

# JEOTERMAL ALANLARIN CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI: AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHISAR) ÖRNEĞİ

Mustafa YALÇIN<sup>1</sup>, Fatmagül KILIÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arş. Grv., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03400, Afyonkarahisar, [mustafayalcin@aku.edu.tr](mailto:mustafayalcin@aku.edu.tr)

<sup>2</sup>Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul, [fkilic@yildiz.edu.tr](mailto:fkilic@yildiz.edu.tr)

## ÖZET

Yenilenemeyen enerji çeşitlerinden olan doğalgaz, kömür, petrol, bor ve nükleer enerji gibi kaynakların hızla ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ve doğaya, çevreye verilen zararlar, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımına yönlendirmektedir. Enerji üretiminin oldukça önemli olduğu günümüz dünyasında, çevre ve atmosfere zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin üretimi büyük önem taşımaktadır.

Afyonkarahisar ili Ege bölgesindeki önemli jeotermal potansiyele sahip illerendir. İl sınırları içerisindeki jeotermal sahalarındaki çok sayıda kaynak ve kuyulardan, termal turizmi, konut ısıtıcılığı, seracılık, balneolojik uygulamalarda yararlanılmaktadır. Gerek ülkemizde gerekse Afyonkarahisar ilinde uzaktan algılama ile CBS yöntemleri birlikte kullanılarak jeotermal alanların araştırılması yönünde yapılan etkin bir çalışma bulunmamaktadır. Jeotermal potansiyel bakımından ülkemizde ilk sıralarda yer alan termal başkenti olarak anılan Afyonkarahisar il sınırlarında, Akarçay Havzası sınırları içerisinde yeni kaynaklar elde edilmesiyle termal turizmi, konut ısıtıcılığı, seracılık ve balneolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır.

Planlanan çalışma kapsamında, bölgedeki jeotermal alanların belirlenmesinde, temel olarak uzaktan algılama teknikleri belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ile CBS tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi(ÇÖKA) sonuçları karşılaştırılacak ve jeotermal potansiyeli olan bölgeler önerilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** Jeotermal Enerji, CBS, Uzaktan Algılama, ÇÖKA

## ABSTRACT

### GEOHERMAL EXPLORATION WITH REMOTE SENSING AND GIS METHODS: AKARÇAY BASIN (AFYONKARAHISAR)

Energy and therefore energy sources, keeps a very important role all over the world for many years. Non-renewable types of energy, such as natural gas, coal, boron, nuclear energy sources is consumed fastly and unconscious way and damage to the environment. Therefore, people change to the types of energy usage to renewable energy sources effectively. Energy production is very important in today's world. Especially geothermal energy production that is renewable energy sources and not to harm the environment and atmosphere, is very important.

Afyonkarahisar is a significant geothermal potential city in the Aegean Region of Turkey. The city has a lot of springs and wells that utilized to thermal tourism, house heating, greenhouses, balneologic application. Both in our country and the province of Afyonkarahisar, didn't effectively use a combination of remote sensing and GIS methods to the issue of exploring geothermal areas. Afyonkarahisar is the first place among cities and known the capital of thermal in the Turkey, in terms of Geothermal potential. Exploring the new resources in the city within the boundaries of Akarcay Basin, increase potential of thermal tourism, housing heating, greenhouse and balneogeological applications and contribute to the renewable energy production in our country.

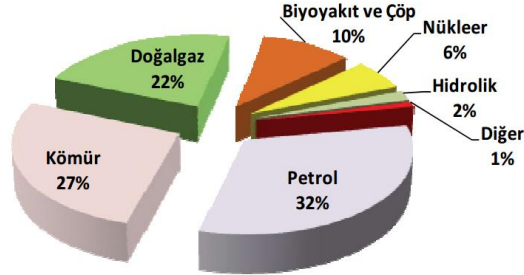
In the planned study, defined by hydrothermal alteration zones remote sensing techniques and GIS based Multi-Criteria Decision Analysis Method (MCDM) results will be compared for exploring geothermal areas in the working area. Finally geothermal potential areas will be proposed.

