

Açık Ocak Maden Sahalarının İHA Teknolojisi Kullanılarak Tespiti ve Değerlendirilmesi

Güzide Önal^{1,2}, Doğa Fidan^{3*}, Ali Ulvi^{4,5}

- Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, 33110, Mersin, Türkiye; (onalg@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (onalg@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (dogafidan.61@gmail.com)
- Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
dogafidan.61@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Önal, G., Fidan, D., & Ulvi, A. (2024). Açık Ocak Maden Sahalarının İHA Teknolojisi Kullanılarak Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 31-38.

Geliş : 15.11.2024
Revize : 24.11.2024
Kabul : 27.11.2024
Yayınlama : 31.12.2024

Özet

Dünyada madencilik sektörü, maden sahalarının izlenmesi, genel durumun değerlendirilmesi ve madencilik faaliyetlerinin düzenlenmesine yönelik bir girişim içerisinde. Türkiye'de kömür madenciliği, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaya devam etmekte olup, kömür madeni sektörü yerli enerji üretimini artırma adına stratejik bir öneme sahiptir. Yeni teknolojiler, maden ocaklarındaki değişimleri hassas bir şekilde gözlemleme, çevresel etkileri değerlendirme ve üretim süreçlerini optimize etme konusunda önemli araçlar sunmaktadır. Açık ocak madenciliği alanında insansız hava aracı (İHA) kullanımı, madenlerinin dijital ortamda temsil edilmesi, üretim planlaması ve üretim yönetimi konusunda etkili bir rehberlik sağlayabilmektedir. Bu çalışmada Balıkesir ili Kepsut ilçesinde yer alan bir açık kömür madeni sahasının İHA fotogrametrisi yöntemiyle ortofoto, sayısal yükseklik modeli ve üç boyutlu (3B) yoğun nokta bulutu elde edilmiştir. Elde edilen sonuç ürünlerinin hassasiyeti, maden sahasında yersel ölçümlerle tespit edilen 8 adet doğrulama noktası kullanılarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maden sahası, İHA, ortofoto, sayısal yükseklik modeli, 3B Nokta bulutu.

Detection and Assessment of Open-Pit Mining Sites Using UAV Technology

*Corresponding Author:
dogafidan.61@gmail.com

Research Article

Citation: Önal, G., Fidan, D., & Ulvi, A. (2024). Detection and Assessment of Open-Pit Mining Sites Using UAV Technology. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 31-38 (in Turkish).

Received : 15.11.2024
Revised : 24.11.2024
Accepted : 27.11.2024
Published : 31.12.2024

Abstract

Around the world, the mining industry is engaged in an initiative to monitor mining sites, assess the overall situation and regulate mining activities. In Turkey, coal mining continues to play an important role in the national economy and the coal mining sector has a strategic importance for increasing domestic energy production. New technologies offer important tools to precisely monitor changes in mines, assess environmental impacts and optimize production processes. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in open pit mining can provide effective guidance on digital representation of mines, production planning and production management. In this study, orthophotos, digital elevation models and three-dimensional (3D) dense point clouds were obtained by UAV photogrammetry for an open pit coal mine site in Kepsut district of Balıkesir province. The accuracy of the final products was calculated by using 8 verification points determined by ground measurements at the mine site.

Keywords: Mine field, UAV, orthophoto, digital elevation model, 3D Point cloud.

1. Giriş

Türkiye zengin yer altı kaynaklarına sahip bir ülkedir ve madencilik sektörü, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır [1]. Ülkemiz coğrafyası hem endüstriyel ham maddeler hem de enerji üretimi için kullanılan mineral ve madenler bakımından geniş bir çeşitliliğe sahip olmakla beraber açık maden ocakları, inşaat sektörü ve sanayi alanlarında kullanılan önemli hammadde kaynaklarıdır [2-4].

Türkiye, kömür madenciliği açısından önemli bir potansiyele sahip bir ülkedir. Kömür madenciliği, Türkiye’de hem enerji üretimi hem de istihdam açısından önemli bir sektör olsa da madenlerin çevresel etkileri nedeniyle zaman zaman eleştirilmektedir [1, 5, 6, 31]. Kömür madeni ocaklarında çalışan işçilerin güvenliği, çevresel kirlilik ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesi gibi sorunlar, kömür madeni sektörünün karşılaştığı başlıca zorluklardandır [7, 8].

Maden ocakları buldukları çevrenin bitki örtüsü, toprak yapısı ve su dengesi üzerindeki ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dünyada, madenlerden sorumlu yöneticiler, maden sahalarının gelişimini ve durumunu izleyerek ve değerlendirerek madencilik faaliyetlerini düzenleme çabası içine girmiştir [1]. Bu kapsamda açık ocak madenlerindeki durum değişimlerinin tespitiyle ilgili yapılan güncel araştırmalar, ekolojik koruma, çevresel koruma sürdürülebilirlik ve kalkınma açısından büyük bir öneme sahiptir [2].

