

Harita Dergisi



Temmuz 2018
Sayı 160

ISSN 1300 - 5790

Bahadır B, Nohutçu M: **Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Çoklu-GNSS Kombinasyonlarının PPP Performansına Etkisi** (The Impact of Multi-GNSS Combinations on PPP Performance for Turkey and Its Surroundings)

Tonbul H, Kavzoğlu T: **Nesne Tabanlı Görüntü Analizinde Görüntü Bölütleme Yaklaşımları ve Bölütleme Kalitesinin Analizi** (Image Segmentation Approaches in Object-Based Image Analysis and Analysis of Segmentation Quality)

Algancı Ü: **Arazi Örtüsü Değişimlerinin Çok Zamanlı Landsat 8 Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi: İstanbul Örneği** (Determination of Land Cover Changes with Multi-temporal Landsat 8 Satellite Images: A Case Study of İstanbul)

Sertel E, Musaoğlu N, Alp G, Algan I. Y, Kaya Ş, Yüksel B, Yılmaz A: **1:25.000 Ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sistemi ile HGK TOPOVT Veritabanının Karşılaştırılması** (The Comparison of 1:25.000 Scale National Land Cover/Use Classification System with GCM TOPOVT Database)

Erten E, Çelik M. F, Şahin Z. M: **TANDEM-X Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması** (TanDEM-X Digital Elevation Model Generation)

Taşkın G: **Manifold Öğrenme Yöntemleri ile Hiperspektral Verilerin Sınıflandırmasında Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yöntemleri** (Difficulties and Solutions in Hypespectral Image Classification with Manifold Learning)

HARİTA GENEL KOMUTANLIĞI, ANKARA

www.hgk.msb.gov.tr



HARİTA DERGİSİ

Temmuz 2018

Yıl: 84 Sayı: 160

ALTI AYDA BİR YAYIMLANIR.
HAKEMLİ DERGİDİR.
YEREL SÜRELİ YAYINDIR.
YAYIN DİLİ TÜRKÇE-İNGİLİZCE'DİR.

Sahibi

Harita Genel Komutanlığı Adına
Tuğgeneral Osman ALP

Sorumlu Müdür

Harita Yük. Tek. Ok. K. İ. Ğı Adına
Müh. Alb. Caner KARABAY

Editörler

Müh. Alb. Erdem PARMAKSIZ
Müh. Yb. Selçuk CEYLAN

Yönetim Kurulu

Müh. Alb. Caner KARABAY (Bşk.)
Dr. Müh. Alb. Mustafa ATA
Müh. Alb. Hüseyin ÇELİK
Müh. Alb. Erdem PARMAKSIZ
Doç. Dr. Müh. Alb. Hasan YILDIZ

Yönetim Yeri Adresi

Harita Genel Komutanlığı
Harita Dergisi Yönetim Kurulu
Başkanlığı
06590 Cebeci / ANKARA

Tel (312) 595 22 22

Faks: (312) 320 14 95

e-posta: haritadergisi@hgk.msb.gov.tr

Basım Yeri

Harita Genel Komutanlığı Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

Bu dergide yayımlanan makaleler,
yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.

TÜBİTAK-ULAKBİM Mühendislik ve
Temel Bilimler Veri Tabanında
(TÜBİTAK MTBVT) taranmaktadır.

İ Ç İ N D E K İ L E R

Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Çoklu-GNSS Kombinasyonlarının PPP Performansına Etkisi (The Impact of Multi-GNSS Combinations on PPP Performance for Turkey and Its Surroundings)

Berkay BAHADUR
Metin NOHUTCU

1 - 11

Nesne Tabanlı Görüntü Analizinde Görüntü Bölütleme Yaklaşımları ve Bölütleme Kalitesinin Analizi (Image Segmentation Approaches in Object-Based Image Analysis and Analysis of Segmentation Quality)

Hasan TONBUL
Taşkın KAVZOĞLU

12 – 23

Arazi Örtüsü Değişimlerinin Çok Zamanlı Landsat 8 Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi: İstanbul Örneği (Determination of Land Cover Changes with Multi-temporal Landsat 8 Satellite Images: A Case Study of Istanbul)

Uğur ALGANCI

24 – 33

1/25.000 Ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sistemi ile HGK TOPOVT Veritabanının Karşılaştırılması (The Comparison of 1:25.000 Scale National Land Cover/Use Classification System with GCM TOPOVT Database)

Elif SERTEL
Nebiyе MUSAOĞLU
Gülşah ALP
Irmak YAY ALGAN
Şinasi KAYA
Bekir YÜKSEL
Altan YILMAZ

34 – 46

TANDEM-X Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması (TanDEM-X Digital Elevation Model Generation)

Esra ERTEN
Mehmet Furkan ÇELİK
Zehra Meltem ŞAHİN

47 – 54

Manifold Öğrenme Yöntemleri ile Hiperspektral Verilerin Sınıflandırmasında Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yöntemleri (Difficulties and Solutions in Hyperspectral Image Classification with Manifold Learning)

Gülşen TAŞKIN

55 – 62

Bilim Kurulu

Tuğgeneral Osman ALP (HGK)
Prof.Dr.Ahmet Tuğrul BAŞOKUR (AÜ)
Prof.Dr.Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr.Çetin CÖMERT (KTÜ)
Prof.Dr.Cevat İNAL (SÜ)
Prof.Dr.D.Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof.Dr.Fatmağül KILIÇ (YTÜ)
Prof.Dr.Ferruh YILDIZ (SÜ)
Prof.Dr.Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof.Dr.Gönül TOZ (İTÜ)
Prof.Dr.Haluk ÖZENER (BÜ)
Prof.Dr.Şenol Hakan KUTOĞLU (BEÜ)
Prof.Dr.M.Onur KARSLIOĞLU (ODTÜ)
Prof.Dr.Mustafa TÜRKER (HÜ)
Prof.Dr.Naci YASTIKLI (YTÜ)
Prof.Dr.Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)
Prof.Dr.Necia ULUĞTEKİN (İTÜ)
Prof.Dr.İ.Öztuğ BİLDİRİCİ (SÜ)
Prof.Dr.Rahmi Nurhan ÇELİK (İTÜ)
Prof.Dr.Semih ERGİNTAV (BÜ)
Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr.Uğur DOĞAN (YTÜ)
Prof.Dr.Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr.Uğur ŞANLI (YTÜ)
Doç.Dr.Aydın ÜSTÜN (KÜ)
Doç.Dr.Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Doç.Dr.Hande DEMİREL (İTÜ)
Doç.Dr.Hakan MARAŞ (ÇÜ)
Doç.Dr.Melih BAŞARANER (YTÜ)
Doç.Dr.Müh.Alb.Hasan YILDIZ (HGK)
Dr.Hakan AKÇİN (BEÜ)
Dr.Mustafa KURT (OÜ)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ATA (HGK)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ERDOĞAN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Yavuz Selim ŞENGÜN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Altan YILMAZ (HGK)
Prof.Dr.Ayhan ALKIŞ
Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ
Prof.Dr.Sıtkı KÜLÜR
Prof.Dr.Cankut ÖRMECİ
Prof.Dr.Orhan ALTAN
Prof.Dr.Ahmet KAYA
Prof.Dr.Ali KOÇYİĞİT
Prof.Dr.Şerif HEKİMOĞLU
Doç.Dr.Ali KILIÇOĞLU
Doç.Dr.Onur LENK
Dr.Coşkun DEMİR
Dr.Oktay EKER

Bu Sayıda Hakem Olarak Görev Alan Bilim Kurulu Üyeleri

Prof.Dr.Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof.Dr.Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr.Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof.Dr.Haluk ÖZENER (BÜ)
Prof.Dr.Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)
Prof.Dr.Rahmi Nurhan ÇELİK (İTÜ)
Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr.Uğur ŞANLI (YTÜ)
Doç.Dr.Aydın ÜSTÜN (KÜ)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ERDOĞAN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Altan YILMAZ (HGK)
Prof.Dr.Cankut ÖRMECİ
Dr. Oktay EKER

Bu Sayıda Görev Alan Bilim Kurulu Üyesi Olmayan Hakemler

Prof.Dr.Bülent BAYRAM (YTÜ)
Prof.Dr.Elif SERTEL (İTÜ)
Prof.Dr.Şinasi KAYA (İTÜ)
Dr. Nusret DEMİR (AÜ)
Dr. Müge Ağca YILDIRIM (İKÇÜ)
Dr. Zehra Damla Uça AVCI (İTÜ)
Dr.Müh.Alb. Ali İhsan KURT (HGK)



Pirî Reis, Kitab-ı Bahriye, Kızıl Adalar ve İstanbul

Pirî Reis, Kitab-ı Bahriye, Kızıl Adalar ve İstanbul ¹

Pirî Reis eşsiz bir kartograf ve deniz bilimleri üstadı olmasının yanı sıra Osmanlı deniz tarihinde izler bırakmış bir amiral ve Mısır kaptanıdır. Dünya haritaları ve denizcilik kitabıyla tanınmıştır. Doğum tarihi kesin olarak bilinmiyor. 1465-1470 arasında Gelibolu'da doğdu. 1554'de Kahire'de öldü. Asıl adı Muhiddin Pirî'dir. Pirî Reis'in babası Karamanlı Hacı Mehmet, amcası ünlü Osmanlı denizcisi Kemal Reistir.

Venedik üzerine sefer hazırlığına girişen II. Beyazıt Akdeniz'de bulunan denizcileri Osmanlı Donanması'na katılmaya çağırması üzerine 1494'te amcası ile birlikte donanmanın resmi hizmetine girdiler. Pirî reis, Osmanlı donanmasında, gemi komutanı olarak, 1495-1510 yıllarında, Akdeniz'de yapılan birçok deniz seferlerinde görev almıştır. Pirî Reis, 1511'de amcasının bir deniz kazasında ölümünden sonra Gelibolu'ya yerleşti. Barbaros Kardeşlerin idaresi altındaki donanmada halaoğlu Muhittin Reis ile Akdeniz'de bazı seferlere çıktıysa da daha çok Gelibolu'da kalıp haritaları ve kitabı üzerinde çalıştı. Bu haritalardan ve kendi gözlemlerinden yararlanarak 1513 tarihli ilk dünya haritasını çizdi. 1516-1517 yıllarında tekrar donanmada görev aldı. 1533'de Tümamiral olmuş, 1546'dan sonra Umman denizi, Kızıl deniz ve Basra Körfezi'nde Osmanlı Donanmasının Mısır Kaptanı olarak görev yapmıştır.

Kitab-ı Bahriye, Osmanlı amirali Pirî Reis'in hazırladığı Akdeniz kıyılarına ait ayrıntılı bir harita-kılavuzdur. Kitap, denizcilere Akdeniz kıyıları, adaları, geçitleri, boğazları, körfezleri fırtına halinde nereye sığınılacağı, limanlara nasıl yaklaşılacağı hakkında bilgiler, ayrıca limanlar arasında gitmek için kesin rotalar verir.

Kitab-ı Bahriye'nin iki sürümü vardır. Birincisi 1521 tarihli ve denizcilerin kullanımı için yapılmıştır. İkincisi 1526'da Kanuni Sultan Süleyman için hazırlanmış daha ayrıntılı ve süslü bir eserdir. Birinci sürümde 135-140 ikinci sürümde 223 harita mevcuttur.

Kitab-ı Bahriye'nin kopyaları Avrupa'nın çeşitli kütüphanelerinde, İstanbul'da Topkapı Sarayı'nda, Nurosmaniye, Süleymaniye ve Köprülüzade Fazıl Ahmed Paşa Kütüphanelerinde bulunur.

Katip Çelebi "Tuhfetü'l Kibar fi Esfarül Bihar " adlı eserinde (1656) Kitab-ı Bahriye'yi "Bu Pirî Reis Bahriye adlı kitap yazıp Akdeniz'i anlatmıştır. İslamların bu konuda başka kitapları olmadığından denizde gezenler ona başvururlar." ifadesiyle anlatmaktadır.

¹Kemal Özdemir, Osmanlı Haritaları, s.77

Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Çoklu-GNSS Kombinasyonlarının PPP Performansına Etkisi

(The Impact of Multi-GNSS Combinations on PPP Performance for Turkey and Its Surroundings)

Berkay BAHADUR, Metin NOHUTCU

Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara
berkaybahadur@hacettepe.edu.tr

ÖZ

Hassas Nokta Konumlama (PPP), uygulama kolaylığı, düşük maliyeti ve referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırması gibi faydalarından dolayı son on yıldır Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) kullanıcıları arasında ilgi çekici bir konu olmuştur. Ancak yüksek konum doğruluğuna ulaşmak için gerekli yakınsama süresi hala PPP yönteminin en büyük dezavantajıdır. Son yıllarda, GLONASS uydu takımının tamamlanması ve Galileo, BeiDou gibi yeni navigasyon sistemlerinin ortaya çıkması PPP performansını iyileştirmek ve yakınsama süresinin azaltılması için önemli fırsatlar sunmaktadır. Birden fazla navigasyon sisteminin ortak kullanımı (çoklu-GNSS) konum, zaman ve navigasyon uygulamaları için ilave uydu kaynağı ve yeni frekanslar sunmaktadır. Bu sayede çoklu-GNSS, PPP için görünür uyduların sayısı ve geometrisinin iyileşmesini sağlar. Bu çalışmanın amacı Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına olan etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla, 5-11 Kasım 2017 tarihleri arasında bir hafta boyunca Türkiye ve yakın çevresinde bulunan dört IGS istasyonunda toplanan günlük gözlem dosyaları dokuz farklı PPP senaryosu altında yazarlar tarafından geliştirilen PPPH yazılımında işlenmiştir. Sonuçlar, yalnızca GPS gözlemlerini kullanan standart PPP çözümü ile kıyaslandığında çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hassas Nokta Konumlama, Çoklu-GNSS, PPP, MGEX, PPPH.

ABSTRACT

In the last decade, Precise Point Positioning (PPP) has been a popular topic within the Global Navigation Satellite System (GNSS) community because of its benefits such as operational simplicity, cost-effectiveness and elimination of base station requirement. Nevertheless, relatively long convergence time which is required to achieve high positioning accuracy is still the main restriction of PPP. In recent years, the completion of GLONASS constellation and emergence of new satellite systems, such as Galileo and BeiDou have offered significant prospect to improve the PPP performance and to shorten the convergence time. The integration of navigation systems (Multi-GNSS) offers additional satellite resources and new frequencies for positioning, timing, and navigation applications. By this means, multi-GNSS provides improvement for number and geometry of visible satellites for PPP. The aim of this study is to evaluate

the impact of multi-GNSS combinations on PPP performance for Turkey and its surroundings. For this purpose, 24h observation data sets collected at four IGS stations located at Turkey and its surroundings during the week between 5-11 November 2017 were processed under nine different PPP scenarios using PPPH software which is developed by the authors. The results show that the combinations of multi-GNSS have significantly improved PPP performance compared with the standard PPP solution which utilizes GPS observations only.

Keywords: Precise Point Positioning, Multi-GNSS, PPP, MGEX, PPPH.

1. GİRİŞ

Uzun bir süredir yüksek doğruluk gerektiren Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) uygulamalarında diferansiyel ve/veya rölatif konum belirleme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniklerde koordinatı bilinen referans istasyonlar sayesinde GNSS hata kaynaklarının büyük bir kısmı ortadan kaldırılır ve böylece yüksek konum doğruluğuna sahip çözümler üretilir. Doğal olarak diferansiyel ve/veya rölatif konum belirleme tekniklerinde en az iki GNSS alıcısına ihtiyaç duyulur. Bu durum mutlak konumlamaya kıyasla işlem maliyetini ve uygulama zorluğunu artırır. Diğer taraftan bu tekniklerde elde edilecek konum doğruluğu ile referans istasyondan olan mesafe yakından ilişkilidir, yani referans istasyondan uzaklaştıkça değişen çevre ve atmosferik koşullar konum doğruluğunu düşürür (Rizos vd., 2012). Son yıllarda bu tekniklere bir alternatif olarak Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning - PPP) ön plana çıkmıştır. PPP küresel ölçekte yalnızca tek bir GNSS alıcısı ile santimetre veya milimetre seviyesinde doğruluk sağlayabilen bir konum belirleme tekniğidir. PPP'nin en temel özelliği küresel bir ağdan elde edilmiş hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini kullanarak uydu kaynaklı yörünge ve saat hatalarını çok önemli ölçüde azaltmasıdır. Bu sayede PPP tekniğiyle herhangi bir referans noktaya ihtiyaç duymadan yüksek konum doğruluğu elde edilebilir (Zumberge, vd., 1997; Kouba ve Heroux, 2001).

PPP tekniği, referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırması, işlem maliyetini düşürmesi ve uygulamada getirdiği kolaylıklar sebebiyle son on yıldır GNSS kullanıcıları arasında oldukça ilgi çekici bir konu olmuştur. Günümüzde PPP, atmosferin izlenmesi ve modellenmesi, yer kaynaklı tehlikelerin belirlenmesi, yapı sağlığının izlenmesi, havai nirengi uygulamaları vb. birçok GNSS uygulamasında kullanılmaktadır (Tu, vd., 2013; Lu, vd., 2015; Wright, vd., 2012; Li, vd., 2013; Yiğit ve Gürlek, 2017; Yuan, vd., 2009). Ancak santimetre veya daha iyi konum doğruluğuna ulaşabilmek için gerekli yakınsama süresi hala PPP'nin en büyük dezavantajıdır. Genel olarak, PPP tekniğinde 5 cm veya daha iyi yatay konum doğruluğuna ulaşabilmek için en azından 1 saat gözlem yapılmış olması gerekir (Choy, vd., 2017). Diğer tekniklere kıyasla uzun yakınsama süresi PPP tekniğinin daha geniş uygulama alanlarına ulaşmasında önemli bir engel teşkil etmektedir. Çevre koşulları ve alıcının coğrafi konumunun yanı sıra yakınsama süresini belirleyen en önemli etken görünür uyduların sayısı ve geometrisidir. Bu nedenle görünür uydu sayısının ve geometrisinin iyileştirilmesi yakınsama süresini olumlu yönde etkileyecektir.

Son zamanlarda GLONASS'ın tam kapasite ile faaliyete geçmesinin yanında Galileo ve BeiDou gibi yeni uydu sistemlerinin ortaya çıkması PPP açısından ilave uydu kaynağı ve yeni frekanslar sağlamıştır. GPS'e ek olarak diğer uydu sistemlerinin PPP çözümüne dâhil edilmesi görünür uydu sayısını arttırdığı gibi uydu geometrisini de ciddi anlamda güçlendirmektedir. Bu nedenle birden fazla sistemin ortak olarak kullanıldığı çözümler (çoklu-GNSS) PPP performansını konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından iyileştirmek için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar çoklu-GNSS çözümlerinin PPP performansını özellikle yakınsama süresi bakımından önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Cai ve Gao, 2013; Yiğit, vd., 2014; Li ve Zhang, 2014, Togedor, vd., 2014). GPS ve GLONASS gibi mevcut uydu sistemlerinin modernizasyonuna yönelik çalışmalar ve gelişmekte olan diğer uydu sistemlerinin yakın zamanda tam kapasite ile faaliyete geçeceği düşünüldüğünde çoklu-GNSS gelecekte önemli bir araştırma konusu olmaya devam edecektir.

Bilindiği üzere PPP tekniğinin temel gücü yayın efemerisi yerine küresel bir ağdan elde edilmiş yüksek doğruluğa sahip uydu yörünge ve saat ürünlerinin kullanılmasıdır. Çoklu-GNSS kombinasyonlarını PPP çözümüne uygulayabilmek için GPS'e ek olarak diğer

sistemlerin de uydu yörünge ve saat bilgilerini içeren hassas ürünlere ihtiyaç vardır. IGS (International GNSS Service) 2011 yılında var olan tüm GNSS uydularını gözlemlemek, bunlardan veri toplamak ve değerlendirmek için MGEX (Multi-GNSS Experiment) çalışmasını başlatmıştır. Bu proje kapsamında sadece GPS yörünge ve saat bilgilerini içeren standart IGS ürünlerinin yanında diğer navigasyon sistemlerine ait bilgileri de içeren IGS-MGEX ürünleri kullanıcılara sunulmuştur. Bu ürünler aynı yersel referans ve zaman sistemine sahip olduğu için herhangi bir dönüşüme gerek kalmadan çoklu-GNSS PPP çözümünü gerçekleştirme imkânı sağlamıştır (Montenbruck, vd., 2017).

Çoklu-GNSS kombinasyonları PPP performansının iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte sadece GPS gözlemlerini içeren standart PPP çözüme göre daha karmaşık model ve algoritmalar gerektirir. Bu nedenle çoklu-GNSS PPP çözümünü gerçekleştirmek için özel GNSS veri analiz ve değerlendirme yazılımına ihtiyaç vardır. Geleneksel olarak Bernese, GAMIT/GLOBK ve GIPSY/OASIS gibi yazılımlar GNSS kullanıcıları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar içerdikleri birçok GNSS fonksiyonunun yanında PPP çözümü de gerçekleştirebilir. Bu yazılımların bir kısmı ücretsiz olarak elde edilebilir fakat bazıları araştırma amaçlı kullanımlarda dahi ücret talep etmektedir. Ayrıca, bazı durumlarda karmaşık yapıları nedeniyle standart bir kullanıcı için bu yazılımları kullanmak oldukça zorlayıcı olabilir. Öte yandan son yıllarda bazı üniversite ve araştırma enstitüleri tarafından internet aracılığıyla PPP çözümü gerçekleştiren servisler (APPS, GAPS, CSRS-PPP, Magic-PPP, vb.) geliştirilmiştir (Guo, 2015). Bu servisler standart PPP çözümü için sıklıkla kullanılmasına rağmen çok azı çoklu-GNSS verisi işleme yeteneğine sahiptir. Tüm bunlar göz önüne alınarak yazarlar tarafından çoklu-GNSS PPP çözümünü gerçekleştirmek için PPPH adında MATLAB tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. PPPH yazılımı GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou verilerini işleyebilmekte ve bu sistemleri içeren farklı çoklu-GNSS PPP çözümlerini gerçekleştirebilmektedir (Bahadur, 2017).

Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde çoklu-GNSS PPP oldukça yeni sayılabilecek ve üzerinde araştırma yapılması gereken bir konudur. Bu kapsamda yazarlar tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada IGS ağında yer alan ANKR ve ISTA istasyonlarına ait gözlem verileri üç farklı PPP senaryosu (GPS, GPS/GLONASS ve GPS/GLONASS/Galileo/

BeiDou) altında işlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar birden çok navigasyon sisteminin dâhil edildiği çözümlerin PPP performansını iyileştirdiğini göstermiştir (Bahadur ve Nohutcu, 2017). İlk sonuçlar umut verici olsa da çalışmanın dar kapsamı nedeniyle Türkiye’de çoklu-GNSS PPP performansının farklı kombinasyonlar açısından kapsamlı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına olan etkisinin detaylı bir biçimde araştırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla öncelikle IGS-MGEX projesinin içeriği ve bu proje kapsamında üretilen hassas ürünler hakkında bilgi verilecektir. Ardından çoklu-GNSS modeli ve içerdiği matematiksel eşitlikler ortaya konacaktır. Daha sonra Türkiye ve yakın çevresinde yer alan dört istasyonun verileri kullanılarak dokuz farklı PPP senaryosu altında çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına olan etkisini araştırmak için gerçekleştirilen uygulama ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Son olarak bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar ve gelecek çalışmalar için öneriler verilecektir.

2. IGS MGEX PROJESİ

IGS birçok üniversite, araştırma enstitüsü, jeodezi ve uzay ajansının katkı sunduğu ve yüksek kalitede GNSS verisini ücretsiz olarak kullanıma açmayı amaçlayan gönüllü bir organizasyondur.

Dünya geneline yayılmış 500’ün üzerinde istasyondan oluşan ağı sayesinde IGS, GNSS uydularını gözlemleyerek, topladığı verileri ve oluşturduğu hassas ürünleri sürekli olarak kullanıcılara sunmaktadır (<http://www.igs.org/>). Başlangıçta sadece GPS özelinde yürütülen IGS çalışmaları daha sonraları GLONASS’ı da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Günümüzde ise ülkelerin kendi bağımsız navigasyon sistemlerine sahip olma konusunda artan isteği yeni küresel ve bölgesel navigasyon sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. GPS ve GLONASS’ın yanı sıra Avrupa Birliği tarafından geliştirilen Galileo, Çin’in ürettiği BeiDou, Japonya’nın yürüttüğü QZSS ve Hindistan’ın geliştirdiği IRNSS yakın gelecekte tam olarak faaliyete geçecektir. Mevcut navigasyon sistemlerinin uydu tipleri, sinyal çeşitleri ve uydu sayıları Tablo 1’de sunulmaktadır. Gerek bu yeni sistemler gerekse GPS ve GLONASS’a ait modernizasyon planları düşünüldüğünde uydu navigasyonu için yeni bir dönemin başladığı söylenebilir. Ortaya çıkan yeni uydular ve navigasyon sinyalleri GNSS uygulamalarını ileriye götürmek açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu doğrultuda IGS mevcut navigasyon sistemlerinden en iyi şekilde yararlanmak ve GNSS kullanıcılarını geleceğe hazırlamak için 2011 yılında MGEX (Multi-GNSS Experiment) projesini başlatmıştır.

Tablo 1. Navigasyon sistemlerinin mevcut durumu (Montenbruck, vd., 2017).

SİSTEM	UYDU TİPİ	SİNYAL	UYDU SAYISI
GPS	IIR	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	12
	IIR-M	L1 C/A, L1/L2 P(Y), L2C, L1/L2 M	7
	IIF	L1 C/A, L1/L2 P(Y), L2C, L1/L2 M, L5	12
GLONASS	M	L1/L2 C/A & P	23
	M+	L1/L2 C/A & P, L3	1
	K	L1/L2 C/A & P, L3	1
BeiDou	GEO	B1-2, B2, B3	5
	IGSO	B1-2, B2, B3	8
	MEO	B1-2, B2, B3	7
Galileo	IOV	E1, E6, E5a/b/ab	4
	FOC	E1, E6, E5a/b/ab	6
QZSS	IGSO	L1 C/A, L1C, L1SAIF, L2C, L6 LEX, L5	1
IRNSS	IGSO	L5/S SPS & RS	4
	GEO	L5/S SPS & RS	3

MGEX projesi kapsamında öncelikle var olan tüm GNSS uydularını gözlemlemek, veri toplamak ve değerlendirmek için mevcut IGS ağından faydalanarak yeni bir çoklu-GNSS ağı kurulmuştur. İlk başta 40 istasyondan oluşan çoklu-GNSS ağı günümüzde mevcut tüm IGS istasyonlarının neredeyse üçte birini oluşturmaktadır (Montenbruck, vd., 2017). Bu ağdan toplanan veriler kullanılarak GPS ve GLONASS'ın yanında BeiDou, Galileo ve QZSS uydularına ait uydu yörünge ve saat bilgilerini de içeren hassas ürünler oluşturulmuş ve kullanıcılara sunulmuştur. Bu ürünler sayesinde çoklu-GNSS kombinasyonlarını PPP çözümüne uygulamak mümkün olmuştur. Düzenli olarak çoklu-GNSS ürünleri sağlayan altı IGS analiz merkezi aşağıda sıralanmıştır.

- CNES/CLS (Centre National d'Etudes Spatiales and Collecte Localisation Satellites)
- CODE (Center for Orbit Determination in Europe)
- GFZ (Deutsches GeoForschungsZentrum)
- TUM (Technische Universität München)
- WU (Wuhan University)
- JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

MGEX analiz merkezleri tarafından sunulan hassas ürünlere ait IGS tarafından kabul edilen kısaltmalar, yörünge ve saat bilgilerinin zaman aralıkları ve ilgili ürünlerin içerdiği uydu sistemleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. MGEX ürünlerine genel bakış.

Analiz merkezi	Kısaltma	Yörünge	Saat	Sistem
CNES/CLS	grm	15 dk	30 s	GRE
CODE	com	15 dk	5 dk	GRECJ
GFZ	gfm, gfb	15/5 dk	30 s	GRECJ
TUM	tum	5 dk	5 dk	EJ
WU	wum	15 dk	5 dk	GRECJ
JAXA	qzf, jaxa	5 dk	5 dk	GRJ

G:GPS, R:GLONASS, E:Galileo, C:BeiDou, J:QZSS

3. ÇOKLU-GNSS MODELİ

Navigasyon sistemleri arasındaki referans tanımı, zaman sistemi ve sinyal yapısı farklılıkları çoklu-GNSS PPP modelinde dikkate alınmalıdır.

Genellikle, sistemlerin birlikte çalışmasını sağlamak için koordinat ve zaman sistemi dönüşümleri gerçekleştirilir. Ancak, IGS gibi aynı referans ve zaman sisteminde oluşturulan hassas ürünler kullanıldığında referans ve zaman sistemi farklılıkları ortadan kalktığı için bu dönüşümlere gerek kalmaz. Yine de, donanım-kaynaklı hataların ve GLONASS uyduları arasındaki frekanslar-arası hataların göz önünde bulundurulması gereklidir (Cai ve Gao, 2013). Çoklu-GNSS PPP modeli için kod ve faz gözlem eşitlikleri şu şekilde yazılabilir:

$$P_{i,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + cdt_r^s - cdT^{s,j} + T_r^{s,j} + I_i^{s,j} + b_{i,r}^s - b_i^{s,j} + \varepsilon(P_{i,r}^{s,j}) \quad (1)$$

$$L_{i,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + cdt_r^s - cdT^{s,j} + T_r^{s,j} - I_i^{s,j} + \lambda_i^s N_i^{s,j} + B_{i,r}^s - B_i^{s,j} + \varepsilon(L_{i,r}^{s,j}). \quad (2)$$

Burada r ve i sırasıyla alıcı ve sinyalin frekans indeksini, s ve j ise GNSS indeksini (G:GPS, R:GLONASS, E:Galileo ve C:BeiDou) ve uydu numarasını gösterir. Ayrıca, $P_{i,r}^{s,j}$ kod gözlemini, $L_{i,r}^{s,j}$ faz gözlemini, $\rho_r^{s,j}$ geometrik mesafeyi, c ışık hızını, cdt_r^s alıcı saat hatasını, $cdT^{s,j}$ uydu saat hatasını, $T_r^{s,j}$ troposferik gecikmeyi, $I_i^{s,j}$ ilgili frekanstaki iyonosferik gecikmeyi, $b_{i,r}^s$ ilgili frekanstaki alıcı donanım-kaynaklı kod hatasını, $b_i^{s,j}$ ilgili frekanstaki uydu donanım-kaynaklı kod hatasını, $N_i^{s,j}$ tam sayı belirsizliğini, λ_i^s ilgili frekansın dalga boyunu, $B_{i,r}^s$ ilgili frekanstaki alıcı donanım-kaynaklı faz hatasını, $B_i^{s,j}$ ilgili frekanstaki uydu donanım-kaynaklı faz hatasını ve ε gürültüyü ifade eder.

IGS analiz merkezlerince üretilen uydu saat düzeltmeleri donanım-kaynaklı kod hatalarını da içerir. Bu nedenle uydu donanım-kaynaklı kod hatası uydu saat hatasına yüklenir ve hassas ürünler ile düzeltilir. Donanım-kaynaklı faz hatası ise yüksek konum doğruluğu gerektirmeyen durumlarda göz ardı edilebilir ya da belirsizlikler çözülmeyecekse tam sayı belirsizliği parametresine yüklenebilir. İkinci seçenekte belirsizlik parametresi tam sayı özelliğini kaybeder (Defraigne ve Baire, 2011). Yukarıdaki eşitlikler buna göre düzenlenirse

$$P_{i,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + \widetilde{cdt}_r^s - \widetilde{cdT}^{s,j} + T_r^{s,j} + I_i^{s,j} + \varepsilon(P_{i,r}^{s,j}) \quad (3)$$

$$L_{i,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + \widetilde{cdt}_r^s - \widetilde{cdT}^{s,j} + T_r^{s,j} - I_i^{s,j} + \lambda_i^s \widetilde{N}_i^{s,j} + \varepsilon(L_{i,r}^{s,j}) \quad (4)$$

eşitlikleri elde edilir. Burada \widetilde{cdt}_r^s , $\widetilde{cdT}^{s,j}$ ve $\widetilde{N}_i^{s,j}$ sırasıyla düzenlenmiş alıcı saat hatasını, uydu saat hatasını ve tam sayı belirsizliği parametresini temsil eder. Bu parametreler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\widetilde{cdt}_r^s = (cdt_r^s + b_{i,r}^s) \quad (5)$$

$$\widetilde{cdT}^{s,j} = (cdT^{s,j} + b_i^{s,j}) \quad (6)$$

$$\widetilde{N}_i^{s,j} = N_i^{s,j} + (B_{i,r}^s - b_{i,r}^s) - (B_i^{s,j} - b_i^{s,j}) \quad (7)$$

GLONASS diğer sistemlerden farklı olarak her bir uydunun farklı frekans kanalına sahip olduğu FDMA (Frequency Multiple Division Access) yapısını kullanır (Wanninger, 2011). Dolayısıyla, GLONASS gözlemlerinde uydu tabanlı frekanslar-arası hatalar (IFBs) bulunur ve bu hatalar bir ortalama terim ile frekansa bağlı terimin toplamı şeklinde ifade edilebilir.

$$b_{i,r}^R = b_{avg,r}^R + \delta b_{i,r}^R, \quad (8)$$

$$B_{i,r}^R = B_{avg,r}^R + \delta B_{i,r}^R$$

Burada $b_{avg,r}^R$ ve $B_{avg,r}^R$ sırasıyla alıcı donanım-kaynaklı kod ve faz hatası için ortalama terimleri $\delta b_{i,r}^R$ ve $\delta B_{i,r}^R$ ise frekansa bağlı terimleri ifade eder. Buna göre GLONASS uyduları için düzenlenmiş alıcı saat hatası ve belirsizlik parametreleri şu şekilde oluşur:

$$\widetilde{cdt}_r^R = (cdt_r^R + b_{avg,r}^R) \quad (9)$$

$$\widetilde{N}_i^{R,j} = N_i^{R,j} + (B_{avg,r}^R + \delta B_{i,r}^R - b_{avg,r}^R) - (B_i^{R,j} - b_i^{R,j}) \quad (10)$$

GLONASS uyduları için faz gözlemlerinde bulunan IFB ($\delta B_{i,r}^R$) terimleri belirsizlik parametresine yüklenirken kod gözlemlerinde IFB terimleri ($\delta b_{i,r}^R$) bilinmeyen olarak kalır. Kod gözlemlerinde bulunan IFB terimleri ayrı ayrı kestirilebilir ancak bu durum bilinmeyen sayısını arttıracığı ve dolayısıyla modeli zayıflatacağı için tercih edilen bir yol değildir. Bunun yerine parametre kestirimi aşamasında GLONASS kod gözlemlerine faz gözlemlerine kıyasla daha düşük bir ağırlık atanır. Bu sayede IFB terimleri göz ardı edilmiş olur ve etkisi parametre kestirimi sonrası GLONASS kod gözlemlerine ait düzeltmelerde görünür (Cai ve Gao, 2013).

Uydu yörünge ve saat hatalarını gidermek için hassas ürünler uygulandıktan sonra GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou için kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız gözlem eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_{IF,r}^{G,j} = \rho_r^{G,j} + \widetilde{cdt}_r^G + T_r^{G,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{G,j}) \quad (11)$$

$$L_{IF,r}^{G,j} = \rho_r^{G,j} + \widetilde{cdt}_r^G + T_r^{G,j} + \lambda_{IF}^G \widetilde{N}_{IF}^{G,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{G,j}) \quad (12)$$

$$P_{IF,r}^{R,j} = \rho_r^{R,j} + \widetilde{cdt}_r^R + T_r^{R,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{R,j}) \quad (13)$$

$$L_{IF,r}^{R,j} = \rho_r^{R,j} + \widetilde{cdt}_r^R + T_r^{R,j} + \lambda_{IF}^R \widetilde{N}_{IF}^{R,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{R,j}) \quad (14)$$

$$P_{IF,r}^{E,j} = \rho_r^{E,j} + \widetilde{cdt}_r^E + T_r^{E,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{E,j}) \quad (15)$$

$$L_{IF,r}^{E,j} = \rho_r^{E,j} + \widetilde{cdt}_r^E + T_r^{E,j} + \lambda_{IF}^E \widetilde{N}_{IF}^{E,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{E,j}) \quad (16)$$

$$P_{IF,r}^{C,j} = \rho_r^{C,j} + \widetilde{cdt}_r^C + T_r^{C,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{C,j}) \quad (17)$$

$$L_{IF,r}^{C,j} = \rho_r^{C,j} + \widetilde{cdt}_r^C + T_r^{C,j} + \lambda_{IF}^C \widetilde{N}_{IF}^{C,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{C,j}) \quad (18)$$

Burada $P_{IF,r}^{s,j}$ ve $L_{IF,r}^{s,j}$ sırasıyla iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlemlerini; $\widetilde{N}_{IF}^{s,j}$ ise iyonosferden bağımsız faz gözlemi için belirsizlik parametresini ifade eder.

Yukarıda belirtilen eşitlikler doğrudan uygulanırsa, her bir sistem için ayrı bir alıcı saat hatası oluşacaktır. Bu noktada her bir sistem için ayrı birer alıcı saat hatası belirtmek yerine GPS'e göre olan farkı yansıtan sistemler-arası fark parametrelerini (cdt_{sys}^R , cdt_{sys}^E and cdt_{sys}^C) modele dâhil etmek daha uygun bir yoldur (Cai and Gao, 2013). Bu durum göz önüne alındığında, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou için kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız gözlem eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$P_{IF,r}^{G,j} = \rho_r^{G,j} + \widetilde{cdt}_r^G + T_r^{G,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{G,j}) \quad (19)$$

$$L_{IF,r}^{G,j} = \rho_r^{G,j} + \widetilde{cdt}_r^G + T_r^{G,j} + \lambda_{IF}^G \widetilde{N}_{IF}^{G,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{G,j}) \quad (20)$$

$$P_{IF,r}^{R,j} = \rho_r^{R,j} + \widetilde{cdt}_r^G + cdt_{sys}^R + T_r^{R,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{R,j}) \quad (21)$$

$$L_{IF,r}^{R,j} = \rho_r^{R,j} + \widetilde{cdt}_r^G + cdt_{sys}^R + T_r^{R,j} + \lambda_{IF}^R \widetilde{N}_{IF}^{R,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{R,j}) \quad (22)$$

$$P_{IF,r}^{E,j} = \rho_r^{E,j} + \widetilde{cdt}_r^G + cdt_{sys}^E + T_r^{E,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{E,j}) \quad (23)$$

$$L_{IF,r}^{E,j} = \rho_r^{E,j} + \widetilde{cdt}_r^G + cdt_{sys}^E + T_r^{E,j} + \lambda_{IF}^E \widetilde{N}_{IF}^{E,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{E,j}) \quad (24)$$

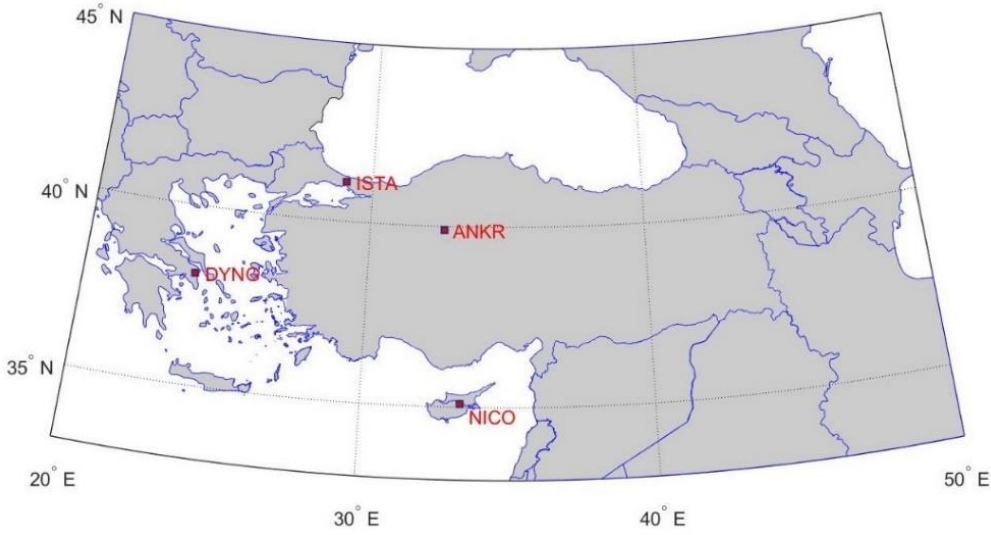
$$P_{IF,r}^{C,j} = \rho_r^{C,j} + \widetilde{c}dt_r^G + cdt_{sys}^C + T_r^{C,j} + \varepsilon(P_{IF,r}^{C,j}) \quad (25)$$

$$L_{IF,r}^{C,j} = \rho_r^{C,j} + \widetilde{c}dt_r^G + cdt_{sys}^C + T_r^{C,j} + \lambda_{IF}^C \widetilde{N}_{IF}^{C,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{C,j}) \quad (26)$$

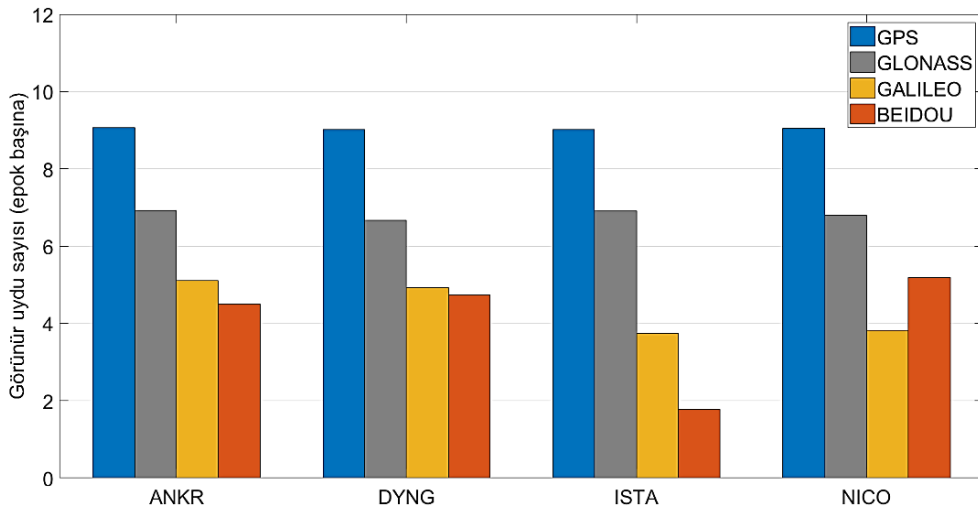
Son eşitlikler çoklu-GNSS PPP modelini oluşturur ve bilinmeyen olarak pozisyon bileşenlerinin yanı sıra bir alıcı saat hatasını, üç sistemler-arası fark parametresini, bir troposferik gecikmeyi ve gözlenen her uydu için belirsizlik parametrelerini içerir.

