



DETERMINATION OF IN-SITU UNIT WEIGHT AND SWELL FACTOR IN MINE SITES BY UAV PHOTOGRAMMETRY

Yavuz Gül^{*1} 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Finding a solution to accurately determine the in-situ volume and post excavation swell factor at mine sites is one of the challenges in the industry. These values are necessary and important parameters in many engineering calculations, from choosing the loader bucket size to determining the equipment capacities, sizing the waste dump and ore stock areas. In this study, the determination of in-situ volume, unit weight and swell factor, which are used as variables in many calculations in the detailed planning and projecting of mining activities, by UAV photogrammetry is presented as a new approach. For this application Kalburçayırı and Hamal coal fields of Kangal Thermal Power Plant Electricity Generation Co. were chosen. Using UAV photogrammetry, the volumes of 2 different coal stockpiles in the Kalburçayırı field and the in-situ unit weights for 5 different locations of a coal stockpile were determined. In addition, by the same method in-situ unit weights at 12 different locations of the overburden and coal benches and instantaneous swelling factors of the extracted materials were found out in the Hamal field.

Keywords: In-situ unit weight, swell factor, UAV photogrammetry, mine sites.

MADEN SAHALARINDA YERİNDE BİRİM HACİM AĞIRLIK VE KABARMA FAKTÖRÜNÜN İHA FOTOGRAMETRİSİ İLE BELİRLENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Maden sahalarında yerinde hacim ve kazı sonrası kabarma faktörünü doğru bir şekilde belirlemek için bir çözüm bulmak, sektördeki zorluklardan biridir. Bu değerler yükleyici kova büyüklüğü seçiminden ekipman kapasitelerinin belirlenmesine, pasa döküm ve cevher stok alanlarının boyutlandırılmasına kadar birçok mühendislik hesaplamalarında gerekli ve önemli parametrelerdir. Bu çalışmada, madencilik faaliyetlerinin detaylı planlanması ve projelendirilmesinde birçok hesaplamada değişken olarak kullanılan yerinde hacim, birim hacim ağırlık ve kabarma faktörünün İHA fotogrametrisiyle belirlenmesi yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Bunu uygulamak için Kangal Termik Santral Elektrik Üretim A.Ş.'nin Kalburçayırı ve Hamal kömür sahaları seçilmiştir. Kalburçayırı sahasında 2 değişik kömür stok yığınının hacimleri ve bir kömür stok yığınının 5 değişik lokasyonunda yerinde birim hacim ağırlıklar İHA fotogrametrisi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca Hamal sahasında dekapaj ve kömür basamaklarının 12 değişik lokasyonunda yerinde birim hacim ağırlıklar ve çıkarılan malzemelerin anlık kabarma faktörleri aynı yöntemle bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yerinde birim hacim ağırlık, kabarma faktörü, İHA fotogrametrisi, maden sahaları.

1 Giriş

Madencilik faaliyetlerinde karlılık, genellikle operasyonel ekibin maliyetlerini minimuma indirirken bu görevi optimize etme yeteneğine bağlıdır. Bunu yapabilmek için, taşınacak malzemenin (kaya/zemin) hacmini, ağırlığını ve kabarma miktarını doğru olarak belirlemek bir önkoşuldur. Bununla birlikte stok hacimlerini düzenli olarak bilmek, bir maden işletmesinin geleceğini planlamak için çok önemlidir. Hammaddenin ne kadarının üretildiğini ve sonraki adımların etkili bir

şekilde planlanıp planlanmadığını doğru bir şekilde belirtirler. Doğru hacim hesaplamaları ile maden işletmelerinin doğru optimizasyonu yapılabilir ve yılsonu finansal sonuçlarını daha iyi yansıtabilecek olan zararlar azaltılabilir. Madencilikte kazılacak veya taşınacak malzemenin yerinde ve/veya kabarmış hacmi, ağırlığı ve kabarma miktarı, yükleyici kova büyüklüğü seçiminden ekipman kapasitelerinin belirlenmesine, pasa döküm ve cevher stok alanlarının boyutlandırılmasına kadar birçok mühendislik hesaplamalarında değişken olarak kullanılan gerekli ve önemli parametrelerdir.

*Corresponding author.

