İNSANSIZ HAVA ARACI İLE OLUŞTURULAN VERİLERİN DOĞRULUK ANALİZİ

Uğur AVDAN[1], Emre ŞENKAL[2], Resul ÇÖMERT[3] Serhan TUNCER[4]

[1] Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, uavdan@anadolu.edu.tr
[2] Yüksek Lisans Öğrencisi, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, emresnkl@gmail.com
[3]Arş. Gör., Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, rcomert@anadolu.edu.tr
[4]Doktora Öğrencisi, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, serhan.tuncer@gmail.com

ÖZET

Günümüzde birçok alanda, uzaktan algılama ve fotogrametri teknikleri ile üretilen haritalar kullanılmaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte uzaktan algılama, fotogrametrik algılayıcılar ve taşıma platformları hızlı bir şekilde değişmekte ve gelişmektedir. Helikopter, uçak, uydular gibi birçok taşıyıcı platform amaçlarına uygun olarak yeryüzüne ait görüntülerin elde edilmesi için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, yeni bir taşıyıcı platformu olan insansız hava araçları (İHA), fotogrametri ve uzaktan algılama amacıyla kendisine birçok kullanım alanı bulmuştur. Bu araçlar, özellikle küçük alanları içeren çalışmalarda hızlı, hassas, düşük maliyetli ve tekrarlı ölçü elde etme özelliklerinde dolayı, arkeoloji ve kültürel mirasın belgelenmesi alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada insansız hava aracı ile arkeolojik alanda üretilen verilerin doğruluk analizi yapılmıştır. Çalışma Eskişehir ilindeki Şarhöyük (Dorylaion) Arkeolojik alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada insansız hava aracı ile farklı yükseklikte ve farklı bindirme oranlarında iki adet uçuş gerçekleştirilerek, çalışma alanına ait görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında işlenerek ortofoto görüntüler ve sayısal yüzey modeli (SYM) üretilmiştir. Üretilen verilerin doğruluklarını araştırmak için uçuş öncesi alana 34 adet yer kontrol noktası yerleştirilmiş ve jeodezik GNSS alıcısı ile koordinatları hassas bir şekilde belirlenmiştir. Kontrol noktalarının bazıları üretilen ortofoto ve SYM'nin koordinatlandırılması için kullanılmıştır. Diğer kontrol noktaları ise ortofoto görüntülerin doğruluk analizi için kullanılmıştır. Ayrıca İHA'dan elde edilen sayısal yüzey modelinin doğruluk analizi için topoğrafik yöntemle çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Sayısal yükseklik modelinin üretilmesi için yaklaşık 6000 nokta ölçülmüştür. Ölçüm sonucu üretilen sayısal yükseklik modeli ile insansız hava aracı ile elde edilen sayısal yüzey modeli uygun alanlarda karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: DEM, Doğruluk Analizi, İHA

ABSTRACT

THE ACCURAY ANALYSIS OF DATA WHICH GENERATED BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

Nowadays, generated maps with remote sensing and photogrammetry are used in many areas. Remote sensing, photogrammetric sensors and carrying platforms are rapidly changing and evolving thanks to advancing technology. Many carrying platforms like helicopters, airplanes or satellites are used successfully for imaging the earth. Recently, a new carrier platform, unmanned aerial vehicles (UAV), has granted many using area for itself in the field of remote sensing and photogrammetry. These vehicles are sensitive, fast, affordable and it can make repetitive measurements in small areas. Because of these features, UAV's can used in archeology and documentation of cultural heritage.

In this study, accuracy analysis of the data, which was produced with UAV's in an archeological area has been made. The workspace is Şarhöyük (Dorylaion) Archeological area in Eskişehir, Turkey. In the study, two flight has been made over the workspace with UAV's, by different heights, different override ratios. Obtained images has been processed on computer, by this way ortophoto images and digital elevation models of the area has been created. Before the flight, 34 ground control points (GCP) placed on the area and these points has been measured by geodesic GNSS receivers sensitively for investigate the accuracy of the produced data. Some of these control points are used for coordinate the produced orthophoto and DEM's. Rest of the GCP's has been used for the accuracy analysis of the ortophotos. Also another DEM has been produced with topographical methods for accuracy analysis of the DEM which produced from UAV data. 6000 GCP has been measured for DEM production. This DEM has been compared with the DEM, which has been produced with UAV in proper area.

Keywords: UAV, Accuracy Analysis, DEM

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok alanda uzaktan algılama ve fotogrametri teknikleri ile üretilen veriler kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde uzaktan algılama ve fotogrametri ile üretilen verilerde, üretim platformu olarak insansız hava araçları kullanılmaya başlanmıştır. Düşük maliyet, hız, yüksek çözünürlük ve tekrarlı uçuş kabiliyeti sayesinde insansız hava araçları küçük alanlar için tercih edilmektedir (Eisenbeiss, H., 2009; Changchun, L., 2010). Ayrıca insansız hava araçları, insanların girmesinin tehlikeli olduğu ve hassas davranılması gereken arkeolojik alanlarda, kolaylıkla ölçüm yapılmasını sağladığı için tercih edilmektedir.

Ortofoto görüntü; eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkından dolayı meydana gelen hataların düzeltildiği ve dik izdüşüm haline getirildiği sayısal görüntülerdir (Yastıklı, N., 2009). Ortofoto görüntüler araziyi birebir olarak temsil ettiği için birçok alanda altlık görüntü olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kullanılan ortofoto görüntünün doğruluğu yapılan işin doğruluğuna birebir etki yapmaktadır.

