



Karayolu Projelerinde Güzergah Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi

Fatih Tükenmez*¹

¹Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü, Etüt Proje ve Çevre Başmühendisliği, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İHA,
Sayısal Arazi Modeli,
Fotogrametri,
Karayolu Proje.

ÖZ

Günümüzde modern ölçme sistemleri arasında yer alan İnsansız Hava Araçları (İHA) lar, son zamanlarda birçok kullanım alanları olduğu gibi karayolu projelerinde de kullanılmaktadır. Karayolu projelerinde, proje güzergahı yatay (aliyman-kurb) ve düşey (profil-boykesit) hatlarının geometrik elemanlarının hesaplanması ve sonrasında toprak hareketi olarak da ifade edilen kazı dolgu miktarlarının (kübaj) belirlenmesi, proje altlığı olan sayısal hâlihazır haritaların doğruluğu ve hassasiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada İnsansız Hava Aracı ile elde edilen verilerden karayolu projelerine altlık olan güzergah haritalarının (şeritvari) yapımına yönelik bir araştırma yapılmıştır. Çalışma alanı olarak Karayolları 5.Bölge Müdürlüğü yol ağında bulunan Mersin-Fındıkpınarı İl Yolu proje güzergahının yaklaşık 2 km lik bir kesimi kullanılmıştır. Çalışma alanında belirlenen güzergahın yaklaşık 100 m sağ ve 100 m solunda 200 m genişliğinde bir koridorda önceden belirlenen uçuş planı doğrultusunda İHA ile 195 m yükseklikte %70 enine, %85 boyuna bindirmeli görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerin fotogrametri teknikleriyle değerlendirilmesi sonucu belirlenen koridorun Sayısal Arazi Modeli ve Güzergah Haritası üretilmiştir. Çalışma alanının önceden yersel yöntemle elde edilen yüksek doğruluklu 1/1000 ölçekli halihazır haritası ile İHA fotogrametri yöntemi ile üretilen halihazır haritası arasında belirlenen ortak bir alanda örnek karayolu projesi uygulaması ile hacim hesabı yapılmış olup çalışma alanı içerisinde farklı iki alanda kesit kontrolü yapılarak her iki yöntemle üretilen SAM (Sayısal Arazi Modeli) karşılaştırılmıştır. Ayrıca referans olarak kullanılan YKN'na ilave olarak sahada detay noktaları koordinatları RTK GPS tekniği ile ölçülerek üretilen ortofoto haritanın konum doğruluğu ve iki yöntem arasında yaklaşık maliyet karşılaştırması yapılmıştır.

Production of Route Maps in Haghway Project by Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Keywords

UAV,
Digital Terrain Model,
Photogrammetry,
Highway Project.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), which are among the modern measurement systems today, have been used in highway projects as well as many areas of use recently. In highway projects, the calculation of the geometric elements of the horizontal (aliyman-curb) and vertical (profile-long-section) lines of the project route, and then the determination of the excavation filling amounts (cubage), also expressed as soil movement, directly with the accuracy and precision of the digital existing maps is related. In this study, a research has been carried out for the production of route maps (strip data) that are the basis for highway projects from the data obtained by the Unmanned Aerial Vehicle. Approximately 2 km of the Mersin-Fındıkpınarı Provincial Road project route, located in the road network of the 5th Regional Directorate of Highways, was used as the study area. In line with the pre-determined flight plan, 70% transverse and 85% longitudinal superimposed images were taken with the UAV at an altitude of 195 m in a 200 m wide corridor approximately 100 m to the right and 100 m to the left of the route determined in the study area. As a result of the evaluation of these images with photogrammetry techniques, a Digital Terrain Model and Route Map of the determined corridor were produced. In a common area determined between the high-accuracy 1/1000 scale baseline map of the study area obtained by the terrestrial method and the baseline map produced by the UAV photogrammetry method, the volume calculation was made with the application of a sample highway project. DTM (Digital Terrain Model) has been compared. In addition to the YKN used as a reference, the location accuracy of the orthophoto map produced by measuring the coordinates of the detail points in the field with the RTK GPS technique and an approximate cost comparison between the two methods were made.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(f.tukenmez@hotmail.com) ORCID ID 0000-0002-1846-7499

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Tükenmez, F. (2022). Karayolu Projelerinde Güzergah Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(2), 58-72

1. GİRİŞ

Ulaşım genel olarak yolcuların ve eşyaların yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Ulaşım yollarından birisi olan karayolu ise yolcuların ve eşyaların güvenli, hızlı, konforlu bir şekilde taşınması için trafik akışına imkan sağlamak üzere kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeritleri, köprüler, tüneller, her türlü sanat yapıları, korum yapıları ve diğer alanlardır (Yakar, 2011; Hamal, 2022; Kabadayı, 2022). Karayolları geçmişte olduğu gibi günümüzde toplumların kalkınmalarına refaha ulaşmalarında büyük payı bulunmaktadır (Yakar ve Doğan, 2017; 2019; Yiğit vd., 2020). Büyük bir yatırımla gerçekleştirilen bu sistemin ülke ekonomisine katkıda bulunabilmesi karayolu güzergahının uygun seçilmesine, yapım, bakım ve işletme masraflarının düşük olmasına bağlıdır (Ulvi vd., 2019; Kaya vd., 2019; Erdoğan vd., 2021). Bu bakımdan karayolunu kullananlara onu teşkil eden öğelerinin çok iyi etüd edilmesine ve bilinmesine ihtiyaç vardır (Yakar vd., 2010; Yılmaz & Yakar, 2008).

Ulaşım Mühendisliği (Yol Mühendisliği) son zamanlarda karayolu projelendirme ve yapım konularında ele alındığında kendi başına bir bilim dalı olarak görülmektedir (Yılmaz, 2010; Yakar vd., 2015). Bu yönüyle yol(ulaşım) mühendisliği; Harita mühendisliği, inşaat mühendisliği jeoloji ve jeofizik, çevre mühendisliği, şehir planlaması gibi bilim dallarının ve mesleklerin temel mühendislik bilgilerini kullanan bir mühendislik bilim dalıdır (Yakar, 2008; Yakar & Yılmaz, 2009; Ulvi vd., 2020; Yiğit ve Ulvi, 2020).

Harita ve Harita Mühendislik hizmetleri tüm yatırım ve mühendislik hizmetlerinin altyapısını oluşturmaktadır. Karayolu projelerinde de harita mühendislerinin yoğun ve önemli işlevleri vardır. Güzergah etüdü, sayısal hâlihazır harita üretimi, aplikasyon (piketaj), yol platformunun teşkil edilmesindeki tüm aşamalarda arazi çalışmalarında, halihazır haritaların tamamlanmasına müteakip uygun yazılımlar kullanılmak suretiyle uygulama projesi çalışmalarında (plan, profil, enkesit, kübaj hesabı vb.) ofis çalışmalarında görev almaktadırlar.

Karayolu projelerine altlık olarak kullanılan halihazır haritalar yaklaşık 200 m genişliğinde bir koridoru kapsayan üzerinde dere, tepe, yol, ENH, vs. yapıların gösterildiği şeritvari haritalardır. Söz konusu halihazır haritalarda karayolu proje güzergahlarında kritik arazi kesiti olarak tanımlanan dere, hendek, şev vs. kesitlerin gerçek araziye yansıtması ve toprak hacim miktarlarının doğru hesaplanması için halihazır harita sayısal yükseklik modeli hassasiyetinin yüksek doğrulukta olması önem arz etmektedir (Yılmaz vd., 2008; Kök, 2019; Hamal vd., 2022)

Karayolu güzergah haritalarının ve sayısal arazi modelinin üretiminde, genellikle işçilik yoğunluklu geleneksel yersel yöntemler ya da klasik hava fotogrametrisi kullanılmaktadır (Alptekin vd., 2020a; 2020b; Ünel vd., 2020). Bu yöntemlerin yanında günümüzde ileri teknoloji uzaktan kumanda edilebilen İHA (İnsansız Hava Araçlarının) kullanılması zaman ve işgücü bakımından da değerlendirildiğinde önem arz etmektedirler.

Karayolu insan eliyle insanlığa yapılan en önemli altyapı yatırımlarından birisidir. İnsanoğlunun ortak

mekânı, toplumların ileriye yolculuğudur. Yolların tarihi ilk insanla başlar, geçmişten geleceğe doğru gelişerek uzar gider. Bu nedene yol bir ülkenin kalkınmasına, toplumun sosyo-ekonomik gelişimine temel oluşturan en önemli altyapıdır.