E-mail address: ygul@cumhuriyet.edu.tr (Y. Gül)

Received 06 September 2022; Received in revised form 13 December 2022; Accepted 16 January 2023

2587-1943 | © 2023 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1171519>

Yerinde ve/veya gevşek birim hacim ağırlık ile kabarma faktörü kum konisi, sürme silindir, su doldurma, balonlu hacim şişesi, nükleer ve elektromanyetik yöntemlerle belirlenebilmektedir [1–9]. Bu yöntemlerle genel olarak malzemelerin yerinde ve/veya gevşek hacmi ile ağırlığı tespit edilerek istenilen değerler hesaplanabilmektedir. Laboratuvar deneyleri için, söz konusu zemin tabakasından örselenmemiş numune alınması gerekmektedir. Laboratuvar sonuçları, yapılan deneyin yöntemine ve özellikle numunenin kalitesine bağlıdır. Her ne kadar örselenmemiş numune alındığı söylene de, birçok etkiden dolayı numune az ya da çok örselenmektedir. Yerinde yapılan deneylerde, malzeme özellikleri daha iyi temsil ve karakterize edilmektedir. Yerinde yapılan bu deneylerle örnek almadaki örselenme minimuma indirilmekte ve zemin, içinde bulunduğu çevre koşullarında (gerilme durumu, boşluk basıncı, doygunluk derecesi) deneye tabi tutulmaktadır. Yerinde yapılan deneyler ise özel amaçlı ekipman, yüksek düzeyde teknik denetim ve kalite kontrol değerlendirmesi gerektirmektedir [10–12]. Bu deney sonuçlarının temsil oranı deney sırasındaki hacmi ve ağırlığı belirlenen malzeme miktarlarıyla sınırlıdır. Temsil oranını artırmak için ya geniş alanlı deneyler ya da deney cihazı ve prosedürü gereği alan büyütülemezse çok sayıda deney yapılmalıdır. Temsil oranını artırmak için bu çalışmada, geniş boyutlu çukurlar oluşturulmuş ve büyük hacimli yığınlar dikkate alınmış olup hacimleri İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametrisiyle belirlenmiştir.

İHA platformları günümüzde inceleme, gözetleme, haritalama ve 3D modelleme konularında değerli bir veri kaynağıdır. İHA sistemleri, bir veri toplama platformu ve ölçüm aracı olarak maden mühendisliğindeki birçok ölçme uygulaması için çekici hale gelmiştir [13–34]. Madencilik sektöründe İHA ile zorlu arazi şartlarında kolay, hızlı, yüksek hassasiyetli ve ekonomik ölçümler yapılabilmektedir. Aynı zamanda iş güvenliği açısından da çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Gelişen fotogrametrik sensör, platform ve uzaktan algılama teknolojileri sayesinde İHA, birçok alışılmış yöntemlere göre yüksek mekansal ve zamansal çözünürlük olanaklarını sağladığından gittikçe yaygınlaşan bir platformdur.

İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler, haritalanmış alanlar hakkında daha fazla ayrıntı vermektedir. Bir yığın ya da kazı hacmi ölçümü söz konusu olduğunda, bu alanlar mükemmel bir şekilde uymaz. Hassas bir yer örnekleme aralığına (GSD: Ground Sample Distance) sahip bir fotogrametrik araştırma, düzensiz alanları ayrıntılı olarak daha iyi tanımlayabilmektedir. GSD, görüntü dosyasındaki pikselin temsil ettiği yeryüzü alanı olarak tanımlanabilir. GSD değerinin küçülmesi, nesnelerin daha ayrıntılı görüntülenmesini sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü fotogrametrik sonuçlar, daha hassas yığın ya da kazı alanı modellerinin oluşturulmasını sağlayabilmekte ve dolayısıyla belirli ölçülen noktalarından entropolasyon yapılanlardan daha iyi hacim ölçüm doğruluğu vermektedir. Maden işletmeleri hacim hesaplarında İHA fotogrametri yöntemi oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [21,35–37]. İHA fotogrametri yöntemi kullanılarak hesaplanan hacim değerlerinin doğruluğuna ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda

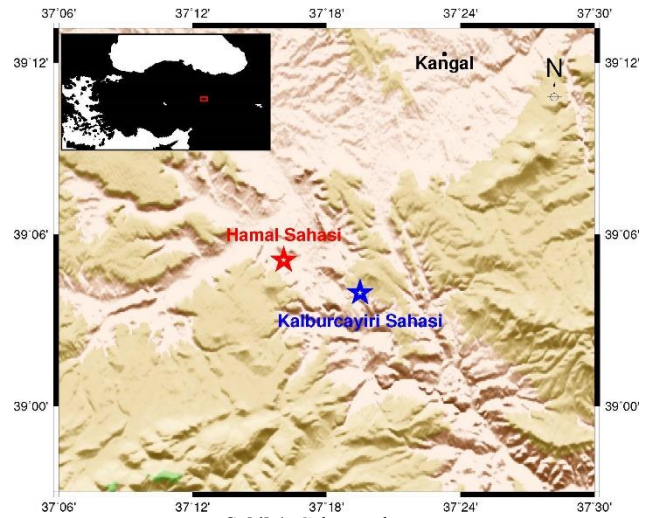
yöntemin başarı ile kullanılabileceği kanıtlanmıştır [15,16,18,19,21,29,32,38–40].

