

Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı

Gülsüm Yüksel*¹ 

Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İHA,
Açık Maden Sahaları,
İHA Kullanım Avantajları.

ÖZ

Günümüzde teknolojik gelişmeler her alanda olduğu gibi yer bilimleriyle uğraşan alanlarda da kendini göstermektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri olan insansız hava araçları (İHA) birçok sektöre yenilikçi yaklaşım sunmuştur. Jeodezi, afet yönetimi, meteoroloji, tarım, güvenlik gibi çeşitli alanlarda kullanılmasının yanı sıra madencilikte de kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Açık ocak maden sahalarında topoğrafik ölçme sorunu aşılması gereken önemli zorluklardan biridir. Topoğrafik ölçümler pahalı ölçme ekipmanı ve profesyonel teknik personeller gerektirmektedir. İHA teknolojisi sahalarında karşılaşılan zorluklara maliyet kontrolünü de sağlayarak kolaylıkla çözüm üretebilmektedir. Son yıllarda, dünyada madencilik faaliyetlerinde; üretim planlaması, patlatma, cevher üretim ve stok takibi ve hacimsel hesaplamaları, çevre duyarlılıklarının ve değişimlerinin izlenmesi, pasa miktarının hesaplanması, toz emisyonu, güvenlik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bir açık maden ocağının yönetimi, zamanla sürekli değişen büyük miktarda bilginin elde edilmesini, işlenmesini ve depolanmasını gerektirir. Bu süreçte ölçümlerin hızlı, hassas bir şekilde alınması etkili ve istikrarlı bir çalışmanın anahtarı olacaktır. Gereksiz zaman kaybı ve maliyet kontrolünün önüne geçmede İHA etkili bir yöntem olabilmektedir. Madenin havadan izlenmesi, takibi ve yönetilmesi geleneksel yöntemlere göre zaman tasarrufu ve ölçüm hassasiyeti sağlamaktadır. Bu makalede açık maden sahalarında yapılan örnek çalışmalar da eklenerek insansız hava araçlarının yapısı, avantajları ve açık maden sahalarında kullanım alanları, makul sonuçların elde edilebilirliği ve çalışmalara etki eden faydaları açıklanmıştır.

Use of Unmanned Aerial Vehicles in Open Mine Sites

Keywords

UAV,
Open Mine Sites,
Advantages of UAV Use,

ABSTRACT

Today, technological developments show themselves in the fields dealing with earth sciences as in every field. Unmanned aerial vehicles (UAV), one of these technological developments, have offered an innovative approach to many sectors. In addition to being used in various fields such as geodesy, disaster management, meteorology, agriculture and security, its use in mining has also become widespread. Topographic surveying problem in open pit mining sites is one of the important challenges to be overcome. Topographic measurements require expensive surveying equipment and professional technical personnel. UAV technology can easily produce solutions to the difficulties encountered in the fields by providing cost control. In recent years, in mining activities in the world; It is used in areas such as production planning, blasting, ore production and stock tracking and volumetric calculations, monitoring of slope sensitivities and changes, calculating the amount of waste, dust emission, security. The management of an open pit mine requires the acquisition, processing and storage of a large amount of information that is constantly changing over time. In this process, taking measurements quickly and accurately will be the key to an effective and stable operation. UAV can be an effective method in preventing unnecessary loss of time and cost control. Aerial monitoring, monitoring and management of the mine provides time savings and measurement accuracy compared to traditional methods. In this article, the structure of unmanned aerial vehicles, their advantages and areas of use in open mining sites, the availability of reasonable results and the benefits affecting the studies are explained by adding case studies in open mining areas.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*gulsummertyuksel@gmail.com ORCID ID 0000-0002-4650-2255

Geliş Tarihi/Received: 31/05/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 27/06/2022

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Yüksel, G. (2022). Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1), 29-37

1. GİRİŞ

Açık ocak maden sahaları genellikle karmaşık arazilere ve çeşitli jeolojik koşullara sahip alanlardır. Birçoğu arazi yüksekliğinde önemli değişiklikler olan yüksek dağlardır. Bu alanlar madencilikte erişilebilirliğe bir sınır getirmekle birlikte bazen aşırı durumlarda erişilemezliğe sebep olur ve bu nedenle geleneksel yöntemlerin kullanılması zemin etüdüleri için zorluklara yol açmaktadır (Yakar; 2008; Yakar, 2009)

Günümüz teknolojik gelişmelerden biri olan insansız hava araçları (İHA) teknolojisinin hızlı gelişimi, sadece askeriye değil çeşitli sivil alanlarda olduğu gibi madencilik endüstrisine de fayda sağlamıştır. Madencilik firmaları, madencilik operasyonlarının izlenmesi ve planlanması, verimliliğini, hızını ve güvenliğini artırmak için İHA teknolojilerini kullanmaktadır (Yakar, 2011; Yakar vd., 2015).

Bir uzaktan algılama teknolojisi olan İHA'lar ile daha az iş gücü ile kısa zamanda ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilerek kapsamlı analizlerle yapılabilmektedir (Ulvi & Yiğit, 2019, Ulvi & Yiğit, 2020).

Bir çalışma alanına ait görüntüler, yapılacak işe uygun sensörlerle İHA'ların donatılmasıyla alınmakta ve birçok yazılımla veri işleme yapılabilmektedir.

İHA teknolojisi, büyük şantiyeler, hafriyat ve dolgu madenler veya kömür boşaltma alanları gibi hacim hesaplamalarının periyodik olarak ölçülmesini gerektiren yerler veya projeler için uygun enstrümantasyonu temsil eder (Ulvi, 2018).

Madencilik alanlarında uygulanan geleneksel ölçüm yöntemlerine kıyasla İHA'ların güvenli, düşük maliyetli ve zaman açısından verimli olmaları, yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilebilir olmasıyla görsel zenginliğe ve bununla birlikte farklı ekipmanların ve sensörlerin monte edilebilirliği ile madencilik uygulamalarının izlenmesi, araştırılması, kontrol ve takibi ve buna benzer birçok uygulamaya büyük potansiyele sahip olduğu anlamına gelir.