Kepsut ve Dursunbey (Balıkesir) havzalarındaki Erken Miyosen yaşlı görsel birimlerde bulunan ekonomik kömür damarları ve Kepsut Havzasında İsaalan köyünde yer alan alt-bitümlü kömür sahası da açık ocak madenlerine birer örnek teşkil etmektedir [9].

Teknolojinin hızla gelişimi ve bilgisayar işlem gücündeki iyileşmeler, açık ocak madenlerinin izlenmesinde uzaktan algılama görüntülerinin daha etkin ve yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır [10, 11]. Yeni teknolojiler, maden sahalarının zaman içindeki değişimlerini hassas bir şekilde gözlemek, çevresel etkilerini değerlendirmek ve üretim süreçlerini optimize etmek için önemli araçlar sunmaktadır [8]. Ayrıca, uzaktan algılama görüntüleri, geniş alanlarda hızlı veri toplama imkânı sağlayarak, araştırmacılara, geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyetli ve daha verimli bir izleme süreci sunmaktadır [5, 12]. Bu nedenle, açık ocak madenlerinin yönetimi ve çevresel izleme çalışmalarında uzaktan algılama teknolojileri günden güne daha fazla tercih edilmektedir [10].

Madencilikte insansız hava aracı (İHA) kullanımı maden sahalarının coğrafi yapısının düzenli olarak izlenmesi, maden sahasının çevreye olan etkisinin gözlemlenmesi, çıkartılacak cevherin yerinin belirlenmesi, madenin genişlemesi veya yeni alanların

keşfi için önemlidir [8, 11, 13]. İHA’lar, bu haritalamayı hızlı ve hassas bir şekilde yaparak, işletme süreçlerini hızlandırmaktadır [14]. Maden işletmeciliği, zorlu ve geniş alanlarda gerçekleştirilen, büyük yatırımlar ve emek gerektiren bir sektör olduğundan İHA’lar, maden sahalarında verimliliği artırmak, güvenliği sağlamak ve zor süreçleri optimize etmede önemli bir rol oynamaktadır [8]. Madencilik sektöründe, iş güvenliği çok büyük bir öneme sahip olduğundan, İHA’lar, bu tehlikeli bölgelerde personelin iş riski değerini azaltarak güvenliğini arttırmaktadır [2]. İHA’lar maden işletmelerinde daha doğru ve zamanında kararlar almayı ve sürdürülebilirlik adına adımlar atma süreçlerinin kolaylaşmasını sağlamaktadır [3, 10, 15].

İHA’lar kullanılarak açık ocak maden alanlarının üç boyutlu (3B) haritalanması ve izlenmesi ve İHA’ların performansının değerlendirilmesi ile ilgili olarak son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kang vd., Açık kireçtaşı maden ocağında 3B modelleme yapmak için döner kanatlı bir İHA’nın kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [16]. Battulwar vd., büyük yüzey madenleri için 3B modeller oluşturmada İHA’ları kullanmış, 3B modeller ve yüksek çözünürlüklü haritalar oluşturmak için düşük maliyetli İHA’nın kullanımı üzerine araştırmalar yapmıştır [17]. McLeod vd., İHA’dan elde edilen video görüntülerini kullanarak açık ocaklı madendeki çatlak yöneliminin tespit edilmesi üzerine çalışmıştır [18]. Wang vd., Çin Pekin’deki açık ocaklı bir madenin yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (HTYA) yöntemini kullanarak elde ettikleri sayısal yükseklik modeli (SYM) verisi üzerinden jeomorfolojik özellikleri değerlendirmiştir [19]. Gil ve Frackiewicz, Açık maden ocağının SYM verisi üzerinden mekânsal sorgusu ve değerlendirmesini Quantum GIS yazılımı kullanarak gerçekleştirmiştir [8]. Bunun yanında Beretta vd., İHA’ların kullanımı ile elde edilen SYM’nin doğruluğunu kontrol etmek için diğer geleneksel yöntemleri kullanmış, fotogrametrik yöntemle elde edilen SYM’nin hassasiyetini analiz etmiştir [20]. Tong vd. Güneybatı Çin’deki açık maden ocak alanlarının eğimli yamaçların hassas 3B modellemesi için İHA tabanlı fotogrametri ve lazer tarama sistemlerinin entegrasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır [14].

Bu çalışmada uygulama alanı olarak Balıkesir ili Kepsut ilçesinde yer alan açık kömür maden ocağı belirlenmiştir. Maden ocağında İHA fotogrametrisi yöntemi kullanılarak fotoğraflar elde edilmiştir. Ofis çalışmalarında fotoğrafların dengelemesi yapılmış ardından 3B yoğun nokta bulutu, ortomozaik, ve sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Maden sahasından yersel ölçme teknikleriyle elde edilen koordinatlar kullanılarak, ürünlerin karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, modelleme sürecinde kullanılan materyaller ve yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada veri toplama süreci için Dji Phantom 4 Pro v2.0 İHA kullanılmıştır. Fotoğrafların işlenmesi ve 3B model elde edilmesi aşamasında Agisoft Metashape yazılımı kullanılmıştır. Sayısal halihazır harita üretiminde Netcad yazılımı kullanılmıştır.