**Keywords:** Geothermal Energy, GIS, Remote Sensing, MCDM

## 1. GİRİŞ

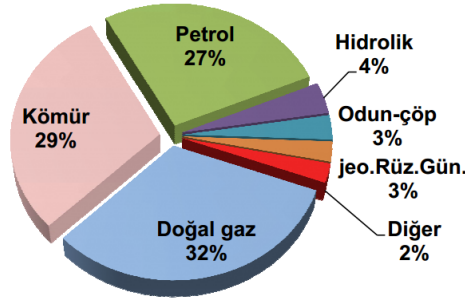
Enerji ve dolayısıyla enerji kaynakları, geçmişten günümüze tüm dünyada çok önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenemeyen enerji çeşitlerinden olan doğalgaz, kömür, petrol, bor ve nükleer enerji gibi kaynakların hızla ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ve doğaya, çevreye verilen zararlar, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımına yönlendirmektedir.

Dünya 2010 yılı birincil enerji arzı incelendiğinde yenilenemez enerji kaynaklarından, Petrol %32, Kömür %27, Doğal gaz % 22 ve Nükleer enerji %6 ile toplam arzın % 87'sini oluşturmaktadır (Şekil 1). Dünya birincil enerji arzında yenilenebilir enerjilerin toplam payı 1990 yılında %10 dan 2012 yılında %11'e yükselmiş olup, 2035 yılı için mevcut politikalara göre %12 yeni politikalar senaryolarına göre %15'e yükselmesi hedeflenmektedir (DEK-TMK, 2012).



Şekil 1. 2010 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı (World Energy Outlook IEA,2012; DEK-TMK, 2012)

Ülkemizde bu durum incelendiğinde, incelendiğinde yenilenemez enerji kaynaklarından, Petrol %27, Kömür %29, Doğal gaz % 32 ve ile toplam arzın % 88'ini oluşturmaktadır (Şekil 2). Rüzgâr, jeotermal, güneş gibi yenilenebilir enerjinin toplam payı 1990'da %1'den 2011 yılında %3'e yükselmesine rağmen dünya ortalamasının oldukça altında kalmıştır (DEK-TMK, 2012).



Şekil 2. 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı (DEK-TMK, 2012)

Ülkemizdeki enerji üretimi incelendiğinde, arz edilen miktarın çok altında kalmaktadır. Üretimin toplam birincil enerji arzının karşılama oranı 1990 yılında %48 iken 2011 yılında bu oran %28'e inmiştir. 2011 verilerine göre üretilen enerjinin %9 luk bölümü jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilmektedir (DEK-TMK, 2012).

Ülkemizdeki enerji arzı ve üretimi incelendiğinde, yenilenemez enerji kaynaklarına arz oldukça fazla olup, ihtiyacın büyük bir kısmı dış ülkelerden temin edilmektedir. Bu bağlamda ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır.

Jeotermal enerji, en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olup, konut ısıtıcılığı, elektrik üretimi, turizm, tıp, seracılık faaliyetleri, endüstri gibi pek çok alanda kullanımı bulunmaktadır. Jeotermal enerji kaynaklarının nice faydası bulunmakla birlikte, bunların başlıcaları daha önce belirtildiği gibi yenilenebilir olması yani doğru kullanımla tükenmesi zor bir enerji çeşidi olması, tespit ve üretiminin kolay olması, maliyetinin düşük olması, yatırımın çok kısa bir zamanda geri dönüş sağlaması, ayrıca diğer kaynaklara göre çevreye verilen zararın çok az olmasıdır ( Külekçi, 2009).

Jeotermal sistemler, genç tektonizma ve volkanizmaya bağlı olarak ülkemizde oldukça zengin bir jeotermal potansiyel oluşturmaktadır. Sıcaklığı 25-103 °C arasında değişen 600'ün üzerinde sıcak su kaynağının varlığı ile ülkemiz, jeotermal potansiyel bakımından Avrupa'da birinci dünyada yedinci ülke konumundadır. Türkiye'deki jeotermal sahaların % 55 gibi önemli bir bölümü 50 °C alt sınırına göre konut ısıtıcılığına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. Bunun yanısıra elektrik üretimi, endüstriyel uygulamalar, seracılık faaliyetleri, termal turizmi ve balneolojik uygulamalardan yararlanılmaktadır (MTA, 2005).

