



**AFYONKARAHİSAR SANDIKLI İLÇESİNDE ÇOK
ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ KULLANILARAK
CBS TABANLI POTANSİYEL JEOTERMAL
ALANLARIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samet KALAYCIOĞLU

Danışman

Doç. Dr. Mustafa YALÇIN

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AFYONKARAHİSAR SANDIKLI İLÇESİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ
KARAR ANALİZİ KULLANILARAK CBS TABANLI
POTANSİYEL JEOTERMAL ALANLARIN BELİRLENMESİ**

Samet KALAYCIOĞLU

Danışman

Doç. Dr. Mustafa YALÇIN

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR SANDIKLI İLÇESİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ KULLANILARAK CBS TABANLI POTANSİYEL JEOTERMAL ALANLARIN BELİRLENMESİ

Samet KALAYCIOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YALÇIN

Günlük yaşamın sürdürülebilmesi ve bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için en önemli unsurlardan biri enerjidir. Enerji, gündelik ihtiyaçlar için gerekli olan elektrik, ısı ve hareket gibi enerji formlarını ifade eder. Enerji, evlerimizi aydınlatmak, elektrikli cihazları çalıştırmak, ısınma ve soğutma sağlamak, ulaşım araçlarını hareket ettirmek gibi birçok alanda temel bir gereksinimdir.

Modern dünya düzeni için gerekli enerjiyi sağlamak ve çarkları döndürmek üzere başvurduğu temel kaynaklar arasında fosil yakıtlar bulunmaktadır. Ancak, günümüzde bu durumu değiştirmek adına birçok adım atılmaktadır. Çünkü fosil kaynakların tükenme riskiyle karşı karşıya olunup, enerji üretimi sürecinde ortaya çıkan kirletici etkiler çevreye zarar vermektedir. Bu nedenlerle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar artmaktadır.

Yenilenebilir enerjilerden biri olan jeotermal enerji, doğadan sürekli olarak yenilenebilen bir enerji kaynağıdır ve çevreye minimum zararlı etkisi olan bir enerji türüdür. Yüksek sıcaklıklı kaynaklardan elde edilen bu enerji, elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Jeotermal enerji, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji kaynakları arasında büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle Türkiye'nin batı bölgeleri, bu kaynakların yoğun olduğu bölgelerdir. Afyonkarahisar, Denizli, Aydın,

Manisa, Muğla ve Uşak gibi illerimizde jeotermal enerji santralleri bulunmaktadır. Çalışma alanı olan Afyonkarahisar ili Sandıklı ilçesinde de jeotermal enerji aktif olarak birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Afyonkarahisar ili, Sandıklı ilçesinde potansiyel jeotermal sahalar belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle literatür araştırması ve uzman görüşlerine dayalı ölçütler belirlenmiştir. Seçilen eğim, drenaj yoğunluğu, yer yüzey sıcaklıkları, jeolojik uygunluk ve fayların ölçüt verileri temin edildikten sonra Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında ölçütlere ait katmanlar oluşturulmuştur. ÇÖKA kapsamında ölçütler değerlendirilip Entropi Yöntemiyle ağırlıkları hesaplanmış ve ölçüt katmanları ile sentezlenip potansiyel jeotermal haritası oluşturulmuştur. Potansiyel jeotermal haritasında sınıflandırmalar yapılmış ve çok yüksek duyarlılığa sahip olan Sandıklı ilçesi Kusura, Çakır, Koçhisar, Başkuyucak ve Ekinhisar mevkileri yeni jeotermal sahaları olarak önerilmektedir.

2023, x + 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA), Entropi Yöntemi, Jeotermal Enerji, Yenilenebilir Enerji.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF GIS-BASED POTENTIAL GEOTHERMAL FIELDS USING MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS IN SANDIKLI DISTRICT OF AFYONKARAHISAR

Samet KALAYCIOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Surveying Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa YALÇIN

Energy is one of the most important elements in maintaining daily life and supplying the basic needs of individuals. Energy is enunciative of the forms of energy that are required for daily needs, such as electricity, heat, and motion. Energy is requirement in many fields such as lighting our houses, powering electrical devices, providing heating and cooling, and stirring transportation vehicles.

Fossil fuels are among the basic source of the modern world that uses to provide the necessary energy for its functioning and to turning the wheels. On the other hand, today many steps are being taken to change this situation. Because we are faced with the risk of depletion of fossil resources and the polluting effects that happen during the energy production process harm the environment. For these reasons, the investigations for alternative energy sources are increasing.

Geothermal energy, which is one of the renewable energies, is a constant energy from nature and it is a type of energy that has a minimal impact on the environment. The energy, that is obtained from high temperature sources, can be used in different areas such as electricity generation, heating and cooling. Geothermal energy has a great potential among Turkey's sustainable energy sources. Especially the western regions of our country are the regions where this sources are intensified. There are geothermal energy control in provinces such as Afyonkarahisar, Denizli, Aydın, Manisa, Muğla and

Uşak. Geothermal energy is actively used in Sandıklı which is a district of Afyonkarahisar-Sandıklı is the place which is the subject of this thesis.

In this thesis, geothermal fields are tried to be stated in Sandıklı the district of Afyonkarahisar. First of all, criterias that are based on literature research and experts opinions are determined. After the criterion of data drainage density, temperature of the ground surface, geological availability and the datas of fault measure are supplied, stages that has criterions are created in the stage of Geographical Information Systems (GIS). Within the scope of MCDA, the criterias are evaluated and their weights are calculated by using the Entropy Method. A potential geothermal map is created by synthesizing the layers formed with the weights that are calculated with Entropy Method. Classifications have been made on the potential geothermal map. And the Sandıklı which has a very high sensitivity, is proposed as new geothermal fields in the areas of Kusura, Çakır, Koçhisar, Başkuyucak and Ekinhisar.

2023, x + 48 pages

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Multicriteria Decision Analysis (MCDA), Entropy Method, Geothermal Energy, Renewable Energy.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Mustafa YALÇIN'a araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Samet KALAYCIOĞLU

Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Jeotermal Sistemler.....	6
2.2 Jeotermal Enerji.....	9
2.2.1 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları	9
2.2.2 Türkiye’de Jeotermal Enerji	11
3. MATERYAL ve METOT	14
3.1 Çalışma Alanı.....	14
3.2 Materyal	17
3.2.1 Eğim	18
3.2.2 Drenaj Yoğunluğu.....	18
3.2.3 Yer Yüzey Sıcaklıkları	19
3.2.4 Jeolojik Uygunluk	20
3.2.5 Fay Hatları	20
3.2.5.1 Örenkaya Fayı	22
3.2.5.2 Sandıklı Fayı.....	23
3.3 Metot.....	23
3.3.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	23
3.3.2 Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA)	24
3.3.3 Entropi Yöntemi.....	25
4. BULGULAR.....	31
4.1 Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması.....	31
4.1.1 Eğim Katmanı.....	32

4.1.2 Fay Hatlarına Yakınlık Katmanı.....	32
4.1.3 Drenaj Yoğunluğu Katmanı.....	33
4.1.4 Jeolojik Uygunluk Katmanı.....	35
4.1.5 Yer Yüzey Sıcaklığı Katmanı.....	35
4.2 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	36
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ.....	48



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
NO	Azotoksit
SO ₂	Kükürtdioksit

Kısaltmalar

ASFS	Akşehir-Simav Fay Sistemi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇÖKA	Çok Ölçütlü Karar Analizi
GIS	Geographic Information Systems
IDW	Inverse Distance Weighted
Mtep	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UTM	Universal Transversal Merkator
WGS	World Geodetic System
YYS	Yer Yüzey Sıcaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Jeotermal Sistemin Oluşum Modeli.....	6
Şekil 2.2 Dünya'yı Oluşturan Katmanlar (İnt.Kyn.7)	7
Şekil 2.3 Yeryüzünü Oluşturan Katmanlar (İnt.Kyn.8).....	9
Şekil 2.4 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları (İnt.Kyn.9)	11
Şekil 2.5 Türkiye'nin Neotektoniği-Volkanik Etkinliği ve Jeotermal Alanları (Arslan vd. 2001).....	12
Şekil 2.6 Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası (İnt.Kyn.10).....	13
Şekil 3.1 Afyonkarahisar Jeotermal Alanları (MTA 2005)	14
Şekil 3.2 Çalışma Alanı	15
Şekil 3.3 Afyon-Sandıklı Hüdai Jeotermal Alanı ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Memiş vd. 2010).....	16
Şekil 3.4 Türkiye'nin Neotektonik Yapılarını Gösteren Harita (Reilinger vd 2010, Özkaymak vd, 2015, Özkaymak 2020).....	21
Şekil 3.5 Afyonkarahisar İl Sınırları İçerisinde Tanımlanan Holosen ve Kuvaterner Fayları (Emre vd., 2011a,b,c,d,e; 2018).....	22
Şekil 3.6 CBS'nin Bileşenleri.	24
Şekil 4.1 Sayısal Yükseklik Modeli (İnt.Kyn.12)	31
Şekil 4.2 Eğim Katmanı	32
Şekil 4.3 Fay Hatlarına Yakınlık Katmanı.....	33
Şekil 4.4 Her Hücrenin Etrafındaki Dairenin İçerdiği Çizgilerin Uzunluğu (İnt.Kyn.13)	34
Şekil 4.5 Drenaj Ağı Yoğunluğu Katmanı.....	34
Şekil 4.6 Jeoloji Katmanı	35
Şekil 4.7 Yer Yüzey Sıcaklığı Katmanı.....	36
Şekil 4.8 Sandıklı İlçesi Potansiyel Jeotermal Saha Haritası.....	37
Şekil 4.9 Potansiyel Jeotermal Haritası	38
Şekil 4.10 Sandıklı İlçesi Potansiyel Jeotermal Saha Haritası.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Ağırlık Hesaplama	27
Çizelge 3.2 Ağırlık Değerleri	30



1. GİRİŞ

Dünyamızın ve ülkemizin enerjiye olan ihtiyacı giderek artmaktadır. Dünyadaki petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtlar yaklaşık enerji tüketiminin %90'ını oluşturmaktadır. Bu durum yenilenemeyen enerji olan fosil yakıtların gelecekte biteceğinin habercisidir. Fosil yakıtların aynı zamanda doğaya, çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar neticesinde insanlar yenilenebilir doğa dostu enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Aynı zamanda jeotermal enerjinin karbondioksit emisyon oranının düşük olması, hava kirliliği oluşturmaması ve yenilenebilir olması nedeniyle öncelikli alternatif kaynağıdır (Demir ve Memiş 2015).

Dünyadaki enerji tüketimi, nüfus artışı, ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmelere paralel bir artış içindedir. Fakat talep edilen enerjideki artış çeşitli ülkelerde farklı seviyelerde olmaktadır. 90'lardan sonra gelişmiş ülkelerde enerji talebinin yavaşlaması söz konusu iken, gelişmekte olan ülkelerin enerjiye olan talepleri gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Dünyada tüketilen birincil enerji kaynakları 1980'de 7.224 Mtep'ten, 2000'de 10.034 Mtep'e yükselmiş, 2018 yılında ise 14.315 Mtep'e ulaşmıştır. Bu enerji tüketimi içinde ilk sırada %31.4'lük pay ile petrol bulunmaktadır. Peşinden %26.7 ile kömür, %22.9 ile doğalgaz, %9.5 ile biyokütle, %5 ile nükleer enerji, %2.5 ile hidrolik enerji ve %2'lik kısmı ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Bu değerlerde görüldüğü üzere fosil yakıtlar %86 paya sahipken, yenilenebilir enerji kaynakları %14'lük paya sahiptir (Durukan ve Yılmaz 2021).

Dünya genelinde fosil yakıtların kullanımından sonra ortaya çıkan ve ormanlarında azalmasıyla gitgide artmakta olan karbondioksit (CO_2) miktarı ile atmosferdeki diğer gazların birleşmesi güneş ışınlarının yansımını engellemekte ve beraberinde sera etkisi oluşturup iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Fosil yakıtların yanması ile oluşan gazlardan biri karbonmonoksittir (CO). Bu gaz insan vücudundaki oksijen miktarını azaltarak ölümüne yol açabilmektedir. Bir diğer gaz ise kükürtdioksit (SO_2) bu gazda insan vücudunda kansere sebep olabilmektedir. Doğalgazın kullanımında ortaya çıkan gaz ise kokusuz ve gözle görülemeyen azotoksittir (NO). Bu gaz atmosferdeki diğer gazlar ile etkileşerek insan vücudundaki bağışıklık sistemini çökertmektedir. Atmosferin kirlenmesinin önlenmesine ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

Bunların yanı sıra dünyadaki petrolün 50 yıl içinde, doğalgazında 200 yıl içinde tükenmesi tahmin edilmektedir. Bu sebeplerden insanoğlu doğayla dost ve ucuz enerji kaynakları arayışına girmişlerdir. Dünyanın her bölgesinde ulaşılabilen sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (İnt.Kyn.1).

Yenilenebilir enerji kaynağı denilince doğanın dönüşümü içinde kullanılan enerji kaynağının bir sonraki günde aynı mevcut olan enerji kaynağına dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları genel olarak hidro, güneş, jeotermal, rüzgar, biyokütle, gel-git, dalga ve bitki artıkları olarak kabul edilmektedir (İnt.Kyn.2).

Türkiye ekonomisi özellikle son yıllarda hızla büyümüş olup, bununla beraber enerji tüketimi de hızla artmıştır. Türkiye'nin 2022 yılındaki elektrik üretiminin kömürden %34,6'sını, doğalgazdan %22,2'sini, hidrolik enerjiden %20,6'sını, rüzgar enerjisinden %10,8'ini, güneş enerjisinden %4,7'sini, jeotermal enerjiden %3,3'ünü ve diğer kaynaklardan %3,7'sini elde etmektedir (İnt.Kyn.3).

Türkiye'nin jeotermal potansiyeli oldukça yüksektir. Söz konusu potansiyel oluşturan alanlara bakıldığında; Batı Anadolu'da %78, İç Anadolu Bölgesi'nde %9, Marmara Bölgesi'nde %7, Doğu Anadolu Bölgesi'nde %5 ve diğer bölgelerde ise %1'lik alanlardan oluşmaktadır. Ülkemizde jeotermal kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklıktadır. Bunlar ısıtma, termal turizm vb. uygulamalar için doğrudan uygulamalardır. %10'luk kısmı ise elektrik enerjisi üretimi için dolaylı uygulamalara uygundur (İnt.Kyn.4).

Afyonkarahisar ili, Türkiye'nin Ege Bölgesindeki yüksek jeotermal potansiyele sahip illerinden olup, il sınırları içinde Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli-Çay-Çobanlar ve Sandıklı jeotermal alanları bulunmaktadır.

Afyonkarahisar ili Sandıklı ilçesi de jeotermal kaynak bakımından zengindir ve jeotermal enerji aktif olarak kullanılmaktadır. İlçe de bulunan SANJET (Sandıklı Jeotermal Isıtma Termal Turizm Ticaret Seracılık A. Ş.) jeotermal enerji üzerine hizmet

vermektedir. Sandıklı merkezinde bulunan konutların %85'i jeotermal enerjiyle ısıtılmaktadır.

Frigyalılardan günümüze gelen şifa kaynağı olan Hüdai kaplıcaları da SANJET A.Ş. tarafından hizmet vermektedir.

Ayrıca çiçek seracılığı yapılmakta, sebze ve meyve kurutma tesisleri ile de hizmet vermektedir (İnt.Kyn.5).

Sandıklı ve çevresindeki bölgeler için önemli bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, ekonomik gelişmeyi teşvik etmektedir. Yerel ekonomiye ve Türkiye ekonomisine katkıda bulunmakta ve istihdam olanakları yaratmaktadır. Jeotermal enerji projeleri, iş imkanlarının artmasına ve bölgedeki ekonomik faaliyetlerin çeşitlenmesine yardımcı olabilmektedir. Yerel enerji bağımsızlığını desteklemektedir. Yer altında bulunan jeotermal kaynaklar, bölgenin enerji ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Bu, dış enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmakta ve yerel ekonomi için enerji güvenliğini artırmaktadır. Aynı zamanda farklı alanlarda kullanılabilmesi, jeotermal enerjinin çeşitli sektörlere olan uygulanabilirliğini artırmakta ve bölgenin enerji çeşitliliğini sağlamaktadır.