4. UYGULAMA

Çoklu-GNSS kombinasyonlarının Türkiye'deki PPP performansına olan etkisini araştırmak için Türkiye ve yakın çevresinde yer alan 4 IGS istasyonu uygulamada kullanılmak üzere seçilmiştir. ANKR, DYNG, ISTA ve NICO isimli bu istasyonların coğrafi konumları Şekil 1'de verilmiştir. 5-11 Kasım 2017 tarihleri arasında ilgili istasyonlardan toplanmış GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydularını içeren 30 saniye aralıklı ve RINEX3 formatındaki günlük gözlem dosyaları IGS veri merkezleri aracılığıyla elde edilmiştir. Gözlem verilerinden, ilgili hafta boyunca epok başına düşen ortalama görünür GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sayıları her istasyon için ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Uygulamada kullanılan istasyonların coğrafi konumları.



Şekil 2. İstasyonlarda epok başına düşen ortalama görünür GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sayıları.

Sadece GPS gözlemlerini içeren standart PPP çözümüne (G) ek olarak aşağıda verilen sekiz farklı PPP işlem senaryosu oluşturulmuştur.

- GLONASS (R),
- GPS/GLONASS (GR),
- GPS/Galileo (GE),
- GPS/BeiDou (GC),
- GPS/GLONASS/Galileo (GRE),
- GPS/GLONASS/BeiDou (GRC),
- GPS/Galileo/BeiDou (GCE)
- GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (GRCE)

Burada, Galileo ve BeiDou sistemleri için tekli PPP işlem senaryoları oluşturulmamıştır. Bunun nedeni, bu sistemlerin henüz tam kapasiteye

ulaşamadıkları için tek başlarına PPP çözümünü gerçekleştirmeye yetecek kadar görünür uydu sağlayamamasıdır.

Dört IGS istasyonuna ait bir haftalık gözlem dosyaları toplamda dokuz farklı PPP senaryosu altında GFZ tarafından oluşturulmuş hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak ayrı ayrı işlenmiştir. İşlemler sırasında filtre her üç saatte bir sıfırlanarak çözümün yeniden yakınsaması sağlanmıştır. Böylelikle her bir istasyon için günde 8, haftada ise 56 periyot elde edilmiştir. Uygulamada PPP çözümlerini gerçekleştirmek için yazarlar tarafından geliştirilen PPPH adlı yazılım kullanılmıştır. PPPH GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou gözlemlerini işleyebilen ve bu sistemlerin farklı kombinasyonlarının dâhil edildiği PPP çözümlerini gerçekleştirebilen MATLAB tabanlı bir yazılımdır (Bahadur, 2017). PPPH yazılımı PPP çözümünü bir önceki bölümde açıklanan çoklu-GNSS PPP modelini temel alarak gerçekleştirir. Bu yazılımda kullanılan modeller ve uygulanan işlem stratejisi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. PPPH yazılımında kullanılan modeller ve uygulanan işlem stratejisi.

Dâhil edilen sistemler	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
İşleme modu	Sabit
Uydu saat ve yörünge bilgisi	GFZ
Uydu ve alıcı anten faz merkezi düzeltmesi	IGS Antex
Gözlemler	Fark alınmamış iyonosferden bağımsız faz ve kod gözlemleri
Gözlem ağırlıkları	Yükselme açısına bağlı
Gözlemlerin standart sapması	Faz gözlemi: 0.003 m, Kod gözlemi: 3 m
Troposfer	
Kuru kısım için model	Saastamoinen (Saastamoinen, 1972)
Meteorolojik veriler	GPT2 (Global Pressure and Temperature Model 2, Lagler, vd., 2013)
Islak kısım	Bilinmeyen olarak kestiriliyor.
İzdüşüm fonksiyonu	GMF (Global Mapping Function, Boehm, vd., 2006)
Relativistik düzeltmeler	Uygulandı (Kouba, 2015)
Faz dönüklüğü düzeltmesi	Uygulandı (Wu, vd., 1993)
Katı yer gelgiti ve okyanus yüklemesi	Uygulandı (Petit ve Luzum, 2010)
Dengeleme yöntemi	Genişletilmiş Kalman filtresi

Tablo 4. Her istasyon için farklı PPP çözümlerinden elde edilen ortalama konum hatası, karesel ortalama hata (KOH) ve yakınsama süresi değerleri.

İstasyon	Kombinasyon	Konum Hatası (mm)				KOH (mm)			Yakınsama Süresi (dakika)
		K	D	Y	3B	K	D	Y	
ANKR	G	16	17	22	37	17	31	27	33.2
	R	18	38	37	60	23	45	43	41.6
	GR	7	19	15	28	12	29	26	22.8
	GC	17	20	23	39	19	32	28	28.6
	GE	14	15	21	34	17	27	26	25.5
	GRE	7	18	13	27	11	28	25	22.2
	GRC	8	19	15	28	12	28	26	22.6
	GCE	14	16	22	35	18	27	27	22.8
	GRCE	8	18	14	27	11	27	25	21.7
DYNG	G	12	25	43	54	19	32	47	25.8
	R	21	42	47	75	25	46	56	44.5
	GR	6	20	36	44	11	27	41	23.7
	GC	12	28	40	55	19	23	45	25.5
	GE	10	20	41	50	17	25	42	18.3
	GRE	6	19	36	43	11	26	41	19.9
	GRC	6	19	35	42	11	25	40	22.1
	GCE	11	21	40	51	17	25	42	20.0
	GRCE	6	18	35	42	10	25	40	19.1
ISTA	G	14	22	33	46	19	31	39	38.3
	R	26	37	41	66	31	45	47	51.5
	GR	8	19	29	38	13	31	39	29.1
	GC	14	24	32	46	19	34	37	37.8
	GE	12	17	29	39	17	30	36	29.3
	GRE	8	17	27	36	12	30	37	27.5
	GRC	8	19	28	38	13	31	39	28.7
	GCE	12	19	29	40	17	31	35	31.5
	GRCE	7	17	27	36	12	30	37	27.2
NICO	G	18	25	36	52	20	31	41	44.6
	R	19	37	37	61	25	45	43	49.0
	GR	12	30	26	45	14	38	35	33.2
	GC	18	24	33	48	21	31	38	41.7
	GE	16	22	32	45	18	29	37	34.2
	GRE	11	30	26	45	14	37	35	29.9
	GRC	12	28	25	44	15	36	33	32.3
	GCE	16	20	30	43	19	29	36	31.6
	GRCE	11	27	24	42	14	35	33	29.3

Çalışmada çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP çözümüne olan etkisini araştırmak için elde edilen sonuçlar konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından incelenmiştir. Konum doğruluğunu ölçebilmek için istasyonların PPP çözümlerinde 3 saat sonunda kestirilen koordinatları ile IGS haftalık çözümlerinden alınmış yüksek doğruluğa sahip koordinatları karşılaştırılmıştır. Her iki çözüm arasındaki koordinat farkları alınarak lokal sisteme

dönüştürülmüş ve kuzey (K), doğu (D) ve yukarı (Y) yönlerdeki konum hatası hesaplanmıştır. Diğer taraftan yakınsama süresi üç boyutlu konum hatasının 10 cm altına düştüğü ve sonraki 15 dakika boyunca 10 cm üstüne çıkmadığı an olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, yakınsama anından sonraki bütün epoklarda elde edilen sonuçlar hesaba katılarak yine lokal sistemde karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır. Her istasyonun sonuçları konum hatası, karesel ortalama hata ve

yakınsama süresi açısından değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar farklı PPP kombinasyonları için 56 periyodun ortalaması şeklinde Tablo 4'de verilmiştir. Sadece GLONASS uydularının kullanıldığı durumda görünür uydu sayısının azaldığı (özellikle 5 uydunun altına düştüğü) periyotlarda PPP çözümü yakınsamamıştır. ANKR, DYNG, ISTA ve NICO istasyonlarında 56 periyottan sırasıyla 12, 13, 15 ve 16'sında PPP çözümü yakınsamamıştır. Dolayısıyla GLONASS PPP çözümü için verilen ortalamalar yakınsayan periyotların ortalamasıdır.

Tablo 4'de sunulan sonuçlar incelendiğinde tüm istasyonlar için en kötü performansın GLONASS PPP çözümüne (R) ait olduğu görülmektedir. GPS PPP (G) çözümü ile kıyaslandığında GLONASS PPP çözümü üç boyutlu konum hatası açısından ortalama %40, yakınsama süresi açısından ise %35 daha kötü performans göstermiştir. Bunun temel nedeni olarak GLONASS uydu sayısının ve uydu ve saat ürünlerinin GPS'e göre daha yetersiz olması gösterilebilir. Diğer taraftan ikili kombinasyonların kullanıldığı PPP çözümleri GPS PPP performansını oldukça iyileştirmiştir. Özellikle GPS/GLONASS kombinasyonu GPS PPP çözümünü tüm istasyonlar için konum hatası açısından ortalama %18, yakınsama süresi açısından da ortalama %22 oranda iyileştirmiştir. Üçlü kombinasyonların PPP çözümüne etkisi incelendiğinde GPS/GLONASS PPP'ye göre küçük oranlarda iyileştirmeler görülmektedir. Beklendiği gibi en iyi PPP performansı dört sistemin ortak olarak kullanıldığı çoklu-GNSS (GRCE) PPP çözümüne aittir. Çoklu-GNSS PPP çözümünün performansı GPS PPP'ye kıyasla üç boyutlu konu hatası anlamında ortalama %25, yakınsama süresi anlamında ise ortalama %30 oranda daha iyidir. Son olarak ISTA istasyonunda görünür uydu sayısının sınırlı kalmasından dolayı BeiDou'nun PPP çözümüne eklenmesi sonuçlara önemli oranda etki etmemiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla dört adet IGS istasyonunda bir hafta boyunca toplanmış günlük gözlem verileri GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou'yu içeren toplamda 9 farklı PPP senaryosu altında ayrı ayrı işlenmiştir. PPP çözümleri gerçekleştirilirken yazarlar tarafından geliştirilmiş PPPH adlı yazılım kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar konum hatası, karesel ortalama hata ve yakınsama süresi açısından incelenmiştir. Sonuçta, GPS'in yanı sıra

diğer navigasyon sistemlerinin de kullanıldığı durumlarda PPP performansının önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. En iyi PPP performansı dört sistemin ortak kullanıldığı çoklu-GNSS çözümünden elde edilmiştir. Bu durum bize artan uydu sayısı ve ürün kalitesinin PPP performansında önemli gelişmelere neden olduğunu göstermektedir. Öte yandan yalnızca GLONASS uydularının dâhil edildiği PPP çözümleri yetersiz uydu sayısı yüzünden bazı periyotlarda yakınsamamış ve yakınsadığı periyotlarda ise GPS PPP'ye göre daha kötü sonuçlar üretmiştir. Buradan GLONASS'ın tek başına PPP çözümü gerçekleştirecek yeterlilikte olmadığı sonucuna varılabilir. Diğer taraftan, temelde Asya-Pasifik bölgesine hizmet odaklı bir sistem olduğundan BeiDou görünür uydu sayısı coğrafi konuma bağlı olarak ciddi oranda değişimler göstermektedir. Bu nedenle, BeiDou'nun PPP çözümlerine dâhil edilmesi her noktada benzer sonuçlar doğurmaz. Özellikle diğer istasyonlara oranla daha kuzeyde yer alan ISTA istasyonunda görünür uydu sayısı çok kısıtlı kaldığından BeiDou'nun PPP çözümlerine dâhil edilmesi sonuçları neredeyse hiç etkilememiştir.

Birden fazla navigasyon sisteminin dâhil edildiği çözümler PPP'nin en büyük dezavantajı olarak görülen uzun yakınsama süresini azaltmak için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak navigasyon sistemlerinin ortak kullanılması noktasında hala model ve algoritmalar üzerine çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır. Özellikle sürekli olarak artan uydu sayısı ve eklenen frekanslar yeni yaklaşımlar ve bunların uygulanacağı yazılım çözümleri gerektirmektedir. Diğer taraftan birden fazla navigasyon sisteminin PPP çözümünde kullanılmasını sağlayan MGEX hassas uydu yörünge ve saat ürünleri sürekli olarak geliştirilmektedir. PPP gibi doğrudan uydu yörünge ve saat verilerine güvenen teknikler için bu ürünlerin takip edilmesi ve performans açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca MGEX ürünleri sayesinde gerçek zamanlı PPP çözümleri de mümkün olmuştur. Gerçek zamanlı PPP uygulamalarının yakın gelecekte de önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Bahadur, B., 2017, **Improving the performance of Precise Point Positioning with multi-GNSS**, Yüksek Lisans Tezi, Geomatik Müh. Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

- Bahadur, B., Nohutcu, M., 2017, **Türkiye İçin Çoklu-GNSS PPP Performansının Değerlendirilmesi**, TUJK 2017 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Boehm, J., Niell, A., Tregoning, P., Schuh, H., 2006, **Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data**, Geophysical Research Letters 33:7.
- Cai, C., Gao, Y., 2013, **Modelling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning**, GPS Solutions 17:2, 223-236.
- Choy, S., Bisnath, S., Rizos, S., 2017, **Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect**, GPS Solutions 21:1, 13-22.
- Defraigne, P., Baire, Q., 2011, **Combining GPS and GLONASS for time and frequency transfer**, Advances in Space Research 47:2, 265–275.
- Guo, Q., 2015, **Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation**. GPS Solutions 19:4, 537–544.
- Kouba, J., Héroux, P., 2001, **GPS precise point positioning using IGS orbit products**, GPS Solutions 5:2, 12-28.
- Kouba, J., 2015, **A Guide to Using the IGS Products. IGS Website.** <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products>. Son erişim tarihi 12 Aralık 2017.
- Lagler, K., Schindelegger, M., Böhm, J., Krásná, H., Nilsson, T., 2013, **GPT2: Empirical slant delay model for radio space geodetic techniques**, Geophysical Research Letters 40:6, 1069-1073.
- Li, X., Ge, M., Zhang, X., Zhang, Y., Guo, B., Wang, R., Klotz, J., Wickert, J., 2013, **Real-time high-rate co-seismic displacement from ambiguity-fixed precise point positioning: Application to earthquake early warning**, Geophysical Research Letters, 40, 295-300.
- Li, P., Zhang, X., 2014, **Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning**, GPS Solutions, 18(3), 461-471.
- Lu, C., Li, X., Nilsson, T., Heinkelmann, R., Ge, M., Glaser, S., Schuh, H., 2015, **Realtime retrieval of precipitable water vapor from GPS and BeiDou observations**, Journal of Geodesy, 89, 843-856.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., Weber, G., Schmid, R., MacLeod, K., Schaer, S., 2017, **The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges**, Advances in Space Research 59:7, 1671-1697.
- Petit, G., Luzum, B., 2010, **IERS Conventions 2010 (IERS Technical Note; 36)**, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T., 2012, **Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?**, FIG Working Week 2012, Roma, İtalya.
- Saastamoinen, J., 1972, **Contributions to the theory of atmospheric refraction**, Bulletin Geodesique 105:1, 279–298.
- Togedor, J., Øvstedal, O., Vigen, E., 2014, **Precise orbit determination and point positioning using GPS, Glonass, Galileo and BeiDou**, Journal of Geodetic Science, 4, 65-73.
- Tu, R., Zhang, H., Ge, M., Huang, G., 2013, **A real-time ionospheric model based on GNSS Precise Point Positioning**, Advances in Space Research, 52, 1125-1134.
- Wanninger, L., 2011, **Carrier-phase inter-frequency biases of GLONASS receivers**, Journal of Geodesy 86:2, 139-148.
- Wright, T. J., Houlie, N., Hildyard, M., Iwabuchi, T., 2012, **Real-time, reliable magnitudes for large earthquakes from 1 Hz GPS precise point positioning: The 2011 Tohoku-Oki (Japan) earthquake**, Geophysical Research Letters, 39, L12302.
- Wu, J., Wu, S., Hajj, G., Bertiger, W., Liechten, S., 1993, **Effects of antenna orientation on GPS carrier phase**, Manuscripta Geodaetica 18:2, 91-98.

Yuan, X., Fu, J., Sun, H., Toth, C., 2009, **The application of GPS precise point positioning technology in aerial triangulation**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 541-550.

Yiğit, C. Ö., Gikas, V., Alçay, S., Ceylan, A., 2014, **Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP**, Survey Review, 46(336), 155-166.

Yiğit, C.Ö., Gürlek, E., 2017, **Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures**, Geomatics Natural Hazards & Risk, 8:2,893-904.

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., Webb, F.H., 1997, **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**, Journal of Geophysical Research: Solid Earth 102:B3, 5005:5017.

Nesne Tabanlı Görüntü Analizinde Görüntü Bölütme Yaklaşımları ve Bölütme Kalitesinin Analizi

(Image Segmentation Approaches in Object-Based Image Analysis and Analysis of Segmentation Quality)

Hasan TONBUL, Taşkın KAVZOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
htonbul@gtu.edu.tr, kavzoglu@gtu.edu.tr

ÖZ

Son yıllarda yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntü miktarındaki artış ile birlikte yüksek spektral heterojenlik içeren bu görüntülerden bilgi çıkarımı önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu görüntülerden bilgi çıkarabilmek için geleneksel yaklaşımların kullanımı yeterli olmamaktadır. Nesne tabanlı görüntü analizi (NTGA), yüksek çözünürlüklü uzaktan algılanmış görüntülerinin analizinde etkin şekilde kullanılan yeni bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. NTGA'nın ilk ve en temel adımını görüntü nesnelere oluşturmayı yarayan görüntü bölütme adımı oluşturmaktadır. Nesnelere şekli, boyutu ve spektral özellikleri bölütme yaklaşımına bağlı olarak belirlenmektedir. Optimum görüntü bölütme için gerekli yöntem ve parametre seçimi, görüntü sınıflandırması veya özellik çıkarımı işleminden önce karar verilmesi gereken çok önemli hususlardır. Bu çalışma, NTGA alanında kullanılan görüntü bölütme algoritmaları, parametre seçim stratejileri ve görüntü bölütme kalitesi konusunda yapılan çalışmalar hakkında detaylı bilgiler ve literatür taraması sunmaktadır. Görüntü bölütme işlemini doğru şekilde gerçekleştirmek için araştırmacılara rehberlik edecek ve uygulamada dikkat edilmesi gereken kritik hususları içeren değerlendirmeler ayrıca sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Görüntü Bölütme, Nesne tabanlı görüntü analizi, Görüntü İşleme.

ABSTRACT

In recent years, with the increase in the amount of satellite images with high spatial resolution, the extraction of information from these images containing high spectral heterogeneity has been an important subject of research. Conventional approaches are deficient to extract information from these images. Object-based image analysis (OBIA) has emerged as a new paradigm that is effectively used in the analysis of high-resolution remote sensing images. The first and basic step of NTGA is the image segmentation that is applied to create image objects. The shape, size, and spectral properties of the objects are determined by the segmentation approach. Selection of appropriate method and its parameters is crucial for optimal image segmentation before the image classification or feature extraction stages. This study provides detailed information about the image segmentation algorithms, parameter selection strategies and image segmentation quality studies with literature review. Moreover, some guidelines and considerations are presented for

researchers to conduct segmentation properly focusing on some crucial research issues.

Keywords: Remote Sensing, Image Segmentation, Object based image analysis, Image Processing.

1. GİRİŞ

Yüksek mekânsal çözünürlüklü yer gözlem uydularının ilk görüntü sağlamaya başladıkları 2000'li yıllardan itibaren sayıları önemli ölçüde artmış (IKONOS, QuickBird, Worldview, vb.) sağlanan veri özellikleri iyileşirken paralel olarak uygulanan görüntü işleme teknikleri de önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu tür görüntülerdeki pikseller, arazi karakteristiğine ve algılayıcı sensörün çözünürlüğüne bağlı olarak genellikle birden fazla yeryüzü nesnesini (doğal veya yapay) içermektedir (Kavzoglu, 2009). Buna bağlı olarak, sınıf içi spektral heterojenlikte artış gözlenmektedir. Bu nedenle sınıflandırmada tek başına piksel spektral bilgisinin kullanımı sınıfları ayırt etmede yetersiz kalmaktadır. Ayrıca topoğrafyadan kaynaklanan gölgelik alanlar, yüksek binaların ve ağaçların gölgeleri sınıflandırma doğruluğunu ciddi anlamda olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür görüntülere uygulanan piksel tabanlı yaklaşımların sınıflandırma ve özellik çıkarımı konusunda istenen sonuçları vermediği görülmüştür (Yu vd., 2006). Özellikle, sadece piksellerin spektral değerlerinin dikkate alındığı birçok arazi örtüsü/arazi kullanımı uygulamasında, yüksek sınıf içi spektral değişkenlik ve sınıflar arası spektral benzerlik nedeni ile düşük sınıflandırma doğrulukları elde edilmektedir (Blaschke vd., 2004; Myint vd., 2011). Buna ek olarak, geleneksel piksel tabanlı yaklaşımlar ile yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırılmasında tuz-biber etkisi adı verilen görüntü oluşmakta, yüksek sınıflandırma doğruluğu beklentileri karşılanamamakta ve coğrafi bilgi sistemlerine aktarımda sorunlar ortaya çıkmaktadır (Duveiller vd., 2008; Hussain vd., 2013). Bu zorlukların üstesinden gelmek ve görüntü analizinin kalitesini arttırmak amacıyla, nesne tabanlı görüntü analizi (NTGA) veya coğrafi nesne tabanlı görüntü analizi (CNTGA) adı verilen yaklaşım kullanılmaya başlamıştır (Blaschke, 2010; Blaschke vd., 2014).

NTGA yaklaşımı, uzaktan algılanmış görüntülerin makine öğrenme (machine learning) algoritmalarıyla analizi için yeni ve benzersiz bir bakış açısı sunmaktadır.

Uzaktan algılama alanında nesne tabanlı görüntü analizi kavramı ilk olarak Blaschke ve Strobl (2001) tarafından dile getirilmiş ve günümüze kadar sürekli gelişim göstermiştir. Özellikle, sonraki yıllarda NTGA teknikleri ve uygulamaları alanında düzenlenen uluslararası konferanslar ve hakemli dergilerdeki özel sayılar, uzaktan algılama alanında yapılan uygulama sayısının arttığını göstermiştir (Gamanya vd., 2009). NTGA piksellerin gruplandırılmasını, dolayısı ile homojen piksel kümelerinin spektral özelliklere ek olarak boyut, şekil, doku gibi özellikleriyle de analiz edilebilmelerini, hatta nesnelerin konumları ve komşulukları gibi özelliklerle de sorgulanabilmelerini sağlar. (Kalkan, 2011). Böylelikle, NTGA daha karmaşık görüntü analiz görevlerini yürütme potansiyeline sahip olmaktadır (Kavzoglu vd., 2017).

Son yıllarda arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıflandırması (Zhang ve Jia, 2014), bina çıkarımı (Belgiu ve Drăgut, 2014), orman yönetimi (Wells, 2010), tarım uygulamaları (Sertel ve Yay, 2014), su havzası sınıflandırması (Uca Avcı vd., 2014), deprem hasar sınıflandırması (Sabuncu ve Sunar, 2017), ürün tipi belirlenmesi (Uca Avcı ve Sunar, 2015; Delen ve Şanlı, 2017), değişim analizi (Hussain, vd., 2013) gibi birçok farklı alanda yapılan literatür çalışmaları ele alındığında, uzaktan algılama topluluğunun önemli bir bölümünün görüntülerden bilgi çıkarımı için piksel temelli sınıflandırma yerine NTGA yaklaşımını tercih ettiği görülmektedir (Gamanya vd., 2009). Piksel tabanlı ve nesne tabanlı görüntü analizi sonuçları karşılaştırması da son yıllarda birçok yazar tarafından gerçekleştirilmiştir (Alganci vd., 2013; Blaschke, vd., 2014; Colkesen ve Kavzoglu, 2016). Örneğin, Yan vd. (2006) piksel tabanlı sınıflandırma için en yüksek olasılık yöntemini ve nesne tabanlı sınıflandırma için k-en yakın komşuluk yöntemini ASTER görüntüsü üzerinde kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, nesne tabanlı en yakın k komşuluk sınıflandırmasının genel doğruluğunun piksel tabanlı en yüksek olasılık sınıflandırmasından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Castillejo-González vd. (2009) ise multispektral QuickBird görüntüsü ve çeşitli sınıflandırma algoritmalarını kullanarak, tarımsal alanlar üzerinde piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma performanslarını karşılaştırmışlardır. En yüksek genel sınıflandırma doğruluğu piksel tabanlı yaklaşım için %89,6,

nesne tabanlı yaklaşım için %93,69 olarak belirlenmiştir. Myint vd. (2011), çalışmalarında şehir arazi örtüsünü sınıflandırmak için QuickBird görüntüsünü kullanmıştır. Bu çalışmada, en yakın k komşuluk sınıflandırmasından ve bir dizi bulanık üyelik fonksiyonunu kullandıkları nesne tabanlı sınıflandırmadan elde ettikleri sonuçları, piksel tabanlı sınıflandırma (en yüksek olasılık algoritması) sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Nesne tabanlı sınıflandırmanın (%90,4), piksel tabanlı sınıflandırmaya göre (%67,6), büyük ölçüde üstünlük sağladığı sonucuna varmışlardır.

NTGA, temel olarak görüntü bölütleme ve sınıflandırma olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Görüntü bölütleme, görüntü üzerinde belirleyici özellikleri esas alarak homojen görüntü nesnelere oluşturma işlemidir. Bu işlem, devamında gelen sınıflandırma işlemi doğrudan etkilemesi itibarıyla NTGA'nın temelini oluşturmaktadır. Görüntü bölütleme işleminde hedef, ele alınan yeryüzü nesnesiyle oluşturulan görüntü bölütü sınırlarının tam olarak örtüşmesidir. Ancak, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde değişen düzeyde karmaşık yeryüzü özellikleri olmasına bağlı olarak tam anlamıyla örtüşme elde etmek oldukça zordur. Dolayısıyla, bölütleme parametrelerinin kullanıcı tarafından en doğru şekilde belirlenmesi ile bölütleme kalitesinin mümkün olduğu kadar yüksek olması sağlanmaya çalışılır. Görüntü bölütleme kalitesi görüntü kalitesiyle de ilişkilidir ve bant sayısı, görüntü çözünürlüğü ve görüntünün karmaşıklığına bağlı olarak değişebilmektedir (Belgiu ve Drăgut, 2014). Mevcut görüntü bölütleme algoritmalarının çoğu için parametre seçimi deneme-yanılma yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle bu işlem subjektif olarak değerlendirilebilir. Halihazırda literatürde bazı bölütleme algoritmaları için parametre belirleme yöntem ve araçları geliştirilmişse de optimum parametreleri tahmin etmek için kullanılabilecek görüş birliğine varılmış ya da onaylanmış bir yöntem veya algoritma bulunmamaktadır (Kavzoglu vd., 2017).

Görüntü bölütleme çalışmalarında, tek ölçek yerine çoklu-ölçek kullanımı sınıflandırma doğruluğunu artıran bir yaklaşımdır. Tekli-ölçek bölütlemeye optimum bölütleme arazi kullanımı/arazi örtüsü sınıflarına bağlıdır. Bunun sebebi, genel olarak bölütlemenin optimum olması durumunda bile bazı sınıflar için ideal görüntü nesnelere elde edilememesi şeklinde açıklanabilir (Räsänen vd., 2013). Ancak, farklı türlerdeki yeryüzü nesnelere için optimum ölçek belirlenmesi zor bir işlemdir (Li vd., 2010). Literatürde birçok çalışmada, tekli-ölçek

parametre kullanımının yapıldığı gözlemlenmiştir (Espindola vd., 2006; Yu vd., 2006; Neubert vd., 2008). Kullanıcıların görüntü bölütlerini araştırmasını ve her ölçeğe göre sınıflandırma kuralları geliştirmesini gerektirmeyen, çoklu-ölçek yaklaşımı, daha hızlı ve daha objektif bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır (Johnson ve Xie, 2013). Bu yüzden, çoklu-ölçek kullanımı, son yıllarda çalışmalarda daha fazla ön plana çıkmıştır (Blaschke vd., 2004; Zhou ve Troy, 2009; Drăgut vd. 2010, 2014; Kavzoglu vd., 2017). Genellikle çoklu-ölçek bölütleme yöntemleri, gözle görülebilen görüntü bileşenleri ile küçük detayların sırasıyla daha kaba ve daha iyi ölçeklerde bölütlere ayrılma eğiliminde olduğunu varsaymaktadır. Örneğin, geniş yollar, konut alanları, ormanlar ve nehir havzaları daha kaba bir ölçekte bölütlenirken, tek ev veya bina, tek tek ağaçlar, tarla ve dereler daha küçük ölçek değerleriyle ayrılabilir. Farklı ölçeklerde bölütleme elde edildikten sonra, hangi nesnelere hangi ölçeklerde sınıflandırılacağı belirlenebilir (Chen vd., 2014).

Bu çalışmanın temel amacı, NTGA ve buna bağlı olarak yapılan görüntü bölütleme çalışmaları hakkında uzaktan algılama kullanıcılarına genel bir değerlendirme yapmak ve literatür taraması sunmaktır. Bu çalışmanın içeriği üç bölüme ayrılabilir: (1) NTGA ile ilgili temel bilgi ve prensipleri vermek, (2) görüntü bölütleme yöntemleri ve gelişimi hakkında bilgi vermek, ayrıca bölütleme uygulamalarının bir özetini sunmak; (3) popüler görüntü bölütleme kalite analizlerinin genel yaklaşım ve prensiplerini ortaya koymaktır.

2. NTGA TEMELİ ve PRENSİPLERİ

NTGA yöntemi genellikle ilk adımı lokal piksel kümelenmelerinden oluşan görüntü bölütleme ve ikinci adımı görüntü nesnelere sınıflandırılması ve doğruluk analizi ile değerlendirmesi olan bir süreçtir.

İlk adım olan görüntü bölütleme işleminde, nesne şekli, boyutu ve spektral özellikleri, araştırma hedeflerine ve bölütleme yaklaşımına bağlı olarak belirlenmektedir (Dronova, 2015). Bu çalışmada, NTGA ile ilgili hakemli dergilerde, kitap bölümlerinde ve konferanslarda yayınlanmış 100'ün üzerinde akademik çalışma tarandıktan sonra NTGA'nın genel anlamda önceleri kullanılan görüntü bölütleme, kenar algılama, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma kavramlarına dayandığı söylenebilir. (Haralick, 1983; Levine ve Nazif, 1985; Pal ve Pal, 1993). Burada görüntü bölütleme yöntemleri, bölüt kalitesi ve bölütleme

parametreleri ile ilgili çalışmalar incelenerek sunulmuştur.

NTGA'nın uygulanma süreci hem araştırma hedeflerine hem de yazılıma bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. İncelenen yayınlar arasında en yaygın yazılımı olarak, özel algoritma geliştirilmesini sağlayan ve kural setleri kombinasyonu, bölütleme, sınıflandırma ve diğer veri analizi adımlarını gerçekleştiren eCognition yazılımı (Trimble Inc) öne çıkmaktadır. Ayrıca, Berkeley ImgSeg, ENVI feature extraction module (Exelis VIS Inc), ESRI ArcMAP, ERDAS MAGINE ticari yazılımları da son zamanlarda NTGA yöntem ve yaklaşımlarını sunmaya başlamıştır. Açık kaynak kodlu yazılımlarda ise Monteverdi-Orfeo Toolbox ve Spring yazılımları ön plana çıkmaktadır.

3. GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME YÖNTEM ve UYGULAMALARI

Görüntü bölütlemenin uzaktan algılama alanında yaygın kullanımı 2000'li yıllarda başlar (Blaschke vd., 2004). Görüntü bölütleme, düşük seviyeli görüntü işleme ve üst düzey görüntü analizi arasındaki semantik boşluk için bir köprü görevi görür (Toro vd., 2015). Görüntü bölütleme, özellikle multispektral görüntüler için karmaşık ve derinlemesine incelenmesi gereken bir çalışma alanıdır. Tek bir algoritmanın tüm görüntüler için yeterli kabul edilemeyeceği ortaya konmuştur (Räsänen vd., 2013). Görüntü bölütleme yöntemleri; kümeleme (özellik-uzayı eşikleme) esaslı bölütleme, kenar (gradyan) tabanlı bölütleme, bölge tabanlı bölütleme olmak üzere üç grupta incelenebilir.

a. Kümeleme Esaslı Bölütleme

Kümeleme esaslı bölütleme, bir veri kümesinin belirli sayıda gruba bölmek için kullanılan bir yöntemdir. Piksel grupları arasındaki mekânsal ilişki göz önünde bulundurulmadan renk veya doku gibi benzer özelliklere sahip pikseller gruplandırılır. K-ortalama, ISODATA ve ortalama kaydırma (mean shift) algoritmaları en çok kullanılan kümeleme yöntemleri arasında yer almaktadır.

En popüler kümeleme esaslı bölütleme yöntemleri arasında süper piksel algoritmaları ön plana çıkmaktadır. Süper pikseller, renk, doku gibi belirli ölçütlere göre oluşturulmuş küçük, lokal ve tutarlı kümelerden oluşan istatistiksel olarak anlamlı homojen görüntü bölgeleridir (Ren ve Malik, 2003; Kavzoglu ve Tonbul, 2017). Yalın Doğrusal Yinelemeli Kümeleme (Simple Linear

Iterative Clustering- SLIC) süper piksel yöntemi, Achanta vd., (2012) tarafından geliştirilmiş olup uzaktan algılama alanında yapılan çalışmalarda sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisidir (Ince vd., 2017; Kavzoglu ve Tonbul, 2017). Bu algoritma, tek bir parametreden oluşmakta olup (k : istenen eşit sayılı süperpiksel boyutu) oldukça basit bir yapıya sahiptir. SLIC yöntemi, renk yakınlığı mesafesi (denklem 2) ve uzaysal yakınlık mesafesini (denklem 3) birleştiren bir mesafe ölçüsü D (denklem 1) kullanarak, her bir pikseli en yakın küme merkezine atayarak başlatır:

$$d_{lab} = \sqrt{(l_k - l_i)^2 + (a_k - a_i)^2 + (b_k - b_i)^2} \quad (1)$$

$$d_{xy} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} \quad (2)$$

$$D_s = d_{lab} + \frac{m}{S} d_{xy} \quad (3)$$

Burada L , a ve b renk uzayı değerlerini, m süperpiksel kompaktlığını, D_s lab uzaklığının mesafesinin toplamını (d_{lab}) ve (d_{xy}) xy düzlemi mesafesini, S normalleştirilmiş grid aralığını ifade etmektedir. Renk mesafesi süperpiksel homojenliğini kontrol ederken, mekânsal uzaklık süperpiksel kompaktlığını ayarlamaktadır (Toro vd., 2015). SLIC süperpiksel oluşturma işlemi, açık kaynak kodlu Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) uygulaması (<https://github.com/cbalint13/gdal-segment>) üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.

b. Kenar (Gradyan) Tabanlı Bölütleme

Kenar tabanlı bölütleme yöntemleri, spektral olarak birbirine benzeyen komşu pikselleri saptamak ve böylece bitişik kesimler arasındaki sınırları tanımlamak için tasarlanmıştır. Kenar filtresi görüntüye uygulanır ve filtre sonucu pikseller kenar veya kenar olmayan olarak ikiye ayrılır. Kenarlar görüntü nesnelere arasındaki sınır olarak kabul edilir ve değer değişikliklerinin meydana geldiği yerde bulunurlar (Canny, 1986). Havza dönüşüm yöntemi, en çok kullanılan kenar tabanlı yöntemlerden olup yaygın olarak kullanılan ENVI yazılımında da mevcuttur. Havza dönüşümü esas olarak hidrolojik havza kavramına dayanır. Havzalar bir yerel minimumdan başlayarak suyla dolmakta ve farklı havzalardan gelen suyun toplanacağı noktalarda barajlar inşa edilmektedir. Su seviyesi en tepeye ulaştığında, işlem durdurulur. Benzer olarak, yatay bölgeler veya havza hatları adı verilen baraj tarafından ayrılmış havzalar bölütlenir (Roerdink ve Meijster, 2001).

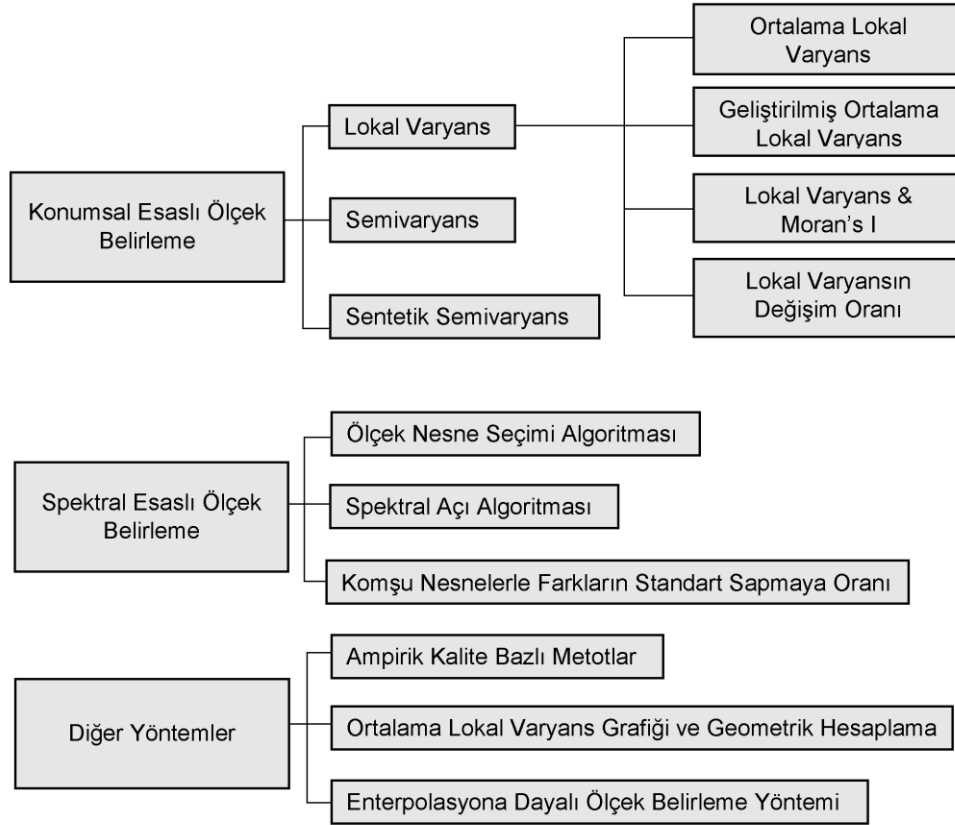
c. Bölge Tabanlı Bölütleme

Bölge tabanlı bölütleme yöntemleri, spektral olarak benzer olan ve dolayısıyla aynı coğrafi nesneye ait olan komşu pikselleri saptamak için tasarlanmıştır. Bu tür yöntemler; pikselleri birleştirme, görüntüyü bölgelere ayırma ve iteratif bir arama şemasında bölme ve birleştirme olarak kategorize edilebilir (Glasbey ve Horgan, 1995). Birçok bölge tabanlı yöntem bulunmasına rağmen, bunların çoğu oldukça karmaşıktır. En çok bilinen ve kullanılan eCognition yazılımı içinde de yer alan çoklu-çözünürlük yöntemidir. Bu yöntemde, her piksel bir görüntü nesnesi olarak düşünülmekte ve komşu piksel kümelenmeleri baz alınarak birleştirilmektedir. Birleştirme işlemi, bitişik görüntü nesnelere benzerliğini tanımlayan yerel homojenlik kriterlerine dayanmakta ve olası bir birleştirme bitinceye kadar sürmektedir.

