



**FARKLI CİHAZLARLA ÜÇ BOYUTTA ELDE EDİLEN  
VERİLERİN MADENCİLİK ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI**

Mehmet ÖZDEMİR<sup>1,\*</sup>

<sup>1\*</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, [mehmet.ozdemir@dpu.edu.tr](mailto:mehmet.ozdemir@dpu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-8164-8874

*Geliş Tarihi (Received Date): 12.04.2023*

*Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.05.2023*

**ÖZ**

Madencilik çalışmalarında üç boyutlu yüzeylerin ve verilerin elde edilmesi proje hassasiyeti ve güvenilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte bu gibi çalışmalar daha kolay hale gelebilmektedir. Stabilité çalışmaları, madencilik haritalarının çıkarılması, hacim hesabı ve benzeri çalışmalarda, üç boyutta elde edilen veriler günümüz teknolojileri vasıtasıyla kullanılmaktadır. Bu veriler açık veya yeraltı işletmesi şeklinde yürütülen maden sahalarında insansız hava araçları (İHA), uydu verileri, yersel ölçümler, radar veya benzeri yöntemlerle elde edilmektedir. Bu çalışmada bu verilerin elde edilme yöntemlerini, madencilikte çeşitli alanlardaki kullanımlarını ve önemi hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** *3B veri, İnsansız hava aracı, Uydu, Radar, Yersel ölçümler.*

**THE USE OF DATA OBTAINED IN THREE DIMENSIONS  
WITH DIFFERENT DEVICES IN MINING STUDIES**

**ABSTRACT**

Obtaining three-dimensional surfaces and data in mining works is of great importance in terms of project precision and reliability. With technological developments, such studies can become easier. The data obtained in three dimensions are used by today's technologies in stability studies, mining maps, volume calculation and similar studies. These data are obtained by unmanned aerial vehicles (UAV), satellite images, terrestrial measurements, radar or similar methods in mine sites operated as open or underground operations. In this study, evaluations were made about the methods of obtaining these data, their use in various fields in mining and their importance.

**Keywords:** *3D data, Unmanned Aerial Vehicle, Satellite, Terrestrial Measurements.*

**1. GİRİŞ**

Maden sahalarında hızla gelişen teknolojilerin kullanımı günümüz şartlarında daha hızlı ve verimli sonuçların elde edilmesi açısından son derece önemlidir. Birçok maden işletmesi artık bu teknolojileri

kendi bünyesine katarak, kiralama veya danışman şirketler yoluyla kullanılmaktadırlar. İnsansız hava araçları (İHA), uydu, radar ve yersel ölçüm cihazları bu cihazlara örnektir.

Son zamanlarda maden sektöründe kullanılan İHA, uydu, radar ve yersel ölçüm cihazları (Total Station, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) cihazı, vb.) açık veya yeraltı maden işletmesi şeklinde yürütülen madenlerde çok sıklıkla kullanılmaktadır. Bu cihazlara üç boyutta veri üretebildikleri için şev stabilitesi, haritalamalar, şev deplasman hareketleri, alan ve hacim hesapları, üç boyutta yeraltı galerileri oluşturma, galeri stabilitesi ve benzeri konularda ihtiyaç duyulmaktadır [1,2].

Üç boyutta elde edilen veriler genellikle X (Doğu veya Batı), Y (Kuzey veya Güney) ve Z (Yükseklik) yönünde konumsal değerlere sahip olan verilerdir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Sayısal Arazi Modeli (SAM), nokta bulutu veya ortofoto gibi veriler konum değerlerine sahiptir ve genellikle maden sahalarında hacim hesabı ve yüzey modellemelerinde kullanılmaktadırlar [3].

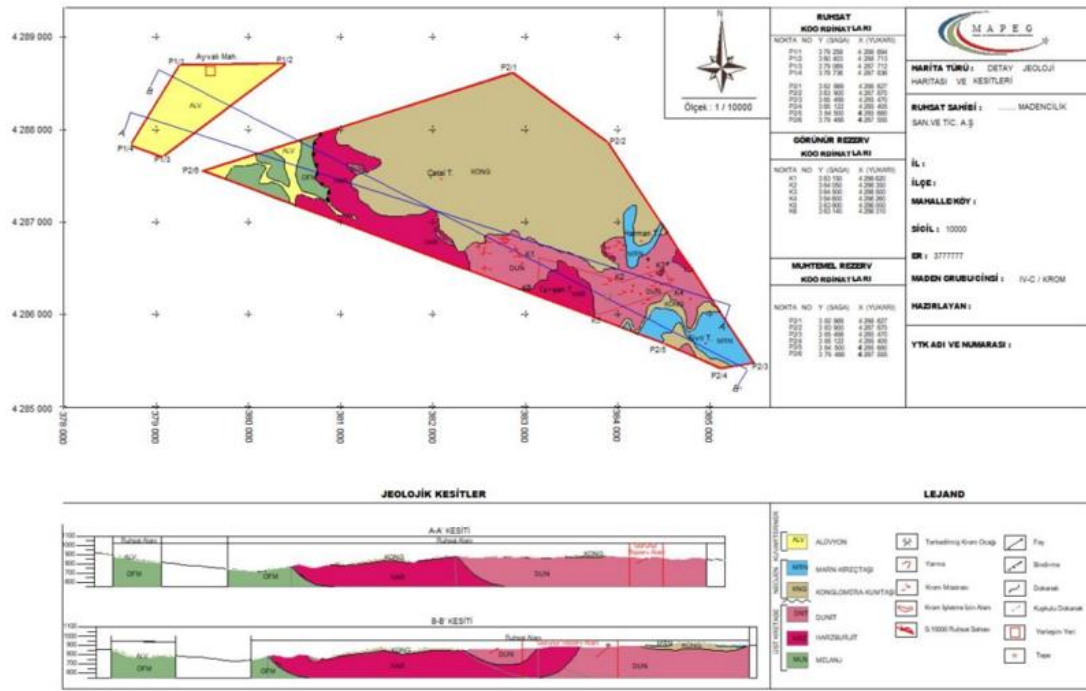
Yavuz [4] açık maden işletmelerinde İHA kullanımlarının ve elde edilecek sonuç verilerinin analizini yapmıştır. Yapılan analizde İHA'ların Sayısal Yükseklik Modellerinin (SYM), eşyüksekti eğrilerinin, cevher ve stok alan ve hacim hesaplarının elde edilmesinde başarılı oldukları belirtilmiştir. Kun ve Özcan [5] insansız hava aracının (İHA) bir maden ocağında hacim ölçümü için kullanmışlardır. Nokta bulutu, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve orto-mozaiik gibi verilerle ve 12 milyon nokta ile  $\pm 17$  cm hassasiyetinde hacim hesabı yapılmıştır. Kun ve Güler [6] Antalya ili Korkuteli'nde bulunan bir mermer ocağının verimini İHA ile 15 aylık düzenli veriler olarak hesaplamaya çalışmışlardır. 120 bin  $m^3$  kazı ve 110  $m^3$  pasa hacimi hesaplanmıştır. Ocak verimi ise %8,74 olarak hesaplanmıştır. Şener [7] Isparta Kasımlar köyü sahasında kaya düşmelerini İHA ile 3 boyutta modellemeye çalışmıştır. Sahada olası düşme riski bulunan boyutları 26  $m^3$  ile 355  $m^3$  arasında olan 4 blok saptanmıştır. Kabadayı [8] Muğla ili Yatağan ilçesinde bulunan bir maden sahasında GNSS ve İHA verileri ile hacim hesaplarını karşılaştırmıştır. İki cihaz ile yapılan hacim hesaplarında %1,3 fark olduğu tespit edilmiştir. Ancak İHA ile 40 dakikada yapılan ölçümün GNSS ile 3 saati bulduğu ifade edilmiştir. Kabadayı [9] Balıkesir Cavlan maden ocağını İHA ile haritalandırmaya çalışmıştır. Yer kontrol noktası (YKN), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ortofoto verileri ile uygulama gerçekleştirilmiştir. GNSS ve Total Station ile elde edilen haritalardan daha kısa sürede ve daha az maliyetle sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir. Yüksel [10] açık işletme sahalarında kullanılan İHA'ların kullanımı hakkında yaptığı derlemede İHA'ların zor saha koşullarında bile havadan ölçüm alabildiğini, hızlı alan ve hacim hesabına olanak sağladığını, pratik ve az maliyetli olduğunu dile getirmiştir.

