DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAKLARDAN MİNERAL ELDESİ OLANAKLARI

Raziye ŞENGÜN ÇETİN

Şubat, 2023
İZMİR

BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAKLARDAN MİNERAL ELDESİ OLANAKLARI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
Jeotermal Enerji Programı

Raziye ŞENGÜN ÇETİN

Şubat, 2023
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

RAZİYE ŞENGÜN ÇETİN, tarafından **PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN** yönetiminde hazırlanan **"BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAKLARDAN MİNERAL ELDESİ OLANAKLARI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici

.....	.....
Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ	Doç. Dr. Füsun Servin TUT HAKLIDIR
Jüri Üyesi	Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni destekleyerek motive eden, Zorlu Enerji ailesine ve Sn Ali Kındap'a, çalışmanın her aşamasında beni yalnız bırakmayan meslektaşlarım, Sn. Sanem Kılınçarslan, Sn. Seray Işık Tezel, Sn. Hakkı Aydın ve Sn. Meriç İlkimen arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim. Sn Füsun Tut Haklıdır'a teşviki ve desteği ile yüksek lisans ve tez sürecimin gerçekleşmesini sağladığı için şükranlarımı sunmaktan büyük mutluluk duyuyorum. Bilgimin sınırlarını zorlamam için bana fırsat veren akademik danışmanım Prof. Dr. Gültekin Tarcan' a ve çalışmalarımı değerlendirmesi nedeniyle Prof. Dr. Ünsal Gemici'ye teşekkür ediyorum.

Gerek öğrenim gerekse tez yazım süreci boyunca beni destekleyen sevgili annem Semiha Şengün, sevgili babam Osman Şengün, Sevgili kardeşim Hasan Şengün ve Sezer Şengün yanında inancımı ve kararlılığımı asla kaybetmeme izin vermeyen sevgili eşim Tayfun Çetin'e huzurlarınızda teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya katkı sağlayan herkese en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Raziye ŞENGÜN ÇETİN

BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAKLARDAN MİNERAL ELDESİ OLANAKLARI

ÖZ

Jeotermal akışkan madenciliği hammadde ihtiyacını gidermek ve çevre dostu kaynaklar yaratmak amacıyla geliştirilmekte olan bir konudur. Batı Anadolu'da bulunan jeotermal sistemler dünya üzerinde bulunan örneklerine göre oldukça düşük değerlerde maden niteliğinde mineral içeriğine sahip olmasına karşın son 10 yılda enerji ihtiyacına yönelik jeotermal akışkan üretimi oldukça artmıştır. Jeotermal madencilik ekonomik olarak mümkün hale gelmiştir.

Jeotermal akışkanın yer altından soğrulabilme miktarı ile akışkana ait kimyasal ve fiziksel karakter yıllar içerisinde, üretim ve enjeksiyon dengesine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle yatırımlar aşamasında enerji rezervi ve enerji üretiminin zamansal devamlılığına yönelik yaklaşım hesapları yapılmaktadır. Bu tezde enerji üretimi için kullanılan hacimsel yöntem ile hesaplanmış rezerv miktarlarının Monte Carlo benzetimi yardımı ile olasılıksal değerleri belirlenmiştir.

Batı Anadolu'da yer alan Seferihisar, Kızıldere, Simav, Germencik, Tuzla, Alaşehir, Salihli jeotermal kaynaklarındaki minerallerin olasılıksal rezerv hesaplamaları yapılmıştır. Sonuçta bu sahalarda üretilebilecek toplam rezervler 24.813 ton Lityum, 208 ton Mangan, 67.423 ton Neodim, 35 ton Sezyum, 924 ton Stronsiyum, 412 ton Antimon, 958 ton Bakır, 553 ton Nikel, 113 ton Çinko, 8 ton Rubidyum, 844 ton Gümüş ve 246.217 ton Silika olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan mineral rezervlerinin, literatür ve sektörel bilgilerin ışığında elektrik ve kimyasal ayırtlama yöntemleriyle kazanılması mümkündür. Silika, lityum, nikel, bakır, çinko ve gümüş gibi piyasada yoğun olarak kullanılan minerallerin çıkartımı için iyon değiştirici reçineler veya solventler tercih edilmektedir. Batı Anadolu jeotermal akışkanlarında

özellikle düşük konsantrasyonlu nadir toprak elementlerinin ekstraksiyon verimini artırmak için ilave bir ön zenginleştirme ünitesi tavsiye edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Batı Anadolu, jeotermal madenciliği, rezerv hesabı

MINERAL RECOVERY POSSIBILITIES IN HIGH TEMPERATURE GEOTHERMAL FLUIDS IN WESTERN ANATOLIA

ABSTRACT

Geothermal fluid mining is a subject that is developed to meet the needs for critic metals and create environmentally friendly resources. Production of geothermal fluids for energy needs has increased considerably in last 10 years, results economically feasible geothermal mining capacity.

