



Terk edilmiş kömür ocaklarında oluşan maden göllerinin hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve insansız hava aracı ile üç boyutlu modellenmesi

Determining hydrochemical characteristics of mine lakes from abandoned coal mines and 3D modelling of them using unmanned aerial vehicle

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL^{1*}, Mehmet Ali YÜCEL²

¹Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
denizsyuksel@comu.edu.tr

²Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
aliyucel@comu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 23.05.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.37431

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma, Çan kömür havzasındaki terk edilmiş kömür ocaklarında oluşan maden göllerinin yüksek çözünürlüklü insansız hava aracı (İHA) görüntüleri ile üç boyutlu (3B) modellenmesi, hidrokimyasal karakterizasyonunun belirlenmesi ve çevresel etkilerinin incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda Mayıs 2014 tarihinde DJI F550 model hexacopter ile göller ve çevresinde 30-100 m arasında değişen yüksekliklerde uçuşlar yapılarak 12 megapiksel kamera ile görüntü çekimleri yapılmıştır. Görüntü işleme aşamasında Agisoft programı kullanılarak göllerin 1-6 cm arasında değişen çözünürlüklü ortofotoları ve 3B arazi modelleri oluşturulmuştur. Göllerin İHA görüntüleriyle hesaplanan toplam alanı 298751 m²'dir. Ayrıca göllerden ve akış aşağısındaki derelerden İHA çalışmalarıyla eş zamanlı olarak su örnekleme yapılmıştır. Maden göllerinin su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre düşük pH ve yüksek konsantrasyonda Al, Fe, Mn, Ni ve Zn gibi metalleri içermesi nedeniyle çok ciddi kirlilik içeren ve kullanımı mümkün olmayan sular sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bu göllerin boşaltılmaları durumunda çevresindeki su kaynaklarını etkileme olasılığı son derece yüksektir. Bu nedenle en kısa zamanda, saha için en uygun yöntem ile maden göllerinin rehabilite edilmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Çan kömür havzası, Hidrokimya, İnsansız hava aracı, Maden gölü, 3B arazi modeli

Abstract

This study was undertaken with the aim of creating three dimensional (3D) models of mine lakes formed in abandoned coal mines of the Çan coal basin using high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) images, determining hydrochemical characterization and investigating environmental effects. In May 2014 a DJI F550 model hexacopter was flown at heights varying from 30-100 m above lakes and surroundings and images were obtained with a 12 megapixel camera. During the image processing stage the Agisoft program was used and orthophoto of the lakes with resolution from 1-6 cm and 3D terrain models were created. The total area of the lakes calculated from UAV images was 298751 m². Additionally water samples were taken from lakes and downstream rivers simultaneous to UAV studies. According to water pollution control regulation in Turkey, the mine lakes were very severely polluted with low pH and high concentrations of metals such as Al, Fe, Mn, Ni and Zn. The lakes were in the category of water not suitable for use under any circumstances. There is a very high possibility that if these lakes drain the water resources will be affected. As a result, it is necessary to rehabilitate the mine lakes as soon as possible using the most appropriate method for the field.

Keywords: Çan coal basin, Hydrochemistry, Unmanned aerial vehicle, Mine lake, 3D terrain model

1 Giriş

İnsansız hava araçları (İHA) dijital kameralarla donatılmış pilotsuz hava araçları olup, geleneksel uzaktan algılama yöntemlerinden farklı olarak düşük maliyette yüksek çözünürlüklü zamansal ve mekansal görüntüler sağlar [1]. İnsansız hava sistemi, hava robotu, pilotsuz uçak gibi farklı isimlerle de adlanan İHA'lar [2], kamera, sensör ve iletişim gereçleri taşıyabilen uzaktan kumanda edilebilen hava araçlarıdır [3]. Gupta [4] açık ocak madenciliği nedeniyle arazi topografyasında oluşan değişimlerin izlenmesinde, yeraltı madenciliği etkilerinin ve göçüklerin tespitinde, maden atıklarının depolanması sürecinde, madencilik faaliyetleri neticesinde oluşan ormanlık alan kaybı ve erozyonun belirlenmesinde uzaktan algılama tekniklerinin başarılı sonuçlar verdiğini vurgulamıştır. Birçok disiplin tarafından farklı amaçlar için kullanılan İHA'lar her geçen gün gelişerek coğrafi mekansal veri elde etmede, mekansal modellemede, mekansal değişimlerin belirlenmesi gibi çalışmalarda

kullanılan ve coğrafi bilgi sistemlerine veri kaynağı sağlayan en önemli araçlardan biri haline gelmiştir [2],[5]-[7]. İHA'lar düşük maliyetli, hızlı ve yüksek çözünürlük veri üretimine imkan sağlaması ve tekrarlı uçuş kabiliyeti sayesinde özellikle küçük alanlarda yapılan arazi çalışmalarında mekansal veri ile çalışan mühendislik dallarında (harita, jeoloji, jeofizik, maden, inşaat, ziraat vb.) yüzeysel değişimlerin izlenmesinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır [1],[7]-[9]. Yüksek çözünürlüklü İHA görüntülerinin açık ocak maden işletmelerinin 3B modellemede kullanımı son yıllarda popülerlik kazanmış olup, bu konu ile ilgili çalışma sayısı sınırlıdır [10],[11].

Kömür Dünya'da birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de temel enerji kaynaklarından biridir. Kömür madenciliği faaliyetleri, madencilik sırasında ve uzun yıllar sonrasında bile sahanın jeomorfolojik, hidrolojik özelliklerini etkilemektedir [10],[12],[13]. Açık ocak kömür madenciliği sahanın ana kaya, toprak ve bitki örtüsü üzerindeki birçok ekolojik etkilerinin yanı sıra yüzey hidrolojisi, yeraltı suyu seviyesi ve akış

Çalışma sahasındaki asit maden drenajının oluşumunda iki ayrı jeolojik birimin etkisi vardır. Bunlar Çan volkanitleri ve Çan formasyonudur. Çan volkanitleri dokanak ilişkileri ve Çan formasyonundaki göz önüne alınarak ayrışma ürünleri ile litolojik farklılıkları göz önüne alınarak ayrışma ürünleri ile birlikte 5 litostratigrafi birimine ayrılmıştır. Bu birimler; andezit, andezitik tuf, trakiandezitik, dasitik bileşimli lav, andezit, dasitik bileşimli aglomeradır. Volkanitler, çoğunlukla hidrotermal alterasyona uğramış, bunun sonucunda kayalar kloritleşmiş, killeşmiş ve silisleşmiştir. Çan volkanitleri alterasyon zonlarında büyük hacimli dissemine ve boşluk dolgusu şeklindeki pirit mineralleri bulunmaktadır [38]. Şanlıyüksel Yücel [29] XRD analiz sonuçlarına göre Çan volkanitlerinin alterasyon zonlarındaki kayaçları içerisinde en yaygın olarak bulunan sülfür mineralinin pirit olduğunu ifade etmiştir.

Çan formasyonu konglomera, kumtaşı, kilitaşı, linyit, aglomera, tuf, tüfit gibi heterojen litolojilerden oluşmaktadır. Bozcu ve diğ. [26] Çan formasyonundaki kömür damarının ortalama 17 m kalınlık sunduğunu ve yöreden yöreye 0-38 m arasında değişen kalınlıklar gösterdiğini belirtmiştir. Çan kömür havzasında Çan-Merkez, Çomaklı, Etili, Yeniçeri, Yayaköy sahaları günümüzde aktif olarak işletilen kömür ocaklarıdır. Tuncalı ve diğ. [39] Etili sahasından aldıkları kömür örneğinin inorganik madde bileşiminin %19 olduğunu tespit etmiştir. Bu inorganik maddenin %5.03'ünün jips, %4.84'ünün pirit, %4.47'sinin kaolinit, %3.73'ünün kuvars, %0.93'ünün smektit grubu kil olduğunu belirtmiştir. Kömür içerisindeki kükürt değerleri yaklaşık %0.3 ile 12.23 arasında değişmekte olup, piritik, sülfat ve organik kükürt içeriği sırasıyla %0.2-6.3, %0.4-2.8 ve %0.9-6.1 aralığındadır [28]. Şanlıyüksel Yücel ve diğ. [33] kömür örneklerinin SEM analizlerinde iyi gelişmiş özşekilli pirit kristalleri bulunduğunu ve EDX analizlerinde piritlerin %69.56 kükürt, %30.44 demir içerdiğini belirtmiştir. Piritik oluşumlar hem anoksik ortam koşullarında sülfatın indirgenmesinden hem de havza jeolojisi gözetildiğinde volkanik kökenli malzemeden kaynaklanmaktadır [40].