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

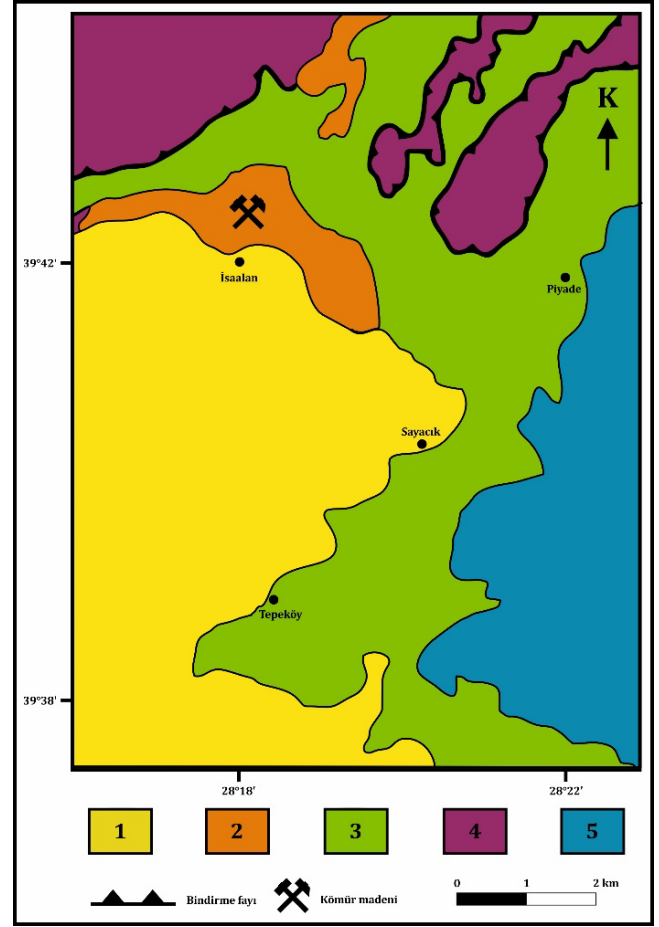
Balıkesir ili Kepsut ilçesi İsaalanı köyündeki çalışma alanı; Batı Anadolu Volkanik Bölgesi içinde yer almakta olup Kepsut Volkanik Kompleksi olarak bilinen volkanik kayalar içermektedir [21]. Bu volkanik kayalar; bazaltik andezit, andezit ve dasit-riyolit bileşimli lavlar ile bunlarla ilişkili piroklastik kayalardan oluşur. Bazaltik andezit ve andezit bileşimli lavların çıkış merkezi Eyüpbükü civarında bir strato-volkan olarak tanımlanmaktadır [22]. Dasit-riyolit lav akıntıları ise bu strato-volkanın çevresinde KB-GD ve KD-GB doğrultusunda dizilen kırık erüpsiyonlarıyla oluşmuş domlarla ilişkilidir. Kepsut volkanitleri; pliniyen-sub pliniyen türünde patlamalarla meydana gelmiştir [22].

Çalışma alanında çökel topluluk olarak adlandırılan ve geniş yüzeylemelere sahip kayalar, Batı Anadolu'da yaygın olan Soma Formasyonu [23] ile denestirilmektedir. Bu birim; kumtaşı, bitümlü şeyl, marn, mikrokonglomera, konglomera ve kireçtaşı içermektedir. Birimin üst kısımlarında tüfitler ve silisleşmiş tüflerin ardalanması görülmekte ve ekonomik değere sahip işletilen linyit damarları da bulunmaktadır. Çökel topluluğun litolojik özellikleri en iyi İsaalan Köyü civarında gözlemlenmektedir. Birimin alt seviyeleri kömür içeren bitümlü şeyllerden oluşmakta; yukarıya doğru sarımsı yeşil renkli, ince taneli şeyl-marn ve kireçtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Kireçtaşı mostraları açık krem renkli ve gevşek yapıda olup, borat oluşumlarına da yer yer rastlanmaktadır. Üst seviyeler ise gri, ince taneli kumtaşı ve siltaşı ile temsil edilmektedir [22] (Şekil 1).

Açık ocak maden sahasındaki kömürler; alt bitümlü kömür derecesinde olup limnik zonun açık su alanları ile kısmen sulu orman bataklığında oluşmuşlardır [24].