Karayollarında özellikle dağlık ve girilemeyen sık ormanlık alanların isabet ettiği güzergahlarda İHA teknolojisinin kullanılması kısa sürede az maliyetle harita üretilmesine olanak sağlamaktadır. Karayollarında İHA' lar; proje güzergahlarının sayısal halihazır haritalarının üretilmesi, heyelan alanlarının haritasının üretilmesi, kavşak alanlarının haritasının üretilmesi vb. uygulamalarda sıkça kullanılabilir. Ziba ve Yılmaz (2019), yaptıkları çalışmada (İHA)

insansız hava aracı kullanarak Çankırı Belediyesi yol çalışması kapsamında da 1/1000 ölçekli bir şeritvari harita üretilmiştir. Bu üretim esnasında yer kontrol ve baz noktaları için GPS olarak TOPCON GR3, hava fotoğrafı verisi elde etmek için İHA olarak Dji Phontom 4pro, dengeleme işlemi için AgiSoft, çizimde ise Leica Photogrammetry Suite ve Microstation V8i kullanılmıştır. İHA ile yapılan ölçüm sayesinde fazla detaylı yapıların haritalanmasında fotografik verilerin kolaylık sağladığı görülmüştür. Maliyet değerlendirmesi yapılarak yersel ölçüm tekniklerinin söz konusu haritanın üretilmesinde yüksek maliyet getirdiği sonucuna varılmıştır. Doğruluk bakımından inceleme yapılması için arazide RTK yöntemi ile yapılan kontrol ölçüleri ve harita üzerinden yapılan ölçüler kullanılmıştır. Konum doğruluğu için gerekli detay alımları yapay yapılardan alınırken, kot doğruluğu için arazi alanından boş kot okunmuştur. Bu verilerin kıyaslanması sonucunda, y koordinatlarında (sağa) $\pm 1,5$ cm hata bulunurken, x koordinatlarında (yukarı) ± 1 cm hata bulunmuştur. Ortalama konum hatası ise $\pm 1,25$ cm bulunmuştur. Ayrıca ortalama kot hatasının $\pm 1,2$ cm olduğu görülmüştür.

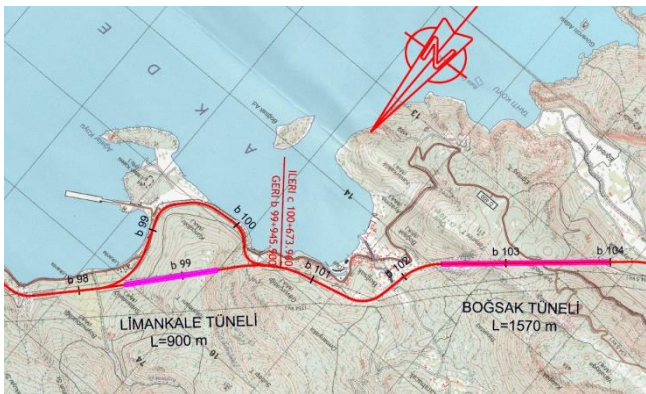
Seki vd. (2017), yaptıkları çalışmada hacim (küba) hesaplamalarında jeodezik ve fotogrametrik yöntemlerin kullanıldığından, teknolojinin gelişmesiyle birlikte İHA' nın hacim hesaplarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada Mayıs 2016 ve Kasım 2016 tarihlerinde yapılan yersel ölçümlere paralel olarak İnsansız hava aracı (İHA) kullanılarak fotogrametrik yöntemle ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Yersel ölçümler GPS ile yapılmıştır. Fotogrametrik ölçümlerde ise İHA (DJI Phantom 3 Pro) kullanılmıştır. Fotogrametrik ölçümler sonucu Mayıs ayında yer örnekleme aralığı (GSD) 4.18 cm, Kasım ayında ise 3.95 cm olmuştur. Fotogrametrik ölçüm sonuçlarında toplanan verilerin değerlendirilmesi yapılarak Mayıs ve Kasım aylarında 507 m³ kazı 61000 m³ dolgu değerlerine ulaşılmıştır. Ulaşılan sonuçlar yüzey karşılaştırmaları yapılarak fotogrametrik ölçümlere paralel yapılan yersel ölçümlerle karşılaştırılmış ve yersel ölçümlerle tutarlı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Erdoğan (2016), yaptığı çalışmada İnsansız Hava Araçlarıyla elde edilen verilerden şeritvari harita yapımına yönelik bir araştırma yapmıştır. Çalışma alanı olarak Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü çevre yolu projesi üzerinde yaklaşık 2 km'lik bir güzergah seçmiştir. Bu güzergah üzerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) ile 70m yükseklikten %70 bindirme ile görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerin değerlendirilmesiyle elde edilen Sayısal

Yükseklik Modelinden (SYM) yaralanarak halihazır harita oluşturmuştur. Bu çalışma içerisinde yüksek doğrulukta elde edilen halihazır harita ile 1/1000'lik fotogrametrik olarak üretilen halihazır harita üzerinden ortak bir güzergah belirlemiştir. Belirlenen güzergahta en kesitler üretilerek kazı dolgu hacmi ve farkları araştırılmıştır. Aynı zamanda 100 m x 100 m'lik alan içerisinde 20 m aralıklarla grid ağı oluşturmuştur. Bu alanda farklı yükseklik ve farklı bindirme oranlarında görüntüler alınarak nokta konum doğruluğu araştırması da yapmıştır.

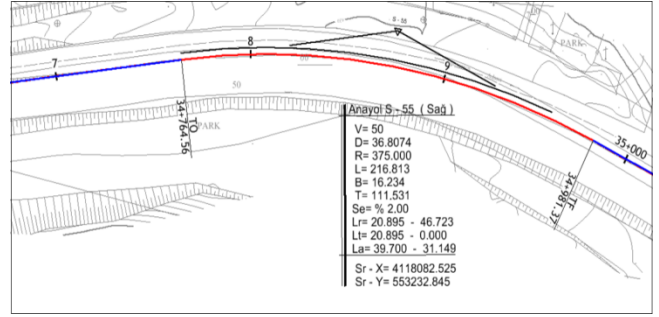
Toprak (2014), yaptığı çalışmada Fotogrametrik Tekniklerin İHA'lar ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin tespit edilmesini araştırmıştır. Bu projelerin üretimine yeni bir soluk katacak ve bu teknik ile daha kısa zamanda, daha hassas ve düşük maliyetler ile mühendislik projeleri üretilebileceği sonucuna varmıştır. Çalışmada, İHA ile Fotogrametrik Teknikler kullanılarak, Afyonkarahisar İli Merkezinde Hâlihazır Harita Üretimi, Hacim Hesabı ve Ortofoto Harita Üretimi, Konya İli Beyşehir İlçesinde Kültürel Mirasların Dokümantasyonu ve Mersin İli Silifke İlçesinde Arkeolojik Dokümantasyon şeklinde farklı mühendislik projelerinin üretildiği bahsedilmiş olup, bu çalışmada, gelişen teknolojinin bize sunmuş olduğu İHA'ların Fotogrametrik Teknikler ile birlikte, farklı mühendislik projelerinin üretiminde kullanılabilirliği araştırılmış ve sonuca varılmıştır.

Karayolu proje güzergah geometrik elemanları ana hatlarıyla Yatay Geometri (Plan), Düşey Geometri (Profil), dever ve enkesit den oluşmaktadır. Tüm bu geometrik elemanların belirlenmesi ve gerekli hesaplamaların (kazı dolgu hacim hesapları, yatay düşey kurp hesapları, dever vs.) proje güzergah hattının belirlenmesi ve sayısal halihazır haritasının üretilmesi için öncelikle 1/25000 ölçekli koridor etüdü güzergahı plan profil çalışması yapılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. 1/25000 ölçekli koridor etüdü güzergahı plan profili

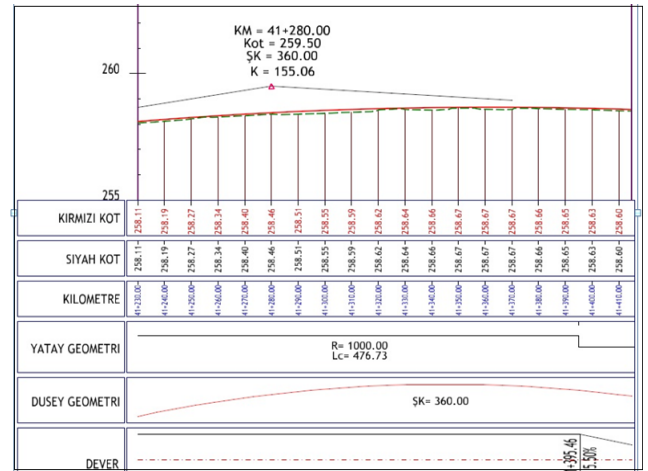
Kesinleşen 1/25000 ölçekli güzergah planının sayısal hâlihazır harita alımı (Etüt) tamamlandıktan sonra 1/1000 ölçekli yatay hat çalışması yapılır. Güzergah Yatay hattı, Aliyman (doğrusal eksen) ve Kurp (dairesel eğri) den oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. 1/1000 Ölçekli Güzergah Yatay Hattı

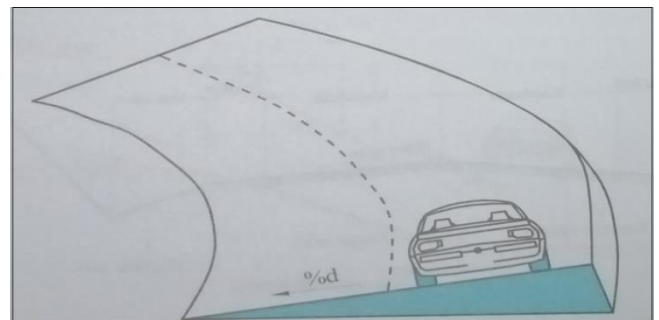
Proje düşey hattı, yatay ölçek 1/1000, düşey ölçek 1/100 olacak şekilde sayısal arazi modeli oluşturulmuş yatay eksen boyunca düşey kurpların (genellikle parabolik şekilde açık ve kapalı olarak) tanjant parçalarının birleşiminden oluşmaktadır.

