

## Vatandaş Bilimi Tabanlı Vektör Haritaların Kullanılması ile İnsansız Hava Aracından Elde Edilen Görüntülerin Yöneltilmesi için Otomatik Yer Kontrol Noktası Üretimi

Nusret DEMİR<sup>\*1</sup>, Hakan KÖKSAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve CBS Anabilim Dalı, Antalya

Geliş tarihi: 26.02.2018

Kabul tarihi: 25.12.2018

### Öz

Son yıllarda insansız hava araçları teknolojisi hızlı bir gelişim göstermiştir. Bu yeni teknoloji ile hızlı, etkin görüntü alımı yapılabilmekte, ayrıca görüntü verileri işlenerek hassas harita, ortogörüntü ve sayısal arazi modeli oluşturulabilmektedir. IHA'lerden elde edilen görüntülerin bu amaçlarla kullanımı için fotogrametride mutlak yöneltilmenin yapılabilmesi için, eğer kamera çekim konuları bilinmiyorsa alım yapılan alanda koordinatı bilinen noktalara yani diğer bir deyişle yer kontrol noktalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu noktalar geleneksel olarak arazi çalışmaları (total station, GNSS sistemleri vb.) ile elde edilmektedir, zaman alıcıdır. Bunun yanında, mevcut doğruluk derecesi bilinen mevcut harita, uydu görüntüsü gibi mekânsal veriler de yer kontrol noktası sağlayacak potansiyele sahiptir. Bu çalışmada mevcut vektör haritaların kullanımıyla, istenen doğruluk derecesinin kullanılan dış verinin kalitesine bağlı olarak, yer kontrol noktalarının kullanımını ortadan kaldırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla güncellenen en bilinen vatandaş bilimi uygulamalarından 'OpenStreet Map' vektör haritalar (OSM) ve IHA'lerden elde edilen görüntülerle otomatik eşleştirilmesi ile yer kontrol noktaları üretilmiş, ortogörüntü ve sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçlarının kalitesi, mevcut detaylı oluşturulmuş bir vektör haritadan elde edilen yer kontrol noktalarının, üretilen noktalarla karşılaştırılması ve üretilen sayısal yükseklik modellerinin üç boyutlu karşılaştırılması ile analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız hava aracı, Veri eşleştirme, Vatandaş bilimi, Uzaktan algılama

### Automated Generation of Ground Control Points for Orientation of UAV Images by Matching with Citizen Science-Based Vector Maps

#### Abstract

In recent years, unmanned aerial vehicles technology has developed rapidly. With this new technology, fast and effective image acquisition can be performed, and accurate map, orthogonal image and digital terrain model can be created by processing image data. In order to use the images obtained from the UAVs for these purposes, it is necessary to perform the interior and exterior orientation of the acquired images

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nusret DEMİR, [nusretdemir@akdeniz.edu.tr](mailto:nusretdemir@akdeniz.edu.tr)

and to establish the ground control points for this purpose. These points are obtained by land surveys, and it is time consuming and expensive. On the other hand, the existing geodata have high potential to produce the ground control points with their accuracy. With this work, it is aimed to eliminate the use of ground control points with the use of existing geospatial data, a citizen science application existing openstreetmap (OSM) vector maps are used. The quality of the results of the study was evaluated by comparing the ground control points measured on the existing accurate map which created with land surveying. The comparison of the 3D profiles and surface models is also performed.

**Keywords:** Unmanned air vehicle, Data matching, Citizen-science, Remote sensing

## 1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA), son yıllarda havadan yüksek kaliteli görüntü alımında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Gerek askeri, gerek sivil uygulamalarda esnek ve hızlı bir biçimde görüntü elde etme imkânı sunduğundan dolayı, yeni nesil mekânsal bilgi teknolojilerinde ana veri kaynağı olma yolunda hızla ilerlemektedir.

Havadan elde edilen her türlü görüntülerle gerek iki boyutlu, gerekse üç boyutlu haritaların elde edilmesi, son yıllarda aktif araştırma alanlarından birisi haline gelmiştir. Görüntülerden 3 boyutlu sayısal yükseklik modeli ve harita oluşturulması için görüntülerin iç ve dış yöneltilmelerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Dış yöneltilmede mutlak yöneltilme, kamera konumlarının ve dönüklüklerinin doğrudan sağlanmasının yanında ilgili koordinat sisteminde ölçümleri yapılmış yer kontrol noktaları ile de gerçekleştirilebilmektedir. Bu noktalar klasik olarak arazi üzerinde yapılan jeodezik alımlarla ölçülür. Bu noktaların arazi üzerinde ölçümlerinin yapılması hem zaman alıcı hem de maliyeti yüksek bir işlemdir. Bu çalışmada vatandaş bilimi ile üretilen vektör haritaların, İHA görüntüleriyle eşleştirilmesiyle yer kontrol noktaları üretilmiştir. Bu üretilen noktalar, dış yöneltilme elemanlarının hesabında kullanılmıştır. Yer kontrol noktaları, arazi üzerinde genelde GPS, total station gibi özel ölçme sistemi destekli ölçümler ile elde edilmektedir. Bu işlem hem zaman alıcı, hem de maliyeti yüksek bir işlemdir. Geliştirilecek yöntem ile, yer kontrol noktası ölçümüne gerek kalmadan, insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin dış yöneltilmeleri diğer mevcut vektör haritalardan otomatik olarak sağlanacaktır. Arazide jeodezik