Bu çalışmada, insansız hava aracı ile elde edilen ortofoto görüntülerin ve sayısal yüzey modellerinin doğruluk analizi yapılmıştır. İnsansız hava aracı ile farklı uçuş modlarında elde edilen görüntülerin, farklı yer kontrol noktaları ile koordinatlandırılması sonucu ortaya çıkan verilerin, araziden jeodezik GNSS alıcısı kullanılarak toplanan veriler ile karşılaştırılması yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Eskişehir ili içerisinde bulunan Şarhöyük(Dorylaion) antik kentidir (Şekil 1). Şarhöyük antik kenti Eskişehir'in kuzey doğusunda bulunan en eski yerleşim birimi olmakla birlikte Orta Anadolu'nun en büyük höyüklerinden biridir. Yapılan kazılarda İlk Tunç Çağı, Hitit, Frig, Hellenistik, Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerinden buluntular ortaya çıkarılmıştır. William Mitchell Ramsay'e göre Dorylaion terkedildikten sonra, şehrin güneyine yeni bir yerleşim yeri kurulmuş ve Şarhöyükün bulunduğu bölgeye Eskişehir denilmeye başlanmıştır (Ramsay, M. W., 2010). Bu nedenden dolayı Eskişehir kenti ismini muhtemelen bu höyükten almıştır. Höyükte 1989 yılında Prof. Dr. A. Muhibe Darga tarafından kazılara başlanmış, kazılar 2004 yılından itibaren Prof. Dr. Taciser Tüfekçi Sivas tarafından sürdürülmüş olup, 2013 yılında Sivas'ın vefatıyla eşi Doç. Dr. Hakan Sivas kazı başkanlığı üstlenmiştir ve kazılar hala devam etmektedir.

Şekil 1. Şarhöyük Google Earth uydu görüntüsü(sol) ve 1980 tarihli hava fotoğrafı(sağ)

Bu çalışmada Şarhöyük arkeolojik alanının seçilmesinin nedenleri, arazinin farklı yüksekliklerde olması, arazi üzerinde kazı ve dolgu alanlarının fazla olması, korunaklı bir arkeolojik alan olması dolayısıyla, insan etkilerinin diğer alanlara göre daha az olması olarak gösterilebilir.

3.YÖNTEM

3.1.İnsansız Hava Aracı Ölçümleri

Bu çalışma kapsamında tam otomatik uçuş yeteneğine sahip sensefly firmasının ürettiği eBee isimli insansız hava aracı kullanılmıştır. Hazırlanan uçuş planına göre uçuş otomatik olarak gerçekleştirilmekte ve belirlenen aralık ve güzergâha göre çalışma alanına ait fotoğraflar çekilmektedir. Fotoğraf çekim işlemi aracın altına yerleştirilen 16MP çözünürlüklü Canon IXUS 125 HS dijital kamera ile gerçekleştirilmiştir. İnsansız hava aracına (Şekil 2) ve fotoğraf makinesine (Şekil 3) ait teknik bilgiler şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.

- 96cm kanat genişliği
- 0.7kg ağırlık
- 45 dakika uçuş süresi
- 36 – 57 km/sa uçuş hızı
- 45 km/sa rüzgar hızı dayanıklılığı
- 3 km'ye kadar radyo link kapasitesi
- 1.5 – 10 km^2 kaplama alanı
- 3 – 30 cm/piksel görüntü çözünürlüğü

Şekil 2. eBee insansız hava aracı özellikleri

- 4608 x 3456 çözünürlük
- 16.1 Megapiksel CMOS
- 4,3 – 21,5 mm odak uzaklığı
- 1/2000 sn deklanşör hızı
- 3200 ISO hassasiyeti
- f/2.7 – f/5.9 diyafram açıklığı
- Yaklaşık 135gr
- Akıllı görüntü sabitleme özelliği (Intelligent IS)

Şekil 3. Canon IXUS 125 HS dijital fotoğraf makinesi özellikleri

3.1.1. Uçuş Planı Hazırlanması

İnsansız hava aracı ile veri toplama işlemine geçmeden önce araziye ait 2 adet uçuş planı hazırlanmıştır. Çalışmada 2 adet uçuş planını yapılmasının nedeni, farklı uçuş modlarının sonuç ürünlere olan etkisini araştırmak ve zor arazi koşullarında uçuş modlarının nasıl bir tepki verdiğini belirlemektedir. Uçuş planları insansız hava aracının kontrol yazılımı da olan eMotion – 2 ile hazırlanmıştır. Birinci uçuş planı kolay arazi modunda tanımlanmıştır. Bu uçuşta yer örneklem aralığı 4cm/piksel, uçuş yüksekliği 130m olarak planlanmıştır. Çekilecek fotoğrafların bindirme oranları; %60 enine ve %70 boyuna olarak ayarlanmıştır. İkinci uçuş planında ise zor arazi modunda hazırlanmıştır. Bu uçuşta da yer örneklem aralığı 6cm/piksel, uçuş yüksekliği 196m olarak planlanmıştır. Bindirme oranları enine %85 ve boyuna %70 olarak ayarlanmıştır.

3.1.2. Yer Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi ve Ölçülmesi

İnsansız hava aracından elde edilen görüntülerin harita olarak kullanılabilmesi için yer kontrol noktaları ile koordinatlandırılması gerekmektedir. Koordinatlandırma işlemi için çalışma alanına homojen şekilde dağıtılmış 34 adet kontrol noktası yerleştirilmiştir (Şekil 4). Yerleştirilen yer kontrol noktalarının koordinatları JAVAD marka GNSS alıcısı ile TUSAGA-Aktif sistemine bağlı olarak ölçülmüştür.

