

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 6 / Sayı 2 - Ağustos 2021

ISSN:2564-6761



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



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Dr. Öğr. Üyesi Osman ORHAN
Mersin Üniversitesi,
Mersin

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

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

DANIŞMA KURULU

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

İÇİNDEKİLER

CİLT 6 / SAYI 2

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

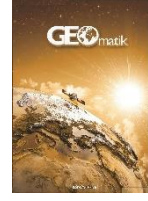
** Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi	
Umut Özkaya, Levent Seyfi	84
** Yapı Ruhsatlandırmadan Kat Mülkiyetine Giden Süreçlerin Dijitalleştirilmesi: Mevcut Durum Analizi ve Öneri	
Doğuş Güler, Tahsin Yomralıoğlu	93
** Fındık Bahçelerinin Sentinel-2 Verileri Kullanılarak Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleriyle Belirlenmesi	
Ceyhun Apaydın, Saygın Abdikan	107
** Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi	
Berk Anbaroğlu, Naim Cem Güllüoğlu, Gökhan Bilgin, Arif Çağdaş Aydınoğlu	115
** Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Kapsamında Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi	
Kamil Karataş, Eyyüp Gençer	124
** TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği	
Fuat Başçiftçi	135
** Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi	
Ahmet Ünal, Ferruh Yıldız	148
** Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi	
Berkant Konakoğlu, Alper Akar	165



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi

Umut Özkaya^{1*}, Levent Seyfi¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yere nüfuz eden radar
Konvolüsyonel sinir ağları
K-En yakın komşuluk
Ön eğitilmiş konvolüsyonel
sinir ağları

ÖZ

Bu çalışmada, Yere Nüfuz eden Radar (YNR) B tarama görüntülerinin analizi için az parametre sayısına sahip K-En Yakın Komşuluk (K-EYK) algoritma tabanlı bir Konvolüsyonel Sinir Ağı (KSA) yapısı önerilmiştir. Önerilen KSA yapısı içerisinde farklı filtre boyutuna ve sayına sahip beşer adet konvolüsyon katmanı bulunmaktadır. Aynı zamanda blok adı verilen yapı ile önerilen KSA modelinin yapısı daha da görselleştirilmiştir. Karşılaştırmalı analiz çerçevesinde önerilen KSA modeli ön eğitilmiş KSA modelleri ile beraber değerlendirilmiştir. Analiz metrikleri olarak doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve F1 skoru kullanılmıştır. Önerilen KSA yapısı, YNR cihazı tespitinde %97.16 doğruluk, %97.31 keskinlik, %97.04 duyarlılık ve %97.18 F1 skoru; tarama frekansı tespitinde %94.88 doğruluk, %95.02 keskinlik, %95.49 duyarlılık ve %95.24 F1 skoru; toprak çeşidi tespitinde %90.63 doğruluk, %90.50 keskinlik, %90.83 duyarlılık ve %90.66 F1 skoru metrik değerlerine sahiptir. Önerilen KSA yapısı YNR cihaz tespiti ve tarama frekansı tespitinde en yüksek performansı gösterirken toprak çeşidi tespitinde ön eğitilmiş KSA yapıları ile beraber en yüksek üçüncü performansı sergilemiştir. Karşılaştırmalı analizler önerilen KSA yapısının düşük parametre sayısı ile yüksek sınıflama yüzdesi elde ettiğini göstermiştir.

Evaluation of Ground Penetrating Radar B Scan Images via Convolutional Neural Network with Low Parameters

Keywords

Ground penetrating radar
Convolutional neural
network
K-Nearest neighborhood
Pre-trained convolutional
neural network

ABSTRACT

In this study, a K-Nearest Neighborhood (KNN) algorithm based Convolutional Neural Network (CNN) structure with low number of parameters was proposed for the analysis of Ground Penetrating Radar (GPR) B scan images. Within proposed CNN structure, there are five convolution layers with different filter sizes and numbers. At the same time, the structure of proposed CNN model with the structure called block is further visualized. The proposed CNN model within the framework of comparative analysis was evaluated together with pre-trained CNN models. Accuracy, precision, recall and F1 score were used as classification metrics. Proposed CNN structure obtained performance with 97.16% accuracy, 97.31% precision, 97.04% recall and 97.18% F1 score for detection of GPR device; 94.88% accuracy, 95.02% precision, 95.49% recall and 95.24% F1 score to classify scanning frequency; 90.63% accuracy, 90.50% precision, 90.83% recall and 90.66% F1 score metric values to determine soil type. While proposed CNN structure showed the highest performance in GPR device detection and scanning frequency determination, it showed the third highest performance together with the pre-trained CNN structures in soil type determination. Comparative analysis has shown that the proposed CNN structure achieves a high classification performance with a low number of parameters.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

(uozkaya@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9244-0024
(lseyfi@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8698-5140

Özkaya, U. & Seyfi, L. (2021). Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi. Geomatik, 6(2), 84-92, DOI: 10.29128/geomatik.703218

1. GİRİŞ

Yere Nüfuz Eden Radarlar (YNR), arkeolojik çalışmalar, inşaat mühendisliği ve çeşitli jeofizik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Shihab vd. 2005). YNR, elektromanyetik dalga yayılımı prensibi ile çalışır. Elde edilen verilere radargram adı verilirken grafiklerle şematize edilir. Yorumlanması oldukça zor olan radargram verilerinin analizinde, konusunda uzman kişilerin bilgisine ihtiyaç duyulur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde gömülü nesnelere analiz ve saha analizlerinde çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. Gader vd. gerçekleştirdikleri çalışmada patlayıcı malzemelerin tespiti için YNR cihazı ile elde edilen B tarama görüntülerinin analizinde Gizli Markov Modeli (GMM) kullanılmışlardır. Önerilen yöntem, üç farklı bölgeden elde edilen B tarama görüntülerinde değerlendirilmiş ve genelleme yeteneğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Gader vd. 2001). Gader vd. 3 boyutlu YNR tarama görüntüleri üzerinden mayın tespitini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Önerdikleri kural tabanlı yöntem sayesinde yüksek bir performans ile mayınların varlığını tespit edebilmişlerdir (Gader vd. 2004). Frigui vd. yapmış oldukları çalışmada kara mayınlarının tespitinde hibrid bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem içerisinde ön işleme birimi, GMM dedektörü ve yanlış alarmı azaltmak amacıyla düzenleyici eğitim bileşeni bulunmaktadır. Gerçek zamanlı olarak çalışabilen bu sistem farklı test sahalarında %10-50 arasında bir performans sağlamıştır (Frigui vd. 2005). Manandher vd. çalışmalarında GMM modelinin performansını artırmak amacıyla çoklu örnek öğrenme tekniğini modele entegre etmişlerdir. Önerilen yöntem sentetik ve kara mayınlarının bulunduğu test sahalarından standart GMM modeline göre daha yüksek performans göstermiştir (Manandhar vd. 2015). Kovalenko vd. yapmış oldukları çalışmadan bir boyutlu YNR A tarama sinyallerini analiz ederek plastik kaplı kara mayınlarını tespit etmeye çalışmışlardır. Gömülü nesne bilgilerini içeren referans dalga formu ile sinyal içerisinde nesnenin varlığını araştırmışlardır (Kovalenko vd. 2007). Pasolli vd. yapmış oldukları çalışmada sunmuş oldukları örüntü tanıma yöntemi sayesinde gömülü nesnelere algılanması ve tanınması amaçlamışlardır. Yöntemde ilk olarak görüntü eşikleme işlemi ile gömülü nesnelere arka plandan çıkarılması sağlanır. Genetik algoritma ile özellik çıkarılarak Destek Vektör Makinesi (DVM) ile gömülü nesne sınıflaması gerçekleştirilir (Pasolli vd. 2009). El-Mahallawy vd. yapmış oldukları çalışmada B tarama görüntülerinden Ayırık Fourier Dönüşümü ile elde ettiği özellikleri DVM ile sınıflayarak gömülü nesnelere malzeme tespitini gerçekleştirmişlerdir (El-Mahallawy vd. 2013). Singh vd. YNR B tarama görüntülerinde gömülü nesnelere tespitini sağlamak için yapay sinir ağı tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Yöntemde ön işleme algoritması kullanılarak görüntü içerisinde gürültü ve dağınıklıklar giderilmiştir. Sonrasında ise gömülü

nesnelere algılamak amacıyla yapay sinir ağı tekniğinden yararlanılmıştır (Singh vd. 2013). Benedetto vd. eğri uydurma yöntemi ile buz içerisindeki çatlakları analiz etmişlerdir (Benedetto vd. 2011).

Uzaktan algılama uygulamalarında son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar derin öğrenme tabanlıdır. Derin öğrenme yöntemleri olarak kullanılan Konvolüsyonel Sinir Ağları (KSA), yapay sinir ağlarının gelişmiş bir versiyonudur. 1990'lı yıllarda KSA yöntemi önerilmesine rağmen mevcut donanımlar, yöntemin ağır hesaplamalarını gerçekleştirememiştir. Gelişen teknolojiyle beraber 2012 yılından bu yana derin öğrenme yöntemleri nesne algılama ve tanıma problemleri başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Krizhevsky vd. 2012).

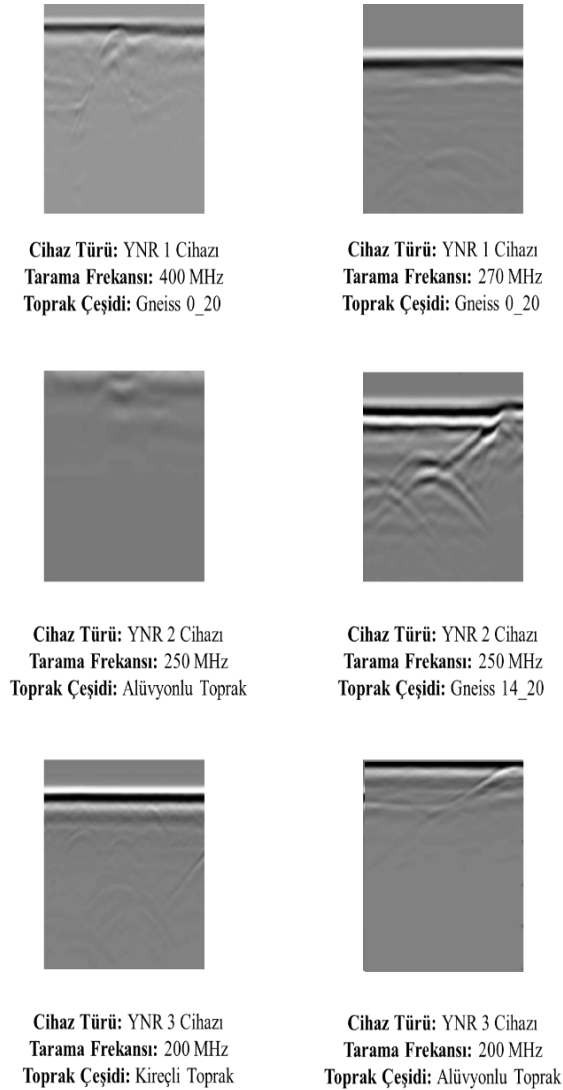
Bu çalışmada YNR B tarama görüntüleri daha etkin bir şekilde analizi için az parametreye sahip KSA yapısı tasarlanmıştır. Önerilen KSA yapısında standart ön eğitilmiş KSA yapılarından farklı olarak sınıflama için K-EYK algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde önerilen KSA yapısı ön eğitilmiş KSA yapılarına göre yüksek performans göstermiştir. Çalışma toplamda dört bölüme ayrılmıştır. 1. Bölüm, giriş olarak adlandırılıp literatür çalışmalarından bahsedilmiştir. 2. Bölüm ise materyal ve yöntem kısmıdır. 3. Bölüm, elde edilen bulgular yer almaktadır. 4. Bölümde elde edilen sonuçlar ve tartışma bulunmaktadır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Veri Seti Tanımlaması

Çalışma kapsamında kullanılan ve YNR B tarama görüntülerinden oluşan veri seti, test sahalarından elde edilen ölçümler ile oluşturulmuştur. Ölçümlerde birbirinden farklı üç YNR cihazı kullanılmıştır. Cihazları birbirinden ayırt edebilmek adına YNR 1, YNR 2 ve YNR 3 adları verilmiştir. YNR 1 ABD firması olan Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI) tarafından tasarlanmıştır. YNR 2 cihazı ise İsveç firması MALA tarafından kullanıma sunulmuştur. YNR 3 cihazı ise Ingegneria Dei Sistemi (IDS) adı altında bir İtalyan firması tarafından üretilmiştir. Belirtilen YNR cihazları okuz farklı frekansta tarama işlemlerini gerçekleştirebilmektedirler. Bu frekanslar sırasıyla 200 MHz, 250 MHz, 270 MHz, 350 MHz, 400 MHz, 500 MHz, 600 MHz, 800 MHz ve 900 MHz'dir. YNR cihazları dört farklı test sahasında ölçüm gerçekleştirmiştir. Test sahaları alüvyonlu, kireçli, Gneiss 14_20 ve Gneiss 0_20 olmak üzere farklı özellikler içermektedir. Alüvyonlu toprağın bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r=13$ olup saha içerisindeki Elektromanyetik (EM) dalgaların zayıflaması 15 ile 45 dB/m arasında gerçekleşmektedir. YNR cihazının nüfuz etme derinliği alt frekansta 1.5 m olup üst frekansta 1 m'dir. Kireçli test sahasında bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r=6$ olup EM dalga zayıflamaları 6 ile 20 dB/m civarındadır. YNR cihazının nüfuz etme

derinliği alüvyonlu toprakta olduğu gibi alt frekansta 1.5 m üst frekansta ise 1 m'dir. Gneiss 14_20 ve Gneiss 0_20 elektriksel özellikleri sırasıyla $\epsilon_r=3$ ve $\epsilon_r=5.5$ 'dir. EM dalgaların zayıflaması Gneiss 14_20 test sahası için 1.5 ile 4.5 dB/m, Gneiss 0_20 test sahası için 9 ile 27 dB/m arasındadır. YNR cihazları Gneiss 14_20 test sahası için en az 4.5 m kadar nüfuz edebilmektedir. Gneiss 0/20 test sahasında YNR cihazları alt frekansta 2.5 m, üst frekansta 1.5 m nüfuz etme derinliğine sahiptir. İlgili YNR cihazlarından ve test sahalarından elde edilen YNR B tarama görüntüsü toplamda 8505 adettir. Çalışma kapsamında oluşturulan veri setinde bulunan bazı YNR B tarama görüntüleri Şekil 1'de bulunmaktadır.



Şekil 1. YNR B Tarama Görüntü Örnekleri

2.2. Derin Öğrenme

Makine öğrenmesi kapsamında geliştirilen derin sinir ağları, 2007 yılında Geoffrey Hinton tarafından optimizasyon yöntemleri sayesinde etkin bir şekilde eğitimi gerçekleştirilmiştir (Hinton 2007). Son zamanlarda kullanımı sıklıkla artan derin öğrenme birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. E-posta filtreleme, arama motoru eşleştirme, akıllı

telefonlar, sosyal medya, e-ticaret gibi birçok alanda derin öğrenmenin kullanımına örnek verilebilir. Yapay sinir ağlarının farklı bir türü olan derin sinir ağları çok katmanlı yapıya sahiptirler. Katman sayısı arttıkça KSA eğitimi için gereken veri sayısı da artmaktadır.

2.3. Konvolüsyonel Sinir Ağları

Konvolüsyonel Sinir Ağlarının (KSA) mimarisi incelendiğinde ileri beslemeli bir ağ yapısına sahip olduğu görülmektedir. Bu yapılar ağırlık paylaşım işlemini gerçekleştirerek hesaplama yükünü azaltırlar. Aynı zamanda görüntü içerisindeki uzamsal yapıları kodlamak için de tasarlanmışlardır. KSA yapıları, yükseklik, genişlik ve derinlik olmak üzere üç boyutlu bir yapıya sahiptir. Konvolüsyon filtreleri sayesinde giriş görüntüsünden özellik haritaları üretilir.

KSA yönteminde karşılaşılan en büyük problemler aşırı uyum ve doğrusallıktır. Önerilen derin öğrenme modeli eğitim verilerinde başarısı yüksek, test verilerinde başarısı düşük ise model eğitim verilerine aşırı uyum göstermiş olur. Aşırı uyum probleminin önüne geçmek amacıyla havuzlama ve kaçınma katmanından yararlanır. Havuzlama katmanı özellik indirgemek amacıyla kullanılırken kaçınma katmanı önemli özelliklerin seçiminde kullanılmaktadır. Bu sayede eğitim ve test verilerini genelleyebilecek özelliklerin seçimiyle aşırı uyum probleminin önüne geçilmiş olur. KSA yapısı içerisinde aktivasyon fonksiyonları yerleştirilerek doğrusallık probleminin önüne geçilmiş olur (Öztürk vd. 2019).

KSA yapısının temel bileşenleri konvolüsyon, havuzlama, aktivasyon fonksiyonu, kaçınma ve tam bağlı katmanlardır. Konvolüsyon katmanında güncellenebilen görüntü filtreleri bulunur. Bu katmanda iki boyutlu konvolüsyon işlemi gerçekleştirilir. Çıktı olarak ise özellik haritaları elde edilir. Özellik haritasının sayısını kullanan konvolüsyon filtre sayısı belirler. Görüntü içerisindeki kenar bilgilerin elde edilmesi için sıfır dolgusu uygulanabilir. Özellik haritalarında bulunan önemli özelliklerin seçilmesi amacıyla havuzlama katmanından yararlanır. Maksimum ve ortalama havuzlama katmanı olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. Havuzlama katmanı özellik haritalarındaki belirli büyüklükteki pencereler içerisinde maksimum özelliği ve özelliklerin ortalamasını alarak farklı bir matrise aktarır. Aktivasyon fonksiyonları doğrusal olmayan fonksiyonlar içerir. Bu fonksiyonlar özellik haritalarına uygulanarak doğrusallık probleminin önüne geçilmiş olur. Kaçınma katmanı elde edilen özelliklerin gauss dağılımına bakılarak özelliklerin en önemlilerini bir sonraki katmana aktarır. Tam bağlı katmanlar içerisinde ağırlık ve bias değerleri ile tipik bir yapay sinir ağı modelini temsil eder. Son olarak ise sınıflama işlemi için yaygın olarak Softmax yapısı kullanılır. Softmax, olasılıksal sınıf tahminleyicisi olarak işlem yapar.

Konvolüsyon işlemi iki fonksiyon üzerinden gerçekleştirilir. t terimi zamanı, x(t) ifadesi ise elde edilen veriyi temsil ederse konvolüsyon işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S(t) = \int X(a)W(t-a)da \quad (1)$$

W(t) terimi ağırlıklandırma fonksiyonunu belirtir. Konvolüsyon işleminin diğer bir ifadesi ise şu şekildedir.

$$S(t) = (X * w)(t) \quad (2)$$

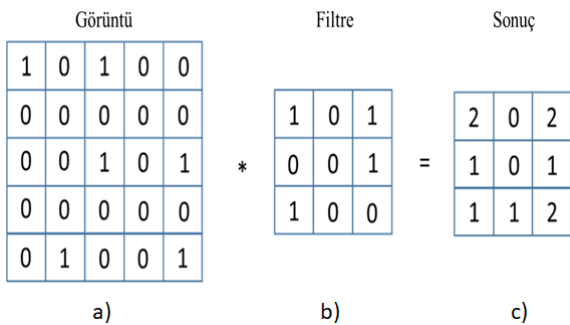
KSA mimarisinde Denklem 2’de bulunan x(t) ifadesi giriş, w(t) terimi de çekirdek ya da filtre matrisini temsil eder. S(t) ifadesi de konvolüsyon işlemi sonucunda elde edilen özellik matrisi adı verilir. t, zaman dizinini gösterir. Bu nedenle X ve W ifadeleri tam sayılardan oluşur.

$$S(t) = (X * W)(t) = \sum_{a=-\infty}^{\infty} X(a)W(t-a) \quad (3)$$

Makine öğrenmesi uygulamalarında giriş çok boyutlu bir dizi kümesinden oluşur. Konvolüsyon işleminde kullanılan çekirdek boyutları da dizi şeklindedir. Filtreler çok eksenlerde bir seferde konvolüsyon işlemini tamamlar. KSA girişi görüntüyü ifade eden iki boyutlu matris olduğundan kullanılan filtrelerde iki boyutludur.

$$S(i, j) = (I * K)(i, j) = \sum_m \sum_n I(i-m, j-n)K(m, n) \quad (4)$$

Şekil 2’de iki boyutlu konvolüsyon işleminde filtrenin görüntü üzerinde gerçekleştirdiği işlemi göstermektedir.



Şekil 2. a) 5×5 görüntü matrisi b) 3×3 filtre c) 3×3 sonuç matrisi

Makine öğrenmesinde konvolüsyon işlemi, seyrek gösterim, parametre paylaşımı ve kovaryans gösterimi olmak üzere üç temel fikir barındırır. KSA katmanları içerisinde her giriş birimi ile her çıkış birimi arasında farklı türde bir bağlantı içeren matris değişkenlerine sahiptir. Aynı zamanda KSA yapısı giriş görüntülerinin seyrek gösterimlerini elde edebilir. Kenar bilgilerinin daha belirgin bir şekilde elde edilebilmesi için işlem matrisi genişletilerek sıfır değeri eklenebilir. Bu işleme sıfır dolgu adı verilir.

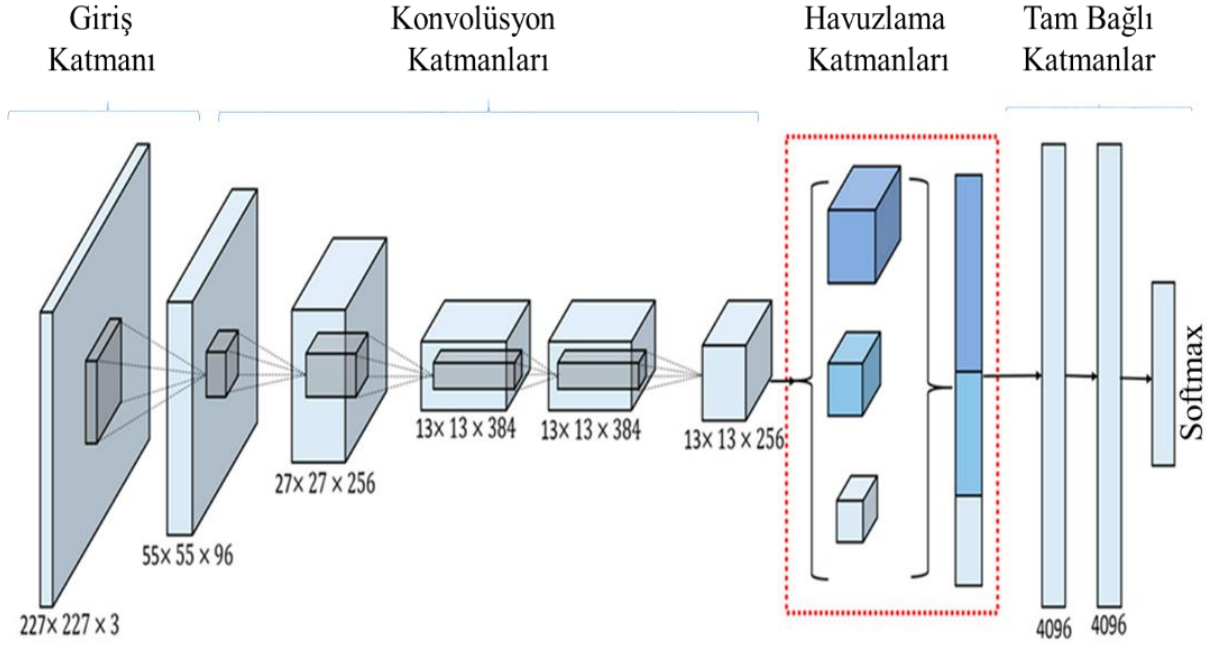
Görüntüler içerisinde milyonlarca piksel barındırabilir. Fakat içerisinde anlamlı bilgiler içeren daha küçük boyutlara sahip özellikler bulunur. KSA modeli kullanılarak bu özelliklerin elde edilmesi görüntülerin daha anlamlı bir şekilde ifade edilmesini sağlar. Aynı zamanda daha az bir bellek kapasitesi gerektirir. Tahmin edilmesi planlanan hedef çıktısının hesaplanmasında daha az süreye ihtiyaç duyulur.

Parametre paylaşımı, bir modelde birden fazla işlev için aynı parametrenin kullanılmasını ifade eder. Geleneksel bir sinir ağında, ağırlıklı matristeki her eleman bir katmanın çıktısını hesaplamak için kullanılır. Bu nedenle bir ağırlıklarının birbiri ile bağlantısı olduğu söylenebilir. Çünkü bir girdiyeye uygulanan ağırlığın değeri, parametre paylaşımında olduğu gibi başka bir yerde uygulanan ağırlığın değerine bağlı olarak değişir. Konvolüsyon işlemi tarafından kullanılan parametre paylaşımı, her bir konu için ayrı bir parametre seti öğrenmek yerine, sadece bir setin öğrenileceği anlamına gelir.

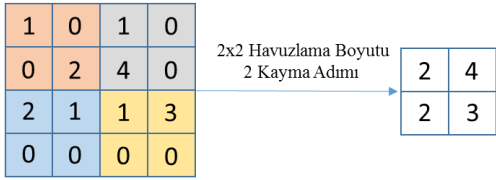
KSA oluşturan katmanlar içerisinde aktivasyon fonksiyonları da yer alır. Şekil 3’de olduğu gibi KSA’nın temel yapısında konvolüsyon katmanı, havuzlama katmanı ve tam bağlı katmanlar bulunmaktadır. K×K boyutları filtre boyutlarını, H×G×D boyutları ise görüntü boyutlarını ifade eder.

$$\frac{H+2P-K}{S} + 1 \quad (5)$$

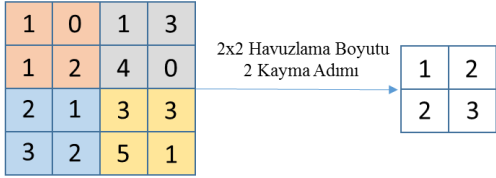
Havuzlama katmanı ile özellik haritalarındaki önemli özelliklerin seçimi gerçekleştirilir. Şekil 4’de bulunan maksimum havuzlama işlemi özellik haritasındaki 2×2 matrislerdeki maksimum değeri bir sonraki özellik matrisine aktarır. Sıklıkla tercih edilen havuzlama katmanları ortalama ve minimum havuzlama işlemi uygular.



Şekil 3. KSA Yapısına Bir Örnek



a) Maksimum Havuzlama



b) Ortalama Havuzlama

Şekil 4. a) Maksimum Havuzlama b) Ortalama Havuzlama

Havuzlama katmanı gerçekleştirdiği özellik seçim işlemi ile özellik matris boyutunu azaltarak parametre sayısını azaltır. Bu durum daha az bellek gereksinimi oluşturur. Havuzlama katmanı sonucunda oluşan özellik matrislerinin boyutu Denklem 6'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{H + 2P - T}{S} + 1 \quad (6)$$

Rektifiye Edilmiş Doğrusal Birim (REDB) KSA yapısında yaygın bir şekilde kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. $F(x) = \max(0, x)$ fonksiyonunu kullanarak işlem yapar. Sıfırdan küçük değerler REDB aktivasyon fonksiyonu ile sıfıra eşitlenir. Sıfırdan büyük değerler ise değerini korur.

Stokastik gradyan azalış optimizasyon algoritmasında REDB aktivasyon fonksiyonunun sigmoid ve tanh aktivasyon fonksiyonlarına kıyasla yakınsamayı önemli ölçüde hızlandırdığı tespit edilmiştir. Bu sonucun REDB fonksiyonunun doğrusal yapısından kaynaklandığı iddia edilmektedir. Yüksek işlem gerektiren tanh ve sigmoid ile karşılaştırıldığında REDB basit bir şekilde matristeki sıfırdan küçük elemanları sıfıra eşitleyebilir.

Tam bağlı katmanlarda belirli bir eşğin altındaki düğümlerin yok sayılması performansı arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu işlem kaçınma katmanı ile gerçekleştirilir. Kaçınma değeri 1'den küçük bir değerdir. Bu değer KSA yapısının uygulandığı probleme ve veri kümesine göre farklılık gösterir. KSA yapısında bulunan bütün kaçınma katmanları için aynı kaçınma değerinin kullanılması gerekli değildir.

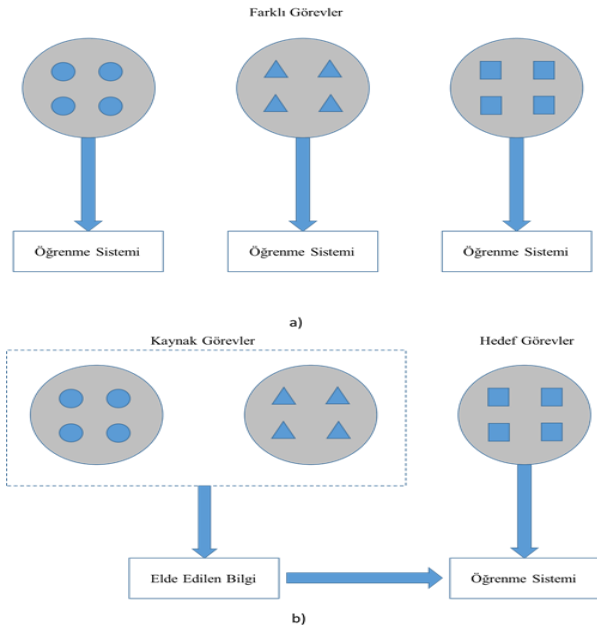
KSA yapısında bulunan Softmax bir sınıflandırıcı türüdür. Softmax, çok sınıflı bir lojistik regresyon analiz yöntemi olarak da değerlendirilebilir. Softmax içinde bulunan $1/\sum_j e^{\sigma_j}$ terimi veri dağılımını normalleştirir. Bu şekilde elde edilen değerlerin toplamı 1'e eşitlenir. Olasılık değerine bağlı olarak bir sınıflama işlemi gerçekleştirilir. Softmax'a giriş olarak verilen x verisindeki her değer için p ($y = j | x$) olasılığını tahmin etmesi istenir. Bu sayede her sınıf etiketi için farklı olasılık değerleri elde edilir.

Öğrenme işleminin sürdürülebilmesi için hata değerinin hesaplanması gerekir. KSA yapısındaki parametrelerin güncellenebilmesi için hata değeri Softmax kayıp fonksiyonu ile hesaplanmalıdır. Denklem 7'de Softmax kayıp fonksiyonu olarak ise çapraz entropi kayıp fonksiyonu kullanılmaktadır. L2 normu dediğimiz farklılıkların karesi, kayıp fonksiyonu olarak eğitim sırasında kullanılmıştır.

$$L_i = -\log\left(\frac{e^{f_{yi}}}{\sum_j e^{f_{ji}}}\right) \quad \text{veya} \quad L_i = -f_{y_i} + \log\left(\sum_j e^{f_{ji}}\right) \quad (7)$$

2.3. Transfer Öğrenmesi

Transfer öğrenmesi tekniği az sayıda veri bulunan problemlerin çözümü için kullanılmaktadır. Transfer öğrenmesi yöntemi, çok sayıda veri içeren farklı problemler için ön eğitilmiş KSA yapılarının parametreleri farklı problemler için başlangıç değeri olarak kullanılmasıdır. Çok veri ile eğitim gerçekleştirilen ön eğitilmiş KSA yapıları birçok problemin çözümünü genelleyecek yetenektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında araştırılan problem için kullanılacak veri sayısı yeterli olmadığından ön eğitilmiş KSA yapılarının parametreleri başlangıç değeri olarak kabul edilir. Sonrasında eğitim işlemi gerçekleştirilir. Şekil 5'te klasik makine öğrenmesi ve transfer öğrenmesi yöntemleri şematize edilmiştir.



Şekil 5. a) Klasik Makine Öğrenmesi b) Transfer Öğrenmesi

KSA tasarımından sonra ağ içerisindeki parametrelerin optimizasyonu gereklidir. Stokastik gradyan azalması ve adaptif momentyum algoritmaları sıklıkla tercih edilen optimizasyon algoritmalarıdır. Optimizasyon işleminde önemli parametrelerden biri de öğrenme oranıdır. Öğrenme oranı problemin çözümüne yakınsamak için kullanılan yaklaşma adımı olarak da ifade edilebilir. Öğrenme oranı büyük seçildiği takdirde KSA modeli, problemin çözümüne hızlı bir yakınsama gerçekleştirir. Yalnız öğrenme oranının büyük olması yakınsama hassasiyetini azaltır. Öğrenme oranının küçük olması durumunda ise KSA'nın problem çözümüne yakınsaması oldukça uzun süre alır. Diğer yandan ise ağı hassasiyeti artar. Bu nedenle öğrenme oranı ilk iterasyonlarda büyük

seçilirken sonraki iterasyonlarda kademeli olarak düşürülür. Adaptif bir öğrenme oranı ile hem daha kısa yakınsama süresi hem de yüksek yakınsama hassasiyeti elde edilmiş olur.

Çok derin yapıya sahip KSA'ların eğitimi için oldukça fazla miktarda etiketli veri gerekmektedir. Yüksek sayıda veri üretimi her problem için mümkün olmayabilir. Bu nedenler transfer öğrenimli ağların kullanımı tercih edilir. Transfer öğrenimli ağlar fazla miktarda veri ile çoklu sınıf için eğitim gerçekleştirilmiş KSA yapılarıdır. Bu ön eğitilmiş KSA yapıları diğer problemlerin çözümünü genelleyecek yeteneğe sahiptir. Uygun parametrelere sahip transfer öğrenimli KSA yapıları farklı problemlerin eğitim aşamasında başlangıç modeli olarak seçilir. Optimum parametrelere sahip bu yapılar yeni problemlerin çözümünü hızlı ve yüksek hassasiyetle yakınsatabilir. Aynı zamanda rastgele parametre dağılımı gösteren KSA yapıları ile yapılan eğitime göre daha az veriye ihtiyaç duyar.

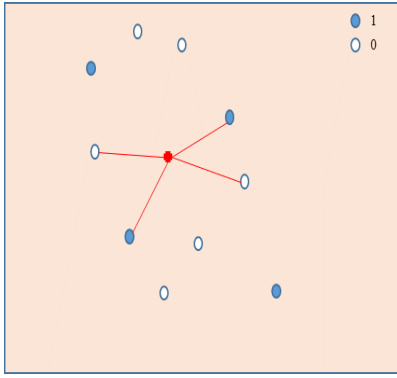
2.5. K-En Yakın Komşu Algoritması

K-En Yakın Komşu (K-EYK) Algoritması veri içerisindeki benzerlikleri kullanarak sınıflandırma işlemi yapar. Veri içerisinde gerçekleştirilen gözlemler birbirine komşuluk teşkil eder. Birbirine benzer verilerin komşulukları fazla olup benzer olmayan verilerin komşulukları azdır. Veriler arasındaki uzaklık miktarına göre komşulukları azalır. K-EYK algoritmasında komşuluk sayısına göre benzer sınıflara atama işlemi gerçekleştirilir.

K-EYK algoritmasında tekrarlayan sınıf değeri yerine ağırlıklı komşu seçimi de kullanılabilir. Denklem 8 kullanılarak veriler arasındaki ağırlığın tersi veya tersinin karesi ağırlık değeri olarak atanır. Sonrasında güncellenen ağırlık değerlerine göre kategori veya sınıf seçimi gerçekleştirilir. x_i eğitim işleminde kullanılan verileri temsil ederken x_q test işleminde kullanılacak verileri gösterir. Denklem 8 belirtilen ağırlık değerleri güncellenerek veriler en yakın komşu haline getirmek mümkündür (Cover vd. 1967).

$$W = \frac{1}{d(x_q, x_i)^2} \quad (8)$$

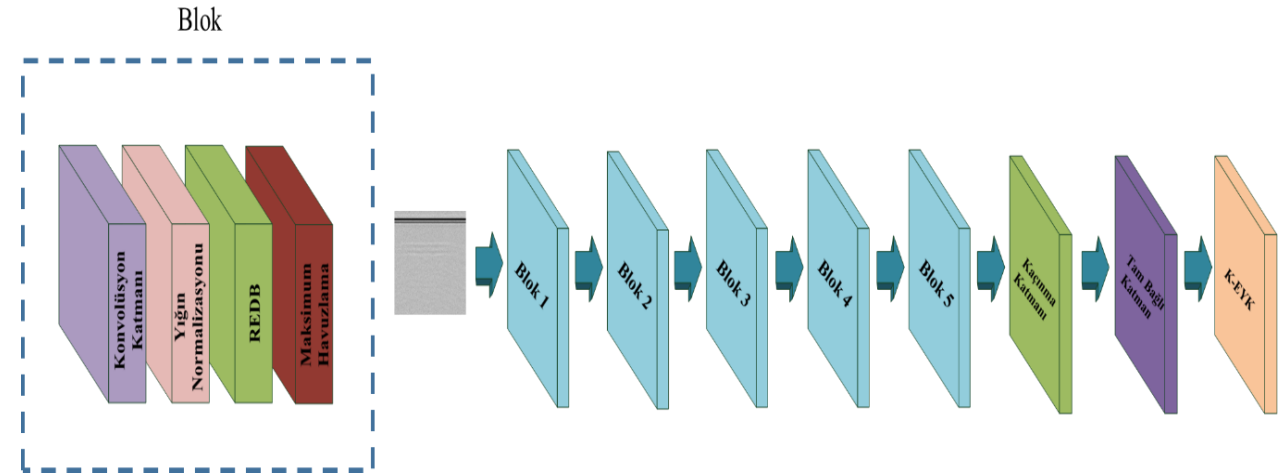
K-EYK algoritmasında n boyutlu özellik verilerini sınıflandırmak için en yakın komşu örneklerinden yararlanılır. Seçilecek k adet yakın komşu sayısının dikkate alınır. $k=1$ olması durumunda sınıflandırılmaya çalışılan veriler en yakın komşusu olduğu sınıfa atanır. Diğer bir deyişle k değişkeni kaç adet verinin sınıflandırmada dikkate alınacağını belirten sayıyı temsil eder (Cover ve Hart, 1967). Şekil 6'da $k=4$ değerine göre seçilen K-EYK algoritma sınıflaması bulunmaktadır.



Şekil 6. k=4 için K-EYK Algoritma Sınıflaması

2.6. Önerilen Yöntem

YNR B tarama görüntülerinin analizi için tasarlanan KSA yapısı mevcut veri sayısına göre



Şekil 7. Önerilen KSA Yapısı

Önerilen KSA yapısında bulunan Blok 1'de yer alan konvolüsyon katmanı 12 adet 3×3 boyutlarında filtreler içerir. Maksimum havuzlama katmanında ise havuzlama penceresi 3×3 boyutlarındadır. Blok 2, Blok 3 ve Blok 4'de yer alan konvolüsyon filtrelerin boyutları Blok 1'deki filtre boyutu ile aynıdır. Sadece filtre sayıları farklıdır. Blok 2'de 24 adet, Blok 3'de 36 adet ve Blok 4'de 48 adet konvolüsyon filtresi bulunmaktadır. Blok 5'de ise 3×3 boyutlarında 48 adet konvolüsyon filtresi bulunur. Maksimum havuzlama katmanındaki havuzlama penceresi 1×13 boyutlarındadır. Önerilen KSA yapısı karşılaştırmalı analizde kullanılan ön eğitilmiş ağırlara göre parametre sayısı oldukça azdır. Aynı zamanda yüksek bir performans göstermektedir.

3. BULGULAR

Önerilen KSA yapısı çerçevesinde 8505 adet YNR B tarama görüntüleri analiz edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz kapsamında metrik olarak doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve F-skoru seçilmiştir. Aynı zamanda önerilen KSA yapısının diğer ön eğitilmiş KSA yapıları ile birlikte karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Ön eğitim KSA yapıları

oluşturulmuştur. Önerilen KSA yapısında farklı özelliklere sahip blok yapısı bulunmaktadır. Blok yapısında farklı filtre sayısı ve kayma miktarına sahip 1 adet konvolüsyon katmanı bulunmaktadır. Konvolüsyon katmanından elde edilen özellik haritalarına yığın normalizasyonu uygulanmaktadır. Bir sonraki katman ise REDB'dir. REDB katmanı, KSA yapısının doğrusallığını gidermek amacıyla kullanılır. En son olarak farklı pencere boyutu ve kayma miktarına sahip olan maksimum havuzlama katmanı ile özellik haritasının boyutları azaltılır. Önerilen KSA yapısında 5 adet blok yapısı bulunmaktadır. Sonrasında 1 adet kaçınma katmanı ve tam bağlı katman bulunur. En son olarak ise K-EYK katmanı yer alır. Önerilen yöntem Şekil 7'de önerilen yöntem şematize edilmiştir.

olarak AlexNet, GoogleNet, VGG-16, ResNet-50, Inception V2 ve DenseNet-121 tercih edilmiştir. Bütün eğitim işlemleri Matlab 2019 b programında 16 GB RAM ile 2,8 GHz'de Intel Core i7-7700 HQ işlemci üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında YNR B tarama verilerinin %75'i eğitim aşaması için, %25 ise test aşamasında kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Bu çalışma YNR B tarama görüntü analizi için dört farklı metrik kullanılmıştır. Bu metrikler doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve F1 skorudur (Ruuska vd. 2018).

$$\text{Doğruluk} = (TP + TN) / (TP + FN + TN + FP) \quad (9)$$

$$\text{Keskinlik} = TP / (TP + FP) \quad (10)$$

$$\text{Duyarlılık} = TP / (TP + FN) \quad (11)$$

$$\text{F1 Skoru} = (2 \times TP) / (2 \times TP + FN + FP) \quad (12)$$

TP, TN, FP ve FN değerleri sırasıyla doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatiflerin sayıdır.

Tablo 1. Karşılaştırmalı Sonuçlar

KSA Modelleri	Metrikler (%)	YNR Çeşidi Tespiti	Tarama Frekansı Tespiti	Toprak Çeşidi Tespiti
AlexNet	Doğruluk	95.89	90.88	84.39
	Keskinlik	96.12	90.89	84.20
	Duyarlılık	95.79	91.92	84.57
	F1 Skoru	95.95	91.40	84.39
VGG-16	Doğruluk	96.84	94.54	93.00
	Keskinlik	96.97	94.73	92.49
	Duyarlılık	96.71	95.07	93.26
	F1 Skoru	96.84	94.90	92.87
GoogleNet	Doğruluk	96.36	94.08	90.54
	Keskinlik	96.61	94.29	89.14
	Duyarlılık	96.21	94.83	92.81
	F1 Skoru	94.41	94.56	90.94
InceptionNet V2	Doğruluk	94.94	90.92	86.28
	Keskinlik	94.76	91.04	85.27
	Duyarlılık	94.61	91.90	88.46
	F1 Skoru	94.68	91.47	86.84
ResNet-50	Doğruluk	96.21	92.58	81.46
	Keskinlik	96.07	92.70	80.36
	Duyarlılık	96.62	93.29	80.61
	F1 Skoru	96.35	92.99	80.48
DenseNet-121	Doğruluk	95.26	94.5	91.36
	Keskinlik	95.05	94.52	90.46
	Duyarlılık	95.45	95.22	91.11
	F1 Skoru	95.25	94.87	90.78
Önerilen Yöntem	Doğruluk	97.16	94.88	90.63
	Keskinlik	97.31	95.02	90.50
	Duyarlılık	97.04	95.49	90.83
	F1 Skoru	97.18	95.24	90.66

Tablo 1’de önerilen yöntem ve ön eğitilmiş KSA yapıları için elde edilen doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve F1 Skoru verilmiştir. YNR çeşidinin belirlenmesinde önerilen KSA yapısı %97.16 doğruluk, %97.31 keskinlik, %97.04 duyarlılık ve %97.18 F1 skoru ile en yüksek performansı göstermiştir. Çalışmada önerilen diğer ön eğitilmiş KSA yapılarına göre önerilen yöntemin gösterdiği performans daha yüksektir. Ön eğitilmiş KSA yapıları içerisinde VGG-16 modeli %96.84 doğruluk, %96.97 keskinlik, %96.71 duyarlılık ve %96.84 F1 skoru ile metrik değerleri ile en iyi performansa sahiptir. En düşük performans ise %95.89 doğruluk, %96.12 keskinlik, %95.79 duyarlılık ve %95.95 F1 skoru metrik değerleri ile AlexNet modeline aittir. YNR çeşidi tespitinde olduğu gibi önerilen KSA yapısı tarama frekansının tespitinde de en yüksek performansı elde etmiştir. Önerilen KSA yapısı ile elde edilen metrik değerleri %94.88 doğruluk, %95.02 keskinlik, %95.49 duyarlılık ve %95.24 F1 skoru şeklindedir. Tarama frekansı tespitinde VGG-16 modeli önerilen KSA modelinden sonra %94.54 doğruluk, %94.73 keskinlik, %95.07 duyarlılık ve %94.90 F1 skoru metrik değerleri ile en yüksek performansı göstermiştir. En düşük performans

AlexNet modeline ait olup %90.88 doğruluk, %90.89 keskinlik, %91.92 duyarlılık ve %91.40 F1 skoru metrik değerlerine sahiptir. Toprak çeşidinin tespitinde önerilen KSA yapısı VGG-16 ve DenseNet-121 modellerinden sonra en yüksek performansı elde etmiştir. Önerilen KSA yapısı ile elde edilen metrik değerleri %90.63 doğruluk, %90.50 keskinlik, %90.83 duyarlılık ve %90.66 F1 skoru şeklindedir. En yüksek performans gösteren VGG-16 modeli ise %93.00 doğruluk, %92.49 keskinlik, %93.26 duyarlılık ve %92.87 F1 skoru metrik değerlerine sahiptir. En düşük performans diğer görevlerde olduğu gibi %84.39 doğruluk, %84.20 keskinlik, %84.57 duyarlılık ve %84.39 F1 skoru metrik değerleri ile AlexNet modeline aittir.

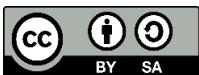
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada YNR B tarama görüntülerinin analizi için az parametreye sahip bir KSA modeli önerildi. YNR B tarama görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan YNR cihaz çeşidi, tarama frekansı ve toprak çeşidini belirlemek amacıyla önerilen KSA yapısının yanı sıra ön eğitilmiş KSA yapıları da değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı analiz çerçevesinde önerilen KSA modeli YNR cihaz çeşidi ve tarama frekansının tespitinde en yüksek performansı göstermiştir. Toprak çeşidinin belirlenmesinde ise diğer ön eğitilmiş KSA yapılarına yakın performans sergilemiştir. Aynı zamanda diğer ön eğitilmiş KSA modellerine göre daha az bir parametre sayısı ile bu performans metrik değerlerini elde etmiştir. Gelecekte gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalarda önerilen KSA modelinin performansının artırılması amacıyla concat yapıları ve uzun-kısa süreli bellek yapılarından yararlanılabilir.

KAYNAKÇA

- Benedetto A. ve Benedetto F. (2011). Remote Sensing of Soil Moisture Content by GPR Signal Processing in the Frequency Domain. *IEEE Sensors Journal*, 11 (10), 2432–2441.
- Cover T. M. ve Hart P. E., (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Trans Inf Theory*. 13(1), 21–7.
- El-Mahallawy M. S. ve Hashim M. (2013). Material Classification of Underground Utilities From GPR Images Using DCT-Based SVM Approach. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10 (6), 1542–1546.
- Frigui H., Ho K. C. ve Gader P. (2005). Real-time Landmine Detection with Ground-penetrating Radar Using Discriminative and Adaptive Hidden Markov Models. *EURASIP J. Adv. Signal Process*, 1867–1885.

- Gader P. D., Mystkowski M. ve Zhao Y. (2001). Landmine detection with ground penetrating radar using hidden Markov models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39 (6), 1231–1244.
- Gader P., Lee W. H. ve Wilson J. N. (2004). Detecting landmines with ground-penetrating radar using feature-based rules, order statistics, and adaptive whitening. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42 (11), 2522–2534.
- Hinton G. E., (2007). Learning multiple layers of representation. *Trends Cogn. Sci.*, 11 (10), 428–434.
- Kovalenko V., Yarovoy A. G. ve Lighthart L. P. (2007). A Novel Clutter Suppression Algorithm for Landmine Detection With GPR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45 (11), 3740–3751.
- Krizhevsky A., Sutskever I. ve Hinton G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 25, 1097–1105.
- Manandhar A., Torrione P. A., Collins L. M. ve Morton K. D. (2015). Multiple-Instance Hidden Markov Model for GPR-Based Landmine Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53 (4), 1737–1745.
- Öztürk, Ş., ve Akdemir, B. (2019). Cell-type based semantic segmentation of histopathological images using deep convolutional neural networks. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 29(3), 234-246.
- Öztürk, Ş., ve Akdemir, B. (2019). HIC-net: A deep convolutional neural network model for classification of histopathological breast images. *Computers & Electrical Engineering*, 76, 299-310.
- Pasolli E., Melgani F. ve Donelli M. (2009). Automatic Analysis of GPR Images: A Pattern-Recognition Approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47 (7), 2206–2217.
- Ruuska S., Hämäläinen W., Kajava S., Mughal M., Matilainen P. ve Mononen J. (2018). Evaluation of the confusion matrix method in the validation of an automated system for measuring feeding behaviour of cattle. *Behavioural processes*. 148, 56-62.
- Shihab S. ve Al-Nuaimy W. (2005). Radius Estimation for Cylindrical Objects Detected by Ground Penetrating Radar. *Subsurf Sens Technol Appl.*, 6 (2), 151–166.
- Singh N. P. ve Nene M. J. (2013). Buried object detection and analysis of GPR images: Using neural network and curve fitting. *2013 Annual International Conference on Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy*, 1–6.



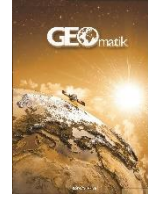
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Yapı Ruhsatlandırmadan Kat Mülkiyetine Giden Süreçlerin Dijitalleştirilmesi: Mevcut Durum Analizi ve Öneri

Doğuş Güler*¹, Tahsin Yomraloğlu¹

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

Anahtar Kelimeler

Yapı Ruhsatı
Yapı Kullanma İznini
Kat Mülkiyeti
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

ÖZ

Hızlı nüfus artışıyla birlikte yaşam alanlarındaki talebin karşılanması için birçok yeni yapı inşaatı yapılmakta ve mevcut yapılar yenilenmektedir. Arazi parsellerinde oluşan bu güncellemeler için yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi alınması zorunludur. Günümüzde yapı ruhsatı süreçleri genellikle iki boyutlu (2B) proje dosyaları veya kâğıt çıktıları kullanılarak manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Diğer bir yandan yapının tamamlanmasıyla ortaya çıkan kat mülkiyeti kavramıyla parsel üzerindeki cins değişikliklerine istinaden ulusal kadastro veri tabanının da güncellenmesi gerekmektedir. Mevcut durumda mülkiyet haklarının ve fiziksel bileşenlerinin 2B grafikler ile tam olarak betimlenememesinden kaynaklanan problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada Türkiye'deki yapı ruhsat ve kat mülkiyeti süreçlerinin daha nitelikli hale getirilebilmesi için Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri modellerinden faydalanılan bir iş çerçevesi önerisinde bulunulması amaçlanmıştır. İstanbul'daki ilçe belediyelerinin internet siteleri incelenerek yapı ruhsatı süreçlerinde dijital veri kullanımı ile ilgili değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları yapı ruhsatı süreçlerinin elektronik ve üç boyutlu (3B) dijital yapı modelleri kullanılarak gerçekleştirilmesine ilişkin olarak istenilen düzeyde olmadığını göstermektedir. Ancak dijital yapı ruhsatı süreçlerinin hayat geçirilebilmesi için özel ve kamu sektörü anlamında önemli bir potansiyel olduğu da göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda Türkiye'de ileriye dönük olarak üretilecek planlama ve stratejilerde kullanılabilecek bulgular aktarılmıştır.

Digitalization of Processes from Building Permit Issuing to Property Ownership: Current Situation Analysis and Proposal

Keywords

Building Permit
Occupancy Permit
Property Ownership
Building Information
Modelling (BIM)
Geographic Information
Systems (GIS)

ABSTRACT

Because of the rapid population growth, to meet the demand in the living spaces, many new buildings are being constructed and existing buildings are being renewed. Getting a building permit is mandatory for these updates that occur in the land parcels. Nowadays, the building permit processes are manually carried out by using two dimensional (2D) project files and paper outputs in general. On the other hand, the national cadastral database should be updated with respect to land-use conversions due to the property ownership notion that arises out of the completion of construction. Currently, there are problems related to this issue because property rights and their components cannot be accurately represented by using 2D graphics. In this context, this paper aims to propose a framework that benefits from data models formatted by using Building Information Modelling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) techniques in order to improve the building permit procedures in Turkey. The evaluation with regard to the use of digital data in building permit processes is carried out by examining the websites of municipalities in Istanbul, Turkey. The results show that building permit processes are not at the expected level with regards to electronic submission and the use of three dimensional (3D) digital building models. However, there is an important potential for achieving digital building permit procedures in terms of private and public sectors. In this direction, the findings that could be used for forward planning and strategies in Turkey are presented.

*Sorumlu Yazar

^{*}(gulerdo@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-3191-103X
(tahsin@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8532-747X

Kaynak Göster (APA)

Güler, D. & Yomraloğlu, T. (2021). Yapı Ruhsatlandırmadan Kat Mülkiyetine Giden Süreçlerin Dijitalleştirilmesi: Mevcut Durum Analizi ve Öneri. Geomatik, 6(2), 93-106, DOI: 10.29128/geomatik.705559

1. GİRİŞ

Son yirmi yıllık süre zarfında akıllı şehir (*smart city*) kavramı bilimsel literatürde ve uluslararası politikalarda oldukça popüler hale gelmiştir ve bu popülerlik de gün geçtikçe artmaktadır. Akıllı şehir; sürdürülebilir ve daha yeşil bir şehir yaratmak için ve yaşam kalitesini artırmak adına, rekabetçi ve yeniliğe açık şekilde yeni teknolojileri kullanarak insanları, bilgiyi ve şehir bileşenlerini birbirine bağlayan, yüksek teknolojiye adapte olabilen ve aynı zamanda gelişmiş bir şehir olarak tanımlanabilir (Bakici ark., 2013). Bununla birlikte akıllı şehirler öncelikle lokasyon, mekân ve diğer konumsal bilgileri yerel idarelere, vatandaşlara ve işletmelere onların aktivitelerini organize ederek ulaştıran konumsal olarak olanaklı (*spatially enabled*) şehir özelliğine sahip olmalıdır (Williamson ark., 2011).

Artan şehirleşme ve iklim değişikliği gibi etkenler hükümetleri vatandaşlarına daha yaşanabilir, nitelikli ve çevresel açıdan refah seviyesi yüksek bir yaşam ulaştırabilmek için karmaşık stratejilere adapte olmaya zorlamaktadır. Bu stratejiler yaşam alanıyla ilgili hizmetleri, altyapıyı ve çevresel unsurları içermektedir. Bu bakış açısıyla da şehirlere ilişkin akıllı sürdürülebilir kalkınma (*smart sustainable development*) önemli hale gelmektedir (Macke ark., 2019). Bu konuyla ilişkili olarak, yaşam alanlarında gerçekleştirilen yapı inşaatlarının kontrollü ve nitelikli olarak gerçekleştirilebilmeleri için kanun ve yönetmeliklerde belirtilen unsurlara ilişkin kontrollerin yapılması büyük öneme sahiptir.

Şehirlerdeki nüfus artışından dolayı birçok ülkede yeni yapıların inşa edilmesi için artan bir talep bulunmaktadır. Tüm bu inşaatlara başlanabilmesi için yapı ruhsatı (*building permit*) alınması zorunludur. Bu durumla ilişkili olarak yönetimler akıllı inşa edilmiş çevreyi (*smart built environment*) başarılı bir şekilde hayata geçirebilmek için yapı ruhsatı süreçlerinin iyileştirilmesinin yollarını aramaktadır. Çok sayıda düzenleyici birim hem yapı ruhsatı süreçlerinde hem de yapı kullanma izni süreçlerinde rol almaktadır. Bu nedenle bu süreçler özellikle büyük şehirlerde oldukça karmaşık hale gelmektedir. Yapı ruhsatı süreçleri yaygın olarak yapı tasarımının ve inşaat sürecinin yürürlükteki yasa, yönetmelikler ve imar planlarına uygun olup olmadığının kontrolünden oluşmaktadır. Ancak bu süreçler genellikle prosedürlerin şeffaf olmaması, fazlaca evrak işinin gerçekleştirilmesi ve yavaş inceleme yöntemlerinden kaynaklanan problemlere sahiptir (Malsane et al., 2015; Shahi et al., 2019).

Bu bağlamda, yapı ruhsatı süreçlerinin dijitalleştirilmesi ve otomatikleştirilmesi bahsedilen olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için son zamanlarda dikkat çeken araştırma konularından biri haline gelmiştir. Sözü edilen yaklaşım konumsal veri modellerinden ve uluslararası standartlardan yararlanılmasını içermektedir. Bu model ve standartlara dünya genelinde yaygın olarak

kullanılan CityGML ve IFC örnek olarak gösterilebilir (Macit İlal ve Günaydın, 2017; Noardo et al., 2019; Olsson et al., 2018). Bu anlamda Türkiye'deki yapı ruhsatı süreçlerinin iyileştirilmesi ve diğer ülkelerdeki gelişmelere adapte olunabilmesi büyük önem arz etmektedir. Yapı ruhsatı süreçlerinin otomatikleştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen bir literatür araştırmasında Türkiye'deki araştırmaların diğer ülkelere göre oldukça az olduğu saptanmıştır (Aydın ve Yaman, 2018).

Diğer bir yandan üç boyutlu (3B) şehir modellerinin üretilmesine yönelik dünya genelinde artan bir ilgi bulunmaktadır. Oluşturulan bu modeller yönetici ve karar vericilere enerji talebi tahmini, afet yönetimi ve vergilendirme ile gayrimenkul değerlendirme gibi birçok farklı konuda destek olmaktadır (Filip Biljecki et al., 2015). Bu durumla ilişkili olarak dijital kent modellerinin oluşturulması bağlamında özellikle metropollerdeki yapılar son on yıllık süre içerisinde yaygın bir şekilde 3B olarak betimlenmektedir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) firmaları yoğun bir şekilde yapıların yapı bilgi modellemesi (BIM) teknikleri kullanılarak 3B ve dijital olarak modellenmesiyle ilgilenmektedir. BIM, son yıllarda gösterdiği gelişmeyle modern AEC sektörü için vazgeçilmez bir iş süreci haline gelmiştir ve geleneksel bilgisayar destekli tasarımın (CAD) yerini almaktadır. Örneğin; yayımlanan bir rapora göre İngiltere'de BIM kullanımı 2011 yılında sadece %13 iken 2018 yılında bu oran %60'ın üzerinde bir artış göstererek %74'e çıkmıştır (NBC, 2018). Türkiye'de gerçekleştirilen bir araştırma sonuçlarına göre ise katılım gösterenlerin %54'ü projelerinde BIM kullandıklarını ifade etmişlerdir (BIMgenius, 2018). Bahsedilen istatistikler BIM'in kullanımının ve kazandığı önemin gittikçe artış gösterdiğine işaret etmektedir.