Balıkesir'in kuzeydoğusundaki Kepsut kasabası yakınlarında yer alan ve on yıllardır yüzey madenciliğiyle çıkarılan İsaalan kömür yatağında birçok volkanik ve bölgesel tektonik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup bu veriler; Kuzeybatı Türkiye'deki diğer yataklara göre çalışılan yatağın daha küçük olduğuna işaret etmektedir [25]. İsaalan kömür sahasında petrografik, mineralojik ve

jeokimyasal özelliklerin belirlendiği bu çalışmalarda; element dağılımları ve özellikle As (Arsenik) gibi elementlerin zenginleşmesini kontrol eden faktörler ortaya konmaktadır.



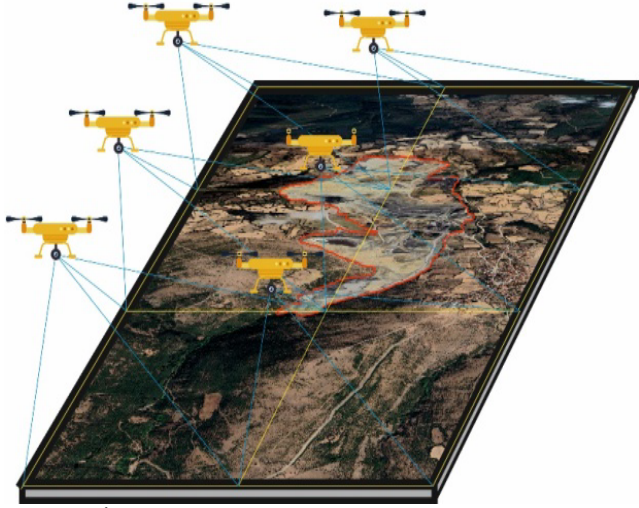
Şekil 1. İsaalan kömür yatağı çevresinin jeoloji haritası [1) Pliyosen-Miyosen yaşlı aglomera ve bazalt, 2) Miyosen yaşlı karasal-gösel tortullar, 3) Kretase Yayla Melanjı, 4) Permiyen-Triyas Karakaya Kompleksi, 5) Mesozoyik mermerler].

2.2. Fotogrametri

Fotogrametri, fotoğrafik görüntülerdeki elektromanyetik radyasyonun kaydedilmesi, ölçülmesi ve analiz edilmesiyle fiziksel nesnelere ve çevresel koşullar hakkında doğru ve güvenilir bilgiler elde etmeyi amaçlayan bir bilim ve teknolojidir [11]. Fotogrametri, stereoskopik görüntüleme prensibine dayanmaktadır. Birbirini tamamlayan birden fazla fotoğrafın kullanımıyla, yüzeylerin derinliği ve konumu belirlenmektedir [2]. Stereoskopik görüntüleme, eşleşen noktalardan yararlanarak, her iki görüntüdeki iki boyutlu (2B) koordinatları kullanarak 3B uzaydaki konumları hesaplamak için temel bir yöntemdir (Şekil 2)

Bu süreçte, özellikle bağlantılı fotoğraflar arasındaki örtüşme oranı, modelin doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir [15]. Yüksek örtüşme oranı, daha fazla ortak nokta elde edilmesini

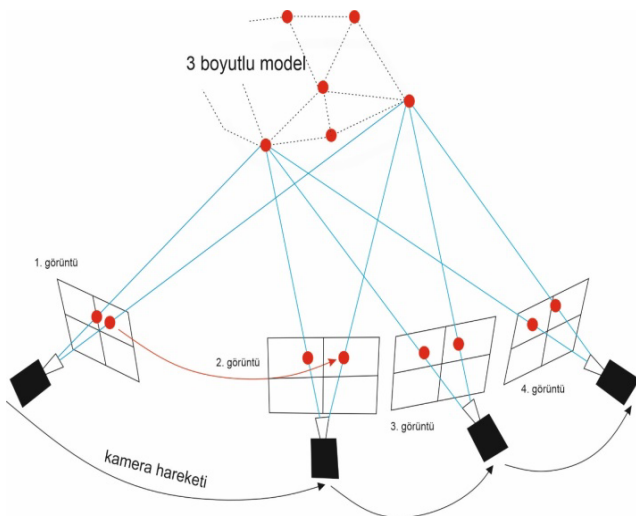
sağlamakta ve modelin daha doğru bir şekilde oluşturulmasına olanak tanımaktadır [11]. Fotogrametri yer yüzeyindeki nesnelere ve yapılar üzerinde yapılan detaylı ölçümlerde, küçük objelerin 3B modellenmesinde, inşaat, mimari projeler ve arkeolojik kazılarda, büyük alanların hızlı bir şekilde haritalanması, arazi analizleri, 3B modelleme, şehir planlama gibi büyük ölçekli projelerde, ayrıca çevre izleme, tarım ve arkeoloji ve maden alanında sıklıkla kullanılmaktadır [2].



