

Şekil 1. Araştırma alanı konumu

UA çalışmaları ile jeotermal araştırmaların daha önce yapılmadığı bu alanda;

- Jeotermal suların arazi yüzeyinde bulunan ağaç, kayaç ve toprak birimlerine etkilerinin,
- Mevcut termal tesis civarından ve termal dışından alınan örnekler ile yapılan spektral analizlerle jeotermal varlığının,
- Yapılan çalışmanın bölgenin topoğrafyası, jeolojik, meteorolojik ve morfolojik özelliklerine uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

2. UYGULAMA

2.1 Metod

Çalışma alanı için ASTER verileri ve spektrometre ölçmelerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanında farklı türlerden alınan örneklerin spektral imzaları kullanılmış, bu örneklerin spektral değerleri ile ASTER uydusu spektral aralıkları örtüştürülerek örneklerin birbirine karışmadığı aralıkta bulunan görünür kızıl ötesi bantları ve kızılötesi bantları tercih edilmiştir. Sınıflandırma işlemleri için En Yüksek Benzerlik (EYB) ve Spektral Korelasyon Haritalama (SKH) algoritmaları kullanılmıştır.

Çalışma amacına yönelik olarak izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir;

- Jeotermal test alanlarının seçimi,
- Arazi örneklerinin konumsal ve spektral ölçmeleri,
- Örneklere ait spektral kütüphanenin oluşturulması,
- Sınıflandırma işlemlerinde kullanılacak bant aralıklarının spektrometre sonuçları ile belirlenmesi ve sınıflandırma,
- Araştırma bölgesinde potansiyel jeotermal alanlarda var olması beklenen minerallerin çıkarımına dayalı bant matemetiği ve oranlama işlemleri,
- Doğruluk ve regresyon analizleri

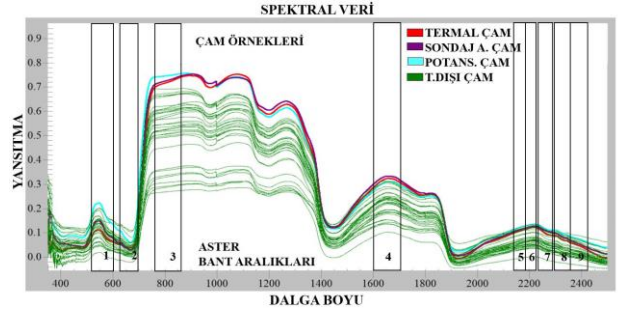
2.2 Spektrometre Ölçmeleri

Potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak yapılan bu çalışma için termal tesis ve iki farklı jeotermal sondaj test alanından alınan 65 adet çam, meşe, kayaç ve toprak bölgesel örnekleri seçilmiştir.

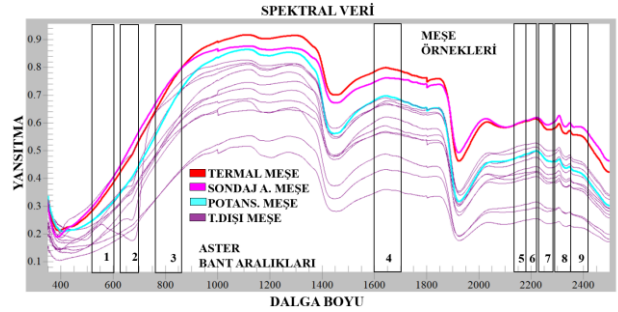
Mevcut jeotermal tesisten ve jeotermal sondaj alanlarından termal-çam, termal-meşe ve termal kayaç/toprak sınıflarını oluşturan örnekler ile test alanları dışından alınan termal alan-dışı çam, meşe ve toprak/kayaç sınıflarına ait örnekler alınmıştır. Tüm örnekler için spektrometre ölçmeleri yapılarak yansıtma eğrileri elde edilmiştir.