Due to fluid production rate, chemical and physical character changes in time, approach calculations are made for continuity of energy reserve at investment stage in geothermal energy. In this thesis, the probabilistic values of reserves calculated by volumetric method combined Monte Carlo simulation which generally used for energy production approches.

Probabilistic reserve calculations of Seferihisar, Kızıldere, Simav, Germencik, Tuzla, Alaşehir, Salihli geothermal fields in Western Anatolia indicates producible Lithium reserve in these fields is 24,813 tons, Manganese reserve is 208 tons, Neodymium reserve is 67,423 tons, Cesium reserve is 35 tons, Strontium reserve is 924 tons, Antimony reserve is 412 tons, Copper reserve is 958 tons, Nickel reserve is 553 tons, Zinc reserve is 113 tons, Rubidium reserve is 8 tons, Silver reserve is 844 tons and Silica reserve is 246,217 tons in total. It is possible to recover the issued mineral reserves by using electrical and chemical extraction methods, according to the the literature and sectoral information. Ion exchange resins or solvents are mostly preferred for the extraction of minerals that are used in the market. Additional pre-enrichment unit is recomended to increase the extraction efficiency of especially low concentration rare earth elements in Western Anatolian geothermal fluids.

Keywords: Western Anatolia, geothermal mining, reserve calculation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜRLER iii
ÖZ iv
ABSTRACT vi
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
TABLOLAR LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 2
1.2 Çalışma Alanı 3
1.3 Materyal ve Metod 3
1.3.1 Jeotermal Enerji 4
1.3.1.1 Jeotermal Enerji ve Uygulama Alanları 5
1.3.1.1.1 Elektrik Üretimi 5
1.3.1.1.2 Isı Üretimi 5
1.3.1.1.3 Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımı 5
1.3.1.1.4 Hammadde üretimi 6
1.3.1.2 Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması 6
1.3.2 Hacimsel Rezerv Hesabı ve Monte Carlo Benzetimi 7
1.3.3 Jeotermal Enerji Kullanımı ile Tuzdan Arındırma ve Mineral Eldesi Yöntemi 12
1.3.3.1 Termal Yöntem 12
1.3.3.1.1 Distilasyon (Damıtma) 12
1.3.3.1.2 Kristalizasyon 13
1.3.3.1.3 Filtrasyon 13
1.3.3.2 Elektriksel Yöntem 13
1.3.3.2.1 Elektrdiyaliz (ED) 14
1.3.3.2.2 Ters Elektrdiyaliz (EDR) 14

1.3.3.2.3 Membran Elektrolizi 14
1.3.3.2.4 Elektrodeiyanizasyon 14
1.3.3.2.5 Elektrofiltrasyon..... 14
1.3.3.2.6 Yakıt Hücresi 15
1.3.3.3 Kimyasal Yöntem 15
1.3.3.3.1 İyon Değişimi..... 15
1.3.3.4 Membran Yöntemi..... 16
1.3.3.4.1 Çözelti Difiüzyon Modeli 16
1.3.3.4.2 Hidrodinamik Modeli..... 16
1.3.3.4.3 Basınç Güdümlü Membranlar..... 17

BÖLÜM İKİ - BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL SAHALARIN JEOLOJİK, HİDROJEOLOJİK ve HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ 18

2.1 Batı Anadolu'nun Jeolojisi 18
2.2 Batı Anadolu'nun Tektoniği..... 20
2.3 Batı Anadolu Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sahaların Hidrolojik, Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve Kıymetli Mineral Özellikleri 23
2.3.1. Kızıldere Jeotermal Sahası 25
2.3.2 Alaşehir Jeotermal Alanı 25
2.3.3 Salihli Jeotermal Alanı 30
2.3.4 Germencik Jeotermal Alanı 31
2.3.5 Seferihisar Jeotermal Alanı..... 34
2.3.6 Simav Jeotermal Alanı..... 36
2.3.7 Çanakkale - Tuzla Jeotermal Alanı..... 38

BÖLÜM ÜÇ - BATI ANADOLU JEOTERMAL SAHALARINDAKİ JEOTERMAL AKIŞKANLARDA BULUNAN BAZI MİNERAL REZERVLERİ VE UYGUN KAZANIM YÖNTEMLERİ 42