Şekil 2. İHA fotogrametrisi.

2.3. Hareket Tabanlı Yapısal Algılama

Hareket tabanlı yapısal algılama, yerel ardışık 2B görüntü dizilerinden 3B yapıların tahmin edilmesini sağlayan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir [26]. Bu yöntem, temelde, farklı kamera pozisyonlarından elde edilen ve belirli ortak noktalara sahip olan görüntüler arasındaki eşleşen noktaları kullanmaktadır [11] (Şekil 3).

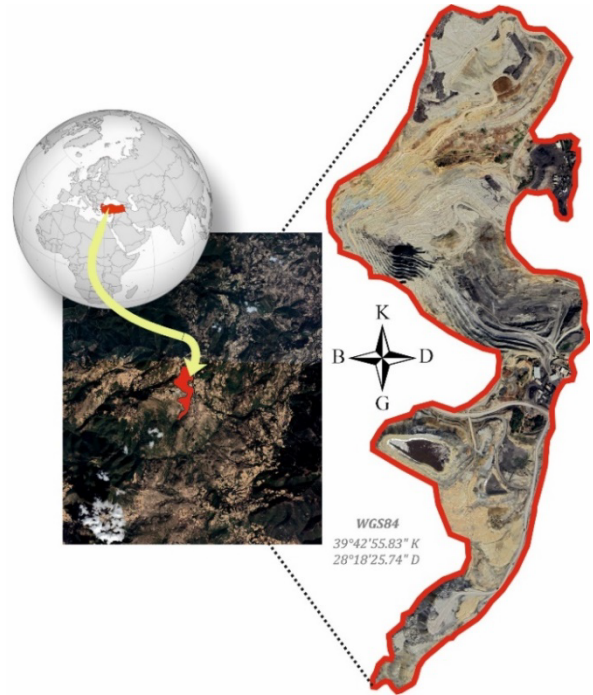


Şekil 3. Kameranın hareketi ve ortak noktalar.

Bu süreçte, birbirini takip eden fotoğraflar arasındaki örtüşen özellikler (örneğin, kenarlar, köşe noktaları veya objeye özgün desenler) kullanılarak, gerçek dünyaya ait objelerin yüzeylerinin 3B modelinin elde edilebilmektedir [26-28]. HTYA, geleneksel fotogrametrik yöntemlere kıyasla daha esnek bir yaklaşım sağlamaktadır. Çünkü bu teknik, kamera sisteminin hareketli olduğu bir durumda bile uygulanabilmektedir [29].

2.4. Uygulama Sahası

Çalışmanın uygulama alanı, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer alan Balıkesir il sınırlarında bulunan Kepsut ilçesindeki açık ocak kömür madeni sahasıdır (Şekil 4). Maden ocağı, Balıkesir il merkezinin yaklaşık 50 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Maden ocağı alanı topoğrafyası genel olarak dalgalı ve dağlık bir araziden oluşmakla birlikte bölgedeki yükseklikler 500 ile 1000 metre arasında değişmektedir. Bu dağlık alanlar, bölgedeki su akışlarını ve ekosistemleri şekillendirirken, aynı zamanda yer altı kaynaklarının varlığına da işaret etmektedir. Ayrıca, Kepsut'un çeşitli dereleri ve çayları, bölgedeki bitki örtüsünü besleyen su kaynaklarıdır. Bu da açık kömür madenciliği faaliyetlerinde su yönetimi açısından önemli bir faktör oluşturmaktadır.



Şekil 4. Uygulama sahası.

Çalışmanın arazi aşamasında fotoğrafların çekilmesinde DJI Phantom 4 Pro v2.0 marka ve model İHA kullanılmıştır (Şekil 5). Kullanılan İHA'nın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 5. DJI Phantom 4 Pro v2.0.

Tablo 1. DJI Phantom 4 Pro v2.0 teknik özellikleri.

Özellik	Açıklama
Kamera Çözünürlüğü	20 MP (maksimum çözünürlüğü)
Sensör Tipi	1" CMOS sensör
Lens	8.8 mm – 24 mm
Video Çözünürlüğü	4K (4096 x 2160)
Enstantane Hızı	8s - 1/2000s
Video Bit Rate	100 Mbps
Ekran	5.5" 1080p Full HD ekran
Motorlar	4 adet
Maksimum Uçuş Süresi	30 dakika (yeni batarya ile)
Maks. Hız	72 km/s (45 mph)
Maks. Uçuş Yüksekliği	6000 m (deniz seviyesinden)
Pil Kapasitesi	5870 mAh LiPo
Pil Şarj Süresi	1.5 saat (normal şarj)
Maks. Rüzgar Direnci	10 m/s (36 km/s)
GPS + GLONASS	Destekli

