

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 025504 (382-398)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 025504 (382-398)

DOI: 10.35414/akufemubid.820829

Araştırma Makalesi / Research Article

Dağlık, Engelibeli Arazilerde İnsansız Hava Araçları İle Fotogrametrik Veri Üretiminde Doğruluk Araştırması: Yusufeli Barajı Örneği

Hanifi AVCI^{1*}, Erdem Emin MARAŞ²¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun.² Samsun Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Pilotaj Bölümü, Samsun

Sorumlu Yazar* e-posta: hanifiavci@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7491-054X>e-posta: erdem.maras@samsun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5205-1622>

Geliş Tarihi: 05.11.2020

Kabul Tarihi: 02.04.2021

Öz

İnsanların ulaşmakta güçlük çektiği eğimli, engelibeli arazilerde insansız hava araçlarının (İHA) yardımı ve fotogrametrik yöntemlerle araziyi modellemek, diğer yöntemlere göre maliyet ve zaman açısından daha avantajlıdır. Bu çalışmada dağlık, engelibeli arazilerde fotogrametrik modellemenin doğruluğu ve yer kontrol noktalarının (YKN) dağılımının konum doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda Artvin-Yusufeli barajı inşaat sahası çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Bölgeye YKN tesis edilmiş ve konumları yersel ölçme yöntemleri ile tayin edilerek uçuş aşamasına geçilmiştir. İHA ile elde edilen bindirmeli görüntülerle Pix4d yazılımında, YKN'lerin konumları baz alınarak koordinatlı üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. İlk etapta YKN'ler, yatayda ve düşeyde homojen olarak dağıtılmış, daha sonra farklı yükseltilerde farklı dağılım biçimleri uygulanarak YKN'lerin konum doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, yatayda ve düşeyde homojen YKN dağılımı ile maksimum hata miktarının 5 cm'nin altında olduğu görülmüş, çalışma bölgesinin sınırlarını yatayda ve düşeyde üç boyutlu olarak çevreleyen, arazinin topografik yapısını yansıtan bir YKN dağılımının gerekliliği açıkça ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler

Fotogrametri; İnsansız hava aracı; Yer kontrol noktası; Sayısal arazi modeli; ortofoto

Accuracy Survey in Photogrammetric Data Generation with Unmanned Aerial Vehicles in Mountainous, Rough Terrain : Example of Yusufeli Dam

Abstract

Modeling the terrain with the help of photogrammetric methods and unmanned aerial vehicles (UAV) on sloping and uneven area where people have difficulty to enter is more advantageous than other methods in terms of cost and time consumed. In this study, the accuracy of photogrammetric modeling in mountainous and rough areas and the effect of the distribution of ground control points (YKN) on location accuracy were investigated. For this purpose, the Artvin-Yusufeli dam construction site has been selected as the study area. GCPs have been established in the region and their locations have been determined with local measurement methods and then the flight phase has been started. Coordinated three-dimensional models were created based on the location of the GCPs with overlap images obtained by UAV. It was done with the help of Pix4d software. In the first stage GCPs were distributed homogeneously in three dimensions, and then the effect of GCPs on position accuracy was examined by applying different distribution patterns at different elevations. As a result, with the use of homogeneous GCP distribution horizontally and vertically it has been discovered that the maximum error is less than 5 cm. It has been clearly demonstrated that GCP distribution should encompass the boundaries of the working area homogeneously in three dimensions horizontally and vertically representing the topography of the area.

Keywords

Photogrammetry; Unmanned aerial vehicle; Ground control point; Digital terrain model; Orthophoto

1. Giriş

Günümüzde fotogrametri, haritacılık alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Farklı platformlarla görüntüler alınarak fotogrametrik haritalar üretilmektedir. Ancak teknolojinin gelişmesi ile havadan görüntü alımında yeni alternatifler doğmaktadır (Numan vd. 2019). Bu alternatiflerden birisi de gelişmekte olan insansız hava aracı (İHA) platformu ve fotogrametrisidir. Sensör, platform ve uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde İHA fotogrametrisi, klasik hava fotogrametrisine göre yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlük olanakları sağladığından gittikçe yaygınlaşan bir platform halini almaktadır (Gül 2019). İHA'lara dijital kameralar monte edilerek, elde edilen görüntülerden fotogrametrik veri üretimi oldukça hız kazanmıştır (Öztürk vd. 2017). Yeryüzünün haritalanmasında İHA'ların diğer uzaktan algılama platformlarına göre düşük maliyet, kısa sürede yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü görüntüler elde etme gibi avantajları vardır. İHA'lar uygun hava şartları olduğu sürece herhangi bir bölgeye ait yüksek çözünürlüklü görüntü almayı sağlayarak klasik ölçme metodlarına ve uydu sistemlerine göre maliyet ve zamandan kazanç sağlayabilmektedir. İHA'lar ile uzaktan algılama ve uydu platformlarına nazaran daha güncel haritalar oluşturulabilmekte, zamansal ve mekânsal çözünürlükte alternatif sunmakta ve de yersel ölçümlerle doğrudan ilişki kurulabilmektedir (Özcan 2017).

Son yıllarda İHA'lara gerçek zamanlı kinematik (RTK – Real Time Kinematic) konumlandırma sistemleri takılabilmekte ve bu sayede görüntülere daha hassas bir konum bilgisi tanımlanabilmektedir. Böylece İHA yardımıyla üretilen fotogrametrik çalışmaların doğruluğu neredeyse yersel ölçme yöntemleri ile elde edilen sonuçlara yaklaşmıştır (Remondino vd. 2011, Öztürk vd, 2017). Araziye önceden tesis edilen ve konumları yersel ölçme yöntemleri ile tespit edilen yer kontrol noktalarının da (YKN) yardımı ile yüksek doğruluklu ortofoto, sayısal arazi modeli (SAM), sayısal yüzey modeli (SYM) verileri elde edilebilmektedir.

İHA fotogrametrisi özellikle hız, düşük maliyet ve yüksek doğruluk gibi avantajları ile farklı meslek gruplarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Güncel veriye hızlı ve ekonomik bir şekilde ulaşım sağlamasıyla harita, jeoloji, inşaat, çevre ve maden mühendisliği gibi bilimlere önemli katkılar sunmaktadır (Gül 2019). İHA'lar ayrıca düşük maliyetiyle hızlı veri toplama sistemidir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Maden sahası yol, tünel, köprü, vb. projelerde çalışılacak bölgenin topoğrafik haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Projenin uygulama safhasında kazı, dolgu kübaj hesaplarının yapılabilmesi için yine tabii zemin ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde bu ölçümler genellikle klasik yersel ölçme yöntemleri ile yapılmaktadır. Ancak yersel yöntemlerle ölçüm yapmak fotogrametrik yöntemlere göre zahmetli, pahalı, fazlaca zaman almakta, bazen de arazi yapısından dolayı mümkün olmamaktadır. İnsanların ulaşmakta zorluk çektiği bu tip dağlık, kayalık ve engebeli arazilerde alternatif yöntemlerin kullanılması bir zaruret halini almıştır. Kimi zaman bataklık, dere yatağı, kimi zamanda bir uçurumun kenarı gibi tehlike arz eden yerlere ulaşmak ve buralarda yersel yöntemlerle ölçüm yapmak mümkün olmamaktadır. İnsanların ulaşamadıkları bu bölgelere İHA'lar ile ulaşım görüntü almak günümüzde büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Araziden çekilen bu bindirmeli görüntülerle arazi yapısı üç boyutlu ve koordinatlı bir şekilde modellenmektedir.

İnsanların ulaşamadıkları, yersel ölçme yöntemleri ile ölçülmesi mümkün olmayan dağlık, engebeli arazilerin modellenmesinde ve haritalandırılmasında İHA fotogrametrisi büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Ancak İHA fotogrametrisinin güvenilirliği konusunda günümüzde halen çekinceler olup, özel sektörde yeni yeni yaygınlaşmaya başlamıştır. Arazide YKN tesisi yapılırken ekipler genellikle yol kenarı gibi kolay ulaşabildikleri noktaları tercih etmekte, vadi tabanı veya vadinin üst yamaçları gibi, ulaşmakta güçlük çektikleri bölgelere YKN tesis etmemekte veya edememektedirler. Ancak bu şekilde dar bir yükselti aralığında YKN tesis edilerek yapılacak bir

fotogrametrik çalışmada, vadi tabanı ve vadinin üst kısımlarında oluşabilecek hata miktarlarının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışma böyle bir ihtiyaçtan doğmuş, dağlık, kayalık ve engembeli arazilerde İHA ile fotogrametrik modellemenin doğruluğunu araştırmak ve YKN'lerin konum doğruluğu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Sahası

Çalışma sahası olarak dağlık ve engembeli yapısından dolayı yapımı devam etmekte olan, 275 m gövde yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek, çift eğriliği ince kemer kategorisinde ise dünyanın üçüncü en yüksek barajı olacak olan Artvin-Yusufeli barajı inşaat sahası seçilmiştir. Çalışma sahası yaklaşık olarak 65 ha büyüklüğünde olup dağlık, kayalık, engembeli ve yüksek eğimli bir araziye sahip, deniz seviyesinden 450 ile 880 m arasında değişen derin bir vadiden oluşmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2).