Bu çalışmanın amacı, maden sahalarında bakır kazı alanlarında yer alan birimlerin (örtü tabakaları, cevher), döküm ve stok alanlarında bulunan yığınların yerinde hacim, birim hacim ağırlık ve kabarma faktörünün yeni bir yaklaşım olarak İHA fotogrametrisiyle belirlenmesidir.

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Sahası

Çalışma sahası, Kangal Termik Santral Elektrik Üretim A.Ş.'nin Kalburçayırı ve Hamal kömür sahalarıdır (Şekil 1). Saha, Sivas ili Kangal ilçesinin sınırları içerisinde olup ilçe merkezinin güneyinde yaklaşık 30 km uzaklıktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı.

Kangal Termik Santrali'nin kömür ihtiyacının karşılandığı sahada ortalama kalınlığı 7 metre olan iki adet kömür damarı mevcut olup 5-10 derece eğimle Kuzeybatı – Güneydoğu yönünde uzanmaktadır. İki kömür tabakası arasında yaklaşık 20 metre kalınlıkta, bantlar halinde kil ve marndan oluşan ara kesme mevcuttur. Kömür tabakalarının üzerin de ise kireçtaşı, marn ve kilden oluşan örtü tabakası formasyonunun kalınlığı 40-45 metre arasında değişmektedir. Döküm sahası malzemeleri kil, marn ve kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır [41].

Bu çalışmada; Kalburçayırı sahası kömür stok alanında 2 farklı kömür yığınının hacimleri, 5 değişik lokasyon belirlenerek yığın halindeki kömürün yerinde birim hacim ağırlığı, Hamal sahasında ise kömür ve dekapaj kazı basamağında her iki birim için ayrı olmak üzere 6'şar değişik lokasyonda toplamda 12 lokasyonda yerinde birim hacim ağırlıklar ile kazılan malzemelerin (kömür ve dekapaj malzemesi) anlık/geçici kabarma faktörleri İHA fotogrametrisi yaklaşımıyla belirlenmiştir.

2.2 Yöntem

Yerinde birim hacim ağırlık belirlenirken öncelikle dekapaj basamağı, kömür basamağı, döküm sahasında dekapaj yığını ve stok sahasında kömür yığınlarında belirli alanlar bir kazıcı/yükleyici ile boşaltılmış ve boşaltılan malzemeler daha önceden boş ağırlığı

belirlenmiş kamyonlara yüklenmiştir. Daha sonra kamyonların yüklü ağırlığı ölçülmüş ve dolu-boş kamyon ağırlıklarının farkı alınarak her bir çukurdan çıkarılan malzemenin ağırlığı bulunmuştur. Son aşamada boşaltılan alanlar İHA fotogrametrisiyle haritalanmış ve malzeme boşaltılan çukurların hacimleri İHA haritalama uygulamaları için geliştirilmiş Pix4D Mapper profesyonel fotogrametri yazılımı [42] aracılığıyla tespit edilmiştir. Ağırlığın hacme oranlanmasıyla da yerinde birim hacim ağırlıklar bulunmuştur.

Bilindiği gibi kabarma faktörü, gevşek duruma gelen malzemede hacim artışıdır. Yerinde birim hacim ağırlığın gevşek birim hacim ağırlığa ya da malzeme ağırlığı sabit olduğundan gevşek hacmin yerinde hacme oranlanmasıyla belirlenmektedir. İlk kazı sonrası yüksek olan kabarma faktörü mevsimsel etki ve zamana bağlı olarak azalmaktadır. Yukarıda işaret edilen çukurlardan boşaltılan malzemelerin kabarma faktörlerini belirleyebilmek için dolu ağırlığı alınmış kamyonlardaki malzemeler bir düzen halinde söz konusu çukurların açıldığı bölgede yakın bir alana dökülmüş ve bu yığınların gevşek hacimleri İHA fotogrametrisi haritalaması sonrası yine Pix4D programı aracılığıyla tespit edilmiştir. Gevşek hacmin yerinde hacme oranlanmasıyla kabarma faktörleri (anlık/geçici) bulunmuştur. Kalburçayırı kömür stok sahasındaki sınırları belirlenmiş kömür yığınlarının hacimleri de yine yukarıda işaret edilen hacimlerin tespitinde olduğu gibi doğrudan İHA fotogrametrisi ile haritalanarak Pix4D yazılımı aracılığıyla belirlenmiştir.