Görüntü sınıflandırma işlemlerinin bant seçimi için de kullanılmış olan, örnek sınıfları oluşturan çam, meşe, toprak ve kayaç örneklerinin spektrum ortalama değerleri ile elde edilen spektral imzaları, spektral kütüphane verilerini oluşturmaktadır. Spektrometre sonuçlarından elde edilen örnekler ile oluşturulan spektral kütüphane sonraki çalışmalar önemli bir kaynak olarak öngörülmüştür.

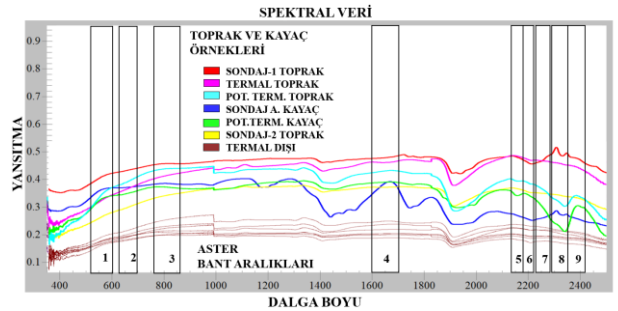
Çalışma alanından seçilen termal ve termal alan dışı çam örneklerinin yansıtma eğrileri, ASTER uydusu bant-1 ila bant-9 spektral aralıklarında irdelenmiştir (Şekil 2). İkinci örnek grubu oluşturan termal alan ve dışı meşe örneklerinde ait eğriler de ASTER uydusu aynı bant aralıklarında gösterilmiştir (Şekil 3). Üçüncü örnek grup toprak ve kayaç örnekleri ASTER uydusu bantları spektral aralıklarında incelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 2. Çam örnekleri spektral yansıtma eğrileri



Şekil 3. Meşe örnekleri spektral yansıtma eğrileri



Şekil 4. Toprak ve kayaç örnekleri spektral yansıtma eğrileri

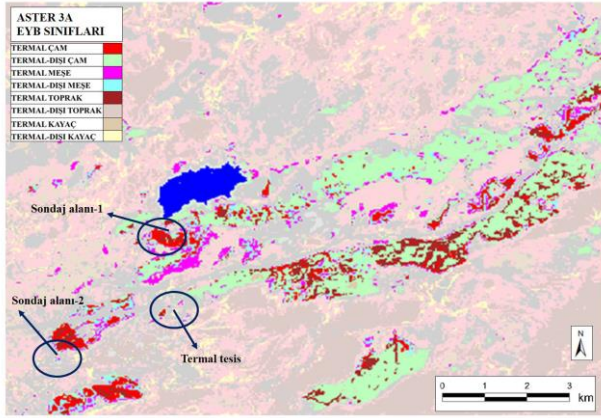
2.3 Sınıflandırma İşlemleri

Çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal alanların araştırılmasına yönelik olarak arazi çalışmaları ile elde edilen; GPS ölçmeleri ile konumları belirlenen spektrometre ölçmelerinde yapılan 65 adet örnek nokta, sınıflandırma işlemlerinin de örnekleme noktaları olarak kullanılmıştır.

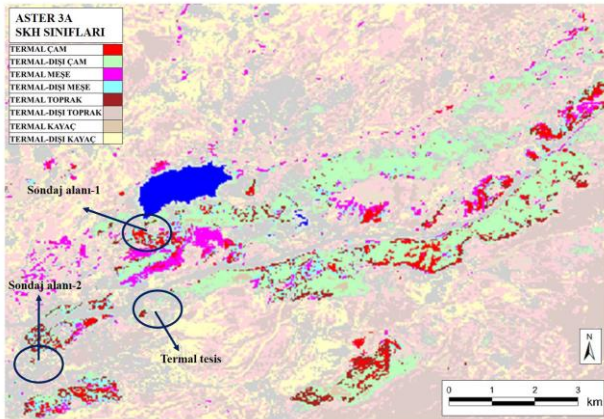
Görüntü sınıflandırma yöntemlerinin seçiminde farklı algoritmalar araştırılmış, UA araştırmacılarının yaygın olarak kullanılan En Yüksek Benzerlik (EYB) ve spektral açı haritalama yönteminin modifiye edilmiş versiyonu olarak tanımlanan Spektral Korelasyon Haritalama (SKH) algoritmaları tercih edilmiştir.

