

Madencilik Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanımı

Bilgehan Kekeç^{1*}, Niyazi Bilim², Sertaç Dündar³, Dhikra Ghiloufi⁴

¹Maden Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

²Maden Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

³Maden Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

⁴Maden Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

*Corresponding author: kekeç@selcuk.edu.tr

+Speaker: Bilgehan Kekeç

Presentation/Paper Type: Oral

Özet – Teknoloji günümüzde her alanda kullanılmaktadır. İnsansız Hava Araçlarının da çeşitli sektörlerde (İHA) kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. İlk zamanlarda askeri amaçlar için kullanılan İHA teknolojisi, günümüzde jeodezi, tarım, meteoroloji, iletişim, acil durum yönetimi, trafik yönetimi, güvenlik, taşıma ve madencilik gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda, dünyada madencilik faaliyetlerinde, maden üretim planlaması, patlatma verim analizleri, ekipman konumlarının tespiti, cevher üretim ve stok hacimlerinin hassas hesaplanması, arazi uygulaması, ocaktaki değişimlerin izlenmesi ve şev duraylılıklarının takip edilmesi gibi bir çok alanda kullanılabilirlerdir. Madencilik sektöründe zaman kaybı ve gereksiz maliyet karlılığı doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Gereksiz zaman kaybını önlemek ve maliyet kontrolünü sağlayabilmek adına İHA ile denetim etkili bir yöntem olabilmektedir. Madencilik alanında İHA'ların kullanımı sayesinde madenin havadan izlenmesi ve yönetilmesi geleneksel yöntemlere nazaran önemli ölçüde zaman tasarrufu ve ölçüm hassasiyeti sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı madencilik alanında İHA'ların kullanımının faydalarını anlatmak ve kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktır.

Anahtar kelimeler – Madencilik, İnsansız hava araçları, Arazi ölçümleri

I. GİRİŞ

İnsansız Hava Araçlarına (İHA) yönelik talep ve çalışmalar tüm dünyada gün geçtikçe artmaktadır. İnsansız Hava Araçları (İHA) veya Uzaktan Kumandalı Uçaklar olarak da bilinen drone'lar, ilk olarak askeri alanda kullanmak amacıyla yüksek riskli askeri bölgelerdeki silah ve gözetleme araçları olarak geliştirilmiştir ([1]-[2]). Daha sonra, teknolojik ilerleme ile İHA'lar için çeşitli disiplinlerde daha geniş bir kullanım alanında olanak sağlamıştır ve 1970'lerde, bu aygıtlar bilim adamları ve araştırmacılar tarafından ilgi görmeye başlamıştır [3]. Günümüzde, bu teknolojinin hızla gelişmesiyle, sivil kullanıcılar için daha uygun fiyatlı ve yaygın olarak kullanılabilir hale geldikçe, hava fotoğrafçılığı, haritalama ve bilimsel veri toplama gibi sivil ve ticari amaçlar arasında da geniş bir uygulama alanları oluşmuştur ([3],[4]-[5]).

Günümüzde, drone'lar tarım [6], arkeoloji ([7],[8]-[9]), ormancılık ([10],[11],[12],[13]-[14]), vahşi yaşam araştırmaları ([15],[16],[17],[18]-[19]), habitat çalışmaları ([20],[21],[22]-[23]), peyzaj planlaması [24], çevresel gözetleme ([25],[26],[27],[28]-[29]), doğal afetler ([30]-[31]), trafik yönetimi [32], taşımacılık [33] enerji [34], jeoloji ([35],[36]-[37]), hidroloji ([38]-[39]), inşaat mühendisliği ([40],[41],[42]-[43]), geomatik [44] ve madencilik ([45],[46],[47],[48],[49]-[50]) 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 ([1],[2]-[5]).

Drone'lar, esnek tasarım ve hafif ağırlığı, veri toplama hızları, düşük işletme maliyetleri, uzun uçuş süresi, çevreye

uyumlu çalışma ve otomatik iş akışları gibi teknik özellikleriyle ([2],[3],[46]-[51]) yersel ve havadan algılama (uydu ve hava fotoğrafçılığı, fotogrametri ve yersel lazer tarama sistemleri) üzerinde önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca, drone'lar yersel ve havadan algılama arasındaki ölçek boşluğunu aşabilmekte, alçak irtifalardan yatay, eğimli ve düşey yüzeyleri belgeleme esnekliği ile çoklu veri ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesiyle örnekleme olasılığı sağlamaktadır ([2],[52]-[53]).