Şekil 4. Araziye yerleştirilmiş yer kontrol noktası

3.1.3. Uçuş İşleminin Gerçekleştirilmesi

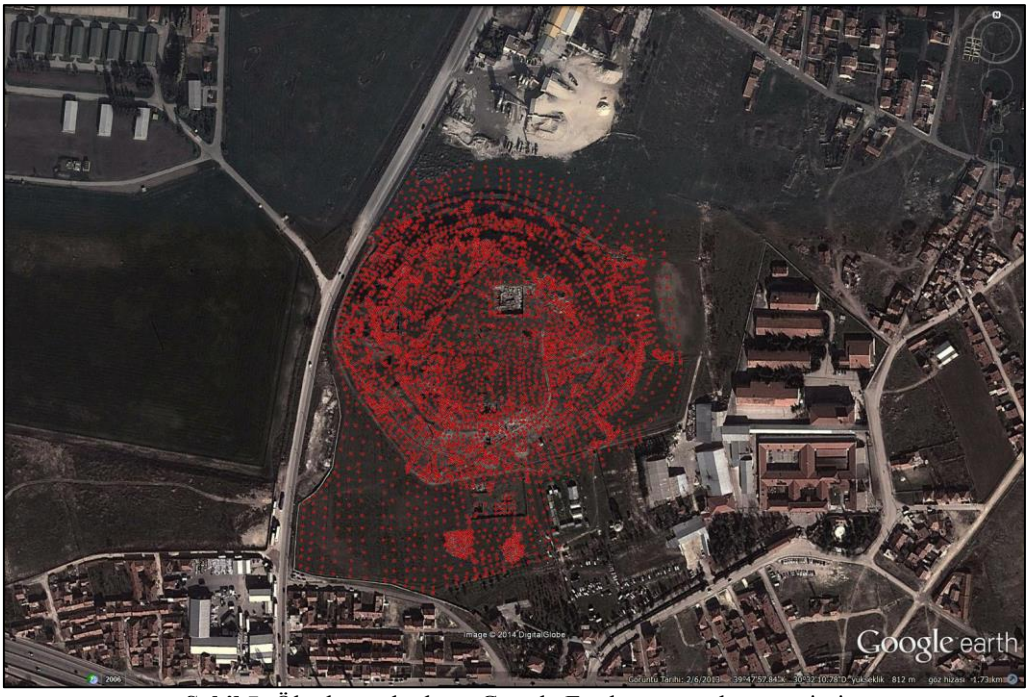
Yer kontrol noktalarının yerleştirilmesi ve ölçülmesi işlemlerinden sonra uçuş işlemleri gerçekleştirilmiştir. Birinci uçuşta 105 adet ve ikinci uçuşta 137 adet olmak üzere toplam 242 adet fotoğraf elde edilmiştir. Birinci uçuş 13 dakika, ikinci uçuş 20 dakika sürmüştür. Uçuş işlemi tam otomatik olması dolayısı ile kullanıcı tarafından herhangi bir işlem gerçekleştirilmemiştir.

3.2. Topoğrafik Yöntemlerle Ölçümleme

İnsansız hava aracından elde edilen görüntülerin doğruluk analizinin yapılabilmesi amacıyla çalışma alanının topoğrafik yüzeyini ortaya çıkartmak için Jeodezik GNSS alıcısı kullanılarak ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 5 gün süren bir arazi çalışması gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm işlemi GNSS alıcısı ile Klasik RTK(Real Time Kinematic) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemine başlamadan önce çalışma alanına sabit bir poligon noktası tesis edilmiştir. Bu poligon noktasının koordinatları WGS84 UTM Zone 36N koordinat sistemine göre TUSAGA-Aktif sistemine bağlı olarak 120 epok ölçüm yapılarak belirlenmiştir.

Sonuç ürünlerin doğruluklarının araştırılabilmesi için topoğrafik yöntemlerle gerçekleştirilen arazi ölçümlerinde olabildiğince sık nokta ölçümü gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Her nokta için 5 epok ölçüm yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmalarında 5965 nokta ölçülmüştür (Şekil 5). Yapılan arazi ölçümlerinden elde edilen nokta ve saat bilgileri Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 5. Ölçülen noktaların Google Earth ortamında gösterimi

Tablo 1. Topoğrafik yöntem ile yapılan arazi ölçüm bilgileri

Tarih	Çalışma Saat Aralığı	Süre	Ölçülen Nokta Sayısı
07 Eylül 2013	10:00 – 18:30	8,5 saat	1467
8 Eylül 2013	09:30 – 18:00	8,5 saat	1615
10 Eylül 2013	10:00 – 17:00	7 saat	1096
11 Eylül 2013	13:30 – 16:30	3 saat	787
12 Eylül 2013	09:30 – 15:30	6 saat	1000
Toplam		**33 saat**	**5965**

3.3. Verilerin İşlenmesi

3.3.1. İnsansız Hava Aracından Elde Edilen Verilerin İşlenmesi

İnsansız hava aracı ile yapılan uçuştan elde edilen fotoğrafların harita olarak kullanılabilmesi için, fotoğrafların sahip olduğu eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkında dolayı oluşan hataların düzeltilmesi ve dik izdüşüm haline getirilmesi gerekmektedir. Bu hataların düzeltildiği ve dik izdüşüm haline getirilen sayısal görüntülere ortofoto görüntü adı verilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen görüntüler Postflight Terra 3D veri işleme yazılımı ile işlenmiştir. Yazılım ile görüntülerin işlenmesi sonucunda Sayısal Yüzey Modeli(SYM), ortofoto görüntü ve çalışma alanına ait istenilen sıklıkta nokta bulutu verisi elde edilmektedir.

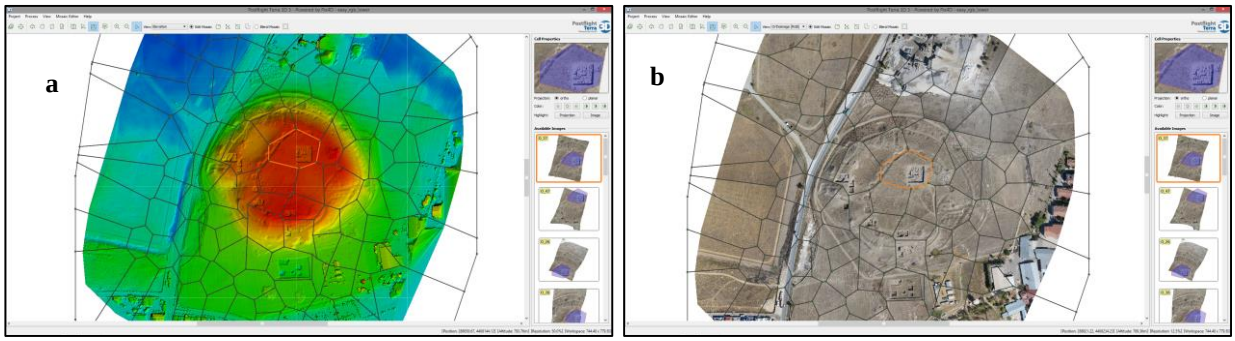
İnsansız hava aracından elde edilen verilerin işlenmesi aşamasında, fotoğraflar ve uçuş bilgisi yazılıma yüklendikten sonra uçuş öncesinde araziye yerleştirilen yer kontrol noktalarının yazılımda tanımlanması gerekmektedir. Bu işlemin yapılma amacı verilerin daha hassas olmasını sağlamaktır. Postflight Terra 3D yazılımı verileri yer kontrol noktasız da işleyebilmektedir. Yer kontrol noktasız veri işlemede yazılım uçuş bilgisini kullanmaktadır.