yöntemler kullanılarak elde edilecek kontrol noktalarının üretilmesi için kullanılacak diğer mevcut mekânsal veriler açık kaynaklı veya diğer ticari amaçlarla satılan mekânsal verilerdir. Açık kaynaklı veriler tüm dünyanın kullanımına sunulmuş ücretsiz verilerdir. Bunların en bilineni openstreetmap (OSM)'tir. OSM sürekli güncellenen, kullanıcıların da düzenlemesine, güncellemesine imkân tanıyan, vektör biçiminde harita veri kaynağıdır. OSM, farklı kullanıcılar tarafından, arazi üzerinde yapılan GPS ölçümlerinden, yöneltilmiş hava fotoğraflarından ve uydu görüntülerinden oluşturulmuştur.

Kounadi [1] yaptığı çalışmada OSM verilerinin mekânsal hatasını referans HMGS (Yunanistan resmi kartografik bürosu yol verisi) ile karşılaştırmış ve %89,54 uyum tespit etmiştir. Bu da yol orta çizgilerinin yüksek derecede hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Zulfıqar [2]'da yaptığı çalışmada OSM verisinin mekânsal hatasını ortalama 6 m olarak hesaplamıştır. Bir başka çalışmada da Fan ve arkadaşları [3] OSM verisindeki binaların mekânsal ortalama hatasını 4,13 m ve standart sapmasını da 0,71 m olarak hesaplamıştır. Diğer mekânsal verilere örnek olarak uydu görüntülerini ya da yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modellerini verebiliriz. Daha önce iç ve dış yöneltilmeleri yapılmış uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da yine yer kontrol noktalarının otomatik elde edilmesi için kullanılabilir. Bu amaçla, gerek yüksek çözünürlüğe sahip hava fotoğrafları, uydu görüntülerinin de yer kontrol noktası kaynağı olarak kullanılması mümkündür. Doğrudan ortogörüntü olarak temin edilebilir ya da kabaca coğrafi referanslandırılması yapılmış görüntüler temin edilerek, ulusal fotogrametrik nirengi ağı ile yöneltilmeleri sağlanabilir.

Bir diğer açık kaynak mekânsal veri ise, SRTM, GTOPO ve ASTER sayısal arazi modelleridir. Bu veriler sadece yükseklik bilgilerini içerdiğinden, sadece su alanlarının (göl, deniz) sınırları yer kontrol noktaları elde edilmesinde kullanılabilir. Yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeline sahip olunması durumunda, bina gibi nesnelere de yer kontrol noktası elde edilmesinde kullanılabilir. Nitekim proje alanında bu tür veri olmadığı için, sayısal yükseklik modelleri sadece üretilen yer kontrol noktalarının yükseklik değerlerinin belirlenmesi için kullanılmışlardır. Bu ek veriler yardımıyla arazi çalışmasına gerek duyulmadan yer kontrol noktaları üretilmiş ve bunlarla da İnsansız hava aracı (İHA)'dan elde edilen görüntülerin dış yönelmeleri sağlanmıştır. Hem İHA üzerinde GPS sistemi ihtiyacı elemine edilmiş, hem de istenen doğruluk seviyesinin yeterli olduğu alanlarda zaman-emek yoğun jeodezik yöntemle yer kontrol noktası ölçümü ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmada, iç yönelme elemanları da kullanılan kameranın kalibrasyonu ile elde edildikten sonra, dış yönelme elemanlarının hesaplanması ile ortogörüntü ve sayısal arazi modeli oluşturulmuştur.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnsansız hava aracı sistemleri, uzaktan algılama ve fotogrametrik veri işleme çalışmalarında son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanan, görüntü alımı konusunda en esnek teknolojilerin başında gelmektedir. En güncel pazar araştırmasına göre [4], insansız hava araçları pazarı küresel anlamda 5400 milyon avro değerine sahiptir. Robot, bilgisayarlı görme ve mekânsal bilgi teknolojileri, uzaktan algılamanın harita üretiminde kullanılması, büyüyen mekânsal bilgi ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmaktadır ve büyüyen bir endüstri olmaya başlamıştır [5-8]. İnsansız hava araçları ilk olarak askeri amaçlarla geliştirilmişlerdir. 1916 yılında A.M.Low tarafından geliştirilen sistem, yine Wright kardeşlerin ürettiği Hewitt-Sperry otomatik uçak çalışmaları, 1933'de İngiliz deniz kuvvetleri Kraliçe Arı adını verdikleri insansız hava aracı, Amerika hava kuvvetlerinin Vietnam'da kullandığı Ateş Böceği ismini

verdikleri sistemler ve 1973 Ekim ayında İsrail'in Mısır karşısında kullandığı sistemlerle gelişme sağlamışlardır. 1970'li yılların sonlarına doğru da bazı araştırmacılar tarafından, harita ve mekânsal bilgi elde etmede kullanılması potansiyelleri konusunda ilk çalışmalar başlamıştır [9,10]. Geleneksel uzaktan algılama ve fotogrametrik veri işlemede olduğu gibi, insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemlerle işlenmesi yönündeki bilimsel çalışmalar öncelikli konudur [11].