Günümüzde, madencilik endüstrisinin dijital dönüşümünün bir sonucu olarak, madencilik firmaları, madencilik operasyonlarının incelenmesi ve planlanmasının güvenliğini, hızını ve verimliliğini arttırmak için İHA teknolojileri kullanmaktadır ([54]-[55]). Aslında, İHA'lar madencilik endüstrisinin çeşitli uğraştırıcı yönlerinde, bant konveyörleri ve elektrik hava hatlarını denetleme [54], güncel madencilik veri tabanları, patlatma optimizasyonu, parçalanma dağılımı araştırmaları, stok hacim ölçümleri, maden atık havuzları gözetleme ve kamyon ile ekipmanların takibinde önemli bir rol oynamaktadır. Bundan başka, basamaklar ve şevlerin stabilitesini ve üretim miktarlarını takip etmek için, İHA'lar dakik ve düzenli görüntüler ve maden ocaklarının fotogrametrik 3B modellerinin elde edilmesini sağlamaktadır [48].

Birçok araştırmacı, İHA'ların madencilik endüstrisinin dijital dönüşümündeki önemini vurgulamıştır ([45],[46],[47],[48],[49],[50],[52],[53],[55],[56],[57],[58],[59],[60]-[61]). Pek çok çalışmada, hem açık ocakları ve çevredeki bölgeleri haritalamak ve gözetlemek için hem de üçboyutlu modeller oluşturmak için, İHA'lar etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, İHA'ların diğer kullanım alanlarının yanı sıra madencilik alanında da kullanılabilirliği incelenmiştir. Dünyada madencilik faaliyetlerinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamış ancak ülkemizde yeni kullanılmaya başlayan İHA'ların madencilik sektöründeki kullanım alanları ve beraberinde getirdiği avantajları vurgulanmıştır.

II. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İnsansız Hava Araçları, manuel uçuş sağlayan veya önceden belirlenen bir uçuş planı üzerinden otonom hareket eden ve görevi tamamladıktan sonra kalkış noktasına geri dönen hava araçlarıdır. Drone olarak da isimlendirilen İnsansız Hava Araçları, uçuş kabiliyetlerine göre sabit kanatlı ve döner kanatlı olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.). Büyük alanların taranmasında genellikle sabit kanatlı İHA'lar daha küçük alan taramalarında ise döner kanatlı İHA'lar kullanılmaktadır.



Şekil 1. Döner kanatlı ve sabit kanatlı İHA

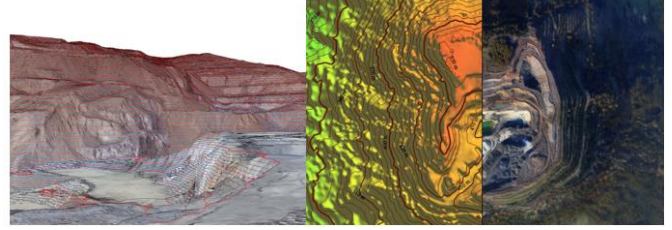
III. MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE İHA KULLANIM ALANLARI

İnsansız hava aracı ile havadan görüntüleme ve ölçüm sistemleri sayesinde her türlü arazi şartlarında hem hassas hem kısa zaman içerisinde maden işletmelerinde istenilen veriler toplanabilmektedir. İHA'lar birkaç saat içinde istenilen verilere ulaşım imkanı sağlarken, geleneksel yöntemler ile yapılan ölçümlerde bu verilere ulaşmak oldukça uzun süre gerektirmektedir. Ayrıca İHA'lar tarafından oluşturulan veriler kapsamlıdır ve birçok yönden analiz edilebilmektedir. Günümüzde insansız hava araçları ile yapılan uçuşlar sonrasında elde edilen verilerle yüksek hassasiyetli 3 boyutlu arazi modelleri oluşturulabilmektedir. Madencilik alanında ise açık işletme maden haritalarının çıkarılması, Jeolojik haritaların oluşturulması, uzaktan algılama metodu ile maden tespiti, stok ve atık sahalarındaki yığınların hacminin hesaplanması, üretim haritalarının yapılması ve değişimlerinin kolayca belirlenmesi, patlatma öncesi ve sonrası durumların analizi ve optimum patlatma veriminin belirlenmesi, cevher üretimlerinin zamana bağlı olarak hesaplanması ve analizleri gibi sektörün önemli parametrelerinin takibinde zaman ve maddi tasarruf sağlayarak ulaşmamızı sağlamaktadır.