Profil alt satırında sırası ile, kırmızı kot, siyah kot, kilometraj, yatay geometri, düşey geometri ve dever bandı bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Düşey Profil

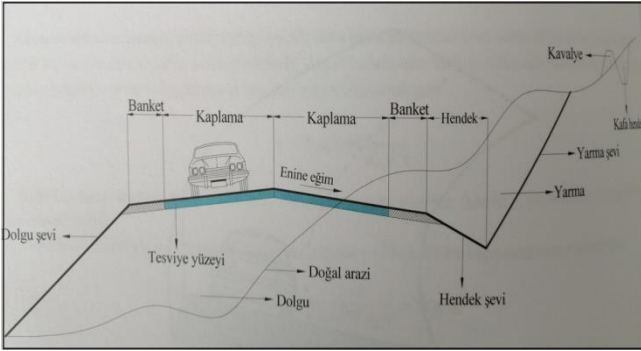
Dever; yatay kurplarda taşıtların hızlarından dolayı meydana gelebilecek merkezkaç kuvvetini yenmek araçların devrilme ve kaymalarını önlemek için yol platformuna verilen eğimdir (Şekil 5). Devlet ve İl yolları için kabul edilir maksimum dever %8'dir. Kar ve don'un etkili olduğu bölgelerde % 6, proje tasarım hızının 30 km/s ve daha düşük olduğu bölgelerde % 4 alınır (KGM, 2022)



Şekil 5. Yatay kurpta dever [URL-1]

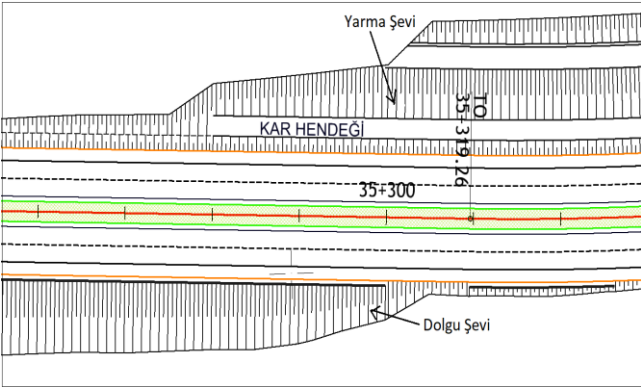
Enkesit; Yol gövdesi tabakaları ve elemanlarının yeterli genişlikte bir arazi kullanımını da kapsayacak şekilde yol eksenine dik düşey düzlem ile ara kesittir (Şekil 6).

Bir karayolu enkesiti karayolu kapasitesini ve güvenliğini etkileyen önemli bir eleman olup, trafik şeritleri, banket, refüj, üstyapı. Hendek ve yarma ve dolgu şevlerinden oluşmaktadır. Herhangi bir karayolunda uygulanacak enkesit tipinin seçimi yolun sınıfına, trafik hacmine, topoğrafik yapısına ve tasarım hızına bağlıdır.



Şekil 6. Yol Enkesiti

Şevli Plan; Proje güzergahı yatay ve düşey hattının (kırmızı kotunun) tamamlanmasından sonra uygulanacak olan enkesit tipine göre modellenerek harita düzlemi üzerinde gösterimidir (Şekil 7).



Şekil 7. Şevli Plan

Kübaj; Karayolu proje güzergahlarında güzergah boyunca belirli aralıklarda (20 m) enkesit alanları kullanılarak toprağın sıkışma, kabarma değerleri de dikkate alınarak hesaplanan kazı dolgu hacmi miktarıdır (Uysal vd., 2015)

Karayolu projelerinde hacim hesabında enkesitler yardımı ile alan hesabı yapılırken eşitlik (1) 'de verilen ortalama alanlar formülünden yararlanılır.

$$V = \frac{(F_1 + F_2)}{2} * L_1 + \frac{(F_2 + F_3)}{2} * L_2 + \dots + \frac{(F_i + F_{i+1})}{2} * L_i \quad (1)$$

İki kesit arasındaki dolgu ve yarma hacminin hesaplanabilmesi için yol gövdesinin yarmadan dolguya geçtiği ve yarma ve dolgunun sıfır olduğu kabul edilen geçiş noktasının kesitlere olan uzaklıklarının hesaplanması gerekir (Yakar & Fidan, 2019).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Son yıllarda gelişen ve değişen ileri teknolojiler sayesinde fotogrametrisinin sivil kullanıcılar tarafından da uygulamaya başlaması ile birçok haritacılık uygulamaları fotogramerik yöntemler ile yapılmaktadır. İleri teknoloji İHA da hava fotogrametrisi uygulamalarında önemli bir platformdur (Hamal vd., 2020; Ceylan ve Uysal, 2021).

Hava fotogrametrisinde kullanılan platformlardan uydular ve uçakların yanında son zamanlarda fotogrametrik veri elde etmede İHA ların üzerine entegre edilen metrik olmayan dijital kameralar sayesinde hava fotogrametrisi uygulamaları daha kolay hale gelmiştir (Yakar ve Yılmaz, 2008; Yakar vd., 2009).

Günümüzde birçok farklı amaç için kullanılabilen İHA'lar fotogrametri için de taşıyıcı platform olarak kullanılmaktadır. Uçak, helikopter, octocopter veya zeplin şeklinde farklı uçuş şartlarına sahip birçok İHA'dan bahsetmek mümkündür (Ulvi, 2017; Hamal vd., 2021)

Bu çalışmada şekil 8' de gösterildiği üzere İnsansız Hava Aracı (İHA) ve İHA üzerine entegre edilmiş metrik olmayan dijital kameralar kullanılmış olup YKN 'lerin jeodezik ölçümler ile koordinatlarının belirlenmesi için GNSS cihazları temin edilmiştir (Şekil 9).



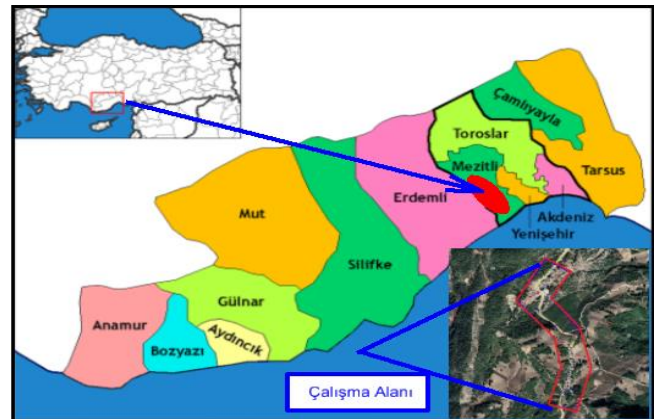
Şekil 8. DJI Phantom Pro4 ve Entegre Dijital Kamera



Şekil 9. SATLAB SI500 GPS Alıcısı

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Karayolları 5.Bölge Müdürlüğü yol ağında bulunan Mersin-Fındıkpınarı İl Yolu proje güzergahının yaklaşık 2 km lik kesimi kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Çalışma Alanı görünümü

Çalışma alanında poligon taşlarına ilave olarak 51adet YKN noktaları tesis edilmiş olup bunların 23 Adedi Dengelemede,51 adedi ise ortofoto doğruluk analizinde check (kontrol) notaları olarak kullanılmıştır.

Karayolu proje güzergahlarında toprak hareketlerinin (kazı dolgu miktarları) birbirini dengeleyebilmesi için arzu edilen arazi topoğrafyası dalgali arazi yapısıdır. Bu nedenle çalışma alanı olarak bu çalışmada elde edilecek olan SAM (Sayısal Arazi Modeli)' nin toprak hareketi değerlendirmesinde (kazı-dolgu) daha doğru karşılaştırma yapılabilmesi için Mersin Fındıkpınarı İl Yolunun özellikle dalgali arazi yapısına sahip bu kesimi tercih edilmiştir.

Arazi çalışmaları öncesinde uygulamada kullanılacak İHA (Döner Kanatlı) , dijital kamera (İHA'ya entegre), GNSS cihazı ve İHA ile elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesinde yer kontrol noktaları olarak tesis edilecek olan (bez branda ve çizgi boyası) temin edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Yer Kontrol Noktası Tesisleri görünümü

YKN'lerin koordinatlandırma işlemi, GNSS alıcısı Satlab GPS cihazı ve 2 m sabit yükseklikte jalon kullanılarak sahada istikşaf aşamasında bulunan ve 5 adet poligon noktasının koordinatları (ITRF Datumunda kesin koordinat) esas alınarak RTK GPS tekniği ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 12).

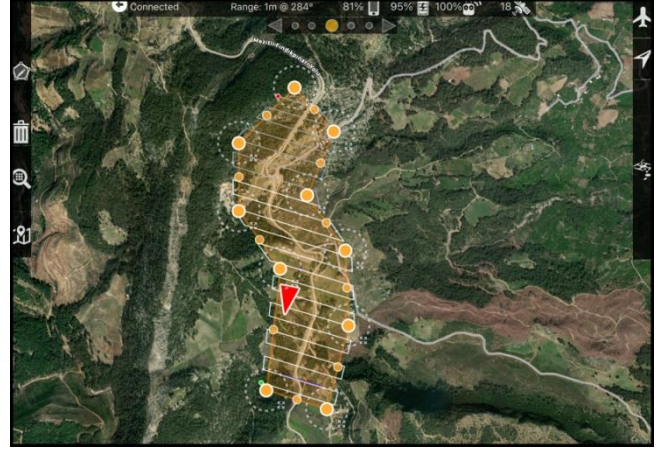


Şekil 12. YKN Ölçülmesi İşlemi

RTK-GPS tekniği ile elde edilen YKN'lerin arazi koordinatları EK 1' de verilmiştir.