Yer kontrol noktalarını yazılıma tanımlanmasında ki en önemli nokta, her bir yer kontrol noktasının minimum 2, ideal olması için 3-8 görüntü içerisinde işaretlenmesidir (Zaugg, R., 2013). Net bir şekilde görünmeyen ya da görüntü sınırlarına çok yakın olan yer kontrol noktalarının seçilmemesine özen gösterilmelidir. Yer kontrol noktalarının belirlenmesinden sonra verilerin işlemesi aşamasına geçilmiştir. Veri işleme aşaması 3 adımdan oluşmaktadır.

Bunlar;

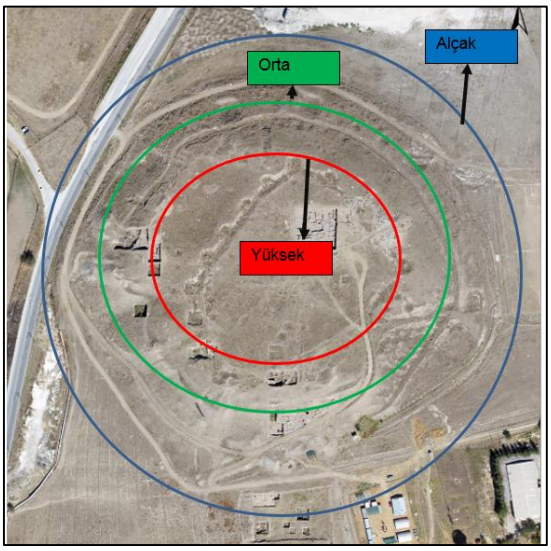
- Başlangıç düzeyde veri işleme (Initial Processing)
- Nokta bulutu üretimi (Point Cloud Densification)
- SYM ve ortomozaik üretimidir(DSM and Orthomosaic Densification)

Başlangıç düzeyinde veri işleme ilk değerlendirme işlemidir ve analiz raporu oluşturur. Raporda, yapılan işlemin kalitesi, çözünürlüğü, ortaya çıkacak verilerin ön izlemesi, kalibrasyon detayları gibi bilgiler bulunmaktadır. Bu aşamada üretilen rapor, daha sonraki aşamalar için büyük önem taşımaktadır çünkü insansız hava aracı ile edilen verilerin işlenmesi, yüksek kapasiteli bilgisayarlarla bile saatlerce sürmektedir. Bu nedenle sonuç ürünlerin yeterli kaliteyi sağlaması için analiz raporu dikkatlice incelenmelidir. Kullanıcı kaynaklı bir hata var ise, bu hatanın nerede olduğu da analiz raporunun incelenmesi ile bulunabilir. Nokta bulutu üretimi aşamasında yazılım, görüntüler üzerinde eşleşen bütün pikselleri nokta olarak kaydeder. Bütün piksellere bu işlem yapıldıktan sonra çalışma alanına ait nokta bulutu elde edilir. SYM ve ortomozaik üretimi aşamasında ilk olarak SYM oluşturulmaktadır. Daha sonra üretilen SYM modeli altlık olarak kullanılarak, İHA tarafından çekilen her bir görüntüye ait ortofoto görüntüler elde edilmektedir. Üretilen ortofoto görüntüler birleştirilerek çalışma alanının tamamına ait ortomozaik görüntü elde edilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanına ait sayısal yüzey modeli(a) ve Ortomozaik görüntü(b)

İnsansız hava aracından elde edilen verilerin doğruluklarının araştırılması için veriler dört farklı şekilde işlenmiştir. İlk olarak veriler sıfır yer kontrol noktası kullanılarak işlenmiştir, daha sonra ise çalışma alanı arazi yüksekliğine bağlı olarak alçak seviye, orta seviye ve yüksek seviyeli olmak üzere üçe ayrılmıştır (Şekil 7). Bu işlemin amacı belirli yükseklik aralığında bulunan yer kontrol noktalarının sonuç ürüne olan etkilerinin gözlemlenmesidir. Bu üç seviyede bulunan kontrol noktaları kullanılarak, her bir uçuş verisi için üç farklı veri işleme gerçekleştirilmiştir.

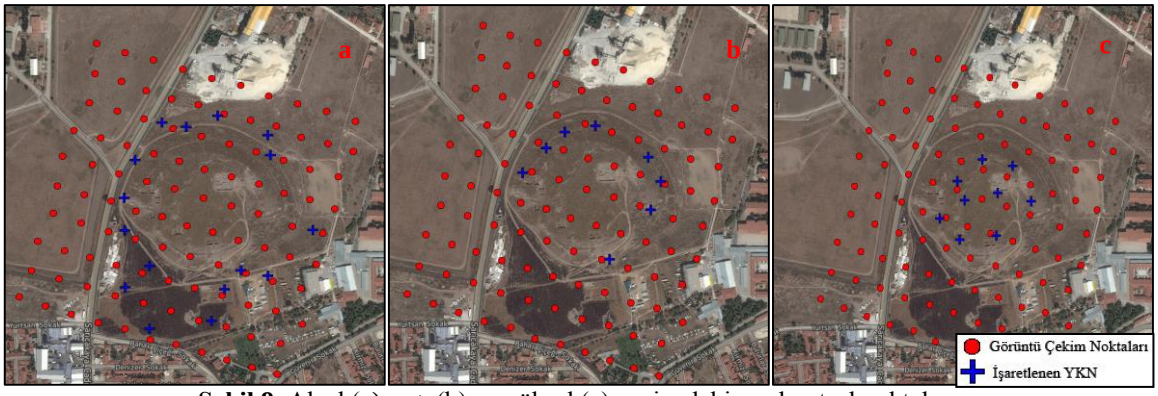


Şekil 7. Arazi yüksekliğine göre bölünen çalışma alanı

Verilerin işlenmesi aşamasında ilk olarak uçuş görüntülerinin yer kontrol noktasız işlenmesi yapılmıştır. Daha sonra ise mevcut kontrol noktalarından alçak, orta ve yüksek seviyeli yer kontrol noktaları kullanılarak veriler işlenmiştir (Şekil 8). Tablo 2'de projelerde kullanılan yer kontrol noktalarının numaraları ve toplam adedi verilmiştir.