Spektrometre sonuçları ile elde edilen örneklerin optimum oranda birbirlerine karışmadığı ve ayırt edilebildiği bant aralıkları sınıflandırma işlemleri için incelenmiş; Termal-çam, termal-meşe, termal-toprak ve termal kayaç olarak adlandırılan örnek sınıflar için ASTER uydusunun görünür kızılötesi (VNIR) 2 ve 3 numaralı bantları ile yakın kızılötesi (SWIR) 4 numaralı bantları tercih edilmiştir. EYB ve SKH sınıflandırma yöntemleri arazide doğrulanmış örnekleme noktaları ile birlikte çalışılmış ve doğruluk analizleri ile birlikte karşılaştırılmıştır (Şekil 4 ve 5). EYB sınıflandırma yönteminde genel

sınıflandırma doğruluğu %94.80 olarak elde edilirken SKH sınıflandırma yönteminde sonuç, %90.50 oranında olmuştur.



Şekil 5. EYB yöntemi ile sınıflandırılmış görüntü.



Şekil 6. SKH yöntemi ile sınıflandırılmış görüntü.

EYB sınıflandırma yöntemi doğruluk analizlerinden elde edilen sekiz farklı sınıfa ait sonuçlar Çizelge 1’de, kappa istatistik değerleri de Çizelge 2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. EYB yöntemi ile elde edilen doğruluk analizi sonuçları

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Çam	44	44	39	92.86	88.64
Termal Çam	35	35	33	100.00	94.29
Meşe	30	30	27	96.43	90.00
T. Meşe	29	29	28	100.00	96.55
Toprak	98	98	96	97.96	94.12
T. Toprak	37	37	34	91.89	97.14
Kayaç	91	91	89	94.34	95.24
T. Kayaç	63	63	62	98.41	98.27
TOPLAM	427	427	408		

Çizelge 2. EYB yöntemi ile elde edilen Kappa değerleri

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
Çam	0.8744
Termal Çam	0.9382
Meşe	0.8932
Termal Meşe	0.9632
Toprak	0.9244
Termal Toprak	0.9688
Kayaç	0.9374
Termal Kayaç	0.9821

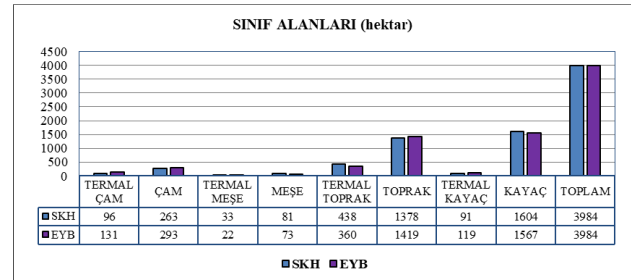
Çizelge 3. SKH yöntemi ile elde edilen doğruluk analizi sonuçları

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Çam	44	44	42	90.70	88.64
Termal Çam	35	35	30	93.75	85.71
Meşe	30	30	26	96.30	86.67
T. Meşe	29	29	26	86.67	89.66
Toprak	98	98	94	94.95	92.16
T. Toprak	37	37	31	91.18	88.57
Kayaç	91	106	88	93.33	93.33
T. Kayaç	63	63	56	98.25	90.32
TOPLAM	427	427	410		

Çizelge 4. SKH yöntemi ile elde edilen Kappa değerleri

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
Çam	0.8741
Termal Çam	0.8460
Meşe	0.8580
Termal Meşe	0.8890
Toprak	0.8989
Termal Toprak	0.8762
Kayaç	0.9126
Termal Kayaç	0.8889

Her iki sınıflandırma yönteminden elde edilen potansiyel jeotermal alanlara ait değerler Şekil 6’da gösterilmiştir.