2 Materyal ve metot

2.1 İnsansız hava aracı

Görüntü alımında İHA olarak DJI F550 model hexacopter kullanılmıştır (Şekil 3). Hexacopter 6 adet DJI motor ve pervane, ArduPilot otopilot sistemi, GPS, telemetri sistemi ve 16 kanallı 2.4 GHz radyo frekanslı uzaktan kumanda bileşenlerini içermektedir. Otopilot kontrol kartı, uzaktan kumanda ve motorların kalibrasyon işlemleri Mission Planner yazılımı ile yapılmıştır. Uçuşlar sırasında hexacopterde 4000 ve 5000 mAh'lık 3 hücreli LiPo piller kullanılmıştır. Hexacopter'in piller ve kamera hariç ağırlığı 2 kg'dır. Pillerin ağırlıkları hücre sayısına ve kapasitesine göre 200 ile 450 g ağırlığında değişmektedir. Sistemin uçuş süresi 5000 mAh'lık pil kullanıldığında en fazla 13 dk'dır. Fotoğraf çekimi 30-100 m yükseklik aralığında 12 megapiksel çözünürlüklü GoPro Hero3 kamera ile görünür bantta ve jpeg formatında gerçekleştirilmiştir.

Görüntü alımı öncesi hexacopter ayarları ve uçuş planı da Mission Planner yazılımında yapılmıştır. Her uçuş için kalkış noktaları aynı zamanda iniş noktası olarak ayarlanmıştır. Uçuş güzergâhları; kalkış noktası, dönüş noktaları, iniş noktası ve uçuş yükseklikleri ile belirlenmiştir. İniş noktası koordinatları hexacopter üzerinde bulunan GPS ile belirlenmektedir, uçuş tamamlandıktan sonra veya acil bir durum anında hexacopter geri çağırıldığında bu noktaya iniş yapmıştır. Sabit

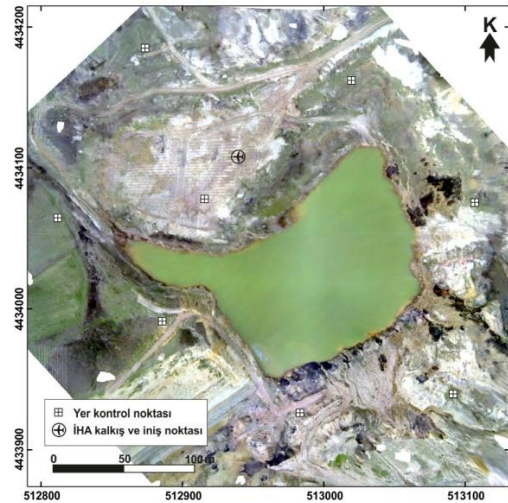
yükseklikten görüntü alımı için; kalkış ve iniş noktaları ile dönüş noktalarının uçuş yükseklikleri aynı olarak belirlenmiştir. Hava koşullarının olumsuz etkisi ve hexacopter in görüş alanından çıkması durumları düşünülerek uçuş yükseklikleri 100 m'nin altında ve sabit yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Sabit yükseklikte yapılan uçuşlar ile her fotoğrafta coğrafi detayların aynı boyutta olması sağlanmış ve böylelikle görüntü eşleştirme işleminin daha kolay ve daha hassas bir şekilde yapılması sağlanmıştır.



Şekil 3: Çalışma kapsamında kullanılan İHA.

2.2 Yer kontrol noktaları

Çalışma kapsamında yer kontrol noktası (YKN) olarak 50 cm x 70 cm boyutundaki renkli karton plakalar kullanılmış ve her uçuş öncesi uygulama sahasına yayılan ve göl sınırlarına ise daha yoğun olarak yerleştirilen YKN'larının koordinatları Real Time Kinematic (RTK) Global Navigation Satellite System (GNSS) ölçümleri ile Continuously Operating Reference Station (CORS) istasyon ağı kullanılarak belirlenmiş ve bu işlem CHC X91 model GNSS ekipmanı ile gerçekleştirilmiştir. Etili'ye 35 km Çomaklı'ya 15 km mesafedeki Yenice CORS istasyonu referans noktası olarak kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarının karekök ortalama (RMS) hata miktarı yatayda 13 mm, düşeyde ise 32 mm den daha azdır. Yatay koordinatlar UTM Zone 35N (WGS84) projeksiyonunda, düşey yükseklikler ise ortama deniz seviyesi Türkiye Hibrid Jeoidi 2009 (THG-09) ile belirlenmiştir. Görüntü alımında kullanılan YKN'larının sayısı göl büyüklüğüne bağlı olarak 6 ile 15 arasında değişmiştir. Örnek olarak Ç2 maden gölünün YKN'ları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Yer kontrol noktalarının konumu.

2.3 İHA ile görüntü alımı

Çalışma sahasında İHA ile görüntü alımı için 24 ve 25 Mayıs 2014 tarihlerinde toplam 10 uçuş yapılmıştır. Çalışma sahasında genellikle öğlen ve öğleden sonra rüzgâr şiddeti arttığı için uçuşlar sabah ve akşamüstü gerçekleştirilmiştir. Hexacopter, her uçuşta görüntü alınan maden gölüne yakın düz bir alandan kalkış yapmış ve uçuş bitiminde aynı noktaya indirilmiştir. Manuel kontrol ile yapılan uçuşlarda yatayda ve düşeyde uçuş güzergâhı sabitlenemediğinden görüntü kalitesi ve çözünürlüğünü olumsuz etkilemesi nedeniyle görüntü alımında uçuş planına uyularak sabit yükseklikte otomatik uçuş yapılmış, iniş sırasında manuel kontrole geçilmiştir.

Görüntülerde yan bindirme ve boyuna bindirme oranlarının yüksek olması için (hedeflenen yan bindirmede %60, boyuna bindirmede %70) uçuş planında kolonlar sıklaştırılmış [10] ve fotoğraf çekim sıklığı 1 saniyede 1 fotoğraf olarak ayarlanmıştır. Görüntü alımında göl büyüklüğü ve etraftaki ağaç yüksekliklerine bağlı olarak 30 ile 100 m arasında sabit yükseklikten uçulmuştur. Alçak uçuşlar görüntü kalitesini ve çözünürlüğünü arttırdığı için uçuşu engelleyen bir coğrafi detay olmadığında 30 m yükseklikten uçularak görüntü alınmıştır. Geniş alanlı göllerde (Ç1 ve Ç3) alçak uçuşlarda tamamen göl yüzeyini kaplayan fotoğraflar çekilmesi nedeniyle 80 m'nin üzerinde uçuş yapılmıştır. Göl büyüklüklerine bağlı olarak görüntü sayısı 166-562 arasında, görüntü çözünürlüğü ise 1-6 cm arasında değişmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: İHA çalışması detayları Mayıs 2014.

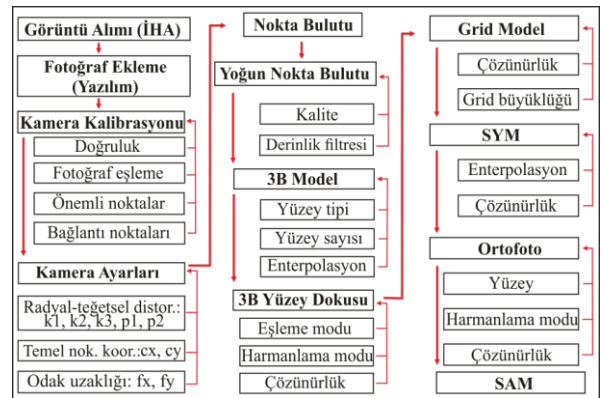
Uçuş No	Göl No	Tarih	Uçuş Saati	Uçuş Süresi (dk:sn)	YKN Sayısı	Top. Alan (ha)	Uçuş Yüks. (m)	Çözünürlük (cm)	Foto. Sayısı
1	E 1 E 9	24.05 2014	09:14	08:52	11	34	50	3	533
2	E 8	24.05 2014	10:05	03:22	6	4	40	2	203
3	E 6	24.05 2014	11:08	02:45	6	4	40	2	166
4	E 7	24.05 2014	16:22	03:25	6	4	35	1	206
5	E 2	24.05 2014	11:43	06:11	8	16	50	3	372
6	E 4	24.05 2014	15:10	08:29	8	18	40	2	510
7	E 5	24.05 2014	15:39	08:11	11	17	40	2	492
8	Ç1	25.05 2014	15:04	08:10	15	31	100	6	491
9	Ç2	25.05 2014	15:52	04:28	6	17	30	1	269
10	Ç3 Ç4	25.05 2014	16:42	09:21	14	38	85	4	562