Madenlerde üretimi yönlendirmek ve ekonomik dengeleri sağlayabilmek için sürekli kontrol gerekmektedir. Hazırlık aşamaları, tasarım aşamaları, üretim aşamaları, stok hacimleri denetlenmesi önemli işlemlerdir. Tüm sahanın ve stok hacimlerinin denetimi geleneksel yöntemlerle hem zaman alıcı hem de oldukça zahmetlidir. Bu sebeple teknolojinin gelişimiyle birlikte elde edilen insansız hava araçları birçok sektörde olduğu gibi madencilik işlerinde de kullanılabilir olmuştur.

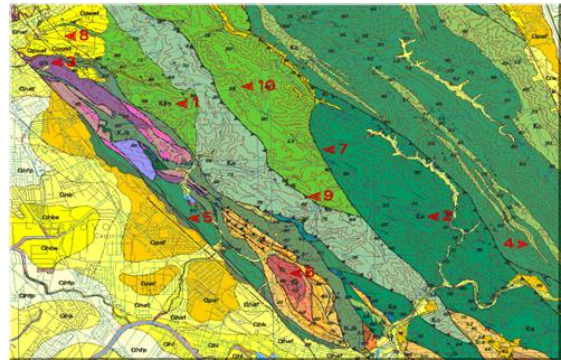
Açık işletme ya da diğer adıyla yer üstü madencilik faaliyetlerinde yıllık üretimler, önceden planlanarak ve projelendirilerek rapor edilmektedir. Ayrıca ocak tasarımları uygun olmak zorundadır ve ocak içerisinde oluşturulacak yeni tasarımların sürekli güncel tutulması ve haritalanması

gerekmektedir. Yıllık üretim planlarının ölçekli bir şekilde haritalanması, tasarım planlarının haritalar üzerinde gösterilmesi, sürekli değişken olan ocak dizaynının haritalarının güncellenmesi klasik yöntemler ile zahmetli zaman alıcı ve hassasiyeti düşük olabilmektedir. Ancak insansız hava aracı kullanılarak yapılan uçuşlar neticesinde 10 hektarlık bir sahanın ölçümü 15 dakika gibi kısa bir sürede fotoğraflanabilmektedir. Elde edilen fotoğraflar bilgisayar programına aktarılıp eşleştirildikten sonra eş yükselti eğrileri çizilerek ocağın öncesinin ve sonrasının sürekli olarak takip edilebilir olması sağlanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Maden ocaklarının İHA ile modellenmesi

Jeolojik haritalar çok değişik amaçlara yönelik olarak yapılan ve inşaat, maden ve jeoloji mühendislerinin faydalandığı önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır. Bölge jeolojisini tanımlamak amacıyla yapılan jeolojik haritalama; bilgi, tecrübe ve zaman gerektiren bir işdir. Teknolojik gelişmeler ile gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan insansız hava araçları, üzerlerine monte edilen yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde etüt yapılan bölge üzerinde yapılan uçuşlar ve alınan fotoğraflar ile yapılan analizler neticesinde jeolojik haritalar oluşturulabilmektedir (Şekil 3). Yeni teknoloji İHA'lar, zemine daha yakın uçabildikleri için hava ölçümleri ve fotoğrafçılığı için çok geliştirilmiş veri çözünürlüğü sağlayabilmektedir. İHA'ların bu özellikleri sayesinde, maden mostralarının belirlenmesi ve işaretlenmesi İHA'lar ile sağlanabilmekte ve muhtemel mostral haritalar üzerinde yüksek hassasiyetle işaretlenerek analiz kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 3. İHA'lar ile belirlenmiş bölgenin jeolojik haritası

