Jeotermal Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Araştırılması: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar)

Arş.Grv. Mustafa Yalçın[1], Prof.Dr. Fatmagül KILIÇ[2]

[1] Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

[2] Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul

mustafayalcin@aku.edu.tr, fkilic@yildiz.edu.tr

Özet: 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 illerdendir. İl sınırları içerisindeki jeotermal sahalardaki çok sayıda kaynak ve kuyulardan, termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık, balneolojik uygulamalarda yararlanılmaktadır. Gerek ülkemizde gerekse Afyonkarahisar ilinde coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) yöntemleri birlikte kullanılarak jeotermal alanların araştırılması yönünde yapılan etkin bir çalışma bulunmamaktadır. Planlanan çalışma kapsamında, bölgedeki jeotermal alanların belirlenmesinde, CBS tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi (ÇÖKA) sonuçları karşılaştırılacak ve jeotermal potansiyeli olan bölgeler önerilecektir. 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 balneojeolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Sözcükler: CBS, ÇÖKA, Jeotermal Enerji Kaynakları

Geothermal Exploration With GIS Based Multi Criteria Decision Making Methods: Akarcay Basın (Afyonkarahısar)

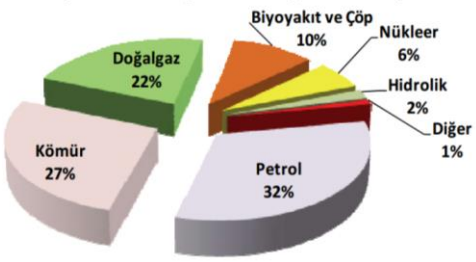
Abstract: Energy production is very important in today's world. Especially geothermal energy production that is renewable energy sources and not to harm the environment and atmosphere, is very important. Afyonkarahisar is a significant geothermal potential city in the Aegean Region of Turkey. The city 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. In the planned study, defined by 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. 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.

Keywords: GIS, MCDM, Geothermal Energy Sources

1. Giriş

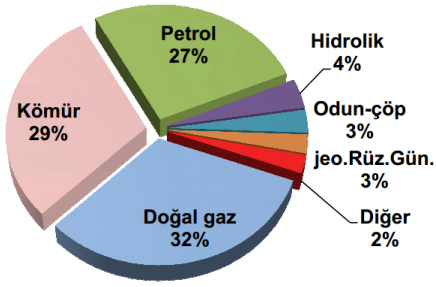
Enerji ve dolayısıyla enerji kaynakları, geçmişten günümüze tüm dünyada çok önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenemeyen enerji çeşitlerinden olan doğalgaz, kömür, petrol, bor ve nükleer enerji gibi kaynakların hızla ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ve doğaya, çevreye verilen zararlar, insanları yenilenebilir 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 yenilebilir 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 [3].



Şekil 1. 2010 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı [3]

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 [3].



Şekil 2. 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı [3]

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 [3].

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 ısıtmacılığı, 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 [7].

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 ısıtmacılığına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. Bunun yanısıra elektrik üretimi, endüstriyel uygulamalar, seracılık faailetleri, termal turizmi ve balneolojik uygulamalardan yararlanılmaktadır [10].

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 [4]. Ayrıca balneolojik uygulamalarla hizmet veren çok sayıda turistik tesis ile birlikte Afyonkarahisar ili termal turizminde 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 tanımaktadır [15]. Ülkemizde tarımsal faaliyetlerde önemli yer tutan ilde, yaklaşık 80000 metrekarelik alanda seracılık faaliyetlerinde jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır [4].

Gerek ülkemizde gerekse Afyonkarahisar ilinde CBS yöntemleri ile 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 balneojeolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır. Yapılacak çalışmada, Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar ili içerisinde kalan alanda CBS metotları kullanılarak muhtemel jeotermal alanların belirlenmesi planlanmaktadır.

2. CBS ile Jeotermal Kaynak Araştırmaları Örnekleri

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 anamolilerin belirlenmesi, mineral aramalar ve çizgiselliklerin belirlenmesi jeotermal alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda jeotermal alana etki eden faktörler CBS tabanında incelenerek, sonuca ulaşılmaktadır [11].

Noorollahi vd., [11], Kuzey Japonya'da Iwate ve Akita illerinde yapmış oldukları çalışmada, bölgedeki jeotermal alanlarda kaynakların keşfine yönelik CBS modeli üretmişler. Çalışmada, dördüncü dönem (kuvartner) volkanik kayalar ve faylar, jeotermal alanların lokasyonu, alterasyon alanları, tüf malzemeleri verilerini kullanarak, jeolojik olarak, jeokimyasal olarak ve yüzey ısısı 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.