Şunu da not etmek gerekir ki yeni teknolojilerden faydalanma konusunda araştırmacılar bilinen yöntemleri insansız hava araçlarından elde edilen görüntülere göre uyarlamayı uygun görmektedir [12,13]. Bazı insansız hava aracı sistemleri, doğrudan kamera yönelmesi için kamera konumunu tespit eden (tPVA) sistemler taşırlarken, pek çoğu havai nirengi yöntemi ya da diğer deyişle dolaylı konumlandırma ile kamera yönelmesi mümkün olabilmektedir. Kamera yönelmesi için parametreleri sağlayan sistemlerle, görüntüler arasında otomatik olarak bağlama noktası tespiti mümkün olabilmektedir. Dolaylı yönelme konusunda akademik çalışmalar em hassasiyetinde yönelmeler sağlamıştır [14]. Bu çalışma da dolaylı yönelme kapsamındadır. Doğrudan yönelme, İHA üzerinde bir GPS ve INS sistemi ile mümkündür, böylece dış yönelme elemanları hesaplanabilir. Bunda da yüksek doğruluk, algılayıcı yerleşimi ve GPS-IMU sistemi eşlemesi çok büyük önem arz etmektedir. [15-17]. Bu da düşük maliyetli İHA sistemlerinde mümkün olmamaktadır [18]. Çünkü İHA'nın konum ve yükseklik bilgilerinin kaydında oluşan hatalar büyük miktarlarda oluşur, İHA'nın elde ettiği görüntülerde genel olarak merkez noktasında 30 km'lik bir hata söz konusudur. İHA sistemlerinden elde edilen görüntülerde, doğrudan yönelme sistemine sahip olsalar bile, yer kontrol noktası tesisinin önemi vurgulanmıştır [19].

Tanathong ve Lee [20] yaptıkları çalışmada, İHA üzerine monte edilen GPS/INS sisteminden elde edilen kamera konumları ve dış yönelme parametrelerini, görüntülerden elde edilen bağlama noktaları ile iyileştirme yoluna gitmişlerdir. Li ve arkadaşları [21] de yer kontrol noktalarını hiç

kullanmadan doğrudan IHA üzerine monte edilen GPS/INS sisteminden elde edilmiş kamera konum ve dönüklük açılarını görüntülerin yöneltilmesinde kullanmışlardır.

Fakat elde edilen ortogörüntülere ait hiçbir kalite değerlendirmesi gerçekleştirilmemişlerdir. Xiang ve Tian [22]'de kamera iç yöneltilme elemanlarını kalibrasyon ile elde edip, arazide GPS le ölçümleri ile elde edilmiş yer kontrol noktalarını görüntülerin yöneltilmesinde kullanmışlardır. Yer kontrol noktaları yüksek doğrulukla elde edildiği için meydana gelen hata da azdır. Liew ve arkadaşları [23] geliştirmek istediğimiz yöntem benzer ancak eksik bir yaklaşım geliştirmiştir. Uçaktan (IHA'dan değil) görüntülerin yöneltilmesi için gerekli yer kontrol noktalarını başka bir referans görüntüden elde etmeyi amaçlamışlardır. Fakat bunu tamamen elle gerçekleştirmişlerdir, bu da zaman alıcı ve gürbüz olmayan, hata yapmaya açık bir sonuç ortaya çıkarmaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada, uydu görüntüleri, insansız hava aracından elde edilen görüntüler ve vektör harita verileri kullanılmıştır.

Çalışmada, insansız hava aracına monte edilmiş Canon PowerShot SX260 HS fotoğraf makinası kullanılmıştır. Belirlenen alanda 26 Şubat 2015 tarihinde 250 görüntü alımı yapılmış ve çalışmada kullanılmak üzere uygun 56 görüntü seçilmiştir. Görüntüler %78 boyuna bindirme oranı ve %52 enine bindirme oranına sahiptir.

Ortogörüntü ve sayısal yüzey modeli üretimi için gerekli coğrafi referanslı yükseklik değerleri verisi olarak 1 arc-saniye çözünürlüğe sahip ASTER GDEM v2 kullanılmıştır.

#### 3.2. Çalışma Alanı

Bu çalışma için belirlenen çalışma alanı Şekil 1'de de görülebildiği üzere yaklaşık 420000 m<sup>2</sup> büyüklüğünde, Akdeniz Üniversitesi kampüsünde

30°38'59.89"E ve 36°53'45.03"N merkez koordinatlarına sahip bir alandır.



Şekil 1. Çalışma alanının genel sınırı

#### 3.3. Yöntem

Geliştirilen yöntem, temel olarak IHA görüntüsü ve diğer veri setlerinin eşleştirilip ortak noktaların bulunmasını ve bulunan noktaların da yükseklik değerlerinin, bir sayısal arazi modeli kullanılarak belirlenmesini amaçlamaktadır.

İkinci olarak, IHA görüntüleri Worldview-2 görüntüleri üzerinden elle oluşturulmuş vektör haritalarla mevcut OSM verileri güncelleştirilmiştir. IHA görüntüleri ve vektör haritalar ile OSM verisi farklı özelliklere sahip olduklarından, öncelikle iki farklı verinin birbirlerine benzeştirilmesi gerekmektedir. Benzeştirme işlemi ile IHA görüntülerinin de vektör haritalara benzemesi amaçlanmıştır.