Ege bölgesi toplam potansiyelin %66'sını sınırları içerisinde bulundurmaktadır. Jeotermal enerji potansiyeli bakımından diğer bölgelere nazaran açık ara önde yer almaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı (Balıkesir Üniversitesi, GTE)

Bölge	Jeotermal Potansiyellerin Dağılımı (%)
Marmara Bölgesi	12.8
Karadeniz Bölgesi	1.9
Doğu Anadolu Bölgesi	2.5
Ege Bölgesi	66.7
İç Anadolu Bölgesi	15.2
Akdeniz Bölgesi	0.7
Güneydoğu Anadolu	0.2
Toplam	100

Afyonkarahisar ili ege bölgesindeki önemli jeotermal potansiyele sahip illerdendir. İl sınırları içerisindeki jeotermal sahalardaki çok sayıda kaynak ve kuyulardan, termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık, balneolojik uygulamalarda yararlanılmaktadır.

İlde fay hatları boyunca çıkan Sıcak sular, “orta sıcaklıklı” jeotermal alanlar grubuna dahildir. Bu alanlar, ilin Termal Turizm Merkezlerini, dolayısı ile turizm faaliyetlerinin de en önemli çekiciliklerini oluşturur (Kervankıran, 2012). Ayrıca balneolojik uygulamalarla hizmet veren çok sayıda turistik tesis ile birlikte Afyonkarahisar ili termal turizmde önemli cazibe merkezleri haline gelmiştir. Konut ısıtmacılığında, Türkiye’de İzmir’den sonra ikinci yüksek kapasiteli jeotermal enerji ile ısıtma yapan ildir. Yaklaşık 9000 konuta jeotermal enerji ile ısıtma imkanı tanınmaktadır ( Serpen, 2010). Ülkemizde tarımsal faaliyetlerde önemli yer tutan ilde, yaklaşık 80000 metrekarelik alanda seracılık faaliyetlerinde jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır (Kervankıran, 2012).

Enerji üretiminin oldukça önemli olduğu günümüz dünyasında, çevre ve atmosfere zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin üretimi büyük önem taşımaktadır. Türkiye'deki düşük, orta ve yüksek entalpili jeotermal sistemlerin araştırılması, geliştirilmesi, işletilmesi ve korunması büyük önem taşımaktadır (Bulut ve Filiz, 2005).

Gerek ülkemizde gerekse Afyonkarahisar ilinde uzaktan algılama ile CBS yöntemleri birlikte kullanılarak jeotermal alanların araştırılması yönünde yapılan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Jeotermal potansiyel bakımından ülkemizde ilk sıralarda yer alan termal başkenti olarak anılan Afyonkarahisar il sınırlarında, Akarçay Havzası sınırları içerisinde yeni kaynaklar elde edilmesiyle termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve balneolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır. Yapılacak çalışmada, Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar ili içerisinde kalan alanda uzaktan algılama teknikleri ve CBS metotları kullanılarak muhtemel jeotermal alanların belirlenmesi planlanmaktadır.

Jeotermal alanların araştırılması için yürütülen keşif çalışmalarında, temel olarak, jeolojik ve hidrolojik teknikler, keşif sondajları, jeokimyasal teknikler, jeofiziksel teknikler, uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri içerisinde, termal anomalilerin belirlenmesi, mineral aramalar ve çizgiselliklerin belirlenmesi jeotermal alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda jeotermal alana etki eden faktörler CBS tabanında incelenerek, sonuca ulaşılmaktadır (Noorollahi vd. 2006).