Çoklu-çözünürlük yöntemi, ölçek, biçim ve bütünlük olmak üzere kullanıcı tanımlı 3 temel parametreden oluşmaktadır (Baatz ve Schäpe, 2000). Ölçek parametresi belirtilen parametreler arasında görüntü nesnelere üretme aşamasında en fazla öneme sahip olan parametredir. Ölçek belirlemeye yönelik birçok yaklaşım bulunmaktadır. Esas olarak, ölçek parametresi nesne boyutunu maksimum heterojenlik kriterine bağlı olarak belirleme işlemidir. Ölçek parametresi arttıkça, görüntü nesnelere boyutları da artmaktadır. Biçim parametresi, mekânsal homojenliği sağlamak ve bu değer ne kadar büyük olursa spektral homojenliğinin nesne üretimine etkisi daha az olmaktadır. Bütünlük parametresi, görüntü bölütünün kenar uzunluklarının oranlanmasında etkilidir ve buna bağlı olarak bölüt kenarlarının daha keskin veya daha yumuşak oluşmasını belirlemektedir.

4. BÖLÜTLEMEDE PARAMETRE SEÇİMİ

Görüntü bölütleme sonucunda semantik görüntü nesnelere fiziksel yeryüzü nesnelere tamamen örtüşmesi beklenir. Fakat, yüksek çözünürlüklü verilerin karmaşıklığı, coğrafi zemin özelliklerinin değişen boyutu, şekli ve bunların mekânsal dağılımı nedeniyle, görüntü bölütleme parametrelerinin ayarlanmasına yönelik global veya yerel ölçekli bir parametre modelini formüle etmek zordur. Farklı yöntemlerin teorilerine ve teknik bileşenlerine dayanarak optimum ölçek belirleme yaklaşımları Şekil 1'de görüldüğü gibi kategorize edilebilir (Liu vd., 2017). Şekil 1'de belirtilen yöntemler içerisinde en çok tercih edilenler konumsal otokorelasyon tekniğine sahip olan Moran's I indeksi ve varyans değerlerini



Şekil 1. Ölçek Belirleme Yaklaşımlarının Sınıflandırması (Liu vd., 2017)

birlikte kullanan yöntemlerdir (Espindola vd., 2006; Johnson ve Xie, 2011; Chen vd., 2014). Bu yaklaşımda nesnelere arasındaki heterojenlik ve nesnelere içerisindeki homojenlik dikkate alınır. Bölütleme içi kalite ölçütü, her bir görüntü bölütleme alanı tarafından ağırlıklandırılan varyans olup, aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (4)$$

Burada v_i , i bölütünün varyansını, a_i ise bu bölütün alanını göstermektedir. Görüntü bölütleri arası kalite ölçütü hesaplanmasında ise, global Moran's I mekânsal otokorelasyon tekniği kullanılmaktadır. Global Moran's I indeksi (MI) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$MI = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 (\sum_{i \neq j} w_{ij})} \quad (5)$$

Burada n toplam bölüt sayısını, w_{ij} mekânsal yakınlık ölçüsünü, y_i R_i bölütünün ortalama

spektral değerini ve \bar{y} görüntünün ortalama spektral değerini göstermektedir. MI değeri $[-1, +1]$ değerleri arasında değişmektedir. Bölüt içi ve bölütler arası değerler farklı değer aralıklarında olabilmektedir. Her iki değeri de bir arada kullanabilmek için $(0-1)$ aralığına indirgemek ve normalizasyon işlemi yapmak gereklidir. Normalizasyon işlemi aşağıdaki şekilde yapılır:

$$F(V, MI) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

Burada x_{\min} ve x_{\max} , Moran's I veya varyansın maksimum ve minimum değerlerini göstermektedir. Her bir görüntü bölütlemesine genel bir "Global Skor" (GS) atamak için, normalleştirilmiş ağırlıklı varyans ve Moran'in I değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$GS = V_{norm} + MI_{norm} \quad (7)$$

V_{norm} ve MI_{norm} normalize edilmiş varyans ve Moran's I değerlerini göstermektedir. Optimum ölçek değeri GS 'nin minimum olduğu değerden hesaplanır. Yukarıda belirtilen hesaplamalar esas alınarak F-ölçü yöntemi olarak geliştirilmiş bir yaklaşım daha mevcuttur (Johnson vd., 2015). Bu

yaklaşımında GS değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$GS_f = (1 + a^2) \frac{MI_{norm} \cdot V_{norm}}{a^2 \cdot MI_{norm} + V_{norm}} \quad (8)$$

Burada a değeri, MI_{norm} ve V_{norm} 'un ağırlığını kontrol eden değerdir. GS_f , en iyi tekil ölçekleme ve üç seviyeli hiyerarşik bölütleme parametrelerini belirlemek üzere her bir ölçek için hesaplanmaktadır. Literatürde, lokal varyans tabanlı ölçek belirleme yöntemleri arasında en çok kullanılan ve iki versiyonu bulunan "Ölçek Parametresi Belirleme" (ESP-1 & ESP-2) yöntemidir (Drăgut vd. 2010, 2014). ESP aracı, eCognition Developer yazılımının Cognition Network Language (CNL) ortamında programlanan ve çoklu-çözünürlük görüntü bölütleme yöntemi için geliştirilmiş bir ölçek belirleme aracıdır. Kullanıcının belirlediği artış miktarına göre otomatik görüntü bölütlemesi gerçekleştirilmekte ve her objenin çıkartımı aşamasında standart sapmaların ortalaması olarak lokal varyanslar hesaplanmaktadır (Kalkan, 2011). Lokal varyans grafikleri, görüntünün veri özelliklerine göre uygun ölçek parametrelerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Lokal varyansın değişim oranlarındaki eşik değerleri hangi ölçek parametresinde anlamlı nesnelerin bölütlemesinin yapılacağını ifade etmektedir. Her bir ölçek parametresi için hesaplanan lokal varyans değerinin değişim oranının Eşitlik 9'a göre belirlenmesi sonucunda bir LV-RoC grafiği elde edilmektedir (Kalkan, 2011).

$$R = \left[\frac{L - (L - 1)}{L - 1} \right] \cdot 100 \quad (9)$$

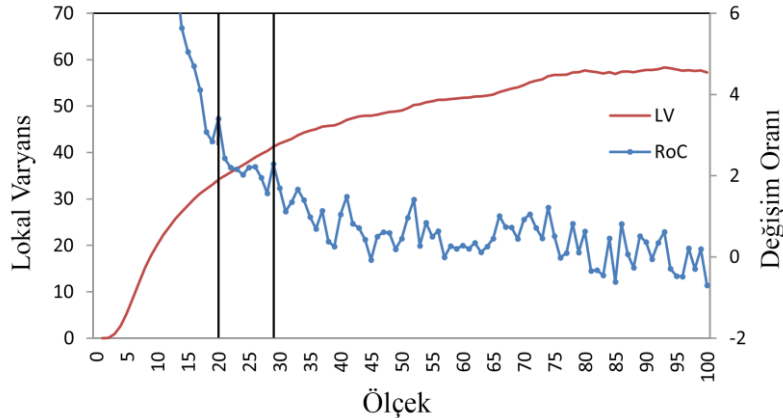
Burada, L hedef nesnenin lokal varyansını, $L-1$ bir sonraki alt nesne seviyesinin lokal

varyansını göstermektedir. LV-RoC grafiği ani iniş çıkışlardan oluşan pikler şeklindedir ve grafikte ani değişimin görüldüğü pikler seçilebilecek optimum ölçek parametresini göstermektedir (Drăgut vd., 2010; Kavzoglu vd., 2016). Örnek bir LV-RoC grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'den görüleceği üzere, ani değişimin ve ilk zıplamanın görüldüğü ilk pik noktası olarak 20 değeri optimum ölçek değeri olarak belirlenebilir. Alternatif değer olarak, ikinci pik değeri (29) noktası da kullanılabilir.

ESP-2 aracı, bir önceki versiyonun geliştirilmiş versiyonudur ve lokal varyans hesabında tek bant yerine maksimumda 30 bant hesaba katarak işlem yapmaktadır (Drăgut vd. 2014). Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmasında, ESP araçlarının "Web of Science" veri tabanında 200'den fazla bilimsel yayında kullanıldığı tespit edilmiştir.

5. BÖLÜTLEME KALİTE ANALİZLERİ

Uzaktan algılanmış görüntülerde, farklı arazi örtüsü sınıflarına ve uygulanacak olan görüntü bölütleme algoritmasına bağlı olarak görüntü bölütleme kalitesi oldukça değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, bölütleme parametre seçimi de olması gerekenden farklı görüntü nesnelerinin oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, bölütleme algoritmalarının performansını değerlendirmek, etkin bölütleme algoritmaları tanımlamak ve optimum bölütleme parametre tahmini yapmak için önemlidir (Neubert vd., 2008; Johnson ve Xie, 2011). Görüntü bölütleme kalitesi doğruluğunu değerlendirmenin birçok yolu vardır ve bunlar genel olarak, kontrollü ve kontrolsüz yaklaşımlar olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Görüntü bölütleme yöntemlerini ve parametrelerini belirleme de bir standart olmadığı gibi, bölütleme kalite belirleme analizi için de herkes tarafından kabul edilen bir standart bulunmamaktadır.



Şekil 2. Örnek lokal varyans (LV-RoC) grafiği

a. Kontrollü yöntemler

Kontrollü yöntemler, bölütleme sonucunu kontrol veya referans nesnelere bağlı olarak sayısal analizler yardımıyla değerlendirirler. İdeal durumda, referans nesnelere oluşturulan görüntü bölütlerinin birebir örtüşmesi beklenir. Mevcut kontrollü değerlendirme teknikleri, ele alınan görüntü nesnelere ilgili olan referans nesnelere arasındaki geometrik ve/veya aritmetik ilişkiyi modelleme üzerine kuruludurlar. Esas amaç, fazla bölütleme (görüntü nesnelere referans nesnelere küçük olması durumu) ve yetersiz bölütlemeyi (görüntü nesnelere referans nesnelere büyük olması durumu) belirleyerek görüntü bölütleme kalitesini ölçmektir. Literatürde, en sık kullanılan kontrollü değerlendirme teknikleri, alan uyum indeksi (AUI) ve kalite oranı (KO) metrikleridir.

$$AUI = \frac{A_{r(i)} - A_{s(j)}}{A_{r(i)}} \quad (10)$$

$$KO = \frac{A_{r(i)} \cap A_{s(j)}}{A_{r(i)} \cup A_{s(j)}} \quad (11)$$

AUI , referans nesnelere ve karşılık gelen görüntü nesnelere arasındaki örtüşme derecesini hesaplar (Lucieer ve Stein, 2002). Pozitif AUI fazla bölütlemeyi, negatif AUI yetersiz bölütlemeyi gösterir. KO , görüntü bölütlerine karşılık gelen referans nesnelere arasındaki örtüşmeyi göstermektedir (Winter, 2000) Belirtilen metrikler, 0 ile 1 arasında değerler alır. Referans nesnelere ve üretilen görüntü nesnelere arasında birebir örtüşme olduğunda AUI değeri 0 ve KO değerinin 1 olması beklenmektedir (Clinton vd., 2010). Bazı çalışmalarda fazla bölütleme ve yetersiz bölütlemeyi belirlemek amacıyla bölge esaslı kesinlik (p) ve geri çağırma (r) metrikleri kullanılmaktadır (Yi vd., 2012; Zhang vd., 2015). Burada esas olan, her referans nesnesinin bir görüntü bölütüyle eşleşmesi ve örtüşme oranlarının maksimum olmasıdır. S_i , her bir görüntü nesnesini, R_i her bir referans nesnesini, $R_{i_{max}}$ ise ilgili görüntü nesnesiyle maksimum oranda örtüşen referans nesnesini temsil etmektedir.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i \cap R_{i_{max}}|}{\sum_{i=1}^n |S_i|} \quad (12)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m |R_i \cap S_{i_{max}}|}{\sum_{i=1}^m |R_i|} \quad (13)$$

Bu metriklerin dışında; potansiyel bölütleme hatası (PBH), bölütleme sayısı oranı (BSO) ve öklit uzaklığı 2 ($\ddot{O}U-2$) gibi başka kontrollü değerlendirme yöntemleri de bulunmaktadır. PBH , yetersiz bölütleme olan yerlerin toplam alanını ve referans nesnelere arasındaki oran üzerinden hesaplanan geometrik uyumsuzluğu ölçer. BSO , referans nesnelere ve ilgili görüntü bölütleri arasındaki aritmetik tutarsızlığı ölçmektedir. $\ddot{O}U-2$ indisi ise görüntü bölütleme kalitesini, PBH ve BSO indislerini hesaplayarak belirlemektedir (Liu vd., 2012; Novelli vd., 2017). Aşağıda belirtilen denklemlerde, r_i referans veri seti içindeki referans poligonlarını, s_k karşılık gelen bölütleme veri kümesindeki ilgili görüntü bölütlerini, m referans poligonlarının sayısını, v ise karşılık gelen görüntü bölütleri sayısını ifade etmektedir.

$$PBH = \frac{\sum |s_i - r_k|}{\sum r_k} \quad (14)$$

$$BSO = \frac{|m - v|}{m} \quad (15)$$

$$\ddot{O}U - 2 = \sqrt{(PBH^2) + (BSO)^2} \quad (16)$$

b. Kontrolsüz yöntemler

Kontrolsüz yöntemler, insan algılarını esas olarak görüntüyü değerlendirir ve buna bağlı olarak uyumlu bölütlemeye yönelik olarak belirli ölçütleri kullanırlar (Zhang, 1996; Zhang vd., 2008). Kontrollü yöntemlerden farklı olarak, herhangi bir yer kontrol noktasına veya referans nesnesine ihtiyaç duymazlar. Literatürde, uzaktan algılanmış görüntüler için oluşturulmuş birçok kontrolsüz yöntem yaklaşımı bulunmaktadır. Örneğin; Stein ve De Beurs (2005), iki Landsat görüntüsünün görüntü bölütlerinin semantik doğruluğunu belirlemek için karmaşıklık metriklerini kullanmıştır. Radoux ve Defourny (2008), kırsal alanda bölütleme sonuçlarını değerlendirmek için normalleştirilmiş bölütleme sonrası standart sapma ve kenar uyumsuzluğunun bir kombinasyonunu kullanmıştır. Shi vd. (2017), nesnelere önemli özelliklerini yansıtan yeni bir kontrolsüz yöntem önermiştir. Genel olarak, kontrolsüz yöntemler optimum ölçek parametresi tespitine yönelik olarak görüntüye uygulanırlar. Bu yöntemler yer

kontrol noktası gerektirmediğinden zaman ve maliyet bakımından avantajlı sayılabilirler. Ancak, görsel analiz kantitatif değerlendirme sağlayamaz ve insan algısına bağlı olduğundan öznel olarak değerlendirilmektedir (Su ve Zhang, 2017).

6. TARTIŞMA

Görüntü bölütleme ölçeğinin seçimi için geleneksel yaklaşım, çoğunlukla bölütleme uygunluğunun görsel bir değerlendirmesine dayanan öznel deneme yanılma yöntemlerinin kullanılmasıdır. Bu yaklaşımlar NTGA'nın uzman bilgi birikimine ihtiyacının fazla olması sebebiyle, pek tekrarlanabilir değildirler ve yaklaşımın sağlamlığına ilişkin bazı sınırlamaları ortaya çıkarmaktadırlar. Buna bağlı olarak, optimum ölçek parametresini belirlemeye yönelik otomatik ölçek seçimi yöntemleri oluşturulsa da bazı kısıtlamalar bulunmaktadır.

Karmaşık yeryüzü yapısı, görüntü mekânsal çözünürlüğü, spektral bant sayısı gibi etkenlere bağlı olarak, optimum bölütleme yönteminin belirlenmesinde evrensel olarak kabul görmüş bir standart bulunmamaktadır. Bazı görüntü bölütleme algoritmaları, kentsel alan içeren görüntülerin işlenmesinde iyi performans sağlarken, bazılarının kırsal alanların bölütlenmesinde iyi performans gösterdiği; bazı yöntemlerin sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerde başarılı sonuçlar verirken bazılarının da optik olanlar için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Su ve Zhang, 2017). Dolayısıyla, en uygun görüntü bölütleme bilgisinin çıkarımı için dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar şunlardır:

- Spektral ve mekânsal özellikleri nedeniyle tüm objeler birbirinden farklı özelliğe sahiptir. Bu nedenle her arazi örtüsü sınıfı özelliği için tekli ölçek kullanımı yeterli olmayabilir (Baatz ve Schäpe, 2000). Ayrıca, tekli ölçeğin kullanılması, bazı arazi örtüsü özellikleri için fazla veya yetersiz bölütlemeye neden olabilmektedir. Bu durumlarda görüntü karakteristiğine göre farklı arazi örtüsü sınıfları için çoklu ölçek yaklaşımları tercih edilmelidir (Kavzoglu vd., 2017).

- Kalite değerlendirme işlemi, NTGA'nın genel iş akışı içinde mutlaka yer almalıdır. Ancak bu yöntemler güçlendirilmelidir. Kontrollü kalite değerlendirme yöntemlerinde, genellikle doğal nesnelere (yani, fiziksel sınırı belli olmayan nesnelere) yerine binalar ve diğer yapay yapılar olan referans arazi kullanım nesnelere kullanılmaktadır (Belgiu ve Drăgău, 2014; Doxani vd., 2015). Albrecht vd. (2010)'a göre doğal

nesnelere kavramsal olarak daha belirgin olmalarına rağmen, tematik çalışmalarda bazı belirsizlikler içermektedirler. Ölçek nedeniyle sınırlarda oluşan bulanıklık, doğal nesnelere doğrulanmasını güçleştirmektedir (Kavzoglu vd., 2017).

- Görüntü bölütleme sonucu oluşan görüntü nesnelere, genellikle nesne içi spektral varyasyon veya heterojenite ile ilgili parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Çoklu-çözünürlük bölütleme yaklaşımı ile farklı boyutlu nesnelere göreceli ağırlıkları, ile biçim (geometri) ve renk arasındaki uyum (spektral) nesne içi heterojeniteye izin veren ölçekle belirlenebilir. Dolayısıyla, çoklu-çözünürlük yaklaşımı ile çok sayıda potansiyel parametre seçimi mümkün hale gelmekte ve tek ölçek kullanımına kıyasla daha avantajlı olabilmektedir.

- Görüntü bölütleme sürecinin parametre seçimi aşamasının deneme yanılma yaklaşımı yerine, ESP aracı gibi yarı otomatik veya otomatik yöntemler ile gerçekleştirilmesi daha bilimsel ve objektif bir yaklaşım olacaktır.

7. SONUÇ

NTGA yaklaşımının özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları üzerinde yapılan çalışmalarda ciddi katkılar sağladığı ve sunmuş olduğu esnek yapı ile her geçen gün artan sayıda kullanıldığı görülmektedir. Nesneye dayalı yaklaşımlar, sadece bilgisayar dilleri değil görüntü işleme analizine de kolayca adapte edilebilmektedir. Farklı coğrafi uygulamalar için görüntü bölütlemesi kullanan uzaktan algılama/coğrafi bilgi sistemleri uygulayıcılarının büyük bir bilimsel topluluk oluşturduğu söylenebilir. Yaygın kullanım ile NTGA'nın geliştirilmesi, belirli alanlar, disiplinler ve kullanıcı ihtiyaçları için nesne tabanlı çözümlerin uyarlanması daha hızlı ve kolay olacaktır. NTGA, tarım, ormancılık, kentsel alanların izlenmesi ve doğal kaynakların analizi gibi birçok görüntü analizi çalışmalarında başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak NTGA, esas olarak, yaklaşımın sağlamlığına ilişkin önemli bilimsel konuları vurgulayan uzman bilgiye dayanmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde ifade edilen önemli teknikler ve çalışmalar hakkında bilgiler özetlenerek, NTGA alanındaki son durum ve gelişim ihtiyaçları tartışılmıştır. Literatürden örnekler de verilerek mevcut görüntü bölütleme yöntemleri, görüntü bölütleme parametre seçim yaklaşımı ve araçları, ayrıca görüntü kalite analizi

konularına odaklanılmıştır. Bununla birlikte, görüntü bölütleme işlemini uygun biçimde gerçekleştirmek için ele alınması gereken temel problemler de tartışılmıştır. Bu çalışma ile son yıllarda popüler hale gelen ve yazılımlara entegre edilen görüntü bölütleme ile nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımının, uzaktan algılama alanında daha etkin olarak kullanılacağı ve önemli bir araştırma konusu olacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., Süsstrunk, S., (2012), **SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 34(11), 2274-2282.
- Albrecht, F., Lang, S. Hölbling, D., (2010), **Spatial accuracy assessment of object boundaries for object-based image analysis**, In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, No. 4, p. C7.
- Alganci, U., Sertel, E., Ozdogan, M., Ormeci, C., (2013), **Parcel-level identification of crop types using different classification algorithms and multi-resolution imagery in southeastern Turkey**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 79(11), 1053–1065.
- Baatz, M., Schape, A., (2000), **Multi resolution segmentation-an optimization approach for high quality multi scale image segmentation**, Proceedings of Twelfth Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Germany: Karlsruhe Institute of Technology, May 25-27.
- Belgiu, M., Drăgut, L., (2014), **Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 96, 67–75.
- Blaschke, T., Strobl, J., (2001), **What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS**, GeoBIT/GIS, 6, 12–17.
- Blaschke, T., Burnett, C., Pekkarinen, A., (2004), **New contextual approaches using image segmentation for object-based classification**, In F. DeMeer, F., de Jong, S. (Eds.), Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain, Academic Publishers, Dordrecht, 211–236.
- Blaschke, T., (2010), **Object based image analysis for remote sensing**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(1), 2-16.
- Blaschke, T. Hay, G.J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Feitosa, R.Q., Meer, F., Werff, H., Coillie, F., Tiede, D., (2014), **Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 87, 180–191.
- Canny, J., (1986), **A computational approach to edge detection**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 679–698.
- Castillejo-González, I. L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Expósito, M., de la Orden, M. S, et al. (2009), **Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery**, Computers and Electronics in Agriculture, 68(2), 207–215.
- Chen, J., Deng, M., Mei, X., Chen, T., Shao, Q., Hong, L., (2014), **Optimal segmentation of a high-resolution remote-sensing image guided by area and boundary**, International Journal of Remote Sensing, 35(19), 6914-6939.
- Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L., Gong, P., (2010), **Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76(3), 289-299.
- Colkesen, I, Kavzoglu, T., (2016), **The use of logistic model tree (LMT) for pixel- and object-based classifications using high-resolution WorldView-2 imagery**, Geocarto International, 1–16.
- Delen, A., Şanlı, F.B., (2017), **Nesne-Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi ile Tarımsal Ürün Deseninin Belirlenmesi**, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 242-247.

- Doxani, G., Karantzas, K., Tsakiri, M., (2015), **Object-based building change detection from a single multispectral image and pre-existing geospatial information**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 81(6), 481–489.
- Drăgut, L., Tiede, D., Levick, S.R., (2010), **ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data**, International Journal of Geographical Information Science, 24(6), 859-871.
- Drăgut, L., Csillik, O., Eisank, C., Tiede D., (2014), **Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 88(100), 119–127.
- Dronova, I., (2015), **Object-based image analysis in wetland research: a review**, Remote Sensing, 7, 6380–6413.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., Mayaux, P., (2008), **Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts**, Remote Sensing of Environment, 112(5), 1969-1981.
- Espindola, G.M., Camara, G., Reis, I.A., Bins, L.S., Monteiro, A.M., (2006), **Parameter selection for region-growing image segmentation algorithms using spatial autocorrelation**, International Journal of Remote Sensing, 27(14), 3035-3040.
- Gamanya, R., de Maeyer, P., De Dapper, M., (2009), **Object-oriented change detection for the city of Harare, Zimbabwe**, Expert Systems with Applications, 36(1), 571–588.
- Glasbey, C. A., Horgan, G. W., (1995), **Image analysis for the biological sciences**, Chichester: John Wiley & Sons.
- Haralick, R.M., (1983), **Decision making in context**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 5(4), 417–428.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D., (2013), **Change detection from remotely sensed images: from pixel-based to object-based approaches**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80, 91–106.
- Johnson, B., Xie, Z., (2011), **Unsupervised image segmentation evaluation and refinement using a multi-scale approach**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(4), 473-483.
- Johnson, B., Xie, Z., (2013), **Classifying a high resolution image of an urban area using super-object information**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 83, 40-49.
- Johnson, B., Bragais, M., Endo, I., Macandog, D. M., Macandog, P., (2015), **Image Segmentation Parameter Optimization considering Within- and Between-Segment Heterogeneity at Multiple Scale Levels: Test Case for Mapping Residential Areas Using Landsat Imagery**, ISPRS International Journal of Geo-Information 4(4), 2292–2305.
- Ince, A., Bozkurt, S., Bayram, B., (2017), **Rasat uydu görüntüsünden nesne tabanlı kıyı çizgisi çıkartma: Sapanca gölü örneği**, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- Kalkan, K., (2011), **Kentsel gelişim için potansiyel açık alanların belirlenmesinde nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile transfer edilebilir kural dizisi oluşturulması**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi.
- Kavzoglu, T., Yıldız Erdemir, M., Tonbul, H., (2017), **Classification of semi-urban landscapes from VHR satellite images using a novel regionalized multi-scale segmentation approach**, Journal of Applied Remote Sensing, 11(3), 035016.
- Kavzoglu, T., (2009), **Increasing the accuracy of neural network classification using refined training data**, Environmental Modelling & Software 24 (7), 850–858.
- Kavzoğlu, T., Tonbul, H., Yıldız Erdemir, M., Çölkesen, İ., (2016), **Hiperspektral Görüntülerin Nesne Tabanlı Sınıflandırılmasında Boyutsallık Problemi Ve Parametre Seçimi**, 6. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZALCBS'2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Kavzoglu, T., Tonbul, H., (2017), **Selecting Optimal SLIC Superpixels Parameters by Using Discrepancy Measures**, In Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), New Delhi, India.

- Levine, M.D., Nazif, A.M., (1985), **Rule-based image segmentation: A dynamic control strategy approach**, Computer Vision, Graphics and Image Processing 32(1), 104–126.
- Li, D., Zhang, G. Wu, Z., Yi, L., (2010). **An Edge Embedded Marker-Based Watershed Algorithm for High Spatial Resolution Remote Sensing Image Segmentation**. IEEE Transactions on Image Processing 19(10), 2781–2787.
- Liu, Y., Bian, L., Meng, Y., Wang, H., Zhang, S., Yang, Y., Shao, X., Wang, B., (2012), **Discrepancy measures for selecting optimal combination of parameter values in object-based image analysis**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 68, 144–156.
- Liu, J., Du, M., Mao, Z., (2017), **Scale computation on high spatial resolution remotely sensed imagery multi scale segmentation**, International Journal of Remote Sensing, 38(18), 5186-5214.
- Lucieer, A., Stein, A., (2002), **Existential uncertainty of spatial objects segmented from satellite sensor imagery**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11), 2518-2521.
- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., Weng, Q., (2011), **Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery**, Remote Sensing of Environment, 115(5), 1145–1161.
- Neubert, M., Herold, H., Meinel, G., (2008), **Assessing Image Segmentation Quality - Concepts, Methods and Application**. In Blaschke, T.; Hay, G. & Lang, S. (Eds.): Object-Based Image Analysis – Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Lecture Notes in Geoinformation & Cartography (LNG&C), Springer, Berlin: 769-784.
- Novelli, A., Aguilar, M.A., Aguilar, F.J., Nemmaoui, A., Tarantino, E., (2017), **AssesSeg – A command line tool to quantify image segmentation quality: a test carried out in southern Spain from satellite imagery**, Remote Sensing, 9(1), 1–11.
- Pal, R., Pal, K., (1993), **A review on image segmentation techniques**. Pattern Recognition 26(9), 1277–1294.
- Radoux, J., Defourny, P., (2008). **Quality assessment results devoted to object-based classification**. In Blaschke, T., Lang, S., Hay, G. (Eds.), Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, pp. 255–271.
- Räsänen, A., Rusanen, A., Kuitunen, M. Lensu, A., (2013), **What makes segmentation good? A case study in boreal forest habitat mapping**, International Journal of Remote Sensing 34(23), 8603–8627.
- Ren, X., Malik, J., (2003), **Learning a classification model for segmentation**, Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, 10–17.
- Roerdink, J. B., Meijster, A., (2001), **The watershed transform: definitions, algorithms and parallelization strategies**, Fundamenta informaticae, 41(1), 187–228.
- Sabuncu, A., Sunar F., (2017), **Ortofotolar ile Nesne Tabanlı Görüntü Sınıflandırma Uygulaması: Van Erciş Depremi Örneği**, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(1), 1-8.
- Sertel, E., Yay, I., (2014), **Vineyard parcel identification from Worldview-2 images using object based classification model**, Journal of Applied Remote Sensing, 8(1), 083535.
- Shi, R., Ngan, K.N., Li, S., (2017), **Objectness based unsupervised object segmentation quality evaluation**, In Proceedings of the Seventh International Conference on Information Science and Technology, Da Nang, Vietnam, 16–19 April 2017; pp. 256–258.
- Stein, A, De Beurs, K., (2005), **Complexity metrics to quantify semantic accuracy in segmented Landsat images**, International Journal of Remote Sensing, 26(14), 2937-2951.
- Su, T., Zhang, S., (2017), **Local and global evaluation for remote sensing image segmentation**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 130 (2017), 256–276.

- Toro O., Gonzalo Martín, C., García Pedrero, Á., Ruiz, E.M., (2015), **Superpixel-based roughness measure for multispectral satellite image segmentation**, Remote Sensing, 7, 14620–14645.
- Uca Avci, Z.D., Karaman, M., Ozelkan, E., Kumral, M., Budakoglu, M., (2014), **OBIA based hierarchical image classification for industrial lake water**, Science of The Total Environment, 487(1), 565-573.
- Uca Avci Z. D., Sunar F., (2015), **Process based image analysis for agricultural mapping A case study in Turkgeldi region Turkey**, Advances in Space Research, 56(8), 1635-1644.
- Wells, W.K., (2010), **Object-based segmentation and classification of one meter imagery for use in forest management plans**, MSc Thesis, Utah State University, USA. 49p.
- Winter, S., (2000), **Location similarity of regions**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 55(3), 189-200.
- Yan, G., Mas, J. F., Maathuis, B. H. P., Xiangmin, Z., & Van Dijk, P. M., (2006). **Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches-A case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China**, International Journal of Remote Sensing, 27(18), 4039–4055.
- Yi, L., Zhang, G., Wu, Z., (2012), **A scale-synthesis method for high spatial resolution remote sensing image segmentation**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(10), 4062–4070.
- Yu, Q., Gong, P., Chinton, N., Biging, G., Kelly, M., Schirokauer, D., (2006), **Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(7), 799–811.
- Zhang, Y.J., (1996), **A survey on evaluation methods for image segmentation**, Pattern Recognition, 29(8), 1335–1346.
- Zhang, H., Fritts, J.E., Goldman, S.A., (2008), **Image segmentation evaluation: a survey of unsupervised methods**, Computer Vision Image Understanding. 110(2), 260-280.
- Zhang, J.X., Jia, J., (2014), **A comparison of pixel-based and object-based land cover classification methods in an arid/semi-arid environment of northwestern China**, The Third International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA 2014), Changsha, China, 11-14 June, 403–407.
- Zhang, X., Feng, X., Xiao, P., He, G., Zhu, L., (2015), **Segmentation quality evaluation using region-based precision and recall measures for remote sensing images**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 102, 73–84.
- Zhou, W., Troy, A., (2009), **Development of an object-based framework for classifying and inventorying human-dominated forest ecosystems**, International Journal of Remote Sensing 30(23), 6343–6360.

Arazi Örtüsü Değişimlerinin Çok Zamanlı Landsat 8 Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi: İstanbul Örneği

(Determination of Land Cover Changes with Multi-temporal Landsat 8 Satellite Images: A Case Study of Istanbul)

Uğur ALGANCI

İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
alganci@itu.edu.tr

ÖZ

Gelişmekte olan ülkelerde büyük şehirler, nüfus artışı ve göçe bağlı olarak dinamik bir şehirleşme sürecine maruz kalmaktadır. Şehirleşme sürecinin ivmesine bağlı olarak sürekli inşa edilen yerleşim bileşenleri, arazi örtüsü ve kullanımında önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişimler genellikle doğal örtü ve ekosistem üzerinde negatif etki etmektedir. Dolayısı ile şehirleşmeye bağlı değişimlerin düzenli takibi ve güncel durumun tespiti önem arz etmektedir. İstanbul ili Avrupa ve Asya kıtalarını ekonomik ve kültürel anlamda birbirine bağlayan önemli konumu nedeni ile sürekli şehirleşmeye maruz kalan metropollerden birisidir. Yaklaşık 17 milyon nüfusu ile Avrupa'nın en kalabalık şehri olan İstanbul için şehirleşme süreci hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu çalışmada İstanbul il sınırları dahilinde şehirleşmenin hızla artış göstermesine bağlı olarak arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi ve güncel durumunun ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 2013 - 2017 yılları arasında algılanmış çok zamanlı Landsat 8 uydu görüntülerinden elde edilen yerleşim indeksi verileri ile nesne tabanlı sınıflandırma analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında uydu görüntüleri için veri kaynaştırma ve radyometrik kalibrasyon süreçlerini içeren ön işleme adımları tamamlandıktan sonra her yıl için yerleşim alan indeksi verisi üretilmiştir. Sonraki aşamada indeks veri setine segmentasyon işlemi uygulanarak nesnelere oluşturulmuştur. Nesnelere ait spektral ve doku özellikleri için belirlenen eşik değerler kullanılarak tanımlanan sınıflar ile karar ağacı tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise sınıflandırma sonuçlarına doğruluk analizi uygulanmıştır. Çalışma sonuçları mevcut arazi örtüsünün ve yıllara bağlı değişiminin önerilen yöntem ile %90 civarında doğrulukla belirlenebileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Arazi örtüsü, değişim analizi, Yerleşim indeksi, nesne tabanlı sınıflandırma

ABSTRACT

Metropolitan cities in developing countries face dynamic urbanization due to population expansion and migration. Continuous construction of urban components related to urbanization progress result with important changes in land cover and land use characteristics of the city. Such changes generally have negative effects on the natural habitat and ecosystem. Thus, urbanization related changes should be monitored and current situation should be determined in

regular intervals. Istanbul is a metropolitan city that exposed to continuous urbanization with the prominent position that connects the European and Asian continents economically and culturally. Although, it is the most crowded city of Europe with a population of around 17 million, Istanbul faces a continuous and fast urbanization progress. Main scope of this study is to determine the changes occurring in land cover due to the rapid increase of urbanization within the provincial borders of Istanbul and to present the current situation. In this context, object based classification has been applied to built up index dataset produced from multi-temporal Landsat 8 satellite images that were acquired between 2013 – 2017. Within the scope of the analysis, the built up index data were produced for each year after the preliminary processing steps including data fusion and radiometric calibration processes for satellite images were completed. In the next step, segmentation was applied to index dataset in order to produce the objects. As a further step, decision tree based classification was applied to dataset according to class labels that were defined as thresholds derived from the spectral and textural properties of objects. As a last step, accuracy assessment was applied to classification result. Results of the study indicates that current land cover situation and temporal changes can be determined with accuracy around 90% by the proposed method.

Keywords: Land cover, change analysis, Built up index, object based classification

1. GİRİŞ

Şehirleşme ve yerleşim alanlarında meydana gelen artış, insanlık tarihi boyunca ekonomik kalkınma ve hızlı nüfus artışı nedeniyle kaçınılmaz bir süreç olmuştur (Shalaby vd., 2004). Özellikle metropol kentlerde meydana gelen aşırı şehirleşme, arazi örtüsü (AO) karakteristiklerinde önemli değişimlere neden olmaktadır (Yuan vd., 2005). Şehirleşmedeki artış ayrıca doğal kaynakların hızlı tüketilmesi nedeni ile ekolojik bozulma ve küresel ısınma gibi negatif sonuçları da beraberinde getirmektedir (Finkl ve Charlier, 2003; Shi ve Singh, 2003). Dolayısı ile güncel AO'nun ve değişimlerin düzenli takibi, çevresel ve kentsel yönetim ve planlama süreçleri için önem arz etmektedir (Niemi vd. 2004).

Son 20 yılda uydu sistemlerinde ve teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler

sonucunda uydu görüntüleri AÖ ve değişiminin tespitinde klasik yersel ölçmelerin önüne geçmeye başlamıştır. Yersel ölçmelerin yüksek iş gücü gereksinimi, maliyet ve zamansal olarak külfetli oluşunun karşısında ücretsiz olarak sunulmakta olan orta mekânsal çözünürlüklü arşiv ve güncel uydu verileri avantajlı konuma geçmiştir (Wardell vd. 2003; Ruiz-Luna ve Berlanga-Robles 2003; Kaya ve Curran, 2006).

Özellikle 1990'lardan itibaren uzaktan algılama verilerinin ulaşılabilirlikleri, spektral ve makansal çözünürlüklerinde önemli gelişmeler söz konusudur. Bu gelişmelere paralel olarak heterojen alanlarda AÖ tespitine yönelik önemli araştırmalar yürütülmüştür (Barnsley ve Barr, 1996; Herold vd., 2003; O'Hara vd., 2003; Schmidt vd. 2004). Buna karşın çalışmalar kapsamında önerilen yöntem ve analizler, kullanılan uydu görüntülerinin çözünürlük özellikleri ve belirlenmesi hedeflenen sınıfların tanımlamalarına göre çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle karmaşık yüzeylerin mevcut olduğu yoğun yerleşim içeren bölgelerde uzaktan algılama verileri kullanılarak AÖ'nün güncel durumun ve meydana gelen değişimlerin belirlenmesi için standartlaştırılmış ve basitleştirilmiş yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Campbell, 2002).

Literatürde AÖ'nün güncel durumunun belirlenmesi için piksel tabanlı sınıflandırma algoritmalarının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Bruzonne ve Persello, 2009; Mountrakis vd., 2011). Bu algoritmalar arasında son yıllarda kullanım oranı artan karar destek makinası algoritmasının diğerlerine göre daha yüksek doğruluk sağladığını belirten çalışmalar mevcuttur (Shao ve Lunetta, 2012). Buna karşılık, yüksek sınıflandırma doğrulukları genellikle temel arazi örtüsü sınıfları ya da belirli bir arazi kullanımı sınıfı hedef alındığında elde edilebilmektedir (Herold vd., 2003). Nesne tabanlı sınıflandırma ise, özellikle çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin yaygınlaşması sonrasında yoğun olarak kullanılan bir sınıflandırma algoritması olmakla beraber Landsat gibi orta mekânsal çözünürlükteki verilerde kullanımı da yaygınlaşmaya başlamıştır (Kim vd. 2009; Tansey vd. 2009; Chofan vd. 2016).

Yüzey örtü tiplerinin karmaşık spektral karakteristiklerinin basitleştirilmesi ve belirli özelliklerin vurgulanması için temel olarak kullanılan yöntemlerden birisi spektral indeks analizidir. Spektral indeksler, bitki indeksi, yerleşim indeksi, su indeksi gibi belirli bir yüzey örtü tipine duyarlılık gösterecek şekilde tasarlanmaktadır. Literatürde yerleşim alanlarının

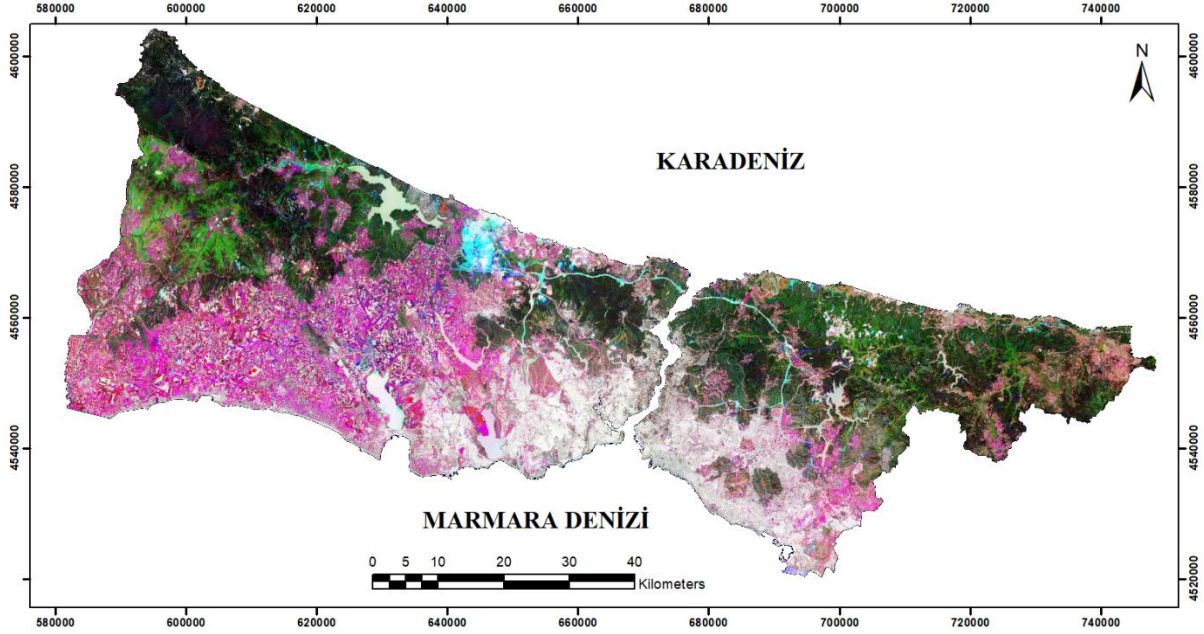
belirlenmesine ilişkin indeks tabanlı sınıflandırma yaklaşımları ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Chen vd., 2006; Zhou vd., 2014).

