma çalışmalarına etkisinin büyük olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, boru hattı kamulaştırma çalışmalarında teknik, hukuki ve taşınmaz değerlemesinden kaynaklanan uygulamada karşılaşılan problemler irdelenmiş, hata kaynakları araştırılmış ve öneriler getirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın ana materyalini, Boru Hattı Projelerinden, ülkemizde inşası halen devam etmekte olan ve uluslararası bir proje olan Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı (TANAP) Projesinin kamulaştırma çalışmaları oluşturmaktadır. Projeye ait teknik, hukuki bilgi ve belgeler kullanılmıştır.

Azerbaycan'ın Hazar Denizi'ndeki Şah Deniz 2 Gaz Sahası ve Hazar Denizi'nin güneyindeki diğer sahalarda üretilen doğal gazın Türkiye'ye ve Avrupa'ya taşınması amacıyla hayata geçirilmiştir. TANAP, Türkiye-Gürcistan sınırında Ardahan ili Posof ilçesi Türkgözü köyünden başlayarak Ardahan, Kars, Erzurum, Erzincan, Bayburt, Gümüşhane, Giresun, Sivas, Yozgat, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Eskişehir, Bilecik, Kütahya, Bursa, Balıkesir, Çanakkale, Tekirdağ ve Edirne olmak üzere 20 ilden(67 ilçe) geçecek; Yunanistan sınırında Edirne'nin İpsala ilçesinde son bulacaktır. 19 kilometresi Marmara Deniz geçişi olmak üzere kara ve deniz geçişi ile birlikte toplamda 1850 km uzunluğundaki proje, çoğunlukla kırsal alanlardan geçmekte ve kırsal ya da kentsel yerleşimlerde bulunan hiçbir yapıyı etkilememektedir(Şekil 1).

Kamulaştırma ve inşaat işleri; uluslararası standartlar gözetilerek yapılmakta olup projeden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenen ve ekonomik kayba uğrayan bireylerin kayıplarının telafisi, önceden belirlenen kriterler çerçevesinde tazmin edilmesi temel prensibi esas alınarak yürütülmektedir(URL 1).



Şekil 1. TANAP'ın güzergahı (URL 2)

Projenin hukuki altyapısı 26 Haziran 2012 tarihinde İstanbul'da imzalanan "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Azerbaycan Cumhuriyeti Hükümeti arasında Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Sistemine İlişkin Hükümetler arası Anlaşma" ve eki Ev Sahibi Hükümet Anlaşması ile oluşmuştur. Söz konusu Ev Sahibi Hükümet Anlaşması 26 Mayıs 2014 tarihinde tadil edilerek yeniden imzalanmış ve revize edilmiş haliyle 10 Eylül 2014 tarihinde TBMM tarafından onaylanmıştır.

TANAP'ın inşaat çalışmaları 2015 yılının ilkbahar aylarında başladı ve 12 Haziran 2018'de Eskişehir'e kadar olan kısım tamamlanarak Türkiye'ye gaz akışı başlamıştır. Projede gaz akışının 4 aşamada artırılması tasarlanmaktadır. İlk aşamada 16 milyar metreküp taşıma kapasitesi yaratılarak Türkiye'ye 2018 yılının ikinci yarısında gaz akışı başlayacak ve yıllara göre artacak şekilde toplam 6 milyar metreküp ve Avrupa'ya 2020 yılının ilk çeyreğinde başlayacak ve yıllara göre artacak şekilde toplam 10 milyar metreküp gazı taşınması öngörülmektedir. Taşıma kapasitesinin 2023 yılında 24 milyar metreküpe ve 2026 yılında 31 milyar metreküpe çıkarılması hedeflenmektedir. TANAP, Türkiye'de bu güne kadar yapılan en büyük çap ve uzunluğa sahip boru hattı projesi olacaktır (URL 2).

3. BORU HATTI KAMULAŞTIRMA UYGULAMALARINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Bu bölümde boru hattı kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan problemler; teknik, taşınmaz değerlendirilmesinden kaynaklı ve hukuki problemler ana başlıkları altında irdelenmiştir.

4.1. Teknik Problemler

2942 Sayılı Kamulaştırma Kanununun 7. Maddesine istinaden ilk olarak kamulaştırma planlarının oluşturulması gerekmektedir. Kamulaştırma planları oluşturulurken öncelikle kadastral müdürlüğünden kadastral veriler (paftalar, ölçü krokileri, sınırlandırma krokileri alan hesapları vs.) temin edilip tek tek irdelenmesi ve tespit edilen hata ve eksikliklerin yasal mevzuat çerçevesinde gerekli düzeltme işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Kadastral veriler elde edildiği ve yapıldığı yıllara göre farklı teknik yöntemlerle üretildiğinden bazı teknik hatalar karşımıza çıkmaktadır. Bu problemler kamulaştırma sürecinde zaman kaybına ve yanlış değerlendirildiğinde kamulaştırma miktarlarının değişmesine sebep olacağından, kamulaştırma yapan idareyi veya mülkü kamulaştırılan vatandaşları ekonomik anlamda zarara uğratabilmektedir.

Kamulaştırma işlemlerinde karşılaşılan teknik problemleri; kadastral verilerden kaynaklı teknik problemler, farklı kanunlar kapsamında

yapılan uygulamaların kamulaştırma işlemi ile çakışması, Tapu sicilleriyle ilgili ve TAKBİS'ten kaynaklı problemler olmak üzere 3 grupta incelenebilir.

4.1.1. Kamulaştırma çalışmalarında kadastral verilerden kaynaklanan teknik problemler

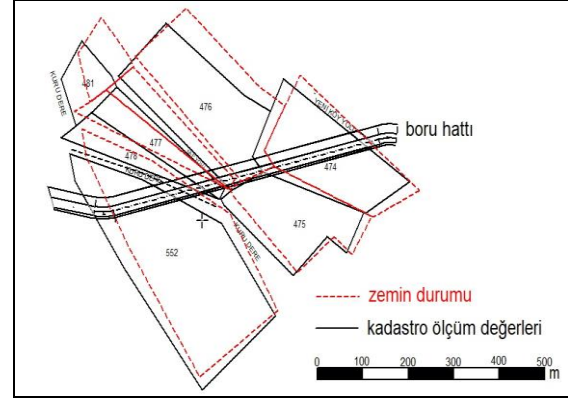
4.1.1.1. Kadastro esnasında yapılmış sınırlandırma hataları

Sınırlandırma işlemi yapılırken birtakım hataların yapılmış olması olasıdır. Bu hatalar kamulaştırma projelerine ait kamulaştırma planları hazırlanırken karışımıza farklı şekillerde çıkmaktadır. Parsellerde kırıklar olduğu halde düz geçirilmiş ya da düz olduğu halde kırık noktalı geçirilmiş olması durumunda sınırlandırma hatasından bahsetmek mümkündür. Fotogrametrik haritalara dayalı kadastro çalışmalarında, fotogrametrik paftadaki yanlış çizgilerin kullanılmasından dolayı hatalı sınırlandırma yapılabilmektedir.

4.1.1.2. Kadastro esnasında yapılmış ölçme hataları

Sınırlandırma işlemi yapılmış olan parseller kadastronun yapıldığı tarihe göre prizmatik, takeometrik veya elektronik uzaklık ölçerler ile yer kontrol noktalarına dayalı olarak grafik, lokal veya ülke koordinat sistemine göre ölçümleri yapılmaktadır. Ölçümler yapılırken de çeşitli sistematik, düzensiz veya kaba hatalar yapılmaktadır. Bu tip hatalar zemin ile kadastro değerleri arasında standart bir kayıklık veya dönüklük şeklinde karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2'de görüleceği üzere bu hatalar giderilmeden kamulaştırmaya giren kısımların yüz ölçüm hesapları yapılacak olursa idare veya arazi sahiplerinin haksız bir kazanç veya zarara uğramasına sebep olunacaktır.



Şekil 2. Dönüklük ve kayıklığın olduğu ölçü hatası

4.1.1.3. Kadastro paftalarındaki tersimat hataları

Kadastro ölçüm işlemleri yapıldıktan sonra orijinal ölçü krokileri hazırlanan parseller, arazideki ölçü değerlerine göre altlıklara (kağıt, astrolon vs.) ölçekli bir biçimde çizilmesi işlemine pafta tersimatı denilmektedir. Tersimat hatasının zeminle bir ilgisi bulunmayıp ölçü değerlerinin, paftasına doğru bir şekilde işlenememesinden kaynaklanmaktadır. Uygulamada tersimat hataları; parsel köşe noktalarının yanlış birleştirilmesi, noktaların açı ve mesafesinin yanlış tersim edilmesi, noktaların eksik tersimi, yer kontrol noktalarının hatalı tersimi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

4.1.1.4. Yüzölçüm hesap hataları

Kadastro çalışmaları esnasında yapılan yüz ölçüm hesapları tescile esas olup tapuya tescil edilmektedir. Sayısal olarak yapılan kadastro çalışmalarında koordinat değerlerinde bir hata olmadığı sürece yüz ölçüm hesap hatasına pek rastlanmamaktadır. Fotogrametrik ve grafik kadastro çalışmalarında ise pafta üzerinden planimetre denilen mekanik aletler yardımıyla pafta ölçeğine göre alan hesapları yapılmıştır. Yüzölçüm hesap hatalarının büyük bir kısmı bu yöntemle yapılan hesaplarında karşımıza çıkmaktadır.

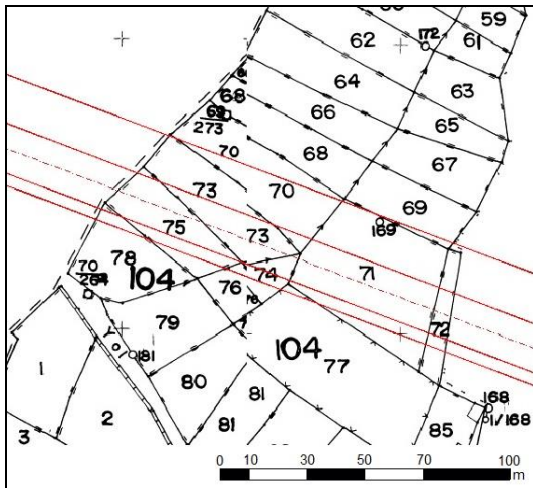
4.1.1.5. Kadastro paftaların üretim yönteminden kaynaklı kenarlaşma hataları

Kadastro çalışmalarının başlangıç yıllarından bu tarafa geçen süreçte günün ölçü teknikleri kullanılarak çeşitli ölçeklerde kadastro paftaları üretilmiştir. Bunlar; grafik paftalar, klasik paftalar, fotogrametrik paftalar, sayısal paftalar şeklinde sınıflandırılabilir.

Grafik yöntemle oluşturulan paftalar genellikle 1960'lı yıllardan önce üretilmiştir. Herhangi bir koordinat sistemine bağlı olmayan bu paftalarda, yoğun bir şekilde sınırlandırma, ölçü ve hesap hatalarına rastlamak mümkündür(Yıldız, 2013).

Günümüzde kamulaştırma projeleri sayısal olarak üretildiğinden grafik paftaların, benzerlik dönüşümü kullanılarak kamulaştırma projesinin koordinat sistemine dönüştürülmesi mümkün değildir. Ancak halihazır haritalarla ve ortofotolarla üst üste çakıştırılmak suretiyle ile dönüşümü sağlanabilir. Bu şekilde yapılan çakıştırmalarda ise kenarlaşma sorunları ile karşılaşmaktadır.

Fotogrametrik yöntemle üretilen 1/5000 ölçekli paftalarda mülkiyet sınırları bir yazılım yardımıyla parsel sınırlarının sayısallaştırılmasıyla oluşturulmaktadır. 1/5000 ölçekli bir haritada gözün ayıt etme gücü 0.2 mm olduğu düşünüldüğünde 1-2 m ye varan sınır hataları ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca dönüşümde kullanılan karelejlar uygun dağılımlı olmadığı takdirde dönüşümden kaynaklı hatalarda bunun üzerine eklendiğinde hata oranı artmaktadır. Bu sebepten dolayı da yan yana olan fotogrametrik paftalarda da dönüşümden ve sayısallaştırmadan kaynaklı kenarlaşma sorunlarıyla karşılaşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. 1/5000 ölçekli fotogrametrik paftalarda kenarlaşma sorunu

4.1.2. Farklı kanunlar kapsamında yapılan uygulamaların kamulaştırma işlemi ile çakışması

Kadastro yenilemesi (22/a) ve arazi toplulaştırma işlemlerinin kamulaştırma

süreciyle aynı ana denk gelmeleri kamulaştırma sürecini olumsuz etkilemektedir. Her iki uygulamada da uygulamaya giren parselin tapu sicilinde köklü değişiklikler olması daha önce hazırlanan kamulaştırma planlarının tamamen değişmesine sebep olmaktadır.