Kratt vd. [5], 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 (Quertnary) fay lokasyonları, topografik ve hava fotoğraflarından elde edilen altlık haritalar, hiperspektral görüntü ve türetilmiş mineral haritaları kullanılmıştır. Alunit, karbon kayaları, kireçtaşı, kaolinit, halosit, montmorillonite/illite minerallerine ve tüf malzemelerine rastlanmıştır.

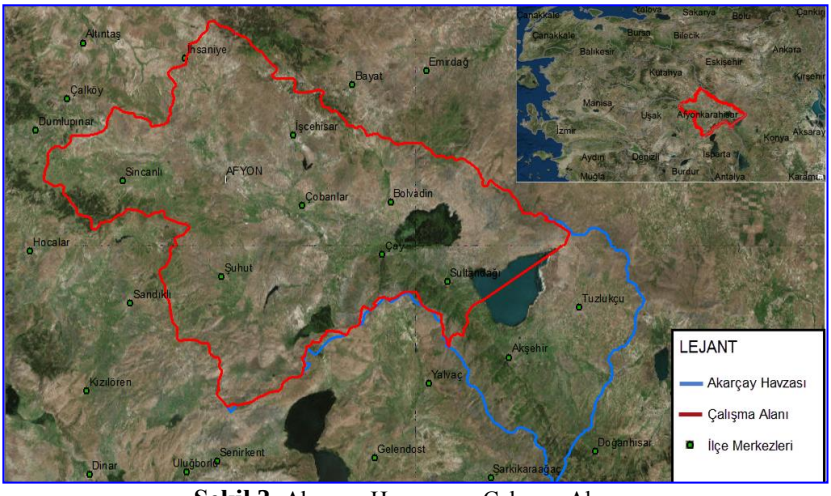
Yousefi vd., [17], İran'da jeotermal kaynakların geliştirilmesine yönelik yapmış oldukları çalışmada, CBS ile termal uygunluk haritası oluşturmuşlardır. Çalışmada öncelikle veri katmanları seçilmiş, kriterler geliştirilmiş, katmanlar sentezlenmiş çalışma alanı özellikleri belirlenmiştir. Buna göre muhtemel jeotermal alan öncelikleri belirlenmiştir. Buna göre 18 adet jeotermal potansiyele sahip alan önerilmiştir.

Coolbaugh vd. [1], Nevada Churchill şehrindeki Bradys sıcak su kaynakları bölgesinde, yüzey sıcaklıkları anamolisi 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.

3. Materyal ve Metod

3.1 Çalışma Alanı

Türkiye, entegre havza yönetimine göre 25 adet hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Akarçay Havzası bu havzalar içinde İç Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri arasında yer alan, kapalı havzadır. Akarçay havzasının önemli bir kesimi Afyonkarahisar il sınırları içerisindedir ve doğudan Konya sınırlarına girmektedir. Çalışma alanımız Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar il sınırları içerisinde kalan kısmıdır(Şekil 3).



Şekil 3. Akarçay Havzası 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.

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 turizmine yönelik otel, baleolojik uygulamalar, konut ısıtmacılığı ve seracılık faaliyetlerinde kullanılmaktadır [10].

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 [10]. Bölgede kaynaklar çok sayıda termal turizmine yönelik otel faaliyetleri, baleolojik uygulamalarda kullanılmaktadır.

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 [10]. Bölgede kaynaklar kaplıca turizmine yönelik kullanılmaktadır.

3.2 Kullanılacak Veriler

Çalışma kapsamında, CBS katmanlarının hazırlanması için farklı kurumlardan veriler toplanacaktır. 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. 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 episentır koordinatları enlem-boylamları ve büyüklük bilgileri edinilecektir. Terra ASTER multi-spektral görüntüleri, yer yüzey sıcaklığının belirlenmesi için 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. Bu bilgiler, 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.

3.3 Yöntem

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 muhtemel jeotermal potansiyeli olan bölgeler önerilecektir.