2.4 İHA görüntülerinin işlenmesi ve görselleştirilmesi

Görüntü işleme Agisoft PhotoScan 1.2.0 yazılımı ile her göl için ayrı olarak gerçekleştirilmiş olup, Şekil 5'te akış şeması sunulmuştur. Fotoğraf ve kamera ayarlama işlemleri ile kamera dönüklükleri ve kamera pozisyonları belirlenerek fotoğraflar eşleştirilmiştir. Bu aşamada structure from motion (SfM) yöntemi iş akışı kullanılmış ve maden gölleri, pasa yığınları ve doğal topografyaya ait ortofoto ve sayısal

yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir. SfM tekniği Lowe [41] tarafından tanımlanmış olup, scale invariant feature transform (SIFT) algoritması ile farklı görüntüler üzerinde aynı detaylar bulunur ve görüntüler eşleştirilir. Bundleblock düzeltmesi ile görüntüdeki detayların 3B koordinatları kameranın konum ve dönüklükleri hesaba katılarak bulunur ve 3B nokta bulutu (point cloud) oluşturulur [6]. Yer kontrol noktası koordinatları ve kamera GPS konumları ile coğrafi referanslı görüntüler üretilir. 3B nokta bulutuna derinlik filtresi (depth filtering) uygulanarak 3B yoğun nokta bulutu (dense cloud) elde edilir [42],[43]. 3B yoğun nokta bulutuna en yakın komşuluk (nearest neighbourhood) enterpolasyon yöntemi uygulanarak SYM, ortofoto ve sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuştur. Çalışma sahalarının SAM'lerinin oluşturulmasında SYM ve ortofotolar kullanılmıştır.

SfM yöntemi iş akışı, görüntülerin eşleştirilmesi ile başlar ve daha sonra oluşturulan 3B nokta bulutu, SYM, ortofoto ve SAM eşleştirilmiş bu görüntülerin kullanılması ile sona erer. Görüntü eşleştirme işleminin hassasiyeti, konumsal doğruluğu ve görüntü çözünürlüğünü arttırmaktadır. Fakat büyük göllerde alçak uçuş yapıldığında tamamen veya büyük oranda göl yüzeyini içeren fotoğraflar çekilmektedir. Bu da fotoğraflarda detaylarının çok az inmesine ve görüntü eşleştirme işleminin yapılamamasına neden olmaktadır. Görüntü eşleştirme işleminde komşu fotoğraflar üzerindeki aynı detaylar seçilmektedir. Detay sayısının azalması durumunda komşu fotoğraflar arasında yeterli sayıda eşleştirme yapılamadığından ortofotoda boşluklar oluşmakta veya uygulama sahasının tamamı modellenememektedir. Ayrıca göl yüzeyindeki parlaklık ve gölgeler derinlik gibi algılanarak 3B yoğun nokta bulutu ve SYM'de çukur ve tepelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum 3B yoğun nokta bulutundan hatalı noktaların silinmesinden sonra oluşturulan SYM'ye ArcHydro'da fill ve sink işlemlerinin uygulanması ile giderilmiştir. Düzeltilmiş SYM ve ortofoto kullanılarak maden göllerinin SAM'leri oluşturulmuştur.



Şekil 5: Agisoft işlem akış şeması.

2.5 Maden göllerinin hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Maden göllerinin arazide pH, elektriksel iletkenlik (Eİ, $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve sıcaklık (S, $^{\circ}\text{C}$) gibi fiziksel parametre ölçümleri yapılmış, ölçümlerde WTW 340i marka çok parametrelili ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan proplar her ölçüm öncesi ve ölçüm sonrasında saf su ile yıkanarak temizlenmiş, her arazi çalışmasından önce buffer solüsyonları ile günlük kalibrasyonları yapılmıştır. Sahadaki su örnekleme nedeniyle ortaya çıkabilecek laboratuvar ölçüm hataları ile laboratuvardaki analiz ve test yöntemlerinden doğabilecek

hataların en aza indirilmesi için örneklemenin doğru yapılmasına dikkat edilmiştir.

Etili sahasındaki maden göllerinde (E1 den E9 a kadar, E3 hariç) ve akış aşağısındaki derelerde (3 ayrı lokasyonda) ayrıca Çomaklı sahasında (Ç1 den Ç4 e kadar) İHA çalışmaları ile eş zamanlı olarak 24-25 Mayıs 2014 tarihlerinde toplam 15 ayrı su noktasında örnekleme yapılmıştır. Göllerdeki örnekleme Eijkelkamp örnek alım cihazı ile yapılmıştır. Örnekleme sırasında, sızdırmaz kapaklı 50 ve 500 ml hacimli polietilen örnekleme şişeleri kullanılmış, örnek kapları doldurulmadan önce örnekleme yapılacak sularla üç kez çalkalanmıştır. İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) analizi için alınan su örnekleri, millipore marka 0.45 µm gözenekli filtrelerle, 50 ml'lik kaplara filtrelenmiştir. Elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla su örneklerinin pH'ını 2-3 aralığına indirmek için 0.1-0.2 ml arasında derişik yüksek safıktaki nitrik asit (HNO₃) ilave edilmiştir. Eklenen HNO₃ ortamda gaz çıkışına sebep olduğundan, örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır. Filtreleme işlemi, iyon kromatografisi (IC) analizleri için alınan örneklerde de tekrarlanmıştır ancak, HNO₃ ile muameleye gerek görülmemiştir. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuş ve örnekler arazi tipi buzdolabında +4 °C'de saklanmıştır. Maden göllerinden alınan su örnekleri, uygun koşullarda saklanarak korunmuş ve kimyasal analiz için ACME Laboratuvarı'na Ankara'ya gönderilmiştir. Toplam 15 su noktasında ICP-MS cihazı ile kation analizi, IC cihazı ile de anyon analizleri yapılmıştır.

3 Elde edilen bulgular

3.1 Maden göllerinin uydu görüntüleriyle incelenmesi

Etili sahasındaki maden gölleri deniz seviyesinden 128 ile 245 m, Çomaklı sahasındaki maden gölleri deniz seviyesinden 139 ile 168 m yükseklik aralığında bulunmaktadır. Bütün göllerin yatay (UTM Zone 35N, WGS84) ve düşey (ortalama deniz seviyesi) konumları Tablo 2'de verilmiştir. Göllerin çevresinin yumuşak bir topografyaya sahip olması nedeniyle yeterli yüzey akıntısı ile seyrelmenin mevcut olmaması, asit maden drenajının etki şiddetinin azalmasına yardımcı olmamaktadır. Etili sahasında 15 Mart 2011'deki uydu görüntülerine göre toplam alanı 0.95 km² olan pasalar bulunmaktadır. 18 Mayıs 2013 tarihli uydu görüntüsünde Etili sahasındaki pasaların alanı 1.06 km² olarak hesaplanmıştır. E3 no'lu gölün Mayıs 2013'te Katran Dere'ye boşaltılması ve madencilik faaliyetlerinin yeniden başlaması nedeni ile pasaların alanı artmıştır. Ayrıca, doğal süreçler (heyelan, yağış, rüzgâr vb.) pasaların alansal değişimine ve asit maden drenajı oluşum sürecinin hızlanmasına katkı sağlamaktadır. Çan formasyonunun heterojen litolojisi, yüzey sularının etkisi ile killi seviyelerin şişmesi ve basamak şev açısının düzgün olmayışı faktörlerinin bir araya gelmesi ile hafriyat sırasında yersel heyelanlar oluşmuştur. Heyelanlar, Çan formasyonun içerisindeki fayların zayıflık zonlarını kayma düzlemleri olarak kullanarak göllerin ve pasaların alanlarının değişmesine sebep olmuştur. Bahar aylarında artan yağış, yüzey sularını ve pasalardaki sızıntıyı fazlaştıran asidik drenajın taşınmasını sağlamaktadır. Senenin ortalama 161 gününün rüzgârlı olduğu sahada, rüzgâr tanelerin zamana bağlı olarak aşınım ufalanmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede maden göllerinin çevresindeki pasaların yüzey alanı artmakta ve pasaların bir kısmı göllere taşınmaktadır. Çomaklı sahasındaki pasaların 4 Ağustos 2013 tarihli toplam alanı 0.97 km²'dir. Çan

formasyonu ve Çan volkanik kayaların yüksek sülfür içerikli karışımından oluşan pasa malzemesinin madencilik faaliyetleriyle tane boyutunun küçülmesi ile yüzey alanı artmaktadır. Yüzey alanı artan malzeme hava ve su (dere, yeraltı suyu, yağmur vb.) ile reaksiyona girerek sahada asit maden drenajı oluşum süreçlerini hızlandırmaktadır. Geniş alana yayılmış olan pasalar çevresel açıdan önemli risk taşımaktadır.