Kratt vd. (2010) Kuzeybatı Nevada’da yapmış oldukları çalışmada, jeotermal potansiyeli olan bölgelerde, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemlerini kullanarak hidrotermal alterasyona uğramış mineralleri tanımlamıştır. Çalışmada HyMap görüntüleri, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) uydu görüntüleri, kuyu ve su kaynakları lokasyonları, sondaj derinlikleri ve kuyu ısı dereceleri, gravite verileri, Landsat termal gece görüntüleri, Dördüncü dönem (Quaternary) fay lokasyonları, topografik ve hava fotoğraflarından elde edilen altlık haritalar, hiperspektral görüntü ve türetilmiş mineral haritaları kullanılmıştır. Aster uydu görüntülerinin görünür bölge ve kısa dalga kızılötesi bantlarına fokus olunup, hidrotermal alterasyon kayaları ve tüf kalıntıları incelenmiştir. Detay elde etmek için hiperspektral haritalama yapılarak, bölgede mineral haritalama yapılmıştır. Alunit, karbon kayaları, kireçtaşı, kaolinit, halosit, montmorillonite/illite minerallerine ve tüf malzemelerine rastlanmıştır.

Şekertekin vd. (2013) Zonguldak ilinde yapmış oldukları uzaktan algılama verileri ile yer yüzey sıcaklığının belirlenmesi isimli çalışmasında, Landsat 5 TM uydu görüntülerini ve Zonguldak Meteoroloji Müdürlüğünde alınan görüntünün alındığı tarihteki sıcaklık ve nem verilerini kullanmıştır. Tek pencere algoritmasını kullanarak, uydu

görüntüsünün parlaklık değerleri, Kelvin cinsinden yer yüzey sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri radyans değerleri ile ilişkilendirilmiş ve %97'lik bir korelasyon elde edilmiştir. Çalışma ile geniş alanlar için uydu görüntüleri yardımıyla, sıcaklık değişimlerinin izlenebileceği ve elde edilen sıcaklık haritalarının iklim modellerinin oluşturulmasında kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Yousefi vd. (2009), İran'da jeotermal kaynakların geliştirilmesine yönelik yapmış oldukları çalışmada, CBS ile termal uygunluk haritası oluşturmuşlardır. Çalışmada öncelikle veri katmanları seçilmiş, kriterler geliştirilmiş, katmanlar sentezlenmiş çalışma alanı özellikleri belirlenmiş ve muhtemel jeotermal alan öncelikleri belirlenmiştir. Buna göre 18 adet jeotermal potansiyele sahip alan önerilmiştir.

Coolbaugh vd., (2007) Nevada Churchill şehrindeki Bradys sıcak su kaynakları bölgesinde, yüzey sıcaklıkları anomalisi üretmişlerdir. Çalışmada, ASTER uydu görüntülerinin termal kızılötesi bandı ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Termal anomalideki topografik etkiyi elemine etmek için sayısal yükseklik modeli ve üretilen eğim haritası kullanılmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklığına düzeltme getirmek için yersel sıcaklık ölçer aletleri ile 24 saat aralıklarla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Çapar (2009), Ankara il sınırları içerisinde Landsat uydu görüntüleri kullanılarak jeotermal kaynakların araştırılması ile ilgili çalışmada radyant sıcaklık haritaları oluşturmuş olası faylar ve 100 yıllık deprem verilerini kullanarak jeotermal alanları incelemiştir.

Noorollahi vd. (2006) Kuzey Japonya'da Iwate ve Akita illerinde yapmış oldukları çalışmada, bölgedeki jeotermal alanlarda kaynakların keşfine yönelik CBS modeli üretmişler. Çalışmada, dördüncü dönem (kuvarter) volkanik kayalar ve faylar, jeotermal alanların lokasyonu, alterasyon alanları, tüf malzemeleri verilerini kullanarak, jeolojik olarak, jeokimyasal olarak ve yüzey ısı olarak uygun alanları ağırlıklandırarak jeotermal potansiyele sahip bölgeler belirlemişlerdir. Sonuç olarak bölgedeki mevcutta bulunan kaynakların %97'si belirlenen jeotermal potansiyel yönünden öncelikli alanda yer almıştır. Araştırma sonuçlarına göre, alterasyon mineralleri barındıran alanların 3000m yakınında %90 oranında, aktif volkanik bölgelere yakın olan bölgelerde %88 oranında hidrotermal sahalar bulunmaktadır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye, entegre havza yönetimine göre 25 adet hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Akarçay Havzası bu havzalar arasında İç Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri arasında yer alan, 30°-32° doğu boylamları (240000-400000 UTM) ile 38°-39° kuzey enlemleri (4210000-4330000 UTM) arasında sahip bir kapalı havzadır. Akarçay havzasının önemli bir kesimi Afyonkarahisar il sınırları içerisindedir ve doğudan Konya sınırlarına girmektedir. Çalışma alanı Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar il sınırları içerisinde kalan kısmını içermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Akarçay Havzası Yerleşim Yerleri ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı içerisinde Afyonkarahisar il merkezi ile İhsaniye, Sinanpaşa, İşçehisar, Bolvadin, Çobanlar, Çay, Şuhut ve Sultandağı ilçeleri ve bağlı belde ve köyler bulunmaktadır.