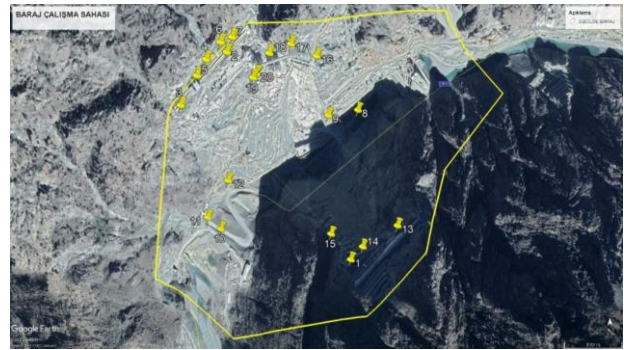
Şekil 1. Artvin-Yusufeli barajı



Şekil 2. Çalışma sahası Artvin-Yusufeli barajı

2.2. Çalışma Sahası YKN Tesisi ve Ölçümü

YKN'ler baraj sahasına vadi tabanı, orta sıra (sağ ve sol sahil) ve en üst sıra (sol sahil 775 m palye kotu) olacak şekilde üç farklı yükseltide konumlandırılmıştır (Şekil 3). Yüksekten görülebilmeleri için dört adet A4 kağıdının birleştirilmesi ile oluşan kontrol levhaları Şekil 3'deki gibi sahaya gökyüzü görüşü açık alanlara, en az 60° lik bir görüş açısına sahip olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha önce Google Earth üzerinden işaretlemeleri yapılan ve konumları belirlenen noktalar, yaklaşık konumlarına tesis edilmiş ve fotoğraflardan rahatça görülebilmeleri için kireç tozu veya boya ile işaretlemeleri yapılmıştır (Şekil 4). Ölçümler ED50 datumunda (Avrupa Datumu 1950) yapılmış olup daha sonra dönüşüm parametreleri ile ITRF96 koordinatları elde edilmiştir. Ölçümler Leica TS09 Plus total station ile baraj sahasındaki pilyelerden bağlantı kurularak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Baraj çalışma sahası YKN dağılımı



Şekil 4. Çalışma sahası YKN levhaları ve Leica TS09 Plus ile YKN ölçümü

2.3. Uçuş Planlaması

Uçuş planlaması, sonuç verilere önemli oranda etki edeceğinden dolayı son derece iyi hazırlanması gerekmektedir. Uçuş planlamasında birbiri ile ilişkili olan üç parametre öne çıkmaktadır. Bunlar; yer örnekleme aralığı (YÖA), bindirme oranları ve uçuş yüksekliği. Bu üç parametre birbiri ile ilişkili olarak

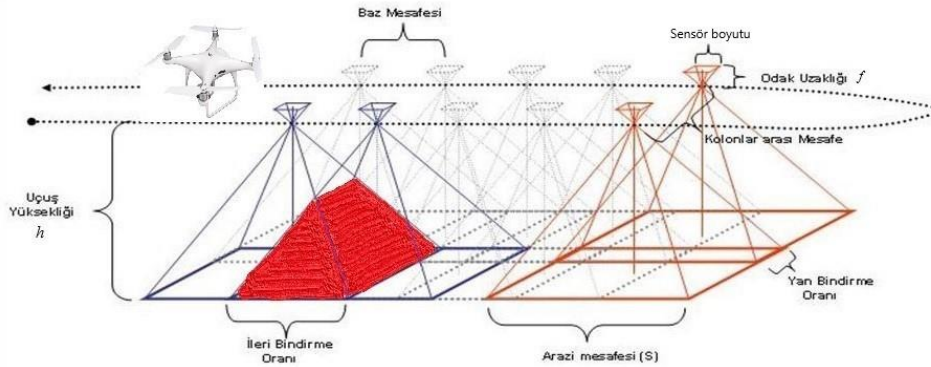
değişmekte ve bu değişimler maliyeti, süreyi ve sonuç verileri etkilediğinden dolayı iyi planlanması önem arz etmektedir. Bu nedenle gerekli ileri ve yan bindirme oranları, uçuş yüksekliği, arazideki maksimum ve minimum yükselti göz önünde bulundurularak başlık 2.3.2’de anlatıldığı gibi hesaplanmıştır.

2.3.1 Yer örnekleme aralığı

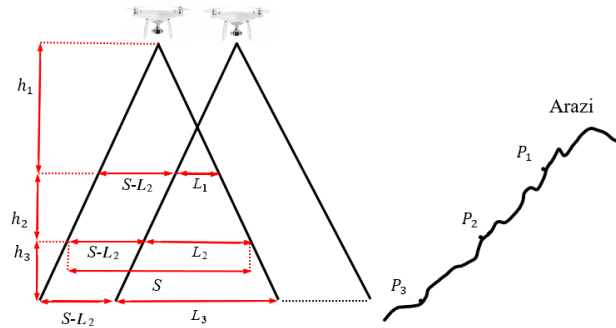
YÖA yükseklik arttıkça artmakta, bununla birlikte detay azalmaktadır. Bu ise istenilen bir durum değildir ve çalışma bölgesi için daha fazla görüntüye ihtiyaç duyulması, fazladan zaman ve maliyet kaybı anlamına gelmektedir. BÖHHBÜY’e göre 1/1000 ölçekli bir ortofoto harita üretiminde YÖA’nın 10 cm’nin altında olması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada YÖA’nın 10 cm’nin altında olması planlanmıştır.

2.3.2 Bindirme oranları

Bindirme oranı yükselti ile ters orantılı olarak, yükselti arttıkça azalmaktadır (Şekil 5). Çalışılan bölge eğimin ve yükselti farkının fazla olduğu bir arazi olduğundan dolayı bindirme oranları İHA’nın uçurulduğu yüksekliğe göre ayarlandığında, arazideki yüksek noktalarda bindirmenin istenilen seviyede oluşmama ihtimali söz konusudur. Bindirme oranı vadi tabanından yukarılara doğru çıkıldıkça Şekil 5’deki gibi (kırmızı prizma) azalacağından dolayı çalışma sahasının üst kısımlarında üç boyutlu model oluşmama ihtimali söz konusudur. Bunun önüne geçebilmek için, üst kısımlarda oluşacak bindirme oranlarını önceden hesaplamak gerekmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. İleri ve yan bindirme (Yıldız, 2016)



Şekil 6. Bindirme oranı ve yükseklik arasındaki ilişki

P_1 : Vadinin üst yamaçlarında oluşacak olan bindirme oranı

P_2 : Bulunulan noktada İHA’ya girilen bindirme oranı

P_3 : Vadi tabanında oluşacak olan bindirme oranı

S : Arazi üzerindeki görüntü boyu (P_2 kotunda)

L_1 : Üst yamaçtaki bindirme mesafesi (P_1 kotunda)

L_2 : Bulunulan noktadaki bindirme mesafesi (P_2 kotunda)

L_3 : Vadi tabanındaki bindirme mesafesi (P_3 kotunda)

h_1 : İHA ile P_1 noktası arasındaki yükseklik farkı

h_2 : P_1 noktası ile bulunulan P_2 noktası arasındaki yükseklik farkı

h_3 : Bulunulan P_2 noktası ile vadi tabanındaki P_3 noktası arasındaki yükseklik farkı

Vadinin üst kısımları ve vadi tabanında oluşacak olan bindirme oranlarını hesaplamak için Şekil 5'teki üçgenlerin benzerliğinden faydalanılmıştır. Vadinin üst yamaçlarında oluşacak bindirme oranı P_1 eşitlik 2 ile, vadi tabanında oluşacak olan bindirme oranı P_3 eşitlik 3 ile, İHA'ya girilecek olan bindirme oranı (İHA'nın kalkış yapacağı yükseklikteki bindirme oranı) P_2 ise eşitlik 1 ile ifade edilmiştir. Şekil 6'da üçgenlerin benzerliğinden eşitlik 4 elde edilmiş ve bu eşitlikte L_1 yalnız bırakılarak eşitlik 5 elde edilmiştir. Daha sonra L_1 eşitlik 2 de yerine konularak vadinin üst yamaçlarındaki bindirme oranını hesaplamak için gerekli olan eşitlik 6 elde edilmiştir.