Jeotermal saha araştırmaları için çeşitli çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Noorollahi vd. (2007), Kuzey Japonya'da Iwate ve Akita'da yaptıkları çalışmada, bölgedeki jeotermal alanlarda kaynakların keşfine yönelik Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) modeli üretmişlerdir.

Yousefi vd. (2009), İran'da yapılan çalışmada, jeotermal kaynakların geliştirilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak jeotermal uygunluk haritası oluşturmuşlardır. Çalışma da seçilen ölçütler ile değişen tampon bölge sınırları belirlenerek, belirlenen tampon bölgelerin kesişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak 18 adet jeotermal saha önerilmiştir.

Kratt vd. (2010), Nevada'daki Piramit Gölü Havzasında olan çalışmalarında CBS ve UA yöntemlerinden faydalananak hidrotermal alterasyona uğramış mineralleri tanımlamışlardır.

Yalçın (2016), Afyonkarahisar ili Akarçay Havzası örneğinde yaptığı çalışmada Uzaktan Algılama (UA) ile uydu görüntülerinden faydalananak hidrotermal alterasyon zonları ve yer yüzey sıcaklığını belirlemiştir. Jeotermal kaynaklara yakınlık, fay hatlarına yakınlık, yer yüzey sıcaklığı anomalisi, drenaj yoğunluğu ve jeotermal formasyon göstergelerine yakınlık gibi ölçütleri kullanarak CBS tabanlı ÇÖKA (Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi) ile araştırarak mevcut jeotermal alanlardan farklı olarak 3 adet yeni potansiyel jeotermal alanı önermektedir

Hepdeniz vd. (2017), Afyonkarahisar ili Sandıklı ilçesi Sandıklı-Hüdaî jeotermal sahasında yaptıkları çalışmada jeotermal sahasındaki suların analiz verilerini kullanarak CBS ortamında IDW (Inverse Distance Weighted) interpolasyon yöntemi kullanarak haritalandırmış ve oluşturulan tematik haritalarda volkanik kayalarındaki hidrotermal alterasyon izlerinde kuzeydoğuya doğru artış olduğu görülmüştür.

Özenen Kavlak vd. (2018), Eskişehir ilinde Jeotermal Kaynakların ve Tesislerin CBS Yöntemleri Kullanılarak İrdelenmesi çalışmasında CBS ortamında Eskişehir merkezindeki jeotermal kaynak verileri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu verilerin analizi için yüzey, konum ve jeotermal değerleri içeren 6 katman ağırlık puanları kullanarak bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sürecinde "Ağırlıklı Çakıştırma" yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bunun sonucunda uygunluk haritası oluşturularak kurulması muhtemel yeni jeotermal tesislerin uygun yerleri belirtilmiştir.

Ceylan ve Vural (2023), Gümüşhane'nin Gökdere köyünde yer altı suyu potansiyel alanlarının tanımlanması için CBS ortamında ÇÖKA-AHS yöntemi kullanmıştır. Ölçüt olarak arazi kullanımı, fay, eğim, drenaj, jeomorfoloji, toprak derinlik, litoloji ve yağış olmak üzere 8 değişken kullanmıştır. Çalışma sonucunda çalışma alanı olan havzanın yeraltı suyu potansiyelinin zayıf olduğu sonucuna varılmıştır.

Yukarıdaki çalışmalarda çeşitli uygulamalar ve çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ancak literatürde jeotermal sahalara ilişkin araştırmalarda CBS tabanlı ÇÖKA-Entropi yöntemiyle yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışma alanı olan Afyonkarahisar ili Sandıklı ilçesinde jeotermal potansiyel yüksek olup, CBS tabanlı saha araştırmasına rastlanılmamıştır. Söz konusu çalışma alanında jeotermal sahalarının CBS tabanlı ÇÖKA-Entropi yöntemiyle araştırılıp, potansiyel jeotermal alan haritaları oluşturarak yeni keşfedilmeyi bekleyen jeotermal sahaların belirlenmesi için fizibilite çalışması olması amaçlanmıştır. Bu sayede her yeni oluşturulacak jeotermal enerji sistemi hem çalışma alanı olan Sandıklı ilçesini hem Afyonkarahisar ilini hem de Türkiye'yi gerek ekonomik olarak gerekse sağlıklı yaşam ve temiz çevre bakımından ileriye götürmesi beklenmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

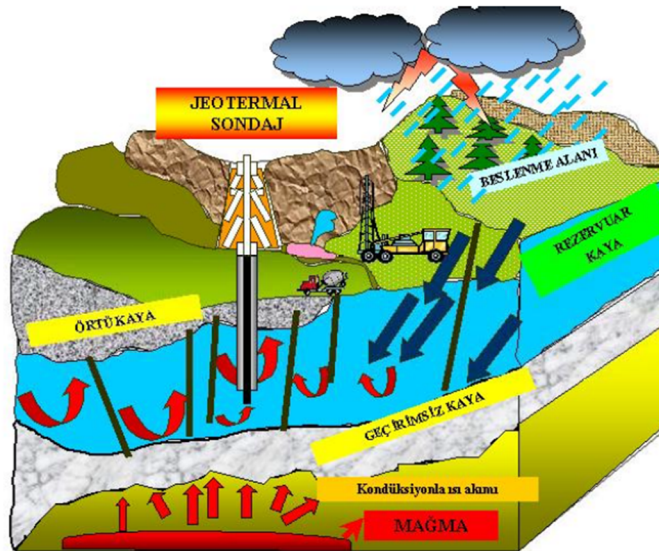
2.1 Jeotermal Sistemler

Jeotermal Yunanca kökenli olan geo (dünya) ve termal (ısı) kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur (İnce 2005). Türk Dil Kurumu (TDK) sözlüğünde ise, yer altında bulunduğu veya yer altından geçtiği için sıcaklığı yüksek olan olarak geçmektedir (İnt.Kyn.6).

Yeryüzünün derinliklerinde bulunan kayaların içinde biriken ısı enerjisinin akışkanlar ile taşınıp rezervuarlarda birikip depolanmasıyla oluşmuş buhar, kuru buhar ve sıcak suya jeotermal kaynak denilmektedir.

Jeotermal kaynakların önemli üç bileşeni olup, aşağıda belirtilmiştir:

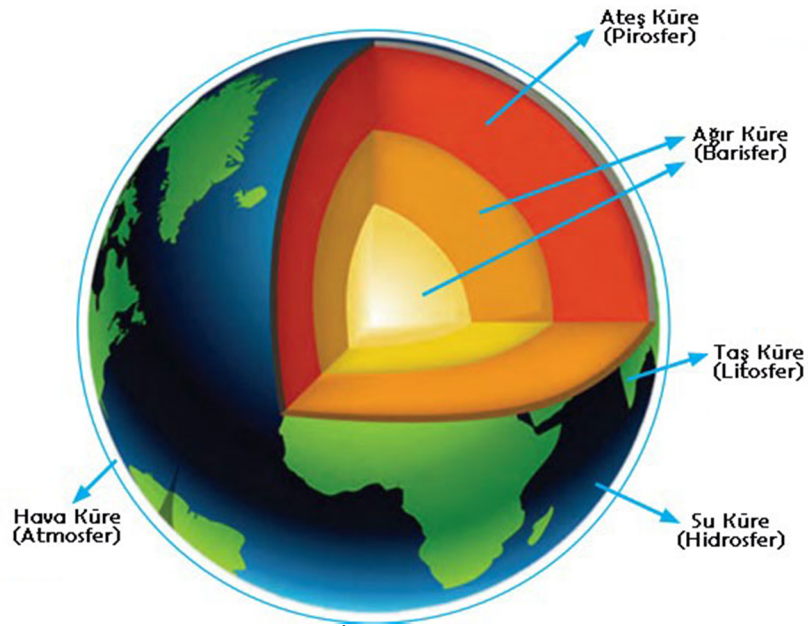
1. Isı kaynağı; jeotermal enerjiyi oluşturan bölgedir.
2. Isıyı yer altından yeryüzüne aktaran akışkan; jeotermal enerji sisteminde ısı kaynağında bulunan enerjiyi alıp türbinden iş üretilmesini sağlayan akışkandır.
3. Suyun yeterli dolaşımını sağlayan kayaç geçirgenliği; yer altındaki ısı kaynağına ulaşımın sağlanabilmesi için bölgenin sondaja elverişli olmasıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Jeotermal Sistemin Oluşum Modeli.

Dünya beş tabakadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Hava Küre (Atmosfer)
- Su Küre (Hidrosfer)
- Taş Küre (Litosfer)
- Ateş Küre (Pirosfer)
- Ağır Küre (Barisfer)'dir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Dünya'yı Oluşturan Katmanlar (İnt.Kyn.7).

Atmosfer ve hidrosfer, Dünya'nın tamamlayıcı katmanlarıdır ve tüm canlıların (insanlar, hayvanlar, bitki örtüsü vb.) yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati önem taşımaktadır.

Atmosfer, Dünya'yı çevreleyen gaz tabakasıdır. Bu katman, canlıların solunum yapması, hava akımları sayesinde sıcaklık ve nemin düzenlenmesi gibi önemli işlevlere sahiptir. Atmosfer, güneşten gelen ışığı ve enerjiyi tutarak Dünya'yı ısıtmakta ve gezegenimizin yaşamını desteklemektedir. Aynı zamanda, atmosferdeki gazlar da güneşin zararlı ultraviyole (UV) ışınlarını emerek canlıları korumaktadır.

Hidrosfer ise Dünya'nın su kaynaklarını içeren katmandır. Bu, okyanuslar, denizler, nehirler, göller, buzullar ve yer altı su kaynakları gibi su kütlelerini kapsamaktadır. Hidrosfer, canlıların içme suyu ihtiyacını karşılamakta, bitki örtüsünün büyümesi için

gereken sulamayı sağlamak ve su yaşamının bir parçası olan sucul organizmaların yaşamasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, hidrosfer, su buharının atmosfere buharlaşma ve buharlaşmanın ardından yağış şeklinde geri dönmesiyle su döngüsünü sürdürmektedir.

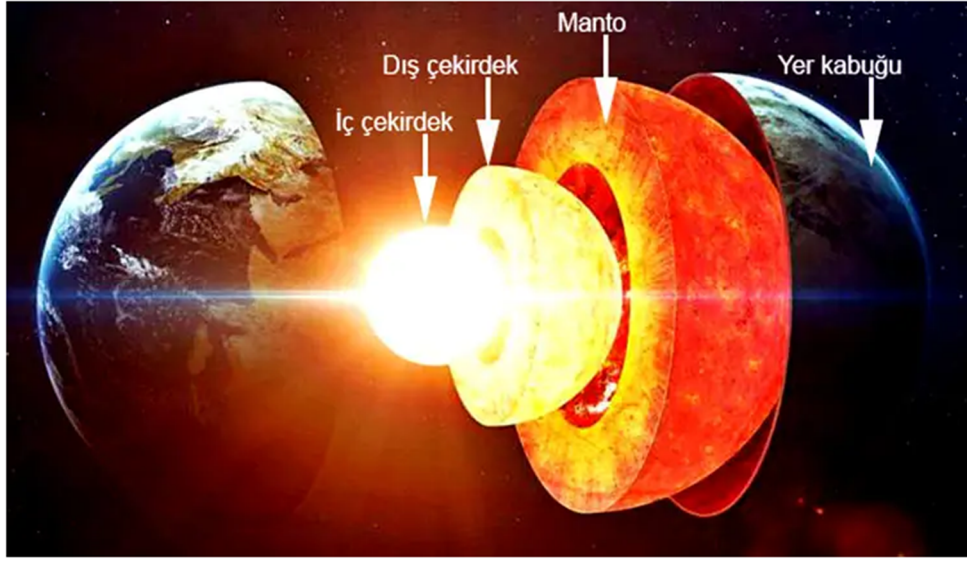
Barisfer ve piroster ise canlıların yaşayamayacağı kadar yüksek sıcaklıklara sahip iç mantonun alt kısmını oluşturan katmanlardır. Barisfer, Dünya'nın merkezine doğru gidildikçe basıncın ve sıcaklığın arttığı bölümdür. Burada, erimiş kayalar yüksek sıcaklık ve basınç altında bulunmaktadır. Piroster ise bu derinliklerde yer alan çekirdek bölgesi olup, çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır.

Litosfer ise canlıların üzerinde yaşadığı ve tüm jeolojik aktivitelerin gerçekleştiği katmandır. Bu, Dünya'nın dış kabuğunu ve bazaltik okyanusal kabuğu kapsamaktadır. Litosfer, kıtaların ve okyanus tabanlarının oluşumunu, dağ oluşumlarını, volkanik aktiviteyi ve depremleri içeren jeolojik süreçlere ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca, bitki örtüsü ve toprak tabakası da litosfer üzerinde bulunmakta ve canlıların yaşaması için temel bir zemin sağlamaktadır.

Bu şekilde anlatıldığında, atmosfer ve hidrosfer canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati öneme sahip katmanlardır, barisfer ve piroster ise canlıların yaşayamayacakları kadar yüksek sıcaklıklara sahip iç mantonun alt kısmını oluşturmaktadır. Litosfer ise canlıların üzerinde yaşadığı ve jeolojik aktivitelerin gerçekleştiği katmandır (İnt.Kyn.7).

Yeryüzünün katmanları, iç içe geçmiş yapılarıyla birlikte Dünya'nın farklı kalınlıklarına, yoğunluklara ve bileşimlere sahip olmasını sağlamaktadır. Yeryüzünün üç katmanı bulunmaktadır. Bunlar;

- Yer kabuğu (Taş Küre)
- Manto
- Çekirdek'ten oluşmaktadır (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Yeryüzünü Oluşturan Katmanlar (İnt.Kyn.8).

2.2 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerkabuğunun farklı derinliklerinde olan ısıнын birikmesiyle oluşturduğu, sıcaklık yükseklikleri atmosferik sıcaklığın üstünde olan, normal sulara göre içerisinde erimiş mineral, gaz ve tuzlar bulunduran buhar ve sıcak suların oluşturduğu enerji olarak tanımlanmaktadır (Arslan vd. 2001).

Jeotermal enerjinin teknik tanımlarının yanında çevre ile ilişkileri de göz önünde bulundurularak sembolleşen pratik tanımları da bulunmakta olup aşağıda sıralanmıştır.

- 1-Ucuz enerjidir,
- 2-Çevre dostu enerjidir,
- 3-Yenilenebilir enerjidir (Demirkazıksoy 2004).

2.2.1 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal enerjinin kullanıldığı alanlar genel olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar; doğrudan kullanım alanları ve doğrudan olmayan kullanım alanlarıdır (Yiğit 1994).

Doğrudan kullanım alanları 150°C altında bulunan sıcaklıklardaki termal enerjinin direkt olarak kullanıldığı sera ısıtma, konut ısıtma, sıcak su sağlama gibi alanlarda

kullanılmaktadır.

-Bölge Isıtması

Soğuk iklim bölgelerinde kullanımı daha uygundur. Binaların merkezi sistemle suyun ısıtılmasında 40°C üzerinde bulunan jeotermal akışkanlardan faydalanılmaktadır (Yiğit 1994).

-Sera Isıtması

Dünya'da jeotermal imkanları olan çeşitli ülkelerde seraların jeotermal enerji ile ısıtılması sonucunda meyvecilik, sebzecilik ve çiçekçilik yapılabilmektedir (Demirel 1998).

-Termal Turizm

Dünya'da çeşitli ülkelerde termal kür merkezleri, kaplıca havuzları ve spa merkezleri bulunmasına rağmen kullanım dışı bekleyen birçok kaynak beklemektedir (Lund ve Freeston 2000).