4.1.2.1. Kadastro yenileme uygulaması ile kamulaştırma işleminin çakışması

22/a sürecinde parsel numarası ve parsel yüzölçümleri değişikliğe uğramaktadır. Kamulaştırma planlarının 22/a uygulaması tescil edilemeden önce hazırlandığı durumlarda kamulaştırma süreci tamamlanana kadar 22/a süreci de devam ettiğinden kamulaştırma planlarında hazırlanan alanlar ve parsel numaraları değişiklik gösterecektir. Kamulaştırma kapsamında gerek rıza-i alımlarda gerekse hükmen tescillerde parselin eski yüzölçümleri ve numaralarının yer alması tapuya tescilde sıkıntılar oluşturmaktadır. 22/a uygulamasında parselde yapılan değişiklikler kamulaştırma alanlarını değiştirdiği halde ilk durumda tescil edilen alanlar düzeltilmeden tapu sicilinde yeni oluşan parsellere aktarılmaktadır.

TANAP projesi kapsamında Ankara'nın Gölbaşı ve Polatlı ilçesinde kamulaştırma çalışmaları devam ederken 22/a uygulamasına başlanılmıştır. 22/a uygulamasının tescilinden önce etkilenen yaklaşık 418 parselin büyük bir kısmında rıza-en veya hükmen üst hakkı tescilleri yapılmıştır. Bedel tespit ve tescil davaları (eski ada ve parsel numarası üzerinden açılan ve 27. madde blokeleri yapılan) devam ederken 22/a uygulaması tescillenen köylerde davalara müdahil olunarak, 22/a sonrası oluşan yeni parsel numarası ve alanlara göre mahkemeden karar çıkarılmış, ek blokeleri yapılmış, yeni kararlara göre hükmen tescilleri problemsiz yapılmıştır.

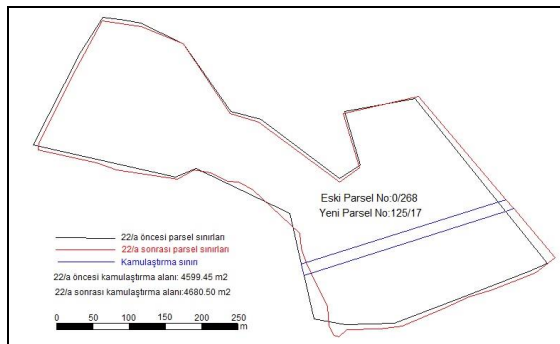
22/a uygulaması sonrası bazı parsellerde üst hakkı alanları büyük veya küçük değişimler geçirmiştir (Tablo 1). Bunlarla ilgili hak mahrumiyetinin giderilmesi maksadıyla ilave kamulaştırma yapılarak bu tür farklar giderilebilir. Burada ilave kamulaştırma için hazırlanacak tescil beyannamelerinde daha önceden tescil edilen üst hakkı alanlarının belirtilip yeni oluşacak üst hakkı alanı ile farkı kadar tapu harcı ödenerek tapu kütüğünde

tescil edilip üst hakkı alanlarının güncel hale getirilmesi gerekmektedir.

Tablo 1. TANAP Ankara İli Polatlı İlçesi Muhtelif mahallerde 22/a uygulaması sonucu değişen kamulaştırma alanları

ANKARA İLİ POLATLI İLÇESİ HÜKMEN TESCİL YAPILAN PARSELLER												
SIRA NO	MAHALLE	KADASTRO ONAYLI				22/A SONRASI				FARK		DURUMU
		ESKİ ADA	ESKİ PARSEL	ESKİ TAPU ALANI	ESKİ DAİMİ	YENİ ADA	YENİ PARSEL	YENİ TAPU ALANI	YENİ DAİMİ	FARK TAPU	FARK DAİMİ	
1	TÜRKKARSAK	0	423	25125	1678,84	126	15	24788,99	1603,54	-336,01	-75,30	HÜKMEN TESCİL
2	TÜRKKARSAK	0	259	139900	8671,56	126	6	146040,45	9082,69	6140,45	411,13	HÜKMEN TESCİL
3	TÜRKKARSAK	0	222	223100	7168,37	116	12	231136,41	7280,87	8036,41	112,50	HÜKMEN TESCİL
4	KARAHAMZALI	0	714	27037	2517,04	117	8	26412,58	2572,67	-624,39	55,63	HÜKMEN TESCİL
5	KARAHAMZALI	0	562	345000	5481,44	117	15	344178,15	5489,08	-821,85	7,64	HÜKMEN TESCİL
6	KARAHAMZALI	0	563	87000	1063,72	117	16	86996,48	1093,24	-3,52	29,52	HÜKMEN TESCİL
7	KARAHAMZALI	0	327	40675	618,55	117	18	39434,78	624,56	-1240,22	6,01	HÜKMEN TESCİL
8	KARAHAMZALI	0	524	91000	3004,64	120	2	93305,37	2909,39	2305,37	-95,25	HÜKMEN TESCİL
9	KARAHAMZALI	0	567	50056	1118,13	120	4	49965,03	1200,05	-90,97	81,92	HÜKMEN TESCİL
10	KARAHAMZALI	0	545	100000	213,20	120	53	102127,9	212,14	2127,90	-1,06	HÜKMEN TESCİL
11	BAYBURT	0	584	25000	610,57	125	12	24935,44	592,34	-64,56	-18,23	HÜKMEN TESCİL
12	BAYBURT	0	580	86000	3034,98	125	14	86002,46	3023,45	2,46	-11,53	HÜKMEN TESCİL
13	BAYBURT	0	581	65100	2518,36	125	15	63385,79	2483,24	-1714,21	-35,12	HÜKMEN TESCİL
14	KIZILCAKIŞLA	0	212	26250	2078,89	129	36	26828,15	2232,62	578,15	153,73	HÜKMEN TESCİL
15	KAYABAŞI	0	462	73250	1519,60	179	59	73243,04	1405,86	-6,96	-113,74	HÜKMEN TESCİL
16	KIZILCAKIŞLA	0	221	21500	430,94	129	19	21823,96	560,43	323,96	129,49	HÜKMEN TESCİL
17	KIZILCAKIŞLA	0	466	34730	3872,85	129	31	36092,39	3931,96	1362,39	59,11	HÜKMEN TESCİL

Uygulama sırasında Polatlı Kadastro Biriminde birkaç parsel için bu yapılmaya çalışılmış fakat yeni alan üzerinden tescilin yapılabilmesi için, eski alanın terkin edilip oluşan yeni alanın tescilinin yapılması ve yeni alan üzerinden tapu harcı ödenmesi istenmiştir. Bu durum kamulaştırmayı yapan idarenin mükerrer tapu harcı ödemesine sebep olmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. 22/A Uygulaması Sonrası Parsel Durumu

4.1.2.2. Arazi Toplulaştırması ile kamulaştırma süreçlerinin çakışması

Arazi toplulaştırma çalışmalarında bütün kadastro sınırları değiştirilerek yeniden parseller oluşturulmaktadır. Arazi toplulaştırması sonrası durumda eski kadastro

parseli yerinde kalsa da geometrik şekli değişeceğinden fiili durumdaki üst hakkı alanı da değişmektedir.

TANAP projesi kapsamında Ankara İli Gölbaşı ilçesinde Bağıcı, Soğucak, Mahmatlı, Mahmatlıbahçe, Tepeyurt, Kırıklı, Karagedik ve Runkuş; Bala ilçesinde Yörelî ve Yeniköy olmak üzere güzergâh üzerinde kalan 10 mahallede arazi toplulaştırma çalışmaları devam etmektedir. Toplulaştırma yapılan bazı mahallelerde yapılan incelemede daha önceden tescil edilen üst hakkı alanlarının arazi toplulaştırması öncesi parsel numarası ile birlikte pasif duruma düştüğü, yeni planlara ve kütüklere aktarılamadığı görülmüştür. İlgili köylerde 16 metrelik üst hakkı koridorunun köy bazında uzunluğu değişmeyeceğinden toplulaştırma sonrası toplam tescil edilecek üst hakkı alanı da köy bazında değişmemiştir.

Toplulaştırma sonrası parsellerin ada parsel numaraları, yüzölçümleri ve en önemlisi malikleri değişmektedir. Bu durumda bedel tespit ve tescil dava süreci devam eden parsellere açılan davaların geri çekilerek yeni duruma göre tekrar açılması ve dava sürecinde yeni maliklere tekrar tebligat gönderilmesi sürecin iyice uzamasına sebep olmaktadır. Burada kamulaştırmayı yapan idare zaman ve maddi açıdan zarara uğramaktadır.

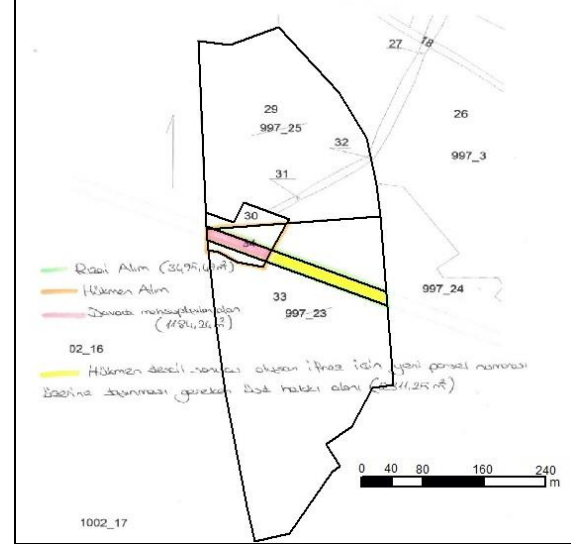
4.1.3. Tapu sicilleri ve TAKBİS'ten kaynaklı problemler

Rıza-en veya hükmen tescil yapılan üst hakkı tapu kütüğünde ayrı bir sayfaya bağımsız nitelikte kurulduğundan, ana taşınmaz üzerinde bulunan haciz, ipotek ve benzeri takyidatların sistem üzerinden üst hakkı sayfasına taşınmaması gerekmektedir. Tapu kütüklerinde yapılan kontrollerde bu tür takyidatlar taşınmadığı fakat TAKBİS sisteminde kütük elektronik ortamda saklandığı için parsellerde bu takyidatların üst hakkı sayfasına otomatikman taşındığı tespit edilmiştir. Tapu personellerinin bu tür takyidatların taşınmaması veya düzeltilmesi hususunda TKGM tarafından bilgilendirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca rıza-en veya hükmen tescil edilen üst hakkı alanının bulunduğu parselde herhangi bir sebepten dolayı yapılan ifraz işlemi neticesinde, üst hakkı alanında değişiklik olsun veya olmasın, ifraz sonrası oluşan parsellere bu alan TAKBİS sistemi üzerinden otomatik taşınmamaktadır. Üst hakkı alanı ifraz öncesi parsel üzerinde pasif olarak kalmaktadır. Durumun ifraz sonrasında TAKBİS'deki 'veri düzeltme' sekmesi üzerinden düzeltilmesi işlemi de ilgili tapu personelleri her zaman yapmamaktadır.

TANAP kapsamında Kırıkkale ili Karakeçili ilçesi Yeşilevler mahallesinde, boru hattının geçtiği 997 ada 23 parselde 16 m koridor için yeşil renk ile gösterilen 3495,49 m² üst hakkı maliklerle rıza-i alım olarak tescil edilmiştir (Şekil 5). Bunun üzerine eklenen turuncu renk ile gösterilen blok vana istasyonu(BVS) mülkiyeti için 10. madde davası açılmış ve pembe renk ile gösterilen alan mülkiyeti alınacak kısım içerisinde kaldığı için buraya ödenen bedel dava sürecinde belirlenen bedel üzerinden mahsup edilmiştir. Dava gerekçeli karara çıktıktan sonra tescil için mülkiyeti alınan turuncu renk ile gösterilen BVS alanı için parselde yapılan ifraz sonucu 997 ada 23 parsel, 33 ve 34 parsel olarak ikiye bölünmüştür. 997 ada 34 parsel tapusu mahkeme kararına göre mülkiyeti BOTAŞ lehine olacak şekilde çıkmıştır. Kalan 997 ada 33 parselde, daha önceden kurulan üst hakkının dava sürecinde yapılan mahsuplaşması sonucu 2311,25 m² olarak taşınması gerekirken, yapılan ifraz sonucu ana taşınmazda kurulmuş olan üst hakkının yeni

parseller üzerine taşınmasını sistem sağlayamadığı gibi, alan üzerinde yapılması gereken azaltma işlemine de sistem müsaade etmemektedir. TAKBİS üzerinden konuyla ilgili güncelleme yapılması gerekmektedir.