2.2. Uçuş

Uçuş işlemine geçilmeden önce arazide uçuş planlaması yapılmıştır. Uçuş Planlaması Şekil 13' te gösterildiği üzere arazide Pix4d Capture programında manuel olarak hazırlanmıştır. Bu planlamada yer örnekleme aralığı (YÖA) 5 cm/piksel, uçuş yüksekliği 195 m %70 enine ve %85 boyuna bindirmeli 414 adet İHA ile fotoğraf çekimi yapılmıştır. Çalışma alanı koridorunda uçuş planına göre uçuş süresi yaklaşık 30 dakika sürmüştür.



Şekil 13. Pix4d Capture Uçuş Planı

2.3. Agisoft ve Ortofoto Harita Üretimi

Agisoft PhotoScan yazılımı yüksek çözünürlükte orto-görüntü ve son derece detaylı DEM ve poligonal model oluşturulmasına olanak sağlayan bir fotogrametrik değerlendirme yazılımı olup tam otomatik iş akışı özelliğine sahiptir [URL-2].

Yazılım, JPEG, TIFF, PNG gibi birçok formatları desteklemektedir. GeoTiff, xyz, Google KML, Wavefront OBJ, VRML, COLLADA ve PDF gibi çok farklı formatlarda çıktı ürünler sağlamakta olup fotogrametrik ve CBS açısından kolay işlenebilir çıktılar sağlayabilmektedir (Uysal vd., 2015; Aktaş vd., 2016; Alptekin vd., 2019)

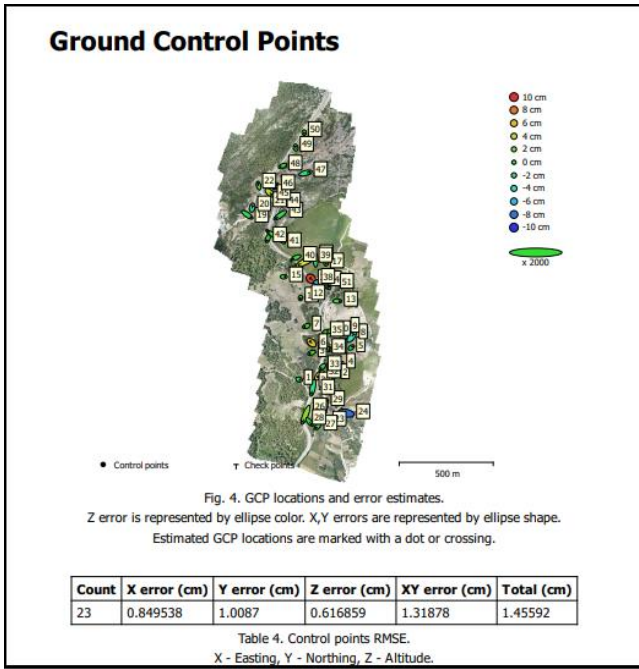
Agisoft PhotoScan programı ile ortofoto oluşturmak için aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır.

Agisoft PhotoScan programı ile ortofoto oluşturmak için aşağıdaki işlem adımları uygulanır.

- Program çalıştırıldıktan sonra **Workflow** sekmesi altında bulunan **Add Photos** sekmesi tıklanır ve resimlerin bulunduğu dosya komutu kullanılarak resimler seçilir.
- Daha sonra **Workflow** menüsü altında **Align Photos** sekmesi ile yüklenen resimler sıralanır.
- Bu işlemden sonra YKN ler import edilerek YKN işaretleme işlemi gerçekleştirilir. İşaretleme yapılırken ekrandaki bayrak işareti hassas olarak YKN üzerine getirilir.

Bu çalışmada dengelemede proje alanına uygun (homojen) dağılımda tesis edilen bulunan 23 adet YKN noktası kullanılmış olup dengeleme sonucu şekil 14' te verilmiştir.

- **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Dense Cloud** sekmesi ile yoğun nokta bulutu işlemi gerçekleştirildi.
- Bir sonraki işlem olarak nokta bulutu üretildikten sonra üretilen bu noktalardan üçgen model oluşturularak çalışma alanının katı modeli elde edildi. Bu işlem **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Mesh** sekmesi ile gerçekleştirildi.
- Katı model oluşturulduktan sonra katı modele resim giydirme işlemi (**Build Texture**) sekmesi ile gerçekleştirildi.

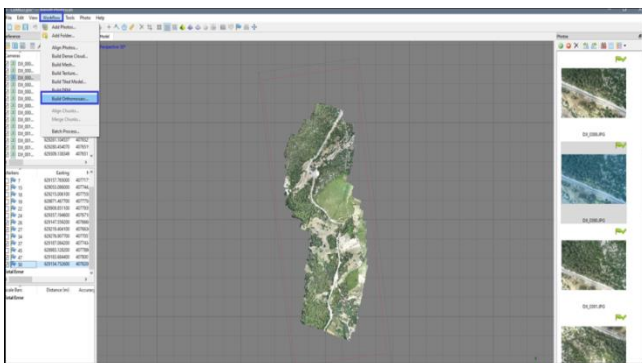


Şekil 14. 23 Adet YKN Dengeleme Sonucu Raporu Görüntüsü

Sayısal Yükseklik Modeli (DEM); Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), doğal kaynaklar ve şehirlerin yönetiminden, mühendislik ölçmelerine kadar birçok uygulamanın olmazsa olmazı konumundadır. (Erten vd., 2018) Diğer bir ifade ile DEM; Bir arazi yüzeyini 3 boyutlu olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik verilerinden elde edilmiş bir sayısal modeldir [URL-3].

- Resim giydirmeye işleminden sonra (Build DEM) sekmesi ile çalışma alanının sayısal yükseklik modeli oluşturuldu.
- Sonraki işlem olarak ortofoto üretimi gerçekleştirildi
-

Bu işlem için Agisoft **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Orthomosaic** sekmesi kullanıldı (Şekil 15).



Şekil 15. Agisoft Çalışma Alanı Orthomosaic Oluşturma Menüsü

2.4. Ortofoto Harita Doğruluk Değerlendirme

Ortofoto harita doğruluk değerlendirmesinde çalışma alanına uygun dağılımda homojen olarak tesis edilen 51 adet YKN noktasına ilave olarak çalışma alanı içerisinde 30 adet detay noktaları kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktasının seçiminde arazide mevcut bina köşeleri, duvar noktası, yol ortası çizgi detayları vs.

noktalar kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktasının koordinatları YKN noktalarının da olduğu gibi GNSS alıcıları ile RTK ölçü yöntemi ile elde edilmiştir.

Ortofoto haritanın hassasiyeti koordinatlara bağlıdır. Arazide ölçülen 51 adet YKN ve 30 adet detay noktasının koordinatları kesin koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Bu noktaların Ortofoto harita koordinatları NetCAD yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

RTK GPS yöntemi ile elde edilen ve kesin koordinatlar olarak kabul edilen noktalar ile ortofoto harita koordinatları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada X ve Y yönündeki hatalar;

$$v_x = x_k - x \quad (2)$$

$$v_y = y_k - y \quad (3)$$

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n}} \quad (4)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \quad (5)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \quad (6)$$

$$m_p = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (7)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

Bu 81 adet noktanın kesin koordinatları, ortofoto haritadan elde edilen koordinatlar ve bu iki koordinatlar arasındaki farklar Ek 2 ve Ek 3'te verilmiştir.

Eşitlik 4, 5 ve 6 kesin noktalar ve ortofoto harita koordinatları arasında hesaplanan karesel ortalama hatalar ve nokta konum doğruluğu Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Karesel Ortalama Hatalar

Nokta Sayısı	Karesel Ort. Hata (cm)		Ort. Konum Hatası (cm)
	m_x	m_y	m_0
81	2.76	2.64	3.81

2.5. Leica Photogrammetry Suit ve (SAM) Üretimi

Leica Photogrammetry Suit (LPS) programı, fotogrametrik proje uygulamalarında temiz ve sezgisel bir arayüze sahip öğrenimi ve kullanımı kolay ticari kodlu bir yazılımdır [URL-4]. Fotogrametrik uygulamalarda doğru, hassas ve hızlı üretim yapılabilecek araçları sağlayan yazılımdır. LPS yazılımı dünyada en geniş format yelpazesine sahip yazılımdır. Gerek uydu görüntüleri gerekse herhangi bir kaynaktan gelen hava fotoğrafları LPS içinde kullanılabilir [URL-5].

Sayısal Arazi Modeli; (SAM) yeryüzü topografyasının herhangi bir bölümüne ilişkin konum ve yükseklik bilgisiyle oluşturulmuş, o bölgeyi tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu sayısal bir modeldir. Diğer bir ifade ile SAM arazi üzerindeki doğal ve yapay

unsurlar (binalar, orman vb. alanlar.) çıkarıldıktan sonra kalan çıplak yer yüzeyini belirtmektedir. Sayısal Arazi Modeli de dahil olmak üzere İHA ile veri üretimi, multimedia coğrafi bilgi sistemleri için gerekli 3D veri altyapısının oluşturulmasına da hizmet etmektedir (Karkınlı vd., 2015)

Bu çalışmada Agisoft Photoscan programı ile dengeleme yapılan görüntülerin (çizime hazır hale getirilen) sayısallaştırılması şekil 16' da gösterildiği üzere LPS yazılımı ve bu yazılım ile entegre eşzamanlı çalışan MicroStation V8 programı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca araziye yansıtılan DTM noktaları manuel olarak üretilmiştir.