IHA görüntüleri ile vektör haritalarının benzeştirme işlemi, IHA görüntülerini bir takım filtreler uygulayarak mümkündür. Bunun için öncelikle, görüntüdeki gürültü giderilmiştir. Gürültünün giderildikten sonra doğru parçaları elde edilmiştir. Doğru parçaları ile vektör haritada bulunan doğru parçaları farklı koşullar uygulanarak benzerlikler yönünden eşleştirilmiştir. Eşleştirilen doğru parçalarının kendi komşuları ile kesişimi yardımıyla elde edilen noktalar da eşlenik nokta olarak kabul edilmiştir.

##### 3.3.1. Vektör Harita ve Görüntü Eşleştirilmesi

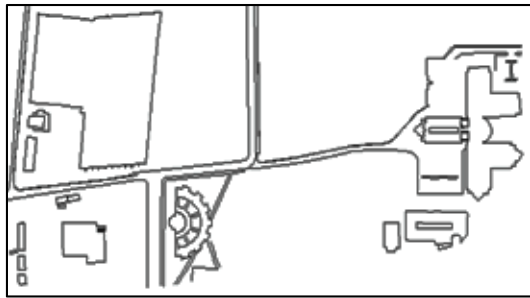
Openstreetmap (OSM), sürekli güncellenen hem vektör hem de hücre (raster) biçiminde bulunan bir

veridir. İstenilen harita projeksiyonu seçilerek indirilebilmektedir. OSM, dünyada her bir kullanıcının düzenleyebileceği ortak bir harita oluşturma platformudur. OSM'nin geliştirilmesi ve büyümesi, dünyanın birçok yerinde harita bilgisinin kullanımı veya erişilebilirliği ucuz taşınabilir uydu navigasyon cihazlarının ortaya çıkmasıyla artış göstermiştir. OSM, gönüllü coğrafi bilgi toplamanın ve sivil bilimin önemli bir örneği olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada test alanına ait OSM verisi QGIS ortamından sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Openstreetmap (OSM) verisi

Vektör harita, çalışma alanına ait Worldview-2 uydu görüntüsü kullanılarak, QGIS yazılımında oluşturulmuştur ve OSM verisi (Şekil 2) ile bütünleştirilmiştir (Şekil 3). Tüm sokak ve bina kenarları sayısallaştırılıp doğru parçası olarak tanımlanmıştır.



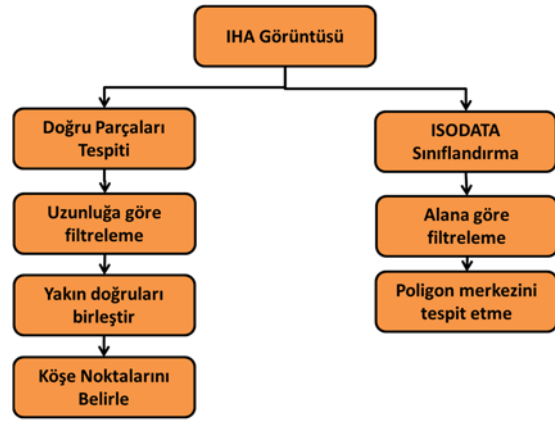
Şekil 3. Oluşturulmuş vektör harita

### 3.3.2. Eşlenecek Noktaların Çıkarımı

Vektör harita ile IHA görüntüsünün eşleştirilmesi için öncelikle iki verinin birbiriyle benzeştirilmesi

gerekmektedir. İlgili iş akışı Şekil 4'de görülebilmektedir. Bunun için IHA görüntüleri bazı işlemlerden geçirilmiştir.

Görüntüdeki gürültülerin giderilmesi için kenar koruyan gürültü giderme filtresi [24] uygulanmıştır. Köşe noktalarının yer kontrol noktası olarak kullanılması fikrinden hareketle, IHA görüntüsündeki çizgisel detaylar tespit edilmiş ve köşe noktaları tespit edilmiştir.



Şekil 4. Eşleşecek noktaların çıkarımı işlem adımları

### 3.3.3. Köşe Noktalarının Tespiti

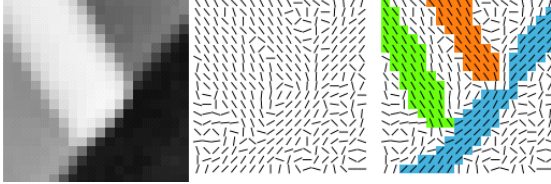
Köşe noktalarının bulunması görüntüdeki doğrusal kenarların bulunmasına dayanmaktadır. Öncelikle hem OSM hem IHA görüntüsünden Canny kenar yakalama yöntemi ile görüntüdeki kenarlar bulunmuştur (Şekil 5).