BIM iyi bir şekilde adapte edildiğinde, daha yüksek kalitede yapılar üreten bütünleşik tasarımı ve inşaat sürecini düşük maliyet ve azaltılmış proje süresiyle mümkün hale getirmektedir (Teicholz ark., 2018). BIM temelli üretilen modeller daha öncelerde sadece betimleme amacıyla üretilmelerine rağmen günümüzde yapılarla ilgili farklı analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla ve aynı zamanda kent veya ulusal ölçekteki konumsal veri altyapılarıyla entegrasyon için kullanılmaktadır. Böylece akıllı inşa edilmiş çevrenin dijital dönüşümü üretilen dijital ikiz (*digital twin*) şehirler aracılığıyla 3B kent modellerinden önemli ölçüde faydalanmaktadır. Bahsedilen modeller uzman görüşlerine ve kullanım amacına bağlı olarak değişik platformlarda farklı teknikler kullanılarak oluşturulmaktadır (Eriksson et al., 2020). Ancak günümüzde 3B kent modellerinin üretimi karmaşık yaşam alanlarında zorlu bir süreçtir. Bununla birlikte oluşturulan konumsal veri modellerinin güncel tutulması şehirlerde gerçekleşen çok sayıda değişiklik nedeniyle gün geçtikçe zorlu hale gelmektedir. Bu nedenle 3B kent modellerinin hem üretimine hem de güncel tutulmasına katkı sağlayacak iş akışları önem arz

etmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de 3B şehir modellerini içeren konumsal veri altyapılarını tam anlamıyla elde etmek için etkili iş çerçevelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir diğer önemli konu ise temel konumsal veri setlerinin oluşturulmasına, ekonomilerin dijitalleştirilmesine ve akıllı sürdürülebilir şehirlerin mümkün kılınmasına önemli katkı veren arazi idare sistemleridir (Rajabifard, 2014). Bu sistemlere ilişkin işlemler genellikle iki boyutlu (2B) ve kâğıt tabanlı kayıtlarla gerçekleştirilmekte ve parsellerin 2B dijital betimlemelerini olanaklı kılmaktadır. Ancak sosyal eşitsizlik, kentleşme ve dijital dönüşüm gibi toplumla ilgili gerçekleşen önemli olaylarla başa çıkabilmek için arazi idare sistemlerinin 3B taşınmaz birimlerinin kullanılması bağlamında yeniden yapılandırılmasına gereksinim duyulmaktadır (Kalogianni et al., 2020). Bu konuyla ilgili olarak literatürde birçok çalışma yer almaktadır (Aien et al., 2013; Ho et al., 2013; Rajabifard et al., 2018). Bu bağlamda karmaşık ve çok katmanlı yapılarıdaki mülkiyet haklarının dijital olarak gerçekçi ve detaylı olarak betimlenmesi ile kayıt altına alınması bir gereklilik haline gelmektedir. Bu dijital dönüşümün BIM teknikleriyle üretilen yapı modelleriyle gerçekleştirilmesi önemli bir seçenek olarak araştırılmaktadır (Oldfield et al., 2017). Literatürde Türkiye’deki arazi idaresi ve mülkiyet haklarının betimlenmesiyle ilgili çalışmalar da yer almaktadır (Alkan ve Polat, 2017; Çağdaş, 2013). Bu anlamda Türkiye’de 3B arazi idare sistemlerine ilişkin dönüşümün etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için faydalı iş çerçevelerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Aktarılan bilgilere göre yapı ruhsatı ve kat mülkiyeti süreçlerinin dijitalleştirilmesi dünyada yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Örneğin, yakın zamanda birçok Avrupa ülkesinden araştırmacının yer aldığı dijital yapı ruhsatı süreçleri için geliştirilecek araçların farklı ülkelerde test edilmesine yönelik bir ağ kurulmuştur (https://3d.bk.tudelft.nl/projects/eunet_bp/). Bu çalışmada da mevcut yapı ruhsatı ve kat mülkiyeti süreçlerinin Türkiye’de iyileştirilmesine yönelik bir yaklaşım önerisinde bulunulması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım dijital yapı modellerinin hem yapı ruhsatı süreçlerinde hem de mülkiyet haklarının temsilinde kullanılmasını içermektedir. Bunun yanı sıra inşa edilmiş diğer bir deyişle uygulanmış (*as-built*) dijital yapı modellerinin 3B şehir modellerinin güncellenmesinde de kullanılması yaklaşım önerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda Türkiye için önerilen yaklaşım yazarların bilgisine göre literatürdeki ilk çalışmalardan birisidir ve bu nedenle önemini arttırmaktadır. Yapı ruhsatı süreçlerinde dijital veri kullanımı bağlamında mevcut durumu incelemek adına yoğun inşaat işlerinin gerçekleştiği İstanbul ilinin ilçelerindeki belediyelerin internet siteleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda e-devlet (*e-government*) dijital dönüşümü kapsamında da ülkeye ekonomik ve işlevsel açıdan nitelik kazandıracığı düşünülen önerilerde bulunulmuştur.

2. ARAŞTIRMA ARKA PLANI

2.1. Yapı Ruhsatı ve Yapı Kullanma İzni Süreci

Bir arazi parselinde inşa edilecek her bir yapı projesi kanunlar ve yönetmeliklerle belirlenen şartları sağlamak zorundadır. Bu durumla ilişkili olarak Türkiye’de 3/5/1985 tarihli ve 3194 sayılı İmar Kanunu’nun 21. Maddesi’nde belirtildiği üzere tüm yapılar için belediyeler veya valiliklerden yapı ruhsatı (yapı ruhsatıyesi) alınması zorunlu kılınmıştır (T.C. Resmi Gazete, 1985). Bununla birlikte yine aynı maddede mevcut yapılarda gerçekleştirilecek değişiklikler için yapı ruhsatı alınması şartı konulmuştur. Ancak imar yönetmeliklerine göre belirtildiği şekliyle yapının taşıyıcı unsurunu etkilemeyen tamir ve tadilatlar için yapı ruhsatı alınması zorunluluğu bulunmamaktadır. Yapı ruhsatı alma şartları ise aynı kanunun 22. Maddesi’nde açıklanmıştır. Maddeye göre yapı ruhsatı alınabilmesi için belediyeler veya valiliklere eklerinde tapu, mimari, statik, elektrik ve tesisat projeleri ile kroki bulunan bir dilekçeyle başvurulması istenmektedir. Bu maddeyle birlikte yapı projelerinin sağlanması gereken şartlar İmar Kanunu ile 10/7/2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilat ve Görevlerini düzenleyen altıncı kısım üçüncü bölüm hükümlerine dayanılarak hazırlanan ve 3/7/2017 tarihinde 30113 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (T.C. Resmi Gazete, 2017, 2018). Tablo 1 yapı ruhsatı başvurusunda istenen temel belgeleri göstermektedir.

Tablo 1. Türkiye’de yönetmelik ve kanunlara göre yapı ruhsatı alınabilmesi için gerekli belgeler

Yapı Ruhsatı Alınabilmesi için Gerekli Belgeler	
Tapu	Mekanik Tesisat Projesi
Plan ve ÇAP Belgeleri	Elektrik Tesisat Projesi
İmar Durum Belgesi	Asansör Projesi
Aplikasyon Krokisi	İnşaat Sözleşmesi
Kot-Kesit Belgeleri	Muvafakatname
İnşaat İstikamet Rölövesi	Ruhsat ve Harç Ücretleri
Mimari Proje	Estetik Kurul Onayı
Yapı Aplikasyon Projesi	Müteahhit Belgeleri
Zemin ve Temel Etüdü Raporu	Şantiye Şefi Belgeleri
Statik Proje	Yapı Denetim Belgeleri
Peyzaj Projesi	Ruhsat ve Harç Ücretleri

İmar Kanunu’nda ayrıca yapı ruhsatı verilmesi için süre kısıtlamaları belirlenmiştir. Buna göre eğer belgelerde herhangi bir eksiklik veya yanlış bulunmuyorsa müracaat edilen kurum en geç otuz gün içerisinde yapı ruhsatı vermekle yükümlü kılınmıştır.

Yapı Ruhsatı
Başvurusuİnşaat Süreci ve
Yapı DenetimiProjenin İncelenmesi ve Yapı
Ruhsatı Oluşturulmasıİnşaatın Tamamlanması ve Yapı
Kullanma İzni Verilmesi**Şekil 1.** Türkiye’de yapı projeleri için ruhsat, inşaat ve izin süreci

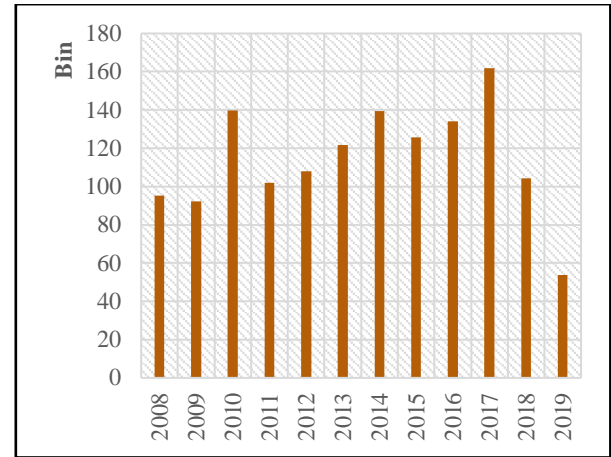
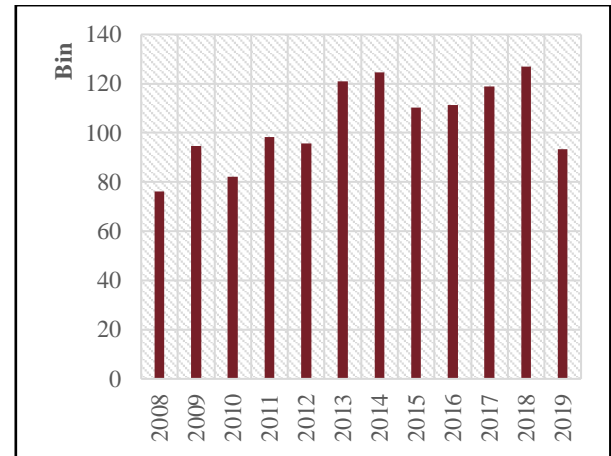
Eğer herhangi bir yanlışlık veya eksiklik bulunursa müracaat tarihinden en geç on beş gün içerisinde müracaat eden yetkiliye belirlenen eksiklik ve yanlışların bildirilmesi zorunlu kılınmıştır. Müracaat eden yetkiliye kendisine bildirilen yanlış ve eksikleri gidererek yaptığı yeni başvuru tarihinden itibaren on beş gün içerisinde yapı ruhsatı verilmesi gerekmektedir. Kanunda belirtilen şartlara göre yapılan başvurularda müracaat edilen kurum yapı projesini mimari, statik, elektrik, peyzaj ve mekanik bakımdan yetkili birimleri dâhilinde incelemekte ve yapı ruhsatı verilip verilmeyeceğine karar vermektedir. Eğer proje kanunda ve yönetmelikte belirtilen tüm şartları eksiksiz olarak sağlıyorsa yapı ruhsatı hazırlanmakta ve ruhsatın müracaat eden kişiye tesliminin ardından yasal olarak yapı inşaatının başlayabilmesi mümkün olmaktadır.

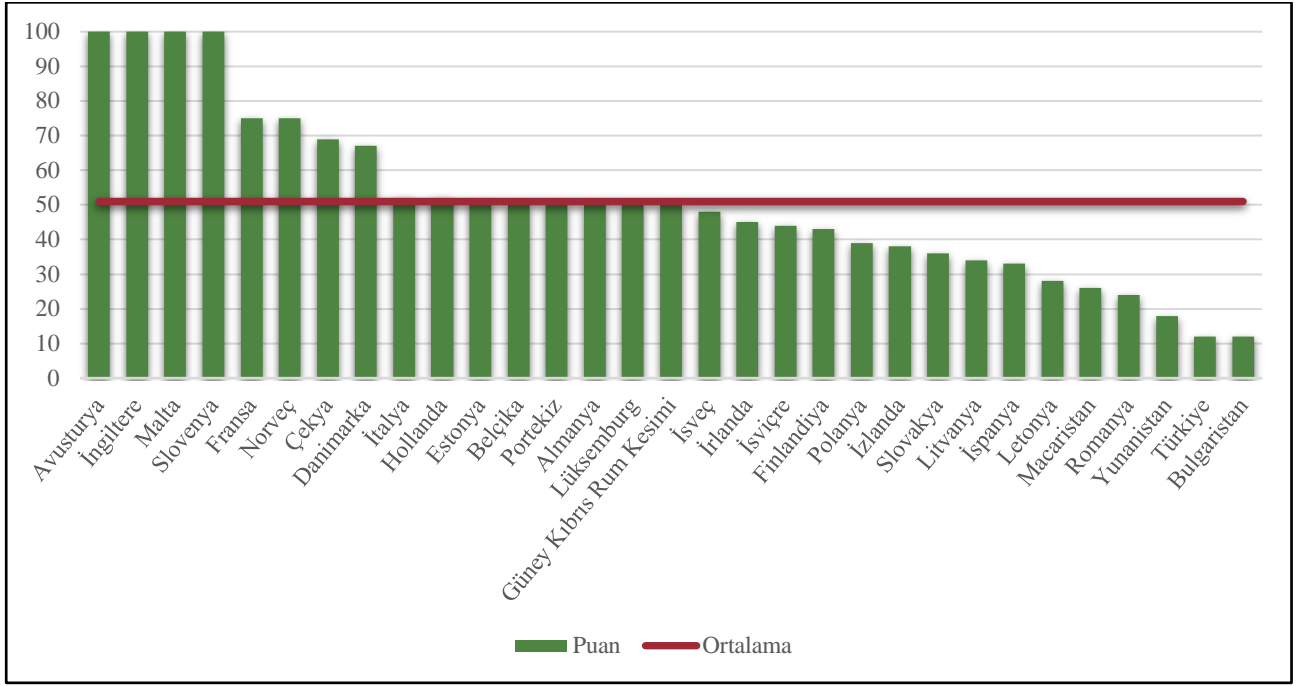
İnşaatın başlamasından sonraki süreçte 29/6/2001 tarihli ve 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun esaslarına göre her bir yapı projesi inşaatı süresince yapı ruhsatına göre inşa edilmediğine dair bağımsız yapı denetim kuruluşları tarafından denetlenmektedir (T.C. Resmi Gazete, 2001b). Bahsedilen yapı denetim kuruluşları eğer bir uygunsuzluk tespit ederse ilgili idarelere bilgi vermekle yükümlüdür. Yapı inşaatının tamamlanmasından sonraki süreçte İmar Kanunu’nun 30. Maddesi’nde belirtildiği üzere yapı kullanma izni alınması zorunludur. Yapı kullanma izni için yapılan müracaat kapsamında yapının ruhsat ve eklerine uygun olarak inşa edilip edilmediği incelenmektedir. Başvuru sürecinin en geç otuz gün içerisinde sonuçlandırılması gerekmektedir aksi halde yapının kullanılmasına izin verilmiş sayılmaktadır. Yapı kullanma izni bulunmayan yapılar İmar Kanunu’nun 31. Maddesi’ne göre elektrik, su ve kanalizasyon gibi kamu hizmetleri ile tesislerinden faydalanamazlar. Yapı kullanma izin belgesinin alınmasıyla birlikte yapı projesi sonuçlandırılmış olmaktadır. Şekil 1 Türkiye’de uygulanan yapı ruhsatı ve yapı kullanma iznine ilişkin temel işlem adımlarını göstermektedir.

Türkiye’de inşaat sektörü ülke ekonomisi açısından büyük bir paya sahiptir. Büyük kentlerin göç almasıyla birlikte artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için birçok yapı inşa edilmektedir (Tekin ve Atabay, 2019). Bunun yanı sıra depreme ve doğal afetlere karşı dayanıksız yapılar kentsel dönüşüm kapsamında yıkılarak aynı parselde yeni yapılar inşa edilmektedir. Tüm inşaat süreçlerinde yapı ruhsatı alınması gerekmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından paylaşılan istatistiklere göre

Türkiye’deki son on iki yıllık sürede oluşturulan yapı ruhsatı sayıları Şekil 2’de yer almaktadır (<https://biruni.tuik.gov.tr/yapiizin/giris.zul>).

Şekil 2’de görüldüğü üzere son on iki yılda oluşturulan toplam yapı ruhsatı sayısı herhangi bir yılda kırk binin altına düşmemiştir. Bununla birlikte 2010 ve 2014 yıllarında yüz kırk bine ulaşmıştır. 2017 yılında ise yüz altmış binin üzerinde yapı ruhsatı oluşturularak son on iki yılın en yüksek rakamına ulaşılmıştır. 2018 ve 2019’da ise bir gerileme görülmektedir. Şekil 3’de ise son on iki yıllık süre zarfında Türkiye genelinde oluşturulan yapı kullanma izin belgelerinin sayıları yer almaktadır. Son on iki yıl içerisinde sadece 2008 yılında seksen binin altında yapı kullanma izin belgesi oluşturulmuştur. 2018 yılına doğru yükselen bir grafik görülmektedir.

**Şekil 2.** Yıllara göre Türkiye’de oluşturulan yapı ruhsatı sayıları**Şekil 3.** Yıllara göre Türkiye’de oluşturulan yapı kullanma izin belgesi sayıları



Şekil 4. AB ülkelerinin yapı ruhsatı süreci değerlendirme puanları (Capgemini, 2007)

Yapı ruhsatı sayısından farklı olarak 2018 yılında son on iki yılın en yüksek rakamına yüz yirmi binin üzerine çıkılarak ulaşılmıştır. Her iki şekilden de anlaşılacağı üzere Türkiye’de yapı ruhsatı süreçleri gerçekleştirilen kamu hizmetleri arasında önemli bir yere sahiptir. Türkiye’deki yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesiyle ilgili kanun ve yönetmeliklerde başvuru ve inceleme sürecinin hangi veri formatları kullanılarak yürütüleceğine dair ayrıntılı bir esas yer almamaktadır. Bu nedenle başvurular yaygın olarak kâğıt çıktısı veya kompakt disk (CD) olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte projelerin uygunluğunun incelenmesi genellikle manuel olarak gerçekleştirilmektedir.

Avrupa ülkelerindeki mevcut yapı ruhsatı ve yapı kullanma izni süreçleri Türkiye’deki süreçle benzerlikler taşımaktadır. Mevcut duruma ilişkin yapılan değerlendirme sonuçlarına dayanarak proje alanındaki komşulara danışma gibi bazı adımlar Türkiye’deki mevcut süreçte yer almamaktadır.

Avrupa ülkelerinde benzer olarak yer alan temel yapı ruhsatı süreci adımları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Meijer ark., 2002; Meijer ve Visscher, 2017; Noardo ark., 2019);

- Ön danışma,
- Yapı ruhsatı başvurusu,
- Proje alanındaki komşular ve diğer vatandaşlara danışma,
- Başvuru değerlendirmesi ve yönetmelik uyumluluğu kontrolü,
- Planlama kararının verilmesi,
- İnşaatın başlaması,
- İnşaat süresince proje sahasında denetim yapılması,
- İnşaatın tamamlanması ve ilgili idarelere durumun bildirilmesi,
- Sonuç incelemesi,

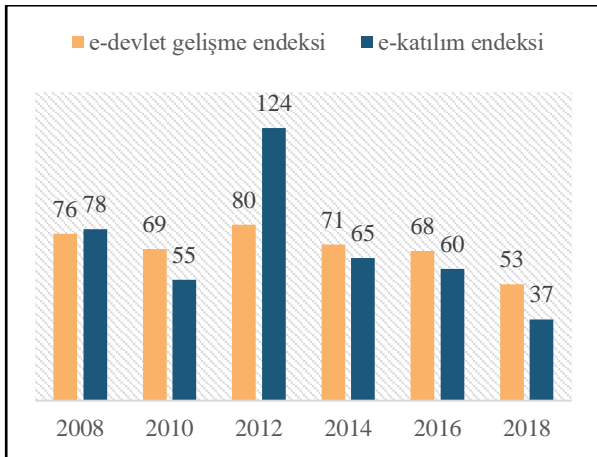
- Yapı kullanma izni verilmesi ve sürecin tamamlanması.

Avrupa ülkelerinde de yapı ruhsatı sürecinin iyileştirilmesi gerektiği düşüncesi yaygın olarak yer almaktadır. Bununla bağlantılı olarak en önemli gelişmelerden birisi 2002 yılında Avrupa Birliği (AB) tarafından açıklanan ve kamu hizmetlerinin daha etkin şekilde gerçekleştirilebilmesi için elektronik sistemin kullanılmasını öneren eylem planıdır. Plan, AB ülkelerinin bir an önce çevrimiçi sistemleri kullanıma almalarını vurgulamaktadır. 2005 yılında yeni bir eylem planı yayımlanarak e-devlet sistemlerinin yaygınlaşması ve zenginleştirilmesi amaçlanmıştır (Commission of the European Communities, 2002, 2006).

Mevcut durumda AB tarafından yayımlanan son e-devlet eylem planı 2016-2020 yıllarını içermektedir (European Commission, 2016b). 2016 yılında AB tarafından yayımlanan değerlendirme raporuna göre ülkelerin e-devlet sistemine geçişte büyük gelişme kaydettikleri aktarılmıştır (European Commission, 2016a). Bu bağlamda AB aday ülkesi olarak Türkiye 2001 yılında bahsedilen projeye davet edilmiştir. Bu gelişmeyle birlikte Türkiye’de e-dönüşüm ile ilgili olarak acil eylem planları hazırlanarak proje hedeflerine ulaşılması için çalışmalar yapılmıştır. Ülkelerin mevcut yapı ruhsatı süreçlerini değerlendiren ve 2007 yılında yayımlanan rapora göre AB ülkeleri ve aday ülkelerin ortalaması %51 olurken Türkiye %12 puanla Bulgaristan ile son sıralarda yer almıştır (Şekil 4). Bu çalışma 2020 itibarıyla yapı ruhsatı süreçlerinin AB ve aday ülkeler kapsamında değerlendirilen, ulaşılabilir, en güncel istatistiki çalışmadır. İstatistikler oluşturulurken ülkeler, yapı ruhsatı sürecinde bilgilendirici bir internet sitesine sahip olup olmadığı, başvuruların elektronik olarak yapılıp yapılmadığı ve başvuru takibinin

çevrimiçi olarak yapıлып yapılamadığına dair değerlendirilmiştir. Bahsedilen istatistik gerçekleştirildiği zamana göre fikir vermektedir.

Birleşmiş Milletler (UN) tarafından 2003 yılından itibaren ülkelerin e-devlet dönüşümünde hangi aşamada olduklarını değerlendirmek adına “e-devlet gelişme endeksi” (*E-Government Development Index*) ve “e-katılım endeksi” (*E-Participation Index*) sıralamaları yayımlanmaktadır (United Nations, 2018). Şekil 5’de yer alan son on yıldaki istatistiklere göre Türkiye e-devlet gelişme endeksi sıralamasında 76. sıradan 2018 yılında 53. sıraya yükselmiştir. Benzer şekilde e-katılım endeksi sıralamasında ise 2008 yılında 78. sıradayken 2018’de 37. sırada yer almıştır. Bahsedilen istatistikler kesin bir ölçüden ziyade ülkeleri mevcut durumlarına göre birbirleriyle karşılaştırmaktadır. İstatistiklerden, Türkiye’de e-devlet dönüşümü kapsamında önemli gelişme kaydedildiği ve e-devlet sisteminin vatandaşlar tarafından benimsediğine dair bir sonuca varılabilir. Günümüzde Türkiye’de 2016-2019 yıllarını içeren “Ulusal e-Devlet Strateji ve Eylem Planı” uygulanmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2016).



Şekil 5. Türkiye’nin yıllara göre e-devlet gelişmişliği ve kullanımına göre sıralaması

2.2. Kat Mülkiyeti Süreci

Türkiye’de arazilerin kullanımı ve düzenlenmesi anayasaya göre yürütülmektedir. Yapılan düzenlemeler sonucunda taşınmazların ölçülmesi ve kaydı ise Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) tarafından gerçekleştirilmektedir. 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu’nun 683. maddesinde mülkiyet hakkının içeriği tanımlanmıştır (T.C. Resmi Gazete, 2001a). Maddede hukuk düzeninin sınırları içerisinde olmak kaydıyla herhangi bir şeye malik olan kimsenin o şey üzerinde istediği şekilde kullanma, yararlanma ve tasarrufta bulunma hakkına sahip olduğu belirtilmiştir. Yine aynı kanunun 704. maddesinde ise taşınmaz mülkiyetinin konusu olarak aşağıdaki unsurlar aktarılmıştır;

- Arazi,

- Tapu kütüğüne ayrı bir sayfaya kaydedilen sürekli ve bağımsız haklar,
- Kat mülkiyeti kütüğüne kayıtlı bağımsız bölümler.

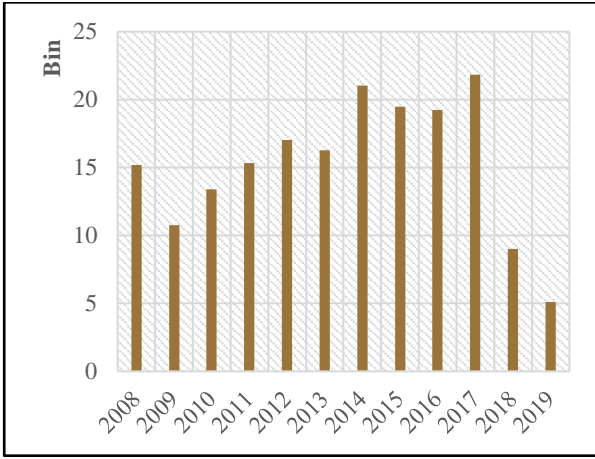
Türkiye’de kadastro 2B ve parsel tabanlı olarak TKGM tarafından 3402 sayılı Kadastro Kanunu ve 5304 sayılı Kadastro Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun hükümlerine göre yürütülmektedir (T.C. Resmi Gazete, 1987, 2005). Birçok hakkın ve kısıtlamanın 2B olarak grafiksel temsili kayıt altına alınmaktadır. Bununla ilişkili olarak Türkiye’deki mülkiyet bilgilerinin etkin ve işlevsel şekilde yönetilmesi için “Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi (TAKBİS)” kullanılmaktadır. Coğrafi/Arazi Bilgi Sistemi anlayışıyla çalışan sistem sayesinde taşınmazların bilgisayar ortamında hızlı ve güvenilir olarak takibi ile kontrolü sağlanmaktadır.

Bununla birlikte dünyada gerçekleştirilen 3B kadastro çalışmalarının gerisinde kalınmaması ve 2B grafiksel temsillerin mülkiyet haklarını yansıtmakta yetersiz kalmasından dolayı TKGM tarafından “3 Boyutlu Şehir Modelleri ve Kadastro Projesi” başlatılmıştır. Projeye ait ön model olarak Ankara Gölbaşı ilçesi pilot bölge seçilerek modellemeler yapılmış ve internet üzerinden kullanıcılara sunulmuştur (<http://3dtest.tkgm.gov.tr:44444/>). Türkiye’de tamamlanan yapıların farklı bölümleri üzerinde bağımsız mülkiyet haklarının kurulması 634 sayılı Kat Mülkiyeti Kanunu hükümlerine göre gerçekleştirilir (T.C. Resmi Gazete, 1965). Kanunun 10. maddesinde belirtildiği üzere tapu tescilinde elektronik ortamda düzenlenen ve ilgili idare onaylı mimari proje planlarının kullanılması vurgulanmaktadır. Yine aynı maddede arazi parseline ilişkin cins değişikliği işlemlerinde tescil bildirimini yapı kullanma izin belgesini düzenleyen kuruma iletildiği ve ilgili kurumun yapı kullanma izin belgesi ve ek belgelerini tapu müdürlüğüne elektronik ortamda göndereceği aktarılmaktadır.

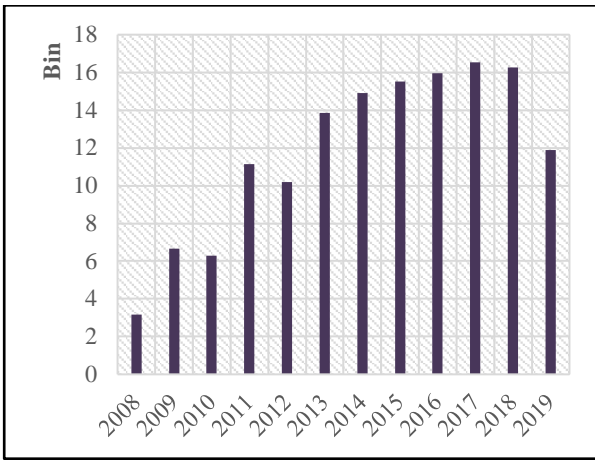
3. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde Türkiye’deki yapı ruhsatı işlemlerinde dijital veri kullanılmasıyla ilişkili mevcut süreçle ilgili bir değerlendirme yapmak adına ülkedeki en yüksek yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi payına sahip İstanbul ili seçilmiştir. Gerçekleştirilen işlem büyüklüğünü anlamak için TÜİK istatistiklerine göre İstanbul’da son on iki yılda oluşturulan yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi sayıları Şekil 6 ve Şekil 7’de yer almaktadır.

Şekil 6’de görülebileceği üzere oluşturulan yapı ruhsatı sayısında Türkiye genelinde olduğu gibi 2018 ve 2019 yıllarında bir düşüş yaşanmıştır. Şekil 7’de ise 2008 yılından itibaren oluşturulan yapı kullanma izin belgeleri sayısında büyük bir artış gözlemlenmektedir.



Şekil 6. Yıllara göre İstanbul'da oluşturulan yapı ruhsatı sayıları



Şekil 7. Yıllara göre İstanbul'da oluşturulan yapı kullanma izin belgesi sayıları

Dünya'da yapı ruhsatı süreçlerinin iyileştirilmesi ve daha etkili hale getirilmesi için büyük çaba harcanmaktadır. Manuel olarak başvuru belgelerinin incelenmesi yerine başvuru işlemlerinin çevrimiçi (*online*) olarak internet siteleri üzerinden gerçekleştirilmesi ülkelerin kamusal hizmetlerin dijitalleştirilmesi sürecinde amaçladıkları işlemlerden birisidir. Bu sistemin gelişmiş hali ise proje dosyalarının 3B olarak sisteme yüklenerek daha işlevsel yapı ruhsatı sürecine sahip olmaktır. Bu sayede kanun ve yönetmeliklerde belirtilen koşulların kontrolü daha gerçekçi ve anlaşılır şekilde yapılabilmektedir. Bu anlamda İstanbul'daki 39 ilçe belediyesinin internet sitesi incelenerek yapı ruhsatı ve yapı kullanma izni süreci dijital veri kullanımı ve elektronik başvuru açısından değerlendirilmiştir. TÜİK istatistiklerinden faydalanılarak hazırlanan, ilçelerin son beş yılda oluşturdukları yapı ruhsatı ve yapı kullanım izin belgesi sayıları Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir.

Şekil 8 ve Şekil 9'da görülebileceği üzere sırasıyla Esenyurt, Sancaktepe ve Küçükçekmece ilçeleri en fazla yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi oluşturulan ilçeler olmuştur. Adalar ilçesi her iki belgeyi en az üreten ilçe olmuştur. Güngören ve Beşiktaş ilçeleri en az yapı ruhsatı oluşturan diğer

ilçelerdir. Yapı kullanma izin belgesi oluşturmada Adalar ilçesini Beykoz ve Beşiktaş ilçeleri izlemektedir.

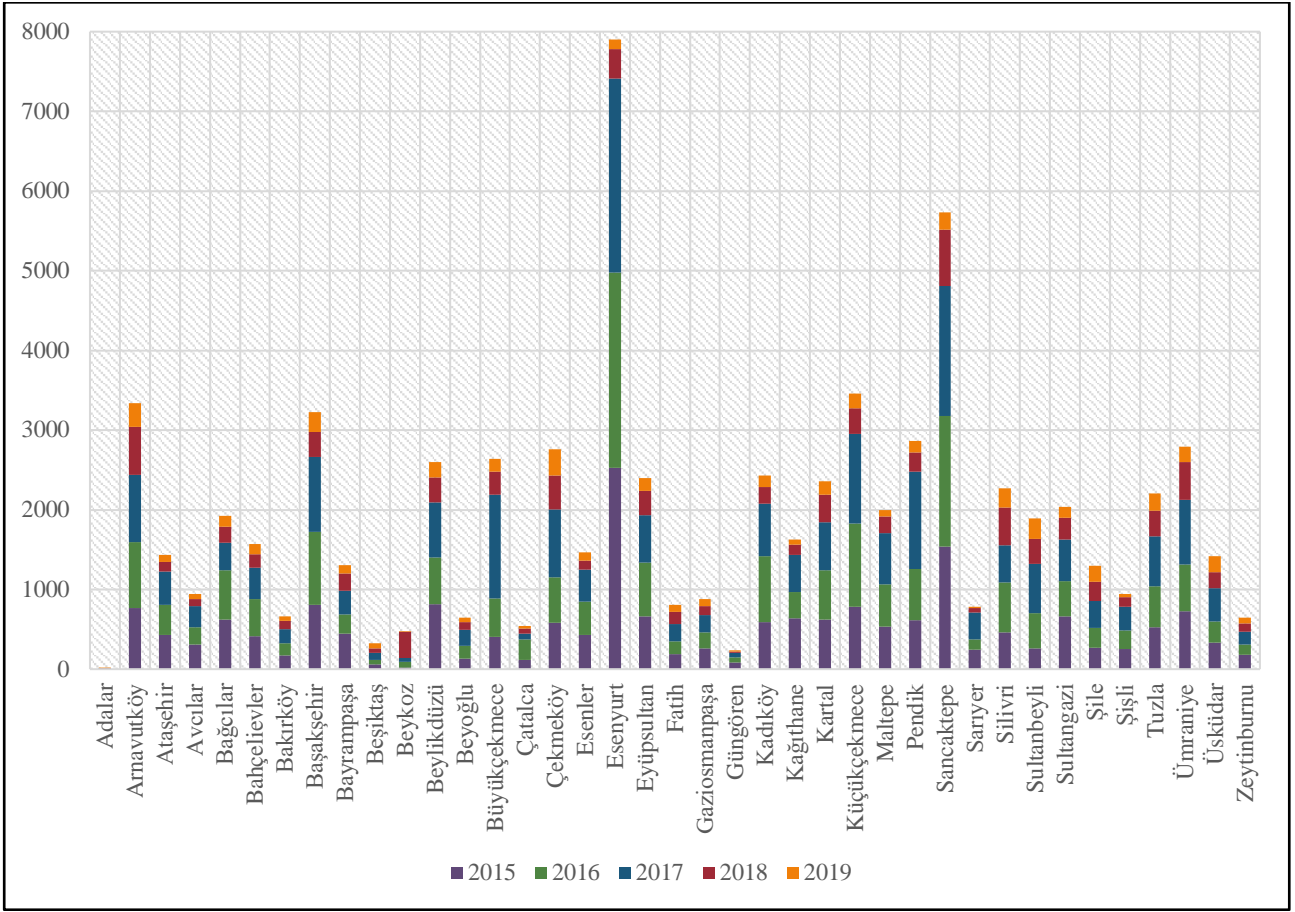
Sürecin değerlendirilmesi aşağıdaki başlıklar altında yapılmıştır;

- Yapı ruhsatı ve yapı kullanma izni sürecinde hangi işlemler internet sitesi üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilebilmektedir?
- Yapı ruhsatı alınması için belirtilen süre kaç gündür?
- Yapı kullanma izin belgesi alınması için belirtilen süre kaç gündür?
- Proje dosyası için istenen belirli bir dosya formatı bulunmakta mıdır?
- Proje dosyası 3B veri olarak istenmekte midir?

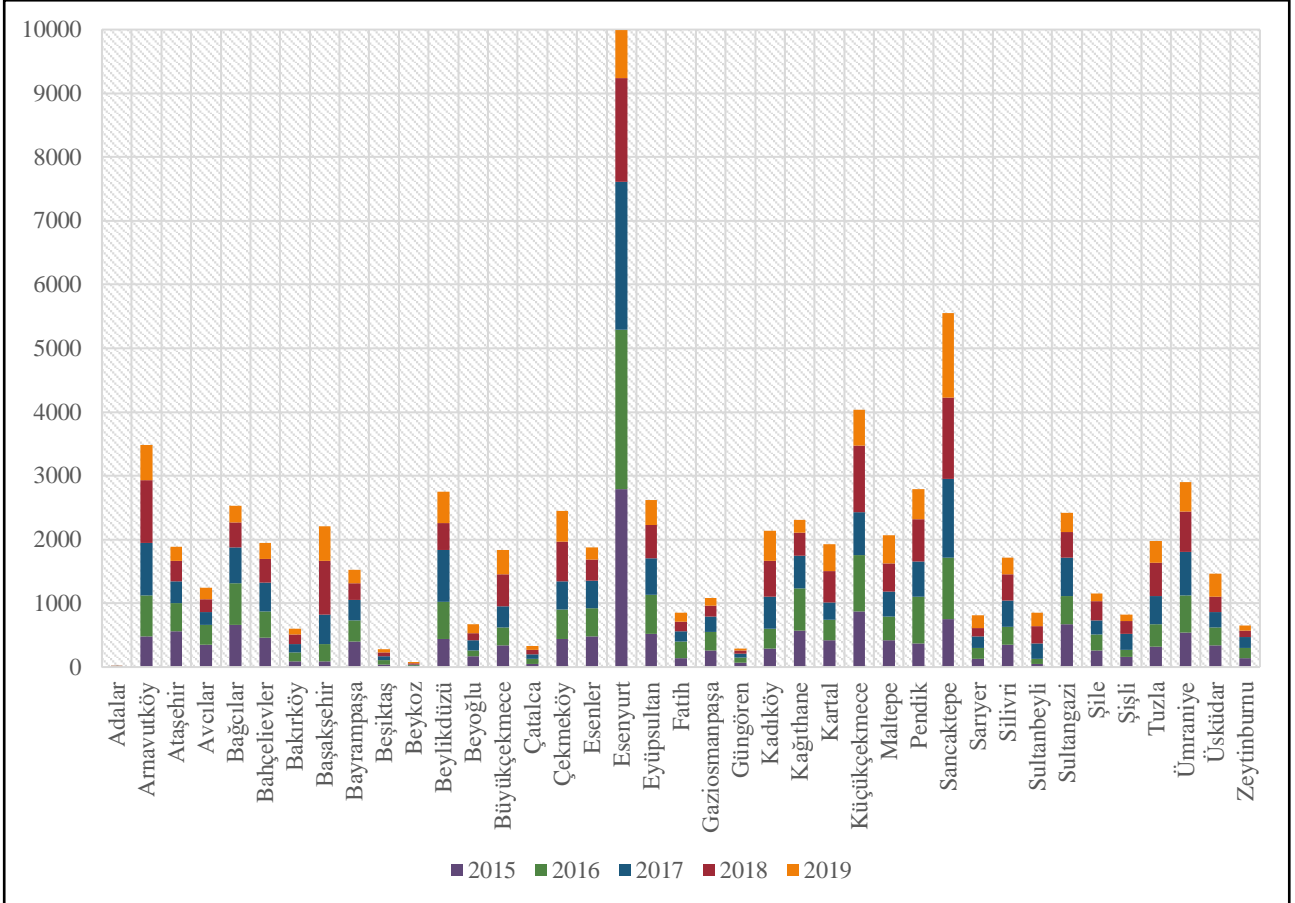
Tüm ilçe belediyelerine ait internet siteleri incelenerek yukarıda bahsedilen başlıklara ilişkin Tablo 2 oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilebilen çevrimiçi işlemler bakımından 39 ilçeden 25'inin imar durum bilgisini sorgulama ve görüntüleme işlemini internet siteleri üzerinde sağladıkları görülmüştür.

Gaziosmanpaşa ve Pendik belediyelerinin yapı ruhsatı başvuru sürecini hızlandırmak ve iyileştirmek adına aynı internet sistem altyapısını kullanarak imar durumu bilgisinin görüntülenmesinin yanı sıra gerekli belgelerden olan inşaat istikamet ve kot kesit belgeleri taleplerinin çevrimiçi alınmasını ve aynı zamanda yapı ruhsatı başvurusunun da sisteme yüklenen belgelerle yapılabilmesini sağladıkları gözlemlenmiştir. Tüm belediyeler içerisinde yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi başvuru sürecinin çevrimiçi olarak yapılabilmesini Bağcılar ve Beylikdüzü belediyelerinin sağladığı gözlemlenmiştir. Sürecin otomatikleştirilmesi için önemli bir yere sahip olan projelerin dosya formatına dair herhangi bir belediyenin özellikli bir format istemediği görülmüştür. Aynı zamanda 3B veriler kullanılarak gerçekleştirilebilen gelişmiş yapı ruhsatı süreci için incelenen başlığa ilişkin olarak herhangi bir belediyenin internet sitesinde gerekli proje verilerinin 3B olup olmayacağına dair bilgiye ulaşılabilmiştir. Sürecin değerlendirilmesine dair diğer başlıklardan ikisi sürecin süreleriyle ilgilidir. Bu anlamda Adalar belediyesinin diğer kurumlardan istenen belgeler dolayısıyla daha geniş zaman aralığına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ilçe belediyelerinin yapı ruhsatı sürecinin hızlandırılması için kendi bünyelerinde hizmet standartları belirledikleri görülmüştür. Bu durumla ilişkili olarak diğer belediyelerin İmar Kanunu'nda belirtilen yasal sürelerin altında zaman aralığında yapı ruhsatı süreçlerini tamamlamayı amaçladıkları açıkça görülmüştür.



Şekil 8. Yıllara göre İstanbul ilçelerinde oluşturulan yapı ruhsatı sayıları



Şekil 9. Yıllara göre İstanbul ilçelerinde oluşturulan yapı kullanım izin belgesi sayıları

Tablo 2. İstanbul ilçe belediyelerinin internet sitelerine göre yapı ruhsatı süreçleri bakımından değerlendirilmesi

Belediye	Gerçekleştirilebilen Online İşlemler	Yapı Ruhsatı Süresi (Gün)	Yapı Kullanma İzin Belgesi Süresi (Gün)	İstenen Proje Veri Formatı	3B Veri İsteniyor Mu?
Adalar	-	60	90	-	Hayır
Arnavutköy	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	15	-	-	Hayır
Ataşehir	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	7	-	-	Hayır
Avclar	-	20-30	5	-	Hayır
Bağcılar	İmar Durumu, İnşaat İstikamet ve Kot Kesit Belgeleri Talepleri, Yapı Ruhsatı ve Yapı Kullanma İzin Belgesi Başvuruları	-	-	-	Hayır
Bahçelievler	-	20	15	-	Hayır
Bakırköy	-	10	7	-	Hayır
Başakşehir	-	10	10	-	Hayır
Bayrampaşa	-	-	-	-	Hayır
Beşiktaş	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Beykoz	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Beylikdüzü	İmar Durumu, İnşaat İstikamet ve Kot Kesit Belgeleri Talepleri, Yapı Ruhsatı ve Yapı Kullanma İzin Belgesi Başvuruları	-	-	-	Hayır
Beyoğlu	-	-	-	-	Hayır
Büyükçekmece	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Çatalca	-	-	-	-	Hayır
Çekmeköy	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	10-30	30	-	Hayır
Esenler	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Esenyurt	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	15	15	-	Hayır
Eyüpsultan	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Fatih	-	-	-	-	Hayır
Gaziosmanpaşa	İmar Durumu, İnşaat İstikamet ve Kot Kesit Belgeleri Talepleri, Yapı Ruhsatı Başvurusu	-	-	-	Hayır
Güngören	-	20	15	-	Hayır
Kadıköy	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	15	7-30	-	Hayır
Kâğıthane	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Kartal	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Küçükçekmece	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Maltepe	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Pendik	İmar Durumu, İnşaat İstikamet ve Kot Kesit Belgeleri Talepleri, Yapı Ruhsatı Başvurusu	30	10	-	Hayır
Sancaktepe	-	-	-	-	Hayır
Sarıyer	-	-	-	-	Hayır
Silivri	-	-	-	-	Hayır
Sultanbeyli	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Sultangazi	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	15	-	Hayır
Şile	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	-	-	-	Hayır
Şişli	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	21	-	-	Hayır
Tuzla	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	14	3	-	Hayır
Ümraniye	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	15	7	-	Hayır
Üsküdar	İmar Durumu Bilgisi Görüntüleme	15	30	-	Hayır
Zeytinburnu	-	-	-	-	Hayır

4. TARTIŞMA VE ÖNERİ

Bu çalışmada kentlerin geçirdiği değişimde önemli rol oynayan inşa edilmiş çevrenin (*built environment*) bileşeni olarak inşa edilen yeni yapılara ait ruhsat süreçleri Türkiye'deki durumun iyileştirilmesine katkı sağlamak amacıyla değerlendirilmiştir. Yapı ruhsatı süreçlerinde 3B dijital yapı modellerinin kullanılmasının istenilen

düzeyde olmadığı görülmüştür. Yakın zamanda resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Strateji ve Eylem Planı” içerisinde Türkiye’de dijital yapı modellerinin yapı ruhsatı süreçlerinde ve tesis yönetiminde kullanılmasına değinilmiştir. Bu gelişme 3B dijital yapı modellerinin kullanımıyla ilgili araştırmaların önemini arttırmaktadır. Dünya genelinde geleneksel yapı ruhsatı süreçlerinin yeteri kadar işlevsel ve

şeffaf olmadığı görüşü hâkimdir. Bu nedenle sürecin otomatikleştirilmesi ve meydana çıkabilecek eksiklerin ortadan kaldırılması için inşaat ve tasarım dünyasında yaygın şekilde kullanılan BIM modellerinden faydalanılması etkin bir yol olarak görülmektedir (Mouloud et al., 2019).

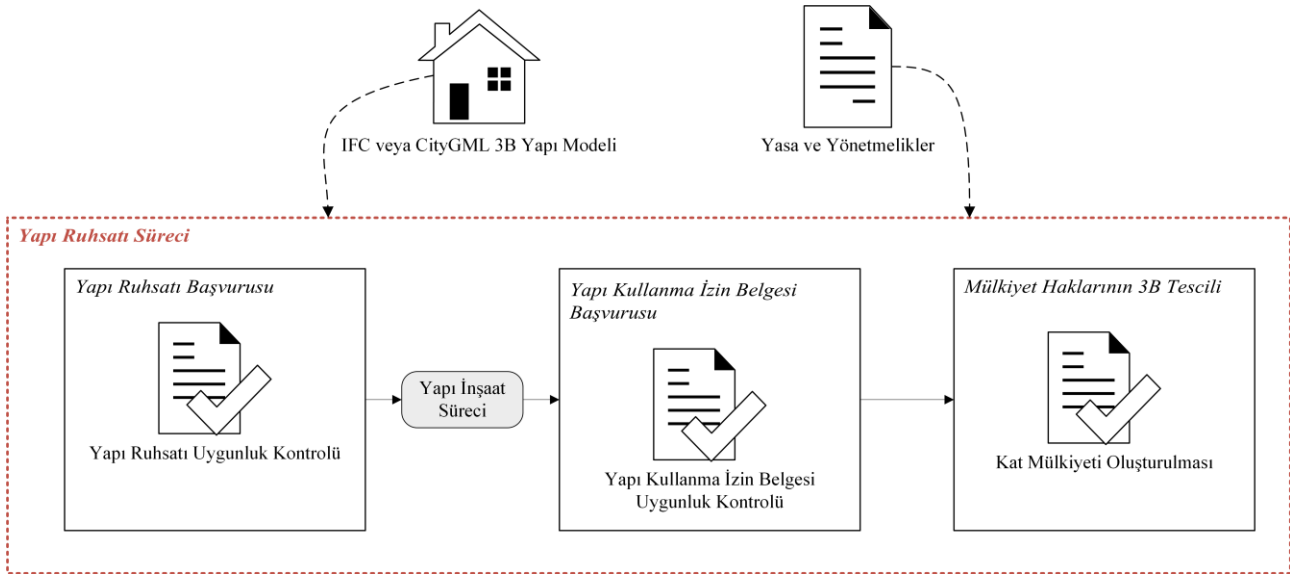
Geleneksel yapı ruhsatı sürecinde yapının tasarımı 3B olarak BIM kullanılarak üretilmesine rağmen istenen proje belgeleri kâğıt çıktıları veya taratılmış PDF belgeleri olarak istenebilmektedir. Bu durum süreci sekteye uğratabilmektedir. Geleneksel sürecin ilerlemiş versiyonu ise yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi başvurularının elektronik ortamda gerçekleştirilmesinden oluşmaktadır. Kamu hizmetlerinin dijitalleştirilmesinde amaçlanan hizmetlerden biri de yapı ruhsatı süreçlerinin elektronik ortamda gerçekleştirilmesidir. AB ülkeleri bu amaca ulaşmak için somut adımlar atmakta ve ilerlemeler kaydetmektedir. Yine aynı şekilde Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Kanada’da şehir yönetimleri yapı ruhsatı sürecinin elektronik olarak gerçekleştirilmesi için yeni projeleri hayata geçirmektedir (Shahi ark., 2019).

Dünyada BIM tabanlı olarak yapı ruhsatı sürecini 2000li yılların başında hayata geçiren ve yıllar geçtikçe geliştiren ülke Singapur’dur. Mevcut durumda diğer ülkelerinde ayak uydurmasıyla birlikte IFC formatlı dosyalar kullanılarak yapıların yönetmeliklere uygunluklarının otomatik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanmakta bu da sürecin ilerlemiş bir diğer versiyonunu oluşturmaktadır (Nawari, 2018). Diğer önemli bir konu ise yönetmeliklerde belirtilen gürültü seviyesi ve yapının inşa edileceği parselin altında herhangi bir engelleyici yapı olup olmadığının tespiti gibi durumların sadece BIM ile anlaşılmasının oldukça zor olmasıyla ilişkilidir. Çünkü BIM, yapıları çok detaylı olarak semantik ve grafiksel açıdan modellemeye imkân sağlarken şu anki durumda kentler gibi büyük alanların modellenmesinde istenilen etkililiğe sahip değildir. Kentlerin modellenmesi için konumsal veri modellerinden faydalanılmaktadır. Günümüzde 3B kent modellerinin oluşturulması için yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş standart CityGML’dir. Standart, farklı tematik alanlara sahip olarak kentlerin 3B modellenerek çeşitli uygulamalarda kullanılmalarına olanak tanımaktadır (Liu et al., 2017).

Akıllı şehirlerde gerçekleşen olaylara daha hızlı ve somut tepkiler verilebilmesi için ayrıntılı konumsal modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu şekilde inşa edilmiş çevrenin etkin şekilde yönetilebilmesi mümkün olmaktadır. Eğer yapı ruhsatı süreçlerinde BIM modelleri kullanılırsa bu verilerin CityGML’e dönüştürülmesiyle 3B şehir modellerinin güncelliğinin sağlanmasına katkı verilebilir (Noardo et al., 2019). Son on yıllık süre içerisinde BIM ve CBS veri modellerinin arasındaki iki taraflı dönüşüm için çok fazla çaba sarf edilmiştir. Çünkü her iki modelleme ortamı da birbirlerine destek olucu birtakım özellikler barındırmaktadır.

Örneğin; CBS kullanılarak elde edilen geniş kapsama alanına sahip kent modelleri kullanıldığında yapıların çevrelerindeki diğer kent bileşenleriyle ilişkilerinin kurulabilmesi mümkün olmaktadır. Diğer yandan, BIM kullanılarak oluşturulan ayrıntılı yapı modelleri sayesinde kent modellerindeki yapıların daha yüksek detay seviyesinde ve daha gerçekçi olarak konumsal veri tabanlarında saklanabilmesi olanaklı olmaktadır. BIM ve CBS arasındaki dönüşüm araştırmaları genellikle IFC ve CityGML arasında gerçekleştirilmektedir. Bunun en önemli sebebi olarak bahsedilen iki standardın da yazılımdan bağımsız olmasıdır. Bu sayede farklı sistemler ve çalışma ortamları arasında birlikte çalışılabilirlik sağlanabilmektedir. Eğer belirli yazılımın kullandığı veri formatı kullanılarak dönüşüm yapılırsa bu durum format uyumsuzluğunu meydana getirecek ve uyumluluk sorunları oluşturabilecektir. Bununla birlikte farklı kullanıcılar tarafından bu iki dosya formatının yaygın olarak kullanılması diğer bir etken olarak gösterilebilir (Deng et al., 2016).

Şimdiye kadar literatürde yer alan çalışmalar farklı metodolojiler ile IFC ve CityGML arasında tek taraflı veya iki taraflı dönüşümleri gerçekleştirilmeye çalışılmıştır ancak şu anda tam anlamıyla kesintisiz dönüşüme ulaşılamamıştır. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri IFC’nin yapısal katı geometri (CSG) ve sınır betimleme (B-rep) modelleme anlayışlarını desteklerken, CityGML’in sadece B-rep anlayışıyla modellemeye imkân tanınması gösterilebilir. CityGML’in yakın zamanda yayımlanması beklenen yeni versiyonunda CSG modellemeye destek vereceği ön izleme sürümüyle birlikte öğrenilmiştir. Bu durum iki veri formatının daha nitelikli dönüşümüne destek olacaktır (Biljecki ve Tauscher, 2019). Yapıların yönetmeliğe uygunluğunun kontrolü BIM modellerinin CityGML formatına dönüştürülmesiyle de gerçekleştirilebilir. Bu sayede sadece uygunluk kontrolü elde edilmiş olmayacak aynı zamanda 3B ulusal konumsal veri tabanının da güncel tutulması sağlanabilecektir. Yapı ruhsatı verilmesinden sonra başlayan inşaat sürecinde yapının projesinde bazı değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu değişikliklerin yönetmeliğe uygunluğunun kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bahsedilen süreçte IFC ve CityGML modellerinin kullanılması hem zaman hem de işlevsellik açısından fayda sağlayacaktır. İnşaatın tamamlanmasının ardından yapının inşa edilmiş halini temsil eden güncel uygulanmış model (*as-built model*) elde edilmiş olacaktır. Bu aşamadan sonra arazi parselinde gerçekleşen cins değişikliğinin kadastro veri tabanına aktarılmasıyla mülkiyet haklarının güncel tutulması sağlanmaktadır (Atazadeh et al., 2019).



Şekil 10. Türkiye'deki yapı ruhsatı süreçlerine yönelik iyileştirici iş çerçevesi

2B çizimlerin ve grafik gösterimlerin karmaşık ve çok katmanlı yapılara sahip günümüz yaşam alanlarında mülkiyet haklarının sınırlarının betimlenmesinde yetersiz kaldıkları görülmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan 3B kadastro kavramını gerçeğe dönüştürmek için önerilen çözümlerden biri taşınmaz üzerindeki sahiplik haklarının CityGML standardı kullanılarak modellenmesi olmuştur. Daha yakın zamanda mülkiyet haklarının ve fiziksel bileşenlerinin BIM modelleri kullanılarak 3B olarak kayıt altına alınması önerilmiştir (Atazadeh ark., 2017). Hollanda ve Avustralya'da IFC veri formatı kullanılarak taşınmazlarda paydaşların mülkiyet haklarının daha etkin şekilde yönetilebileceği örneklenmiştir. Bu durum yapı ruhsatı sürecinde kullanılan 3B tasarım modellerinden faydalanılmasıyla ortaya bütünleşik bir sistem önerisinin çıkmasını sağlamıştır (Oldfield et al., 2018). Tasarımcılar tarafından oluşturulan gerçekçi ve detaylı 3B modellerin hem yapı ruhsatı süreçlerinde hem 3B güncel konumsal veri tabanı tutulmasında hem de 3B kadastro uygulamalarında kullanılabilmesi etkin bir iş sürecini mümkün kılmaktadır.

Çok sayıda yeni inşaatın gerçekleştiği Türkiye'de 3B modellerin yapı ruhsatı süreçlerinde kullanılması e-devlet dönüşümde Avrupa ülkeleri arasında istatistiklere göre ortalamanın üzerinde gelişmelere sahip mevcut sistemin daha da gelişmesine ve işlevsel hale getirilmesine olumlu katkı yapacaktır. Bunun yanı sıra tüm ülke kapsamında elde edilen 3B kent modellerinin güncel tutulması zaman ve ekonomik açıdan oldukça zor olmaktadır. Eğer yapı ruhsatı süreci sonucunda elde edilecek 3B yapı modelleri CityGML formatına dönüştürülüp konumsal veri tabanına aktarılabilirse neredeyse anlık olarak güncellik sağlanabilecektir. Diğer önemli bir konu ise köklü bir geçmişe sahip ülke kadastrasının bulunduğu mevcut konumdan daha da ileri seviyeye getirilmesiyle ilgilidir. Tüm dünyada gerçekleştirilen 3B kadastro çalışmaları

ışığında kat mülkiyeti kurulumlarının 3B yapı modellerinin gerekli birimlere iletilmesi ve mülkiyet haklarının doğru betimlendiğinin onaylanmasıyla kadastro veri tabanının güncel ve doğru tutulması sağlanabilecektir. Şekil 10'da yapı ruhsatı süreçlerinin daha nitelikli hale getirilmesi için önerilen kavramsal iş akışı yer almaktadır. Şekilden de görülebileceği üzere yapı ruhsatı başvurusunun 3B dijital yapı modelleriyle gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Yapı tasarımları çoğunlukla 3B olarak üretilmesine rağmen 2B kâğıt çıktıları veya PDF belgeleri başvurularda kullanılmakta, mevcut detay seviyesinden faydalanılamamaktadır. Diğer bir önemli nokta ise dünyadaki otomatik yapı ruhsatı kontrolü çalışmalarından Türkiye'de de yararlanılması amacıyla yürürlükteki yasa ve yönetmeliklerin bilgisayarların anlayabileceği formata dönüştürülerek kontrol sürecinin otomatikleştirilmesidir. Kullanılan 3B dijital yapı modelleri inşaat sürecinde güncellenebilmektedir ve bu sayede uygulanan inşaata ilişkin gerçek model elde edilebilmektedir. Bu model kullanılarak 3B şehir modellerinin güncellenmesi mümkün olabilecektir. Gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra arazi parselinde gerçekleşen dönüşüm dijital olarak kent veri tabanına aktarılabilir. Yapı kullanma izni alınmasından sonraki süreçte yapılardaki mülkiyet haklarının temsili yine bahsedilen uygulanmış modeller yardımıyla gerçekleştirilebilecektir. Böylelikle yeni inşa edilen binaların 3B kadastro uygulamaları için yeniden ölçümlerine ve modellenmelerine gerek kalmayacak ve iş yükü açısından önemli bir fayda sağlanacaktır. 3B arazi idaresi dönüşümü için kadastral veri tabanlarının güncel tutulması büyük önem taşımaktadır. Bahsedilen yaklaşımla bu dönüşümün hayata geçirilmesine katkı verilebilir.

5. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışmada günümüzdeki karmaşık ve çok katmanlı birçok yeni yapının inşa edilmesiyle birlikte geleneksel yapı ruhsatı ve kat mülkiyeti süreçlerini daha işlevsel hale getirmek için uygulanabilecek bir iş akışı çerçevesi önerilmesi amaçlanmıştır (Şekil 10). Bu doğrultuda Türkiye’deki yapı ruhsatı süreçlerinin öncelikle çevrimiçi başvuru sistemine yönelik olarak geliştirilmesi ve ardından IFC veya CityGML gibi veri formatları kullanılarak proje dosyalarının sisteme yüklenip kontrol edilmeleri şeklinde bir planlama faydalı olabilecektir. Birçok önemli ve işlevsel e-devlet projesini hayata geçirerek AB ülkeleriyle karşılaştırıldığında kayda değer seviyeye ulaşılan Türkiye’de yapı ruhsatı süreçlerinin de daha etkin hale getirilmesiyle önemli ve sıkça kullanılan bir kamu hizmetinin üst düzey seviyeye çıkarılması sağlanabilecektir. Bu tür değişimler kullanıcılar tarafından iyi bir şekilde anlaşılmalı ve benimsenmelidir. Bunun sağlanması içinde farklı paydaşlarla iş birliği içinde olunması birlikte çalışılabilirliğin sağlanmasına katkı verecektir. Gerçekleştirilmesi gereken yasal düzenlemelerle sektörlerin yeni sürece uyum sağlaması daha hızlı sağlanabilir. Bu anlamda izlenecek yol haritası ülkelere göre farklılık gösterebilir. Bazı ülkeler için tepeden aşağı (*top-down*) yaklaşım daha etkili olabilmektedir. Bu yaklaşımda ilgili sektörler 3B yapı modellerini kullanmaya zorlanmaktadır ve bu şekilde ülkedeki sektörlerde köklü bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bir diğer yaklaşımda ise AEC sektörü firmalarının yapı ruhsatı süreçlerinde dijital yapı modellerinin kullanılmasına ne kadar hazır oldukları incelenerek geçiş süreci bu bağlamda kurgulanmaktadır. Kat mülkiyeti süreçlerini daha etkili hale getirmek için BIM gibi kavramların kullanılması Dünya’da yeni araştırılan bir konudur. Türkiye’de bu konuyla ilgili fizibilite araştırmaları yapılması ve sürecin nasıl daha sağlıklı şekilde geliştirilebileceğinin anlaşılması ileriye dönük olarak büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda gelecek çalışmalarda Türkiye’de yapılara ait mülkiyet haklarının BIM ile 3B modellenmesi ve internet yardımıyla sunulması planlanmaktadır. Planlanan diğer bir çalışma ise önerilen yaklaşıma ilişkin olarak Türkiye’deki ilgili yasa ve yönetmeliklerin bilgisayarlar tarafından anlaşılabilir formata dönüştürülerek yapı ruhsatı süreçlerinin otomatikleştirilmesine katkı sağlamaktır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu makale İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Geomatik Mühendisliği bölümünde yürütülen “Akıllı Kentlere Yönelik Kat Mülkiyeti Süreçlerinin Dinamik Yönetimi İçin CBS-Tabanlı Entegre Bir Modelin Geliştirilmesi (e-KATBİS)” başlıklı doktora tezinden üretilmiştir. Çalışma İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje Numarası: MDK-2019-42092).

KAYNAKÇA

- Aien, A., Kalantari, M., Rajabifard, A., Williamson, I. ve Bennett, R. (2013). Utilising data modelling to understand the structure of 3D cadastres. *Journal of Spatial Science*, 58(2), 215–234. <https://doi.org/10.1080/14498596.2013.801330>
- Alkan, M. ve Polat, Z. A. (2017). Design and development of LADM-based infrastructure for Turkey. *Survey Review*, 49(356), 370–385. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1180777>
- Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A. ve Ho, S. (2017). Modelling building ownership boundaries within BIM environment: A case study in Victoria, Australia. *Computers, Environment and Urban Systems*, 61, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.09.001>
- Atazadeh, B., Rajabifard, A., Zhang, Y. ve Barzegar, M. (2019). Querying 3D Cadastral Information from BIM Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(8), 329. <https://doi.org/10.3390/ijgi8080329>
- Aydın, M. ve Yaman, H. (2018). Bina Enformasyonu Modellemesi (BIM) Tabanlı Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü Literatürüne Genel Bir Bakış. *Tasarım+ Kuram*, 14(25), 59–77.
- Bakici, T., Almirall, E. ve Wareham, J. (2013). A Smart City Initiative: The Case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 135–148. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0084-9>
- Biljecki, F ve Tauscher, H. (2019). Quality of BIM–GIS Conversion. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W8, 35–42. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-35-2019>
- Biljecki, Filip, Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. ve Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- BIMgenius. (2018). Türkiye BIM Raporu. https://www.bimgenius.org/uploads/6/3/9/9/63997129/bimgenius_p0001_turkiye_bim_raporu_rev_1.pdf
- Çağdaş, V. (2013). An application domain extension to citygml for immovable property taxation: A Turkish case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 545–555.

- <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.013>
- Capgemini. (2007). The User Challenge Benchmarking The Supply Of Online Public Services.
- Commission of the European Communities. (2002). eEurope 2005: An information society for all.
- Commission of the European Communities. (2006). i2010 eGovernment Action Plan: Accelerating eGovernment in Europe for the Benefit of All.
- Deng, Y., Cheng, J. C. P. ve Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>
- Eriksson, Johansson, Olsson, Andersson, Engvall, Hast ve Harrie. (2020). Requirements, Development, and Evaluation of A National Building Standard—A Swedish Case Study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi9020078>
- European Commission. (2016a). eGovernment Benchmark 2016. <https://doi.org/10.2759/002688>
- European Commission. (2016b). EU eGovernment Action Plan 2016-2020.
- Ho, S., Rajabifard, A., Stoter, J. ve Kalantari, M. (2013). Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue? *Land Use Policy*, 35, 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.06.010>
- Kalogianni, E., van Oosteom, P., Dimopoulou, E. ve Lemmen, C. (2020). 3D Land Administration: A Review and a Future Vision in the Context of the Spatial Development Lifecycle. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 107. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020107>
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., Li, X., Liu, R., Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C. P., Li, X. ve Liu, R. (2017). A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Macit İlal, S. ve Günaydın, H. M. (2017). Computer representation of building codes for automated compliance checking. *Automation in Construction*, 82, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.018>
- Macke, J., Rubim Sarate, J. A. ve de Atayde Moschen, S. (2019). Smart sustainable cities evaluation and sense of community. *Journal of Cleaner Production*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118103>
- Malsane, S., Matthews, J., Lockley, S., Love, P. E. D. ve Greenwood, D. (2015). Development of an object model for automated compliance checking. *Automation in Construction*, 49(PA), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.004>
- Meijer, F. ve Visscher, H. (2017). Quality control of constructions: European trends and developments. *International Journal of Law in the Built Environment*, 9(2), 143–161. <https://doi.org/10.1108/IJLBE-02-2017-0003>
- Meijer, F., Visscher, H. ve Sheridan, L. (2002). Building regulations in Europe. DUP Science.
- Mouloud, M., O., N. N. ve Ravi, S. (2019). Virtual Building Permitting Framework for the State of Florida: Data Collection and Analysis. *Computing in Civil Engineering 2019*, 328–335. <https://doi.org/doi:10.1061/9780784482421.042>
- Nawari, N. O. (2018). Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. In *Building Information Modeling (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351200998>
- NBC. (2018). National BIM Report. <https://www.thenbs.com/-/media/uk/files/pdf/nbs-national-bim-report-2018.pdf?la=en>
- Noardo, F., Ellul, C., Harrie, L., Overland, I., Shariat, M., Stoter, J. ve Arroyo Otori, K. (2019). Opportunities and challenges for GeoBIM in Europe: developing a building permits use-case to raise awareness and examine technical interoperability challenges. *Journal of Spatial Science*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/14498596.2019.1627253>
- Oldfield, J., Bergs, R., Van Oosterom, P., Krijnen, T. ve Galano, M. (2018). 3D Cadastral Lifecycle: An Information Delivery Manual ISO 29481 for 3D Data Extraction from the Building Permit Application Process. 7th International FIG Workshop on the Land Administration Domain Model, 153–170.
- Oldfield, J., Van Oosterom, P., Beetz, J. ve Krijnen, T. F. (2017). Working with open BIM standards to source legal spaces for a 3D cadastre. *ISPRS*

- International Journal of Geo-Information, 6(11).
<https://doi.org/10.3390/ijgi6110351>
- Olsson, P.-O., Axelsson, J., Hooper, M. ve Harrie, L. (2018). Automation of Building Permission by Integration of BIM and Geospatial Data. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(8), 307. <https://doi.org/10.3390/ijgi7080307>
- Rajabifard, A. (2014). 3D Cadastres and Beyond. 4th International Workshop on 3D Cadastres.
- Rajabifard, A., Atazadeh, B. ve Kalantari, M. (2018). A critical evaluation of 3D spatial information models for managing legal arrangements of multi-owned developments in Victoria, Australia. International Journal of Geographical Information Science, 32(10), 2098–2122. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1484125>
- Shahi, K., McCabe, B. Y. ve Shahi, A. (2019). Framework for Automated Model-Based e-Permitting System for Municipal Jurisdictions. Journal of Management in Engineering, 35(6), 04019025. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000712](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000712)
- T.C. Resmi Gazete. (1965). Kat Mülkiyeti Kanunu. Sayı: 12038.
- T.C. Resmi Gazete. (1985). İmar Kanunu. Sayı: 18749.
- T.C. Resmi Gazete. (1987). Kadastro Kanunu. Sayı: 19512.
- T.C. Resmi Gazete. (2001a). Türk Medeni Kanunu. Sayı: 24607.
- T.C. Resmi Gazete. (2001b). Yapı Denetimi Hakkında Kanun. Sayı: 24461.
- T.C. Resmi Gazete. (2005). Kadastro Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun. Sayı: 25744.
- T.C. Resmi Gazete. (2017). Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği. Sayı: 30113.
- T.C. Resmi Gazete. (2018). Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi. Sayı: 30474.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2016). 2016-2019 Ulusal e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı.
- Teicholz, P., Lee, G., Eastman, C. ve Sachs, R. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers (3rd ed.). John Wiley ve Sons, Inc.
- Tekin, H. ve Atabay, Ş. (2019). Building information modelling roadmap strategy for Turkish construction sector. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer, 172(3), 145–156. <https://doi.org/10.1680/jmuen.17.00001>
- United Nations. (2018). E-Government Surveys. <https://publicadministration.un.org/en/research/un-e-government-surveys>
- Williamson, I., Rajabifard, A., Wallace, J. ve Bennett, R. (2011). Spatially Enabled Society. FIG Working Week 2011.



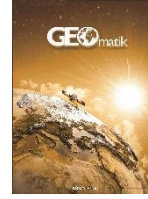
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Fındık Bahçelerinin Sentinel-2 Verileri Kullanılarak Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleriyle Belirlenmesi

Ceyhan Apaydın¹, Saygın Abdikan^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fındık
Rastgele Orman
Sentinel-2
K-EYK
DVM

ÖZ

Dünyada fındık üretiminin yaklaşık %75'ini Türkiye sağlamaktadır. Bu nedenle fındık alanlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, üretilecek fındık miktarının ve verimlilik çalışmaları için önemlidir. Bu çalışmada 02.07.2019 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak fındık bahçelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı olarak Trabzon ili Beşikdüzü ilçesi, uygulama alanı olarak ilçe merkezi seçilmiştir. Uygulama alanına ait görüntü arazi tespit çalışması için piksel tabanlı görüntü sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Fındık bahçelerinin belirlenmesi için üç farklı makine öğrenme algoritması rastgele orman (RO), K en yakın komşu (K-EYK) ve destek vektör makineleri (DVM) ele alınmıştır. Sınıflandırmalara ilişkin genel doğruluk değerleri RO, K-EYK ve DVM algoritmaları için sırasıyla 85,3870, 87,5398 ve 91,0948 olarak tespit edilmiştir.

Determination of Hazelnut Gardens by Pixel Based Classification Methods Using Sentinel-2 Data

Keywords

Hazelnut
Random Forest
Sentinel-2
KNN
SVM

ABSTRACT

Turkey provides approximately 75% of world hazelnut production. Therefore, accurate determination of hazelnut areas is important for the amount of hazelnut production and productivity studies. In this study, it was aimed to determine the hazelnut orchards using the Sentinel-2 satellite image dated 02.07.2019. In this context, Beşikdüzü District of Trabzon province was selected as the study area and district center as the application area. Pixel-based image classification method is used for land detection. Three different machine learning algorithms random forest (RF), K nearest neighbor (KNN) and support vector machines (SVM) were applied to identify hazelnut gardens. General accuracy values for classifications were determined as 85,3870, 87,5398 and 91,0948 for RF, KNN and SVM algorithms, respectively.

*Sorumlu Yazar

(apaydinceyhun@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7354-029X
(sabdikan@beun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-3310-352X

Kaynak Göster (APA)

Apaydın, C. & Abdikan, S. (2021). Fındık Bahçelerinin Sentinel-2 Verileri Kullanılarak Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleriyle Belirlenmesi. Geomatik, 6(2), 107-114, DOI: 10.29128/geomatik.705988

1. GİRİŞ

Türkiye, dünya fındık üretiminin yaklaşık %75'ini, ihracatının ise %70-75'ini gerçekleştirmektedir. Ülkemiz bulunduğu coğrafi koşullar ve sahip olduğu uygun ekolojik yapısı nedeniyle fındık yetiştiriciliğinin yapıldığı ülkeler arasında dünyanın en önemli üreticisi olma özelliğine sahiptir. Fındık bahçelerinin alanlarının tespit edilmesi, üretim kapasitesinin belirlenmesi, yapılacak ekonomik planlamalarda özellikle teşvik uygulamalarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Ülke ekonomisi için vazgeçilmez, ekonomik katma değeri bakımından oldukça yüksek bir tarım ürünü olan fındık Doğu Karadeniz bölgesinin en önemli geçim kaynaklarından (Url-1).

Tarım arazilerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde izlemek ve kullanılmasını sağlamak, tarım politikalarına yön verebilmek amacıyla uzaktan algılama tekniği ile yapılan çalışmalar önemlidir. Özellikle son zamanlarda tarım, doğal bitki örtüsü, ormancılık vb. amaçlara uygun algılayıcılar ve uydular tasarlanmaktadır ve bu konudaki çalışmalar hızla gelişmeye devam etmektedir (Üstüner vd, 2014).

Akar ve ark. (2013), çalışmalarında çay ve fındık bahçelerinin belirlenmesi için 2012 yılına ait 8 bantlı multispektral (MS) ve pankromatik (PAN) WorldView-2 uydu görüntülerini kullanmışlardır. Bu örnek alanlara göre MS uydu görüntüsünden 7 farklı sınıf (orman, fındık, çay, toprak, gölge, kentsel alan1 ve kentsel alan2) belirlenmiş ve RO sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Öncelikli olarak ürünlerin sadece MS uydu görüntüsünden alınan spektral değerleri dikkate alınarak RO yöntemi uygulanmış ve genel sınıflandırma doğruluğu %79,05 olarak elde edilmiştir. Spektral özellikler ile birlikte Eş Dizimlilik Matrisi kullanılarak elde edilen doku özellikleri de ele alındığında genel sınıflandırma doğruluğu %84,08 olarak elde edilmiştir. Çalışmada doku özelliğinin sınıflandırma başarısına katkısı ortaya konulmuştur.

Ünal ve ark. (2010), Giresun ilinde fındık alanlarının belirlenmesinde kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanmışlardır. Çalışma kapsamında farklı çözünürlüklere sahip farklı uydu görüntüleri (SPOT, Quickbird-Pan ve IKONOS) ele alınmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemi ile yapılan çalışmanın doğruluğu %79,41 bulunmuştur. Sınıflandırma doğruluğu ayrıca farklı eğim grupları için de uygulanmış ve eğim aralığı %10-%30 olan bölgelerde yaklaşık %85 olarak elde edilmiştir.

Reis ve ark. (2010) yüksek konumsal çözünürlüğe sahip Quickbird uydu görüntüsü kullanarak Trabzon'da seçilen bir bölgede fındık alanı belirlemiştir. Fındık bahçelerinin belirlenmesinde kendini örgütleyen eşlemler (Self Organizing Maps-SOM) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada spektral bilgiler ile birlikte PAN görüntünün Gabor öznelik bilgisi de ele alınmıştır. SOM sınıflandırma yöntemi sadece spektral bantlara

uygulandığında sınıflandırma doğruluğu %82 ve Kappa değeri 0,73 olarak elde edilmiştir. Spektral bantlar ve Gabor öznelik verisinin beraber ele alındığı veri seti sınıflandırıldığında doğruluk oranı %89 ve kappa katsayısı 0,84 elde edilmiştir. Çalışma sonucunda Gabor öznelik bilgisinin fındığın diğer odunsu bitkilerden ayrılmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

Sener ve ark. (2013), Sakarya şehrinde yapmış oldukları çalışmada 2007 yılına ait Landsat uydu görüntüsü kullanmışlardır. 7 farklı sınıf belirlemiş ve sınıflandırma işlemi maksimum olabilirlik yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, fındık bahçelerinin ortalama sınıflandırma doğruluğu % 86 ve kappa katsayısı 0,811 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda fındık üretimine uygun olmayan yasa dışı üretim yapılan bahçeler tespit edilmiştir. Fındık üretim alanlarının planlı ve arz talep dengesinin kontrol altına alınmasının gerekliliğini göstermişlerdir.

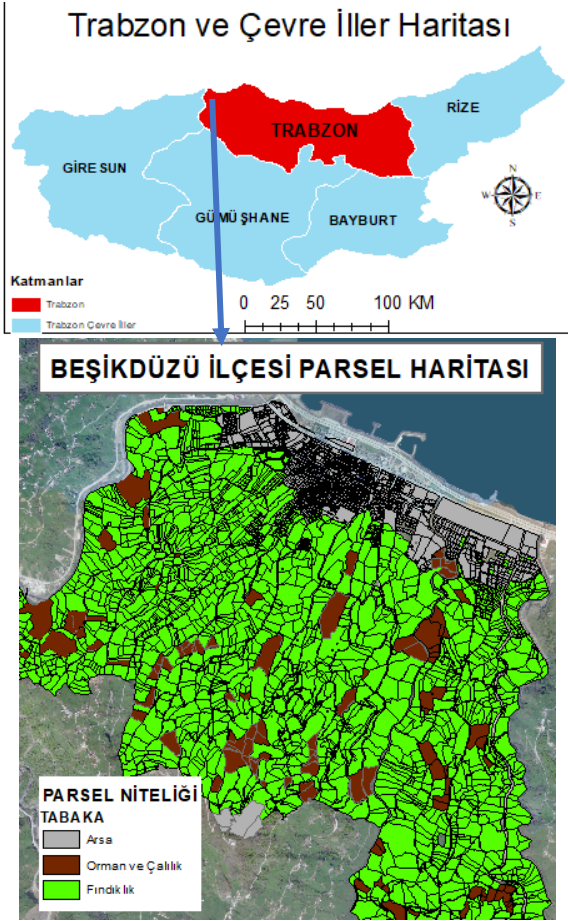
Bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yerine ücretsiz olarak kullanıcılara sunulan 10m konumsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleri ile fındık bahçelerinin belirlenmesidir. Görüntülerin sınıflandırılmasında makine öğrenme algoritmalarından Rastgele Orman (RO), k-En Yakın Komşuluk (K-ENK) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında Trabzon ili Beşikdüzü ilçesi sınırları içerisinde kalan alan ele alınmıştır. Beşikdüzü ilçesi Trabzon'un 45 km. batısında yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz bulunan ilçenin, batısında Eynesil, doğusunda Vakfıkebir, güneyinde Şalpazarı ve Tonya ilçeleri bulunmaktadır. İlçenin 34 mahallesi vardır. Merkez nüfusu 21.870'dir. İlçe merkezi düz ve deniz seviyesi yüksekliğindedir. İç kesimlere doğru eğimli ve engebeli bir araziye sahiptir. İlçenin yüzölçümü 121 km²'dir (Şekil 1).

Tipik Karadeniz ikliminin görüldüğü ilçede, yaz ayları serin, kış aylarında ılıktır. Her mevsim yağış görülmektedir. Ay bazında sıcaklık ortalamalarına bakıldığında en sıcak 22 °C ve en soğuk 6 °C dir. Nem oranı ise %60 ile %70 arasında değişmektedir. Akarsuları Kurbağalı dere ve Ağasar Deresi'dir. Önemli yükseltileri ise Yumru Tepeleri ve Beşikdağ'dır. Komşu ilçelerinin de yararlandığı Beşikdüzü Limanı doğal bir liman niteliğine sahiptir (URL-2).



Şekil 1. Trabzon ve Çevre İller Haritası ve Beşikdüzü ilçesi Parsel Haritası Sınırları

2.2. Kullanılan Veri

Avrupa Uzay Ajansı (AUA) tarafından geliştirilen Sentinel programı çerçevesinde her birinde 2 uydudan oluşan 7 farklı uydudan oluşur. Optik multispektral uydular olan Sentinel-2 uydusu Sentinel 2A ve 2B olmak üzere iki ikiz uydudan oluşur. Sentinel-2A uydusu Haziran 2015 ve Sentinel-2B uydusu Temmuz 2016 tarihinde fırlatılmıştır. İki uydudan aynı yörüngede ve birbirine 180° açıda hareket etmektedir. Sentinel-2 uyduları geniş alanları kaplamaları, yüksek konumsal ve spektral çözünürlüğe (13 spektral bant) sahip olmaları ile bitki örtüsünün ve yeryüzünün izlenmesi için önemli bir olanak sunmaktadır (Drusch ve ark., 2012). Yüksek konumsal çözünürlük, yeni spektral bantlar, geniş alanda görüntü alma ve ekvatorda 5 günde tekrar aynı yerden görüntü alabilme kabiliyeti Sentinel-2 uydusunu pek çok uygulamada oldukça kullanışlı hale getirmektedir (Malenovsky ve ark., 2012).

Kullanılan uydunun görüntüleri AUA'nın Copernicus Açık Erişim Merkezinden ücretsiz olarak <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> adresinden temin edilmiştir. Sentinel-2 görüntüsünde kullanılan spektral bantlar ve bantların özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Çalışma alanına ait uydunun görüntüsü Şekil 2'de gösterilmektedir (Url-3).

Tablo 1. Sentinel-2 uydusunun spektral bantları

Bantlar	Orta Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)
Bant 2 - Mavi	0,490	10
Bant 3 - Yeşil	0,560	10
Bant 4 Kırmızı	0,665	10
Bant 8 - Yakın Kızılötesi	0,842	10



Şekil 2. Çalışma alanına ait 02.07.2019 tarihli Sentinel uydunun görüntüsü (Kırmızı: Bant 3, Yeşil: Bant 2, Mavi Bant 1, Ölçek 1:30.000)

3. YÖNTEM

Görüntünün sınıflandırma aşamasından önce eğitim ve test verileri belirlenmiştir. Bu veriler Beşikdüzü Belediyesinden temin edilen veriler ve uydunun görüntüsünün elde edildiği dönemde arazi çalışması yapılarak belirlenmiştir. Arazi çalışmalarıyla birlikte fındık bahçeleri parsel bazında tespit edilmiştir. Sınıflandırma işlemlerinin yapılması için kullanıcı tarafından belirlenen yedi sınıf için eğitim verileri ve eğitim verilerinden bağımsız olarak test verileri seçilmiştir. Tablo 2'de sınıf sayıları ve sınıflar gösterilmektedir.

Eğitim örnek verilerini toplamak için, her arazi örtüsü sınıfı için 778 piksel oluşturmak üzere ArcGIS 10.7 araç kutusundaki piksel oluşturma aracı kullanılmıştır (Tablo 2).

Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra değerlendirme kısmında k-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k-katlamalı çapraz doğrulama tekniğinde orijinal veri seti k sayıda parçaya bölünür. (k-1) sayıdaki parça sınıflandırıcı modeli eğitmek için kullanılırken, geriye kalan bir parça ise modelin doğruluğunu hesaplamak için kullanılır. Bu işlem k defa tekrar edilir ve her seferinde farklı parça eğitim ve test verisi olarak kullanılır. Elde edilen doğruluk

değerlerinin ortalaması alınır. Modelin doğruluğu ise bu ortalama değere eşittir (Kohavi., 1995; Toosi vd., 2019, Üstüner vd., 2019). Bu çalışmada k değeri 5 olarak alınmıştır.

Sınıflandırma işlemlerinin yapılması için kullanıcı tarafından eğitim verileri seçilmiştir. Çalışma için bölgede yer alan deniz, bina, orman, fındıklık, asfalt yol, beton yol ve dere olmak üzere yedi sınıf belirlenmiştir. Doğruluk analizinde, 7 sınıf için seçilen eğitim verilerinden bağımsız olarak yine 7 sınıf için test verileri seçilmiştir. Toplam Piksel sayısı şu şekilde hesaplanmaktadır (Olofsson vd., (2014):

$$N=(\sum_{i=1}^c (W_i-S_i)/S_o)^2 \quad (1)$$

W_i = sınıfın eşlenen alan oranı

S_i = tabakanın standart sapması

S_o = doğrulukta beklenen standart sapma

c = toplam sınıf sayısı

Toplam piksel sınıflarının sayıları hesaplandıktan sonra sınıfların piksel sayıları, eşit dağılımlı ($N_i=N/c$) ve ağırlıklı dağılımlı ($N_i=N*W_i$) olarak belirlenebilir. Bu çalışmada her sınıf için yaklaşık piksel değerlerini bulmak için $N_i=(N/c+N*W_i)/2$ formülü kullanılarak aşağıdaki tabloda eğitim ve test sayıları eşit olmak üzere her sınıf için piksel sayıları hesaplanmıştır.

Tablo 2. Sınıflar için belirlenen eğitim ve test piksel sayısı

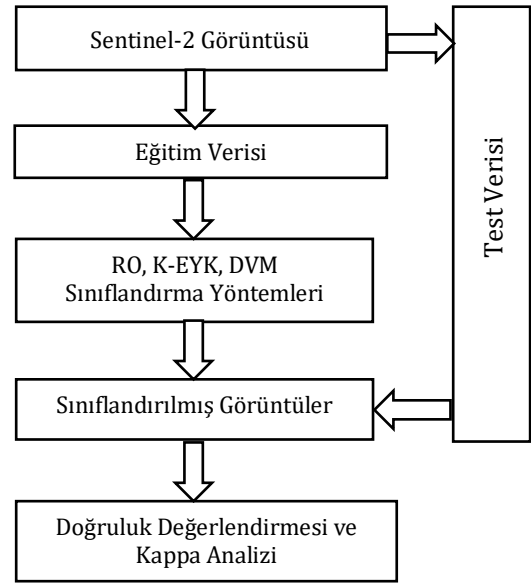
Sınıflar	Eğitim Verisi	Test Verisi
1-Deniz	177	177
2-Bina	75	75
3-Orman	113	113
4-Fındıklık	227	227
5-Asfalt Yol	60	60
6-Beton Yol	58	58
7-Dere	68	68
Toplam	778	778

Uydu görüntüleri üzerinden arazi örtüsünün tespiti için piksel ve nesne tabanlı olmak üzere iki ana sınıflandırma yöntemi yaklaşımı bulunmaktadır. Piksel tabanlı yaklaşımlar her bir piksel üzerinde çalışır ve ayrıca yalnızca spektral bilgilere dayanarak uzaktan algılanan verilerden bilgi alır (Gupta, 2014). Çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 3'de gösterilmektedir.

3.1. Sınıflandırma Yöntemleri

Objeye tabanlı ve klasik piksel tabanlı görüntü sınıflandırma yaklaşımlarına alternatif olarak uydu görüntülerinden güvenilir ve doğru bilgi üretmek için çeşitli öğrenme tabanlı algoritmalar geliştirilmektedir. Yaygın olarak kullanılan öğrenme tabanlı algoritmalar Rastgele Orman (RO), Yapay Sinir Ağları, Karar Ağacı, Hızlandırma, Torbalama,

Destek Vektör Makinesi (DVM) ve K-En Yakın Komşuluk' tur (Breiman 2001). Bu çalışma kapsamında, üç farklı makine öğrenme algoritması RO, K-EYK ve DVM kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmaya ait iş akış şeması

Arazi örtüsü ve kullanımı çalışmaları için bu sınıflandırma yöntemlerinin performansını kendi aralarında veya diğer sınıflandırma algoritmaları ile karşılaştırarak en iyi sınıflandırma algoritmasını bulmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Adam ve ark. (2014) ile Ghosh ve Joshi (2014), DVM ve RO yöntemlerinin benzer sınıflandırma sonuçları gösterdiğini belirtmişlerdir. Khatami ve ark. (2016) DVM, K-EYK ve RO'nun genellikle diğer geleneksel kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Rastgele orman, her ağacın bağımsız olarak ve tüm ağaçlar için aynı dağılımla örneklenmiş rastgele bir vektörün değerlerine bağlı olduğu bir ağaç topluluğu öğrenme algoritmasıdır. Böylece, rastgele bir orman birçok karar ağacından oluşur ve tek tek ağaçların verdiği kararların ortalamasını verir. Rasgele ormanların bir dizi pratik problem üzerinde yüksek performans sağladığı gösterilmiştir. Sınıflandırmada kullanıcı tarafından iki parametre belirlenir bunlar ağacın ne kadar geliştirileceğini tanımlayan ağaç sayısı ve ana düğümden kaç yeni düğümün ayrılabilirliğini tanımlayan değişken sayısıdır. Bu çalışmada ağaç sayısı 10 ve değişken sayısı 2 olarak alınmıştır (Breiman 2001, Comert ve ark. 2019, Sevgen 2019).

K-En Yakın Komşu (K-EYK), parametrik olmayan bir yaklaşımdır (Duda ve ark. 1973). İstatistiksel uygulamalarda 1970'lerin başında kullanılmaya başlanmıştır (Franco-Lopez ve ark. 2001). K-EYK'nın arkasındaki temel teori, kalibrasyon veri kümesinde, bilinmeyen örnekler en yakın olan bir grup k örneği bulmasıdır (örneğin, mesafe fonksiyonlarına bağlı olarak). Bu k örneklerinden, bilinmeyen örneklerin sınıfı (etiketi)

yanıt değişkenlerinin ortalaması (yani en yakın komşunun sınıf özellikleri) hesaplanarak belirlenir (Akbulut, ve ark., 2017; Wei ve ark., 2017). Parametrik olmayan algoritma K-EYK, örnek tabanlı bir öğrenme yaklaşımını veya “tembel öğrenme” kullanır. Bu algoritma ile bir nesne, en yakın komşusunun K sınıf özelliklerine göre sınıflandırılır. Sonuç olarak, bu sınıflandırıcı için k, K-EYK'nin performansında önemli bir rol oynar, yani, K-EYK'nin önemli bir parametresidir (Qian, ve ark. 2015).

Destek Vektör Makinesi (DVM), sınıfları birbirinden en uygun şekilde ayırabilecek sınır hatlarının tanımlandığı istatistiksel bir kontrollü sınıflandırma yöntemidir. Burada temel amaç, destek vektörleri koşulunu gerçekleştiren iki doğrusal çizgi arasındaki marjin adı verilen uzaklığı maksimum değere çıkarmak ve ortadaki sınır karar yüzeyini bulmaktır. Yüzey genel olarak, en uygun hiper düzlem olarak adlandırılır. Destek vektörleri, hiper düzleme en yakın veri noktalarıdır (Url-4). Yöntem başta iki sınıflı doğrusal verilerin ayrıştırılması için tasarlanmıştır ancak daha sonra geliştirilerek çok sınıflı ve doğrusal olmayan veriler için de kullanılmıştır. Doğrusal olarak ayrılmadığı durumlarda, SVM'nin kernel versiyonları tanımlanır. Kernel yaklaşımının temel hedefi, verileri ikili sınıflandırmanın tekrar doğrusal olarak elde edilebileceği daha yüksek boyutlu bir alana dönüştürmektir. En çok kullanılan kernel türleri lineer, sigmoid, polinom ve radyal tabanlı fonksiyon kernelleridir (Üstüner ve Balık Şanlı 2019, Abdikan ve ark. 2015). Bu çalışmada radyal tabanlı fonksiyon kerneli kullanılmıştır.

RO, K-EYK ve DVM algoritmaları ile sınıflandırmalar, açık kaynak kodlu QGIS kütüphanesinden faydalanarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sınıflandırma doğrulukları incelenmiştir. Doğruluk değerlendirmesinin amacı, piksellerin doğru arazi örtüsü sınıflarına ne kadar etkili bir şekilde örneklendiğini nicel olarak değerlendirmektir (Rwanga ve Ndambuki 2017). Sınıflandırma performansının doğruluğunu değerlendirmek için, literatürde birçok metrik bulunmaktadır. Bunlardan ilki kappa istatistiğidir.

Kappa analizi doğruluk değerlendirmelerinde kullanılan çok değişkenli bir tekniktir. Kappa analizi formülü aşağıdaki gibidir.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}, \quad (2)$$

Bu durumda,

r = hata matrisindeki satır ve sütun sayısı,

N = toplam piksel sayısı,

X_{ii} = satır i ve sütun i'de piksel,

X_{i+} = satır i'nin marjinal toplamı ve X_{+i} = sütun i'nin marjinal toplamı

1'e eşit bir Kappa katsayısı, mükemmel bir sonuç anlamına gelir iken burada sıfıra yakın bir değer, sınıflandırma sonucunun beklenenden daha iyi olmadığı anlamına gelir.

Ancak kappa analizi sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesinde daha az yaygın hale gelmektedir, onun yerine daha kolay yorumlanan genel doğruluk tercih edilmektedir (Heydari ve ark. 2018). Sadece genel doğruluk metriğini kullanmanın dezavantajı ise sınıfların performansını göstermemesidir. Bu nedenle bu çalışmada kappa istatistiği ve genel doğruluk ile birlikte üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri de sunulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

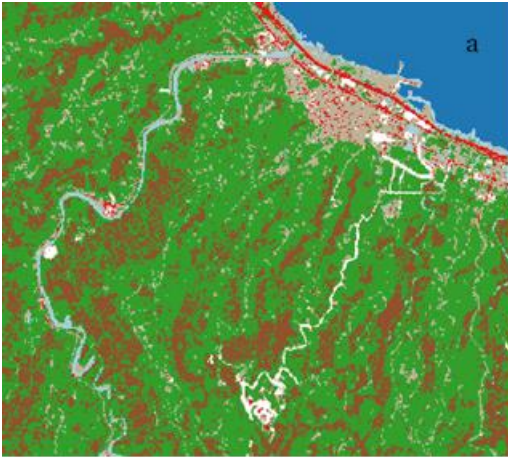
RO, K-EYK ve DVM yöntemleriyle yapılan sınıflandırma sonuçları sırasıyla şekil 5a, 5b ve 5c'de, üretici doğruluğu (ÜD) ve kullanıcı doğruluğu (KD) sonuçları sırasıyla Tablo 3,4 ve 5'de gösterilmektedir. Doğruluk analizleri ve kappa değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

RO ile elde edilen sonuç incelendiğinde; orman ve dere sınıfının ÜD değerlerinin diğer sınıflara göre düşük olduğu, KD incelendiğinde ise bina ve asfalt yol sınıflarının doğruluğunun düşük olduğu gözlenmiştir. Fındık sınıfının ise ÜD ve KD değerlerinin sırasıyla %89 ve %78 olarak belirlenmiştir.

K-EYK ile elde edilen sonuç incelendiğinde; orman ve beton yol sınıflarının ÜD değerlerinin diğer sınıflara göre daha düşük olduğu, kullanıcı doğruluğunda ise bina ve asfalt yol sınıflarının doğruluğunun düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak birbirine yakın spektral değerlere sahip nesnelerin ayırt edilmesinde K-EYK yöntemin seçilen k değerine göre kararsız davranmasından kaynaklanmasındadır. Fındık sınıfı için ÜD ve KD değerleri sırasıyla yaklaşık %88 ve %83 elde edilmiştir.

DVM ile elde edilen sonuç incelendiğinde; üretici doğruluğunda bina ve orman sınıfının genel doğruluk oranının düşük olduğu, kullanıcı doğruluğunda ise bina ve asfalt yol sınıflarının doğruluğunun düşük olduğu gözlenmiştir. Fındık sınıfı için ÜD ve KD değerleri sırasıyla yaklaşık %94 ve %87 elde edilmiştir. Fındık sınıfı ele alındığında en yüksek doğruluğu DVM yöntemi vermiştir, onu sırasıyla RO ve E-EYK yöntemleri vermiştir.

Sınıflandırma sonuçlarından elde edilen hata matrisleri incelendiğinde genel olarak tüm yöntemlerde benzer spektral özelliğe sahip olan sınıfların birbiriyle karıştığı görülmektedir. Yaz mevsiminin yaşandığı döneme ait Sentinel-2 görüntüsünde yeşil tonlarının ağırlıklı olduğu fındıklık ve orman sınıfları birbirine yakın spektral değerlere sahip oldukları için en çok karışan sınıflar olmuşlardır.



DENİZ	BİNA	ORMAN	BETON YOL
ASFALT YOL	FINDIKLIK	DERE	

Şekil 5. a)RO, b) K-EYK ve c)DVM sınıflandırma sonucu üretilen arazi örtüsü sınıfları

Genbatu ve ark. (2020), benzer makine öğrenme algoritmalarını kullanarak yapmış olduğu çalışmada, Landsat-8 görüntüsü kullanarak arazi örtüsünü 7 farklı sınıfta incelemiştir. Sınıflandırma doğruluklarının karşılaştırılması ile ilgili değerlendirme yapmışlardır. En yüksek genel doğruluğu yapay sinir ağları (%97.2) vermiştir, onu RO (% 96.9), DVM (% 96.2) ve K-EYK (% 93.7) takip etmiştir. Arazi örtüsü türlerinin sınıflandırma doğruluklarına göre, boş arazi, sulak alan ve ormanlık alan, RO tarafından daha doğru bir şekilde sınıflandırdığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada en yüksek toplam sınıflandırma doğruluğunu DVM

yöntemi vermiştir, diğer çalışmalardan farklı olarak DVM yöntemini sırasıyla K-EYK ve RO yöntemleri vermiştir. Fındık sınıfı ele alındığında ise en yüksek ÜD değerleri sırasıyla DVM, RO ve K-EYK ile elde edilmiştir.

Tablo 3. Sınıflandırma sonuçlarına ait doğruluk değerleri

Sınıflar	RO		K-EYK		DVM	
	ÜD %	KD %	ÜD %	KD %	ÜD %	KD %
Deniz	99,96	99,88	99,98	99,90	99,97	99,86
Bina	88,79	64,02	78,03	73,94	63,67	60,17
Orman	64,56	85,92	73,55	81,45	78,43	93,20
Fındıklık	89,15	78,21	87,68	83,29	93,73	87,19
Asfalt Yol	84,30	77,09	96,49	60,93	94,98	56,93
Beton Yol	72,51	97,69	77,42	99,27	85,10	90,92
Dere	71,37	60,30	90,65	84,22	89,65	67,28
Genel doğruluk	85,3870		87,5398		91,0948	
Kappa	0,8089		0,8190		0,8696	

5. SONUÇ

Bu çalışmada ekonomik değere sahip olan fındık bahçelerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulamada Beşikdüzü ilçesine ait Temmuz 2019 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmış ve 7 farklı ürün sınıfı belirlenerek açık kaynak kodlu ücretsiz QGIS yazılımı ile sınıflandırılmıştır. Çalışmada üç görüntü sınıflandırma algoritması Rasgele Orman, K En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri uygulanarak sınıflandırılmıştır ve karşılaştırılmıştır. Doğruluk analizi için k-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış eğitim ve test verileri için ayrı ayrı 778 piksel seçilmiştir. Eğitim ve test verileri her seferinde değiştirilmiş ve ortalama değer alınarak model oluşturulmuştur. Tüm sınıflandırma sonuçları ele alındığında genel doğruluk oranları %85 üzeri yüksek değerler almıştır. Üç farklı makine öğrenme algoritması arasında Rasgele Orman yöntemi, en düşük genel doğruluğa, DVM ise en yüksek genel doğruluk değerini sağlamıştır.

Üç algoritma için tüm sınıflar incelendiğinde; fındıklık sınıfının tespitinde hem üretici hem de kullanıcı doğruluğu en yüksek değerler DVM yöntemi ile sağlanmıştır. RO ve E-EYK yöntemleri birbirine yakın üretici doğruluğu sağlarken E-EYK daha yüksek kullanıcı doğruluğu vermiştir. E-EYK tek parametre kullanması açısından kolaylık sağlamaktadır ancak k değeri uygulamaya göre değişkenlik gösterebilmekte ve modelin kararsızlığına sebep olabilmektedir. DVM yöntemi en iyi sonucu vermesinin sebebi verilerin doğrusal olarak ayrılmadığı orman ve fındık alanlarının daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına yansıtılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Bina ve asfalt yol ile fındıklık ve orman ürünleri birbirine en fazla karışan sınıflar olmuştur. Bu durum uydu görüntüsü çözünürlüğünün çok yüksek

olmamasından kaynaklı olduğuna yorumlanabilir. Bir sonraki çalışmada farklı zamanlarda alınan uydu görüntüleri değerlendirilerek fındık ağacının hangi evresinde daha iyi belirlenebileceğinin araştırılması planlanmıştır.

R0, K-EYK ve DVM makine algoritmaları ile Sentinel-2 görüntüsünün iyi bir sınıflandırma performansının elde edilebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- Abdikan S., Bilgin G., Sanli F.B., Uslu E., Ustuner M. (2015) - Enhancing land use classification with fusing dual-polarized TerraSAR-X and multispectral RapidEye data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9: 096054-096054.
- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J, Abdel-Rahman, E.M. (2014). Land-Use/Cover Classification In A Heterogeneous Coastal Landscape Using Rapideye Imagery: Evaluating The Performance Of Random Forest And Support Vector Machines Classifiers. *Int. J. Remote Sens.* 2014, 35, 3440–3458.
- Akar, Ö., Güngör, O., (2013). Eş Dizimlilik Matrisi Ve Rastgele Orman Sınıflandırıcısı İle Çay Ve Fındık Alanlarının Sınıflandırılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013), 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
- Akbulut, Y., Sengur, A., Guo, Y., Smarandache, F. (2017). NS-k-NN: Neutrosophic Set-Based k-Nearest Neighbors classifier. *Symmetry* 2017, 9, 179
- Breiman, L. (2001). *Random forests*, machine learning, 2001 Kluwer Academic Publishers, 45(1), 5-32.
- Comert, R., Matcı, D.K., Avdan U. (2019). Object Based Burned Area Mapping with Random Forest Algorithm, *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 4 (2), 078-087
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P. ve Martimort, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sens. Environ.*, no. 120, p. 25–36.
- Duda, R., Hart, P. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1973.
- Franco-Lopez, H., Ek, A.R., Bauer, M.E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume and cover type using the k-Nearest Neighbors method. *Remote Sens. Environ.* 2001, 77, 251–274.
- Genbatu G., Zhongjie S., Yuanjun Z., Xiaohui Y., Yuguang H. (2020). Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms, *Conservation Volume*, June 2020, e00971
- Ghosh, A., Joshi, P.K. A. (2014). Comparison Of Selected Classification Algorithms For Mapping Bamboo Patches In Lower Gangetic Plains Using Very High Resolution Worldview 2 Imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2014, 26, 298–311.
- Gupta, N. and Bhadauria, H.S, (2014). Object Based Information Extraction from High Resolution Satellite Imagery using eCognition, *International Journal of Computer sciences Issues*, Vol. 11, 3, No. 2, 139-144.
- He, H., Garcia, E.A. (2009). Learning from imbalanced data. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 2009;21:1263–1284.
- Heydari, S.S., Mountrakis, G. (2018). Effect of classifier selection, reference sample size, reference class distribution and scene heterogeneity in per-pixel classification accuracy using 26 Landsat sites. *Remote Sens. Environ.* 2018, 204, 648–658.
- Karakus, P., Karabork, H., Kaya, S., (2017). A Comparison Of The Classification Accuracies In Determining The Land Cover Of Kadirli Region Of Turkey By Using The Pixel Based And Object Based Classification Algorithms, *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 2(2), 52-60.
- Khatami, R., Mountrakis, G., Stehman, S.V. (2016). A Meta-Analysis Of Remote Sensing Research On Supervised Pixel-Based Land Cover Image Classification Processes: General Guidelines For Practitioners And Future Research. *Remote Sens. Environ.* 2016, 177, 89–100.
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Ijcai* 14(2), 1137-1145.
- Malenovský, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, E. M., García-Santos, G., Fernandes, R. and Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2 and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land, *Remote Sens. Environ.*, no. 120, p. 91–101.
- Noi P. T., Kappas M., (2018). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector

- Machine Classifiers for LandCover Classification Using Sentinel-2 Imagery, Sensors 2018, 18(1), 18.
- Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E., Wulder M.A., (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change Remote Sensing of Environment, 148, 42 – 57
- Qian, Y., Zhou, W., Yan, J., Li, W., Han, L. (2015). Comparing machine learning classifiers for object-based land cover classification using very high resolution imagery. Remote Sens. 2015, 7, 153–168.
- Reis S., Taşdemir K., (2010). Fındık Alanlarının Kendini Örgütleyen Eşlemlerle (Self Organizing Maps) Belirlenmesi, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – KOCAELİ.
- Rwanga, S.S., Ndambuki J.M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. International Journal of Geosciences, 2017, 8, 611-622.
- Sener M., Altıntaş B., Kurc H.C. (2013). Planning and Controlling of Hazelnut Production Areas with the Remote Sensing Techniques KSU J. Nat. Sci., 16(1), 2013
- Sevgen S.C. (2019). Airborne Lidar Data Classification In Complex Urban Area Using Random Forest: A Case Study Of Bergama, Turkey, International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG), 4 (1), 045-051.
- Toosi, N. B., Soffianian, A. R., Fakheran, S., Pourmanafi, S., Ginzler, C., & Waser, L. T. (2019). Comparing different classification algorithms for monitoring mangrove cover changes in southern Iran. Global Ecology and Conservation, e00662.
- Url-1: <http://www.ftg.org.tr/tr/turk-findigi-turkiyede-findik.html> erişim tarihi: 04.09.2019
- Url-2: <http://www.besikduzu.bel.tr /besikduzu> erişim tarihi: 04.09.2019
- Url-3: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> erişim tarihi: 04.09.2019
- Url-4: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/backgroundsvmgeneral.html> erişim tarihi: 29.02.2020
- Ünal, E., Aydoğdu, M., Ceylan, N., Sezer, A., Özenç, N., Duyar, Ö. (2010). Giresun İlinde Fındık Alanlarının Uzaktan Algılama İle Tespit Edilmesinde Arazi Topografyasının Etkisinin İncelenmesi Ve Alternatif Tarım Ürünlerine Uygunluğunun Belirlenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2010, 19 (1-2):1-10
- Üstüner, M. , Balık Şanlı, F., Abdikan, S., Esetlili, M.T., Kurucu. (2014). Kırmızı-Kenar Ve Yakın Kızılötesi Bantlarının Ürün Deseni Sınıflandırma Doğruluğuna Olan Etkisinin Araştırılması: Rapideye Örneği. 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Üstüner, M. , Balık Şanlı, F., (2019). Çok Zamanlı Polarimetrik SAR Verileri İle Tarımsal Ürünlerin Sınıflandırılması, Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi, 2019, 1-10.
- Wei, C., Huang, J., Mansaray, L.R., Li, Z., Liu, W., Han, J. (2017). Estimation and mapping of winter oilseed rape LAI from high spatial resolution satellite data based on a hybrid method. Remote Sens. 2017, 9, 488.



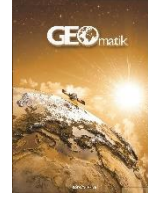
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi

Berk Anbaroğlu*¹, Naim Cem Güllüoğlu², Gökhan Bilgin^{1,2}, Arif Çağdaş Aydınoglu³

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

³ Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze, Türkiye

Anahtar Kelimeler

INSPIRE
TUCBS
Ulaşım
Geoportal
Açık Veri

ÖZ

Bu makalede, katılımcı bir yaklaşımla güncellenen Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) Projesi 'ulaşım' coğrafi veri teması incelenmektedir. Ulaşım teması örneğiyle veri yönetiminde literatürdeki farklı yaklaşımlar irdelenmiş, ilgili kurumların veri üretim ve paylaşım durumu yapılan anket çalışması ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda 2013 yılında belirlenen TUCBS ulaşım teması ile katılımcı yaklaşımla 2018'de güncellenen tema arasındaki benzerlikler ve farklılıklar da tespit edilmiştir. Güncellemeler kapsamında detay tipi (nesne tipi) sayısının 50'den 131'e çıktığı, ön tanımlı veri tablosu (codelist) sayısının 33'ten 42'ye çıktığı, 26 tane nesne tipinin ve 17 tane ön tanımlı veri tablosunun da her iki çalışmada ortak olduğu tespit edilmiştir. Katılımcı bir yaklaşımın coğrafi veri altyapılarının güncellenmesinde gerekli olduğu, ancak halen istenilen düzeyde olmadığı da görülmektedir. Ulaşım temasıyla ilgili tüm paydaşların ortak aklıyla belirlenen standartların daha işlevsel olacağı ve hızlıca uygulamaya konulabileceği değerlendirilmektedir.

Updating Transportation Data Theme of National Spatial Data Infrastructure with Participatory Geographic Information

Keywords

INSPIRE
TUCBS
Transportation
Geoportal
Open Data

ABSTRACT

The purpose of this article is to examine the 'transport' geographic data theme of the Turkish National Geographic Information System (TUCBS) Project which is updated with a participatory approach. In this context, the results of the survey conducted with the representatives of the institutions, which provide a better understanding of the geographical data production and sharing status of the institutions, are analysed. In this study, similarities and differences between the TUCBS transport theme that is initially determined in 2013 and updated in 2018 with the participatory approach is also identified. Within the scope of the updates, it is determined that the number of feature types increased from 50 to 131, the number code lists increased from 33 to 42 and 26 feature types and 17 code lists remain common in both studies. It is necessary to update the spatial data infrastructures with a participatory approach, however, it is still not at the desired level yet. It is foreseen that the contribution of all the stakeholders in standardizing the transportation theme will make the standards be more operational.

*Sorumlu Yazar

*banbar@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2331-6190
(cem.gulluoglu@csb.gov.tr) ORCID: 0000-0002-9357-5318
(gokhan.bilgin@csb.gov.tr) ORCID: 0000-0002-9571-7324
(aydinoglu@gtu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-4912-9027

Kaynak Göster (APA)

Anbaroğlu, B., Güllüoğlu, N.C., Bilgin, G. & Aydınoglu, A.Ç. (2021). Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi. Geomatik, 6(2), 115-123, DOI: 10.29128/geomatik.714493

1. GİRİŞ

Coğrafi bilgi birikiminin artırılması ve veriye dayalı planlama ve politikaların oluşturulması kapsamında veri altyapılarının kurulması son yıllarda öncelikli araştırma konusu olmuştur. Veri altyapılarının en yaygın bilinenlere örnek olarak Avrupa’da INSPIRE Direktifi ile gerçekleştirilen çalışmalar, Amerika, Asya ve Afrika ülkelerinde Küresel Coğrafi Veri Altyapısı’nın kapsamındaki çalışmalar verilebilir (Craglia ve ark., 2012).

Avrupa coğrafi veri altyapısının kurulmasını hedefleyen “Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE)” Direktifi 15 Mayıs 2007 tarihinde Avrupa Parlamentosu’nun kabulüyle yürürlüğe girmiştir (INSPIRE, 2007). Bu kapsamda, coğrafi verinin üretilmesi ve paylaşılmasının belirli standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Ulaşımdan arazi örtüsüne, enerjiden idari birim sınırlarına kadar 34 farklı tema için coğrafi veri üretimi ve paylaşım standartlarının belirlenmesi ile coğrafi olaylar bütüncül bir yaklaşımla ele alınabilmektedir.

INSPIRE Direktifi uygulanmasının iki önemli açıdan fayda sağlaması öngörülmektedir. İlk olarak, farklı coğrafi veri katmanlarının etkin bir şekilde birlikte çalışabilirliği sağlanabilecektir. Böylece coğrafi olguların bütünlük bir biçimde ele alınması mümkün olmaktadır. İkinci olarak, coğrafi veri dökümantasyonu ve metaverinin de coğrafi veri ile birlikte erişilebilirliği sağlaması ve mükerrer veri üretiminin önüne geçmesidir (Aydinoğlu ve Kara, 2019).

Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) altyapısının tesisi ve coğrafi verinin ulusal düzeyde üretimi ile paylaşımına yönelik standartların belirlenmesi görevleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’ne verilmiştir (URL 1; URL 2). Bu kapsamda Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından 2013 yılında 10 adet ulusal coğrafi veri temasına ilişkin standartlar belirlenmiştir (URL 3; URL 4). Ancak bahsi geçen standartların zamanla değişen güncel ihtiyaçları karşılamamasından dolayı standartların güncellenmesine ve genişletilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple paydaş kamu kurumlarının katılımı ile 2018’de gerçekleştirilen toplantılarda önceden belirlenen standartlar güncellenmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’nün standart belirleme çalışmaları kapsamında 2019 yılında 8 yeni veri teması için de veri tanımlama dokümanları hazırlanmıştır (URL 3). Bu veri temaları Arazi Kullanımı, Toprak, Korunan Alanlar, Doğal Risk Bölgeleri, Teknik Altyapı, Enerji Kaynakları, Maden Kaynakları ve İnsan Sağlığı ve Güvenliği’dir. Bu güncelleme çalışmaları sırasında katılımcı bir yaklaşım benimsenmiştir. Nitekim böyle bir yaklaşımın gerekliliği Güney ve ark. (2015) tarafından da vurgulanmaktadır.

Gerek evimiz ve işimiz arasında gerçekleştirdiğimiz yolculuklarımızın gerekse

tedarik zincirinin önemli bir halkası olan ulaşım ağlarının katılımcı ve veriye dayalı bir şekilde oluşturulması, şehirlerin gelişmesinde ve etkin yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Hickman ve Dean, 2018). Ulaşım planlaması ve yönetimi, sadece ulaştırma sektörü ile değil, aynı zamanda diğer ekonomik sektörlerle de iç içe bir yapıdadır. Örneğin sağlık sektöründe, yeni bir yol yapımının, bölgede ormancılığı artırması ve ağaç kesiminin önünü açması gibi çevresel ve sosyal koşullar üzerinde yaptığı etkilerin, yolun çevresinde bulunan köylerdeki enfeksiyonların yayılmasını nasıl artırdığı ve dolayısıyla insan sağlığını nasıl etkilediği araştırılabilir (Eisenberg ve ark., 2006). Enerji sektöründe ise, şehir içi raylı ulaşımında enerji verimliliğinin artırılması için zaman çizelgelerinin analizi veya daha verimli sürüş yöntemleri incelenebilir (Yang ve ark., 2016).

Ulaşım planlaması ve yönetimi için bütünlük bir yaklaşımın gerekliliği 2014-2023 Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi’nde (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014) ve 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı’nda (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019) vurgulanmaktadır. Bütünlük bir ulaşım planlaması ve yönetiminin sağlanması amacına ulaşmak için farklı kurumların, farklı ihtiyaçlarının ve farklı veri üretim süreçlerinin anlamsal bir biçimde ele alınması gerekmektedir (Ballis, 2006; Ulutaş ve ark., 2016). Farklı kurumlarca toplanan ve/veya üretilen ulaşım verisinin anlamsal açıdan farklılıklar da içerebileceği göz önüne alındığında, bunların tek bir kaynaktan ontolojiler yardımıyla paylaşılmasının gerekebileceği de belirtilmektedir (Gunay ve ark., 2014).

Karmaşık bir süreç olan ulaşım altyapısı planlamasının ilk ve en önemli ayaklarından biri mevcut durumun en güncel veri ile tespit edilebilmesidir. Verinin karar verme süreçlerinde doğrudan etkili olduğu “performans tabanlı planlama” yaklaşımı da özellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde yıllardır başarıyla uygulanmaktadır (Pickrell ve Neumann, 2001). Başarı artışının temel dayanağının da ulaşım ile ilgili verinin katılımcı bir yaklaşımla oluşturulması ve açık olarak paylaşılması olduğu değerlendirilmektedir (Proffitt ve ark., 2019).

Katılımcı bir yaklaşımda her ne kadar ulaştırma alanında çalışan kurum ve şirket temsilcilerinin bulunması gerekli olsa da, yeterli değildir. Bir ulaşım sisteminin en önemli paydaşı olan yolcuların görüşlerinin de planlamaya dâhil edilmesi şüphesiz ki önem arz etmektedir (Kesten ve Ögüt, 2014).

Bu çalışmanın amacı da, INSPIRE’i temel alan ve 2013 yılında belirlenmiş olan Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) ulaşım temasının 2018 yılında katılımcı bir yaklaşım ile gerçekleştirilen güncelleme çalışmalarını teknik ve bilimsel açıdan ele almaktır. Makalenin ikinci bölümünde literatür incelemesi sunulacaktır. Üçüncü bölümde, TUCBS ulaşım veri teması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sunulacaktır. Dördüncü bölümde, INSPIRE

Direktifinin ulaşım sektöründe uygulanması için gerekli koşullar tartışılacaktır. Beşinci bölümde 2013 yılında belirlenen ulaşım temasının, 2018 yılında katılımcı bir yaklaşımla güncellenmiş olan sürümü ile benzerlikleri ve farklılıkları sunulacaktır. Son olarak, altıncı bölümde çalışmanın sonuçları tartışılacaktır.

2. YÖNTEM

2.1. Literatür Araştırması

Aynı coğrafi veri setinin farklı kurumlarca üretilmesini ve güncellenmesini önlemek ve aynı zamanda coğrafyanın bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını sağlamak, hem araştırmacılar hem de karar mercileri için önemlidir. Bu kapsamda kurumlar verilerini 'geoportall' adı verilen araçlar ile kullanıma sunmaktadır. Böylece, farklı planlamalar ve idari birimler arasındaki iletişimin en iyi şekilde sağlanması ve coğrafi web servislerine erişim hedeflenmektedir (Goodchild ve ark., 2007; Tait, 2005). Geliştirilen web servislerinin güncel tutulması da başlı başına bir çalışma odağıdır (Yılmaz ve Canıberk, 2018).

Ulaştırma alanında hem farklı idari seviyelerde (yerel, bölgesel ve ulusal) hem de farklı planlama vizyonlarında (kısa, orta ve uzun vadeli) değerlendirmeler yapılabilmesi için verinin güncelliği ve doğruluğu büyük önem arz etmektedir (Karlaftis ve Kepaptsoglou, 2012; Proffitt ve ark., 2019). Böylece, erişilebilirlik, güvenlik, ulaşım planlamasında çevresel etkiler ve yeni projelerin değerlendirilmesi gibi birçok farklı konunun 'veri'ye dayalı bir yapıda incelenmesi mümkün olmaktadır.

Ülkemizde ihtiyaç duyulan veriye ve veri yapısına erişim için Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü^{1,2} ve Harita Genel Müdürlüğü³ tarafından sunulan geoportallar kullanılabilir. INSPIRE uyumlu geoportallar⁴ aracılığıyla da Avrupa'daki farklı ülkelerin coğrafi veri altyapılarına erişim mümkün olmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ulaşım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan "performans tabanlı planlama" yaklaşımında yedi temel öğe vardır. Bu yaklaşımlardan, sistemin sürekliliğinin sağlanması için belki de en önemlisi "izleme ve geri bildirim"dir. Her ne kadar, "iletişim ve sonuçların raporlanması" ayrı bir öğe olarak değerlendirilse de, aslında "izleme ve geri bildirim" öğesinin doğal bir sonucudur (Pickrell ve Neumann, 2001). Bu iki öğenin de etkin bir şekilde gerçekleşmesi için katılımcı bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Geri bildirim süreçlerinin etkin olmadığı durumlarda sistemin sürekliliği sağlanamayabilir. Bütüncül bir yaklaşımla ulaşım planlaması öneren İtalyan SNIT örneğinde, uygulamayı yürütecek olan kurumlar sürece etkin bir şekilde dâhil

olmamışlardır. Pratik ile teorinin etkin bir entegrasyon süreciyle desteklenmediği çalışmaların, sürdürülebilir olamayacağı da belirtilebilir (Borzacchiello ve ark., 2009). Dolayısıyla, ulaşım alanında toplanan verinin nasıl saklanması ve paylaşılması gibi işlemleri içeren bilişim altyapısı yanı sıra, uygulamada da önerilen yaklaşımın benimsenmesini destekleyecek bir işlevsel süreç gereklidir.