Açık ocak madenlerinin topoğrafik ölçümü için yalnızca total station gibi optik dalgalar değil, gerçek zamanlı diferansiyel küresel konumlandırma sistemi (RTK-GPS), Yersel lazer tarayıcı ve havadan lazer tarayıcı, uydu fotogrametri sistemleri, hava fotogrametri sistemleri, vb. çeşitli ekipman ve teknolojiler kullanılabilir. Bu cihazların her birinin çalışılabilir alan boyutu ve ölçüm hatasının farklı olmasıyla avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Optik dalga dedektörleri, RTK-GPS ve yersel lazer tarayıcılar gibi yersel ölçme ekipmanları araştırma sonuçlarının yüksek doğruluk avantajına sahip olabilir fakat geniş bir alan üzerinde çalışma yapılmasının uzun zaman alması ve pahalı olması gibi dezavantajları vardır. Öte yandan uydu fotogrametri sistemi, hava lazer tarayıcıları, hava fotogrametri sistemleri gibi havadan ölçme ekipmanları geniş bir çalışma alanını hızlı bir şekilde araştırabilme avantajına sahipken ölçüm sonuçlarının hatasının büyük olması dezavantajına sahiptir.

Son zamanlarda yer/hava ölçüm ekipmanlarının güçlü ve zayıf yönlerini tamamlamada topoğrafik araştırmalar için İHA kullanan bir fotogrametri sistemi kullanılmaktadır. İHA fotogrametri sistemi, mevcut yer ekibi ekipmanlarına kıyasla nispeten geniş bir çalışma

alanına ve hava ölçme teknolojilerine göre nispeten küçük bir ölçüm hatasına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, İHA fotogrametri sistemi, mevcut ölçme ekipmanının (Siebert & Teizer, 2014) ve sivil inşaatın (Park vd., 2013; Ünel vd., 2020) yerini alabilen veya tamamlayabilen bir teknoloji olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların analizleri doğrultusunda açık maden ocaklarında İHA'ların kullanılabilirliği ve İHA sistemlerinin sunduğu avantajlar vurgulanmıştır.

2. İNSANSIZ HAVA ARACININ TANIMI, SINIFLANDIRILMASI VE KULLANIM ALANLARI

İnsansız hava araçlarına ilişkin çeşitli kaynaklarda farklı tanımlamalar bulunmaktadır (Fidan & Ulvi, 2021). Bu tanımlamalardan çıkarılacak ortak payda; İHA, içinde pilotu ve yolcusu olmayan, üzerinde sadece kullanım amacına uygun ekipmanlar (fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, yerde bulunan bir pilot tarafından uzaktan kumandalı havada kontrolü sağlanabilen veya önceden planlanmış uçuş planını otonom olarak gerçekleştirebilen bir çeşit uçak olarak tanımlanabilir olmasıdır. Bu bağlamda İHA'lar temel olarak üç bileşenden oluşmakta olup bunlar; uçağın kendisi, uçaktaki faydalı yük (payload) ve yer kontrol istasyonudur.

Hava araçlarının tarihsel geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. 22 Ağustos 1849 yılında Avusturyalıların, içinde zaman fitilli bombalar bulunan 200 pilotsuz balonu Venedik (İtalya) şehrine göndermesi, hava saldırısında ilk İHA kullanımı olarak kabul edilmektedir.

Hava fotoğrafları ilk kez dünyada 1858 yılında Paris'te Gaspard Tournachon tarafından balondan çekilmiştir. Daha sonra teknolojideki gelişmelerle ve bu gelişmelerin ışığında yapılan deney ve gözlemlerle insanın yer aldığı balonların yerini model balonlar almıştır. Balonların yanı sıra geçtiğimiz yüzyılda meydana gelen dünya savaşları sırasında uçurtmalar, güvercinler ile roketler gözlem ve casusluk için kullanılmıştır.

1967 yılında ise helyum gazı dolu bir balon ile Whittlesey tarafından arkeolojik dokümantasyon çalışması yapılmıştır.

1979 yılında fotogrametride ilk kez sabit kanatlı insansız hava aracı kullanılmıştır. Sabit kanatlı İHA ile yapılan ilk uygulama; 150 m yükseklikten ve 11 m/s hızında uçabilen manuel kontrollü insansız hava aracı ile kullanılmıştır (Eisenbeiss, 2004).

Wester Ebbinghaus fotogrametri de ilk kez döner kanatlı İHA'yı 1980 yılında kullandı. Schlüter tarafından yapılan döner kanatlı insansız hava aracı bir model helikopter olup 3 kg maksimum yük taşıma kapasitesine sahiptir.

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte fotogrametrik uygulamalar yeni yöntem ve araçlarla daha kısa zamanda ve daha verimli şekilde yapılmaktadır. Günden güne gelişim kaydeden ve yaygınlaşan insansız hava sistemleri; günümüzde büyük ölçekli projelerde klasik yöntemlere göre optimum sürede, daha az maliyetli, zaman ve iş gücü açısından olumlu sonuçlar veren teknolojik bir ürün haline gelmiştir (Erdoğan, 2016).

Hava Fotogrametrisi, havadan çekilmiş resimlerin değerlendirilmesi işlemi hava fotogrametrisi ile yapılır. Fotogrametri, harita yapımında geniş ölçüde hava fotogrametrisi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra farklı alanlarda herhangi bir amaç doğrultusunda havadan çekilmiş resimlerden yararlanılmaktadır (Ulvi vd., 2020; Kaya vd., 2021).

Drone olarak da isimlendirilen İHA'lar uçuş kabiliyetlerine göre sabit kanatlı, döner kanatlı ve Vertical Take of Landing (VTOL) olarak sınıflandırılmaktadır (Mırdan ve Yaakr, 2017).

Sabit kanatlı İHA'lar bir yolcu uçağına benzer yani kanatları sabit bir uçağına benzer. Uzun bir dayanıklılık ve yüksek uçuş hızına sahiptir. Kalkış yapabilmesi için belirli bir kalkış mesafesi gerektirir ve bu durum küçük alanda yapılması gereken görevler için zorluk çıkarmaktadır. Üzerinde taşıdığı faydalı yükler genellikle küçüktür, kalkış ve iniş sırasında rüzgâr hızına karşı hassastır. SenseFly-eBee, Skywalker, Atlasus Şekil 1'de örnek olarak gösterilmiştir.