$$P_2 = \frac{L_2}{S} \quad (1)$$

$$P_1 = \frac{L_1}{L_1 + S - L_2} \quad (2)$$

$$P_3 = \frac{L_3}{L_3 + S - L_2} \quad (3)$$

$$\frac{h_1}{h_1 + h_2} = \frac{L_1 + S - L_2}{S} \quad (4)$$

$$L_1 = \frac{h_1 S}{h_1 + h_2} - S + L_2 \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{L_2(h_1 + h_2) - h_2 S}{h_1 S} \quad (6)$$

Benzer şekilde vadi tabanında oluşacak bindirmeyi hesaplamak için üçgenlerin benzerliğinden eşitlik 7'deki L_3 yalnız bırakılmış ve eşitlik 8 elde edilmiştir. Daha sonra L_3 eşitlik 3'te yerine konularak eşitlik 9 elde edilmiştir.

$$\frac{h_1 + h_2}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{S}{L_3 + S - L_2} \quad (7)$$

$$\Rightarrow L_3 = \frac{h_3 S}{h_1 + h_2} + L_2 \quad (8)$$

$$P_3 = \frac{h_3 S + L_2(h_1 + h_2)}{S(h_1 + h_2 + h_3)} \quad (9)$$

Eşitlik 6 ve 9 ofis programı Excel'de formülleştirilerek olası farklı uçuş yüksekliği ve bindirme oranlarında vadinin üst kısımlarında elde edilecek bindirme oranları hesaplanmış ve en ideal olanı kullanılmıştır. Buna göre çalışma sahası için vadinin üst kısımlarında elde edilecek asgari bindirme oranları göz önüne alınarak ileri bindirme oranı %80 ve yan bindirme oranı %60 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). İnsansız Hava Aracı Sistemleri ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları'na göre ileri bindirme oranı %80 ve yan bindirme oranları %60 olarak belirlenmiş olup, bindirme oranlarındaki sapmalarının %10'u geçmemesi istenmiştir (BÖHNBÜY, 2018). Yine aynı şekilde YÖA için sapmanın %10'u geçmemesi istenmiştir. Ancak yükseltinin fazla değişken olduğu, kısa mesafede yükseltinin yüzlerce metre değişebildiği dağlık bir arazide bu çok mümkün olmamaktadır. Bunun için daha yüksekten bir uçuş ve odak uzaklığı büyük bir kamera gerekmektedir. Böyle bir durumda ise YÖA istenilenden daha büyük değerler alacak ve detay azalacağından dolayı şimdilik göz ardı edilmiştir.

2.3.3 Uçuş yüksekliği

Uçuş yüksekliği, YÖA ve bindirme oranları ile ilişkili olarak, YÖA'nın 10 cm'nin altında olmasını sağlayacak şekilde ve çalışma sahasının yüksek kısımlarında asgari bindirme oranlarını karşılayacak şekilde hesaplanmıştır. Fotogrametrik çalışma yapılan kısmı itibari ile arazideki maksimum ve minimum yükseltinin 450 ile 825 m arasında değiştiği göz önünde bulundurularak arazinin yüksek kısımlarında asgari bindirme oranlarını sağlayacak şekilde uçuş yüksekliği 850 m (İHA'nın kalkış yaptığı nokta itibari ile 95 m) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Çalışma sahası yamaç üstü ve vadi tabanında bindirme oranı

		Yükseklik (m)	İleri Bindirme %	Yan Bindirme %	YÖA (cm)
İHA Uçuş Seviyesi		850			
İHA'nın kalkış yaptığı nokta	P_2	755	80	60	2,99
Vadi Tepesi	P_1	775	75	49	2,36
Vadi Tabanı	P_3	450	95	91	12,6

2.4. Uçuşun gerçekleştirilmesi

Uçuş yapmak için DJI firmasının ürettiği Phantom 4 Pro V2.0 modeli (Şekil 7) kullanılmıştır. Phantom 4 pro V2.0 modeli üzerinde 20 MP cmos sensörlü dahili kamera bulundurmaktadır. Phantom 4 pro maksimum 30 dakika uçuş süresine sahip 7 km menzili bulunan 1.38 kg kütleyle sahip bir İHA'dır.

20MP fotoğraf çekebilen ve 1" inç CMOS sensöre sahip bu kameranın şöyle bir özelliği var ki, drone hızlı bir şekilde giderken veya hızlı hareket eden bir nesneyi çekerken işi çok daha kolaylaştıracak bir mekanik perde sistemi kullanılmıştır. Çoğu İHA kamerasında hareket halinde fotoğraf çekerken "jölle etkisi" diye tabir edilen bükülme etkisi ortaya çıkabilmektedir. Phantom 4 Pro'da kullanılan mekanik perde sayesinde bu etki en aza inmektedir. Ayrıca dört tarafı çarpmayı önleyici sensörlerle donatılmıştır (Int Kyn. 1).



Şekil 7. Görüntü almak için kullanılan İHA Phantom 4 Pro V2.0 ve Uçuş Planı

Phantom 4 Pro'nun genel özellikleri (Int Kyn. 2);

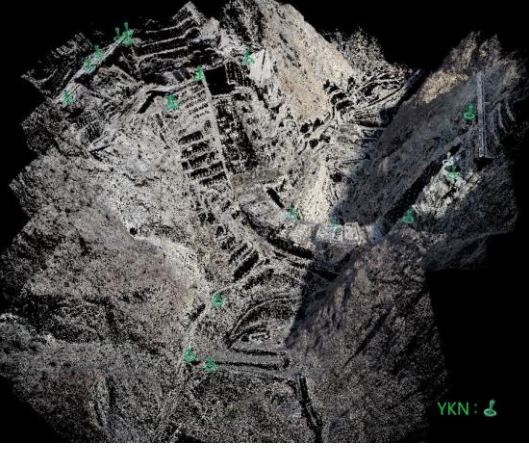
- 1 inç 20MP Exmor R CMOS sensör
- 24 mm sabit odak uzunluğu
- 30 Dakika uçuş süresi
- 7 km Kontrol aralığı
- 4K 60fps / 20MP Görüntüleme

- 30 m Sensör aralığı

Çalışma sahası için hesaplanan bindirme oranları, uçuş yüksekliği ve çalışma sınırları Pix4d Capture programına girilerek İHA'ya yüklenmiştir (Şekil 6). Uçuş, eylül ayı sonu itibari ile güneşin en tepede olduğu öğle saatlerinde bulutsuz ve rüzgarsız bir havada otonom bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.5. Verilerin İşlenmesi ve Fotogrametrik Ürünler

Uçuşun gerçekleştirilmesi ile arazi çalışması tamamlanmış, ofis çalışmasına geçilmiştir. İHA'dan alınan görüntüler bilgisayara aktarılmış, aralarında uygun olmayan görüntüler elenerek Pix4d yazılımına yüklenmiştir. Programa Phantom 4 Pro'nun kamera kalibrasyon parametreleri önceden tanımlı olduğu için ayrıca yüklenmesine gerek kalmamıştır. Aynı şekilde kamera dönüklük bilgileri de görüntü içerisinde exif dosyasından otomatik olarak alınmıştır. Görüntüler yüklendikten sonra referans koordinat sistemi TUREF / TM42 (Türkiye Ulusal Referans Sistemi / 42 dilim orta meridyeni) tanımlanmış ve ardından YKN koordinatları sisteme yüklenmiştir. Görüntüler Pix4D yazılımında işlenerek sırasıyla nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, SYM, SAM ve ortofoto ürünleri elde edilmiştir. Verilerin işlenmesi ile üretilen nokta bulutu Şekil 8'de, yoğun nokta bulutu Şekil 9'da, doku kaplama örneği ise Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 11'de SYM, Şekil 12'de ise ortofoto örnekleri verilmiştir.