Şekil 16. Çalışma Alanı Stereo Kıymetlendirme görüntüsü

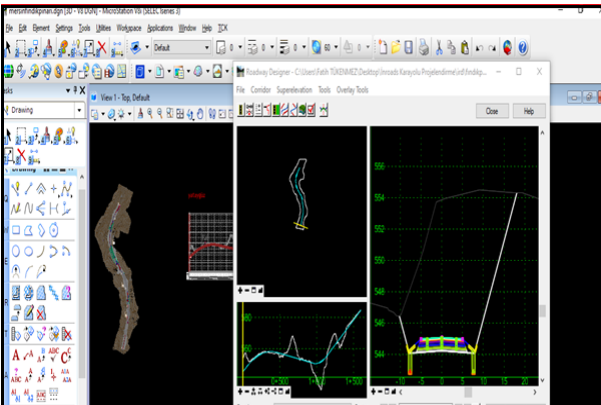
2.6. MicroStationV8İ (Inroads)

MicroStation V8İ programı dünyanın en büyük tasarım firmalarından birisi olan BENTLEY Systems tarafından geliştirilen ticari kodlu bir yazılımdır [URL-6].

MicroStation V8İ yazılımının;

- Çizim üretimi, verimliliği
- Yapılandırılmış İş Akışları, İçerik
- Tasarımda iletişim kolaylıkları, kontrol ve düzeltme seçenekleri
- 3 Boyutlu Modelleme gibi güçlü ve basit yanları bulunmaktadır.

Inroads; Microstation V8İ karayolu projelendirme modülü, uluslararası mühendislik camiasında birçok kullanıcıya sahip olan bir programdır. Ülkemizde birçok proje firması genel görünümü şekil 17' de gösterilen Microstation Inroads modülü ile tasarımlar yapmakta ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 17. Microstation V8İ InRoads yazılımı genel görünümü.

2.7. Karayolu Güzergah Projesi Örneği ve Kübaj (Hacim) Hesabı

Bu çalışmada sayısal halihazır 2014 yılında yersel yöntemle üretilen Mersin Fındıkpınarı İl Yolu'nun çalışma alanını kapsayan kesiminde yaklaşık 1.5 km lik bir güzergahın her iki yöntemde üretilen sayısal arazi modelleri kullanılarak proje güzergahının kübajı (Kazı Dolgu miktarları) belirlenmiştir. Bu örnek proje çalışmasında MicroStation V8İ programı altında çalışan Inroads (Yol Projeledirme Modülü) kullanılmıştır.

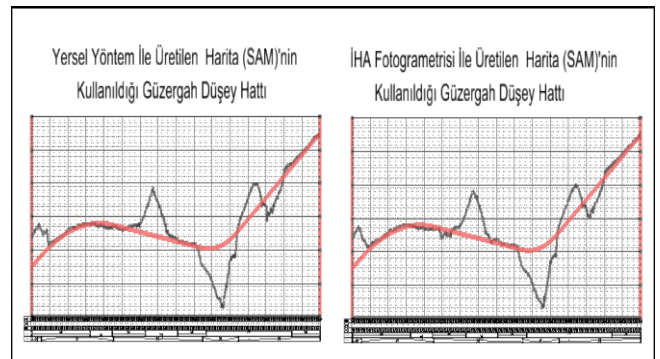
Karayolu proje güzergah geometrik elemanları ana hatlarıyla; Yatay Geometri (Plan), Düşey Geometri (Profil), dever ve enkesit den oluşmaktadır. Bu çalışmada aynı güzergaha ait aynı tasarım parametreleri kullanılarak yersel yöntemle üretilen SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve İHA Fotogrametisi yöntemi ile üretilen SAM kullanılmıştır.

Yersel Yöntemle üretilen SAM kullanılarak elde edilen proje güzergahında 107682.456 m³ kazı hacmi, 75908.986 m³ dolgu hacmi hesaplanmış olup 31773.469 m³ kazı fazlası bulunmaktadır. İHA Fotogrametisi yöntemi ile üretilen SAM kullanılarak elde edilen proje güzergahında 108951.136 m³ kazı, 74768.338 m³ dolgu hacmi hesaplanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen toprak ileri miktarları hesaplanmış olup karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kazı Dolgu Miktarları Karşılaştırması

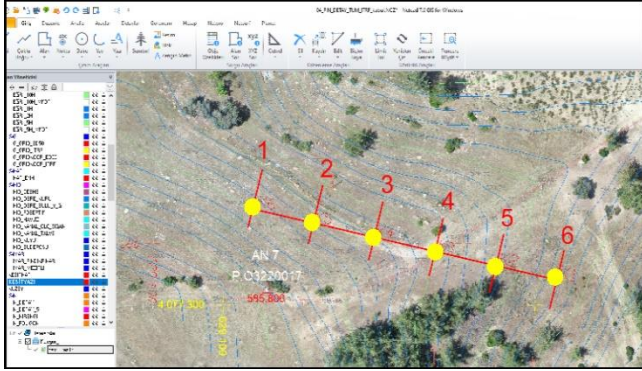
	Yersel (SAM)	İHA (SAM)	Farklar
Yarma Hacmi (m ³)	107686.456	108951.136	1268.68
Dolgu Hacmi (m ³)	75908.98	74768.338	-1140.648
Farklar Yüzdesi (Yersel Yarma)			%1
Farklar Yüzdesi (Yersel Dolgu)			%2

Çalışma alanı içerisinde her iki yöntemle üretilen sayısal arazi modelleri kullanılarak örnek uygulaması yapılan karayolu proje güzergahının profil karşılaştırması Şekil 18 ' de gösterilmiştir

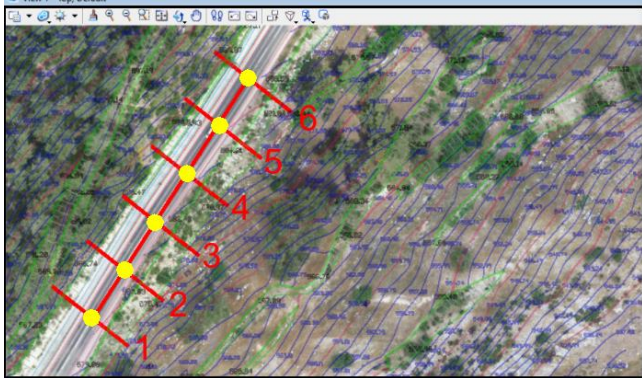


Şekil 18. Güzergah Profili Görüntüsü

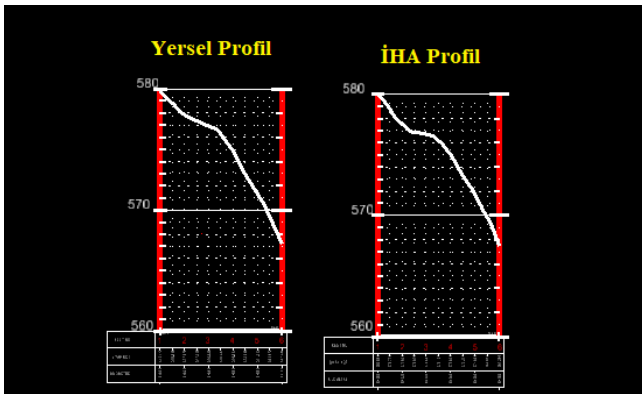
Ayrıca, çalışma alanını içerisinde yine farklı iki alanda Şekil 19' da gösterilen birinci arazi alanı ile şekil 20'de gösterilen ikinci arazi alanında, 100 m lik bir arazi kesitinin 20 m aralıklarla boykesit profilleri alınarak her iki yöntemle üretilen SAM karşılaştırılmıştır. Gayrimeskun alanda seçilen birinci kesit alanına ait profiller Şekil 21'de, profil alt satır bilgileri ise Şekil 22' de gösterilmiştir.



Şekil 19. Çalışma Alanında Örnek Kesit Hattı Görüntüsü-1



Şekil 20. Çalışma Alanında Örnek Kesit Hattı Görüntüsü-2



Şekil 21. 100 m lik Örnek 1. Arazi Kesitinin iki sistemdeki profili

İkinci kesit alanı olarak mevcut yol platformu üzerinde bir kesim seçilmiştir (Şekil 20). Bu alanın seçilmesinin nedeni sert ve düz satırlı yüzeylerde zemin kotlarının daha hassas olması gerektiğidir. İlk olarak örnek kesit alanı 1 de olduğu gibi 100 m lik bir arazi kesitinin 20 m aralıklarla boykesit profilleri alınarak her iki yöntemle üretilen SAM kullanılarak karşılaştırılmıştır. Mevcut yol platformu üzerinde seçilen 2. Kesit hattı üzerinde 20 m aralıklar ile 5 adet noktanın kot ölçümü P.55 referans alınarak GPS RTK tekniği ile 11.11.2021 tarihinde sahada ölçülmüştür (Şekil 23).