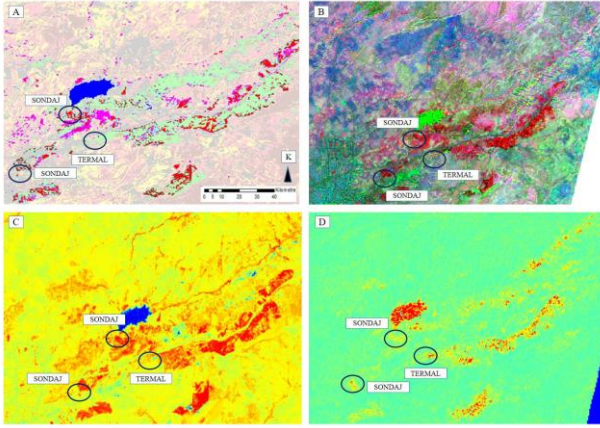
Şekil 6. Örnek sınıflara ait potansiyel jeotermal alan değerleri

2.4 Bant matematiği ve oranlamaları

Bu çalışma için UA görüntü işleme yöntemlerinden sıklıkla başvurulmuş bant matematiği ve oranlama işlemlerine, jeotermal sularda bulunması beklenen minerallerin buharlaşma yolu ile etkilendiği ağaç kökleri ve arazi yüzeyinin araştırılması için başvurulmuştur. Bu amaçla 14 Kasım 2004 tarihli ASTER uydu görüntüsü bantları ile literatürlere geçen bant matematiği ve oranlama formülleri kullanılmıştır (Çizelge 5). Elde edilen oran görüntüleri ile sınıflandırma sonuç görüntüleri değerlendirilerek, mevcut jeotermal tesis ve jeotermal sondaj çalışma alanlarındaki yüzey belirtileri incelenmiştir (Şekil 7).

Çizelge 5. ASTER uydu görüntüsü bantlarına uygulanan bant matematiği ve oran formülleri

Aster Bantları	İndeks	Formül
SWIR	Kıl M.	$(\text{bant5} \times \text{bant7}) / \text{bant6}^2$
Hepsi	Kükürt A.	$\text{bant12} / \text{bant5} / \text{bant3}$
VNIR+SWIR	Kalsit	$(\text{bant6} / \text{bant8}) \times (\text{b9} / \text{b8})$
VNIR+SWIR	Mineral K.	$(\text{bant4} / \text{bant6}, \text{bant4} / \text{bant3}, \text{bant2} / \text{bant1})$
VNIR	NDVI	$(\text{bant3} - \text{bant2}) / (\text{bant3} + \text{bant2})$

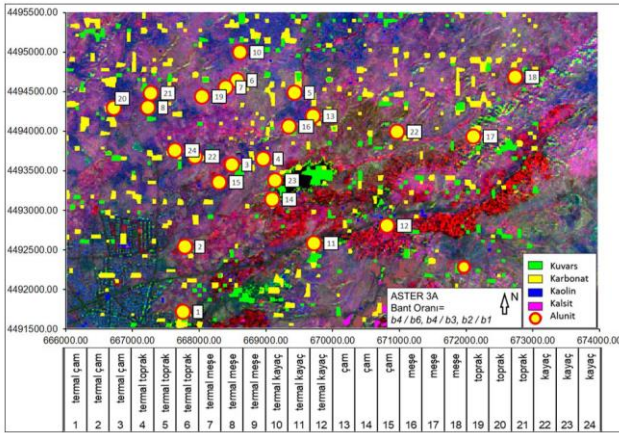


Şekil 7. Sınıflandırılmış görüntü ve oran görüntüleri, A) Sınıflandırma sonuç görüntüsü, B) Mineral kompozit görüntüsü, C) NDVI bitki indeksi ve D) Kalsit mineralleri

2.5 Regresyon Analizleri

Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan regresyon analizinde, sınıflandırma işlemlerinde yer-doğrulamalı test noktalarından seçilen 24 nokta kullanılmıştır. Regresyon analizi ile tahmini potansiyel jeotermal alanlarında var olması beklenen mineral unsurların, yapılan çalışmalar ile bağlantısı incelenmiştir. İncelenen mineraller karbonat (Ca), kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), alunit ($(\text{KAl}_3)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) ve kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) olmuştur.