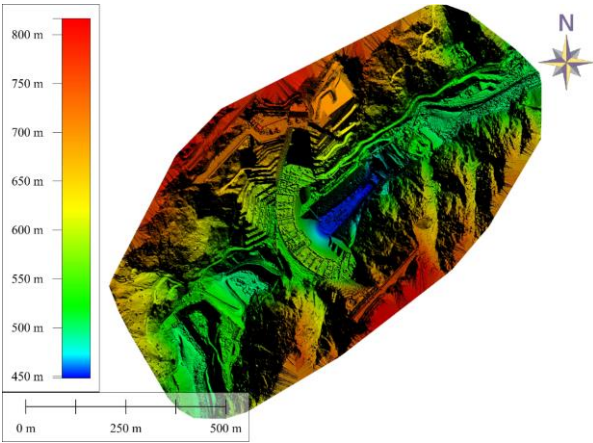
Şekil 8. Çalışma sahası nokta bulutu



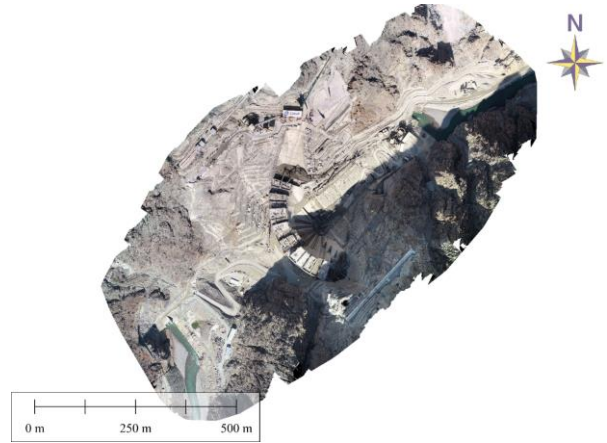
Şekil 9. Çalışma sahası yoğun nokta bulutu



Şekil 10. Çalışma sahası doku kaplama



Şekil 11. Çalışma sahası sayısal yüzey modeli (SYM)



Şekil 12. Çalışma sahası üretilen ortofoto

Çalışma sahasına ait uçuş bilgileri, işlem süresi ve üretilen nokta bulutu sayısı gibi bazı bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir. Kullanılan donanım ve yazılımlar;

İşlemci : Intel(R) Core(TM) i7-7700HQCPU @2.80GHz
Bellek : 16GB
Grafik işlemci : NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti
İşletim sistemi : Windows 10 Home, 64-bit
Yazılım : Pix4d Mapper, NetCAD 5.2, Pix4d Capture, Excel, Global Mapper.

Çizelge 2. Çalışma bölgesine ait bazı bilgiler

Alan	56 ha
Uçuş Yüksekliği	95 m
İleri Bindirme	80%
Yan Bindirme	60%
YÖA ortalama	7.80 cm
Görüntü Sayısı	418
Veri İşlem Süresi	6 sa. 22 dk.
Nokta bulutu Sayısı	38.115.083
Nokta sayısı	14.61/m ³

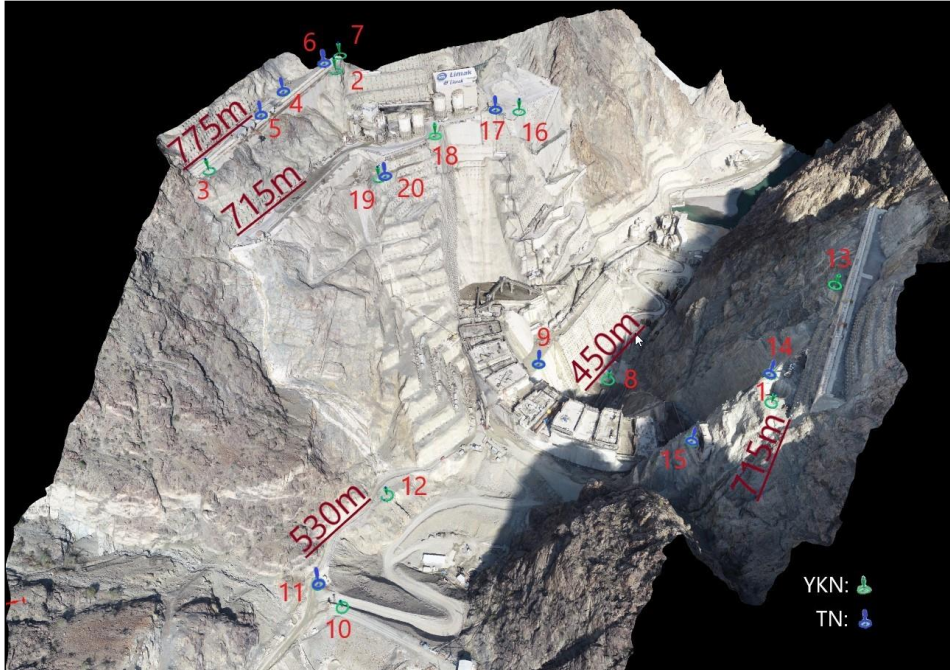
3. Bulgular ve Tartışma

Dağlık ve engembeli arazilerde yüksek noktalara veya vadi içindeki alçak noktalara ulaşmak arazi

koşullarından dolayı bazen mümkün olmamaktadır. Bu tip zorlu arazilerde fotogrametrik çalışma yapan ekipler genellikle yol güzergahı üzerinde kolay ulaşabildikleri yerlere YKN tesis etmeyi tercih edebilmektedirler. Ancak yalnızca yol seviyesine, yalnızca vadi tabanına veya yalnızca yüksek noktalara tesis edilen YKN’lerin arazinin diğer kısımlarında ne kadar hata vereceğinin araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada farklı yükseltilerdeki YKN dağılımlarının konum doğruluğuna etkisi de incelenmiştir.

3.1. Çalışma Sahası YKN Dağılım ve Analizi

Çalışma sahasına YKN’ler için 6 farklı dağılım uygulanmış ve hata değerlerine bakılmıştır. Bu noktalar vadi tabanı (450 ile 530 m arasında değişen kotlarda 5 nokta), Sol sahil ve sağ sahil (Yaklaşık 700 ile 725 m arasında değişen kotlarda 8 nokta) ve en üstte sol sahil (775 m palye kotuna 6 nokta) olmak üzere düşeyde 3 sıra halinde yerleştirilmiştir (Şekil 13). Öncelikle homojen bir YKN dağılımı uygulanarak engembeli arazide ne kadar doğru sonuçlar alınabileceği gözlemlenmek istenmiş, ardından daha sıra dışı YKN dağılımları uygulanarak YKN dağılımının konum doğruluğu üzerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 13. Çalışma sahası YKN ve Test Noktası (TN) dağılımı

Çalışma sahasına 6 farklı YKN dağılımı uygulanmıştır. Bu dağılımlar sırasıyla şu şekildedir;

- Sahaya tesis edilen 20 adet noktadan homojen dağılıma sahip 11 tanesi YKN olarak, 9 tanesi ise test noktası olarak kullanılmış ve modelleme yapılarak ve hata değerlerine bakılmıştır.
- Sol sahil 775 m palye kotundaki YKN'ler esas alınarak aşağılardaki hata miktarlarına bakılmıştır.
- Vadi tabanındaki YKN'ler esas alınarak üst kotlardaki hata miktarlarına bakılmıştır.
- Vadi tabanındaki YKN'lere, sol ve sağ sahilden üst kotlardan nokta ilave edilerek hata miktarlarına bakılmıştır.
- Sol sahil ve Sağ sahildeki YKN'ler (715 m) esas alınarak hata miktarlarına bakılmıştır.
- Çalışma sahasının yatayda ve düşeyde en dışında bulunan noktalar esas alınarak hata miktarlarına bakılmıştır.