Uydu görüntüleri ile yapılan tespit Etili sahasındaki kömür madencilik faaliyetlerinin E1, E8 ve E9 göllerinin bulunduğu alanda 1977 ile 1985 yılları arasında başladığı saptanmıştır [32]. 1985 ile 1987 yılları arasında E2 ve E3'ün bulunduğu alanda başlayan madencilik faaliyetleri neticesinde, Etili sahasında ilk oluşan maden gölleri E2 ve E3'dür (Tablo 3). Sonrasında sırasıyla E1, E6, E8, E9, E7, E5 ve E4 gölleri oluşmuştur. E5 kömür ocağında yer almamasına rağmen kömürün çıkarılması sırasında etrafa yığılan pasaların dere yatağını set şeklinde kapatmasıyla oluşmuştur. 2011 yılında tüm kömür ocaklarında işletme faaliyetlerine ara verilmesi ile maden gölleri toplamda en geniş alana sahip olmuş, toplam alanı 124280 m² ve çevresi 5699 m olarak saptanmıştır [32]. Maden göllerin 50 cm mekansal çözünürlüklü 2013 yılı uydu görüntüsünde konumları ve etrafındaki pasa alanları sunulmuştur (Şekil 6 ve 7). Google Earth'den elde edilen görüntü Pleiades uydusu tarafından çekilmiştir. 2013 yılı verilerine Etili sahasındaki göllerin toplam alanı 145573 m²'dir ve göllerin alanı 2011 yılı Mart ayı verilerine göre 21293 m² artmıştır. Çomaklı sahasındaki maden göllerinin toplam alanı 166128 m² olup, en geniş alana sahip olan göl 84494 m² ile Ç1'dir.

Tablo 2: Maden göllerinin koordinatları ve pasa alanları.

Yer	Göl No	Y (m)	X (m)	H (m)	Pasa Alanı (m ²)2011	Pasa Alanı (m ²)2013
	E1	4421785	488957	245	358195	392035
	E2	4423658	487988	172	225762	252513
	E3	4423813	487315	151	104269	107955
	E4	4424103	488390	140	78819	122991
Etili	E5	4424305	488399	128	-	-
	E6	4422413	487220	223	124848	125182
	E7	4423935	488901	149	60710	65962
	E8	4422178	489035	226	-	-
	E9	4421964	488737	230	-	-
	Ç1	4433817	513348	168	-	734115
	Ç2	4434042	512861	139	-	-
Çomaklı	Ç3	4434156	513752	159	-	236022
	Ç4	4434262	513926	162	-	-

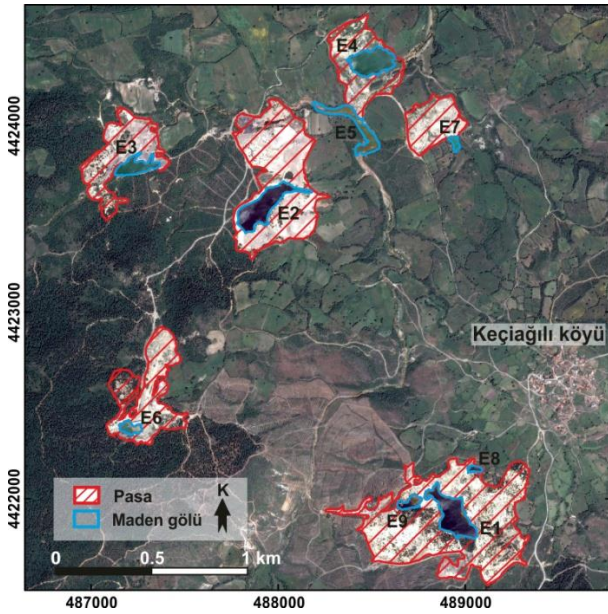
3.2 Maden göllerinin İHA görüntüleriyle 3B modellenmesi

Arazide yapılan YKN koordinatlarının belirlenmesi ve görüntü alma amaçlı İHA çalışmaları sonrası görüntülerden ortofoto ve 3B model oluşturma amaçlı büro çalışmaları yapılmıştır.

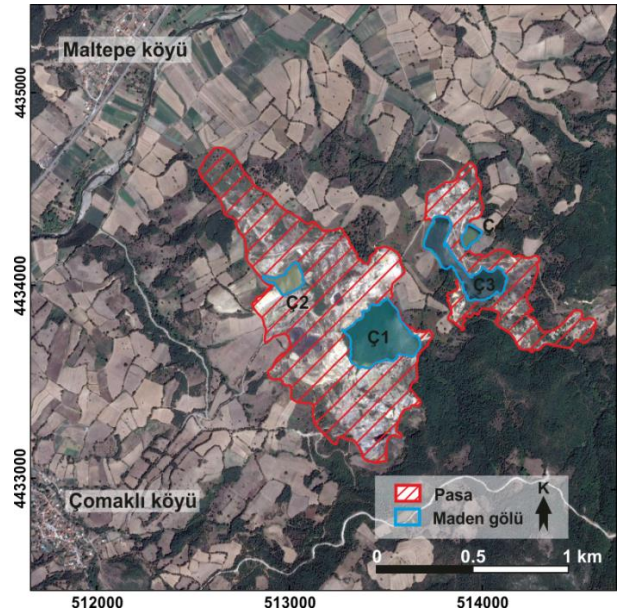
Tablo 3: Maden göllerinin farklı yıllara ait uydu görüntüleri ile tespit edilen alansal değişimi.

Uydu	Tarih	Çöz.	(m ²)														
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4		
Landsat MSS*	21.5.1977	60 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM*	26.9.1985	30 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM*	11.5.1987	30 m	-	3200	16426	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 7 ETM+*	28.1.1999	30 m	32381	31518	13530	-	-	7931	-	1156	7182	-	-	-	-	-	-
Quickbird*	30.4.2003	60 cm	29697	33466	4235	-	-	9166	2490	164	2817	-	-	-	-	-	-
Quickbird*	21.7.2008	60 cm	23383	-	15437	1049	21304	11329	-	966	524	-	-	-	-	-	-
Worldview1*	15.3.2011	50 cm	31654	20768	14407	25543	23830	611	2912	1441	3114	-	-	-	-	-	-
Pleiades	18.5.2013	50 cm	33688	34125	14039	26531	21181	5596	2457	2039	5917	-	-	-	-	-	-
Pleiades	4.8.2013	50 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84494	16539	57494	7601	-	-

* Veriler Şanlıyüksel Yücel ve diğ. [32] çalışmasından alınmıştır.



Şekil 6: Etli sahasındaki maden gölleri ve pasa alanlarının konumu (Google Earth, Mayıs 2013).



Şekil 7: Çomaklı sahasındaki maden gölleri ve pasa alanlarının konumu (Google Earth, Ağustos 2013).

İHA çalışmalarıyla elde edilen görüntülerin çözünürlüğü 1 ile 6 cm arasında değişmektedir. Mayıs 2014 tarihli İHA ile arazi çalışmaları sonucunda elde edilen maden göllerinin çevre uzunluğu ve alanları Tablo 4'te verilmiştir. Göllerin 2013 yılı uydu görüntüleriyle hesaplanan toplam alanı 311701 m², 2014 İHA görüntüleriyle hesaplanan toplam alanı ise 298751 m²'dir. Alansal azalmanın sebebi E2 gölünün kısmen E3 gölünün ise tamamen boşaltılmasından kaynaklanmaktadır. Bu iki göl hesap dışında tutulduğunda göllerin alansal olarak artışa uğradığı anlaşılmaktadır. En uzun çevre uzunluğuna sahip göl 1741 m ile Ç3, en geniş alana sahip olan göl ise 83157 m² ile Ç1'dir. İHA görüntülerinden elde edilen ortofoto görüntü 2013 yılı Google Earth görüntüsü ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Böylelikle Google Earth verileri ile İHA verilerinin karşılaştırılması ve antropojenik müdahale ile zamana bağlı olarak gelişen morfolojik değişimlerin yüksek çözünürlüklü olarak izlenmesi mümkündür. Maden göllerinin Mayıs 2014 tarihli İHA görüntüleri ile elde edilen 3B sayısal arazi modelleri Şekil 9'da sunulmuş olup, maden gölleri ve yakın

çevresinin morfolojisi ve antropojenik deformasyonlar yüksek çözünürlüklü görüntü ile ayrıntılı olarak belirlenmiştir.