-Tarımsal Ürün Kurutma

-Soğuk ve Kar Çözme

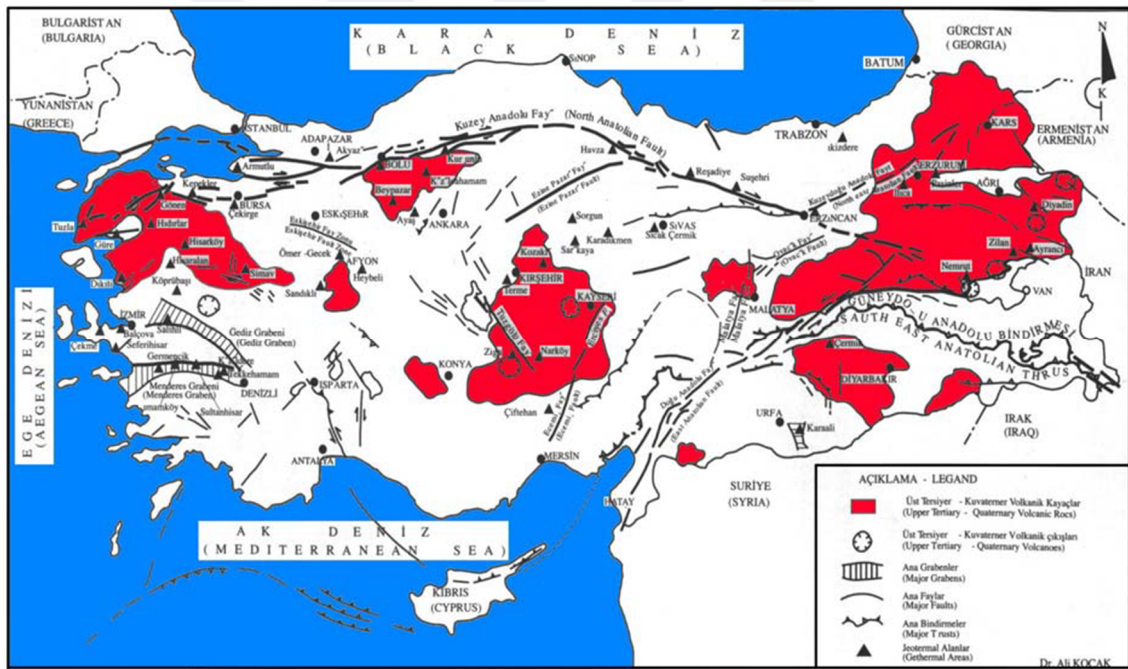
Amerika, İzlanda, Arjantin, Japonya ve İsviçre'de yol yüzeyinde soğuk ve kar çözme projeleri uygulanmaktadır (Lund ve Freeston 2000).

-Endüstriyel Kullanım

Endüstriyel alanda jeotermal enerjinin birçok kullanım şekli vardır. Tahıl ve kereste kurutma, kağıt ve kağıt hamuru işleme, atık su işlemleri vb. uygulamalar sayılabilir (Demirel 1998).

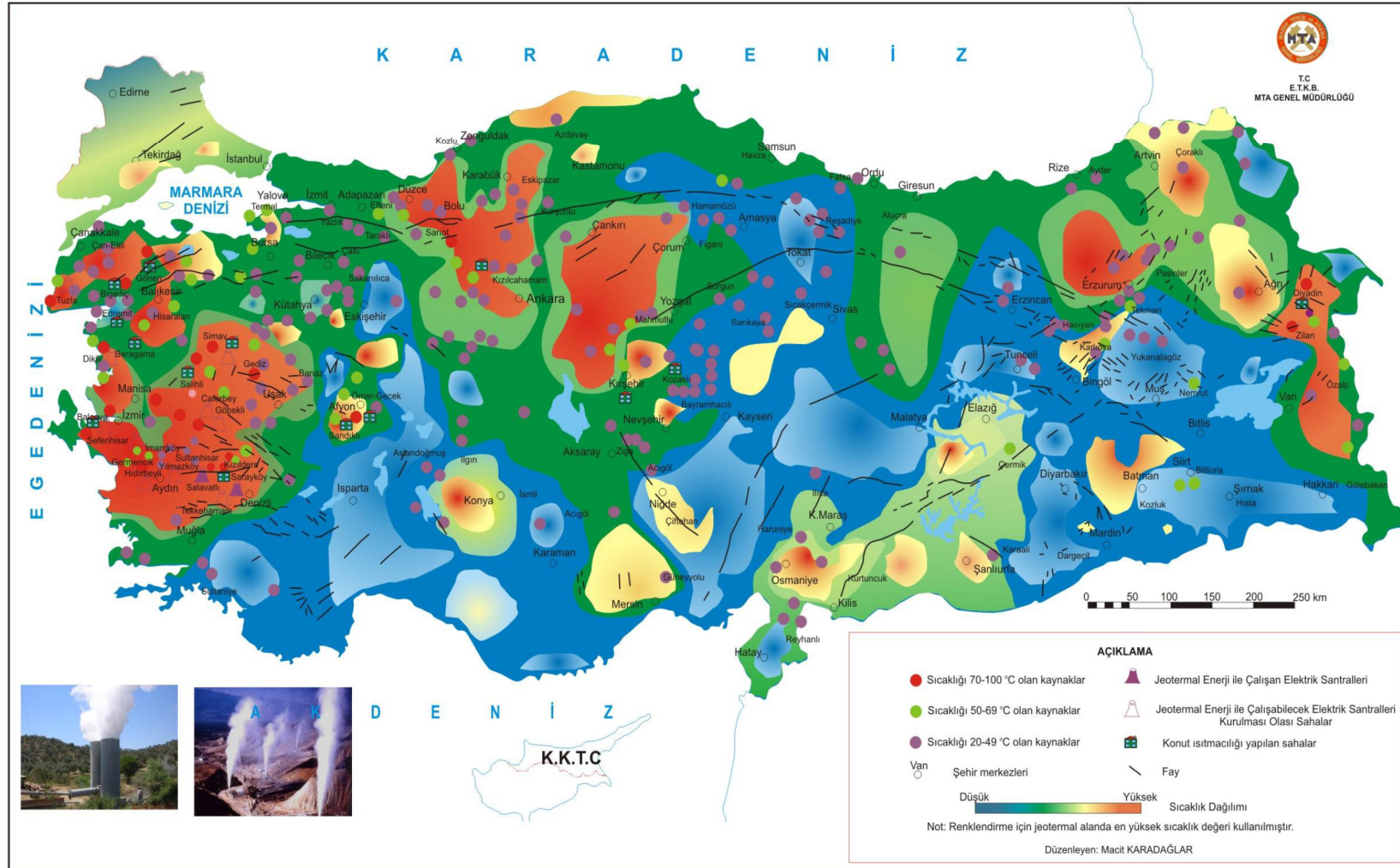
jeotermal kaynaklar açısından ve depremsellik açısından aktiftir. Türkiye’de Menderes grabeni içinde bulunan Denizli-Kızıldere jeotermal sahası (242 C°) en yüksek sıcaklığa sahiptir. Orta Anadolu’da bulunan jeotermal sistemler genellikle volkanik faaliyetlerle ilişkilidir ve Batı Anadolu’daki jeotermal sistemlere göre daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, volkanik ve tektonik aktivitelerin sonucunda oluşmuş önemli jeotermal alanlara sahiptir. Kuzey Anadolu bölgesinde ise fay boyunca yer alan bölgede, dikkate değer jeotermal alanlar bulunmaktadır. Bu alanlarda doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı’nın etkisiyle oluşan jeotermal kaynaklar büyük bir potansiyele sahiptir (Arslan vd. 2001).

Türkiye’nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanları Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5 Türkiye’nin Neotektoniği-Volkanik Etkinliği ve Jeotermal Alanları (Arslan vd. 2001).

Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası

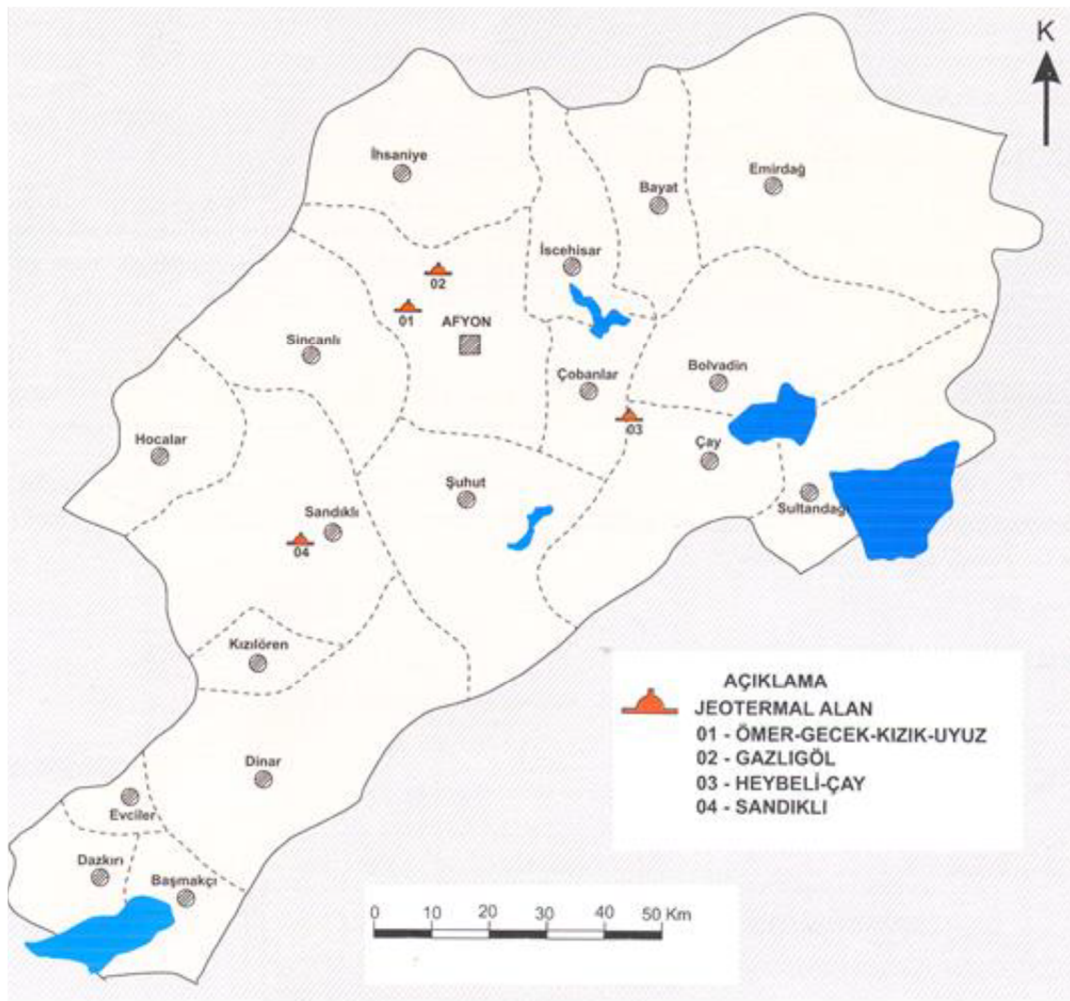


Şekil 2.6 Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası (İnt.Kyn.10).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Çalışma Alanı

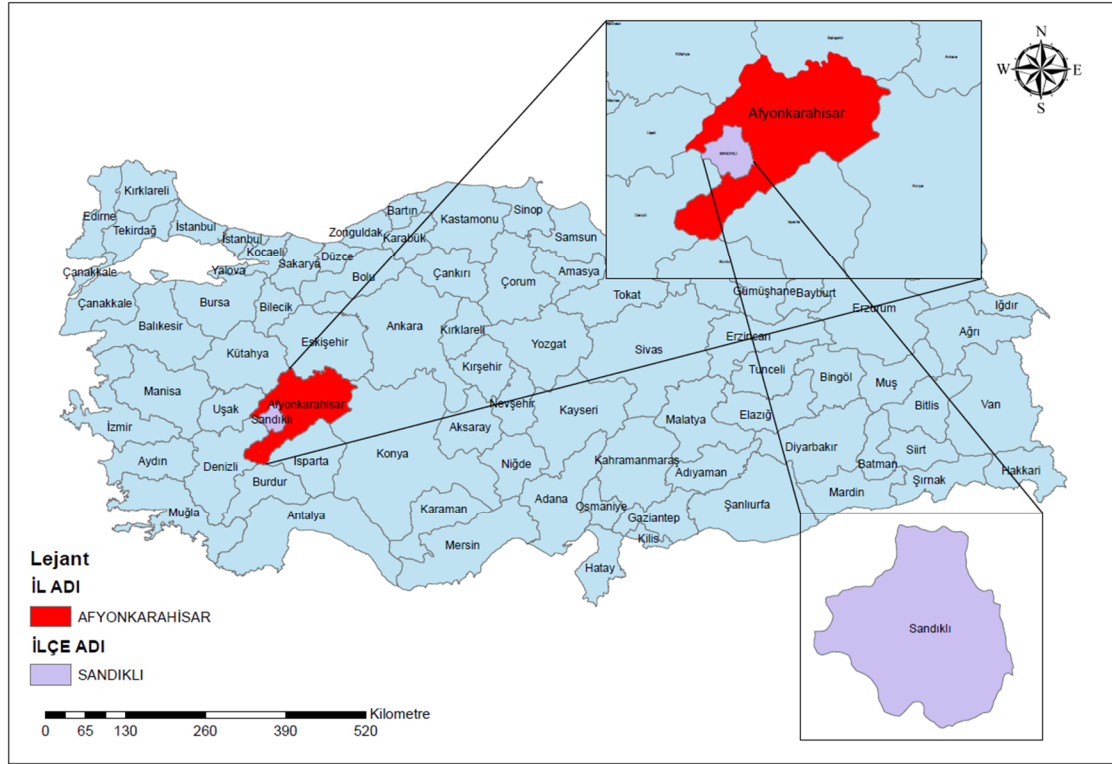
Çalışma alanı Akdeniz, İç Anadolu ve Ege bölgelerinin kesiştiği yerde bulunan Afyonkarahisar'a bağlı Sandıklı ilçesidir. Afyonkarahisar sınırları içinde Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli ve Sandıklı jeotermal alanları bulunmaktadır (Şekil 3.1) (MTA 2005).



Şekil 3.1 Afyonkarahisar Jeotermal Alanları (MTA 2005).

Sandıklı ilçesi Afyonkarahisar iline yaklaşık 65 km uzaklıktadır ve ilin güneybatısında bulunmaktadır. Sandıklı konum olarak Orta Anadolu Bölgesinde olup, 38°-39° kuzey enlemleri ve 30°-31° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma alanı içerisinde

Sandıklı ilçesi ile bağlı belde ve köyleri bulunmaktadır (Şekil3.2).