Geoportal üzerine yapılan çalışmalar esasında gelişen web teknolojilerinin bir ürünüdür ve verinin hızlı bir şekilde servis edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak bu servislerin çok daha hızlı bir şekilde kesintiye uğrayabileceği de unutulmamalıdır. Açık veri alanında en bilinen örneklerden biri olan Amerika Birleşik Devletlerinin "data.gov" sitesi, bütçe kısıtlarından ötürü Aralık 2018'de askıya alınmıştır ve erişim sağlanamamıştır. Bu tür sistemlere erişimin birçok nedenle kesintiye uğrayabilmesi çevrimiçi sistemleri hassas kılar.

2.2. Durum Tespiti

TUCBS ulaşım teması güncellenmesi kapsamında, katılımcı bir yaklaşım benimsenerek tüm ulaşım modlarını (karayolu, demiryolu, havayolu ve deniz ulaşımını) temsil eden kurum temsilcileri Ekim-Aralık 2018 tarihlerinde gerçekleştirilen toplantılara davet edilmiştir. Ulaşım ile ilişkili veri üreten veya kullanan İl Özel İdareleri ve Büyükşehir Belediyeleri gibi yerel yönetim temsilcileri ile Karayolları Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü gibi merkezi yönetim temsilcileri de toplantılara davet edilmiştir. Böylece mümkün olduğunca farklı bakış açılarını temsil edebilecek 15 farklı kurumun temsilci göndermesi için resmi talepte bulunulmuştur ve toplamda 24 temsilci toplantılara katılım göstermiştir. Kimi kurum temsilcileri toplantıların tamamına ve bazı kurum temsilcileri de sadece belirli toplantılara katılıp katkı verme imkânı bulmuştur.

Toplantılarda öncelikle projenin kapsamı tanıtılmıştır. Haftada bir gün yüz yüze gerçekleştirilen toplantılarda temel kavramlar ve terminoloji tanıtıldıktan sonra, referans sistemleri, veri kalitesi, metaveri ve veri paylaşımı gibi konular uzmanlar tarafından sunulmuştur.

Her ne kadar birçok çalışmada birlikte çalışabilirliğin önemi, mükerrer veri üretiminin önlenmesi ve veri kalitesi gibi kavramlar üzerinde durulsa da, katılımcıların bu konuları bizzat tecrübe etmesinin faydalı olacağı anlaşılmıştır. İlgili kurumlar tarafından üretilen veriler toplanmış olup, tüm katılımcıların incelemesine sunulmuştur. Elde edilen çıktılardan bir tanesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çalışmanın belki de en önemli kazanımlarından biri de kurum temsilcilerinin veri standardizasyonunun önemini bizzat tecrübe etmiş olmalarıdır. Örnek olarak, hem bir İl Özel İdaresi

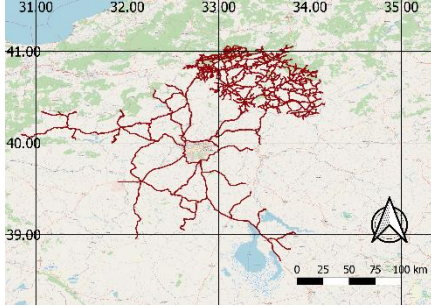
¹ <https://www.geoportall.gov.tr/>

² <https://tucbs-public-api.csb.gov.tr/tucbs>

³ <https://geoportall.harita.gov.tr/>

⁴ <http://inspire-geoportall.ec.europa.eu/>

tarafından hem de Orman Genel Müdürlüğü tarafından sayısallaştırılmış bir yol verisi katılımcıların dikkatini çekmiştir. Bu yolu İl Özel İdaresi 'köy yolu' olarak değerlendirirken, Orman Genel Müdürlüğü'nün ise 'orman yolu' olarak değerlendirdiği tespit edilmiştir. Böylece kurumlar arasındaki olası kavram karmaşaları (bir yol hangi durum(lar)da köy/orman yolu olur) ve mükerrer veri üretiminin neden olduğu kaynak israfı bizzat katılımcılar tarafından tecrübe edilmiştir.



Şekil 1. Karayolu alt bileşeni, yol orta çizgisi veri örneği

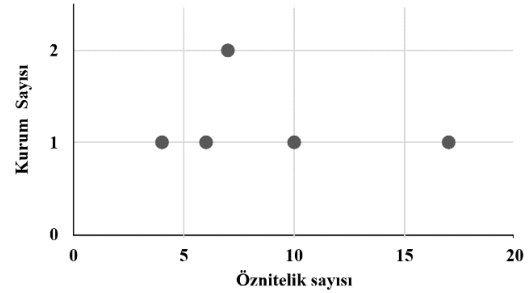
Çalışmanın ikinci aşamasında da mevcut coğrafi verinin ve özel olarak da ulaşım ile ilgili yapının daha iyi anlaşılması için bir anket tasarlanmıştır. Bu anketteki sorular, Tablo 1'deki gibi üç gruba ayrılmıştır ve anket katılımcılarıyla web üzerinden paylaşılmıştır. Anket katılımcıları genellikle karayolu trafik ağıyla ilgilenmektedir.

Tablo 1. Ulaşım teması için katılımcılara yöneltilen anket

No	Soru
1	Kaç farklı coğrafi veri (katman) ile çalışıyorsunuz?
2	Veri setlerinize ait meta-veri tutuyor musunuz?
3	Veri kalitesini değerlendirdiğiniz ek bir iş süreciniz var mı?
4	Yol katmanında kaç farklı öznitelik bulunmaktadır?
5	Veriyi hangi formatta paylaşıyorsunuz?
6	Veriyi diğer Kurumlarla genelde nasıl paylaşıyorsunuz?
7	Veriyi internet üzerinde paylaşıyor musunuz?
8	Geçtiğimiz üç ayda yaklaşık olarak kaç kere başka bir Kurumdan veri talep ettiniz?
9	Talep edilen veri ortalama kaç günde elinize geçer?
10	Geçtiğimiz üç ayda yaklaşık olarak kaç kere başka bir Kurumla veri paylaştınız?
11	Talep edilen veriyi ortalama kaç gün içinde paylaşıyorsunuz?

Ankete katılan kurum temsilcilerinin sadece 'karayolu' üzerine çalışıyor olmasının temel nedeni de diğer ulaşım modlarının sorumluluğunun genelde tek bir kuruma bağlı olmasıdır (ör. demiryolu ağı sadece TCDD'nin sorumluluğundadır).

Birinci soruda kurumların üzerinde çalıştıkları katman sayılarında üç katmandan 132 katmana kadar büyük farklılık olabileceği görülmektedir. İkinci soruda ise, kurumlarımızın yarısının metaveri tuttuğu, diğer yarısının ise tutmadığı görülmektedir. Kurumlarımızın üçte ikilik bir çoğunluğunun ise veri kalitesinin değerlendirilmesi üzerine ek bir iş süreci gerçekleştirdiği görülmektedir. Dördüncü sorudan ise yol katmanında tutulan öznitelik sayısının da kurumlarımızca farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 2). Burada belirtilmesi gereken bir durum ise, bütün kurumlarımızın 'yol'u çizgi yapısı ile ifade etmesidir.



Şekil 2. Yol katmanında bulunan öznitelik sayısı

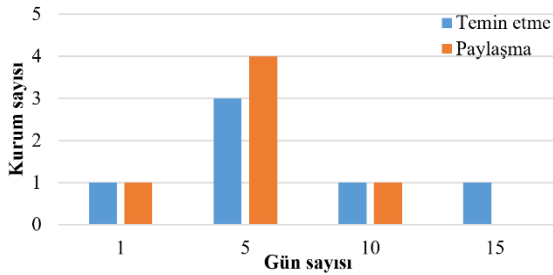
Veri paylaşımı üzerinde durulan ikinci grup sorularda tespit edilen ilk sonuç, bütün kurumlarımızın açık bir standart olan ShapeFile (SHP) ile coğrafi verilerini paylaşabilmesidir. Bunun yanında KML, Geopackage, GeoJSON gibi açık standartlar ile de coğrafi veri paylaşılabilir. Belirli lisanslı yazılımlarla uyumlu NCZ, MDB ve GDB gibi formatlarda da coğrafi verinin paylaşılabilmesi belirtilmiştir. Bu soruda kurum temsilcileri birden çok formatta veriyi paylaşabileceklerinden dolayı, birden çok format seçme hakkı da tanınmıştır. Açık standartları dayalı veri paylaşım ortamının oluşturulmasının coğrafi veri ile ilişki sektörleri olumlu etkileyeceği değerlendirilmektedir (Varol ve Şanlıoğlu, 2017).

Anketin altıncı sorusunda, coğrafi verinin hangi şekilde paylaşıldığı incelenmiştir. Kullanılan web servisleri ayrıştırılmadığından, veri paylaşımında web teknolojilerinin yarı yarıya kullanımı dikkat çekmektedir. İlerleyen yıllarda bu anket yapıldığında, veri paylaşımının büyük çoğunlukla web teknolojileri ile sağlanacağı ön görülmektedir.

Anketin yedinci sorusunda ise verinin genel olarak internet üzerinden paylaşıldığı görülmektedir. Ancak, sadece bir kurumun verisini halka açık olarak paylaşması ve kurumlar arası veri paylaşımında bürokratik bir süreç olan 'protokol' gerçekleştirilmesi gerekliliğinin, ulaştırma alanında çalışan paydaşları olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmektedir. Ulaştırma altyapısının genel olarak bir kamu hizmeti olduğu ve 'gizlilik' teşkil edecek bir niteliği de bulunmadığı düşünülürse, kurumların ürettikleri veriyi etkin ve halka açık bir şekilde paylaşmalarının ulaştırma sektörünü daha da güçlendireceği öngörülmektedir.

Son grup sorularda ise pratikteki veri paylaşım süreci hakkında daha detaylı bilgi edinilmesi hedeflenmiştir. Yakın bir zaman olarak değerlendirilebilecek ‘son üç aylık bir dilimde, kurumlarımızın üçte ikilik bir çoğunluğu başka bir kurumdan veri talebinde bulunmuştur. Bu da veri paylaşım ihtiyacının pratikte karşılığı olduğunun en büyük göstergesidir. Bu üç aylık süreç uzatıldığında, diğer kurumlardan ihtiyaç duyulan verinin de artacağı belirtilebilir.

Anketin dokuzuncu sorusunda ise, verinin temin edilme süresinde farklılıklar göze çarpmaktadır. Kimi kurumlar veriyi talep ettikleri gün temin edebilmekteyken, kimi kurumlar için bu süreç 15 günü bulabilmektedir. Genel olarak ise, bir haftalık bir süreçte verinin temin edilebildiği görülmektedir. Anketin son sorusunda ise kurumlarımızın üçte ikilik bir çoğunluğunun kendilerinden istenen veriyi bir hafta içerisinde diğer kurumla paylaştıkları görülmektedir. İstenilen verinin temin edilme süresi ile paylaşılma süreleri arasındaki ilişkiyi gösteren karşılaştırmalı grafik Şekil 3’te belirtilmiştir.



Şekil 3. Verinin temin edilme ile paylaşılması süreleri arasındaki ilişki

Son üç aylık süreçte, kurumlarımızın sadece üçte biri başka bir kurumla veri paylaşmamışken, büyük bir çoğunluğun veri paylaşımında bulunduğu görülmüştür. Bu veri paylaşımının da iki ile beş kurum arasında değiştiği belirtilmiştir. Böylece, veri paylaşımının kurumlarımız açısından gerekliliğine ve yaygınlığına yapılan vurgu daha da desteklenmiştir.

2.3. Katılımcı Yaklaşım ile Ulaşım Veri Modelinin Belirlenmesi

Katılımcı bir yaklaşımla gerçekleştirilen TUCBS toplantılarında, ulaşım ile ilgili coğrafi nesne tiplerinin (detay tipi, feature type) ne oldukları, nasıl adlandırılmaları gerektiği ve benzer şekilde bu coğrafi detayların özneliklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık üç ay süren oturumlar boyunca paydaş kurumlar veri yapısına ilişkin beklenti ve ihtiyaçlarını belirtmişlerdir. Haftanın belirli bir gününde gerçekleştirilen oturumlarda kurum temsilcilerinin metaveri, veri kalitesi, veri teslimi, veri üretimi ve kartografik gösterim gibi farklı konularda görüşlerine başvurulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamalarında, bu veri atlıklarının navigasyon odaklı düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Nitekim navigasyon için yol kesişim düğümlerinin, yol kuralları (ör. U-dönüşü yapılamaz) ile anlamlandırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, Ulaştırma Bakanlığı’nın gerçekleştirmiş olduğu “Ulusal Ulaştırma Portalı”⁵ ve açık bir sistem olan Open Source Routing Machine (OSRM)⁶ ile bu tür navigasyon temelli çalışmaların sağlanabildiği de tespit edilmiştir.

Önemli bir diğer nokta olarak, yol verisi tutulurken, ‘yol alanı’ ve ‘araç taşıt alanı’ adı altında iki adet poligon katmanının tutulması gerektiği belirtilmektedir (INSPIRE 2014). Bu durum, coğrafyanın bütüncül bir yaklaşımla ele alınması konusunda destekleyici niteliktedir. Ancak, poligon katmanı üreten bir kurumun olmaması da bu sürecin nasıl işletilebileceği konusunda belirsizlik yaratmaktadır.

INSPIRE uyumluluğu kapsamında ihtiyaç duyulan poligon katmanlarının sağlanması için belki de en önemli gereksinim, altyapı çalışmalarıyla ilgilenen kişilerin de güncelleme sürecine dahil olmasını sağlamaktır. Böylece, altyapı alanında çalışan paydaşların görüşleri ve bu konuda ihtiyaçları daha net anlaşılabilir. Nitekim, ‘araç taşıt’ ve ‘yol trafik’ alanlarının belirlenmesi ile birlikte alt yapı ile ilgilenen kurumlar en büyük faydayı sağlayacaklardır (Chen ve Cohn, 2011).

Bunların yanında bisiklet yolu güzergahlarının ve kurulacak olan istasyonların konumlarının da belirlenmesi için doğru ve güncel trafik alanı verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Son olarak, yaya navigasyonun etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için de kaldırımların yolun hangi tarafında bulunduğu bilinmesi gerekmektedir. Bütün bu alanlarda çalışan kişilerin görüşleri büyük önem arz etmekte olup, toplanması maliyetli olacak bu verinin nasıl ve kimler tarafından kullanılacağına bilinmesi, verinin üretilmesinde motivasyon oluşturacaktır.

Çalışmanın son oturumlarında ise, diğer veri temalarının da şekillenmesiyle birlikte, ulaşım veri temasına ait coğrafi nesnelerin kartografik gösterimine ilişkin farklı beklentiler ortaya konulmuştur. Veri formatı için eXtensible Markup Language (XML) tabanlı açık veri yapısı olan Geography Markup Language (GML) formatı genel olarak kabul görürken kartografik gösterimin tanımlanması için de Styled Layer Descriptor (SLD) yapısı öne çıkmıştır. Farklı kurumların aynı veri için farklı kullanım senaryolarına sahip olmaları sebebiyle tüm kurumların ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapsayıcılıkta ön tanımlı ortak bir SLD şablonunun oluşturulmasının zor olacağı anlaşılmıştır. Ancak yine de çalışma sonunda tüm nesne tipleri için (örneğin karayolu orta çizgisi) bir öznelik alanına bağlı şekillenen (örneğin karayolu tipi) gösterim türü SLD formatı ile tanımlanmıştır (örneğin karayolu nesnesinin tipine göre değişen yol kalınlığı).

⁵<https://www.ulasim.gov.tr/>

⁶<http://project-osrm.org/>

3. BULGULAR

Katılımcı bir yaklaşımla gerçekleştirilen tüm bu çalışmaların ve değerlendirmelerin ışığında, ulaşım ile ilgili temel bileşenlerde, coğrafi detay türlerinde, bu detayların adlandırılmalarında ve benzer şekilde bu coğrafi detayların özneliliklerinde, 2013 yılında yürütülen çalışmaya kıyasla farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

TUCBS'nin 2013 yılındaki ilk sürümünde duyurulmuş olan "Ulaşım Veri Teması" içerisinde Ulaşım Temel Sınıfları, Demiryolu, Denizyolu, Havayolu ve Karayolu olacak şekilde toplamda beş adet alt bileşen bulunmakta iken, 2018 yılında katılımcıların görüşleri doğrultusunda tanımlanan "Ulaşım Ağları Teması" alt bileşenleri arasına 'Kablolu Ulaşım Ağı' eklenerek bu sayı altıya yükselmiştir. İlgili sınıf adları Tablo 2'de belirtilmiştir. Her ne kadar kablolu ulaşım ağı INSPIRE'in dökümantasyonunda belirtilmiş olsa da, güncelleme sırasında Ankara Büyükşehir Belediyesinden gelen katılımcının görüşleri bu süreçte etkili olmuştur.

Tablo 2. TUCBS ulaşım ağları sınıfları

2013	2018
Ulaşım temel sınıfları	Ortak ulaşım elemanları
Demiryolu	Demiryolu ağı
Denizyolu	Su ulaşım ağı
Havayolu	Hava ulaşım ağı
Karayolu	Karayolu ağı
	Kablolu ulaşım ağı

Bununla birlikte 2013 yılında gerçekleştirilen çalışmada alt bileşenler altında toplamda 50 nesne tipi (feature type) ve 33 ön tanımlı veri tablosu (codelist) tanımlanmış iken bu sayı 2018 yılında nesne tipinde 131'e, ön tanımlı veri tablosunda ise 42'ye yükselmiştir. TUCBS Ulaşım Temasına yönelik olarak alt bileşen, detay tipi ve ön tanımlı veri tablosu sayıları arasındaki karşılaştırma Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. TUCBS Ulaşım Teması 2013-2018 Karşılaştırması

	Ulaşım Veri Teması (2013)	Ulaşım Ağları Teması (2018)
Alt bileşenler	5	5 + 1
Nesne tipi (feature type)	50	26 + 105
Ön tanımlı veri tablosu (codelist)	33	17 + 25

2013 yılında belirlenmiş olan nesne tiplerinden yalnızca 26 adedi, ön tanımlı veri tablolarından ise 17 adedi 2018 yılında yapılmış olan çalışmada yer almıştır.

Söz konusu karşılaştırma yapılırken 2013 ve 2018 yılları veri temaları için hazırlanmış olan detay kataloglarından faydalanılmıştır. Bazı nesne tipi ve ön tanımlı veri tablolarının isimleri farklı olsa da kataloglarda belirtilen tanımlardan faydalanılarak aynı işleve sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin TUCBS'nin 2013 yılındaki ilk sürümünde duyurulmuş olan "Karayolu" alt bileşeninin "YolNoktası" isimli nesne tipi, detay katalogunda '*Karayolu verisinde nokta geometrisi ile ifade edilen verilerin tutulduğu detay sınıfıdır*' şeklinde tanımlanmıştır. Bunun yanında 2018 yılında tanımlanan "Karayolu Ağı" alt bileşeninin "KarayoluDugumNoktası" isimli nesne tipi ise detay katalogunda '*İki yol bağlantısı arasındaki bağlantıyı temsil etmek veya bir servis istasyonu veya döner kavşak gibi önemli bir uzamsal nesneyi temsil etmek için kullanılan bir noktasal coğrafi nesnedir.*' şeklinde tanımlanmıştır. İki tanım arasındaki anlam benzerliğinden ötürü, "YolNoktası" ile "KaraYoluDugumNoktası" nesne tiplerinin aynı görevi üstlendiği tespit edilmiştir.

2013 yılında tanımlanmış bazı ön tanımlı veri tablolarının 2018 yılında gerçekleştirilmiş olan güncelleme çalışmasında birden fazla ön tanımlı veri tablosuna ayrılabilirdiği de gözlemlenmiştir. Örneğin 2013 yılında tanımlanmış olan ve geçit ve envanterlere yönelik tanımları içeren "UlaşımYapıTuru" ön tanımlı veri tablosunun, 2018 yılında yapılan çalışmada envanter tanımlarını içeren "EnvanterTuru" ve geçit tanımlarını içeren "GeçitKategorisi" şeklinde iki ayrı ön tanımlı veri tablosu şeklinde güncellendiği görülmektedir.

Benzer şekilde 2013 yılında tanımlanmış olan bazı ön tanımlı veri tablolarının, 2018 yılında güncellenmiş olan aynı işleve sahip ön tanımlı veri tabloları ile farklı değerler içerdiği görülmüştür. Örneğin, 2013 yılında tanımlanmış olan ve karayolunun kullanım türünü ifade eden "KarayoluTurTipi" ön tanımlı veri tablosu, 2018 yılında "YolTuruDeğeri" olarak güncellenmiştir. Güncelleme ile birlikte tablo içerisindeki değerlerin arttığı görülmüş olup söz konusu karşılaştırma Tablo 4'te gösterilmiştir. İki ön tanımlı veri tablosundaki ortak değerler yeşil renk ile belirtilmiştir.

Anlamsal ve işlevsel olarak açıkça eşleştirilemeyen nesne tipleri ve ön tanımlı veri tabloları, 2018 yılında gerçekleştirilmiş olan güncelleştirme çalışmasında değiştirilmiş veya yeni üretilmiş olarak varsayılmıştır.

Bu kapsamlı güncelleme çalışmasında 2013 ve 2018 yılındaki TUCBS sürümlerinin nesne tiplerinin (feature type) ve ön tanımlı veri tablolarının (code list) karşılaştırmasına yönelik olarak hazırlanmış olan tablo, tüm paydaşların erişimine açık olarak sunulmuştur (Bilgin 2020). Tabloda 2013 ve 2018 yıllarında duyurulmuş olan nesne tipi ya da ön tanımlı veri tablosunun aynı veya benzer amaçla kullanıldığına kanaat getirildiği durumlarda, iki farklı sürümdeki ilgili nesne tipi ya da ön tanımlı veri tablosu aynı renk ile gösterilmiştir.

Tablo 4. KarayoluTurTipi – YolTuruDeğeri Ön Tanımlı Veri Tablosu Karşılaştırması

KarayoluTurTipi (2013)	YolTuruDeğeri (2018)
agirVasitaYolu	acikKavsak
arabaParkGirisi	bisikletYolu
baglantiYolu	bolunmemisYol
bisikletYolu	bolunmusYol
diger	cevreYolu
gecitYol	donelKavsak
genisCevreYolu	otoparkGirisveCikis
otoyolu	otoyol
servisGirisi	otoyolBaglantiYolu
servisYolu	parkiciYol
tarlaYolu	patika
trafigeKapaliYol	servisYolu
yayaYolu	tesisGirisveCikis
	topluTasimayaTahsisliYol
	trafigeKapaliAlan
	traktorYolu
	yayaYoluZonu
	yuruyusYolu

Her ne kadar 2018 yılında gerçekleştirilen TUCBS çalışmaları katılımcı bir yaklaşımla gerçekleştirilmiş olsa da Hava Ulaşım Ağı ve Su Ulaşım Ağı ile ilgili çalışmalara ilgili kurum temsilcileri katılım sağlayamadığından bu alt bileşenler için INSPIRE'in ulaşım temasındaki veri modeli benimsenmiştir.

Toplamda 6 alt bileşen, 131 detay tipi ve 42 ön tanımlı veri tablosu oluşturulmuştur ve bunların 2013'te gerçekleştirilen çalışmayla benzer ve farklı yönleri belirlenmiştir (Bilgin, 2020). Benzer şekilde özel sektörden katılımcıların da sürece dâhil edilmeleriyle, ulaşım teması kapsamında üretilen verinin tam anlamıyla kamuya mal edilebileceği değerlendirilmektedir.

4. SONUÇLAR

Günümüzde ulaşım veri teması; günlük ev ve iş arasındaki ulaşım hareketlerinin yönetiminde, lojistik yönetiminden iş toplantılarına katılmak gibi planlama gerektiren işlerin gerçekleştirilmesinde, ulaşım planlamasından büyük ölçekli yatırımların planlanmasına kadar birçok farklı alanda önem arz etmektedir. Dolayısıyla ulaşım ile ilgili coğrafi veri setleri, büyük miktarda ve hızlı bir şekilde üretilmektedir. Bu verinin kamuya açık olarak paylaşılmasının ve dolayısıyla işlenip değerlendirilmesinin ekonomiye olumlu yönde katkı sağlayacağı bir gerçektir.

2013 yılında belirlenmiş olan ulaşım temasına ilişkin alt bileşenlerin, nesne tiplerinin ve ön tanımlı veri tablolarının, 2018 yılında coğrafi veri üreten

birçok kurum ve kuruluş temsilcisinin katılımıyla gerçekleştirilen güncelleme çalışmasında ne denli artış gösterdiği açıktır. Daha da önemlisi şu an önerilen veri modeli pratikte uygulanan süreçlerle daha iyi bir uyum içerisindedir.

Bu noktada da ulaşım altyapısını ilgilendiren verinin standartlara uygun bir şekilde üretilip, tüm paydaşlarla paylaşılmasının ve bütün bu sürecin katılımcı bir yaklaşımla yönetilmesinin ne kadar önem taşıdığı anlaşılmaktadır. Nitekim, coğrafi verinin paylaşımı için tüm teknik altyapı hazır olsa ve mevcut veri paylaşılıyor olsa bile, bunu değerlendirmek isteyen kişi sayısı, bu kişilerin teknik yetkinliği ve tecrübesi yetersiz kalıyorsa, sistemin sürdürülebilir bir yapıda idame ettirilmesi büyük oranda sektöre uğrayacaktır.

Ulaşım veri teması ve ilişkili verinin herhangi bir koşul gözetmeksizin açılması (*open by default* yaklaşımı) ilk adımdır, ancak yeterli değildir. Aynı zamanda, belirli hedefler dahilinde (*open with purpose* yaklaşımı) açılmasının da gerekliliği görülmektedir (URL 5). Uluslararası arenada da buna benzer bir yaklaşımın benimsendiği görülmektedir. Veri bilimi ile uğraşan birçok araştırmacının katıldığı "Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)" gibi önde gelen konferanslarda yarışmalar düzenlenmektedir ve bu yarışmalarda gerçek hayatta karşılaşılan bir problemin tanımı yapılmaktadır ve ilgili veri setleri yarışmacılarla paylaşılmaktadır. Örnek olarak 2019 yılında gerçekleştirilen KDD Cup yarışmasına 39 ülkeden 5000'in üzerinde katılımcı üç farklı yarışma alanında çözümlerini sunmuştur (URL 6).

Katılımcıların çabalarıyla ortaya konan değerli önerilerin, bir kuruma nasıl fayda sağladığının anlaşılması neticesinde, coğrafi veri setleriyle ilgilene diğer kurumlarımızın da benzer yolu tercih etmelerinin önü açılmış olacaktır. Bir başka deyişle, bir kurum için değer yaratan bir çalışma, diğer kurumlar için de referans niteliği taşıyacaktır.

Ulaşım ilişkili veri setleri; navigasyon, rota planlama vb. birçok ticari uygulamada yoğun olarak kullanılan ve ticari değeri yüksek verilerdir. Kamu kurumlarının ürettiği verilerin güncelliği ve yaşatılmasındaki eksiklikler dikkate alındığında; özel sektörden, aktif ve pasif algılayıcılardan gelen verinin bütünleşik yönetilmesi, güncellenmesi ve birçok sektöre yönelik uygulamalarda gerçek zamanlı karar destek sağlaması gereklilik arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü'ne, ulaşım veri teması ilişkili kurum temsilcileri ile yapılan toplantıları koordine etmesinden dolayı; anketin hazırlanmasındaki katkıları için Azer İlgar'a ve toplantıların yönetimini sağladığı için Yalın Yener'e teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Aydinoğlu, A. Ç. ve Kara, A. (2019). Modelling and publishing geographic data with model-driven and linked data approaches: case study of administrative units in Turkey. *Journal of Spatial Science*, 64(1), 11-31.
- Ballis, A. (2006). Implementing the European Transport Information System. *Transportation Research Record*, 1957(1), 23-31.
- Bilgin, G. (2020). TUCBS 2013-2018 Sürümleri Karşılaştırma Tablosu https://github.com/gokhan-bilgin/TUCBS/raw/master/TUCBS_Karsilastirma.pdf (Son erişim tarihi: 29 Nisan 2020)
- Borzacchiello, M. T., Torrieri, V. ve Nijkamp, P. (2009). An operational information systems architecture for assessing sustainable transportation planning: principles and design. *Evaluation and Program Planning, Evaluating the Impact of Transport Projects: Lessons for Other Disciplines*, 32(4), 381-389.
- Chen, H. ve Cohn, A. G. (2011). Buried Utility Pipeline Mapping Based on Multiple Spatial Data Sources: A Bayesian Data Fusion Approach. *Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence – Volume.3*, 2411-2417.
- Craglia, M. ve ark. (2012). Digital Earth 2020: towards the vision for the next decade. *International Journal of Digital Earth*, 5(1), 4-21.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlanı.pdf> (Son erişim tarihi: 29 Nisan 2020)
- Eisenberg, J. N. S. ve ark. (2006). Environmental change and infectious disease: How new roads affect the transmission of diarrheal pathogens in rural Ecuador. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(51).
- Goodchild, M. F., Fu, P. ve Rich, P. (2007). Sharing Geographic Information: An Assessment of the Geospatial One-Stop. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(2), 250-266.
- Gunay, A., Akcay, O. ve Altan, M. O. (2014). Building a semantic based public transportation geoportal compliant with the INSPIRE transport network data theme. *Earth Science Informatics*, 7(1), 25-37.
- Güney, C., Doğru, A. Ö., Başaraner, M., Çelik, R. N., Uluğtekin, N., Özlüdemir, T., ve Keskin, M. (2015). TUCBS Açmazı ve Açık Bir Ulusal Mekânsal Veri Altyapısına Yönelim. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-28 Mart 2015, Ankara.
- Hickman, R. ve Dean, M. (2018). Incomplete cost – incomplete benefit analysis in transport appraisal. *Transport Reviews*, 38(6), 689-709.
- INSPIRE. (2007). A quick overview for implementers INSPIRE. <https://inspire.ec.europa.eu/quick-overview-implementers/57528> (Son erişim tarihi: 1 Mayıs 2020)
- INSPIRE. (2014). D2.8.1.7 Data Specification on Transport Networks – Technical Guidelines. <https://inspire.ec.europa.eu/file/1723/download?token=0GOYYbMF> (Son erişim tarihi: 1 Mayıs 2020)
- Karlaftis, M. ve Kepaptsoglou, K. (2012). Performance measurement in the road sector: A cross-country review of experience (Working Paper No: 2012-10). *International Transport Forum Discussion Paper*.
- Kesten, A. S. ve Ögüt, K. S. (2014). A New Passenger Oriented Performance Measurement Framework for Public Rail Transportation Systems. *Promet - Traffic&Transportation*, 26(4), 299-311.
- Pickrell, S. ve Neumann, L. (2001). Use of Performance Measures in Transportation Decision Making, *Transportation Research Board Conference Proceedings*, 26, 17-33.
- Proffitt, D. G., Bartholomew, K., Ewing, R. ve Miller, H. J. (2019). Accessibility planning in American metropolitan areas: Are we there yet? *Urban Studies*, 56(1), 167-192.
- Tait, M. G. (2005). Implementing geoportals: applications of distributed GIS. *Computers, Environment and Urban Systems, Geoportals*, 29(1), 33-47.
- Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. (2014). 2014-2023 Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi, <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus.pdf> (Son erişim tarihi: 29 Nisan 2020)
- Ulutaş, D., Kara, G. ve Cömert, Ç. (2016). Semantic definition and matching for implementing national spatial data infrastructures. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 441-459.

URL-1: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/07/20180710-1.pdf> (Son erişim tarihi: 2 Nisan 2020)

URL-2: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/07/20110704M1-1.htm>. (Son erişim tarihi: 2 Nisan 2020)

URL-3: <https://cbs.csb.gov.tr/veri-temalari-hakkinda-i-86103>. (Son Erişim: 2 Nisan 2020)

URL-4: <https://cbs.csb.gov.tr/cografi-veri-temalari-uygulama-semalari-i-86098> (Son Erişim: 2 Nisan 2020)

URL-5: <http://geothink.ca/geothinklearn-13-the-evolution-of-open-data-in-canada/> (Son erişim: 2 Nisan 2020)

URL-6: <https://www.kdd.org/kdd2019/kdd-cup> (Son erişim tarihi: 2 Nisan 2020)

Varol, M.B., ve Şanlıoğlu, İ. (2017). Open Geospatial Consortium Web Map and Feature Services and Free/Open Source Server/Client Softwares. *International Journal of Engineering and Geosciences* 2 (1): 17–26.

Yang, X., Li, X., Ning, B. ve Tang, T. (2016). A Survey on Energy-Efficient Train Operation for Urban Rail Transit. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 2-13.

Yılmaz, A. ve Canıberk, M. (2018). Real Time Vector Database Updating System: A Case Study for Turkish Topographic Vector Database (TOPOVT). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 73-79.



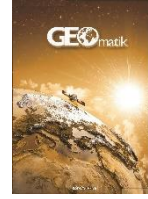
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Kapsamında Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi

Kamil Karataş^{*1}, Eyyüp Genç²

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

²Gaziantep Kadastro Müdürlüğü, Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kadastro
Sayısallaştırma
3402/Ek-1
Tecviz
Koordinat İyileştirme

ÖZ

Türkiye’de, taşınmazların konumlarını, alanlarını, hukuksal durumunu tespitine yönelik olarak yaklaşık 100 yıllık bir sürece yayılarak yapılan kadastro çalışmaları, değişik kanunlarla, farklı ölçü yöntemleri, çeşitli ölçü aletleri, değişik koordinat sistemleri, ölçekler ve altlıklarda gerçekleştirilmiştir. Bu durum, kadastrodan kaynaklı hataların oluşmasına, günümüz veri üretim standartlarına uygun olmamasına, günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte artan ihtiyacın karşılanamamasına ve mekânsal bilgi sisteminin althığını oluşturulmamasına yol açmıştır. Yaşanan sorunlara çözüm getirmek için, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından, kadastro çalışmaları tamamlanan fakat kesin koordinatı olmayan veya teknik olarak yetersiz olan birimlerde kadastro güncelleştirme ve sayısallaştırma çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, Ülkemizde Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından 3402 sayılı Kadastro Kanunu’nun Ek-1 maddesi kapsamında yapılan sayısallaştırma çalışmaları incelenmiştir. Paftadan yapılan sayısallaştırma işlemlerinde afin dönüşümüne bağlı hataların 3402 sayılı Kadastro Kanunu’nun Ek-1 maddesi kapsamında sayısallaştırma çalışmalarında göz ardı edildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca alan tecviz formüllerinin de ihtiyacı karşılamadığı ve sayısallaştırma çalışmalarındaki nokta konum doğruluğunu bünyesinde barındıran yeni yaklaşımların gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

A Discussion of Studies Made Within Scope of Digitization of Cadastral Maps

Keywords

Cadastre
Digitization
3402/Article 1
Tolerance
Coordinate Improvement

ABSTRACT

Cadastral works conducted to determine the location, area, and legal status of real properties have been carried out by using various laws, measuring methods, measuring tools, coordinate systems, scales, and substrates over a period of 100 years. That has led to errors originated from the cadastre, cadastral works incompatible with current data production standards, and the inability to meet the rising needs of advancing technology or to build spatial information system substrates. To resolve such issues, the General Directorate of Land Registry and Cadastre (TKGM) updates and digitizes units for which cadastral works had been completed but for which absolute coordinates were unavailable or inadequate. This study analyzes the digitization studies carried out by TKGM according to those standards, as set forth in the provisions of Cadastre Law Number 3402, Article 1. Errors originating from the afin transformation in digitization processes of cadastral map sheets were ignored in digitalization studies conducted in accordance with the provisions of Cadastre Law Number 3402, Article 1. Moreover, it was found that the tolerance formulas do not meet the needs and that new approaches, including positional accuracy in digitization studies, are needed.

*Sorumlu Yazar

^{*}(kkaratas42@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0001 - 5174 - 7153
(eyyupgencer@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0001 - 6098 - 1371

Araştırma Makalesi / DOI: 1029128/geomatik.724163

Kaynak Göster (APA)

Karataş, K. & Genç, E. (2021). Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Kapsamında Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi. Geomatik, 6(2), 124-134, DOI: 1029128/geomatik.724163

Geliş Tarihi: 20/04/2020; Kabul Tarihi: 18/06/2020

1. GİRİŞ

Ülkemizde, taşınmazların konumlarını, geometrik yapısını, alanlarını ve hukuksal durumunu tespitine yönelik olarak yapılan kadastro çalışmaları, yaklaşık bir asırlık süreçte birkaç birim dışında tamamlanmıştır (Altınışık, 2019; Ertaş, 2019). Yazılı kadastro olarak başlayan süreç, zaman içinde çizgisel kadastroya dönüşerek, 1980'li yıllardan sonra ise sayısal harita dönemi başlamıştır (Gençer, 2019). Günümüzde ise mekânsal bilgi sisteminin oluşturulması çalışmaları devam etmektedir. Dünyada teknolojik ilerlemelerle birlikte gelişen ve artan ihtiyaçlar, dinamik kadastronun sağlanması ve mekansal bilgi sisteminin temel altlıklarından olmasından dolayı kadastral verilerin sayısal olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı standartlara uygun sayısal durumda olmayan kadastro paftalarının hızlı ve güvenilir şekilde sayısallaştırılarak Avrupa Birliği Konumsal Veri Altyapısı (INSPIRE) direktiflerine uygun Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri (TUCBS) kuruluşu projesi kapsamında oluşturulan standartlarda sayısal hale getirilmesi gerekmektedir (Narin vd., 2018; Iscan ve Ilgaz, 2017; Varol ve Şanlıoğlu, 2017).

Pusula ve çelik şerit metreyle başlayan kadastro çalışmaları, daha sonra prizma, takeometre, elektronik takeometre, total station aletleri ve 2000'li yıllarla birlikte de uydu tabanlı konumlandırma sistemlerinin gelişmesiyle GNSS kullanılarak devam etmiştir (Alkan vd., 2017).

Geçmişten günümüze kadar farklı ölçü yöntemleri, çeşitli ölçü aletleri ve değişik altlıklar kullanılarak üretilen kadastro haritaları, kadastro çalışmaları sırasında kişiye bağlı kaba hataların yanında ölçü aleti ve yönteminin yetersizliğine bağlı hataları da içermektedir. Kadastro paftalarındaki hatalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1- Yer kontrol noktalarının, ölçüm ve hesaplamalarından kaynaklanan hatalar,
- 2- Kadastro parsellerinin sınırlandırılması sırasında meydana gelen hatalar,
- 3- Kadastro parsellerinin köşe noktalarının ölçümü sırasında meydana gelen hatalar,
- 4- Fotogrametrik paftalardaki dönüşüm ve kıymetlendirme hataları,
- 5- Ölçülerin kadastro paftasına aktarılması sırasında meydana gelen tersimat hataları,
- 6- Parsel alanlarının hesaplanmasından kaynaklı hatalar,
- 7- Basit yazım hatalarıdır.

Bu hataların, mevcut kadastral altlıklarda bulunmasından dolayı kadastro altlıkları çağımız teknolojisine entegre olabilecek düzeyde değildir.

Evensel bir kavram olan kadastro, ülkelerin kalkınması, mülkiyet hakkının korunması ve küreselleşen dünyamızdaki bireylerin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır (Yomralıoğlu ve McLaughlin, 2017).

Günümüzdeki kadastro çalışmalarının temel hedeflerinden biri de, taşınmazlara ait grafik ve

öznitelik verilerinin bilgisayar ortamına aktarılarak mekânsal bilgi sisteminin altyapısının oluşturulup "Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi" projesinin hayata geçirilmesine katkıda bulunmaktır. Ancak Ülkemiz kadastronun genel durumunun bu şekilde bir veri tabanına altlık oluşturabilecek nitelikte olmadığı görülmektedir. Bu durum ikinci kadastro yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İkinci kadastro yapılmasının hukuksal olarak mümkün olmadığı ülkemizde, kadastral altlıkların konumsal bilgi sistemlerine entegre olabilecek yapıya dönüştürülmesi için kadastro güncelleme ve sayısallaştırma çalışmaları yapılmaktadır (Kibaroğlu ve Şişman, 2009). Kadastronun kaynaklı hataları gidermede bazı lokal düzenlemeler olsa da en kapsamlı yöntem kadastro güncelleme ve sayısallaştırma çalışmalarıdır.

Ülkemizde, TKGM' den alınan 2019 yılı Ocak Ayı verilere göre; mevcut 57 675 367 kadastro parselinin yaklaşık % 41.62' sinin güncellenmesi gerekmektedir (Tablo 1) (Altınışık, 2019).

Tablo 1. Ülkemizdeki güncellemeye duyulan ihtiyacın parsel sayısı ve oranı.

	Parsel Sayısı	Oran (%)
3402/22.a Kapsamında Güncelleme	13 747 229	23.84
3402/EK-1 Kapsamında Güncelleme	10 255 403	17.78
TOPLAM	14772 769	41.62

3402 sayılı Kadastro Kanununun Ek 1. maddesi kapsamındaki çalışmada, teknik hataları gidermekten çok geçmiş yıllarda üretilmiş sayısal olmayan kadastro paftalarının sayısallaştırılmaktadır. Kadastro haritalarının, arazi çalışmaları ile birlikte değerlendirilerek Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (B.Ö.H.H.B.Ü.Y)'nin ve TUCBS'nin öngördüğü standartlarda ITRF96 koordinat sisteminde sayısal hale getirilmesidir. Böylelikle mekânsal bilgi sistemlerine uygun altlıklar oluşturulması sağlanmaktadır. Ayrıca sayısallaştırma çalışmaları arazi toplulaştırma projeleri, kapsamlı imar uygulamaları vb. işlemlerdeki tecviz dışı alan farklarını gidermek üzere 3402/41 kapsamında çıkarılan yönetmelikteki tebligat sorununu aşmak amacıyla da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Ülkemizde mekânsal bilgi sisteminin alt yapısını oluşturmak amacıyla 3402 sayılı Kadastro Kanununun Ek 1. maddesi kapsamında TKGM tarafından yapılan sayısallaştırma çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca kadastral verilerin niteliklerinin artırılması kapsamında, yapılan sayısallaştırma çalışmalarının ölçü yöntemlerine yaklaşımı ve işlemler sırasında kullanılan formüllerin ve yöntemlerin günümüz ihtiyaçlarını karşılama durumları da irdelenmiştir.

2. YÖNTEM

Kadastro haritalarının sayısallaştırılması çalışmaları; 3402 sayılı Kadastro Kanununun Ek-1 maddesi, Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması

Yönetmeliği, Kadastro Güncelleme Yönetmeliği ve TKGM'nin 2012/15, 2019/13 sayılı Genelgesi hükümleri doğrultusunda yapılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Kadastrodan kaynaklı hataların düzeltilmesinde yasal dayanak.

İŞLEM	KANUN / TÜZÜK	YÖNETMELİK	GENELGE
Teknik Hataların Düzeltilmesi (3402/41)	3402 sayılı Kanunun 41. Maddesi	Kadastro Sırasında veya Sonrasında Yapılan İşlemlerle Geometrik Durumları Kesinleşmiş Olan Taşınmazlarda Ölçü, Sınırlandırma, Tersimat ve Hesaplamalardan Doğan Hataların Düzeltilmesine İlişkin Yönetmelik	TKGM'nin 2019/13 Sayılı Genelgesi
Basit Yazım Hataları	Tapu Sicil Tüzüğü'nün 74. ve 75. maddesi	-	TKGM'nin 2016/2 Sayılı Genelgesi
Sayısallaştırma	3402 sayılı Kanununun Ek1. Maddesi	Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Hakkında Yönetmelik	TKGM'nin 2012/15 Sayılı Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Hakkında Genelgesi
Kadastro Paftalarının Yenilenmesi	2859 sayılı Yenileme Kanunu	Tapulama ve Kadastro Paftalarının Yenilenmesi Hakkında Yönetmelik	TKGM'nin 2003/2 Sayılı Yenilemede Cins Değişikliği Genelgesi ve TKGM 1995/4 sayılı Yenileme Yönetmeliği'nin Uygulanması Hakkında Genelgesi
Kadastro Güncelleme	3402 sayılı Kanunun 22-a. Maddesi	Kadastro Güncelleme Yönetmeliği	TKGM'nin 2018/3 Kadastro Güncelleme Çalışmaları Uygulama Genelgesi

Sayısallaştırma çalışmalarıyla, grafik veya farklı koordinat sistemlerinde üretilmiş olan haritaların ve verilerin, zemin çalışmaları ile birlikte değerlendirilerek tespit edilebilen hataları giderilmiş olarak TUCBS'ye uygun nitelikte teknik olarak öngörülen koordinat sisteminde güncellenmesi ve mekansal bilgi sistemine uygun hale getirilmesi hedeflenmektedir (URL 1).

Bu çalışmalar, Tapulama/Kadastro sonucu üretilen sayısal nitelikte olmayan haritalar ile bunlar üzerinde yapılan değişiklik işlemleri sonucu üretilen haritalar ve ITRF96 koordinat sistemi haricinde bir koordinat sisteminde üretilmiş olan tapulama/kadastro haritalarını kapsamaktadır.

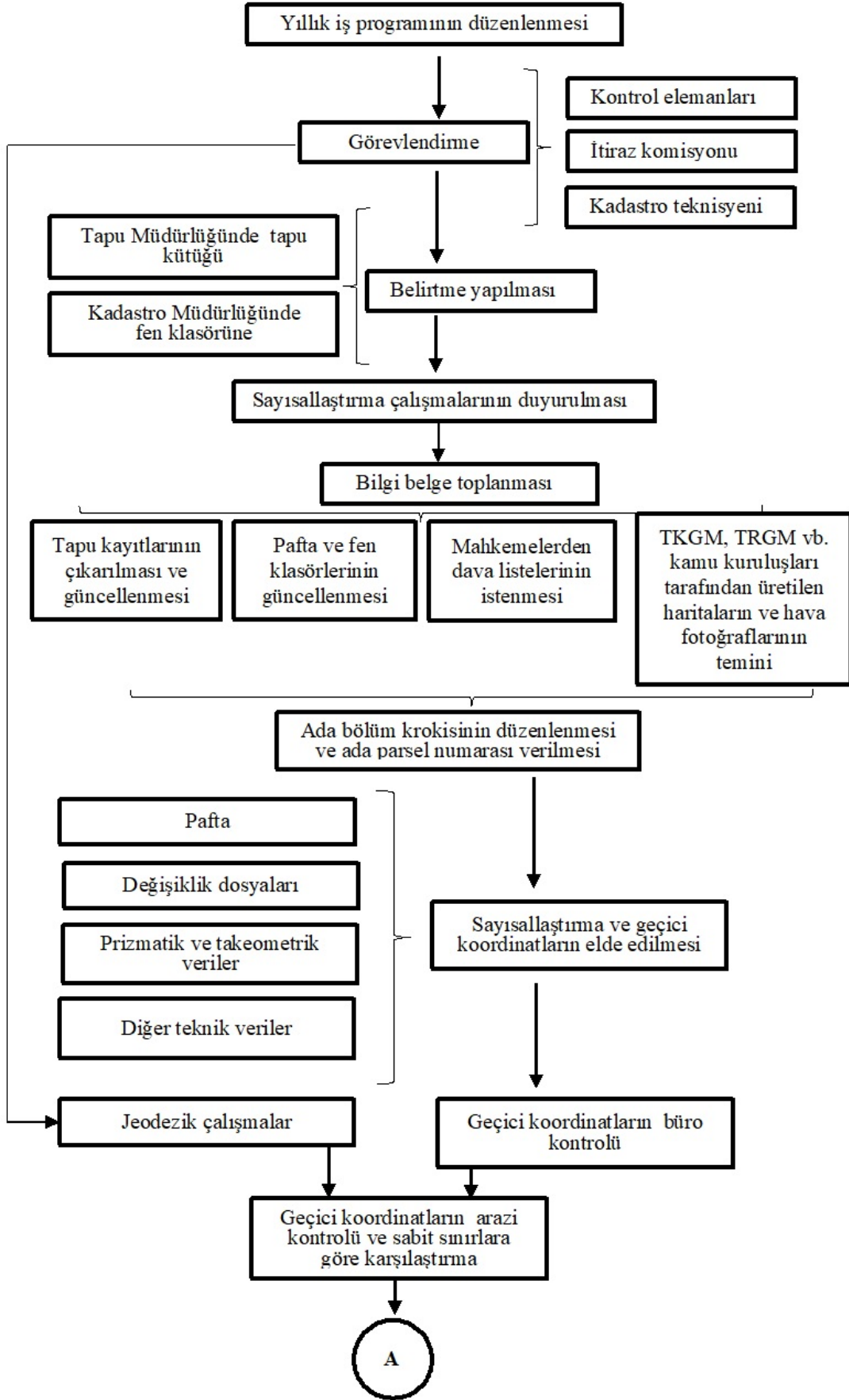
3402 sayılı Kadastro Kanununun Ek-1 maddesinin uygulanacağı yerler şunlardır:

- Mümkün olduğunca pafta zemin uyumu bulunan ve nadiren uyumsuzluk olduğu bilinen yerler,
- Dağıtım sonucu oluşan parseller,
- ITRF 96 sisteminde olmayan parseller,
- Sayısallaştırılması daha önce yapılmayan alanlar,

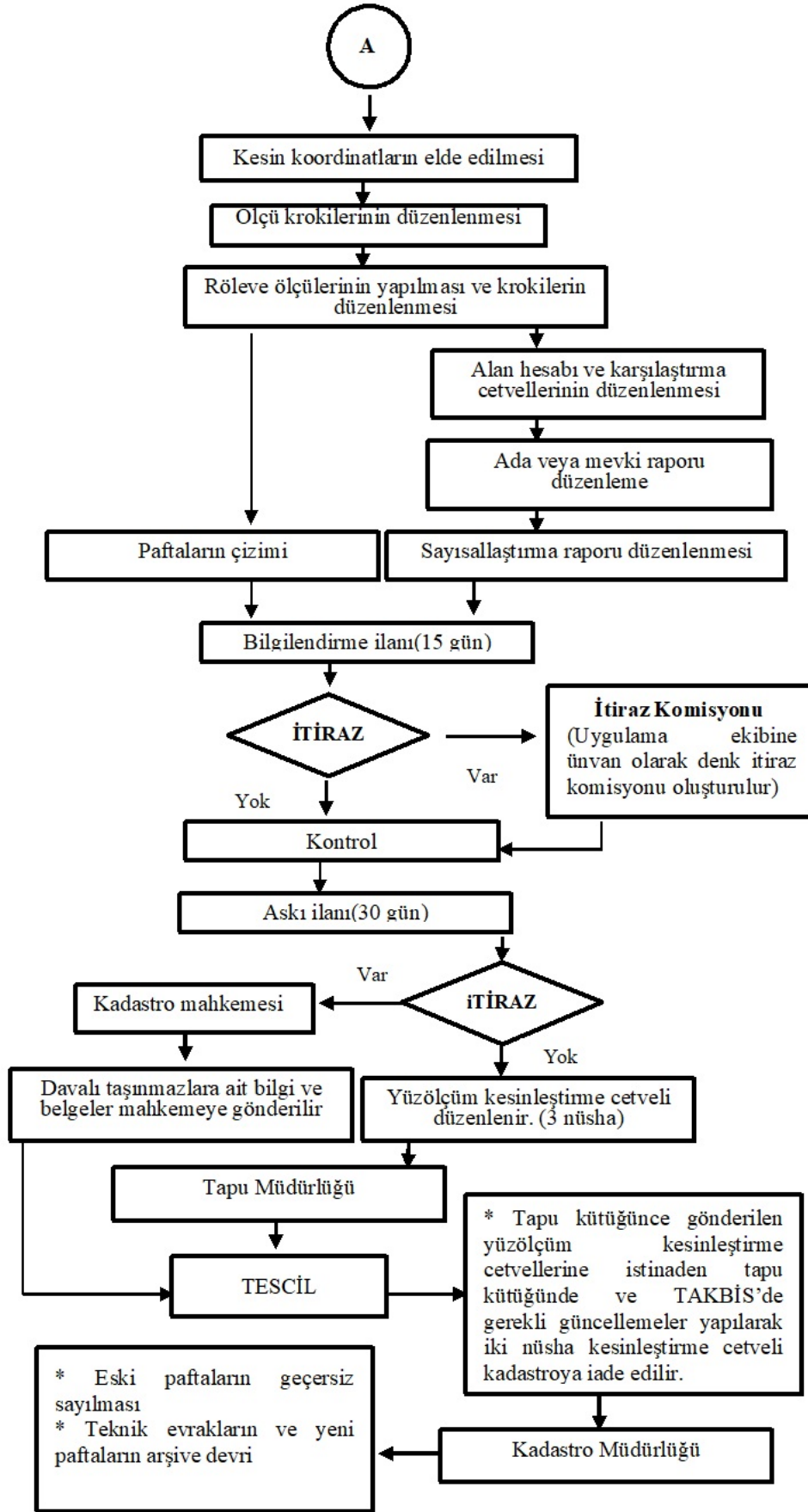
- Adanın bir kısmı teknik belgelerine uygun, sabit ve geçerli sınırlara dayalı parsel gruplarıdır (URL 1).

Sayısallaştırması yapılacak birimler, bir ada veya mevkiden az olmamak üzere köy veya mahalle bazında iş programına alınır. İdari sınır değişikliği olup olmadığı gerektiğinde ilgili idareden yazılı olarak istenir. İdari sınır değişikliği olması halinde, sayısallaştırma çalışmaları, yeni idari sınırlara göre iş programına alınır ve Şekil 1'de gösterilen işlem adımlarına göre yapılır.

Parsel köşe noktaları ve diğer detay noktalarının koordinat değerleri, haritasının yapım yöntemine göre, ölçü değerleri, ölçü ve sınırlandırma krokisi, haritası ve diğer teknik belgeleri hep birlikte değerlendirilerek, öncelikle ölçü değerlerinden faydalanılarak elde edilir. Orijinal ölçü değerleri bulunmayan veya fotogrametrik yöntemle kadastro yapılan birimlerde ise paftasından sayısallaştırılma yapılmak suretiyle geçici koordinatlar elde edilir. Paftadan yapılan sayısallaştırmalarda çoklu parça kenarları, 0,2 mm'lik çizim duyarlılığı göz önüne alınarak oluşturulur.



Şekil 1. Sayısallaştırma çalışmalarında işlem adımları (Gençer, 2019)



Şekil 1 (devam). Sayısallaştırma çalışmalarında işlem adımları (Gençer, 2019)

3. UYGULAMA

Bu çalışmada uygulama örneği olarak seçilen Gaziantep İli Nizip ilçesi Dutlu Mahallesi kadastro verileri incelenmiştir. Tesis kadastrusunun ED-50 datumunda fotogrametrik paftada tahdit yapılarak, köy içi parsellerinin ED-50 datumunda üretilen yer kontrol noktalarından prizmatik ölçü yapılmak suretiyle oluşturulduğu tespit edilmiştir. Kadastro sonrasındaki değişiklik işlemlerinde ise ED-50 datumundaki yer kontrol noktalarından elektronik takeometri yöntemiyle ölçü yapılarak parseller oluşturulmuştur.

3.1. Geçici Koordinatların Elde Edilmesi

Ülkemizde yapılan kadastro çalışmaları, yersel ölçme yöntemleri olan dik koordinat yöntemi, takeometrik yöntem ve kutupsal alım yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca 1/5000 ölçekli fotogrametrik paftalar üzerinden yapılan sınırlandırmayla da gerçekleştirilmiştir (Atak ve Durduran, 2015). Bu ölçü yöntemlerindeki hata miktarları, sayısallaştırma çalışmaları sırasında dikkate alınır.

Sayısallaştırma çalışmalarında orijinal ölçü değerlerinden elde edilen koordinat değerlerinin, paftası ölçeğinde çizim yapılarak, paftası ile ada veya

mevki bazında karşılaştırılır. Karşıtırmalarda, muhtemel farklılıkların, harita ölçeğinin gerektirdiği doğruluk değerleri içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Geçici koordinatların elde edilmesinde, parsellerin cephe, diklik, paralellik, doğrultuda olma vb. geometrik şartlar varsa bunlar dikkate alınarak geçici sayısallaştırma hataları giderilir. Hatanın tespiti halinde, hatanın kaynağı araştırılır. Hata sayısallaştırma işleminden kaynaklanmış ise yapılan işlem gözden geçirilerek hatalar giderilir.

Kadastro paftasından sayısallaştırılarak veya orijinal ölçü değerlerinden elde edilen geçici koordinat değerleri aşağıdaki hataları içermektedir:

1. Ölçü yönteminin hassasiyetine bağlı konum hataları (MÖ),
2. Ölçü değerlerinin paftasına işlenmesi sırasında gözün algılama hassasiyetine bağlı tersimat hatası (MT) (Orijinal ölçü değerleri bulunabiliyorsa bu husus dikkate alınmaz),
3. Paftadan yapılan sayısallaştırma işlemlerinde gözün algılama hassasiyetinden kaynaklı hatalar (MS)(Orijinal ölçü değerleri bulunabiliyorsa bu husus dikkate alınmaz)
4. Pafta koordinat sisteminden ITRF datumuna dönüşüm yapılırken meydana gelen hatalar (Tablo 3).

Tablo 3. Ölçü yöntemi hata ilişkisi (Gençer, 2019)(TKGM, 2012).