Station	1	2	3	4	5	6
KESİT NO	1	2	3	4	5	6
SIYAH KOT	579.772	578.628	577.870	577.359	576.247	572.945
KİLOMETRE	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100

Station	1	2	3	4	5	6
KESİT NO	1	2	3	4	5	6
SIYAH KOT	580.042	578.778	577.636	576.974	576.157	573.277
KİLOMETRE	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100

Şekil 22. Örnek 1. Arazi Kesitinin İki Sistemdeki Profil Alt Satırı



Şekil 23. Örnek 2. Arazi Kesitinin Ölçümü

Arazide GPS tekniği ile ölçülen kotlar ile İHA sayısal arazi modelinden üretilen kotlar arasındaki farklar Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Kesit 2 Hattı Üzerindeki Noktaların Kotları ve Farkları

Nokta No	Kesin Kotlar (m)	İHA (SAM) Kotları (m)	Farklar (cm)
1	580.258	580.218	4
2	581.478	581.529	-5
3	583.069	583.025	4
4	584.019	584.053	-3
5	584.925	584.973	5
6	585.972	585.953	2

2.8. Yersel Harita ve İHA Fotogrametrisinin Maliyet Yönünden Karşılaştırılması

Çalışma alanının halihazır harita üretiminde kullanılan iki farklı yöntem (İHA Fotogrametrisi ve Yersel Yöntem) arasında maliyet değerlendirmesi yapılmış olup, Döner kanatlı İHA kullanılarak üretilen haritanın maliyet hesaplamalarında hesap yöntemi olarak daha önce yapılan benzer bir çalışma olan " (Ulvi A., 2015 Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava

Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında (Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma) " konulu Doktora tezi baz alınmıştır.

Döner kanatlı İHA Sisteminin maliyeti 40000 TL dir. İHA 'nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonrasında amortisman gideri satı alma maliyetidir.

İHA nın bu projedeki bir saatlik uçuş maliyeti = $[\text{Satın Alma Maliyeti} / (100 \times 1)]$. Buradaki 1 rakamı çalışma alanında saat biriminde uçuş süresidir. Bu formüle göre İHA'nın bir saatlik uçuş maliyeti = $[40000 / (100 \times 1)] = 40$ TL'dir.

Bu çalışmada 51 adet YKN tesis edilmiştir. 26 adet YKN tesisinde Karayolları Genel Müdürlüğünün kullandığı yol çizgi boyası kullanılmıştır. 25 adet YKN tesisi için de (50 cm*50 cm) ebatlarında bez brandalar kullanılmıştır. Burada harcanan 25 adet YKN tesisinde 5 kg boya kullanılmış olup 1 kg boyanın maliyeti 10 TL.dir. Bu boyanın 1 adet YKN maliyeti ise; $(10 \times 5) / 26 = 1.92$ TL dir. Kullanılan 1 adet bez brandanın maliyeti ise 25 TL dir.

Çalışma alanının fotoğraflanması çalışmasında 414 adet fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğraflar 4 adet lipo pili sarz edip iki adet uçuş yapılarak elde edilmiştir. Bir pilin

satın alma maliyeti 625 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise $[(625 \times 4) / 100] / 414 = 0.06$ TL dir.

Yetkili satıcılardan alınan yazılım lisans fiyatları incelendiğinde [URL-7]. Fotoğrafların değerlendirildiği Agisoft yazılım maliyeti 3500\$'dır. Doların kur fiyatı 8.80 TL olarak düşünüldüğünde yaklaşık fiyatı $3500 \times 8.80 = 30800$ TL'dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti; $[30800 / (100 \times 24)] = 12.83$ TL dir.

Stereo kıymetlendirmenin yapıldığı yazılımın maliyeti 12000\$ dir. 01.10.2021 tarihinde T.C.Merkez Bankası Dolar Kur Fiyatı 8.80 TL olarak düşünüldüğünde yaklaşık fiyatı $12000 \times 8.80 = 105600$ TL dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik kıymetlendirme maliyeti; $[105600 / (100 \times 24)] = 44$ TL dir.

TMMOB 2021 yılı asgari mühendislik ücreti brüt maaşı 5750 TL üzerinden günlük mühendis ücreti ; $5750 / 20$ (gün) = 287.50 TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda döner kanatlı İHA yaklaşık maliyeti Tablo 4 ' de verilmiştir.

Tablo 4. Döner Kanatlı İHA Fotogrametrisi Yaklaşık Maliyet

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel	Uçuş	Yazılım	Hizmet	Hizmet	Σ(TL)	
			Ücreti (TL)	Ücreti (TL/Saat)	Ücreti (TL/Saat)	Miktarı (Adet)	Ücreti (TL/Adet)		
1 Araç Kirası	24					1	250	250	
2 Uçuş	1	1	287.50	48				335.50	
3 Uçuş Planlaması	1	1	287.50					287.50	
4 YKN Tesis (Boya)	4	1	287.50			26	1.92	337.42	
5 YKN Tesis (Bez Branda)	2	1	287.50			25	25	912.5	
6 Fotoğraf Çekim						414	0.06	24.84	
7 Dengeleme	24	1	287.50		12.83			595.42	
8 Kıymetlendirme	24	1	287.50		44			1343.5	
9 Bütünleme	24	1	287..50		12.83			595.42	
Toplam									4682,10

Çalışma alanının dalgalı arazi yapısına sahip olmasından dolayı yersel halihazır harita üretimine 10 adet poligon taşı tesisi yapılmıştır. Poligon taşı piyasa değeri 30 TL dir. Nakliye değeri ise 10 TL dir.1 adet poligonun nakliye değeri., $100 / 10 = 10$ TL dir. Buna göre 1 adet poligon taşının tesisi nakliye dahil $30 + 10 = 40$ TL dir.

2021 yılı brüt asgari ücret değeri 3577.50 TL.dir. Aylık 20 gün üzerinden 1 asgari ücretli işçinin bir günlük ücreti; $3577.50 / 20 = 178,87$ TL dir.

TMMOB 2021 yılı asgari mühendislik ücreti brüt maaşı 5750 TL üzerinden günlük mühendis ücreti; $5750 / 20$ (gün) = 287,50 TL dir.

Yetkili satıcılardan alınan yazılım lisans fiyatları incelendiğinde; (Bu değerlendirmede NetCAD yazılımı esas alınmıştır.) yazılımın değeri 24000 TL dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik maliyeti; $[24000 / (100 \times 8)] = 30$ TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda Yersel yöntem yaklaşık maliyeti Tablo 5.' de verilmiştir.

Tablo 5. Yersel Yöntem Halihazır Harita Alımı Yaklaşık Maliyet

	İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (TL)	Yazılım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ(TL)
1	Araç Kirası	120				2		2500
2	İstikşaf ve Kanava	16	1	287.50				575
3	Poligon Tesis	16	2	178.87		10	30	1015.48
4	Arazi Ölçümü	40	3	178.87				2683.05
5	Tersimat ve Çizim	40	2	287.50	30			2875
							Toplam	9648,53

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

Çalışma alanı içerisinde SAM karşılaştırmasında ilk olarak yaklaşık 1,5 km lik bir güzergah proje güzergahı olarak belirlenmiştir. Yatayda ve düşeyde karayolu geometrik standartları esas alınarak örnek proje güzergahının uygulamasında MicroStation V8i yazılımının İnroads (yol projelendirme Modülü) kullanılmıştır. Proje çalışmasında yersel yöntemde 34968 nokta kullanılarak üretilen SAM ve İHA Fotogrametrisi tekniği ile 85816 nokta kullanılarak üretilen SAM kullanılmıştır.

Örnek proje çalışmasında yersel yöntem SAM kullanıldığında 107682.456 m3 yarma, 75908.986 m3 dolgu, İHA SAM kullanıldığında 108951.16m3 yarma, 74768.334 m3 dolgu miktarları elde edilmiştir. Frak yüzdeleri yerse yönteme göre kıyaslandığında yarma miktarında %1, dolgu miktarında %2 lik bir fark bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar daha önce benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında; Dalgalı arazi yapısına sahip alanda gerçekleştirilmiş bir diğer çalışmada ise kazı hacmindeki fark %11,3, dolgu hacmindeki fark %-1,1 olarak bulunmuştur (Tercan, 2017) Benzer başka bir çalışmada ise karayolu çalışma alanında 3 adet toprak yığına ait hacimler incelenerek farkların %8-16 arasında olduğu görülmüştür (Siebert & Teizer, 2014).

İkinci kıyaslama yöntemi olarak çalışma alanının içerisinde iki farklı kesiminde noktada 20 m aralıklarla 100 m uzunluğunda belirlenen kesit hattının MicroStation İnroads yazılımında boykesiti (profili) elde edilmiştir. İlk kesit alanı çalışma alanında gayrimeskun bir alanda eğimli bir arazi kesiti seçilmiştir (Şekil 19.) İkinci kesit alanı olarak da sert sathlı mevcut yol ekseninde bir alan seçilmiştir (Şekil 20). Birinci kesit hattı yersel ve İHA SAM kıyaslaması sonucunda kesit noktaları arasındaki kot farklarının 15-20 cm aralığında olduğu görülmüştür. İkinci kesit hattı sonucunda ise farkların 2-5 cm aralığında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar irdelendiğinde kesit noktaları kot farkları Karayolları "Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri

İşlerine Ait Teknik Şartnamesi" ne göre kabul edilebilen değerlerdir.