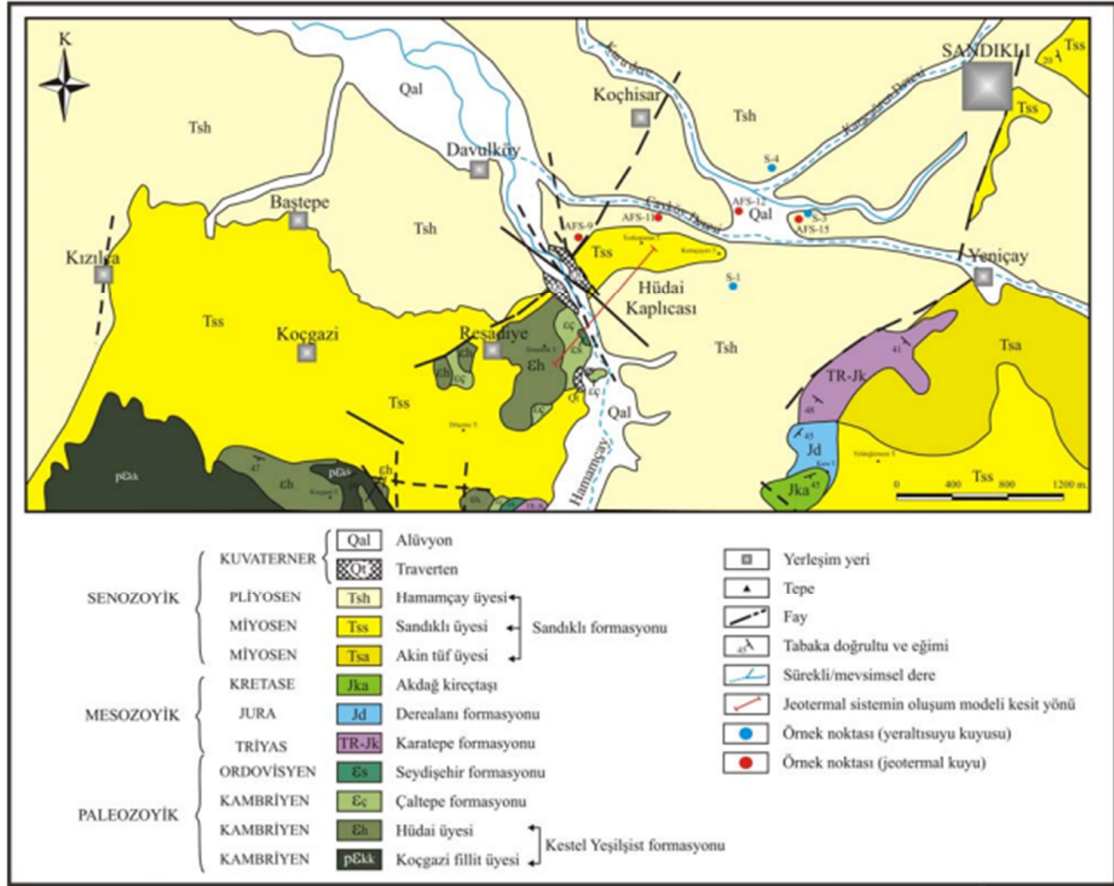
Şekil 3.2 Çalışma Alanı.

Tektonik bakımdan, Batı Anadolu horst-graben sistemi, yer kabuğundaki hareketler sonucunda meydana gelmiş bir yapıdır. Bu sistemin en doğusunda yer alan Sandıklı grabeni, neotektonik özellikleri ve depremselliği ile dikkat çekmektedir. Sandıklı grabeni, Miyosen döneminde verrev atımlı normal faylarla gelişmeye başlamıştır. Bu faylar, yer kabuğunda gerilim sonucu ortaya çıkan normal hareketli faylardır. Akın, Kemerkayatepe ve Ballık gibi faylar bu dönemde etkin hale gelmiştir.

Geç Pliyosen dönemde graben içindeki faylar daha da etkinleşmiş ve Kuvaterner dönemine kadar devam etmiştir. Gökçealan, Sandıklı, Maymunkayası ve Hüdai hamamı gibi faylar bu dönemde ortaya çıkmış ve grabenin bugünkü geometrisini kazanmıştır. (Cihan ve Koçyiğit 2000, Cihan vd. 2003).

Sandıklı çalışma alanı tabanında Paleozoyik Yaşlı Kestel Yeşilist formasyonuna ait Hüdai üyesi, Koçgazi fillit üyesi, Seydişehir formasyonu ve Çaltepe formasyonu

bulunmaktadır. Bu birimlerin üstüne Mesozoyik'te Derealanı formasyonu, Karatepe formasyonu ve Akdağ formasyonu gelmektedir. Sandıklı formasyonu ise Senozoyik yaşı birimdir. En genç birimleri ise travertenler ve kuvaterner yaşı alüvyonlar oluşturmaktadır (Memiş vd. 2010) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Afyon-Sandıklı Hüdai Jeotermal Alanı ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Memiş vd. 2010).

Hüdai Üyesi; Bu formasyonun çoğunluğunu kuvarsitler oluşturmakta ve bazı yerlerde şistlerle ardalanmalı bulunmaktadır (Afşin 1991).

Koçgazi fillit üyesi; Jeotermal sisteminin geçirimsiz taban kayacını oluşturur. Formasyon çok düşük metamorfizmalı ince taneli kumtaşı, silttaşı ve arakatlı matabazik sillerinden oluşmaktadır (Afşin 1991) (Gürsu ve Göcüoğlu 2005).

Seydişehir formasyonu; Jeotermal sistemin örtü kayacını oluşturur. Birim şeyl, kuvars

kumtaşı ve miltaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Gürsu ve Göcöoğlu 2005).

Çaltepe formasyonu; formasyonda başlıca siyah renkli neritik kireç taşı, dolomit ve üst yüzeylerinde alacalı yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır (Dean ve Özgül 1994).

Derealanı formasyonu; Birim kirli sarı renkli marnlı kumtaşıyla başlayıp, yukarı doğru gri, mor, kirli sarı, yeşilimsi, kahve renklerde katmanlı kalın kumlu, siltli, killi kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanması olarak devam etmektedir.

Karatepe formasyonu; formasyon kumtaşı, çakıltaşı ve silttaşlarından oluşmaktadır (Afşin 1991) (Özpınar 2008).

Akdağ formasyonu; jeotermal sistem altta masife yakın açık gri renkli hafif kristalize kalker kumu ve breşik kireçtaşlarından başlayıp üste doğru ince tabaklı aralarında çört bantları olan kireçtaşları ve daha yukarıda çört oranı yükselerek dolomitik özellikte kireçtaşları bulunmaktadır.

Sandıklı formasyonu; jeotermal sistem için ısıtıcı görevi yapan miyosen volkanizmasının bir ürünüdür. Sandıklı formasyonu üst miyosen yaşlı sandıklı üyesi, üst miyosen yaşlı akin tuf üyesi ve pliyosen yaşlı hamamçayı üyesinden oluşmaktadır (Afşin 1991).

3.2 Materyal

Sandıklı jeotermal sahalarının belirlenmesinde önemli rol oynayan ölçütler uzman görüşleri ve literatür araştırmaları sonucunda oluşturulmuştur. Bu ölçütler eğim, drenaj yoğunluğu, yer yüzey sıcaklıkları, jeolojik uygunluk ve faylardan oluşmaktadır. Söz konusu ölçütlere ilişkin veriler ilgili kaynaklardan temin edilmiş olup, CBS ortamında ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak ölçüt katmanları oluşturulmuştur.

Uygulama aşamasında gereken verilerin belirlenmesi ve elde edilmesi işleminden sonra, verilerin işlenebilmesi için bazı ayarlamalar yapılmıştır. Öncelikle, tüm veriler WGS

1984 UTM Zone 36N koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Bu tür bir dönüşüm, coğrafi verilerin farklı koordinat sistemleri arasında uyumlu bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Verilerin istenen koordinat sistemine dönüştürülmesi, Sandıklı ilçesinin sınırları içinde kalacak şekilde kesilmesi ve vektör formatından raster formata dönüştürülmesiyle ilgili bir dönüşüm süreci gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, veriler daha uygun bir formata ve sınırlara sahip olur ve ilgili analizler için kullanılabilir hale gelmektedir. Değerlendirme ölçütleri, her bir ölçütü temsil eden katmanın özneteliğine göre puanlanarak uygunlukları belirlenmektedir. Bu katmanlar sınıflandırılarak özneteliği yerine uygunluk değeri atanmış bir yapıdır. Başka bir deyişle, bir sistemdeki farklı katmanlar, belirli bir amaç doğrultusunda değerlendirilerek uygunluk dereceleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu şekilde, katmanlar standartlaştırılarak ölçüt haritaları oluşturulmaktadır.

3.2.1 Eğim

Eğim, arazi yüzeyi üzerindeki iki nokta arasındaki eğimin derece veya yüzde olarak belirlenmesi, arazi yüzeyinin eğimini analiz etmek için kullanılan bir işlemdir.

Bu yöntem, istenen eğim değerlerine sahip coğrafi bölgeleri gösteren alan detaylarını elde etmek için kullanılabilir. Bu detaylar, diğer konum tabanlı analiz türlerinde kullanılmak üzere uyarlanabilmektedir.

CBS ortamında merkezi bir hücreyi çevreleyen sekiz hücrenin analizini yaparak, her bir hücresi için eğim açısını derece veya eğim yönü olarak belirlenebilmektedir (İnt.Kyn.11). Bu çalışmada eğim derece cinsinden ele alınmış olup, Sayısal Yükseklik Modelinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

3.2.2 Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, havzalarda mevcut akarsulardan ziyade bütün vadi uzunluklarının maksimum yağışlarda suyu taşıma ve iletme kabiliyetini ifade etmektedir. Bu terim, bir havzadaki suyun ne kadar hızlı bir şekilde akabileceğini ve ne kadar büyük bir su

hacmini taşıyabileceğini belirlemek için kullanılmaktadır. Drenaj yoğunluğu, bir havzanın yüzeyini kaplayan akarsuların ağı ve akış şekli ile ilişkili bir ölçüdür. Bu ölçüm, havzanın toplam akarsu uzunluğunu ve akarsu başına düşen alanın oranını dikkate alır. Drenaj yoğunluğu jeolojik, morfolojik, iklimik ve bitki örtüsü özellikleri açısından da önemlidir.

Drenaj değeri, bir havzanın yüzeyinin suyu nasıl tahliye ettiğini ve suyun toprak üzerinde nasıl hareket ettiğini gösteren bir ölçüttür. Düşük drenaj değerine sahip havzalarda, toprak ve kayalar suyu daha iyi emmekte ve yer altına sızdırmaktadır. Bu nedenle, yağışlar yer altı akımlarını oluşturarak yer altı su kaynaklarını beslemektedir (Patton ve Baker 2017). Çalışma da drenaj hatları Devlet Su İşleri'nden temin edilmiş olup, çalışma drenaj yoğunluğu katmanı oluşturma bölümünde açıklanmıştır.

3.2.3 Yer Yüzey Sıcaklıkları

Yer yüzeyi sıcaklığı, Dünya'nın yüzeyi ve atmosferi arasında gerçekleşen enerji değişimini kontrol eden önemli bir parametredir. Bu parametre, iklim sistemini anlamak, iklim değişikliğiyle mücadele etmek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için dikkate alınması gereken önemli bir ölçüttür. Bunlarla beraber iklim değişikliği, sayısal hava tahmini, evrensel su döngüsü, kuraklık indeksi, don gibi birçok çevresel niceliklerin modellemesinde kullanılan teknikler ve yöntemler bulunmaktadır.

Evrensel su döngüsü, suyun atmosfer, denizler, yer altı suları ve karasal ekosistemler arasındaki döngüsünü ifade etmektedir. Su buharı şeklinde atmosfere buharlaşan su, yoğunlaşarak bulutları oluşturmakta ve yağış şeklinde tekrar yeryüzüne dönmektedir. Evrensel su döngüsünün modellenmesi, su buharının atmosferdeki hareketini, bulut oluşumunu, yağış dağılımını ve yüzey akışını anlamak için kullanılmaktadır. Bu modeller, hidroloji, iklim bilimi ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır (Şahin vd. 2011).

3.2.4 Jeolojik Uygunluk

Jeotermal alanlarda, jeolojik birimlerin fiziksel özellikleri, bulundukları ortama göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, jeotermal kaynakların keşfi, değerlendirilmesi ve kullanımı açısından önemlidir. Bir jeotermal alanı tanımlamanın temel gerekliliklerinden biri, alandaki jeolojik özelliklerin incelenmesidir (Özdemir ve Palabıyık 2019).

Jeolojik birimler, yer altında bulunan farklı tabakaları temsil etmektedir. Bu tabakalar, tortul kayalar, volkanik kayalar ve metamorfik kayalardan oluşabilmektedir. Her bir jeolojik birimin fiziksel özellikleri, oluşum sürecine, bileşimine ve yer altı koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

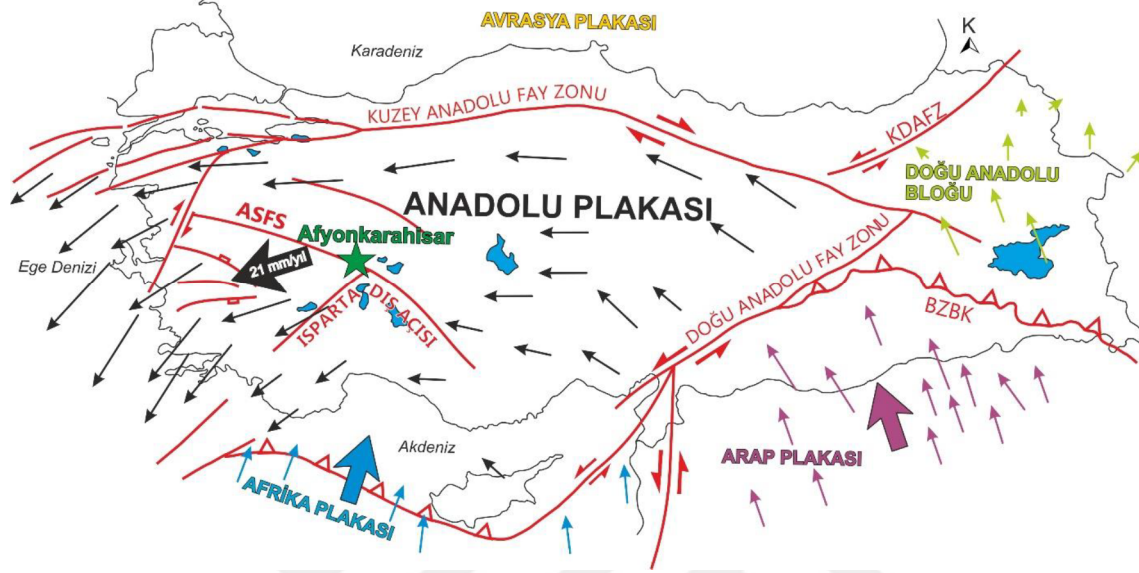
Bu nedenle, jeotermal alanlarda jeolojik birimlerin fiziksel özellikleri, kaynakların sıcak su veya buharı taşıyabilmesi ve çıkartılabilmesi için belirleyici bir faktördür. Jeolojik birimlerin geçirgenliği, porozitesi, termal iletkenliği ve mineralojisi gibi özellikler, jeotermal kaynakların verimliliğini ve kullanılabilirliğini etkileyebilmektedir. Bu bilgiler, jeotermal enerjinin araştırılması ve projelendirilmesi sürecinde dikkate alınmakta ve jeotermal alanların potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

3.2.5 Fay Hatları

Türkiye’de bulunan birçok jeotermal enerji kaynağı fay hatları ile ilişkilidir. Afyonkarahisar ili ve Sandıklı ilçesinde de jeotermal kaynakların meydana gelmesinde, bölgenin jeolojik yapısı ve fay hatlarından kaynaklanan tektonik hareketlerin büyük bir etkisi vardır (Kervankıran 2012).