Şekil 8: Ortofoto görüntünün Google Earth'e aktarılması.

Tablo 4: Maden göllerinin İHA görüntüleri ile belirlenen çevre uzunluğu ve alanları (Mayıs, 2014).

Maden gölü	E1	E2	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
Alan (m ²)	32847	33842	26845	21442	5988	2396	1968	6366	83157	17164	59488	7248
Çevre (m)	1105	1262	812	1257	341	268	214	426	1377	679	1741	331

3.3 Maden göllerinin hidrokimyası

Asit maden drenajının belirlenmesinde pH değeri temel parametre olup, çözülmüş metal ve sülfat konsantrasyonu ile ters orantılı olarak değişim gösterir [44]-[46]. Tablo 5'te maden göllerinin fiziksel parametre ve majör iyon analiz sonuçları sunulmuştur, içme suları için belirlenmiş olan standart değerlerden [47]-[49] yüksek olan analiz sonuçları kalın olarak yazılmıştır. Etili sahasındaki maden göllerinin pH değerleri 3.01 ile 4.24 arasında, Çomaklı sahasındaki maden göllerinin pH değerleri ise 3.22 ile 8.05 arasında değişmektedir. Ç3 ve Ç4'ün pH değerleri alkali karakterdedir. Göllerin güneydoğusunda yüzlek veren Çetmi ofiyolitik melajının kireçtaşı bloklarından drene olan alkali karakterdeki sular göllerin pH değerini arttırmaktadır. Sulardaki çözülmüş toplam iyon miktarı ile Eİ değerleri arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır [50]. Minimum Eİ değeri Ç3'te 1125 µS/cm, maksimum Eİ değeri ise E2'de 5690 µS/cm ölçülmüştür. İyon konsantrasyonu en yüksek olan göl E2 olup, göl tabanı kömür damarının üzerindedir. Şanlıyüksel Yücel ve Baba [30], Etili sahasındaki maden göllerinin çevresindeki derelerin pH değerlerinin 2.85 ile 5.75 arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında Etili sahasında maden göllerinin akış aşağısındaki derelerde ölçülen pH değerleri 3.25 ile 4.9, Eİ değerleri 1935 ile 4320 µS/cm arasındadır.

Sracek ve diğ. [51], yüzey sularının sıcaklık değerlerinin coğrafi konum, yükseklik, mevsim, su kütlesinin derinliği ve hatta gün içerisinde ölçüm yapılan saatten bile etkilendiğini belirtmiştir. Maden göllerinin sıcaklık değerleri 14.2-16.3 °C arasında değişmektedir. Renk değişimi maden gölleri için ayırt edici bir özellik olmuştur. Çomaklı sahasındaki maden gölleri mavi renkte iken, Etili sahasındaki E4 no'lu göl mavi, E6 ve E7 no'lu göller ise yeşil rengi ile karakteristiktir. E1, E2, E5, E8 ve E9 no'lu göller kıyı kesimlerde sarı-turuncu, derinlere doğru kırmızı-kahve tonları arasında değişen renge sahiptir. Asit maden drenajının rengi, jeokimyasal oluşum ortamındaki çözülmüş metal iyonlarına bağlı olarak oluşan mineral çökelişi ile değişmektedir. Karadeniz [52], maden drenajının oluşum reaksiyonları sırasında bir kısım Fe³⁺'ün hidrolize uğrayarak oluşan demir hidroksitinin sarı, kırmızı, turuncu ve kahverengi renkler vererek çökeldiğini belirtmiştir. E2'nin göl sedimanında XRD sonuçları ile jarosit mineralleri saptanmış olup, göl tabanındaki sarı-kırmızı rengin sebebi jarosit gibi ikincil mineral çökelimleridir [30],[33].

Tüm maden göllerinde yapılan su kimyası analiz sonuçlarına göre baskın olan anyon sülfat (SO₄²⁻)'tır (Tablo 5). Yılmaz [53] ve Yalçın ve Sarp [54] Biga Yarımadası'nda sülfat tipi baskın suların asit sülfat hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan piritlerden kaynaklandığını ifade etmiştir. Etili sahasındaki maden göllerinde baskın olan katyon kalsiyum (Ca²⁺), Çomaklı sahasındaki göllerde baskın olan katyon magnezyum (Mg²⁺)'dur. Etili sahasındaki maden göllerin majör iyon dizilimi; SO₄> Ca> Mg> Na> Cl> K, Çomaklı sahasında ise SO₄> Mg> Ca> Na> Cl> K şeklindedir. Maksimum Ca ve SO₄ konsantrasyonu E2'de ölçülmüş olup, sırasıyla 472.6 ve

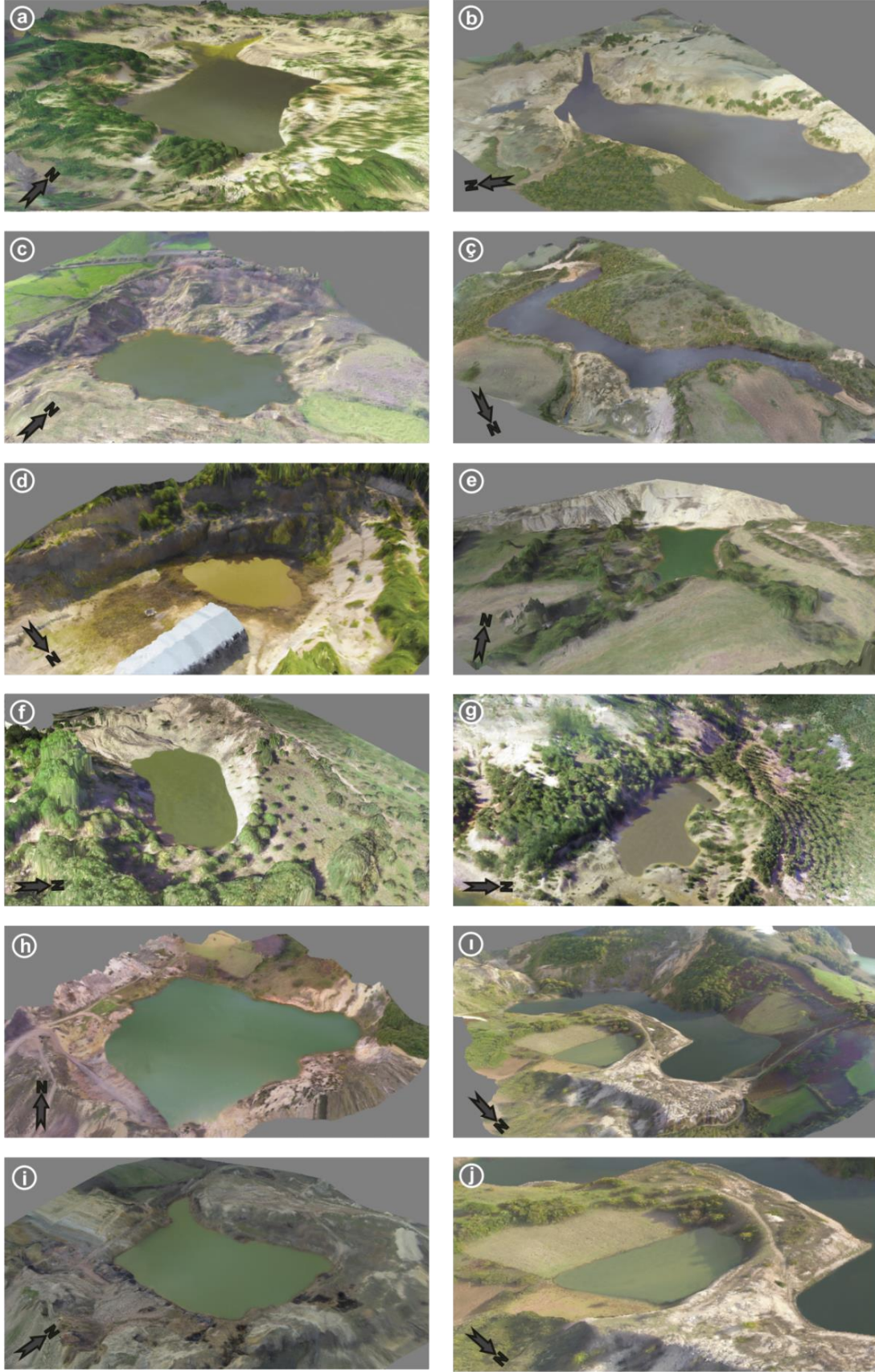
4740 mg/l'dir. Maksimum Mg konsantrasyonu ise Ç2'de 646.1 mg/l olarak ölçülmüştür. Göllerin çevresindeki derelerin Ca ve SO₄ konsantrasyonları maksimum olarak sırasıyla 398.8 ve 3021 mg/l olarak ölçülmüş olup, bu değerler standart değerlerin üzerindedir.