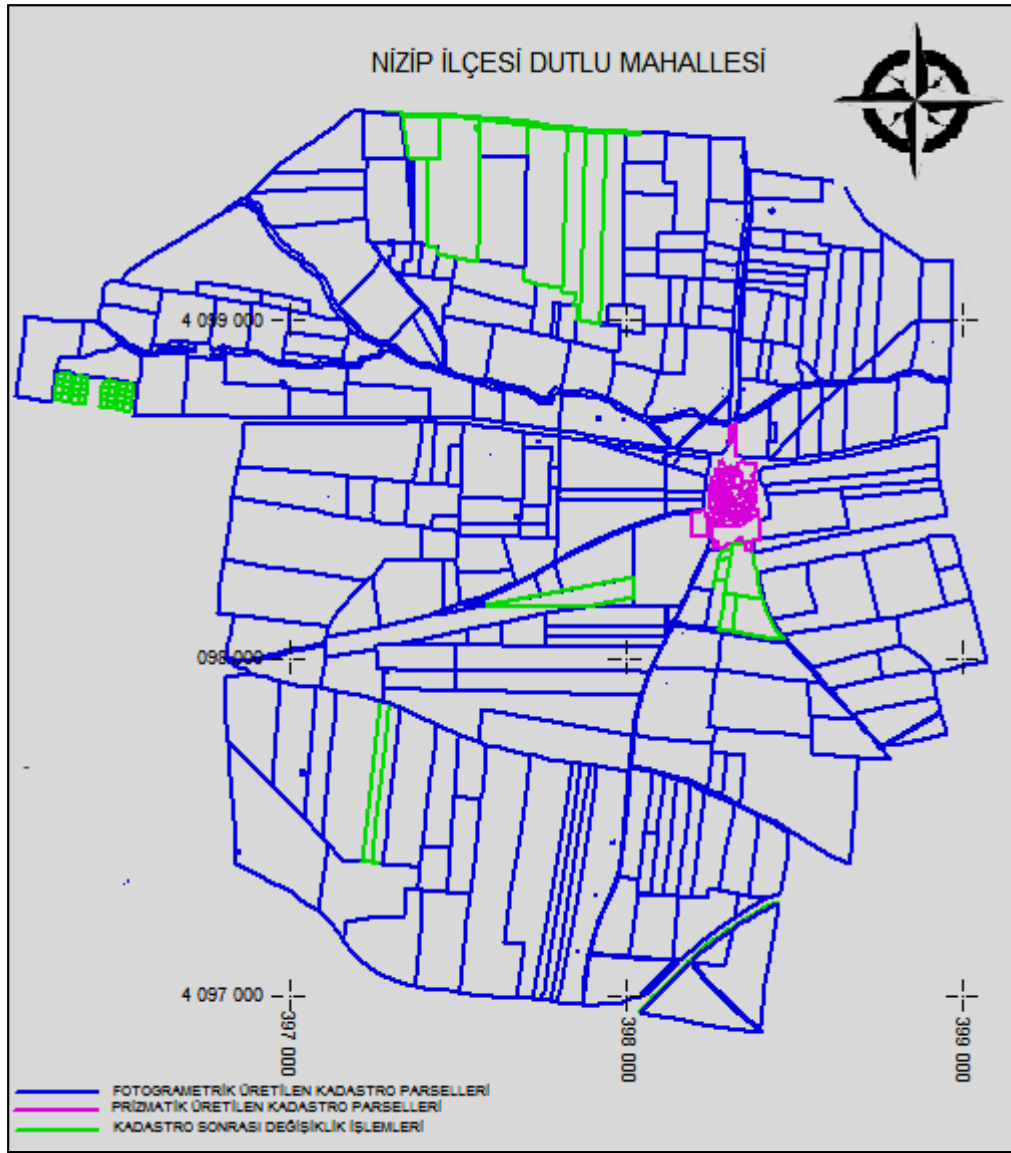
HATALAR	ÖLÇÜ YÖNTEMİ			
	Prizmatik	Klasik takeometri	GNS veya elektronik takeometre	Fotogrametri
Tesis kadastrusu ölçü yöntemine bağlı hatalar (MÖ)	0.21m	$(U^2 \times M_{\alpha}^2 / \rho^2 + M_{\text{mir}}^2)^{1/2}$	0,21 m	0.0003m. x M
Paftaya tersimat (MT)	0.0002m.x M	0.0002m.x M	0.0002m.x M	Sayısal fotogrametride: 0.0002mx M alınır.
Paftadan sayısallaştırma (MS)	0.0002m.x M	0.0002m.x M	0.0002m.x M	
Dönüşümler	ITRF datumuna dönüşümdeki uyum doğruluğunun metre cinsinden değeri			
U = Noktanın ölçüldüğü poligona yatay uzaklığı Mmir= Mirada okunan metre cinsinden en küçük değer. U<100m. İse M _{mir} =0.50m, 100 m.< U < 300 m. ise M _{mir} = 1m. α = Yatay açı, M _α = Yatay açı okuma hatası (l°) M: Pafta ölçeğinin paydası				

3.2. Geçici Koordinatların İyileştirilmesi

Dönüşüm parametresi hesaplamak için, iki koordinat sisteminde yeterli sayıda ortak noktaların koordinatı bilinmesi gerekmektedir (Öcalan, 2018). Uygulama kapsamında, kadastro verileri kullanılan Gaziantep İli Nizip ilçesi Dutlu Mahallesinde, ED-50'den ITRF'e dönüşüm için 12 ortak noktadan oluşan dönüşüm parametresi kullanılmıştır (Şekil 2).

Bu bağlamda Dutlu Mahallesinin kadastro çalışmalarındaki ölçü yöntemine bağlı maksimum ölçü hatası (MÖ) ve maksimum konum hatası (MK) hesaplanarak zemin ile karşılaştırılması yapılır (Şekil 3) (Tablo 4).

Şekil 2. Dutlu Mahallesi dönüşüm parametresi hata



Şekil 3. Sayısallaştırması yapılan alanın kadastro durumu.

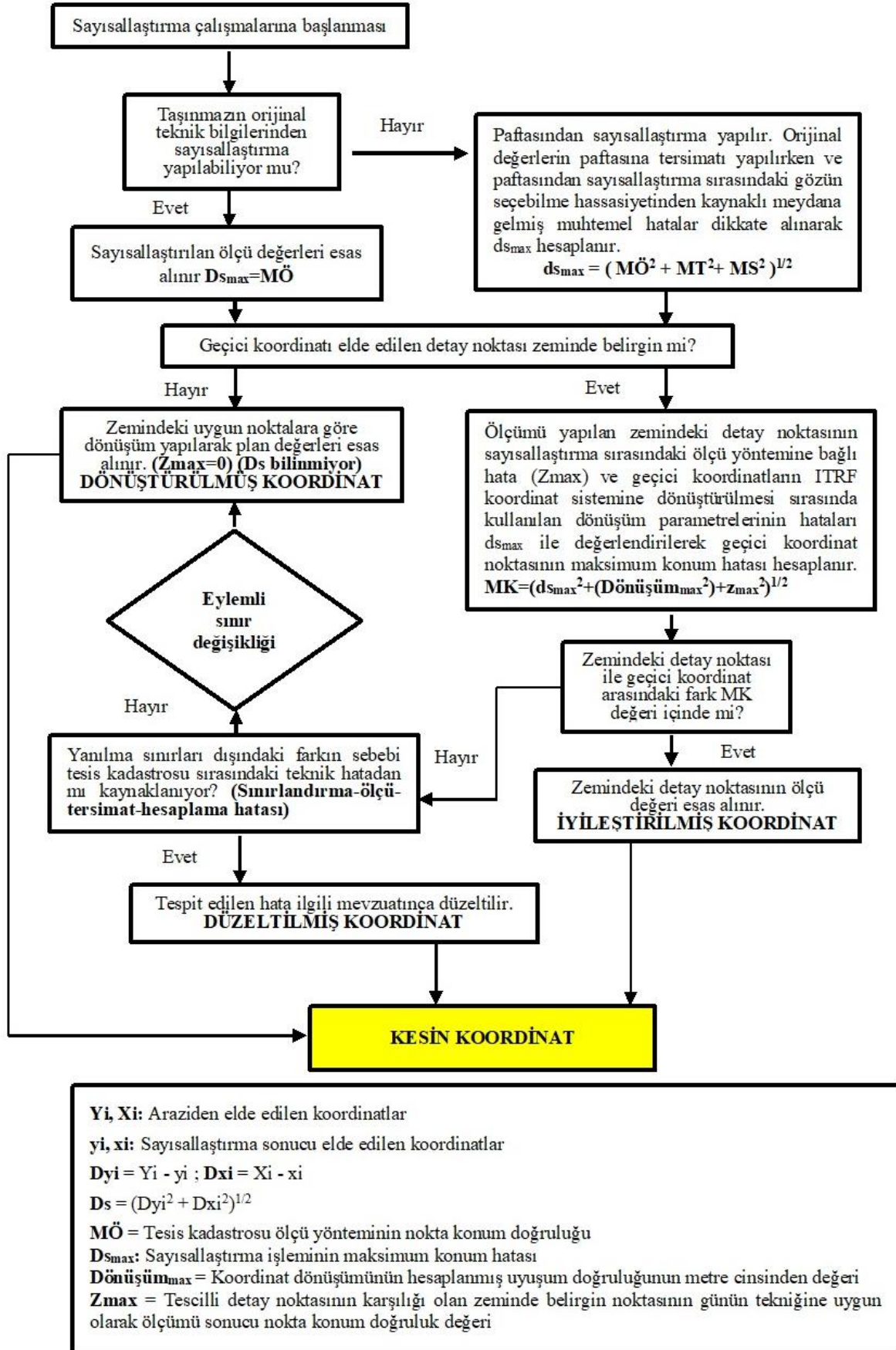
Tablo 4. Dutlu Mahallesi MÖ ve MK hesabı.

	Fotogrametrik Pafta	Prizmatik Ölçü Değerleri	Değişiklik İşlemleri
Tesis kadastro ölçü yöntemine bağlı hatalar (MÖ)	$0.0003 \cdot 5000 = 1.50 \text{ m}$	0.21 m	0.21 m
Dönüşüm parametresine bağlı hata ($Dönüşüm_{max}$)	0.07695901	0.07695901	0.07695901
Zeminde ölçülen belirgin noktalara ait (Z_{max})	0.21 m	0.21 m	0.21 m
Zeminde belirgin olmayan köşe noktası için $MK = (ds_{max}^2 + (Dönüşüm_{max}^2))^{1/2}$	1.50 m	0.21 m	0.21 m
Zeminde belirgin olan köşe noktası için $MK = (ds_{max}^2 + (Dönüşüm_{max}^2) + Z_{max}^2)^{1/2}$	1.52 m	0.30 m	0.30 m

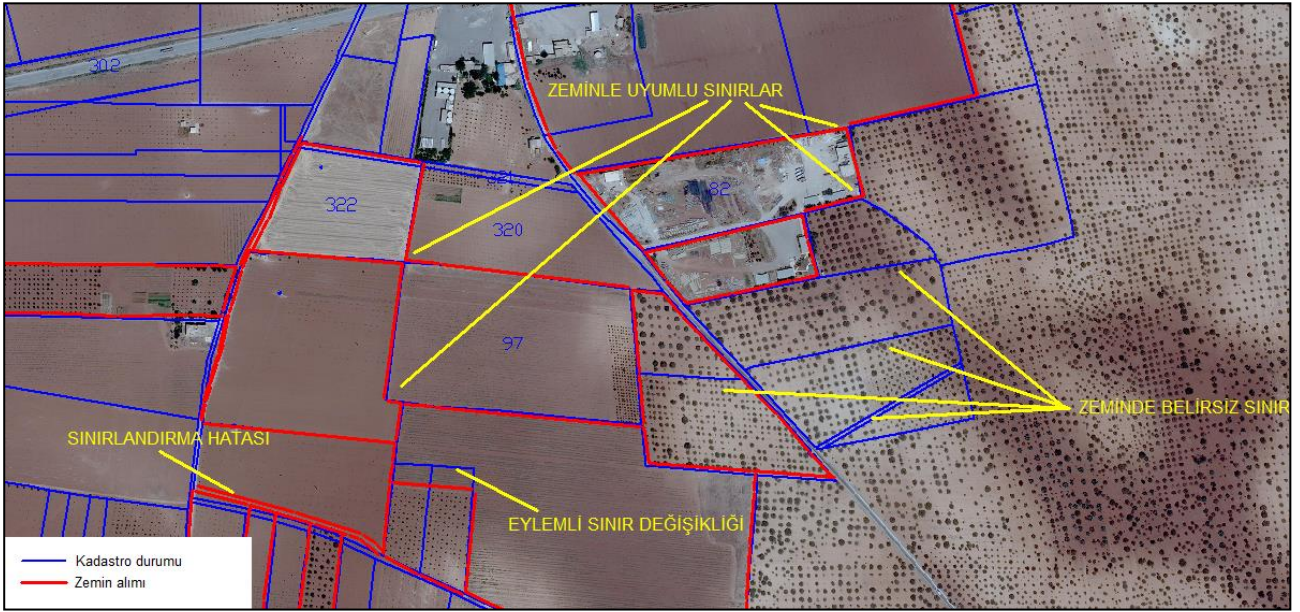
Tersimat hataları kontrol edilmiş geçici koordinat değerlerinin ada veya mevki bazında arazi kontrolü yapılır. Kontrol işleminde, geçici koordinat değerlerinin zemine aplikasyonu yapılarak veya geçici değerlerle elde edilen çizim ile uygun ölçekteki güncel zemin alımına ilişkin haritanın aynı altlıklarda ve gerektiğinde bilgisayar ortamında birlikte

değerlendirilmesi suretiyle zemindeki sabit sınırlara göre karşılaştırması yapılır (Şekil 4).

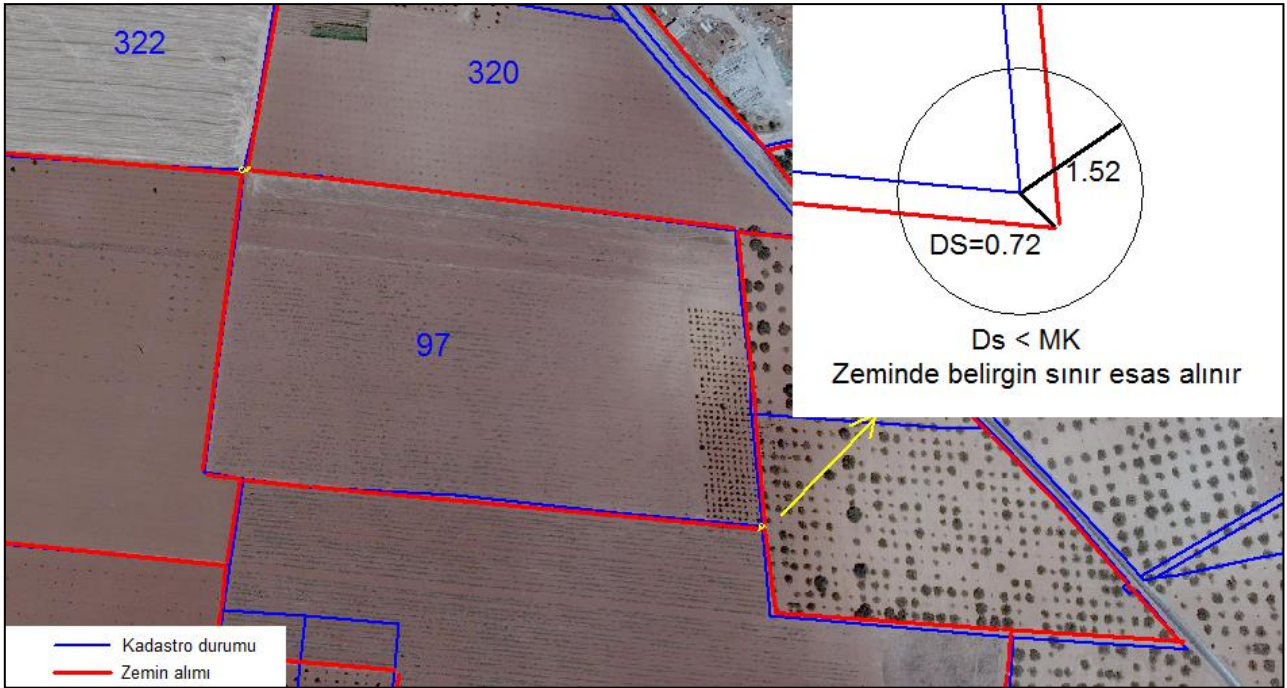
Geçici koordinat değerlerinin arazideki konumlarıyla, sabit sınır noktaları arasındaki farkın, MK değerinin içinde kalıp kalmadığı kontrol edilir. Karşılaştırma sonucunda, aradaki fark yanılma sınırı içerisindeyse, elde edilen koordinatlar iyileştirilmiş koordinatlar olarak esas alınır (Şekil 5,6).



Şekil 4. Sayıllaştırma çalışmaları kapsamında geçici koordinatların arazi kontrolü (Gençer, 2019).



Şekil 5. Dutlu Mahallesi pafta zemin durumu.



Şekil 6. Koordinat iyileştirme örneği.

Zeminde belirgin olmakla birlikte uyumsuz olan noktaların uyumsuzluk sebebi ölçü ve sınırlandırma hatasından kaynaklanıyorsa, sayısallaştırma sürecinde kadastronun mevzuatınca düzeltilir.

Zeminde yanılma sınırı dışında noktalarda, tesis kadastronun kaynaklı hata tespit edilemiyorsa, plandaki sınırlar esas alınır. Sınırları belirsiz olduğu için zemin karşılaştırması yapılamayan noktalar, zeminde uyumluluğu sağlanmış uygun dağılımdaki noktalara göre dönüştürülmek suretiyle koordinatları elde edilerek veri bütünlüğü sağlanır. Parsellerin iyileştirilmiş, düzeltilmiş ve dönüştürülmüş koordinat değerleri kullanılarak hesaplanan yeni yüzölçümleri ile tescilli yüzölçümleri karşılaştırılarak, sayısallaştırma yüzölçümü karşılaştırma cetveli tanzim edilir.

Parsellerin, sayısallaştırma işlemi sonucunda yanılma sınırı içinde kalan yüzölçümü farklılıklarında, sayısallaştırma işlemi ile hesaplanan yüzölçümleri esas alınır.

Yanılma sınırı dışında kalan hatalı yüzölçümler, ölçü, çizim, hesap ve sınırlandırma hataları kadastronun mevzuatının ilgili hükümlerine göre sayısallaştırma ekibi tarafından büroda ve arazide yapılacak inceleme ve değerlendirme sonucunda düzeltilir. Düzeltme işlemlerinde ada veya mevki bazında düzeltme raporu, mevcut hali ve düzeltme sonrası durumu gösteren kroki düzenlenir.

Tapu kaydı miktarına göre veya iktisap tarihindeki zilyetlik esaslarınca miktar üzerinden edinilerek sınırlandırılmış parsellerde tescilli duruma göre, yüzölçüm hataları ve miktar

fazlalıkları tespit edilmesi halinde ilgili maliye kuruluşuna bildirimde bulunulur.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Sayıllaştırma çalışmaları, farklı zamanlarda ve değişik ölçü yöntemleri, ölçü aletleri ve farklı altlıklarda üretilen kadastro paftalarını sayısal hale getirilmesini amaçlayan işlemler bütünüdür. Kadastro paftalarının güncelleme çalışmalarında olduğu şekliyle sayıllaştırma çalışmalarında da kadastrya içerik ve kapsam yönünden yeni veriler eklenmemektedir (Tablo 5). Ülkemizde ihtiyaç duyulan ikinci kadastro gereksinimine karşılık, hukuk sistemimiz, sadece eskiyen haritaların yenilenmesine olanak sağlamaktadır. Ancak eskiyen haritaları güncellemek kısa süreli ve geçici bir çözümdür (Kibaroglu vd., 2009).

Tablo 5. Sayıllaştırma çalışmalarında içerik kapsam yönünden eksik kalan hususlar (Gençer, 2019).

MÜLKİYET PROBLEMLERİ	GELECEKTE ÖNGÖRÜLEN VERİLER
Hisse hataları	Arazi sınıfı
Cins değişikliği	Arazi kullanım durumu (alt parseller)
Kadaastro sırasında açılan yolların terkinini	Sayısal yüzey modeli
Harici satışlar, ifraz vb.	Teknik altyapı tesisleri
İntikal, taksim ve ifrazden taksim	Ulaşım hatları
Kadaastro çalışmaları sırasında tespit dışı kalmış alanların tespiti	Taşınmazın değeri
	Tarımsal bilgiler
	İdari sınırlar

Sayıllaştırma çalışmalarında, bilirkişi ve muhtar bulunmamasından dolayı, sınırlandırma veya ölçü hatalarının düzeltilmesinde hedeflenen sonuçlar elde edilememektedir.

Pafta üzerinden yapılan sayıllaştırma işlemlerinde sayıllaştırma masası üzerine yerleştirilen pafta üzerinden homojen dağılımda minimum dört adet nokta işaretlenerek masa koordinatları ile gerçek pafta koordinatları arasında koordinat dönüşümü gerçekleştirilir (Şişman ve Demirtaş, 2016). Bu işlemler genelde pafta deformasyonları ve sayıllaştırmadaki hataların giderilebilmesi için, pafta karelej noktalarının değerleri esas alınarak aynı doğrultuda olmayan ve sayıllaştırma alanını mümkün olduğunca çevreleyen en az üç nokta kullanılarak afin dönüşümü yapılmalıdır (Adıbelli, 2006).

Uygulamada fotogrametrik paftalarda veya ölçü değerleri bulunmayan diğer paftalardaki taşınmazların geçici koordinatları pafta değerleri üzerinden okunmaktadır. Sayıllaştırma işlemleri sırasında paftaların raster görüntüleri afin dönüşümü ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

Fakat afin dönüşümüne bağlı hata TKGM'nin 2012/15 sayılı genelgesinde göz ardı edilmiştir.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmediği yıllarda, sayısal olmayan kadastro paftalarının alanları planimetre ile hesaplanmaktaydı. Planimetre ile alan hesaplamaları sırasında planimetre aletinin mekanik yapısına bağlı meydana hatalar şunlardır:

- Gezdirmeye ucunun gezdirmeye sınırından sapması,
- Dönme ekseninin gezdirmeye koluna göre eğik olması,
- Dönme düzleminin gezdirmeye ucuna göre eğik olması,
- Kutup ve gezdirmeye kolu eksenlerinin mekanik hataları (Gencer, 2007).

Taşınmazların alan tecviz formülleri, tesis kadastryosu sırasındaki farklı iki kişinin pafta üzerinden planimetre ile yapacağı alan hesaplamasındaki planimetre aletinin mekanik yapısına bağlı alan farkını ifade etmektedirler. Yüzölçüme ilişkin alan formüllerinin uygulamada tartışmalı olduğu ve sayıllaştırma çalışmalarında eksik kaldığı yönler şunlardır:

- Farklı ölçü yöntemleri (grafik, takeometrik, fotogrametrik vb.) ile üretilmiş taşınmazlar için aynı tecviz formülünün kullanılması,
- Ölçü yöntemine bağlı olarak taşınmazların köşe noktalarındaki konum hatalarının tecviz hesaplanmasında göz ardı edilmesi,
- Farklı kadastro altlıklarındaki (karton, polyster, alüminyum vb.) alan tecviz miktarının hesaplanmasında aynı formülün kullanılması,
- CAD tabanlı mesleki programlar veya planimetre vb. mekanik aletler yardımıyla alanı hesaplanan taşınmazlarda aynı tecviz alan formülünün kullanılmasıdır.

5. SONUÇLAR

Sayıllaştırma çalışmalarında ilk tesis kadastryosunun yapımından geçici koordinatların elde edilmesine kadar olan bütün işlemlerde maksimum hata yapıldığı varsayılarak konum hataları belirlenmektedir. Geçici koordinatların pafta değerleri üzerinden okunması halinde afin dönüşümüne bağlı hatanın maksimum konum hatası (MK) hesaplamasına dahil edilmesi gerekmektedir.

$$MK = (d_{\max}^2 + (Dönüşüm_{\max}^2) + Z_{\max}^2 + (Afin Dönüşüm)^2)^{1/2}$$

TKGM'nin 2012/15 sayılı Genelgesi'nde, GNNS, elektronik takeometri ve prizmatik ölçülerin ölçü hatası birbirine eşit olarak 0.21m olarak verilmiştir. Prizma ve çelik şerit metre kullanılarak yapılan dik koordinat yöntemindeki ölçü hatası ile günümüz teknolojisindeki GNNS ölçülerinin ölçü hatasının eşit olmasının bilimsel dayanağı bulunmamaktadır.

Sayıllaştırma çalışmalarında, tartışma konusu olan ölçü yöntemi hata sınır formülleri, maksimum konum hatası hesaplama formülleri ve alan tecviz formüllerinin irdelenmesi gerekmektedir. Özellikle

alan tecviz formüllerinin maksimum konum hatası (MK) değeri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Sayıllaştırma çalışmalarında, kadastraya içerik ve kapsam yönünden yeni veriler eklenmediğinden; mülkiyet sorunlarının olmadığı, geçici koordinatların sağlıklı olarak elde edildiği bölgeler tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

Adıbelli, S., 2006. Türkiye’de ikinci kadastronun tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alkan, R.M., Ozulu, I. M., İlçi, V., Tomuş F. E., & Şahin, M., (2017). Usability of GNSS technique for cadastral surveying. Cadastre: Geo-Information Innovations in Land Administration (Editors:Yomralioglu, T., & McLaughlin, J.). Springer International Publishing. Switzerland. ISBN 978-3-319-51215-0. ISBN 978-3-319-51216-7 (eBook).

Altınışık, N.S., (2019). Kadastronun güncelleme çalışmalarında insansız hava aracı (İHA)’nın kullanımının irdelenmesi: Çorum- Osmaniye-Karaköy Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Atak, B., ve Durduran, S. S., (2015). Ülkemizdeki geçmiş kadastronun ölçme yöntemlerinden günümüze yansıyan sorunlar ve oluşan kayıplar, WCS-CE - The World Cadastre Summit, Congress & Exhibition, 20 -25 April 2015, İstanbul, Turkey.

Ertaş, M. Education for real estate valuation in Turkey. International Journal of Engineering and Geosciences, 4(1), 8-15.

Gencer, S., 2007. Haritacılıkta alan hata sınırı formülleri ve irdelenmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Ankara.

Gençer, E., (2019). Kadastrodan kaynaklı hataların düzeltilme yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Iscan, F., & Ilgaz, A. (2017). Analysis Of Geographic/Urban Information System Web Presentations Of Local Governments In Turkey. International Journal of Engineering and Geosciences, 2(3), 75-84.

Kıbaroğlu, D., ve Şişman, A., (2009). Kadastroda yenileme çalışmaları ve Yenileme Kanununun gereksinimleri, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.

Narin, Ö.G., Güllü, M., Baybura, T. & Turgut B., (2018). 1/1000 ölçekli kadastronun pafta dönüşümünde yapay sinir ağları (YSA) tekniğinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 575-580

Öcalan, T. (2018). Investigation on the effects of number of common points in 2D transformation problem. International Journal of Engineering and Geosciences, 4(2), 58-62.

Şişman Y., ve Demirtaş H., (2016). Tam faktöriyel deney tasarımı ile kadastronun haritalarının sayıllaştırılması. Harita Teknolojileri Elek. Der. 8(2), 87-98.

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü. (2012). Kadastro Haritalarının Sayıllaştırılması Hakkında Genelge

URL1:
https://tkgm.gov.tr/sites/default/files/icerik/ekleri/kadastro_guncelleme_mevzuati.pptx
Erişim Tarihi: 02.12.2019)

Varol, M. B., & Şanlıoğlu, İ. (2017). Open geospatial consortium web map and feature services and free/open source server/client softwares. International Journal of Engineering and Geosciences, 2(1), 17-26.

Yomralioglu, T., & McLaughlin, J., (2017). cadastre: geo-information innovations in land administration springer international publishing. Switzerland. ISBN 978-3-319-51215-0. ISBN 978-3-319-51216-7 (eBook).



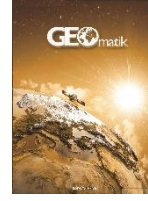
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği

Fuat Başçiftçi*

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Karaman, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Bernese
GNSS
CATS
Gürültü
TUSAGA-Aktif

ÖZ

Uydularla Konum Belirleme Sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite System) ile nokta konumlarının belirlenmesi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. GNSS ile nokta konumları belirlenirken hem GNSS ölçü hatalarına, hem de GNSS frekanslarını etkileyen gürültüleri dikkat edilmesi gerekmektedir. GNSS ölçü hataları uygun ölçme yöntemi, kullanılan ekipmanla vb. giderilebilirken, GNSS sinyallerini etkileyen gürültüler ise analizler sonucu giderilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarında gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri belirlenmiş ve aralarında farklar yorumlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada 2013-2019 yılları arasında her haftadan bir gün seçilerek 7 yıllık GNSS verisi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile değerlendirilmiş ve CATS yazılımı ile analiz edilerek hız bileşenleri verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar dikkate alındığında gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasında mm altı bir yakınlık olduğundan dolayı aslında temel jeodezik ölçmelerde gürültüden arındırılmış hızların kullanımının pratikte kullanıcılara çok katkı sağlamayacağı ancak ölçü ile referans epogu arasındaki farklar arttıkça hata miktarının da artacağından dolayı yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda ise gürültüden arındırılmış hızların kullanılmasının hesaplanacak nokta konum ve doğruluğunu büyük oranda etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

Noise Analysis at CORS-TR Stations, A Case Study South-East Turkey

Keywords

Bernese
GNSS
CATS
Noise
CORS-TR

ABSTRACT

GNSS (Global Navigation Satellite System) is a frequently used method for determining point positions. When determining point positions with GNSS, It should be paid attention to both GNSS measurement errors and noise affecting GNSS frequencies. While GNSS measurement errors can be reduced with an appropriate measurement method, the noise affecting GNSS signals are resolved as a result of analyzes. In this study, It has been determined noise-removed velocity components at TUSAGA-Active stations in southeast of Turkey and the differences between noise-loaded and noise removed velocities were interpreted. GNSS data of 7 years has been evaluated with Bernese v5.2 Scientific GNSS software by selecting a day from every week between the years 2013-2019 and velocities components have been given by analyzing with CATS software. Considering the comparisons, It has been concluded that the use of noise-removed velocities in basic geodetic measurements has not much contribution for users in practice, because there is a proximity below mm between noisy and noiseless velocities. While differences between the measurement epoch and the reference epoch increase, the errors increase also. Therefore the use of noise-removed velocities in geodetic studies that require high accuracy will greatly affect the position and accuracy at the point to be calculated.

*Sorumlu Yazar

*(fuatbasçiftci@kmu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 5791 – 0676

Kaynak Göster (APA)

Başçiftçi, F. (2021). TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği. Geomatik, 6(2), 135-147, DOI: 10.29128/geomatik.731486

1. GİRİŞ

Günümüzde Uydularla Konum Belirleme Sistemi (GNSS: Global Navigation Satellite System) ile nokta konumlarının belirlenmesi sıkça kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Gleason ve ark., 2009; Shi, ve ark. 2019). Nokta konumları GNSS ile belirlendiği zaman hem GNSS hata kaynaklarına dikkat edilmesi hem de uzun dönemli GNSS ölçüleri ile belirlenen nokta konumlarındaki gürültü bileşenlerinin ortaya konulması gerekmektedir (Wang, 2015). GNSS yöntemi ile uzun süreli nokta konumları belirlendikten sonra belirlenen nokta koordinatlarına dayalı olarak nokta hızları da kestirilmektedir.

GNSS ölçülerini etkileyen hatalar ve GNSS sinyallerini etkileyen gürültüler birbirleriyle karıştırıldığı için GNSS zaman serilerinin doğruluğunu ve gürültünün kaynağını belirlemek zorlaşmaktadır. Gürültü analizinin gerçek amacı muhtemel gürültüyü veriden arındırmak ya da en aza indirmektedir. GNSS sinyallerini etkileyen gürültü türleri, zamandan bağımsız, donanım ve ölçü hataları ile ilişkili ise bu hatalar beyaz gürültü (WN: White Noise), zamanla korelasyonlu ve GNSS frekanslarını etkileyen hatalar ile ilişkili olması durumunda ise renkli gürültü (CN: Coloured Noise) olarak ifade edilmektedir (Williams, ve ark. 2004; Bülbül, 2019; He ve ark., 2019; Montillet ve ark., 2020;).

Jeodezik amaçlarla kullanılacak nokta koordinatları deprem, tektonik hareketler, dünyanın hareketi vb. doğal olaylar ya da insanoğlunun müdahalesi sonucunda yer değiştirmelere maruz kalmaktadır (Bülbül, 2019). Bu yer değiştirmeler sonucunda nokta koordinatları dinamik bir yapıda olmaktadır. Dinamik yapıda olan bu hareketler sonucunda daha önce tesis edilmiş olan sabit noktaların koordinatları zamana bağlı olarak yer değiştirmekte ve bir hareket göstermektedir. Bu hareket sonucunda ise gerçekleştirilecek ölçümlerin doğruluğu değişecek ve gerçek değerler elde edilemeyecektir. Bu kapsamda sabit olarak kabul edilen noktaların koordinat bileşenlerinin hareketlerini etkileyen hız bileşenlerinin belirlenmesi ve bu hızlar dikkate alınarak bu noktaların kullanılması gerekmektedir (Bülbül, ve ark. 2017).

Korelasyonlu gürültü modellerini ortaya koymak için, gerçekleştirilen çalışmada üç gürültü tipi ve bu gürültü tiplerinin kombinasyonları kullanılmıştır. İlk olarak, gürültünün sadece WN olduğu varsayılmış, daha sonra ise WN + flicker gürültünün (FN: Flicker Noise) bir kombinasyonu ve WN + random walk gürültünün (RWN: Random Walk Noise) kombinasyonu kullanılmıştır. Tercih edilen gürültü modeli bu üç kombinasyondan biri olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, gürültü modelinin özellikleri ve spektral indeksleri WN ile eş zamanlı olarak ortaya konulmuştur. Gürültü parametrelerini tahmin etmek ve en uygun gürültü modelini ortaya koymak için Maksimum Likelihood Tahmin (MLE:

Maximum Likelihood Estimation) kullanılmıştır (Zang, ve ark. 1997; Mao, ve ark. 1999; Langbein, 2004; Williams ve ark. 2004; Williams, 2004;2008; Bos ve ark. 2008; Santamaría-Gómez ve ark. 2011).

2. TUTGA VE TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARINDA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN KESTİRİLMESİ

Günümüzde jeodezik noktaların koordinatları sabit olarak kabul edilen noktalara göre belirli bir referans epöğünde hesaplanmaktadır. Nokta koordinatlarının hesaplanmasında buldukları tektonik plakalara göre rölatif bir hareket söz konusu olmaktadır. Jeodezik noktaların buldukları tektonik plakalar ise birbirlerine karşı bir hareket yapmakta ve nokta koordinatlarını yıllık cm seviyesinde değiştirmektedir. Ayrıca ülkemizin deprem bölgesinde olduğu dikkate alınırsa jeodezik noktaların konumlarını depremler de büyük oranda etkilemektedir. Nokta koordinatlarını GNSS ölçüleri yardımıyla sürekli izlemek olanaklı olmaktadır. Ülkemizde de sabit GNSS istasyonları yardımıyla jeodezik noktalar sürekli izlenebilmekte ve güncel koordinatları ile hızları hesaplanabilmektedir (Özdemir, 2016).

Türkiye, Afrika ve Arap tektonik plakalarının Avrasya tektonik plakası ile çarpışma bölgesindedir. Bölgedeki tektonik plaka sınırları, yanal atımlı ve normal faylar ile bindirme bölgeleri genel hatlarıyla Şekil 1' de gösterilmektedir.



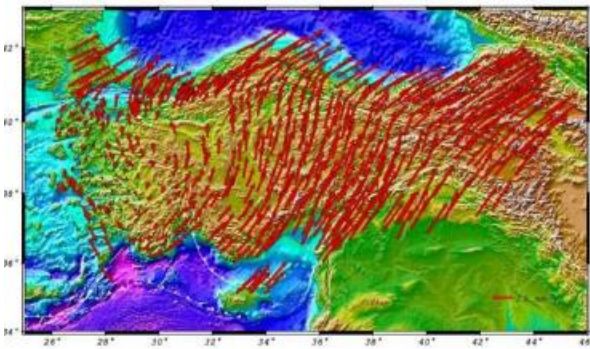
Şekil 1. Türkiye'nin üzerinde bulunduğu tektonik plakalar ve hareketleri (URL-1)

Bölgedeki tektonik plaka hareketleri; Arap plakasının Avrasya plakasına göre kuzey-kuzeybatı doğrultusunda 15-20 mm/yıl hızla hareketi sonucu, Doğu Anadolu Bölgesinin sıkışması ve Anadolu plakasının 20-25 mm/yıl hızla batıya hareket edip saat yelkovanı tersinde dönmesi, Afrika plakasının 5-10 mm/yıl hızla kuzey yönünde hareketi sonucu Anadolu plakasının altına dalması ve Helenik Yay boyunca çekilme nedeniyle Ege bloğunun kuzey-güney yönünde genişlemesi biçiminde özetlenebilir (Jackson ve Mckenzie, 1988; Cucci, ve ark.. 2012).

Jeodezik ağların hız alanlarının hesaplanmasında, GNSS ile kabuk deformasyonlarının, yüzey kabuğu hareketlerinin, fay sistemlerinin ve tektonik hareketlere bağlı deformasyonların modellenmesi ve jeodezik sıklaştırma nokta koordinatlarının istenilen referans

epoğuna ötelenmesi çalışmalarında temel parametre olarak kullanılan jeodezik nokta hız bilgilerinin yüksek doğrulukla kestirilmesi büyük önem arz etmektedir (Yılmaz, 2012).

TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı)' da sabit ve kampanya tipi GNSS ölçülerinin birleştirilmesi çalışmaları sürekli olarak devam etmektedir. Yapılan analizler sonucunda Türkiye ve çevresinde meydana gelen depremlerden önce 612 ve depremlerden sonra 107 nokta tekrarlı ve tektonik açıdan uyumlu bulunmuş ve hız alanları bu noktalar ile belirlenmiştir. Türkiye ve çevresinin ITRF2005' te belirlenen hız alanı Şekil 2' de verilmiştir. Şekil 2' de verilen hız alanları sıfır-net-dönüklüğe göre tanımlıdır. Sıfır net dönüklük ile ilgili detaylı bilgiye Altamimi ve ark., (2003) ve Aktuğ (2003)'den ulaşılabilir.



Şekil 2. Türkiye yatay hız alanı (Aktuğ, ve ark. 2011)

3. GNSS AĞLARINDA VAR OLAN GÜRÜLTÜLER

20. yy' ın sonlarından itibaren, jeodezik ölçüler plaka hareketleri sonucunda meydana gelen deformasyonları belirlemek için kullanılır. Büyük depremler gibi önemli episodik deformasyonlar meydana geldiğinde, tekrarlı ölçülere lineer bir trend uygulanmakta ve deformasyon hızları ya da nokta hızları belirlenmektedir. Belirlenen nokta hızları geleneksel yöntemler olan jeodezik ağ dengelemesi, rölatif baz uzunluklarının lineer regresyonu ya da koordinat bileşenlerinin her birinin ayrı ayrı lineer regresyonu ile belirlenmektedir. Bu hızların belirlenmesinde genellikle En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanılmaktadır. Ayrıca ölçülerin normal dağılımda ve korelasyonsuz olduğu varsayılmaktadır. Fakat bazı jeodezik ölçülerde, veriler arasında büyük zamansal bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir (Williams, 2003; Bülbül ve İnal, 2019).

GNSS sinyallerinin yayılımı için kabul edilen istatistiksel model power-law süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu istatistik model de gürültü bileşeninin belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Bu stokastik sürecin tek boyutlu zaman ya da alan davranışları, stokastik sürecin power spektrumunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_x(f) = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^\kappa \quad (1)$$

Burada; f konumsal ya da zamansal frekans, P_0 ve f_0 normalize edilmiş sabitler, κ da spektral indekstir (Mandelbrot ve Van Ness, 1968). Genellikle spektral indeks κ -3 ile 1 aralığında değer almaktadır (Agnew, 1992). Bu oranlar arasındaki süreç $-3 < \kappa < -1$ ise kesirli rasgele (fractional Brownian) hareket, $-1 < \kappa < 1$ aralığında ise fractional beyaz gürültü olarak alt bölümlere ayrılır (Mandelbrot ve Van Ness, 1968; Mandelbrot 1977;1983). Bu stokastik model içinde özel durumlar tam sayı değerlerinden oluşur. $\kappa=0$ olması durumunda WN, $\kappa=-1$ olması durumunda FN ve $\kappa=-2$ olması durumunda RWN olarak ifade edilir.

Çoğu araştırma, potansiyel modeller olarak tam sayılı spektral indeksler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Fakat gürültü analizi tam sayılı spektral indeks olmadan da yapılabilmektedir. Örneğin, 8/3 ile 5/3 spektral indeks su buharı dalgalanmalarında (Tatarskii, 1961; Treuhaft ve Lanyi, 1987; Davis ve ark. 1994), spektral indeksin -2.3 olması durumunda batimetrik ölçülerde (Malinaverno, 1989) ve $\kappa=-2.7$ olması durumunda ise kabuk deformasyonlarında gürültü analizinde kullanılmaktadır (Wyatt, ve ark. 1988).

3.1. Ağırlıklı En Küçük Kareler (WLS) Yöntemi ile Hız Belirsizliklerinin Tahmini

Hızların belirlenmesi için temel lineer regresyon problemi t_i zaman x_i nokta konumu ve n zaman serisinin uzunluğu olarak alınırsa aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$x_i = x_0 + rt_i + \varepsilon_i(t_i) \quad (2)$$

Burada, $\varepsilon_i(t_i)$ hata terimidir. Burada eşit olarak dağılmış birim varyansın rasgele değişkenleri olan $\varepsilon_i(t_i)$ bağımsız lineer kombinasyonudur. $\alpha(t_i)$ ve a bir dizi zamanla korelasyonlu rasgele değişkenler olmak üzere,

$$\varepsilon_i(t_i) = a \cdot \alpha(t_i) + b_{\kappa} \beta(t_i) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Ölçek faktörü a ve $b_{\kappa \neq 0}$ sırasıyla K spektral indekste WN ve CN büyüklükleridir. x_i , ölçülerinin kovaryans matrisi bu durumda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$C_x = a^2 I + b_{\kappa}^2 J_{\kappa} \quad (4)$$

Burada I birim matris ve J_{κ} yaklaşık CN kovaryans matrisidir. WLS kullanılarak, x_0 ve r için tahminler aşağıdaki eşitliklerden elde edilebilir.

$$\hat{y} = [A^T C_x^{-1} A]^{-1} A^T C_x^{-1} x \quad (5)$$

Burada,

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & t_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\hat{y} = (\hat{x}_0, \hat{t})^T$$

ve değerlendirme için kullanılan kovaryans matrisi de (7) eşitliğinde verilmiştir.

$$\hat{C}_{\hat{y}} = [A^T C_x^{-1} A]^{-1} \quad (7)$$

Eşitlikte geçen; A katsayılar matrisi \hat{y} bilinmeyenleri ve $\hat{C}_{\hat{y}}$ ise bilinmeyenlerin kovaryans matrisini ifade etmektedir.

3.2. Power-law Gürültünün Kovaryans Matrisi

$-3 < \kappa < 1$ aralığında herhangi bir spektral indekste power-law gürültü (renkli gürültü) için, kovaryans matrisi Johnson ve Wyatt (1994)'de tanımlanan metot Williams (2003) tarafından türetilmiştir. Bir dönüşüm matrisi (T), kovaryans matrisi J_j ile rasgele değişken x dizisi, birim varyans rastgele değişkenlerinin bir vektöründen, $x = T.d$ ile oluşturulur. Power-law süreç için kovaryans matrisi J_K hata yayılım kuralı ile aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$J_K = T C_d T^T \quad (8)$$

$C_d = I$ olduğu için, $J_K = T T^T$ olur. Dönüşüm matrisi, kesirli diferansiyel/integral yöntemi kullanılarak Hosking (1981)'de tanımlanmıştır. Tanımlanan dönüşüm matrisi aşağıdaki gibidir.

$$T = \begin{bmatrix} \psi_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \psi_1 & \psi_0 & 0 & \dots & 0 \\ \psi_2 & \psi_1 & \psi_0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_n & \psi_{n-1} & \psi_{n-2} & \dots & \psi_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

burada,

$$\psi_n = \frac{-\frac{\kappa}{2}(1-\frac{\kappa}{2})\dots(n-1-\frac{\kappa}{2})}{n!} = \frac{\sum(n-\frac{\kappa}{2})}{n! \sum(-\frac{\kappa}{2})} \quad (10)$$

gibidir.

Dönüşüm matrisi T, $\Delta T^{-\kappa/4}$ ile ölçeklendirilmiştir. Burada, ΔT , $T T^T$ oluşturulmadan önceki örnekleme aralığıdır. Bu, spektral indeks j'ye sahip herhangi bir gürültü kaynağı için aynı spektrumda ΔT ile aynı frekansta çapraz olacak ve eşit gürültü genliği b_j 'yi güvence altına almasını sağlayacaktır. Power spektrum için eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$P = \frac{D_{\kappa} b_{\kappa}^2}{f_s^{\kappa+1}} f^{\kappa} \quad (11)$$

burada,

$$D_{\kappa} = 2(2\pi)^{\kappa} (24 \times 60 \times 60 \times 365.25)^{\kappa/2} \quad (12)$$

ve f_s Hz biriminde örnekleme frekansıdır. Bu sebeple çapraz frekans f_0 aşağıdaki şekli alır.

$$f_0 = \frac{f_s^{1/2}}{2\pi \sqrt{24 \times 60 \times 60 \times 365.25}} \quad (13)$$

Eğer veriler eşit aralıklı değilse, dönüşüm matrisinin her bir sütunu, tek tek ΔT ' ler tarafından ölçeklendirilir. Kovaryans matrisini oluşturmadan önce $\Delta T_j = |t_j - t_0|$ gerçekleştirilmelidir.

3.2.1. Tam sayı spektral indekslerdeki gürültü

3.2.1.1. Beyaz gürültü ($\kappa = 0$)

Mevcut veride WN olması durumunda, spektral indeks tam sayı değeri olmakta ve $\kappa = 0$ ' dir. WN olması durumunda $\Psi_0 = 1$ ve $\psi_n = 0$ olur. Dönüşüm matrisi ve kovaryans matrisi birim varyansa eşit olur ve skaler değer olurlar. Bu durumda dönüşüm matrisi zamandan bağımsız olur.

3.2.1.2. Random-walk gürültü ($\kappa = -2$)

Random-walk için tam sayı spektral indeks $\kappa = -2$ olur. Herhangi bir n için $\psi_n = 1$ olur ve bu durumda, dönüşüm matrisi,

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

ve kovaryans matrisi de,

$$J_{-2} = \begin{bmatrix} \Delta T_1 & \Delta T_1 & \Delta T_1 & \dots & \Delta T_1 \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_2 \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

şeklinde olacaktır (Johnson ve Wyatt, 1994; Zhang, ve ark. 1997; Mao, ve ark. 1999)

3.2.1.3. Flicker gürültü ($\kappa = -1$)

FN için, kovaryans matrisi J_{-1} Zhang ve ark. (1997)' de tanımlanmıştır ve kovaryans matrisi de Gardner. M. (1978)'de tanımlanan algoritmaya gürültü türetilerek üretilmiştir. Bu matristeki sabitler FN ve RWN büyüklükleri ve periyotları eşitmiş gibi düşünülerek seçilir ($b_{-1} = b_{-2}$). Bu ilk kovaryans matrisi (15) eşitliğinde ki dönüşüm matrisinden türetilen matrisle tam olarak aynı değildir. Bu iki dönüşüm matrisi arasındaki en önemli fark büyüklüklerin ($b_{-1}=b_{-2}$) ölçeklendirilmesidir. Yeni ve eski büyüklükler

arasındaki ölçeklendirme oranları kendi power spektrum eşitliklerinden türetilir. Yani,

$$P_{\text{eski}} = \frac{b_{\text{eski}}^2 f^{-1}}{2\pi^2} \quad (16)$$

$$P_{\text{yeni}} = \frac{b_{\text{yeni}}^2 f^{-1}}{\pi \sqrt{f_s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365.25}}$$

olduğundan,

$$b_{\text{yeni}} = \frac{(f_s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365.25)^{1/4}}{\sqrt{2\pi}} b_{\text{eski}} \quad (17)$$

örnekleme aralığı günde bir ölçü olduğunda (Hz biriminde)

$$b_{\text{yeni}} = 1.7440 b_{\text{eski}} \quad (18)$$

olur. Bu yüzden FN büyüklüğü için verilen değerler, kovaryans matrisini oluşturmadan önce yapılacak herhangi bir çalışma için yeniden hesaplanmalıdır (Zhang, ve ark. 1997).

3.3. Gürültü Modellerinin Zaman Serileri ile Belirlenmesi

Zaman serileri günümüzde farklı amaçlar için kullanılan farklı fonksiyonları içermektedir. Günümüze kadar bu seriler farklı disiplinlerde farklı amaçlarda kullanılmış, son yıllarda ise mühendislik alanında ve mesleğimizde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bir zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içerisinde sıralanmış ölçümlerinin bir kümesidir. Bu analizin yapılma amacı ise, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman serisindeki değişkenlerin gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesidir. Zaman serileri dört bileşenden oluşur. Bunlar;

- Genel eğilim (Trend)
- Mevsimlik dalgalanmalar (Seasonal Variations)
- Konjonktürel değişimler (Cyclic Variations)
- Tesadüf (rastgele) hareketler (Random or Irregular movements) olarak sıralanabilir (Anand, 2016).

3.4. Koordinat zaman serisi analizi

Gürültü modellerinin belirlenmesinde farklı yazılımlar bulunmaktadır. Bunlar;

- FOGMEX-GPS Solutions (Herring, 2003)
- CATS (Williams, 2008)
- Varyans Bileşen Analizi (Teunissen and Amiri-Simkooei, 2008)
- SURMODERR (Teza, ve ark. 2010)

yazılımlarıdır. Bu çalışmada en uygun gürültü modellerinin belirlenmesi için Williams (2008) tarafından geliştirilen Koordinat Zaman Serileri Analizi (CATS) yazılımı kullanılmıştır. CATS yazılımı

lineer olmayan veriyi çözülmesi, ücretsiz olarak temin edilmesi ve kurulum/kullanım dosyalarının internet aracılığıyla temin edilmesi bu yazılımın tercih edilmesinde etkin olmuştur.

CATS yazılımı stokastik gürültü modelinin büyüklüğünü ve tipini belirlemek için kalıntı hataları analiz ederken, zaman serisi için çok parametrelili model uydurmada EKKY kullanmaktadır. Program iki aşamalı süreçte tüm parametreleri çözmektedir. Bu süreçler, deprem, eğim, duraksama ve bilinen periyotları içeren doğrusal fonksiyonlar ve tahmin edilecek gürültü bileşenlerinin büyüklüğünü ve parametresini belirleyen lineer olmayan fonksiyondur (Williams, 2008).

3.4.1. CATS yazılımında stokastik modeller

CATS yazılımı gürültü modelini belirleyebilmek için 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Langbein and Johnson (1997)' de tanıtılan MLE, Beran (1994)' de tanıtılan spektral tahmin (SE: Spectral Estimation) ve Williams (2003)' de tanıtılan deneysel yöntemdir (EM: Empirical Method).

CATS yazılımı gürültü analizinde model seçiminde aşağıdaki işlem gerçekleştirilecektir.

➤ Stokastik model

Stokastik model, model seçeneği kullanılarak tanımlanır ve herhangi bir zaman serisinde gerekli olması halinde kullanılabilir. Örneğin;

-- model wh: -- model pl: k-1

WN ve FN seçenekleri için kullanılır. Burada pl, power law süreci ve wh beyaz gürültü sürecini tanımlamaktadır. Power law sürecin ikinci kısmı k-1 ise -1 indekste flicker gürültüyü ifade etmektedir. Eğer spektral indeks tanımlanmaz ise, program bu durumda bu parametreleri tanımlayacaktır. CATS farklı gürültü modelleri için kovaryans matrisi üretebilmektedir. Bunlar;

- Beyaz gürültü
- Power law gürültü
- Birinci sıradan Gauss Markov gürültü
- Bant geçiren gürültü
- Genelleştirilmiş Gauss Markov
- Değişken beyaz gürültü
- Adım adım değişken beyaz gürültü

olarak sıralanabilir.

➤ Fonksiyonel Model

Fonksiyonel model eğer bir eğime, sıçramaya ya da herhangi bir ofset veri setinde olması durumunda daha önceden tanımlanmaktadır. Eğer herhangi bir periyodik sinyalin büyüklüğü ve genliği belirlenecekse, o zaman bu "sinusoid" komutu ile belirlenir. Bu komut gerekli olduğu her zaman komut satırında kullanılabilir. Eğer programın trendi belirlemesi istenmiyorsa, "notrend" komutu kullanarak bunu gerçekleştirilebilir.

➤ Diğer seçenekler

Yöntem, hangi tahmin yönteminin kullanılacağını ifade eder. “Verbose” komutu, çıktı dosyasında ekstra bilgilere izin verir. “Output” komutu ise çıktıların ekrana yazılmasının yanı sıra bir dosyaya yazılması için kullanılır. vvas.neu uzantılı bir dosyada beyaz gürültü ile flicker gürültünün miktarı belirlenecek ve veride yıllık bir sinyal etkisinin olduğu da düşünülüyorsa bu durumda,

```
cats vvas.neu -- sinusoid 1y -- model pl:k-1 -- model
wh: -- verbose -- output vvas.fn_mle
```

komutu kullanılmalıdır. Bu durumda sonuçlar vvas.fn_mle isimli bir dosyaya programın çalıştırıldığı dizinde saklanacaktır.

4. UYGULAMA

Çalışma kapsamında Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2013-2019 yılları arasında her haftadan genellikle cuma günü seçilerek GNSS verileri temin edilmiş, verilerin değerlendirilmesi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılmıştır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılan değerlendirme aşamasında, her ne kadar yüksek dereceden iyonosferik düzeltme (HOI: Higher order ionospheric) uygulanmış olsada, sonuçların herhangi bir iyonosferik fırtınadan etkilenmemesi amacıyla, çözüm yapılacak günler seçilirken, jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve güneş aktivite (F10.7) indis değerleri incelenmiştir. İlgili günde herhangi bir fırtına olması durumunda değerlendirme günü fırtınasız olan bir önceki ya da bir sonraki gün olarak seçilmiştir. Değerlendirme işleminin ardından bu verilerdeki mevcut gürültü bileşenlerinin ayrıştırılması yapılmıştır. Gürültü bileşenlerinin tipi ve büyüklüğü ortaya konulduktan sonra bu bileşenlerden ayrıştırılmış hız bileşenleri belirlenmiştir.

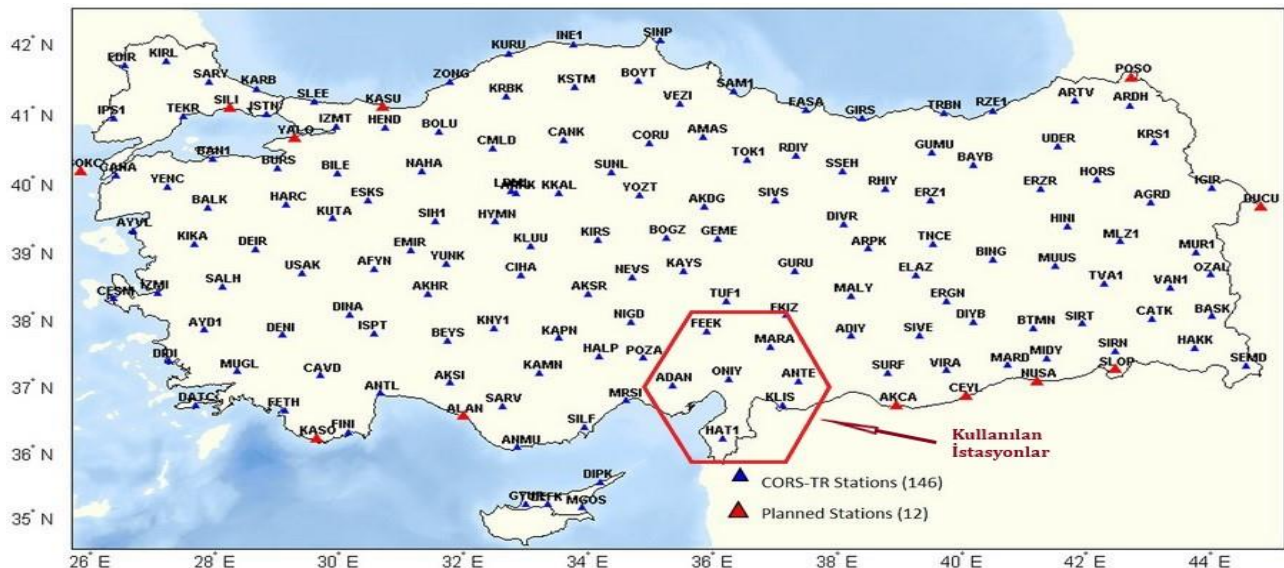
4.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Türkiye’de son yıllarda bazı kurum ve kuruluşlar tarafından tesis edilen ve sürekli ölçü toplayan birçok GNSS ağı mevcuttur. Bu ağların büyük bir çoğunluğu bölgesel ağlardır. Hem anlık olarak hem de sonradan değerlendirme (post-process) ile nokta konumlamaya imkan veren TUSAGA-Aktif Ağı tüm ülkeyi kapsayan ulusal bir ağıdır. Bu kapsamda çalışma alanı olarak Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan istasyonlar seçilmiştir (Şekil 4, Tablo 2). Bu istasyonların seçilmesinin en temel nedeni ise belirtilen tarih aralığında 30 sn RINEX verisinin var olmasıdır.

Çalışmada nokta hızları belirlenecek ve bu hızlara etki eden WN ve CN bileşenleri açıklanacak ve referans noktalarına dayalı olarak belirlenecek test noktalarının hızları plaka hareketlerinin etkilerine göre belirlenecektir. Referans noktalarının farklı plakalarda olması, bu plakaların birbirlerine olan itici etkilerinin de gürültü olarak ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir (Aktuğ, ve ark.. 2011). Bu nedenle, çalışma da kullanılan referans noktalarının, test noktaları ile aynı tektonik plaka üzerinde olmasına dikkat edilmiştir ve IGS noktaları Avrasya plakasında seçilmiştir (Şekil 3, Tablo 1).



Şekil 3. Kullanılan IGS istasyonları



Şekil 4. Kullanılan TUSAGA-AKTİF istasyonları

Tablo 1. IGS noktalarının yaklaşık konum bilgileri

No	Ülke	Kısa adı	Enlem (°)	Boylam (°)
1	Türkiye	ANKR	39.8875	32.7583
2	Avusturya	GRAZ	47.0669	15.4933
3	İtalya	MATE	40.6489	16.7044
4	Finlandiya	METS	60.2175	24.3953
5	İtalya	NOT1	36.8758	14.9897
6	İsveç	ONSA	57.3953	11.9253
7	Almanya	POTS	52.3792	13.0658
8	Rusya	SVTL	60.5328	29.7808
9	İspanya	VILL	40.4433	-3.9519
10	Rusya	ZECK	43.7883	41.5650
11	İsviçre	ZIMM	46.8769	7.4650

Çalışma alanı olarak seçilen Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan 7 adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait bilgileri Tablo 2' de verilmiştir. Yaklaşık konum ve koordinat bilgileri verilen istasyonlar analiz için kullanılmıştır. Yalnız bu istasyonlardan ADN1, HAT1 ve MAR1 istasyonları ADAN, HATA ve MARA istasyonlarının zamanla yerleri değiştirilmiş yeni tesisler olması nedeniyle Şekil 4' te gösterilmemiş ancak yeni nokta olarak analizlere dâhil edilmiştir.