İstanbul metropolü Türkiye'nin en çok göç alan şehri olup, endüstriyel gelişim ve yerleşim artışına bağlı olarak AÖ'nün dinamik olarak değiştiği heterojen yüzey özellikleri sergilemektedir. İstanbul'da özellikle 2000'li yılların başından itibaren artan şehirleşme ve buna bağlı olarak AÖ'de meydana gelen değişimler birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Güncel durumunun ve meydana gelen değişimlerin uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmesi üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Goksel vd., 2001; Kaya ve Curran, 2006; Kaya, 2007; Coskun vd., 2008; Canaz vd., 2017). Bu çalışmalar, farklı tarih aralıkları için klasik piksel tabanlı sınıflandırma sonuçları doğrultusunda, yerleşim alanlarında yoğun artışa bağlı olarak doğal yüzey örtü tiplerinde önemli miktarda azalma meydana geldiğini bildirmektedir.

Bu çalışma kapsamında İstanbul ili için 2013-2017 yılları arasında algılanmış Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak güncel AÖ'nün ve bu yıllar arasında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çok zamanlı veri katman sayısının azaltılması için spektral indeks tabanlı yaklaşım ile hazırlanan veri seti üzerinde nesne tabanlı sınıflandırma analizi gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yerleşim alanlarında ve şehirleşmedeki artışın etkilerinin tespiti temel amaç olduğundan yerleşim indeksi kullanımı uygun görülmüştür. Sınıflandırma analizi kapsamında indeks değerlerinin zaman boyutunda ortaya koydukları karakteristik yapı ve bu değerlerde gözlemlenen zaman bağlı değişimler değerlendirilerek belirlenen eşik değerler ile ilişkisel sınıf tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında diğer çalışmalardan farklı olarak statik AÖ sınıflarına ek olarak dinamik değişim sınıflarının da tanımlanması yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

2. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul ili Türkiye'nin en kalabalık şehri olup aynı zamanda Avrupa'nın da en yüksek nüfusa sahip anakentlerinden birisidir. Şehir 5500 km² alan kapsamakta olup, 2017 yılı istatistiklerine göre ülke nüfusunun %18'ine karşılık gelen 15 milyon üzerinde nüfusa sahiptir (TurkStat, 2018). Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında meydana gelen endüstriyel gelişim ve kontrolsüz



Şekil 1. İstanbul il sınırları için çok zamanlı yerleşim indeksi verileri birleştirilerek elde edilen görüntü verisi (2013, 2015, 2017).

yapılaşmaya bağlı olarak şehrin arazi örtüsü /kullanımı ve morfolojisinde önemli değişimler meydana gelmiştir (Kaya, 2007). Özellikle son on yıllık süreç incelendiğinde, şehrin ulaşım altyapısının güçlendirilmesi adına inşa edilen Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Karadeniz otoyolu ve inşa edilmekte olan 3. Havalimanı vb. projeler, şehrin ekosistemi üzerinde etkili olmakta ve şehrin kuzey yarısında yerleşim alanlarının ve geçirimsiz yüzeylerin artışına neden olmaktadır. Şekil 1'de çalışma kapsamında üretilmiş olan çok katmanlı yerleşim indeksi görüntüsünden çalışma alanına ait bir görünüm verilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında İstanbul il sınırlarını kapsayan 2013 – 2017 yılları arasında algılanmış Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Landsat 8 uydusu üzerinde bulunan OLI sensör grubu ile görünür ve kızılötesi dalga boyu aralığında algılanmış 30m mekânsal çözünürlüklü 8 kanal ve 15m mekânsal çözünürlükte pankromatik kanal verisi sunulmaktadır. Buna ek olarak uydu üzerinde bulunan TIRS sensörü ile 100m mekânsal çözünürlükte algılanmış 30m çözünürlüğe örneklenmiş 2 adet ısı kızılötesi kanal mevcuttur. Uydu ile sağlanan çerçeve boyutu 170 x183 km'dir (Barsi vd., 2014). Görüntüler radyometrik kalibrasyon ve ortorektifikasyon işlemlerini içeren L1TP işleme seviyesinde temin edilmiştir. Bu seviyede yer kontrol noktaları ve sayısal yükseklik modeli kullanılarak gerçekleştirilen ortorektifikasyon

sayesinde yüksek konumsal doğruluk elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan verilere ilişkin bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin özellikleri.

Görüntü Adı	Algılama tarihi	Yörünge
LC08_L1TP_180031_20130730_T1	30.07.2013	180 / 31
LC08_L1TP_180031_20141021_T1	21.10.2014	180 / 31
LC08_L1TP_180031_20150906_T1	6.09.2015	180 / 31
LC08_L1TP_180031_20160722_T1	22.07.2016	180 / 31
LC08_L1TP_180031_20170623_T1	23.06.2017	180 / 31

a. Ön İşleme

Landsat 8 uydu verileri için pikseller parlaklık değerleri (Digital Number – DN) formunda sunulmaktadır. Çok zamanlı uydu görüntüsü analizleri kapsamında görüntü algılama tarihine bağlı olarak ortaya çıkan aydınlanma - yansıtım özellikleri farklılıklarını en aza indirmek ve eşdeğer radyometrik ölçekte analizleri gerçekleştirmek için parlaklık değerlerinden atmosfer üstü yansıtım değerine dönüşüm işlemi gereklidir (Song vd., 2001). Bu dönüşüm Landsat 8 uydu görüntüleri için sağlanan metaveri dosyası ile sağlanan parametreler ve aşağıdaki formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Landsat Handbook, 2016) :

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

$$\rho\lambda' = \text{Atmosfer üstü yansıtım değeri}$$

M_p = Görüntü kanalına özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörü

A_p = Görüntü kanalına özgü toplamsal yeniden ölçeklendirme faktörü

Q_{cal} = Kalibre edilmiş parlaklık değeri (DN)

Bu dönüşüm güneş açısı düzeltmesini içermemektedir. Gerekli düzeltme için aşağıdaki ek formül kullanılmaktadır:

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \sin(\Theta_{SE}) \quad (2)$$

$\rho\lambda$ = Güneş açısı düzeltmesi içeren atmosfer üstü yansıtım değeri

Θ_{SE} = Görüntü merkez konumu için hesaplanan lokal güneş yükseklik açısı

Ön işleminin ikinci adımında görüntü pan keskinleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için Gram-Schmidt spektral pan keskinleştirme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile ilk aşamada düşük mekânsal çözünürlüklü multispektral kanallar kullanılarak yapay pankromatik kanal türetilir. İkinci aşamada yapay pankromatik kanal ve multispektral kanallara Gram-Schmidt dönüşümü uygulanır. Üçüncü aşamada yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik veri ile birinci Gram-Schmidt kanalı yer değiştirir. Son aşamada veri setine ters Gram-Schmidt dönüşümü uygulanarak pan keskinleştirilmiş spektral kanallar elde edilir (Laben ve Brower, 2000). Bu algoritmanın her bir multispektral görüntü kanalını pankromatik veri ile spektral uyumuna bağlı olarak ağırlıklandırdıktan sonra ortogonalizasyon gerçekleştirmesi nedeni ile kısa dalga kızıl ötesi – short wave infrared (SWIR) da dahil olmak üzere tüm multispektral kanallar sürece dahil edilebilmektedir. Son adımda görüntüler İstanbul il sınır vektör verisi kullanılarak kesilmiş ve ön işleme işlemleri tamamlanmıştır.

b. Yerleşim İndeksi Veri Setinin Üretilmesi

Spektral indeks verileri farklı yüzey örtü tiplerinin spektral karakteristiklerini göz önünde bulundurarak bu yüzeylere ait özellikleri ön plana çıkarmak için iki ya da daha fazla görüntü kanalı kullanılarak üretilen verilerdir. Bitki indeksleri literatürde yoğun olarak kullanılmakla beraber, farklı yüzey örtü tiplerini ve bu yüzeylerde meydana gelen değişimleri tespit etmeye odaklı farklı indeks yaklaşımları mevcuttur. Bu indekslere

örnek olarak yanan alan indeksi, su indeksi, kuraklık indeksleri, yerleşim indeksleri ve jeolojik indeksler gösterilebilir. İndeks verileri aynı zamanda multispektral veriler ile gerçekleştirilecek zaman serisi analizlerinde veri boyutunun düşürülmesi hususunda da avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında şehirleşmenin arazi örtüsü ve kullanımı üzerindeki etkileri incelendiğinden yerleşim indeksi tabanlı bir analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Yerleşim indeksi olarak normalize edilmiş fark yerleşim indeksi (NDBI), ilk yaklaşımlardan birisidir (Zha vd., 2003). Bu indeksin geliştirilmesi ve yerleşim alanları ile çıplak arazi örtüsü ayrımının artırılması amacı ile normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) entegrasyonu sağlanarak yerleşim indeksi (BUI) oluşturulmuştur (He vd., 2010). Görüntülerden indeks verilerinin üretimi tamamlandıktan sonra ilgili veriler işaretli 8 bit formatta örneklenmiş ve katman birleştirme ile tarih sıralaması gözetilerek birleştirilmiştir.

$$BUI = \frac{(SWIR-NIR)}{(SWIR+NIR)} - \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (3)$$

c. Sınıfların Tanımlanması

Çalışma kapsamında tespit edilecek sınıflar, Anderson (1976) lejanti esas alınarak ve Wulder vd. (2018) tarafından tarif edilen şekilde Arazi örtüsü 2.0 standartları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Wulder vd. (2018), çok zamanlı verinin mevcut olduğu durumlarda, statik arazi örtüsü sınıflarına ek olarak dinamik değişim sınıflarının da bir arada değerlendirildiği altyapıyı tanımlamışlardır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında tanımlanan sınıflar ve açıklamaları Tablo 2'de verilmektedir.

ç. Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı sınıflandırma işlemi temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada çok katmanlı veri setinin segmentasyonu ile tek başına ya da gruplar halinde anlamlı bir yeryüzü nesnesini temsil eden segmentler oluşturulmaktadır. Segmentasyon işleminde ölçek, renk, şekil ve doku parametreleri göz önünde bulundurulmaktadır (Benz vd., 2004, Frauman vd., 2005, Blasckhe, 2010). İkinci aşamada ise segmentlerin yansıtım, şekil ve doku özellikleri göz önünde bulundurularak hiyerarşik ya da ilişkisel tanımlar dâhilinde sınıflandırılması işlemi gerçekleştirilmektedir (Bhaskaran vd. 2010, Herold vd. 2002). Bu çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma süreci için eCognition Developer yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 2. Çalışma kapsamında değerlendirilen arazi örtüsü sınıfları

Sınıf Adı	Tanımlama
1. Yerleşim Alanları	Şehir Alanları, Endüstriyel veya Ticari Birimler, Ulaşım Ağları, Limanlar, Havaalanları, Maden Çıkartım Sahaları, İnşaat Sahaları
2. Tarım Alanları	Tek Yıllık ve Çok Yıllık Bitki Ekili Alanlar, Seralar, Meralar
3. Ormanlık Alanlar	İğne Yapraklı Ormanlar, Geniş Yapraklı Ormanlar, Karışık Ormanlar
4. Çıplak ve Doğal Alanlar	Çıplak Kayalıklar, Açık Toprak Alanlar, Seyrek Bitki Alanları
5. Su Alanları	Nehirler, Göller, Rezervuarlar
6. Değişim Alanları -1	2013-2015 arasında Yerleşime Dönüşen Alanlar
7. Değişim Alanları - 2	2015- 2017 arasında Yerleşime Dönüşen Alanlar

Analizin ilk aşaması olan segmentasyon süreci için çoklu çözünürlüklü segmentasyon (multiresolution segmentation) algoritması kullanılmıştır. Algoritma özellikle heterojen örtü tipine sahip çalışma alanlarında farklı nesnelerin boyut ve doku özellikleri doğrultusunda farklı ölçeklerde ifade edilmesi gerekliliğini temel alarak tüm alan için en uygun ölçek parametresinin belirlenmesini hedeflemektedir.

Ölçek parametresi nesneyi oluşturacak piksel grubunun spektral varyasyon miktarını ve sonuçta elde edilen segment büyüklüğünü kontrol eder. Segmentasyon sürecinde tamamlayıcı iki parametre setinden ilki Şekil – Renk bileşenidir. Şekil ve renk biri diğerini 1 değerine tamamlayacak şekilde tanımlanmakta olup, nesne sınırlarının belirlenmesinde hangi parametrenin daha ön planda tutulacağı bu ağırlıklandırmaya göre belirlenmektedir. Şekil özellikleri ayrıca kompaktlık ve yumuşaklık alt parametreleri ile belirlenmektedir (Baatz ve Schape, 2000).

Çalışma kapsamında oluşturulan indeks veri seti üzerinde farklı parametre seti denemeleri gerçekleştirilmiş ve yüzey örtü tiplerinin anlamlı şekilde temsil edildiği nesnelere üreten parametreler belirlenmiştir. Bu kapsamda, ölçek faktörü: 20, şekil: 0.2 ve kompaktlık: 0.5 ile tanımlanan parametre seti ile en uygun segmentasyon sağlanmıştır.

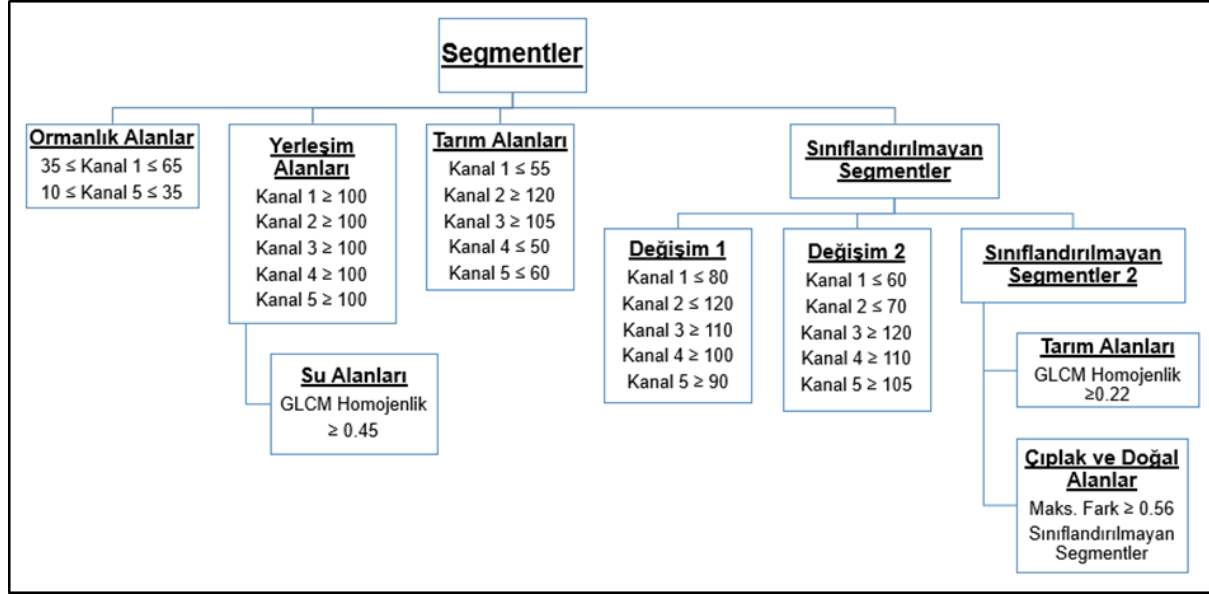
İkinci aşamada segmentleri oluşturan piksellere ait spektral ve doku parametreleri kullanılarak sınıflara ilişkin eşik değerlerin belirlenmesi ve sınıf ilişkilerinin tanımlanması süreci başlatılmıştır.

Bu kapsamda farklı örtü tipleri için seçilen örnek segmentler üzerinde her bir kanala (farklı tarihe ilişkin yerleşim indeks verisi) ait ortalama değer, maksimum fark ve Gray Level Co-occurrence Matrix - GLCM homojenlik değerleri Google Earth referans verisi ile birlikte incelenerek örtü tipini temsil edecek eşik değerler belirlenmiştir (Şekil 2). Bu parametrelerden ortalama değer, segmenti oluşturan piksellerin her bir tarih için indeks değerlerinin ortalamasını; maksimum fark ise segmenti oluşturan pikseller için indeks değerlerinin arasında oluşan en büyük fark değerini temsil eden spektral parametrelerdir. GLCM homojenlik ise bir segmentin dokusal olarak homojenlik seviyesini ifade eden, 0 ile 1 arasında değer alan parametredir.

d. Doğruluk Analizi

Sınıflandırma sonuçları üzerinde nokta bazlı doğruluk değerlendirmesi toplam 250 adet rastgele seçilmiş kontrol noktası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu noktaların sınıf etiketleri ve bunlara karşılık gelen kontrol referansları ile hata matrisleri oluşturulmuştur (Foody, 2002). Çalışma kapsamında doğrulama referans verisi olarak bahsi geçen tüm yıllara ait yüksek çözünürlüklü uydu verisi sunması nedeni ile Google Earth web harita servisi kullanılmıştır.

Kullanıcı ve üretici doğruluk ölçütleri (Story ve Congalton, 1986) ve kapa istatistikleri (Cohen, 1960) bu matrislerden türetilmiştir. Her bir sınıftaki rasgele kontrol noktalarının sayısı; sınıf önceliği, sınıfın kapsadığı alan ve sınıfın homojenliği dikkate alınarak belirlenmiştir (Van Deusen, 1996).

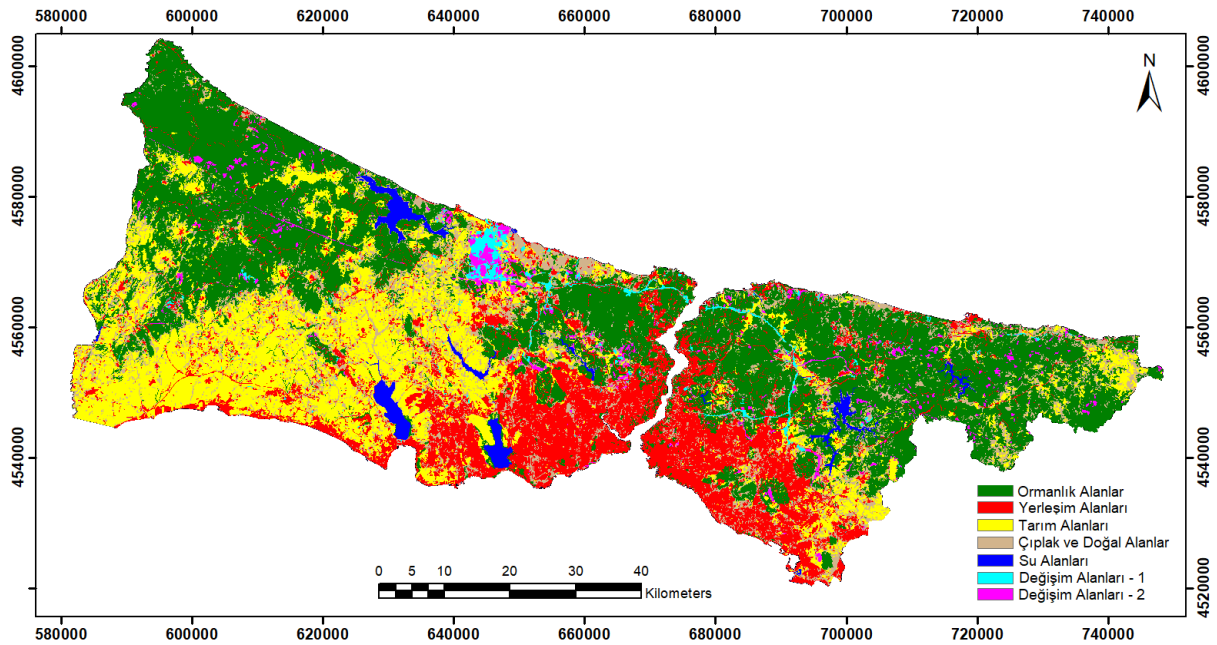


Şekil 2. Nesne tabanlı sınıflandırma kapsamında spektral ve dokusal özelliklere göre belirlenmiş ilişkiyel sınıf tanımları.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında yerleşim alanlarındaki artışa bağlı olarak arazi örtüsü / kullanımı karakteristikleri değişim gösteren İstanbul ili özelinde çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda veri boyutunu azaltmak ve yerleşim odağında değişimleri tespit edebilmek amacı ile yerleşim indeksi kullanımı

tercih edilmiştir. AÖ sınıflarının tespiti için yüzey örtü tiplerine ait indeks değerlerini temel alan parametrelerin yıllara bağlı değişimleri ve gösterdikleri karakteristik yapı incelenerek her bir sınıfı temsil eden eşik değerler tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara göre görüntü segmentlerinin sınıflandırılması sonucunda elde edilen güncel AÖ haritası Şekil 3'te verilmektedir. Sınıflandırma sonuç verisine uygulanan doğruluk analizi sonuçları ise Tablo 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Yerleşim indeksi veri setinin nesne tabanlı sınıflandırması sonucunda elde edilen arazi örtüsü haritası.

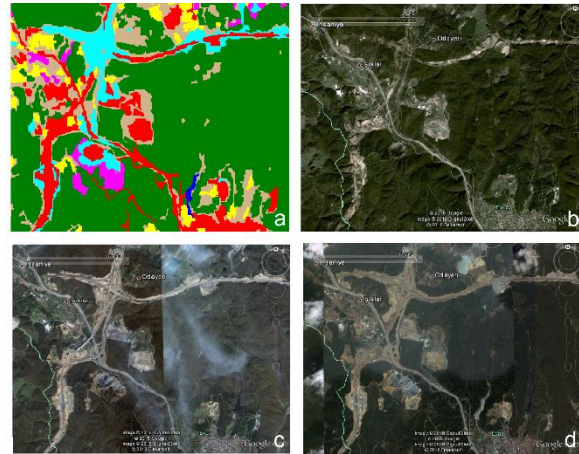
Tablo 3. Rastgele dağılmış kontrol noktaları sonucunda elde edilen doğruluk metrikleri.

Sınıf Adı	Ref. Top.	Sın. Top.	Doğru Nokta	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu	Kappa
Yerleşim Alanları	44	44	41	93,18	93,18	0,9173
Tarım Alanları	48	47	43	89,58	91,49	0,8947
Ormanlık Alanlar	39	42	39	100,00	92,86	0,9154
Çıplak ve Doğal Alanlar	39	40	37	94,87	92,50	0,9111
Su alanları	17	16	16	94,12	100,00	1,0000
Değişim 1	32	32	28	87,50	87,50	0,8567
Değişim 2	31	29	26	83,87	89,66	0,8819
Toplam	250	250	230	92,00		0,9093

Doğruluk analizi sonuçları değerlendirildiğinde temel değişmeyen sınıflar için %90 üzerinde doğruluğa ulaşıldığı, göreceli olarak tespiti daha zor olan değişim sınıflarında ise %85 - %90 aralığında başarımlar sağlandığı görülmektedir. Bu kapsamda sınıf bazında hatalar irdelendiğinde, ormanlık alanların özellikle seyrek kapallık arz eden bölgelerde çıplak ve doğal alanlar sınıfı ile benzeşim gösterdiği, özellikle ekili olmayan tarım alanlarının çıplak ve doğal alanlar sınıfı ile yer yer karıştığı belirlenmiştir. Yerleşim alanları ise bazı lokal bölgelerde tarım alanları sınıfı ile, değişimin mevcut olduğu bölgelerde ise değişim sınıfları ile karıştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte bahsi geçen hatalar minimum seviyede kalmış, özellikle yüzey örtü tiplerinin sınır tanımlamaları 15m mekânsal çözünürlük seviyesinde beklenenden daha yüksek başarımla ulaşılmıştır. Heterojen karakteristiğe sahip bölgelerde sınıf sınırlarının tanımlanmasında yöntemin başarımlarını kabul edilebilir seviyededir. Değişim sınıfları için değerlendirme yapıldığında karışımın genellikle birbirleri arasında ortaya çıktığı gözlemlenmiş olup, hata miktarları iki yıllık dönemler için gerçekleştirilen sınıf tanımlaması göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir sınırlardadır.

Değişimlerin karakteristikleri irdelendiğinde, özellikle son beş yıllık süreçte yerleşim ve üst yapı odaklı değişim gösteren alanların boyutu önem arz etmektedir. Sınıflandırmadan elde edilen alansal analiz sonuçlarına göre 2013 – 2015 yılları arasında 6.367,97 hektar ve 2015 – 2017 yılları arasında 10.141,70 hektar olmak üzere toplamda 16.509,67 hektarlık alan yerleşim ya da üst yapıya dönüşmüştür (Tablo 4). Yerleşim ve üst yapı odaklı değişimin büyük bir bölümü son yıllarda inşa edilen 3. Havalimanı, Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve bu üst donatılara ulaşımı sağlayan bağlantı yolları nedeni ile oluşmaktadır. Buna ek olarak, Avrupa yakasında Sarıyer, Kâğıthane, Eyüp ve Anadolu yakasında Ömerli, Riva,

Çekmeköy, Şile bölgelerinde yeni yerleşim alanlarının oluşması bu değişime katkıda bulunmaktadır. Değişimin bir diğer kaynağı ise maden sahalarında ve taş ocaklarında meydana gelen artıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sınıflandırma sonucu ve referans veri karşılaştırması örneği (a: sınıflandırma sonucu, b: 2013, c: 2015, d: 2017 tarihli referans veri)

Tablo 4. Sınıflandırma sonucuna göre AÖ'nün alansal dağılımı

AÖ Sınıfı	Alan (ha)
Yerleşim Alanları	98.979,70
Tarım Alanları	121.986,30
Ormanlık Alanlar	224.010,00
Çıplak ve Doğal Alanlar	73.157,90
Su alanları	9.924,21
Değişim 1	6.367,97
Değişim 2	10.141,70
Toplam	544.567,78

Çalışmanın sonuçları, İstanbul ilinin son beş yıllık süreçte yerleşim ve üstyapı odaklı AO değişimine yoğun bir şekilde maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Bu değişim özellikle İstanbul'un kuzey yarısında bulunan ormanlık alanların ve doğal alanların tahribine neden olmaktadır. Bu miktarda değişimin doğal çevre ve ekosistem üzerinde olumsuz etki oluşturma potansiyeli oldukça yüksektir. Geçirimsiz yüzeylerdeki artışın ısı adaları gibi meteorolojik etkiler oluşturmaları ve yerleşimdeki artışın evsel atık odaklı çevre kirliliğini artırma potansiyeli yüksektir. Araştırma bulgularının ve önerilen yöntemin, hızlı ve güvenilir biçimde zamana bağlı değişimleri tespit edebilme kapasitesi sayesinde karar vericilerin yönetsel faaliyetlerinde kullanılabilecek mekânsal altlık verisinin periyodik olarak sağlanması hususunda faydalı olabileceği düşünülmektedir. İlerleyen dönemde daha yüksek mekânsal, zamansal ve spektral çözünürlüğe sahip Sentinel 2 uydu verileri ve farklı veri boyutlandırma teknikleri kullanılarak çalışmanın geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T., Witmer, R.E. (1976). **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**, Government Printing Office, Washington, DC (1976) US Geological Survey, Professional Paper 964.
- Baatz, M., Schape, A. (2000), **Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. *Angew. Geogr. Info. verarbeitung*, Wichmann-Verlag, Heidelberg. 12-23.
- Barnsley, M.J., Barr, S.L., (1996), **Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel based spatial reclassification**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 949–958.
- Barsi, J.A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B.L., Pedely, J.A., (2014). **The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager**. *Remote Sensing*, 6, 10232-10251.
- Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., (2004). **Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS ready information**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58, 239–258.
- Bhaskaran, S., Paramananda, S., Ramnarayan, M. (2010). **Per-pixel and object-oriented classification methods for mapping urban features using Ikonos satellite data**, *Applied Geography*, 30, 650–665.
- Blaschke, T., (2010). **Object based image analysis for remote sensing**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), 2–16.
- Bruzzzone, L., Persello, C., (2009). **A novel context-sensitive semisupervised SVM classifier robust to mislabeled training samples**. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47, 2142–2154.
- Canaz, S., Aliefendioğlu, Y., Tanrivermis, H., (2017). **Change detection using Landsat images and an analysis of the linkages between the change and property tax values in the Istanbul Province of Turkey**. *Journal of Environmental Management* 200, 446-455.
- Campbell, J.B., (2002). **Introduction to Remote Sensing**, 3rd edn (New York: Guilford Press).
- Chaofan, W., Jinsong, D., Ke, W., Ligang, M., Tahmassebi, A.R.S., (2016). **Object-based classification approach for greenhouse mapping using Landsat-8 imagery**. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 9(1), 79-88.
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., Yin, Z.-Y. (2006). **Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes**. *Remote Sensing of Environment*, 104 (2), 133-146
- Cohen, J., (1960). **A coefficient of agreement for nominal scales**, *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37–46.
- Coskun, H.G., Alganci, U., Usta, G., (2008). **Analysis of Land Use Change and Urbanization in the Kucukcekmece Water Basin (Istanbul, Turkey) with Temporal Satellite Data using Remote Sensing and GIS**. *Sensors* 8 (11), 7213-7223.
- Finkl, C.W., Charlier, R.H., (2003). **Sustainability of subtropical coastal zones in southeastern Florida: Challenges for urbanized coastal environments threatened by development, pollution, water supply, and storm hazards**. *Journal of Coastal Research*, 19, 934–943.

- Foody, G.M., (2002). **Status of land cover classification accuracy assessment**, Remote Sensing of Environment, 80,185–201.
- Frauman, E., Wolff, E., (2005). **Segmentation of very high spatial resolution satellite images in urban areas for segments-based classification**, Proceedings of the International Symposium Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, 14–16 March, Tempe, Arizona, unpaginated CD-ROM.
- Goksel, C., Kaya, S., Musaoglu, N., (2001). **Using satellite data for land use change detection: a case study for Terkos water basin, Istanbul**. A.A. Balkema (Ed.), Proceedings of the 21st EARSeL Symposium, Rotterdam, Netherlands, 299-302.
- He, C., Shi, P., Xie, D., Zhao, Y. (2010). **Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach**, Remote Sensing Letters, 1(4), 213-221.
- Herold, M., Scepan, J., (2002). **Object-oriented mapping and analysis of urban land use/cover using Ikonos data**, Proceedings of the 22nd EARSEL Symposium Geoinformation for Europeanwide Integration, Prague, unpaginated CD-ROM.
- Herold, M., Liu, X., Clarke, K.C., (2003). **Spatial metrics and image texture for mapping urban land use**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69, 991–1002.
- Kaya, S., Curran, P., (2006). **Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: A case study**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8 (1), 18-25.
- Kaya, S., (2007). **Multitemporal analysis of rapid urban growth in Istanbul using remotely sensed data**. Environmental Engineering Science 24 (2), 228–233.
- Kim, M., Madden, M., Warner, T.A., (2009). **Forest type mapping using object-specific texture measures from multispectral Ikonos Imagery: Segmentation quality and image classification issues**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 75(7), 819–829.
- Laben, C.A., Brower, B.W. (2000). **Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery Using Pan-Sharpener**, US Patent 6,011,875.
- Landsat Handbook (2016). **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. LSDS-1574 Version 2.0, USGS –EROS, Sioux Falls, South Dakota, USA, 29 March 2016.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., (2011). **Support vector machines in remote sensing: a review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (3), 247-259.
- Niemi, G., Wardrop, D., Brooks, R., Anderson, S., Brady, V., Paerl, H., Rakocinski, C., Brouwer, M., Levinson, B., McDonald, M., (2004). **Rationale for a new generation of ecological indicators for coastal waters**. Environmental Health Perspectives, 112, 979–986.
- O'Hara, C.G., King, J.S., Cartwright, J.H., King, R.L., (2003). **Multitemporal land use and land cover classification of urbanized areas within sensitive coastal environments**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 2005–2014.
- Ruiz-Luna, A., Berlanga-Robles, C.A., (2003). **Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico**. Landscape Ecology, 18, 159–171.
- Schmidt, K.S., Skidmore, A.K., Kloosterman, E.H., Van Oosten, H., Kumar, L., Janssen, J.A.M., (2004). **Mapping coastal vegetation using an expert system and hyperspectral imagery**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70, 703–715.
- Shalaby, A., Aboel Ghar, M., Tateishi, R., (2004). **Desertification impact assessment in Egypt using low resolution satellite data and GIS**. International Journal of Environmental Studies, 61(4), 375–384.
- Shao, Y., Lunetta, R.S., (2012). **Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 70, 78-87.
- Shi, H. Singh, A., (2003), **Status and interconnections of selected environmental issues in the global coastal zones**. Ambio, 32, 145–152.

- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K. C., Lenney, M.P., Macomber, S.A., (2001) **Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effect?** Remote Sensing of Environment, 75, 230–244.
- Story, M., Congalton, R.G., (1986). **Accuracy assessment: A user's perspective,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(3), 397–399.
- Tansey, K., Chambers, I., Anstee, A., Denniss, A., Lamb, A., (2009). **Object-oriented classification of very high resolution airborne imagery for the extraction of hedgerows and field margin cover in agricultural areas,** Applied Geography, 29, 145–157.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TurkStat), (2018). www.turkstat.gov.tr/ Erişim Tarihi: 30.01.2018.
- Van Deusen, P.C., (1996). **Unbiased estimates of class proportions from thematic maps,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(4), 409–412.
- Wardell, D.A., Reenberg, A., Tøttrup, C., (2003). **Historical footprints in contemporary land use systems: forest cover changes in savannah woodlands in the Sudano-Sahelian zone.** Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions 13, 235–254.
- Wulder, M. A., Coops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., Hermosilla, T., (2018). **Land cover 2.0,** International Journal of Remote Sensing, 39(12), 4254-4284.
- Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C., Bauer, M.E., (2005). **Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multi-temporal Landsat remote sensing.** Remote Sensing of Environment 98 (2–3), 317-328.
- Zha, Y., Gao, J., Ni, S. (2003). **Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery.** International Journal of Remote Sensing, 24, 583–594.
- Zhou, Y., Yang, G., Wang, S., Wang, L., Wang, F., Liu, X. (2014). **A new index for mapping built-up and bare land areas from Landsat-8 OLI data,** Remote Sensing Letters, 5(10), 862-871.

1:25.000 Ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sistemi ile HGK TOPOVT Veritabanının Karşılaştırılması

(The Comparison of 1:25.000 Scale National Land Cover/Use Classification System with GCM TOPOVT Database)

Elif SERTEL^{1,2}, Nebiye MUSAOĞLU¹, Gülşah ALP², Irmak YAY ALGAN², Şinasi Kaya^{1,2}, Bekir YÜKSEL³, Altan YILMAZ³

¹İTÜ, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, TR-34469 Maslak İstanbul

²İTÜ Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi, TR-34469, İstanbul

³Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Ankara

elif@cscrs.itu.edu.tr, musaoglu@itu.edu.tr, gulsah@cscrs.itu.edu.tr, irmak@cscrs.itu.edu.tr, kayasina@itu.edu.tr, bekir.yuksel@hgk.msb.gov.tr, altan.yilmaz@hgk.msb.gov.tr

ÖZ

Yer yüzeyini kaplayan arazi örtüsü/kullanımı sınıflarının ve bu sınıfların mekânsal dağılımlarının güncel durumunun belirlenmesi ve zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi; ekonomik, ekolojik, sosyal, askeri ve daha bir çok alanda gerçekleştirilen çalışmalar için önemli bir temel oluşturur. Bu amaçlarla kullanılacak Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı (AÖ/AK) haritalarının kendi içlerinde tutarlı olabilmesi için belirli standartlara uygun olarak üretilmesi gerekmektedir.

Farklı ülkeler ve kuruluşlar tarafından çeşitli ölçeklerde AÖ/AK sistemleri tasarlanmıştır. CORINE (Coordination of Information on the Environment) 1990 yılından beri ülkemizin de aralarında bulunduğu Avrupa Birliği üyeleri ve aday üyeleri tarafından bölgesel ölçekte her türlü çevresel politikanın belirlenmesi amacı ile başarıyla kullanılan 3 seviyeli ve 44 sınıflı 1:100.000 ölçekte bir AÖ/AK haritalama sistemidir. Ulusal ve yerel ölçekte ise hem kullanılan verinin çözünürlüğü hem de sonuç haritaların ölçeği sebebi ile yeterli tematik detaya sahip olmadığı için, ülkemizin ihtiyaçları dikkate alınarak İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından CORINE 3. Seviyenin 75 sınıflı 4. Seviyeye genişletilmesiyle oluşturulmuş ulusal bir AÖ/AK haritalama sistemi geliştirilmiştir.

Bu önerilen yeni sistem, seçilen pilot bölgede; Harita Genel Komutanlığı tarafından ulusal ölçekte sivil ve askeri amaçlarla üretilen 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalara altlık teşkil eden Türkiye Topoğrafik Vektör Veritabanı (TOPOVT) verileri ile karşılaştırılarak, iki veri tabanının hem hazırlanması hem de kullanılması esnasındaki ortaklık-farklılık potansiyeli değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, iki veritabanının sahip olduğu temel farklılıklar ve ortaklıklar ortaya çıkarılarak, önerilen ulusal sistemin özellikle tarım ve orman sınıflarında TOPOVT sistemini besleyebileceği, ulusal sistemin üretilmesinde kullanılan verinin TOPOVT'ye özgü sınıfların üretilmesinde de destek sağlayabileceği belirlenmiştir. İki sistemin uyumlu yönlerinin birbirlerine aktarılabilir olmasının gelecekte hem hazırlanma bütçesi/personel ortaklığı hem de sonuç ürünlerin ortak analiz edilebilmesi açısından ülkemize önemli katma değer sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arazi örtüsü, Arazi kullanımı, CORINE, TOPOVT

ABSTRACT

Detection and investigation of land cover/use classes which covers the Earth's surface, their spatial distribution and changes throughout time, creates a foundation for many economic, social and military applications and studies. Land cover/ Land use (LC/LU) maps used in such areas should be created with certain standards in order to be reliable and consistent.

LC/LU systems with various scales are designed and used by different countries and organizations. CORINE (Coordination of Information on the Environment) is a LC/LU mapping system used by members and candidates of European Union including our country since 1990 for the determination of regional environmental policies. It has 3 levels, 44 classes with a scale of 1:100000. However, for national and local purposes, it does not have the thematic depth required due to the resolution of source data and the scale of resulting maps. Thus, a national LC/LU mapping system was designed by Istanbul Technical University regarding our country's needs by expanding CORINE 3rd level to 4th level with 75 classes.

The proposed system is compared with TOPOVT maps of General Command of Mapping (GCM) in a selected area. Similarities and differences of these systems are evaluated and the potential of their joint use and if possible, joint generation is investigated. Results show that, proposed national system can feed TOPOVT classes, especially in forest and agricultural areas. Also, main satellite data which will be used to create national system can also be used to support generation of classes specific to TOPOVT system. Compatibility of these two systems could be very beneficial for Turkey in the future since it could mean a joint use of budget/personnel and enriches analysis opportunities.

Keywords: Land cover, Land use, CORINE, TOPOVT

1. GİRİŞ

Yer yüzeyini kaplayan örtüyü ifade eden arazi örtüsü (AÖ) kavramı ve bu örtünün insanlar tarafından nasıl kullanıldığını belirten arazi kullanımı (AK) kavramı, hem bir bölgedeki mevcut durumu belirlemek hem de değişimleri gözlemleyerek bu değişimlere sebep olan ekolojik

süreçlerle ilgili sebep sonuç ilişkileri kurabilmek açısından önemlidir. Hızlı ve kontrolsüz arazi örtü/kullanımı değişimleri, biyolojik çeşitliliği, iklimi, ve başka bir çok hayati sistemi ciddi şekilde etkileyebilir (Thuiller vd., 2015; Lambin vd., 2001). AÖ/AK sınıflarının belirlenmesi ve mekânsal dağılımlarının incelenmesi, güncel ve doğru coğrafi bilgi kullanarak farklı problemlere yönelik etkilerin belirlenmesi ve analiz edilmesinde önemli veri kaynağıdır. Geniş alanların mevcut durumlarının veya zaman içindeki değişimlerinin izlenmesinde uydu görüntüleri farklı çözünürlükte sundukları verilerle her bir AÖ/AK sınıfının mekânsal yayılışını veya dönüşümünü belirleme olanağı sağlamaktadır. Bu konuda uzun yıllardan beri araştırmalar yapılmaktadır. Ramankutty ve Foley (1999), 1700 yılına ait tarım arazileri envanterleri ile 1992 yılına ait uzaktan algılama ile elde edilmiş bir arazi örtüsü sınıflandırması verisini karşılaştırarak, artan nüfus, küresel ekonomik ve sosyal değişimler gibi faktörlerle ortaya çıkan tarihsel değişimin boyutunu ortaya koymuştur. Yaklaşık 11.4 milyon km² orman/ormanlık alan ve 6.7 milyon km²lik savana/step/çayı/mera arazinin tarım arazisine çevrildiğini ortaya koyan bu çalışma, insanların ekonomik faaliyetlerinin dünya yüzeyinde yarattığı dramatik değişimi göstermektedir. Caldas vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Amazon bölgesindeki orman alanlarının azalma sebeplerini uzaktan algılama verisi ve çiftçilerle yapılan anketler ile araştırmışlardır. Ekonomik koşulların ve sosyal yapının da ele alındığı çalışma, arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin karmaşık nedenlerini ve sonuçlarını ele almıştır.