Tablo 2. Projelerde kullanılan yer kontrol noktaları numaraları ve adetleri

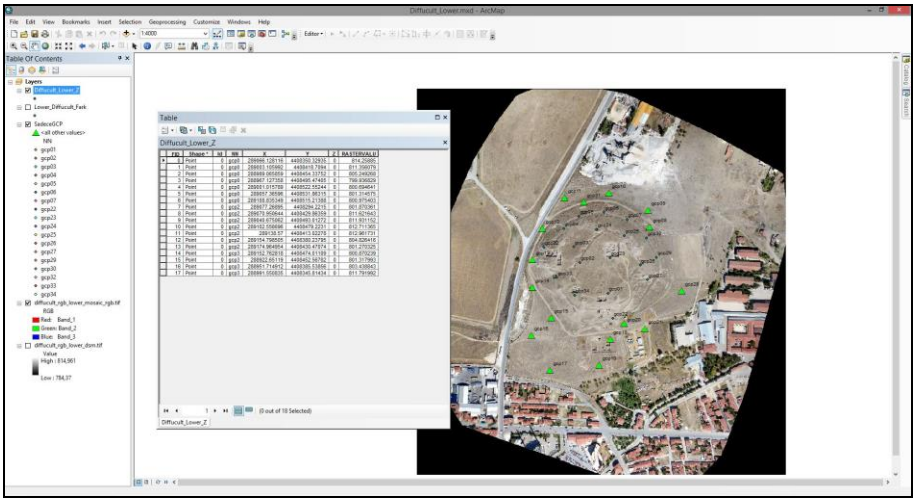
Seviye	Kullanılan Yer Kontrol Nokta Numaraları	Toplam
Alçak	08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28, 31	16
Orta	04, 05, 06, 07, 22, 27, 29, 32	8
Yüksek	01, 02, 03, 23, 24, 25, 26, 33, 34	9



Şekil 8. Alçak(a), orta(b) ve yüksek(c) seviyedeki yer kontrol noktaları

3.3.2. Doğruluk Analizi İçin Kontrol Noktalarını Sayısallaştırılması

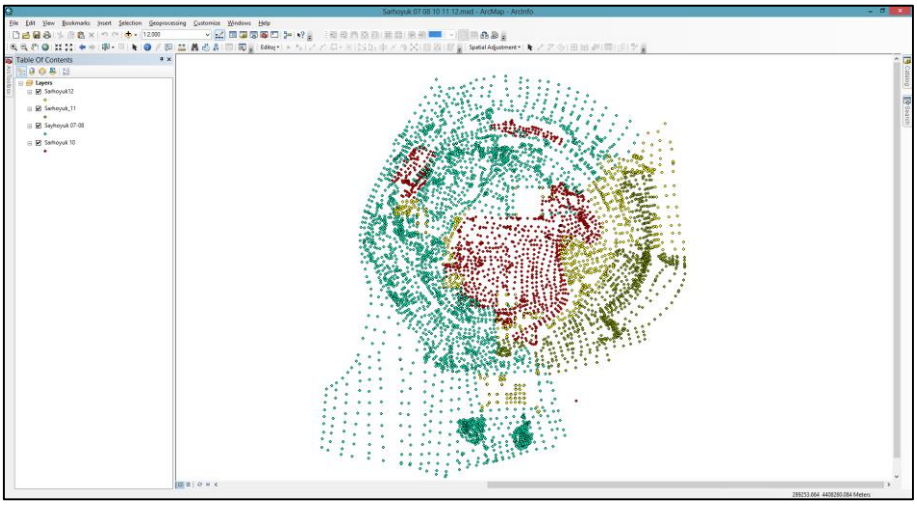
İnsansız hava aracından elde edilen ürünlerin doğruluklarının test edilmesi için, koordinatlandırma işleminde kullanılmayan yer kontrol noktalarının sayısallaştırılması yapılmıştır. Sayısallaştırma işleminde İHA'dan elde edilen ortomozaik görüntüler kullanılmıştır. Ortomozaik görüntü üzerinde, koordinatlandırma işleminde kullanılmayan noktalar sayısallaştırılmıştır. Doğruluk analizinde kullanılacak noktaların X ve Y koordinat değerleri ortomozaik görüntüden, Z koordinat değerleri de sayısal yüzey modelinden elde edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Sayısallaştırılan yer kontrol noktalarının koordinat bilgileri

3.3.3. Topoğrafik Yöntemler ile Elde Edilen Verileri İşlenmesi

Topoğrafik yöntemler ile elde edilen noktalar GNSS alıcısından txt formatında dışarı aktarılmıştır. Txt formatında kayıt edilen noktalar ArcGIS ortamına eklenerek, ölçümün yapıldığı güne göre isimlendirilmiş shape dosyası şeklinde kayıt edilmiştir (Şekil 10). Daha sonraki aşamalarda bu noktalardan elde edilen sayısal yüzey modeli ile insansız hava aracından elde edilen arazi modeli çakıştırılarak modeller arasındaki farklılıklar incelenecektir.



Şekil 10. Topoğrafik yöntemler ile elde edilen noktalar

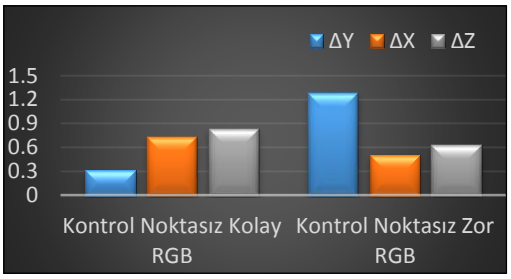
3.4. Verilerin Karşılaştırılması

3.4.1. Yer Kontrol Noktalarının Karşılaştırılması

Bu aşamada kontrol noktasız, alçak, orta ve yüksek seviyede bulunan kontrol noktalarına göre üretilen sonuç ürünler üzerinden sayısallaştırma yolu ile elde edilen yer kontrol noktaları koordinat değerleri ile arazi ölçümlerinden elde edilen koordinat değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yer kontrol noktalarının karşılaştırılmasında ilk olarak kontrol noktasız üretilen ürünler karşılaştırılmıştır. Sayısallaştırma sonucu elde edilen koordinatlar ile araziden elde edilen koordinat değerlerinin farkları belirlenmiş (Tablo 3) ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Şekil 11).