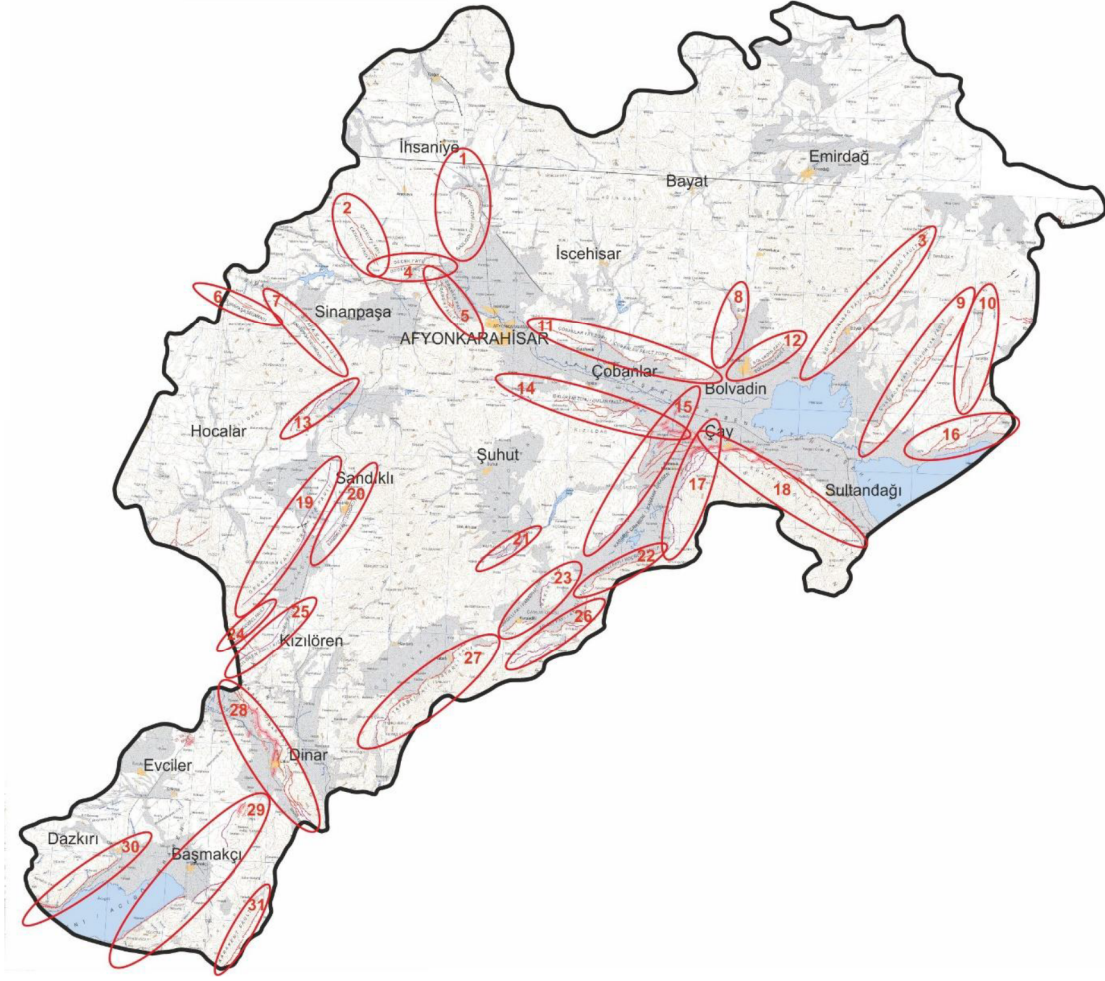
Afyonkarahisar ili, Türkiye'nin batısında yer alan ve Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu arasında sıkışmış olan bir bölgedir. Bu bölge, yılda yaklaşık 21 mm hızla batıya doğru hareket eden Anadolu Plakası içinde konumlanmaktadır. Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS), Batı Anadolu'da en aktif yapılarından biridir ve Isparta dış

açısı ile kesiştiği önemli bir tektonik bölgede bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bu fay sistemi, jeolojik açıdan büyük öneme sahiptir ve bölgedeki tektonik hareketleri etkilemektedir (Özkaymak 2020).



Şekil 3.4 Türkiye'nin Neotektonik Yapılarını Gösteren Harita (Reilinger vd 2010, Özkaymak vd, 2015, Özkaymak 2020).

Türkiye Diri Fay Haritası 2012'de güncellenerek 326 Fay hattı (485 segment) tanımlanmıştır (Emre vd. 2018). Afyonkarahisar İl sınırları içerisinde Türkiye Diri Fay Haritası'na göre toplamda 31 fay hattı tespit edilmiştir. Bu fay hatlarının 23 tanesi "diri fay" olarak sınıflandırılmıştır. Türkiye Diri Fay Haritası'na göre, Afyonkarahisar il sınırları içerisinde yer alan fay hatlarının uzunlukları oldukça değişkenlik göstermektedir. Bu fay hatlarının uzunlukları 10 km ile 33 km arasında değişmektedir. Ortalama olarak ise fay hatlarının her bir segment uzunluğu 15-20 km civarındadır (Özkaymak 2020).



Şekil 3.5 Afyonkarahisar İl Sınırları İçerisinde Tanımlanan Holosen ve Kuvaterner Fayları (Emre vd., 2011a,b,c,d,e; 2018).

Şekil 3.5'te 19 (Örenkaya Fayı) ve 20 (Sandıklı Fayı) numaraları ile gösterilen faylar çalışma sahasında kullanılan fay hatlarını göstermektedir.

3.2.5.1 Örenkaya Fayı

Örenkaya Fayı, kuvaterner fayı olarak ve Türkiye Diri Fay Haritası'nda tanımlanan önemli bir fay hattıdır. Bu fay, kuzeyinde Akharım Fayı ve güneyinde Düzbel Fayı ile sınırlandırılmış olup, Sandıklı yerleşim alanının doğusunda yer almaktadır. Yaklaşık 29 km uzunluğundaki bu fay, sola sıçramalı iki fay kolundan oluşmaktadır (Emre vd. 2011). Güneyde bulunan kol Menteş ile Yayman yerleşim alanları arasında, güneydoğu-kuzeybatı doğrultusundadır. Reşadiye ile Yolkonak arasındaki kuzey kol, Örenkaya Fayı tarafından Yayman yerleşim alanı doğusunda sola sıçrayarak KD-GB

doğrultusunda uzanır (Özkaymak 2020).

3.2.5.2 Sandıklı Fayı

KD-GB doğrultusunda uzanan yaklaşık 11 km uzunluğundaki fay, Gökçealan ile Karacaören arasında geçer ve Sandıklı yerleşim alanını da etkilemektedir (Şaroğlu vd. 1987, Emre vd. 2011). Genel olarak sol yönlü doğrultu atım bileşenli normal faylar olarak bilinen Sandıklı fayı, Sandıklı yerleşim alanından geçer ve KD-GB doğrultusunda uzanan normal fay yapısına sahiptir (Şaroğlu vd. 1987). 92’de hazırlanan haritada diri fay olarak gösterilen Sandıklı Fayı, 2012’de güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası’nda Kuvaterner Fayı olarak tanımlanmıştır (Emre vd. 2011).

3.3 Metot

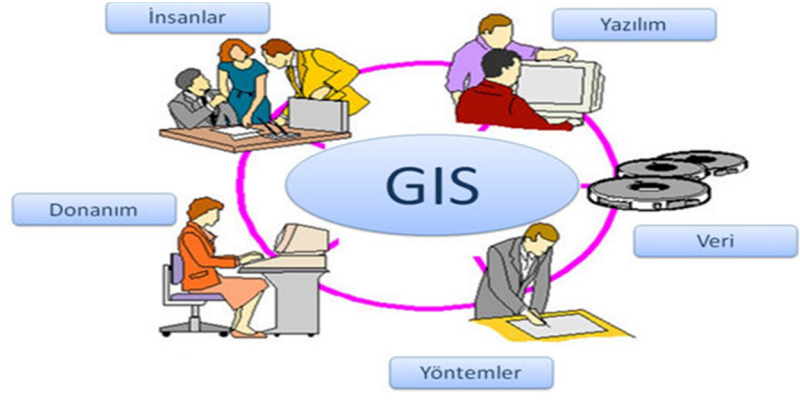
Bu çalışmada, CBS-ÇÖKA (Coğrafi Bilgi Sistemi - Çok Ölçütlü Karar Analizi) metodu kullanılarak Sandıklı ilçesi için en uygun jeotermal alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.3.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Yıllardan beri insanlar harita ve küre gibi modellerden yararlanarak dünyayı anlamaya, keşfetmeye ve yorumlamaya çalışmışlardır. Son 30-40 sene içinde oluşturulan bu modeller bilgisayar ortamına aktarılmış ve aynı zamanda modeller işlenerek git gide daha açık, anlaşılır ve işlevsel hale getirilmiştir (Kahraman ve Ünsal 2014).

CBS, yeryüzüne ilişkin bilgileri belirli bir amaca uygun olarak toplama, depolama, bilgileri güncelleştirme, analiz etme, kontrol etme ve bu bilgileri görüntüleme gibi işlemlere imkan sağlayan bir bilgisayar sistemidir (Tecim 2008). Aynı zamanda CBS, çok sayıda konumsal sorgulama ve analiz yapabilme imkanı sunan bir sistemdir. CBS kullanılarak yapılan analiz ve sorgulamaların temelinde iki farklı veri modeli bulunmaktadır: vektör veri modeli ve raster veri modelidir (Alesheikh vd. 2002).

Literatürdeki kaynaklarda, CBS'nin beş temel bileşeninin olduğu belirtilmektedir (Şekil 3.6). Bu bileşenler, donanım, yazılım, veri, yöntem ve personelden oluşmaktadır (Yomralıoğlu 2009).



Şekil 3.6 CBS'nin Bileşenleri.

3.3.2 Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA)

ÇÖKA, çeşitli seçenekler arasında bir amaca yönelik seçim yapmayı sağlayan bir karar verme yöntemidir. Bu yöntem, birçok farklı alternatif arasından en uygun olanını belirlemek için kullanılmaktadır (Doğramacı 2009).

ÇÖKA'nın genel amacı, karar vericilere ya da karar verme gruplarına, çelişkili ve rekabetçi ölçütlerin bulunduğu bir ortamda en iyi alternatifin seçimi konusunda yardımcı olmaktır. ÇÖKA, karar vericilere, çeşitli alternatifler arasından en uygun olanını seçmelerinde destek sağlamak için tasarlanmış bir sistemdir. Bu sistem, karmaşık kararlar alınırken ortaya çıkan zorlukları ele alır ve analiz sürecinde karar vericilere rehberlik eder (Yalçın 2012).

Bu tez çalışmasında kullanılan CBS-ÇÖKA Sandıklı ilçesindeki jeotermal enerji sahalarının analiz edilmesi ve buna dayalı olarak öneri ve stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

3.3.3 Entropi Yöntemi

Son yıllarda, Entropi üzerine yapılan çalışmalar birçok bilim dalında giderek artan bir ilgi görmektedir. Entropi, bir sistemdeki düzensizlik, istikrarsızlık, dengesizlik ve belirsizlik düzeyini ifade eden bir kavramdır (Yufeng ve Fengxiang 2009). Entropi indeksi, bir sistemdeki düzensizlik veya belirsizliğin derecesini ölçen bir kavramdır. Doğal ortamdaki kütle hareketlerinin gelişimi için en uygun parametrenin hangisi olduğunu ifade eder (Bednarik vd. 2010). Entropi yöntemi, karar verme süreçlerinde ölçütler arasındaki önem düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir (Bakır ve Atalık, 2018). Bu çalışmada jeotermal sahaların belirlenmesinde Entropi yöntemi seçilmiştir.

Entropi yönteminde seçilen ölçütlerin ağırlık değerlerini temsil eden W_j katsayısını hesaplamak için kullanılan denklemler aşağıda belirtilmektedir.

$$P_{ij} = FR = \frac{b}{a} \quad (3.1)$$

$$(P_{ij}) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \quad (3.2)$$

$$H_j = - \sum_{i=1}^{S_j} (P_{ij}) \log_2(P_{ij}), \quad j = 1, \dots, n \quad (3.3)$$

$$H_{jmax} = \log_2 S_j \quad (3.4)$$

$$I_j = \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}}, \quad I = (0,1), \quad j = 1, \dots, n \quad (3.5)$$

$$w_j = I_j P_{ij} \quad (3.6)$$

a, b = Etki alanı ve jeotermal saha alanlarıdır.

P_{ij} = FR 'yi ifade eder, aynı zamanda hesaplanmış olasılık olarak da ifade edilir.

(P_{ij}) = Olasılık yoğunluğudur.

S_j = Sınıf sayısıdır.

H_j, H_{jmax} = Entropi değerleridir.

I_j = Bilgi katsayısıdır.

W_j = Ölçütlerin ağırlığıdır.

W_j değeri aralığı 0 ile 1 arasında değişir.

Oluşturulan ağırlıklandırma hesaplama süresi çizelge 3.1’de verilmiştir



Çizelge 3.1 Ağırlık Hesaplama.

Ölçütler	Sınıflar	Sandıklı Alanı (m ²)	Sandıklı Alanı Oranı (a)	Jeotermal Alanı (m ²)	Jeotermal Alanı Oranı (b)	FR (b/a)	(Pij)	Pij (Mean)	Hj	Hj max	Ij	Wj
Eğim	0-5	564752309.485	0.4560	25330721.103	0.9375	2.0558	0.8551	0.0833	0.7657	3.5850	0.7864	0.0655
	5-10	248217559.460	0.2004	1322781.447	0.0490	0.2443	0.1016					
	10-15	177204212.362	0.1431	297623.296	0.0110	0.0770	0.0320					
	15-20	122173423.576	0.0987	63878.023	0.0024	0.0240	0.0100					
	20-25	71324996.445	0.0576	4765.130	0.0002	0.0031	0.0013					
	25-30	34228327.193	0.0276	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	30-35	13262801.242	0.0107	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	35-40	4428700.994	0.0036	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	40-45	1470409.110	0.0012	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	45-50	580669.485	0.0005	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	50-55	402305.548	0.0003	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	55-60	369118.571	0.0003	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
Jeolojik Uygunluk	1	142837765.860	0.1153	8599125.900	0.3183	2.7593	0.1821	0.0476	1.4969	4.3923	0.6592	0.0314
	2	407827296.919	0.3293	16398682.467	0.6069	1.8430	0.1216					
	3	51348250.251	0.0415	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	4	58667761.521	0.0474	1287969.948	0.0477	1.0062	0.0664					
	5	15693852.065	0.0127	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	6	16540971.455	0.0134	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	7	54584934.074	0.0441	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	8	7572205.544	0.0061	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	9	46948720.148	0.0379	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	10	68393367.924	0.0552	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	11	297714.328	0.0002	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	12	20495024.822	0.0165	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					

Çizelge 3.1 (Devam) Ağırlık Hesaplama.

Ölçütler	Sınıflar	Sandıklı Alanı (m ²)	Sandıklı Alanı Oranı (a)	Jeotermal Alanı (m ²)	Jeotermal Alanı Oranı (b)	FR (b/a)	(Pij)	Pij (Mean)	Hj	Hj max	Ij	Wj
Jeolojik Uygunluk	13	36880692.921	0.0298	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	14	3524260.962	0.0028	733991.305	0.0272	9.5457	0.6299					
	15	28358693.635	0.0229	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	16	219230729.586	0.1770	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	17	12600803.005	0.0102	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	18	17993923.972	0.0145	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	19	19754427.198	0.0160	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	20	3937564.574	0.0032	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
Yer Yüzey Sıcaklığı	21	4925872.874	0.0040	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	1	3644829.400	0.0029	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000	1.2828	2.3219	0.4475	0.0895
	2	94337161.400	0.0762	51761.157	0.0019	0.0251	0.0067					
	3	315426402.200	0.2547	1656039.584	0.0613	0.2406	0.0643					
	4	706720558.100	0.5707	19633047.962	0.7266	1.2733	0.3405					
Drenaj yoğunluğu	5	118285881.600	0.0955	5678920.529	0.2102	2.2005	0.5884					
	1	775736334.215	0.6264	66969.515	0.0025	0.0040	0.0001	0.1000	2.6137	3.3219	0.2132	0.0213
	2	151291584.529	0.1222	250730.373	0.0093	0.0760	0.0017					
	3	114519074.826	0.0925	2263730.290	0.0838	0.9060	0.0201					
	4	66825104.212	0.0540	6504735.678	0.2407	4.4614	0.0989					
	5	33535036.218	0.0271	5849739.326	0.2165	7.9951	0.1773					
	6	40825176.616	0.0330	4528052.509	0.1676	5.0836	0.1127					
	7	27545331.781	0.0222	2783073.610	0.1030	4.6309	0.1027					
	8	18519911.053	0.0150	2662951.634	0.0986	6.5904	0.1461					
	9	6430802.101	0.0052	2065792.052	0.0765	14.7233	0.3264					
	10	3186477.449	0.0026	43994.631	0.0016	0.6328	0.0140					

Çizelge 3.1 (Devam) Ağırlık Hesaplama.