2.5. Veri Toplama

Yer kontrol noktaları (YKN), arazide bilinen koordinatlara sahip ve ölçümde referans olarak kullanılan noktalardır. İHA ile yapılan fotogrametrik ölçümlerde, YKN kritik bir rol oynamaktadır. YKN, genellikle arazide sabitlenen, fiziksel işaretler veya doğal objeler olabilmektedir. YKN sayısı, ölçüm yapılacak alanın büyüklüğüne ve modelin karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir. YKN arazide kolaylıkla tespit edilebilmeli ve uygun boyutlarda seçilmelidir. Fazla sayıda YKN kullanımı, modelin doğruluğunu artırırken, aynı zamanda dengeleme işleminin başarısını da güçlendirmektedir. YKN'nin arazi topoğrafyası, görüş açısı ve GPS doğruluğu gibi faktörlere göre stratejik olarak seçilmesi, elde edilecek ürünlerin hassasiyetini doğrudan etkilemektedir.

Veri toplama süreci, açık ocak kömür madeni sahasında yapılan uçuşlar ile gerçekleştirilmiştir. Uçuş süresi toplamda 60 dakika sürmüştür. İHA, sahadaki belirlenen rotalar üzerinden otomatik olarak uçurulmuştur. Çekilen fotoğrafların, her birinin diğer

fotoğraflarda en az %60-70 örtüşmeye sahip olacak şekilde çekilmesi sağlanmıştır. Bu örtüşme oranı, modelin doğruluğu için önemli bir faktördür. İHA ile yapılan uçuşlar sırasında, sahadaki farklı yüksekliklerden ve çeşitli açıdan fotoğraflar çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların arasından, yüzeydeki önemli detayların, eğimlerin ve yapısal unsurların net bir şekilde gösteren 381 adet fotoğraf dikkatle seçilmiştir. Bu çalışmada 4 adet YKN kullanılmıştır. YKN konumları Şekil 6'da YKN koordinat değerleri ise Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 6. YKN arazi üzerindeki konumları.

Tablo 2. YKN koordinat değerleri.

Nokta Adı	X	Y	Z (Elipsoidal)	Z (Ortometrik)
P.1	612056.515	4398214.129	557.966	539.240
P.2	612180.963	4397961.406	552.086	513.360
P.3	611980.889	4397759.268	520.693	481.967
P.4	612118.357	4397549.327	497.177	458.451

2.6. Ofis Çalışmaları

Fotogrametrik değerlendirme aşamasında ilk adımda çekilen fotoğraflar sıralanmıştır. Ardından fotoğrafların dengelemesi adımına geçilmiştir. Sahada ölçümü yapılan YKN yazılımında ilgili fotoğraflar üzerinde işaretlenmiştir. Bu sayede yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasında bağlantı kurulmuştur. Elde edilen yoğun nokta bulutu 209 milyon noktadan oluşmaktadır. Elde edilen sayısal yükseklik modelinin yer örnekleme aralığı değeri 11 cm/piksel, elde edilen ortofotonun yer örnekleme aralığı değeri ise 5.52 cm/piksel olarak elde edilmiştir. Ek olarak elde edilen ortofotodan maden ocak sahasının hâlihazır haritası çizilmiştir. Çizim işlemi Neticad yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

Tablo 3. Doğrulama noktalarının (DN) konum hataları.

Nokta Adı	V _x	V _y	V _z	V _x V _x	V _y V _y	V _z V _z
DN.1	2,31	3,48	-1,39	5,34	12,11	1,93
DN.2	1,33	0,98	2,41	1,77	0,96	5,81
DN.3	2,88	3,55	2,16	8,29	12,60	4,67
DN.4	2,23	3,41	-1,45	4,97	11,63	2,10
DN.5	0,93	1,74	-4,08	0,86	3,03	16,65
DN.6	1,94	1,48	3,35	3,76	2,19	11,22
DN.7	0,86	-0,23	-2,22	0,74	0,05	4,93
DN.8	1,66	1,81	2,39	2,76	3,28	5,71
KOH (X,Y,Z) cm				2,02	2,56	2,75

$$KOH_{x,y,z} = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (2)$$

Denklemlerde; $V_{x,y,z}$ noktaların konumsal farkları, X, Y, Z_{GNSS} yersel ölçümlerle elde edilen koordinatları, $X, Y, Z_{İHA}$ fotogrametri yöntemiyle elde edilen koordinatları, $KOH_{x,y,z}$ ise karesel ortalama hatayı temsil etmektedir.