Çok Ölçütlü Karar Analizi

En genel anlamda, çok ölçütlü karar problemleri, kıyaslanması mümkün olmayan ve birbirine rakip kriterler temelinde değerlendirilen bir dizi alternatif içermektedir [14]. ÇÖKA'nın genel amacı karar verici ya da karar verici grup için çelişkili ve birbirine rakip kriterlerin bulunduğu ortamda, bir dizi alternatif arasından en iyi alternatifin seçimi için yardımcı olmaktır. ÇÖKA süreci farklı adımlar halinde bölümlendirilebilir [9].

a) Problemin Tanımlanması

Karar analizlerinin başlangıcında problemin ne olduğu belirlenmeli ve tanımlanmalıdır. Karar problemi, sistemin mevcut durumu ile istenen ya da beklenen durum arasındaki algılanan fark olarak tanımlanmıştır [9].

Tez çalışmasındaki problem muhtemel jeotermal alanların belirlenmesidir.

b) Ölçütlerin Belirlenmesi

Problem tanımlandıktan sonra, ÇÖKA'da ölçütlerin belirlenmesi adımına geçilir. Bu adım ÇÖKA adımlarının önemli adımlarından birisidir. Çünkü seçilecek ölçütler sonucu doğrudan etkilemektedir. Ölçütlerin belirlenmesi, karar problemine bağlı olarak, ilgili tüm etkileri yansıtan kapsamlı hedefler setidir. Ölçütler coğrafik ögelerle ve ögeler arasındaki ilişkilerle birlikte değerlendirildiğinde harita formunda sunulabilir. Ölçütlerin belirlenebilmesi için iki teknik bulunmaktadır [9].

- İlgili litaratür taramalarının yapılmasıyla diğer çalışmalarda kullanılan ölçütlerin araştırılması
- Örnekleme araştırmaları ve ilgili kişiler, karar vericiler ya da uzmanlardan bilgi edinme

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 belirlenmiştir. Bu ölçütler karar vericiler ve uzmanlar tarafından bölgedeki özelliklere göre tekrar değerlendirilecektir.

c) Alternatifler

Her bir alternatif, karar değişkenleri olarak tahsis edilir [9]. Karar değişkenleri, probleme bağlı olarak sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış bir biçimde oluşturulabilir. ÇÖKA ile risk analizlerinde alternatifler, çalışma alanı içerisindeki farklı mekânsal birimleri temsil edebilir. Bu durumda karşılaştırmalar da mekânsal birimler arasında yapılır. Mekansal birimler raster veri formatında ise grid hücreler arasında, vektör veri formatında ise nokta, çizgi, poligonlar arasında karşılaştırmalar yapılır [8].

d) Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

Bu adımda, karar vericilerin önerileri doğrultusunda, ölçütler karar modeli ile birleştirilir. Bu öneriler genel anlamda ölçütlerin birbirlerine göre bağıl önemlerini vurgular. Alternatifler, öznitelikler ve ağırlıklar, veri girdisi olarak biraraya getirildiklerinde, karar matrisi veya karar tablosu haline dönüştürülebilmektedirler [9]. Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler şunlardır [13].

- Sıralama
- Puanlama
- İkili Karşılaştırma

Sıralama Yöntemi

Sıralama yöntemi, eğer karar vericilerin önerileri ölçütlerin öneminin sıralanmasına yönelik ise kullanılır. Bu yönteme göre öncelikle ölçütler, önemlerine göre sıralandırılırlar. Ölçütlerin sayısal değerlerini belirlemek için sıralama metodu kullanılır.
En çok kullanılan diğer sıralama metotları sıralamanın tersinin alınması ve sıralamanın üslü kuvvetlerinin alınmasıdır.

Sıralama yaklaşımlarının büyük avantajı sade olmasıdır. Karar vericilerin önerilerinin alınması hususunda kolaylık sağlar. Dezavantajı ise bu sadelik, ölçüt ağırlıklarını ölçüt sayısına göre değişen değerlerle oluşturmaktadır. Ölçüt ağılıklarının bağıl önemleri arasındaki farkın büyük ya da çok küçük olduğu durumlarda, ara değerler elde edilememektedir. Örneğin iki ölçütlü bir durumda, yukarıdaki formüle göre hesaplama yapıldığında, birinci ölçüt diğerine göre iki kat daha önemli olduğu sonucu ortaya çıkar [16].