Döner kanatlı İHA'lar çok rotorlu insansız hava araçları olarak da adlandırılmaktadır. Kalkmaları için kanatların dönüşüne dayanan helikopterlere benzerler. Değişken uçuş hızı, çok rotorlu olması sebebiyle kısa uçuş süresi, hedefin farklı açılardan görüntülerini alabilmesiyle esnek çalışma yapılabilir olması döner kanatlı İHA'ların düşük irtifa uçuşlarına ihtiyaç duyan genellikle küçük alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Uzun vadeli görevler için sınırlı dayanıklılıkları nedeniyle daha az uygundur. Kalkış yapabilmeleri için geniş alana ihtiyaç duymazlar, dikey olarak inip kalkabilirler ve havada süzülebilirler. Kapalı veya kısıtlı ortamlarda görev yapabilmeleri ise önemli avantajlarından. DJI Phantom serisi (2,3,4 gibi), Aibotix X6 Şekil 2'de örnek olarak verilmiştir.

VTOL terimi, vertical take of landing (dikey iniş-kalkış) İngilizce teriminin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Bu İHA'lar dikey iniş ve kalkış sistemine sahiptirler. Bu teknoloji döner kanatlı İHA'lardaki iniş-kalkış kolaylığı ile sabit kanatlı İHA'lardaki uzun süre havada kalma özelliğinin birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Böylelikle kalkış ve iniş yapabilmesi için geniş bir alana veya kalkış mesafesine ihtiyaç duymaz ve uzun süre havada kalabilmeleri avantajı ile büyük alanlarda kolaylıkla görev yapabilirler. Wingtra One Şekil 3'te örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sabit kanatlı İHA (Atlasus)



Şekil 2. Döner kanatlı İHA'lar (Dji- Aibotix)



Şekil 3. VTOL İHA (Wintra One)

Günümüzde, İHA'lar tarım, meteoroloji, arkeoloji, ormancılık, iletişim, güvenlik, vahşi yaşam araştırmaları, habitat çalışmaları, peyzaj planlaması, çevresel gözetleme, doğal afetler, trafik yönetimi, taşımacılık, enerji, jeoloji, hidroloji, inşaat mühendisliği, harita ve madencilik de dahil olmak üzere çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Üstelik bu teknoloji yasadışı avlanma, balıkçılık ve ağaç kesme ile yasadışı madencilik faaliyetlerini keşfetme sınırları izleme ve yasadışı gelen göçmenler ile yasadışı ticareti tespit etme gibi gözetim uygulamalarında kullanılmaktadır. Kullanım alanına ilişkin bazı örnekler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4,5,6,7,8,9).



Şekil 4. Askeri alanda İHA kullanımı



Şekil 5. Baraj ölçümlerinde İHA kullanımı



Şekil 6. Maden ölçümlerinde İHA kullanımı



Şekil 7. Arkeolojik uygulamalarda İHA kullanımı



Şekil 8. Afet yönetimde İHA kullanımı



Şekil 9. Tarım uygulamalarında İHA kullanımı

Ayrıca Niethammer vd., (2012) çalışma sahasında periyodik uçuşlar yaparak SYM'ler oluşturup bu SYM'ler arasındaki farklardan deformasyonları belirlemeye çalışmışlardır. Rau vd. (2011) heyelan tespiti ve bitki endeksleri hesaplamasını gerçekleştirmek için sabit kanatlı bir platform kullanmışlardır. Carvajal vd. (2011) yol güzergâhlarında heyelanları belirleyebilmek için dört motorlu bir kopter kullanmışlardır. Shi vd. (2011) İHA tabanlı altyapı izleme uygulamalarını hedefleyen, büyük deformasyonlara uğrayan cisimlerin tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Deffontaines vd. (2016) İHA kullanarak yapısal aktif tektonik geometrinin deşifre edilmesi için, yerel aktif tektonik kilit alanlarda yüksek çözünürlüklü SYM üretmişlerdir (Gül, 2019)

2.1. İnsansız Hava Araçlarının Maden Sahalarında Kullanımı

Maden kaynakları, hem hammadde hem de enerji açısından taşıdığı önem nedeniyle ekonomik kalkınmada önemli bir yere sahiptir (Hu vd., 2014; Xioa vd., 2018a, 2019a). Maden kaynaklarına olan talep sanayi ve kentleşmenin büyümesiyle önemli ölçüde artmış ve bu da madencilığe daha fazla ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Genel olarak yer üstü ve yer altı olmak üzere iki tür madencilik yaygın olarak kullanılmaktadır (Erener ve Yakar, 2012). Yüzeysel madencilik, cevher gövdesini çevreleyen kayanın sıyrılıp atılmasından sonra bir cevher gövdesinin toplandığı yerdir. Yerüstü madenleri alanla sınırlıdır ve genellikle delme, patlatma, yükleme, taşıma ve boşaltma için büyük miktarda mekanik ekipman kullanır. Yer altı madencilik, yer altı yataklarındaki cevher kütlelerinden gerçekleştirilen madencilik sürecidir. Genellikle tortunun yüzeyin altında olduğu yerde gerçekleştirilir ve madencilik süreçleri esas olarak cevher gövdesi geliştirme, kesme ve durdurmaya yöneliktir (Xio vd., 2011). Madencilik süreçlerinde üretimin güvenliği ve kalitesini etkileyen bazı sorunlar vardır. Örneğin; bir açık işletmede maden sahasının derinliği ve açısı artıkça kazılar şev stabilitesine doğrudan etki etmekte bu da üretimin kalitesini etkilemektedir. Bir diğeri madencilikteki toz emisyonları kontrolsüzdür ve bu da işçilerin sağlığını tehlikeye atmaktadır. Ürettiği çevre sorunları da göz ardı edilemez. Aşırı ve plansız madencilik toprağa, suya ve ekolojiye ciddi zararlar verir. Maden güvenliği ve istikrarını sağlamaya yardımcı olabilecek jeolojik tehlikelerin oluşumunu azaltmak için ise iyi bir mühendislik tasarımı temeldir.

Günümüzde madencilik endüstrisinin dijital dönüşümünün bir sonucu olarak, madencilik firmaları, madencilik operasyonlarının incelenmesi ve planlanmasının, güvenliğini, hızını ve verimliliğini artırmak için İHA teknolojilerini kullanmaktadır.