Şekil 5. Üst Hakkı Kurulu Parselin İfrazından Sonra Kalan Üst Hakkı Alanı

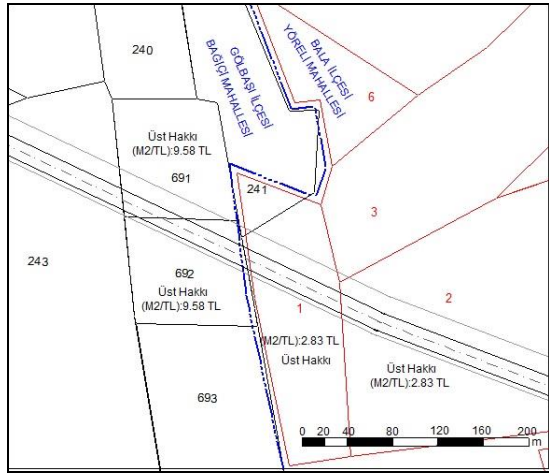
4.2. Taşınmaz Değerlemeden Kaynaklı Problemler

Ülkemizde birçok mal ve hizmetlerin değeri genelde rekabet şartları göz ardı edildiğinden tek değer ile belirlenir. Ancak ekonomik yatırım aracı olarak düşünülen taşınmazlar için böyle tek bir değer olmadığı gibi, değerlerdeki değişim oranlarını da tahmin etmek oldukça güçtür. Bu nedenle özellikle ülkemizde aynı bir taşınmaza ait (vergiye esas değer, alım-satım değeri veya rayiç değeri, istimlak değeri, adli yargıda bilirkişilerce belirlenen mahkeme değeri gibi) değişik değerler ile karşılaşılmaktadır. Oysa bir taşınmazın belli bir zaman periyodunda tek bir değeri olmalıdır. Farklı yaklaşımlar ile taşınmaz değeri tespit edilse dahi bu değer kabul edilebilir bir aralıkta birbirine yakın olması beklenir. Bilimsel çalışmalara göre bu farkın %15-20'yi geçmemesi gerekir (Açlar, ve Çağdaş, 2002).

Kamulaştırma Kanunu'nun satın alma usulünü içeren 8. maddesinin 2. fıkrası her ne kadar ilgili kurum ve kuruluşlardan ve uzmanlardan görüş alınarak taşınmazın gerçek değerine en yakın değer tespit edilmesi amaçlanmış olsa da kamulaştırmayı yapacak idareye kendi bünyesinden en az üç kişiden oluşan kıymet takdir komisyonu kurulması yetkisi vermiştir. Ancak idarelerin bünyesinden oluşturulacak

kıymet takdir komisyonunun kimlerden oluşacağı veya hangi teknik yeterliliğe sahip olacağı konularına değinilmemiştir. Bu şartlarda oluşturulacak kıymet takdir komisyonu uygulamada da yanlış kıymet takdiri yaparak ilgili idareyi veya vatandaş ekonomik anlamda sıkıntıya sokmaktadır. Buna paralel olarak uzlaşma sağlanamadığından yargı yükü artacak ve süreç uzayabilecektir.

TANAP kapsamında Ankara ili Gölbaşı ilçesi Bağıcı Mahallesi ve Bala İlçesi Yörelî mahallelerinin tam sınırında boru hattı projesi geçmekte, birbirine bitişik muhtelif parseller yer almaktadır. Bu parsellerin konumu ve kıymet takdir komisyonunca belirlenen üst hakkı bedelleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Boru Hattının Geçtiği Farklı Mahallere Ait Bitişik Parseller

Şekil 6 incelendiğinde yaklaşık aynı konumda yer alan, topografyası benzer olan ve tarımsal niteliği aynı olan kısacası değerlendirme açısından aynı objektif kriterlere sahip olan farklı ilçelerdeki parsellerin kıymet takdiri incelendiğinde; Bala ilçesi Yörelî mahallesindeki 1 ve 2 numaralı parsellerin üst hakkı birim fiyatı 2.83 TL iken, Gölbaşı İlçesi Bağıcı Mahallesindeki 691 ve 692 numaralı parsellerin üst hakkı birim fiyatının 9.58 TL'dir. Aynı konumdaki aynı tarımsal özelliklere sahip benzer ürünlerin yetiştirildiği arazilerin kıymet takdiri arasında yaklaşık 3 kat fark olduğu görülmektedir. Burada görünen sadece tapu kaydına göre ilçe farkıdır. Ankara ilinde Gölbaşı ilçesi Bala ilçesine göre daha popüler bir ilçedir. Tapu kaydında Gölbaşı yazması aynı konumdaki parseller arasında özellikle tarımsal nitelikli bir arazide 3 kat

değer farkı oluşturmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

4.3. Hukuki Problemler

Boru hattı projelerinin kamulaştırma işlemlerinin önemli bir kısmını da hukuki işlemler oluşturmaktadır. Dolayısıyla hukuki işlemler gerçekleştirilirken de birçok problemle karşılaşmak mümkündür. Bu bölümde kamulaştırmanın hukuksal boyutuyla ilgili problemlere yer verilmiştir.

4.3.1. İdari şerh (KK. 7. Md.) süre problemi

7. Madde ile idare tarafından, şerh tarihinden itibaren altı ay içinde 10. maddeye göre "kamulaştırma bedelinin tespitiyle idare adına tescili isteğinde bulunulduğuna dair mahkemeden alınacak belge tapu idaresine ibraz edilmediği takdirde, bu şerh tapu idaresince resen sicilden silinir" denilerek idarelerin çok yavaş ve uzun süren kamulaştırma işlemlerinin yükünden kurtarılması ve şerh sebebiyle tasarrufu kısıtlanan vatandaşın mağduriyeti önlenmek istenmiştir (Çay ve Evren, 2007).

Ancak şerh den sonraki satın alma usulünde karşımıza çıkan uzlaşma komisyonunun belirlenmesi, tapu maliklerinin ve adreslerinin tespiti uzlaşma görüşmelerinin yapılması vs. süreçlerin tamamlanması çoğu zaman 6 ayı geçmektedir. Yani buradaki amaç gerçekleştirilememektedir. Ayrıca 7. madde şerhi olan bir taşınmazda tapuda yapılan bir işlemle malikin değişmesi durumu, tapu müdürlükleri tarafından, idarelere çoğu zaman hızlı bir şekilde bildirilememektedir. Bu şekilde bir gecikmede malikin değişmesi o taşınmaz için 8. madde sürecinin baştan yapılmasına sebebiyet vermektedir.

4.3.2. Uzlaşma görüşmelerinde pazarlık usulü ile satın almada karşılaşılan problemler

Kamulaştırma Kanununun 8. maddesinin 4 ve 5. bendi satın alma usulü ile vatandaşla görüşülerek rıza-en alınmasını öngörülmektedir. Ancak Yörelî ve Bağıcı örneğinde görüleceği üzere birbirine bitişik mahallelerde kamulaştırma bedelleri arasında çıkan fark Yörelî Mahallesindeki vatandaşların rıza-en alıma sıcak bakmamalarına sebep olmuştur. Yörelî Mahallesinde rıza-i alım oranı yüzde % 10'dur. Geriye kalan % 90 lık kısım

için ise Bedel Tespit ve Tescil Davası açılmak zorunda kalmıştır.

Burada başka sorunda yukarıda geçen 8. maddenin 4. Bendinde uzlaşmaya davet mektubu yazılırken ‘‘pazarlık’’ kelimesi geçtiği için bu ibare mektuba da zorunlu olarak yazılmaktadır. Oysa uygulamada Kamulaştırma Kanunu’ nun 8. maddesinin 5. fıkrasına istinaden kıymet takdir komisyonu tarafından belirlenen fiyat dışında rıza-i alım yapılamamaktadır. Uzlaşma görüşmelerinde vatandaş mektupta yazan ‘‘pazarlık’’ kelimesine istinaden serbest piyasa şartlarındaki gibi bir pazarlık yapılacağı algısına kapılmaktadır. Uzlaşma görüşmelerinde bu durumu, idarenin görevlendirdiği uzlaşma komisyonundaki kişiler vatandaşlara izah etmekte zorlanmaktadırlar.

4.3.3. Acele kamulaştırma dava sürecinde yaşanan problemler

Kamulaştırma Kanununun 27. maddesine istinaden açılan acele kamulaştırma davalarında, mahkemece yedi gün içinde tespit edilecek değer, idare tarafından mal sahibi adına bankaya yatırılarak o taşınmaz mala el konulmasını talep etmektedir. Acele kamulaştırma davasında belirlenen bedel bir nevi işlerin başlayabilmesi için teminat yerine geçecek bir bedel olup çok hızlı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Burada acele kamulaştırma sürecinin 10 ve 15. madde deki esaslar çerçevesinde yapılması 7 günlük sürenin uygulamada en az 1-2 ay sürmesine neden olmaktadır. Burada acele kamulaştırma işleminin amacının dışına çıkması anlamına gelmektedir. Bir nevi 10. madde uyarınca yapılan bedel tespit ve tescil davasında yapılan iş ve işlemlerin neredeyse tamamı acele kamulaştırma yargı sürecinde de yapılmaktadır. Bu durum boru hattı projelerinde binlerce parsel olduğu düşünüldüğünde aşırı bir yargı yükünü beraberinde getirdiği gibi yatırım projelerinin gecikmesine de neden olmaktadır. Konu ile ilgili olarak 11/11/ 2014 tarihinde talep edilen bir 27. madde davası 31/12/2014 tarihinde karar verilebilmiştir.

4.3.4. Bedel tespit ve tescil dava sürecinde yaşanan problemler

Kamulaştırma kanununun 10. maddesinde, bedel tespit ve tescil davasına başvurduktan sonra

mahkeme, başvuru tarihinden itibaren en geç otuz gün sonrası için duruşma gününü belirlemesi, bu duruşmada anlaşma sağlanamadığı takdirde en geç duruşma gününden 10 gün sonrası için keşif günü belirlemesi, bunun akabinde 30 gün sonrası içinde tekrar duruşma günü belirlenmesi gerektiğinden bahsetmektedir.

Kamulaştırma Kanunu’nun 10/2 maddesinde idarenin başvuru tarihinden itibaren en geç otuz gün sonrası için duruşma günü belirlenmesi öngörülmüşse de, idarelerce yapılan büyük çaplı kamulaştırmalarda, bazen yüzlerce taşınmaz için duruşmaya hazırlık işlemlerinin ve tebligat işlemlerinin yapılması anılan süre koşuluna uyulmasını güçleştirmektedir. Bu halde kanunda öngörülen süreyi kanunun amacını gözeterek, ‘‘en kısa süre’’ olarak algılamak ve kamulaştırma bedelinin tespiti ve tescil davalarını öncelikli olarak ele almak gerekecektir. Aksi halde alelacele yapılacak iş ve işlemler sonucu davanın sağlıklı bir şekilde görülmesi engellenecek; gereksiz emek, zaman ve parasal kayıplara yol açılacak ve kanunun öngördüğü amaca şekli nedenlerle ulaşılamamış olunacaktır (Karagöl, 2009).

4650 sayılı kanunla değiştirilmiş 2942 sayılı Kamulaştırma kanunu 10. maddesinde anlaşma sağlanamadığı takdirde bedel tespit ve tescil davasının kamulaştırmayı yapan idarece açılmasını öngörmüştür. Kıymet takdir komisyonunun belirlediği bedel parsel malikince kabul edilmeyip bedel tespit ve tescil davası yoluyla belirlenmesi durumunda mahkemece belirlenen bedel kıymet takdir komisyonunun belirlediği bedelden daha düşük olsa bile tüm dava giderleri kamulaştırma yapan idare tarafından karşılanmaktadır. Bu durum iki olumsuzluk sonucu doğurmaktadır.