Puanlama Yöntemi

Puan tahsisi yaklaşımı ve oran kestirimi yöntemi gibi puanlama yöntemleri, sıralama yöntemine göre daha hassasiyetli sonuçlar üretir. Karar vericiler bu yöntemlerle ölçütlerin bağıl önemlerini sadece sıralamayla değil aynı zamanda bir aralık içesinde değerlendirebilmektedirler. Puan tahsisi yaklaşımı, uygulama açısından kolay bir yaklaşımdır. Karar vericilere seçilen bir ölçüt için 100 puan üzerinden, bir puan vermesi istenir. Ölçütlerin aldığı puanlar diğer ölçütlere göre bağıl önemini gösterir [9].

Oran kestirimi yönteminde en önemli ölçüte keyfi bir puanın verilir. Sıralamada daha az öneme sahip ölçütlere orantılı olarak daha düşük puanlar verilir ve en az öneme sahip ölçüte puan verilinceye kadar devam eder. Buna göre, en az önemi olan ölçüte verilen puan, oran hesaplamaları için temel alınır [9].

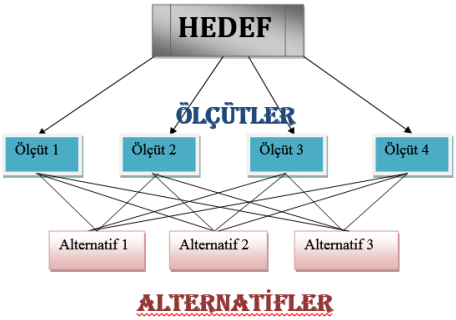
İkili Karşılaştırma Yöntemi

İkili Karşılaştırma yöntemi 1980 yılında Saaty tarafından geliştirilmiştir. ÇÖKA yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) içerisinde kullanılmaktadır. Ölçütlerin her biri tüm diğer ölçütlerle ikili gruplar halinde karşılaştırılarak, ölçütlerin bağıl önemi matrisler halinde hesaplanır. Karşılaştırmalarda, 1-9 arasındaki sayılar kullanılarak ölçütlerin birbirlerine olan bağıl önemleri değerlendirilir. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını belirlemek için Saaty'nin önerdiği tutarlılık oranı (TO) kullanılmaktadır. Buna göre ikili karşılaştırmaların tutarlı olabilmesi için, hesaplamalar sonucu elde edilen TO üst limiti 0.10 olmalıdır. TO 0.10'un üstünde ise karşılaştırmaların tutarsız olduğu anlaşılır ve bu durumda karşılaştırmaların yeniden gözden geçirilmesi düşünülebilir [9].

Çalışmada ölçütlere ait ağırlıklar puanlama yöntemine göre, mevcut jeotermal sahaların özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenecektir.

e) Karar Çözümlemeleri

CBS-ÇÖKA karar çözümlemeleri aşamasında çok fazla yöntem kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları [13];
-Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme)
-Ağırlıklı Çarpım Yöntemi
-Analitik Hiyerarşi Yöntemi
-Değer/Fayda Fonksiyonu Yaklaşımı
-İdeal Nokta Yöntemi
-Uyum Yöntemi
-Bulanık Mantık İşlemi
-Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi
-Sıralı Ağırlıklı Ortalama
En çok kullanılan karar çözümlemeleri yöntemlerinden birisi olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) 1970'lerde Thomas Saati tarafından geliştirilmiştir. ÇÖKA adımlarını hiyerarşik adımlar halinde düzenleyen AHY'nin, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır. AHY her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır [12] (Şekil 4).



Şekil 4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi Modeli

AHY'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHY, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir. AHY çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır [6].

Çalışmada karar çözümlemeleri safhasında AHY kullanılacaktır.

Normalleştirmeler

Ölçütler belirlendikten sonra, ölçütlerin bir arada sentezlenebilmesi için normalleştirme işlemine geçilir. Karar verme sürecinde pek çok farklı kaynaktan gelen çeşitli veriler kullanılabilmektedir. Verilerin birbirleri arasındaki uyumlulukları doğrudan karara etki edecek olan önemli bir etmendir. Farklı katmanlara ait sayısal veri değerlerinin yan yana gelmeleri sonucu oluşabilecek ölçek orantısızlıklarının yanı sıra, öznitelik verilerinin birimleri arasındaki farklılıklar da, hesaplamalar sırasında kullanılacak verilerin ortak bir paydada bütünleşebilmesini imkansız kılan diğer faktörler arasında yer almaktadır. Bu uygulamaları gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen yöntemler; doğrusal ölçek dönüşümü, değer fonksiyonu yaklaşımı, olasılık yaklaşımı ve bulanık küme üyeliğidir [9].