Konumsal bilgilerin elde edilmesinin yanında kayaçların tenör dağılım bölgeleri, kullanılan kamera türlerine (Termal veya Multispektral kameralar) göre maden sahasındaki kayaç malzemelerinin türlerinin tespiti, termal kameralar ile kendiliğinden yanma olan kömür stoklarının analizi, konsantre ve pasa sahalarında İHA ile parça boyut analizi gibi değişik alanlarda çalışmalar ihtiyaca göre şekillendirilebilmektir [1,11-14].

Bu çalışmanın amacı, son zamanlarda üç boyutta veriler oluşturabilen cihazların madencilik çalışmalarında farklı alanlardaki kullanımları, veri oluşturma yöntemleri ve önemleri hakkında farkındalık yaratmak ve değerlendirmelerde bulunmaktır. Bu sayede maden sahalarında kullanılacak cihazların seçiminde kolaylık sağlanacağı düşünülmektedir.

## 2. MADENLERİN HARİTALANDIRILMASI

Maden sahalarında Total Station gibi yersel ölçümlerle veri elde eden cihazların kullanımı günümüz madencilik çalışmalarında İHA kullanımına göre daha az oranda olmaktadır. İnsansız hava araçları daha fazla alanı yüksek hassasiyette ve daha kısa zamanda tarayabilmekte ve veriler oluşturulabilmektedir. Bu veriler MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü) Harita Standartları'ndaki [15] ölçüm hassasiyetlerine ( $\pm 7$  cm) göre elde edilebilmektedir. İHA sürücü ehliyeti ve haritacılık bilgisi olan kişiler bu çalışmaları yürütebilmektedir (Şekil 1).



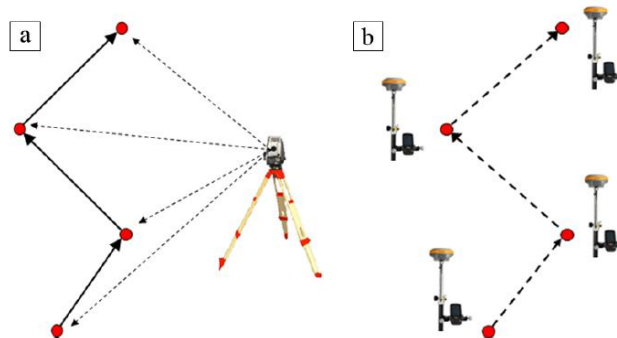
Şekil 1. MAPEG halihazır haritalarına ait bir örnek [16].

Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK), Sonradan İşlenmiş Kinematik (PPK) sistemi destekli İHA'lar ile daha az yer kontrol noktası (YKN) kullanılarak daha kısa sürede üç boyutta veriler elde edilmektedir. Ayrıca bu sistemlerden daha hassas ve mm düzeyinde veriler elde edilebilen Lidarlı İHA'lar ile de veriler oluşturulabilmektedir[17]. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) cihazları ile yer kontrol noktaları yeryüzünde işaretlenerek hassasiyet artırılmaktadır. Bu cihazlar Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif (TUSAGAKTİF) ağına bağlanarak cm hassasiyetinde konum bilgisi elde etmektedirler. İHA cihazından elde edilen ve konum bilgisi olan görüntüler ile görüntü işleme yazılımları kullanılarak (Agisoft Metashape, DJI Terra, Pix4Dmapper, vb.) maden sahalarının iki veya üç boyutta hassas verileri oluşturulmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İHA uçuş planı ve fotoğraf çekim konumlarına ait bir örnek [9].

Total Station ve GNSS cihazlarından elde edilen veriler yardımıyla maden haritaları yapılabilir. Ancak İHA'lara kıyasla daha fazla zamanda daha az alanda haritalama yapılabilmektedir. Total Station yansıtıcıları ya da prizmaları ve GNSS cihazı gezici istasyon ile nokta kotları elde edilebilmektedir. Şev üstü, şev altı, düzlükler veya diğer maden bölgeleri noktaları birleştirilerek madencilik programları (Netcad, Micromine, Datamine, Virtual Surveyor, vb.) ile harita detayları oluşturulabilmektedir (Şekil 3).

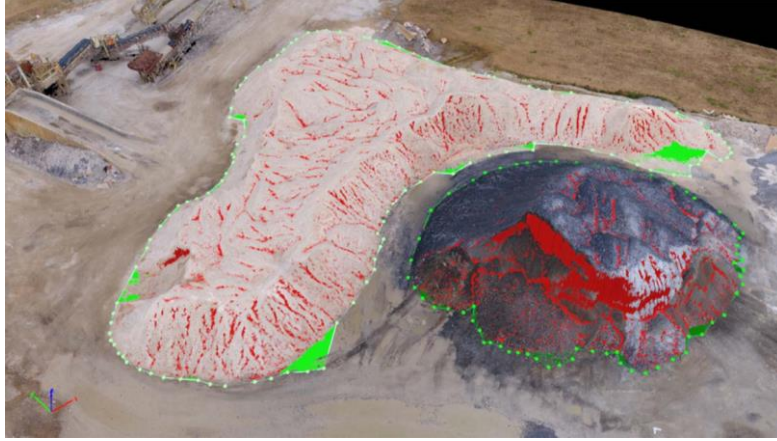


Şekil 3. Total Station (a) ve GNSS (b) ile nokta alımı [18].