- Boru hattı kamulaştırmaları yoğunlukla üst hakkı ve geçici irtifak şeklinde kurulduğundan kamulaştırma bedelleri mülkiyet kamulaştırması bedeli kadar yüksek bedeller olmamaktadır. Bu bedellerle dava masraflarını karşıladığımızda dava masraflarının belirlenen bedelden 10-15 katı veya daha fazla bir bedele karşılık geldiği uygulamada görülmektedir. Bir davaya ait mahkeme harcı, bilirkişi ücretleri, karşı taraf vekil tayin etmişse avukat vekalet ücreti, tebligat ücreti hesaplandığında 2019 yılı için

yaklaşık 5-6 bin TL' yi bulmaktadır. Malik sayısı arttığı takdirde bu rakam daha da fazlalaşmaktadır. Boru hattı projesi kapsamında muhtelif parsellere ait idarenin belirlediği 8. madde bedelleri(kıymet takdir

komisyonu), 27. madde bedelleri(acele kamulaştırma), 10. madde bedelleri(bedel tespit ve tescil davası) ve yaklaşık mahkeme masraflarının karşılaştırması yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Muhtelif parsellere ait idarenin belirlediği bedeller

İL	İLÇE	KÖY	ADA	PARSEL	İDARE (KIYMET TAKDİR KOMİSYONU)	27 MADDE (ACELE KAMULAŞTIRMA)	10. MADDE (BEDEL TESPİT VE TESCİL DAVASI)	YAKLAŞIK MAHKEME MASRAFLARI
ANKARA	GÖLBAŞI	A	115681	6	352.81 ₺	386.00 ₺	285.82 ₺	5,500.00 ₺
ANKARA	GÖLBAŞI	B	121398	40	108.08 ₺	117.45 ₺	79.00 ₺	6,000.00 ₺
ANKARA	GÖLBAŞI	C	121398	43	411.45 ₺	447.10 ₺	299.00 ₺	5,300.00 ₺
ANKARA	GÖLBAŞI	D	122751	11	186.37 ₺	203.07 ₺	96.57 ₺	5,500.00 ₺
ANKARA	GÖLBAŞI	D	122751	221	535.08 ₺	583.02 ₺	294.42 ₺	5,700.00 ₺
ANKARA	GÖLBAŞI	E	0	234	808.53 ₺	885.00 ₺	379.70 ₺	5,400.00 ₺

- 29. madde gereği dava sonucunda vatandaş haklıda çıksa haksızda çıksa veya bedel artsa da artmasa da vatandaştan hiçbir dava gideri ve avukat vekalet ücreti alınmadığından, piyasadaki serbest çalışan avukatlar kamulaştırma yapılan birimleri gezerek vatandaşa hiçbir ücret talep etmeyeceğini belirterek rıza-i alım yapılabilecek vatandaşları bile davaya ikna edip bu durumu kendilerine bir rant kapısı haline getirebilmektedirler. Dolayısı ile bu şekilde de idare maddi ve manevi olarak zarara uğratılmaktadır.

Kamulaştırma Kanunu'nun 15. Maddesine göre bilirkişilerce bedel tespiti o günün verilerine göre yapılmaktadır. Taşınmaz sahibi davayı bir üst mahkemeye taşıyarak temyize başvurduğunda bir üst mahkemede güncel verilere göre fiyatın tekrar belirlenmesi gerekliliğine vurgu yaparak kararı bozmaktadır. Konuyla ilgili olarak bir Yargıtay kararında kararın bozulması yönünde gerekçe '4650 Sayılı Kanunla değişik 2942 Sayılı kanunun 10. maddesi gereğince açılan tespit ve tescil davalarında değerlendirmenin; aynı kanunun 15/ son maddesi uyarınca dava tarihi itibari ile yapılması gerekir. Belirtilen nedenle; davacı idarenin usuli kazanılmış hakkı gözetilerek dava konusu taşınmaza dava tarihi olan 2015 verileri esas alınarak değer biçilmesi gerekirken, bu husus gözetilmeden 2014 yılı resmi verilerine göre değer biçen bilirkişi raporu doğrultusunda hüküm kurulması'' şeklindedir. Buradan da görüleceği üzere 2015 yılında görülen bir davada 2015 resmi verileri

henüz ortada olmadığından 2014 yılı verilerine göre hazırlanan bilirkişi raporu tespit ve tescil davasında alınan kararın bozulmasına sebep olmaktadır.

4.3.5. Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki arazilerin edinimi ve bir idareye ait taşınmaz malın diğer idareye devrinde yaşanan problemler

2942 Sayılı Kamulaştırma Kanunu'nun 30. maddesi, devletin hüküm ve tasarrufu altındaki arazileri devir işlemlerinde kamulaştırmayı yapan idare ödeyeceği bedeli belirterek mal sahibi idareye başvuru yapar. Bu başvuruya 60 gün içinde cevap gelmezse idare Danıştay' a dava açar dava 2 ay içinde karar bağlanır. Taraflar bedelde anlaşamadığı takdirde Danıştay kararının tebliğ tarihinden sonra 30 gün içinde K.K. 10 madde esaslarına göre işlemlere devam edilerek bedel tespit ve tescil davası açılır.

Uygulamada genellikle ilgili kurumlar 60 gün içinde kamulaştırmayı yapan idareye cevap verememektedirler. Bunun sebebi ise burada da kamulaştırmayı yapan idarenin teklif ettiği fiyatları değerlendirecek bilgi ve beceride personel olmayışıdır. Ayrıca kurumlardaki personeller karar almada kendine bir güvensizlik içinde olduklarından sorumluluk almaktan kaçınmaktadırlar. Bu sebeple ikinci bir alternatif olan yargıya iş yüklemektedirler. Dolayısıyla 30. madde kapsamında da çoğu zaman devirler yargı kararıyla yapılabilmektedir. Zaten yoğun olan adliyelerdeki iş yoğunluğunu artırmak

suretiyle hem zaman hem de ekonomik anlamda gerek idare gerekse devlet zarara uğramaktadır.

4.3.5.1. Kamulaştırma hattının hazineye ait parselden geçmesi

Hazineye ait taşınmazların kamulaştırma kapsamında devri işlemleri defterdarlık veya mal müdürlükleri ile iliği idare arasında olmaktadır. Buralarda çalışan personel zaman zaman sürecin uzamasına sebep olmaktadır. Bu sebeple de genellikle kamulaştırma yapan idare ilgili kurumdan 60 gün içinde cevap alamadığı için Danıştay kanalıyla kamulaştırma işlemlerini sürdürmektedir.

4.3.5.2. Kamulaştırma hattının karayolundan geçmesi durumu

Kamulaştırma hattının karayollarını kestiği durumlarda da Karayolları Genel Müdürlüğüne ait taşınmazlar üzerine inşaat yapılması hususunda da mevzuat açısından bir takım sıkıntılar çıkmaktadır. Bu tür sıkıntılarda ancak yargı yolu ile çözüme kavuşturulmaktadır.

TANAP Projesi'nin karayoluna denk gelen kısımlarında müstakil ve daimi üst hakkı ve geçici irtifak hakkı için KK. 30. madde kapsamında karayollarına başvurulmuştur. Karayolları Genel Müdürlüğü, talep edilen üst hakkı ve geçici irtifak hakkının emniyet sahası içinde kalmaması ve yolun alt kısmından geçmesini sebep göstererek talebi 30. madde kapsamında karşılanamayacağını beyan ederek başvuruya olumsuz cevap vermiştir. Konu ile ilgili olarak Danıştay' a açılmış olup dava ile devir sağlanabilmektedir.

4.3.5.3. Kamulaştırma hattının demiryolundan geçmesi durumu

Kamulaştırma hattının demir yoluna denk gelmesi durumunda da yine 30. madde hükümlerince uygulamaya yön verilmektedir. TANAP projesinin hızlı tren hattıyla kesiştiği bölümler için 30. madde kapsamında TCDD(Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları) İşletmesi Genel Müdürlüğüne başvuru yapılmış ancak projenin geçişiyle ilgili detayları isteyerek süreç sürüncemede bırakılmış, olumlu cevap alınmadığı için Danıştay'a dava açmak zorunda kalınmıştır. Konu ile ilgili Danıştay kararında idarenin dava dilekçesine atıfta bulunulmuş olup dilekçedeki'' Müvekkil idare araziler ile ilgili her türlü proje ve detay çizimlerini davalı

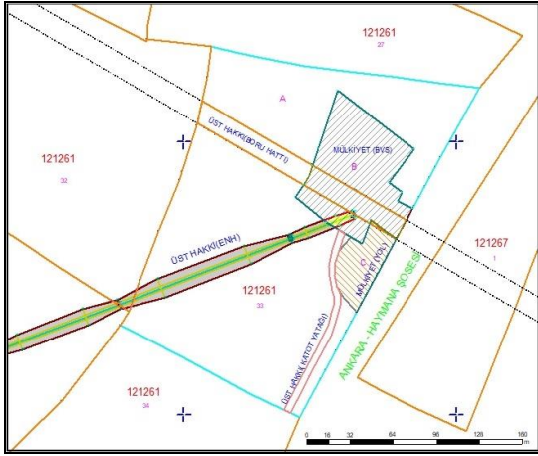
idareye sunulmuş olmasına rağmen davalı idaretarihli ...sayılı cevabi yazıda ''Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren hattına yapılacak dikey boru hattı geçişine ilişkin proje ve detay çizimlerle birlikte müracaat halinde gerekli çalışmalar yürütüleceğinden'' bahisle çelişkili cevap vererek söz konusu parsel için talep edilen 3 yıllık geçici irtifak talebine hukuki dayanaktan yoksun gerekçelerle muvafakat etmemiştir.'' ifadesi dikkat çekmektedir. Danıştay BOTAŞ lehine karar vermiştir.

4.3.6. Kısmi kamulaştırmada yaşanan problemler

Kamulaştırma işi, oldukça pahalı ve zor bir süreç olduğundan; kamu projeleri ya uygulanamamakta ya da planlanan sürede gerçekleştirilememektedir. Kamulaştırılan kısım amacı dışında kullanılmadığından kurumlar açısından kullanım esnekliği bulunmamaktadır. Projede amaç yalnızca taşınmazın ihtiyaç duyulan kısmının kamulaştırılması olduğundan hem parsel geometrisi bozulmakta, hem de örneğin hızlı tren projelerinde uzun mesafeler boyunca parselin iki tarafı arasında bağ koparılmaktadır. Böylece malik aleyhine zarara sebep olunmakta, çevre parsellerde oluşan değer artışlarının hem kamulaştırma maliyetlerini azaltacak hem de arazi spekülasyonunu engelleyecek şekilde bir mekanizmayla kamu ve malik yararına düzenleme anlayış ve öngörüsüne sahip olunmadığından, maliyetler yüksek seviyelere ulaşırken, mağduriyetlerde artmaktadır (Evren, 2012).

Bir taşınmaz malın kısmen kamulaştırılması durumunda, kamulaştırma dışında kısmın değerinde azalma olabilir veya dışta kalan kısım hiç bir işe yaramaz hale gelebilir. Bu durumlar genellikle kamulaştırma yapan idare ve vatandaş arasında problemlere yol açmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi kamulaştırmayı yapan idareler sadece işine lazım olacak kısmı kamulaştırmak istemektedir. Ancak vatandaşın bazen bir yatırım projesi yapmak(örneğin besi ahır, tavuk çiftliği gibi) için satın aldığı tarımsal nitelikli araziye kamulaştırma hattı denk gelebilmektedir. Bu durumda idareler, vasfi tarla olan bir arazinin kısmi kamulaştırma sonrası kalan kısmı ekilip biçilebileceği için almak istememektedir. Bu durumda

kamulaştırma işlemi vatandaşın kendi yatırım projesini iptal etmesine sebep olabilmektedir. Burada kalan kısmın değer kaybının hesaplanarak kamulaştırma bedeline eklenmesi de vatandaşın işini çözememektedir. Benzer bir duruma Şekil 7’de yer verilmiştir. Şekildeki 121261 ada 33 nolu parselin sahibi çiftlik yatırımı yapmak için satın aldığı arazisinden boru hattı geçmesi sebebi ile kendi yatırım projesinden vazgeçmek zorunda kalmıştır. Şekilden de görüleceği üzere B ve C ile gösterilen kısım blok vana istasyonu ve yolu için mülkiyet kamulaştırması, turuncu renkli hat boru hattı inşaatı için üst hakkı alanı ve ENH için üst hakkı vs. şeklinde parselin geometrisini bozacak şekilde kamulaştırma işlemleri yapılmıştır. Bunun yanında boru hattı, enerji nakil hattı ve vana istasyonu parseli yeni yapı yapılamaz hale getirmiştir.