Tablo 2. TUSAGA-Aktif istasyonları yaklaşık koordinatları ve yerleri

No	İl	Kısa adı	Enlem (°)	Boylam (°)
1	Adana	ADAN	37.0035	35.3437
		ADN1	37.0042	35.3437
2	Gaziantep	ANTE	37.0650	37.3736
3	Adana/Feke	FEEK	37.8151	35.9123
4	Hatay	HATA	36.2083	36.1528
		HAT1	36.2000	36.1558
5	Kilis	KLIS	36.7086	37.1122
6	Kahramanmaraş	MARA	37.5808	36.9311
		MAR1	37.5934	36.8615
7	Osmaniye	ONYI	37.1022	36.2539

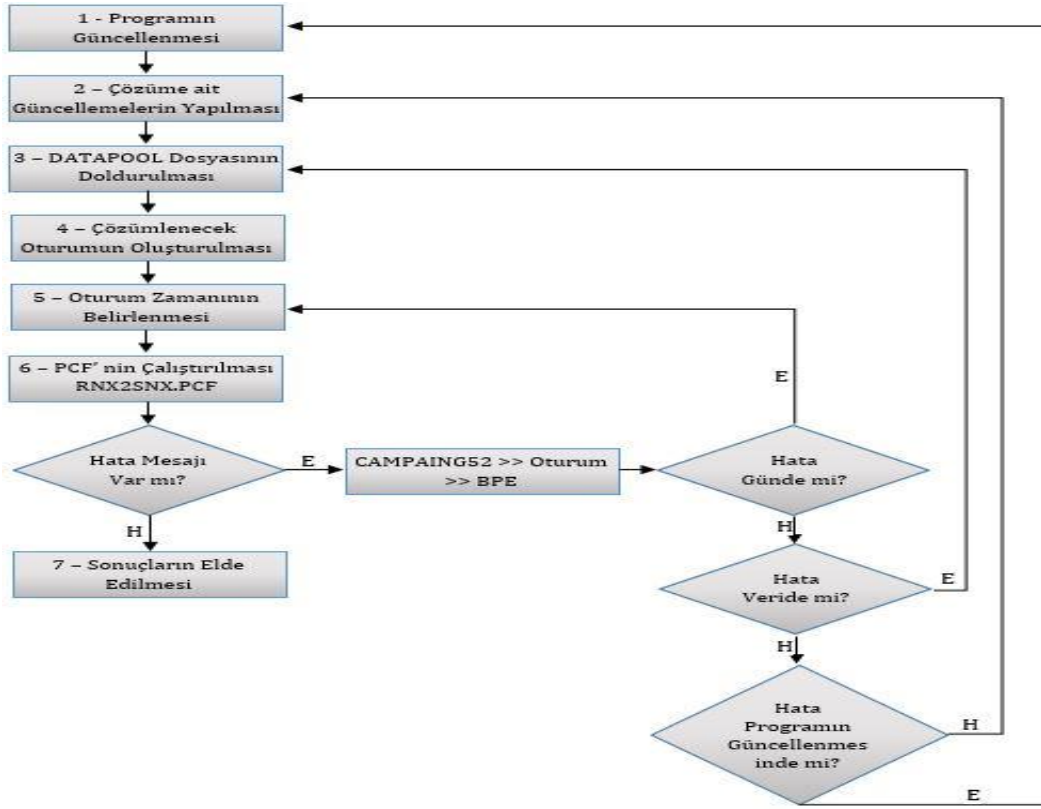
4.2. Verilerin Temin edilmesi

Çözüm için IGS ham verileri, TUSAGA-Aktif verileri ve Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı verilerinin bazıları MATLAB' da yazılan Veri İndirme Yazılımı (VIP) programı yardımıyla internette otomatik olarak, bazıları internette manuel olarak indirilmiş geri kalan veriler ise kullanıcı tarafından oluşturulmuştur. VIP programıyla ilgili detaylı bilgi Başçiftçi (2017) ve Başçiftçi ve ark., (2018)' den elde edilebilir.

Elde edilen veriler daha sonra Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile Şekil 5' te ki iş akış diyagramına bağlı olarak ikili farklar (double differences) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirilen verilerin birleştirilmesi sonucunda 2005.00 referans epoğunda nokta koordinat ve hız bileşenleri elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. 2005.00 ölçü epoğunda güncel koordinatlar (m)

NN	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
ADAN	4159895.2140	2950137.3930	3817739.7250	-0.01021	0.00915	0.00293
ADN1	4159857.0155	2950113.4502	3817799.89120	-0.01021	0.00915	0.00293
ANTE	4050047.3870	3093540.1590	3823682.7520	-0.02353	0.00588	0.01601
FEEK	4086437.8920	2959427.7290	3889620.6970	-0.01650	0.00282	0.01184
HATA	4160364.8050	3039661.1290	3746945.117	-0.02050	0.00610	0.01470
HAT1	4160635.1827	3040200.7997	3746202.5033	-0.02121	0.00787	0.01541
KLIS	4082921.9590	3089253.7660	3791925.0510	-0.02257	0.00501	0.01746
MARA	4045897.8910	3041185.2380	3869047.0430	-0.01820	0.00210	0.01210
MAR1	4048981.8907	3035809.1080	3870228.8971	-0.01872	0.00469	0.01425
ONYI	4107230.2470	3011971.0020	3826521.2630	-0.01814	0.00406	0.01225



Şekil 5. İkili farklar yöntemi iş akışı diyagramı (Bülbül, 2019)

Elde edilen çözümlerden sonra CATS yazılımı ile gürültü analizine geçilmiştir. Gürültü analizinde her 3 koordinat bileşeni için, Sadece Beyaz Gürültü (WN), Beyaz gürültü + Flicker Gürültü (WN+FN) ve Beyaz gürültü + Random Walk Gürültü (WN+RWN) kombinasyonları ile analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada WN dışında kalan gürültü türleri renkli gürültü (CN) olarak isimlendirilmiştir. Kuzey, Doğu ve yükseklik yönlerinde gürültülerin MLE değerleri tablo 4-6'de verilmiştir.

Tablo 4. Kuzey Bileşeni (n) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-716.1	-665.514	-663.033
ADN1	-700.2	-645.312	-642.041
ANTE	-691.25	-606.722	-605.538
FEEK	-1116.5	-769.154	-684.116
HATA	-611.075	-556.098	-555.953
HAT1	-600.075	-543.085	-542.558
KLIS	-440.219	-424.046	-742.555
MARA	-646.099	-600.131	-598.113
MAR1	-606.078	-550.12	-557.236
ONİY	-145.103	-135.103	-156.103

Tablo 5. Doğu bileşeni (e) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-634.29	-596.738	-600.034
ADN1	-624.336	-576.325	-599.325
ANTE	-325.254	-810.254	-725.124
FEEK	-1218.53	-821.189	-728.764
HATA	-666.661	-566.022	-566.457
HAT1	-1067.42	-1067.42	-1060.42
KLIS	-667.155	-632.928	-634.363
MARA	-419.655	-842.713	-751.537
MAR1	-144.356	-139.054	-140.055
ONİY	-150.536	-145.325	-141.55

Tablo 6. Yükseklik bileşeni (h) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-259.623	-242.19	-239.6
ADN1	-263.251	-254.125	-243.266
ANTE	-987.474	-977.093	-977.203
FEEK	-1030.57	-1002.14	-1001.42
HATA	-1077.72	-983.959	-980.532
HAT1	-921.621	-905.819	-908.885
KLIS	-915.215	-904.215	-905.215
MARA	-825.251	-752.215	-698.25
MAR1	-707.105	-702.23	-705.29
ONİY	-962.791	-949.264	-950.971

Tablo 4-6 incelendiğinde koordinat bileşenleri için WN ve CN yoğunluklarına bakıldığında ve tüm istasyonlar dikkate alındığında;

- Kuzey bileşenin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, noktaların ~%20'sinin WN + FN ile ve ~%80'inin ise WN + RWN ile yüklü olduğu,

- Doğu bileşenin ise %30'unun sadece WN ile yüklü olduğu, ~%50'sinin WN + FN ile ve %20'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu,

- Düşey bileşenin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, ~%50'sinin WN + FN ile, ~%50'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu görülmektedir.

Aynı tablolar incelendiğinde MLE değerlerinin kuzey koordinat bileşeni için, WN' de -145.103 – -1116.497, WN+FN' de -135.103 – -769.154 ve WN+RWN' de -156.103 – -742.555 aralığında, doğu koordinat bileşeni için, WN' de -144.356 – -1218.534, WN+FN' de -139.054 – -1067.421 ve WN+RWN' de -140.055 – -1060.420 aralığında, yükseklik bileşeni için, WN' de -259.623 – -1077.720, WN+FN' de -242.190 – -1002.14 ve WN+RWN' de -239.600 – -1001.415 aralığında değiştiği görülmektedir.

Gürültü analizi için önemli parametrelerden biri de genliklerdir. Genlikler mevcut veride var olan uygun gürültü modelinin büyüklüğünü göstermektedir. WN, WN+FN ve WN+RWN gürültü modelleri için hesaplanan genlikler Tablo 7-9'da verilmiştir.

Tablo 7. Kuzey bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	2.03	± 0.08	3.56	± 0.38	2.69	± 0.45
ADN1	7.20	± 0.28	7.07	± 0.28	9.81	± 0.75
ANTE	2.03	± 0.08	2.88	± 0.38	1.67	± 0.32
FEEK	2.05	± 0.24	2.87	± 0.35	2.33	± 0.32
HATA	3.53	± 0.14	5.55	± 0.74	3.64	± 0.66
HAT1	3.52	± 0.17	5.51	± 0.67	1.69	± 0.70
KLIS	1.57	± 0.07	2.67	± 0.33	1.72	± 0.37
MARA	1.60	± 0.09	2.60	± 0.38	1.77	± 0.45
MAR1	1.26	± 0.1	2.25	± 0.28	1.67	± 0.32
ONİY	1.47	± 0.07	2.19	± 0.46	16.46	± 0.64

Tablo 8. Doğu bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	1.52	± 0.15	3.65	± 2.45	1.98	± 0.61
ADN1	1.70	± 0.07	2.81	± 0.41	1.73	± 0.41
ANTE	5.75	± 0.22	2.35	± 2.60	1.56	± 0.35
FEEK	1.85	± 0.07	2.68	± 0.41	1.56	± 0.38
HATA	3.55	± 0.09	2.59	± 2.12	1.63	± 1.10
HAT1	9.82	± 0.38	8.28	± 0.32	9.16	± 0.78
KLIS	1.86	± 0.07	3.57	± 0.37	2.56	± 0.44
MARA	2.49	± 0.11	3.45	± 0.39	3.12	± 0.86

MAR1	1.41	±	0.11	2.78	±	0.76	2.08	±	0.93
ONİY	1.35	±	0.07	8.97	±	2.85	15.98	±	1.14

Tablo 9. Yükseklik bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	6.62	± 0.26	4.63	± 1.64	1.55	± 0.69
ADN1	5.12	± 0.19	4.89	± 1.61	1.78	± 0.88
ANTE	6.40	± 0.25	10.68	± 1.14	6.82	± 1.23
FEEK	4.05	± 0.16	5.38	± 1.09	2.58	± 0.79
HATA	4.36	± 0.21	6.25	± 1.02	6.25	± 1.16
HAT1	4.53	± 0.17	4.28	± 1.00	1.78	± 0.56
KLIS	5.60	± 0.22	6.58	± 1.12	3.08	± 0.81
MARA	5.74	± 0.26	10.57	± 1.80	6.82	± 1.23
MAR1	4.39	± 0.20	6.07	± 1.82	1.94	± 0.87
ONİY	4.90	± 0.19	5.81	± 1.27	2.40	± 0.75

Tablo 7-9 incelendiğinde genliklerin benzer büyüklüklerde olduğu görülmektedir. WN için; kuzey bileşeninde genlikler 1.26 mm – 7.20 mm, doğu bileşeninde 1.35 mm – 9.82 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.05 mm – 6.62 mm arasında, WN+FN için; kuzey bileşeninde genlikler 2.19 mm – 7.07 mm, doğu bileşeninde 2.35 mm – 8.97 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.28 mm – 10.68 mm arasında, WN+RWN içinde; kuzey bileşeninde genlikler 1.67 mm – 16.46 mm, doğu bileşeninde 1.56 mm – 15.98 mm, yükseklik bileşeninde ise 1.55 mm – 6.82 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama hataları ise; WN de; kuzey bileşeni için $\pm 0.07 - \pm 0.28$, doğu bileşeni için, $\pm 0.07 - \pm 0.38$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.16 - \pm 0.26$ arasında, WN+FN' de; kuzey bileşeni için $\pm 0.28 - \pm 0.74$, doğu bileşeni için, $\pm 0.32 - \pm 2.85$, yükseklik bileşeni için, $\pm 1.00 - \pm 1.82$ arasında, WN+ RWN' de ise; kuzey bileşeni için $\pm 0.32 - \pm 0.75$, doğu bileşeni için, $\pm 0.35 - \pm 1.14$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.56 - \pm 1.23$ arasında değiştiği görülmektedir. Genlikler incelendiğinde yükseklik bileşenini diğer bileşenlerden daha yüksek ortalama hataya sahip olduğu görülmektedir.

4.3. Gürültüden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi

Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenlerinin belirlenmesinde zaman serilerinden yararlanılmıştır. Gürültü bileşenleri ve genlikleri belirlendikten sonra gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri elde edilmiştir. Bu bölümde koordinatlar zaman serileri ile ifade edilmiş ve gürültüden arındırılmış hız bileşenleri verilmiştir. Koordinatların zaman serileri ile analiz edilmesinde bir dizi MATLAB komutundan yararlanılmıştır. Hazırlanan DT.m isimli MATLAB fonksiyonu kullanılmıştır. DT.m fonksiyonu ile birlikte önce trend daha sonra gürültü + trend belirlenmiştir. DT.m fonksiyonunun çıktı verileri

CATS yazılımı ile değerlendirilerek gürültü ve trendden arındırılmış hız bileşenleri elde edilmiştir.

Gürültüden arındırılmış her bir koordinat bileşenine ait hızlar ve bunların karesel ortalama hataları Tablo 10-a,b-11' de verilmiştir.

Tablo 10a. Gürültü bileşenlerinden arındırılmamış hız bileşenleri (m)

NN	Gürültüden arındırılmamış		
	V _x	V _y	V _z
ADAN	-0.0102	0.0092	0.0029
ADN1	-0.0102	0.0092	0.0029
ANTE	-0.0235	0.0059	0.0160
FEEK	-0.0165	0.0028	0.0118
HATA	-0.0205	0.0061	0.0147
HAT1	-0.02121	0.00787	0.01541
KLIS	-0.0226	0.0050	0.0175
MARA	-0.0182	0.0021	0.0121
MAR1	-0.01872	0.00469	0.01425
ONİY	-0.0181	0.0041	0.0123

Tablo 10b. Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri (m)

NN	Gürültüden arındırılmış		
	V _x	V _y	V _z
ADAN	-0.0104	0.0091	0.0030
ADN1	-0.0101	0.0093	0.0028
ANTE	-0.0233	0.0057	0.0162
FEEK	-0.0168	0.0025	0.0119
HATA	-0.0204	0.0060	0.0145
HAT1	-0.0209	0.0080	0.0153
KLIS	-0.0225	0.0046	0.0176
MARA	-0.0185	0.0022	0.0119
MAR1	-0.0186	0.0044	0.0145
ONİY	-0.0183	0.0039	0.0124

Tablo 11. Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hızlara ait karesel ortalama hatalar (m)

NN	m_{V_x}	m_{V_y}	m_{V_z}
ADAN	0.00015	0.00009	0.00013
ADN1	0.00013	0.00013	0.00011
ANTE	0.00012	0.00008	0.00015
FEEK	0.00019	0.00032	0.0002
HATA	0.00009	0.00008	0.0001
HAT1	0.00017	0.00008	0.00014
KLIS	0.00011	0.00008	0.00011
MARA	0.00089	0.00092	0.0008
MAR1	0.00079	0.00082	0.0007
ONİY	0.00015	0.00023	0.0003

Gürültüden arındırılmadan önce Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile elde edilmiş hız bileşenleri ile CATS yazılımı kullanılarak gürültüden arındırılmış olarak elde edilmiş hız bileşenleri arasındaki farklar Tablo 12' de verilmiştir.

Tablo 12. Gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasındaki farklar (mm)

NN	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z
ADAN	-0.2	-0.1	0.1
ADN1	0.1	0.1	-0.1
ANTE	0.2	-0.2	0.2
FEEK	-0.3	-0.3	0.1
HATA	0.1	-0.1	-0.2
HAT1	0.3	0.1	-0.1
KLIS	0.1	-0.4	0.1
MARA	-0.3	0.1	-0.2
MAR1	0.1	-0.3	0.2
ONİY	-0.2	-0.2	0.1

Tablo 12 incelendiğinde, gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasındaki farkların X bileşeninde ± 0.3 mm seviyesinde olduğu, Y bileşeni için -0.4 mm ile 0.1 mm arasında değiştiği, Z koordinat bileşeni için ± 0.2 mm seviyesinde olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

20.yy sonlarından itibaren GNSS teknikleri tektonik plaka hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Büyük plaka hareketleri sonucunda oluşan depremler nokta koordinatlarında büyük değişikliklere neden olmuş, sürekli ya da tekrarlı olarak gerçekleştirilen ölçülere lineer bir trend uygulanmış ve bu etkiler sonucunda meydana gelen yer değiştirmeler ile nokta hızları belirlenmiştir.

Jeodezik amaçlarla kullanılacak nokta koordinatları deprem, tektonik hareketler, dünyanın hareketi vb. doğal olaylar ya da insanlığın müdahalesi sonucunda yer değiştirmelere maruz kalmaktadır. Bu yer değiştirmeler sonucunda nokta koordinatları dinamik bir yapıda olmaktadır. Dinamik yapıda olan bu hareketler sonucunda daha önce tesis edilmiş olan sabit noktaların koordinatları zamana bağlı olarak yer değiştirmekte ve bir hareket göstermektedir. Bu hareket sonucunda ise gerçekleştirilecek ölçümlerin doğruluğu değişecek ve gerçek değerler elde edilemeyecektir.

GNSS verilerinden günlük koordinat kestirimi yapılarak, noktaların hızları belirlenebilmektedir. Bu hızların GNSS sinyallerinin sahip olduğu gürültü bileşenleriyle de yüklü olduğu bilinmektedir. Bunlara bağlı olarak GNSS koordinatlarının hızlarının kestiriminde gürültülerle yüklü olan hızlar belirlenmektedir. Bu durumda karşımıza çıkan en temel sorunlardan biriside bu verilerde bulunan

renkli gürültü ve beyaz gürültülerin hız bileşenlerine etkilerinin araştırılması, etkilerinin ortaya çıkartılması ve bu etkilerden arındırılmış olarak hızların belirlenmesidir.

Çalışma kapsamında GNSS ölçülerini etkileyen gürültü türleri ve bu gürültü türlerini belirlenmesinde kullanılan yazılımlar irdelenmiştir. Günümüze kadar yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde, GNSS sinyallerini genellikle WN, WN ile FN ve WN ile RWN' un etkilediği ortaya konmuştur. Bu sebepten dolayı Türkiye'nin güney doğusunda bulunan 7 adet TUSAGA-Aktif istasyonlarında var olduğu bilinen WN, WN+FN ve WN+RWN türleri incelenmiştir. Ayrıca bu gürültülerden arındırılmış hız bileşenleri ve bu gürültülerle yüklü olduğu bilinen hız bileşenleri elde edilerek aralarındaki farklar ortaya konulmuştur.

GNSS ölçülerini etkileyen gürültü türlerinin belirlenmesinde CATS yazılımı kullanılmıştır. CATS yazılımı sonucunda elde edilen en uygun gürültü türünün belirlenmesinde ise MLE değerleri dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Tablo 4-6 incelendiğinde koordinat bileşenleri için WN ve CN yoğunluklarına bakıldığında ve tüm istasyonlar dikkate alındığında; kuzey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, noktaların ~%20'sinin WN + FN ile ve ~%80'inin ise WN + RWN ile yüklü olduğu, doğu bileşeninin ise %30'unun sadece WN ile yüklü olduğu, ~%50'sinin WN + FN ile ve %20'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu, düşey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, ~%50'sinin WN + FN ile, ~%50'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu görülmektedir.

MLE değerlerinin kuzey koordinat bileşeni için,

- WN' de -145.103 – -1116.497,
- WN+FN' de -135.103 – -769.154,
- WN+RWN' de -156.103 – -742.555 aralığında,

Doğu koordinat bileşeni için,

- WN' de -144.356 – -1218.534,
- WN+FN' de -139.054 – -1067.421,
- WN+RWN' de -140.055 – -1060.420 aralığında,

Yükseklik bileşeni için,

- WN' de -259.623 – -1077.720,
- WN+FN' de -242.190 – -1002.14,
- WN+RWN' de -239.600 – -1001.415 aralığında

değiştirdiği görülmektedir.

Tablo 7-9 incelendiğinde genliklerin benzer büyüklüklerde olduğu görülmektedir.

- ❖ WN için; kuzey bileşeninde genlikler 1.26 mm – 7.20 mm, doğu bileşeninde 1.35 mm – 9.82 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.05 mm – 6.62 mm arasında,
- ❖ WN+FN için; kuzey bileşeninde genlikler 2.19 mm – 7.07 mm, doğu bileşeninde 2.35 mm – 8.97 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.28 mm – 10.68 mm arasında,
- ❖ WN+RWN içinde; kuzey bileşeninde genlikler 1.67 mm – 16.46 mm, doğu bileşeninde 1.56 mm – 15.98 mm, yükseklik bileşeninde ise 1.55 mm – 6.82 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ortalama hataları ise;

- ❖ WN de; kuzey bileşeni için $\pm 0.07 - \pm 0.28$, doğu bileşeni için, $\pm 0.07 - \pm 0.38$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.16 - \pm 0.26$ arasında,
- ❖ WN+FN' de; kuzey bileşeni için $\pm 0.28 - \pm 0.74$, doğu bileşeni için, $\pm 0.32 - \pm 2.85$, yükseklik bileşeni için, $\pm 1.00 - \pm 1.82$ arasında,
- ❖ WN+ RWN' de ise; kuzey bileşeni için $\pm 0.32 - \pm 0.75$, doğu bileşeni için, $\pm 0.35 - \pm 1.14$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.56 - \pm 1.23$ arasında değiştiği görülmektedir.

Yapılan karşılaştırmalar dikkate alındığında gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasında mm altı bir yakınlık olduğundan dolayı aslında temel jeodezik ölçmelerde gürültüden arındırılmış hızların kullanımının pratikte kullanıcılara çok katkı sağlamayacağı ancak ölçü epöğü ile referans epöğü arasındaki farkları arttıkça hata miktarının da artacağından dolayı yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda ise gürültüden arındırılmış hızların kullanılmasının hesaplanacak nokta konum ve doğruluğunu büyük oranda etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Agnew, D.C. (1992). The Time-Domain Behavior of Power-Law Noises. *Geophys Research Letters*, 19,333-336, <https://doi.org/10.1029/91GL02832>
- Aktuğ, B., Kurt, M., Parmaksız, E., Lenk, O., Erkan, Y. ve Aysezen, Ş. (2011). Türkiye'de Sabit GNSS İstasyonlarının Tarihi ve Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Aktuğ, B. (2003). ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış, *Harita Dergisi*, Ankara.
- Altamimi, Z., Sillard, P. ve Boucher, C. (2003). The Impact of NNet Rotation Condition on ITRF2000. *Geophysical Research Letters*, Vol.30, No.2, 1064.
- Anand, S. (2016). Everything About Time Series Analysis And The Components of Time Series Data. <https://www.linkedin.com/pulse/everything-time-series-analysis-components-data-saranya-anandh>: Accesed date: 16.07.2018.
- Başçıftçi, F. (2017). GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Başçıftçi, F., İnal, C., Yıldırım, Ö. Ve Bülbül, S. (2018). Automatic Data Downloading Program (DDP) in Determining Regional Ionosphere Model. *Journal of New Results in Science*, 7 (1), 17-28.

- Beran, J. (1994). *Statistics for Long-Memory Processes*, Monogr Stat Appl Probab, 61, 315 pp. Chapman and Hall, New York.
- Bülbül, S. (2019). TUSAGA-AKTİF Noktalarında Renkli Gürültülerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 179.
- Bülbül, S., ve İnal, C. (2019). Noise Analysis In CORS-Tr Stations -Case Of ADAN Station, Euroasia International Congress On Applied Sciences-II, Hatay.
- Bülbül, S., İnal, C., Yıldırım, Ö. ve Başçiftçi, F. (2017). Velocity Estimation of Turkish National Permanent GNSS Network Active Points Located at Central Anatolia Region, Bilge International Journal of Science and Technology Research.
- Bos, M. S., Bastos, L. ve Fernandes, R. M. S. (2010). The Influence of Seasonal Signals on The Estimation of The Tectonic Motion in Short Continuous GPS Time-Series, *Journal of Geodynamics*, 49, 205-209, <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.10.005>
- Cucci, L., De Martini, P. M., Masana, E. ve Vanneste, K. (2012). Active Tectonics around The Mediterranean Region: Site Studies and Application of New Methodologies. *Annals of Geophysics*, 55 (5), 843-846, doi: 10.4401/ag-6272
- Davis, A., Marshak, A., Wiscombe, A. ve Cahalan, R. (1994). Multifractal Characterizations of Nonstationarity and Intermittency in Geophysical Fields: Observed, Retrieved or Simulated. *Journal of Geophysical Research*, 99, 8055-8072, <https://doi.org/10.1029/94JD00219>
- Gardner. M. (1978). *Mathematical Games: White and Brown Music, Fractal Curves and One-over-f Fluctuations*. *Scientific American*, 238 (4), 16–32.
- Gleason, S., Gebre-Egziabher, D., ve Gebre Egziabher, D. (2009). *GNSS Applications and Methods*. Artech House.
- He, X., Bos, M.S., Montillet, J.P. (2019). Investigation of the noise properties at low frequencies in long GNSS time series. *J Geod* 93, 1271–1282, <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01244-y>
- Herring, T. (2003). MATLAB Tools for Viewing GPS Velocities and Time Series. *GPS Solutions*, 7, 194-199, <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0068-0>
- Hosking, J. R. M. (1981). Fractional Differencing. *Biometrika*, 68 (1), 165–176.
- Jackson, J. ve McKenzie, D. (1988). The Relationship Between Plate Motions and Seismic Moment Tensors, and The Rates of Active Deformation in The Mediterranean and Middle-East. *Geophysical Journal-Oxford*, 93 (1), 45-73.
- Johnson, H. ve Wyatt, F. K. (1994). *Geodetic Network Design for Faultmechanics Studies*, *Manuscripta Geodaetica*, 19, 309-323.
- Langbein, J. (2004). Noise in two-color electronic distance meter measurements revisited. *Journal Geophysical Research*, 109 (B04406). doi:10.1029/2003JB002819
- Langbein, J. ve Johnson, H. (1997). Correlated Errors in Geodetic Time Series: Implications for Time-dependent Deformation. *Journal Geophysical Research*, 102 (B1), 591-603.
- Malinaverno, A. (1989). Testing Linear Models of Sea Floor Topography. *Pure and Applied Geophysics*, 131,139-155, <https://doi.org/10.1007/BF00874484>
- Mandelbrot, B. ve Van Ness, J. (1968). Fractional Brownian Motions, Fractional Noises, and Applications. *SIAM Review*, 10 (4), 422–437, <https://doi.org/10.1137/1010093>
- Mandelbrot, B. (1977). *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. W. H. Freeman and Company, p. 352.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco, Freeman.
- Mao, A., Harrison, C.G.A., ve Dixon, T.H. (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal Geophysical Research*, 104 (B2):2797–2816. doi:10.1029/1998JB900033
- Montillet, JP., Bos M.S., Melbourne, T.I., Williams, S.D.P., Fernandes, R.M.S. ve Szeliga, W.M. (2020). Estimation of the Vertical Land Motion from GNSS Time Series and Application in Quantifying Sea-Level Rise. In: Montillet JP., Bos M. (eds) *Geodetic Time Series Analysis in Earth Sciences*. Springer Geophysics. Springer, Cham
- Özdemir, S. (2016). TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, 155, 53-81.
- Santamaría-Góme A., Bouin M.N., Collilieux X., ve Wöppelmann G. (2011). Correlated errors in GPS position time series: implications for velocity estimates. *J Geophys Res*, 116 (B15):B01405
- Shi, C., Guo, S., Gu, S., Yang, X., Gong, X., Deng, Z., Ge M., ve Schuh, H. (2019). Multi-GNSS satellite clock estimation constrained with oscillator noise

- model in the existence of data discontinuity. *Journal of Geodesy*, 93:515–528 <https://doi.org/10.1007/s00190-018-1178-3>
- Tatarskii, V.I. (1961). *Wave Propagation in A Turbulent Medium*. New York, Dover.
- Teunissen, P. J. G. ve Amiri-Simkooei, A. R. (2008). Least-squares Variance Component Estimation. *Journal of Geodesy*, 82 (2), 65-82, <https://doi.org/10.1007/s00190-007-0157-x>
- Teza, G., Pesci, A., ve Casula, G. (2010). SURMODERR: A MATLAB Toolbox for Estimation of Velocity Uncertainties of A Non-permanent GPS Station. *Computers & Geosciences*, 36 (8), 1033-1041, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.03.003>
- Treuhaft, R. N., ve Lanyi, G.E. (1987). The Effect of the Dynamic Wet Troposphere on Radio Interferometric Measurements. *Radio Science*, 22, 251-265. doi: 10.1029/RS022i002p00251
- Wang, G. (2015). Noise characterization of GPS time series from the second IGS reprocessing campaign. University of Stuttgart, Institute of Geodesy, Bachelor Thesis, Stuttgart, 78.
- Williams, S.D.P. (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates from geodetic time series. *Journal of Geodesy*, 76 (9–10):483–494. doi:10.1007/s00190-002-0283-4
- Williams, S.D.P. (2008). CATS: GPS coordinate time series analysis software. *GPS Solutions*, 12 (2):147–153. doi:10.1007/s10291-007-0086-4
- Williams, S.D.P., Bock Y., Fang, P., Jamason, P., Nikolaidis, R.M., Prawirodirdjo, L., Miller, M., ve Johnson, D.J. (2004). Error analysis of continuous GPS position time series. *Journal Geophysical Research*, 109 (B03412). doi:10.1029/2003JB002741
- Wyatt, F., Morrissey, S. T., ve Agnew, D. C. (1988). Shallow Borehole Tilt: A Reprise. *Journal Geophysical Research*, 93, 9197-9201, <https://doi.org/10.1029/JB093iB08p09197>
- Yılmaz, M. (2012). Jeodezik Nokta Hız Kestiriminde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 106.
- Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Williams, S., Genrich, J., Wdowinski, S., ve Behr, J. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: error analysis of daily position estimates and site velocities. *Journal Geophysical Research*, 102 (B8):18035–18055.



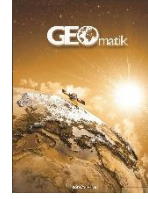
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi

Ahmet Ünal^{*1}, Ferruh Yıldız¹

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

Anahtar Kelimeler

Çözünürlük
Göktürk-1
Görüntü Birleştirme
Pankeskinleştirme
Uydu Görüntüsü

ÖZ

Ülkemizin ilk yüksek çözünürlüklü uydusu olan Göktürk-1 uydusundan alınan görüntülerinde kullanım alanlarına göre çok büyük faydalar sağlayacağı tartışılmazdır. Bu çalışmada farklı pankeskinleştirme yöntemleri karşılaştırılmış, seçilmiş bir örnek Göktürk-1 uydu görüntüsü 4 farklı programda yer alan toplam 23 algoritmda pankeskinleştirilmiş, elde edilen görüntülerin görsel olarak ve matematiksel ölçütlerle analizi yapılmış ve Göktürk-1 uydu görüntüleri için en uygun pankeskinleştirme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda elde edilen bulgular görsel ve metrik olarak değerlendirilmiş, aynı algoritmaların farklı yazılımlarda farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen görsel değerlendirmeler ışığında Göktürk-1 uydu görüntülerini pankeskinleştirmek için; ERDAS yazılımında ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge ya da HCS Resolution Merge algoritmalarının, ENVI yazılımında NNDiffuse Pan Sharpening algoritmasının, HASAT yazılımında Brovey algoritmasının ve PCI yazılımında PANSHARP2 algoritmasının görsel olarak daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Pankeskinleştirme işlemleri sonucunda elde edilen görüntüler bu tarz çalışmalarda yaygın olarak kullanılan RMSE, RASE, CC, ERGAS ve QAVE metriklerine göre değerlendirilmiştir. Metrik değerlendirmeler için MATLAB programı kullanılmış ve ERGAS metriğinde “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yöntemi, RMSE, CC, RASE ve QAVE metriklerinde ise “PCI-MRA” yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Investigation of Pansharpening Performance on Göktürk-1 Satellite Images

Keywords

Resolution
Göktürk-1
Image Fusion
Pansharpening
Satellite Image

ABSTRACT

It is obvious that the images taken from Göktürk-1 satellite, which is the first high resolution satellite of our country, will provide great benefits in different areas according to its usage areas. In this study, different pansharpening methods are compared, a selected sample Göktürk-1 satellite image has been pansharpened with 23 algorithms in 4 different softwares, the images obtained are analyzed visually and mathematically and thus the most appropriate pansharpening method is tried to be determined for Göktürk-1 satellite images. Findings obtained in this context were evaluated visually and metrically, and it was observed that the same algorithms gave different results in different software. In the light of the visual evaluations obtained, in order to sharpen Göktürk-1 satellite images; It has been observed that using ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge or HCS Resolution Merge algorithms in ERDAS software, NNDiffuse Pan Sharpening algorithm in ENVI software, Brovey algorithm in HASAT software and PANSHARP2 algorithm in PCI software is better result visually. The images obtained as a result of the pansharpening processes have been evaluated according to the RMSE, RASE, CC, ERGAS and QAVE metrics commonly used in such studies. The MATLAB program has been used for metric evaluations and the “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” method in the ERGAS metric and the “PCI-MRA” method in the RMSE, CC, RASE and QAVE metrics have been gave more successful results.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

^{*}(unalahmet@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7519-5389
(fyildiz@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1248-8923

Ünal, A. & Yıldız, F. (2021). Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi. Geomatik, 6(2), 148-164, DOI: 10.29128/geomatik.731816

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın istenilen zamanda ve herhangi bir engele maruz kalmaksızın askeri istihbarat isteklerini karşılayabilecek şekilde yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesine imkân tanyacak, aynı zamanda kamu ve özel sektör tarafından ormanlık alanların kontrolü, imara aykırı yapılaşmanın takibi, doğal afetlerden sonra ihtiyaç duyulan hasar tespiti, ürün rekolte tespiti ve coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi faaliyet alanlarında da görüntü ihtiyacını karşılayacak bir uydu sisteminin tedarik edilmesi ihtiyacı Göktürk-1 uydu projesini ortaya çıkarmıştır.

Uydu görüntüleri kullanıcılara sunulmadan önce birçok görüntü işleme sürecinden geçirilmektedir. Yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile multispektral (çok bantlı) görüntünün birleştirilmesi işlemi yani Pankeskinleştirme işlemi bu görüntü işleme adımlarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Artan teknolojiye paralel olarak uydu teknolojisi de ilerlemiş buna bağlı olarak farklı yörüngelerde bulunan ve birbirinden değişik özelliklere sahip birçok uydu sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin ortak amacı yeryüzüne ait verilerin toplanması, işlenmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılabilmesinin sağlanmasıdır. Kısaca coğrafi verilerin elde edilmesi uzaktan algılama bilimi içerisinde farklı algılayıcı ve sistemlerle sağlanmaktadır.

Pankeskinleştirme konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Genelde aynı ya da farklı uydu görüntülerinin birleştirilmesi suretiyle bir bölgeye ait detay bilgisini ön plana çıkararak görüntü yorumlama amaçlı çalışmalar yoğunluk kazanmaktadır (Abdikan, 2017).

En çok karşımıza çıkan çalışma ise; aynı uyduya ait PAN (Pankromatik) ve MS (Multi Spektral) görüntülerin birleştirilmesi suretiyle çözünürlüğü yüksek MS görüntü elde etme amacı güden çalışmalardır (Özendi ve ark., 2015).

Worldview-3 ve QuickBird uydu görüntüleri için en verimli sonuçların Gram-Schmidt ve UNB (Universty of New Brunswick - New Brunswick Üniversitesi) algoritmalarının uygulanması ile alındığı ancak metrik yöntemlerin, şehir, kırsal alan, dağlık veya ormanlık alanlara göre seçilen pankeskinleştirme metodunun farklı sonuçlar verebildiği ortaya konulmuştur (Snehmani ve ark., 2014).

Farklı SAR (Sentetik Açıklı Radar) görüntüleri ile SPOT-2 elektro optik uydu görüntüsü IHS (Intensty Hue Saturation - Yoğunluk Renk Doygunluk), Ehlers ve Brovey yöntemleriyle birleştirilmiş ve Ehlers yönteminin spektral açıdan da metrik açıdan da diğerlerinden iyi olduğu tespit edilmiştir (Abdikan, 2014).

RASAT görüntülerinden yapılan pankeskinleştirme çalışmasında en uygun sonuçların HCS (Hyperspherical Color Space - Hiperküre Renk Uzayı) ve Opt.HPF (Optimized High

Pass Filter - Optimize Edilmiş Yüksek Geçirgen Filtre) yöntemleri ile alındığını gözlemlenmiştir (Açıkgöz, 2015).

Görüntü füzyon yöntemleri QuickBird uydu görüntüleri üzerinde ve matematiksel sonuçları ise MATLAB programı kullanılarak ortaya konulmuş, optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyonunun pankeskinleştirme teknikleri için iyi bir sonuç ortaya koyduğu ve istatistiksel olarak da iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Abas, 2015).

Pleiades 1-A görüntülerinin pankeskinleştirme performansı incelemiş, nicelik olarak Brovey, nitelik olarak IHS algoritmaları ile yapılan görüntülerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Özendi, 2014).

IKONOS, Geoeye ve Worldview uydu görüntüleri MS ve Pankromatik görüntülerin füzyonunu esas alan pankeskinleştirme yöntemleri incelenmiş, kullanılan algoritmalar içerisinde SFIM (Smoothing Filter Intensity Modulation - Pürüzsüzleştirici Filtre Yoğunluğu Modülasyonu) metodunun özgün çakıştırma stratejisi ile iyileştirilerek birleştirilmiştir (Sümengen, 2012).

Başka bir çalışmada RASAT uydusuna ait Mersin, İstanbul ve Sinop görüntüleri 17 farklı algoritma ile pankeskinleştirilmiş matematiksel olarak RMSE (Root Mean Square Error), CC (Correlation Coefficient), SAM (Spectral Angular Mapper), ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), PSNR (Peak Signal to Noise Ratio - En Yüksek Sinyal Hata Oranı), SSIM (Structural Smilarity Index - Yapısal Benzerlik Analizi) ve UIQI (Universal Image Quality Index - Evrensel Görüntü Kalite İndeksi) yöntemleri ile sonuçlar kıyaslanmış ve MTF (Modulation Transfer Function - Modülasyon Transfer Fonksiyonu) - GLP (Generalised Laplacian Pyramid - Genelleştirilmiş Laplacian Piramidi) - HPM (High Pass Modulation-Yüksek Geçiren Modülasyon) yöntemi ile yapılan görüntünün tüm metriklerde en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir (Kahraman, 2017).

Pleiades 1-A Zonguldak test alanı görüntüsü üzerinde PCA (Principal Component Analysis), IHS ve Brovey algoritmaları ile pankeskinleştirme işlemi yapılmış ormanlık, şehir ve düz alanlarda ayrı ayrı karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar CC, ERGAS, RASE (Relative Average Spectral Error), SAM ve RMSE matematiksel ölçütleri ile incelenmiştir. Brovey yöntemi CC, ERGAS ve SAM metriklerinde en iyi sonucu vermiş, IHS yöntemi RMSE ve RASE metriklerinde başarılı olmuştur. Ayrıca düz ve kentsel alanlarda görsel olarak en doğal sonucu IHS yöntemi ile yapılan görüntüler verirken ormanlık alanda Brovey yöntemi ile yapılan görüntünün en doğal sonucu verdiği gözlenmiştir (Topan, 2016).

QuickBird ve Worldview-3 görüntülerinin pankeskinleştirme performansları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, QuickBird uydularında en iyi sonucun Gram - Schmidt ve UNB olduğu ortaya konulmuştur (Gore, 2016).

London Tower köprüsüne ait WorldView-2 görüntüsü Gram - Schmidt yöntemi ile

pankeskinleştirilmiş ve sonucunda görüntünün belli bir bölgesinin hızlı pankeskinleştirmeye ihtiyaç duyulabileceği çalışmalarda başarılı sonuçlar vereceği değerlendirilmiştir (Maurer, 2013).

İstanbul, Trabzon ve Osmancık (Çorum) bölgelerine ait RASAT uydu görüntüsü ile yapılmış pankeskinleştirme performans analizlerinde, RASAT uydu görüntüleri kullanılarak yapılacak pankeskinleştirmede yöntem olarak haritacılık şehir planlama gibi uygulamalar için HPF (High Pass Filter – Yüksek Geçirgen Filtre) yönteminin, daha yüksek doğruluğa sahip tarım ve çevre uygulamaları için ise HCS (Hyperspherical Color Space – Hiperküre Renk Uzayı) yönteminin tercih edilmesinin gerektiği ortaya konulmuştur (Teke, 2014).

Benzer şekilde WorldView-3 uydu görüntüsüne ait Almanya'daki yeşil alan ve Libra şehir alanlarında IHS ve Brovey algoritmaları ile bir analiz yapılmıştır (Parente, 2017). DubaiSat-1 Dubai görüntüsünde 9 ayrı pankeskinleştirme algoritması ile gerçekleştirilen pankeskinleştirme sonuçları görsel olarak incelenmiş ve 4 farklı matematiksel ölçüt ile değerlendirme yapılmıştır (Basaeed, 2013). Wavelet dönüşümü ile Landsat-7 uydusuna ait görüntünün farklı bant varyasyonları ile analizleri yapılmış (Czaja, 2014), QuickBird uydu görüntüsünün çeşitli bant varyasyonları 10 farklı algoritma ile performans analizi yapılmıştır. (Despini, 2014)

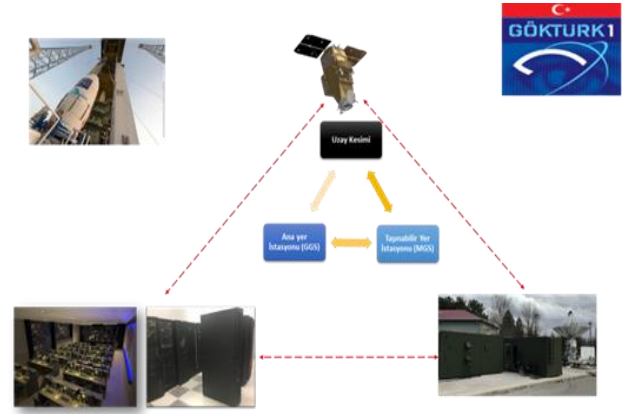
PC (Principle Component), IHS, Gram - Schmidt, Ehlers ve Yun Zhang yöntemleri ile farklı görüntüler pankeskinleştirilmiş ve görüntüler nesne yönelimli sınıflandırma açısından ayrıca irdelenmiş, Landsat-8, Kompsat-3 ve WorldView-2 görüntülerinin keskinleştirilmesi sonucunda Ehlers dışındaki tüm yöntemlerin yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir (Özdemir, 2017).

Bu çalışmada örnek bir Göktürk-1 uydu görüntüsü üçü ticari, birisi ise yerli ve milli olmak üzere toplamda 4 yazılım üzerinde 23 farklı yöntem ile pankeskinleştirilmiş ve elde edilen görüntüler görsel ve matematiksel olarak kıyaslanmıştır.

1.1. Çalışma Alanı ve Veriler

GÖKTÜRK-1 Uydu Projesi sözleşmesi, bugünkü adıyla Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı ile İtalyan Telespazio S.p.A. firması arasında 2009 yılı Temmuz ayında imzalanmıştır. Sözleşme kapsamında GÖKTÜRK-1 Uydusunun bazı uçuş bileşenlerinin TUSAŞ tarafından üretilmesi planlanmıştır. Uydu, Avrupa Uzay Ajansına ait VEGA roketi ile 05 Aralık 2016 tarihinde Fransız Guyanası'ndan Türkiye saati ile 16:51.44'de fırlatılmış ve yörüngeye başarıyla yerleştirilmiştir. Göktürk-1 sisteminin şartlı nihai kabulü 4 Aralık 2018 tarihinde gerçekleştirilmiş ve resmi olarak tamamen Hv.K.K.lığının kontrolüne geçmiştir. Proje çerçevesinde bir adet 0,5 m çözünürlüklü Elektro-Optik Uydu, bir adet Ana Yer İstasyonu ve bir adet Mobil Yer İstasyonu temin edilmiştir.

Göktürk-1 Uydusuna ait ana istasyon ile mobil istasyon Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Göktürk-1 Yer İstasyonu

Göktürk-1 uydusu nokta, şerit, geniş alan ve stereo görüntüleme modlarında çekim işlemi gerçekleştirebilmektedir. Nokta (spot) görüntüleme işleminde görüntünün genişliği ve uzunluğu 15km*15 km, şerit görüntülemeye ise görüntünün genişliği ve uzunluğu en fazla 15km*780 km'dir. Göktürk-1 uydusu yörünge istikametine ek olarak doğu - batı ve kuzey - güney istikametine çekim yapabilme kabiliyetine ve mevcut yer istasyonları ile günlük en fazla 902 spot görüntü indirme ve işleme kapasitesine sahiptir. Göktürk-1 uydusunun dünya etrafındaki bir turu yaklaşık 98 dakikadır. Aynı noktanın tekrar çekimi için ihtiyaç duyulan zaman ise 2 ila 3 gün arasındadır. Göktürk-1 uydusu biri PAN (siyah-beyaz) ve dördü MS (Multi - Spektral: Red - Green - Blue - Near IR) olmak üzere toplam beş adet bantta görüntüleme yapabilmektedir. Siyah - Beyaz bantın çözünürlüğü 0.50 m iken multispektral bantların çözünürlüğü 2.0 m'dir (Gürçay, 2019).

Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde Göktürk-1 ve Göktürk-2 olmak üzere iki adet uydu vardır. İkisi de keşif gözetleme uydusudur. Bu uydular arasındaki fark, PAN bantta Göktürk-1 0,5 m yer örnekleme aralığına (GSD - Ground Sampling Distance) sahipken Göktürk-2 ise 2,5 m GSD'ye sahiptir. İlerleyen dönemlerde SAR (Sentetik Açıklı Radar) uydularının da envantere girmesi beklenilmektedir.

Göktürk-1 Uydusunun teknik özellikleri Tablo1'de sunulmuştur.

Göktürk-1 uydu ömrü boyunca görüntülerinin yatay konumsal doğruluk değerinin 10 m (GCP'siz) ve düşey konumsal doğruluk değerinin de 20 m (GCP'siz) olması beklenmektedir. Tek bir GCP ile söz konusu doğruluk değeri ise 2 m.den daha iyi olacaktır (Gültekin,2019).

Tablo 1.Göktürk-1 Uydu Teknik Özellikleri

Özellikler	Göktürk-1
Yörünge Tipi	Güneş Eşzamanlı
Yörünge İrtifası	681 km
Eğim Açısı	98,11°
Yörünge Hızı	7,51 km/sn.
Periyot	98 dk 11 sn.
Spot Boyutu	15 X 15 km
Şerit Genişliği	15 km
Şerit Uzunluğu	780 km (tek gecişte) 14.300 km (azami çekim kabiliyeti)
Uydu Kütlesi	1061 kg (yakıt dâhil)
GSD (Ground Sampling Distance)	0,5 m PAN – 2 m RGB
Görüntü Kalitesi (NIIRS-NATO Image Interpretability)	NIIRS 5 (PAN)
Radyometrik Çözünürlük	12-Bit
Konumsal Doğruluk	Ortalama Yatay olarak 10 m (GCP'siz), 2 m (GCP'li) ** Düşey olarak 20 m (GCP'siz), 3 m (GCP'li)
Uydu (On-Board) Depolama	192 Gbyte
Yer İstasyonu (Ground Station) Depolama	6 PByte
Spektral Bantlar	PAN, RGB, NIR
Günlük Yörünge Sayısı	14-15 (14,7)
Ana/Yedek İstasyon	Ana İstasyon GGS (Ahlatlıbel) Yedek İstasyon MGS (Ahlatlıbel)
Anten Takip Açısı	GGS 5° MGS 10°
LTAN	10:30
Haberleşme Bantları / Hızları	X-Band / 620 Mbps S-Band / 1,6 Mbps
İletişim Konisi	4600 km
İletişim Konisinden	4-5
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme) 11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)
Tasarım Uydu	7 yıl 3 ay
Yükleniciler	Telespazio S.p.A./ İtalya
Fırlatma Tarihi	05.Ara.16
Fırlatma Yeri	Fransız Guyanası-Kourou

Gürçay (2019) yapmış olduğu çalışmada GÖKTÜRK-1 Uydu Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon Faaliyetlerini anlatmıştır ayrıca Gültekin (2019) Uydu Görüntülerinde Geometrik

Doğruluk: Test Yöntemleri ve Göktürk-1 Performans Değerlendirmesi konulu makalesinde Göktürk-1 uydusuna ait geometric doğrulukları incelemiştir. Bu kapsamda Göktürk-1 uydu görüntülerine yönelik temel ve ileri seviye işlemleri tanımlayan (Seviye 0 - Seviye 6) 7 adet görüntü seviyesi mevcuttur. Göktürk-1 uydu görüntü seviyeleri;

- Seviye 0(L0): İşlenmemiş görüntü (Ham Görüntü).

- Seviye 1(L1): Radyometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (detektör hataları, gürültü ve bulanıklık giderme işlemi yapılmış görüntü).

- Seviye 2A(L2A): Geometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (dünyanın eğikliğinden ve yöneliminden kaynaklı hataların giderilmesi ile oluşturulan görüntü).

- Seviye 2B(L2B): L2A seviye görüntüyü Georektifiye ederek elde edilmiş görüntü.

- Seviye 3A(L3A): Ortofoto yapılan görüntü.

- Seviye 3B(L3B): YKN kullanılarak Ortofoto yapılan görüntü.

- Seviye 4(L4): Stereo görüntü çiftlerinden oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli.

- Seviye 5(L5): Mozaikleme işlemi uygulanarak elde edilen görüntü.

- Seviye 6(L6): Sınıflandırılmış görüntü.

Görüntü seviyeleri incelendiğinde bunlardan L0, L1 ve L2 seviye görüntüler temel seviye görüntüler olarak adlandırılmakta, L3, L4, L5 ve L6 seviye görüntüler ise ileri seviye görüntüleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Spot olarak 03 Ekim 2018 tarihinde çekilmiş bir Göktürk-1 Ankara uydu görüntüsü üçü ticari, birisi ise yerli ve milli olmak üzere toplamda 4 yazılım üzerinde 23 farklı Pankeskinleştirme metodu ile Pankeskinleştirilmiş ve elde edilen görüntüler görsel ve matematiksel olarak kıyaslanmıştır. Bu çalışmadaki gaye Göktürk-1 uydu görüntüleri için literatürde yer alan ve geçerliliği kabul görmüş yaygın pankeskinleştirme algoritmaları içerisinde hangisinin Göktürk-1 uydu görüntüleri için daha iyi sonuç vereceğinin ortaya koyulmasıdır.

Uygulamada kullanılan uydu görüntüsü 03 Ekim 2018 tarihinde saat 07:40'da 21.72 derecelik açı ile Göktürk-1 uydusu ile çekilmiş olan Ankara bölgesine (Şekil 1) ait 15km*15km'lik spot bir görüntüdür. Görüntü 7 Ocak 2019 tarihinde temel seviyede (Level 0'dan Level 2'ye) işlenmiştir.

Pankeskinleştirme işlemi kullanılan 15 km*15 km'lik görüntünün tamamına uygulanmıştır. Dolayısı ile bu kadar büyük boyutlu verilerle işlem yapıldığından analizler hem zaman almış hem de programlar işlemleri tamamlamada zorlanmıştır. Görüntü seçimi yapılırken kasıtlı olarak eğik alım açılı görüntü seçilmiş ve işlemlerde karşılaşılabilecek zorluklar test edilmek istenmiştir. Tüm işlemlerde görüntünün tamamı kullanıldığı için hem verileri depolamada hem de kıyaslama işlemlerinde oldukça zorluklarla karşılaşmıştır.

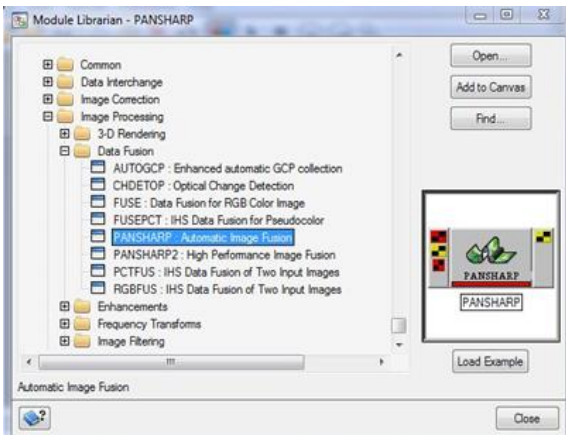
Çalışma alanınının 15km*15km'lik tüm kısmını da içeren genel görsel Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma Alanı

2. METHOD

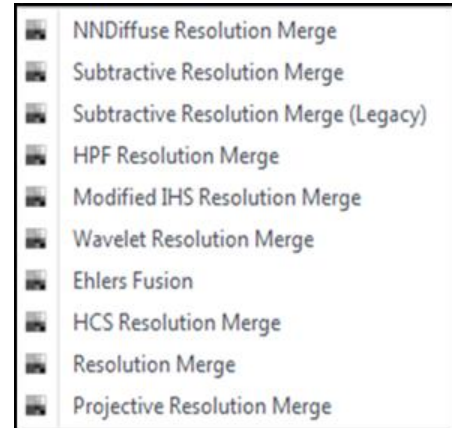
Günümüzde ticari olarak üretilen Coğrafi Bilgi Sistemi ya da görüntü işleme yazılımlarının hepsinde çeşitli pankeskinleştirme algoritmaları vardır. Bunlardan bazıları tek bir algoritma olabileceği gibi bazılarında birden çok dönüşüm algoritmasının programa kombine şekilde tanıtılması suretiyle daha iyi sonuçlar vermesi sağlanmıştır. Örneğin New Brunswick Üniversitesi, Jeodezi ve Geomatik Mühendisliği Bölümü (University of New Brunswick - UNB), Kanada’da Prof.Dr. Yun Zhang tarafından yapılan birçok çalışma ile UNB algoritması geliştirilmiş PCI programına tanıtılmıştır. Ayrıca çeşitli uydu görüntüleri için programın yardım kısmına band kombinasyonları ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan PCI 2018 (Şekil 3), ENVI 5.5 (Şekil 4) ve ERDAS Imagine 2018 (Şekil 5) yazılımlarında çok sayıda pankeskinleştirme algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar tek bir algoritma olabileceği gibi bazı uydu görüntülerinin bazı programların farklı algoritmalarında değişik sonuçlar verdiği literatürde yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Gore, 2016).



Şekil 3.PCI yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri



Şekil 4.ENVI yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri



Şekil 5.ERDAS yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri

Yukarıda sözünü ettiğimiz ticari firmalarda kendi yaptıkları çalışmalar sonucunda hangi amaçla yapılan pankeskinleştirme işleminde hangi algoritmalarını kullanmanız gerektiği ile ilgili yardım menülerinde ipuçları vermekle birlikte kendi yaptıkları algoritmaların hangi uydu görüntülerinde (Pleiades, Worldview, Quickbird vs.) ya da hangi alanda (kırsal, şehir içi, ormanlık vs.) başarılı olabileceği konularında fikir vermeye çalışmışlardır. Örneğin “İkonos uydu görüntülerinin pankeskinleştirme işlemi sonucunda yapılan değerlendirmelerinde, spektral açıdan en iyi

sonuçların ise Modified IHS dönüşüm yönteminden elde edildiği” ortaya konulmuştur (Ayhan, 2017).

Hâlihazırda kullanılan yazılımlardan PCI ve ERDAS yazılımları Göktürk-1 uydu görüntülerini sistemlerine tanıtmışlar, ENVI ve ESRI tarafından da tanıtmaya işlemleri devam etmektedir.

Bu ticari algoritmaların dışında uydu, keşif uçakları ve insansız hava araçlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin işlenmesi ve analiz edilmesi, detayların otomatik olarak tespit edilmesi, hareketli ve hareketsiz nesnelerin görüntülenmesi ve tüm bu çalışmaların Hava Kuvvetleri Bilgi Sistemleri ile entegreli ve otomatik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanarak ARGE Projesi olarak Görüntü Analizi ve Otomatik Hedef Algılama amacı başlatılan, yerli ve milli bir yazılım olarak geliştirilen HASAT yazılımı da içerisinde 3 adet pankeskinleştirme algoritması barındırmaktadır. Ticari yazılımların yanında HASAT yazılımı da kullanılarak değerlendirmelere dâhil edilmiştir.

2.1. Pankeskinleştirme Yöntemleri

Çalışma kapsamında HASAT, ENVI, ERDAS IMAGINE ve PCI 2018 yazılımlarının içerisinde bulunan pankeskinleştirme metodları kullanılmış, hepsinden elde edilen sonuçlar görsel ve metrik olarak analiz edilmiştir. Ancak çalışmada ENVI programı CN Spectral Sharpening metodu ile ERDAS programı Ehlers Fusion metodlarından anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Çalışma kapsamında yapılan araştırmada CN Spectral Sharpening metodunun görüntüye bağlı olarak çalışmadığı sonucuna ulaşılmıştır. ERDAS programı Ehlers yönteminde ise donanımına bağlı performans yetersizlikleri nedeni ile sonuca ulaşamadığı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma daha önce de vurguladığı üzere görüntünün bir bölümünde değil tamamı üzerinde sürdürülmüş, sonuçları küçük kesitler üzerinde gösterilmeye çalışılmıştır. Kullanılan programların menülerine eklenen yaygın pankeskinleştirme metodları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

2.1.1. Brovey yöntemi

Dönüşüm, renklilik dönüşümünü esas alan bir yöntem olup MS görüntünün parlaklık bilgisinin PAN görüntü ile modüle edilerek MS görüntüye uygulanmasını esas alan bir yöntemdir.

$$R_{yeni} = \frac{R}{(R + G + B)/3} * PAN \quad (1)$$

$$G_{yeni} = \frac{R}{(R + G + B)/3} * PAN \quad (2)$$

$$B_{yeni} = \frac{R}{(R + G + B)/3} * PAN \quad (3)$$

R: Red (Kırmızı), G: Green (Yeşil), B: Blue (Mavi), PAN: Pankromatik olarak tanımlanır.

$$l_i = \frac{PXN}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (4)$$

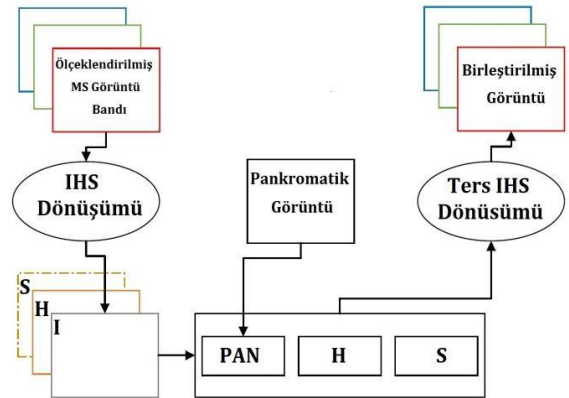
$$l = \sum_{i=1}^N l_i \quad (5)$$

N bant sayısını, l_i MS görüntünün i. bandına karşılık gelen yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklü görüntüsünü, M_i ise pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmiş MS görüntünün i. bandını ifade etmektedir.

2.1.2. IHS (Intensity-Hue-Saturation) yöntemi

Bu yöntemde öncelikle renkli bantlar IHS renk uzayına dönüştürülür. Çözünürlüğü düşük yoğunluk bandı ile çözünürlüğü yüksek PAN bandı yer değiştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen görüntü yeniden RGB renk uzayına dönüştürülür. Bu görüntü kenar bilgisini oldukça yeterli bir biçimde korur. Dolayısı ile görüntüde spektral bozulmalar oluşmaktadır (Teke, 2014).

MS görüntünün her bir bandı ölçeklendirilmiş pankromatik görüntü ile toplanır, daha sonra bu toplam değerden yoğunluk değeri çıkartılarak birleştirilmiş görüntüde karşılık gelen bandı hesaplanır. IHS yöntemi Şekil 6 ile gösterilmiştir.