2.3 İHA Uçuşları ve Fotogrametrik Değerlendirme

Uçuşlarda Geomine Arge Mühendislik Danışmanlık Yazılım İhr. İth. Tic. Ltd. Şti.'ne ait DJI Matrice 600 pro marka hexacopter, DJI Ronin MX Gimbal, Sony A7r (36,4 MP) kamera ve Sony Zeiss Vario-Tessar FE 16-35 mm f/4 lensten oluşan ekipman kullanılmıştır (Şekil 2). Tablo 1' de uçuş konfigürasyonlarına ait bilgiler verilmektedir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan İHA ve ekipmanları.

Tablo 1'den de açıkça görüleceği üzere Kalburçayırı sahası çalışmalarında GSD değeri 1,50, Hamal sahası çalışmalarında ise 0,97 olarak elde edilmiştir. Bu değerler sonuç hassasiyetinin oldukça yüksek olduğunu

göstermektedir. İHA ile çekilen görüntüler lisansı Geomine Arge Mühendislik Danışmanlık Yazılım İhr. İth. Tic. Ltd. Şti.'ne ait Pix4D yazılımı [42] kullanılarak değerlendirilmiştir. Pix4D programında fotoğraflar birleştirilerek bir ortofoto elde edilmiş daha sonra yer kontrol noktaları işaretlenerek nokta bulutu haline dönüştürülmüştür.

Tablo 1. Uçuş bilgileri.

Saha	Kalburçayırı	Hamal
Uçuş yüksekliği (m)	100	60
Kamera özellikleri	Sony A7R	Sony A7R
Görüntü biçimi	7360 × 4144	7360 × 4144
Odak uzaklığı (mm)	35	35
GSD (cm)	1,50	0,97
Bindirme oranı (%)	80/60	80/60
Görüntü sayısı	453	884
Çalışma alanı (ha)	42,72	18,06

3 Bulgular ve Tartışmalar

3.1 Kalburçayırı Sahası

Kalburçayırı sahası kömür stok alanı, alandaki kömür yığın hacimlerinin ve kömür yığnında yerinde birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla İHA fotogrametrisiyle haritalanmıştır. Kömür stok alanına ait sayısal yüzey modeli görünümü Şekil 3'de verilmiştir. Kömür yığın hacimleri ve kömür yığnında yerinde birim hacim ağırlıklar aşağıda izah edildiği gibi belirlenmiştir.

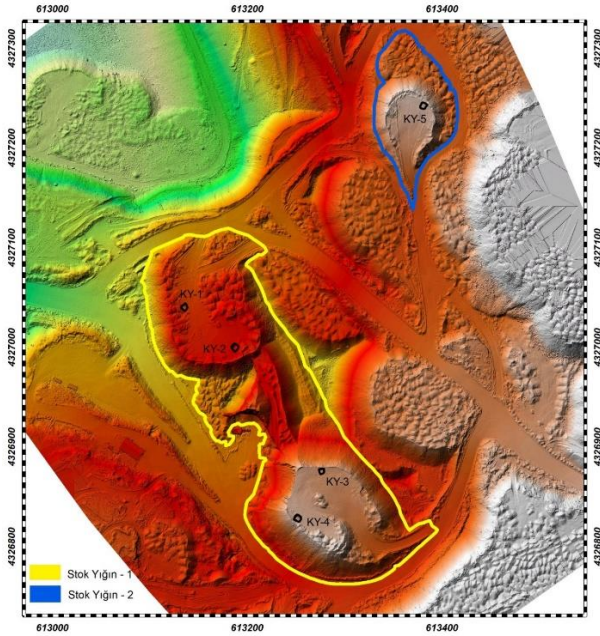
Stok alanında iki ayrı kömür yığını (Şekil 3: Yığın-1 (sarı) ve Yığın-2 (mavi)) bulunmakta olup yığın miktarı İHA fotogrametrisi çalışmalarından elde edilen topoğrafya (tavan) üzerinde yığın dış sınırları işaretlenerek Pix4D Mapper fotogrametri yazılımı aracılığıyla belirlenmiştir. Program, dış sınır çizgisi üzerindeki nokta koordinat verilerini kullanarak hacim hesaplamaya esas teşkil edecek taban topoğrafyasını kendisi oluşturmaktadır. Pix4D Mapper programı aracılığıyla bulunan toplam kömür yığın hacmi **414.821 m³**tür (Tablo 2).