Şekil 7. Kısmi Kamulaştırmada Parsel Geometrisi

Kısmi kamulaştırma yapılan bir taşınmazın, kamulaştırılan kısımdan artı kalan bölümü kullanılabilir halde değil ve yararlanılamayacak durumda ise, kalan kısım işlevini yitirdiği yani %100 değer kaybı olduğu için taşınmazın tamamen kamulaştırılması gerekir. Kamulaştırma Kanununun 12. maddesinin 5. fıkrasına göre; taşınmaz maliki, kamulaştırma işlemine karşı idari yargıda iptal davası açmaması halinde, kamulaştırma kararının kendisine tebliğinden itibaren 30 gün içinde idareye yazılı başvuru yapmak suretiyle, taşınmazın kalan kısmının da kamulaştırılmasını talep edebilecektir (md.12/4). Bu suretle yapılacak kamulaştırma, yeni bir işlem (kamulaştırma) olmayıp önceki kamulaştırmanın devamı niteliindedir. Bu bağlamda, Danıştay’ın verdiği bir kararda; “Bir kısmı kamulaştırılan taşınmaz

maldan artan kısmı yararlanmaya elverişli bir durumda değilse, kamulaştırma işlemine karşı idari yargıda dava açılmayan hallerde mal sahibinin en geç kamulaştırma kararının tebliğinden itibaren otuz gün içinde yazılı başvurusu üzerine, bu kısmın da kamulaştırılması zorunludur” hükmüne yer verilmiştir (URL 3).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kamulaştırmayı, devletin, kamu yararının gerektiği hallerde kamu gücünü kullanarak, özel kişilere ait taşınmazlara karşılığını ödemek suretiyle el koyması ve bunları kamu hizmetine sunması olarak nitelendirdiğimizde, mülkiyet hakkına zorla müdahale etmek gibi görünse de Anayasa ve yasalarda yer alması bakımından haksız bir fiil olmadığı Yargıtay kararlarında görülmektedir.

Kamulaştırma, her ne kadar anayasa ve yasalarda dayanakları bulursa da kişilerin malına bir bedel karşılığı el konulması olarak bakıldığında, maddi olarak insanlar tatmin edilmiş olsa bile (genelde tatmin olmak zorunda kalırlar), belki yüzyıllar öncesinde dedelerinden miras kalan arazinin kişilerin ellerinden zorla alınması manevi anlamda bir burukluk veya tatminsizlik oluşturmaktadır.

Kamulaştırmanın teknik sürecine bakıldığında problemlerin en büyük kaynağını kadaströ verilerinin sağlıklı olmamasından kaynaklandığı görülmektedir. Sadece kamulaştırma çalışmaları değil bu birimleri ilgilendiren kamusal projelerin hepsinde kadaströ verilerinin sağlıklı oluşu projelerin sürecini uzatmakla birlikte hem idare hem de vatandaş açısından ekonomik zararlara sebebiyet vermektedir. Bir an önce ülkenin tamamı için, iyi bir planlama ile maksimum verim, minimum maliyet olacak şekilde sayısallaştırma, 22/a uygulaması, toplulaştırma ve imar uygulamaları ile doğru ve güncel konum verilerinin oluşturulması çok büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde aynı bölgede farklı içerikteki uygulamaları kapsayan projelerin (22/a uygulaması, arazi toplulaştırması, kamulaştırma vs.) aynı sürece denk gelmesi projelerde süre açısından gecikmelere, bu gecikmelerde proje maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu gibi aksaklıkların önüne geçilebilmesi için kurumlar arası koordinasyon

merkezlerinin kurulması gerekli olup hayata geçirilecek projeler önem-maliyet ilişkisi göz önünde bulundurularak sıralama yapılmalıdır veya birlikte yürütülebiliyorsa ülke ekonomisine en yararlı olacak şekilde bütün tarafların en az mağdur olacağı bir yol haritası çizilmelidir.

Tapu sicilinin tutulmasında TAKBİS sistemine geçilmiş olması ülkemiz için çok önemli bir gelişmedir. Ancak kamulaştırma çalışmalarında bazı sorunlarla karşılaşıldığı ve kullanıcılarında sisteme tam olarak hakim olmadığı görülmüştür. TAKBİS' in ülkenin tüm ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde getirilmesi ve kullanıcıların sürekli eğitimlerle sistemi verimli bir şekilde kullanmaları sağlanmalıdır.

Ekonomik yatırım aracı olarak düşünülen taşınmazların değerlerinin tespiti zor olduğundan, özellikle ülkemizde aynı taşınmaza ait farklı değerler ile karşılaşılmaktadır. Bu değerler arasındaki farklılıklar giderilmelidir. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü teşkilatında "Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı" kurulmuştur. Bu düzenleme taşınmaz değerlendirme konusunda ülkemiz adına çok güzel bir gelişmedir. Ancak bir an önce içi doldurularak kuruluş amacına uygun ve verimli bir hale getirilmelidir. Ayrıca, ülkemizde kamulaştırma yapan kurumların çoğunda taşınmaz değerlendirme konusunda uzman kişiler bulunmamaktadır. Kamulaştırma Kanununda kıymet takdir komisyonunu oluşturacak kişilerin niteliklerine de yer verilmelidir.

Bedel tespit ve tescil davalarında Kamulaştırma Kanunu'nun 29. maddesi gereğince taşınmazı kamulaştırılan vatandaşın hiçbir dava ücreti talep edilmemektedir. Tüm yargı giderleri ve avukat vekâlet ücretleri kamulaştırma yapan idare tarafından karşılanmaktadır. Bu durum serbest çalışan bazı avukatların vatandaşı etkileyerek rıza-i alıma yaklaşmalarına sebep olmaktadır. Sadece kamulaştırma davalarına özel olarak asgari avukatlık ücreti(2019 yılı için yaklaşık 2700 TL) çok düşürülerek cazip olmaktan çıkarılmalıdır.

Kamulaştırma güzergâhı üzerinde gerek özel mülkiyete ait gerekse kamu mallarının edinimi yasal süreç içerisinde istenilen zaman diliminde gerçekleşmemektedir. Bunun en

büyük sebeplerinden biri Bedel Tespit ve Tescil davalarıdır. Ülkemizde kamulaştırma işlemlerinin yargı ayağında da ayrı bir uzmanlık alanı olması gerekmektedir. Yani nasıl bazı illerimizde Kadastro mahkemesi varsa Kamulaştırma Mahkemeleri de kurularak yargı ayağı da uzmanlaştırılmalıdır. Kamulaştırma mahkemeleri bünyesinde, Taşınmaz Değerleme Uzmanı, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi, Mimar, Şehir Plancısı, Ziraat Mühendisi ve kamulaştırma yapılacak birimin muhtarının da katılabileceği bir birim oluşturulmalı, davalar için gerekli bedel tespitlerini bu birim yapmalıdır.

Kamulaştırma Kanununun 27. Maddesine göre idarenin istemiyle mahkemece 7 gün içinde o taşınmaza el konulabilmesine rağmen, uygulamada bu süre 1-2 ay sürebilmektedir. Yatırımlarını gecikmemesi için Acele kamulaştırma işlemi 7 gün içinde tamamlanmalıdır.

Kamulaştırma Kanunu 30. madde kapsamına giren devletin hüküm ve tasarrufu altındaki arazilerin devri konusunda da 60 gün sınırı kaldırılmalıdır. Devir hemen yapılmalı bedel ise devir sonrasına bırakılmalıdır. İdari sorunlar için ise kurumlar arası koordinasyon merkezleri devreye girmelidir.

Boru hattı kamulaştırmaları çoğunlukla üst hakkı ve geçici irtifak şeklinde kurulmaktadır. İrtifak yüzölçümü küçük olduğundan dolayı çok küçük kamulaştırma bedelleri belirlenmektedir. Ancak, bu tür taşınmazlar için açılan davalarda dava masrafları kamulaştırma bedellerinden çok fazla çıkmaktadır. Böyle durumlarda kamulaştırmayı yapan idarelerce bedelde esneklik sağlayıp, taşınmaz sahiplerinin dava yolu yerine satın alma usulünü tercih etmeleri sağlanmalıdır.

Kısmi kamulaştırmalarda ise, geriye kalan kısım idare ve vatandaş açısından sorunlara neden olmaktadır. Burada geriye kalan kısmın kullanılıp kullanılmayacağı göreceli bir kavram olup idareler ve vatandaş arasında soruna neden olmaktadır. Vatandaş mağduriyetinin önlenmesi için çok kritik durumlarda taşınmazın tamamı kamulaştırılmalı, kurumun ihtiyacı dışında kalan kısım talep eden başka bir vatandaşa satış yapılabilir.

Kamulaştırma işlemi gerek hukuki gerekse teknik yönden birçok işlemi kapsayan uzun bir süreç ve çok maliyetli bir çalışmadır. Bu nedenle arazi içerikli bir kamusal projenin arazi ediniminde ilk olarak kamulaştırmaya başvurmak yerine daha az maliyetli ve vatandaşında kabul edebileceği, ihtiyaçlara en uygun çözümler oluşturabilecek, kırsal alanlarda arazi toplulaştırması projeleri, kentsel alanlarda ise imar ve kentsel dönüşüm projeleri yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Açlar, A. ve Çağdaş, V., (2002). Taşınmaz (Gayrimenkul) Değerlemesi, 1. Baskı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Akay, Y. ve Çiçek, Y., (2005). Uygulamalı Kamulaştırma Tekniği, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Aytaç, F., (1987). Kamulaştırma Ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar, Amme İdaresi Dergisi, Cilt: 20 Sayı: 2, Ankara.
- Ayten T. ve Çay T., (2012). Problems Occured from Nationalization of Long-distance Line Projects, FIG Working Week 2012, Rome, Italy,
- Berberoğlu, A., (2004). Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi Kararları Işığında Kamulaştırma Kavramı ve Türkiye Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Çağla H., İşcan F., ve Hekim B., (2016). Kamulaştırma Kanununun 27.Madde Uygulaması (Acele Kamulaştırma), Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi, Cilt:15,Sayı:1.
- Çay T., ve Evren N., (2007). Kamulaştırma Uygulamalarında Uzlaşma Başarımı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Çoban Atik , A., (2013). Kamulaştırmada Yargısal Denetim, Doktora Tezi, S.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Demirbaş, M., (2014). İstanbul İçme Suyu Havzalarında Uygulanan Kamulaştırma Çalışmalarının İdare Ekonomisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirel, Z., (2002), Kamulaştırma, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Dörtgöz, G. Ö., (2014). Yeni Tüzüğe Göre Tapu İşlemleri, Bil Ofset, Ankara.
- Erdin, E. O., (2010). Kamulaştırma Bilgi Sisteminin Oluşturulması: Musabeyli

Barajı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Eren, A., (2014). Türkiye’de Kamulaştırmaz El Atma Kavramı ve Davaları, Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Ergüven, Ö. C., (2013). Kamulaştırma Kanununa Göre Kamulaştırmada Satın Alma Usulü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Evren, N., (2012). Türkiye’de Kamulaştırma Çalışmaları İçin Alternatif Yaklaşımlar, Doktora Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Göktepe, H. S., (2010). Türk Hukukunda Kamulaştırma-Kamulaştırmaz El Atma ve Eşya Hukuku Yönünden Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Hayta M.A., (2007). Kamulaştırma Davaları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Karaman, B., (2015). Acele Kamulaştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Pehlivan, C., (2008). Kamulaştırmada Bedel Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İ.K.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Sert A., (2005). Kamulaştırma Amaçlı Arazi Toplulaştırma, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tepe, S., (2009). Kamulaştırma Ve Mülkiyet İlişkisinin İrdelenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Uzer, Z.Y., (2010). Kamulaştırma Uygulamalarında Hazine Arazilerinden Yararlanma Ve Sit Alanlarına İlişkin Uygulamaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yıldız, O., (2013), Türkiye Kadastrounun Mevcut Durumu Ve Çok Amaçlı Kadastroya Yönelik Yeni Yaklaşımlar, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL 1. Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Tanap) Arazi Ediniminde İlave Haklar Ve Ekonomik Destekler Bilgilendirme Broşürü. https://www.tanap.com/store/file/files/TANAP_AraziEdiniminde_ilavehaklar-DestekFonu_Brosuru_2017_web.pdf [Erişim Tarihi: 12.11.2018].
- URL 2. Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı Projesi Bilgi Notu, <https://www.tanap.com/store/file/common/81e3e4dc104e1717d6ad620de3752257.pdf> [Erişim Tarihi: 12.11.2018].
- URL 3. <https://tr.themisa.com/makale/414-kismi-kamulastirmada-yasanan-sorunlar> [Erişim Tarihi: 04.11.2018].