### 3. ALAN ve HACİM HESAPLAMALARI

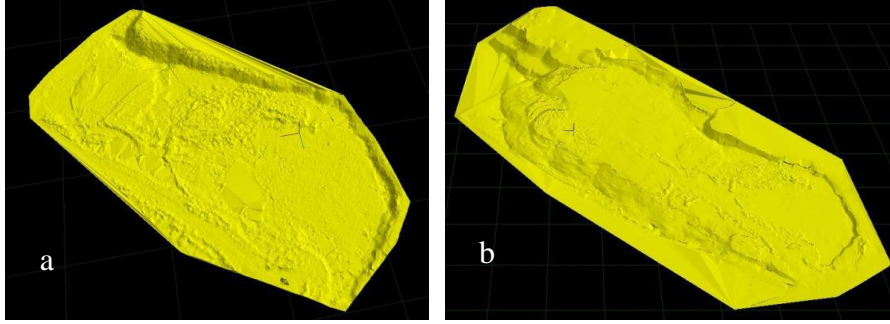
Madencilikte alan ve hacim hesapları iki boyutlu ve üç boyutlu yüzeylerin elde edilmesiyle yapılmaktadır. Bu hesaplamaları yapabilmek için yersel ölçüm cihazlarına (GNSS, Total Station, vb.), İHA, radar, yersel lazer tarayıcılar veya uydu görüntülerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Alan hesaplamaları geometrik yöntemler, Gauss alan hesabı, en kesit yöntemi veya madencilik programlarına girilen noktalar yardımıyla elde edilmektedir. Hacim hesaplamaları ise genellikle madencilik (Netcad, Datamine, Micromine, Surpac, vb.) ve fotogrametri yazılımlar (Agisoft Metashape, Pix4DMapper, DJI Terra, vb.) vasıtasıyla elde edilmektedir [19,20]. Yazılımlar tarihler arasında modeller oluşturularak iki model arasında oluşan kazı veya dolgu hacmini verebilmektedirler. Modellerdeki kazı veya dolgu hacmi tek bir arazi modelinden kotlara veya model tabanına göre hesaplanabilmektedir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Pix4D programından elde edilen örnek hacim hesabı [20].

İHA ve yersel ölçüm cihazlarıyla arazi modeli oluşturularak hesaplanan hacimlerde İHA'ların araziye daha iyi modellediği ve daha net hacim hesapları oluşturdukları görülmektedir [21]. Şekil 5'teki örnekte İHA ve yersel ölçüm cihazları kıyaslamasında kazı alanı yarma ve dolgu hesaplamaları için  $191 \text{ m}^3$  dolgu ve  $401 \text{ m}^3$  yarma hacim farkı elde edilmiştir. Bu durum ise hesaplama hassasiyetinde İHA'ların daha önde olduğunu göstermektedir [22].



**Şekil 5.** İHA (a) ve Yersel Ölçüm (b) ile hacim hesabı için arazi modelleri [22].

Yersel lazer tarayıcılar ve İHA'lar ile açık işletme yüzey çalışmalarının [23,24] yanı sıra bu cihazlar ile yeraltı galerileri modellemeleri de yapılarak kazı planı veya hacim hesabı yapılabilir. 360 derece dönebilen cihazlar galeri cidarlarının yaklaşık tümünü oluşturabilmektedirler. Bu sayede hesaplamalar cihazların oluşturduğu nokta bulutları vasıtasıyla son derece hassas olmaktadır (cm hassiyetinde) [25–29] (Şekil 6).



**Şekil 6.** Yersel lazer tarayıcı (1) ve İHA (2) ile 3 boyutta galeri oluşturma [25,27].

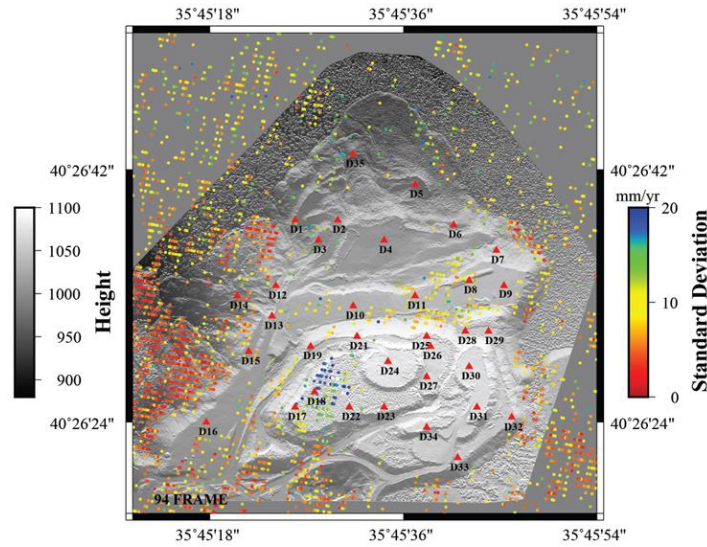
Alan ve hacim hesaplarında yukarıda bahsedilen teknolojilerin kullanımı, madencilikte maliyet hesaplarının (cevher veya pasa yığımları hesapları) net olarak tahmininde, açık ve yeraltı işletme madenciliği tasarımlarının hassaslığında ve müteahhit firma rödevans hesaplarında yardımcı olacaktır.

#### 4. UYDU ÇALIŞMALARI

Gelişen teknolojilerle birlikte uydu verileri mühendislik çalışmalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [30,31]. Bu veriler koordinat değerlerine sahip veriler olmakla birlikte mühendislik çalışmalarında farklı alanlarda kullanılabilir. Genel olarak koordinat değerlerine sahip yüzey sıcaklıkları, iklim, atmosferik koşullar, alan hesaplamaları, dijital yüzey modelleri, dijital yükseklik modelleri, eğim, bakı ve deplasman hareketleri analizleri gibi çalışmalar yapılmaktadır. Landsat, Sentinel, MODIS ve benzeri uydu görüntüleri Google Earth Engine, QGIS, ArcGIS ve benzeri programlarla analiz edilebilmektedir [32–34].

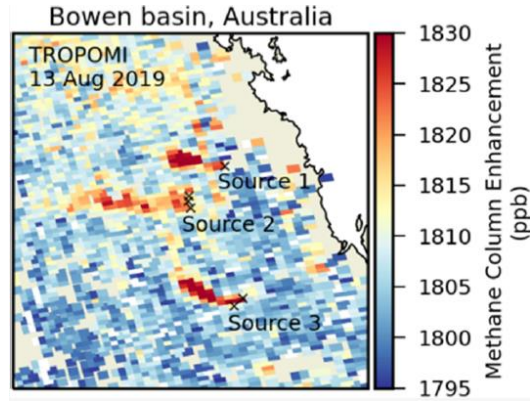
Madencilik çalışmalarında uydu verileri genel olarak yüzey deplasman hareketleri, açık ocak cevher ve pasana alanları tespiti, yüzey sıcaklıkları tespiti ve emisyon değerleri analizleri için kullanılmaktadır [28].

Türkiye Amasya ili Elikteke köyünde bulunan mermer ocağında olması muhtemel deplasmanlar Sentinel-1A uydu görüntüleri ve PSI tekniği ile analiz edilmiştir (Şekil 7). Sahanın kuzey-güney yönünde büyük deformasyonların oluştuğu tespit edilmiştir [35].



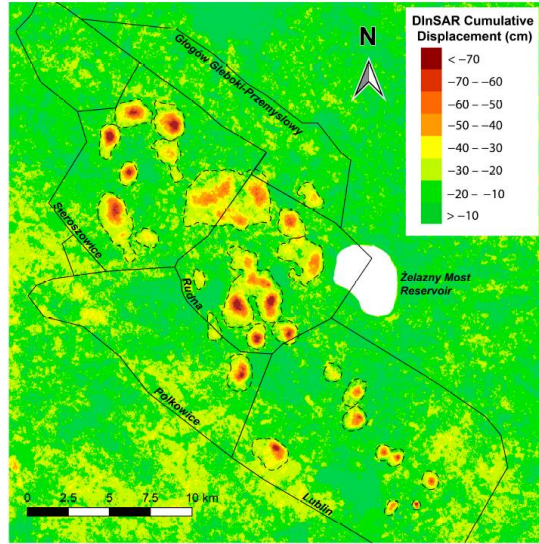
Şekil 7. Uydu verileri ile deplasman analizi [35].