AÖ/AK bilgisi, arazi yönetimi, doğal koruma, su yönetimi, kıyıların korunması, yerleşim trendleri, tarımsal politikalar, toplum güvenliği gibi bir çok alanda karar vericilere destek sağlar (Feranec vd., 2007). AÖ/AK'da sınıfların karşılaştırılabilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması ve analizlerin doğru olarak yapılabilmesi için standartlara uygun veri sağlanması önem taşımaktadır. Bu nedenle farklı ülkeler ve kuruluşlar tarafından çeşitli ölçeklerde AÖ/AK bilgisi sağlamak için tasarlanmış farklı AÖ/AK sınıfları içeren sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlere örnek olarak, Amerika Birleşik Devletlerine ait "National Land Cover Database (NLCD) of United States (Birleşik Devletler Ulusal Arazi Örtüsü Veritabanı)", Avrupa Birliği'nin geliştirdiği "Coordination of Information on the Environment (CORINE) (Çevresel Bilgi Koordinasyonu)" projesi, Avrupa Birliği Gıda ve Tarım Organizasyonunun hazırladığı (FAO) "United Nations Land Cover Maps (LCCS) (Birleşmiş Milletler Arazi Örtüsü Haritaları)" verilebilir.

CORINE AÖ/AK Kullanımı haritaları (CLC), 1990 yılından beri Türkiye'nin de aralarında bulunduğu Avrupa birliği üyeleri ve aday ülkeleri tarafından uydu görüntülerinin bilgisayar destekli sayısallaştırılması metoduyla üretilen ve periyodik olarak güncellenen (2000, 2006, 2012) bir AÖ/AK sınıflandırma sistemidir. Avrupa genelinde, tutarlı, karşılaştırılabilir, niteliksel ve niceliksel arazi kullanımı bilgisi üreterek, bu bilgilerin hem Avrupa genelinde hem de üye ülkeler özelinde her türlü çevresel politikaların belirlenmesinde kullanılmasını hedefler (Büttner vd., 2004). Şu anda proje, katılım sağlayan 39 ülkeyle birlikte, neredeyse 5 milyon km²lik bir alana ait coğrafi bilgi sunar. CORINE sisteminde, 3 hiyerarşik seviyede toplam 44 AÖ/AK sınıfı, 1:100.000 ölçeğinde kesintisiz bir vektör veri tabanı oluşturur (Kosztra vd., 2014). En küçük haritalama birimi 25 ha, lineer genişlik kriteri 100 m ve en küçük değişim haritalama birimi 5 ha'dır.

CORINE, ilk üretildiği yıldan beri sayısız araştırmaya ve projeye veri kaynağı sağlamıştır. Cerdan ve diğerleri Avrupa genelinde yaptıkları çalışmada, kısa ve orta vadeli erozyon verilerini CORINE AÖ/AK haritalarıyla birlikte analiz ederek, en yüksek erozyon oranlarının sırasıyla çıplak toprakta, bağ alanlarında ve sonrasında diğer tarım alanlarında olduğunu ortaya koyarak, arazi kullanımı ile erozyon sebebiyle yaşanan toprak kaybı arasındaki yüksek ilişkiyi açığa çıkarmışlardır (Cerdan vd., 2010). Yine CORINE AÖ/AK haritaları kullanılarak 24 Avrupa ülkesinde yapılan bir başka çalışmada 1990-2000 yılları arasında, toplam alanın %2,5'unun oldukça hızlı değişime uğradığı tespit edilmiştir (Feranec vd., 2010).

AÖ/AK haritaları, küresel ve bölgesel ölçekte büyük fayda sağlamalarına rağmen, sahip olduğu 1:100000'lik ölçek ve en küçük haritalama birimi sebebiyle, yerel çalışmalar için yeterli tematik ve geometrik detayı sağlayamamaktadır. Bu nedenle daha yüksek çözünürlüklü veri kullanarak, daha ayrıntılı tematik bilgi sağlayan ulusal AÖ/AK haritaları geliştirilmesi ihtiyacı mevcuttur (Sertel vd., 2015a ve Woodcock vd., 2012). Türkiye'deki AÖ/AK haritaları kullanan çeşitli kurum ve kuruluşların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde, ulusal düzeyde yeni bir AÖ/AK sistemi geliştirmek amacıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi koordinatörlüğünde ilgili kurum ve kuruluşlardan uzaktan algılama ve CBS konusunda uzman kişilerin katıldığı bir çalıştay düzenlenmiştir. Çalıştayda düzenlenen oturumlar, ihtiyaçlara yönelik yapılan anket çalışması ve özel tematik sınıflar detayında farklı kurumlarla yapılan toplantılar neticesinde; CORINE sistemini temel

olarak, CLC 3. Seviyedeki 44 sınıfı 4. Seviyede 75 sınıfa genişleten bu sistem (CLC L4- UAÖ/AK), minimum haritalama birimi 1.56 ha ve en küçük lineer obje genişliği 25 m ile, 1:25.000 ölçeğine sahip Ulusal AÖ/AK (UAÖ/AK) sisteminin geliştirilmesinin ulusal ve lokal-bölgesel düzeydeki pek çok farklı çalışma ve araştırmanın ihtiyacını karşılayacağı öngörülmüştür (Sertel vd., 2017).

Ulusal ölçekte, topoğrafik harita üretmekte olan Harita Genel Komutanlığı ile ayrıca yapılan çalışmalarda, ulusal AÖ/AK sistemi ile HGK TOPOVT veritabanı arasındaki benzerlik ve farklılıkların incelenmesi hedeflenmiştir. TOPOVT, Harita Genel Komutanlığı tarafından sivil ve askeri ihtiyaçlara cevap vermek için üretilen 1:25.000 ölçeğinde topoğrafik bir vektör veri tabanıdır. Nokta, çizgi ve poligon yapısında, AÖ/AK öznelik bilgisine sahiptir. Fotogrametrik yöntemlerle üretilerek, arazi çalışmalarıyla bütünlenmektedir. (URL-1, Yüksel vd. 2015).

AÖ/AK sınıflandırma sistemleri, bu haritaları kullanacak kişi ve kuruluşların ihtiyaçlarına göre belirlenir. Kullanılan verinin, ölçek ve bütçe gibi bir takım sınırlamalar sebebiyle, her ihtiyaca cevap verecek tek bir sistem haline getirilmesi çok zordur. Fakat farklı ihtiyaçlar için oluşturulmuş sistemlerin birbirleriyle belli bir seviyede uyum içerisinde bulunması, iki sistemde de ortak olacak temel sınıfların aktarılabılır/kullanılabilir olması, hem harcanan zaman/personel/bütçe gibi konularda büyük fayda sağlar, hem de gerektiğinde ortak analiz imkânı sunar. Türkiye için büyük önem arz eden TOPOVT ile yeni önerilen ulusal AÖ/AK sisteminin birlikte değerlendirilmesi, ileride iki veritabanının hem hazırlanması hem de kullanılması esnasındaki ortaklık potansiyelini keşfetmek açısından önemlidir.

Bu amaçlar doğrultusunda, sunulan çalışmada Bursa ilinden seçilen 364 km²'lik pilot bir bölge özelinde UAÖ/AK haritası oluşturularak, bölgenin mevcut TOPOVT verisiyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile iki veri seti arasındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmiş ve bu iki veri setinin birlikte kullanılabilirliğine yönelik olarak analizler gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, farklı UAÖ/AK sınıflarını kapsayacak şekilde bir pilot bölge seçilerek bu bölgede UAÖ/AK haritası CORINE metodolojisi ile üretilmiştir. CORINE metodolojisi 5 temel basamaktan oluşmaktadır. Bunlar, sırasıyla ön hazırlık, yanlış renkli görüntü (false-colour image)

üretme, bilgisayar destekli görüntü yorumlama, sınıf türü belirleme, nitelik değerlendirme ve son olarak sayısallaştırmadır (EEA, 1995).

UAÖ/AK sınıfları, CORINE 1. seviyedeki 5 temel AÖ/AK sınıfının 4. seviyeye detaylandırılması ile oluşturulmuştur (EK-1). Bu temel 5 AÖ/AK sınıfları, Avrupa Çevre Ajansı (EEA) standardına göre *Yapay Bölgeler*, *Tarımsal Alanlar*, *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar*, *Bataklık Alanlar ve Su Yapıları* olarak belirlenmiştir. 4. seviye UAÖ/AK sınıfları ise farklı ihtiyaçlara cevap vermesi amacıyla 3. seviyedeki arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının 1:25.000 ölçekte 1.56 ha minimum haritalanabilir alan ve 25 m lineer genişlik kriteri ile 75 alt detay sınıfına genişletilmiştir. Bu sınıflar *Yapay Bölgeler* temel AÖ/AK kategorisinde 17 sınıfı, *Tarımsal Alanlarda* 16 sınıfı, *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar* kategorisinde 30 detay sınıfını, *Su Yapıları* kategorisinde ise 7 sınıfı kapsarken, *Bataklık Alanlar* temel AÖ/AK sınıfında ise yeni sınıf eklenmeyerek 3. seviyedeki 5 alt detay sınıf aynı şekilde kullanılmıştır.

Harita Genel Komutanlığı tarafından sağlanan TOPOVT verileri, AÖ/AK sınıflarını doğrudan (Tea plantations - CAYBAHCESI) veya birden fazla (Airports – HAVAALANI, DUVAR, CIT) sınıf ile karşılayan nokta, çizgi ve alan geometri tipli 9 adet topoğrafik detay grubu (bitki, fizyografya, hidrografya, kolaylık tesisleri, sanayi tesisleri, ulaşım, yerleşim, sınır ve yükseklik) içerisinde yer almaktadır. Temel olarak Vmap2™ (Vector Smart Map Level 2) veri standardı referans alınarak tasarlanan TOPOVT verilerinde arazi örtüsü sınıfları 1:25.000 ölçekli temel topoğrafik harita üretimi ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tanımlanmıştır. Bu tanımlara AÖ/AK detaylarının nokta, çizgi ve alan geometri tiplerinden hangisi ile ifade edileceği detayların büyüklük ve yoğunluğuna göre belirlenmektedir. Uzunluk ve genişlikleri 25 m'den küçük olan binalar nokta geometri tipi ile, 25 m'den büyük olanlar ise alan olarak toplanmaktadır. Nokta ve alan binaların yoğunluğunun 1:25.000 ölçekli bir haritada gösterilemeyecek kadar fazla olması durumunda ise yerleşim yeri alanı olarak çevrelenmektedir. Tüm dereler çizgi olarak toplanırken, genişliği 15 m'den büyük olanlar ise ayrıca alan detay olarak da kaydedilmektedir. Detayların öz niteliksel ayrımında ise baskın niteliğin yoğunluğu dikkate alınmaktadır. Bitki topoğrafik detay grubunda bulunan orman sınıflarında farklı ağaç türlerinin %10'dan yüksek miktarda bulunması durumunda baskın olan orman türü dikkate alınarak sınıf belirlenmekte, ağaç türleri ise ayrı öz nitelik alanlarına kaydedilmektedir.

Bilgisayar destekli görüntü yorumlama ve sayısallaştırma yöntemi ile haritalanan UAÖ/AK sınıflandırma sonucu aynı bölge için Harita Genel Komutanlığı tarafından sağlanan 2015 yılına ait TOPOVT verileri ile kıyaslanmıştır. Her iki haritada kullanılan sınıflar kapsamı detaylı olarak analiz edilmiştir.

a. Çalışma Alanı ve Kullanılan Uydu Görüntü Verileri

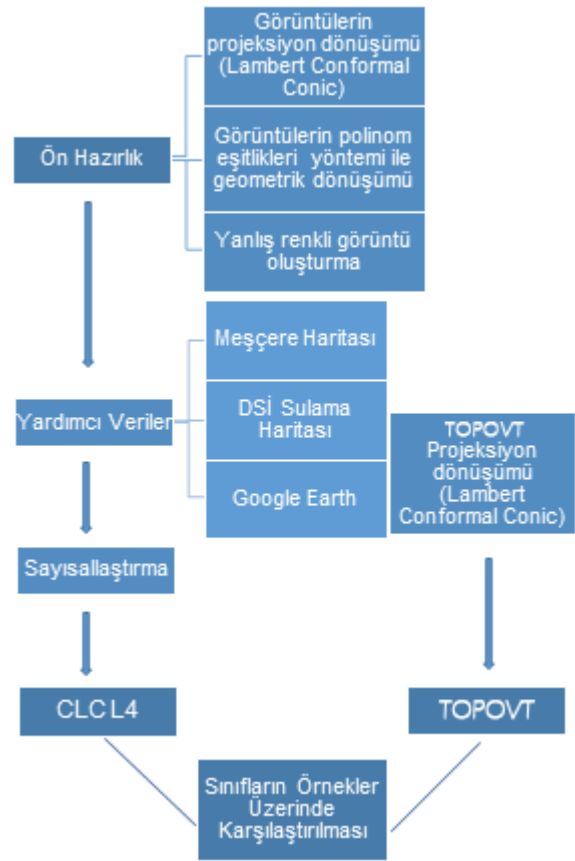
Bu çalışmada, farklı AÖ/AK sınıflarını barındıran Bursa ili çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı, AÖ/AK sınıflarından *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar*, *Yapay Bölgeler* ve *Tarımsal Alanlar* temel AÖ/AK alt detay sınıflarının yoğun olarak bulunduğu yaklaşık olarak 36,000 ha'lık bir alanı kapsamaktadır.

Bursa ili çalışma alanında bilgisayar destekli görüntü yorumlama yöntemi ile yapılacak olan UAÖ/AK haritası için İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Uygulama Araştırma Merkezi (UHZAM) tarafından sağlanan Temmuz 2015 ve Ağustos 2016 tarihli 1.5 m mekansal çözünürlüğe sahip (pansharp) iki farklı SPOT 6 uydu görüntüsü kullanılmıştır.



Şekil 1. Bursa İl sınırları ve Çalışma Alanı

Çalışmada uygulanan iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Ön hazırlık aşamasında her iki uydu görüntüsüne uygulanan geometrik dönüşümde polinom eşitlikleri kullanılmıştır. AÖ/AK haritası Avrupa Çevre Ajansı tarafından kullanılan Lambert Conformal Conic projeksiyonunda üretilmiştir. Daha sonra TOPOVT öznetelik verisine, UAÖ/AK ile TOPOVT verisinin karşılaştırılabilmesi için projeksiyon dönüşümü yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan İş Akış Şeması

Görsel yorumlama anahtarları kullanılarak tespit edilen sınıfların doğruluğunu artırmak için UAÖ/AK haritasının oluşturulmasında 2015 ve 2016 tarihli uydu görüntülerinin yanı sıra 1: 25.000 ölçekli meşçere haritası, DSİ sulama haritaları (1:5000) ve Google Earth verileri de AÖ/AK sınıflarının görsel olarak belirlenmesinde yardımcı veri olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. SPOT 6 Yanlış Renkli Bant Kombinasyonu (4,2,3)

BANT	SPOT 6 Spektral Aralık
Kırmızı (R)	0.76-0.89 μm (Bant 4, Yakın Kızıl Ötesi (NIR))
Yeşil (G)	0.53-0.59 μm (Bant 2, Yeşil (VIS))
Mavi (B)	0.625-0.695 μm (Bant 3, Kırmızı (VIS))
PAN	0.450-0.745 μm (1.5 m)

SPOT 6 görüntülerinin değerlendirilmesinde, farklı yüzey elemanlarının ayırt edilebilirliğini sağlamak için *Yakın Kızıl Ötesi/Yeşil/Kırmızı* bant kombinasyonu kullanılmıştır (Tablo 1).

Bu çalışmada TOPOVT ve UAÖ/AK verileri değerlendirilirken, tespit edilen sınıfların tamamının karşılaştırılması çalışma alanının büyüklüğü sebebiyle mümkün olamayacağından, değerlendirme sonuçları çalışma alanından alınan örnekler ile açıklanmıştır. Üretilen UAÖ/AK ile Harita Genel Komutanlığı tarafından sağlanan TOPOVT verisini karşılaştırabilmek için çalışma alanında yaygın olarak bulunan *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar*, *Yapay Bölgeler* ve *Tarımsal Alanlar* temel sınıflarından örnek alanlar seçilmiştir. Bu örnek alanlara karar verilirken TOPOVT ve UAÖ/AK verilerinin özgün sınıf özellikleri göstermesine önem verilmiştir. Aynı zamanda örnek alanlar seçilirken UAÖ/AK sınıfları ile TOPOVT alansal sınıflarının birbirleri ile uyumluluklarını gösterebilmek için örnek bir UAÖ/AK sınıfının, aynı alanın TOPOVT verisinde mevcut olan sınıflardan hangilerini kapsadığının gösterilmesine önem verilmiştir. Daha önceden de ifade edildiği gibi TOPOVT alansal olarak kesintisiz bir veri değildir ve TOPOVT örnek alanlarını ifade eden şekillerde, beyaz alanlar bu verideki alansal boşlukları ifade etmektedir. Örnek alanların dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bursa İli Örnek Alanların Dağılımı

3. SONUÇLAR

Farklı tarihli SPOT 6 uydu görüntüleri ile yardımcı veri olarak kullanılan meşcere haritası, DSİ sulama haritası ve Google Earth verilerinden faydalanılarak yaklaşık 36,000 ha'lık çalışma alanının CORINE metodolojisine uygun olarak sayısallaştırılmasıyla UAÖ/AK haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan UAÖ/AK haritasına göre, çalışma alanı 75 adet UAÖ/AK sınıfının

46'sını içermektedir. Bu sınıfların büyük bir bölümü *Yapay Bölgeler*, *Tarımsal Alanlar* ve *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar* UAÖ/AK temel sınıflarında yoğunlaşmaktadır. Bu temel sınıflara ek olarak toplam çalışma alanının 350 ha'lık bir bölümü *Su Yapıları* temel arazi örtüsü/kullanım sınıfının 4. seviye sınıflarından *Yapay Su Kanalları (5112)* ve *Yapay Su Yapıları (5122)* sınıfları olarak haritalanmıştır.

UAÖ/AK sınıflandırma sonucu detaylı olarak incelendiğinde, çalışma alanında *Yapay Bölgeler* temel sınıfının 4. seviyede yaklaşık 9,600 ha'lık alanı kapsayan 11 sınıftan, *Tarımsal Alanlar* temel sınıfının 4. seviyede yaklaşık 10,600 ha'lık alanı kapsayan 10 sınıftan ve *Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar* temel sınıfının 4. seviyede yaklaşık 15,700 ha'lık alanı kapsayan 23 sınıftan oluştuğu tespit edilmiştir.

Elde edilen UAÖ/AK sonuçları TOPOVT ile karşılaştırıldığında, TOPOVT verisinde bulunan farklı detay sınıflarının UAÖ/AK ile eşit standartlarda değerlendirilebilmesi için TOPOVT sınıfında bulunan çizgisel ve noktasal veriler değerlendirme dışı bırakılmış olup, alansal sınıfların ise tamamı değerlendirmeye dâhil edilmiştir.

a. Uygulamalar

Karşılaştırma için kullanılan örnek alanlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil isimlendirmelerinde a indisli şekiller TOPOVT örneklerini b indisli şekiller UAÖ/AK örneklerini ifade etmektedir.



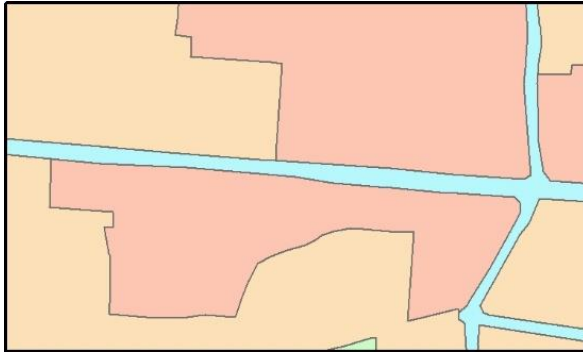
TOPOVT Alansal Sınıfları

ALAN SEKİLİNDEKARAYOLU	BUYUKTESIS	BUYUKSUNDURMA
ALANSEKİLİNDEKARAYOLU	TIVESATE	BUYUKSUNDURMA
GOBEKKAVSAKALANI	BUYUKDEPOLAMATESISI	BUYUKBINA
GOBEKALANI	SUDEPOSU	BINA
KAVSAKAYIRIMALANI	PARK	EGITIMKURUMU
SPORYERI	PARK	RESMIBINA
BUYUKENERJITESISI	YERLESIMYERIALANI	SAGLIKKURUMU
BUYUKENERJITESISI	YERLESIMYERI	

Şekil 4a. Örnek Alan 1 TOPOVT Haritası

CORINE metodolojisine göre elde edilen UAÖ/AK sınıfları ile TOPOVT alansal öznitelik verileri karşılaştırıldığında, Şekil 4b'de görüldüğü gibi yoğunluğu %80 ile %100 arasında olan yerleşim yerleri *Sürekli Şehir Yapısı (1111)* sınıfına dâhil edilen UAÖ/AK haritasındaki alanlar, TOPOVT öznitelik verisinde *Yerleşim Yeri* alansal öznitelik verisine karşılık gelmektedir (Şekil 4a).

Bunun yanı sıra Şekil 4a'da *Spor Yeri, Büyük Enerji Tesisi, Tivesate, Su Deposu, Park, Bina, Resmi Bina, Eğitim Kurumu ve Sağlık Kurumu* TOPOVT alansal verilerinin UAÖ/AK haritasında *Endüstriyel veya Ticari Birimler (1211)* sınıfı ile örtüştüğü görülürken, *Alan Şeklinde Karayolu, Göbek Alanı, Kavşak Ayırım Alanı* sınıfları UAÖ/AK haritasında *Karayolları ve İlgili Alanlar (1221)* (Şekil 4b) kategorisine karşılık gelmektedir.



CLC L4 Sınıfları

1111 1121 1211 1221

Şekil 4b. Örnek Alan 1 UAÖ/AK Haritası

TOPOVT verisinde bulunan alansal boşluklar UAÖ/AK haritasında *Endüstriyel veya Ticari Birimler (1211)* ve *Karayolları ve İlgili Alanlar (1221)* olarak haritalanmıştır. UAÖ/AK sınıflandırma metodolojisine göre TOPOVT verisindeki *Park Alanları* ve *Spor Yerleri Yeşil Şehir Alanları (1411)*, *Spor Alanları (1422)* sınıfları ile ifade edilmesi gerekirken, bu alanlar UAÖ/AK 1.56 ha en küçük haritalanabilir alanı kuralını sağlayamadığından genelleştirilerek *Endüstriyel veya Ticari Birimler (1211)* sınıfına dâhil edilmiştir (Şekil 4a, Şekil 4b).

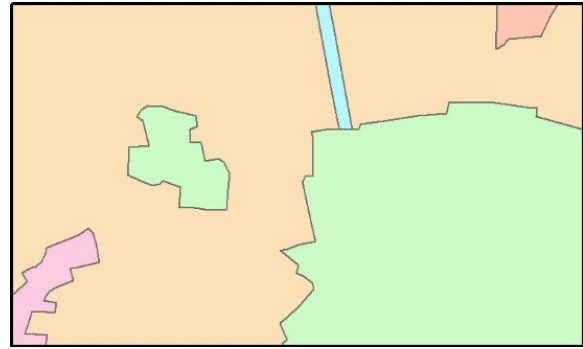
TOPOVT alansal verilerinde yerleşim alanlarının yoğunluğu %50 ile %80 arasında olan ve UAÖ/AK sisteminde *Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı (1121)* olarak sınıflandırılan bölgelerde sadece 25 m'den büyük genişliğe sahip binaların alansal olarak haritalandığı, bu nedenle TOPOVT verisinde yine alansal boşlukların mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 5a).



TOPOVT Alansal Sınıfları

BUYUKTESIS	BUYUKBINA
TIVESATE	BINA
BUYUKDEPOLAMATESISI	EGITIMKURUMU
SUDEPOSU	RESMIBINA
MEZARLIK	SAGLIKKURUMU
ISLAM	
YERLESIMYERIALANI	
YERLESIMYERI	

Şekil 5a. Örnek Alan 2 TOPOVT Haritası



CLC L4 Sınıfları

1111 1121 1211 1221 1411

Şekil 5b. Örnek Alan 2 UAÖ/AK Haritası

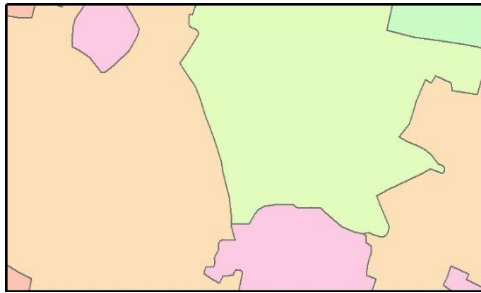
Şekil 5a'da *Tivesate, Su Deposu, Resmi Bina ve Sağlık Kurumu* detay sınıfı ile alansal olarak haritalanan TOPOVT verileri UAÖ/AK haritasında *Endüstriyel veya Ticari Birimler (1211)* sınıfı ile haritalanması gerekirken en küçük haritalama alanı kuralından dolayı farklı yoğunluklardaki yerleşim yeri sınıflarına genelleştirilmişlerdir (Şekil 5b). Bunun yanı sıra UAÖ/AK haritasında *Yeşil Şehir Alanları (1411)* olarak sınıflandırılan alan TOPOVT verisinde alansal olarak haritalanılmamış olup, TOPOVT verisinde alansal boşluk olarak gözükmemektedir (Şekil 5a).

**TOPOVT Alansal Sınıfları**

ALANSEKLİNDEKARAYOLU	BUYUKTESIS	BUYUKSUNDURMA
ALANSEKLİNDEKARAYOLU	TIVESATE	BUYUKSUNDURMA
GOBEKKAWSAKALANI	BUYUKHAVUZ	BUYUKBINA
GOBEKALANI	BUYUKHAVUZ	BINA
KAVSAKAYIRIMALANI	PARK	EGITIMKURUMU
SPORYERI	PARK	RESMIBINA
SPORYERI	YERLESIMYERIALANI	YERLESIMYERI
ORMAN	YERLESIMYERI	
GENISYAPRAKLIORMAN		

Şekil 6a. Örnek Alan 3 TOPOVT Haritası

TOPOVT alansal verisinde Şekil 6a'da görüldüğü gibi *Resmi Bina*, *Spor Yeri*, *Büyük Havuz*, *Tivesate* ve *Park* detay sınıfları ile ilişkili alanlar UAÖ/AK haritasında *Spor Alanları* (1421) olarak haritalandırılmıştır. Aynı zamanda en küçük haritalanabilir alan ve 25 m lineer genişlik kuralından dolayı UAÖ/AK verisinde *Karayolları* ve *İlgili Alanlar* (1221) olarak gösterilemeyen *Alan Şeklinde Karayolu*, *Göbek Alanı* ve *Kavşak Ayrım Alanı* detay sınıfları içinde buldukları *Spor Alanları* (1421) sınıfına dâhil edilmiştir (Şekil 6b).

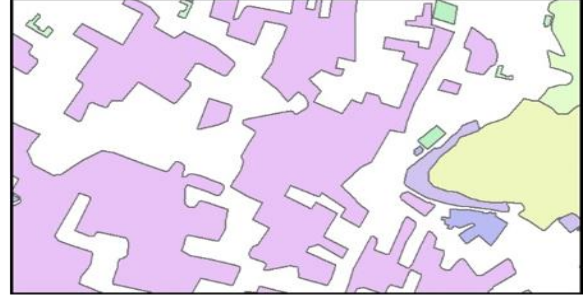
**CLC L4 Sınıfları**

1111	1121	1211	1411	1421
------	------	------	------	------

Şekil 6b. Örnek Alan 3 UAÖ/AK Haritası

Şekil 6a'da *Geniş Yapraklı Orman* detay sınıfı olarak haritalanan alan, UAÖ/AK sistemindeki alan/sınıf tanımına uygun olmadığı için kendi başına orman olarak sınıflandırılmayarak Şekil 7b'de görüleceği gibi *Yeşil Şehir Alanları* (1411) sınıfına dâhil edilmiştir. Aynı şekilde TOPOVT 'de *Eğitim Kurumu* ve *Bina* olarak haritalanan alanlar

UAÖ/AK' de *Sürekli Şehir Yapısı* (1111) sınıfına dâhil edilmiştir.

**TOPOVT Alansal Sınıfları**

ORMAN	BUYUKTESIS	BUYUKBINA
IGNEYAPRAKLIORMAN	TIVESATE	BINA
TARLABAÇE	BUYUKDEPOLAMATESISI	RESMIBINA
MEYVELIK	SUDEPOSU	SPORYERI
ZEYTINLIK	MEZARLIK	SPORYERI
	ISLAM	

Şekil 7a. Örnek Alan 4 TOPOVT Haritası

TOPOVT ve UAÖ/AK haritalarında tarımsal alan sınıflarının yoğun olduğu alanlar incelendiğinde, UAÖ/AK verisinde *Sulanmayan Ekilebilir Alan* (2111), *Sürekli Sulanan Tarım Alanı* (2121) ve *Ağaçsız ve Çalışsız Mera, Çayır ve Sürekli Çimenlik Alan* (2311) olarak sınıflandırılan tarımsal alanların TOPOVT verisinde alansal boşluklara karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 7a). Aynı şekilde yerleşim yoğunluğu %50 ile %80 arasında olan *Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı* (1121), yoğunluğu %30 ile %50 arasında olan *Düşük Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı* (1122), sınıflarının TOPOVT verisinde alansal olarak haritalandırılmadığı görülmektedir (Şekil 7a).

**CLC L4 Sınıfları**

1111	1211	2222	2421	3331
1121	2111	2231	3121	5112
1122	2121	2311	3212	

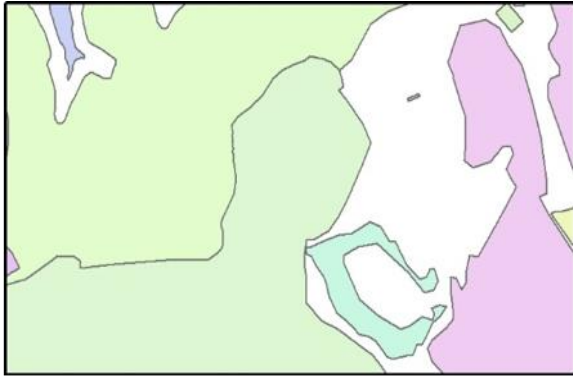
Şekil 7b. Örnek Alan 4 UAÖ/AK Haritası

TOPOVT alansal verisinde *Zeytinlik* detay sınıfı olarak haritalanan alan, Şekil 7b'de görüleceği gibi UAÖ/AK haritasında tarımsal alan

sınıflarından *Zeytinlikler* (2311) olarak, *Meyvelik* detay sınıfı ile haritalanan alanlar ise UAÖ/AK haritasında *Diğer Meyve Bahçeleri* (2222) ve *Karışık Tarım Alanları* (2421) olarak sınıflandırılmıştır.

UAÖ/AK haritasında *Seyrek Bitki Alanları* (3331) olarak sınıflandırılan alanın, TOPOVT alansal verisinde haritalanmadığı tespit edilmiştir (Şekil 7a, Şekil 8b). TOPOVT alansal sınıflarından *Spor Yeri*, *Su Deposu* ve *Mezarlık* detay sınıfları UAÖ/AK haritasında en küçük haritalanabilir alan kuralından dolayı asıl sınıflarında haritalanamayarak içinde bulunduğu sınıfa genelleştirilmiştir.

Şekil 7a'da *İğne Yapraklı Orman* detay sınıfı ile haritalanan alan, UAÖ/AK haritasında da aynı şekilde kapallılığı %71 ile %100 arasında olan *İğne Yapraklı Ormanlar* (3121) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 7b). UAÖ/AK haritasında *Yapay Su Yolları* (5112) olarak sınıflandırılan alanın, TOPOVT verisinde alansal olarak haritalandırılmamaktadır (Şekil 7b).



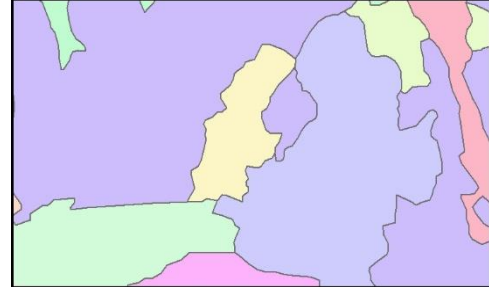
TOPOVT Alansal Sınıfları

ORMAN	TARLABAHÇE	GOL
GEİGYAPOR	MEYVELİK	BARAJGÖLÜ
İGNEYAPRAKLİORMAN	ZEYTİNLİK	TOPRAK KAZINTI
KESİLMİŞORMAN	BUYUKBİNA	TOPRAK KAZINTI
	HARAPBİNA	

Şekil 8a. Örnek Alan 5 TOPOVT Haritası

TOPOVT verilerinde Baraj Gölü olarak haritalanan alan (Şekil 8a), Şekil 8b'de görüleceği gibi UAÖ/AK haritasında bu sınıfı kapsayan *Yapay Su Kütleleri* (5122) UAÖ/AK sınıfı ile sınıflandırılmıştır. TOPOVT *Toprak Kazıntı* detay sınıfı ile gösterilen alan ve çevresindeki alansal boşluklar, UAÖ/AK haritasında *Maden Çıkartım Sahaları* (1311) olarak sınıflandırılmıştır. TOPOVT alansal öznelik verisinde maden alanlarını tam olarak ifade eden UAÖ/AK sınıfları bulunmamaktadır (Şekil 8a). Bu nedenle UAÖ/AK

verisindeki 1311 sınıfı bu alansal boşlukları doldurabilecek niteliği sağlamaktadır.



CLC L4 Sınıfları

1311	3121	3212	3244	3331
2231	3211	3241	3249	5122

Şekil 8b. Örnek Alan 5 UAÖ/AK Haritası

Şekil 8a'da karışık orman türlerinin oluşturduğu alanları ifade eden *Geniş-İğne Yapraklı Orman*(GEİGYAPOR) detay sınıfı, UAÖ/AK haritasında kapallılığı %71 ile %100 arasında olan *İğne Yapraklı Ormanlar* (3121) olarak sınıflandırılırken, TOPOVT verilerinde *İğne Yapraklı Orman* olarak sınıflandırılan alan ise UAÖ/AK haritasında aynı şekilde *İğne Yapraklı Ormanlar* (3121) olarak sınıflandırılmıştır.

TOPOVT verisinde *Kesilmiş Orman* olarak haritalanan alan (Şekil 8a), UAÖ/AK haritasında, L4 sınıflarının bu kategoride daha detaylı olmasından dolayı *Kesilmiş Alanlar* (3241), kapallılığı %11 ile %29 arasında olan *İğne Yapraklı Orman* (3244) ve *Diğer Bitki Değişim Alanları* (3249) olarak 3 farklı arazi örtüsü/kullanımı sınıfı ile ifade edilmiştir (Şekil 8b). Burada TOPOVT verisindeki orman sınıfları UAÖ/AK ile uyumaktadır, fakat UAÖ/AK ek olarak orman kapallılık bilgisi de sağlamaktadır.

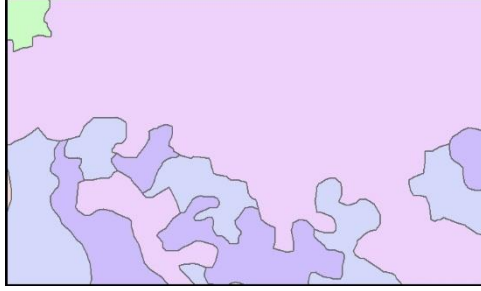


TOPOVT Alansal Sınıfları

ORMAN	TARLABAHÇE	BUYUKTESİS
İGNEYAPRAKLİORMAN	MEYVELİK	TİVESATE

Şekil 9a. Örnek Alan 6 TOPOVT Haritası

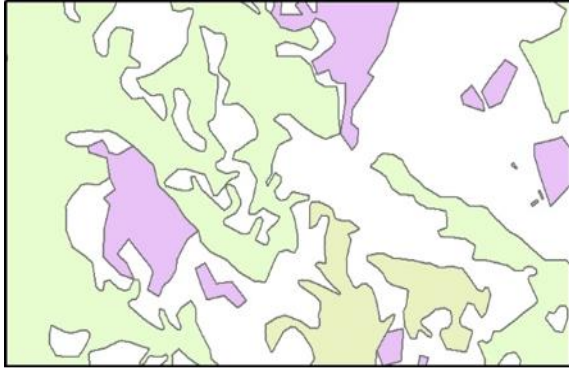
İğne Yapraklı Orman ve *Meyvelik* detay sınıflarının bulunduğu TOPOVT verilerindeki (Şekil 9a) meyve bahçeleri ve orman alanlarının karışık olarak bulunduğu alanlar UAÖ/AK haritasında (Şekil 9b), *Doğal Bitki Örtüsü İle Birlikte Bulunan Tarım Alanları (2431)* UAÖ/AK sınıfı ile sınıflandırılmıştır.



CLC L4 Sınıfları
1121 2431 3121 3131

Şekil 9b. Örnek Alan 6 UAÖ/AK Haritası

TOPOVT verilerinde *İğne Yapraklı Orman* olarak ifade edilen alana karşılık gelen UAÖ/AK bölgesinde 2431 sınıfının yanı sıra kapalılığı %71 ile %100 arasında olan *İğne Yapraklı Ormanlar (3121)* ve *Karışık Ormanlar (3131)* sınıfları da haritalandırılmıştır (Şekil 9b).



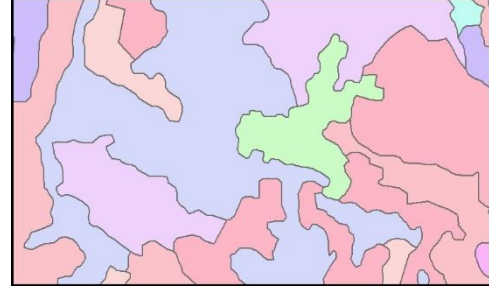
TOPOVT Alansal Sınıfları
ORMAN: GEIGYAPORCA, GENİSYAPRAKLİORMAN
TARLABAHCE: MEYVELİK
BUYUKBINA: SERA

Şekil 10a. Örnek Alan 7 TOPOVT Haritası

Şekil 10a'da karışık orman alanlarını ifade eden *Geniş-İğne Yapraklı Orman (GEIGYAPORCA)* TOPOVT sınıfına karşılık gelen alan, Şekil 9b'deki UAÖ/AK haritasında görüleceği gibi *Karışık Ormanlar (3131)* olarak sınıflandırılmıştır. TOPOVT verisinde orman alanları ve meyve bahçelerinin birlikte bulunduğu alanlar Şekil 10a'daki UAÖ/AK haritasında *Doğal*

Bitki Örtüsü İle Birlikte Bulunan Tarım Alanları (2431) sınıfına karşılık geldiği görülmektedir.

TOPOVT verisinde Şekil 10a'da mevcut olan alansal boşluklar UAÖ/AK haritasında *Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı (1121)*, *Ağaçsız ve Çalışız Doğal Çayır ve Meralar (3211)* ve kapalılığı %11 ile %29 arasında olan *Karışık Ormanlar (3245)* olarak sınıflandırılmıştır.



CLC L4 Sınıfları
1121 3111 3131 3212 3331
2431 3121 3211 3245

Şekil 10b. Örnek Alan 7 UAÖ/AK Haritası

Şekil 10a'da karışık orman türleri olarak ifade edilen alanın bir bölümü ise UAÖ/AK haritasında kapalılığı %71 ile %100 arasında olan *Geniş Yapraklı Ormanlar (3111)* ve *İğne Yapraklı Ormanlar (3121)* olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 10b).

TOPOVT öznelik bilgileri ile UAÖ/AK sınıflarının birbirleri ile ilişkileri incelendiğinde, UAÖ/AK haritasının yaklaşık olarak TOPOVT detay sınıflarının genelleştirilmiş üst sınıflarını oluşturduğu görülmektedir. Fakat UAÖ/AK haritasında mevcut olan çıplak arazi, ekilebilir tarım alanları ve maden alanları gibi UAÖ/AK sınıfları, TOPOVT verisinde bulunmamaktadır. Aynı zamanda UAÖ/AK sınıflarından ormanlar ve yarı doğal alanlar kategorisinde yer alan orman kapalılık oranı kriterine göre belirlenmiş olan 4. seviye sınıflarının, TOPOVT haritasında bulunan orman detay sınıflarına göre daha fazla alt kategoriye sahip olduğu belirlenmiştir. Sadece alansal sınıfları değerlendirilen TOPOVT verisindeki boşluklar, UAÖ/AK verisinde mutlak bir sınıf ile ifade edilmektedir.

b. Öneriler

TOPOVT veritabanında özellikle tarım alanlarının olduğu bölgelerde, veritabanının yüzeyin tamamını temsil etmediği, süreksiz olduğu alanlar mevcuttur. Öte yandan, Ulusal Veri Tabanının alan geometrisine bağlı olarak tüm

yüze için oluşturulması nedeni ile süreksiz bir alan söz konusu değildir. Yüzeyi temsil eden görüntünün her bölümü mutlaka bir sınıfa atanır. TOPOVT Veritabanında boş olan alanlar, UAÖ/AK veritabanından gelen bilgiler ile tamamlanabilir. Aynı şekilde TOPOVT'de var olan sınıfların öznelik bilgilerinin tamamlanmasında UAÖ/AK'den faydalanılabilir.