İmar Uygulamalarında Farklı Dağıtım Metotlarının Karşılaştırılması

Ramazan GÜNGÖR^{1*}, Şaban İNAM²

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci Meslek Yüksekokulu, Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı, Manisa
(ramazan.gungor@cbu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6338-8554

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(sinam@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8570-3076

Öz

Ülkemizde arsa düzenlemesi çalışmaları, düzenlemeye alınan her parselden yüzölçümü oranında kesinti esasına dayanmaktadır. Ancak, yapılan pek çok çalışma bu uygulama şeklinin doğruluğunu ve güvenilirliğini test etmektedir. Özellikle 3194 sayılı İmar Kanununun 18. maddesi uygulamalarında kadastro parselleri ile bu parsellere tahsis edilen imar parsellerinin değer ilişkisinin tutarsızlık göstermesi haksız kazanç ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada, arsa düzenlemeleri kapsamında düzenleme öncesi kadastro parsellerine farklı dağıtım metotları ile tahsis edilen imar parsellerinin alan-değer ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, ilgili kamu kurumlarından ve özel ofislerden grafik ve vektör veri temini sağlanmış ve analiz edilmiştir. Uygulamada, taşınmaz değerlerinin belirlenmesinde değer ile doğrudan ilişkili faktörler ve rayiç değerler kullanılmıştır. Elde edilen bu değerler ile imar uygulaması yapılmış ve dağıtım aşamasında incelenmiştir. Önerilen uygulama şeklinin geçerliliğinin kanıtlanması için mevcut uygulanan metot ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan analizler ve yorumlamalar sonucunda yürürlükteki imar uygulamasının adalet ve eşitlik olgularından uzak olduğu anlaşılmıştır. Taşınmazların parsel bazında birim değerlerinin belirlenmesi ve bu doğrultuda arazi ve arsa düzenlemesi (AAD) uygulamalarının yapılması, sorunların büyük oranda ortadan kalkmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: arsa düzenlemesi, dağıtım, değerlendirme, eşdeğerlilik,

Comparison of Different Distribution Methods in Readjustment Applications

Abstract

In our country, the land arrangement works are based on the deduction of the land area from each parcel, which is regulated. However, many studies have tested the accuracy and reliability of this application. Especially 3194/18. Clause applications, the discrepancy between the cadastral parcels and the value relationship of the parcels allocated to these parcels proves unfair gains. For these reasons, it is aimed to investigate the relationship between the area and value of the parcels allocated to the cadastral parcels with different reallocation methods. In this respect, graphics and vector data were obtained from the relevant public institutions and private offices and analyzed. In application, the factors directly related to the value and the fair values were used to determine the immovable values. A readjustment application was made with these values and examined during the allotment phase. Comparisons have been made with the method currently applied to prove the validity of the proposed method of administration. As a result of the analyzes and interpretations made, it is understood that the current readjustment application is far from the facts of justice and equality. Determination of unit values of real properties on the basis of parcels and in this direction, land and land arrangement applications, it will help to eliminate the problems to a great extent.

Keywords: Land regulation, Distributing, Valuation, Equivalence,

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir kentleşme modelinin kurulması; doğru yorumlanan, planlanan ve uygulanan arsa ve arazi üretiminin desteği ile sağlanabilir (Bovkır ve Aydınoglu, 2018). Bu doğrultuda, imar uygulamalarından beklenen sadece planlı yapılaşmayı temin etmek olmamalıdır. O bölgede yaşayan halkın ihtiyaçları doğrultusunda ulaşım, sosyal, kültürel, sağlık, çalışma vb. hizmetler sağlanmalıdır (Ünel, vd., 2017). Bu bir kazanım ölçütüdür. Zira bu hizmetlerin sağlanması için oluşturulan kaynak, taşınmaz sahipleri tarafından karşılanmaktadır (Koçak, 2009). Düzenlemeye tabi tutulan taşınmazlarda yapılan uygulamadan kaynaklı plana ve mevzuata uygun yapılanma şartları sağlanmaktadır. Bu durum, taşınmazlarda değer artışına neden olacaktır. Ancak 3194 sayılı İmar Kanununda açıkça belirtilen yerlerin sağlanması için bir alan kesintisi uygulanır (Aksoy, 2013). Düzenleme ortaklık payı (DOP) ile her parselden düzenlemeye giren alan oranında kesinti yapılmaktadır. Bu kesinti, imar planlarının uygulanması ile parsel bazında ortaya çıkan değer artışı miktarına karşılık gelmektedir. Ancak, bu kesinti miktarı her parselde aynı oranda olmasına karşın düzenleme sahasında oluşan değer artışını eşit miktarda karşılayamamaktadır (Gökce, 2014). Oysaki mevcut kadastro parselinin yapısı imar planları ile arsa ve arazi düzenlemesi kapsamında değişime uğrayacaktır. Düzenlemeye alınan parsellerin sadece geometrik durumları değil, hukuki durumlarına ait ekonomik faktörlerde de iyileştirme meydana gelecektir. İmar uygulamaları ile taşınmazlarda sadece sınır ve mülkiyet değişikliği yapılmamaktadır. Bu nedenle düzenlemeye giren her parsel özelinde ortaya çıkan artış, eşit oranda tüm sahaya dağıtılamaz. Mevcut uygulanan yöntemde imar parsellerine dağıtımı gerçekleşen kadastro parsellerinin kesinti oranı düşüldükten sonraki alanı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir. Ancak düzenleme öncesi parsellerin değeri ile tahsis edilen imar parsellerinin değeri belirlenmeli

ve aynı değerde yer sağlanıp sağlanmadığına dikkat edilmelidir. Aksi halde yapılan uygulamalarda adaletsiz durumlar ortaya çıkmaya devam edecektir. Örneğin, bir düzenleme sahasında yer alan iki farklı adanın imar planı özellikleri incelendiğinde, farklı yapılaşma koşulları ortaya çıkabilir. Bu adalarda yer alan parsellerin plan sonucu oluşan değer artışından aynı oranda etkilendiğinden söz edilemez (Yalçır ve Ekiz, 2017). Bu durum imar uygulamalarında haksız kazanç ortaya çıkarmaktadır (Yılmaz ve Demir, 2017). Özellikle kentsel alan yönetim faaliyetleri kapsamında arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler, idari düzenlemeler, kadastro planlamaları gibi görevler arazi özelliklerine dikkat edilmesi gereken görevlerdir (Zeng ve Cleon, 2018). Bu durum dikkate alınmaz ise özellikle tarım arazisi olarak kullanılan alanlarda arazi kullanım kararları ile ilgili var olan tartışmalar sürecektir, kırsal karakterin korunması yönünde oluşan algı toprak politikalarının sürekli eleştirilmesine neden olacaktır (Arendt, 2014; Hawkins, 2014; Mohamed, 2017).

Ülkemizde uygulanan arsa düzenlemesi çalışmalarında dağıtım işlemi, parsellerin yüzölçümü oranında yapılan kesinti sonrası kalan miktar üzerinden yapılmaktadır. Ancak düzenlemeye giren parsel değerleri birbirinden farklı olduğu gibi düzenleme sonrası oluşan imar parsel değerleri de birbirinden farklıdır. Düzenlemeye alınan kadastro parsellerinin imar planlarıyla ortaya çıkan değer artışı miktarından eşit oranda faydalanması için dağıtım işlemlerinin 'oran' yerine 'değer' esas alınarak yapılması gerekmektedir (Yıldız ve vd., 2008). Ülkemizde uygulanmaya çalışılan arsa ve arazi düzenlemelerinin tek eksiği dağıtım aşamasında değer eşitliğini esas alan yöntemin eksikliğidir (Omar, 2013). Mevcut uygulanan yöntemde göre özellikle parsellerin yeni baştan dağıtım aşamasında, nesnel değerlendirme yöntemlerinin kullanılmaması pek çok itiraza neden olmaktadır. Ortaya çıkan sorunlar göz önüne alınarak arazi ve arsa düzenlemesi (AAD) uygulamaları yeniden dağıtım aşamasında düzenleme öncesi (DÖ) ve düzenleme sonrası (DS) parsel birim

değerleri, değeri etkileyen katsayılar ile çarpılarak konu taşınmazın değeri belirlenir (Nişancı, 2005). Düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası parsellerin nominal değerlerinin, yani değere etki eden faktörlere göre değer hesabının yapılmasında aşağıdaki matematiksel model kullanılır (Yomralıoğlu, 1992).

$$V = \text{Parsel Alanı} * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (V_{ij} * W_j) \quad (1)$$

(i = 1,2,.....,n), (j = 1,2,.....,n), V : Parsel toplam değeri, v : Faktör Puanı, w : Faktör ağırlığı, k : Toplam faktör sayısı, n : Parsel sayısı

3. BULGULAR

3.1.Düzenleme Öncesi ve Düzenleme Sonrası Parsel Değerleri

AAD çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en kritik nokta, dağıtım aşamasının bir modele oturtulmasıdır. Dağıtım aşaması ile ilgili modellemede “eşdeğerlilik” ilkesi benimsenecekse, bu yöntem bir değerlendirme sistemi ile bütünleştirilmelidir (Köktürk ve Köktürk, 2009). Değerleme işlemi sırasında taşınmazı ilgilendiren değer faktörleri seçilirken objektif unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır (Swango, 2016). Özellikle değerlendirme aşamasında taşınmaz ile ilgili fiziksel, sosyal, ekonomik ve hukuki durumlar ön planda tutulmalıdır (Droj ve Droj, 2015). Taşınmaz değerini etkileyen değişkenler ve bu değişkenlere ait ağırlık katsayıları kullanılarak hem düzenleme öncesi mevcut kadastro parsel değerleri hem de düzenleme sonrası oluşan imar parseli değerleri hesaplanmıştır. Değer hesaplamalarında kullanılan faktörler, hem katılım parselleri hem de dağıtım parselleri için kullanılmıştır. Değerleme aşamasında, hesaplama işlemi (Yomralıoğlu, 1992)'nin belirlediği yöntem ve değişkenlere ait (İnam, 1993)'in belirlediği ağırlık katsayıları esas alınarak yapılmıştır. Değeri etkileyen değişkenlerin önem sırası ve değere katkısı literatürde anket çalışmaları ile açıklanmıştır (Yomralıoğlu, 1992; Bender vd., 2000; Kryvobokov, 2005; Nişancı, 2005; Yalprı, 2007; Çakır ve Sesli, 2013).

Tablo 1. Değer Faktörü Katsayıları (İnam, 1993).

Faktör	Katsayı
Topoğrafya Durumu	65,30/1930
Yola Çıkış	77,60/1930
Parselin Geometrik Durumu	80,60/1930
Kamu Hizmetlerinin Olup Olmadığı	88,00/1930
Çevre Faktörü	81,40/1930
Anayola Olan Uzaklık	60,00/1930
Parsel Toprağının Cinsi	86,20/1930
Zeminde Var Olan Kaynaklar	77,10/1930
Parselin İmar Durumu	75,10/1930
Parsel Hisse Sayısı	62,50/1930
Bulunduğu İmar Ada İçi Konumu	75,40/1930
Parselin Verimli Kullanım Alanı	78,20/1930
Parsel Bakı/Cephesi	70,30/1930
Şehir Merkezine Uzaklık	69,00/1930
Şehrin Suç Oranı Yüksek Merkezlerine Olan Uzaklık	76,50/1930
Eğitim Merkezlerine Uzaklık	79,30/1930
Alış-Veriş Merkezlerine Olan Mesafesi	78,30/1930
Sağlık Servislerine Olan Uzaklık	82,60/1930
Yeşil Alana Olan Mesafesi	68,40/1930
İbadet Merkezlerine Uzaklık	61,20/1930
Tren Garına Uzaklık	56,30/1930
İtfaiyeye Olan Uzaklık	61,40/1930
Güvenlik Merkezlerine Olan Uzaklık	61,40/1930
İzin Verilen Yapı Yüksekliği Veya Kat Sayısı	42,10/1930
Gürültü Yüksekliği(Db)	74,30/1930

Katılım parselleri için; parselin imar durumu, parsel hisse sayısı, parsel toprağının cinsi, zeminde var olan kaynaklar, anayola olan uzaklık, parselin geometrik durumu, kamu hizmetlerinin olup olmadığı, yola çıkış, topoğrafya durumu, çevre faktörü gibi değişkenlere dikkat edilmiştir.