Agisoft Photoscan yazılımı ile üretilen ortofoto haritanın doğruluk değerlendirmesinde çalışma alanı içerisinde tesis edilen YKN noktaları ve bu noktalara ilave olarak arazide GPS RTK ölçü tekniği koordinatları elde edilen 30 adet toplamda 81 adet nokta kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktaların belirlenmesinde çalışma sahasında mevcut bina köşeleri, duvar noktası, yol ortası çizgi detayları vs. noktalar kullanılmıştır. Kesin koordinatlar olarak kabul edilen bu noktaların NetCAD yazılımı kullanılarak ortofoto harita üzerindeki koordinatları belirlenmiştir.

Ortofoto harita doğruluk değerlendirmesinde kullanılan bu noktaların karesel ortalama hataları ve ortalama konum hataları $m_y = \pm 2,76$ cm, $m_x = \pm 2,64$ cm ve $m_P = \pm 3,81$ cm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar irdelendiğinde hesaplanan değerlerin; BÖHBBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği)'e göre ve Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri İşlerine Ait Teknik Şartname de belirtilen detay ölçme doğruluğu başlığı altında belirlenen hata sınırının (± 7 cm) içerisinde kaldığı görülmüştür.

Yaklaşık 50 ha lık bir alana sahip çalışma alanının halihazır harita üretiminde yersel yöntem ve İHA Fotogrametrisi arasında maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Döner Kanatlı İHA kullanılarak üretilen haritanın yaklaşık maliyeti 4682,10 TL, yersel yöntemle üretilen haritanın yaklaşık maliyeti ise 9648,53 TL olarak bulunmuştur.

3.2. Öneriler

Karayolu güzergâh projelerine altlık oluşturan halihazır haritaların klasik (geleneksel) yersel yöntemlere üretilmesi durumunda özellikle dağlık ve girilemeyen alanlarda can ve mal güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır. Bu durum zaman kaybına neden olmakla beraber ve yüksek maliyetler de getirmektedir. Ayrıca karayolu proje güzergahlarında İHA fotogrametrisi tekniği ile elde edilen SAM (Sayısal Arazi

Modeli)' nin, yersel yöntemler ile üretilen halihazır haritanın SAM karşılaştırması ile ortofoto harita doğruluk değerlendirme sonuçlarının istenilen hassasiyette olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi İHA teknolojisi ile harita üretilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalar (SAM üretimi, ortofoto harita) sonucunda İHA sistemlerinin yersel yöntemle harita üretimine alternatif olarak yaygın olarak kullanılması gerekmektedir. Ancak İHA sistemlerinin uçuş süreleri bakımından sınırlı olması, olumsuz hava koşullarından etkilenmesi ve uygulamaya konu alanların geniş olduğu durumlarda veri boyutunun fazla olacağı bu durumun görüntü değerlendirme ve veri depolama problemleri birlikte oluşturacağı düşünüldüğünde İHA sistemleri bu anlamda bir dezavantaj olarak görülebilmektedir.

Birçok harita temelli mühendislik projelerinde olduğu gibi karayolu projelerinde de üretilen haritaların minimum sürede, düşük maliyette ve istenilen hassasiyette olması arzu edilmektedir. Bu çalışma sonucunda da görüldüğü gibi kısa sürede düşük maliyette ve kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar elde edildiğinden son zamanlarda harita üretiminde ileri teknoloji İHA' lar yaygın olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Fatih Tükenmez'in tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-1-TP2-4295 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Aktaş A, Çınar, M. C., Birdal, C. & Türk, T. (2016). İHA İle Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesinde Yaygın Olarak Kullanılan Yazılımların Karşılaştırılması VI. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL CBS 2016)*, 05-07 Ekim 2016. Adana
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020a). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020b). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1) , 17-21.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Kuşak, L., Ünel, F. B. & Yakar, M. (2019). Anafi Parrot'un heyelan bölgesi haritalandırılmasında kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 33-37.
- Ceylan, M. C. & Uysal, M. (2021). İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler yardımıyla ağaç çıkarımı. *Türkiye*

- Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 15-21. DOI: 10.53030/tufod.912501
- Erdoğan, A., Kabadayı, A. & Akın, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 23-27. DOI: 10.51534/tiha.911147
- Erdoğan, E. (2016). Şeritvari Haritaların İHA İle Üretimi. Yüksek Lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 48s
- Erten, E., Çelik, M. F. & Şahin, Z. M. (2018). TANDEM-X Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması. *Harita Dergisi*, 84 (160),47-54.
- Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (2), 55-60.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2021). Three-Dimensional Modeling of an Object Using Underwater Photogrammetry. *Advanced Underwater Sciences*, 1(1), 11-15.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yakar, M. (2022). Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12 (4), 2262-2275.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- Karkınlı, A. E., Kesikoğlu, E., Kesikoğlu, M. H., Atasever, U. H., Özkan, C., Civicioğlu, P. & Beşdok. E. (2015). İnsansız Hava Araçları İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu 23-25 Mayıs 2015, Konya
- Kaya, Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M. & Polat, N. (2019). Hacim hesaplarında İHA kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 7-10.
- KGM (2022). Karayolu Tasarım El Kitabı, 165s
- Kök, B. V. (2019). Karayolu Mühendisliği ve Tasarımı, Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 9786050330397, 200s.
- Seki, M., Tiryakioğlu, İ. & Uysal, M. (2017). Farklı Veri Toplama Yöntemleri İle Yapılan Hacim Hesaplarının Karşılaştırılması. *Geomatik Dergisi*, 2(2), 106-111.
- Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D Mapping For Surveying Earthwork Using An Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Automation In Construction*, 41, 1-14.
- Tercan, E. (2017). Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi, Bucak Kocaaliler Yolu Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(82), 172-18.
- Toprak, A. S. (2014). Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları İle Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması Yüksek Lisans tezi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2014,
- Ulvi, A. (2015). Metrik olmayan dijital kameraların hava fotogrametrisinde yakın resim çalışmalarda (yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği üzerine bir çalışma. Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 188s.

- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage. The example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler Hill. *Measurement*, 73, 539- 543, doi: 510.1016/j.measurement.2015.1006.1010.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). İnsansız hava araçları ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi. *TUFAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 20-23 Mayıs 2015, Konya.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M. Ö., Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Yakar M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11- 17.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Hammamet, Tunisia, 73-75.
- Yakar, M. & Fidan, Ş. (2019). Topografya, Konya, Atlas Akademi.
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B3b.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Exp Tech*, 35, 54-59.
- Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, H. M., (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, O. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(2), 086-096.
- Yiğit, A. Y. & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yiğit, A. Y., Orhan, O. & Ulvi, A. (2020). Investigation of the rainwater harvesting potential at the Mersin University, Turkey. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 64-75.
- Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing Of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78
- Yılmaz, H. M. (2010). Close range photogrammetry in volume computing. *Experimental Techniques*, 34(1), 48-54.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yildiz, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- Zıba, H. E. & Yılmaz, H. M. (2019). Karayolu Projeleri İçin İHA İle Şeritvari Harita Üretimi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 23-32.

İnternet Kaynakları

URL-1:

<https://portal.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/default.aspx>

URL-2:

<https://www.agisoft.com/>

URL-3:

<https://cbsakademi.ibb.istanbul>

URL-4:

<https://www.geosystems.pl/upload/zalaczniki/LPS92brochureFV.pdf>

URL-5:

<https://arlab.istanbul.edu.tr>

Url-6:

<https://www.cevremuhendisleri.net/konu/microstation-hakkinda-genel-bilgi.476>



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

EKLER**1. Referans poligonlar ve arazide işaretlenen YKN'lerin koordinatları**

N.No	Y(m)	X(m)	Z(m)
P.47	629192.33	4076867.09	563.638
P.49	629252.79	4077196.01	555.499
P.50	629292.52	4077389.80	561.465
P.52	629115.57	4077499.54	557.774
1	629132.66	4076891.48	563.373
2	629324.28	4076923.39	537.954
3	629184.88	4077032.64	573.031
4	629355.62	4076978.28	535.577
5	629410.71	4077069.28	534.648
6	629185.66	4077097.26	580.128
7	629157.76	4077175.23	576.199
8	629418.83	4077135.43	533.754
9	629379.95	4077172.32	538.675
10	629307.20	4077153.32	547.006
11	629135.28	4077325.36	576.886
12	629168.19	4077328.43	574.014
13	629343.42	4077311.65	543.304
14	629283.30	4077385.12	561.454
15	629053.08	4077442.25	581.962
16	629290.14	4077458.06	548.622
17	629270.95	4077511.89	535.383
18	629215.01	4077558.56	533.044
19	628871.47	4077758.78	581.702
20	628880.61	4077820.18	575.162
21	628965.99	4077840.01	569.249
22	628909.85	4077939.79	576.980
23	629260.72	4076693.59	558.589
24	629357.19	4076718.64	571.440
25	629287.25	4077054.22	557.871
26	629147.56	4076668.16	545.981
27	629219.40	4076636.68	544.122
28	629193.33	4076655.00	546.210
29	629273.73	4076779.93	562.621
30	629193.84	4076818.38	552.668
31	629237.03	4076842.24	561.664
32	629226.94	4076906.37	556.459
33	629243.67	4076953.20	557.547
34	629276.91	4077057.80	557.789
35	629258.42	4077139.78	557.022
36	629252.79	4077196.01	555.499
37	629187.08	4077434.69	554.262
38	629236.86	4077432.63	551.291
39	629125.63	4077504.67	552.151
40	629096.26	4077536.48	551.964
41	628960.61	4077685.15	546.342
42	628958.27	4077635.00	542.978
43	629004.20	4077753.39	550.416
44	629038.45	4077836.17	555.396
45	628983.13	4077880.08	562.812
46	629009.42	4077930.61	558.474
47	629183.68	4078001.03	543.018
48	629029.18	4078027.46	576.321
49	629108.54	4078137.40	584.258
50	629154.75	4078208.14	589.107
51	629317.90	4077408.37	557.525