UAÖ/AK ve TOPOVT'te ortak olan, dolayısı ile doğrudan UAÖ/AK' ten alınıp kullanılabilir olan sınıflar arasında özellikle 1.56 ha'dan büyük ve poligon ile ifade edilen alanlar için sazlık, çayırılık, çalılık, bağ, çeltik, fidanlık, iğne yapraklı orman, geniş yapraklı orman, yangın önleme şeridi, zeytinlikler, göller, büyük bina, park gibi alanlar örnek verilebilir. EK 2'de TOPOVT sınıflarının Ulusal Veri Tabanı karşılıkları gösterilmiştir.

TOPOVT detay sınıflarının, 1:25.000 ölçeğinde harita üretimi dikkate alınarak tasarlanan detay sınıfları olması nedeniyle pek çok ulusal ve küresel AÖ/ AK veritabanında olmayan sınıflar mevcuttur (kuru çeşme, telefon hattı, harap yerleşim yeri gibi). Bunların UAÖ/AK veritabanından elde edilmesi mümkün değildir.

Aynı şekilde, UAÖ/AK veritabanında, TOPOVT'te bulunmayan detaylar mevcuttur (kapalılığına göre ayrılmış orman sınıfları, yoğunluğuna göre ayrılmış yerleşim sınıfları gibi). Tarım alanları ve ormanlık alanlar UAÖ/AK' de çok daha ayrıntılı şekilde temsil edilmiştir. Bu ayrıntılar hem tür hem de kapalılık gibi tematik detaylar içermektedir (EK-1).

Bununla birlikte, UAÖ/AK üretiminde kullanılacak uydu görüntülerinin çözünürlükleri, UAÖ/AK'de bulunmayan fakat TOPOVT'te bulunan bir takım detayların üretilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu kapsamda, UAÖ/AK'de 1211 sınıfına girecek olan Büyük Enerji Tesisi, Trafo gibi alansal detaylar veya Kıyı gibi çizgisel elemanlar sayesinde UAÖ/AK, TOPOVT ile uyumlu olacak şekilde üretilebilir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma ulusal haritacılık kurumu olan Harita Genel Komutanlığının Üniversitelerimizle gerçekleştirdiği "Üniversite-Kamu işbirliği" yaklaşımı kapsamında hayata geçirilmiştir.

İTÜ-UHUZAM' a, uydu görüntüsü desteği için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Caldas, M., Walker, R., Arima, E., Perz, S., Aldrich S., Simmons, C., (2007), **Theorizing land cover and land use change: The peasant economy of Amazonian deforestation**, Annals Of The Association Of American Geographers 97, 86-100.
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M, Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, J., Muxart, T., Roxo M.J, Dostal, T., (2010), **Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data**, Geomorphology 122 167–177.
- Büttner, G., Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., (2004), **The Corine Land Cover 2000 Project**, EARSeL eProceedings 3, 3/2004
- EEA, (1995). CORINE Land Cover Report. <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- Feranec, J., Hazeu, G., Christensen, S., Jaffrain, G., (2007), **Corine land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia)**, Land Use Policy 24 234–247
- Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., Hazeu, G., (2010), **Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data**, Applied Geography 30 19–35
- Kosztra, B., Arnold, S., (2014). **CORINE land cover nomenclature illustrated guide: Deliverable "Proposal for enhancement of CLC nomenclature guidelines"**.
- Lambin E. F., Turner, B.L., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Lemmans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Dkanes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin U., Veldkamp, T., Vogel, C., Xu, J., (2001), **The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths**, Global Environmental Change 11 261–269

Ramankutty, N., ve Foley J., (1999) **Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992**, Global Biogeochemical Cycles, Vol. 13, No 4, Pages 997-1027

Sertel, E., Yay Algan, I., Alp, G., Musaoğlu, N., Kaya, Ş., (2015a). **Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sistemi Geliştirme Çalıştayı Sonuç Raporu.**

Sertel, E., Yay Algan, I., Alp, G., Musaoğlu, N., Kaya, Ş., (2017). **Yüksek Çözünürlüklü Uydu Verileri Kullanılarak 1:25.000 Ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sisteminin Geliştirilmesi**, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17, 232-241.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B., Sykes, M.T., Prentice, C., (2015) **Climate change threats to plant diversity in Europe** www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0409902102

Woodcock, C. E., ve Özdoğan, M., (2012), **Trends in land cover mapping and monitoring**, In Land Change Science (pp. 367-377) Springer Netherlands.

Yüksel, B., Saygılı, A., Caniberk, M., Okul, A., Yılmaz, A., Çekin M., Çabuk, S., (2015), **Topo25 Vektör Veri Uygulamaları**, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu 21-23 Mayıs / Konya

URL-1 <https://www.hgk.msb.gov.tr/uf-11-uretim-is-akisi.html> (ulaşım tarihi 01.01.2018)

EK-1

3th Level Classes	4th Level Classes
1.1.1 Sürekli Şehir Yapısı	1.1.1.1 Sürekli Şehir Yapısı (%80-%100)
1.1.2 Süreksiz Şehir Yapısı	1.1.2.1 Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı (%50*%80)
	1.1.2.2. Düşük Yoğunluklu Süreksiz Şehir Yapısı (%30-%50)
1.2.1 Endüstriyel veya Ticari Birimler	1.2.1.1 Endüstriyel veya Ticari Birimler
1.2.2 Karayolları Demiryolları ve İlgili Alanlar	1.2.2.1 Karayolları ve İlgili Alanlar
	1.2.2.2. Demiryolları ve İlgili Alanlar
1.2.3 Limanlar	1.2.3.1. Ticari ve Askeri Limanlar
	1.2.3.2. Tersaneler
	1.2.3.3. Balıkçı Limanları

	1.2.3.4. Diğer Liman Alanları
1.2.4 Havaalanları	1.2.4.1 Havaalanları
1.3.1 Maden Çıkartım Sahaları	1.3.1.1 Maden Çıkartım Sahaları
1.3.2 Boşaltım Sahaları	1.3.2.1 Boşaltım Sahaları
1.3.3 İnşaat Sahaları	1.3.3.1 İnşaat Sahaları
1.4.1 Yeşil Şehir Alanları	1.4.1.1 Yeşil Şehir Alanları
1.4.2 Spor ve Eğlence Alanları	1.4.2.1 Spor Alanları
	1.4.2.2 Dinlence Alanları
2.1.1. Ekilebilir Alanlar	2.1.1.1 Sulanmayan Ekilebilir Alan
	2.1.1.2 Sulanmayan Ekilebilir Alanlardaki Seralar
	2.1.1.3 Meyve Ağacı ve Meyve Çalılığı Fidelikleri
2.1.2. Sürekli Sulanan Ekilebilir Alanlar	2.1.2.1 Sürekli Sulanan Alanlar
	2.1.2.2 Sürekli Sulanan Alanlardaki Seralar
2.1.3. Pirinç tarlaları	2.1.3.1 Pirinç Tarlaları
2.2.1. Üzüm bağları	2.2.1.1 Üzüm Bağları
2.2.2. Meyve Bahçeleri	2.2.2.1 Çay Bahçeleri
	2.2.2.2 Diğer Meyve Bahçeleri
2.2.3. Zeytinlikler	2.2.3.1 Zeytinlikler
2.3.1. Mera Alanları	2.3.1.1 Ağaçsız ve Çalısız Mera, Çayır ve Sürekli Çimenlik Alanlar
	2.3.1.2 Ağaçlı ve Çalılı Mera, Çayır ve Sürekli Çimenlik Alanlar
2.4.1. Sürekli Ürünlerle Birlikte Bulunan Senelik Ürünler	2.4.1.1 Sürekli Ürünlerle Birlikte Bulunan Senelik Ürünler
2.4.2. Karışık tarım alanları	2.4.2.1 Karışık Tarım Alanları
2.4.3. Doğal Bitki Örtüsü Birlikte Bulunan Tarım Alanları	2.4.3.1 Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları
2.4.4. Ormanla Karışık Tarım Alanları	2.4.4.1 Ormanla Karışık Tarım Alanları
3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar	3.1.1.1 Geniş Yapraklı Ormanlar (kapalılık 71-100 %)
	3.1.1.2 Geniş Yapraklı Ormanlar (kapalılık 41-70 %)
	3.1.1.3 Geniş Yapraklı Ormanlar (kapalılık 30-40 %)
3.1.2. İğne Yapraklı Ormanlar	3.1.2.1 İğne Yapraklı Ormanlar (kapalılık 71-100 %)

	3.1.2.2 İğne Yapraklı Ormanlar (kapalılık 41-70 %)
	3.1.2.3 İğne Yapraklı Ormanlar (kapalılık 30-40 %)
3.1.3. Karışık Ormanlar	3.1.3.1 Karışık Ormanlar (kapalılık 71-100 %)
	3.1.3.2 Karışık Ormanlar (kapalılık 41-70 %)
	3.1.3.3 Karışık Ormanlar (kapalılık 30-40 %)
3.2.1. Doğal Çayırliklar	3.2.1.1 Ağaçsız ve Çalısız Doğal Çayırliklar
	3.2.1.2 Ağaçlı ve Çalılı Doğal Çayırliklar
3.2.2. Fundalıklar	3.2.2.1 Fundalıklar
3.2.3. Sklerofil Bitki Örtüsü	3.2.3.1 Sklerofil Bitki Örtüsü <41
	3.2.3.2 Sklerofil Bitki Örtüsü >41
3.2.4. Bitki Değişim Alanları	3.2.4.1 Kesilmiş alanlar
	3.2.4.2 Orman Fidanlıkları
	3.2.4.3 Geniş Yapraklı Ormanlar (kapalılık 11-29 %)
	3.2.4.4 İğne Yapraklı Ormanlar (kapalılık 11-29 %)
	3.2.4.5 Karışık Ormanlar (kapalılık 11-29 %)
	3.2.4.6 Genç korular
	3.2.4.7 Yanmış Ormanlar
	3.2.4.8 Yangın Emniyet Yolları
	3.2.4.9 Diğer Bitki Değişim Alanları
3.3.1. Sahiller, Kumsallar ve Kumluklar	3.3.1.1 Karasal Sahiller, Kumsallar ve Kumluklar
	3.3.1.2 Denize Yakın Sahiller, Kumsallar ve Kumluklar
3.3.2. Çıplak Kayalıklar	3.3.2.1 Çıplak Kayalıklar
3.3.3. Seyrek Bitki Alanları	3.3.3.1 Seyrek Bitki Alanları (kapalılık <5%)
	3.3.3.2 Bozulmuş orman (kapalılık 5-10%)
3.3.4. Yanmış Alanlar	3.3.4.1 Yanmış Alanlar
3.3.5. Buzul ve Kalıcı Kar	3.3.5.1 Buzul ve Kalıcı Kar
4.1.1. Karasal Bataklıklar	4.1.1.1 Karasal Bataklıklar
4.1.2. Turbalıklar	4.1.2.1 Turbalıklar

4.2.1. Tuz Bataklıkları	4.2.1.1 Tuz Bataklıkları
4.2.2. Tuzlalar	4.2.2.1 Tuzlalar
4.2.3. Gelgit Olayı ile Oluşan Düzlükler	4.2.3.1 Gelgit Olayı ile Oluşan Düzlükler
5.1.1. Su Yolları	5.1.1.1 Doğal Su Yolları
	5.1.1.2 Yapay Su yolları
5.1.2. Su Kütleleri	5.1.2.1 Doğal Su Kütleleri
	5.1.2.2 Yapay Su Kütleleri
5.2.1. Kıyı Lagünleri	5.2.1.1 Kıyı Lagünleri
5.2.2. Nehir Ağızları, Deltalar	5.2.2. Nehir Ağızları, Deltalar
5.2.3. Deniz ve Okyanus	5.2.3.1 Deniz ve Okyanus

EK-2

TOPOVT DETAY GRUPLARI VE AÇIKLAMALARI		
TOPO DETAY İSMİ	TOPO DETAY ALT TIP İSMİ	AÖ/AK KODU
ORMAN	AGACLANDIRMAS AHASI	3242, 3246
TARLABAHCE	BAGLIK	2211
BASAZKAA	BAKASAZ	4111
BASAZKAA	BATAKLIK	4111
BASAZKAA	BATAKLIKÇAYIRLIK	4111
CALILIK	CALILIK	3231, 3232
TARLABAHCE	CAYBAHCESI	2221
CAYIR	CAYIRLIK	3211, 2311
TARLABAHCE	CELTIKTARLASI	2131
FIDANLIK	FIDANLIK	3242, 2111
TARLABAHCE	FISTIKLIK	2222
ORMAN	GEIGYAPOR	3131, 3132, 3133
ORMAN	GEIGYAPORCA	313x, 3212
ORMAN	GENISYAPRAKLI ORMAN	3111, 3112, 3113
GEYANONSE	GEYANONSE	3248
ORMAN	GEYAPORCA	311x, 3212,
TARLABAHCE	GULBAHCESI	2222
ORMAN	IGNEYAPRAKLIO RMAN	3121, 3122, 3123
ORMAN	IGYAPORCA	312x, 3212
ORMAN	KESILMISORMAN	3241
TARLABAHCE	MEYVELIK	2222
BASAZKAA	SAZLIKKAMISLIK	4111
CAYIR	SULAKÇAYIRLIK	3211, 3212

BASAZKAA	SULAKSAZLIKKA MISLIK	4111
TARLABAHCE	TURUNCGILBAHC ESI	2222
ORMAN	YANMISORMAN	3247
TARLABAHCE	ZEYTINLIK	2231, 3231
KAYAOLUSUMU ALANI	ARAZISEKLİNDEK AYALIK	3321
BUZLUALAN	BUZUL	3351
ZEMINYUZEYEL EMANI	CAKILLIK	331x, 332x
ZEMINYUZEYEL EMANI	COKENARAZI	33xx, 3331
BUZLUALAN	DAIMIKARLIALAN	3351
ZEMINYUZEYEL EMANI	KUMLUK	3311, 3312
ZEMINYUZEYEL EMANI	LAVLIARAZI	3321
ZEMINYUZEYEL EMANI	LECELİK	3321
ZEMINYUZEYEL EMANI	TASLIK	3321
TUZLA	TUZLA	4221,4211
GOL	BARAJGOLU	5122
BUYUKHAVUZ	BUYUKHAVUZ	1421,142, 5122
GOL	DAIMIGOL	5121
GOL	DEGISKENKIYILIG OL	5121
DENİZ	DENİZ	5231
FOSEPTİK	FOSEPTİK	1321
GOL	GECICIGOL	5121
GENİSBENT	GENİSBENT	1211
GENİSDERE	GENİSYATAKLİDE RE	5111
GOL	GOLET	5122
GENİSDERE	İSLAHEDİLMİSDE RE	5111
GENİSDERE	KUMLUKCAKILLIK	3311
BUYUKENERJİT ESİSİ	BUYUKENERJİTE SİSİ	1211
BUYUKPOMPAİ STASYONU	BUYUKPOMPAİST ASYONU	1211
SPORYERİ	SPORYERİ	1421
BUBAUHA	BUBAUHA	4221
BUYUKSILO	BUYUKSILO	1211
BUYUKTESİS	SASİYERA	1211
BUYUKDEPOLA MATESİSİ	SUDEPOSU	1211
BUYUKDEPOLA MATESİSİ	TANK	1211
ALANSEKLİNDE KARAYOLU	ALANSEKLİNDEK ARAYOLU	1221

BUDEİS	BUDEİS	1222
BUYUKKORUNA K	BUYUKKORUNAK	1222
GOBEKKAVSAK ALANI	GOBEKALANI	1221
GOBEKKAVSAK ALANI	KAVSAKAYIRIMAL ANI	1221
BUYUKBİNA	BİNA	11xx
BUYUKBİNA	BUYUKCAMI	1211
BUYUKSUNDUR MA	BUYUKSUNDURMA	1211
BUYUKBİNA	EGİTİM KURUMU	1211
BUYUKBİNA	HABERLESMETE SİSİ	1211
BUYUKBİNA	HARAPBİNA	11xx
BUYUKBİNA	HARAPYAYLAEVİ	11xx
YERLESEMİYERİ ALANI	HARAPYERLESEM YERİ	11xx
BUYUKBİNA	KİLİSE	1211
PARK	PARK	1411, 1422
BUYUKBİNA	RESMİBİNA	1211
BUYUKBİNA	RESMİKURUMALANI	1211
BUYUKBİNA	SAGLIKKURUMU	1211
SEKBETAHA	SEKBETAHA	1422
BUYUKBİNA	SERA	2112, 2122
BUYUKBİNA	SİNAGOG	1211
YERLESEMİYERİ ALANI	YERLESEMİYERİ	11xx

TANDEM-X Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması (TanDEM-X Digital Elevation Model Generation)

Esra ERTEN, Mehmet Furkan ÇELİK, Zehra Meltem ŞAHİN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, TR-34469, İstanbul, Türkiye
eerten@itu.edu.tr, celikmeh@itu.edu.tr, sahinzeh@itu.edu.tr

ÖZ

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, Sayısal Yükseklik Modellerinin (SYM), taşkın analizlerinden 3B şehir modellemeye kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı olduğunu ve global bir SYM'ne ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. 2010 yılında Alman Radar Uydusu TDX, TerraSAR-X (TSX) uydusunun yörüngesine çok yakın olacak şekilde konumlandırılarak uzaya fırlatıldı ve ilk defa uzaydan bi-statik interferometri ölçmeleri ile sayısal yükseklik modeli için uygun geometrik konfigürasyon sağlandı. Bu çalışmanın amacı, TANDEM-X sayısal yükseklik modelinin doğruluk analizinin gerçekleştirilmesi ve sayısal yükseklik modeli oluşturmada klasik mono-statik interferometrik Synthetic Aperture Radar (InSAR) olarak adlandırılan yapay açıklıklı interferometri tekniğine eklenen işlem adımlarının paylaşılmasıdır. Bunlara ek olarak, üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluk analizinin değerlendirilmesi de yapılacaktır. Anlatılan teori, Edirne ili Gala Gölü mevkiinde Ipsala İlçesi'ne bağlı olan çeltik tarlalarını ve çevresini kapsamaktadır. Çalışma alanı, tarım alanlarına ek olarak orman, yerleşim alanı ve dağlık bölge gibi farklı topoğrafik özelliğe sahip alanları da içermektedir. Bahar aylarında bölgede görülen aşırı yağışlar Meriç Nehri havzasında su baskınlarına neden olmaktadır ve topoğrafyada değişimler gözlenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), TanDEM-X, TerraSAR-X, Bi-statik İnterferometri, Radargrametri

ABSTRACT

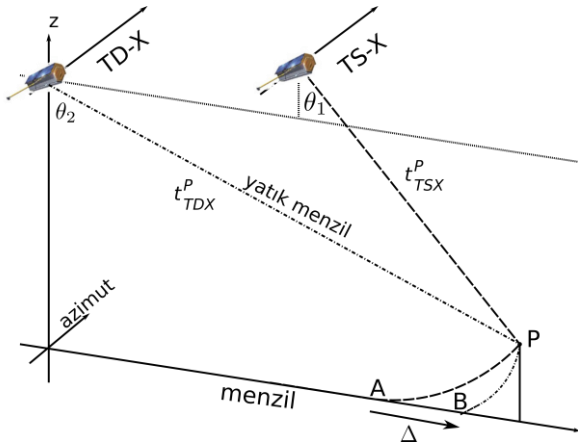
Recent researches illustrated well the diversity of application areas for which global Digital Elevation Model (DEM) is needed. To supply this need, TanDEM-X mission supported by German Aerospace Center is accomplished. The twin satellite of TerraSAR-X (TSX) entitled TDX is a Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite flying in close to TSX satellite orbit whose primary objective is the generation of a consistent global DEM using bi-static interferometry. The purpose of this study is to introduce the TanDEM-X mission DEM including its processing steps and the accuracy assessment. Explained theory will be utilized to derive DEM of the area surrounding the Gala Lake. The area, which includes agricultural fields, forests, lake, settled area and mountains, is located in Edirne /Turkey. In this region, heavy rainfalls lead to flooding and topographic change as well.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), TanDEM-X, TerraSAR-X, Bi-static Interferometry, Radargrametry

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), doğal kaynaklar ve şehirlerin yönetiminden, mühendislik ölçmelerine kadar birçok uygulamanın olmazsa olmazı konumundadır. İlk uygulamalarda kullanılan yersel ölçmeler ile SYM üretimi, her ne kadar yüksek doğrulukla ürünler sağlasa da yükseklik bilgisinin kullanıldığı uygulamalar geliştikçe çok zaman alan bir yöntem haline gelmiş, büyük ve erişilmesi zor olan alanlar için yetersiz kalmıştır. Bu yüzden de uydu ve hava bazlı görüntüler, yeryüzü topoğrafyasının belirlenmesinde etkili bir veri kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yersel yöntemler ile karşılaştırıldığında da hızlı, ekonomik ve güvenilir SYM'lerinin üretildiği görülmüştür. Bu bağlamda, National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından yürütülen uluslararası bir çalışma olan SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) projesiyle yeryüzünün topoğrafik haritası, 60° kuzey ve güney enlemleri arasındaki kara parçaları için yapay/Synthetic açıklıklı/Aperture Radar (SAR) görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Böylelikle tek geçişli İnterferometrik SAR (InSAR) tekniği kullanılarak yeryüzünün toplam kara parçasının %80'ninin sayısal yükseklik modeli 30 ve 90 metre çözünürlük ile üretilmiş, ücretsiz olarak internet üzerinden kullanıcılara ulaştırılmıştır (URL-1). Buzulların izlenmesinden (Erten, 2013), uzaktan algılama görüntülerinin belli bir koordinat sistemine oturtulması için gerçekleştirilen geometrik düzeltme işlem adımı (Rossi ve Gerhardt, 2013) kadar birçok çalışmada kullanılmasına rağmen, SRTM SYM'lerinin global olmaması en büyük kısıtlaması olarak görülmektedir. İkinci bir kısıtlama da SYM üretiminde kullanılan radar görüntü çiftleri arasındaki zaman farkıdır (Rossi ve Erten, 2015). 11 gün zaman farkıyla elde edilen SAR görüntüleriyle gözlemlenen yeryüzünde meydana gelen değişiklik, iki SAR görüntü sistemi arasında uyumlu (coherent) sinyal elde edilememesine yani yükseklik ile ilgili güvenilir faz verisi elde edilmesine engel olmaktadır. Dolayısıyla, SAR görüntüleri arasındaki zaman farkı üretilen SYM'inde hatanın ana kaynağı durumundadır ve özellikle zamansal değişimin topoğrafya üzerinde hızlı olduğu tarım arazileri gibi bölgelerde düşük doğrulukla SYM üretilmesine neden olmuştur.

Bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak için Alman Uzay Ajansı (DLR: Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt) tarafından TANDEM-X projesi hayata geçirilmiştir. Global TanDEM-X SYM'lerinin satışı dünyanın etrafının üç defa taranması bittikten sonra başlamıştır. Şekil 1. de gösterilen, TerraSAR-X (TSX) uydusunun ikizi olan TDX uydusu, birbiri ardına mikro-saniyeden az zaman aralığı ile görüntüleri elde ederek yeryüzünün sayısal yükseklik modelini üretmekte ve böylelikle de SRTM SYM'inde olduğu gibi, görüntü çiftleri arasındaki zamansal değişikliklerden kaynaklanan hataların önüne geçmektedir. SRTM SYM'lerine göre yeryüzünün %90'ını için görüntü alımı gerçekleştirilecek ve SRTM verisi olmayan bölgelerin de topografyasını karakterize eden SYM'leri üretilebilecektir. Özellikle kuzey ve güney kutbundaki değişimlerin izlenmesi için çok büyük bir avantaj sağlayacaktır. Bu iki avantajının yanı sıra TanDEM-X SYM'leri ile, interferometri teknikleri kullanılarak uzaydan görüntüleme ile elde edilmiş en yüksek çözünürlüklü SYM'leri de kullanıcılara sunulmaktadır. Üretilen SYM'nin doğruluğu ve kalitesi de farklı uygulamalar için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle üretilen TANDEM-X SYM'lerinin doğruluklarının ve kalitelerinin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 1. TDX-TSX görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında görüntü alım geometrisi [Rossi, vd., (2012) çalışmasından esinlenerek üretilmiştir].

Bu çalışma, interferometrik algoritmalar kullanılarak TSX-TDX görüntü çiftinden nasıl SYM oluşturulacağını Rossi, vd., (2012) çalışmasını referans alınarak göstermektedir. Bu bağlamda makalenin ikinci bölümünde ham sayısal yükseklik verisinin oluşturulması ve DLR tarafından SYM oluşturmak için geliştirilen algoritmalar anlatılacak, üçüncü bölümde ise TDX ve TSX'den elde edilen,

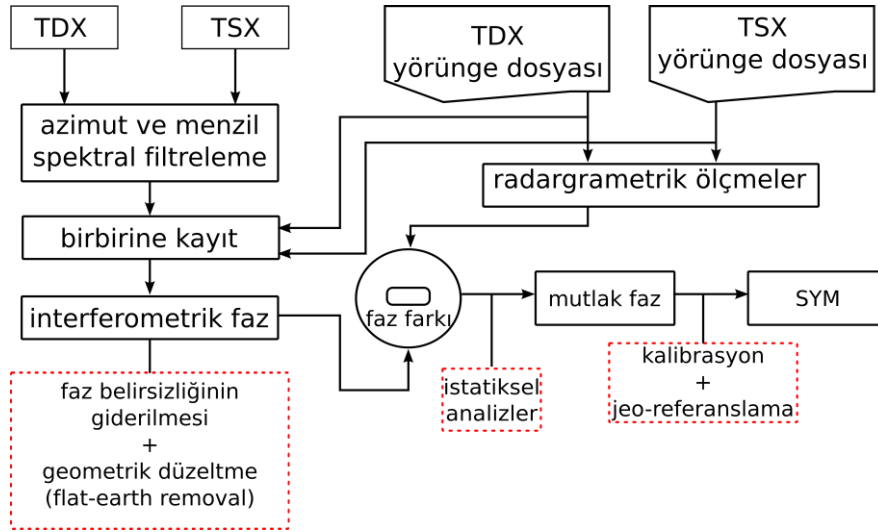
kalibre edilmiş ve coğrafi referanslandırılması yapılmış SYM oluşturulacaktır. Araştırma sonuçlarının özetlendiği dördüncü bölüm ile çalışma sonuçlandırılacaktır.

2. HAM YÜKSEKLİK VERİSİ

Bu bölümde ilk olarak farklı zamanlı iki sinyalden odaklanmış görüntü elde edilmesi için gereken temel işlem adımları hatırlatılacak ve klasik algoritmalarından farklı olarak *bi-statik* interferometrik geometri için uygulanan özel yaklaşımlar belirtilecektir. SRTM gibi tekrar geçişli interferometri tekniklerinde genel olarak, gönderici ve alıcının tek anten kullandığı *mono-statik* radarlar kullanılır. Bi-statik radarlar ise, her biri kendi antenine sahip aralarında belirli bir uzaklık bulunan, bir gönderici ve iki alıcıdan meydana gelir. Şekil 2, TDX-TSX görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında iş akış şemasını göstermektedir. Radargrametrik ölçmeler ve görüntülerin birbirine kayıt edilmesinde kullanılan görüntülerin yörünge (header file) dosyası, uydunun konum-hız yüksekliği ve anten kazancı bilgilerini içerir. Şekil 2'de yer alan akış diyagramı, faz ve zaman düzeltme, odaklama, birbirine kayıt gibi temel algoritmaları içerdiği gibi, radargrametrinin mutlak faz hesaplanmasında kullanılması gibi, TanDEM-X SYM üretimi için yeni olan diğer işlem adımlarını da içermektedir. TanDEM-X SYM üretiminde kullanılan teknikler, adım adım bu bölümün alt başlıklarında anlatılacaktır.

a. Spektral filtreleme

Şekil 1'de gösterildiği gibi yeryüzü, iki farklı açıyla (θ_1 , θ_2) elde edilen görüntüler ile izlendiği için, görüntülerin azimut (uçuş doğrultusu) ve yatık menzil (uçuş doğrultusuna dik) yönlerindeki ortak spektral bölgelerinin bulunması gerekmektedir. Bunun için azimut ve menzil yönünde ayrı ayrı uygulanan spektral filtreleme, diğer tüm interferometrik uygulamalarda olduğu gibi, bi-statik interferometrik görüntülemeye de ilk işlem adımdır. İnterferometride spektral filtreleme için detaylı bilgiye, Bamler ve Hartl (1998) den ulaşılabilir. Bu işlem adımı görüntülerin birbirine kayıt edilmesinde büyük öneme sahiptir. Kritik baz, interferometrik görüntü analizinde ilk test edilmesi gereken parametredir. Aynı bölgeyi kaplayan iki *Single Look Complex* (SLC) SAR görüntüsü var olsa da, görüntülerin alındığı uyduların arasındaki mesafe kritik bazdan daha büyük ise herhangi bir interferometrik işlem yapılamaz.



Şekil 2. TDX-TSX görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında iş akış şeması. Radargrametrik ölçmeler ve görüntülerin birbirine kayıt edilmesinde kullanılan görüntülerin yörünge dosyası, uydunun konum-hız yüksekliği ve anten kazancı bilgilerini içerir.

Kritik baz ile bakış doğrultuları arasındaki ilişki:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 \approx \frac{B_{\perp,kritik}}{r_0} \quad (1)$$

denklemler ile yaklaşık olarak tanımlanmıştır (Bamler ve Hartl, 1998). Burada, r_0 menzil yönündeki mesafe, B_d eşitlik (2) ile hesaplanan kritik bazdır. Kullanılan dalga boyunun λ , geliş açısının θ ve topoğrafik eğimin e fonksiyonu olan kritik baz:

$$B_{\perp,kritik} = \lambda(W_p/c)R_p \tan(\theta - e). \quad (2)$$

Eşitlik (2) de W_p 'nin menzil yönündeki bant genişliğini gösterdiği durumda, kritik baz ve sebep olduğu geometrik deformasyon g_{defo} :

$$|g_{defo}| = \begin{cases} \frac{B_{\perp,kritik} - B_{\perp}}{B_{\perp,kritik}} & |B_{\perp}| \leq B_{\perp,kritik} \\ 0 & |B_{\perp}| > B_{\perp,kritik} \end{cases} \quad (3)$$

ile ifade edilebilir. Bu geometrik deformasyon basitçe spektral filtreleme ile elimine edilebilir. Filtrelemede SYM kullanımı yapılan işin hassaslığını artırır. Bu çalışmada SRTM 30 metre çözünürlüklü SYM kullanılarak topoğrafik eğim hesaplanmış ve spektral filtreleme yapılmıştır.

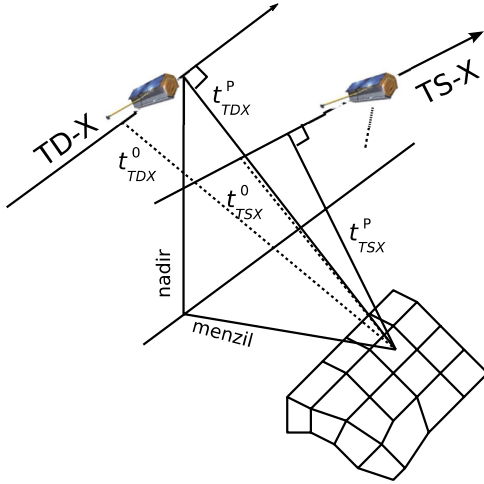
b. Birbirine kayıt

Aynı bölgeyi kaplayan birden fazla görüntünün olduğu durumlarda, görüntülerin birbirine kayıt edilmesi en kritik görüntü ön-işleme adımındır. SAR görüntülerinde birbirine kayıt işleminin hassaslığı uydu yörüngesinin konumunun ve sinyal

gönderme zamanının kesin olarak bilinmesine bağlıdır. Şekil 3'de sabit bir azimut zamanında TDX uydusu P noktasını t_{TDX}^P zamanında, TSX uydusu ise t_{TSX}^P zamanında gözlemlemektedir. Bu zaman farkı da yatık menzilde aynı noktanın, Şekil 1'deki gibi A ve B noktalarında algılanmasına sebep olur. Menzil yönündeki öteleme (Şekil 3):

$$\Delta = \frac{((t_{TDX}^P - t_{TDX}^0) - (t_{TSX}^P - t_{TSX}^0))}{\delta_m} \quad (4)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada δ_m menzil yönündeki çözünürlük, t_{TDX}^0 ve t_{TSX}^0 ise TDX ve TSX görüntüleri için referans zamandır (ilk sinyalin gönderildiği zaman). *Back-Geocoding* olarak adlandırılan *ters-jeoreferanslama* yöntemi olarak bilinen bu yöntem ile ilgili detay (Sansosti vd., 2006) çalışmasında bulunabilir. Görüntülerin birbirine kayıt edilmesindeki doğruluk, yörünge bilgisinin hassaslığına bağlıdır. TDX ve TSX uydularının yörünge bilgileri kullanılarak milimetrenin altında hassasiyet ile görüntüler birbirine kayıt edilebilir. Bu da uzay bazlı RADARSAT, ALOS ve uçak bazlı ESAR, RAMSES gibi SAR görüntüleme sistemlerine göre TanDEM-X projesinin büyük bir avantajıdır. Böylelikle genlik görüntülerine hiç dokunmadan, görüntü çiftleri birbirlerine milimetre doğrulukla kayıt edilebilir. Yer kontrol noktalarının seçimi gibi bireylerin deneyimine bağlı olan yöntemlere göre ters-jeoreferanslama ile birbirine kayıt işlemi, optik görüntüler ile karşılaştırıldığında çok büyük avantaj sağlamaktadır (Lopez-Sanchez, vd., 2017).



Şekil 3. TD-X-TSX görüntüler arasındaki öteleme.

c. Mutlak faz verisinin elde edilmesi

Fotogrametrik bir yöntem olan *radargrametri* tekniği ile elde edilen SYM'nden farklı olarak, SAR interferometri teknikleri kompleks interferogramdan elde edilen faz bilgisinin, yükseklik verisine dönüştürülmesi prensibine dayanır. SAR sistemlerinde mikrodalga enerjinin hem genlik hem de faz bilgisi ölçülür. Genlik bilgisi yeryüzünün elektriksel (nem, kimyasal madde içeriği vb.) ve geometrik (yüzey pürüzlülüğü, doku, vb.) özelliklerine bağlıyken, faz bilgisi ise aynı LiDAR ve GPS sistemlerin de olduğu gibi uydu platformu ile yeryüzü arasındaki mesafeye bağlıdır. Kısaca, iki SAR görüntüsünün fazlarının farkı alındığında elde edilen işaret, yeryüzünün referans yüzeye göre yüksekliği ile direkt bağlantılıdır. İki SAR görüntüsünün faz farkından elde edilen görüntüye Şekil 5(b)'de gösterildiği gibi interferometrik SAR (InSAR) görüntüsü denir. Fakat topoğrafik yükseklikle ilgili mutlak fazı bulmak için interferometrik fazın katlılığının giderilmesi gerekir, yani interferometrik fazdaki belirsizliğin giderilmesi gerekir. Son ürün olarak satışı yapılan TanDEM-X SYM'nde daha önceden kullanılmayan Lachaise, vd., (2017) tarafından önerilen faz katlılığı giderilme yöntemi kullanılmaktadır. Kısaca, bu yöntem çift-baz tekniğini kullanmaktadır. Bu yöntemle göre, ilk yıl tüm yeryüzü 40-55 metre, ikinci yıl ise 35 metre yükseklik belirsizliği ile taranacak ve bu iki yıl boyunca elde edilen interferometrik fazların birlikte değerlendirilmesiyle daha hassas faz katlılığı giderilmesi yapılabilecektir. Bu çalışmada ise Lachaise, vd., (2012) de anlatılan yöntem kullanılmıştır.

Hannsen, (2001)'de belirtildiği gibi interferometrik fazın, topoğrafyadaki yükseklik değişimi ile arasındaki ilişki:

$$\frac{\partial \phi_{top}}{\partial h} = \frac{2\pi B_{\perp}}{\lambda R \sin \theta} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki en büyük sorun interferogramdan elde edilen wrapped faz değerinden unwrapped yani referans noktası ile uydu arasındaki mesafenin kaç tane tam faz ile ifade edildiğinin aşağıdaki eşitlik ile bulunmasıdır:

$$\phi_{top}^P = \frac{\phi_{unw}^P}{\phi_0^P + 2\pi k^P} + \frac{\phi_{off}^P}{2\pi q^P + \phi_N^P} \quad (6)$$

Bu eşitlikte ilk terim $\phi_0^P + 2\pi k^P$ unwrapped fazı, ikinci terim ise $2\pi q^P + \phi_N^P$ mutlak faz ile unwrapped faz arasındaki bilinmeyendir yani mutlak faz ofsetidir. Eşitlik (6)'den net bir şekilde görüldüğü gibi faz unwrapping, $k=0$ olan bir referans noktasına göre yapılır. Burada k tam sayı ve ϕ_0^P 'de interferogramdan elde edilen fazdır. (6) eşitliğinin ikinci terimindeki ϕ_N^P sürekli tekdüze dağılıma sahip olan fazın gürültüsüdür. q ise sabit tam sayı olup, faz katlılığı hatasının olmadığı durumlarda sifıra eşittir. Gürültünün ve πk 'nin bulunması mutlak fazın belirlenmesinde çok önemlidir. Bu evrede, SRTM gibi interferometrik yöntemlerle SYM üretiminde kullanılmayan, radargrametrik ölçmeler de mutlak fazın hesaplanmasında, doğruluğu arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Bu noktada, çözünürlük artıça, radargrametrik yani genlik bilgisini kullanan yöntemlerin doğruluğunun, faz bilgisi kullanarak SYM üreten yöntemlerin doğruluğuna daha da yaklaşacağına altı çizilmelidir.

Radargrametri tekniği, InSAR tekniğinden farklı olarak SAR görüntülerinin genlik bilgisinden yararlanır ve optik sistemlerdeki stereo görüntülerden SYM elde edilmesinde kullanılan paralaks temel prensibini kullanır. Yaygın olarak kullanılan radargrametrik SYM üretimi ile ilgili detay, Crosetto ve Aragues, (1999) çalışmasında bulunabilir. Bu çalışmada ise radargrametrik ötelemeler mutlak fazın güvenilirliğini arttırmak için Rossi, vd., (2012, 2013) çalışmalarında detaylandırıldığı şekilde interferometrik SYM'nin doğruluğunu arttırmak için kullanılmaktadır. Menzil yönünde elde edilen radargrametrik ötelemeler aşağıdaki eşitlik ile faz değerine dönüştürülür:

$$\phi_{radargrametri}^P = 2\pi f_0 (t_{TDX}^P - t_{TSX}^P) \quad (7)$$

Stereo radargrametri ve interferometri teknikleri aynı bilgiyi ölçerler ve aralarındaki

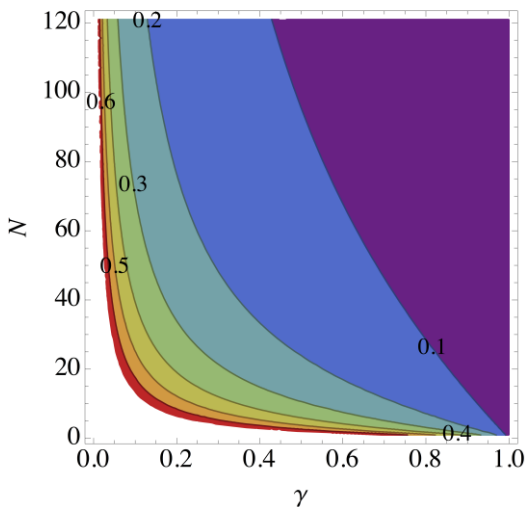
fark da fazdaki ötelemeyi, kısaca eşitlik (6)'deki faz ofsetini gösterir:

$$\Delta\phi = \phi_{radgr}^P - \phi_{unw}^P = -\phi_{off}^P \quad (8)$$

Şekil 5(d)'de örnek veri için gösterilen radargrametri ve interferometri ölçmelerinin farkı olan ϕ_{off}^P , istatistiksel analizlerin de yardımıyla mutlak fazın bulunmasında kullanılır. Bunun için tüm görüntüden hesaplanan iki ölçme farkının (ϕ_{off}^P) histogramından yararlanılır. Histogramın yoğunlaştığı ortalama değer olarak hesaplanan ϕ_{off}^P değerinin etrafındaki değerlerden farkının anlamlı olması (yani su yüzeyi, dağlık alanlar gibi bölgelerdeki kaba ölçme hatalarından kaynaklı önemli bir fark olmaması) için histogramdaki tepe noktası hesaplanmadan önce ortanca filtresi uygulanır. Bamler and Eineder, (2005)'de geliştirilen, eşitlik (9)'de verilen ve Şekil 4'de gösterilen analitik denkleme göre, paralakstan kaynaklı öteleme doğruluğu coherence (γ) olarak bilinen uyumluluk ile doğru orantılı, kestirimde kullanılan pencerenin büyüklüğü yani örnek sayısı N ile ters orantılıdır. Ortanca filtrelemesinden sonra oluşturulan histogramda %95 güven aralığında

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{3}{2N}} \sqrt{\frac{1-\gamma_P^2}{\pi\gamma_P}} W^{3/2} \quad (9)$$

olmayan ölçmeler hesaplamaya katılmazlar. Böylelikle belirlenen faz ofseti doğru varyansı da oldukça küçük olur. ϕ_{off}^P hesaplandıktan sonra faz belirsizliğinin giderilmesi kısaca faz katılığı giderilme işlemi uygulanır. Böylelikle menzil ve ona dik doğrultuda olan azimut yönündeki her bir örnek için topoğrafik yükseklik bilgisi elde edilir.