Avustralya Queensland bölgesindeki açık ve yeraltı maden ocaklarının oluşturduğu metan emisyonları 2 yıllık TROPOMI uydusu gözlemleri ve bu cihaza uyumlu algoritmalar ile tespit edilmiştir (Şekil 8). Bu emisyonların yaklaşık %40'ının Hail Creek'deki maden şirketlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Metan emisyonun çok olduğu bölgelerde metan kazanımı tesislerinin oluşturulması için yatırım tavsiye edilmiştir [36].



Şekil 8. Uydu verileri ile metan salınımı analizi [36].

Polonya Legnica Glogow şehrindeki yeraltı bakır madenin 2014-2019 yılları arasında yüzeyde oluşturduğu tasmanlar 400 Sentinel-1 uydu görüntüleri ile analiz edilmiştir (Şekil 9). Bazı bölgelerde 70 cm'i aşan tasmanlar olduğu gözlemlenmiştir. O bölgelerde alınması gereken önlemler sunulmuştur [37]. İtalya Tuscany bölgesindeki yeraltı madenin yüzeyde oluşturduğu deplasmanlar ve obruklar Sentinel-1 uydu görüntüleri vasıtasıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. 250 mm/yıl'a kadar deplasmanlar olduğu ve 100'e yakın farklı büyüklükte obrukların meydana geldiği tespit edilmiştir [38].



Şekil 9. Tasman bölgeleri analizi [37].

Madencilik çalışmalarının belirli kanun ve yönetmeliklerle çevreye asgari hasar verecek şekilde yürütülmesi istenmektedir. Ancak bu kurallara uymayıp çevreyi izinsiz olarak kullanan ve tahrip eden birçok maden şirketi bulunmaktadır. Bu şirketleri küçük bir bölgede kontrol etmek İHA'lar vasıtasıyla



olabilmektedir. Ancak daha büyük alanlardaki birçok maden şirketini kontrol etmek uydu teknolojilerini gerektirmektedir. İzin verilen işletme sınırlarının aşılmadığını, atık sahasının alansal olarak tahribatını, maden ve atık sahası tespiti, yerleşim yerine madencilik faaliyetlerinin yaklaşım yaklaşmadığını Landsat ve Sentinel gibi uydu görüntüleri ile takibine yönelik çalışmalar artmaktadır [30,32,33,39] (Şekil 10). Bu sayede doğanın korunması, madencilik faaliyetlerinin izlenmesi ve denetlenmesi sağlanmış olacaktır.



**Şekil 10.** Uydu görüntüleri vasıtasıyla madencilik faaliyetlerinin izlenmesi-açık kahverengi bölgeler: madencilik çalışmaları yapılan yerler [33].

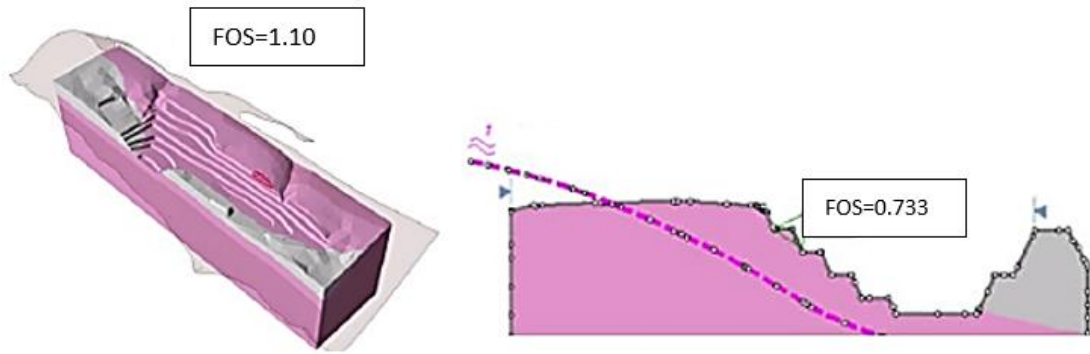
## 5. STABİLİTE ÇALIŞMALARI

Şev stabilitesi çalışmaları açık işletme şeklinde yürütülen maden işletmelerinde genel olarak 2 boyutta alınan kesitlerden yapılmaktadır. Bu yaklaşım maden ocaklarındaki tüm geometrilerin ve kayaç birimlerinin bütünsel olarak değerlendirilmesinde eksiklikler ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısıyla teknolojik çalışmalar ile 3 boyutta elde edilen veriler vasıtasıyla şev stabilitesi çalışmaları maden ocakları için güvenli çalışabilme olanakları sağlayabilmektedir.

Sondaj verilerinden elde edilen veya yerinde gözleme dayalı oluşturulan kesitlerle çalışmalar yürütülmektedir. Ancak bu kesitler tüm sahanın belirli bir bölgesini yansıtmakta, tüm sahayı temsil etmemektedir. Dolayısıyla maden ocağının tüm geometrisi ve kaya mekaniksel özellikleri bu çalışmalarda yer almamaktadır. Bu durum üç boyuttaki çalışmaların değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır [40–46].

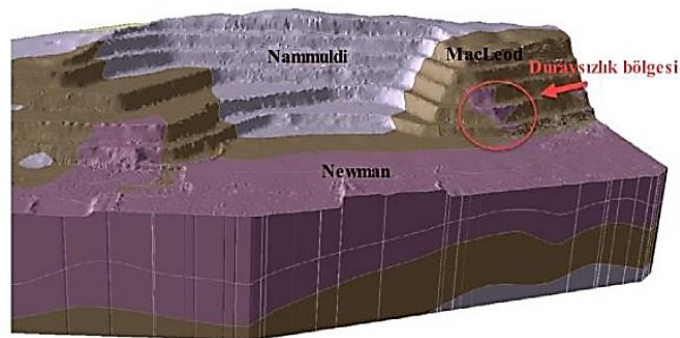
Üç boyutta yapılan şev stabilitesi çalışmaları genel olarak günümüzde kullanılan modern teknolojileri içerebilmektedir. Bunlar maden sahası yüzeyinin İHA'lar vasıtasıyla elde edilmesi, madencilik yazılım programları ile oluşturulan maden yatağı katmanları ve kaya mekaniksel veriler olabilmektedir.

İki ve üç boyutlu şev stabilitesi çalışmalarında oluşan emniyet katsayısı değerleri farklı olabilmektedir. Çeşitli araştırmacıların [47–49] Avustralya'daki Pilbara demir madeninde yaptıkları şev analizlerinde iki boyutta elde edilen şev analizleri sonuçlarının (FOS) üç boyuttaki analizlere kıyasla maden sahasının bazı bölgelerinde yaklaşık yüzde 25'e (FOS) kadar daha az olduğunu vurgulamışlardır (Şekil 11). Bu durumun sebebi olarak 3 boyutta daha fazla geometrinin ve yükün hesaplamalara katıldığı belirtilmiştir. Şev emniyet katsayılarındaki bu fark maden işletmelerindeki tasarımları değiştirebileceğinden dolayı maliyetleri etkileyeceği düşünülmektedir.



Şekil 11. Üç ve iki boyutta şev emniyet katsayıları [49] (FOS: şev emniyet katsayısı).