3.1 Jeotermal Akışkandan Mineral Eldesine Yönelik Örnek Çalışmalar..... 43

3.2 Batı Anadolu Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sahalarından Kazanılabilecek Mineraller ve Rezerv Tahminleri 55
3.2.1 Lityum (Li) 55
3.2.2 Mangan (Mn) 58
3.2.3 Neodimyum veya Neodim (Nd) 60
3.2.4 Sezyum (Cs) 63
3.2.5 Stronsiyum (Sr) 65
3.2.6 Antimon (Sb) 68
3.2.7 Bakır (Cu) 71
3.2.8 Nikel (Ni) 72
3.2.9 Çinko (Zn) 76
3.2.10 Rubidyum (Rb) 79
3.2.11 Silisyumdioksit (SiO2) 81
3.2.12 Gümüş (Ag) 84
3.3 Toplam Rezerv Miktarlarının Önemi ve Ekonomik Değeri 87

BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR VE BULGULAR 93

KAYNAKLAR 98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışma Alanı 4
Şekil 1.2 Litosferik plakalar ve yüksek sıcaklıklı alanlar 5
Şekil 1.3 Jeotermal akışkan kullanım alanları..... 6
Şekil 1.4 Monte Carlo benzetiminde kullanılan yaygın dağılım fonksiyonları 10
Şekil 1.5 Üçgen dağılım fonksiyonu ve grafiği 11
Şekil 1.6 Desalinasyon (Tuzdan Arındırma) yöntemleri 13
Şekil 2.1 Batı Anadolu'nun genel jeoloji haritası ve çalışılan jeotermal sahalar..... 19
Şekil 2.2 Türkiye çevresindeki ana tektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş yapısal harita 22
Şekil 2.3 Batı Anadolu' daki neotektonik dönem havzaların oluşumlarına ilişkin literatürdeki bazı modellerin şematik gösterimi 23
Şekil 2.4 Kızıldere jeotermal sahası jeoloji haritası..... 26
Şekil 2.5 Alaşehir Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası..... 28
Şekil 2.6 Salihli ve Alaşehir jeotermal sahaları ve çevresindeki alanın basitleştirilmiş hidrojeolojik haritası..... 30
Şekil 2.7 Germencik Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası..... 33
Şekil 2.8 Seferihisar Jeotermal Sahası'nın jeolojik haritası..... 35
Şekil 2.9 Simav Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası 38
Şekil 2.10 Tuzla Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası 40
Şekil 3.1 Jeotermal akışkandan mineral eldesi tarihçesi..... 42
Şekil 3.2 Jeotermal akışkandan mineral eldesi Salton Sea- ABD..... 43
Şekil 3.3 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Lityum rezerv tahmini 56
Şekil 3.4 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Mangan rezerv tahmini 59
Şekil 3.5 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Neodim rezerv tahmini 62

Şekil 3.6 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Sezyum rezerv tahmini 64
Şekil 3.7 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Stronsiyum rezerv tahmini 67
Şekil 3.8 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Antimon rezerv tahmini. 70
Şekil 3.9 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Bakır rezerv tahmini ... 73
Şekil 3.10 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Nikel rezerv tahmini . 75
Şekil 3.11 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Çinko rezerv tahmini 78
Şekil 3.12 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Rubidyum rezerv tahmini 80
Şekil 3.13 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Silisyumdioksit rezerv tahmini 83
Şekil 3.14 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Gümüş rezerv tahmini 86

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Kaynak belirsizlik kategorisi 8
Tablo 1.2 Membran tipleri ve özellikleri 17
Tablo 2.1 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal Sahalarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri 24
Tablo 2.2 Kızıldere jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 26
Tablo 2.3 Kızıldere jeotermal sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 27
Tablo 2.4 Alaşehir jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 28
Tablo 2.5 Alaşehir jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 29
Tablo 2.6 Salihli jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 31
Tablo 2.7 Salihli jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 32
Tablo 2.8 Germencik jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 33
Tablo 2.9 Germencik jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 34
Tablo 2.10 Seferihisar jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 36
Tablo 2.11Seferihisar jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 36
Tablo 2.12 Simav jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 39
Tablo 2.13 Tuzla jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri 40
Tablo 2.14 Tuzla jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri 41
Tablo 3.1 Jeotermal Akışkandan Mineral Eldesi Teknolojileri 51
Tablo 3.2 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Lityum rezerv tahmini 57