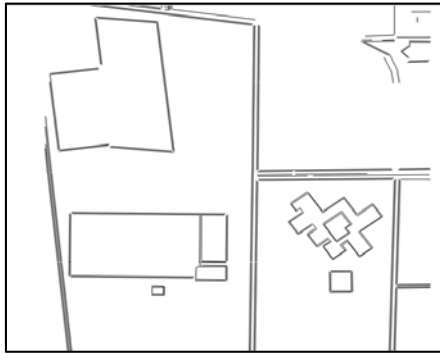
Şekil 5. Kenar yakalanmış OSM ve IHA verisi

Daha sonra her bir pikseldeki kenarlara ait doğrultular hesaplanmıştır. Doğrultuları hesaplanmış kenarlar daha sonra aynı doğrultuya sahip olanlar şeklinde gruplanmıştır. Aynı

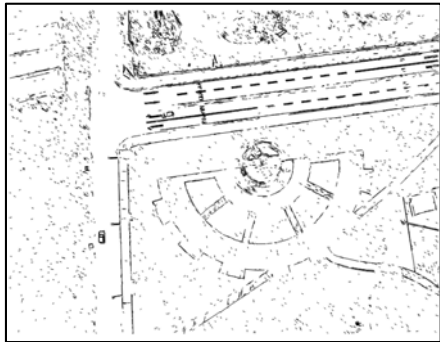
doğrultuya sahip kenarların gruplanmasıyla doğrusal çizgiler elde edilebilmektedir (Şekil 6-8).



**Şekil 6.** Görüntü (sol), doğru parçası doğrultuları (orta), doğru parçaları (sağ) [25]



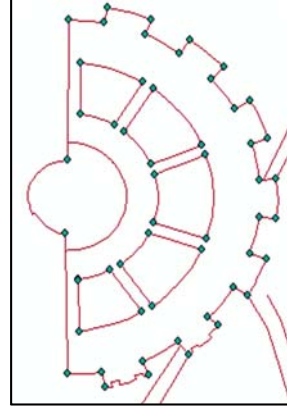
**Şekil 7.** OSM verisinden elde edilen doğru parçaları



**Şekil 8.** IHA Görüntüsünden elde edilen doğru parçaları

Vektör haritadan elde edilen doğru parçaları (Şekil 7) elde edildikten sonra komşu olanlar uzatılarak, iki doğru parçasının kesişimi nokta olarak üretilmiş ve bu kesişim noktası aynı zamanda kesiştirilen doğru parçaların başlangıç ya

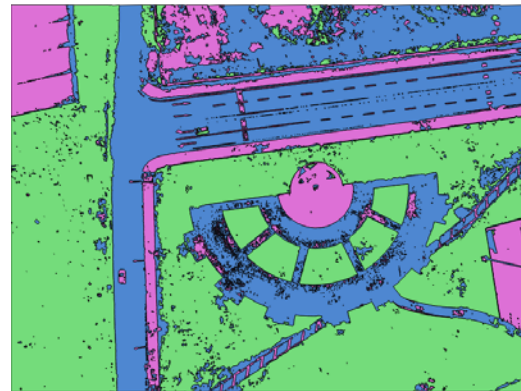
da bitiş noktası olarak tekrar tanımlanmıştır (Şekil 9).



**Şekil 9.** Vektör haritadan örnek bir alan ve belirlenmiş köşe noktaları

Buna göre doğru parçalarının yanında, görüntüler ISODATA yöntemi [26] ile sınıflandırılmış ve elde edilen alansal (poligon) sınıflar ile elde edilen doğru parçaları arasında mesafe ve açı değerleri incelenmiştir. ISODATA sınıflandırma ile elde edilen sınıflar Şekil 10'da görülmektedir.

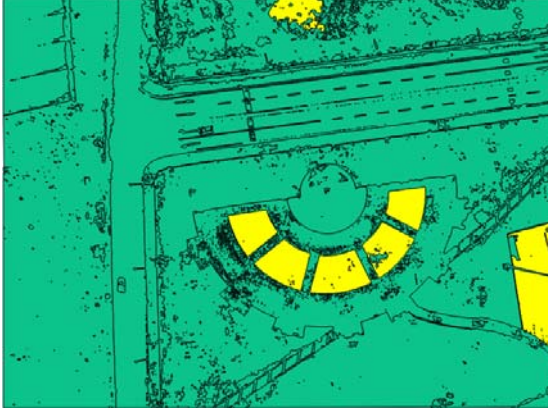
ISODATA kontrolsüz sınıflandırması için, üç adet sınıf tanımlanarak (asfalt, yeşil alan ve beton sınıfları) sınıflandırma gerçekleştirilmiştir (Şekil 10, 11). Elde edilen sınıflandırma sonucu, vektör veriye çevrilmiş ve her bir alansal bölgenin (poligonun) alan değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 10.** IHA görüntüsü ISODATA sonucu



Hesaplanan alan değerleri bir filtre eşik değerinden geçirilerek eşleşmede kullanılacak poligonlar bulunmuştur.



Şekil 11. Seçilmiş poligonlar (sarı)

### 3.3.4. Noktaların Eşleştirilmesi

IHA görüntülerinde bulunan sınıflarla elde edilen doğru parçaları arasındaki geometrik ilişkilerin, aynı şekilde OSM ya da vektör harita verisindeki sınıf ve doğru parçaları ile benzer olmaları beklenir. Yani bir deyişle, bir bina ile bir sokak köşesi arasındaki geometrik ilişkiler (mesafe, açı, dönüklük vb.) IHA görüntüleri ve OSM ya da vektör harita verisinde benzer olması beklenir. Belirlenen köşe noktaları ile poligon merkezleri arasındaki mesafeler Python programlama dili yardımı ile hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Hem vektör harita, hem de görüntü üzerinde, poligon merkezi ve köşe noktaları arasındaki mesafeler ( $GSD \times 3$ ) eşik değeri ile aynı olan noktalar, eşleşmiş kabul edilmiştir ve bu noktalar yer kontrol noktası olarak kullanılmıştır (Şekil 12). IHA görüntülerinde hesaplanan mesafeler piksel uzayından yer uzayına geçiş için yer örneklem mesafesi hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