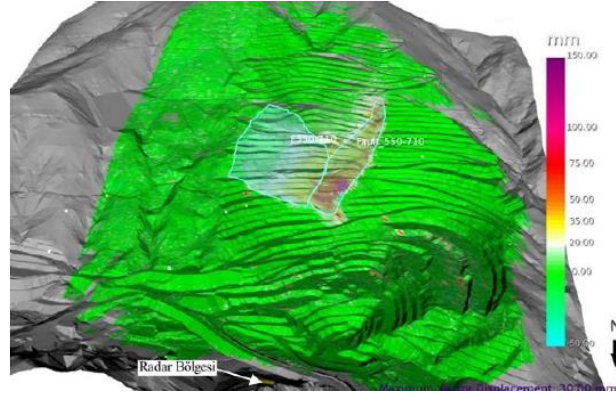
Üç boyutlu şev stabilitesi hesaplamalarında maden yatağı geometrisi, kaya mekaniksel veriler, süreksizlik konumları ve benzeri veriler sisteme doğruya yakın bir şekilde aktarıldığında sonuçlar gerçek değerlere yakın olabilmektedir. Şev yenilmelerinin olduğu veya olabileceği bölgeler doğru tahmin edilebilmektedir. Bar vd. [50] yaptıkları üç boyutlu şev dizayn hesaplamalarında 24 metre yükseklik ve 40 metre genişlikte olan düzlemsel kaymayı hesaplamalarda ortaya çıkarabilmişlerdir (Şekil 12). Bu durum doğru model ve veri ile gerçeğe yakın sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 12. Üç boyutlu düzlemsel kayma [50].

Yersel 3 boyutlu lazer tarayıcılar, İHA'lar, sentetik açıklıklı radarlar (SAR) ve benzeri cihazlar açık veya yeraltı maden işletmelerinde deformasyon analizi, yüzey hareketlerinin hız tespiti, yüzey

modellemeleri, tasmanların yüzeye etkisi, üç boyutta şev stabilitesi gibi çeşitli çalışmalar ile stabilite problemlerinin çözümü sağlanabilmektedir [31,51–59] (Şekil 13).

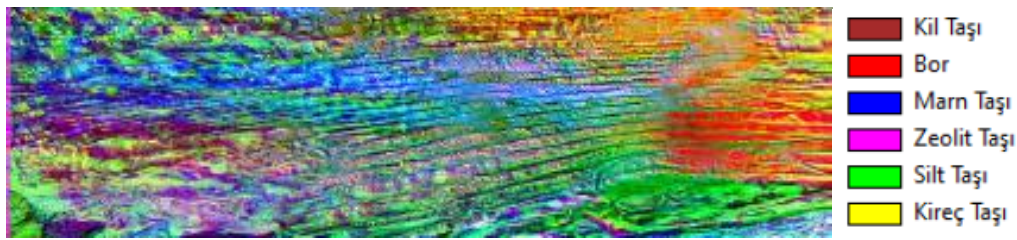


Şekil 13. Saha yersel radar görüntüleri ile yüzey deplasman tayini [60].

## 5. FARKLI ALANLARDA ÇALIŞMALAR

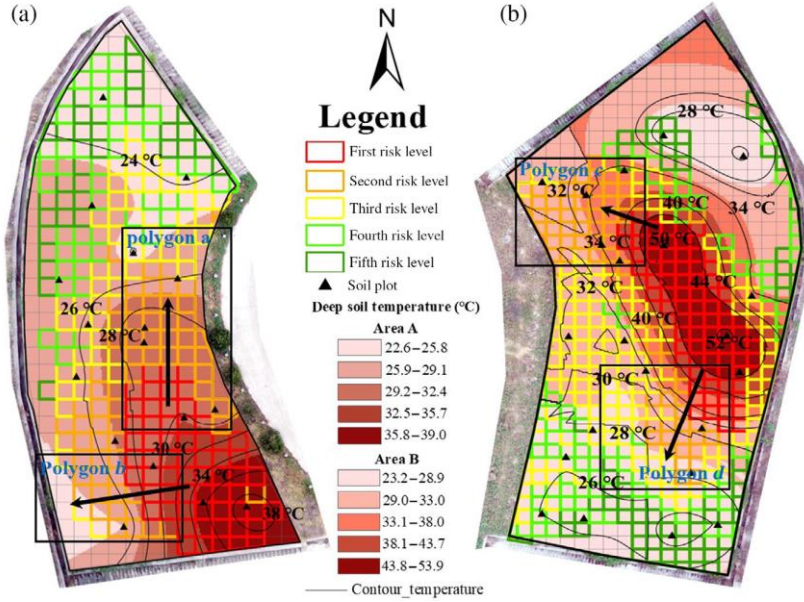
Madenlerin haritalandırılması, alan ve hacim hesaplamaları, uydu ve stabilite çalışmaları madencilikte üç boyuttaki veriler ile yapılan gerekli ana çalışmalardır. Bu çalışmaların yanında maden sahalarında ihtiyaçlar doğrultusunda farklı çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmalar da çoğunlukla İHA ve uydu gibi aynı cihazlar kullanılmaktadır.

Can vd. [12] Balıkesir Bigadiç bor madeni işletmesinde bor ve diğer maden türlerinin fotogrametrik yollarla tespiti için RGB, multispektral ve termal kameralar ile ortofotolar üretmişlerdir. Bu ortofotoların analizi için Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanarak maden türleri tespiti yapılmıştır. Zeolitik tuf ve bor tespitinde sırasıyla yaklaşık %87 ve %80 oranında doğruluk sağlanmıştır (Şekil 14).



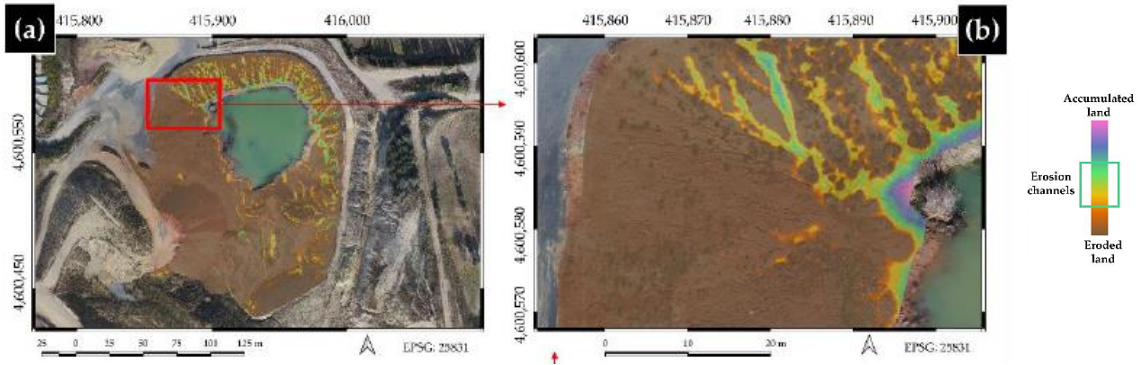
Şekil 14. Fotogrametrik yollarla maden türü tespiti [12].

Ren vd. [14] yaptıkları çalışmada Çin Wangzhuang kömür madeni atık sahasında rekültivasyon çalışmaları sonrası kendiliğinden yanma olabilecek bölgeleri İHA ortofotoları ve kullandıkları analiz metodu (Alfalfa Aboveground Biomass: AGB) yardımıyla değerlendirmişlerdir (Şekil 15). AGB metodu kendiliğinden yanma olan bölgeler ve zemin sıcaklığı artan bölgelerde yaklaşık %60 oranında tahmin başarısı sağladığı belirtilmiştir.