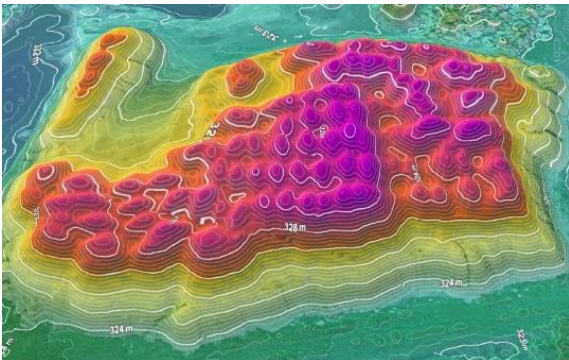
Madencilik sektöründe üretim, ocak tasarımı ve duraylılığı, iş sağlığı ve güvenliği ve yıllık üretim planları gibi birçok nedenden dolayı süreklilik arz etmektedir. Üretim fazlalıkları stok alanlarında muhafaza edilmekte ve gerek zenginleştirme işlemleri için gerekse pazara sunulmak amacıyla stok alanlarından işletmenin günlük kapasitesine göre tedarik

edilerek işleme tabi tutulmaktadır. Sahada üretimin, stok sahasının ve satışın kontrolü için sürekli stok hacimleri ölçümleri yapılmaktadır. Özellikle taş ocakları gibi farklı tane boyutlarında satışa sunulan ürünlerin farklı alanlarda stoklanması ve bu stokların hacimlerinin ayrı ayrı ölçülerek raporlanması klasik yöntemler ile hem zahmetli hem zaman alıcı hem de düşük hassasiyette olabilmektedir. Bu zahmet ve zaman kaybını önlemek amacıyla, İHA'lar ile stok sahasında uçuşa hazırlanarak uçuş gerçekleştirilmekte ve model oluşturulmaktadır (Şekil 4). İHA'lar üzerinde yer alan çok bantlı kameralar sayesinde insan gözünün algılayamadığı değişik dalga boyunda görüntüleri, yüksek çözünürlüklü fotoğrafları ve 4 K videoları çekilerek çeşitli algoritma hesaplamaları ile düzenlenerek eş yükselti eğrileri elde edilmekte ve bu eğrilerden çok hassas stok yığın küme hesaplamaları yapılmaktadır. Bu stok hacimlerinin hesaplanması işlemi yüksek kalite ve hassasiyete sahip olduğu gibi, düşük maliyet ve seri kontrol olanağı sağlamaktadır.



Şekil 4. İHA ile yapılan uçuş neticesinde oluşturulan stok modelleri

Maden sahalarındaki kayaç birimleri heterojen yapı sergilemektedir. Aynı üretim sahasında mermer madenleri için bir yönde farklı renk, doku, desen hakimken diğer yönde farklı özellikler elde edilebilmektedir. Aynı şekilde metalik madenlerde ocağın farklı bölgelerinde farklı tenörde cevher oluşumları izlenebilmektedir (Şekil 5). Maden sahasının özelliğine göre renk, desen, doku tenör haritalarının belirlenerek dijital haritalar şeklinde işlenmesi önem arz etmektedir. Zira özellikle metalik maden yataklarında dönemsel olarak metal fiyatlarındaki değişimler ekonomik tenör oranlarını da değiştirebilmektedir. Bu da, tenör haritaları önceden belirlenen ocaklarda, üretime yön vermeyi kolaylaştırmaktadır.



Şekil 5. Tenör dağılım modeli

Üretimin sürekli takibi, hangi bölgede ne kadar üretim yapıldığının belirlenmesi İHA'lar ile oluşturulan maden

haritalarının öncesi ve sonrasının kıyaslanması ile mümkün olabilmektedir (Şekil 6). Yine aynı şekilde baraj, yol inşaatı gibi yarma ve dolgu gerektiren işlemlerde çalışma sahasının öncesi ve sonrası uçuşlardan elde edilen veriler ışığında hareket kabiliyeti artırılabilir.