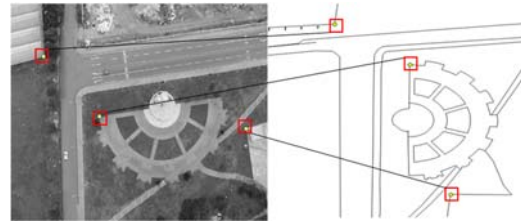
$$GSD = H \times \mu / f \quad (1)$$

$GSD$  yer örneklem mesafesi,  $H$  İHA'nın yerden alım yüksekliği,  $\mu$  piksel boyutu ve  $f$  ise odak uzaklığını ifade etmektedir. Buna göre yeryüzündeki mesafe yaklaşık olarak  $GSD$  değeri ile görüntü üzerinde ölçülen mesafenin çarpımı ile

bulunabilir. Belirlenen köşe noktaları ile poligon merkezleri arasındaki mesafe ise Eşitlik 2 ile hesaplanabilir;

$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2)$$

Burada  $x_1$  ve  $y_1$  köşe noktalarını,  $x_2$  ve  $y_2$  poligon merkez noktalarını ifade eder.



Şekil 12. Eşleşen noktalar (görüntü ve harita)

Sayısal yüzey modeli ve ortogörüntüler fotogrametri ile oluşturulmuştur. İç yöneltme parametreleri için kamera kalibrasyonu uygulanırken, dış yöneltme için otomatik üretilen yer kontrol noktaları kullanılmıştır.

### 3.3.5. Kamera Parametreleri

IHA'ya monte edilen kameranın iç yönelme elemanlarının belirlenmesi gerektiğinden, görüntü alımı öncesi kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bunun için Agisoft yazılımında, kullanılan kameranın kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Buna göre hesaplanan kamera parametreleri aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir. Burada  $f$  odak uzaklığı,  $C_x$  ve  $C_y$  odak noktası konumu,  $k_{1,2,3}$  distorsiyon parametreleridir.

Çizelge 1. Kamera parametreleri (piksel)

$f$	1679,92
$C_x$	1507,194
$C_y$	1124,117
$k_1$	-0,239758
$k_2$	0,0852641
$k_3$	-0,01783464

### 3.3.6. Ön İşlemler

IHA'dan elde edilen görüntülerde gürültü giderilmesi ve görüntü zenginleştirilmesi işlemi yapılarak, kaynak veri ile eşleştirilmesinden daha yüksek kalitede sonuç elde edilmesi sağlanacaktır. Görüntü ön işlemleri üç aşamadan oluşmaktadır, bunlar gürültüdeki gürültünün hesaplanması, gürültünün giderilmesi, Wallis filtreleme ile gri değerlerinin homojen hale getirilmesidir [24].

Ön işlemlerin amacı, optik görüntülerdeki gürültüyü ortadan kaldırmak ve bozulmaları gidermektedir. Bundan sonra, görüntüler arası farklılığı ortadan kaldırmak için kenar görüntülerin oluşturulması da ön işlemler aşamasının bir adımıdır.

Optik görüntülerden gürültüyü ortadan kaldırmadan önce, gürültü seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için görüntüde bulunan homojen alanlardaki gri değeri seviyesinin standart sapması hesaplanmıştır. Bu homojen alanlar 0 ya da 255 değerine sahip olmayan, renk doygunluğuna ulaşmamış piksellere sahiptirler.

Gürültü seviyesinin belirlenmesinden sonra kenar detaylarının korunduğu, yumuşatma filtresi ile gürültülerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu filtre, kenar detaylarını korurken, görüntüdeki gürültüyü ortadan kaldırmaktadır. Çalışma prensibi 3x3 lük bir maske içerisinde, merkez pikselin komşu piksellerle karşılaştır ve pikselin homojen bölgede olup olmadığına, ya da bir kenar pikseli olup olmadığına bir eşik değerine göre karar vermektedir. Filtrelenmiş görüntüler, gri değeri değişimlerini göstermektedir. Sobel operatörü kullanılacaktır. Sobel operatörü, x ve y doğrultusunda 3 e 3'lük çekirdek kullanır. Her bir görüntü piramidi seviyesinde bu işlem uygulanacaktır (Eşitlik 3).

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A \quad (3)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Burada  $G_x$  yatay gradyenti,  $G_y$  dikey gradyenti, A kullanılan görüntüyü, G Toplam gradyent büyüklüğünü ifade etmektedir. Kenar detaylarının korunduğu yumuşatma filtresinden ayrı olarak, ayrıca Wallis [24] filtreleme yöntemi uygulanmıştır. Bu filtre görüntü kontrast değerini arttırmaya yöneliktir. Wallis filtresi, oluşturulan her bir görüntü piramidi seviyesine uygulanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Wallis filtre uygulanması (sol: filtre öncesi, sağ: filtre sonrası)

### 3.3.7. Yüzey Modeli ve Ortogörüntülerin Oluşturulması

Görüntüler ön işlemlerle filtrelendikten sonra, otomatik olarak üretilen yer kontrol noktalarının kullanımı ile Agisoft yazılımı kullanılarak sayısal yüzey modeli ve ortogörüntü elde edilmiştir.