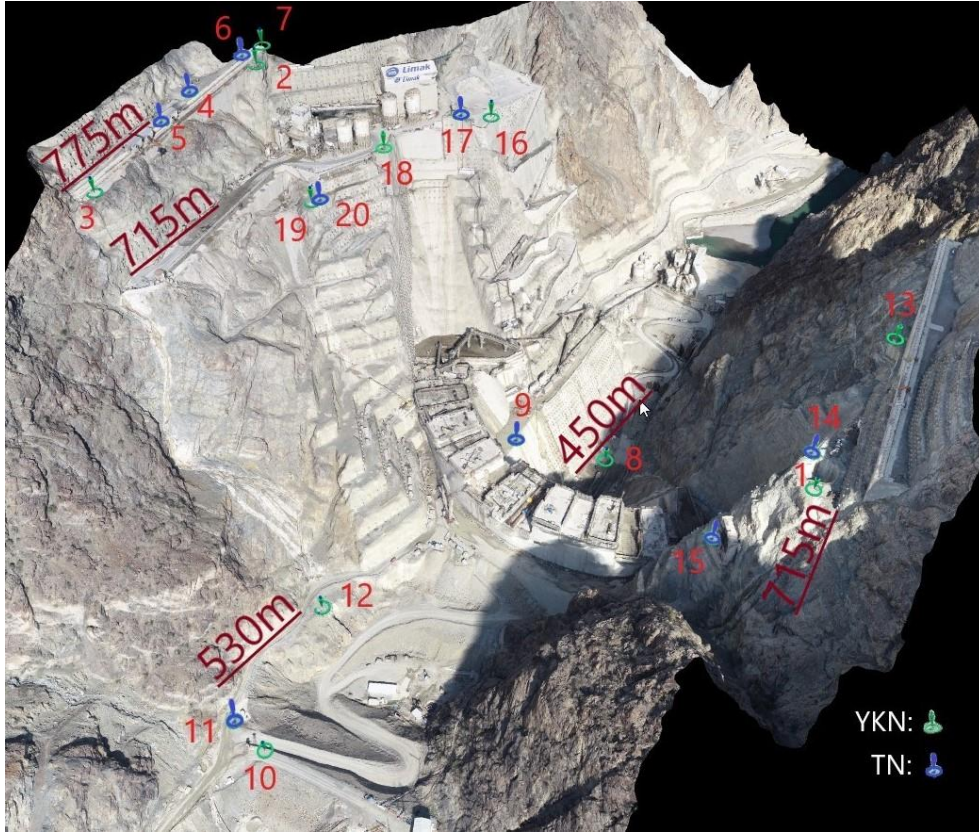
3.1.1 Homojen dağılım

Homojen YKN dağılımı için 11 adet nokta (Şekil 13'de 1, 2, 3, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 18 ve 19) YKN olarak

kullanılmış geriye kalan 9 nokta ise test noktası olarak kullanılmıştır. Yapılan modellemede test noktalarının KOH'u Y ekseninde 2.20 cm, X ekseninde 1.32 cm, Z ekseninde 2.06 cm olduğu görülmüştür (Çizelge 3). Maksimum hatalara bakıldığında ise Y ekseninde 4.23 cm, X ekseninde 2.63 cm, Z ekseninde ise 4.80 cm olduğu görülmüştür (Çizelge 3). Bu sonuçlara bakıldığında hata değerlerinin BÖHHBÜY'ün detay ölçmeleri için ± 7 cm ve daha iyi olma hükmüne göre kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Homojen YKN dağılımı hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
14	0.0093	-0.0156	0
17	-0.0324	0.0167	-0.0027
4	-0.0173	0.0017	-0.0009
5	-0.0124	0.004	0.0249
6	0.0036	0.0105	0.0089
9	0.0236	-0.0121	-0.0278
11	0.0124	-0.0263	0.048
20	0.0165	-0.0013	0.0024
15	0.0423	-0.009	0.0043
KOH	0.022	0.0132	0.0206



Şekil 14. Sol sahil 775 kotu YKN dağılımı

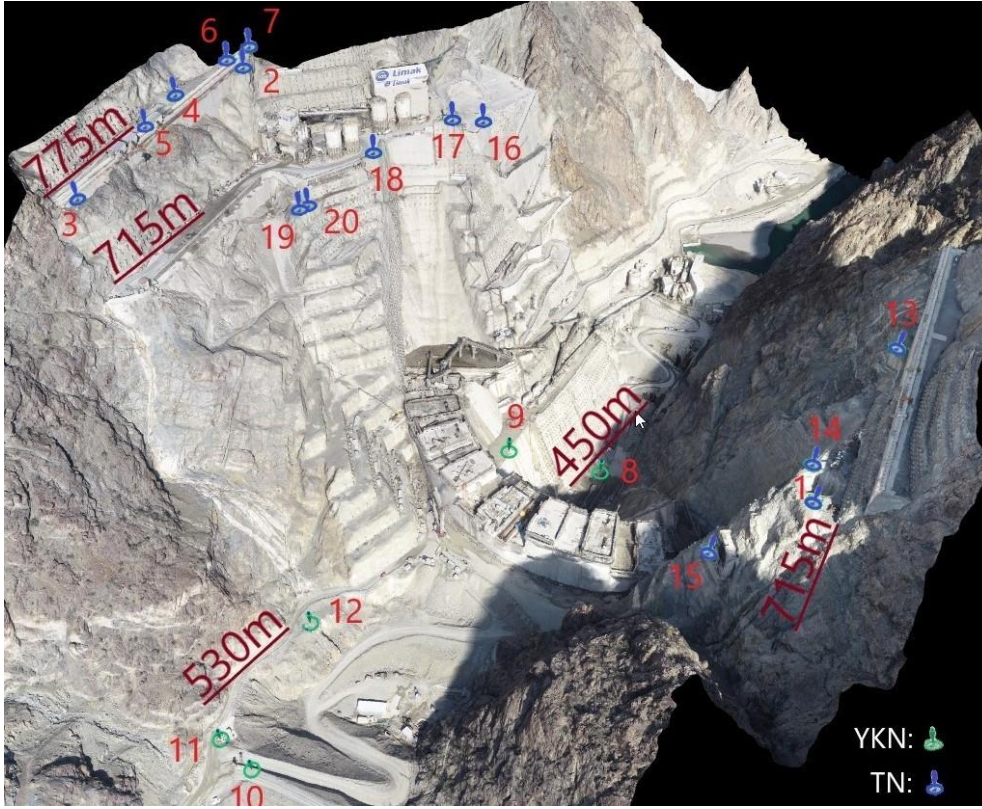
3.1.2 Sol sahil 775 kotu dağılım

Sol sahilde, hava hattının bulunduğu 775 m palıye kotuna tesis edilen 6 adet nokta (Şekil 14'te 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı noktalar) YKN olarak kullanılmış geriye kalan 14 nokta ise test noktası olarak kullanılarak vadi tabanı ve karşı sahilde oluşacak hata miktarları incelenmiştir. Modelleme işleminin ardından Çizelge 4'te test noktalarının hata miktarlarına bakıldığında Y ekseninde 18.84 cm, X ekseninde 13.78 cm, Z ekseninde ise 35.36 cm KOH görülmüştür. Maksimum hata miktarlarına bakıldığında ise Y ekseninde 34.14 cm, X ekseninde 24.58 cm, Z ekseninde ise 54.18 cm olduğu görülmüştür. Test noktalarının hata miktarları incelendiğinde YKN'lerden yatayda ve düşeyde uzaklaştıkça hata miktarlarının uzaklık ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Sağ sahildeki 1, 13 ve 14 numaralı test noktalarının, sol sahildeki YKN'ler ile yakın yükseltilerde olmalarına rağmen vadi tabanındaki 8 numara ile düşeyde hemen hemen

aynı hatayı vermeleri, YKN'lerden hem yatayda hem de düşeyde uzaklaştıkça hata miktarının arttığını göstermektedir.

Çizelge 4. Sol sahil 775 kotu YKN dağılımı hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
14	0.0443	0.0184	0.5060
18	0.0349	-0.0342	-0.0404
17	0.0192	-0.0201	0.0293
13	-0.0317	0.0580	0.5418
1	0.0269	0.0232	0.5077
8	0.3414	-0.2261	-0.5339
9	0.2677	-0.1861	-0.3968
10	0.2907	-0.2272	-0.3600
11	0.2886	-0.2458	-0.3532
12	0.2799	-0.2254	-0.4082
19	0.0958	-0.0530	-0.1043
20	0.0920	-0.0520	-0.1032
16	0.0740	-0.0396	0.0502
15	0.1853	-0.0658	0.2309
KOH	0.1884	0.1378	0.3536