Şekil 15. Kömür atıkları kendiliğinden yanma bölgeleri tahmini [14].

Padro vd. [61] İspanya Terrassa şehri agrega malzemesi (kum ve çakıl) çıkarılan işletmede patlatma ve kazı gibi madencilik işlemleri sonucu yüzeylerde oluşan erozyonların, su kanalları ve havzalarının analizi için İHA görüntülerini kullanmışlardır. Şekil 16'da görülen, erozyon ve su kanalları oluşan bölgelerde şev stabilitesi için ek önlemler ve tasarım değişiklikleri önerilmiştir.



Şekil 16. Madencilik çalışmaları sonucu oluşan yüzey erozyonları tespiti [61].

Maden sahası rekültivasyon çalışmalarında ağaçların konumları ve sayıları tespiti son derece önemlidir. Rekültivasyon raporlama işlemlerinde ağaç ekiminin hangi bölgelerde ve sayıda yapılmasında fikir verecektir. Luo vd. [62] çalışmasında İHA ve geliştirdikleri algoritmaları kullanarak kömür madeni sahasında bulunan ağaçların sayısını ve konumlarını tespit ederek rekültivasyon işlemlerinde katkıda bulunmuşlardır (Şekil 17).



**Şekil 17.** Maden sahası ağaç sayısı tespiti [62].

Yukarıda belirtilen çalışmalar dışında İHA ile parça boyut analizi [11], yeraltı maden işlemlerinin yeryüzünde oluşturduğu fissür, çatlak ve kırıkların İHA termal kameraları ile tespiti [63], yeraltı kömür madeni havalandırma kuyularından sızan metan emisyonlarının İHA ile belirlenmesi [64], İHA oblik kameralarıyla maden sahası hacim değişikliğinin sürekli izlenmesi ve kontrolü [65], uydu görüntüleri, İHA ve yersel gözlemler ile maden atık barajında oluşabilecek sızmaların ve diğer negatif durumların tespiti [34] çalışmaları bu gibi çeşitli araştırmaların sayısını artırmaktadır. Çalışmaların çeşitliliği araştırma konularına ve ihtiyaçlara göre şekillenmektedir.

## 6. TARTIŞMA

Bu çalışma farklı cihazlarla elde edilen üç boyutlu verilerin madencilikteki çeşitli çalışmalarda kullanımı ve değerlendirmelerini içermektedir. Bu cihazların kullanımı günümüz teknolojisindeki gelişmeler sonucu gerekli hale gelmiştir. Çalışma süresi kısalığı, hassasiyet ve kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar.

İHA'lar uydulara kıyasla büyüklüklerine ve özelliklerine göre daha az oranda alan ölçümü sağlamaktadırlar. Madencilik çalışmaları çok büyük alanlarda yapılmadığı için İHA'lar genellikle yeterli olabilmektedir. Uydu çalışmaları daha çok büyük alansal gözlemler (hava, sıcaklık, nem vb.) için avantajlıdır.

GNSS ve Total Station cihazları nokta ölçümü için şev altı, şev üstü ve düzlüklerde rahatlıkla kullanılabilir. Ancak yersel ölçümler yoluyla bu ölçümler alındığı için daha fazla zamana ve cihaza ihtiyaç vardır. Tek bir İHA (RTK veya PPK destekli) ile bu ölçümler yapılabilmektedir. Fakat MAPEG'e verilen ölçümlerde yer kontrol noktaları istenmektedir. Yer kontrol noktalarında ise GNSS cihazlarına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla İHA ve GNSS cihazları birlikte kullanımı zorunlu olabilmektedir. Haritalama işlerinde genellikle bu iki cihaz kullanılmaktadır.

Yersel lazer tarayıcılar ve yersel radarlar stabilite problemi yaşayan açık ve yeraltı maden ocaklarında daha çok kullanılmaktadır. Deplasman verileri, hız ölçümü, alan ve hacim hesapları gibi alanlarda başarılı cihazlardır. Haritalamada İHA, GNSS ve Total Station gibi cihazlara kıyasla yatırım maliyetleri nedeniyle çok az kullanılmaktadır.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışma madencilik çalışmalarının gerekli unsurlarından olan İHA, GNSS, Total Station, yersel lazer tarayıcılar gibi cihazlarla veya uydu radar görüntülerinin işlenmesiyle elde edilen üç boyutlu verilerin kullanım alanları ve değerlendirmelerini içermektedir. Bu alanlardaki çeşitli uygulamaları ve madencilik çalışmalarına katkıları sunulmuştur.

Total Station ve GNSS cihazları madencilik haritalama işlerinde kullanılmaktadırlar. Stabilitate işlemlerinde alansal olarak çok fazla alanda çalışmadıkları için genellikle haritalama işlerinde yerlerini almaktadırlar. İHA'lara kıyasla küçük alanlardaki haritalama işlerinde kullanacak kişiler için tercih edilebilirler.

İHA'lar madencilik sahalarında çoğunlukla kullanılmaktadırlar. Bu cihazlar cm hassasiyetinde veriler oluşturabilmektedir. Günümüz koşullarında maden sahaları için cm hassasiyeti yeterli olmaktadır. Gelişen teknolojilerle mm hassasiyetinde veriler de elde edilebilmektedir. İHA ve GNSS cihazları ikilisi haritalama, şev stabilitesi, alan ve hacim hesaplarında kolaylık sağlamaktadırlar. Ayrıca verileri işlemek uzmanlık doğrultusunda kolay olmaktadır. Günümüz madencilik ve danışman şirketleri çalışmalarında kullanılması gerekli iki cihazı olarak tavsiye edilmektedir.

Yersel lazer tarayıcılar ve yersel radarlar stabilite çalışmalarında yer bulmaktadırlar. Ancak bu cihazlar İHA, GNSS ve Total Station gibi cihazlara kıyasla daha pahalı ve oldukça maliyetli oldukları için her maden sahasında bulunmamaktadırlar. Yüksek hassasiyet içeren stabilite çalışmaları ve metalik madenlerde önerilmektedirler.

Uzay radar verilerine (uydu) ulaşım kolay olmaktadır. Ancak verileri işlemek diğer cihazlara kıyasla daha zor olmaktadır. Algoritmalar oluşturmak ve işlemek uzmanlık gerektirdiği için diğer cihazlara nazaran uydu verileri daha az tercih edilmektedir. Bu sebeple bu konuda uzman kişiler tarafından kullanılması ve değerlendirilmesi önerilmektedir.

Madencilikte üç boyutlu (X, Y, Z yönünde) verileri ve bu verilere bağlı ölçümleri (sıcaklık, nem, eğim, vb.) elde etmek İHA, uydu, GNSS, Total Station, yersel lazer tarayıcılar ve sentetik açıklıklı radarlar vasıtasıyla olmaktadır. Bu cihazlar mühendislik çalışmalarının hassasiyetinde yüksek oranda katkıları sunmaktadırlar. Teknolojik gelişimler cihazların özelliklerini ve dolayısıyla hassasiyetini artıracaktır. Maden şirketlerinin bu teknolojik gelişmeleri takip etmesi ve kullanması son derece önemli ve gerekli olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada madencilik çalışmalarında üç boyutta veri üretebilen cihazların çeşitleri ve değişik kullanım alanları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Üç boyutta veri üretebilen cihazlarla yapılmış ve yapılacak çalışmalara katkı sağlayan ve sağlayacak tüm araştırmacılara teşekkür ederim.