Doğrusal ölçek dönüşümü, ham verinin 0 ile 1 arasında değerler almasını sağlamaktadır. En çok kullanılan doğrusal ölçek dönüşümü yöntemleri en büyük değer ve değer aralığı yöntemleridir.

- En Büyük Değer Yöntemi

En büyük değer yönteminde veri, içerisindeki en büyük değere bölünerek maksimum değerin 1 olması sağlanır.

$$x_{ij}^{'} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \qquad (1)$$

Eğer veri içerisindeki en büyük değerin en küçük olması isteniyorsa, bölme işlemi sonucu elde edilen değer 1'den çıkarılır.

$$x_{ij}^{'} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \qquad (2)$$

Bu dönüşüm yönteminin en büyük avantajı verilerin birbirlerine oranlarını bozmuyor olmasıdır [2].

- Değer Aralığı Yöntemi

Değer aralığı yönteminde veri içerisindeki minimum değer, veri üzerindeki her bir değerlerden çıkarılır ve minimum ve maksimum değer arasındaki farka bölünür.

$$x_{ij}^{'} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \qquad (3)$$

Eğer veri içerisindeki en büyük değerin en küçük olması isteniyorsa, veri içerisindeki maksimum değerden, veri üzerindeki her bir değer çıkarılır ve minumum ve maksimum değer arasındaki farka bölünür.

$$x_{ij}^{'} = \frac{x_{ij}^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \qquad (4)$$

Bu yöntemin en büyük avantajı verilerin tam olarak 1 ve 0 sayıları arasında değerler alıyor olmasıdır. En tercih edilmeyen özelliklere

sahip olan veri, her zaman 0 değerini almaktadır. Ancak bu yöntem, en büyük değer yönteminde olduğu gibi oranlar arasında bir korunma sağlamaz [2].

Çalışmada oluşturulan tüm katmanlar En Büyük Değer Yöntemine göre normalleştirme işlemi yapılacaktır.

ÇÖKA Sonuçları

Normalleştirilmiş ölçüt katmaları belirlenen ağırlıkları ile birlikte çarpılıp toplanarak değer haritası oluşturulacaktır. Sınıflandırma yöntemleri ile muhtemel jeotermal alanlar belirlenecektir.

4. Sonuçlar

Çalışma sonucunda, ÇÖKA ile jeotermal kaynaklar için muhtemel potansiyel alanlar önerilecektir.

Jeotermal saha araştırmaları, oldukça karmaşık ve çok sayıda faktörün değerlendirmeye alınmasını gerektiren bir konudur. ÇÖKA ile birçok faktör önem derecesine göre işleme alındığından problemlerin çözümlerinde kullanılan klasik yöntemlerden daha etkili bir yaklaşımdır.

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 balneojeolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır. Böylece yapılacak çalışma, ülke ekonomisine, bilime ve ülkemizin kültürel anlamda gelişimine katkıda bulunması beklenmektedir.

5. Kaynaklar

[1] 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

[2] Doğramacı, S., (2009). Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Toplu Konut Yer Seçimi, **Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Enerji Raporu 2012**, Ankara, Aralık 2012, ISSN: 1301-6318

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

[5] Kratt 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

[6] Kuruüzüm, A., (2001). "Analitik Hiyerarşi Yöntemi Ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları", Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi 2001(1):83-105.

[7] Külekçi, Ö.C., 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi Cilt: 1 Sayı: 2 Sayfa: 083-091

[8] Kyutae, L., (2010). "Flood Risk Management",http://old.iihr.uiowa.edu/education/international/UK/projects_files/PROJECT%28Flood%20Risk%20Management%20Approach%29.pdf, 2010.

[9] Malczewski, J., (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis; John Wiley and Sons: New York, New York.

[10] MTA, 2005 Jeotermal Kaynaklar Envanteri. Ankara

[11] Noorolahi 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

[12] Özcan, O. ve Musaoğlu, N., (2009). "Taşkın Risk Analizinde Hidrolojik Modelleme ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi", TUFUAB 2009 Sempozyumu, 4-6 Şubat 2009, MTA Ankara.

[13] Öztürk, D., (2009), CBS Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri İle Sel ve Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi: Güney Marmara Havzası Örneği, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] Rinner, C. ve Malchewski, J., (2002). Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA), J Geograph Syst, 4:385–403.

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

[16] Stillwell, W. G., Seaver, D. A. ve Edwards, W. (1981). "A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision-Making." Organizational Behavior and Human Performance 28(1): 62-77.

[17] 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