Ölçütler	Sınıflar	Sandıklı Alanı (m ²)	Sandıklı Alanı Oranı (a)	Jeotermal Alanı (m ²)	Jeotermal Alanı Oranı (b)	FR (b/a)	(Pij)	Pij (Mean)	Hj	Hj max	Ij	Wj
Fay Hatları	1	210919150.135	0.1703	20442734.439	0.7566	4.4423	0.7527	0.1000	0.8070	3.3219	0.7571	0.0757
	2	206490607.975	0.1667	6577035.181	0.2434	1.4599	0.2473					
	3	187784495.378	0.1516	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	4	164753903.300	0.1330	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	5	152563981.403	0.1232	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	6	121159923.672	0.0978	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	7	68618043.799	0.0554	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	8	54736774.791	0.0442	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	9	45127964.713	0.0364	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					
	10	26259988.473	0.0212	0.000	0.0000	0.0000	0.0000					

Çizelgelerde 1. Sütunda ölçüt isimleri görülmektedir. 2. sütun Sınıflar sütunu ölçütlerin ayrı ayrı sınıf değerlerini göstermektedir. 3. sütunda Sandıklı Alanı mevcut olup, ölçütlerin hepsi için ayrı ayrı sınıf değerine göre sandıklı alanlarını belirtmektedir. 4. sütunda Sandıklı Alanı Oranı (a) bulunmaktadır. Bu sütun her bir ölçütün her bir sınıf değerindeki alanın toplam Sandıklı alanına oranını göstermektedir. 5. sütun Jeotermal Alanını göstermektedir. Her ölçütün her bir sınıftaki jeotermal alanını göstermektedir. 6. Sütunda Jeotermal Alanı Oranı (b) bulunmakta olup, her ölçütten her bir sınıftaki jeotermal alanının toplam jeotermal alanına oranını göstermektedir. 7. Sütunda FR (b/a) bulunup, her bir ölçütün her sınıfındaki Jeotermal Alanı Oranının Sandıklı Alanı Oranına bölünmesiyle elde edilmektedir. (P_{ij}), $P_{ij(\text{mean})}$, H_j , $H_{j \text{ max}}$, I_j faktörleri W_j ağırlık hesaplaması için gerekmektedir. W_j ise her bir ölçütün ağırlığını göstermektedir. Çizelgelerden bulunan W_j değerleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

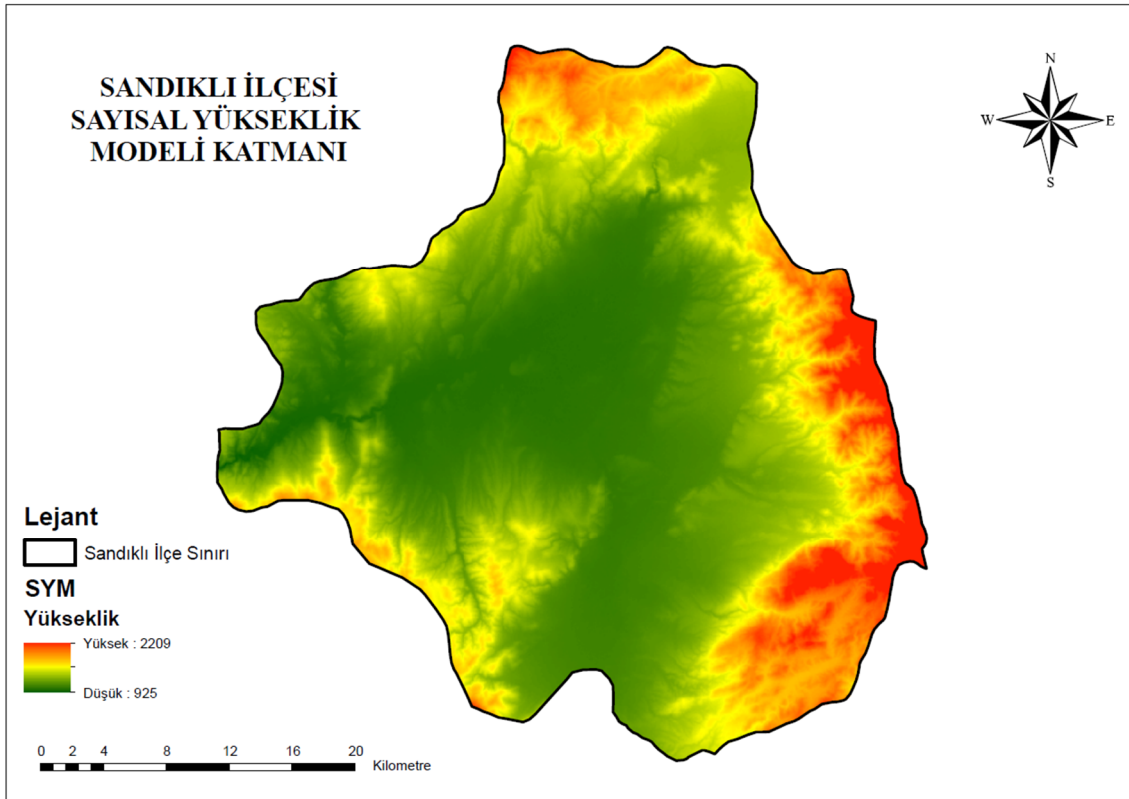
Çizelge 3.2 Ağırlık Değerleri.

ÖLÇÜTLER	AĞIRLIK DEĞERLERİ
Eğim	0.0655
Jeolojik Uygunluk	0.0314
Yer Yüzey Sıcaklığı	0.0895
Drenaj Yoğunluğu	0.0213
Fay Hatları	0.0757

4. BULGULAR

4.1 Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması

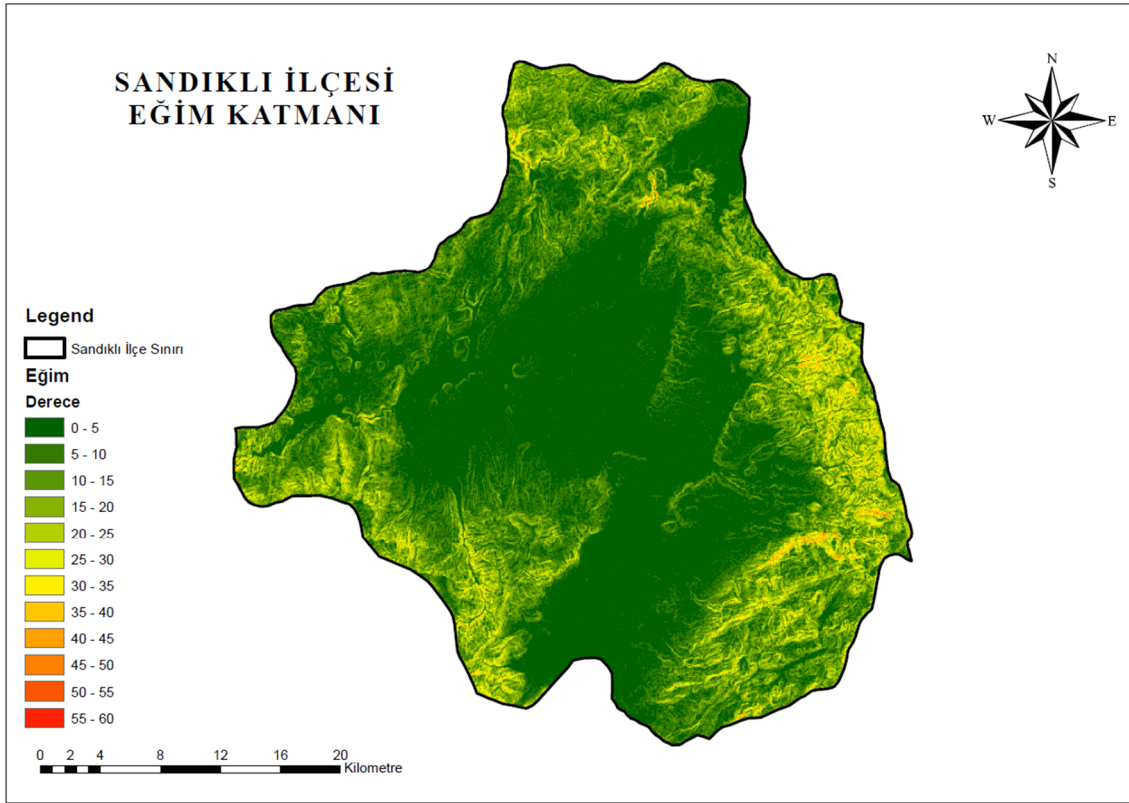
Karar verme sürecinde ölçütler, bir problemle ilgili ölçülebilir değerleri kullanarak en uygun alternatifleri belirlemek ve bir yargıya varmak için kullanılmaktadır. Bu ölçütler, problemle ilgili alana özgü ölçülebilir faktörlerdir ve genellikle karar verme sürecinde objektif verilerin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında jeotermal sahaların belirlenmesi için seçilen, eğim, fay hatlarına yakınlık, drenaj yoğunluğu, jeolojik uygunluk ve yer yüzey sıcaklığı ölçütlerinin hazırlanması ve düzenlenmesi CBS ortamında hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS-United States Geological Survey)'ndan SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verisi olarak temin edilmiştir (Şekil 4.1) (İnt.Kyn.12). SYM çalışmadaki ölçütlere altlık oluşturmaktadır.



Şekil 4.1 Sayısal Yükseklik Modeli (İnt.Kyn.12).

4.1.1 Eğim Katmanı

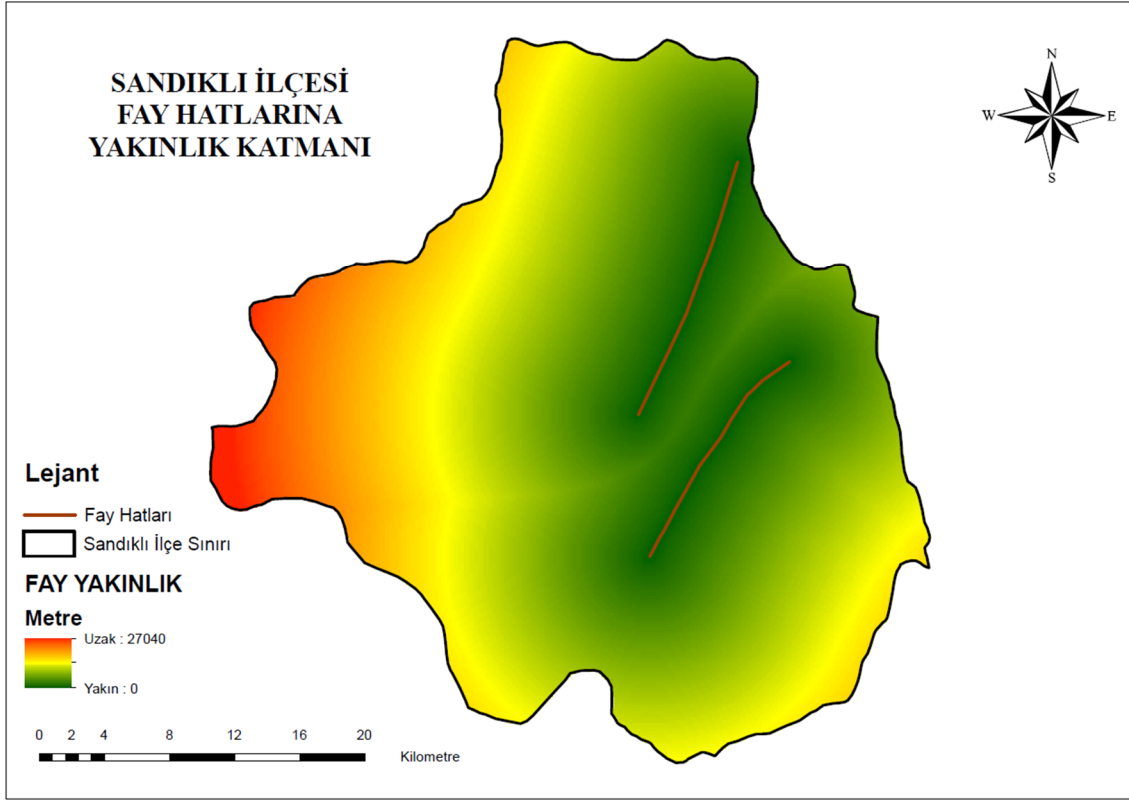
Çalışma alanındaki eğim haritası, sayısal yükseklik modeli verilerinden oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Sayısal yükseklik modeli verilerini temel alarak her bir pikselin eğim değerini hesaplamaktadır.



Şekil 4.2 Eğim Katmanı.

4.1.2 Fay Hatlarına Yakınlık Katmanı

Bu çalışmada Sandıklı ilçesine ait fay hatları MTA'dan temin edilmiştir. Fay hatlarına yakınlık katmanı Öklid Mesafesi (Euclidean Distance) metodu ile oluşturulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Fay Hatlarına Yakınlık Katmanı.

4.1.3 Drenaj Yoğunluğu Katmanı

Çalışmada, drenaj ağı haritası kullanılarak birim alana düşen drenaj yoğunluğunu belirlemek için CBS ortamında Line Density yöntemi kullanılarak drenaj yoğunluğu katmanı oluşturulmuştur (Şekil 4.5).

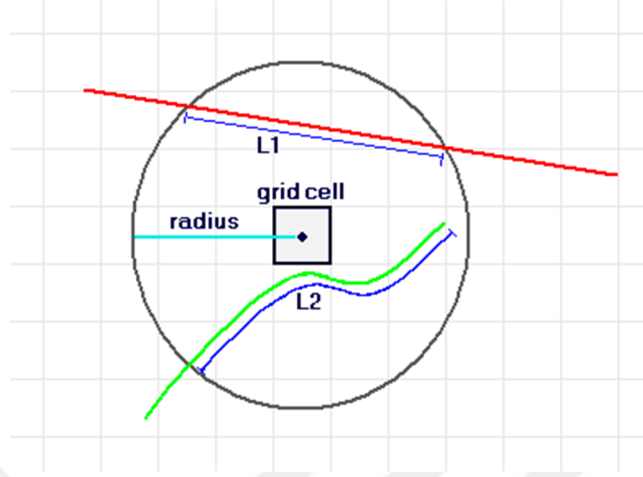
Line Density, bir bölgedeki çizgisel detayların yoğunluğunu belirlemek için kullanılan bir ölçüdür. Bu ölçüm, her hücrenin belirli bir yarıçap içinde kalan bölümünün birim alan başına düşen yoğunluğunu hesaplayarak elde edilir.

Line Density ile elde edilen sonuçlar her seferinde belirlenen birim başına düşen yoğunluğu verir (Kahraman ve Ünsal 2014).