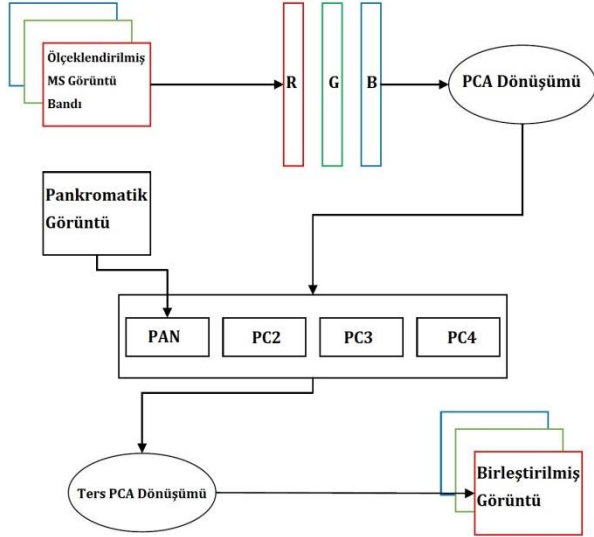


Şekil 6. IHS yöntemi diyagramı

2.1.3. PCA (Principle Component Analysis) yöntemi

Temel bileşen analizi dönüşümü yöntemi, ilintili multispektral bantları temel bileşenlere ayırır (Her bir temel bileşen bağımsızdır). Diğer bileşenlere göre daha yüksek varyans değerine sahip olması sebebi ile ilk bileşen PAN görüntüye benzemektedir, bu sebeple PAN görüntü ilk temel bileşen yerine geçirilir. Sonra ters temel bileşen analizi (PCA) dönüşümü yapılarak pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir. Elde edilen görüntü PAN görüntüye ait daha yoğun bilgi taşıdığından matematiksel olarak iyi sonuç verir ancak renk bilgisini yeterince koruyamaz.

MS görüntülerinin pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmesi sonrasında elde edilen ölçeklendirilmiş görüntülerin temel bileşenlerine ayrılması işlemi gerçekleştirilir. PAN görüntünün birinci temel bileşene göre normalleştirilmesinden sonra birinci temel bileşen yerine normalleştirilmiş pankromatik görüntünün kullanılması işlemi ve ters temel bileşenler analizi uygulanarak füzyonun gerçekleştirilmesi sağlanır. Dönüşüm işlemi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. PCA yöntemi diyagramı

2.1.4. HCS (Hyperspherical Color Space) yöntemi

RGB renk uzayından hiperküre renk uzayına dönüşüm; n-boyutlu kartezyen uzayından n-boyutlu hiperküre uzayına dönüştürülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. N adet bant barındıran MS görüntü için HCS dönüşümü aşağıdaki denklemler sonucunda elde edilir. İlk bileşen yoğunluk değerini temsil etmektedir ve HCS üzerinde N-1 adet açı hesaplanır.

$$l = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_N^2} \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2 + \dots + M_2^2}}{M_1} \right) \quad (7)$$

$$\varphi_{N-2} = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2}}{M_{N-2}} \right) \quad (8)$$

$$\varphi_{N-1} = \tan^{-1} \left(\frac{M_N}{M_{N-1}} \right) \quad (9)$$

M_i RGB renk uzayındaki i. bileşeni temsil etmektedir. Geri dönüşüm ise aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

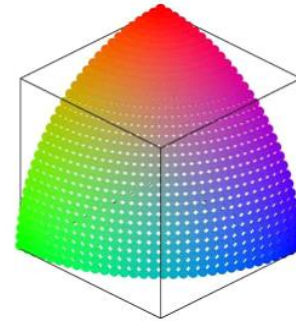
$$M_1 = l \cos \varphi_1 \quad (10)$$

$$M_2 = l \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \quad (11)$$

$$M_{N-1} = l \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \dots \sin \varphi_{N-2} \cos \varphi_{N-1} \quad (12)$$

$$M_N = l \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \dots \sin \varphi_{N-2} \sin \varphi_{N-1} \quad (13)$$

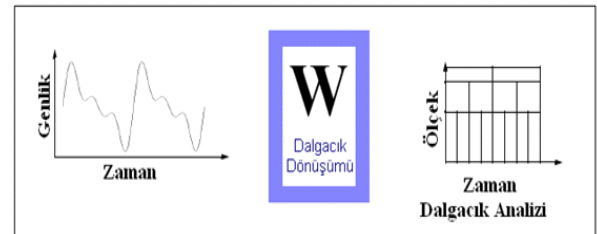
Hiperküre renk uzayına dönüşümde φ_i açıları ton ve renk değerlerini ifade etmektedir. l renk yoğunluğu bileşeni ise kürenin yarıçapını ifade etmektedir. HCS ortamına görüntü aktarıldıktan sonra renk değeri değişmeden yoğunluk ölçeklendirilebilmektedir. HCS ortamına dönüşüm herhangi bir doğal renk uzayından yapılabilmektedir. Şekil 8’de HCS renk uzayı küresel düzlemde gösterilmiştir.



Şekil 8. HCS renk uzayı

2.1.5. Wavelet dönüşüm yöntemi

Bu yöntemde MS ve PAN görüntülere Ayrık Dalgacık Dönüşümü uygulanmak suretiyle işleme başlanır. Bu dönüşümün temel mantığı Discrete Wavelet Transform yani Ayrık Dalgacık Dönüşümünün uygulanmasıdır. Bu işlem yapıldıktan sonra PAN görüntüde bulunan düşük frekanslı kısım çıkarılarak yerine MS görüntüde bulunan yüksek frekanslı kısım eklenir. Sonrasında ters dalgacık dönüşümü uygulanarak pankeskinleşmiş görüntü elde edilir. Bu dönüşüm uzamsal olarak iyi sonuçlar vermemesine rağmen renk bilgisini korumakta oldukça iyidir (Teke, 2014).



Şekil 9. Dalgacık dönüşümü

Wavelet Transform literatürde Multi Resolution Area (MRA) adı altında da incelenmektedir. Çoklu çözünürlük alanı olarak dilimize geçmiş olan bu yöntemde çözünürlüğü yüksek olan PAN görüntü düşük çözünürlüklü dalgacık katsayılarına dönüştürülür. Sonra MS görüntüde de aynı işlem uygulanarak dalgacık dönüşümü yapılır. MS görüntünün dalgacık katsayıları ile PAN görüntüden

elde edilen dalgacık dönüşüm katsayıları yer değiştirilir ve ters dalgacık dönüşümü görüntüye uygulanır ve bu sayede çözünürlüğü yüksek MS görüntü elde edilir (Sümengen, 2012).

2.1.6. HPF (High Pass Filter) yöntemi

Yüksek Geçiren Süzgeç (High Pass Filter-HPF) yönteminde, MS ve PAN görüntülere oranları ölçüsünde filtreler seçilerek (9X9, 7X7 veya 5X5) görüntüye uygulanır. Uygulanan filtrede ortadaki değer hariç diğer değerler -1, ortasındaki değer ise toplamı 0 yapmaya yetecek şekilde seçilir. Örneğin Çizelge 1'de gösterildiği gibi 5x5 boyutunda filtrenin orta değeri 24 olarak alınır.

Çizelge 1. 5X5 boyutlarında filtre

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	24	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

Bu filtrenin uygulanması ile yüksek geçiren değer elde edilmiş ve tüm bantlara uygulanması suretiyle de çözünürlük artırılmış olur. PAN bant ile MS bant arasındaki oran "r" olarak alınır ise filtre boyutu "2r+1" olacaktır ki bu da Göktürk-1 uydu görüntüleri için 9X9 boyutlarında bir filtre uygulanması gerektiği anlamına gelir. Pankromatik bantta yüksek geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen görüntünün MS görüntüdeki tüm bantlara uygulanması esasına dayanır. Bu yöntemde mekânsal bilginin kullanımı daha optimize edilmek amacıyla elde edilen keskinleştirilmiş bantlar orijinal görüntünün bantlarına göre normalize edilir. MS görüntüler pankromatik görüntüye göre ölçeklendirildikten sonra seçilmiş olan filtre ile keskin görüntü elde edilir. MS görüntüdeki bantlara göre elde edilen oran kullanılarak süzgeçten geçirilmiş görüntü normalize edilir. Ardından elde edilen görüntü ile MS görüntüdeki ölçeklendirilmiş bantlar birleştirilir. Ortaya çıkan renkli görüntü, orijinal MS görüntü ile standart sapması ve ortalaması eşitlenecek şekilde tekrar normalize edilir ve yüksek mekânsal çözünürlüklü renkli görüntü elde edilir.

2.1.7. Gram-Schmidt yöntemi

Gram-Schmidt yönteminde, IHS ve PCA yöntemlerinden farklı olarak tüm bantlara uygulanır ve MS görüntünün örnekleme yapılması suretiyle değil de MS görüntülerin ortalamasına göre PAN görüntünün çözünürlüğünün simüle edilmesi suretiyle elde edilen düşük çözünürlüklü PAN

görüntünün ilk bant olarak kullanılmasından yola çıkılarak işlemlere başlanır.

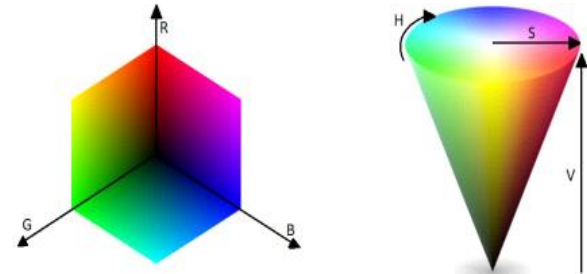
$$Pan_{sim} = \sum_{k=1}^n w_k MS_k \quad (14)$$

Simüle edilen pankromatik bantı ilk bant olarak kullanılır, simüle edilmiş bu ilk bant PAN ve MS bantlar üzerinde Gram-Schmidt dönüşümünün gerçekleştirilir. Bu işlem yapılırken bantların birbirine dik olmasına özen gösterilir, örneğin PAN bantın Kırmızı banda dik olmasını sağlayacak açı hesaplanarak bu kadar kaydırılır. Bu işlem sırası ile tüm bantlara uygulanır. Bu işlemler sonunda yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü bantı ilk Gram-Schmidt yönteminde elde edilen bant ile yer değiştirilir. Pankeskinleştirilmiş MS bantları oluşturmak için ters Gram-Schmidt dönüşüm uygulanır ve böylelikle pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Maruer, 2013).

2.1.8. HSV (Hue Saturation Value) yöntemi

Bu yöntemde de IHS yönteminde olduğu gibi yoğunluk renk doygunluk uzayı yerine renk doyumu değeri uzayı kullanılır. MS görüntüsündeki bantlar HSV renk uzayına dönüştürüldükten sonra pankromatik bantındaki yüksek mekânsal görüntü ile birleştirilip keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

RGB renkler HSV uzayına dönüştürüldükten sonra HSV renk uzayındaki değer (value) yerine yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntü yerleştirilir ve tekrar RGB renk uzayına dönüştürülür.



Şekil 10. RGB ve HSV renk-uzay grafikleri

Şekil 10'da görülen 3 eksenli renk uzayı koni biçimindeki HSV renk uzayına dönüştürüldüğünde koni yüksekliği rengin değerini temsil etmektedir. Bu değer yerine pankromatik görüntüden alınan değer yazılır ve böylece yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiş olur.

2.2. Kullanılan Matematiksel Ölçütler

Görüntü birleştirme yöntemleri uygulanarak elde edilen görüntülerin başarısını ölçmek, yöntemleri karşılaştırabilmek ve çeşitli parametrik değerlerin etkisini görmek için kalite değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla bu çalışmada, literatürde kabul gören ve sıkça kullanılan beş adet değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Pankeskinleştirme işlemi

sonunda elde edilen görüntünün en kolay ve gözlemlenebilir değerlendirme ölçütü görsel değerlendirmedir. Ancak görsel olarak görüntüleri değerlendirme işlemi objektif yapılamamaktadır. Elde edilen görüntünün ne kadar keskin ya da ne kadar renkli olduğu değerlendirmeyi yapan kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Hatta görüntülerin birbirine çok yakın olduğu durumlarda görsel olarak kıyaslama yapmak nerede ise imkânsızdır. Ayrıca bazen görsel olarak iyi görünen görüntülerin orijinal renk değerlerine göre farklı değerleri barındırdığı gözlemlenmiştir. Kullanılan birleştirme kalite değerlendirme yöntemlerinde referans görüntü olarak Göktürk-1 MS görüntü, kalitesi hesaplanacak olan görüntü olarak ise Göktürk-1 PAN ve MS görüntülerinin görüntü birleştirme yöntemleri uygulanarak elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntü kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler yaygın olarak kullanılan ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) "Boyutsuz Global Görelî Sentez Hatası", RMSE (Root Mean Square Error) "Karesel Ortalama Hata", CC (Correlation Coefficient) "Bağlılık Katsayısı" ya da "Korelasyon Katsayısı", RASE (Relative Average Spectral Error) "Göreceli Ortalama Spektral Hata" ve UIQI (Universal Image Quality Index; QAVE yani Q-ave(average) Ortalama Kalite) bir başka deyişle "Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi" olmak üzere 5 adet matematiksel ölçüt ile MATLAB yazılımı üzerinden değerlendirilmiştir. QAVE ve UIQI ölçütleri aynıdır literatürde ikisinin de kullanımı mevcuttur. Biz yaptığımız analizler sonucunda oluşturduğumuz tablo ve grafiklerde QAVE ismini kullanacağız.

ERGAS: Bu ölçüt, Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki bant değerlerinin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe geçerken ki kalitesini ölçer. ERGAS sonucu elde edilen değerler ne kadar küçük ise yani sifıra ne kadar yaklaşır ise o kadar başarılı sayılır

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (15)$$

Burada; N bant sayısını, RMSE karesel ortalama hatayı, $\frac{h}{l}$ PAN görüntüdeki piksel değerlerinin MS görüntüdeki piksel değerlere oranını, $\mu(n)$ ise n. bandın ortalamasını ifade etmektedir.

RMSE: "Karesel Ortalama Hata" (RMSE) MS görüntü ile pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki farkların karesel ortalama hatasını temel alan ölçüttür. Bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler ne kadar küçük olursa birleştirme kalitesi o kadar başarılı olmuş demektir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (X_i(x) - Y_i(y))^2}{n \times m \times d}} \quad (16)$$

Denklemden yer alan ifadelerden; "X", MS görüntüyü, "Y", pankeskinleştirme işlemi sonrasında elde edilen

görüntüyü, "x" piksel indeksini, "i" bant numarasını göstermektedir. Bölen kısımda satır sayısı "n" ile, sütun sayısı "m" ile "m" ile, bant sayısı "d" ile ifade edilmektedir. Referans değerinin "1" olması beklenmektedir.

CC: Bu ölçüt, bağlılık katsayısı ya da korelasyon katsayısı olarak da adlandırılır. Ölçütün matematiksel ifadesi formül (17) da verilmiştir. Burada \bar{X} ve \bar{Y} sırasıyla MS görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntülerin ortalamasını ifade etmektedir. Bu eşitlik iki görüntü arasındaki bağlılık katsayısını ifade eder.

$$CC(X, Y) = \frac{\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})(Y_{mn} - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})^2)(\sum_{mn} (Y_{mn} - \bar{Y})^2)}} \quad (17)$$

RASE: Bu ölçüt, Göreceli Ortalama Spektral Hata olarak da adlandırılır ve karesel ortalama hata yönteminden türetilmiştir. Bu ölçütün matematiksel büyüklüğü (18) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$RASE = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{RMSE^2(i)}{G(MS_i)} \right)} \quad (18)$$

Bu ifadede $G(MS_i)$ ifadesi MS görüntünün i'inci bandı için algılayıcı kazanç değerini ifade etmektedir. Bu yöntem kullanılarak elde edilen değerler ne kadar küçük olursa, birleştirme kalitesi o kadar başarılı olur.

QAVE: Bu ölçüt, Q-ave yani Q-average - Ortalama Kalite ya da Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi (UIQI) olarak da adlandırılır. Bu ölçüt spektral bozulmayı üç etken açısından inceler. Bu etkenler ıllıntı kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır.

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{X}\bar{Y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{X})^2 + (\bar{Y})^2]} \quad (19)$$

$x = \{x_i | i=1, 2, \dots, N\}$ ve $y = \{y_i | i=1, 2, \dots, N\}$ sırasıyla MS ve birleştirilmiş görüntü vektörlerini ifade etmektedir (Açıkgöz, 2015).

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (20)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (21)$$

$$Q_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (22)$$

UIQI metriği bir başka deyişle görüntüdeki korelasyon kaybının, parlaklık değişiminin ve kontrast değişiminin birleştirilmiş modeli olarak tanımlanmıştır. (Abdikan, 2017).

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Bulgular

Görsel sonuçların gösterimi için Şekil 11'de görülebileceği üzere Anıtkabir bölgesi (Ankara)

kullanılmıştır. PAN ve MS görüntü ile birlikte pankeskinleştirme sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 11. Görüntünün tamamı ve görsel olarak kullanılan alan



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



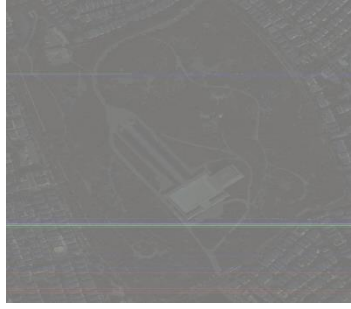
(h)



(i)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)



(p)



(q)



(r)



(s)



(t)



(u)



(v)



(u)

Şekil 12.a) PAN **b)** MS **c)** ENVI - Color Normalized Brovey **ç)** ENVI - Gram Schmidt **d)** ENVI - HSV **e)** ENVI - NNDiffuse **f)** ENVI - PC Pansharpening **g)** ERDAS - HCS Resolution Merge **ğ)** ERDAS - HPF Resolution Merge **h)** ERDAS - Modified IHS Resolution Merge **ı)** ERDAS - NNDiffuse **İ)** ERDAS - Projective Resolution Merge **j)** ERDAS - Resolution Merge Brovey **k)** ERDAS - Resolution Merge PCA **İ)** ERDAS - Subtractive Resolution Merge **m)** ERDAS - Subtractive Resolution Merge - Legacy **n)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge IHS **o)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge Single Band **ö)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge PC **p)** HASAT - Brovey **r)** HASAT - Esri **s)** HASAT - IHS **ş)** PCI - MRA **t)** PCI - PANSHARP **u)** PCI - UNB

Tüm yöntemler için elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. Farklı programlarda bulunan farklı algoritmalarla elde edilen paneskinleştirilmiş

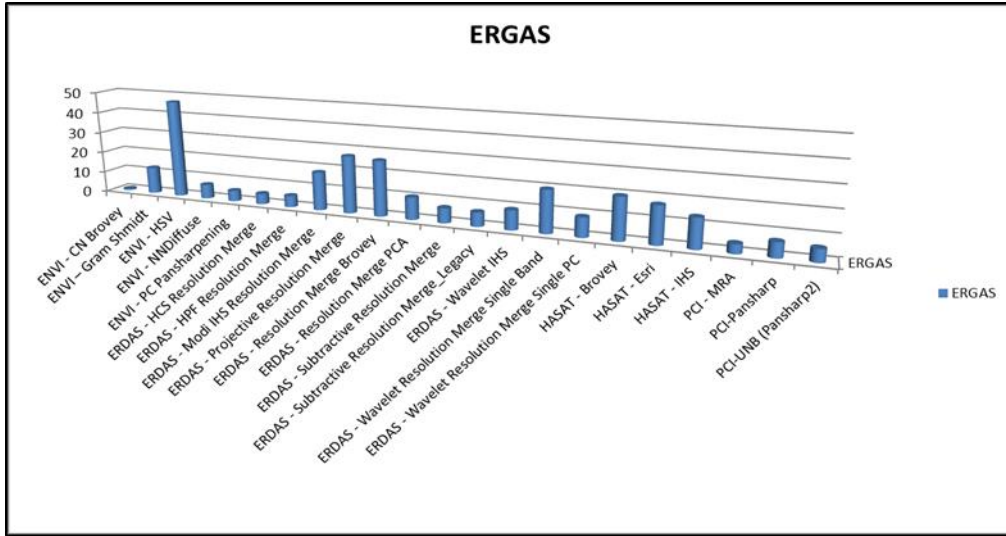
görüntüler MATLAB programında açık kaynaklarda kolaylıkla bulunabilinen ve en çok kullanılan metrik yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Tablo 2. Matematiksel ölçütler sonucu elde edilen bulgular

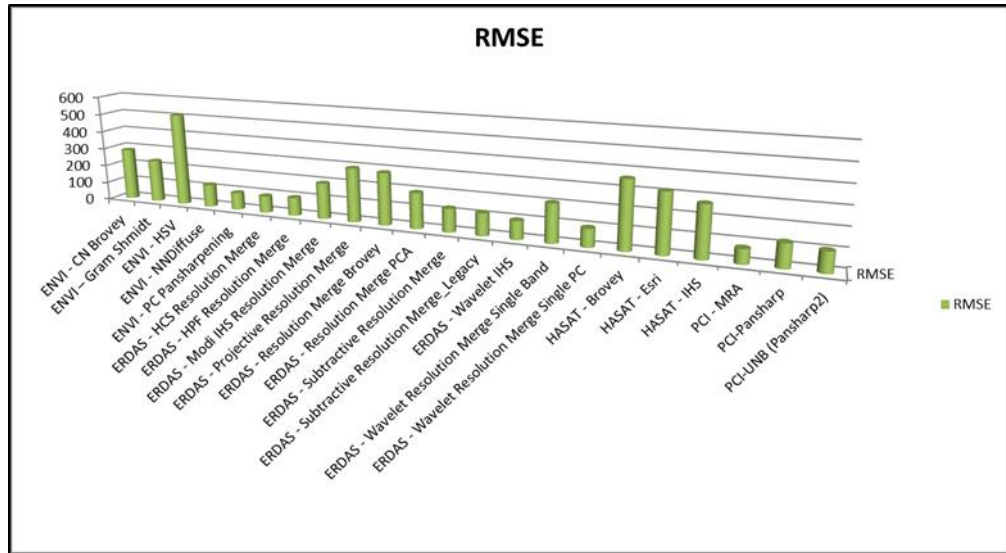
	ERGAS	RMSE	CC	RASE	QAVE
Referans Değer	0	1	1	1	1
ENVI - CN Brovey	0,718905	287,1068	0,718905	52,53389	0,544562
ENVI - Gram Schmidt	12,70875	235,0328	0,838463	50,835	0,794311
ENVI - HSV	46,76136	511,329	0,526591	93,52272	0,062528
ENVI - NNDiffuse	6,726921	124,6372	0,951297	26,90769	0,942416
ENVI - PC Pansharpening	5,103709	94,46666	0,960671	20,41484	0,960669
ERDAS-HCSResolution Merge	4,978923	92,25477	0,964394	19,91569	0,963976
ERDAS - HPF Resolution Merge	5,386647	99,83811	0,959467	21,54659	0,953767
ERDAS-Modi IHS Resolution Merge	18,07936	197,202	0,608661	36,15871	0,577839
ERDAS-NNDiffuse	1978,621	36292,16	-0,84525	7914,485	-0,00085
ERDAS-Projective Resolution Merge	26,98317	295,0096	0,615377	53,96635	0,492526
ERDAS-Resolution Merge Brovey	26,15847	286,0085	0,723664	52,31693	0,549724
ERDAS - Resolution Merge PCA	10,51012	194,6094	0,949002	42,0405	0,896366
ERDAS-Subtractive Resolution - Merge	6,94250	127,3270	0,933099	27,94891	0,932145
ERDAS-Subtractive Resolution Merge_Legacy	6,558653	121,5391	0,938786	26,23461	0,937948
ERDAS - Wavelet IHS	9,108943	99,70032	0,867044	18,21789	0,858441
ERDAS-Wavelet Resolution Merge SinglenBand	19,70675	208,3006	0,723197	39,4135	0,675317
ERDAS-Wavelet Resolution Merge PC	9,040227	98,39511	0,873338	18,08045	0,865941
HASAT - Brovey	19,64463	363,8174	0,949506	78,57851	0,417672
HASAT - Esri	17,408	318,5911	0,946895	69,63199	0,798957
HASAT - IHS	13,71271	275,344	0,941968	54,85086	0,922434
PCI - MRA	4,20269	77,77741	0,973583	16,81076	0,973554
PCI-Pansharp	6,819101	126,294	0,930293	27,2764	0,930291
PCI-UNB (Pansharp2)	5,794949	107,3482	0,949371	23,1798	0,94937

Edilen sonuçlara göre, ERDAS NNDiffuse yönteminde elde edilen bulgulara kaba hata olduğu kabul edilebilir. Kaba hatalı olduğu değerlendirilen

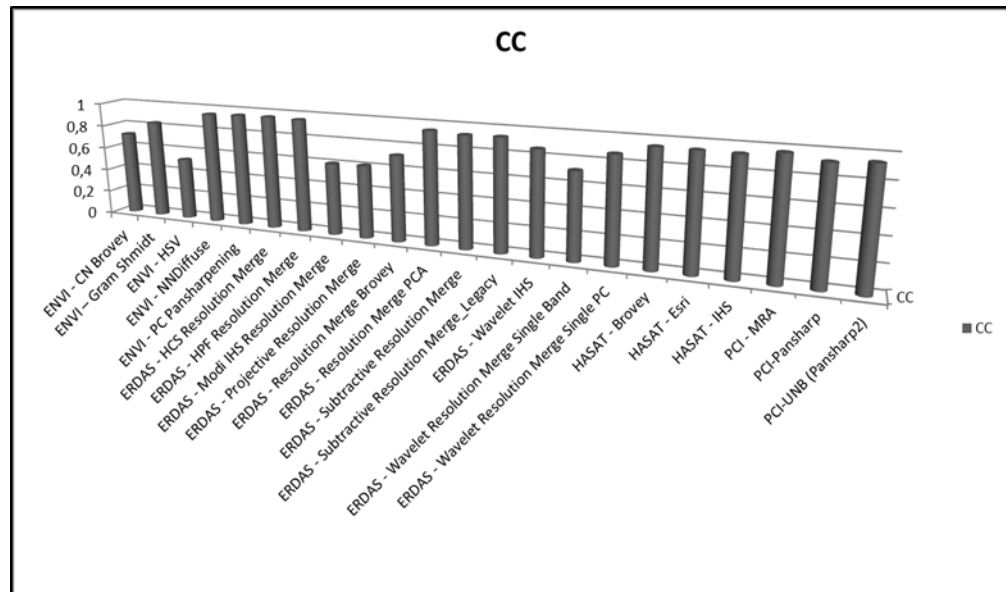
yöntem matematiksel ölçütlerden çıkarıldıktan sonraki grafikler Şekil 13’de sunulmuştur.



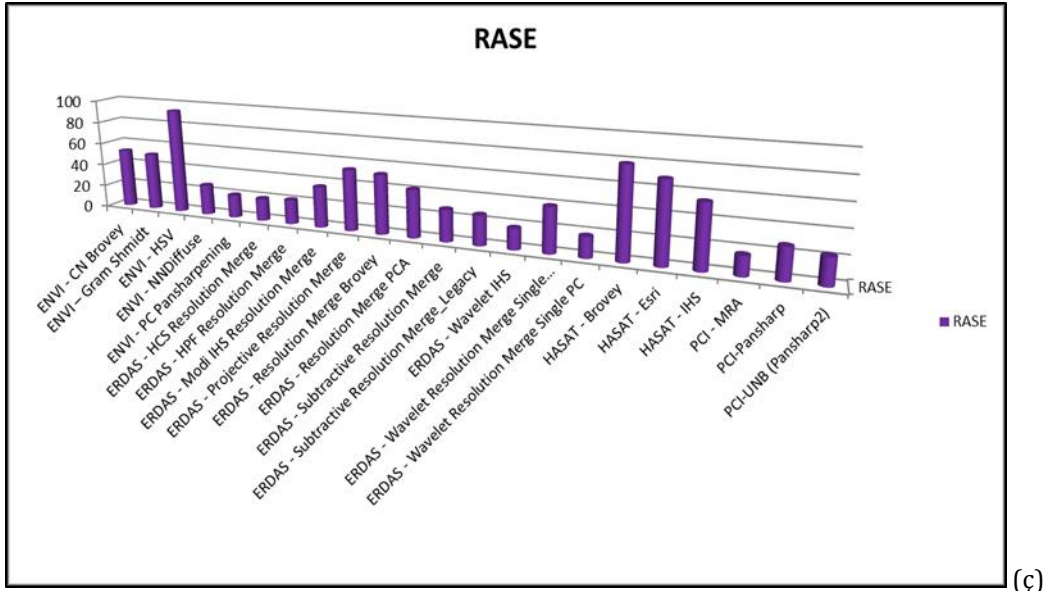
(a)



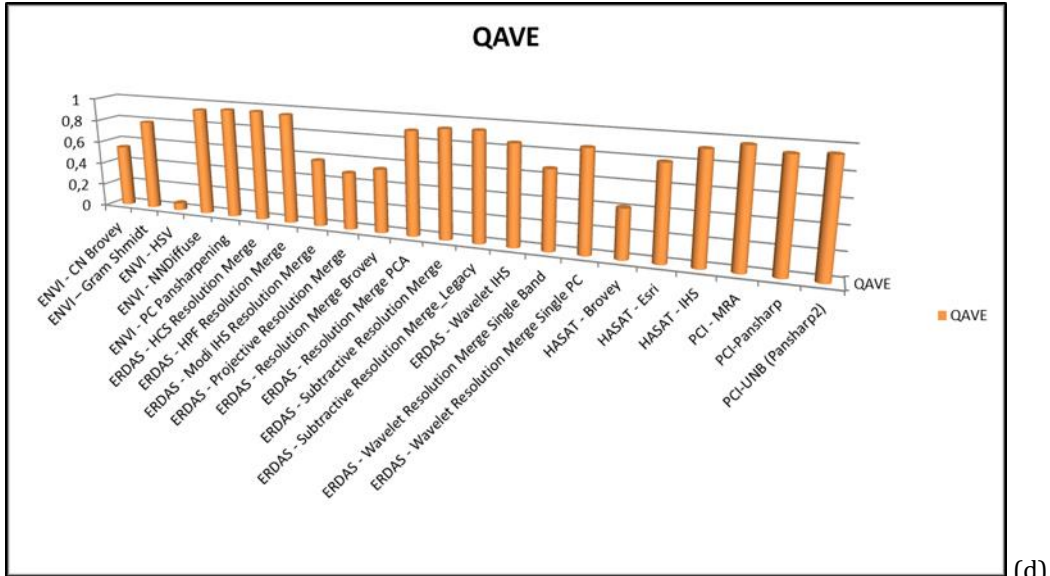
(b)



(c)



(c)



(d)

Şekil 13.(a-d) Hatalı ERDAS NNDiffuse sonuçları atıldıktan sonraki metrik sonuçlar

Yazılımların metrik sonuç seçenekleri içerisinde ayrı bir değerlendirme yapacak olursak;

QAVE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, RASE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge” ve HASAT yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler, CC metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “ERDAS Modified IHS Resolution Merge” ve “ERDAS Projective Resolution Merge”, RMSE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “HASAT – ESRI ve Brovey” ve “ERDAS Projective Resolution Merge”, ERGAS metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “ERDAS Projective Resolution Merge” ve “ERDAS Projective Resolution Merge” yöntemleri ile elde edilen görüntüler başarısız sonuçlar vermiştir.

3.1. Değerlendirme

Görsel olarak görüntüleri kıyaslamak kişiden kişiye mutlaka farklılıklar gösterecektir. Görüntüler arasındaki en iyi görüntüyü seçmek uzmanlık gerektirir. Göktürk-1 uydu görüntüleri için

kullanılan her yazılım içerisinde bir ya da birden çok algoritmanın iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Değerlendirmeler görsel ve metrik olarak iki kısımda özetlenebilir.

3.1.1. Görsel değerlendirme

ENVI yazılımı ile yapılan pankeskinleştirme sonuçlarına göre en güzel sonucun “NNDiffuse Pan Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntü olduğu açıktır. ENVI’de kullanılan “Gram Schmidt Pan Sharpening” algoritması da diğerlerine göre güzel sonuç vermiştir. ENVI “HSV Sharpening” algoritması ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün hatalı çıktığı değerlendirilmektedir.

ERDAS yazılımı ile 12 adet pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilmiş, “NNDiffuse Resolution Merge” algoritmasının hatalı sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Ayrıca ERDAS “Wavelet Resolution Merge - Single Band” metodu ile elde edilen görüntü hatalı sonuç vermiştir. ERDAS

“Modified İHS Resolution Merge” yöntemi ile elde edilen görüntü ile ERDAS “Wavelet Resolution Merge – İHS” yöntemi ile elde edilen görüntüler puslu ya da yeterince net değildir. ERDAS yazılımı için “HCS Resolution Merge”, “HPF Resolution Merge”, “Resolution Merge – PCA”, “Subtractive Resolution Merge” ve “Subtractive Resolution Merge-Legacy” algoritmaları güzel sonuçlar vermiştir.

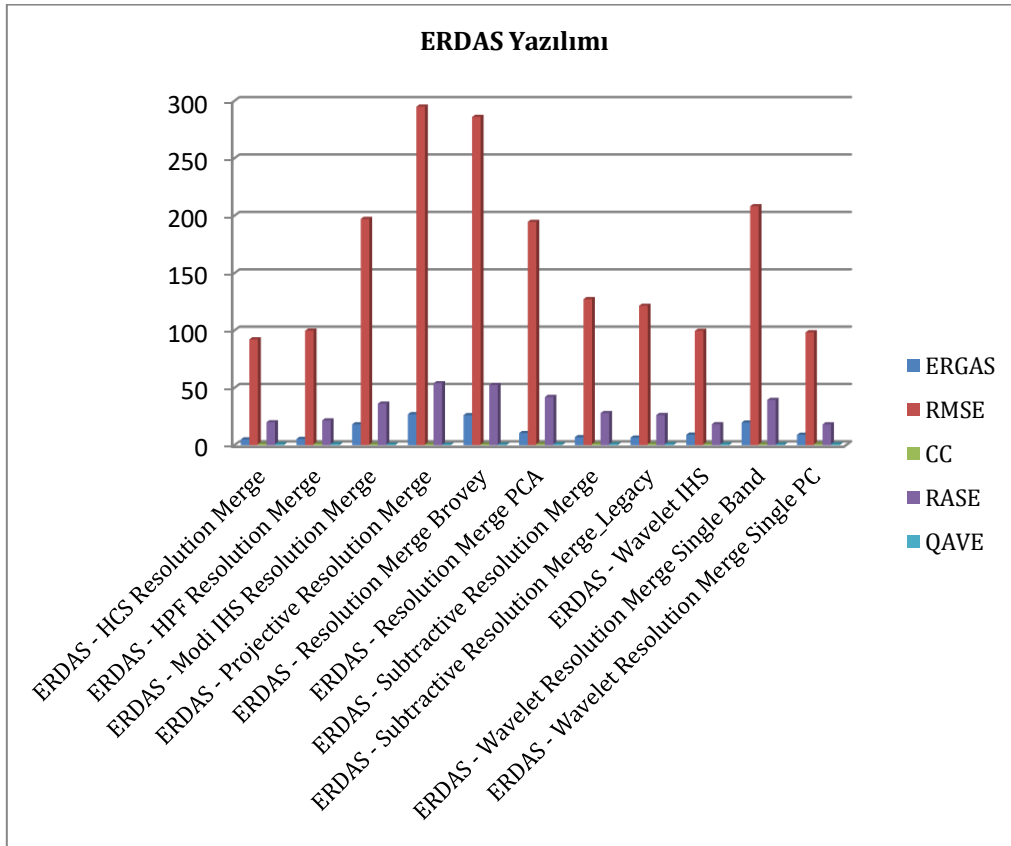
HASAT yazılımı İHS algoritmasının düzgün sonuç vermediği, Brovey ve ESRI algoritmalarının performanslı çalıştığı ve Brovey yöntemi ile elde edilen görüntünün diğerlerine göre daha yüksek doğrulukla sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

PCI yazılımı ile yapılan pankeskinleştirme sonuçlarının tamamının başarılı sonuçlar verdiği bunlar içerisinde UNB algoritmasından elde edilen görüntünün diğerlerine kıyasla daha iyi olduğu değerlendirilmektedir.

3.1.2 Metrik değerlendirme

Tüm metrikler içerisinde ERGAS metriğine göre; “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yönteminin, RMSE, CC, RASE ve QAVE metriklerine göre; “PCI-MRA” yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

ERDAS yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 14’de gösterilmektedir. ERDAS yazılımı ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler içerisinde “HCS Resolution Merge” yöntemi ile keskinleştirilen görüntünün ERGAS, RMSE, CC ve QAVE metriklerine göre başarılı sonuç verdiği, RASE metriğinde ise “Wavelet Resolution Merge – PC” yönteminin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

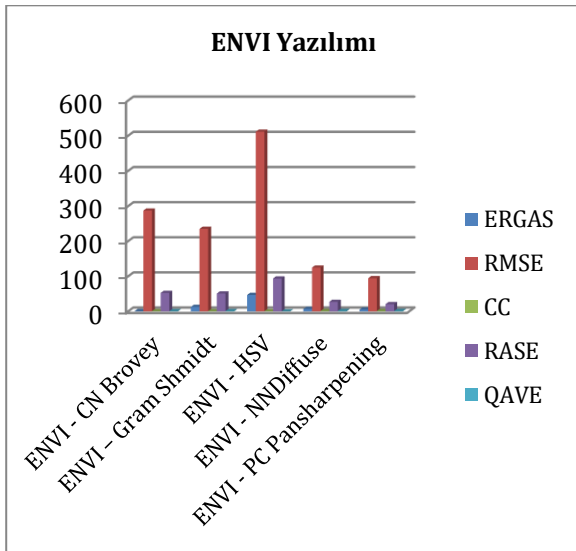


Şekil 14. ERDAS yazılımı değerlendirme grafiği

ENVI yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 15’de gösterilmektedir. ENVI yazılımı ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler içerisinde “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntünün ERGAS metriğinde iyi

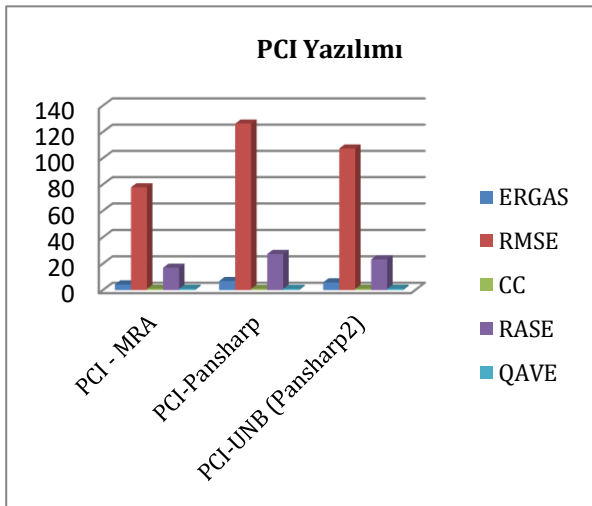
sonucu verdiği, “ENVI PC Spectral Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntünün ise RMSE, CC,

RASE ve QAVE metriklerinde diğerlerine göre en iyi sonuçları verdiği anlaşılmaktadır.



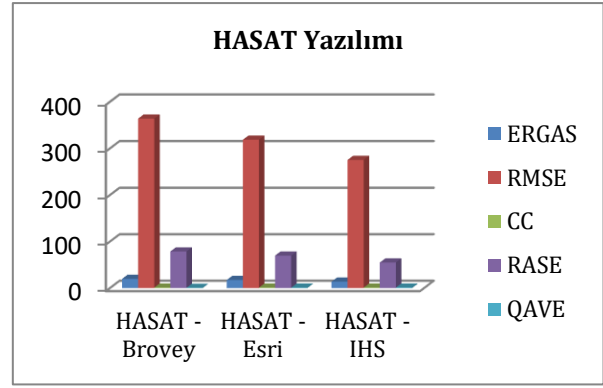
Şekil 15. ENVI yazılımı değerlendirme grafiği

PCI Geomatica yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 16'da gösterilmektedir. PCI yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler içerisinde RMSE, ERGAS, CC, RASE ve QAVE metriklerine göre PCI-MRA yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 16. PCI yazılımı değerlendirme grafiği

HASAT yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 17'de gösterilmektedir. HASAT yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler içerisinde CC metriğine göre "HASAT-Brovey" yöntemi ile pankeskinleştirilen görüntü diğerlerine göre daha iyi sonuç verirken ERGAS, RMSE, RASE ve QAVE metriklerine göre "HASAT - IHS" yöntemi ile elde edilen görüntü daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 17. HASAT yazılımı değerlendirme grafiği

4. SONUÇ

Göktürk-1 uydu görüntülerinin pankeskinleştirilmesi için bir öneri verilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarından da anlaşılacağı üzere kullanılacak yazılımın performansı farklılıklar gösterebilir. Ayrıca Spot uydu görüntü alanının (15km*15km) kapsadığı sahanın türü de (meskûn saha, ormanlık saha, suyla kaplı alan, toprak kaplı saha vs.) yazılımın ve kullanılacak pankeskinleştirme algoritmasının belirlenmesinde etken olmaktadır. Kullanılacak yazılımın aynı algoritmalar üzerindeki performansı bu çalışmadan da görüleceği üzere farklılık arz edebilir. Örneğin Brovey algoritması ile pankeskinleştirilen görüntü ENVI, ERDAS ve HASAT'da farklılıklar göstermiştir. Bunun nedeni firmalar tarafından ilgili algoritmaların yanında çeşitli filtrelerin alt programlara ilave edilmiş olmasıdır. Pankeskinleştirme işlemi uygulamadan önce ilgili uydu görüntüsü (Göktürk-1, Pleiades, Worldview vs.) üzerinde hangi filtreler uygulandığında güzel sonuçlar verdiği, hangi algoritmalarla pankeskinleştirilmesi gerektiği konularında daha önceden yapılmış olan çalışmalara göz atılması gerekmektedir. Göktürk-1 uydu görüntülerini pankeskinleştirmek için elinizde bulunan programa türüne göre ERDAS Imagine yazılımında ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge ya da HCS Resolution Merge, ENVI yazılımında NNDiffuse Pan Sharpening, HASAT yazılımında Brovey ve PCI Geomatica yazılımında UNB (PANSARP2) sekmelerinin kullanılmasının doğru olacağı sonucuna varılabilir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Makalenin ortaya çıkarılmasında bilgi birikim ve tecrübelerini sürekli paylaşan komutanlarım Dr.Müh.Alb.Veyssel Okan ATAK'a ve Alb.Fatih Güven GÜLTEKİN'e, saygıdeğer hocam Prof.Dr.Ferruh YILDIZ'a, metrik ölçütleri yapmamda MATLAB yazılımı konusunda desteğini gördüğüm sayın Saygın ABDİKAN hocama ve her zaman manevi desteğini esirgemeyen eşim Gönül SEFER ÜNAL ve oğlum Atahan ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

- Abas, A. (2015). Uzaktan Algılama Sistemlerinde Görüntü Füzyonu. TUFUAB VIII.Teknik Sempozyumu, (s. 183-189), Konya.
- Abdikan, S. (2014). A comparative data-fusion analysis of multi sensor satellite images.Int.J Digital Earth, 671-687
- Abdikan, S. (2017). Rasat Verisi Kullanarak Farklı Pan-Keskinleştirme Yöntemlerinin İstatistiksel Analizi. Türk Coğrafya Dergisi, 57-62.
- Açıkgöz, İ. S. (2015). Uydu Görüntülerinin Pan Keskinleştirilmesi ve Performans Analizi. Ankara.
- Ayhan, E. (2014). Uzaktan Algılamada Görüntü Birleştirme için Kalite Analizleri. 5. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2014), İstanbul.
- Basaeed, E. (2013). Comparative Analysis of Pan-sharpening Techniques on DubaiSat-1 images. 16th International Conference Information Fusion(FUSION).
www.researchgate.net/publication/26134.
- Czaja, W. (2014). Wavelet Packet Mixing for Image Fusion And Pan-Sharpener. Conference Proceeding of SPIE (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers).
- Despini, F. (2016). Methods and metrics for the assessment of Pan-sharpening algorithms.
- Gore, S. A. (2016). A Comparative Analysis of Pansharpening Techniques on QuickBird and WorldView-3 Images. Geocarto International.
- Gürçay, E. (2019). Göktürk-1 Uydusu Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon Faaliyetleri. Hava Kuvvetleri Dergisi,Ankara.
- Gültekin, F.G.(2019). Geometric Accuracy in Satellite Imagery-Test Methods&Göktürk-1 Performance Evaluation, RAST 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies.
- Kahraman, S. (2017). A Comprehensive Review Of Pansharpening Algorithms For Göktürk-2 Satellite Images. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, Volume IV-4/W4, 2017 (s. 263-270), Karabük.
- Maruer, T. (2013). How To Pan-Sharpener Images Using TheGram-Schmidt Pan-Sharpener Method-A Recipe. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (s. 239-244). Hannover: ISPRS.
- Özdemir, M. (2017). Görüntü Keskinleştirme Yöntemlerinin Nesne-Yönelimli İSınıflandırma Açısından Değerlendirilmesi (Evaluation ofImage Pan-Sharpener Methods In Terms of Object-Oriented Classification). HARİTA DERGİSİ, s. 26-34.
- Özendi, M. (2014). Pleiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpener Performansının İncelenmesi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu. UZAL-CBS, İstanbul
- Özendi, M., Topan, H., Oruc, M. ve Cam, A. (2015). "Pan-sharpeningquality investigation of PLÉIADES-1A images", Geocarto International, Taylor & Francis GroupDOI: 10.1080/10106049.2015.1094520.
- Parente, C. (2017). Influence of the weights in IHS and Brovey methods for pan-sharpening WorldView-3 satellite images. International Journal of Engineering & Technology, s. 71-77.
- Snehmani A., Ashwagosh G., Satish K., Srivastava P.K., ve Hari Ram R.P. (2016). A comparative analysis of pansharpening techniques on QuickBird and WorldView-3, Geocarto InternationalTaylor & Francis GroupDOI: 10.1080/10106049.2016.1206627.
- Sümengen, S. (2012). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüler için Pankromatik Keskinleştirme Yöntemi. HAVELSAN A.Ş.
- Teke, M. (2014). RASAT Uydu Görüntülerinin Optimal Pankeskinleştirilmesi. Ankara: TÜBİTAK UZAY.
- Topan, H. (2016). Pleiades Project: Assessment Of Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening Performance And DSM/DTM Quality. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 (s. 503-510). Prague: ISPRS.

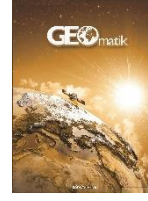




GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi

Berkant Konakoğlu*1, Alper Akar²

¹Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Harita ve Kadastro Programı, Amasya, Türkiye

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Harita ve Kadastro Programı, Erzincan, Türkiye

Anahtar Kelimeler

TUSAGA-Aktif
Doğu Anadolu Fay Zonu
Deformasyon
 θ^2 Ölçütü
İteratif Ağırlıklı Benzerlik
Dönüşümü

ÖZ

Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) projesi, KKTC ve Türkiye dâhil olmak üzere toplam 158 adet sabit istasyon ile kullanıcılarına hizmet vermektedir. Oluşturulan bu GNSS ağı yardımıyla depremlerin neden olduğu hareketler etkin bir şekilde belirlenebilmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde 04 Nisan 2019 (5.2 Mw), 27 Aralık 2019 (4.8 Mw) ve 24 Ocak 2020 (6.5 Mw) tarihlerinde meydana gelen depremlerin, bu fay zonuna yakın ve çevre illerde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarını etkilediği düşünülmüştür. Bu kapsamda mevcut TUSAGA-Aktif istasyon noktalarından bölgesel bir GNSS ağı (ADY1, ARPK, BING, DIYB, ELAZ, ERGN, MALY, SIV1 ve TNCE) oluşturulmuş ve ağda bulunan istasyonların hareketleri periyodik olarak incelenmiştir. Yer değiştirme miktarlarını ve yönlerini tespit etmek için jeodezik statik deformasyon modellerinden θ^2 Ölçütü ve IWST (İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü) kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda her iki yöntemin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. En büyük hareket ELAZ istasyonunda 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arasında yatay doğrultuda yaklaşık 5.5 cm (güneybatı), düşey doğrultuda ise yaklaşık 3 cm (yukarı) olarak belirlenmiştir. Diğer TUSAGA-Aktif istasyonlarında özellikle 24 Ocak 2020 tarihinde 6.5 Mw büyüklüğünde meydana gelen depremden etkilendiği ve yatay doğrultuda yaklaşık 1- 2 cm' ye varan hareketlerin olduğu tespit edilmiştir.

Investigation of the Effects of Tectonic Movements Occurring in Elazığ and Surrounding Provinces on the Positions of TNPGN-Active Stations by Using Static Deformation Models

Keywords

TNPGN-Active
Eastern Anatolian Fault
Zone
Deformation
 θ^2 Criteria
Weighted
Similarity Transformation

ABSTRACT

Turkish National Permanent GNSS Network-Active (TNPGN-Active) Project serves their users with a total of 158 permanent stations, including the Turkish Republic of Northern Cyprus and Turkey. The movements caused by earthquakes can be determined effectively with this GNSS network. It was thought that the earthquakes, occurred on the Eastern Anatolian Fault Zone (DAFZ) on April 04, 2019 (5.2 MW), December 27, 2019 (4.8 MW) and January 24, 2020 (6.5 MW), affected TNPGN-Active stations located in neighbouring provinces close to this fault zone. In this context, a local GNSS network (ADY1, ARPK, BING, DIYB, ELAZ, ERGN, MALY, SIV1 and TNCE) were created from existing TNPGN-Active points and the movements of the stations in the network are periodically examined. θ^2 Criteria and IWST (Iterative Weighted Similarity Transformation), which were geodetic static deformation models, were used to determine movement amounts and directions. As a result of the evaluation, it was determined that both methods gave similar results. The largest movement was determined at the ELAZ station between the periods of January 03, 2019 and January 25, 2020 in the horizontal direction about 5.5 cm (southwest) and in the vertical direction about 3 cm (up). It was also determined that other TNPGN-Active stations were affected by the earthquake of 6.5 MW in particular on January 24, 2020 and there were movements in these stations up to 1-2 cm in horizontal direction.

*Sorumlu Yazar

(berkantkonakoglu@amasya.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8276 – 587X
(alperakar@erzincan.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 4284 – 5928

Kaynak Göster (APA)

Konakoğlu, B. & Akar, A. (2021). Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi. Geomatik, 6(2), 165-178, DOI: 10.29128/geomatik.735565

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olarak kabul edilen Alp – Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde yer alır (Anadolu ve Kalyoncuoğlu, 2010; Başkan, 2018). Bu nedenle ülkemiz sismik aktivite yönünden dünyadaki en aktif bölgelerden biri olarak kabul edilmektedir (Yıldırım ve diğ., 2014; Aladoğan ve diğ., 2017). Bu deprem kuşağı, Azor takımadalarından başlayıp, Uzakdoğu’da Endonezya’ya kadar uzanır (Anadolu ve Kalyoncu, 2010).

Depremsele faaliyetlerin aktif olduğu Türkiye, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Batı Anadolu Fay Zonu (BAFZ) olmak üzere 3 ana fay zonuna sahiptir (Kavak, 2020). Bunlardan KAFZ ve DAFZ halen aktif olup Türkiye’deki son yıllarda meydana gelen depremlerin yaşandığı iki ana fay sistemini temsil etmektedir (Çoban ve Sayıl, 2018). Türkiye, tektonik yapı bakımından topraklarının % 98’i deprem riski altında bulunan bir ülke olup, ülkemiz nüfusunun yaklaşık üçte ikisi halen aktif olan bu fay zonları üzerindeki yerleşim alanlarında yaşamaktadır (Ünal, 2019; Başkan, 2018).

DAFZ, Kuzeydoğuda Karlıova’dan başlayıp güneybatıda Anadolu-Arap-Afrika üçlü eklemine şekillendiği Kahramanmaraş bölgesinde Ölü Deniz Fayı ile birleşir (Altınoğlu, 2019). Bu kuşak Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanmakta olup ortalama 700 km uzunluğunda ve 30 km genişliğindedir (Bayramoğlu, 2020).

Ülkemizin bu kadar aktif fay hatları üzerinde olması meydana gelen depremler sonucunda mal ve can kayıplarının da oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan depremlerin can kayıpları ile sonuçlanmasının en büyük nedeni mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonlardır. Deformasyon, mühendislik yapılarında ve yer kabuğunda kalıcı/geçici etkilerle oluşan şekil değişikliği olarak adlandırılırken (Gelişkan, 2019), yer kabuğu hareketlerinin saptanması için yapılan jeodezik ölçümlere “deformasyon ölçümleri”, elde edilen ölçülerin değerlendirilerek oluşan deformasyonların istatistiksel yöntemlerle tespit edilmesi ve yorumlanmasına da “deformasyon analizi” adı verilmektedir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uydu ve uzay teknikleri, derin fayların davranışı hakkında bilgi veren ve deformasyon ölçümlerine imkân sağlayan bir yöntemdir. Bu anlamda GNSS (Global Navigation Satellite System) günümüzde en çok kullanılan deformasyon belirleme ve izleme aracıdır.

GNSS tekniği, 1980’li yıllardan sonra gelişen teknolojiyle birlikte yüksek hassasiyette ölçüm yapmaya olanak sunmuştur (Ervural ve Tuşat,

2019). GNSS tekniğinin diğer tekniklere göre son yıllarda daha çok tercih edilme nedenleri maliyetinin az olması, yüksek hassasiyetli sonuç verebilmesi, ölçü ve hesapta zamandan tasarruf sağlaması olarak sıralanabilir (Kavak, 2020). GNSS tekniği bu özelliklerinden dolayı sadece haritacılık çalışmalarında kullanılmayıp aynı zamanda kabuk hareketlerinin jeodinamiği ile kinematiğini anlamaya yönelik çalışmalarda ve deprem periyotlarındaki deformasyonların belirlenmesi gibi çalışmalarda da oldukça sık kullanılan bir yöntemdir (Yavaşoğlu ve diğ., 2015; Aladoğan ve diğ., 2017).

Deformasyona uğradığı düşünülen yapı veya alanlar jeodezik noktalarla nitelendirilir. Bu noktaların seçilen koordinat sistemindeki koordinatlarında meydana gelen değişimler incelenerek, deformasyonlar belirlenmeye çalışılır. Deformasyonların belirlenmesinde izlenen işlem adımları, jeodezik deformasyon ağlarının oluşturulması, farklı ölçü periyotlarında yapılan ölçüler, ölçülerin değerlendirilmesi ve sonuçların analiz edilmesi olarak sıralanabilir (Tanrıverdi, 2018).

Ülkemizde GNSS tekniği kullanılarak yapılan çalışmalarda, genellikle fay hattı çevresinde bölgesel ya da jeodezik GNSS ağı kurularak, bu ağ üzerindeki GNSS noktalarının deformasyonları, hızları ve olası sismik kayma oranları tespit edilmektedir (Aktuğ ve diğ., 2016).

2009 yılından beri ülke geneli ve KKTC’ de 24 saat kesintisiz ölçüm yapan TUSAGA-Aktif sistemi ve bu sistemin noktalarından oluşan bir GNSS ağı bulunmaktadır (Kutoğlu ve diğ., 2016).

TUSAGA-Aktif sistemi 24 saat kesintisiz tüm istasyonlarında bir saniyelik aralıklarla veri toplar ve bu veriler ana merkezde (Ankara) kaydedilir (Ürüşan, 2014). Sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonlarından yüksek doğrulukla veri elde edilebilmesi fay hatlarının izlenmesini ve deformasyonların daha etkin bir şekilde belirlenmesini de kolaylaştırmıştır (Ansari ve diğ., 2017). İstasyonların yerleri, tektonik plaka yer değiştirmelerini de gözlemleyebilmek için en iyi verileri sağlayabilecek şekilde seçilmiştir (Yıldırım ve diğ., 2014). TUSAGA-Aktif istasyonlarının dağılımı şekil 1’de gösterilmektedir.

1.1. Çalışma Alanını Kapsayan Doğu Anadolu Fay Zonunun Yapısı

Türkiye’ nin en büyük ikinci fay zonu olan DAFZ, Avrasya ve Arap levhalarının çarpışmalarının sonucu oluşmuştur (Köküm, 2019). DAFZ, Türkiye’ nin Güneydoğusundaki Arap / Anadolu levha sınırını



Şekil 1. TUSAGA-Aktif istasyonlarının dağılımı

oluşturan, morfolojik olarak ayrı ve sismik olarak aktif bir sol yanal doğrultu atımlı faydır (Çoban ve Sayıl, 2018; Köküm, 2019; Şahin, 2019). DAFZ aynı zamanda eğim atımına da sahip, birbirine paralel kayma düzlemleri boyunca hareket eden, birkaç metre ile 10 kilometreye ulaşan bir fay zonunu temsil eder (Tanrıverdi, 2018). DAFZ, farklı doğrultu eğim ve hareket bileşenlerine sahip olan farklı fay kollarının oluşturduğu birbirlerinden bağımsız geometrilere zonal bir yapıdan oluşmaktadır (Tan ve Eyidoğan, 2019; Khalifa, 2018; Kayın, 2019).

DAFZ, Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Pötürge, Sincik, Narlı, Türkoğlu dolaylarından geçerek İskenderun Körfezine kadar uzanır. Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanan bu kuşak ortalama 700 km uzunluğunda olup, 30 km genişliktedir.

Çalışma alanının bulunduğu Elazığ ili ve çevresi birbirinden farklı iki ayrı deprem bölgesinden oluşmaktadır. Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre Elazığ kent merkezinin bulunduğu alan ile Kuzey bölümü tümüyle 2. derece deprem bölgesi içinde yer alırken, Palu İlçesinin de üzerinde yer aldığı Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde kalan, Elazığ güneyindeki bölge ise 1. derece deprem bölgesi içerisindedir (Bayramoğlu, 2020).