Afyonkarahisar il sınırları içerisinde dört adet jeotermal alan bulunmaktadır. Bunlar; Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli, Sandıklı jeotermal alanlarıdır. Bunlardan, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli jeotermal alanları Akarçay havzası sınırları içerisinde kalmaktadır.

## 2.1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı

Bölgede çok sayıda kaynak çıkışı vardır. Ömer- Gecek Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 50 °C ile 98 °C arasında değişen sıcaklıklarda çok sayıda kuyu açılmıştır. Kızık-Uyuz bölgesindeki kaynaklar kaplıca amaçlı kullanılırken Ömer-Gecek bölgesindeki kaynaklar çok sayıda termal turizmüne yönelik otel, baleolojik uygulamalar, konut ısıtmacılığı ve seracılık faaliyetlerinde kullanılmaktadır (MTA, 2005).

## 2.2 Gazlıgöl Jeotermal Alanı

Gazlıgöl jeotermal alanında 14 adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Gazlıgöl Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 51 °C ile 74 °C arasında değişen sıcaklıklarda 4 adet kuyu açılmıştır (MTA, 2005). Bölgede kaynaklar çok sayıda termal turizmüne yönelik otel faaliyetleri, baleolojik uygulamalarda kullanılmaktadır.

## 2.3 Heybeli Jeotermal Alanı

Heybeli jeotermal alanında çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Heybeli Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 37.5 °C ile 56.5 °C arasında değişen sıcaklıklarda 8 adet kuyu açılmıştır (MTA, 2005). Bölgede kaynaklar kaplıca turizmüne yönelik kullanılmaktadır.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