Maden göllerinin metal ve iz element analiz sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Maden göllerinin Al, B, Fe, Mn, Ni ve Zn konsantrasyonları standart değerlerden daha yüksektir. Alüminyum değerlerinin yüksek olmasının temel nedeni, linyitli tabakaların içerisinde bulunan killi birimlerin düşük pH seviyelerinde içeriğindeki alüminyum suya vermesidir. Ayrıca yüksek Al konsantrasyonu asidik drenajın volkanik kayaların alterasyonu sonucu oluşan kaolen, illit gibi kil minerallerini çözerek bünyesine almasıyla da ilişkilidir. Maden göllerindeki yüksek Fe içeriğinin sebebi pirit minerallerinin oksidasyonudur. Göllerin akış aşağısındaki derelerde de Al, Fe, Mn, Ni ve Zn değerlerinin içme suyu standart değerlerinin üzerinde olduğu saptanmıştır.

Maden göllerinin kimyasal analiz sonuçları Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın belirlediği su kirliliği kontrolü yönetmeliğine [55] göre değerlendirilmiştir. Göller, bu sınıflamaya göre; pH, SO₄, Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn değerleri sınıf IV yani çok kirlenmiş sudur (Tablo 7). Bu sonuç ile göllerin herhangi bir amaçla kullanımı uygun görülmemekte olup, ancak ciddi iyileştirmelerden sonra kullanımı mümkün olabilir. Düşük pH ve yüksek metal konsantrasyonda sülfat ve metal içeren göller çevresel açıdan önemli risk taşımaktadır.

Okumuşoğlu ve Gündüz [31] 1999 yılından beri boşaltılmayan E1'de yaptıkları limnolojik çalışmalar neticesinde gölün en derin noktasının 14.2 m, ortalama derinliğinin ise 7.11 m olduğunu saptamıştır. E1'in alanı 2014 yılı İHA çalışmaları ile 32847 m² olarak hesaplanmıştır. Gölün ortalama derinliği, alanı ile çarpıldığında 233542 m³ hacminde su kütlesi tespit edilmektedir. Yerel basılı ve görsel medyada maden göllerin yüzey sularına karışımı/deşarjı sonucunda balık ölümleri gerçekleştiğine ilişkin birçok haber çıkmıştır [30],[56],[57]. Göllerin akış aşağısındaki derelerde saptanan düşük pH (<4.9) ve yüksek metal konsantrasyonu göllerin ve pasalardan drene olan suyun çevredeki yüzey suyu kaynaklarına karıştığını hidrokimyasal analiz sonuçları ile kanıtlamaktadır.

Maden drenajını önemli kılan, bünyesinde barındırdığı kirleticilerle birlikte, yakın ve hatta uzak çevresinde yer alan yaşam ortamları üzerinde sebep olduğu zararlı etkileridir. Drenaj sularının fiziksel ve kimyasal niteliğinin değişkenliği, düşük pH ve yüksek metal konsantrasyonu ve akışkan olan suyun uzaklara taşınabilirliği, çevresel bakımdan büyük risk yaratmaktadır. Suların akışıyla yayılan asidik drenaj ekim yapılan tarlalara kadar ulaşabilmektedir. Ayrıca madencilik yapılan alanlarda doğal peyzajın bozulması, pasa yığınlarının gelişigüzel depolanması ve bunların dışında göllerin çevresindeki fabrikaların Etili kömür ocağını çöp depolama sahası olarak kullanması çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sayede ortamdaki kirletici yükü artmaktadır.



Şekil 9: Maden göllerinin İHA görüntüleri ile modellenen 3B arazi modelleri (Mayıs 2014): a. E1, b. E2, c. E4, ç. E5, d. E6, e. E7, f. E8, g. E9, h. Ç1, ı. Ç2, i. Ç3, j. Ç4.

Tablo 5: Maden gölleri ve derelerin fiziksel parametre ve majör iyon analiz sonuçları (Mayıs 2014).

Örnek Noktası	Renk	pH	Eİ	S	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
			µS/cm	°C	mg/l					
E1	Kırmızı/kahve	3.17	4480	15.7	418.2	4	208	93	65	3190
E2	Kırmızı/kahve	3.09	5690	16.1	472.6	2	287	164	150	4740
E3	Kömür ocağının işletilmesi nedeniyle göl boşaltılmıştır.									
E4	Mavi	3.5	3110	16	351.3	12	118	209	98	1640
E5	Kırmızı/kahve	3.28	3990	15.1	229.1	11.4	84.6	134	72	1460
E6	Yeşil	4.24	2380	15.2	401.4	29	89	272	90	1590
E7	Yeşil	3.79	2990	14.9	180.2	8	128	205	105	1250
E8	Kırmızı/kahve	3.07	4350	16.3	431	5	186	73	76	2900
E9	Kırmızı/kahve	3.01	4640	16.1	439.4	2	192	83	80	3130
Dere	Sarı/turuncu	3.43	3780	14.7	336.8	7.1	124	170	72	2717
Dere	Sarı/turuncu	3.25	4320	13.9	398.8	5	167	166	61	3021
Dere	Sarı/turuncu	4.9	1935	15.2	184	42.2	57.34	81.22	54	882
Ç1	Mavi	3.22	3360	14.8	325.2	4.50	361.8	95.2	17	2880
Ç2	Mavi	5.95	2780	14.2	465.2	12.80	646.1	201.7	32	4547
Ç3	Mavi	8.05	1125	15.1	26.23	1.93	54.81	12.5	12	493
Ç4	Mavi	7.8	1610	15.5	21.27	1.55	49.36	15.3	11.4	398
Minimum		3.01	1125	13.9	21.27	1.55	49.36	12.5	11.4	398
Maksimum		8.05	5690	16.3	472.6	42.16	646.1	272	150	4740
Ortalama		4.25	3369.33	15.25	312.04	9.89	183.53	131.66	66.36	2322.53
TS 266 [47]		6.5-8.5	-	-	-	-	-	200	250	250
WHO [48]		6.5-8.5	-	-	300	-	-	200	250	500
EPA [49]		6.5-8.5	-	-	-	-	-	-	250	250

Tablo 6: Maden gölleri ve derelerin metal ve iz element analiz sonuçları (Mayıs 2014).

Örnek Noktası	Al	As	B	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	
	µg/l									
E1	250153	7	782	2045	375	88923	79783	916	4764	
E2	321446	12	3044	4147	852	389567	165520	2254	10881	
E3	Kömür ocağının işletilmesi nedeniyle göl boşaltılmıştır.									
E4	16156	2.1	1359	712	107	9769	29461	328	1217	
E5	26668	2.3	556	467.2	25.9	227294	18206	221	1123	
E6	10411	1.1	1554	< 300	< 80	1171	10489	< 300	< 300	
E7	40084	< 3	186	932	< 80	14396	35883	566	890	
E8	287626	8.1	685	1314	323	90460	66098	864	2035	
E9	445621	7.7	706	2323	295	89359	70457	1069	5787	
Dere	208062	1.9	1594	1754	< 80	121857	35476	780	6695	
Dere	211894	1.7	439	1046	161	160631	39806	599	1987	
Dere	27618	2.0	133	251.73	33.5	9337	11055.8	133.9	481.1	
Ç1	98712	8.6	2668	522.5	112.1	55062	50981	831	2014	
Ç2	215	1.9	4821	68.6	27.7	727	4142	132.2	354	
Ç3	48	< 3	598	< 300	< 80	237	215	26	< 300	
Ç4	55	< 3	686	< 300	< 80	351	364	< 300	< 300	
Minimum	48	1.1	133	68.6	25.9	237	215	26	354	
Maksimum	445621	12	4821	4147	852	389567	165520	2254	10881	
Ortalama	129651.3	4.7	1320.7	1298.6	231.2	83942.73	41195.79	670.78	3185.7	
TS 266 [47]	200	10	1000	-	2000	200	50	20	-	
WHO [48]	100	10	2400	-	2000	-	400	20	3000	
EPA [49]	200	10	-	-	2000	300	50	-	5000	

Tablo 7: Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (SKKY [55]).