Yaklaşık 500 km uzunluğu ile Türkiye'nin en büyük ikinci fay sistemi olan, sol yönlü doğrultu atımlı DAFZ üzerinde 04 Nisan 2019, 27 Aralık 2019 ve 24 Ocak 2020 tarihlerinde depremler meydana gelmiştir. Bu çalışmada, analiz edilen TUSAGA-Aktif istasyonları Adıyaman (ADY1), Arapkir (ARPK), Bingöl (BING), Diyarbakır (DIYB), Elazığ (ELAZ), Ergani (ERGN), Malatya (MALY), Siverek (SIV1) ve Tunceli (TNCE) olup, seçilen bu istasyonlarda toplanan dört farklı periyottaki (03 Ocak 2019, 05 Nisan 2019, 28 Aralık 2019 ve 25 Ocak 2020) GNSS verileri TUSAGA-AKTİF veri internet arayüzünden indirilmiştir. Her bir periyot ayrı ayrı serbest olarak dengelenmiş, θ^2 Ölçütü ve IWSM modelleri ile deformasyon analizleri yapılmıştır. 03 Ocak 2019 günü Elazığ ili ve çevresindeki

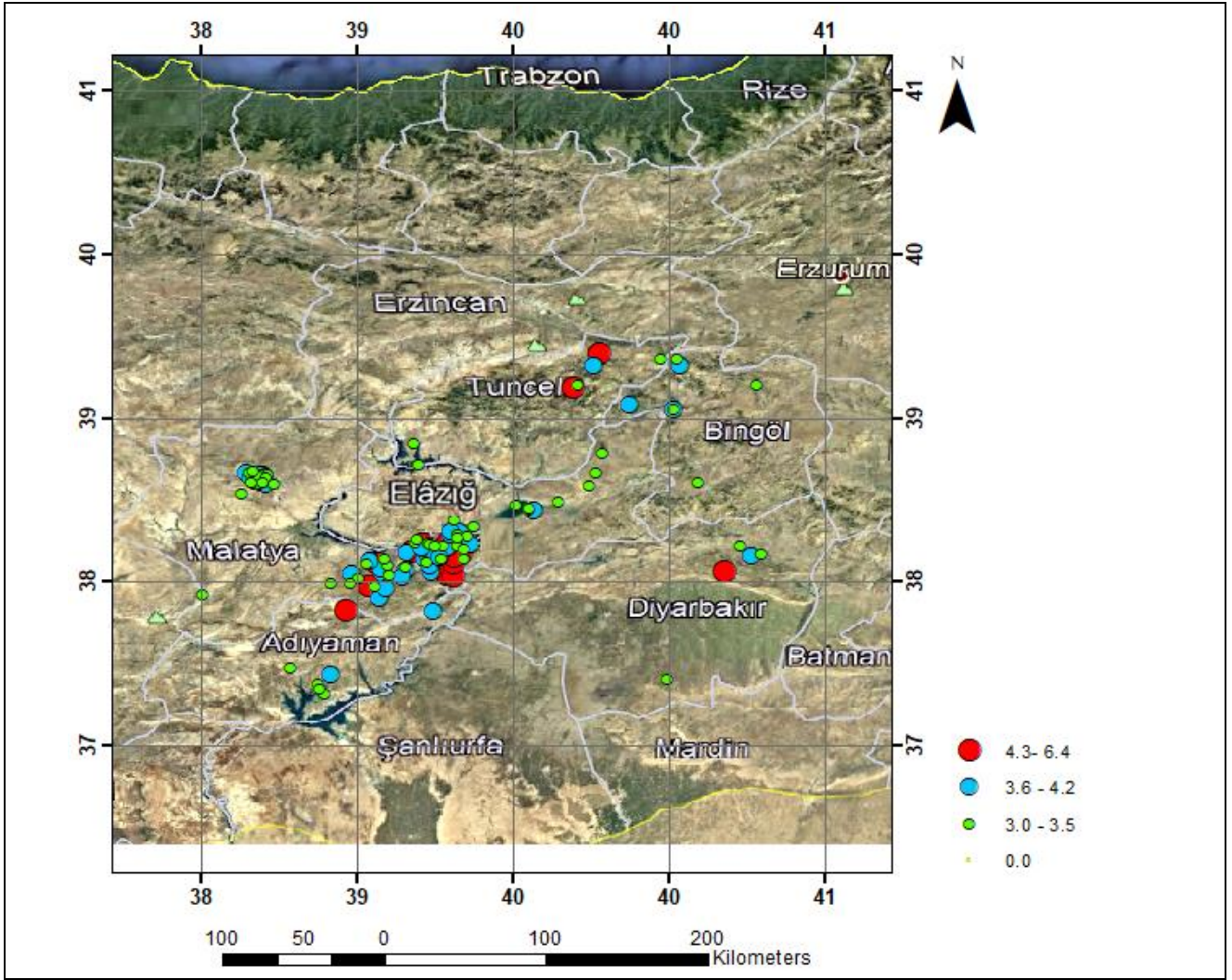
istasyonların yer aldığı bölgede deprem olmadığı göz önüne alınarak bu gün yapılan ölçülerle elde edilen koordinat değerleri referans olarak seçilmiştir. Diğer periyotlar ise deprem gününün ertesi günü olacak şekilde belirlenmiştir. Analiz sonucunda yer değiştirmelerin anlamlı olup olmadığı incelenmiş ve yer değiştirme miktarları tespit edilmiştir. Çalışma periyodu içerisinde (3 Ocak 2019-24 Ocak 2020) çalışma alanını kapsayan bölgede meydana gelen depremler şekil 2'de gösterilmiştir.

1.2. Çalışma Alanı

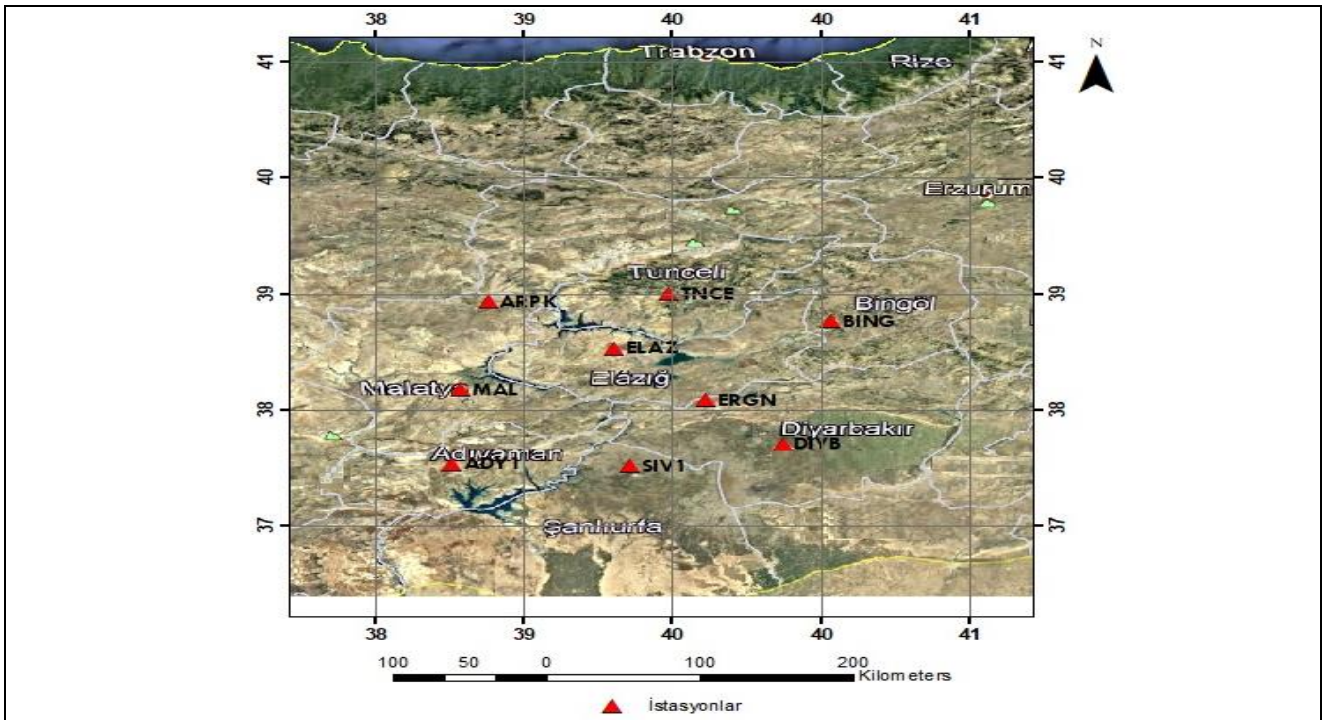
TUSAGA-Aktif istasyonlarında meydana gelen deformasyonları belirleyebilmek için deprem bölgesine yakın ve çevresindeki illerde bulunan ADY1, ARPK, BING, DIYB, ELAZ, ERGN, MALY, SIV1 ve TNCE istasyonlarından oluşan bölgesel bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Bu istasyonların dağılımı şekil 3'deki gibidir. TUSAGA-Aktif internet arayüzünden ücretsiz olarak sunulan 30 sn'lik GNSS verileri indirilmiştir. GNSS verilerinin değerlendirilmesi için Topcon Tools yazılımı kullanılmıştır. Tüm periyotlardaki ölçülerde GPS ve GLONASS gözlemleri birlikte kullanılarak değerlendirme işlemi yapılmıştır. Baz çözümlerinin değerlendirme aşamasında baz mesafelerinin uzun olması nedeniyle IGS (International Geodetic Survey) ürünlerinden hassas efemeris dosyaları kullanılmış, yükseklik açısı 5° olarak seçilmiştir.

Değerlendirme yapılırken atmosferik etkileri modelleme aşamasında Niell troposferik modeli kullanılmıştır. Verilerdeki faz sıçramaları kontrol edilmiş, kötü olan ölçüler belirlenip iyi durumda olan ölçülere müdahale edilmeden elemine edilmiştir.

Çalışma alanında meydana gelen deprem merkezlerinin çalışma kapsamında seçilen illerde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarına olan yaklaşık mesafeleri Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 3 Ocak 2019-24 Ocak 2020 tarihleri arasında çalışma bölgesinde meydana gelen depremler ve artçı şok aktivitesi $M_w > 3$



Şekil 3. Çalışma alanındaki TUSAGA-Aktif istasyonlarının dağılımı

Tablo 1. Meydana gelen depremlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarına uzaklıkları (km)

İstasyon Adı	04 Nisan 2019 (5.2 Mw)	27 Aralık 2019 (4.8 Mw)	24 Ocak 2020 (6.5 Mw)
ADY1	102.2	91.3	108.8
ARPK	94.7	87.9	103.3
BING	131.7	144.7	123.8
DIYB	101.9	114.3	91.4
ELAZ	33.0	40.3	34.2
ERGN	54.6	68.3	43.9
MALY	81.1	67.1	91.5
SIV1	69.2	72.7	65.0
TNCE	90.2	97.3	89.2

Tablo 1'e göre 04 Nisan 2019, 27 Aralık 2019 ve 24 Ocak 2020 tarihlerinde meydana gelen depremlerin merkezlerine en yakın TUSAGA-Aktif istasyonu yaklaşık 30-40 km ile Elazığ ilinde bulunan ELAZ istasyonudur.

2. YÖNTEM

2.1. TUSAGA-Aktif İstasyon Verilerinin θ^2 Ölçütü Yöntemi İle Deformasyon Analizi

θ^2 Ölçütü yönteminde, ilk olarak tüm periyotlardaki jeodezik ölçüler ayrı ayrı serbest olarak dengelenir. Dengeleme sonucunda, dengeli koordinat vektörleri (x_1, x_2, \dots) ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisleri ($Q_{x_1x_1}, Q_{x_2x_2}, \dots$) hesaplanır. İki periyot için d fark vektörü ve bu vektöre ait kofaktör matrisi Q_{dd} ,

$$d = x_2 - x_1 \quad (1)$$

$$Q_{dd} = Q_{x_1x_1} + Q_{x_2x_2} \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan θ^2 Ölçütü,

$$\theta^2 = d^T Q_{dd}^+ d \quad (3)$$

biçiminde hesaplanır. Ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçüm periyodunda da aynı kaldığı durumlarda Q_{dd} 'nin rangı,

$$h = \text{rang}(Q_{dd}) = u_k - dp \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada u_k , ağdaki koordinat bilinmeyenleri sayısını; dp , datum parametreleri sayısını göstermektedir. Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması,

$$s_0^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2} = \frac{f_1 m_{01}^2 + f_2 m_{02}^2}{f_1 + f_2} \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. Burada f_1 ve f_2 sırasıyla 1. ve 2. periyotlardaki ölçümlerin dengelemesi sırasında kullanılan serbestlik dereceleri; m_{01}^2 ve m_{02}^2 ise sırasıyla 1. ve 2. periyotlardaki ölçümlerin dengelemesi sonucunda elde edilen varyans değerleridir. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü (T),

$$T = \frac{\theta^2}{s_0^2 h} = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{s_0^2 h} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Test büyüklüğü T , F tablo değeri ile karşılaştırılır. H_0 hipotezi $T < F_{h, f, 1-\alpha}$ olduğu durumda geçerli, $T > F_{h, f, 1-\alpha}$ olduğu durumlarda ise H_0 hipotezi geçerli değildir. Bu durumda iki ölçü periyodu arası geçen sürede ağ noktalarının bir ya da birden fazlasında deformasyon olduğuna ($1 - \alpha$) istatistik güven ile karar verilir. Ağda deformasyon olduğu belirlendikten sonra, ağda hareket eden noktalar tek tek belirlenir. Bunun için ağda bulunan bir nokta her seferinde hareketli, diğer noktalar ise sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar θ^2 ölçütü değeri hesaplanır. Fark vektörü d ve kovaryans matrisi Q_{dd} ,

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Q_{dd} = \begin{bmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{bmatrix} \quad (8)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada B indisi, hareketli noktaları; F indisi, sabit noktaları göstermektedir. P_{dd} ağırlık matrisi,

$$P_{dd} = Q_{dd}^+ = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{bmatrix} \quad (9)$$

eşitliği ile yani Q_{dd} matrisinin tersi alınarak elde edilir. B ile hareketli nokta olarak alınan nokta her adımda d_B alt vektör olarak yazılır ve ağ nokta sayısı kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{d}_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad (10)$$

$$\bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF} \quad (11)$$

hesaplanır. θ^2 ölçütü değeri,

$$\theta^2 = d^T Q_{dd}^+ d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_B^T \bar{P}_{BB} \bar{d}_B \quad (12)$$

$d_F^T \bar{P}_{FF} d_F$ sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık, $\bar{d}_B^T \bar{P}_{BB} \bar{d}_B$ hareketli olduğu varsayılan her

noktaya ait aykırılık olarak bağımsız iki bileşene ayrılır.

$$(\theta^2)_i = (\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B)_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Burada n , nokta sayısıdır. Toplam aykırılık payı en büyük olan $(\theta^2)_{\max} = \text{maksimum}((\theta^2)_i)$ olan noktada, $1 - \alpha$ istatistik güven ile deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda hareketli başka nokta veya noktalar bulunup bulunmadığını belirlemek için d ve Q_{dd} 'ye bir S dönüşümü yapılarak geriye kalan $(n - 1)$ noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir. d ve Q_{dd} 'de hareketli noktaya ait elemanlar en son satır ve sütunlara atılır. G matrisi ile S -dönüşüm matrisi,

$$S_i = I - G G^T \quad (14)$$

eşitliği ile elde edilir. d ve Q_{dd} matrisi,

$$d_i = S_i d \quad (15)$$

$$Q_{dd_i} = S_i Q_{dd} S_i^T \quad (16)$$

biçiminde dönüştürülür. i dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi,

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_N \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} = S_i d \quad (17)$$

$$Q_{dd_i} = \begin{bmatrix} Q_{DD} & Q_{DN} \\ Q_{ND} & Q_{NN} \end{bmatrix} \quad (18)$$

şeklinde alt matrislere ayrılır. Burada D indisi, datum noktalarını; N indisi, datum dönüşümüne katılmayan noktaları; d_N , toplam aykırılıktaki payları en büyük olan $(\theta^2)_{\max}$ noktalarına ait d_B değerinin sonraki değerini göstermektedir. i belirleme adımından sonra kalan aykırılık,

$$(\theta^2)_{kalan} = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (19)$$

eşitliği ile hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{(\theta^2)_{kalan}}{\sigma_0^2 h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (20)$$

olduğu durumda ağda hareketli nokta vardır. Burada yeni hareketli nokta, yukarıdaki işlemler tekrar edilerek belirlenir. Son bir S dönüşümü ile ağda hareketsiz kalan noktalar P_D , hareketsiz olduğu tespit edilen noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri d_N elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi,

1992; Kayıkçı ve Yalçinkaya, 2015; Yalçinkaya, 2003).

Her periyottaki (03 Ocak 2019, 05 Nisan 2019, 28 Aralık 2019, 25 Ocak 2020) GNSS ölçümleri ayrı ayrı serbest dengelenmiştir. Ardından noktaların kartezyen koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Bu veriler ile 03 Ocak 2019-05 Nisan 2019, 03 Ocak 2019-28 Aralık 2019 ve 03 Ocak 2019-25 Ocak 2020 periyotlarındaki deformasyonlar θ^2 ölçütü yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 2-3-4).

Tablo 2-3-4 incelendiğinde her iterasyonda test büyüklüğü T' ye karşılık gelen F tablo değeri karşılaştırılarak T değerinin büyük olması durumunda yapılan karşılaştırmalarda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. θ^2 Ölçütü yöntemi ile kartezyen koordinat sisteminde 03 Ocak 2019 periyodu referans alınarak yapılan deformasyon analizine göre; 05 Nisan 2019 periyodu ile arasında geçen sürede DIYB, MALY, SIV1 ve TNCE TUSAGA-Aktif istasyonlarında (Tablo 2), 28 Aralık 2019 periyodu ile arasında geçen sürede BING, DIYB, ELAZ, ERGN, MALY ve TNCE TUSAGA-Aktif istasyonlarında (Tablo 3), 25 Ocak 2020 periyodu ile arasında geçen sürede BING istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda (Tablo 4) hareketlerin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

θ^2 ölçütü yöntemine göre TUSAGA-Aktif istasyonlarının 03 Ocak 2019 referans periyodu seçilerek 03 Ocak 2019-05 Nisan 2019, 03 Ocak 2019-28 Aralık 2019 ve 03 Ocak 2019-25 Ocak 2020 periyotları arası kartezyen koordinat sisteminde hesaplanan deformasyon miktarları, lokal toposentrik koordinat sistemine dönüştürülerek Şekil 4 'de verilmiştir.

2.2. TUSAGA-Aktif İstasyon Verilerinin IWST Yöntemi İle Deformasyon Analizi

İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü (IWST) yöntemi Kanada'nın New Brunswick Üniversitesi'nde Chen (1983) tarafından geliştirilmiş olup, robust yöntemler kategorisinde yer almaktadır. IWST yöntemi ile deformasyon analiz işlemi üç ana başlık altında verilebilir. İlk aşamada, her bir periyottaki jeodezik ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenir. Dengeleme sonucunda koordinatlar, vektörleri (x_1, x_2, \dots) ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisleri $(Q_{x_1 x_1}, Q_{x_2 x_2}, \dots)$ hesaplanır. İki periyot için d fark vektörü ve d fark vektörüne ait kovaryans matrisi Q_{dd} sırasıyla (1) ve (2) eşitlikleri ile hesaplanır.

Tablo 2. 03 Ocak 2019 ile 05 Nisan 2019 periyotları arası θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi

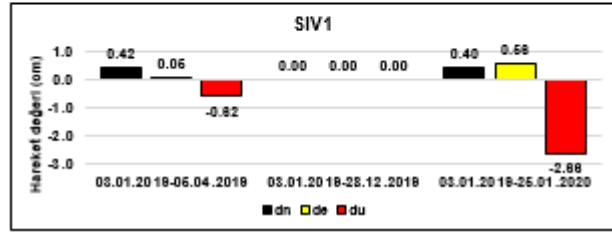
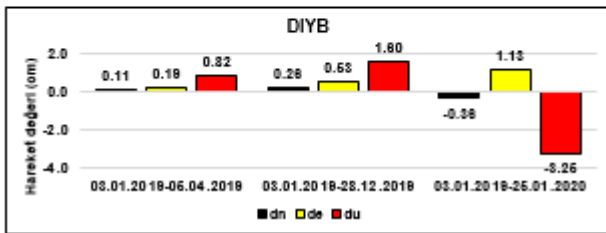
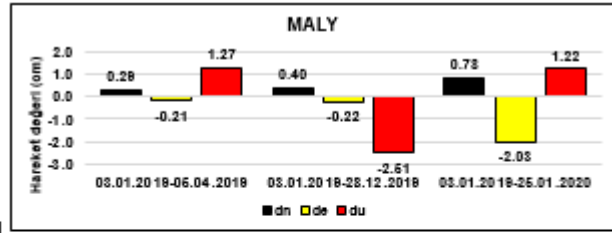
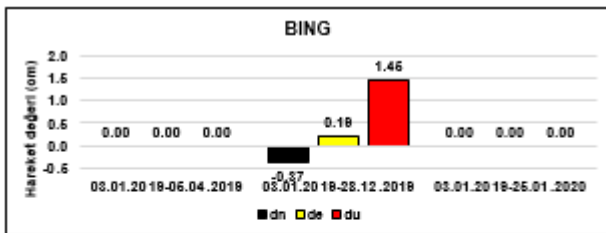
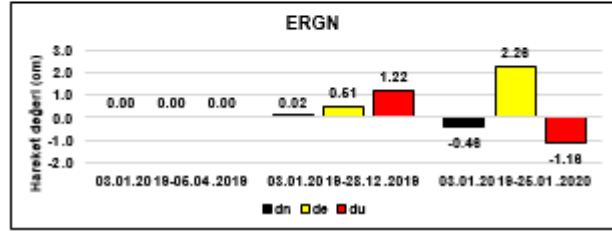
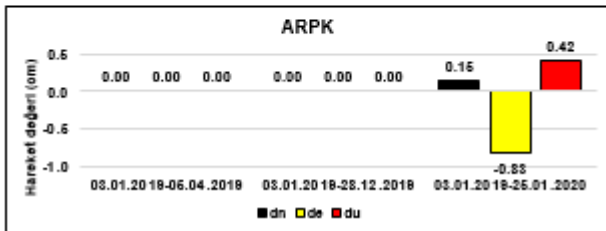
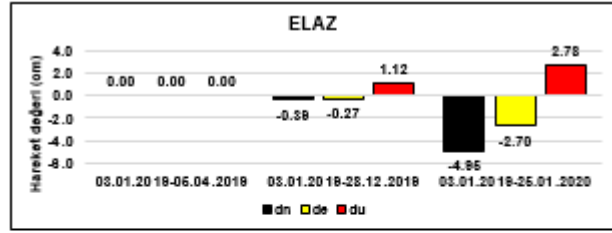
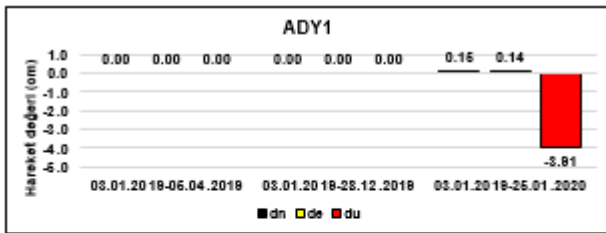
Adım	Global Test		Hareketli Noktalar ve Hareket Büyüklükleri				
	Test Büyüklüğü (T)	F Tablo	$\theta^2_{maksimum}$	Hareketli Nokta	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)
1	4.62	1.81	87.04	TNCE	-1.21	-0.61	-1.53
2	3.10	1.86	35.71	MALY	0.77	0.34	1.02
3	2.06	1.92	23.10	DIYB	0.33	0.52	0.59
4	2.15	1.99	13.07	SIV1	-0.61	-0.43	-0.04

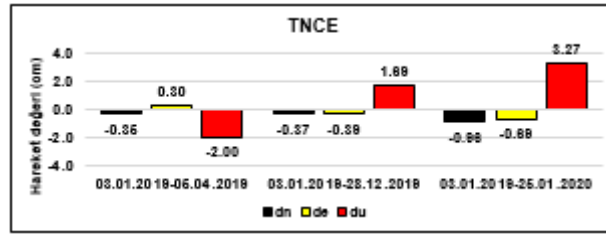
Tablo 3. 03 Ocak 2019 ile 28 Aralık 2019 periyotları arası θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi

Adım	Global Test		Hareketli Noktalar ve Hareket Büyüklükleri				
	Test Büyüklüğü (T)	F Tablo	$\theta^2_{maksimum}$	Hareketli Nokta	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)
1	4.46	1.81	168.27	MALY	-1.60	-1.54	-1.24
2	3.84	1.86	82.86	BING	0.91	1.03	0.62
3	4.34	1.92	86.08	TNCE	1.44	0.69	0.78
4	4.00	1.99	70.10	DIYB	0.50	1.12	1.19
5	4.16	2.10	44.66	ERGN	0.40	1.00	0.77
6	3.03	2.27	21.91	ELAZ	1.04	0.50	0.39

Tablo 4. 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arası θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi

Adım	Global Test		Hareketli Noktalar ve Hareket Büyüklükleri				
	Test Büyüklüğü (T)	F Tablo	$\theta^2_{maksimum}$	Hareketli Nokta	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)
1	97.74	1.81	3446.32	ELAZ	5.79	1.24	-2.13
2	34.20	1.86	977.20	ERGN	-1.92	1.33	-1.08
3	27.51	1.92	575.89	MALY	1.62	-1.30	1.37
4	19.60	1.99	389.67	TNCE	2.86	1.47	1.32
5	19.28	2.10	195.32	SIV1	-2.16	-1.05	-1.31
6	22.27	2.27	122.36	DIYB	-2.52	-0.65	-2.29
7	18.07	2.56	22.75	ADY1	-2.58	-1.86	-2.27
8	8.87	3.28	11.34	ARPK	0.70	-0.51	0.38





Şekil 4. θ^2 ölçütü yöntemine göre belirlenen deformasyonların lokal topocentrik sistemdeki hareket miktarları

İkinci aşamada, iki periyota ait koordinat vektörlerinin farklı datumlarda olduğu varsayımı yapılarak, x_2 koordinat vektörü, x_1 koordinat vektörünün hesaplandığı datum sistemine S dönüşüm matrisi,

$$S^{(k)} = I - H(H^T W^{(k)} H)^{-1} H^T W^{(k)} \quad (21)$$

yardımıyla indirgenmelidir. IWST,

$$d^{(k)} = S^{(k)}(x_2 - x_1) \quad (22)$$

$$Q_{dd}^{(k)} = S^{(k)} Q_{dd} (S^{(k)})^T \quad (23)$$

$$W^{(k+1)} = \text{diag}(\dots, w_i^{(k+1)}, \dots), \quad (24)$$

$$w_i^{(k+1)} = 1/d_i^{(k)}$$

iteratif forma sahiptir. Burada k , iterasyon sayısını; $W^{(k+1)}$, ağırlık matrisini göstermektedir. IWST ile her iterasyonda ağırlıklar yeniden hesaplanır. İterasyon işlemi belirlenen durdurma kriterine göre devam eder (Ör: $|d^{(k+1)} - d^{(k)}| < 0.0001$ m). İlk iterasyonda ağırlık matrisi $W^{(k)} = I$

birim matrisi olarak alınır. Üçüncü aşamada, noktaların hareketlerinin anlamlı olup olmadığı tek noktalı test ile tespit edilir. Tek noktalı teste göre,

$$T_i = \frac{(d_i)^T (Q_{dd})^{-1} d_i}{s_0^2 h} \sim F_{h, f, 1-\alpha} \quad (25)$$

şeklinde hesaplanır. T_i test değeri F -tablo değeri ile karşılaştırılır. Eğer $T_i \geq F_{h, f, 1-\alpha}$ olduğu durumda i 'inci noktanın hareketli olduğuna, tersi durumda noktanın hareketsiz olduğuna karar verilir (Caspary, 1987; Chen, 1983; Setan ve Singh, 2001; Taşçı, 2010).

Her periyottaki (03 Ocak 2019, 05 Nisan 2019, 28 Aralık 2019, 25 Ocak 2020) GNSS ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenmiştir. Ardından noktaların kartezyen koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Bu veriler ile 03 Ocak 2019-05 Nisan 2019, 03 Ocak 2019-28 Aralık 2019 ve 03 Ocak 2019-25 Ocak 2020 periyotlarındaki deformasyonlar IWST yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 5-6-7).

Tablo 5. 03 Ocak 2019 ile 05 Nisan 2019 periyotları arası IWST Yöntemi ile deformasyon analizi

Nokta Adı	Test Büyüklükleri			F-tablo	Hareket Büyüklükleri			Karar
	T_x	T_y	T_z		d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	
ADY1	0.83	0.17	0.01	2.71	0.52	-0.19	0.05	Hareketsiz
ARPK	0.49	0.17	1.19	2.71	-0.39	-0.22	-0.60	Hareketsiz
BING	0.04	0.65	0.12	2.71	0.11	0.36	0.17	Hareketsiz
DIYB	0.47	1.13	1.58	2.71	0.37	0.55	0.63	Hareketsiz
ELAZ	1.24	0.02	0.00	2.71	0.40	-0.05	0.01	Hareketsiz
ERGN	0.05	0.55	0.21	2.71	-0.08	0.25	0.16	Hareketsiz
MALY	4.27	1.15	8.83	2.71	0.92	0.41	1.21	Hareketli
SIV1	1.82	1.43	0.05	2.71	-0.62	-0.49	-0.10	Hareketsiz
TNCE	7.90	2.31	12.40	2.71	-1.21	-0.61	-1.53	Hareketli

Tablo 6. 03 Ocak 2019 ile 28 Aralık 2019 periyotları arası IWST Yöntemi ile deformasyon analizi

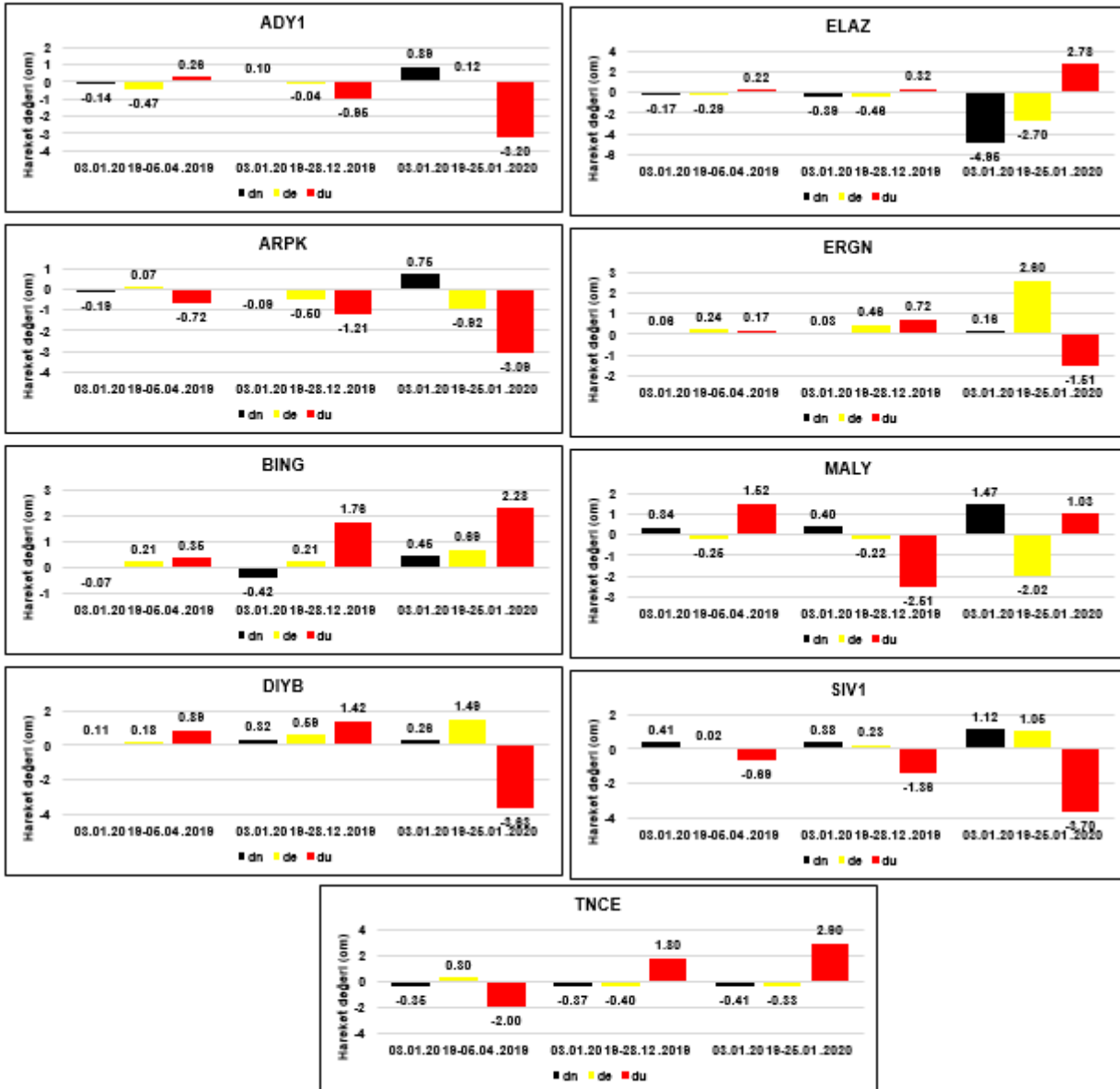
Nokta Adı	Test Büyüklükleri			F-tablo	Hareket Büyüklükleri			Karar
	T_x	T_y	T_z		d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	
ADY1	0.85	0.95	0.77	2.71	-0.61	-0.53	-0.50	Hareketsiz
ARPK	0.33	2.16	1.76	2.71	-0.38	-0.94	-0.84	Hareketsiz
BING	2.84	5.07	1.86	2.71	1.11	1.22	0.78	Hareketli
DIYB	0.23	2.67	3.56	2.71	0.33	1.05	1.12	Hareketli
ELAZ	2.56	0.01	0.06	2.71	0.67	-0.04	-0.10	Hareketsiz
ERGN	0.09	3.20	1.44	2.71	0.13	0.71	0.47	Hareketli
MALY	9.65	11.27	6.92	2.71	1.60	-1.54	-1.24	Hareketli
SIV1	4.63	1.82	1.18	2.71	-1.15	-0.65	-0.53	Hareketli
TNCE	8.65	2.32	2.88	2.71	1.51	0.73	0.85	Hareketli

Tablo 5-6-7 incelendiğinde her iterasyonda test büyüklüğü T' ye karşılık gelen F tablo değeri karşılaştırılarak T değerinin büyük olması durumunda yapılan karşılaştırmalarda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. IWST yöntemi ile kartezyen koordinat sisteminde 03 Ocak 2019 periyodu referans alınarak yapılan deformasyon analizine göre; 05 Nisan 2019 periyodu ile arasında

geçen sürede MALY ve TNCE TUSAGA-Aktif istasyonlarında (Tablo 5), 28 Aralık 2019 periyodu ile arasında geçen sürede BING, DIYB, ERGN, MALY ve TNCE TUSAGA-Aktif istasyonlarında (Tablo 6), 25 Ocak 2020 periyodu ile arasında geçen sürede tüm istasyonlarda (Tablo 7) hareketlerin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7. 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arası IWST Yöntemi ile deformasyon analizi

Nokta Adı	Test Büyüklükleri			F-tablo	Hareket Büyüklükleri			Karar
	T_x	T_y	T_z		d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	
ADY1	15.98	12.46	5.11	2.71	-2.49	-1.81	-1.25	Hareketli
ARPK	11.01	0.63	17.48	2.71	2.08	0.48	2.53	Hareketli
BING	1.21	8.35	10.38	2.71	0.68	1.50	1.78	Hareketli
DIYB	30.51	1.94	12.81	2.71	-3.27	-0.81	-2.03	Hareketli
ELAZ	214.62	11.58	28.61	2.71	5.79	1.24	-2.13	Hareketli
ERN	43.95	10.36	4.28	2.71	-2.65	1.18	-0.81	Hareketli
MALY	5.75	14.33	15.66	2.71	1.17	-1.65	1.79	Hareketli
SIV1	46.71	10.38	8.59	2.71	-3.46	-1.48	-1.38	Hareketli
TNCE	19.11	8.95	10.01	2.71	2.14	1.34	1.51	Hareketli



Şekil 5. IWST yöntemine göre belirlenen deformasyonların lokal topocentrik sistemindeki hareket miktarları

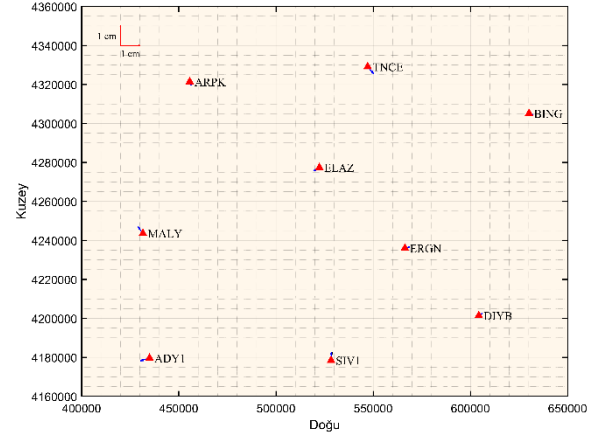
IWST Yöntemine göre TUSAGA-Aktif istasyonlarının 03 Ocak 2019 referans periyodu seçilerek 03 Ocak 2019-05 Nisan 2019, 03 Ocak 2019-28 Aralık 2019 ve 03 Ocak 2019-25 Ocak 2020 periyotları arası kartezyen koordinat sisteminde hesaplanan deformasyon miktarları, lokal toposentrik koordinat sistemine dönüştürülerek Şekil 5 'de verilmiştir.

3. BULGULAR

ADY1, ARPK, BING, DIYB, ELAZ, MALY, SIV1 ve TNCE TUSAGA-Aktif istasyonlarından oluşan bölgesel GNSS ağında iki farklı yöntem ile GNSS verileri kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Deformasyon analizi aşamasından önce TUSAGA-Aktif internet arayüzünden indirilen GNSS verileri serbest ağ dengelemesi yöntemine göre dengelenmiş ve istasyonların koordinat vektörleri ve bu vektörlere ait varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. θ^2 Ölçütü yöntemine göre yapılmış deformasyon analiz sonuçları tablo 2-3-4'te, IWST yöntemine göre yapılmış deformasyon analiz sonuçları tablo 5-6-7'de verilmiştir.

Ayrıca her iki yönteme göre yatay ve düşey deformasyon vektörleri çizdirilmiş ve şekil 6-7-8-9-10 ve 11'de gösterilmiştir. Yatay ve düşey deformasyon vektörlerini gösteren şekillerde siyah renkli vektörler θ^2 Ölçütü yönteminden elde edilen, mavi renkli vektörler ise IWST yönteminden elde edilen hareketleri göstermektedir. Genel olarak incelendiğinde her iki yönteme göre tespit edilen deformasyon miktarlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Buna karşın her iki yöntem arasında farklılıklar da mevcuttur. Bu farklılıklar aşağıda irdelenmiş ve sonuçlar ifade edilmiştir.

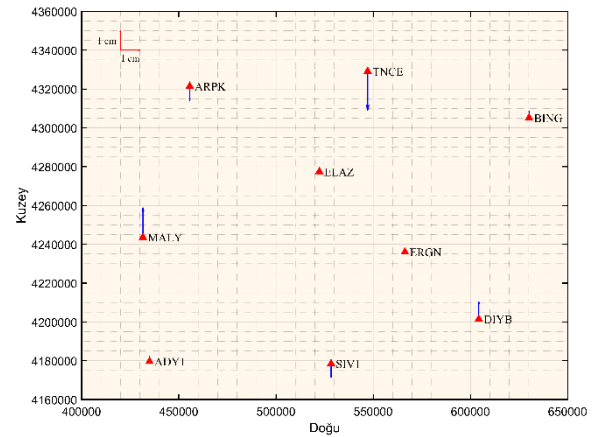
03 Ocak 2019-05 Nisan 2019 periyotları arasında θ^2 Ölçütü yöntemi, IWST yöntemine göre daha fazla hareketli nokta belirlemiştir. Bu periyot karşılaştırmasında kartezyen koordinat sisteminde IWST yöntemi 6 mm ve yukarı değerdeki hareketleri belirleyebilirken, θ^2 Ölçütü yöntemi 6 mm harekete sahip olan noktaları hareketli olarak belirlemiştir. θ^2 Ölçütü yönteminin daha fazla hareket belirlemesinin nedeni budur. Lokal toposentrik koordinat sisteminde her iki yönteme göre MALY istasyonunda kuzeybatı yönünde yaklaşık 4'mm'lik, TNCE istasyonunda 5 mm'lik güneydoğu yönünde hareket belirlenmiştir. DIYB ve SIV1 istasyonlarında yatay hareket yaklaşık 2-4 mm arasında kalmıştır. DIYB ve SIV1 istasyonları kuzeydoğu yönünde hareket etmiştir. θ^2 Ölçütü yönteminin DIYB istasyonunu hareketli olarak belirlemesi Kartezyen koordinat sisteminde yaklaşık 6 mm'lik düşey yönlü hareketinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. 03 Ocak 2019 ile 05 Nisan 2020 periyotları arası yatay deformasyon vektörleri

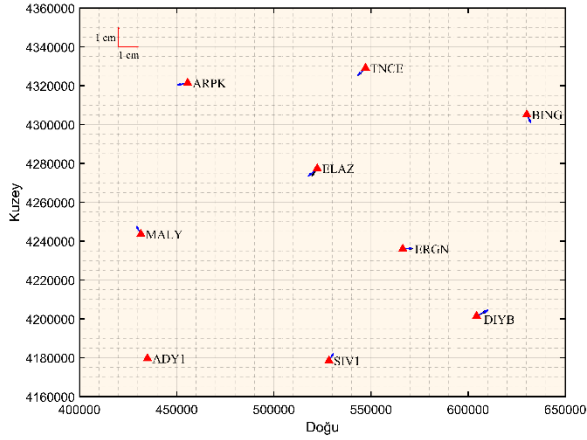
03 Ocak 2019-28 Aralık 2019 periyotları arasında her iki yöntemde aynı sayıda hareketli nokta belirlemiştir. Bu periyot karşılaştırmasında kartezyen koordinat sisteminde her iki yöntemde 6 tane istasyonda hareketin anlamlı olduğunu belirlemiştir. Fakat θ^2 Ölçütü yöntemi ELAZ istasyonunu hareketli olarak belirlerken, IWST yöntemi SIV1 istasyonunu hareketli olarak belirlemiştir.

BING istasyonunda güneydoğu yönünde yaklaşık 5 mm'lik, yukarı yönde yaklaşık 1.5 cm'lik; DIYB istasyonunda kuzeydoğu yönünde yaklaşık 6 mm'lik, yukarı yönde yaklaşık 1.5 cm'lik; ELAZ istasyonunda güneybatı yönünde 6 mm'lik; ERGN istasyonunda doğu yönünde yaklaşık 5 mm'lik, yukarı yönde yaklaşık 1 cm'lik; MALY istasyonunda kuzeybatı yönünde 5 mm'lik, aşağı yönde yaklaşık 2.5 cm'lik; SIV1 istasyonunda yaklaşık kuzeydoğu yönünde 4 mm'lik, aşağı yönde yaklaşık 1.5 cm'lik; TNCE istasyonunda güneybatı yönünde yaklaşık 5 mm'lik hareket belirlenmiştir. TNCE istasyonunda θ^2 Ölçütü yöntemine göre yukarı yönde 1.69 cm'lik hareket belirlenirken, IWST yöntemine göre yukarı yönde 2.90 cm'lik hareket tespit edilmiştir.

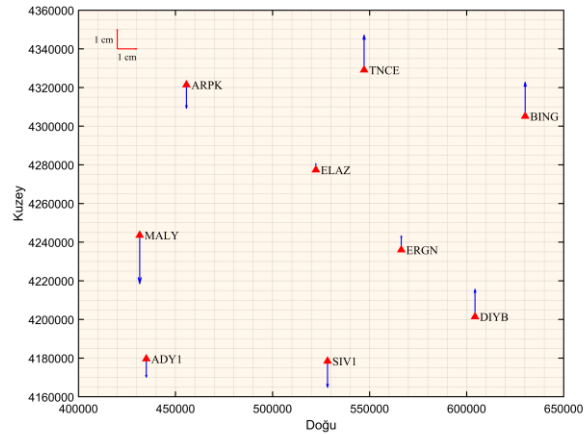


Şekil 7. 03 Ocak 2019 ile 05 Nisan 2020 periyotları arası düşey deformasyon vektörleri

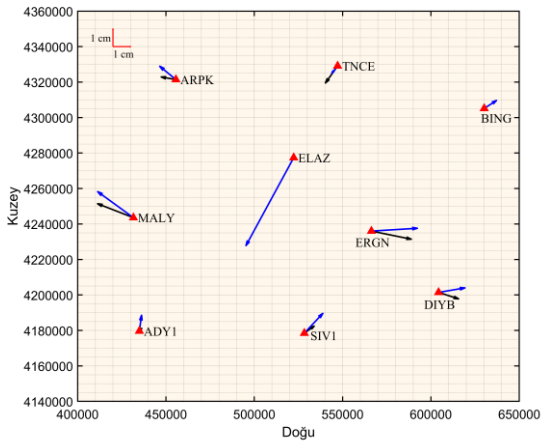
03 Ocak 2019-25 Ocak 2020 periyotları arasında kartezyen koordinat sisteminde yapılan deformasyon analizleri sonucunda, IWST yöntemi tüm noktalarda hareket belirlerken, θ^2 Ölçütü BING istasyonu hariç diğer tüm noktalarda hareket belirlemiştir.



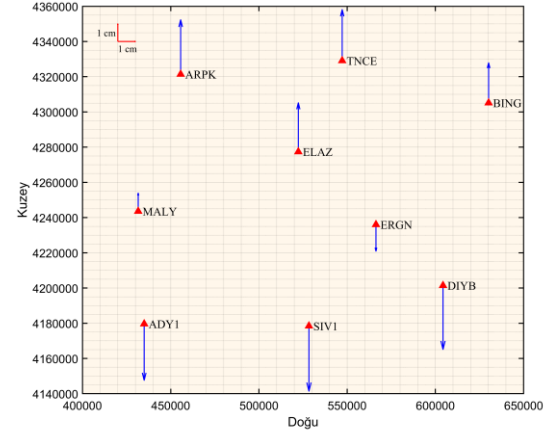
Şekil 8. 03 Ocak 2019 ile 28 Aralık 2020 periyotları arası yatay deformasyon vektörleri



Şekil 9. 03 Ocak 2019 ile 28 Aralık 2020 periyotları arası düşey deformasyon vektörleri



Şekil 10. 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arası yatay deformasyon vektörleri



Şekil 11. 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arası düşey deformasyon vektörleri

Bu periyot karşılaştırmasında θ^2 Ölçütü yöntemi 8 tane istasyonda hareketlerin anlamlı olduğunu belirlerken, IWST yöntemi bölgesel GNSS ağında bulunan tüm istasyonlardaki hareketleri anlamlı olarak tespit etmiştir. θ^2 Ölçütü yöntemiyle yapılan deformasyon araştırmasında her iterasyonda bir noktanın hareketlessiz olarak alınması nedeni ile yöntem BING istasyonunda hareket belirlenmemiştir. Bu istasyonda IWST yöntemi ile yatay doğrultuda yaklaşık 0.8 cm'lik, düşey doğrultuda ise yaklaşık 2 cm'lik hareket belirlenmiştir. Diğer istasyonlarda yatay doğrultuda hareket yaklaşık 0.2-5.5 cm arasında, düşey doğrultuda hareket ise mutlak olarak yaklaşık 1-3 cm arasında belirlenmiştir.

03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arasında, ADY1, BING ve SIV1 istasyonları kuzeydoğu yönünde; ARPK ve MALY istasyonları kuzeybatı yönünde; TNCE ve ELAZ istasyonları güneybatı yönüne doğru hareket ettiği belirlenmiştir. DIYB ve ERGN istasyonları, θ^2 Ölçütü yöntemine göre kuzeydoğu yönüne, IWST yöntemine göre ise güneydoğu yönüne doğru hareket ettiği tespit edilmiştir. DAFZ 'nin üst kısmında yer alan ARPK, BING, ELAZ, MALY ve TNCE istasyonlarının kendi içerisinde aynı yönde (aşağı) hareket ettiği, DAFZ 'nin alt kısmında yer alan ADY1, DIYB, ERGN ve SIV1 istasyonlarının da kendi içerisinde aynı yönde (yukarı) hareket ettiği belirlenmiştir.

Genel olarak hareketler incelendiğinde ELAZ, MALY, ERGN, SIV1 ve DIYB istasyonlarında tüm periyotlar arası hareket yönlerinin aynı olduğu, geri kalan ADY1, ARPK, BING ve TNCE istasyonlarında ise hareket yönlerinde değişiklikler gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşey yönde ise BING ve SIV1 istasyonları hariç diğer istasyonların hareket yönlerinde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. İstasyonların periyotlar arası yatay ve düşey doğrultuda hangi yöne hareket ettikleri Tablo 8'de ayrıca gösterilmiştir.

Tablo 8. TUSAGA-Aktif istasyonlarının ölçü periyotları arasındaki hareket yönleri

Nokta Adı	03 Ocak 2019-05 Nisan 2019		03 Ocak 2019-28 Aralık 2019		03 Ocak 2019-25 Ocak 2020	
	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
ADY1	-	-	-	-	Kuzeydoğu	Aşağı
ARPK	-	-	-	-	Kuzeybatı	Yukarı
BING	-	-	Güneydoğu	Yukarı	Kuzeydoğu	Yukarı
DIYB	Kuzeydoğu	-	Kuzeydoğu	Yukarı	Kuzeydoğu Güneydoğu	Aşağı
ELAZ	-	-	Güneybatı	-	Güneybatı	Yukarı
ERGN	-	-	Doğu	Yukarı	Kuzeydoğu Güneydoğu	Aşağı
MALY	Kuzeybatı	Yukarı	Kuzeybatı	Aşağı	Kuzeybatı	Yukarı
SIV1	Kuzeydoğu	-	Kuzeydoğu	Aşağı	Kuzeydoğu	Aşağı
TNCE	Güneydoğu	Aşağı	Güneybatı	Yukarı	Güneybatı	Yukarı

Tablo 8'e göre Elazığ merkezli meydana depremler TUSAGA-Aktif istasyonlarında yatay hareketin genellikle Kuzey-doğu ve Güney-batı uzanımlı olacak şekilde harekete neden olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

DAFZ üzerinde 2019 ve 2020 yıllarında farklı zamanlarda birçok deprem meydana gelmiştir. 1 Ocak 2019-24 Ocak 2020 tarihleri arasında Elazığ İli ve çevresinde farklı tarihlerde ve deprem büyüklüğü 4'ün üzerinde olan üç deprem meydana geldiği tespit edilmiş ve bu depremlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarında oluşabilecek konumsal etkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak TUSAGA-Aktif internet arayüzünden deprem günlerinden bir gün sonraki GNSS ölçüleri indirilmiştir. Ardından GNSS ölçüleri değerlendirilmiş, istasyon konum bilgileri ve varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Sonrasında her bir güne ait veriler serbest dengeleme yöntemine göre dengelenmiştir. İki farklı statik deformasyon analiz modeli kullanılarak istasyonların hareketlerinin anlamlılıkları incelenmiş, hareket büyüklükleri ve yönleri tespit edilmiştir. Lokal olarak oluşturulan GNSS ağında bulunan istasyonların hepsinin hareketli olma ihtimali göz önüne alınarak iki farklı deformasyon modeli kullanılmıştır. İki yöntem birbirleriyle hemen hemen benzer sonuçlar vermiştir. Fakat iki yöntemin arasındaki en önemli fark 03 Ocak 2019 ile 28 Aralık 2019 periyotları arasındaki karşılaştırmasında, θ^2 Ölçütü yöntemine göre SIV1 istasyonunda olmuştur. Bu istasyonda deformasyon θ^2 Ölçütü yöntemine göre belirlenemezken, IWST yöntemi bu istasyonda yaklaşık yatay yönde 0.44 cm, düşey yönde ise -1.36 cm'lik hareket belirlemiştir. 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arasındaki karşılaştırmasında, θ^2 Ölçütü yöntemine göre BING istasyonunda olmuştur. Bu istasyonda deformasyon θ^2 Ölçütü yöntemine göre belirlenemezken, IWST yöntemi bu istasyonda yaklaşık yatay yönde 0.83 cm, düşey yönde ise 2.28 cm'lik hareket belirlemiştir. 03 Ocak

2019 ile 28 Aralık 2019 periyotları arasındaki karşılaştırmada tüm istasyonlarda yaklaşık 4-6 mm'lik yatay hareket belirlenmiştir. Aynı istasyonlarda mutlak olarak da yaklaşık 2.90 cm'ye kadar hareket tespit edilmiştir. Deprem büyüklüğünün TUSAGA-Aktif istasyonları üzerindeki etkisinin açıkça görüldüğü 03 Ocak 2019 ile 25 Ocak 2020 periyotları arasındaki karşılaştırmada en büyük hareket beklendiği gibi ELAZ istasyonunda meydana gelmiştir. Bu istasyon, yatay doğrultuda yaklaşık 5.5 cm, düşey doğrultuda ise mutlak olarak 2.78 cm hareket etmiştir. Aynı periyotta düşey yönde mutlak olarak ADY1, ARPK, DIYB, ELAZ, SIV1 ve TNCE istasyonlarında 3 cm'ye yakın ve büyük miktarda hareket belirlenmiştir.;

ERGN ve MALY istasyonlarında ise düşey yönde mutlak olarak 1 cm hareket tespit edilmiştir. Bu periyot karşılaştırmasında en büyük düşey yönlü hareket ise -3.70 cm ile SIV1 istasyonunda meydana gelmiştir. Belirlenen yatay yönlü hareketlerin yönlerinin genellikle kuzeydoğu, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde olması, Doğu Anadolu Fay Zonu' nun hareket özelliği ile uyusmaktadır.

Yakın zamanda bu konuda, Yalvaç (2020) tarafından yapılan çalışmada hemen hemen aynı TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak, bu istasyonlarda yatay ve düşey doğrultuda hareketler belirlenmiştir. Yalvaç (2020) tarafından yapılan çalışma sonucu belirlenen yatay yönlü hareketlerin bu çalışma sonuçları ile hemen hemen birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir. Diğer taraftan, Yalvaç (2020) tarafından belirlenen düşey yönlü hareketlerin mm seviyesinde olduğu göz önüne alındığında, bu çalışma kapsamında belirlenen cm seviyesindeki düşey yöndeki hareketlerin olması beklenen değerlerden büyük olduğu sonucuna varılabilir. Bu durumun da bu çalışmada kullanılan ticari yazılımdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine de ticari yazılım kullanarak TUSAGA-Aktif verileri yardımıyla yatay yönlü tektonik hareketlerin belirlenebileceği sonucuna varılabilir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif ağına ilişkin GNSS verilerinin sağlanmasında Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğü' ne, veri olarak kullanılan IGS (International GNSS Service) ürünlerinden dolayı IGS servisine ve makaleyi değerlendiren hakemlere değerli yorum ve önerileri için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Yılmaz, O. ve Havazlı, E. (2016). Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field. *Journal of Geodynamics*, (94-95), 1-12.
- Aladoğan, K., Tiryakioğlu, İ., Yavaşoğlu, H., Alkan, R.M., Alkan, M.N., Köse, Z., İlçi, V., Ozulu, İ.M., Tomuş, F.E. ve Şahin, M. (2017). Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 997-1003.
- Altınoğlu, F.F. (2019). Elazığ ili ve çevresinin çizgisel yapılarının gravite verisine sınır analizi teknikleri uygulanarak belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 785-793.
- Anadolu, N.C., ve Kalyoncuoğlu, Ü. Y. (2010). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği ve Deprem Tehlike Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 84-94.
- Ansari, K., Çorumluoğlu, Ö. ve Sharma, S.K. (2017). Numerical Simulation of Crustal Strain in Turkey from Continuous GNSS Measurements in the Interval 2009–2017. *Journal of Geodetic Science*, 7(1), 113-129.
- Başkan, G. (2018). Karakoçan ve Halepçe Depremlerinin TUSAGA-Aktif İstasyonlarına Etkilerinin Web Tabanlı GNSS Servisiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayramoğlu, B. (2020). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun, Palu Segmentinin, Üçdeğirmenler-Karşibahçeler (Palu-Elazığ) Arasında, Paleosismolojik ve Morfotektonik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Caspary, W. F. (1987). Concepts of Network and Deformation Analysis. School of Surveying, University of New South Wales, Monograph No. 11, Kensington, NSW, Australia, 183 s.
- Chen, Y. Q. (1983). Analysis of Deformation Surveys - A Generalized Method. Technical Report (94), University of New Brunswick, Fredericton, N.B., Canada, 264 s.
- Çoban, K.H., ve Sayıl, N. (2018). Investigation of the seismicity of East Anatolian fault zone (EAFZ) according to Poisson and Exponential distribution models. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 491-500.
- Ervural, S., ve Tuşat, E. (2019). GPS Yayın Efemerisi Doğruluğunun İncelenmesi. *Geomatik Dergisi*, 4(3), 170-178.
- Gelişkan, Ş. (2019). Hassas Nokta Konumlama İle Deformasyonların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kavak, U. S. (2020). GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kayıkçı, E.T., ve Yalçınkaya, M. (2015). Determination of Horizontal Movements by Static Deformation Models: A Case Study on the Mining Area. *Experimental Techniques*, 39 (6), 1-12.
- Kayın, S. (2019). Van Gölü Civarının (Doğu Anadolu) Tektonik Gelişiminin Ve Deformasyonunun Paleomanyetik Çalışmalar İle İncelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Khalifa, A. (2018). Morphotectonic Analysis Of The East Anatolian Fault Zone (E. Turkey) Using Remote Sensing Techniques. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Köküm, M. (2019). Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 119-127.
- Kutoğlu, H.S., Toker, M. ve Mekik, C. (2016). The 3-D strain patterns in Turkey using geodetic velocity fields from the RTK-CORS (TR) network. *Journal of African Earth Sciences*, 115, 246-270.
- Öztürk, E., ve Şerbetçi, M. (1992). Dengeleme Hesabı Cilt III. Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını, 558 s.
- Setan, H., ve Singh, R. (2001). Deformation Analysis Of a Geodetic Monitoring Network. *Geomatica*, 55 (3), 333-346.

- Şahin, A. (2019). Kurucaova Havzası (Doğanşehir, Malatya) Yakın Çevresinin Neotektonik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tan, A., ve Eyidoğan, H. (2019). The Kinematics of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey and Seismotectonic Implications. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 11(4), 494-506.
- Tanrıverdi, G.G. (2018). Kahramanmaraş Üçlü Ekleminde Yer Kabuğu Hareketlerinin GPS Ölçüleri İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taşcı, L. (2010). Analysis Of Dam Deformation Measurements With The Robust And Non-Robust Methods. *Scientific Research And Essays*, 5 (14), 1770-1779.
- Ünal, S.K. (2019). Deprem Kavramı Algısı Ve Depreme İlişkin Değerlendirmeler; 8 Mart 2010 Okçular-Kovancılar Depremi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ürüşan, A.Y. (2014). Relations Between The GNSS, InSAR and The Other Techniques For Prediction of Earthquakes. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 7631-7642.
- Yalvaç, S. Determining the Effects of the 2020 Elazığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 15-20.
- Yavaşoğlu, H., Alkan, M. N., Ozulu, İ. M., İlçi, V., Tombuş, F. E., Aladoğan, K., Şahin, M., Tiryakioğlu, İ. ve Kıvrak, S. O. (2015). Recent Tectonic Features of the Central Part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 2(1), 77-83.
- Yalçınkaya, M. (2003). Monitoring Crustal Movements In West Anatolia By Precision Leveling. *Journal Of Surveying Engineering*, 129, 44-49.
- Yıldırım, Ö., Yaprak, S. ve İnal, C. (2014). Determination Of 2011 Van/Turkey Earthquake (M = 7.2) Effects From Measurements Of CORS-TR Network. *Geomatics, Natural Hazards And Risk*, 5(2), 132-144.

GEOmatik

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi	
Umut Özkaya, Levent Seyfi	84
** Yapı Ruhsatlandırmadan Kat Mülkiyetine Giden Süreçlerin Dijitalleştirilmesi: Mevcut Durum Analizi ve Öneri	
Doğuş Güler, Tahsin Yomralıoğlu	93
** Fındık Bahçelerinin Sentinel-2 Verileri Kullanılarak Pıksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleriyle Belirlenmesi	
Ceyhun Apaydın, Saygın Abdikan	107
** Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi	
Berk Anbaroğlu, Naim Cem Güllüoğlu, Gökhan Bilgin, Arif Çağdaş Aydınoğlu	115
** Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Kapsamında Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi	
Kamil Karataş, Eyyüp Gençer	124
** TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği	
Fuat Başçiftçi	135
** Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi	
Ahmet Ünal, Ferruh Yıldız	148
** Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi	
Berkant Konakoğlu, Alper Akar	165