Dağıtım parselleri için; gürültü yüksekliği(db), izin verilen yapı yüksekliği veya kat sayısı, topoğrafya durumu, yeşil alana olan mesafesi, alış-veriş merkezlerine olan mesafesi, parsel toprağının cinsi, anayola olan mesafesi, parselin geometrik durumu, parsel bakı/cephesi, parselin verimli kullanım alanı, bulunduğu imar ada içi konumu, tren garına, ibadet merkezlerine, eğitim merkezlerine, şehrin suç oranı yüksek

merkezlerine, şehir merkezine, güvenlik merkezlerine olan mesafeleri değişkenlerine dikkat edilmiştir. Ayrıca, aynı taşınmazların kadastro ve imar parseli nominal değerleri ve rayiç değerleri hem birim hem de toplam olarak iki ayrı sınıfta hesaplanmıştır (Tablo 2, Tablo 3).

Tablo 2. Farklı Metotlar İle Hesaplanan Kadastral Parsel Değerleri

Kadastral Parselleri		Ada/Parsel	Değer
Nominal Değer	Min. Birim Değ.	362/5	13,62
	Max. Birim Değ.	362/62	28,01
	Min. Değer	362/5	2120,26
	Max. Değer	362/1	417807,58
Rayiç(TL) Değeri	Min. Birim Değ.	362/5	14,00
	Max. Birim Değ.	362/57	24,00
	Min. Değer	362/5	2177,37
	Max. Değer	362/1	403358,30

Tablo 3. Farklı metotlar ile hesaplanan imar parsel değerleri

İmar Parselleri		Ada/Parsel	Değer
Nominal Değer	Min. Birim Değ.	107/15	31,00
	Max. Birim Değ.	101/1	39,65
	Min. Değer	107/9	3368,18
	Max. Değer	108/21	22236,36
Rayiç(TL) Değeri	Min. Birim Değ.	106 ve 107 ada parselleri	85,00
	Max. Birim Değ.	109, 110 ve 111 ada parselleri	105,00
	Min. Değer	107/9	9024,54
	Max. Değer	108/21	62932,50

Kadaastro ve imar parsel değerlerinin kendi içinde değişkenlik göstermesinin nedeni, her parsel özelinde farklılık gösteren değer faktörleri, ağırlık katsayıları ve parsellerin konumları ile açıklanabilir.

3.2 Alan ve Değer Bazlı Dağıtım Uygulamalarının Kıyaslanması

Alan tahsisine dayanarak uygulanan imar parseli üretimi (parselasyon) çalışmalarının amaçlarından bir tanesi de, düzenleme öncesi 1/1 oranında hisseye sahip mülkiyet oranının

korunması ve aynı, tam mülkiyet hissesine sahip imar parseli dağıtımını yapılmasıdır. Yapılan uygulama kapsamında asgari ölçüde imar parseli boyutlarını sağlayan kadastro parsellerine karşılık tam mülkiyette imar parseli tahsisi yapılmıştır. Ancak bu boyutların sağlanamadığı durumlarda hisseli parsel tahsisi yapılmıştır.

İmar uygulaması çalışmalarında değer eşitliğini esas alan modelin uygulanabilmesi için DÖ kadastro parselleri ve DS imar parselleri değerinin bir değerlendirme yaklaşımı ile tayini gerekmektedir (İspir, 2006). Bu amaçla, çalışma sahasında öncelikle tahsise göre parsel üretimi gerçekleştirilmiştir. Dağıtım aşamasında düzenlemeye katılım gösteren parsellere eşdeğer yerlerden imar parseli verilmiştir. Ancak katılım parselleri yüzölçümlerin oldukça büyük olması ve hissesiz/müstakil mülkiyette parseller olması düzenleme sonrası hisseli parsel sayısının artmasına sebebiyet vermiştir. Tahsise göre yapılan ve alan kesintisi esas alınarak uygulanan yöntemde daha az hisseli parsel üretilmiştir. Bu durumun oluşmasının temel sebebi ise kadastro parsellerinin kendi değerinde alanlara dağıtımının yapılmasıdır.

Eş oranlı kesinti uygulamasına göre kadastro parsellerine tahsisi yapılan imar parseli alanları farklılık göstermektedir (Tablo 4). 3194 sayılı İmar Kanununun 18. madde uygulamasında, düzenlemeye giren her parselden eşit oranda kesinti miktarı amaçladığından, parsellerin yüzölçümleri oranında %37 düzenleme ortaklık payı kesintisi yapılmış ve kalan alan üzerinden dağıtım işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca düzenleme sahası sınırları içerisinde yer alan resmi kurum hizmet alanı kapsamında her parsel %2 oranında bu alana hisselendirilmiştir. Taşınmaz değerleri esas alınarak yapılan uygulama metodunda ise, önce nominal değerlere göre sonrasında taşınmazların rayiç değerlerine göre dağıtım parselleri tahsisi yapılmıştır. Mevcut/yürürlükteki arsa ve arazi düzenlemesi şekli ile iki farklı değerlendirme yaklaşımı kullanılarak yapılan uygulamalar arasında özellikle dağıtım aşamasında farklılıklar belirlenmiştir. Düzenleme kapsamında 'alan' esas alınarak yapılan uygulama şeklinde düzenlemeye katılım gösteren her parselden aynı düzenleme

ortaklık payı oranında alan kesintisi yapıldığı; fakat değer eşitliğini esas alan uygulamalarda bu oranın parsel özelinde farklılık gösterdiği saptanmıştır. Bu farklılığın oluşma nedeni ise kadastro parselleri ile bu parsellere tahsis edilen imar parselleri değerlerinin denkleştirilmesidir. Düzenlemeye alınan bir parsel ile dağıtım yapılan parsel değerlerinin farklılaşması, bu parselde yapılacak kesinti oranını doğrudan etkilemektedir. Yani, bir kadastro parseline kendi değerinden daha fazla değerde alan tahsisi yapılır ise bu oran artacaktır. Tam tersi durum da söz konusudur. Yapılan analizler sonucunda bazı kadastro parselleri ile tahsis edilen imar parseli değerleri birbirine yakınken, bazı parsel değerleri de oldukça farklıdır. Eş oran esasına göre tahsis edilen alan ile nominal değerlendirme yöntemi yardımı ile hesaplanan değerler kullanılarak tahsis edilen alan arasındaki fark 877,49 m² dir. Yine eş oran esasına göre tahsis edilen alan ile taşınmazların rayiç değerleri üzerinden tahsis edilen alan miktarı arasında ki fark 917,05 m² dir. Yani, her iki karşılaştırma şeklinde de alan bazlı uygulamada daha az alan tahsisi yapılmıştır. Değer eşitliğini esas alan iki yöntemin tahsis miktarları karşılaştırıldığında, bu miktar 39,56 m² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçtan da anlaşılıyor ki, imar uygulamaları dağıtım aşaması değer eşitliğini esas alan yöntemlere göre uygulanmalıdır. Örneğin; düzenleme sınırı içerisinde yer alan 362 ada-1 numaralı kadastro parseline “eş oran” esasına göre yapılan dağıtımda düzenleme ortaklık payı düşüldükten sonra 12.640,69 m² alan tahsis edilmiştir. Ancak bu alan, nominal yöntemle göre yapılan uygulamada 12.830,31 m², rayiç değerlere göre yapılan uygulamada 12.489,37 m² olmuştur. Yani 362 ada- 1 numaralı kadastro parseline nominal değer (değeri etkileyen faktörler) uygulamasında 189,62 m² fazla alan tahsisi yapılırken, rayiç değerlere göre yapılan uygulamada 151,32 m² eksik alan tahsisi yapılmıştır. Bu farklılığın oluşmasının nedeni ise, dağıtım aşamasında verilen imar parseli değerlerinin farklılık göstermesidir. Yine aynı parsel üzerine yapılacak inşaat taban alanı incelendiğinde alan farklılıkları söz konusu olacaktır.

Düzenlemeye giren kadastro parsellerine düzenleme sonrasında, değerine eşit imar parseli tahsisi yapılabilmesi için DOP gibi her parselden eşit oranda kesinti esasına dayanan kavramdan uzaklaşılması gerekir. Çünkü yapılan uygulamada her kadastro parseli, dağıtım yapılan imar parseli değeri özelinde bir kesintiye uğramıştır. Bu nedenle, her parselde ortaya çıkan kesinti miktarı farklılık göstermektedir. Nominal yöntem ile yapılan uygulamada minimum kesinti oranı 62 numaralı parselde 0.14, maksimum kesinti oranı 5 numaralı parselde 0.60 oranında olmuştur. Bu oranların değişiklik gösterme nedeni, değer olarak eşitsizliklerin oluşmasıdır. Ayrıca taşınmazların rayiç değerlerine göre yapılan uygulamada minimum kesinti oranı 66 numaralı kadastro parselinde 0.28 iken, maksimum kesinti 6 numaralı parselde 0.56 olmuştur. Yapılan hesaplamalar neticesinde kadastro parselleri ile bu parsellere tahsis edilen imar parselleri değerleri arasındaki fark arttıkça veya azaldıkça yapılacak kesinti oranı da aynı oranda artacak veya azalacaktır.

Yürürlükteki mevzuat gereğince yapılan imar uygulaması yönteminde, düzenlemeye giren kadastro parsellerinden yapılan eş oranlı alan kesintisi, düzenleme sonrasında oluşan değer artışını her parsel için aynı oranda karşılamamaktadır. Düzenleme sonrasında üretilen ve kadastro parsellerine tahsis edilen imar parseli alanı, sahip olduğu değere göre dağıtılmalıdır. Bu nedenle, ‘eş oran’ esasına göre yapılan dağıtım, taşınmaz mülkiyeti açısından adaletli bir yöntem değildir. Yapılan çalışma da göstermiştir ki, dağıtım aşamasında uygulanacak faktörler “değer” faktörleri olmalıdır. Dağıtımda esas alınacak değer ise kadastro parselleri birim değeridir.

Tablo 4. Tahsise göre yapılan dağıtım ile değere göre yapılan dağıtımda uygulanan kesinti miktarları

Ada	Parsel	Hisse	Katılım Parseli Alanı(m ²)	Eş oranlı Kesinti Yüzdesi (Alan Esaslı)	Nominal Değerleme Kesinti Yüzdesi (Değer Esaslı)	Rayiç Değer(TL) Kesinti Yüzdesi (Değer Esaslı)	Eş oranlı Kesinti Miktarı (Alan Esaslı)	Nominal Değerleme Kesinti Miktarı	Rayiç Değer(TL) Kesinti Miktarı (Değer Esaslı)	Fark(8-9) m ²	Fark(8-10) m ²	Fark(9-10) m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
362	61	1	4852,91	0,37	0,33	0,29	1772,15	1582,23	1418,33	189,91	353,82	163,91
	62	1	5028,86	0,37	0,14	0,29	1836,40	680,90	1469,75	1155,50	366,65	-788,85
	63	1/4	1018,73	0,37	0,55	0,29	372,01	562,00	297,74	-189,99	74,27	264,26
		1/4	1018,73	0,37	0,51	0,29	372,01	524,62	297,74	-152,61	74,27	226,89
		1/4	1018,73	0,37	0,50	0,29	372,01	514,45	297,74	-142,44	74,27	216,71
		1/4	1018,73	0,37	0,50	0,29	372,01	504,43	297,74	-132,41	74,27	206,69
	64	1/3	1443,41	0,37	0,39	0,29	527,09	565,24	421,86	-38,14	105,24	143,38
		1/3	1443,41	0,37	0,43	0,29	527,09	618,76	421,86	-91,67	105,24	196,90
		1/12	360,85	0,37	0,39	0,29	131,77	141,83	105,46	-10,06	26,31	36,37
		1/12	360,85	0,37	0,39	0,29	131,77	140,48	105,46	-8,71	26,31	35,02
		1/12	360,85	0,37	0,39	0,29	131,77	139,30	105,46	-7,52	26,31	33,83
		1/12	360,85	0,37	0,39	0,29	131,77	138,93	105,46	-7,16	26,31	33,47