İHA'lar madencilik endüstrisinin çeşitli uğraştırıcı yönlerinde, bant konveyörleri ve elektrik hava hatlarını

denetleme, güncel madencilik veri tabanları, patlatma optimizasyonu, stok hacim ölçümleri, maden atık havuzları gözetleme ve kamyon ile ekipmanların takibi, jeolojik tehlikeler, kirlilik izleme, arazi ıslahı, ekolojik restorasyon değerlendirmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bunlardan başka, basamaklar ve şevlerin stabilitesini ve üretim miktarlarını takip etmek için, maden ocaklarının fotogrametrik üç boyutlu (3B) modellerinin elde edilmesini İHA'lar dakik ve düzenli görüntüler olarak sağlamaktadır.

İHA fotogrametrisinden, açık maden işletmelerindeki hâlihazır harita üretimi, üretim ve dekapaj miktarının belirlenmesi, stok ve döküm sahası kübaj hesapları, arazi hasar değerlendirmesi, kayaç tespiti, jeolojik haritalama, kazı planlaması ve hiperspektral kameraların takılması ile beraber alterasyon ve mineral tespiti, dik ve erişilemeyen noktaların haritalanması gibi çalışmalarda faydalanılmaktadır.

Madencilik sektöründe İHA kullanımının geleneksel yöntemlere göre bazı avantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İHA'ların geleneksel yöntemlere göre avantajları

İnsansız Hava Araçları	Geleneksel Yöntemler
Ölçümlerin kısa sürede tamamlanması	Ölçümlerin uzun sürmesi
Kapsamlı ve birçok yönden analiz edilebilir	Kapsam ve analizi kısıtlıdır
Zaman ve maddi tasarruf sağlar	Zaman ve maddiyat gerektirir
Kısa zamanda zahmetsiz iş	Uzun zamanda zahmetli iş
Görsel zenginliği ve veri çözünürlüğü yüksektir	Görsel zenginlik yoktur
Farklı ekipmanların monte edilebilirliği ile birçok alanda çalışma imkanı sunar	Çalışma alanı kısıtlıdır
Seri kontrol ve takip olanağı sunar	Kontrol ve takip olanağı zaman alır
İş güvenliği açısından sahalarda risksiz olabilmektedir	İş güvenliği açısından sahalarda risklidir
Fazla personele ihtiyaç duyulmaz	Fazla personel gerektirir

3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE AÇIK MADEN SAHALARINDA YAPILAN UYGULAMALAR

Açık maden sahalarında İHA'lar ile havadan görüntüleme ve ölçüm sistemleri sayesinde her türlü arazi şartlarında hassas ve kısa zamanda veriler toplanabilmektedir. Kullanılan İHA'ya göre değişimle birlikte birkaç saat içerisinde kapsamlı ve analiz edilebilirliği kolay, nitelikli veriler elde edilebilir.

İnsansız hava araçlarının ilerlemesi, yüksek çözünürlüklü kameraların geliştirilmesi ve görüntü tabanlı haritalama tekniklerinin geliştirilmesiyle birlikte insansız hava görüntüleri, araştırmacılar ve endüstriler arasında dikkate değer bir ilgi konusu olmuştur. Bu görüntüler, 3B modelleme için eşi görülmemiş uzamsal ve zamansal çözünürlükte veri sağlama potansiyeline sahiptir.

Maden sahalarında topoğrafik araştırma çalışmaları insansız hava araçları ile yapılabilmektedir. Lee & Choi (2015)'nin yapmış oldukları çalışmada döner kanatlı insansız hava aracı (DJI Phantom2 Vision) kullanılmış ve 100 m irtifada 30 dk otonom uçuş yapılarak 89 adet fotoğraf elde edilmiş olup veriler işlenmiş ve dijital yüzey modeli oluşturulmuştur. Diferansiyel küresel konumlandırma sistemi ile ölçülen 5 yer kontrol noktasının (YKN) X,Y,Z koordinatları ile İHA fotogrametrisi tarafından belirlenen koordinatlar karşılaştırılmış ortalama karesel hatalarının yaklaşık 10 cm olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle çalışma sonunda döner kanatlı İHA fotogrametrisinin açık ocak madenlerinde mevcut topoğrafik ölçüm ekipmanlarının yerini alabilen veya tamamlayabilen bir teknoloji olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

3.1. Stok Hacim Hesaplama Çalışmalarında İHA Kullanımı

Bir açık ocak hakkında güncel bilgilerin elde edilmesi, ocağın sürekli değişen şeklinin ve seddeler, sıra yükseklikleri, eğimler, vb. gibi unsurlarının sürekli olarak araştırılması ve çıkarılan kütlenin hacminin güvenilir bir şekilde hesaplanmasından oluşur. Maden şirketleri, kazdıkları malzemeye bağlı olarak ocaklarını sık sık izleme eğilimindedir. İzleme haftalık, aylık veya 3 ayda bir yapılabilir (Mazhdakov, 2007). Stokların araştırılması gerekliliği ne kadar sık olursa olsun, madencilik şirketlerine en hızlı, en etkili ve güvenilir ölçüm ve hesaplama yöntemleri sunulmalıdır.

İHA fotogrametrisi, yakın mesafede çalıştığı için klasik insanlı hava fotogrametrisi ile el yapımı ölçüm teknikleri arasındaki boşluğu kapatmaktadır. İHA teknikleri, hava ve yer fotogrametrisini birleştirir, aynı zamanda klasik yöntemlere düşük maliyetli alternatifler sunar (Carvajal vd., 2011).