Şekil 6. İHA ile maden ocağı ve ocak yollarının kontrolü

Madencilik faaliyetlerinde üretim yöntemlerinin en ekonomik olanı delme patlatma yöntemleridir. İyi tasarlanmış bir patern ile düşük maliyet ile istenilen tane boyutunda ve kapasitede üretim yapılabilmektedir. Yapılan bir üretim patlatmasından beklenen, istenilen tane boyutunda, en optimum hacmin ana kayadan koparılmış olmasıdır. Patlatmanın verimliliği özgül şarj parametresi ile tanımlanabilir. Özgül şarj kg/m^3 olarak tanımlanır. Yani 1 m^3 kayayı ana kayadan koparabilmek için gerekli olan patlayıcı miktardır. Kullanılan patlayıcı miktarı doğrudan maliyeti etkilediğinden tasarımın sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Ancak bu kontrol işlemi, sahadan çeşitli parametrelerin toplanması ve sayısal hesaplamalar ile hesaplanabilmektedir. Sahadan verilerin toplanması ise zor ve zahmetli işlemlerdir.

Günümüz teknolojisinde İHA'lar, patlatma öncesi ve sonrası durumların analizi ve optimum patlatma veriminin belirlenmesini, cevher üretimlerinin zamana bağlı olarak hesaplanması ve analizleri gibi sektörün önemli parametrelerinin takibinde zaman ve maddi tasarruf sağlayarak ulaşmamızı sağlamaktadır. İHA'lar ile yapılan uçuşlar sayesinde, çekilen fotoğraflar üzerinden milyonlarca bağlantı noktası üretilebilmektedir. Bu noktalar ile çok yüksek hassasiyetli katı modeller oluşturulabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Patlatma bölgesinin katı modeli

Oluşturulan 3B modelde öncesi/sonrası görüntüler üzerinden patlatmanın etkinliği belirlenebilmekte ve ayrıca patlatmanın etkinliği eş yükselti eğrileri üzerinden kontrol

edilerek, hareket eden kütlelerin hacim değeri saptanana bilmektedir. Bu işlem ile kontrollü olarak bir hesaplama yapılabilmekte ve ilgili patlatma işleminde kullanılan patlayıcı madde miktarının elde edilen hacme oranıyla özgül şarj miktarı parametresine doğrudan ulaşılabilmektedir.

IV. SONUÇLAR

İHA'ların ülkemizde madencilik alanında kullanımına dair çalışmaları yok denecek kadar azdır. Madencilik sektöründe, zamandan tasarruf ve ölçüm hassasiyeti, üretim ve ekipman kontrolü, maden haritalarının oluşturulması çok önemli konulardır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak madencilik alanında büyük öneme sahip bu konuların takip sürekliliği üretim maliyetlerini doğrudan ekleyecektir. Madencilik alanında İHA'ların kullanımı sayesinde madenin havadan izlenmesi ve yönetilmesi geleneksel yöntemlere nazaran önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlamaktadır. Aynı zamanda, ölçüm hassasiyeti de üst düzeydedir.