Tablo 3. Kolay ve zor arazi modunda üretilen ürünlerin koordinat farkları(m) ve karesel ortalama hataları

Nokta No	Kolay Arazi Modu			Zor Arazi Modu		
	ΔY	ΔX	ΔZ	ΔY	ΔX	ΔZ
GCP1	-0.308	-0.703	0.860	0.795	0.125	0.498
GCP2	-0.127	-0.742	0.751	1.172	-0.182	0.539
GCP3	-0.084	-0.766	0.789	1.333	-0.258	0.549
GCP4	0.020	-0.833	0.806	1.567	-0.416	0.662
GCP5	0.048	-0.752	0.701	1.736	-0.216	0.800
GCP6	0.002	-0.617	0.622	1.749	0.078	0.880
GCP7	-0.123	-0.547	0.558	1.667	0.350	0.878
GCP8	-0.231	-0.500	0.486	1.635	0.624	0.844
GCP9	-0.145	-0.476	0.443	1.879	0.612	0.912
GCP10	0.050	-0.607	0.541	2.050	0.135	0.945
GCP11	0.151	-0.804	0.784	1.972	-0.412	0.849
GCP12	0.101	-0.937	0.856	1.636	-0.701	0.530
GCP13	-0.016	-0.982	0.956	1.243	-0.799	0.471
GCP14	-0.169	-0.976	0.907	0.846	-0.797	0.248
GCP15	-0.347	-0.936	0.973	0.456	-0.577	0.186
GCP16	-0.376	-0.988	1.071	0.257	-0.797	0.306
GCP17	-0.550	-0.946	1.230	-0.185	-0.580	0.355
GCP18	-0.639	-0.770	1.262	-0.078	0.062	0.272
GCP19	-0.597	-0.701	1.079	0.220	0.229	0.172
GCP20	-0.563	-0.634	1.019	0.439	0.380	0.274
GCP21	-0.632	-0.592	1.099	0.371	0.627	0.380
GCP22	-0.479	-0.748	0.948	0.503	0.136	0.302
GCP23	-0.184	-0.626	0.678	1.185	0.151	0.620
GCP24	-0.054	-0.649	0.664	1.496	0.015	0.821
GCP25	-0.142	-0.603	0.595	1.447	0.262	0.825
GCP26	-0.267	-0.522	0.695	1.152	0.475	0.708
GCP27	-0.433	-0.562	0.766	0.931	0.574	0.629
GCP28	-0.586	-0.412	0.834	0.870	1.095	0.710
GCP29	-0.332	-0.516	0.641	1.255	0.706	0.729
GCP30	-0.127	-0.477	0.542	1.595	0.626	0.828
GCP31	0.082	-0.745	0.661	1.899	-0.202	0.839
GCP32	0.024	-0.888	0.886	1.366	-0.640	0.568
GCP33	-0.158	-0.891	0.830	0.959	-0.484	0.309
GCP34	-0.258	-0.824	0.854	0.761	-0.268	0.383
Karesel Ortalama Hata	**1.180**	**1.513**	**3.106**	**1.272**	**0.503**	**0.630**



Şekil 11. Kontrol noktasız elde edilen sonuçların karesel ortalama hatası

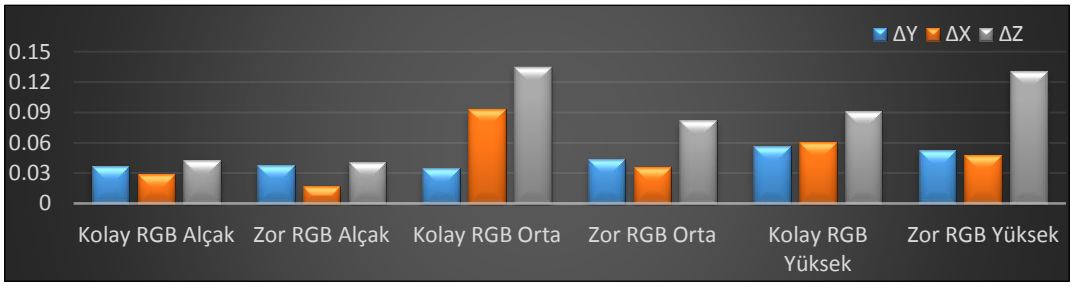
Yer kontrol noktası kullanılarak yapılan karşılaştırmada aynı işlemler altı proje içinde tekrarlanmıştır. Kolay ve zor arazi modunda ölçülüp, alçak, orta ve yüksek olarak adlandırılıp elde edilen ürünlerde, koordinatlandırma işleminde kullanılmayan yer kontrol noktalarının koordinat değerleri ile arazi ölçümlerinden elde edilen koordinat değerleri farkları (Tablo 4) ve karesel ortalama hataları(Şekil 12) hesaplanmıştır.

Tablo 4. Kolay arazi modu kullanılarak elde edilen ürünler ile araziden elde edilen noktaları koordinat farkları