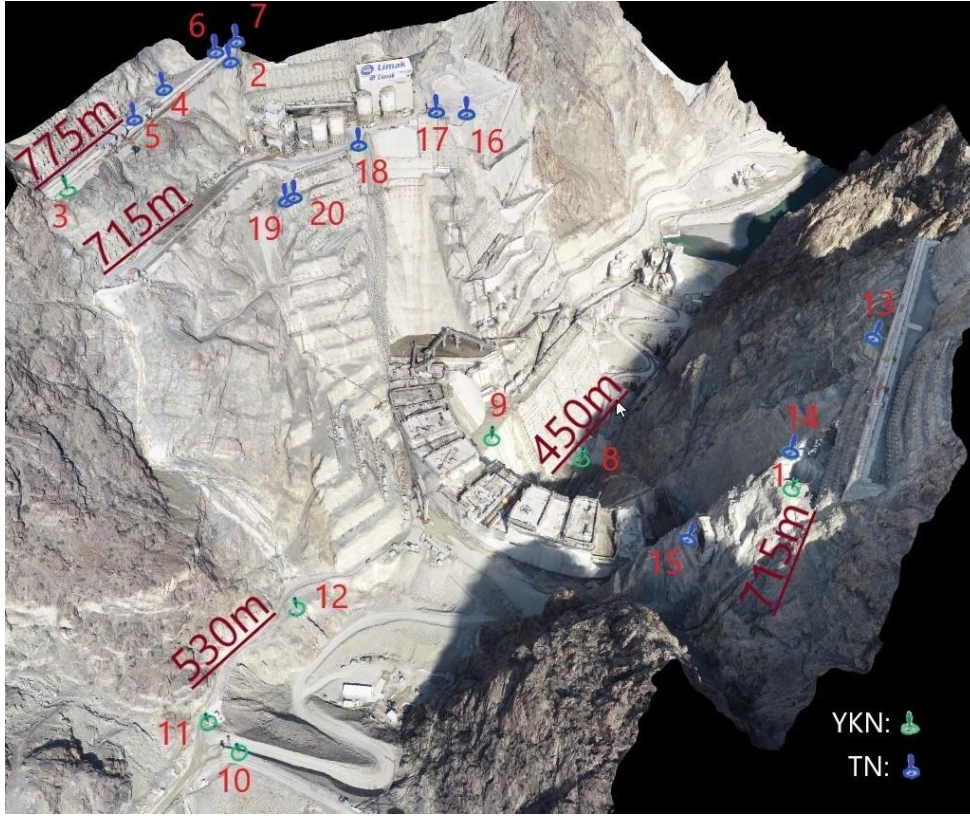
Şekil 15. Vadi tabanı YKN dağılımı

3.1.3 Vadi tabanı dağılım

Vadi tabanı YKN dağılımı ile vadi tabanındaki noktalar (Şekil 15’de 450 ile 530 kotu arasındaki 8, 9, 10, 11 ve 12) YKN olarak kullanılmış ve üst kotlardaki hata miktarları araştırılmıştır. Yapılan modelleme ile test noktalarının KOH’u Y ekseninde 11.35 cm, X ekseninde 5.49 cm, Z ekseninde ise 14.77 cm olduğu görülmüştür. Maksimum hatanın ise Y ekseninde 13.86 cm, X ekseninde 7.62 cm, Z ekseninde ise 23.60 cm’ye kadar arttığı görülmüştür. Vadi tabanı YKN dağılımında hata miktarının homojen dağılıma göre önemli oranda arttığı tespit edilmiştir. Test noktası hata miktarları Çizelge 5’deki gibidir.

Çizelge 5. Vadi tabanı YKN dağılımı hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
14	-0.1386	0.0380	0.2360
18	-0.0976	0.0420	0.0971
17	-0.1021	0.0455	0.1364
13	-0.1919	0.0594	0.2353
1	-0.1612	0.0443	0.2266
2	-0.0978	0.0605	0.1079
3	-0.1381	0.0708	0.0899
4	-0.1249	0.0681	0.0928
5	-0.1273	0.0691	0.1106
6	-0.0951	0.0762	0.1144
7	-0.0960	0.0729	0.1138
19	-0.0579	0.0410	0.0815
20	-0.0610	0.0412	0.0805
16	-0.0508	0.0266	0.1595
15	-0.0551	0.0347	0.1785
KOH	0.1135	0.0549	0.1477



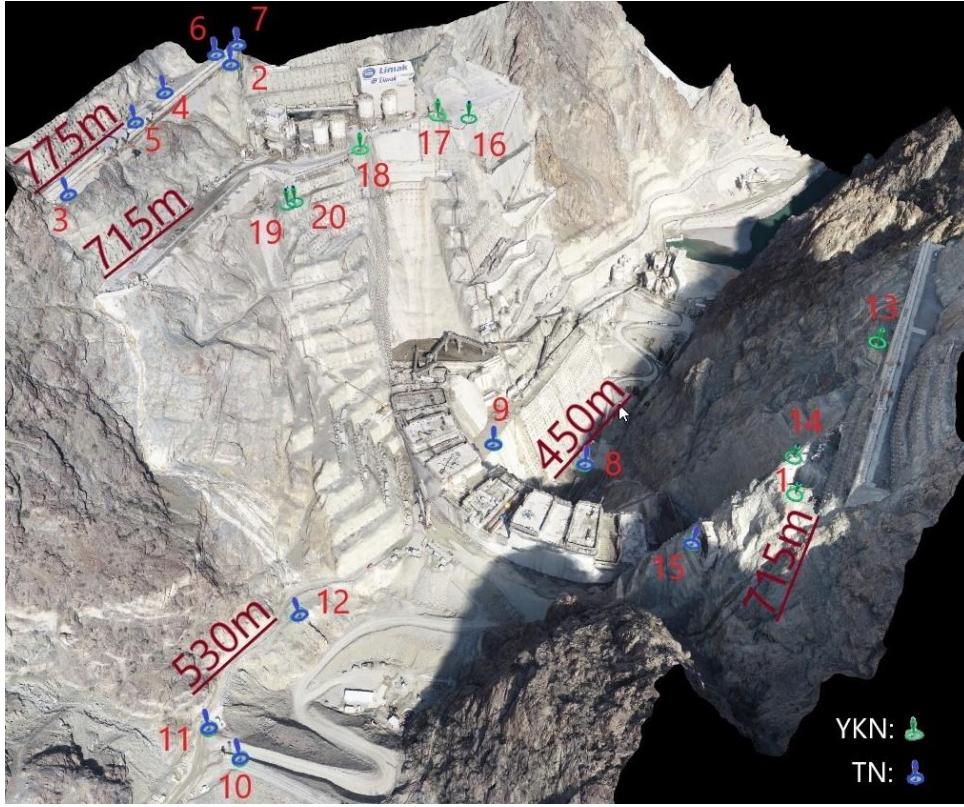
Şekil 16. Vadi Tabanı YKN dağılımına sağ ve sol sahilden nokta ilavesi

3.1.4 Vadi Tabanı Dağılıma Sol ve Sağ Sahilden Nokta İlavesi

Vadi tabanı YKN dağılımının üst kotlardaki hata miktarını önemli ölçüde artırdığı görülmüş, bunun üzerine vadi tabanı YKN dağılımına sol ve sağ sahilden nokta ilave edilerek hata miktarına nasıl bir etki yapacağı incelenmiştir. Vadi tabanı YKN dağılımına sol ve sağ sahilden birer nokta (Şekil 16'da 3 ve 1 numara) eklendiğinde KOH'un Y ekseninde 3.02 cm, X ekseninde 0.95 cm, Z ekseninde 2.73 cm'ye düştüğü görülmüştür (Çizelge 6). Maksimum hata miktarlarına bakıldığında Y ekseninde 6.41 cm, X ekseninde 2.39 cm, Z ekseninde 5.19 cm'ye düştüğü görülmüştür (Çizelge 6). Bir önceki vadi tabanı YKN dağılımı ile karşılaştırıldığında, hata miktarının özellikle düşeyde önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Vadi tabanı YKN dağılımına nokta ilavesi hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
14	-0.0074	-0.0040	-0.0129
18	0.0009	-0.0076	0.0036
17	-0.0055	-0.0020	0.0164
13	-0.0641	0.0239	-0.0519
2	0.0264	-0.0064	0.0231
4	0.0042	0.0007	0.0210
5	0.0035	0.0037	0.0405
6	0.0309	0.0078	0.0338
7	0.0290	0.0042	0.0275
19	0.0366	-0.0050	0.0210
20	0.0333	-0.0048	0.0178
16	0.0413	-0.0175	0.0353
15	0.0320	0.0053	-0.0032
KOH	0.0302	0.0095	0.0273