İnsansız hava aracı ile havadan görüntüleme ve ölçüm sistemleri sayesinde her türlü arazi şartlarında hem hassas hem de kısa zaman içerisinde maden işletmelerinde istenilen veriler toplanabilmektedir. İHA'lar birkaç saat alan verileri üretebilirken, geleneksel yöntemleri kullanan kişiler gün, hafta veya iş yoğunluğuna göre aylara ihtiyaç duyarlar. İHA'ların madencilikte kullanımlarının bu avantajlarının yanı sıra, İHA tarafından oluşturulan veriler kapsamlıdır, hassastır ve dijital aktarım olanağı da sağladığından birçok yönden analiz edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Vacca, A., Onishi, H., 2017, Drones: military weapons, surveillance or mapping tools for environmental monitoring? The need for legal framework is required, Transportation Research Procedia 25, 51–62.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Küresel Çevre Uyarı Servisi (GEAS), 2013, A new eye in the sky: Eco-drones, Environmental Development 7, 155–164.
- Watts, A.C., Ambrosia, V.G., Hinkley, E.A., 2012, Unmanned Aircraft Systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use, Remote Sensing 4, 1671-1692.
- CielMap, 2012, Low-cost unmanned aircraft systems for development projects: a quiet revolution. Presentation, Sciences Po Paris.
- Bernaau, K., 2016, Drones: The emerging era of unmanned civil aviation, Collected Papers of Zagreb Law Faculty 66(2-3), 223-248.
- Näsi, R., Viljanen, N., Kaivosoja, J., Alhonoja, K., Hakala, T., Markelin, L., Honkavaara, E., 2018, Estimating Biomass and Nitrogen Amount of Barley and Grass Using UAV and aircraft based spectral and photogrammetric 3D features, Remote Sensing 10, 1082.
- P.U., Pajas, J.A., Pérez-Cabello, F., Redón, J.V., Lebrón, B.E., 2018, The potential of drones and sensors to enhance detection of archaeological cropmarks: A comparative study between multi-spectral and thermal imagery, Drones 2, 29.
- Calleja, J.F., Pagés, O.R., Díaz-Álvarez, N., Peón, J., Gutiérrez, N., Martín-Hernández, E., Relea, A.C., Melendi, D.R., Álvarez, P.F., 2018, Detection of buried archaeological remains with the combined use of satellite multispectral data and UAV data, Int J Appl Earth Obs Geoinformation 73, 555-573.
- Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., 2016, Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain), Journal of Archaeological Science: Reports 5, 509-520.
- Bagaram, M.B., Giulirelli, D., Chirici, G., Giannetti, F., Barbatı, A., 2018, UAV remote sensing for biodiversity monitoring: Are forest canopy gaps good covariates?, Remote Sensing 10, 1397.
- Dash, J.P., Pearse, G.D., Watt, M.S., 2018, UAV multispectral imagery can complement satellite data for monitoring forest health, Remote Sensing 10, 1216.
- Iizuka, K., Watanabe, K., Kato, T., Putri, N.A., Silsigia, S., Kameoka, T., Kozan, O., 2018, Visualizing the spatiotemporal trends of thermal characteristics in a Peatland plantation forest in Indonesia: Pilot test using Unmanned Aerial Systems (UASs), Remote Sensing 10, 1345.
- Lehmann, J.R.K., Nieberding, F., Prinz, T., Knoth, C., 2015, Analysis of Unmanned Aerial System-Based CIR Images in Forestry—A new perspective to monitor pest infestation levels, Forests 6, 594-612.
- Shin, P., Sankey, T., Moore, M.M., Thode, A.E., Evaluating Unmanned Aerial Vehicle images for estimating forest canopy fuels in a ponderosa pine stand, Remote Sensing 10, 1266.
- Evans, L.J., Jones, T.H., Pang, K., Saimin, S., Goossens, B., 2016, Spatial ecology of Estuarine Crocodile (*Crocodylus porosus*) nesting in a fragmented landscape, Sensors 16, 1527.
- Bonnin, N., Van Andel, A.C., Kerby, J.T., Piel, A.K., Pinteá, L., Wich, S.A., 2018, Assessment of Chimpanzee nest detectability in Drone-Acquired images, Drones 2, 17.