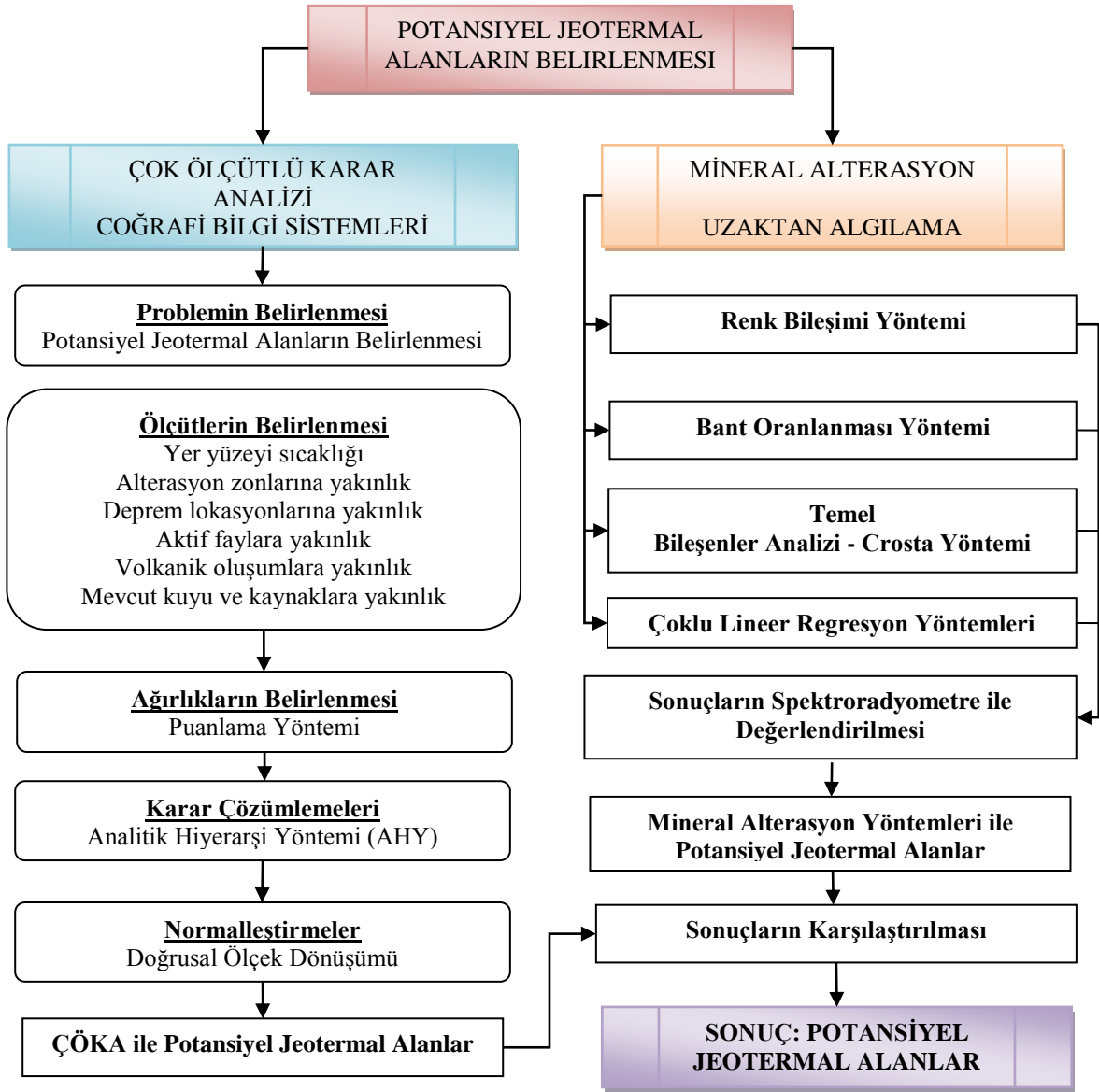
Çalışma kapsamında, farklı kurumlardan çok çeşitli veriler toplanacaktır. Bu veriler hem CBS ortamında analizler hem de uzaktan algılama teknikleri ile yapılacak analizler için altlık oluşturacaktır. Bu kapsamda Harita Genel Komutanlığı (HGK)'nın hazırlamış olduğu 1/25000 ölçekli Standart Topografik Harita (STH), sayısal yükseklik modeli oluşturmak ve drenaj haritası oluşturmak için kullanılacaktır. Sayısal yükseklik modelinden, eğim ve bakı katmanları oluşturulacak uydu görüntülerinin işlenmesinde kullanılacaktır. Jeoloji Haritaları MTA'dan elde edilecek bölgedeki jeolojik formasyonlar ve volkanik oluşumlar incelenecektir. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden, çalışma alanında 1901 yılından günümüze kaydedilmiş depremlerin episentir koordinatları enlem-boylamları ve büyüklük bilgileri edinilecektir. Landsat TM görüntüleri, ve Terra ASTER multi-spektral görüntüleri, mineral alterasyon haritalama ve yer yüzey sıcaklığının belirlenmesi için kullanılacaktır. Uydu görüntüleri için çalışma alanında düzeltmeler uygulamak için spektrometre ile alınan veriler kullanılacaktır. Uydu görüntüleri ile eş zamanlı olarak çalışma alanındaki yer yüzey sıcaklığı ölçümleri yapılacak elde edilen veriler uydu görüntülerinden elde edilen sıcaklıklarla karşılaştırılacaktır. Çalışma alanında uydu görüntüleri ile eş zamanlı olarak Meteoroloji istasyonlarından sıcaklık ve nem bilgileri alınacaktır. Yer yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılacaktır. Çalışma alanına ait aktif faylar MTA ve bölgede yapılan önemli çalışmalardan elde edilecektir. MTA'dan çalışma alanına ait mevcut jeotermal kaynak ve kuyuların lokasyonları elde edilecektir.