### 3.4. Bulgular

Ücretsiz temin edilen OSM verisi ile IHA görüntüleri arasındaki eşleştirme ile üretilen yer kontrol noktalarının (Şekil 14) oluşturulan ortogörüntü arasındaki farklar aşağıdaki Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Yer kontrol noktaları ve hata değerleri

Nokta No	Hata (m)	Hata (piksel)
1	0,436	0,589
2	0,402	0,620
3	0,105	0,443
4	0,210	0,996
5	0,209	0,593
6	0,310	0,193



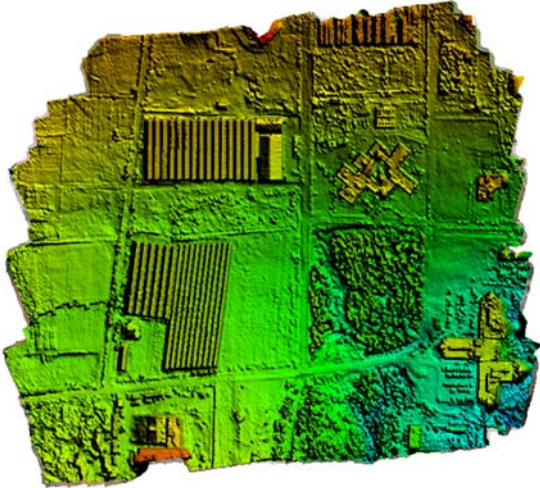
7	0,678	1,399
8	0,768	0,732

OSM ile eşleştirme sonucunda üretilen yer kontrol noktaları Şekil 14’de görülmektedir.



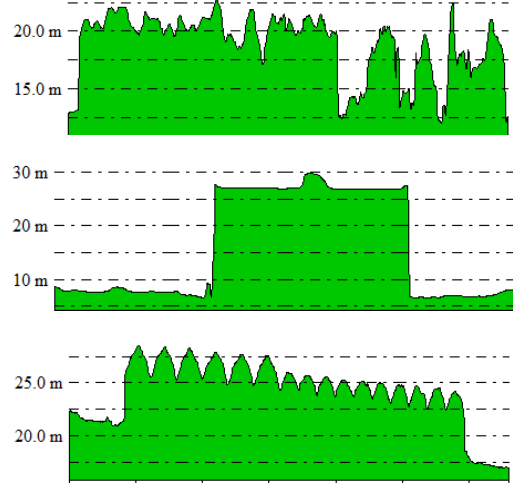
Şekil 14. Otomatik olarak üretilen noktalar ile oluşturulmuş ortogörüntü

Hem uydu görüntüsü vektör hem de OSM verisinden elde edilen yer kontrol noktaları ile elde edilen sayısal yüzey modelleri Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. Üretilen sayısal yüzey modeli (SYM)

Elde edilen sayısal yüzey modelleri, içerdikleri gürültü bakımından en kesitleri alınarak karşılaştırılmıştır. Aynı bölgelerden alınan en kesitler Şekil 16’da görülebilmektedir.



Şekil 16. SYM’den alınan kesit örnekleri

Üretilen ortogörüntüler ayrıca, 2 cm mekânsal doğruluğa sahip, Akdeniz Üniversitesi kampüsü için, Yapı İşleri Daire Başkanlığı tarafından oluşturulan hâlihazır harita ile de karşılaştırılmıştır. Rastgele seçilen noktaların X,Y,Z düzlemlerindeki birbirlerine göre uzaklık değerleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. YKN doğruluk analizi

Ortalama hata (m)	Medyan (m)	Standart sapma
3,300	3,351	0,224

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma ile insansız hava aracı görüntülerinden ortogörüntü ve sayısal yüzey modeli oluşturulması için gereksinim duyulan yer kontrol noktalarının hariç verilerden üretilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü, açık kaynaklı OSM verisi ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü üzerinden elle oluşturulmuş vektör haritaların kullanımıyla yer kontrol noktaları üretilmiştir.

Burada önerilen yöntem tam otomatik olup, insansız hava aracından elde edilen görüntülerle diğer mekânsal verilerin otomatik eşleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Özellikle vektör haritalarla optik görüntülerin eşleştirilmesindeki zorluklar ele alındığında, çalışmada üretilen yer kontrol noktaları bir başarıdır. Nitekim tüm alanda 3 yer kontrol noktası, ortogörüntü ve sayısal yüzey modelinin jeo-referanslı olarak üretilmesi için yeterli olmaktadır.

Burada göz ardı edilmemesi gereken önemli bir konu da, mekânsal doğruluğun kullanılan harici veri ile sınırlı olduğudur. Elbette GNSS sistemleri ile yüksek doğrulukta yer kontrol noktalarının toplanabilmesi tartışmasız bir üstünlüktür. Ancak, mekânsal doğruluğun, mevcut diğer verilerle aynı veya uyumlu olmasının istendiği durumlarda, önerilen yöntemle bu yolla, GNSS/GPS sistemlerine gereksinim duyulmadan yer kontrol noktaları üretilebilecektir.

Bu çalışma ile YKN'lerin otomasyon ile üretilmiş olması, araziden YKN toplanarak yapılan çalışmalarda harcanan zaman ve maliyetin ortadan kalkması sağlanmakta ve YKN toplama konusunda operatör kaynaklı hatalar önlenilmektedir.