Şekil 4. Radargrametrik ölçmelerin doğruluğunun, uyumluluk ve örnek sayısına bağlı olan eşitlik (8) de gösterilen fonksiyonu

En sonunda ürünün kalitesi, radargrametrik ve interferometrik ölçümlerin, eşitlik (10)'da belirtildiği şekilde karşılaştırılmasıyla elde edilir:

$$q = \frac{n_{tot} - n_{out}}{n_{tot}} \quad (10)$$

Bu eşitlikte, n_{tot} ve n_{out} sırasıyla toplam radargrametrik ölçüm sayısını ve iptal edilen radargrametrik ölçüm sayısını göstermektedir.

3. HAM YÜKSEKLİK VERİSİNDEN SYM ÜRETİLMESİ

Bölüm 2'de anlatılan teori Türkiye-Yunanistan sınırını içeren TSX-TDX SLC görüntü çiftine uygulanmıştır (Erten, vd., 2015). Şekil 5(a)'da gösterildiği gibi görüntünün kapsadığı bölge yerleşim yeri, orman, tarım, göl gibi değişik arazi örtüsünü içermekte ve 0 ile 2000 metre arasında değişen yüksekliklere sahip düz ve dağlık alanlardan oluşmaktadır (Erten, vd., 2016). Bu çalışma için kullanılan TDX ve TSX görüntü çiftlerinin özellikleri ve onlardan üretilen SYM'nin özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. SYM üretiminde kullanılan bi-statik görüntü çiftinin özellikleri

Görüntü alım tarihi	27 Ekim 2014
Geliş açısı	36.12°
Dik baz	116.56 m
Ortalama uyumluluk	0.74 (su dahil)
Uyumluluk standart sapma	0.21 (su dahil)
Yükseklik belirsizliği	49.35 m
Polarizasyon	HH
Azimut çözünürlüğü	2.03 m
Yatık menzil çözünürlüğü	2.24 m

Şekil 5'de TDX ve TSX görüntü çiftinden jeo-referanslandırılmış SYM oluşturulmadan önce elde edilen ara görüntüler gözükmemektedir. Şekil 5(b)'de, çalışma alanı için TDX ve TSX görüntülerinden elde edilen interferometrik faz gözükmemektedir. Bölüm 2.c'deki yöntem kullanılarak faz belirsizliği giderildikten sonra interferometrik mutlak fazdan SYM elde edilir. Şekil 5(c), bu interferometrik fazdan elde edilen yükseklik modelinin SAR görüntü alım geometrisine dönüştürülmüş SRTM 30m çözünürlüklü SYM'den farkı, Şekil 5(d) ise radargrametrik ölçmeler ile oluşturulan SYM'den farkını göstermektedir. Hatırlatılmalıdır ki, farklı zamanlarda alınan iki SAR uydu verisinin faz farkından SYM'nin çıkarılmasıyla diferansiyel interferogramlar elde edilir. Özellikle deformasyon izlenmede kullanılan bu yöntemle depremler, volkanik hareketler, buzul hareketleri, heyelanlar, madencilikten kaynaklanan yüzey hareketleri

izlenebilmektedir. Burada eski tarihli SYM'den interferometrik fazın farkı alınmıştır ve suyla kaplı yüzeyler dışında topoğrafyada büyük bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

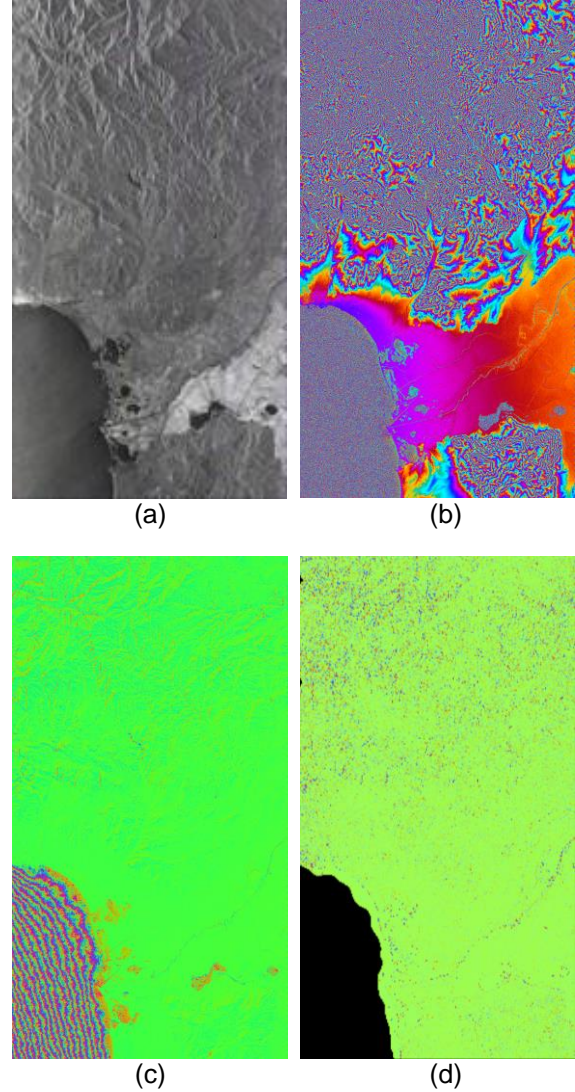
Şekil 5(d)'deki sonuçlar incelendiğinde, iki farklı (radargrametrik ve interferometrik) SYM üretim modeli arasındaki farkın, dağlık bölgelerin etrafında yoğunlaşmış olan, overlay olarak adlandırılan yana yatma ve gölge alanlarında olduğu gözlemlenmiştir. En son ürün olan jeoreferanslandırılmış SYM'nde, radargrametrik ölçmelerin fazın güvenilir olmadığı bölgelerde boşlukların doldurulmasında kullanılmıştır. İnterferometrik ürünler, yukarıda bahsedilen düzeltmelerin uygulanmasından sonra jeoreferanslandırılmıştır.

Şekil 6(a)'da sonuç SYM'nin oluşturulduğu interferometrik çiftin, 0 ile 1 arasında değişen uyumluluk haritası gösterilmiştir. Tüm görüntüden elde edilen ortalama uyumluluk değeri 0.74 olup, görüntünün %10'unu kaplayan sulak alanlar çıkarıldığında ise bu değer 0.85 olmaktadır. Özellikle tarım alanlarının olduğu bölgelerde uyumluluk değeri 0.95'in üzerinde olup, oldukça yüksek doğrulukla SYM oluşturulabilmektedir. Uyumluluk değerinin standart sapması 0.02'dir. Şekil 6(b)'de yüksekliğin, 0 ile 4 metre arasında değişen hata haritası görülmektedir. Bu hata haritası, eşitlik (9) de belirtildiği gibi direkt olarak uyumluluğun, uyduların geometrik konumlarının, topoğrafyanın ve kestirim yapılan örnek sayısının fonksiyonudur.

Sonuç ürün olan 12 metre çözünürlüklü SYM Şekil 7 de, özellikleri de Tablo 2'de gösterilmiştir. -0.8 ile 2200 arasında değişen topoğrafya $5.55E-05^\circ$ derecelik dilimlerle örneklenmiştir. Bu değerlerde WGS84 datumunda 4.67 m boylam ve 6.17 m enlem sıklıkla SYM üretilmiş demektir. Böylelikle uzaydan interferometri tekniğiyle elde edilmiş en yüksek çözünürlüklü SYM bu bölge için üretilmiş olmaktadır.

Tablo 2. Üretilen TDX SYM'nin özellikleri

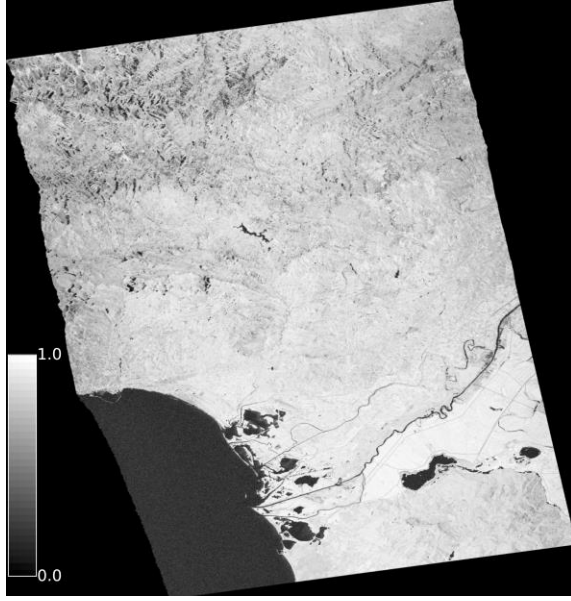
Enlem yönünde örnekleme	$5.55E-05^\circ = 6.17 \text{ m}$
Boylam yönünde örnekleme	$5.55E-05^\circ = 4.67 \text{ m}$
Maksimum yükseklik	2200 m
Minimum yükseklik	-0.8
Ortalama yükseklik hatası	1.89 m
Yükseklik hatasının standart sapması	2.5 m



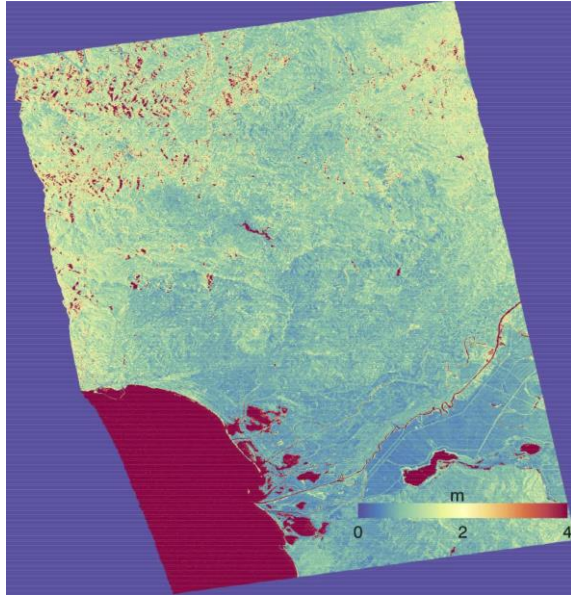
Şekil 5. (a) TSX uydusunun HH polarizasyonda genlik görüntüsü. (b) TDX-TSX interferometrik faz. (c) Diferansiyel-interferometrik faz. (d) İnterferometrik faz ile radargrametrik faz arasındaki fark.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, TanDEM-X sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasını Meriç nehrinin etrafındaki çeltik tarlalarını ve dağlık bölgeyi kapsayan SLC TDX ve TSX görüntü çiftine uygulayarak anlatmıştır. Üretilen SYM'nin kalitesi daha önceden interferometrik teknikler kullanılarak üretilen SRTM SYM'nin üstünde olduğu çok net görülmektedir. Bu başarıda üç önemli faktör bulunmaktadır: 1) bi-statik interferometrik görüntü alımı ile interferometrik çiftler arasındaki uyumsuzluğun ortadan kaldırılması 2) TanDEM-X projesinde kullanılan ikiz TSX ve TDX uydularının çözünürlüğü ve 3) hassas orbit bilgisidir.



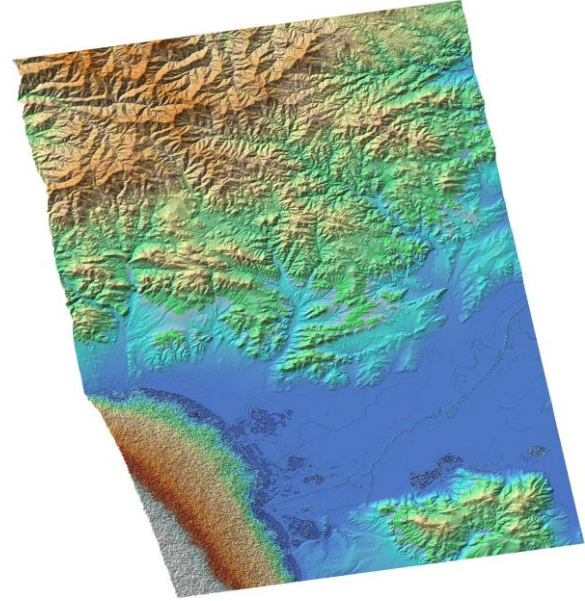
(a)



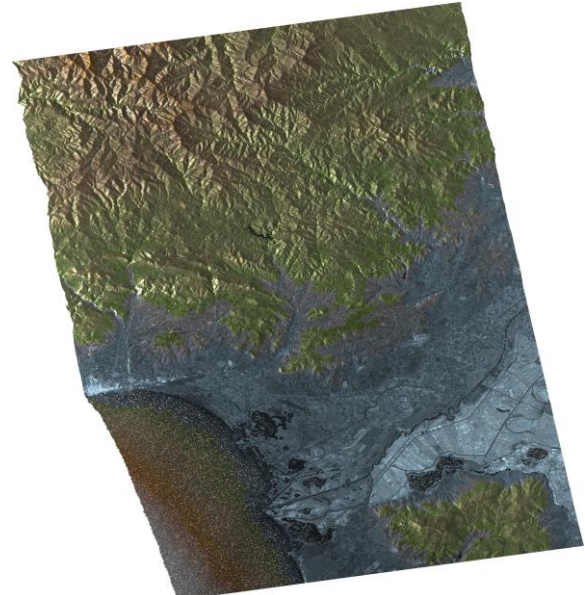
(b)

Şekil 6. (a) TDX ve TSX görüntülerinin uyumluluk (coherence) haritası, (b) Yükseklik hata haritası.

Özellikle topoğrafyanın dik eğimli olmayan bölgelerinde düşeyde santimetre doğrulukla yükseklik bilgisi elde edilmesi, TanDEM-X sayısal yükseklik modellerinin sadece orman, maden, afet (sel, volkanik patlama, vb.) gibi düşük çözünürlüklü SYM'lerinin kullanıldığı çalışmalarda değil, tarım, şehir ve bölge planlama gibi yüksek çözünürlüklü SYM gerektiren çalışmalarda da kullanılacağını göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) TDX ve TSX görüntülerinden elde edilen SYM, (b) Üretilen SYM ve TSX genlik görüntüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, proje no:113Y446 ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve proje no:XTILAND1476 ile Alman Uzay Ajansı tarafından desteklenmiştir. Alman Uzay Ajansı'ndan Prof. Dr. Irena Hajsek ve Dr. Cristian Rossi'ye TanDEM-X verisinin elde edilmesinde ve işlenmesinde gösterdikleri yardımlardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bamler, R., Hartl, P., (1998), **Synthetic aperture radar interferometry**, Inverse Problems, 14, 4, 1-54.
- Bamler, R., Eineder, M., (2005), **Accuracy of differential shift estimation by correlation and split-bandwidth interferometry for wideband and delta-k SAR systems**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2, 2, 151-155.
- Crosetto M., Aragues F. P., (1999), **Radargrammetry and SAR interferometry for DEM generation: validation and data fusion**, CEOS'99 SAR Workshop, ESA-CNES Toulouse, 26-29, October.
- Erten, E., (2013), **Glacier velocity estimation by means of a polarimetric similarity measure**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51, 6, 3319-3327.
- Erten, E., Lopez-Sanchez, J. M., Yuzugullu, O., Hajnsek, I. (2016), **Retrieval of agricultural crop height from space: a comparison of SAR techniques**, Remote Sensing of Environment, 187, 130-144.
- Erten, E., Rossi, C., Yuzugullu, O., (2015), **Polarization impact in TanDEM-X data over vertical-oriented vegetation: the paddy-rice case study**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 12, 7, 1501-1505.
- Hanssen, F. R., (2001), **Radar interferometry: data interpretation and error analysis**, Kluwer Academic Publishers.
- Lachaise, M., Balss, U., Fritz, T., Breit, H., (2012), **The dual-baseline interferometric processing chain for the TanDEM-X mission**, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012, IEEE International, Munich, Germany, 5562-5565.
- Lachaise, M., Fritz, T., Bamler, R., (2017), **The dual-baseline phase unwrapping correction framework for the TanDEM-X mission part 1: theoretical description and algorithms**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56, 2, 780-798.
- Lopez-Sanchez, J. M., Vicente-Guijalba, F., Erten, E., Campos-Taberner, M., Garcio-Haro, F. J. (2017). **Retrieval of vegetation height in rice fields using polarimetric SAR interferometry with TanDEM-X data**, Remote Sensing of Environment, 192, 30-44.
- Rossi, C., Erten, E., (2015), **Paddy-rice monitoring using TanDEM-X**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 53, 2, 900-910.
- Rossi, C., Gonzalez, F. R., Fritz, T., Yague-Martinez, N., Eineder M., (2012), **TanDEM-X calibrated raw DEM generation**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 73, 12-20.
- Rossi, C., Gernhardt, S., (2013), **Urban DEM generation, analysis and enhancements using TanDEM-X**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 85, 120-131.
- Sansosti, E., Berardino, P., Manunta, M., Serafino, F., Fornaro, G., Irea, N., (2006), **Geometrical SAR image registration**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, 2861-2870.
- URL-1: SRTM <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
Erişim tarihi: 24.02.2018.

Manifold Öğrenme Yöntemleri ile Hiperspektral Verilerin Sınıflandırmasında Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yöntemleri

(Difficulties and Solutions in Hyperspectral Image Classification with Manifold Learning)

Gülşen TAŞKIN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, 3449, Maslak, İstanbul
gulsen.taskin@itu.edu.tr

ÖZ

Öznitelik çıkarma yöntemleri, yüksek boyutlu verilerin daha az boyutlu bir alt uzaya dönüşümünü konu almaktadır. Gerçek dünyaya ait fiziksel verilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmasından ötürü, doğrusal öznitelik çıkarma yöntemleri ile dönüştürülmüş verilerin alt uzaydaki görünüşleri bozulabilmektedir. Bu nedenle, doğrusal olmayan öznitelik çıkarma yöntemleri üzerinde yapılan araştırmaların sayıları son zamanlarda artmıştır. Bu alanda önemli bir araştırma konusu olan manifold öğrenme yöntemleri, yüksek boyutlu verinin orijinal yapısını koruyarak doğrusal olmayan bir dönüşüm yapmaktadır. Ancak, birçok manifold öğrenme yöntemi sadece eğitim verilerini dönüştürebilmektedir. Dönüşüme ait herhangi bir matris ya da bir fonksiyon üretmediklerinden, test verisi şeklinde sonradan gelebilecek verilerin dönüşümünü yapamamaktadırlar. Bu durum, manifold öğrenme yöntemlerinin sınıflandırma amaçlı çalışmalarda etkin kullanımını sınırlandırmaktadır. Literatürde, manifold öğrenmesi için seçilmemiş veri örnekleri sorunu (out-of-sample-OOS) olarak adlandırılan bu sorunun üstesinden gelmek için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, manifold öğrenme yöntemlerinin sınıflandırma amaçlı kullanımında karşılaşılan zorluklarını ve çözüm yöntemlerini kapsamlı bir şekilde ele almaktır. Uygulama olarak, Laplacian Eigenmap yöntemi ile literatürde doğrulama verisi olarak kullanılan örnek hiperspektral veriler üzerinde bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır. OOS probleminin çözümü için Nyström, LELVM, LPP ve komşuluk esaslı OOS yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar hem sınıflandırma performansları hem de hesaplama zamanları açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Laplacian Eigenmaps yöntemi için özel olarak geliştirilen LELVM yönteminin genel olarak en yüksek performansı verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Olmayan Öznitelik Çıkarma Yöntemleri, Boyut Azaltma, Manifold Öğrenme, Hiperspektral Görüntü Sınıflandırma, Out-Of-Sample Yöntemleri.

ABSTRACT

Feature extraction methods deal with transformation of high dimensional datasets to lower dimensional space. Because datasets coming from the real-world form a nonlinear distribution, mapping with linear methods does not reflect the current distribution of the dataset in the original space. Therefore, the number of studies particularly related to nonlinear feature extraction methods has been recently increased. Manifold learning methods, which are very hot topic in

the dimensionality reduction, map the high dimensional dataset to a low dimensional space by preserving the original distribution of the data in the high dimensional space. However, the most manifold learning methods only transform the training datasets and are unable to map the test dataset since they do not provide a projection matrix or an explicit function representing the nonlinear mapping. Due to this, an effective usage of manifold learning in classification is limited. To overcome this issue, there have been many methods developed in the literature, so called out-of-sample (OOS) extensions. The aim of this study is to provide an extensive review on the problems encountered in using manifold learning for classification purposes and to present the solutions for the out-of-sample problem. Moreover, an implementation was carried out with Laplacian Eigenmaps for classification of well-known benchmark hyperspectral datasets. To solve the out-of-sample problem, Nyström, LELVM, LPP, and neighborhood based out-of-sample methods were used in the experiments, and the results were evaluated in terms of classification performance and the computational time. It is observed that the LELVM, which is a special method developed for Laplacian Eigenmaps, provided the highest performance in general.

Keywords: Nonlinear Feature Extraction Methods, Dimensionality Reduction, Manifold Learning, Hyperspectral Image Classification, Out-Of-Sample Methods.

1. GİRİŞ

Hiperspektral uzaktan algılamada, yüksek spektral çözünürlüğe sahip algılayıcılar, farklı dalga boyu aralıklarında çok sayıda geri yansıtım değeri ölçmekte ve bu sayede çok fazla sayıda öznitelige sahip yüksek boyutlu veriler sağlamaktadır (Landgrebe, 2003). Hiperspektral veriler, benzer yüzey özelliklerine sahip nesnelere için ayırt edici nitelikte bilgiler sağlanmasına rağmen, özellikle yakın spektral bantlardaki yüksek korelasyon, gereksiz bilgi üretmekte ve bu da sınıflandırma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek korelasyona sahip verilerin sınıflandırılmasında, daha fazla hesaplama zamanı ve depolama belleğine ihtiyaç duyulduğundan, sınıflandırma probleminin karmaşıklığı artmaktadır. Ayrıca, eğitim verilerinin sayılarının öznitelik uzayının boyutundan daha az olması halinde düşük sınıflandırma performansları elde edildiği bilinmektedir (Huges,

1968). Literatürde, Hughes etkisi olarak bilinen bu problem, yüksek boyutlu öznelik uzayına sahip verilerin sınıflandırılmasında oldukça sık karşılaşılan bir sorundur. Hughes etkisi, hiperspektral veri analizi dışında, biyomedikal verilerin sınıflandırılması, nesne tanıma ve metin kümeleme problemlerinde de sıkça karşılaşılan bir sorundur (Taşkın vd., 2017).

Hughes etkisini azaltmak için boyut azaltma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sayede hem sınıflandırma performansı artırılabilen hem de sınıflandırma karmaşıklığı azaltılabilmektedir. Literatürde boyut azaltma yöntemleri, verilerin daha az boyutlu bir alt uzaya dönüştürülmesini amaçlayan öznelik çıkarma yöntemleri ve özneliklerden optimum bir alt uzayın elde edilmesini amaçlayan öznelik seçimi yöntemleri olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır.

Öznelik seçimi yöntemleri, gereksiz özneliklerin sınıflandırma performansına olan etkilerini azaltmak anlamında öznelik çıkarma yöntemleri ile benzer olmalarına karşın, yeni öznelikler üretmek yerine, var olan öznelikler arasından en önemlilerini başka bir deyişle sınıflandırma performansına en fazla katkısı olan öznelikleri belirler ve önem derecesine göre sıralar. Öznelik seçimi yöntemlerinin en büyük dezavantajı, en uygun özneliklerin belirlenmesinde genellikle her bir özneliğin performansına etkisinin tek tek incelenmesidir. İkili ya da daha farklı öznelik kombinasyonlarının performansına olan etkisinin incelenmesi durumunda hesaplama yükü ciddi oranlarda artmaktadır (Duda vd., 2000).

Öznelik çıkarma yöntemleri, var olan özneliklerin doğrusal ya da doğrusal olmayan birleşimlerini alarak, daha az boyutlu öznelik uzayında yeni öznelikler üretmektedirler. Fisher doğrusal ayırıcılar analizi (LDA) olarak da bilinen doğrusal ayırıcılar analizi, sınıflar arası ayırt edilebilirliği artırma amaçlı, yüksek boyutlu öznelik uzayını doğrusal bir dönüşüm ile tanımlayarak, daha az boyutlu bir alt uzaya dönüşüm yapmaktadır (Fisher, 1936). Benzer şekilde temel bileşenler analizi (PCA) ise çok bilinen doğrusal öznelik çıkarma yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemler hiperspektral verilerin sınıflandırılmasında farklı amaçlı olarak çok kez kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Rodarmel ve Shan, 2002). Doğrusal öznelik çıkarma yöntemleri, kolay uygulanabilirliği ve kısa sürelerde sonuç üretmeleri dolayısı ile literatürde sıkça kullanılan ve üzerinde halen çalışmalar yapılan önemli bir araştırma konusudur.

Ancak tüm bunlara rağmen, doğrusal olmayan verilerin boyutlarının azaltılmasında, doğrusal yöntemlerin yetersiz kaldığı gözlemlenmiş ve bu nedenle de doğrusal olmayan boyut azaltma yöntemleri üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır (Maaten, 2007). Bu bağlamda, manifold öğrenme yöntemleri, doğrusal yöntemlere kıyasla oldukça başarılı sonuçlar üretmektedir (Roweis ve Saul., 2000). Manifold öğrenme yöntemleri, yüksek boyutlu veri uzayında, aslında daha az boyutlu doğrusal olmayan bir manifoldun gömülü olduğu varsayımına dayanarak, yüksek boyutlu uzayda yer alan verinin konumsal özelliklerini de koruyarak, orijinal verinin yüksek boyutlu uzaydan daha az boyutlu bir uzaya dönüşümünü sağlamaktadır. Manifold öğrenme yöntemleri, ilk olarak 2000'li yıllarda, Science dergisinde yayımlanan iki makale ile literatürdeki yerini almıştır (Tenenbaum vd., 2000 ve Roweis ve Saul, 2000). Bu makaleler, yüksek boyutlu uzayda yer alan doğrusal olmayan manifoldun dönüşüm sırasında korunması ile ilgili çeşitli çözümler içermektedir. Bu bağlamda ilk olarak, izometrik özellik haritalama (Isometric Mapping - Isomap) ve lokal doğrusal gömüleme (Locally Linear Embedding - LLE) yöntemleri önerilmiş ve bu yöntemlerin doğrusal yöntemlere kıyasla daha yüksek performanslar ürettiği gösterilmiştir. Bu iki makalede önerilen yöntemler, problemleri farklı şekilde çözmelerine rağmen, her iki yöntemde özdeğer ve özvektörler aracılığı ile çözüm üretmektedirler. Bu nedenle, bu yöntemler ilk spektral gömüleme (Spectral Embedding) yöntemleridir (Izenman, 2008). Isomap ve LLE yöntemlerinin ardından çok sayıda manifold öğrenme yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları: Laplacian Eigenmaps (Belkin ve Niyogi, 2003), Hessian Eigenmaps (Donoho ve Grimes, 2003), Local Tangent Alignment (Zhang ve Zha, 2004) ve Diffusion Maps (Nadler vd., 2005). Bu yöntemlerin ardından, manifold öğrenme yöntemleri ve uygulamalarına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmış ve halen yapılmaya da devam edilmektedir.

Hiperspektral verilerin manifold öğrenme yöntemleri ile birlikte kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur (Lunga vd., 2014, Ma vd., 2010). Hiperspektral verilerin çoğunlukla doğrusal olmayan veriler olmalarından ötürü, verinin orijinal yapısının korunumunu hedefleyen manifold öğrenme yöntemlerinin boyut azaltmada kullanımı daha yüksek performanslar üretmektedir.

Bu makalede, manifold öğrenme yöntemlerinin sınıflandırma amaçlı kullanımında karşılaşılan sorunlar kapsamlı olarak ele alınacak ve literatürde sıkça kullanılan bazı hiperspektral

veriler üzerinde de bir uygulama çalışması yapılacaktır. Seçilmemiş veri örneklerinin sınıflandırılmasında kullanılan yöntemler hem sınıflandırma performansları hem de hesaplama zamanları açısından karşılaştırılacaktır.

2. MANİFOLD ÖĞRENME YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRMA AMAÇLI KULLANIMI

Manifold öğrenme yöntemlerinin büyük bir kısmı, boyut azaltma işleminin ardından dönüşüme ait bir fonksiyon ya da bir izdüşüm matrisi üretmezler (Vural ve Guillemot, 2015). Öğrenme işleminin sonucunda, yüksek boyutlu eğitim verilerinin alt uzaydaki koordinatları doğrudan hesaplanır. Sınıflandırma işleminin manifold öğrenme işlemi ile bir arada yapılması halinde, yeni gelen veri; bu test verisi olabilir, önceden kullanılan eğitim verileri ile birlikte tekrar ilgili manifold öğrenme yöntemine verilir ve tüm verinin alt uzaya dönüşümü yeniden sağlanır. Ancak, bu tür bir yaklaşımın hesaplama maliyeti oldukça yüksek olacak ve her yeni veri gelmesi durumunda, tüm bu işlemlerin tekrarlanmasını gerekecektir. Bu nedenle, literatürde manifold öğrenmesi için seçilmemiş veri örnekleri sorunu (out-of-sample-OOS) problemi olarak isimlendirilen bu sorunun üstesinden gelebilmek için daha akıllı yöntemler geliştirilmiştir (Bengio vd., 2003). Bu sayede, ilgili manifold öğrenme yöntemini karakterize eden ve verilerin daha az boyutlu alt uzaya dönüşümünü sağlayan bir fonksiyon ya da izdüşüm matrisi elde edilebilmektedir (Saul ve Roweis, 2003).

OOS problemi literatürde regresyon yöntemleri, çekirdek gömüleme yöntemleri (kernel embedding methods) ve tensör yöntemleri gibi çok farklı yöntemler ile çözülmeye çalışılmıştır (Yan vd., 2007, Liu vd., 2015 ve Cai vd., 2009). Temelde iki türlü yaklaşım kullanılmaktadır; (1) manifold öğrenme yöntemi ile birlikte OOS probleminin yeniden formüle edilmesi (2) eğitim verilerinin yüksek boyutlu uzayda ve manifold öğrenme yöntemi ile elde edilen alt uzaydaki koordinatları üzerinde regresyon temelli yaklaşımlarla boyut indirgeme fonksiyonun elde edilmesi. Her iki yaklaşımda da dönüşümün doğrusal yada doğrusal olmayan bir dönüşüm olduğu varsayımı yapılmaktadır.

Yüksek boyutlu uzaydan daha az boyutlu uzaya olan dönüşümü, doğrusal bir dönüşüm olarak tanımlayarak izdüşüm matrisi elde etmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. He ve Niyogi (2004), Laplacian Eigenmaps yönteminin optimizasyon problemini, dönüşümü doğrusal varsayıp yeniden çözmüşlerdir. Bu sayede, test

verilerinin dönüşümünü sağlayan, konum koruyan dönüşüm (Locality Preserving Projections-LPP) yöntemini geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, doğrusallık varsayımı ile, lokal doğrusal gömüleme yönteminin optimizasyon problemi yeniden çözümlenerek, test verilerinin doğrusal dönüşümü için, LLE yöntemine ait komşuluk koruyan gömüleme (Neighborhood Preserving Embedding-NPE) ve komşuluk koruyan dönüşüm (Neighborhood Preserving Projections-NPP) yöntemleri geliştirilmiştir (He vd., 2005 ve Pang vd., 2005). Cai vd., (2006) ile Kokiopoulou ve Saad (2007), LPP ve NPE yöntemlerinin dikgen (orthogonal) izdüşüm matrislerinin üretilmesi üzerinde çalışmışlardır.

Yüksek boyutlu uzaydan daha az boyutlu uzaya olan dönüşümün doğrusal bir dönüşüm olmaması durumunda, bu tür doğrusallaştırma yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar istenilen doğrulukları verememektedir. Bu nedenle, her iki uzay arasındaki dönüşümü doğrusal olmayan bir dönüşüm varsayan yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bengio vd., (2003), Nystrom yöntemini kullanarak test verilerini çekirdek matrisleri ile ifade ederek, LLE, ISOMAP, LE ve spektral gömüleme (spectral embedding) yöntemleri için, test verilerinin izdüşümlerini formüle etmiştir. Yan vd. (2007) ise çizge gömüleme (graph embedding) yöntemini temel alarak, çekirdek temelli yöntemler ile test verilerinin de boyutlarını doğrudan azaltabilen doğrusal olmayan manifold öğrenme yöntemi üzerinde çalışmışlardır. LPP ve dikgen NPP yöntemlerinin de çekirdek tabanlı doğrusal olmayan uzantıları üzerinde de çalışmalar yapılmıştır (He ve Niyogi, 2004). Öznitelik uzayındaki tüm veriler çekirdek fonksiyonları yardımı ile daha yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürülerek, optimizasyon problemi bu uzayda çekirdek çözümü (kernel trick) yardımı ile yeniden formüle edilmiş ve çekirdek tabanlı boyut indirgeme fonksiyonları üretilmiştir. Ancak çekirdek tabanlı yöntemlerde, yeni test verilerinin alt uzaydaki koordinatlarının elde edilmesinde, çekirdek fonksiyonun kullanımından dolayı, eğitim verilerinin tümüne ihtiyaç duyulacağından, eğitim veri sayısının fazla olması durumunda yüksek hesaplama maliyetlerine gereksinim olmaktadır.

Manifold öğrenme yöntemi ile boyutları azaltılan eğitim verileri (çıkıktı verileri) ile onların yüksek boyutlu uzaydaki koordinatları (girdi verileri) kullanılarak, girdi ve çıkıktı verileri arasındaki ilişkiyi regresyon yöntemleri ile modellemeye yönelik geliştirilen OOS yöntemleri de mevcuttur (Carreira-Perpinan ve Lu, 2008, Yang vd., 2010). Bu şekilde geliştirilen yöntemler, kullanılan manifold öğrenme yönteminden

bağımsız olacaklarından, her türlü manifold öğrenme yöntemi üzerinde uygulanabilirler. Bu bağlamda, Cai vd., (2009) çizge gömüleme yöntemini doğrusal bir dönüşüm varsayarak, en küçük kareler yöntemi ile dönüşüm matrisi elde etmiş ve bunun özdeğer probleminin çözümü neticesinde bulunan izdüşüm matrisi ile aynı olduğunu kuramsal olarak ispat etmiştir. Böylece, yüksek boyutlu matrislerin maliyetli özdeğer denklemlerinin çözümü yerine, spektral regresyon ismi ile adlandırılan alternatif bir yöntem geliştirmişlerdir. Liu vd. (2015) aşırı öğrenme makineleri (extreme learning machine) ile doğrusal olmayan bir yöntem geliştirmiş ve geliştirilen yöntemin çözümü için en küçük kareler spektral regresyon yöntemini kullanmıştır. Qiao vd. (2013), girdi ve çıktı verileri arasındaki dönüşümü polinomlar ile modelleyerek, spektral gömüleme optimizasyon problemini yeniden çözüp, eğitim verisinden bağımsız bir dönüşüm fonksiyonu elde etmişlerdir. Barkan vd., (2016) her iki uzay arasındaki ilişkiyi Gauss süreç regresyonu ile modellemiştir. Yüksek boyutlu uzayda olduğu gibi dönüştürülen alt uzayda da bir manifold olabileceği varsayımı üzerine, Liu vd., (2009), çıktı uzayındaki verilerin yakın komşulukta yer alan manifoldları üzerindeki koordinatları ile destek vektör regresyonu optimizasyon problemini yeniden çözüp bir boyut indirgeme fonksiyonu elde etmişlerdir.

3. YÖNTEMLER

Bu bölümde, hiperspektral verilerin boyutlarının azaltılmasında kullanılan Laplacian Eigenmaps yönteminden ve bu çalışmada kullanılan OOS yöntemlerinden söz edilecektir.

Boyut indirme problemi, R^l boyutlu uzayda yer alan x_1, \dots, x_k şeklindeki k sayıdaki eğitim verisini, R^m boyutlu uzayda ($m \ll l$) y_1, \dots, y_k şeklindeki vektörler ile ifade etmektedir. Burada y_i, x_i verisinin az boyutlu alt uzaydaki koordinat vektörüne karşılık gelmektedir.

a. Laplacian Eigenmaps

Laplacian Eigenmaps (LE) yöntemi, Belkin ve Niyogi tarafından 2003 yılında geliştirilen bir manifold öğrenme yöntemidir (Belkin ve Niyogi, 2003). Yöntem, R^l uzayında yer alan k sayıdaki eğitim verisinin komşuluk ilişkilerinden yararlanarak, k sayıda düğüm noktasından oluşan ağırlıklı bir çizge oluşturmaktadır. Yüksek boyutlu uzaydan daha az boyutlu alt uzaya olan dönüşüm, oluşturulan çizge Laplasyen matrisinin (graph Laplacian) özvektörleri hesaplanarak elde edilir. LE yönteminin algoritması aşağıda verilmektedir:

(1) Komşuluk çizge matrisi oluşturma:

x_i ve x_j noktaları arasında bir yakınlık varsa i . ve j . düğüm noktaları arasında bir kenar eklenir. İki türlü kenar eklenebilir:

(a) ϵ – komşuluk yöntemi:

$\|x_i - x_j\|^2 < \epsilon$ ise i . ve j . düğüm noktaları bir kenar ile birleştirilir.

(b) n – yakın komşuluk:

i . eğitim verisi, j . eğitim verisinin n sayıdaki en yakın komşusu arasında yer alıyorsa, i . ve j . düğüm noktaları arasında bir kenar eklenir (bunun tersi için de aynı işlem yapılır).

(2) Ağırlıkların belirlenmesi:

İki farklı yöntem ile komşu veriler arasındaki ağırlıklar belirlenebilir:

(a) Heat çekirdek: i . ve j . noktalar birbirlerine bağlı noktalar ise ağırlık matrisinin ij . Elemanı

$$W_{ij} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{t}}$$

bağlı noktalar değil iseler $W_{ij} = 0$.

(b) i . ve j . noktalar birbirlerine bağlı noktalar ise $W_{ij} = 1$, değil ise $W_{ij} = 0$.

(3) Özvektör probleminin çözümü:

$$Lf = \lambda Df$$

şeklindeki özdeğer probleminin çözümü sonucu, sıfırdan farklı özdeğere karşılık gelen m sayıdaki özvektör, R^m boyutlu uzaydaki y_i vektörlerine karşılık gelecektir. Burada D matrisi, köşegen elemanları ağırlık matrisinin satır ya da sütunlarının toplamından oluşan köşegen bir matris ($D_{ii} = \sum_j W_{ji}$), L ise Laplasyen matrisi olarak isimlendirilir ($L = D - W$).

b. Nsytröm Yöntemi

Manifold öğrenme yöntemlerinin sadece mevcut eğitim verilerini dönüştürmesi ve dönüşüme ait bir dönüşüm matrisi ya da bir fonksiyon üretmemesi nedeni ile sonradan gelecek test verilerinin de aynı alt uzaya dönüşümünü sağlamak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu alandaki öncü sayılabilecek ilk önemli çalışma Bengio ve diğerleri tarafından 2003 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, LE

yöntemi de dahil olmak üzere bazı manifold öğrenme yöntemleri Nyström yöntemi yardımı ile genişletilmiş ve sonradan gelebilecek test verilerinin dönüşümünü sağlamıştır. Buna göre, sonradan gelecek x_{k+1} test verisinin aşağıdaki bağıntı yardımı ile daha az boyutlu uzaydaki karşılığı bulunabilir:

$$\mathbf{y}_{k+1}^T = \sum_{i=1}^k \mathbf{K}(\bar{\mathbf{x}}_{k+1}, \mathbf{x}_i) \mathbf{y}_i^T \Lambda^{-1}$$

Burada, \mathbf{K} veriye bağlı oluşturulan çekirdek matrisi, Λ ise LE yöntemi sonucunda bulunan özvektörlerden oluşan matrise karşılık gelmektedir. Çekirdek matrisi, LE yönteminin ikinci adımında kullanılan ağırlık seçimine göre belirlenmektedir.

c. LELVM

Laplacian Eigenmaps Latent Variable Model (LELVM) yöntemi, LE yöntemi için geliştirilmiş bir OOS yöntemidir (Carreira-Perpinan ve Lu, 2008). Parametrik olmayan, oldukça kolay uygulanabilir ve hesaplama zamanı açısından oldukça az süre alan bir yöntemdir. LELVM yöntemi, test verisinin daha az boyutlu uzaydaki dönüşümünü aşağıdaki bağıntı ile belirler:

$$\mathbf{y}_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^k \mathbf{K}(\bar{\mathbf{x}}_{k+1}, \mathbf{x}_i) \mathbf{y}_i}{\sum_{i=1}^k \mathbf{K}(\bar{\mathbf{x}}_{k+1}, \mathbf{x}_i)}$$

Burada \mathbf{K} çekirdek matrisi, LE yönteminin ikinci adımında kullanılan ağırlık seçimine göre belirlenir.