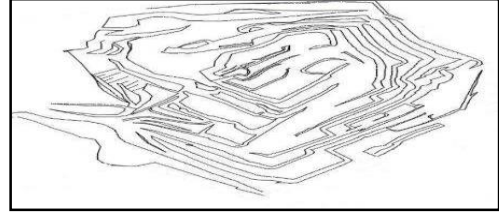
Filipova vd., (2016) yaptıkları çalışmada hacimsel ölçümlerin değerlendirilmesi için Bulgaristan'ın başkenti Sofya'nın Lukovit kasabasında bir taş ocağı seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada İHA verilerinin doğruluğunu GNSS tekniklerine göre test etmek ve değerlendirmek amaçlanmıştır. İki set ölçüm yapılmıştır. İlk olarak GNSS teknolojileri ile stok ölçümü, ikinci olarak ise tüm taş ocağı alanı bir İHA uçuşu ile haritalanmıştır. Seçilen İHA eBee SenseFly, GNSS alıcısı ise Leica viva GS08 Plus'tır. Uçuştan önce 7 adet YKN yerleştirilmiş olup, İHA ile %75 yanal ve boyutsal örtüşme sağlanarak 27 dakika 47 saniye otonom uçuş yapılmış, alınan 417 hava fotoğrafı PIX4D Mapper yazılımı ile işlenmiş ve hacimsel hesaplamaları da bu programla yapılmıştır. GPS ile 5 saatten fazla bir sürede 615 nokta alınarak tüm taş ocağı ölçülmüştür. GNSS ölçümlerinden elde edilen hacim hesaplaması için AutoCAD Civil 3D kullanılmıştır.



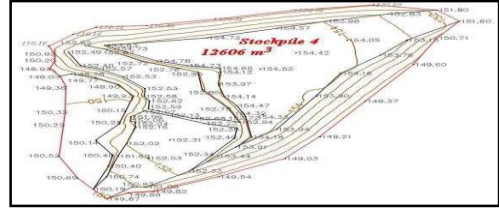
Şekil 10. İHA - eBee SenseFly/ GNSS alıcısı - Leica Viva G08 Plus



Şekil 11. Ocağın Ortomozaik ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM)



Şekil 12. GPS ile 5 saatten fazla 615 nokta ile ölçülen tüm taş ocağı



Şekil 13. GPS ile ölçülen ve Civil 3D'de oluşturulan stok sahası yüzeyi

Bu çalışma ile stok hacmi hesaplamasında gelecek vaat eden İHA uygulamasının bir teyidi aranmıştır. Veriler iki farklı yöntemle elde edilip farklı şekillerde işlendiği için aynı stoğun hacminin iki değeri oluşturulmuştur. İHA verilerinden elde edilen hacim 12.749 m³ ve GNSS noktalarından elde edilen hacim 12.606 m³'tür. Sonuçta ise İHA hacminin 143.99 m³ daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Aradaki farkı yüzde ile ifade edecek olursak toplam tutardan %1,1'lik farktır. Başka bir deyişle, İHA ve GPS yüzeyi arasındaki yükseklik farkı 3.2 cm'dir. Bazı ülkelerde mevzuat, hacmin tüm malzemenin $\pm\%3$ 'ü hassasiyetle hesaplanması gerektiğini belirtir. Elbette bu değer, ocakta kazılan malzemenin türü, atmosferik koşullar vb. gibi birçok faktöre bağlıdır (Mazhdakov, 2007). Elde edilen doğruluk çalışma durumunun ana hedefi olan %3'lük meşru hata dahilindedir. Filipova vd., (2016) yaptıkları bu çalışmada İHA ile yüksek çözünürlükte elde edilen verilerin hacimsel ölçümler söz konusu olduğunda etkinliğini ve güvenilirliğini sunmuşlardır.

3.2. Üretim ve Pasa Miktarının Belirlenmesi Çalışmalarında İHA Kullanımı

Madenlerde üretime yön vermek, sınırlı kaynakların verimli şekilde üretilmesi ve ekonomik dengeleri sağlayabilmek için sürekli kontrol gerekmektedir. Bu nedenle; ocak işletme verimi, yıllık üretim miktarı, yıllık üretilen pasa miktarı gibi parametrelerin sürekli takibi gerekmektedir. Tüm sahanın ve pasa miktarlarının denetimi geleneksel yöntemlerle hem zaman alıcı hem de oldukça zahmetlidir. İHA'lar ile yapılan sistematik uçuşlardan

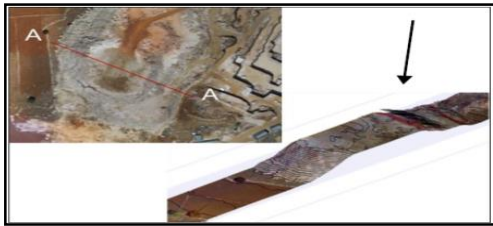
elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılımlarla işlenebilmekte ve elde edilen modeller ile hızlı, hassas ve güvenilir biçimde değerlendirilebilmektedir.

Kun & Güler (2019) Antalya ili Korkuteli ilçe sınırlarındaki bir doğal taş açık ocak maden işletmesinde DJI Phantom4 Pro drone kullanarak, 15 aylık bir süre zarfında ocaktaki üretim ve pasa miktarının belirlenebilmesi için İHA kullanılabilirliği üzerine çalışmışlardır. Görüntüler yeryüzünün 70 m yukarısından alınmış olup uçuş yapılan alan 300.000 m²'dir. 5 adet YKN belirlenmesinde Leica marka GNSS ölçüm cihazı kullanılmıştır. Birinci veri seti 22 Nisan 2017 de yapılan uçuşla (400 adet fotoğraf), ikinci veri seti 01 Temmuz 2018 de yapılan uçuşla (576 adet fotoğraf) elde edilen veri setidir. Bu süre zarfında doğal taş ocağındaki değişimler net olarak gözlenmiş ve sonuçlara yansımıştır. Pix4D Mapper programında veriler işlenmiş ve YKN ile optimize edilen sayısal yüzey modelinin (SYM) üç ekseninde oluşan toplam hatası 5 cm'nin altında çıkmıştır.