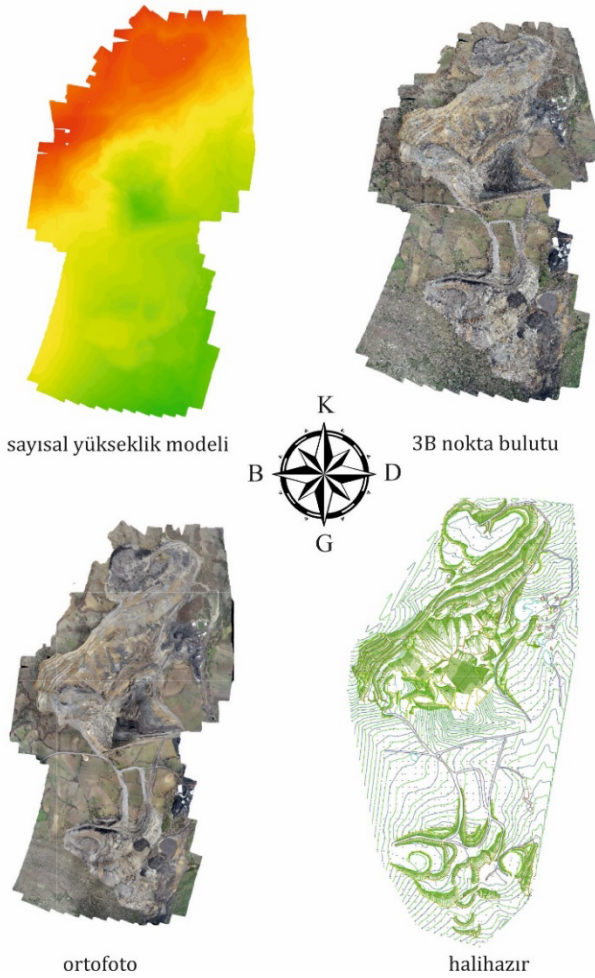
3. Sonuçlar

Balıkesir Kepsut'taki bir açık ocak kömür madeni sahasında İHA fotogrametrisi yöntemiyle ortofoto, dijital yükseklik modeli ve 3B yoğun nokta bulutu ve halihazır elde edilmiş olup doğruluk, yersel yöntemler ile belirlenen 8 doğrulama noktası kullanılarak hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata üç ekseninde de yaklaşık olarak 2 cm hassasiyetinde tespit edilmiştir.

Madencilikte İHA'ların kullanımı, geleneksel yöntemlerle yapılan denetim, izleme ve haritalama faaliyetlerine kıyasla önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlamaktadır. İHA'lar maden sahalarında büyük alanları izlemek için gerekli olan insan ve ekipman gücü ihtiyacını azaltarak esneklik arttırmakta, iş maliyetlerini ve iş gücünü optimize etmektedir. Ayrıca maden sahalarındaki tehlikeli alanları izlemek için kullanılan İHA'lar, işçilerin riskli bölgelerde çalışmalarını engelleyerek ulaşılması güç sahalarda bile daha düşük iş riski sağlamakta ve güvenliği arttırmaktadır. Çalışmanın sonuçları İHA'ların maden sahalarında kısa sürelerde hassas ölçümler yapabileceğini kanıtlamaktadır.

Yazarların Katkısı

Güzide Önal: Yazılım, Saha Çalışması;
Doğa Fidan: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Yazılım, Yazım;
Ali Ulvi: Kontrol, Analiz, Yazım.

**Şekil 7.** Elde edilen ürünler.

Elde edilen modelin hassasiyeti, maden sahasında tespit edilen 8 adet referans doğrulama noktası (DN) ile analiz edilerek hata değeri hesaplanmıştır. Doğrulama noktalarının koordinat değerleri, GPS cihazlarıyla elde edilmiştir. Bu süreçte, X, Y ve Z eksenleri için karesel ortalama hata hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu doğrulama süreci, fotogrametrik modelin yerel yüzey özelliklerini ne kadar doğru bir şekilde yansıttığını belirlemek için önemlidir.