Gelecek çalışma olarak, test alanlarında yüksek çözünürlüklü sayısal yüzey modelinin mevcut olmamasından dolayı test edilemeyen, mevcut sayısal yüzey modeli ile eşleştirme gerçekleştirilebilir. Bunun için, özellikle LIDAR verisinin mevcudiyeti ayrıca faydalı olabilir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından FBA-2015-446 numaralı proje ile desteklenmiştir. Ayrıca veri elde etmede yardımlarından dolayı Geomatics Ltd. firmasına yazarlar teşekkür eder.

## 6. KAYNAKLAR

1. Kounadi, O., 2009. Assessing the Quality of Open Street Map Data. Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, University College of London, Yüksek Lisans Tezi, 81, Londra.
2. Zulfiqar, N., 2008. A Study of the Quality of openstreetmap.org Map-a Comparison of OSM Data and Ordnance Survey Data, Yüksek Lisans Tezi, 54, Londra.
3. Fan, H., Zipf, A., Fu, Q., Neis, P., 2014. Quality Assessment for Building Footprints Data on Openstreetmap, International Journal of Geographical Information Science, 28(4), 700-719.
4. <http://www.marketsandmarkets.com>, 2013. Alıntı Tarihi 06.11.2017.
5. Cho, G., Hildebrand, A., Claussen, J., Cosyn, P., Morris, S., 2013. Pilotless Aerial Vehicle Systems: Size, Scale and Functions, Coordinates, 9(1), 8-16.
6. Mayr, W., 2013. Unmanned Aerial Systems-for the Rest of Us. 54<sup>th</sup> Photogrammetric Week, Institut für Photogrammetrie, 9-13 Eylül 2013, 151-163, Stuttgart.
7. Petrie, G., 2013. Commercial Operation of Lightweight UAVs for Aerial Imaging and Mapping, GEOInformatics 16, 28-39.
8. Colomina, I., Molina, P., 2014. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92(1), 79-97.
9. Przybilla, H., Wester-Ebbinghaus, W., 1979. Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug Bildmessung und Luftbildwesen, 47, 137-142.
10. Wester-Ebbinghaus, W., 1980. Aerial Photography by Radio Controlled Model Helicopter, Photogrammetric Record, 10, 85-92.
11. Dowman, I., 2012. More than Information from Imagery, Geospatial World, 2, 34-44.
12. Cramer, M., 2013. The UAV LGL BW Project-a NMCA Case Study, 54<sup>th</sup> Photogrammetric Week, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, 9-13 Eylül 2013, Stuttgart, 165-179.
13. Mayr, W., 2013. Unmanned Aerial Systems-for the Rest of Us. 54<sup>th</sup> Photogrammetric Week,

- Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, 9-13 Eylül 2013, 151-163, Stuttgart.
14. Rehak, M., Mabillard, R., Skaloud, J., 2013. A Micro-UAV with the Capability of Direct Georeferencing, *International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(W2), 317-323.
  15. Mostafa, M.M.R., Hutton, J., Lithopoulos, E., 2001. Airborne Direct Georeferencing of Frame Imagery: An Error Budget. The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology, 3-5 Ocak, Kahire.
  16. Skaloud, J., 1999. Problems in Direct-Georeferencing by INS/DGPS in the Airborne Environment. *ISPRS Workshop Barcelona*, 25-26 Kasım, Barselona.
  17. Grejner-Brzezinska, D.A., 1999. Direct Exterior Orientation of Airborne Imagery with GPS/INS System: Performance Analysis, *Navigation*, 46(4), 261-270.
  18. Remondino, F., Barazzetti, L., Sarazzi, D., 2009. Uav Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling-Current Status and Future Perspectives, *International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics*, 14-16 Eylül, 25-31, Zurih.
  19. Laliberte, A., Rango, A., 2008. A Procedure for Orthorectification of Sub-decimeter Resolution Imagery Obtained with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) *ASPRS 2008 Annual Conference*, 28 Nisan-2 Mayıs, Portland.
  20. Tanathong, S., Lee, I., 2014. Using GPS/INS Data to Enhance Image Matching for Real-time Aerial Triangulation, *Computers & Geosciences*, 72(1), 244-254.
  21. Li, C., Zhang, G., Lei, T., Gong, A., 2011. Quick Image-processing Method of UAV Without Control Points Data in Earthquake Disaster Area, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21(3), 523-528.
  22. Xiang, H., Tian, L., 2011. Method for Automatic Georeferencing Aerial Remote Sensing (RS) Images from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform, *Biosystems Engineering*, 108(2), 104-113.
  23. Liew, L.H., Lee, B.Y., Wang, Y.C., Cheah, W.S., 2012. Simulation Study on Distribution of Control Points for Aerial Images Rectification, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 203(1), 169-177.
  24. Pateraki, M., 2005. Adaptive Multi-Image Matching for DSM Generation from Airborne Linear Array 341 CCD Data. *Eth Zurich Institute of Geodesy and Photogrammetry Doktora Tezi*, No. 86, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, 342, Zurih.
  25. Grompone von Gioi, R., Jakubowicz, J., Morel, JM., Randall, G., 2012. LSD: a Line Segment Detector, *Image Processing On Line*, 2, 35-55.
  26. Ball, G.H., Hall, D.J., 1965. ISODATA, A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification, *Teknik Rapor*, Stanford Research Institute, 79.