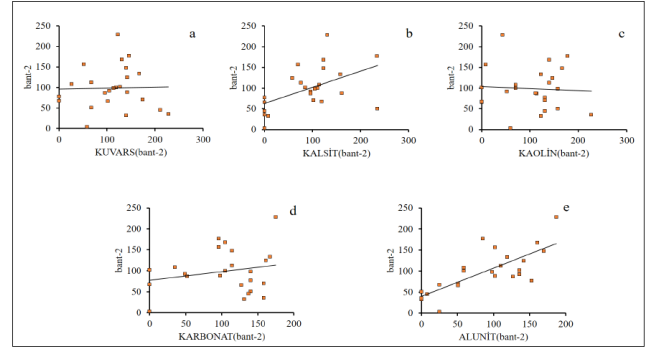
Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan regresyon analizinde, sınıflandırma işlemlerinde yer-doğrulamalı test noktalarından seçilen 24 nokta kullanılmıştır (Şekil 8). Regresyonda 24 noktada yapılan analiz ile elde edilen R değerleri Çizelge 6’ da gösterilmiştir. Şekil 9, 10 ve 11’ de ise sırası ile ASTER uydusu 2, 3 ve 4 numaralı bantları ve mineral gruplarına ait histogramlar gösterilmiştir.



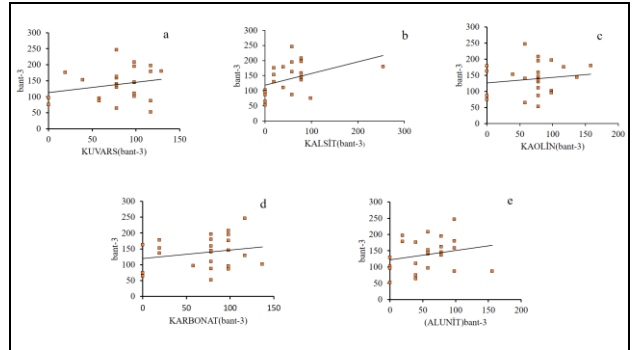
Şekil 8. Regresyon analizinde kullanılan test noktaları ve minerallerin konumsal dağılımı

Çizelge 6. Test noktalarındaki minerallerin regresyon analizi değerleri

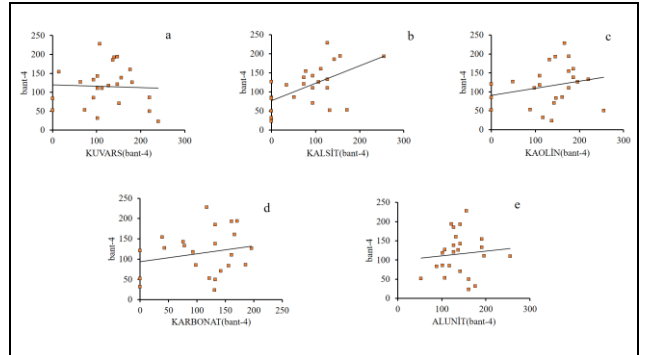
Bant No	Regresyon Katsayıları														R	
	Kuvars			Kalsit			Kaolin			Karbonat			Alunit			
	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3		Bant-4
1	-0.5260	-0.0138	0.4676	-0.2901	0.7989	0.2748	-0.1422	-0.4521	0.1503	0.5067	0.4490	-0.2884	0.5129	-0.3321	0.2054	0.880997
2	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	0.899036
3	-0.2209	0.0808	0.3199	0.0542	0.1624	0.2840	-0.2946	-0.0348	0.0006	0.1273	0.3534	-0.0708	0.7323	-0.5066	0.3509	0.940765
4	-0.1237	0.2601	0.0890	0.0158	0.3360	0.1665	-0.1115	-0.3430	0.2773	0.0062	0.4453	-0.0728	0.5907	0.1144	0.0688	0.935504
5	-0.1903	0.3092	0.1362	-0.0426	0.4067	0.1966	-0.0274	-0.4330	0.2681	0.0670	0.3609	-0.0919	0.5713	0.0719	-0.0434	0.929487
6	-0.2425	0.2399	0.1883	-0.0582	0.4937	0.1461	-0.1609	-0.4520	0.3750	0.0433	0.6199	-0.1147	0.6011	0.1028	-0.0932	0.924790
7	-0.1882	0.3176	0.1611	-0.0089	0.3792	0.1486	-0.2086	-0.2932	0.3704	-0.0001	0.5559	-0.0948	0.5849	0.1131	-0.1226	0.934110
8	-0.1632	0.2790	0.1500	-0.0083	0.3629	0.1518	-0.1637	-0.2942	0.3181	0.0613	0.4590	-0.0999	0.6361	0.0434	-0.0443	0.930352
9	-0.1624	0.3111	0.1187	0.0549	0.2386	0.1684	-0.2033	-0.0903	0.2868	0.1435	0.3325	-0.1117	0.5847	0.1749	-0.1549	0.922550