İki veri setinden iki ayrı SYM oluşturulmuştur. Hassas karşılaştırma yapmak için 3B madencilik yazılımında SYM'ler üst üste çakıştırılmış olup kesit görüntüleri elde edilmiştir. Hassas koordinatlı topoğrafik haritalar 15 aylık süreçte değişimin olmadığı yerlerde üst üste çakışmakta, değişim olan yerlerde ise farklılık göstermektedir. Üst üste çakıştırılan veri setlerinden kazı ve dolgu hacimleri hesaplanmıştır. Yıllık pasa üretiminin hassas hesaplanması için pasa sahası 3 ayrı parçaya bölünmüş ve hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 14. Phantom4 Pro İHA ve uygulama yapılan doğal taş ocağı



Şekil 15. SYM'lerden oluşturulan kontur haritalarının birleşiminden kesit görünümü

İşlem	Miktar
15 Aylık ocak içi dolgu (m ³)	31509,84
15 Aylık net kazı miktarı (m ³)	150185,46
Yıllık kazı miktarı (m ³)	120148,37

Şekil 16. SYM'lerin karşılaştırılması sonucu tespit edilen ocak içi yerinde hacim değişimleri



Şekil 17. Üretim alanı çevresindeki pasa sahalarnın görünümü

Pasa	15 Aylık Pasa Sahası Değişim (m ³)	Yıllık Pasa Sahası Değişim (m ³)
Pasa 1	28561.1939	22848.95512
Pasa 2	25171.15586	20136.92469
Pasa 3	83328.11274	66662.49019
Toplam	137060.4625	109648.37

Şekil 18. SYM'lerin karşılaştırılması sonucu tespit edilen pasa sahalarnın yerinde hacim değişimleri

Hacim hesaplamaları sonunda işletmenin yıllık kazı miktarı 120148,37 m³ olarak tespit edilmiştir. Yıllık kazı miktarı değerinden, satışa sunulan miktar çıkarıldığında geriye kalan miktar toplam pasa miktarını oluşturmaktadır. Buna göre; işletmenin kayıtlarından elde edilen bilgilere göre yapılan tüm kazı ve yerinde sökülme işlemleri sonucunda, düzgün, ebatlı ve satılabilir olarak elde ettiği miktar 10.500 m³ civarındadır. Bu değer, ocakta yapılan yıllık kazı miktarına oranlandığında, ocak verimi %8,74 olarak elde edilmektedir.

Yıllık kazı miktarı (m ³)	120.148,37
Yıllık üretilen blok (m ³)	10.500
(Satılabilir blok)	
Yıllık pasa miktarı (m ³)	109.648,37
Ocak verimi (%)	8,74

Şekil 19. Ocak verimi tespiti ve ilgili veriler

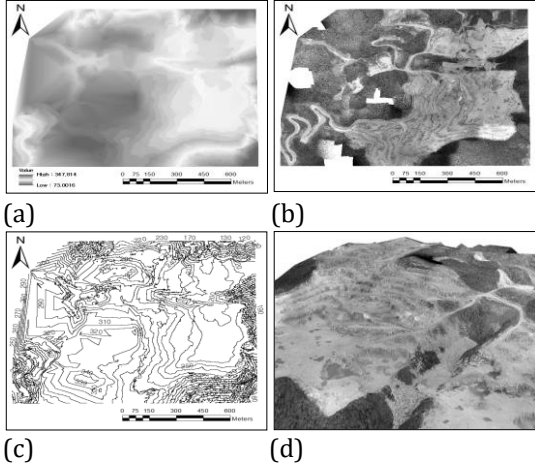
Kun & Güler (2019) İHA ile toplanan görsellerin işlenmesi ile elde edilen veri setlerinden fotogrametrik yazılımlarla işlenerek ve 3B madencilik yazılımları ile ayrıca desteklenerek açık maden işletmelerinin yıllık kazı/veya üretim, pasa miktarı, ocak verimi gibi işletme parametrelerinin hızlı ve hassas biçimde tespit edilebildiğini bildirmişlerdir.

3.3. Topoğrafik Araştırma Çalışmalarında İHA Kullanımı

İnsansız hava fotogrametri sisteminin mevcut havadan ölçme yöntemlerine nispeten küçük bir ölçüm hatasına sahip olması ve yer etüdü yöntemlerine nispeten geniş bir çalışma alanına sahip olması sebebiyle açık ocak maden sahalarnında topoğrafik araştırma uygulamalarında yurt içinde ve dışında aktif olarak kullanılmaktadır.

Lee & Choi (2015), maden ocağında İHA ile topoğrafik araştırmanın yapılabileceğini kanıtlamak için Kore Samcheok-si Gangwon-do'da bulunan bir açık kireçtaşı maden ocağında çalışma yapmışlardır. Çalışma alanına Novatel Smart-V1 GPS cihazı ile 4 adet YKN yerleştirilmiştir. İHA olarak eBee SenseFly kullanılmış

olup yerden 300 m yükseklikten %80 yatay %90 dikey örtüşme ile 288 hava fotoğrafı alınmış ve bu fotoğrafların 37 tanesi yalnızca ormanlık alanları gösterdiği için işleme tabi tutulmamıştır. 251 adet hava fotoğrafının işlenmesi için Postflight Terra 3D yazılım kullanılmıştır. 3B koordinatlara sahip nokta bulutu verileri oluşturulmuş ve sonunda SYM üretilmiştir.



Şekil 20. Topoğrafik araştırma sonuçları. (a) Sayısal yüzey modeli. (b) Ortomozaik görüntü. (c) Topoğrafik konturlar (aralık: 10 m). (d) Ortomozaik görüntü ve SYM kullanılarak çalışma alanının 3B görselleştirilmesi

GPS kullanılarak ölçülen YKN'ler ile İHA verilerinden üretilen sonuçlar karşılaştırılmış ve 4 YKN için ortalama karesel hata (RMSE), X yönünde 15 cm, Y yönünde 2 cm, Z yönünde 14 cm olduğu görülmüştür. Yani yüksek hassasiyetli GPS kullanılarak zemin etüdü sonuçlarına göre yaklaşık 15 cm hata olduğu analiz edilmiştir. Bu sonuç, ASPRS (1988) tarafından topoğrafik haritalar için önerilen 30 cm'lik (1:1200, harita ölçeğine göre) maksimum dikey hatayı ve 25 cm'lik (1:1000, harita ölçeğine göre) maksimum dikey hatayı karşılamaktadır. İHA kullanılarak topoğrafik araştırmalar yapılan bazı çalışmalar (Jung vd., 2009; Uysal vd., 2015) benzer hata düzeyleri gösterir. Açık ocaklarda yapılan çalışmalar göz ününe alındığında 15 cm hata seviyesi ile yapılan etüt sonuçlarından topoğrafik haritaların oluşturulmasında yeterince yararlanılabileceği kanaatine varılmıştır.