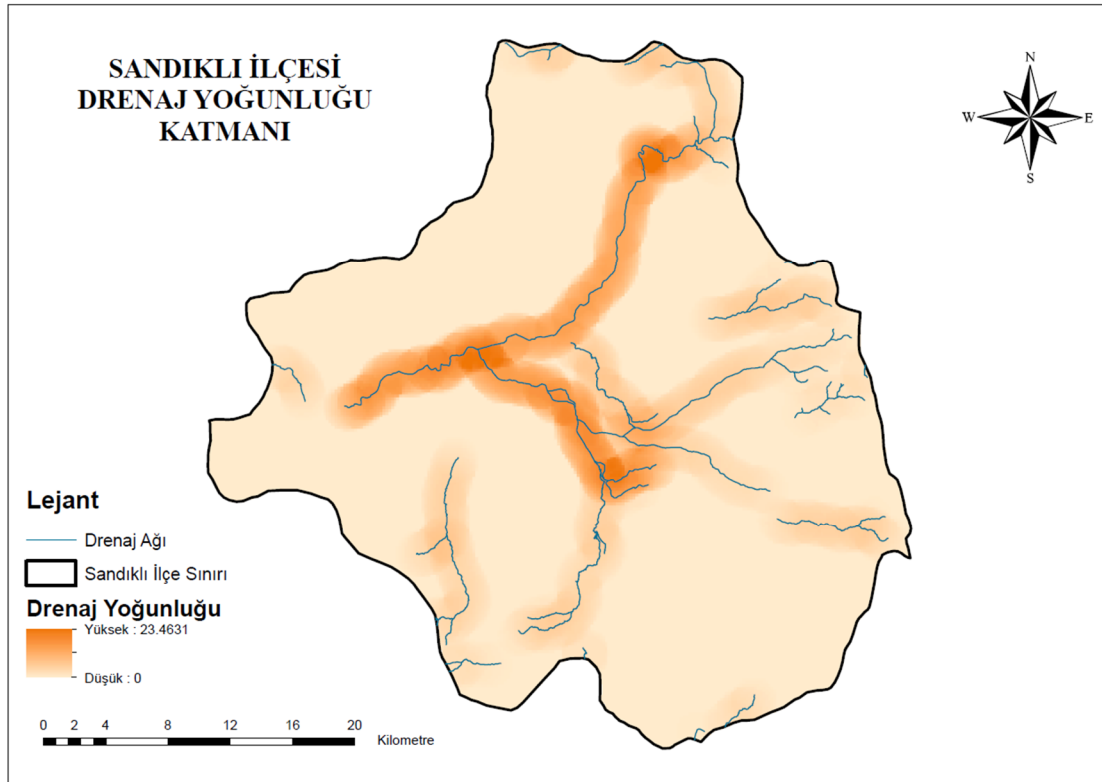
$$\text{Density} = ((L1 * V1) + (L2 * V2)) / (\text{Daire Alanı}) \quad (4.1)$$

L1 ve L2, daire içine düşen her çizginin bölümünün uzunluğunu temsil eder.

V1 ve V2, nüfus alan değerleridir (Şekil 4.4) (İnt.Kyn.13).



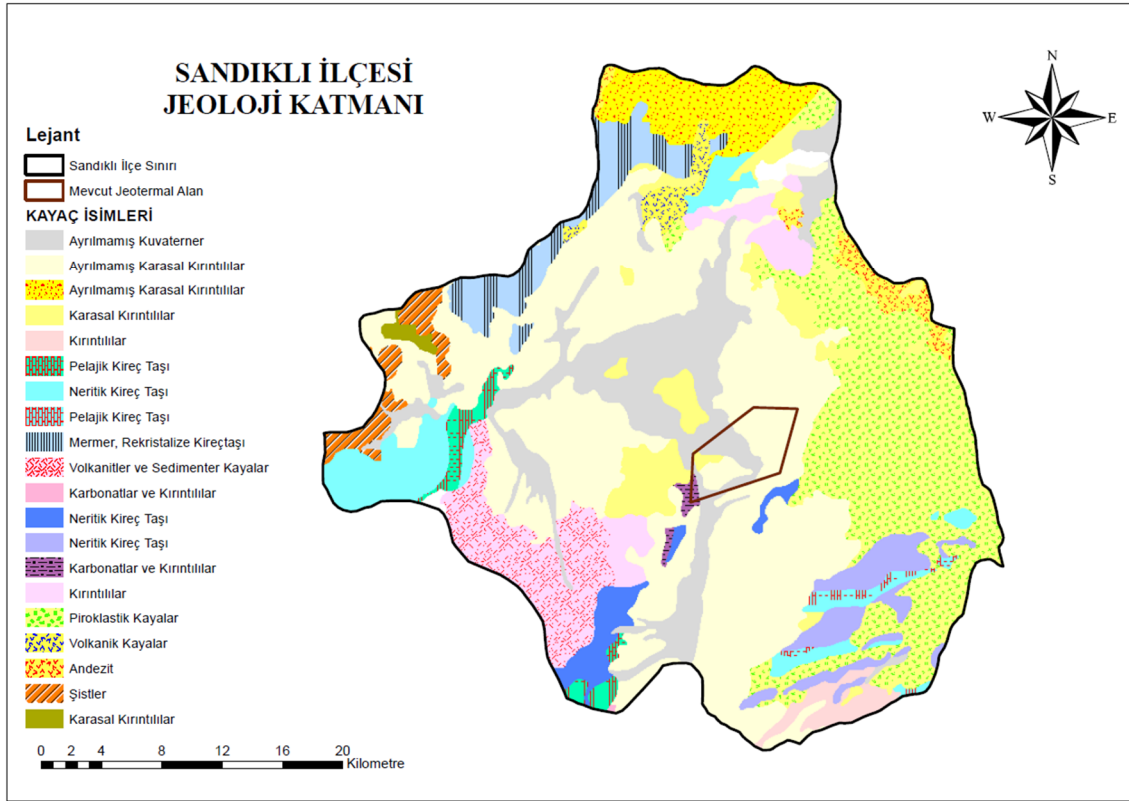
Şekil 4.4 Her Hücresinin Etrafındaki Dairenin İçerdiği Çizgilerin Uzunluğu (İnt.Kyn.13).



Şekil 4.5 Drenaj Ağı Yoğunluğu Katmanı.

4.1.4 Jeolojik Uygunluk Katmanı

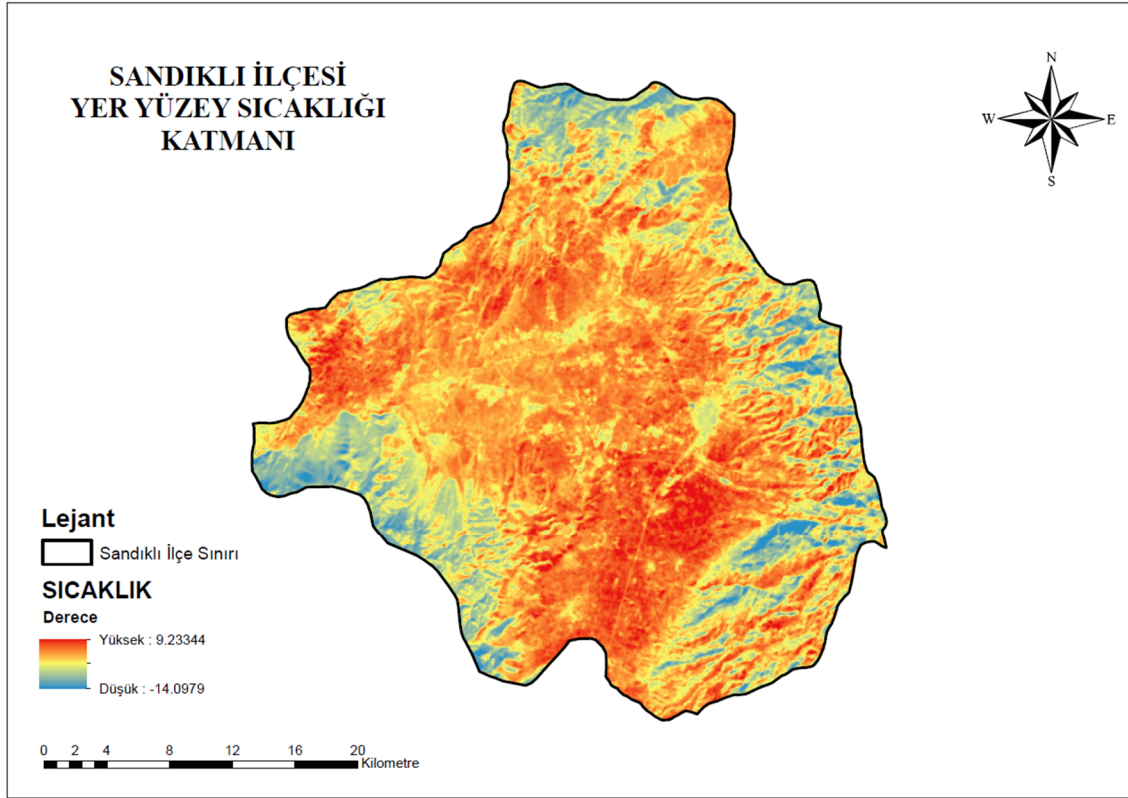
MTA verisi olan 1/500000 ölçekli İzmir ve Ankara paftaları CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Oluşan haritadan çalışma alanı olan Sandıklı ilçesi çıkarılarak Sandıklı Jeoloji katmanı oluşturulmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Jeoloji Katmanı.

4.1.5 Yer Yüzey Sıcaklığı Katmanı

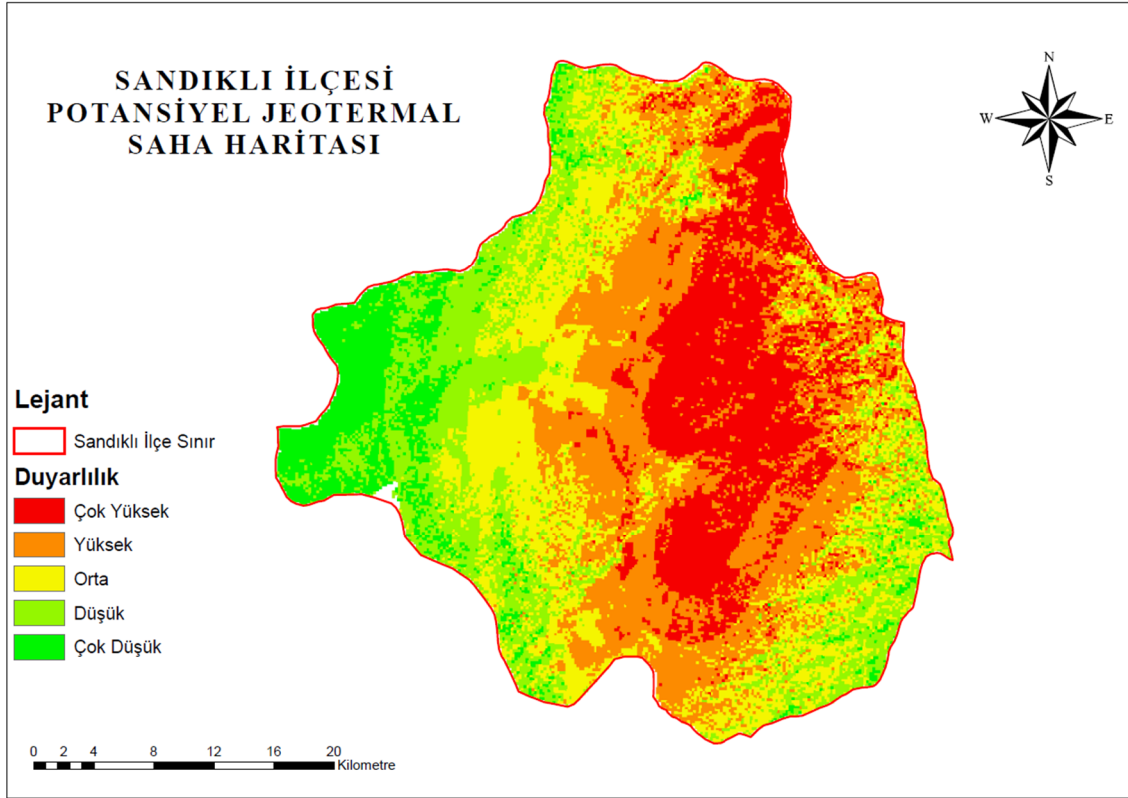
Bu çalışmada Yer Yüzey Sıcaklığı LANDSAT uydu verileri üzerinden hesaplanmış olup, Şekil 4.7’de belirtilmiştir.



Şekil 4.7 Yer Yüzey Sıcaklığı Katmanı.

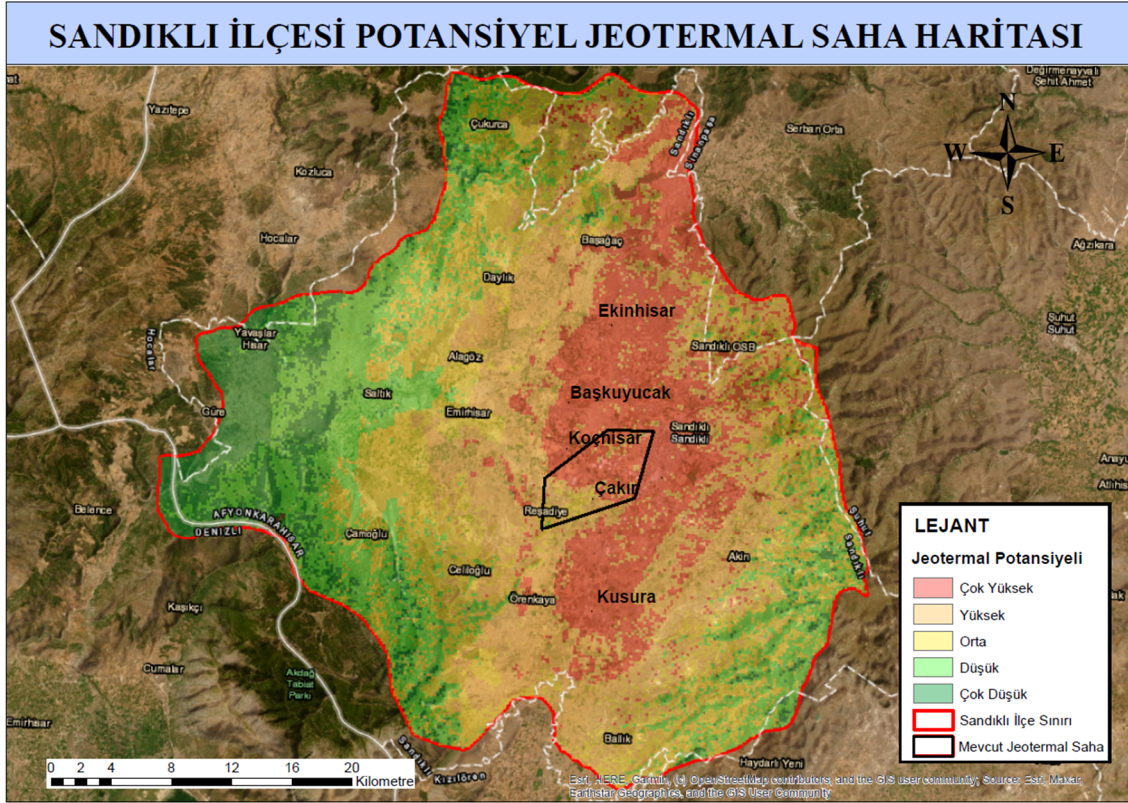
4.2 Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmada CBS ortamında oluşturulan ölçüt katmanları ile CBS tabanlı ÇÖKA-Entropi yöntemiyle hesaplanan ağırlıkların çarpılmasıyla yeni potansiyel jeotermal haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Haritada duyarlılık 5 sınıfa ayrılmış olup, Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek ve Çok Yüksek'ten oluşmaktadır. Kırmızı ile gösterilen çok yüksek sınıf potansiyel jeotermal sahalarını göstermektedir.