## KAYNAKÇA

- [1] Kekeç, B., Bilim, N., Dündar, S., and Ghiloufi, D. (2018). Madencilik Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanımı. 2. Uluslararası Bilim. Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar

Sempozyumu (ISAS 2018), 174–178.

- [2] Villi, O. and Yakar, M. (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 4 (2), 73–100.
- [3] Özcan, O. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi. *Journal of Engineering and Earth Science*. 2 (1), 1–7.
- [4] Gül, Y. (2019). Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*. 62 99–112.
- [5] Kun, M. and Özcan, B. (2019). Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 21 (2), 554–564.
- [6] Kun, M. and Güler, Ö. (2019). İnsansız Görüntüleme Sistemleri ile Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Mermer Madenciliğinde Kullanımı. *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*. 21 (63), 1005–1013.
- [7] Şener, E. (2019). İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Olası Kaya Düşmelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı 3D Modellenmesi: Kasımlar Köyü (Isparta-Türkiye) Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 23 (2), 419–426.
- [8] 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.
- [9] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 4 (1), 19–23.
- [10] Yüksel, G. (2022). Use of Unmanned Aerial Vehicles in Open Mine Sites. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 4 (1), 29–37.
- [11] Arrieta, M. (2022). UAV photogrammetry for particle size distribution (PSD) and rock fill characterization. *GeoCalgary 2022 Reflect. Resorces*, 1–9.
- [12] Can, F., Polat, A.B., and Akçay, Ö. (2022). Açık Maden Ocağının Fotogrametrik Yöntem ile Geometrik ve Spektral Analizi: Bigadiç Bor Maden İşletmesi Örneği. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*. 22 (1), 175–186.
- [13] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., and Hu, Z. (2019). A review of UAV monitoring in mining areas: current status and future perspectives. *International Journal of Coal Science and Technology*. 6 (3), 320–333.
- [14] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Yang, X., Ding, B., and Chen, C. (2022). Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass. *Land Degradation and Development*. 33 (15), 2728–2742.

- [15] MAPEG (2022). "Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Harita Standartları", 15.12.2022, <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/MadenHarita>.
- [16] Netcad (2023). "MAPEG Haritaları", 17.03.2023, <https://wiki.netcad.com.tr/display/HELP/MAPEG>.
- [17] Liu, X., Zhu, W., Lian, X., and Xu, X. (2023). Monitoring Mining Surface Subsidence with Multi-Temporal Three-Dimensional Unmanned Aerial Vehicle Point Cloud. *Remote Sensing*. 15 (2).
- [18] Kweon, H., Seo, J. Il, and Lee, J.W. (2020). Assessing the applicability of mobile laser scanning for mapping forest roads in the republic of Korea. *Remote Sensing*. 12 (9), 1–14.
- [19] Onargan, T. and Küçük, K. (2014). Maden Mühendisleri için Ölçme Tekniği. 4. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:312, İzmir.
- [20] Pix4D (2023). "Drone-mapping streamlines surveys in mineral operations", 05.03.2023, <https://www.pix4d.com/blog/drone-mapping-streamlines-surveys-in-mineral-production-operations/>.
- [21] Şahin, V. and Yılmaz, H.M. (2021). Hacim Hesaplarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 3 (2), 36–48.
- [22] Seki, M., Tiryakioğlu, İ., and Uysal, M. (2017). Farklı Veri Toplama Yöntemleriyle Yapılan Hacim Hesaplamalarının Karşılaştırılması. *Geomatik Dergis*. 2 (2), 106–111.
- [23] Yakar, M., Yılmaz, H.M., and Mutluoğlu, Ö. (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması. 12. Türkiye Harit. Bilim. ve Tek. Kurult., TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara. 1–5.
- [24] Ozdogan, M.V. and Deliormanli, A.H. (2016). Monitoring of Landslide at Tuncbilek Open Pit Stripping Area with Terrestrial Laser Scanner and Optical Images. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*.
- [25] Turner, R.M., Bhagwat, N.P., Galayda, L.J., Knoll, C.S., Russell, E.A., and MacLaughlin, M.M. (2018). Geotechnical characterization of underground mine excavations from UAV-captured photogrammetric & thermal imagery. *ARMA* 18, 1–11.
- [26] Karasaka, L. and Beg, A.A.R. (2021). Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Farklı Geometrik Yapıdaki Özelliklerin Modellenmesi. *Geomatik*. 6 (1), 54–60.
- [27] Ozdogan, M. V and Deliormanli, A.H. (2022). Yersel Lazer Tarayıcıların Yeraltı Madencilik Faaliyetlerinde Kullanımı : Örnek bir Yeraltı Metalik Maden Uygulaması. *MT Bilimsel*. 1 (21), 13–19.
- [28] Nguyen, L.Q., Dang, M.T., Bui, L.K., Ngoc, Q.B., and Tran, T.X. (2023). Application of Unmanned Aerial Vehicles for Surveying and Mapping in Mines: A Review. 1–22.



- [29] Rocamora, B.M., Lima, R.R., Samarakoon, K., Rathjen, J., Gross, J.N., and Pereira, G.A.S. (2023). Oxpecker: A Tethered UAV for Inspection of Stone-Mine Pillars. *Drones*. 7 (2), 1–26.
- [30] Steenkamp, N.C., Goosen, S.L., and Bouwer, P.J. (2020). Satellite applications in diamond exploration and mine monitoring. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 120 (10), 575–580.
- [31] Bayer, B., Simoni, A., Schmidt, D., and Bertello, L. (2017). Using advanced InSAR techniques to monitor landslide deformations induced by tunneling in the Northern Apennines, Italy. *Engineering Geology*. 226 (May), 20–32.
- [32] Ostapenko, S.P. and Mesyats, S.P. (2022). Recovery Dynamics of Mining-Altered Natural Ecosystems by Satellite Data. *Journal of Mining Science*. 58 (5), 839–848.
- [33] Kotaridis, I. and Lazaridou, M. (2020). Satellite imagery segmentation in lignite mine areas. *Eighth Int. Conf. Remote Sens. Geoinf. Environ.*, 1–15.
- [34] Wan, Y., Zhong, Y., Ma, A., Hu, X., and Wei, L. (2023). Satellite-air-ground integrated multi-source earth observation and machine learning processing brain for tailings reservoir monitoring and rapid emergency response. *Land Degradation & Development*. (November 2022), 1–19.
- [35] Poyraz, F., Gül, Y., and Duymaz, B. (2020). Determination of deformations by using the PSI technique at a common dump site of three different open-pit marble mines in Turkey. *TURKISH JOURNAL OF EARTH SCIENCES*. 29 (6), 1004–1016.
- [36] Sadavarte, P., Pandey, S., Maasackers, J.D., Lorente, A., Borsdorff, T., Denier van der Gon, H., et al. (2021). Methane Emissions from Superemitting Coal Mines in Australia Quantified Using TROPOMI Satellite Observations. *Environmental Science and Technology*. 55 (24), 16573–16580.
- [37] Antonielli, B., Sciortino, A., Scancella, S., Bozzano, F., and Mazzanti, P. (2021). Tracking deformation processes at the Legnica Glogow copper district (Poland) by satellite insar—i: Room and pillar mine district. *Land*. 10 (6), 1–20.
- [38] Solari, L., Montalti, R., Barra, A., Monserrat, O., Bianchini, S., and Crosetto, M. (2020). Multi-temporal satellite interferometry for fast-motion detection: An application to salt solution mining. *Remote Sensing*. 12 (23), 1–21.
- [39] Balaniuk, R., Isupova, O., and Reece, S. (2020). Mining and tailings dam detection in satellite imagery using deep learning. *Sensors (Switzerland)*. 20 (23), 1–26.
- [40] Kabuya, J.M., Simon, R., Carvalho, J., and Haviland, D. (2020). Numerical back-analysis of highwall instability in an open pit: a case study. *Slope Stab.* 2020, pp. 937–952.
- [41] Collin, J.G., Stark, T.D., Lucarelli, A., Taylor, T.P., and Berg, R.R. (2021). Stability and Stress-Deformation Analyses of Reinforced Slope Failure at Yeager Airport. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 147 (3), 1–11.