ç. Konum Koruyan Dönüşüm (LPP)

Doğrusal boyut indirme yöntemi olan LPP, LE ile elde edilen dönüşümü doğrusal bir dönüşüm olarak kabul etmekte ve LE yöntemini yeniden çözmektedir (He ve Niyogi, 2004). Bu varsayım altında, ilgili optimizasyon problemi çözüldüğünde aşağıdaki özdeğer denklemine ulaşılır:

$$\mathbf{X} \mathbf{L} \mathbf{X}^T \mathbf{u}_i = \lambda_i \mathbf{X} \mathbf{D} \mathbf{X}^T \mathbf{u}_i$$

Burada \mathbf{X} matrisi R^l uzayında yer alan eğitim verilerinden oluşan matrise karşılık gelmektedir. $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_m$ vektörleri, özdeğer probleminin çözümünden elde edilen m sayıdaki özdeğere karşılık gelen özvektörler olacaktır. Yeni gelecek test verisi için kullanılacak doğrusal dönüşüm matrisi ise bu özvektörlerden oluşan bir matris olacaktır ($\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \dots \mathbf{u}_m]$). Böylece, R^l

uzayındaki \mathbf{x}_{k+1} verisinin R^m uzayındaki görüntüsü

$$\mathbf{y}_{k+1} = \mathbf{U}^T \mathbf{x}_{k+1}$$

bağıntısı ile belirlenebilir.

LPP yöntemi diğer OOS yöntemlerinden farklı olarak, LE yönteminin doğrusal bir uzantısıdır. Dönüşümü karakterize eden bir doğrusal bir dönüşüm matrisi üretmektedir.

d. Komşuluk Esaslı OOS Yöntemi

Komşuluk esaslı OOS yöntemi parametrik olmayan bir yöntemdir ve doğrusal olmayan tüm manifold öğrenme yöntemleri üzerinde uygulanabilir (Li vd., 2005). Bu yöntemin işlem adımları:

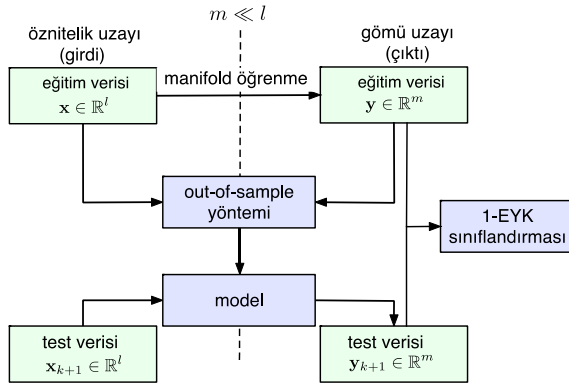
(1) Alt uzaya dönüştürülecek verinin yüksek boyutlu uzaydaki en yakın k komşusu belirlenir.

(2) k sayıda komşu veri ile alt uzaya doğrusal bir dönüşüm yapılır.

(3) Yeni verinin alt uzaya dönüşümü, 2. adımda elde edilen doğrusal dönüşüm katsayılarının yeni noktaya uygulanması ile elde edilir.

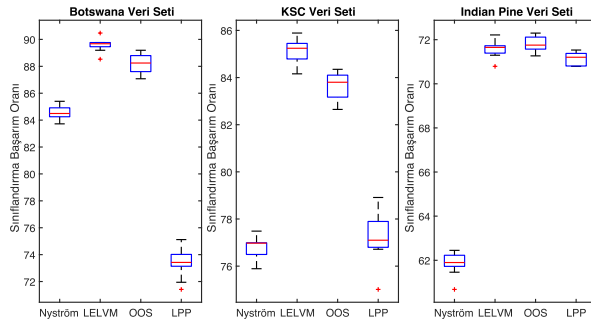
4. UYGULAMA

Bu çalışmada, hiperspektral verilerin sınıflandırma problemlerinin çözümü için örnek olabilecek bir uygulamaya yer verilmiştir. Hiperspektral veriler olarak, literatürde sıkça kullanılan Botswana, Kennedy Space Center (KSC) ve Indian Pines (Landgrebe, 2003) veri setleri kullanılmıştır (URL-1). Mevcut verilerin yarısı eğitim verisi yarısı da test verisi olacak şekilde rastgele olarak seçilmiştir. 10 farklı eğitim ve test veri seti oluşturularak elde edilen sonuçların ortalama sınıflandırma doğrulukları ve ortalama hesaplama zamanları hesaplanmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak 1-En Yakın Komşuluk (1-EYK) yöntemi kullanılmıştır. Manifold öğrenme yöntemi olarak ise Laplacian Eigenmaps yöntemi seçilmiştir. LE yöntemi için geliştirilmiş OOS yöntemleri ile test verisi alt uzaya dönüştürülmüş ve bu uzayda sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Uygulamada esas alınan işlem adımları Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Manifold öğrenme yöntemi ile sınıflandırma işlem adımları.

Şekil 1'deki işlem adımlarına göre, ilk aşamada eğitim verileri LE yöntemine verilerek, eğitim verilerinin alt uzaya dönüşümleri yapılmıştır. Ardından, her bir OOS yöntemi için, test verilerini aynı alt uzaya dönüştürecek model üretilmiştir. OOS yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması için, alt uzaydaki eğitim ve test verileri 1-EYK komşuluk yöntemine verilerek, test verilerinin sınıflandırılması yapılmış ve genel başarımları elde edilmiştir. Rastgele olarak oluşturulan 10 farklı veri için işlem adımları tekrar edilerek, Şekil 2'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2. Farklı OOS yöntemleri ile elde edilen sınıflandırma başarımları.

Elde edilen sonuçlara göre, LELVM yöntemi tüm veri setlerinde en yüksek performansı vermektedir. LELVM yönteminin, doğrusal olmayan bir dönüşüm olması bu başarımın en önemli nedenlerinden biridir. Komşuluk esaslı OOS yönteminin ise ikinci başarılı yöntem olduğu görülmektedir. Nyström yönteminin ise genel olarak en düşük performansta sonuç ürettiği görülmektedir. LPP yöntemi, doğrusal bir yöntem olduğu için her zaman yüksek performans verememektedir. Hesaplama zamanlarına bakıldığında, LELVM yönteminin çok da fazla zaman almayan, hızlı sonuç üretebilen bir yöntem

olduğu söylenebilir (Tablo 1). Sonuç olarak, LELVM yöntemi, LE yönteminin bir OOS yaklaşımı olarak, düşük hesaplama maliyetinde yüksek doğruluklarda sonuçlar üretmektedir.

Tablo 1. Farklı OOS yöntemleri ile elde edilen ortalama hesaplama zamanları (saniye).

	OOS Yöntemleri			
	Nyström	LELVM	OOS	LPP
Botswana	1.8	0.5	0.3	0.08
KSC	6.1	1.1	0.6	0.1
Indian Pines	34.7	4.7	1.3	0.5

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hiperspektral verilerin manifold öğrenme yöntemleri ile sınıflandırılmasında karşılaşılan sorunlar ele alınmış ve literatürdeki çözüm yöntemlerinden detaylıca söz edilmiştir. Ayrıca, örnek hiperspektral veriler üzerinde bir uygulama çalışması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Laplacian Eigenmaps yöntemi için geliştirilen LELVM yönteminin, tüm veri setlerinde en yüksek performansı en kısa sürede verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer yöntemler ise veri setlerine göre farklı başarımlarda sonuçlar üretmiştir.

Manifold öğrenme yöntemlerinin doğrusal olmayan bir dönüşüm yapmalarından ötürü, daha doğru sonuçlar üretebilmek için, eğitim sırasında kullanılmayan verilerin alt uzaya dönüşümünde doğrusal olmayan out-of-sample yöntemleri tercih edilmelidir. Ancak, her ne kadar doğrusal olmayan bir dönüşüm yapılsa da gerçekte dönüşümün doğrusal olması halinde, doğrusal out-of-sample yöntemleri ile de başarı sonuçlar verebilmektedir.

Out-of-sample yöntemleri, verinin yapısına (doğrusal olup olmamasına), ilgili manifold öğrenme yöntemine ve kullanılan sınıflandırıcı performansına bağlı olarak farklı sonuçlar üretmektedir. Bu nedenle, her türlü durum için başarılı sonuçlar üretecek genel bir yöntem önermek mümkün değildir.

KAYNAKLAR

- Barkan, O., Weill, J., & Averbuch, A. (2016). **Gaussian Process Regression for Out-of-Sample Extension**, IEEE Int Workshop Mach Learn Signal Process (MLSP).

- Belkin, M. and Niyogi, P. (2003). **Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation**. Neural Computation, 15(6):1373–1396.
- Bengio, Y., Paiement, J.F., and Vincent, P. (2003). **Out-of-sample extensions for LLE, isomap, mds, eigenmaps, and spectral clustering**, Adv Neural Inf Process Syst, pp. 177–184.
- Cai D., He, X., Han, J., and Zhang, H. (2006). **Orthogonal Laplacianfaces for face recognition**, IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 11, pp. 3608–3614.
- Cai, D., He, X, and Han J., (2009). **Spectral Regression: A Regression Framework for Efficient Regularized Subspace Learning**. Department of Computer Science, PhD, 110.
- Carreira-Perpinan, M.A., and Lu, Z. (2008). **Dimensionality Reduction by Unsupervised Regression**, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Donoho, D., and Grimes C. (2003). **Hessian eigenmaps: locally linear embedding techniques for high-dimensional data**. Proc Natl Acad Sci, 100:5591–5596.
- Duda, R.O., Hart, P. E., and Stork, D. G. (2000). **Pattern Classification**, 2nd ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley.
- Fisher, R. A. (1936). **The use of multiple measures in taxonomic problems**. Annals of Eugenics, 7:179–188.
- He, X., and Niyogi, P. (2004). **Locality preserving projections**. Neural Information Processing Systems, vol. 16, page. 153.
- He, X., Cai, D., Yan, S. and Zhang, H. (2005). **Neighborhood preserving embedding**, in Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis., vol. 2, pp. 1208–1213.
- Hughes, G. (1968). **On the mean accuracy of statistical pattern recognizers**, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 14, no. 1, pp. 55–63.
- Izenman, A. J. (2008). **Modern Multivariate Statistical Techniques, Regression, Classification, and Manifold Learning**, Springer Texts in Statistics.
- Kokiopoulou E., and Saad, Y. (2007). **Orthogonal neighborhood preserving projections: A projection-based dimensionality reduction technique**, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 29, no. 12, pp. 2143–2156.
- Landgrebe, D.A. (2003). **Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing**. Hoboken, NJ, USA: Wiley.
- Li, H., Teng, L., Chen, W., and Shen, I.-F. (2005). **Supervised learning on local tangent space**. In **Lecture Notes on Computer Science**, volume 3496, pages 546–551, Berlin, Germany, Springer Verlag.
- Liu, B., Xia, S. X., Meng, F. R., and Zhou, Y. (2015). **Extreme spectral regression for efficient regularized subspace learning**. Neurocomputing, 149 (Part A), 171–179.
- Liu, G., Lin, Z., and Yu, Y. (2009). **Multi-output regression on the output manifold**. Pattern Recognition, volume 42(11), pp.2737–2743.
- Lunga, D, Prasad, S. Crawford, M.M., Ersoy, O. (2014). **Manifold-Learning-Based Feature Extraction for Classification of Hyperspectral Data: A Review of Advances in Manifold Learning**, Signal Processing Magazine, IEEE, Volume:31, Issue: 1.
- Ma L., Crawford, M., and Tian J., (2010). **Local manifold learning- based k-nearest-neighbor for hyperspectral image classification**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 48, no. 11, pp. 4099–4109.
- Maaten, L.V.D., (2007). **An introduction to dimensionality reduction using matlab**, <https://lvdmaaten.github.io>, (tarih:6.2.2018).
- Nadler B, Lafon S, Coifman R.R, Kevrekidis I.G. (2005). **Diffusion maps, spectral clustering, and eigenfunctions of fokker-planck operators**. Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 18. Cambridge, MA: MIT Press, 955–962.
- Pang Y., Zhang, L., Liu, Z., Yu, N., and Li, H., (2005). **Neighborhood preserving projections (NPP): A novel linear dimension reduction method**, in Proc. ICIC (1), pp. 117–125.
- Qiao, H., Zhang, P., Wang, D., and Zhang, B. (2013). **An explicit nonlinear mapping for manifold learning**. IEEE Transactions on Cybernetics, volume:43(1), pages:51–63.

Rodarmel, C., and Shan, J., (2002). **Principal Component Analysis for Hyperspectral Image Classification**. Surv Land inf Syst. 62.

Roweis, S., and Saul, L.K., (2000). **Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding**, Science, 290:2323 – 2326.

Saul L.K. and Roweis, S. (2003). **Think Globally, Fit Locally: Unsupervised Learning of Low Dimensional Manifolds**, J Mach Learn Res, vol. 4, pp. 119–155.

Taşkın, G., Kaya, H., and Bruzzone, L., (2017). **Feature Selection Based on High Dimensional Model Representation for Hyperspectral Images**, IEEE Transactions on Image Processing, 26-6, 2918 – 2928.

Tenenbaum J.B, Silva V, Langford J.C., (2000). **A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction**. Science, 290:2319–2323.

Vural E., and C. Guillemot (2015). **Out-of-sample generalizations for supervised manifold learning for classification**, IEEE Trans. Image Process., vol. 25, no. 3, pp. 1410-1424.

Yan, S., Xu, D., Zhang, B., Zhang, H. J., Yang, Q., and Lin, S. (2007). **Graph embedding and extensions: A general framework for dimensionality reduction**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 29(1), 40–51.

Yang, Y., Nie, F., Xiang, S., Zhuang, Y., and Wang, W. (2010). **Local and global regressive mapping for manifold learning with out-of-sample extrapolation**. Proc 24th AAAI Conf Artificialia, 649–654.

Zhang Z., and Zha H. (2004). **Principal manifolds and nonlinear dimension reduction via local tangent space alignment**. SIAM J Sci Comput, 26:313–338.

URL-1: Hiperspektral verilere erişim adresi, http://www.ehu.eus/ccwintco/index.php/Hyperspectral_Remote_Sensing_Scenes (tarih:6.2.2018).

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisinde Yayımlanabilecek Yazılar

a. Haritacılık bilim dalları (Jeodezi, fotogrametri, kartografya, astronomi, jeofizik, kamu ölçmeleri ve mühendislik ölçmeleri) ve haritacılık ile ilgili diğer disiplinlerde (yerbilimleri, uzay teknolojileri, temel bilimler vb.) alanlarda olmak üzere, bir araştırma çalışmasını bulgu ve sonuçlarıyla yansıtan orijinal bilimsel makaleler; yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayarak, konuyu bugünkü bilgi düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan, bulguları karşılaştırarak eleştiren bilimsel derleme yazılar; orijinalliği ve bilimsel değeri bakımından çok önemli yabancı dilden çeviri bilimsel makaleler Harita Dergisi'nde yayımlanabilir.

b. Harita Genel Komutanlığı tarafından yılda iki kez (Ocak-Temmuz) yayımlanan hakemli bir dergidir. Yayımlanan yazılardaki fikirler yazarlarına aittir. Harita Genel Komutanlığını ve dergiyi sorumlu kılmaz. Dergideki yazı ve resimlerin her hakkı saklıdır.

c. Harita Dergisinde yayımlanmak üzere gönderilen yazılar, değerlendirme ve seçme işlemine esas olmak üzere, konularında uzman en az üç Bilim Kurulu Üyesi tarafından incelenir. Bilim Kurulunca "yetersiz" bulunan yazılar, dergide yayımlanmaz.

2. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

a. Sayfa büyüklüğü A4 (210x297 mm) standardında olmalı; her sayfanın sağ kenarından 2 cm diğer kenarlarından 3'er cm boşluk bırakılmalıdır. Yazı toplam 15 sayfayı geçmemelidir. Yazı, bilgisayarda Microsoft Word formatında Arial Türkçe fontu bir satır aralığı ile yazılmalıdır.

b. Makale adı, Türkçe ve İngilizce olarak kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde 12 punto büyüklüğünde sayfanın üst ortasına gelecek şekilde yazılmalı ve iki satırı geçmemelidir. Makale adı, makale içeriğini en fazla ölçüde yansıtmalı; makale içeriğinde anlatılan konuların büyük çoğunluğu, makale adı ile doğrudan ilgili olmalıdır. Makale adından sonra bir satır boşluk bırakıp ortalarak yazar adı ve soyadı koyu (bold) ve 10 punto harf büyüklüğünde yazılmalıdır (Soyadı büyük harflerle). Yazar adının altına ortalarak adres ve elektronik posta adresi 9 punto harf büyüklüğünde yazılır.

c. Yazı; Öz, Anahtar Kelime, Abstract (İngilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler), Giriş, Bölümler, Sonuç ve Kaynaklar şeklindeki ana bölümlerden oluşur. Bu bölümlerin tamamı sayfada iki sütun olacak şekilde yazılır. Sütunlar arasında 0,5 cm boşluk bırakılır. Her ana bölüm ve alt bölüm başlığı öncesi ve sonrası bir satır boşluk bırakılır.

Öz bölümünde, yapılan çalışma tanıtılarak kullanılan yöntemler ve sonuçlar kısaca belirtilmeli; abstract bölümü, özün doğru ve eksiksiz tercümesini içermelidir. Giriş bölümünde, çalışmanın amacı ve konuyla ilgili diğer çalışmalar anlatılmalıdır. Ara bölümlerde, kullanılan yöntemler ve veriler açıklanmalı; sonuç bölümünde, bulgular başka araştırmacıların bulguları ile karşılaştırılmalı, yazarın yorumu belirtilmeli ve ayrıca bulgulardan çıkan sonuçlar ve varsa öneriler yazılmalıdır. Öz, abstract, anahtar kelimeler ve key words, 9 punto büyüklüğünde italik harflerle yazılmalıdır. Diğer bölümler 10 punto harf büyüklüğünde normal yazılır.

Ana bölüm başlıkları büyük harflerle koyu (bold) olarak ve alt bölümlerin başlıkları kelimelerin ilk harfleri büyük diğerleri küçük ve sadece birinci düzey alt bölümlerin başlıkları koyu (bold) olarak yazılmalıdır. Yazının geri kalan kısmı normal baskıda yazılmalı, italik ya da altı çizgili karakterler kullanılmamalıdır. Öz, Anahtar Kelime, Abstract (İngilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler) ve kaynaklar ana bölümleri dışındaki ana bölüm başlıkları 1., 2., 3.; alt bölüm başlıkları a., b., c.; (1), (2), (3); (a), (b), (c); (I), (II), (III); (aa), (bb), (cc) şeklinde hiyerarşik düzeyde numaralandırılmalı; ardışık düzeylerin numaraları arasındaki dikey fark 0.5 cm olmalıdır. Numaralandırılan bölümlerin başlıkları, numaralarının başlangıç hizasından 0.5 cm içeriden; bir alt satıra devam eden bölüm başlıkları sayfa başından; tüm paragraflar sayfanın 0.5 cm içerisinden başlamalıdır.

Noktalama ve imlâ için Türk Dil Kurumu tarafından en son yayımlanan İmlâ Kılavuzu ve Türkçe sözlüğüne, Haritacılık ile ilgili Yönetmeliklerde kullanılan deyimlere uyulmalıdır. İfadelerde üçüncü şahıs kullanılmalı; her sembol ilk geçtiği yerde tanımlanmalı; her kısaltma ilk geçtiği yerde parantez içinde yazılmalı (örneğin, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)); kelime ikiye bölünmemelidir. Noktalama işaretlerinden sonra bir karakter boşluk bırakılmalı; sayfa numaralama yapılmamalıdır.

ç. Tablo isimleri, tablonun üstüne sol üst köşesinden itibaren yazılmalı (örneğin, Tablo 1. Karesel ortalama hatalar.); şekil isimleri, şeklin altına ortalanarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalanmalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortali olarak yazılabilir.

d. Denklemlere verilen numaralar, kendi hizalarına ve sayfa sağ kenarına çıkışacak şekilde parantez içinde (1),(2),(3),... şeklinde yazılmalıdır. Metin içerisindeki denklemlerin kendi aralarında ve metin ile aralarında bir satır boşluk bırakılır.

e. Kaynaklardan yapılan alıntılar, metin içinde geçtikleri her yerde, kaynak hakkında () parantez içinde bilgi verilir. Parantez içine yazılacak bilgiler sırası ile kaynağı kaleme alan yazarın soyadı, yazarın ilk adı/adlarının baş harfleri ve kaynağın basım tarihidir (Yılmaz, 1997), birden fazla yazar için (Arpat, vd., 1975). Kaynaklar sıralanırken numaralandırma yapılmaz ve kaynaklar arası bir satır boşluk bulunur. Öz ve abstract bölümlerinde kaynak atfı yapılmamalıdır.

f. Kaynaklar ana bölümü başlığı birer aralıklı büyük harflerle koyu (bold) ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadına göre alfabetik sırada sıralanır. Aynı yazarın birden fazla yayını varsa önce yeni tarihli kaynaktan başlanır. Kaynaklar sayfasında yazarın soyadı ve adı 0,5 cm. asılı olarak sol taraftan başlayarak yazılır. Basım tarihi, yazar isminden hemen sonra gelir, parantez içerisinde ve sadece yıl olarak yazılır. Kitap veya yayının ismi koyu harflerle yazılır. Yabancı yazarların isimleri belirtilirken Latin imlâ kurallarına uyulur. (Örneğin; MITTAG yerine MITTAG). İnternette alınan kaynakların gösteriminde web adresinden sonra mutlaka kaynağın bu adresten alındığı tarih yazılır.

g. Makaleler, "MAKALE ÖRNEĞİ"nde sunulan boşluk ve yapılandırılmalara uyularak; Şekil, Tablo ve Denklemler tek sütunda olacak ise metin aralarına konularak; iki sütuna yayılan bir bütün halindeki metin bloğundan sonra veya önce sayfanın alt veya üstünde olacak ve okuma akıcılığını bozmayacak şekilde yazılır.

3. Makalelerin Gönderilmesi

Makaleler, "haritadergisi@hgk.msb.gov.tr" adresine e-posta ile gönderilir.

(MAKALE ÖRNEĞİ)

Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxx (Makale Başlığı-Türkçe)

(Xxxxxxx Xxxxxxxx Xxx) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

Xxxx XXXX (Yazar ismi)

Xxxxx Xxxx Xxxx, Xxxxx Xxxxx (Adres)

xxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

ÖZ

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxx; xxxxxx xxxxx
xx
xx
xx
xx

(1 satır boşluk)

Anahtar Kelimeler: xxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx
xx

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxxxx xx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxx
xx
xx
xx

(1 satır boşluk)

Keywords: xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx
xx

(1 satır boşluk)

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxx
xxxx xxxxxx /1/.

(1 satır boşluk)

a. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx
xxxx xxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxx

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx
(1) Xxxxxxxx Xxx Xxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx
Xxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. Xxxxxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxxxxxx
Xxxxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxx xxxxxxx
xx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) Xxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx Xxxxxxxx
Xxxxxxx Xxxxxxxx

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx
xxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) Xxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx

xxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx

xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

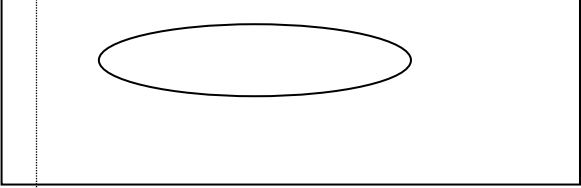
xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

(MAKALE ÖRNEĞİ)

<p>(1) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf) (1 satır boşluk)</p>	$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - X_{i(RASAT)}}{n}} \quad (1)$ <p>(1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX</p>
<p>(a) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.</p>	<p>XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXX XXXXX XXXXXX . (1 satır boşluk)</p>  <p>(1 satır boşluk) Şekil 1. XXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX</p>
<p>(1 satır boşluk) (b) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX X XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX.</p>	<p>(1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX. (1 satır boşluk) 3. SONUÇ (1 satır boşluk) XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXX. (1 satır boşluk)</p>
<p>(1 satır boşluk) (I) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX (4 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXX XXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXX XXXX. (1 satır boşluk)</p>	<p>KAYNAKLAR (1 satır boşluk) Soyad, A., Dergi Basım Yılı, Bildiri Adı, Dergi Adı, Cilt:16, Sayı: 116, Sayfa Aralığı. (1 satır boşluk) Soyad1, A., Soyad2, B., Kitap Basım Yılı, Kitap Adı, Yayımcı Adı, Yayım Yeri, ISBN: xxxxxxxx. (1 satır boşluk) URL-1 : http://xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx.xxx Erişim Tarihi.</p>
<p>Tablo 1. XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXX XXX XXXXX XXXXXX XXXXXXX. (1 satır boşluk)</p>	

TASNİF DIŞI BASILI HARİTALAR

SIRA. NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cmxcm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG-G) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
2	1/250.000	TÜRKİYE HAVA (JOG-A) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
3	1/250.000	TÜRKİYE ALÇAK İRTİFA ÖZEL HAVA (TFC) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
4	1/500.000	TÜRKİYE KARA (1404 SERİSİ) TOPOĞRAFİK	70x60	Muhtelif	PAFTA	21,00
5	1/500.000	TÜRKİYE ÖZEL HAVA HARİTASI	70x60	Muhtelif	PAFTA	21,00
6	1/1.000.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	177x91	2016	3 PARÇA	13,00
7	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	177x91	2016	3 PARÇA	13,00
8	1/1.850.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	96x52	2016	TEK PARÇA	9,50
9	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96x52	2016	TEK PARÇA	9,50
10	1/1.800.000	TÜRKİYE COĞRAFI BÖLGELER FİZİKİ	97x50	2011	TEK PARÇA	8,50
11	1/1.800.000	TÜRKİYE KARAYOLLARI	96x52	2017	TEK PARÇA	9,50
12	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER SİYASİ	192x132	2010	4 PARÇA	13,50
13	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	192x132	2010	4 PARÇA	13,50
14	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224x96	2009	4 PARÇA	15,50
15	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	204x96	2017	3 PARÇA	19,50
16	1/30.000.000	DÜNYA SİYASİ	137x90	2015	2 PARÇA	17,50
17	1/30.000.000	DÜNYA FİZİKİ	140x75	2015	2 PARÇA	17,50
18	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ	82x49	2011	TEK PARÇA	9,50
19	1/42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	82x49	2011	TEK PARÇA	9,50
20	1/9.000.000	AVRUPA SİYASİ	75x56	2013	TEK PARÇA	11,50
21	1/9.000.000	AVRUPA FİZİKİ	75x56	2013	TEK PARÇA	11,50
22	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ	70x100	2015	TEK PARÇA	13,00
23	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ	70x100	2015	TEK PARÇA	13,00
24	1/1.800.000	ORTADOĞU SİYASİ	111x77	2015	2 PARÇA	14,50
25	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	111x77	2015	2 PARÇA	14,50
26	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ	58x72	2017	TEK PARÇA	11,50
27	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ	58x72	2017	TEK PARÇA	11,50
28	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ	134x90	2017	İKİ PARÇA	14,50
29	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ	134x90	2017	İKİ PARÇA	14,50
30	1/1.500.000	KAFKASLAR SİYASİ	98x68	2016	TEK PARÇA	17,50
31	1/1.500.000	KAFKASLAR FİZİKİ	98x68	2016	TEK PARÇA	17,50
32	1/2.200.000	BALKANLAR SİYASİ	70x85	2015	TEK PARÇA	9,50
33	1/2.200.000	BALKANLAR FİZİKİ	70x85	2015	TEK PARÇA	9,50
34	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE SİYASİ	87x60	2013	TEK PARÇA	11,00
35	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE FİZİKİ	87x60	2013	TEK PARÇA	11,00
36	1/1.800.000	SURİYE-IRAK SİYASİ	78x58	2015	TEK PARÇA	9,50
37	1/1.800.000	SURİYE-IRAK FİZİKİ	78x58	2015	TEK PARÇA	9,50
38	1/1.500.000	IRAK SİYASİ	70x75	2015	TEK PARÇA	9,50
39	1/1.500.000	IRAK FİZİKİ	70x75	2015	TEK PARÇA	9,50
40	1/2.750.000	İRAN SİYASİ	80x70	2015	TEK PARÇA	9,50
41	1/2.750.000	İRAN FİZİKİ	80x70	2015	TEK PARÇA	9,50
42	1/2.500.000	AFGANİSTAN SİYASİ	68x46	2012	TEK PARÇA	16,00
43	1/2.500.000	AFGANİSTAN FİZİKİ	68x46	2012	TEK PARÇA	16,00

SIRA NO.	ÖLÇEK	cinsi	BOYUT (cmxcm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
44	1/750.000	AZERBAYCAN SİYASİ ⁽¹⁾	80x60	2017	TEK PARÇA	8,50
45	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ ⁽¹⁾	80x60	2017	TEK PARÇA	8,50
46	1/300.000	KIBRIS ADASI SİYASİ	80x50	2017	TEK PARÇA	6,50
47	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ	80x50	2017	TEK PARÇA	6,50
48	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ	74x54	2012	TEK PARÇA	16,00
49	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ	74x54	2012	TEK PARÇA	16,00
50	1/3.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	190x131	1993	4 PARÇA	11,00
51	1/12.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	95x65	1993	TEK PARÇA	5,00
52	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ	62x93	2016	TEK PARÇA	13,00
53	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI	92x58	2015	TEK PARÇA	13,00
54	1/120.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	70x93	2017	TEK PARÇA	13,00
55	1/120.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	70x93	2017	TEK PARÇA	13,00

¹⁾Üretimini müteakip satışa sunulacaktır.

TASNİF DIŞI PLASTİK KABARTMA HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	cinsi	BOYUT (cm x cm)	ÜRETİM TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG SERİSİ) TOPOĞRAFİK	65x61	Muhtelif	PAFTA	75,50
2	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	177x94	2014	3 PARÇA	233,50
3	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96x52	2016	TEK PARÇA	50,00
4	1/3.500.000	TÜRKİYE FİZİKİ	63x34	2016	TEK PARÇA	17,00
5	1/8.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	24x15	2016	TEK PARÇA	5,50
6	1/1.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	357x223	2017	16 PARÇA	1211,00
7	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224x96	2009	4 PARÇA	303,50
8	1/4.250.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	162x113	2011	4 PARÇA	303,50
9	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	204x96	2017	4 PARÇA	303,50
10	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ HARİTASI	58x91	2015	TEK PARÇA	71,50
11	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	116x82	2016	2 PARÇA	151,00
12	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ ⁽¹⁾	58x72	2017	TEK PARÇA	34,50
13	1/7.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ ⁽¹⁾	115x77	2017	İKİ PARÇA	151,00
14	1/2.000.000	KAFKASLAR FİZİKİ	77x54	2010	TEK PARÇA	34,50
15	1/2.700.000	BALKANLAR FİZİKİ	60x70	2015	TEK PARÇA	34,50
16	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ ⁽¹⁾	80x60	2017	TEK PARÇA	34,50
17	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ ⁽¹⁾	80x50	2017	TEK PARÇA	34,50
18	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI	95x61	2015	TEK PARÇA	42,00
19	1/150.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	61x89	2017	TEK PARÇA	42,00
20	1/150.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	61x89	2017	TEK PARÇA	42,00
21	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ	64x96	2016	TEK PARÇA	42,00
22	1/850.000	ÇANAKKALE KARTPOSTALI	25x16	2015	TEK PARÇA	5,50

¹⁾Üretimini müteakip satışa sunulacaktır.

HARİTA İNCELEME

ÖLÇEK	CİNSİ	SÜRE	FİYATI (TL/SAAT)
Muhtelif	a. Basılı ve sayısal her tür harita, b. Küre, c. İçerisinde Kent Planı, Harita ve Plan ihtiva eden Broşür, Atlas ve Dokümanlar.	1 Saat	50,00

(1) Açıklamalar:

(a) DVD, CD-ROM, disket vb. gibi sayısal ortamdaki incelemeler için, bu materyaller ile birlikte, incelenecek harita ve harita bilgisi ihtiva eden bölümlerinden, Harita Genel Komutanlığınca talep edilmesi halinde, istek sahibi tarafından üç suret renkli kâğıt çıktı gönderilir.

(b) Yurt içinde üretilecek veya yurt dışından ithal edilecek harita, atlas, küre ve benzeri doküman için, evsafına göre, içinde bulunulan yıl için geçerli olan Harita ve Harita Bilgileri Satış ve Kullanım Bedelleri Fiyat Listesi'nden yararlanarak hesaplanacak inceleme bedeli, ilgili kuruluştan talep edilir.

(c) Harita inceleme, ülke menfaatlerine aykırı olabilecek coğrafi isimler ve ülke sınırlarının kontrolü amacıyla yapılmakta/yaptırılmakta ve farklı uzmanlık alanları gerektirebilmektedir. Haritalarda, Harita Genel Komutanlığının uzmanlık alanı dışında yabancı kökenli isimler ve gösterimlerin kullanılması veya tarihi sınırların gösterilmesi vb. tematik haritalar söz konusu olduğunda, bu haritalar Harita Genel Komutanlığınca ve bedeli karşılığında ilgili kurum/kurumlara incelettirilir ve inceleyen kurum tarafından talep edilen bedel, inceleyen kurum kuruluş veya gerçek ve tüzel kişiden talep edilir.

(ç) Basım ve ithal uygunluk onayı istenen her ürün için inceleme bedeli, inceleme memurunun ürünü inceleme için harcadığı saat esas alınarak hesaplanır. İnceleme 1 (bir) saatten az sürmesi halinde asgari 1 (bir) saat olarak alınır.

TASNİF DIŞI TOPOĞRAFİK RASTER HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG-G) TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM ⁽¹⁾ Coğrafi ⁽²⁾	WGS-84	GEOTIFF	20,00
2	1/250.000	TÜRKİYE HAVA (JOG-A) TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM ⁽¹⁾ Coğrafi ⁽²⁾	WGS-84	GEOTIFF	20,00
3	1/250.000	TÜRKİYE ALÇAK İRTİFA ÖZEL HAVA (TFC) TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM ⁽¹⁾ Coğrafi ⁽²⁾	WGS-84	GEOTIFF	20,00
4	1/500.000	TÜRKİYE KARA (1404 SERİSİ) TOPOĞRAFİK	PAFTA	Lambert ⁽¹⁾ Coğrafi ⁽²⁾	WGS-84	GEOTIFF	21,00
5	1/500.000	TÜRKİYE ÖZEL HAVA HARİTASI	PAFTA	Lambert ⁽¹⁾ Coğrafi ⁽²⁾	WGS-84	GEOTIFF	21,00

⁽¹⁾Pafta kenar bilgileri (lejant) bulunmaktadır.

⁽²⁾Pafta kenar bilgileri (lejant) bulunmamaktadır.

TASNİF DIŞI TEMATİK RASTER HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
1	1/1.000.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
2	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
3	1/1.850.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
4	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
5	1/1.800.000	TÜRKİYE COĞRAFI BÖLGELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
6	1/1.800.000	TÜRKİYE KARAYOLLARI	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
7	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,50
8	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,50
9	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	15,50
10	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Plate Carree/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	19,50
11	1/30.000.000	DÜNYA SİYASİ	PAFTA	Robinson	WGS-84	GEOTIFF	17,50
12	1/30.000.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Plate Carree	WGS-84	GEOTIFF	17,50
13	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ	PAFTA	Robinson	-	GEOTIFF	9,50
14	1/42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Robinson	-	GEOTIFF	9,50
15	1/9.000.000	AVRUPA SİYASİ	PAFTA	Azimuthal Equidistant/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
16	1/9.000.000	AVRUPA FİZİKİ	PAFTA	Azimuthal Equidistant/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
17	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
18	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
19	1/1.800.000	ORTADOĞU SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
20	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
21	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
22	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
23	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
24	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
25	1/1.500.000	KAFKASLAR SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	17,50
26	1/1.500.000	KAFKASLAR FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	17,50
27	1/2.200.000	BALKANLAR SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
28	1/2.200.000	BALKANLAR FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
29	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,00
30	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,00
31	1/1.800.000	SURİYE-IRAK SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
32	1/1.800.000	SURİYE-IRAK FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
33	1/1.500.000	IRAK SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
34	1/1.500.000	IRAK FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
35	1/2.750.000	İRAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
36	1/2.750.000	İRAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
37	1/2.500.000	AFGANİSTAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
38	1/2.500.000	AFGANİSTAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
39	1/750.000	AZERBAYCAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
40	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
41	1/300.000	KIBRIS ADASI SİYASİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	6,50
42	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	6,50
43	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
44	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
45	1/150.000	TRABZON İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
46	1/200.000	TRABZON İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
47	1/150.000	HATAY İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
48	1/200.000	HATAY İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
49	1/200.000	ELAZIĞ İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
50	1/250.000	ELAZIĞ İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
51	1/450.000	ANKARA İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
52	1/450.000	ANKARA İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
53	1/3.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU ⁽¹⁾	PAFTA	-	-	TIFF	11,00
54	1/12.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU ⁽¹⁾	PAFTA	-	-	TIFF	5,00
55	1/120.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
56	1/120.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
57	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKATI	PAFTA	Lambert/Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
58	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ ⁽²⁾	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
59	1/850.000	ÇANAKKALE KARTPOSTALI ⁽²⁾	PAFTA	-	-	JPEG	5,50

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
60	1/2.200.000	TÜRKİYE MÜLKÎ İDARİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
61	1/4.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
62	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
63	1/2.200.000	TÜRKİYE FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
64	1/4.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
65	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
66	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
67	1/87.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
68	1/125.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
69	1/50.000.000	DÜNYA FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
70	1/110.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
71	1/150.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
72	1/20.000.000	AVRUPA SİYASİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
73	1/29.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
74	1/20.000.000	AVRUPA FİZİKİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
75	1/29.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
76	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
77	1/30.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
78	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
79	1/30.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
80	1/2.500.000	ORTADOĞU SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
81	1/5.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
82	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
83	1/2.500.000	ORTADOĞU FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
84	1/5.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
85	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
86	1/11.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
87	1/16.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
88	1/11.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
89	1/16.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
90	1/10.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
91	1/20.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
92	1/30.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
93	1/10.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
94	1/20.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
95	1/30.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
96	1/1.800.000	KAFKASLAR SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
97	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
98	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
99	1/1.800.000	KAFKASLAR FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
100	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
101	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
102	1/2.600.000	BALKANLAR SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
103	1/5.500.000		A3	-	-	JPEG	3,50
104	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
105	1/2.600.000	BALKANLAR FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
106	1/5.500.000		A3	-	-	JPEG	3,50
107	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
108	1/1.100.000	LÜBNAN SURİYE SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
109	1/2.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
110	1/3.200.000		A4	-	-	JPEG	2,50

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
111	1/1.100.000	LÜBNAN SURIYE FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
112	1/2.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
113	1/3.200.000		A4	-	-	JPEG	2,50
114	1/1.800.000	İRAK SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
115	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
116	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
117	1/1.800.000	İRAK FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
118	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
119	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
120	1/4.000.000	SURIYE VE İRAK SİYASİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
121	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
122	1/4.000.000	SURIYE VE İRAK FİZİKİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
123	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
124	1/3.250.000	İRAN SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
125	1/7.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
126	1/11.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
127	1/3.250.000	İRAN FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
128	1/7.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
129	1/11.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
130	1/4.400.000	AFGANİSTAN SİYASİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
131	1/7.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
132	1/4.400.000	AFGANİSTAN FİZİKİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
133	1/7.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
134	1/600.000	KIBRIS ADASI SİYASİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
135	1/900.000		A4	-	-	JPEG	2,50
136	1/600.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
137	1/900.000		A4	-	-	JPEG	2,50
138	1/1.700.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
139	1/2.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
140	1/1.700.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
141	1/2.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
142	1/300.000	KATAR SİYASİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
143	1/220.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50

(1)Koordinatsızdır.

(2)Çeşitli ülkeler ve ticari firmalar tarafından internet sitelerinde ücretsiz kullanıma sunulan haritalarda, kasten veya bilinçsizce yapılan tanımlamalar nedeniyle, millî menfaatlere aykırı hususlarla sıklıkla karşılaşmaktadır. Bunun önüne geçilebilmesi için Harita Genel Komutanlığınca hazırlanmış olan çeşitli tür ve ölçekte haritalar (bu ürün dâhil), kullanımın yaygınlaştırılması amacıyla, yerli ve yabancı kullanıcıların kolayca erişebilecekleri şekilde sayfamızda ücretsiz olarak sunulmaktadır. Telif hakları Hrt.Gn.K.İçinde saklı kalmak kaydıyla; haritaların isteyen her kullanıcı tarafından ticarî faaliyetler dışında serbest kullanımı ve dağıtımını yapılabilir. Yukarıda belirtilen bedeller ürünlerin satış fiyatı olmayıp, ticarî kullanım söz konusu olduğunda telif ve iktibas bedelinin belirlenmesine esas olacak bedellerdir.

(3)Bu haritalardan yanında A1 yazanlar A1 kâğıt ebadında, A3 yazanlar A3 kâğıt ebadında, A4 yazılı olanlar A4 kâğıt ebadında çıktı alacak şekilde düzenlenmiştir.

(2) Açıklamalar:

(a) Sayısal coğrafi bilgiler, tabloda belirtilen özelliklerde (projeksiyon sistemi, koordinat sistemi, datum veya formatta) üretilmektedir.

(b) Veriler talep sahibine DVD/CD-ROM üzerine kopyalanarak verilmektedir