3.3. Denkleştirme Bedellerinin Belirlenmesi

Eş oranlılık esasına göre yapılan imar uygulaması yaklaşımı ile iki farklı değerlendirme (Nominal ve Rayiç değer) yaklaşımı kullanılarak yapılan kentsel alan düzenleme çalışmasında katılım parsellerine tahsisi yapılan imar parselleri değerleri ve tahsis sonucu ortaya çıkan değer farklılıkları incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, tahsis edilen imar parselleri değerine göre adaletsiz bir dağıtım uygulaması yapıldığı kanısına varılmıştır. Düzenleme sonrası oluşan imar parseli değerlerinde düzenleme öncesi parsel değerlerine göre artış söz konusu olmuştur. Bu durum, düzenlemeden dolayı sağlanan hizmet alanları, parsel biçimi vb. nedenlerle açıklanabilir. Bu değer artışı, kuramsal bir değer artışı olup mülkiyet hakkının korunması amacıyla düzenleme öncesi parsel katılım değerine denkleştirilmelidir. Bu amaçla, hem nominal yöntem için hem de rayiç değerler için bir “p” katsayısı hesaplanmıştır. Değeri etkileyen değişkenlere göre ortaya çıkan kuramsal nominal değer artışı $p_N = \%105$ (1,0477), Rayiç değerler kullanılarak ortaya çıkan kuramsal değer artışı $p_T = \%310$ (0,3096) oranında belirlenmiştir. Hesaplanan bu katsayılar, kendi uygulama yöntemi özelinde katılım parseli

değeri ile çarpılarak kuramsal paylar hesaplanmıştır. Kadastro parsellerinin tahsis edildiği imar parseli tahsis değerleri ile kuramsal pay değerleri karşılaştırıldığında, kadastro parsellerine eksik veya fazla değer alan tahsisi sağlandığı görülmüştür. Bu nedenle, dağıtımdan dolayı ortaya çıkan değer farklılaşmasının düzenlemeyi yapan kurum veya yaptıran malik tarafından karşılanması için denkleştirme bedelleri ödenmelidir (Tablo 5).

Tablo 5. Tahsis edilen parseller için TL denkleştirme bedelleri

KATILIM(KADASTRO)					KURAMSAL		TAHSİS (İMAR)					
1	2	3	4	5=3*4	6=5*q _N	7=6-5	8	9	10	11=9*10	12=11-6	13
Malik	Ada/Parsel (362 ADA)	Alan(m ²)	Birim Değer(TL/ m ²)	Katılım Değeri(TL)	Pay(TL)	Fazla Değer(TL)	Ada/Parsel	Alan (m ²)	Birim Değer (m ² /TL)	Tahsis Değeri (TL)	Fazlalık veya Eksiklik (TL)=11-6	Denklik Bedeli (TL)=11-5 veya 7+12
M	6	3531,94	14,00	49447,22	153105,77	103658,55	105/17	99,71	100,00	9970,90	66091,77	169750,31
							105/18	262,26	100,00	26225,50		(169750,31)
							105/19	254,02	100,00	25401,90		
							105/20	245,99	100,00	24599,10		
							105/21	238,14	100,00	23814,30		
							105/22	229,93	100,00	22992,70		
							105/23	221,90	100,00	22189,80		
							105/24	213,87	100,00	21386,90		
							105/25	302,92	100,00	30292,20		
							106/1	144,99	85,00	12324,24		
								Toplam=		219197,54		

4.SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışma, Manisa ili Demirci ilçesinde seçilen bir sahada arsa düzenlemesinin farklı metotlar ile gerçekleştirilmesini ve dağıtım ilişkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Alan esasına göre uygulanan yöntemde her parselden %37,68 oranında kesinti yapılırken nominal değerlendirme yaklaşımında bu oran her parsel özelinde farklı olmakla birlikte ortalama %37,64, rayiç değerlere göre yapılan uygulamada ortalama %35,02 dir. Alan ve rayiç değer esasına göre yapılan yöntem ile dağıtım yapılan parsellerden 265 adet müstakil parsel tahsisi sağlanırken nominal değerlendirme yaklaşımında bu sayı 262 olarak belirlenmiştir. Dağıtım işlemi sırasında alan esaslı yöntem ve nominal değerlendirme yaklaşımına göre yapılan karşılaştırmada toplam 104.287,13 ND denkleştirme bedeli hesaplanırken, alan esaslı ve rayiç değere göre yapılan dağıtımın karşılaştırmasında 4.534.820,67 TL denkleştirme bedeli hesaplanmıştır. Ayrıca düzenleme ortaklık payı kapsamında değerlendirilecek genel hizmet alanları için toplam 39779,12 m² alan kullanılmıştır. Kesinti yapılan bu alanın düzenlemeye giren tüm parsellere rayiç değer olarak dağılımı -46322,76 TL dir. Bu fark nominal değerlendirme yaklaşımına göre incelendiğinde -10594,92 ND dir. Yani DOP, rayiç değere ve nominal değere göre yapılan uygulamalarda hesaplanan değerlerde mal sahiplerini kârlı çıkarmıştır. Arazi ve arsa düzenlemesi çalışmalarında değer eşitliğini esas alan modelin kullanılması, düzenlemeden

dolayı oluşan özel çıkarların birbirine eşitlenmesini sağlayacaktır. Özellikle dağıtım aşamasında ortaya çıkan istisnai durumlar, tahsise göre alan uygulamalarının sağlıklı bir şekilde yürütülmesini güçleştirmektedir. Çünkü uygulama sürecinde parsel bazında ortaya çıkan değişiklikler, mülkiyetin içeriğini ve sınırlarını belirlemektedir. Diğer bir ifadeyle, hukuki değişiklikler malik bilgilerinde değil, nesnel mülkiyet hakkında yapılmaktadır. Böylelikle düzenleme sınırı içerisinde kalan saha veya saha içerisinde yer alan bir katılım parseli amacına uygun olarak hazırlanmış bir plana göre biçimlendirilmektedir. Planda öngörülen yapısal kullanım için katılım parselleri maliklerinin, dağıtım kütesindeki hakları veya payları düzenlemeden önce belirlenmelidir. Bu durumun sağlanması ise düzenleme öncesinde parsellerin birbirlerine karşı olan değer oranlarının veya farklılıklarının ortaya koyulması ile oluşacaktır.

Kentsel alan düzenleme çalışmalarında değer eşitliğini esas alan modelin uygulanabilmesi için bu çalışmada kullanılacak değerlendirme yaklaşımlarının net bir şekilde ortaya koyulması ve yasal düzenlemeler ile kayıt altına alınması gerekmektedir. Seçilen pilot saha üzerinde yapılan çalışmadan da anlaşılmıştır ki, oran eşitliğini esas alan uygulama şeklinin dağıtım aşaması birçok problemi içerisinde barındırmaktadır. Uygulamanın dağıtım aşamasında hisseli parsel sayısının değer esas alınan yöntemlerde arttığı gözlenmiştir. Ancak bu durum değer olarak eşit tahsisin sağlandığı anlamına gelmemektedir. Çünkü eşit oranlı dağıtım

işlemi sırasında değer bir ölçüt olarak kabul edilmemektedir. Bu aşamada taşınmaz mülkiyeti ile ilgili teknik, hukuki ve fiili olarak doğru bir yöntem uygulaması sağlanamamaktadır. Arsa ve arazi düzenlemesi çalışmalarında taşınmaz değerini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen faktörler belirlenmeli bu doğrultuda uygulamalar yapılmalıdır. Bu nedenle, mevcut uygulanan sistemin en baştan değiştirilmesi, yerine uygulanma kabiliyeti olan ‘değer’ esaslı bir sistemin inşası gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, M., (2013). İmar Mevzuatı Ve Danıştay Kararları Çerçevesinde Arazi Ve Arsa Düzenlemesi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Arendt, Randall G., (2014). Clarifying the Conservation Subdivision Design Approach. Planetizen. (Erişim Tarihi:04.05.2018), <http://www.planetizen.com/node/67619>.
- Bender, A., Din, A., Hoesli, M., Brocher, S., (2000). Environmental preferences of homeowners, further evidence using the AHP method. *Journal of Property Investment & Finance*, 18(4), 445-55.
- Bovkir, R., Aydınoglu, A., C., (2018). Providing land value information from geographic data infrastructure by using fuzzy logic analysis approach. *Land Use Policy*, 78, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.040>
- Bünyan Ü., F., Yalpir, Ş., Gülnar, B., (2017). Preference Changes Depending on Age Groups of Criteria Affecting the Real Estate Value. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(2), 41–51. <https://doi.org/10.26833/ijeg.297271>
- Çakır, P., Sesli, A. F., (2013). Arsa Vasıflı Taşınmazların Değerine Etki Eden Faktörlerin Ve Bu Faktörlerin Önem Sıralarının Belirlenmesi *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(3), 1-16.
- Droj, L., Droj, G., (2015). Usage Of Location Analysis Software In The Evaluation Of Commercial Real Estate Properties. *Journal of Procedia Econ. Finance*, 32, 826–832.
- Frizzell, R., (1979). The Valuation of Rural Property, Lincoln College, New Zeland.
- Gökce, D., Salalı V., (2014). Kentsel Dönüşümde “Eşdeğerlik” İlkesinin Önemi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 55-65.
- Hawkins, Christopher V., (2014). Landscape Conservation Through Residential Subdivision Bylaws: Explanations for Local Adoption. *Landscape and Urban Planning*, 121, 141–48.
- İspir, G., (2006). İmar Uygulamalarında Değer Farklılıkları Ve Dağıtım İlişkileri, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- İnam, Ş., (1993). Kentsel Alan Düzenlemelerinde Alternatif Bir Uygulama Yöntemi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Semineri, Konya.
- Koçak, H., (2009). İmar Uygulamasında Düzenleme Ortaklık Payı, https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/213a8959a9a9658_ek.pdf (Erişim Tarihi:22.03.2019).
- Köktürk, E., Köktürk, E., (2009). Eşdeğerlik İlkesine Dayalı Arsa Düzenlemesinde Taşınmaz Değerlerinin Belirlenmesi. *HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(101): 10–17.
- Kryvobokov, M., (2005). Estimating the weights of location attributes with the Analytic Hierarchy Process in Donetsk. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, 2(2), 5-29.
- Mohamed, R., (2017). Why Might Developers Be Reluctant to Build Conservation Subdivisions? Insights from Spatial Regression Analysis. *Urban Affairs Review*, 107808741770999.doi:10.1177/1078087417709998
- Nişancı, R., (2005). CBS ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi Trabzon, 61 s.
- Omar, A., (2013). Kentsel Alan Düzenlemelerinde Alternatif Uygulama Yöntemleri ve Sonuçların Analizi, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 58 s.
- Swango, D., (2016). Land uses and value - resources on corridors, land use regulation and retail leases. *The Appraisal Journal*, 3(1), 151–162.
- URL_1: <https://webportal.demircibld.gov.tr/web/guest/5> (Erişim Tarihi:04.05.2019).
- Yalpir, Ş., (2007). Bulanık Mantık Metodolojisi İle Taşınmaz Değerleme Modelinin Geliştirilmesi Ve Uygulaması: Konya Örneği. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Konya, 20 s.
- Yalpir, Ş., Ekiz, M., (2017). Eşdeğerlik Esaslı Arazi ve Arsa Düzenlemesinde Analitik Hiyerarşi Prosesinin Kullanımı. *Ömer*

- Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1),59-75.
- Yıldız, F., Özkan, G., Yalçın, Ş., Yıldırım, H., Gökmen, A., Öztaş, M., (2008). Alan Düzenleme Ana Uygulama Esaslarının Belirlenmesinde Değer Eşitliğini Esas Alan Modellerin Uygulanması Üzerine Bir Araştırma. *HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 1(99):2, 5–14.
- Yılmaz, A.,Demir, H.,(2017). İmar Uygulamasında (3194/18) Değer Esası, Maliyet Karşılama ve Değer Kazanımı. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Yomralıoğlu, T., (1992). Arsa ve Arazi Düzenlemesi için Yeni Bir Uygulama Şekli, www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/2M5C_8240cb8235e9c49_ek.pdf (Erişim Tarihi:13.02.2019).
- Zeng, Z., Cleon, C. B., (2018). Factors affecting the adoption of a land information system: An empirical analysis in Liberia. *Land Use Policy*,73(1037),353–362.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.034>