- Collins, M.D., 2018, Using a drone to search for the Ivory-Billed Woodpecker (*Campephilus principalis*), Drones 2, 11.
- Rey, N., Volpi, M., Joost, S., Tuia, D., 2017, Detecting animals in African Savanna with UAVs and the crowds, Remote Sensing of Environment 200, 341-351.
- Kellenberger, B., Marcos, D., Tuia, D., 2018, Detecting mammals in UAV images: Best practices to address a substantially imbalanced dataset with deep learning, Remote Sensing of Environment 216, 139-153.
- Palace, M., Herrick, C., DelGrecó, J., Finnell, D., Garnello, A.J., McCalley, C., McArthur, K., Sullivan, F., Varner, R.K., 2018, Determining subarctic peatland vegetation using an Unmanned Aerial System (UAS), Remote Sensing 10, 1498.
- Alvarez-Taboada, F., Paredes, C., Julián-Pelaz, J., 2017, Mapping of the Invasive Species *Hakea sericea* Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and WorldView-2 Imagery and an Object-Oriented Approach, Remote Sensing 9, 913.
- Van Iersel, W., Straatsma, M., Addink, E., Middelkoop, H., 2018, Monitoring height and greenness of non-woody floodplain vegetation with UAV time series, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 141, 112–123.
- Gray, P.C., Ridge, J.T., Poulin, S.K., Seymour, A.C., Schwantes, A.M., Swenson, J.J., Johnston, D.W., 2018, Integrating drone imagery into high resolution satellite remote sensing assessments of estuarine environments, Remote Sensing 10, 1257.
- Onitsuka, K., Ninomiya, K., Hoshino, S., 2018, Potential of 3D visualization for collaborative rural landscape planning with remote participants, Sustainability 10, 3059.
- Hammoud, B., Faour, G., Ayad, H., Ndagijimana, F., Jomaah, J., 2018, Performance analysis of detector algorithms using Drone-Based Radar Systems for oil spill detection, Proceedings 2, 370.
- Ferrara, C., Lega, M., Fusco, G., Bishop, P., Endreny, T., 2017, Characterization of terrestrial discharges into coastal waters with thermal imagery from a hierarchical monitoring program, Water 9, 500.
- Gonçalves, J.A., Henriques, R., 2015, UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 104, 101–111.
- Duffy, J.P., Shutler, J.D., Witt, M.J., DeBell, L., Anderson, K., 2018, Tracking fine-scale structural changes in coastal dune morphology using kite aerial photography and uncertainty-assessed structure-from-motion photogrammetry, Remote Sensing 10, 1494.
- Hemmelder, S., Marra, W., Markies, H., De Jong, S.M., 2018, Monitoring river morphology & bank erosion using UAV imagery – A case study of the river Buëch, Hautes-Alpes, France, Int J Appl Earth Obs Geoinformation 73, 428-437.
- Casado, M.R., Irvine, T., Johnson, S., Palma, M., Leinster, P., 2018, The use of Unmanned Aerial Vehicles to estimate direct tangible losses to residential properties from flood events: A case study of Cockerthorpe following the Desmond storm, Remote Sensing 10, 1548.
- Cruz, H., Eckert, M., Meneses, J., Martínez, J.F., 2016, Efficient forest fire detection index for application in Unmanned Aerial Systems (UASs), Sensors 16, 893.
- Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I., Golias, J.C., 2016, Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges, International Journal of Transportation Science and Technology 5, 111-122.
- Huh, J.H., 2018, PLC-Integrated sensing technology in mountain regions for drone landing sites: Focusing on software technology, Sensors 18, 2693.
- Alsafasfeh, M., Abdel-Qader, I., Bazuin, B., Alsafasfeh, Q., Su, W., 2018, Unsupervised fault detection and analysis for large photovoltaic systems using drones and machine vision, Energies 11, 2252.