Çalışma kapsamında, bölgedeki jeotermal alanların belirlenmesinde, uzaktan algılama teknikleri ile belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ile CBS-ÇÖKA sonuçları karşılaştırılacak ve muhtemel jeotermal potansiyeli olan bölgeler önerilecektir (Şekil 4).

ÇÖKA adımlarının birinci aşaması problemin belirlenmesidir. Burada problem muhtemel jeotermal alanların belirlenmesidir. Daha sonra bu probleme uygun ölçütler belirlenmelidir. İlgili literatür araştırmaları sonucunda, yer yüzeyi sıcaklığı, alterasyon zonlarına yakınlık, deprem lokasyonlarına yakınlık, aktif faylara yakınlık, volkanik oluşumlara yakınlık, mevcut kuyu ve kaynaklara yakınlık olarak ölçütler belirlenmiştir. Bu ölçütler karar vericiler ve uzmanlar tarafından bölgedeki özelliklere göre tekrar değerlendirilecektir. Yer yüzeyi sıcaklığının belirlenmesi için çalışma alanını kapsayan en uygun uydu görüntüsü ASTER olarak belirlenmiş olup, yeni çekim ve gece görüntüsü olmak üzere kullanılacaktır. Gece görüntülerinin kullanılmasının nedeni gündüz güneş nedeniyle topraktaki ısınmalar ve bakı etkisinin elemine edilmesidir. Ayrıca uydunun geçişi esnasında sıcaklık ölçer ve nem ölçer cihazları ile ölçümler yapılacak ve belirlenen yüzey sıcaklık değerlerine düzeltmeler getirilecektir.

Çalışmada ölçütlerin birbiri ile sentezlenebilmesi için birbirine göre bağlı önemlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem ağırlıklandırma olarak adlandırılır. Ağırlıklandırma için çalışmada puanlama yöntemi kullanılacak olup, bu yöntemde mevcut jeotermal sahaların özellikleri göz önünde bulundurularak uzman kişilerin bilgilerine

başvurularak ölçütlere puan verilecek ve yapılacak işlemler sonucunda ağırlıklar belirlenecektir. Burada ağırlıkların belirlenmesi işlemi subjektif bir konu olup görüşü alınan uzmanlara ve bölge özelliklerine göre değişmektedir. Karar çözümlenmesi safhasında AHY kullanılacaktır. AHY aşamalarından ilki normalleştirmelerdir. Normalleştirmeler ölçütlerin aynı payda altında sentezlenebilmesi için gereklidir. Birçok normalleştirme yöntemi olup bunlardan en çok kullanılanlarından birisi Doğrusal Ölçek Dönüşümü yöntemidir. Normalleştirme işlemi sonucunda her ölçüt 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Normalleştirilmiş ölçüt katmaları belirlenen ağırlıkları ile birlikte çarpılıp toplanarak değer haritası oluşturulacaktır. Bu değer haritası da son olarak uygun bir sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılıp sonuç olarak ÇÖKA ile potansiyel alanlar belirlenecektir.



Şekil 4. İş Akış Şeması

Çalışmada bir diğer yöntem olan, mineral alterasyon belirleme yöntemi için, multi-spektral uydu verileri kullanılacaktır. Burada ASTER ve Landsat TM görüntüleri kullanılacak olup bölgede alterasyona uğrayan mineraller tespit edilmeye çalışılacaktır. Uydu verilerin değerlendirilmesinde öncelikle, geometrik düzeltmeler, radyometrik düzeltmeler, bozuk bantların elemine edilmesi, şerit tarama hatalarının giderilmesi, spektral bant merkez kayıklıklarının giderilmesi, atmosferik topografik düzeltmeler yapılacaktır. Topografik düzeltme için gerekli olan eğim ve bakı farklılıkları sayısal yükseklik modelinden elde edilip kullanılacaktır.