Tablo 3.3 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Mangan rezerv tahmini..... 58
Tablo 3.4 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Neodim rezerv tahmini..... 61
Tablo 3.5 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Sezyum rezerv tahmini..... 63
Tablo 3.6 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Stronsiyum rezerv tahmini 66
Tablo 3.7 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Antimon rezerv tahmini..... 69
Tablo 3.8 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Bakır rezerv tahmini .. 71
Tablo 3.9 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Nikel rezerv tahmini .. 74
Tablo 3.10 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Çinko rezerv tahmini 77
Tablo 3.11 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Rubidyum rezerv tahmini 79
Tablo 3.12 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Silisyumdioksit rezerv tahmini..... 82
Tablo 3.13 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Gümüş rezerv tahmini..... 85
Tablo 3.14 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları en olası (P10, % 90) rezerv miktarları 87
Tablo 3.15 Seferihisar jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri 89
Tablo 3.16 Alaşehir jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri..... 89
Tablo 3.17 Germencik jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri 90
Tablo 3.18 Kızıldere jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri..... 90
Tablo 3.19 Simav jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri..... 91

Tablo 3.20 Salihli jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri 91
Tablo 3.21 Tuzla jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri 92
Tablo 3.22 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri 92

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Jeotermal akışkanlardan mineral eldesi 1800'lü yıllardan beri uygulanan ve geliştrilmekte olan bir konudur. Bazı ülkeler ve araştırmacılar endüstriyel ihtiyaçlara göre; bor, nadir toprak elementleri, silika ve pil hammedelerinin üretimini jeotermal kaynaklardan yapabilmektedir.

Ülkemizde 2005'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması'nın (YEKDEM) açıklanması sonrasında jeotermal enerjiden elektrik üretimi yatırımcıların dikkatini çekmiş ve jeotermal enerjinin kullanımı oldukça artmıştır. Türkiye'de jeotermal akışkan: elektrik üretimi, ısıtma, kurutma, karbondioksit üretimi ve termal turizm ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde kullanılan jeotermal akışkan, taşıdığı ısı enerjisi alınarak yer altına geri enjekte edilmektetir. Ancak jeotermal akışkandan, ısıl enerjinin yanısıra değerli element ve minerallerin eldesi de olanaklıdır. Akışkanın içindeki mineraller, akışkanın yerin derinliklerinde dolaşımı sırasındaki su ve kayaç etkileşimi ile oluşur. Akışkan içerisinde kayacın çözünmesi ile yüzeye taşınan element ve mineraller endüstriyel kaynak olarak değerlendirilebilir rezervlere dönüşebilmektedir.

Batı Anadolu jeolojik yapısı sebebiyle yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel sayesinde 2005 yılı sonrasında birçok elektrik üretim tesisi kurularak, ülkemize büyük bir kaynak sağlamaktadır. Jeotermal enerji santralleri kurulu güçü yaklaşık 1,7 GWh üzerinde olup, elektrik üretimi için saatte on binlerce ton jeotermal akışkan üretilmekte ve yerin altına geri basılmaktadır (Enerji Atlası, 2021). Her ne kadar ülkemizdeki jeotermal kaynakların değerli metal konsantrasyonları dünyadaki benzerlerine göre düşük olsada yüksek akışkan üretim miktarı ve ekonomik zenginleştirme yöntemlerinin bulunması düşük konsantrasyonlu metal ve minerallerin madenciliğini değerlendirilebilir duruma getirebilir. Batı Anadolu'da kullanılan jeotermal kaynaklar, enerji üretmi yanında jeotermal

madencilik kapsamında değerlendirilerek ham madde üretiminde dışa bağımlılığı azaltabilir.

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Jeotermal enerjiden mineral eldesine yönelik yapılacak olan teknik çalışmalar ve buna bağlı gelişen ticari yatırım kararlarında, ilgili minerale ait konsantrasyon miktarı oldukça önemlidir. Jeotermal suyun, yıllar içerisinde kimyasal ve fiziksel karakteri, üretim ve enjeksiyon dengesine bağlı olarak değişebilmektedir. Yatırımlar aşamasında enerji rezervi ve enerji üretiminin zamansal devamlılığına yönelik yaklaşım hesapları yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, üretilebilir enerji tahmini için kullanılan hacimsel yöntem ile Monte Carlo benzetimi; Kızıldere, Germencik (Gümüşköy ve Ömerbeyli), Alaşehir, Salihli (Kavaklıdere-Ahmetli), Simav (Eynal –Naşa ve Çitgöl), Seferihisar (Orhanlı-Doğanbey) ve Çanakkale Tuzla sahalarındaki jeotermal alanların Lityum (Li) , Sezyum (Cs), Mangan (Mn), Stronsiyum (Sr), Neodim (Nd), Antimon (Sb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Rubidyum (Rb), Gümüş (Ag) ve Silika (SiO_2) rezerv miktarının hesaplanması için uyarlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Batı Anadolu jeotermal sahalarında üretilen akışkanın, değerli mineral ve metal rezervlerin tahmin edilmesi ve bu rezervlerin hangi yöntemler ile kazanılabileceği konusunda öneri sunmaktır.