Şekil 9. Çalışma alanında regresyon analizi için seçilen 24 test noktasının ASTER uydusu bant-2 histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).



Şekil 10. Çalışma alanında regresyon analizi için seçilen 24 test noktasının ASTER uydusu bant-3 histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).



Şekil 11. Çalışma alanında regresyon analizi için seçilen 24 test noktasının ASTER uydusu bant-4 histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).

3. SONUÇLAR

Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin Çorum ili merkezinin Kuzey-Doğu (NE) kısmında yer alan çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal alanların araştırılmasına yönelik olarak yapılan bu çalışma sonuçları değerlendirildiğinde;

-Kullanılan UA yöntemleri istatistiksel doğruluk analizleri yapılarak irdelenmiş, farklı UA yöntemleri karşılaştırılmıştır.

-ASTER uydu verisinin üç adet görünür-yakın kızılötesi, altı adet kızılötesi jeotermal araştırmalarda kullanılabilirliği, sınıflandırılmış görüntüler ve oran görüntüleri ile bir arada yorumlanabilmektedir.

-Görüntü sınıflandırma işlemleri genel doğruluk analizi sonuçlarında örnek sınıfların her iki yöntemde de sınıflandırma doğrulukları yüksek oranda sonuç vermiştir.

-Spektrometre ölçmeleri sonuçlarından elde edilen yansıtma eğrilerinde termal alan ve termal-dışı örneklerin kendi türleri arasındaki spektral farklılıkları gözlemlenebilmiştir.

- Çoklu regresyon analizinde jeotermal su içeriğinde bulunması beklenen Kalsit ve Alunit mineral değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu minerallerin bulunduğu yerlerin tahmini potansiyel varlığına işaret edebilirliğinden söz edilebilmektedir.

REFERANSLAR

Abubakar, A. J., Hashim, M. & Pour, A. B. (2017). Spectral mineral mapping for characterization of subtle geothermal prospects using ASTER data, *Journal of Physics: Conference Series*, 852 (1), 012024.

Abubakar, A. J., Hashim, M. & Pour, A. B. (2018). Identification of hydrothermal alteration minerals associated with geothermal system using ASTER and Hyperion satellite data: a case study from Yankari Park, NE Nigeria, *Geocarta International*, DOI: 10.1080/10106049.2017.1421716.

Abubakar, A. J., Hashim, M., Pour, A. B. & Shehu, K. (2017). A review of geothermal mapping techniques using remotely sensed data, *Science World Journal*, 12 (4), 72-82.

Achieng, J., Mutua, J., Mibei, G., Olaka, L. & Waswa, A. K. (2017). Mapping of Hydrothermal Minerals Related to Geothermal Activities Using Remote Sensing and GIS: Case Study of Paka Volcano in Kenyan Rift Valley, *International Journal of Geosciences*, 8 (5), 711-725.

Akın, U., Uluggerli, E. U. ve Kutlu, S. (2014). Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla Değerlendirilmesi, *MTA Dergisi*, 149 (149), 201-210.

Alkan, Ö. (2018). Orta-Kuzey Anadolu Bölgesinde Maden Yatakları Ve Jeotermal Araştırmalar İçin Kullanılan Uzaktan Algılama Yöntemlerinin İstatistiksel Doğruluk Analizi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Alkan, Ö., Coşkun, H. G., Çelik, H., Alkan, M. N., Kandil, S., Okur, Y. ve Eraydın, E. (2018). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (2017), 171-182.