Günümüzde uzaktan algılama yöntemlerinde alterasyon alanlarının tayini için 4 temel prensip kullanılmaktadır: Renk bileşimi, Bant oranlanması, Temel bileşenler analizi - Crosta yöntemi ve Çoklu lineer regresyon yöntemleri kullanılacaktır. Yöntemler sonucunda elde edilen sonuçlara göre muhtemel bölgelerde spektrometre ile veri toplanıp yöntemlerin doğrulukları değerlendirilecektir. Buna göre alterasyona uğramış mineraller belirlenip potansiyel jeotermal alanlar önerilecektir.

#### 4. SONUÇ

Yapılacak çalışma sonucunda, CBS-ÇÖKA ile potansiyel jeotermal alanlar ve uzaktan algılama teknikleri ile mineral alterasyon zonları belirlenecektir. Uzaktan algılamada kullanılan dört yöntem spektrometre ile elde edilen sonuçlara göre değerlendirilecek ve doğrulukları karşılaştırılacaktır. Buna göre doğruluğu en yüksek bulunan yöntemle göre hidrotermal alterasyon zonları belirlenecektir. CBS-ÇÖKA sonuçları bu zonlarla karşılaştırılacak ve son olarak iki yöntemle elde edilen sonuçlar mevcuttaki termal sahalarla karşılaştırılacaktır. Karşılaştırmalar sonucunda iki yöntemle de elde edilen sonuçlar doğruluklarına göre değerlendirilerek potansiyel jeotermal alanlar önerilecektir.

Bu çalışma ülkemizde ve dünyada önemi tartışmasız olan, yenilebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerji kaynağının araştırılmasında önemli katkılar sağlayacaktır. Özellikle çalışma alanının, termal başkenti olarak anılan ve termal turizmde ülkenin %33'lük yatak kapasitesine sahip, sağlık ve konut ısıtmacılığı gibi birçok jeotermal uygulamada önde olan Afyonkarahisar olması, başta çalışma sahası olmak üzere ülkemizdeki diğer sahalardaki çalışmalara yardımcı olması beklenmektedir.

#### KAYNAKLAR

**Balıkesir Üniversitesi Gönen Jeotermal Enstitüsü**, [Http://Jeotermal.Balikesir.Edu.Tr/Jeotermal5.Php](http://Jeotermal.Balikesir.Edu.Tr/Jeotermal5.Php)., (20.04.2014)

**Bulut, M. ve Filiz, Ş.**, 2005, Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi, Hidrokimyası Ve İzotopik Özellikleri (İzmir, Batı Anadolu, Türkiye), MTA Dergisi, 131.

**Coolbaugh M. F., Kratt C., Fallacaro A., Calvin W. M., Taranik J. M.**, 2007, Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA, Remote Sensing of Environment, Volume 106, Issue 3, Pages 350–359

**Çapar N.**, 2009, Landsat Uydu Görüntüleri Kullanılarak Jeotermal Kaynakların Araştırılması, Ankara Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu 2012, Ankara, Aralık 2012, ISSN: 1301-6318

**Kervankıran İ.**, 2012, Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı Ve Sorunları, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 25, Ocak - 2012, S. 108-126

**Kırat C., Calvin W. M., Coolbaugh M. F.**, 2010, Mineral mapping in the Pyramid Lake basin: Hydrothermal alteration, chemical precipitates and geothermal energy potential, Remote Sensing of Environment 114 (2010) 2297–2304

**Külekcı, Ö.C.**, 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi Cilt: 1 Sayı: 2 Sayfa: 083-091

**MTA**, 2005 Jeotermal Kaynaklar Envanteri. Ankara

**Noorollahi Y., Itoi R., Fujii H., Tanaka T.**, 2006, GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, Computers & Geosciences 33 (2007) 1008–1021

**Serpen, Ü., Aksoy, N. ve Öngür, N.**, 2010, 2010 present status of geothermal energy in Turkey. Proceedings, Thirty Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 7p., USA.

**Şekertekin A., Kutoğlu Ş. H., Kaya Ş.**, 2013, Uzaktan Algılama Verileri Yardımıyla Yer Yüey Sıcaklığının Belirlenmesi, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara

**Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsu Y., Nishijima Y., Sasaki K.**, 2009, Developing the geothermal resources map of Iran, Geothermics 39 (2010) 140–151

\* Çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce Desteklenmektedir.