	I	II	III	IV	E1	E2	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
a) Fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler (mg/l)																
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	< 6->9	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	I	I
Cl ⁻	25	200	400	> 400	II	II	II	II	II	II	II	II	I	II	I	I
Na ⁺	125	125	250	> 250	I	II	II	II	IV	III	I	I	I	II	I	I
SO ₄ ²⁻	200	200	400	> 400	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III
b) İnorganik kirlenme parametreleri (µg/l)																
Al	300	300	1000	> 1000	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	I	I	I
As	20	50	100	> 100	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
B	1000	1000	1000	> 1000	I	IV	IV	I	IV	I	I	I	IV	IV	I	I
Co	10	20	200	> 200	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II	II	II
Cu	20	50	200	> 200	IV	IV	II	II	I	I	IV	IV	III	II	I	I
Fe	300	1000	5000	> 5000	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	IV	II	I	II
Mn	100	500	3000	> 3000	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II	II
Ni	20	50	200	> 200	IV	IV	IV	IV	II	IV	IV	IV	IV	III	II	II
Zn	200	500	2000	> 2000	IV	IV	II	II	II	III	IV	IV	IV	II	II	II

4 Sonuç ve öneriler

Çan kömür havzasında açık olarak işletilen kömür ocaklarında Çan formasyonun heterojen yapıları litolojilerden oluşması nedeniyle sık sık heyelan sorunları yaşanmaktadır. Bu nedenle açık işletme yapılan ocaklarda işletme programı hazırlanırken, şev yükseklikleri ve basamak genişlikleri, litolojik faktörler göz önüne alınarak seçilmelidir. Sahada yapılan kömür madenciliği uygulamalarında, üretim sırasında topografya bozulmakta, kömür alındıkça oluşan çukurlarda asit maden gölleri oluşumu gün geçtikçe artmaktadır. Çalışma sahası ülkemizde maden göllerinin en yoğun olarak bulunduğu bölgedir. Bu sahadaki asit maden drenajının oluşumunda, sahada yüzlek veren Çan volkanitlerinin alterasyon zonlarında, Çan formasyonu kömürlerinde ve pasalar içerisinde en yaygın olarak gözlenen sülfür minerali olan pirit temel faktördür. Asit maden drenajının oluşumunda jeolojik faktörlerin yanı sıra coğrafik etmenler vb. birçok faktör de sürecin hızlanmasında etkindir. Maden gölleri hidrokimyasal analiz sonuçlarına göre çok ciddi kirlilik içeren ve içme/kullanma suyu olarak kullanımı mümkün olmayan sular olduğu saptanmıştır. Bu göllerin boşaltılmaları durumunda çevresindeki su kaynakları etkilenmektedir. Bu nedenle en kısa zamanda, saha için en uygun yöntem ile maden göllerinin rehabilite edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Çan kömür havzasındaki maden gölleri ilk kez Mayıs 2014 tarihinde çözünürlüğü 1 ile 6 cm arasında değişen yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri ile izlenmiştir. İHA görüntüleri Agisoft programında kullanılan SfM yöntemi ile 3B nokta bulutu, yüksek çözünürlüklü ortofoto ve 3B arazi modelleri oluşturulmuştur. 2014 yılı İHA görüntüleri 2013 yılı uydu görüntüleriyle karşılaştırıldığında madencilik faaliyetleri gibi antropojenik etkiler nedeniyle bir yıl gibi kısa sürede göllerin alanlarında değişim gözlenmiştir. E3 maden gölünün tümüyle boşaltıldığı ve Ç1 maden gölünün de pasalar ile kısmen doldurulduğu ayrıca antropojenik müdahale olmayan maden göllerinin (E1, E2, E4, E5, E6, E7, E8, E9, Ç1, Ç3 ve Ç4) varlığını sürdürdüğü saptanmıştır. İHA ile düşük maliyetli, hızlı, yüksek çözünürlüklü olarak elde edilen

görüntüler ile 3B modelleme yapılmış, göl alanları ve morfolojileri gerçeğe en yakın bir şekilde sunulmuştur.

İHA görüntülerinin uydu görüntülerinden daha yüksek çözünürlüklü olması ayrıntı düzeyi yüksek mekansal veri elde etmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca uydu görüntülerinde olan periyodik görüntü bulamama sorunu yoktur. Bu nedenle çevresel ve topografik olarak hızlı değişime uğrayan maden göllerinin düzenli olarak izlenmesinde uygun bir yöntemdir. Gelecek yıllarda kömür madenciliğinin devam ettiği sahalarda meydana gelen alansal değişimler ve yüzeysel deformasyonlar İHA ile yapılacak 3B modellemeler ile yüksek çözünürlüklü olarak saptanabilecektir. Ayrıca bu sayede saha için çevresel planlanma yapılabilecek ve en uygun iyileştirme stratejisi belirlenebilecektir.

5 Teşekkür

Yazarlar, değerli hakemlere katkılarından dolayı teşekkürlerini sunar.

6 References

- [1] Eisenbeiss H. "A Mini Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): System Overview and Image Acquisition". International Workshop on Processing and Visualization using High Resolution Imagery, Pitsanulok, Thailand, 18-20 November 2004.
- [2] Colomina I, Molina P. "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97, 2014.
- [3] Chikwanha A, Motepe S, Stopforth R. "Survey and requirements for search and rescue ground and air vehicles for mining applications". *19th International Conference of Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, Auckland, New Zealand, 20-30 November 2012.
- [4] Gupta RP. *Remote Sensing Geology*. 2nd ed. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2005.
- [5] Niethammer U, James MR, Rothmund S, Travelletti J, Joswig M. "UAV-Based Remote Sensing of the Super-Sauze Landslide: Evaluation and results". *Engineering Geology*, 128, 2-11, 2012.