Nokta No	Kolay Arazi Modu								
	Alçak			Orta			Yüksek		
	ΔY	ΔX	ΔZ	ΔY	ΔX	ΔZ	ΔY	ΔX	ΔZ
GCP1	0.028	-0.025	0.029	0.018	0.030	0.000	YKN	YKN	YKN
GCP2	0.033	0.006	-0.044	0.019	0.040	-0.072	YKN	YKN	YKN
GCP3	0.010	0.005	0.076	-0.014	0.029	0.018	YKN	YKN	YKN
GCP4	-0.021	-0.040	0.042	YKN	YKN	YKN	0.028	-0.066	0.087
GCP5	0.027	-0.008	-0.009	YKN	YKN	YKN	0.053	-0.046	0.024
GCP6	0.032	0.014	-0.013	YKN	YKN	YKN	0.036	-0.012	-0.005
GCP7	0.019	0.015	0.057	YKN	YKN	YKN	-0.035	0.003	-0.029
GCP8	YKN	YKN	YKN	-0.068	-0.049	-0.093	-0.074	-0.055	-0.099
GCP9	YKN	YKN	YKN	-0.082	-0.058	-0.091	-0.078	-0.046	-0.105
GCP10	YKN	YKN	YKN	-0.042	-0.052	-0.072	0.017	-0.037	-0.028
GCP11	YKN	YKN	YKN	-0.019	-0.069	-0.030	0.060	-0.068	0.096
GCP12	YKN	YKN	YKN	-0.004	-0.058	-0.020	0.071	-0.075	0.102
GCP13	YKN	YKN	YKN	0.003	0.021	-0.060	0.054	-0.035	0.070
GCP14	YKN	YKN	YKN	-0.011	0.090	-0.214	0.026	0.020	-0.047
GCP15	YKN	YKN	YKN	0.003	0.120	-0.198	0.004	0.041	-0.084
GCP16	YKN	YKN	YKN	0.014	0.200	-0.351	0.014	0.112	-0.194
GCP17	YKN	YKN	YKN	0.066	0.256	-0.384	0.040	0.148	-0.267
GCP18	YKN	YKN	YKN	0.053	0.178	-0.105	0.006	0.110	-0.054
GCP19	YKN	YKN	YKN	0.003	0.109	-0.027	-0.047	0.086	0.005
GCP20	YKN	YKN	YKN	-0.010	0.104	0.031	-0.068	0.053	0.072
GCP21	YKN	YKN	YKN	-0.005	0.048	0.082	-0.068	0.014	0.111
GCP22	0.017	-0.049	-0.007	YKN	YKN	YKN	-0.040	-0.004	0.009
GCP23	0.040	0.002	-0.047	-0.007	0.025	-0.020	YKN	YKN	YKN
GCP24	-0.016	0.013	-0.086	-0.030	0.009	-0.055	YKN	YKN	YKN
GCP25	0.035	-0.035	-0.070	-0.025	-0.026	-0.078	YKN	YKN	YKN
GCP26	0.046	0.012	-0.013	0.044	0.043	-0.024	YKN	YKN	YKN
GCP27	-0.033	-0.037	0.041	YKN	YKN	YKN	-0.078	-0.018	0.022
GCP28	YKN	YKN	YKN	-0.072	-0.006	0.011	-0.131	-0.018	0.038
GCP29	0.000	-0.056	0.015	YKN	YKN	YKN	-0.072	-0.064	-0.033
GCP30	0.109	0.041	-0.052	YKN	YKN	YKN	0.035	0.005	-0.086
GCP31	YKN	YKN	YKN	-0.010	-0.069	-0.066	0.038	-0.067	0.024
GCP32	0.039	-0.003	0.001	YKN	YKN	YKN	0.060	-0.021	0.064
GCP33	0.013	-0.056	-0.017	0.004	0.023	-0.131	YKN	YKN	YKN
GCP34	0.002	-0.043	-0.020	-0.012	0.029	-0.123	YKN	YKN	YKN
Karesel Ortalama Hata	**0.037**	**0.029**	**0.043**	**0.035**	**0.093**	**0.135**	**0.057**	**0.061**	**0.091**

Tablo 2. Zor arazi modu kullanılarak elde edilen ürünler ile araziden elde edilen noktaları koordinat farkları

Nokta No	Zor Arazi Modu								
	Alçak			Orta			Yüksek		
	ΔY	ΔX	ΔZ	ΔY	ΔX	ΔZ	ΔY	ΔX	ΔZ
GCP1	0.038	-0.006	0.063	0.027	0.049	0.045	YKN	YKN	YKN
GCP2	0.036	0.026	0.063	-0.002	0.039	0.014	YKN	YKN	YKN
GCP3	0.010	0.014	-0.009	-0.037	0.029	-0.071	YKN	YKN	YKN
GCP4	0.013	-0.019	-0.004	YKN	YKN	YKN	0.003	-0.056	-0.049
GCP5	0.016	0.012	0.043	YKN	YKN	YKN	0.012	-0.040	-0.044
GCP6	0.009	0.004	0.045	YKN	YKN	YKN	0.009	-0.029	-0.090
GCP7	-0.031	0.010	0.014	YKN	YKN	YKN	-0.009	-0.031	-0.118
GCP8	YKN	YKN	YKN	-0.045	-0.043	-0.073	0.004	-0.009	-0.201
GCP9	YKN	YKN	YKN	-0.016	-0.052	-0.150	0.023	-0.032	-0.250
GCP10	YKN	YKN	YKN	-0.015	-0.025	-0.124	0.015	-0.066	-0.168
GCP11	YKN	YKN	YKN	-0.019	-0.022	-0.061	-0.027	-0.069	-0.095
GCP12	YKN	YKN	YKN	0.015	-0.054	-0.120	0.014	-0.088	-0.083
GCP13	YKN	YKN	YKN	-0.004	-0.025	-0.001	0.033	-0.074	0.051
GCP14	YKN	YKN	YKN	-0.056	-0.046	-0.033	-0.017	-0.057	0.011
GCP15	YKN	YKN	YKN	-0.081	-0.030	0.049	-0.056	-0.067	0.099
GCP16	YKN	YKN	YKN	-0.100	-0.016	0.130	-0.062	-0.076	0.201
GCP17	YKN	YKN	YKN	-0.107	0.009	0.204	-0.087	-0.049	0.305
GCP18	YKN	YKN	YKN	-0.058	0.068	0.145	-0.093	-0.005	0.209
GCP19	YKN	YKN	YKN	-0.054	0.056	0.044	-0.082	0.020	0.097
GCP20	YKN	YKN	YKN	-0.012	0.038	0.011	-0.060	0.007	0.075
GCP21	YKN	YKN	YKN	-0.022	0.021	0.062	-0.068	0.014	0.080
GCP22	0.033	-0.047	0.006	YKN	YKN	YKN	-0.064	-0.042	0.082
GCP23	-0.002	0.003	0.057	-0.021	0.013	-0.003	YKN	YKN	YKN
GCP24	-0.007	0.034	0.080	-0.025	0.025	-0.008	YKN	YKN	YKN
GCP25	0.009	-0.014	0.020	-0.022	-0.034	-0.021	YKN	YKN	YKN
GCP26	0.043	0.002	0.010	0.026	-0.007	0.002	YKN	YKN	YKN
GCP27	-0.002	-0.011	0.035	YKN	YKN	YKN	-0.064	0.000	-0.007
GCP28	YKN	YKN	YKN	0.002	-0.010	0.011	-0.063	0.023	-0.039
GCP29	0.017	-0.012	0.004	YKN	YKN	YKN	-0.020	0.000	-0.123
GCP30	0.136	0.038	0.026	YKN	YKN	YKN	0.112	0.030	-0.108
GCP31	YKN	YKN	YKN	-0.038	-0.050	-0.065	-0.003	-0.076	-0.080
GCP32	0.015	0.023	-0.009	YKN	YKN	YKN	0.014	-0.041	0.010
GCP33	-0.006	-0.002	-0.074	-0.037	-0.020	-0.059	YKN	YKN	YKN
GCP34	0.016	-0.011	0.023	-0.027	0.000	0.032	YKN	YKN	YKN
Karesel Ortalama Hata	**0.038**	**0.017**	**0.041**	**0.044**	**0.036**	**0.082**	**0.052**	**0.048**	**0.131**