Arivazhagan, S. & Anbazhagan, S. (2017). ASTER Data Analyses for Lithological Discrimination of Sittampundi Anorthositic Complex, Southern India, *Geosciences Research*, 2 (3), 196-209.

Coşkun, H. G. (1992). *Uydu Verileri ile İstanbul Boğazı, Haliç ve Marmara'da Su Kirliliğinin Makro Düzeyde Belirlenmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.

Coşkun, H. G. ve Kandil, S. (2016). Uydu verileri ile veri entegrasyonu, havza gelişimi ve jeotermal enerji analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu, 9, 111-114, Afyonkarahisar, Nisan 27-29.

Coşkun, H. G., Tanık Ayşegül, A., Uğur & Çigizoglu, H. K. (2008). Determination of Environmental Quality of a Drinking Water Reservoir by Remote Sensing, GIS and Regression Analysis, *Water Air Soil Pollut*, 194 (1-4), 275-285.

Haselwimmer, C. & Prakash, A. (2013). Thermal Infrared Remote Sensing of Geothermal Systems, *Remote Sensing and Digital Image Processing*, 17, 453-473.

Hewson, R., Robson, D., Carlton, A. & Gilmore, P. (2017). Geological Application of ASTER Remote Sensing within Sparsely Outcropping Terrain, Central New South Wales, Australia, *Cogent Geoscience*, 3 (1), 2-22.

Hubbard, B. E., Hooper, D. M., Solano, F., & Mars, J. C. (2018). Determining mineralogical variations of aeolian deposits using thermalinfrared emissivity and linear deconvolution method, *Aeolian Research*, 30, 54-96.

Meer., F., Hecker, C., & Ruitenbeek, F. V. (2014). Geologic Remote Sensing for Geothermal Exploration: A Review, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33 (1): 255-269.

Melikoğlu, M. (2017). Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76 , 485-492.

Rajendran, S., & Nasir, S. (2014). Hydrothermal altered serpentinized zone and a study of Nimagnesioferrite-magnetite-awaruite occurrences in Wadi Hibi, Northern Oman Mountain: Discrimination through ASTER mapping, *Ore Geology Reviews* 62, 211-226.

Rajendran, S. & Nasir, S. (2017). Characterization of ASTER spectral bands for mapping of alteration zones of volcanogenic massive sulphide deposits, *Ore Geology Reviews*, 88, 317-335.

Rajendran, S. & Nasir, S. (2018). ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman, *Ore Geology Reviews*,

Sadeghi, B., Khalajmasoumi, M., Afzal, P., Moarefvand, P., Yasrebi, A. B., Wetherelt, A., Foster, P. & Ziazarifi, A. (2013). Using ETM and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1:1000 000 mapping sheet of Central Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 85, 103-114.

Shafaroudi, M., Karimpour, M. H., Stern, C. R. & Mazaheri, S. A. (2009). Hydrothermal Alteration mapping in SW Birjand, Iran, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing, *Journal of Applied Sciences*, 9 (5), 829-842.

Sun, G., Chen, X., Ren, J., Zhang, A. & Jia, X. (2017). Stratified spectral mixture analysis of medium resolution imagery for impervious surface mapping, *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 60, 38-48.

Teng, Y., Zhang, Y., Ti, C. & Zhang, J. (2018). Hyperspectral Image Resolution Enhancement Approach Based on Local Adaptive Sparse Unmixing and Subpixel Calibration, *Remote Sensing*, 10 (4), 592.

Yalçın, M. & Gül, F. K. (2017). GIS-based multi criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarçay basin (Afyonkarahisar), *Geothermics*, 67, 18–28.

Yalçın, M., Gül, F. K., Yıldız, A., Musaoğlu, N., Bayram, B., Polat, N. ve Başaran, C. (2017). Jeotermal Keşifler İçin Hidrotermal Alterasyon Minerallerinin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Tespit Edilmesi: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 138-146.