- [6] Immerzeel WW, Kraaijenbrink PDA, Shea JM, Shrestha AB, Pellicciotti F, Bierkens MFP, Jong SM. "High-Resolution monitoring of himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles". *Remote Sensing of Environment*, 150, 93-103, 2014.
- [7] Su TC, Chou HT. "Application of Multispectral sensors carried on unmanned aerial vehicle (UAV) to trophic state mapping of small reservoirs: A case study of tain-pu reservoir in Kinmen, Taiwan". *Remote Sensing*, 7(8), 10078-10097, 2015.
- [8] Changchun L, Li S, Hai-bo W, Tianjie L. "The research on unmanned aerial vehicle remote sensing and its applications". *2nd International Conference of Advanced Computer Control (ICACC)*, Beijing, China, 27-29 March 2010.
- [9] Avdan U, Şenkal E, Çömert R, Tuncer S. "İnsansız hava aracı ile oluşturulan verilerin doğruluk analizi". *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, İstanbul, Türkiye, 14-17 Ekim 2014.
- [10] Chen J, Li K, Chang K, Sofia G, Tarolli P. "Open-pit mining geomorphic feature characterisation". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 76-86, 2015.
- [11] Francioni M, Salvini R, Stead D, Giovannini R, Riccucci S, Vanneschi C, Gulli D. "An integrated remote sensing-gis approach for the analysis of an open pit in the carrara marble district: Italy: Slope stability assessment through kinematic and numerical methods". *Computers and Geotechnics*, 67, 46-63, 2015.
- [12] Hancock GR, Lowry JBC, Moliere DR, Evans KG. "An evaluation of an enhanced soil erosion and landscape evolution model: a case study assessment of the former narbarlek uranium mine northern territory, Australia". *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(13), 2045-2063, 2008.
- [13] Herrera G, Tomas R, Vicente F, Lopez-Sanchez JM, Mallorqui JJ, Mulas J. "Mapping ground movements in open pit mining areas using differential sar interferometry". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(7), 1114-1125, 2010.
- [14] Osterkamp WR, Joseph WL. *Climatic and Hydrologic Factors*. Editors: Barnhisel RI, Darmody RG, Daniels WL. Reclamation of Drastically Disturbed Lands, 193-215, Agronomy Monograph 41, USA, 2000.
- [15] Nicolau JM, Asensio E. *Rainfall Erosion on Opencast Coal-Mine Lands: Ecological Perspective*. Editor: Haig MJ. Reclaimed Land, ErosionControl, Soils and Ecology, 51-73, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 2000.
- [16] Martin-Duque JF, Sanz MA, Bodoque JM, Lucia A, Martin-Moreno C. "Restoring earth surface processes through landform design: A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes". *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(5), 531-548, 2010.
- [17] Nixdorf B, Mischke U, Lessmann D. "Chrysophytes and chlamydomonads: pioneer colonists in extremely acidic mining lakes (pH<3) in Lusatia Germany". *Hydrobiologia*, 369/370, 315-327, 1998.
- [18] Friese K, Hupfer M, Schultze M. *Chemical Characteristics of Water and Sediment in Acid Mining Lakes of Lusatia district*. Editors: Geller W, Klapper H, Salomons W. Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation, 3-14, Springer, Berlin, 1998.
- [19] Wizotzsk F, Obermann P. "Acid Mine Groundwater in lignite overburden dumps and its prevention-the rhineland lignite mining area (Germany)". *Ecological Engineering*, 17(2-3), 115-123, 2001.
- [20] Karakas G, Brookland I, Boehrer B. "Physical characteristics of acidic mining lake 111". *Aquatic Sciences*, 65(3), 297-307, 2003.
- [21] Moser M, Weisse T. "Combined stress effect of ph and temperature narrows the niche width of flagellates in acid mining lakes". *Journal of Plankton Research*, 33(7), 1023-1032, 2011.
- [22] Forstner U, Wittmann GTW. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 1983.
- [23] Malmstrom ME, Berglund S, Jarsjo J. "Combined effects of spatially variable flow and mineralogy on the attenuation of acid mine drainage in groundwater". *Applied Geochemistry*, 23(6), 1419-1436, 2008.
- [24] Chen CJ, Jiang WT. "Influence of waterfall aeration and seasonal temperature variation on the iron and arsenic attenuation rates in an acid mine drainage system". *Applied Geochemistry*, 27(10), 1966-1978, 2012.
- [25] Anawar HM. "Impact of climate change on acid mine drainage generation and contaminant transport in water ecosystems of semi-arid and arid mining areas". *Physics and Chemistry of the Earth*, 58-60, 13-21, 2013.
- [26] Bozcu M, Akgün F, Gürdal G, Bozcu A, Kapan-Yeşilyurt S, Karaca Ö. "Çan-Yenice-Bayramiç (Çanakkale) Linyit Havzasının Sedimantolojik, Petrolojik, Jeokimyasal ve Palinolojik İncelenmesi". Ankara, Türkiye, TÜBİTAK, Proje No: 105Y114, 259, 2008.
- [27] Baba A, Gürdal G, Sengünalp F, Ozay O. "Effects of leachant temperature and ph on leachability of metals from fly ash. A case study: can thermal power plant, province of Canakkale, Turkey". *Environmental Monitoring and Assessment*, 139(1-3), 287-298, 2008.
- [28] Gürdal G, Bozcu M. "Petrographic Characteristic and Depositional Environment of Miocene Can Coals, Canakkale-Turkey". *International Journal of Coal Geology*, 85(1), 143-160, 2011.
- [29] Şanlıyüksel Yücel D. Asidik Su Kaynaklarının Karakteristikleri, Oluşumunu Sağlayan Faktörler ve Hidrojeokimyasal Özellikleri (Çan-Bayramiç; Biga Yarımadası Örneği). Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2013.
- [30] Şanlıyüksel Yücel D, Baba A. "Geochemical characterization of acid mine lakes and their effect on the environment, NW of Turkey". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(3), 357-376, 2013.
- [31] Okumusoglu D, Gunduz O. "Hydrochemical status of an acidic mining lake in Can-Canakkale. Turkey". *Water Environment Research*, 85(7), 604-620, 2013.
- [32] Şanlıyüksel Yücel D, Yücel MA, Baba A. "Change detection and visualization of acid mine lakes using time series satellite image data in geographic information systems (GIS): Can (Canakkale) County, NW Turkey". *Environmental Earth Sciences*, 72(11), 4311-4323, 2014.
- [33] Şanlıyüksel Yücel D, Balcı N, Baba A. "Generation of acid mine lakes in NW Turkey". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(4), 757-782, 2016.
- [34] SRK. "Preliminary Economic Assessment Technical Report for the Halilağa Project, Turkey". SRK Consulting (Canada) Inc., Prepared for Truva Bakır Maden İşletmeleri AŞ. and Pilot Gold Inc., Ankara, Turkey, Scientific Report, 249, 2012.

- [35] Okay Aİ, Siyako M, Bürkan KA. "Biga yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi". *TPJD Bülteni*, 2(1), 83-121, 1990.
- [36] Ercan T, Satır M, Steinitz G, Dora A, Sarıfakioğlu E, Adis C, Walter HJ, Yıldırım T. "Biga yarımadası ile Gökçeada, bozcaada ve tavşanlı adalarındaki (KB Anadolu) tersiyer volkanizmasının özellikleri". *MTA Dergisi*, 117, 55-86, 1995.
- [37] Hezarfen C. *Çanakkale-Çan Kömür Yatağı Fizibilite Araştırması*. 1. Baskı, Ankara, Türkiye, MTA Yayınları, 1976.
- [38] Yigit O. "Mineral deposits of turkey in relation to tethyan metallogeny: Implications for future mineral exploration". *Society of Economic Geologists, Economic Geology*, 104, 19-51, 2009.
- [39] Tuncalı E, Çiftçi B, Yavuz N, Toprak S, Köker A, Gencer Z. *Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri*. Ankara, Türkiye, MTA, 2002.
- [40] Gurdal G. "Abundances and modes of occurrence of trace elements in the can coals (Miocene), Canakkale-Turkey". *International Journal of Coal Geology*, 87(2), 157-173, 2011.
- [41] Lowe DG. "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Key Points". *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110, 2004.
- [42] Kang SB, Szeliski R. "Extracting view-dependent depth maps from a collection of images". *International Journal of Computer Vision*, 58(2), 139-163, 2004.
- [43] Furukawa Y, Ponce J. "Accurate camera calibration from multi-view stereo and bundle adjustment". *International Journal of Computer Vision*, 84(3), 257-268, 2009.
- [44] Winland RL, Traina SJ, Bigham JM. "Chemical composition of ochreous precipitates from ohio coal mine drainage". *Journal of Environmental Quality*, 20, 452-460, 1991.
- [45] Kim JJ, Kim SJ, Tazaki K. "Mineralogical characterization of microbial ferrihydrite and schwertmannite, and non-biogenic al-sulfate precipitates from acid mine drainage in the donghae mine area, Korea". *Environmental Geology*, 42(1), 19-31, 2002.
- [46] Edraki M, Golding SD, Baublys KA, Lawrence MG. "Hydrochemistry, mineralogy and sulfur isotope geochemistry of acid mine drainage at the Mt. morganmine environment, Queensland, Australia". *Applied Geochemistry*, 20, 789-805, 2005.
- [47] TS 266. "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik". Sular-İçme ve Kullanma Suları. 2005. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.7510&MevzuatTliski=0&sourceXmlSearch=insani%20t%C3%BCketim%20ama> (24.03.2016).
- [48] World Health Association. "Guidelines for Drinking-Water Quality". 4th ed. 2011. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf (24.03.2016).
- [49] United States Environmental Protection Agency. "Edition of the drinking water standards and health advisories United States Environmental Protection Agency". 2012. https://rais.ornl.gov/documents/2012_drinking_water.pdf (24.03.2016).
- [50] Şahinci A. *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası. İzmir, Türkiye, 1991.
- [51] Sracek O, Choquette M, Gelinat P, Lefebvre R, Nicholson RV. "Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, mine doyon, quebec, Canada". *Journal of Contaminant Hydrology*, 69(1-2), 45-71, 2004.
- [52] Karadeniz M. Balıkesir-Balya-Kurşun-Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlikle Değişiminin Araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [53] Yılmaz H. "Exploration at the Kusayiri Au (Cu) Prospect and its Implications for Porphyry-related Mineralization in Western Turkey". *Journal of Geochemical Exploration*, 77(2-3), 133-150, 2003.
- [54] Yalçın T, Sarp S. *Biga Yarımadası Termal Sularının Jeokimyasal ve Jeotermal Potansiyeli*. Editörler: Yüzer E, Tunay G. Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, 289-301, Ankara, MTA Özel Yayın Serisi, 2012.
- [55] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. "Havza Planı, Havza Koruma Planı". <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatTliski=0> (24.03.2016).
- [56] Şanlıyüksel D, Baba A. "Çan havzasında terk edilmiş maden sahalarından kaynaklanan atıkların su kaynaklarına etkisi". 64. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara, Türkiye, 25-29 Nisan 2011.
- [57] Şanlıyüksel Yücel D, Baba A. "Türkiye'de asit maden göllerine Çan (Çanakkale) havzası'ndan güncel birkaç örnek". *Jeoloji Mühendisleri Odası, Mavi Gezegen Dergisi*, 18, 1-6, 2013.