- [42] Javankhoshdel, S., Cami, B., Yacoub, T., Ma, T., and Abolfazlzadeh, Y. (2021). Multi Modal failure mechanism in open pit mines using LEM and FEM approaches. *Arma* 21, 1–5.
- [43] Bar, N., McQuillan, A., Graaf, P. de, and Ndlovu, X. (2022). Three-Dimensional Slope Stability Analysis for Late-Stage Slope Design Optimization Options Trade-off Studies at Venetia Diamond Mine. *Slope Stab.* 2022, Tucsonpp. 1–9.
- [44] Bar, N., McQuillan, A., Ma, T., Wai, D., Hammah, R., Corkum, B., et al. (2023). A geotechnical evaluation of the Cumba Pit Slope Failure, Dominican Republic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 1124 (1), 1–12.
- [45] Cobián, J.C., Bautista, M.M., Bar, N., and Hammah, R. (2022). 3D Limit Equilibrium Analysis and Risk Appraisal of Hondo Waste Rock 3D Limit Equilibrium Analysis and Risk Appraisal of Hondo Waste Rock Stockpile Designs. *Rocscience Africa Conf. 2022, Accra, Ghanapp.* 1–11.
- [46] McQuillan, A. and Bar, N. (2023). The necessity of 3D analysis for open-pit rock slope stability studies: Theory and practice. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* 123–2 (February), 63–69.
- [47] Bar, N. and McQuillan, A. (2018). 3D limit equilibrium slope stability analysis for anisotropic and faulted rock masses in Australian coal and iron ore mines. *ISRM Int. Symp. - 10th Asian Rock Mech. Symp. ARMS 2018, Singapore.*
- [48] Bar, N. and Weekes, G. (2017). Directional Shear Strength Models in 2D And 3D Limit Equilibrium Analyses To Assess The Stability Of Anisotropic Rock Slopes in The Pilbara Region Of Western Australia. *Journal and News of the Australian Geomechanics Society.* 52 (4), 91–104.
- [49] McQuillan, A., Bar, N., and Yacoub, T. (2022). On the comparison of 2D and 3D stability analyses of an anisotropic slope. *Evol. Geotech - 25 Years Innov.,* 295–306.
- [50] Bar, N., Kostadinovski, M., Tucker, M., Byng, G., Rachmatullah, R., Maldonado, A., et al. (2020). Pit slope failure evaluation in near real time using UAV photogrammetry and 3D limit equilibrium analysis. *Australian Geomechanics Journal.* 55 (2), 33–47.
- [51] Sertabipoğlu, Z., Özer, Ü., and Tunçdemir, H. (2014). InSAR Verilerinin Madencilikte Kullanımı. 5. Uzak Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2014), İstanbul, 1–10.
- [52] Li, Z., Wang, J., Li, L., Wang, L., and Liang, R.Y. (2015). A case study integrating numerical simulation and GB-InSAR monitoring to analyze flexural toppling of an anti-dip slope in Fushun open pit. *Engineering Geology.* 197 20–32.
- [53] Ozdogan, M.V. and Deliormanli, A.H. (2018). Yersel Lazer Tarayıcı ile Yeraltı Galerisinde Meydana Gelen Deformasyonların Belirlenmesi. *Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering.* 20 (59), 663–675.
- [54] Ozdogan, M.V. and Deliormanli, A.H. (2019). Landslide detection and characterization using

- terrestrial 3D laser scanning (LIDAR). *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 16 (4), 379–392.
- [55] Ćwiakala, P., Gruszczyński, W., Stoch, T., Puniach, E., Mrocheń, D., Matwij, W., et al. (2020). UAV applications for determination of land deformations caused by underground mining. *Remote Sensing*. 12 (11), 1–25.
- [56] Puniach, E., Gruszczyński, W., Stoch, T., Mrocheń, D., Ćwiakala, P., Sopata, P., et al. (2023). Determination of the coefficient of proportionality between horizontal displacement and tilt change using UAV photogrammetry. *Engineering Geology*. 312 (November 2022), 1–16.
- [57] Lashgari, M. and Ozturk, C.A. (2022). Slope failure and stability investigations for an open pit copper mine in Turkey. *Environmental Earth Sciences*. 81 (5), 1–17.
- [58] Li, J., Li, B., He, K., Gao, Y., Wan, J., Wu, W., et al. (2022). Failure Mechanism Analysis of Mining-Induced Landslide Based on Geophysical Investigation and Numerical Modelling Using Distinct Element Method. *Remote Sensing*. 14 (23), 6071.
- [59] Zhang, Y., Lian, X., Ge, L., Liu, X., Du, Z., Yang, W., et al. (2022). Surface Subsidence Monitoring Induced by Underground Coal Mining by Combining DInSAR and UAV Photogrammetry. *Remote Sensing*. 14 (19), 1–14.
- [60] Özdemir, M. (2021). Anizotropik Davranış Gösteren Metamorfik Kaya Kütlelerinde Şev Stabilitesi Analizleri, Doktor Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü, Kütahya.
- [61] Padró, J.-C., Cardozo, J., Montero, P., Ruiz-Carulla, R., Alcañiz, J.M., Serra, D., et al. (2022). Drone-Based Identification of Erosive Processes in Open-Pit Mining Restored Areas. *Land*. 11 (2), 1–13.
- [62] Luo, M., Tian, Y., Zhang, S., Huang, L., Wang, H., Liu, Z., et al. (2022). Individual Tree Detection in Coal Mine Afforestation Area Based on Improved Faster RCNN in UAV RGB Images. *Remote Sensing*. 14 (21), 5545.
- [63] Zhao, Y., Sun, B., Liu, S., Zhang, C., He, X., Xu, D., et al. (2021). Identification of mining induced ground fissures using UAV and infrared thermal imager: Temperature variation and fissure evolution. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 180 (August), 45–64.
- [64] Andersen, T., Vinkovic, K., de Vries, M., Kers, B., Necki, J., Swolkien, J., et al. (2021). Quantifying methane emissions from coal mining ventilation shafts using an unmanned aerial vehicle (UAV)-based active AirCore system. *Atmospheric Environment: X*. 12 (May), 100135.
- [65] Cao, D., Zhang, B., Zhang, X., Yin, L., and Man, X. (2023). Optimization methods on dynamic monitoring of mineral reserves for open pit mine based on UAV oblique photogrammetry. *Measurement*. 207 (November 2022), 112364.