- [35] Madjid, M.Y.A., Vandeginste, V., Hampson, G., Jordan, C.J., Booth, A.D., 2018, Drones in carbonate geology: Opportunities and challenges, and application in diagenetic dolomite geobody mapping, *Marine and Petroleum Geology* 91, 723-734.
- [36] Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T., Bangash, H.A., 2014, Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, highresolution mapping tool for structural geology and paleoseismology, *Journal of Structural Geology* 69, 163-178.
- [37] Tziavou, O., Pytharouli, S., Souter, J., 2018, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results, *Engineering Geology* 232, 12-21.
- [38] Ridolfi, E., Manciola, P., 2018, Water level measurements from drones: A pilot case study at a dam site, *Water* 10, 297.
- [39] Wilkowski, W., Lisowski, M., Wyszynski, M., Wierzbicki, D., 2017, The use of unmanned aerial vehicles (drones) to determine the shoreline of natural watercourses, *Journal of Water and Land Development* 35, 259-264.
- [40] Na, W.S., Baek, J., 2017, Impedance-Based Non-Destructive Testing Method Combined with Unmanned Aerial Vehicle for Structural Health Monitoring of Civil Infrastructures, *Applied Sciences* 7, 15.
- [41] Entrop, A.G., Vasenev, A., 2017, Infrared drones in the construction industry : Designing a protocol for building thermography procedures, *Energy Procedia* 132, 63-68.
- [42] Molina, M., Frau, P., Maravall, D., 2018, A collaborative approach for surface inspection using aerial robots and computer vision, *Sensors* 18, 893.
- [43] Ridolfi, E., Buffi, G., Venturi, S., Manciola, P., 2017, Accuracy Analysis of a Dam Model from Drone Surveys, *Sensors* 17, 1777.
- [44] Kršák, B., Blištan, P., Paulíková, A., Puškárová, P., Kovanic, L., Palková, J., Zelíznaková, 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.
- [45] Dunnington, L., Nakagawa, M., 2017, Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over, *Environmental Pollution* 229, 139-145.
- [46] Malpeli, K.C., Chirico, P.G., 2015, Testing a small UAS for mapping artisanal diamond mining in Africa, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 81 (4), 258-263.
- [47] Jackisch, R., Lorenz, S., Zimmermann, R., Möckel, R., Gloaguen, R., Drone-borne hyperspectral monitoring of Acid Mine Drainage: An example from the Sokolov lignite district, *Remote Sensing* 10, 385.
- [48] Doshi, A.A., Postula, A.J., Fletcher, A., Singh, S.P.N., 2015, Development of micro-UAV with integrated motion planning for open-pit mining surveillance, *Microprocessors and Microsystems* 39, 829-835.
- [49] Bamford, T., Esmaceli, K., Schoellig, A.P., Aerial rock fragmentation analysis in low-light condition using uav technology, *Mineral Endüstrisinde Bilgisayar ve Operasyon Araştırmalarının 38. Uygulaması*, Golden, ABD, Aug. 2017.
- [50] Freire, G.R., Cota, R.F., 2017, Capture of images in inaccessible areas in an underground mine using an unmanned aerial vehicle, *Underground Mining Technology*, Australian Centre for Geomechanics, 2017, Perth.
- [51] Fraser, B.T., Congalton, R.G., 2018, Issues in Unmanned Aerial Systems (UAS) data collection of complex forest environments, *Remote Sensing* 10, 908.
- [52] Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., Liu, S., Liu, X., Xie, H., Jin, Y., Hong, Z., 2015, Integration of UAV-Based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas, *Remote Sensing* 7, 6635-6662.
- [53] Jakob, S., Zimmermann, R., Gloaguen, R., 2017, The Need for Accurate Geometric and Radiometric Corrections of Drone-Borne Hyperspectral Data for Mineral Exploration: MEPHYSTo—A Toolbox for Pre-Processing Drone-Borne Hyperspectral Data, *Remote Sensing* 9, 88.
- [54] Sganzerla, C., Seixas, C., Conti, A., 2016, Disruptive innovation in digital mining, *Procedia Engineering* 138, 64-71.
- [55] Szentpeteri, K., Setiawan, T.R., Ismanto, A., 2016, Drones (UAVs) in mining and Exploration. An application example: Pit Mapping and Geological Modelling, *Unconventional Exploration Target & new tools in mineral and coal exploration*, 2016, Bandung, West Java, 45-49.
- [56] Beregovoi, D.V., Younes, J.A., Mustafin, M.G., 2017, Monitoring of quarry slope deformations with the use of satellite positioning technology and unmanned aerial vehicles, *Procedia Engineering* 189, 737-743.
- [57] Kirsch, M., Lorenz, S., Zimmermann, R., Tusa, L., Möckel, R., Hödl, P., Booysen, R., Khodadadzadeh, M., Gloaguen, R., 2018, Integration of Terrestrial and Drone-Borne Hyperspectral and Photogrammetric Sensing methods for exploration mapping and mining monitoring, *Remote Sensing* 10, 1366.
- [58] Wang, Y.J., Tian, F., Huang, Y., Wang, J., Wei, C.J., 2015, Monitoring coal fires in Datong coalfield using multi-source remote sensing data, *Transactions of Nonferrous Metals Society in China* 25, 3421-3428.
- [59] Martin, P.G., Payton, O.D., Fardoulis, J.S., Richards, D.A., Scott, T.B., 2015, The use of unmanned aerial systems for the mapping of legacy uranium mines, *Journal of Environmental Radioactivity* 143, 135-140.
- [60] Azhari, F., Kiely, S., Sennersten, C., Lindley, C., Matuszak, M., Hogwood, S., 2017, A comparison of sensors for underground void mapping by unmanned aerial vehicles, *Underground Mining Technology*, Australian Centre for Geomechanics, 2017, Perth.
- [61] Shahbazi, M., Sohn, G., Théau, J., Ménard, P., 2015, UAV-based point cloud generation for open-pit mine modelling, *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics*, 2015, Toronto, 313-320.
- [62] Altan, A., Bayraktar, K., Hacıoğlu, R., İnsansız Hava Aracı ile Maden Ocağının Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalandırılması, 24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Zonguldak, 16-19 Mayıs 2016.
- [63] Yücel, M.A., Yücel, D.Ş., Turan, R.Y., İnsansız hava aracı (İHA) kullanılarak çan (çanakkale) ilçesinde bulunan asit maden göllerinin alansal değişiminin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında incelenmesi, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 14-18 Nisan 2014.