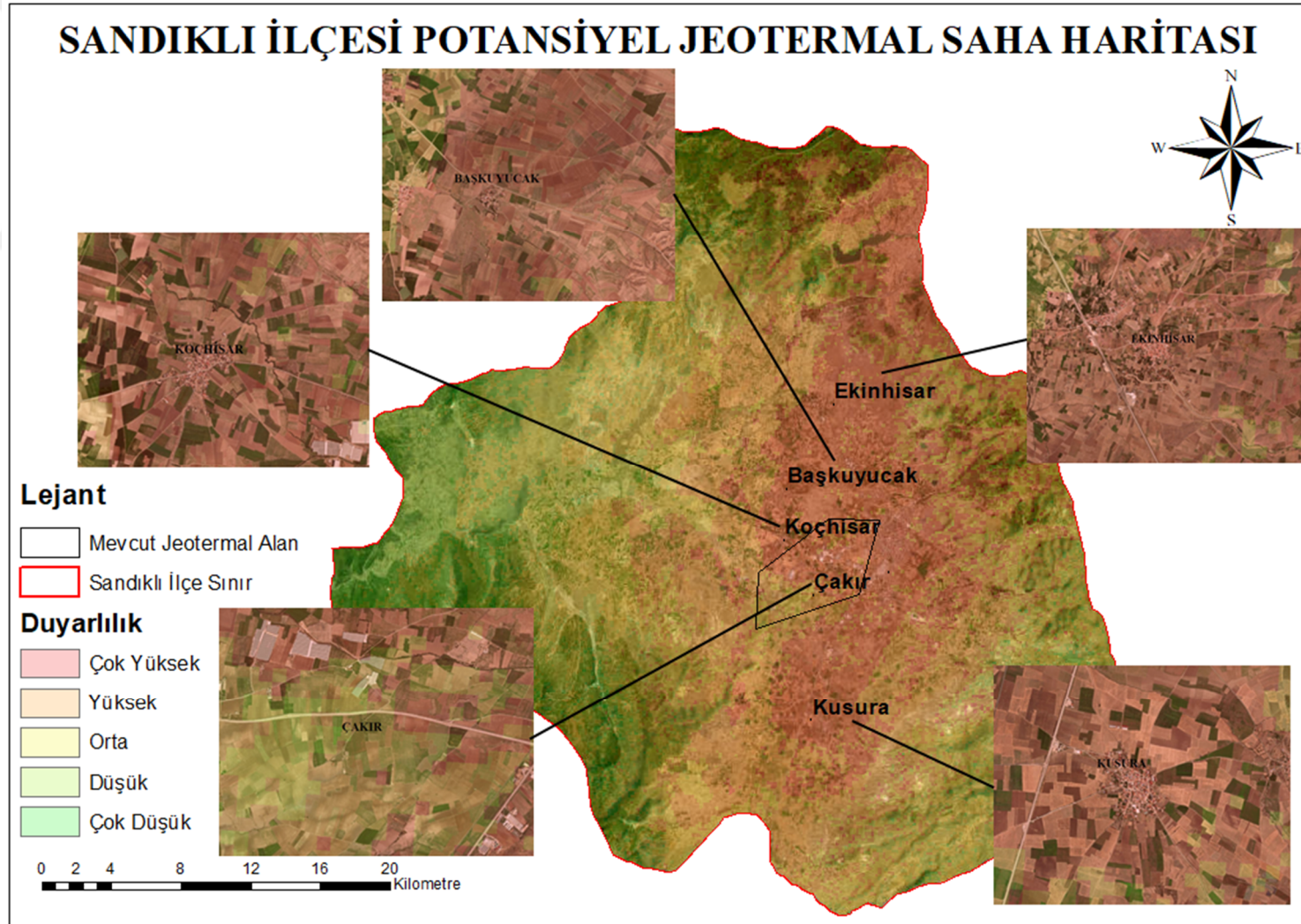
Şekil 4.8 Sandıklı İlçesi Potansiyel Jeotermal Saha Haritası.

Şekil 4.9’da mevcut ruhsatlı jeotermal saha yeri verilmektedir. Mevcut jeotermal saha içerisinde çok yüksek ve yüksek jeotermal potansiyele sahip alanlar verilmektedir. Bu durum çalışmanın tutarlığının yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.9 Potansiyel Jeotermal Haritası.

Çalışma sonucunda Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen veriler ile Sandıklı ilçesi yüzölçümü 1 238,41 km² olup potansiyel jeotermal haritasında çok yüksek duyarlılık ile Şekil 4.8’de gösterilen kırmızı alan 253,32 km² olarak hesaplanmıştır. Fizibilite çalışmalarında kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Mevcut jeotermal alanı dışında Kusura, Çakır, Koçhisar, Başkuyucak ve Ekinhisar mevkileri de yeni potansiyel jeotermal alanları olarak önerilmektedir.



Şekil 4.10 Sandıklı İlçesi Potansiyel Jeotermal Saha Haritası.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi hızla artmış ve bunun sonucunda yenilenebilir enerji araştırmaları büyük bir hız kazanmıştır. Günümüz dünyasında, enerji ihtiyacımızın büyük bir kısmını fosil yakıtlardan elde etmek yerine, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerektiği fark edilmiştir. Bu nedenle, araştırmacılar ve bilim insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmek ve kullanımını yaygınlaştırmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Türkiye konum olarak yer altı zenginlikleriyle dolu bir ülkedir. Bu zenginliklerden biri de jeotermal kaynaklardır. Afyonkarahisar'ın Sandıklı ilçesi, Türkiye'de jeotermal kaynakların değerlendirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Sandıklı ilçesinde jeotermal enerji ile şifa kaynağı kaplıcaların, otellerin, apartların ve konutların ısıtılması ile termal su ihtiyacı karşılanmaktadır. Aynı zamanda çiçek seracılığı ile sebze ve meyve kurutulması da yapılmaktadır.

Jeotermal kaynakların aranması için farklı yöntemler mevcuttur ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniği, bu alanda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Fakat jeotermal sahaların araştırılması konusunda CBS tabanlı ÇÖKA-Entropi yöntemi kullanılarak oluşturulan bir çalışma bulunmamaktadır.

Sandıklı jeotermal sahalarının belirlenmesinde önemli rol oynayan faktörler, uzman görüşleri ve literatür araştırmaları temel alınarak belirlenmiştir. Bu ölçütler eğim, drenaj, yer yüzey sıcaklıkları, jeolojik uygunluk ve faylardan oluşmaktadır. Ölçütlerin belirlenmesi, ÇÖKA aşamalarının bir parçasıdır ve sonuçları doğrudan etkileyen ve değişebilen bir süreçtir. CBS-ÇÖKA karar vericilerin kritik süreçlerde olaylara müdahale edebilmelerini sağlayarak diğer klasik analiz yöntemlerinden üstün bir yaklaşımdır. Ölçütlerin belirlenmesi karar vericilerin tercihlerine bağlı olduğundan, sübjektif bir konudur. Karar vericiler, bir problemi çözmek veya bir seçim yapmak için hangi faktörlerin önemli olduğunu belirlemek zorundadır. Ancak bu faktörlerin belirlenmesi, kişisel tercihler ve değerlendirmelerden etkilenebilir. Bu nedenle, karar vericilere ve çalışma alanlarına bağlı olarak değişiklikler yapılarak, özel ihtiyaçlara ve koşullara uygun çözümler üretilebilir. Karar vericilerin ve çalışma alanlarının

farklılıklarını anlamak, daha etkili ve uygun kararlar almak için önemlidir.

CBS-ÇÖKA Entropi metodu ile çalışma sonunda yeni potansiyel jeotermal sahalar belirlenmiştir. Bunlar Sandıklı ilçesi Kusura, Çakır, Koçhisar, Başkuyucak ve Ekinhisar mevkileridir. Bu çalışma diğer çalışmalara örnek teşkil edecek olup, yeni keşfedilecek jeotermal sahaların bulunması ile Türkiye ekonomisine büyük katkı sağlanması beklenmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Afşin M, 1991, Afyon-Sandıklı Kuruçay Ovası ve Hüdai Kaplıcalarının Hidrojeoloji İncelemesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 330s, Ankara.
- Alesheikh, A A, Helali H, Behroz H A, 2002, Web GIS: technologies and its applications, In Symposium on geospatial theory, processing and applications, July, Ottawa, 15, 213-222.
- Arslan S, Darıcı M, Karahan Ç, 2001, Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri Ve Tasarımı Seminer Kitabı, 270, İzmir.
- Bakır M, Atalık Ö, 2018, Entropi ve Aras Yöntemleriyle Havayolu İşletmelerinde Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi, İşletme Araştırmaları Dergisi, 10.1, 410.
- Bednarik M, Magulova B, Matys M, Marschalko M, 2010, Landslide susceptibility assessment of the Kral'ovany–Liptovsky Mikulas railway case study, Phys. Chem. Earth Parts A/B/C, 35, 162–171.
- Ceylan M, Vural A, 2023, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Yeraltı Suyu Potansiyel Alanlarının Tespiti: Gökdere Havzası (Gümüşhane) Örneği, In International Conference on Scientific and Academic Research, 1, 342-349.
- Cihan M, Koçyiğit A, 2000, Neotectonic Characteristics of Sandıklı (Afyon) Graben, The Proceeding of Seismicity of Western Anatolia BADSEM, 166–174.
- Cihan M, Saraç G, Gökçe O, 2003, Insights into Biaxial Extensional Tectonics: An Example from the Sandıklı Graben, West Anatolia, Turkey, Geological Journal Geol, J.38, 47–66.
- Dean W T, Özgül N, 1994, Cambrian Rocks and Faunas, Hüdai area, Taurus Mountains, Southwestern Turkey. Bull. Instit. R. Sci. Naturelle de Belgique-Science de la Terre, 64, 5-20.

- Demir S, Memiş Ü, 2015, Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Hidrojeokimyası ve Jeotermometre Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19.2, 66-77.
- Demirel M. 1998. Jeotermal Enerjinin Yerleşim Alanlarına Etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Kütahya.
- Demirkazıksoy M A, 2004, Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji potansiyeli Kullanımı ve Geliştirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Eskişehir.
- Doğramacı S, 2009, Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Toplu Konut Yer Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, İstanbul.
- Durukan A, Yılmaz M, 2021, Yenilenebilir Enerjinin Önemi Ve Latin Amerika Coğrafyasındaki Yeri: Brezilya Örneği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 61.1, 339-358.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, 2011d, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Denizli (NJ 35-12) Quadrangle, serial number: 12, Ankara, Turkey, MTA.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, 2011e, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Isparta (NJ 36-9) Quadrangle, serial number: 17, Ankara, Turkey: MTA.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, 2011b, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Iğın (NJ 36-6) Quadrangle, serial number: 21, Ankara, Turkey: MTA.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Olgun Ş, Elmacı H, 2011a, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle, serial number: 16, Ankara, Turkey: MTA.

- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, 2018, Active fault database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16.8, 3229-3275.
- Emre Ö, Özalp S, Duman T Y, 2011c, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Uşak (NJ 35-8) Quadrangle, serial number: 11, Ankara, MTA.
- Gürsu S, Göncüoğlu M C, 2005, Batı Torosların (Sandıklı GB'sı, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik Yaşlı Birimlerinin Jeolojisi ve Petrografisi, MTA Dergisi, 130, 29-55.
- Hepdeniz K, Demr S, Memiş Ü, 2017, Afyonkarahisar-Sandıklı Hüdai Jeotermal Sahası Hidrojeokimyasal Analiz Sonuçlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 762-771.
- İnce U, 2005, A Case Study of Material Testing For Corrosion In Low Temperature Geothermal systems. Izmir Institute of Technology, İzmir.
- Kahraman S, Ünsal Ö, 2014, ArcGIS Spatial Analiz, Esri Türkiye, 225s, Ankara.
- Kervankıran İ, 2012, Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı ve Sorunları, Marmara Coğrafya Dergisi, 25, 108-126.
- Kiratt 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, 2297-2304.
- Lund J W, Freeston D H, 2001, World-wide direct uses of geothermal energy 2000. Geothermics, 30.1, 29-68.
- Memiş Ü, Demer S, Özgür N, 2010, Afyon-Sandıklı Hüdai Jeotermal Sisteminin Rezervuar Sıcaklığının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14.3, 293-299.
- Mertoğlu O, Bakır N, Kaya T, 2003, Geothermal Applications in Turkey, Geothermics, 32, 419-428.
- MTA Genel Müdürlüğü, 2005, Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Yayın No: 201, Ankara.

- Noorolahi Y, Itoi R, Fujii H, Tanaka T, 2007, GIS Model For Geothermal Resource Exploration In Akita And Iwate Prefectures, Northern Japan, Computers & Geosciences, 33.8, 1008-1021.
- Özdemir A, Palabıyık Y, 2019, Güney (Denizli) Civarında Jeotermal Enerji Arama: Derin Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçümlerinin Jeofizik ve Jeolojik Yorumu, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 1998-1214.
- Özenen Kavlak M, Pekkan E, Çabuk S N, 2018, Jeotermal Kaynakların ve Tesislerin CBS Yönt. Kullanılarak İrdelenmesi: Eskişehir Örneği, VII. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- Özkaymak Ç, 2015, Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. Geodinamica Acta, 27, 110-129.
- Özkaymak Ç, 2020, Afyonkarahisar İli Sismotektonik Özellikleri Ve Deprem Kaynakları, Afyon Kocatepe Üniversitesi DUAM Müdürlüğü, 33s, Afyonkarahisar.
- Özpınar Y, 2008, Sandıklı (Afyon) Yöresinde Şabazit ve Fillipsit Mineralleri İçeren Tüflerin Minerolojik Petrografik ve İyon Değiştirme Özellikleri ve Tarımda Kullanılması, GB Anadolu, Türkiye, MTA Dergisi, 137, 27-47.
- Patton P C, Baker V R, 1976, Morphometry And Floods In Small Drainage Basins Subject To Diverse Hydrogeomorphic Controls, Water Resources Research, 12.5, 941-952.
- Reilinger R, McClusky S, Paradissis D, Ergintav S, Vernant P, 2010, Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone, Tectonophysics, 488, 22–30.
- Şahin M, Yıldız B Y, Şenkal O, Peştemalcı V, 2011, Uydu Verileri Kullanılarak İzmir Şehir Merkezinin Yer Yüzey Sıcaklığının Tahmini, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15-1, 36-45.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ, 1992, Türkiye Diri Fay Haritası (Active Fault Map of 684 Turkey), scale 1:2000000, one sheet, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 685, Ankara.

- Tecim V, 2008, Coğrafi Bilgi Sistemleri Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi, 1. Baskı, Renk Form Ofset, 387s, Ankara.
- Yalçın M, 2012, Afet Yönetimi-Hazırlık Bileşeni İçin Konumsal Veri Altyapısı Tasarlanması, Sel Ve Taşkına Duyarlı Alanlar: İstanbul Avrupa Yakası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 106s, İstanbul.
- Yalçın M, 2016, Jeotermal Alanların Cbs ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Araştırılması: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 172s, İstanbul.
- Yiğit Ü, 1994, Jeotermal Enerjinin Uygulama Alanları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Yomralıoğlu T, 2009, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 5. Baskı, İber Ofset, 479s, Trabzon.
- 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, 140–151.
- Yufeng S, Fengxiang J, 2009, Landslide stability analysis based on generalized information entropy. Int Conf Environ Sci Inf Appl Technol 2, 83–85.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa#:~:text=Yenilenebilir%20enerji%20kaynaklar%C4%B1%2C%20hidro%2C%20jeotermal,ve%20dalga%20olarak%20kabul%20edilmektedir,> 05.05.2023
- 2- <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa#:~:text=Yenilenebilir%20enerji%20kaynaklar%C4%B1%2C%20hidro%2C%20jeotermal,ve%20dalga%20olarak%20kabul%20edilmektedir.,> 08.05.2023
- 3- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1%C4%B1%20Nisan%20ay%C4%B1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20kurulu%20g%C3%BCc%C3%BCm%C3%BCz%C3%BCn%20kaynaklara%20g%C3%B6re,i%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklinindedir,> 10.05.2023
- 4- <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal,> 14.05.2023
- 5- <https://www.sanjet.com.tr/>, 18.05.2023
- 6- <https://sozluk.gov.tr/>, 21.05.2023
- 7- <https://www.enerjiportali.com/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir/>, 26.05.2023
- 8- <https://www.bilimgemisi.com/dunyanin-katmanlari-ve-ozellikleri-nelerdir/>, 29.05.2023
- 9- <https://www.jeotermalhaber.com/jeotermal/jeotermal-kaynak-nedir/>, 03.06.2023
- 10-<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/3.jpg>, 05.06.2023
- 11-https://basarsoft.com.tr/download/mpf-advanced_egitim_dokumani.pdf, 05.06.2023
- 12-<https://earthexplorer.usgs.gov/>, 02.11.2022
- 13-[https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Density_calculations,](https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Density_calculations) 08.06.2023