Stok alanı kömür yığnının yerinde birim hacim ağırlığını (BHA) belirlemek için öncelikle 5 değişik lokasyonda çukur oluşturulmuş (Şekil 3) ve her bir çukurdan çıkan kömür miktarları (Dolu ve boş kamyon ağırlıklarının farkı alınarak) tartım yapılarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra İHA fotogrametrisi çalışmalarından elde edilen topoğrafya üzerinde her bir çukurun dış sınırı işaretlenerek Pix4D Mapper fotogrametri yazılımı aracılığıyla çukurların hacimleri de bulunarak yerinde birim hacim ağırlıklar (ton/m³) hesaplanmıştır. Bulunan bu birim hacim ağırlıklar ölçüm zamanı ve örnekleme lokasyonları ile ilişkili olup lokasyonlar (yığın eteklerinde ve/veya yığın ortasında daha alt kotlarda yapılacak ölçümler) ve ölçüm zamanı (sıcaklık ve yağış gibi mevsimsel etki) değiştiğinde farklı değerler bulunması ihtimal dahilindedir. Yerinde birim hacim ağırlıklar aşağıda verilen parametrelere bağlı olarak değişiklik arz edebilecektir.

- Yığnının zamana bağlı oturması/sıkışması
- İş makinelerinin ağırlığı nedeniyle yığnının oturması/sıkışması

- Üst kotlara yapılan yeni dökümler nedeniyle özellikle yığın ortasında olmak üzere alt kotlardaki kömürün daha fazla sıkışması
- Sıcaklık ve yağış gibi mevsimsel etki nedeniyle anlık ve/veya uzun dönemde kömürün nemliliğinin değişmesi
- Yığın eteklerinde sıkışmanın/oturmanın yığın ortasına göre daha az olması
- Kömüre yantaş karışması/kirlenme

Stok alanı kömür yığnında yapılan ölçümler sonucunda yerinde birim hacim ağırlıklar; minimum 1,1389 ton/m³, maksimum 1,3926 ton/m³ ve hacim ağırlıklı ortalaması ise **1,2510 ton/m³** olarak bulunmuştur (Tablo 3). Ölçümler arasındaki farklılıklar yukarıda ifade edilen parametrelerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. Kalburçayırı sahası kömür stok alanı sayısal yüzey modeli görünümü.

Tablo 2. Kalburçayırı sahası stok alanı kömür yığın hacimleri.

Tarih (Saat)	Yığın ID	Yığın miktarı (m ³)
22.06.2021 (16:05 - 16:20)	Stok Yığın-1 (Sarı)	377.639
	Stok Yığın-2 (Mavi)	37.182
Toplam Kömür yığımı (m³)		414.821

Tablo 3. Kalburçayırı sahası stok alanı kömür yığnında yerinde BHA ölçüm sonuçları.

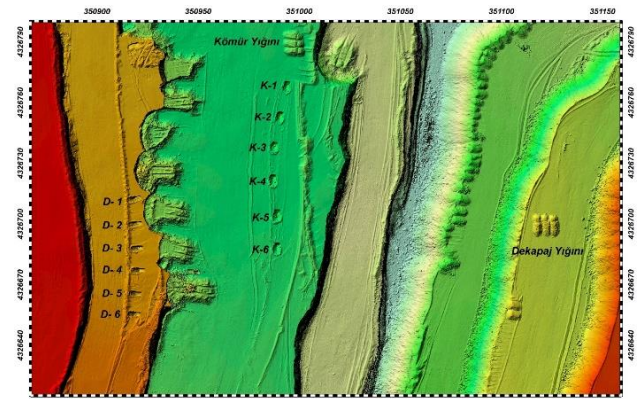
ID	İlk Tartım (ton)	Son Tartım (ton)	Net Miktar (ton)	Çukur Hacmi (m ³)	BHA (t/m ³)
KY-1	17,8	44,55	26,75	20,6	1,2985
KY-2	17,8	45,65	27,85	24,35	1,1437
KY-3	17,8	44,9	27,1	19,46	1,3926
KY-4	17,8	45,4	27,6	20,9	1,3206
KY-5	17,8	43,95	26,15	22,96	1,1389
Toplam	89,0	224,45	135,45	108,27	-
Ort. BHA (t/m³)					1,2589
Ağırlıklı Ort. BHA (t/m³)					1,2510

3.2 Hamal Sahası

Hamal sahasında belirlenen bir kazı alanı, kömür (en üst damar yüzeyi, ara kesmesiz) ve dekapaj (en üst damar örtü tabakası, killi seviye) kazı basamağında yerinde birim hacim ağırlıkların belirlenmesi amacıyla İHA fotogrametrisiyle haritalanmıştır. Kazı basamaklarına ait sayısal yüzey modeli görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Kömür ve dekapaj basamağında yerinde birim hacim ağırlıklar ve kazılan malzemelerin kabarma faktörleri aşağıda izah edildiği gibi belirlenmiştir.