Şekil 17. Sağ ve sol sahil YKN dağılımı

3.1.5 Sağ ve Sol Sahil Dağılımı

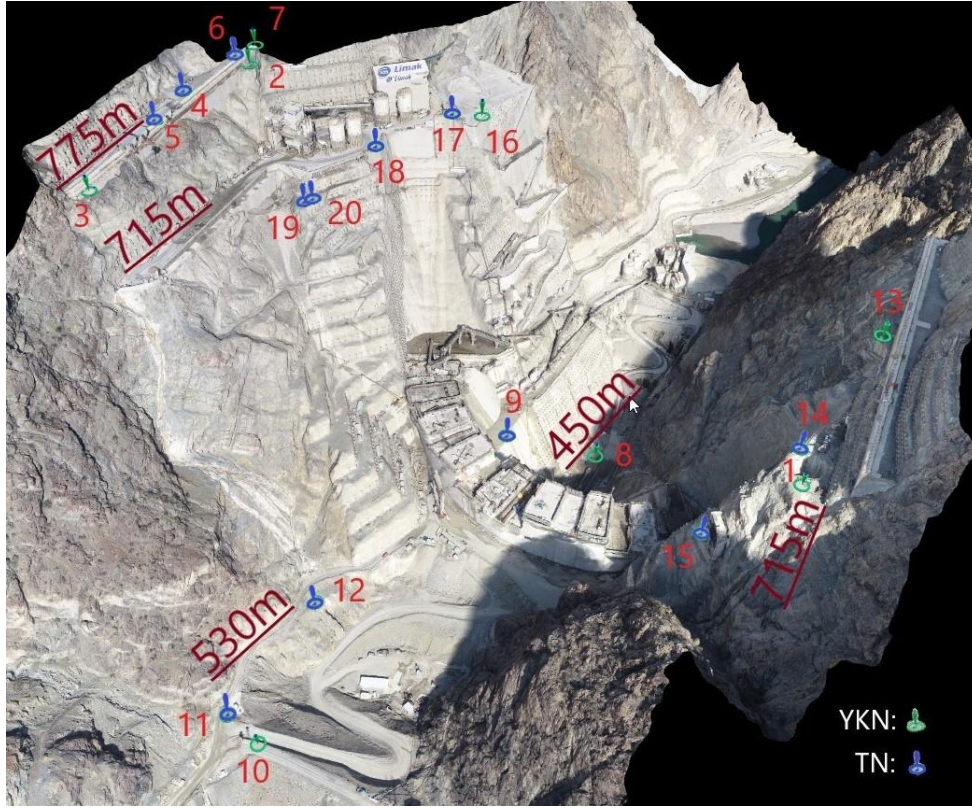
Sağ ve sol sahil YKN dağılımında vadinin her iki tarafında karşılıklı olarak birbirine yakın seviyelerde, 700 ile 725 m arası değişen kotlarda yerleştirilen noktalar (Şekil 17’de 1, 13, 14, 16, 17, 18, 19 ve 20 numaralı noktalar) YKN olarak kullanılmış, diğer noktalar ise test noktası olarak kullanılmıştır. Sağ ve sol sahil YKN dağılımı ile vadi tabanı ve vadinin üst noktalarında oluşacak hata miktarlarını incelemek amaçlanmıştır. Modelleme işleminin ardından Çizelge 7’de test noktalarının KOH miktarlarına bakıldığında Y ekeninde 2.49 cm, X ekseninde 5.53 cm, Z ekseninde ise 40.29 cm olduğu görülmüştür. Maksimum hata miktarlarına bakıldığında ise Y ekseninde 4.06 cm, X ekseninde 12.21 cm, Z ekseninde ise 84.76 cm’ye varan hatalar görülmüştür.

Çizelge 7. Sağ ve sol sahil YKN dağılımı hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
2	0.0094	-0.0057	0.2115

3	-0.0137	-0.0142	0.2686
4	-0.0124	-0.0062	0.2377
5	-0.0105	-0.0081	0.2644
6	0.0127	0.0080	0.2371
7	0.0118	0.0065	0.2279
8	-0.0053	-0.0085	-0.8476
9	-0.0082	-0.0290	-0.5928
10	-0.0369	-0.1088	-0.4015
11	-0.0407	-0.1221	-0.3527
12	-0.0370	-0.0867	-0.4497
15	0.0460	-0.0325	-0.1977
KOH	0.0249	0.0553	0.4029

Çizelge 7’de YKN’lerden 60 m yukarıdaki noktalara (sol sahil 775 m palve kotu, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7) bakıldığında düşeyde hata 23-24 cm civarlarında iken, 265 m aşağıda vadi tabanında (8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı YKN’ler) hata miktarının 84 cm’ye kadar çıktığı görülmektedir. Bu da hata miktarının YKN’lerden uzaklaştıkça orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir.



Şekil 18. Dış hat YKN dağılımı

3.1.6 Dış Hat Dağılımı

Fotogrametrik modelin doğru bir şekilde ölçeklenebilmesi ve dönüklük oluşmaması için, her üç boyutta (X, Y ve Z) mümkün olduğunca uzak noktalara ihtiyaç olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle çalışma sahasını üç boyutlu olarak çevreleyen en dış noktalar (Şekil 18'de 1, 2, 3, 7, 8, 10, 13 ve 16) YKN olarak kullanılmış ve test noktalarının hata miktarları incelenmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Dış hat YKN dağılımı hata miktarları

Test Noktası	Hata Y [m]	Hata X [m]	Hata Z [m]
14	0.0135	-0.0164	0.0053
18	-0.0212	0.0010	-0.0116
17	-0.0343	0.0175	-0.0055
4	-0.0140	-0.0006	-0.0000
5	-0.0087	0.0019	0.0265
6	0.0038	0.0081	0.0069
9	0.0258	-0.0181	-0.0189
11	0.0270	-0.0309	0.0615
12	0.0311	-0.0262	0.0375
19	0.0237	-0.0065	0.0107
20	0.0198	-0.0056	0.0072
15	0.0462	-0.0098	0.0147
KOH	0.0251	0.01522	0.0239

Çizelge 8 incelendiğinde KOH'un Y ekseninde 2.51 cm, X ekseninde 1.52 cm ve Z ekseninde 2.39 cm olduğu görülmektedir. Maksimum hata miktarlarına bakıldığında ise Y ekseninde 4.62 cm, X ekseninde 3.09 cm ve Z ekseninde ise 6.15 cm olduğu görülmektedir. Dış hat YKN dağılımı ve homojen YKN dağılımı hata miktarları (Çizelge 8 ve Çizelge 3) incelendiğinde dış hat YKN dağılımında daha az YKN bulunmasına, iç kısımlarda hiç YKN bulunmamasına rağmen hata miktarlarının homojen dağılım ile neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, iç kısımlarda homojen bir YKN dağılımının yanı sıra, çalışma sahasının en dış sınırlarını üç boyutlu olarak çevreleyen, arazinin topografik yapısını yansıtan bir YKN dağılımının gerekliliğini ortaya koymuştur.

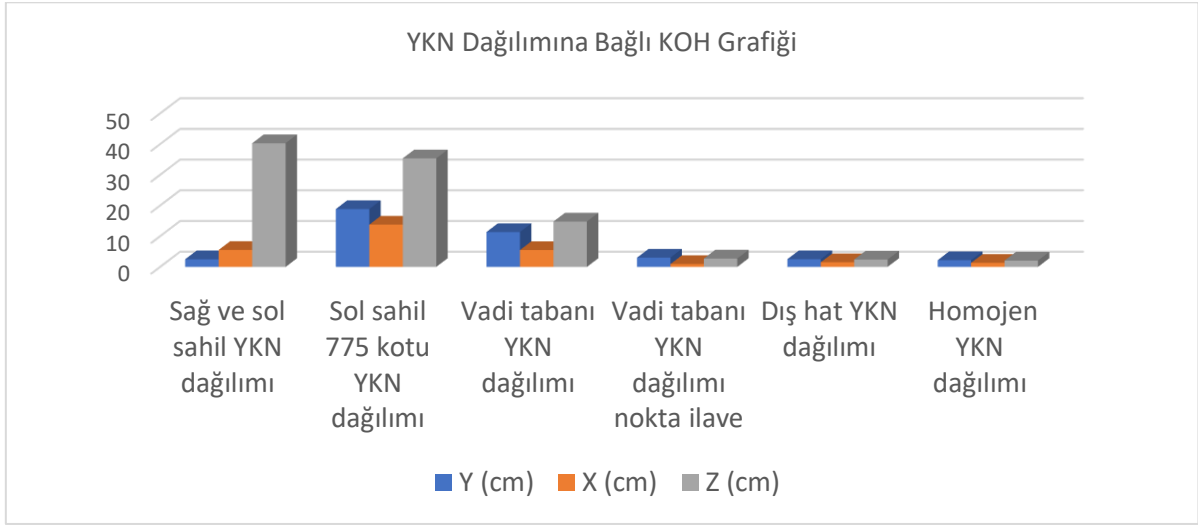
3.2. YKN Dağılımı Karşılaştırma ve Grafik Gösterimi

Çizelge 9 ve Şekil 19'da çalışma sahası YKN dağılımı ve karşılaştırması incelendiğinde en düşük hata miktarının homojen YKN dağılımında olup, bunu çok az bir fark ile dış hat YKN dağılımının takip ettiği görülmektedir. Vadi tabanı, sol sahil 775 kotu, sağ ve sol sahil YKN dağılımlarının ise en fazla hata

miktarına sahip olduğu görülmektedir. Vadi tabanı YKN dağılımına en üst kotlardaki sağ ve sol sahilden nokta ilave edildiğinde konum doğruluğunun büyük oranda arttığı görülmüştür. Vadi tabanı YKN dağılımına üst kotlardan nokta ilavesinin sonuçları nasıl iyileştirdiği Çizelge 9 ve Şekil 19'da görülmektedir.