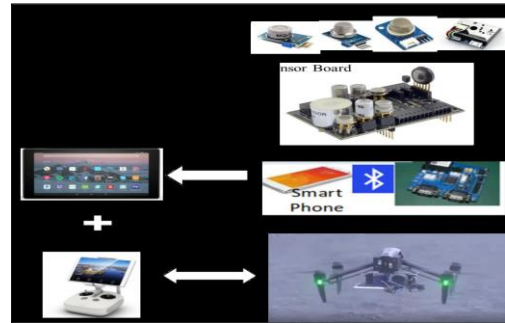
Lee & Choi (2015), araştırma alanında daha önce yılda yaklaşık bir kez yapılan ışık dalgalarıyla zemin etüdü için gereken bir hafta veya daha uzun çalışma süresine kıyasla, sabit kanatlı İHA'lar ile yapılan topoğrafik araştırmaların, çalışma süresi açısından çok etkili olduğunu belirtmişlerdir.

3.4. Hava Kalitesinin İzlenmesi Çalışmalarında İHA Kullanımı

Hem sığ kömür damarı hem de büyük ölçekli maden patlatma, NOX, SOX, COX ve ısı radyasyonu gibi büyük miktarlarda kirletici üretir. Hava kalitesi izleme, kömür tüketimi gibi göstergelere dayalı olarak gaz emisyonlarının modellenmesi ve doğrulanması veya tahmin edilmesi için birkaç sabit numune alma cihazına dayanmaktadır. Son yıllarda gaz sensörleri ile donatılmış İHA'lar, kirleticilerin uzaktan izlenmesi ve kontrolünde

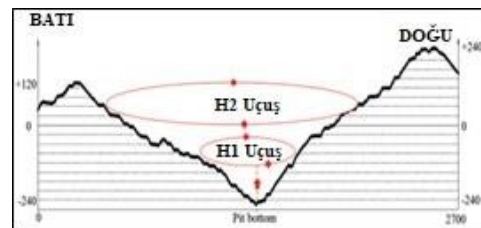
kullanılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir (Martin vd., 2015).

Vietnam'daki Coc Sau kömür madeninde Bui vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada düşük maliyetli döner kanatlı DJI Inspire 2 İHA'ya monte edilmiş RGB Zenmuse X4S kamera, birkaç toz sensörü ile başta görüntüler ve havadaki kirletici konsantrasyonlar olmak üzere çeşitli veriler toplanmıştır. Sistemin performansı değerlendirilmek için saha tesleri yapılmıştır. İHA üzerine monte edilen sensörler sıcaklık, toz, CO, CO2 ve NOX gibi çukur içindeki hava kalitesi ile ilişkili çevresel değişkenlerin seviyelerini izleyebilmiştir. Alman 687 hava fotoğrafı Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak işlenmiş ve 3B topoğrafik haritalar modellenmiştir. YKN'ler ile yapılan doğruluğun değerlendirilmesi sonucunda X,Y,Z RMSE' sinin sırasıyla 6.6 cm, 6.1 cm, 13.8 cm ve 16.4 cm olduğu görülmüştür. Bu değerler maden araştırma görevleri için doğruluk gereksinimine uygun olduğunu göstermektedir.

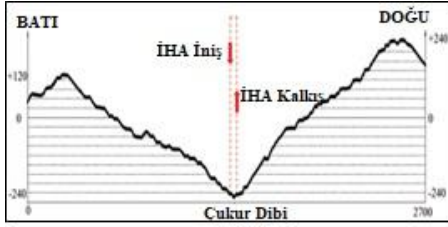


Şekil 21. İHA hava kalitesi izleme platformunun yapısı ve drone monte edilmiş bir hava kalitesi sensörünün toplanması için sistem konsepti

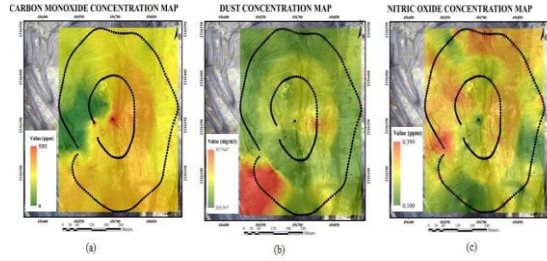
Derin bir çukurdaki kirleticilerin dağılımı, yüzey rüzgârına ve çukurun içi ve dışındaki hava yoğunluğu farklılıklarına bağlıdır. Çukur içindeki boşluk 2 bölüme ayrılmış olup -140 m'de H1 ve 120 m'de H2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 22). İHA sistematik bir şekilde bu bölgelerden geçmiştir. Çukur içindeki dikey sıcaklık profillerini ölçmek için ise çukur tabanının merkezinden başlamış ve dikey hat boyunca (Şekil 23) deniz seviyesinden 250 m yüksekte uçmuştur. Toplanan veriler 3B çevre haritaları oluşturmakta kullanılmıştır. Co, Toz (PM10), NO ve sıcaklık açısından ortam haritaları ArcGIS yazılımı ile oluşturulmuştur. 3B konturları tanımlamak için Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Şekil 24'deki haritalar +120 m rakımında çevre kirliliği profillerini göstermektedir. Şekil 25 ise saha ölçümlerine dayanarak dikey sıcaklık profillerini göstermektedir.



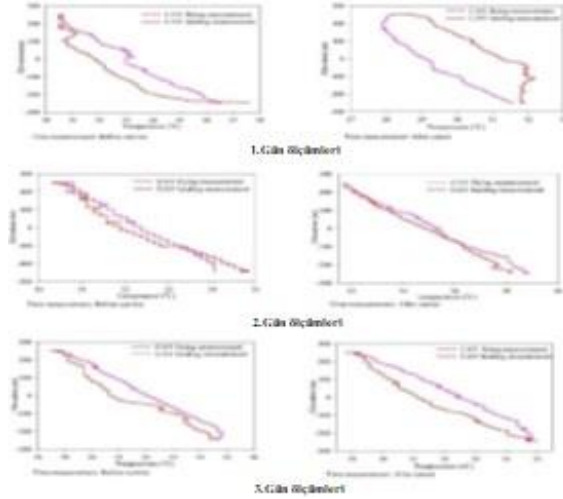
Şekil 22. Çukurdaki atmosferik ortamı ölçmek için İHA uçuş yolları



Şekil 23. Dikey sıcaklık profillerini ölçmek için İHA uçuşu



Şekil 24. Hava bileşenlerinin konsantrasyon haritaları (a) CO; (b) Toz (PM10); (c) NO



Şekil 25. İHA ölçümü ile dikey sıcaklık profilleri

Bu çalışmadaki saha testi sonuçlarına göre Bui vd., (2019) 3B haritalama için düşük maliyetli İHA'nın kullanılabilirliğini, büyük ve derin kömür ocaklarında hava kalitesi izlemesini nispeten yüksek doğrulukla göstermekte olduğunu, hava kirliliği profilleri 3B haritalarda görülebildiği ve kirliliğin ana nedenleri 3B haritalara dayalı olarak kolayca doğrulanabildiği için sistem tarafından kirletici kontrol önlemlerinin alınabileceğini bildirmişlerdir.