Kömür ve dekapaj kazı basamağında yerinde birim hacim ağırlıkları belirlemek için öncelikle 6 adet kömür basamağında 6 adet de dekapaj basamağında olmak üzere toplam 12 değişik lokasyonda çukur oluşturulmuş (Şekil 4) ve her bir çukurdan çıkan kömür ve dekapaj miktarları (Dolu ve boş kamyon ağırlıklarının farkı alınarak) tartım yapılarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra İHA fotogrametrisi çalışmalarından elde edilen topoğrafya üzerinde her bir çukurun dış sınırı işaretlenerek Pix4D Mapper fotogrametri yazılımı aracılığıyla çukurların hacimleri de bulunarak yerinde birim hacim ağırlıklar hesaplanmıştır (Tablo 4, Tablo 5). Ayrıca kömür ve dekapajın kazı sonrası ortalama geçici kabarma faktörünü belirlemek için çukurlardan çıkarılan kömür ve dekapajlar farklı lokasyonlarda tek bir yığın haline getirilerek Pix4D Mapper fotogrametri yazılımı aracılığıyla kabarmış hacimleri belirlenmiş ve Kabarmış hacim / Yerinde hacim oranından kabarma faktörü hem kömür (Tablo 4) hem de dekapaj (Tablo 5) için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Kömür kazı basamağında yapılan ölçümler sonucunda yerinde birim hacim ağırlıklar; minimum 1,3069 ton/m³, maksimum 1,4715 ton/m³ ve hacim ağırlıklı ortalaması **1,3606 ton/m³**, Kabarma faktörü ise 1,60 olarak bulunmuştur (Tablo 4). Dekapaj kazı basamağında yapılan ölçümler sonucunda ise yerinde birim hacim ağırlıklar; minimum 1,6614 ton/m³, maksimum 1,8001 ton/m³ ve hacim ağırlıklı ortalaması **1,7324 ton/m³**, Kabarma faktörü ise 1,35 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5). Ölçümler arasındaki farklılıklar hem kömür hem de dekapaj malzemesinin homojen bir yapıya sahip olmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Hamal sahası kazı basamakları sayısal yüzey modeli görünümü.

Tablo 4. Hamal sahası kömür kazı basamağında yerinde BHA ölçüm sonuçları.

ID	İlk Tartım (ton)	Son Tartım (ton)	Net Miktar (ton)	Çukur Hacmi (m ³)	BHA (t/m ³)
K-1	19,55	37,45	17,9	12,9	1,3876
K-2	19,7	38,3	18,6	13,62	1,3656
K-3	19,55	38,65	19,1	12,98	1,4715
K-4	19,7	39,15	19,45	14,75	1,3186
K-5	19,55	40,0	20,45	15,39	1,3288
K-6	19,55	37,65	18,1	13,85	1,3069
Toplam	117,60	231,20	113,60	83,49	-
Ort. BHA (t/m³)					1,3632
Ağırlıklı Ort. BHA (t/m³)					1,3606
<i>Gevşek Yiğın Hacmi (m³)</i>					<i>133,69</i>
<i>Gevşek Yiğın Miktarı (ton)</i>					<i>113,6</i>
<i>Gevşek Yiğın BHA (t/m³)</i>					<i>0,8497</i>
<i>Kabarma Faktörü</i>					<i>1,60</i>

Tablo 5. Hamal sahası dekapaj kazı basamağında yerinde BHA ölçüm sonuçları.

ID	İlk Tartım (ton)	Son Tartım (ton)	Net Miktar (ton)	Çukur Hacmi (m ³)	BHA (t/m ³)
D-1	19,7	47,35	27,65	15,36	1,8001
D-2	19,55	46,5	26,95	15,44	1,7455
D-3	19,55	46,55	27	15,73	1,7165
D-4	19,7	47,1	27,4	15,38	1,7815
D-5	19,55	46,05	26,5	15,66	1,6922
D-6	19,55	45,75	26,2	15,77	1,6614
Toplam	117,60	279,30	161,70	93,34	-
Ort. BHA (t/m³)					1,7329
Ağırlıklı Ort. BHA (t/m³)					1,7324
<i>Gevşek Yiğın Hacmi (m³)</i>					<i>125,77</i>
<i>Gevşek Yiğın Miktarı (ton)</i>					<i>161,7</i>
<i>Gevşek Yiğın BHA (t/m³)</i>					<i>1,2857</i>
<i>Kabarma Faktörü</i>					<i>1,35</i>