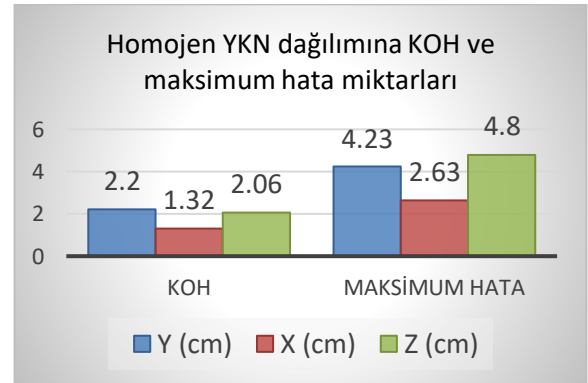
Çizelge 9. YKN dağılımına bağlı KOH miktarları

YKN DAĞILIMI	Y [m]	X [m]	Z [m]
Homojen YKN dağılımı	0.0220	0.0132	0.0206
Sol sahil 775 kotu YKN dağılımı	0.1884	0.1378	0.3536
Vadi tabanı YKN dağılımı	0.1135	0.0549	0.1477
Vadi tabanı YKN dağılımı nokta ilave	0.0302	0.0095	0.0273
Sağ ve sol sahil YKN dağılımı	0.0249	0.0553	0.4029
Dış hat YKN dağılımı	0.0251	0.0152	0.0239



Şekil 19. YKN dağılımına bağlı KOH grafiği Homojen

Çizelge 9 ve Şekil 19'da verildiği gibi altı farklı YKN dağılımına ait test noktalarının KOH sonuçlarına bakıldığında yatayda ve düşeyde en az hata miktarı ve en güvenilir dağılımın homojen YKN dağılım olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 20'de ise homojen YKN dağılımına ait test noktalarından elde edilen KOH ve maksimum hata miktarları detaylı olarak verilmiştir. Maksimum hatanın Y, X ve Z eksenlerinde 5 cm'nin altında olduğu görülmektedir. KOH miktarlarının ise oldukça düşük, 1-2 cm seviyelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 20. Homojen YKN dağılımına ait KOH ve maksimum hata miktarları

4. Sonuç

Dağlık, engebeli ve yüksek eğimli arazilerde klasik yersel yöntemler ile ölçüm yapmak çok zor bazen de imkansız olabilmektedir. Bu çalışma da böyle bir ihtiyaçtan doğmuş, dağlık, kayalık ve engebeli arazilerde İHA platformu ile fotogrametrik yöntemin doğruluğunu araştırmak ve YKN'lerin konum doğruluğu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda dağlık ve engebeli, bir arazi yapısına sahip olan Artvin-Yusufeli barajı inşaat sahası üzerinde farklı YKN dağılımları uygulanmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Çalışma sahası dağlık, kayalık, yükselti farkının fazla olduğu bir arazi olup, genel olarak YKN'ler vadi tabanı, orta sıra ve üst sıra olmak üzere üç farklı yükseltide konumlandırılmıştır. Sahaya 6 farklı YKN dağılımı uygulanmış ve sonuçları analiz edilmiştir. İlk olarak homojen YKN dağılımı uygulanmış ve yüksek doğruluk (maksimum hata: 4.8 cm, KOH: 2 cm) elde edilmiştir. Daha sonra yalnızca vadi tabanı, yalnızca orta sıra ve yalnızca üst sıra YKN dağılımları ve bunlara ilaveten farklı sıralardan YKN ilavesi yapılarak etkileri gözlenmiştir. Sonuç olarak, yalnızca belirli bir yükseltiye dağıtılan YKN'lere bağlı hata miktarının büyük olduğu (54 cm'ye kadar), bu dağılıma diğer sıralardan (farklı yükseltilerden) YKN ilave edildiğinde ise hata miktarının büyük oranda düştüğü (5 cm'ye kadar) tespit edilmiş ve YKN'lerin yalnızca yatayda değil, düşeyde de çalışma sahasının sınırlarını çevreleyen, (en alçak ve en yüksek noktalar dahil edilerek) homojen bir yapıda tesis edilme gerekliliği açıkça ortaya konmuştur.

Homojen dağılıma en yakın değerler, çalışma bölgesinin yatay ve düşey olarak sınırlarını çevreleyen dış hat dağılımından elde edilmiştir. Dış hat YKN dağılımı ve homojen YKN dağılımı hata miktarları incelendiğinde, dış hat YKN dağılımında daha az YKN bulunmasına ve sahanın iç kısımlarda hiç YKN bulunmamasına rağmen hata miktarlarının homojen dağılım ile neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Bu sonuç, konum doğruluğu üzerinde yeterli YKN sayısının yanında, YKN'lerin dağılımının da oldukça önemli olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, homojen YKN dağılımına en yakın hata değerlerinin dış hat YKN dağılımından alındığı,

çalışma sahasının (dağlık yerlerde özellikle) mutlaka hem yatayda hem de düşeyde en dış sınırlarının dahil edildiği, arazinin topografik yapısını yansıtan, homojen bir YKN dağılımı uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sahasında yatay ve düşey olarak homojen YKN dağılımı uygulandığında, maksimum hata miktarlarının 5 cm'nin altında olduğu görülmüştür. İHA ile dağlık, engebeli arazilerde fotogrametrik veri üretiminde hassas sonuçlar elde edilebildiği, hata miktarının BÖHHBÜY'ün detay ölçmeleri için vermiş olduğu ± 7 cm ve daha iyi olma koşulunu sağlayabildiği, elektronik takeometri, total station, GNSS, LİDAR veya diğer teknik yöntemler ile kıyaslanabilecek bir doğruluk elde edildiği görülmüştür.

Teşekkür

Bu makale "Engebeli arazilerde insansız hava araçları ile üç boyutlu veri üretiminde doğruluk araştırması" adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Bilgi ve deneyimiyle beni motive eden ve yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. Erdem Emin MARAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada bana yardımlarını esirgemeyerek imkanlarını sunan Artvin Yusufeli Barajı Limak A.Ş Proje müdürü sayın Ferudun ÜNSAL beye, ikinci kısım Etüt Proje Şefi Cihat KUŞCU beye, ekibindeki bütün topoğraf, alet operatörü ve şenör arkadaşlara teşekkürlerimi sunarım.

Baraj Etüt Proje Şefi Mehmet KARAOĞLU beye, ekibindeki bütün topoğraf, alet operatörü ve şenör arkadaşlara teşekkürlerimi sunarım.

İHA ile görüntü almada yardım eden Emrah ÖRÜCÜ beye ve saha çalışmam süresince benden desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

BÖHHBÜY. (2018). *Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgieri Üretim Yönetmeliği, İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları*. (37575733-170.99-E.4032591). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Ankara.

Gül, Y. (2019). Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **62(1)**, 99-112, doi: 110.25288/tjb.519506. doi: 10.25288/tjb.519506

Numan, A. B., Marangoz, A. M., & Karakış, S. (2019). *Geleneksel Fotogrametri ile İnsansız Hava Aracı Verilerinin Kullanılan Kamera ve Sonuç Ürünleri Bakımından Karşılaştırılması*. Paper presented at the TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, **17**. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 25-27 Nisan, Ankara.

Özcan, O. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, **2(1)**, 1-7.

Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S., & Raşit, U. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik Ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik Dergisi*, **2(3)**, 135-142.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, **38(1)**, C22, 25-31, doi: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5191-C5122-5125-2011.

Yıldız, F. (2016). Kinematik GPS Destekli Uçuş Planlaması ve Uçuş Parametreleri. Retrieved from <https://slideplayer.biz.tr/slide/10131101/> (Erişim Tarihi: 14.04.2019)

İnternet kaynakları

1- <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2> (12.10.2019)

2-<https://fotografium.com/urun/dji-phantom-4-pro-v2-drone-yeni-versiyon> (Erişim Tarihi: 14.10.2019)