4. SONUÇLAR

İHA'ların birçok ölçüm yöntemine kıyasla ölçüm hassasiyeti, ekipman ve buna bağlı olarak elde edilen veri çeşitliliği ve kalitesi, zamandan tasarruf ve maliyet açısından avantaj sunması ile son yıllarda birçok alanda olduğu gibi madencilik alanında da kullanımı yaygınlaşmıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte madencilik sektörü bu teknolojik gelişimden faydalanmış ve üretim miktarı olarak pozitif yönde verim alınabilmektedir. Bu sebeple üretimin ve bu aşamada yapılan işlemlerin kontrol altına alınması ve sürekliliğinin sağlanması, haritalanması için pratik ve maliyeti az olan yeni ölçüm teknolojileri tercih edilmeye başlanmıştır. Bilindiği

üzere maden sahaları genellikle erişimi zor engebeli arazilerde bulunmaktadır. Dolayısıyla gerekli ölçümlerin ve belirli periyotlarla takiplerinin yapılması iş gücü, zaman ve maliyet gerektirmektedir. Gelişen İHA teknolojisi bunlara çözüm üretmekle birlikte yalnız ölçüm yapmakla kalmamış havadan görüntüleme sistemi ve kullanılacak ekipman çeşitliliği ile madencilikte yeni kullanım alanlarına olanak sağlamıştır. İHA ile alınan verilerin amaca uygun gerekli yazılımlarda işlenmesi ile hassas, kapsamlı sonuçlar elde edilebilir. Sonuçta elde edilen ürünler dijital ortamda birçok yönden analiz edilebilmektedir. Ayrıca İHA'lar geleneksel yöntemlerle ölçülmesi zor topoğrafya veya şartlarda kolaylıkla ölçüm yapabilmekte, kullanılan İHA kabiliyetine göre büyük veya küçük alan farketmeksizin kısa zamanda sağlıklı verilerle hassas sonuçlar sunabilmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Bui, X. N., Lee, C., Nguyen, Q. L. & Adeel, A. (2019). Use of Unmanned Aerial Vehicles for 3D topographic Mapping and Monitoring the Air Quality of Open-pit Mines. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 01-07.06.2019, 222-238.
- Carvajal, F., Aguer, F. & Perez, M. (2011). Surveying a Landslide in a Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *ISPRS*, 2011. Vols. XXXVIII- 1/C22.
- Defontaine, B., Chang, K.J., Champenois, J., Fruneau, B., Pathier, E., Hu, J.C. & Liu, Y.C. (2016). Active interseismic shallow deformation of the Pingting terraces (Longitudinal Valley–Eastern Taiwan) from UAV high-resolution topographic data combined with InSAR time series. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 120-136
- Dunnington, L. & Nakagawa, M. (2017). Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over. *Environ Pollut*, 229, 139-145
- Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition, Processing And Visualization Using High Resolution Imagery Workshop.
- Erener, A. & Yakar, M. (2012). Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310-314.
- Erdoğan, A. (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya

- Fidan, Ş. & Ulvi, A. (2021). Türk Hukuk Mevzuatında Sivil İnsansız Hava Araçları Hukukunun Güncel Durumu. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 28-35
- Filipova, S. L., Filipov, D. G. & Raeva, P. L. (2016). Volume Computation Of A Stockpile – A Study Case Comparing Gps And Uav Measurements In An Open Pit Quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
- Gül, Y. (2019). Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni Geological Bulletin of Turkey*, 62 (2019) 99-112 doi: 10.25288/tjb.519506
- Hu, Z., Yang, G. & Xiao, W. (2014). Farmland damage and its impact on the overlapped areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China. *Res Con Rec*, 86 (3):1-8
- Jung, S. H., Lim, H. M. & Lee, J. K. (2009). Analysis of the Accuracy of the UAV Photogrammetric Method using Digital Camera, J. of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 27(6), 741-747.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 87(165), 57-72.
- Mırdan, O. & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- Kun, M. & Guler, O. (2019). İnsansız Görüntüleme Sistemleri ile Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Mermer Madencilğinde Kullanımı. *DEUFMD*, 21(63), 1005-1013.
- Lee, S. & Choi, Y. (2015). On-site Demonstration of Topographic Surveying Techniques at Open-pit Mines using a Fixed-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone). *Tunnel Underground Space*, 25(6), 527-533
- Lee, S. & Choi, Y. (2015). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (Drone). *Tunn Undergr Sp Tech*, 25(5), 462-469
- Mazhrakov, M. (2007). Mine Engineering. Sofia: Sofia University, 2007.
- Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J. & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Park, M., Kim, S. G. & Choi, S. Y. (2013). The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system (UAS), *Journal of the Korean Cadastre Information*, 15, 1, 145-156
- Rau, J. Y., Jhan, J. P., Lo, C. F. & Lin, Y. S. (2011). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 38(1/C22), 195-200.
- Shi J., Jinling W. & Yaming X. (2011). Object-based change detection using georeferenced UAV images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 177-182.
- Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1-14
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3b Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54
- Ulvi, A. (2018). Analysis Of The Utility Of The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) In Volume Calculation By Using Photogrammetric Techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 3(2), 43-49,
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA Ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin Ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, *Measurement*, 73, 539-543.
- 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.
- Xiao, W., Chen, J. & Da, H. (2018a). Inversion and analysis of maize biomass in coal mining subsidence area based on UAV images. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 49(8), 169-180.
- Xiao, W., Hu, Z. & Chung, P. Y. (2011). A study of land reclamation and ecological restoration in a resource- exhausted city- a case study of Huaibei in China. *Int J Min Reclam Env*, 25(4), 332-341
- 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. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 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.



© Author(s) 2022.

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