4 Sonuçlar ve Öneriler

Madencilikte kazılacak ve taşınacak veya stoklanacak malzemelerin yerinde ve/veya gevşek hacimleri, birim hacim ağırlıkları ile kabarma faktörleri madencilik alanındaki planlama ve hesaplamalarda kullanılan değişkenlerdir. Birçok metot ve yaklaşım ile sonuca ulaşmak mümkündür. Bu parametrelerin tam ve kesin olarak bilinmesi önemli olup gerek makine ekipman seçimi gerekse maliyetlerin belirlenmesinde rolleri büyüktür.

Bu çalışmada önerilen İHA tabanlı yaklaşım ile birim hacim ağırlık ve kabarma faktörü kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilecektir. Hacimlerin hesaplanması işlemi yüksek kalite ve hassasiyete sahip olduğu gibi tekrarlı uçuş ile seri kontrol olanağı da sağlamaktadır. İstenilen büyüklükte alan ve istenilen miktarda malzeme dikkate alınabileceğinden temsil oranı artırılabilir. Projelerde yapılan maliyet ve hakkeş hesapları için büyük öneme sahip olan bu değerlerin, doğruluk hassasiyetinin yüksek olması hesaplamalarda hata oranını minimize edecektir. Hacim hesaplarında İHA fotogrametri yönteminin kolay, hızlı ve doğruluğu yüksek bir yöntem olması çalışmada önerilen yaklaşımın en büyük avantajı olarak değerlendirilebilir.

Teşekkür

Yazar, işbirlikleri için Kangal Kömür İşletmeleri yetkililerine, donanım ve yazılım desteğinden dolayı Geomine Arge Mühendislik Danışmanlık Yazılım İhr. İth. Tic. Ltd. Şti.'ne ve çalışanlarına teşekkür eder.

Yazar Katkıları

Makale tek yazarlıdır.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Türk Standardı. (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 1900-1).
- [2] Türk Standardı. (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. 1900-2).
- [3] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının, kum konisi yöntemiyle belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13872).
- [4] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin yoğunluğunun sürme silindir ile belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13873).
- [5] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının balonlu hacim şişesi kullanılarak belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13874).
- [6] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin ve kaya yoğunluğunun bir deney çukurunda su doldurma yöntemi ile belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13875).
- [7] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin yoğunluğunun, birim hacim ağırlığının ve su içeriğinin, elektromanyetik zemin yoğunluk ölçer ile belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13876).
- [8] Türk Standardı. (2019). Yerinde yapılan zemin kontrol deneyleri - Zemin ve zemin-agrega karışımlarının sığ derinliklerdeki yoğunluk ve su içeriğinin nükleer yöntemlerle belirlenmesi. In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS 13877).
- [9] Türk Standardı. (2014). Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Birim hacim kütlelen belirlenmesi (Patent No. TS Standard No. TS EN ISO 17892-2). In *Türk Standardları Enstitüsü* (TS Standard No. TS EN ISO 17892-2).
- [10] Ramasubbarao, G. V., & Sankar, S. (2013). Predicting Soaked CBR Value of Fine Grained Soils Using Index and Compaction Characteristics. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7(3), 2013–2354.
- [11] Taskiran, T. (2010). Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine grained soils by AI methods. *Advances in Engineering Software*, 41(6), 886–892.
- [12] Erol, O., & Çekinmez, Z. (2014). *Geoteknik mühendisliğinde saha deneyleri*. Yüksel Proje Yayınları.