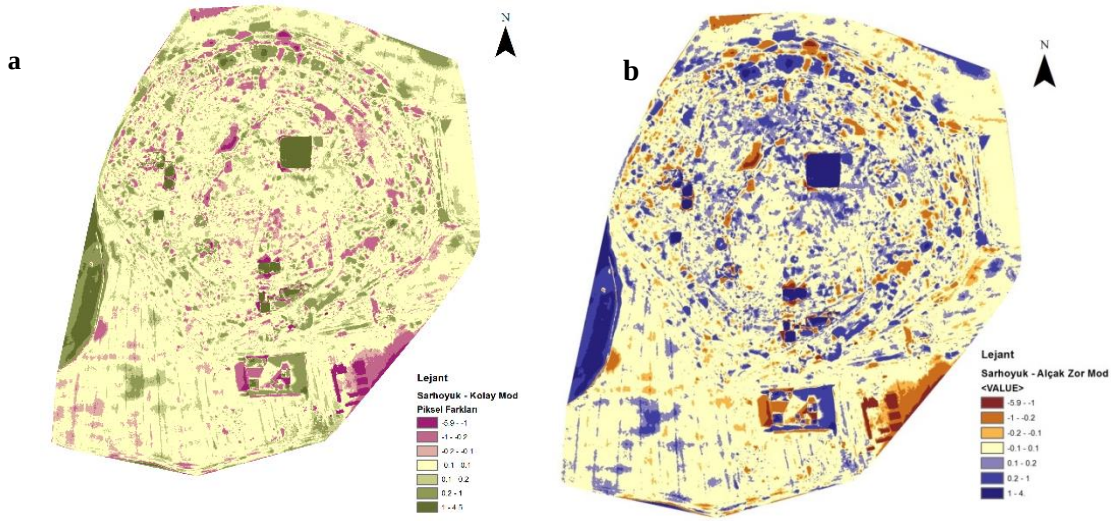


Şekil 12. Kontrol noktası kullanılarak elde edilen sonuçların karesel ortalama hatası

3.4.2. Sayısal Yüzey Modellerinin Karşılaştırılması

Sayısal yüzey modellerinin karşılaştırılması işleminde referans veri olarak topoğrafik yöntemler ile elde edilmiş verilerden üretilen SYM kullanılmıştır. SYM karşılaştırma işlemi için topoğrafik verilerden, karşılaştırma verisi ile aynı hücre büyüklüğüne sahip raster görüntüler üretilmiştir. Üretilen bu görüntüler referans veri olarak kullanılmış

ve insansız hava aracı ile üretilen raster görüntü ile aralarındaki fark bulunmuştur(Şekil 13). Karşılaştırma işleminde kolay modda bütün yer kontrol noktaları kullanılarak üretilen SYM ile karesel ortalama hatası en az olan zor modda alçakta bulunan yer kontrol noktaları ile üretilen SYM kullanılmıştır.



Şekil 13. Bütün yer kontrol noktaları kullanılarak oluşturulan SYM'nin karşılaştırılması(a), Karesel ortalama hatası en düşük olan alçak zor mod ile oluşturulan SYM'nin karşılaştırılması(b)

4. SONUÇLAR

İnsansız hava aracından elde edilen ürünlerin karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, yer kontrol noktaları kullanılarak hesaplanan karesel ortalama hesabı grafiğine göre, en az hatanın alçak seviyede bulunan kontrol noktalarının kullanıldığı ürünlerde olduğu görülmüştür. Bunun en temel nedeni alçak seviyede bulunan yer kontrol noktalarının çalışma alanına yayılması ve alanı daha iyi bir biçimde temsil etmesidir. Orta ve yüksek seviyede bulunan kontrol noktaları kümelenmiş şekilde görünmektedir. Kontrol noktası kullanılmadan üretilen ürünlerin karesel ortalama hata grafiği incelendiğinde, zor arazi modunda yapılan uçuşta en az hata oranı elde edildiği görülmektedir. Bunun en temel nedeni ise, zor arazi modunda verilerin enine ve boyunda bindirme oranının daha fazla olması ve araziden daha fazla veri elde edilmesidir. Fakat bu projenin işlenme süresi kolay arazi moduna göre çok daha uzun sürmektedir.

Sayısal yüzey modellerinin karşılaştırılması incelendiğinde insansız hava aracından elde edilen verilerin araziden elde edilen veriler ile uyuşum gösterdiği görülmektedir. Referans veri ile karşılaştırılan veriler arasında genel olarak 10cm'lik bir fark bulunmamaktadır. Şekil 13'te yüksek farkların bulunduğu alanlar büyük bir çoğunluk ile veri olmayan alanlardır. Araziden veri toplama aşamasında kazı alanlarına zarar vermemek adına bu kısımlardan veri toplanmamıştır. Veri olup karşılaştırma sonucu yüksek çıkan kısımlar ile araziden toplanan verinin insansız hava aracı ile toplanan veri kadar hassas olmamasında kaynaklandığı düşünülmektedir.Bu çalışmada insansız hava aracı ile oluşturulan verilerin araziden elde edilen topoğrafik ölçümler ile karşılaştırılması yapılmıştır ve insansız hava araçlarının kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 1210E156 nolu proje kapsamında desteklenmiştir

6. KAYNAKLAR

Changchun, L., Li S., Hai-bo W., Tianjie L., 2010. The research on unmanned aerial vehicle remote sensing and its applications, Advanced Computer Control (ICACC), *2nd International Conference*, 27-29 March, Beijing Normal Univ. Coll. of Resource Sci. & Technol., Beijing, China

Eisenbeiss, H., 2009. UAV Photogrammetry, *ETH Zurich for the degree of Doctor of Science*, ISNN 0252-9335 . ISBN: 978-3-906467-86-3.

Ramsay, M.,W., 2010, The Historical Geography of Asia Minor. *Cambridge Library Collection*.

Yastıklı, N., 2009, Ortofoto Ders Notları, *Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul.*

Zaugg, R., How to mark GCPs using the GCP Editor, https://sensefly.zendesk.com/entries/39145076 (01.11.2013)