$$V_{x,y,z} = X, Y, Z_{YERSEL} - X, Y, Z_{İHA} \quad (1)$$

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yaşar, S., İnal, S., Yaşar, Ö., & Kaya, S. (2015). Türkiye’de meydana gelen maden kazalarının istatistiksel olarak incelenmesi. *Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 21–22.
- [2] Ulvi, A. (2021). Documentation, three-dimensional (3D) modelling and visualization of cultural heritage by using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994–2021. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1882594>
- [3] Kabadayı, A. (2022). Açık maden ocağında hacim hesabı için GNSS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 52–57. <https://doi.org/10.51534/tiha.1179910>
- [4] Atıcı, A., Paksoy, M. F., & Kabadayı, A. (2024). Maden sahalarındaki stok miktarının İHA yardımıyla belirlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 8–13. <https://doi.org/10.53030/tufod.1489122>
- [5] MTA Genel Müdürlüğü. (2018). Dünyada ve Türkiye’de doğal taşlar.
- [6] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., & Hu, Z. (2019). A review of UAV monitoring in mining areas: Current status and future perspectives. *International Journal of Coal Science & Technology*, 6, 320–333. <https://doi.org/10.1007/s40789-019-00265-7>
- [7] Aktaş, M. (2011). Türkiye’de kömür madenciliği ve enerjideki rolü. *Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2011 Yılı Raporu*.
- [8] Gil, M., & Fraçkiewicz, P. (2019). Optimization of the location of observation network points in open-pit mining’s.
- [9] Bircan, C., Oskay, R. G., Karayiğit, A. İ., & Türkmen, İ. (2023). Kepsut ve Dursunbey (Balıkesir) havzalarındaki Soma Formasyonu içindeki Erken Miyosen yaşlı kömür damarlarının hidrokarbon türetme potansiyellerinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 10–14 Nisan 2023, Ankara.
- [10] Cao, D., Zhang, B., Zhang, X., Yin, L., & Man, X. (2023). Optimization methods on dynamic monitoring of mineral reserves for open pit mine based on UAV oblique photogrammetry. *Measurement*, 207, 112364. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112364>
- [11] Kabadayı, A. (2022). Maden sahasının insansız hava aracı yardımıyla fotogrametrik yöntemle haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19–23. <https://doi.org/10.51534/tiha.1130929>
- [12] Oruç, M. E., & Ulvi, A. (2023). Maden sahalarındaki deformasyonların İHA’lar ile izlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 43–57.
- [13] Yang, Q., Tang, F., Wang, F., Tang, J., Fan, Z., Ma, T., ... & Xue, J. (2023). A new technical pathway for extracting high accuracy surface deformation information in coal mining areas using UAV LiDAR data: An example from the Yushen mining area in western China. *Measurement*, 218, 113220. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113220>
- [14] Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., ... & Hong, Z. (2015). Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing*, 7(6), 6635–6662. <https://doi.org/10.3390/rs70606635>
- [15] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA fotogrametrisi kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi’nin 3 boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29–35.
- [16] Kang, S., Lee, G. J., Noh, J., Jang, H. D., Kim, S. M., & Ko, C. S. (2018). 3-dimensional modeling and mining analysis for open-pit limestone mine stope using a rotary-wing unmanned aerial vehicle. *The Journal of Engineering Geology*, 28, 701–714.
- [17] Battulwar, R., Winkelmaier, G., Valencia, J., Naghadehi, M. Z., Peik, B., Abbasi, B., ... & Sattarvand, J. (2020). A practical methodology for generating high-resolution 3D models of open-pit slopes using UAVs: Flight path planning and optimization. *Remote Sensing*, 12(14), 2283. <https://doi.org/10.3390/rs12142283>
- [18] McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., ... & Elder, J. H. (2013). Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. *Geomatica*, 67(3), 173–180.

- [19] Wang, J., Wang, L., Jia, M., He, Z., & Bi, L. (2020). Construction and optimization method of the open-pit mine DEM based on the oblique photogrammetry generated DSM. *Measurement*, 152, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107322>
- [20] Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., Peroni, R. D. L., Azambuja, J., & Costa, J. F. C. L. (2018). Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. *REM-International Engineering Journal*, 71(3), 463–470. <https://doi.org/10.1590/0370-44672018710070>
- [21] Kamacı, Ö., & Altunkaynak, Ş. (2019). Magma chamber processes and dynamics beneath northwestern Anatolia: Insights from mineral chemistry and crystal size distributions (CSDs) of the Kepsut volcanic complex (NW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.103884>
- [22] Yarar, O. S. (2012). Kepsut Volkaniklerinin jeolojisi ve petrojisi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [23] Nebert, K. (1978). Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, 90, 20–70.
- [24] Bircan, C., & Türkmen, İ. (2016). Soma Formasyonu'nun İsaalan (Kepsut-Balıkesir) yöresindeki yüzeylemelerinin stratigrafisi ve sedimantolojisi. 69. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 11–15 Nisan 2016, Ankara, 564–565.
- [25] Karayığit, A. İ., Bircan, C., Mastelers, M., Oskay, R. G., Querol, X., Lieberman, N. R., & Türkmen, İ. (2017). Coal characteristics, elemental composition and modes of occurrence of some elements in the İsaalan coal (Balıkesir, NW Turkey). *International Journal of Coal Geology*, 172, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.01.001>
- [26] Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2024). Açık maden ocağındaki stok/pasa yığınının hacim hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 7–20.
- [27] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022). İHA fotogrametrisi kullanarak kadastrada binaların konum doğruluğunun incelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 66–72. <https://doi.org/10.53030/tufod.1211902>
- [28] Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35–40.
- [29] Dang, T. M., & Nguyen, B. D. (2023). Applications of UAVs in mine industry: A scoping review. *Journal of Sustainable Mining*. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2023.04.001>
- [30] Yurtoğlu, N. (2016). Türkiye'de Zonguldak-Ereğli kömür havzasının yapısal analizi (1920–1960). *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 16(33), 211–256.
- [31] MTA. (2002). *Geological Map of Turkey-İzmir Sheet*. MTA Publication, Ankara.



© Author(s) 2024.

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