- [13] Kekeç, B., Bilim, N., Dündar, S., & Ghiloufi, D. (2018). Madencilik Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanımı. 2. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu (ISAS 2018), November 30-December 2, 174–178.
- [14] Lee, S., & Choi, Y. (2016). Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 19(4), 197–204.
- [15] Hastaoğlu, K. Ö., Gül, Y., Poyraz, F., & Kara, B. C. (2019). Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83, 101916.
- [16] Gül, Y. (2019). Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99–112.
- [17] Yüksel, G. (2022). Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 29–37.
- [18] Şahin, V., & Yılmaz, H. M. (2021). Hacim Hesaplarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(2), 36–48.
- [19] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19–23.
- [20] Kun, M., & Özcan, B. (2019). Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 554–564.
- [21] Kun, M., & Güler, Ö. (2019). İnsansız Görüntüleme Sistemleri ile Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Mermer Madenciliğinde Kullanımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(63), 1005–1013.
- [22] Bagheri, N. (2016). Development of a high-resolution aerial remote-sensing system for precision agriculture. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2053–2065.
- [23] Shahbazi, M., Sohn, G., Théau, J., Ménard, P., Shahbazi, M., Sohn, G., Théau, J., & Ménard, P. (2015). Uav-Based Point Cloud Generation for Open-Pit Mine Modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLI(1W4), 313–320.
- [24] Ulusoy, İ., Şen, E., Tuncer, A., Sönmez, H., & Bayhan, H. (2017). 3D Multi-view Stereo Modelling of an Open Mine Pit Using a Lightweight UAV Hafif bir İHA ile bir Açık Maden Ocağının 3B Çok-bakılı Stereo Modellemesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 223–241.
- [25] Kršák, B., Blišťan, P., Paulíková, A., Puškárová, P., Kovanič, L., Palková, J., & Zelizňaková, V. (2016). Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study. *Measurement*, 91, 276–287.
- [26] Arango, C., & Morales, C. A. (2015). Comparison Between Multicopter Uav and Total Station for Estimating Stockpile Volumes. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLI(1W4), 131–135.
- [27] Seki, M., Tiryakioğlu, İ., Uysal, M., Üniversitesi, A. K., Fakültesi, M., & Bölümü, H. M. (2017). Farklı Veri Toplama Yöntemleriyle Yapılan Hacim Hesaplarının Karşılaştırılması. *Geomatik*, 2(2), 106–111.
- [28] Tercan, E. (2017). İnsansız hava aracı kullanılarak antik kent ve tarihi kervan yolunun fotogrametrik belgelenmesi: Sarıhacılar örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 633–642.
- [29] Cryderman, C., Bill Mah, S., & Shufletoski, A. (2015). Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations. *Geomatica*, 68(4), 309–317.
- [30] Gorkovchuk, D., Gorkovchuk, J., & Hutnyk, B. (2017). Low-cost UAS Photogrammetry for Mining. *GIM International, The Global Magazine For Geomatics*, 31(11), 20–23. Retrieved June 22, 2022 from <https://www.gim-international.com/content/article/low-cost-uas-photogrammetry-for-mining>
- [31] Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., Peroni, R. de 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.
- [32] Popescu, G., Iordan, D., & Păunescu, V. (2016). The Resultant Positional Accuracy for the Orthophotos Obtained with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10, 458–464.
- [33] Gül, Y., Hastaoğlu, K. Ö. K. Ö., & Poyraz, F. (2020). Using the GNSS method assisted with UAV photogrammetry to monitor and determine deformations of a dump site of three open-pit marble mines in Eliktekk region, Amasya province, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(11), 248.
- [34] Esposito, G., Mastrorocco, G., Salvini, R., Oliveti, M., & Starita, P. (2017). Application of UAV photogrammetry for the multi-temporal estimation of surface extent and volumetric excavation in the Sa Pigada Bianca open-pit mine, Sardinia, Italy. *Environmental Earth Sciences*, 76(3), 1–16.
- [35] da Silva, C. A., Duarte, C. R., Souto, M. V. S., dos Santos, A. L. S., Amaro, V. E., Bicho, C. P., & Sabadia, J. A. B. (2016). Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando vant, GNSS e LÍDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(1), 73–94.
- [36] Cho, S.-J., & Kang, E.-S. B. & I.-M. (2015). Construction of Precise Digital Terrain Model for Nonmetal Open-pit Mine by Using Unmanned Aerial Photograph. *Economic and Environmental Geology*, 48(3), 205–212. Retrieved June 20, 2022 from <https://www.kseeg.org/journal/view.html?spage=205&volume=48&number=3>
- [37] Rahman, A. A. A., Maulud, K. N. A., Mohd, F. A., Jaafar, O., & Tahar, K. N. (2017). Volumetric calculation using low cost unmanned aerial vehicle (UAV) approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 270(1).
- [38] Mantey, S., & Aduah, M. S. (2021). Comparative Analysis of Stockpile Volume Estimation using UAV and GPS Techniques. *Ghana Mining Journal*, 21(1), 1–10.
- [39] Raeva, P. L., Filipova, S. L., & Filipov, D. G. (2016). Volume computation of a stockpile-a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLI(B1), 999–1004.
- [40] Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73, 539–543.
- [41] Gül, Y. (2006). *Bazı Açık İşletmelerdeki Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi*. (Doctoral dissertation, Sivas Cumhuriyet University).
- [42] Pix4D. (n.d.). *PIX4Dmapper – Support*. Retrieved August 31, 2022, from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360001503192>