2. YKN Koordinatları ve Farkları 1

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Ortofoto Koordinatlar		Farklar		Karesi	
	Y (m)	X(m)	Y (m)	X(m)	V _Y (cm)	V _X (cm)	V _Y V _Y	V _X V _X
YKN1	629132.662	4076891.486	629132.643	4076891.456	-1.9	-3	3.6	9.0
YKN2	629324.288	4076923.389	629324.274	4076923.413	-1.4	2.4	2.0	5.8
YKN3	629184.877	4077032.641	629184.856	4077032.674	-2.1	3.3	4.4	10.9
YKN4	629355.625	4076978.283	629355.619	4076978.308	-0.6	2.5	0.4	6.3
YKN5	629410.709	4077069.284	629410.722	4077069.296	1.3	1.2	1.7	1.4
YKN6	629185.662	4077097.259	629185.645	4077097.306	-1.7	4.7	2.9	22.1
YKN7	629157.765	4077175.230	629157.734	4077175.201	-3.1	-2.9	9.6	8.4
YKN8	629418.835	4077135.429	629418.826	4077135.462	-0.9	3.3	0.8	10.9
YKN9	629379.955	4077172.316	629379.946	4077172.321	-0.9	0.5	0.8	0.2
YKN10	629307.196	4077153.321	629307.188	4077153.342	-0.8	2.1	0.6	4.4
YKN11	629135.280	4077325.365	629135.310	4077325.384	3	1.9	9.0	3.6
YKN12	629168.190	4077328.433	629168.183	4077328.440	-0.7	0.7	0.5	0.5
YKN13	629343.421	4077311.652	629343.42	4077311.666	-0.1	1.4	0.0	2.0
YKN14	629283.296	4077385.124	629283.286	4077385.129	-1	0.5	1.0	0.3
YKN15	629053.086	4077442.252	629053.126	4077442.291	4	3.9	16.0	15.2
YKN16	629290.138	4077458.057	629290.138	4077458.057	0	0	0.0	0.0
YKN17	629270.946	4077511.889	629270.926	4077511.927	-2	3.8	4.0	14.4
YKN18	629215.006	4077558.556	629215.036	4077558.596	3	4	9.0	16.0
YKN19	628871.468	4077758.779	628871.421	4077758.749	-4.7	-3	22.1	9.0
YKN20	628880.609	4077820.186	628880.572	4077820.243	-3.7	5.7	13.7	32.5
YKN21	628965.997	4077840.013	628965.988	4077840.033	-0.9	2	0.8	4.0
YKN22	628909.851	4077939.786	628909.886	4077939.810	3.5	2.4	12.3	5.8
YKN23	629260.723	4076693.589	629260.693	4076693.620	-3	3.1	9.0	9.6
YKN24	629357.195	4076718.644	629357.185	4076718.622	-1	-2.2	1.0	4.8
YKN25	629287.254	4077054.217	629287.229	4077054.247	-2.5	3	6.2	9.0
YKN26	629147.559	4076668.158	629147.516	4076668.179	-4.3	2.1	18.5	4.4
YKN27	629219.404	4076636.682	629219.435	4076636.706	3.1	2.4	9.6	5.8
YKN28	629193.325	4076655.001	629193.315	4076655.016	-1	1.5	1.0	2.2
YKN29	629273.732	4076779.926	629273.72	4076779.937	-1.2	1.1	1.4	1.2
YKN30	629193.843	4076818.383	629193.835	4076818.389	-0.8	0.6	0.6	0.4
YKN31	629237.030	4076842.243	629237.029	4076842.244	-0.1	0.1	0.0	0.0
YKN32	629226.944	4076906.368	629226.921	4076906.391	-2.3	2.3	5.3	5.3
YKN33	629243.670	4076953.199	629243.664	4076953.206	-0.6	0.7	0.4	0.5
YKN34	629276.908	4077057.795	629276.908	4077057.795	0	0	0.0	0.0
YKN35	629258.423	4077139.784	629258.407	4077139.795	-1.6	1.1	2.6	1.2
YKN36	629252.790	4077196.010	629252.771	4077196.035	-1.9	2.5	3.6	6.3
YKN37	629187.084	4077434.692	629187.063	4077434.661	-2.1	-3.1	4.4	9.6
YKN38	629236.859	4077432.632	629236.819	4077432.612	-4	-2	16.0	4.0
YKN39	629125.626	4077504.673	629125.556	4077504.651	-7	-2.2	49.0	4.8
YKN40	629096.261	4077536.479	629096.164	4077536.495	-9.7	1.6	94.1	2.6
YKN41	628960.609	4077685.159	628960.584	4077685.167	-2.5	0.8	6.3	0.6
YKN42	628958.273	4077635.000	628958.25	4077634.998	-2.3	-0.2	5.3	0.0
YKN43	629004.203	4077753.390	629004.173	4077753.402	-3	1.2	9.0	1.4
YKN44	629038.453	4077836.176	629038.429	4077836.203	-2.4	2.7	5.8	7.3
YKN45	628983.128	4077880.080	628983.095	4077880.053	-3.3	-2.7	10.9	7.3
YKN46	629009.422	4077930.612	629009.392	4077930.652	-3	4	9.0	16.0
YKN47	629183.684	4078001.030	629183.715	4078001.065	3.1	3.5	9.6	12.3
YKN48	629029.181	4078027.460	629029.140	4078027.471	-4.1	1.1	16.8	1.2
YKN49	629108.538	4078137.401	629108.513	4078137.423	-2.5	2.2	6.2	4.8
YKN50	629154.753	4078208.142	629154.714	4078208.110	-3.9	-3.2	15.2	10.2
YKN51	629317.898	4077408.371	629317.893	4077408.385	-0.5	1.4	0.3	2.0

3. Detay Kontrol Noktalarının Koordinatları ve Farkları

	Kesin Koordinatlar		Ortofoto Koordinatlar		Farklar		Karesi	
D1	629194.644	4076835.389	629194.683	4076835.339	3.9	-5	15.2	25.0
D2	629235.42	4076826.42	629235.429	4076826.358	0.9	-6.2	0.8	38.4
D3	629233.307	4076825.532	629233.332	4076825.525	2.5	-0.7	6.3	0.5
D4	629233.025	4076820.65	629233.037	4076820.578	1.2	-7.2	1.4	51.8
D5	629230.967	4076819.672	629230.966	4076819.664	-0.1	-0.8	0.0	0.6
D6	629242.347	4076824.849	629242.285	4076824.879	-6.2	3	38.4	9.0
D7	629239.853	4076823.8	629239.839	4076823.831	-1.4	3.1	2.0	9.6
D8	629230.371	4076933.316	629230.407	4076933.346	3.6	3	13.0	9.0
D9	629232.067	4076938.113	629232.117	4076938.12	5	0.7	25.0	0.5
D10	629239.788	4076958.302	629239.796	4076958.349	0.8	4.7	0.6	22.1
D11	629246.477	4077011.679	629246.538	4077011.711	6.1	3.2	37.2	10.2
D12	629247.449	4077015.451	629247.455	4077015.448	0.6	-0.3	0.4	0.1
D13	629254.657	4077195.132	629254.682	4077195.164	2.5	3.2	6.3	10.2
D14	629254.804	4077198.634	629254.811	4077198.648	0.7	1.4	0.5	2.0
D15	629270.778	4077186.702	629270.805	4077186.644	2.7	-5.8	7.3	33.6
D16	629282.577	4077188.925	629282.612	4077188.948	3.5	2.3	12.2	5.3
D17	629286.566	4077189.689	629286.548	4077189.69	-1.8	0.1	3.2	0.0
D18	629267.718	4077294.006	629267.702	4077294.002	-1.6	-0.4	2.6	0.2
D19	629026.115	4077886.525	629026.095	4077886.517	-2	-0.8	4.0	0.6
D20	629027.505	4077887.908	629027.508	4077887.891	0.3	-1.7	0.1	2.9
D21	629028.103	4077887.347	629028.105	4077887.367	0.2	2	0.0	4.0
D22	629028.811	4077888.047	629028.818	4077888.067	0.7	2	0.5	4.0
D23	629028.273	4077888.639	629028.293	4077888.643	2	0.4	4.0	0.2
D24	629029.684	4077890.018	629029.687	4077890.005	0.3	-1.3	0.1	1.7
D25	629024.351	4077888.257	629024.358	4077888.255	0.7	-0.2	0.5	0.0
D26	629027.958	4077891.774	629027.962	4077891.768	0.4	-0.6	0.2	0.4
D27	628980.854	4077869.624	628980.863	4077869.635	0.9	1.1	0.8	1.2
D28	628985.748	4077865.66	628985.767	4077865.667	1.9	0.7	3.6	0.5
D29	629060.142	4078064.241	629060.145	4078064.258	0.3	1.7	0.1	2.9
D30	629064.498	4078071.295	629064.493	4078071.282	-0.5	-1.3	0.3	1.7



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>