1.2 Çalışma Alanı

Türkiye tektonik olarak aktif Alp-Himalaya kuşağında yer alır ve sürekli olarak Avrupa ve Afro-Arap levhalarının göreli hareketinin etkisi altındadır. Yaygın volkanizmanın yanı sıra çok sayıda graben ve aktif fayların varlığı; kaplıcalar,

fümeroller, hidrotermal alterasyonlar ve sonra cevherleşmeler şeklinde jeotermal aktiviteye sonuçlar. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın en zengin yedinci, Avrupa'nın ise 1. ülkesidir (Dağıstan, 2007). Akışkan yoğunluğu ve kuyu dibi sıcaklıkları bakımından Türkiye'deki en yüksek jeotermal enerji potansiyeli Batı Anadolu bölgesidir. Bu nedenle enerji üretim santrallerinin ve yapılan araştırmaların çoğu bu bölgeyi odak almaktadır.

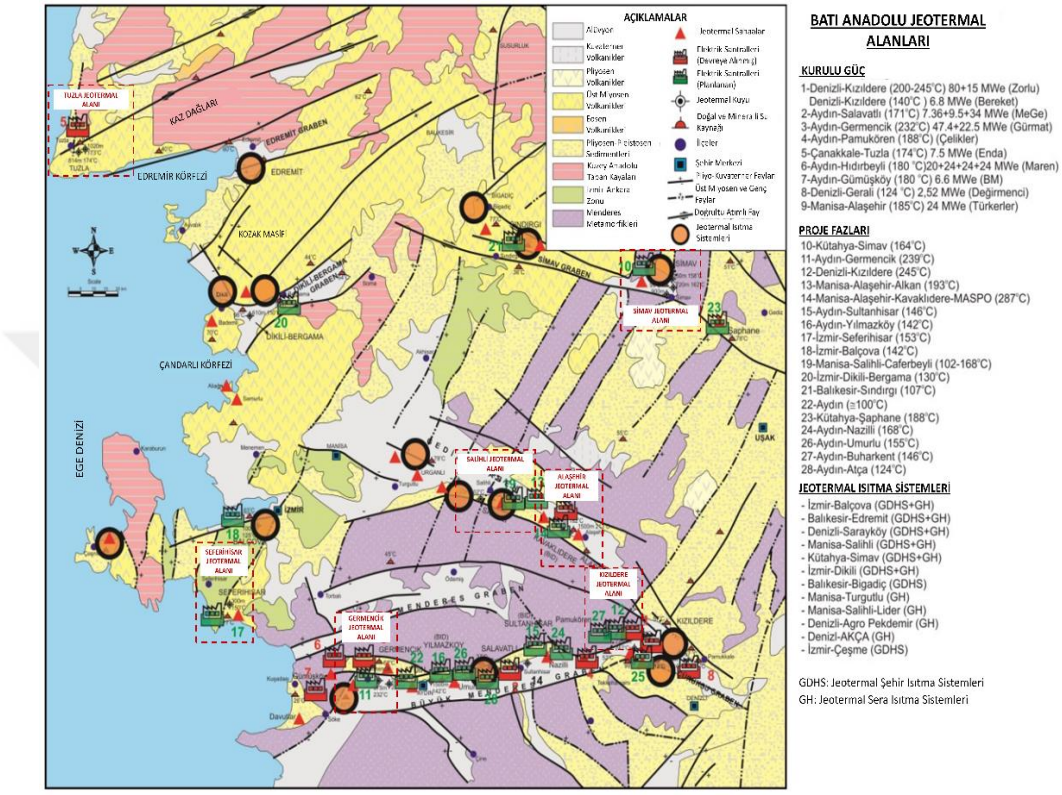
Bu çalışmada; Denizli' de Kızıldere jeotermal alanı, Aydın'da Gümüşköy ile Ömerbeyli arasında kalan ve metinde Germencik olarak adlandırılmış jeotermal alanı, Manisa'da Alaşehir jeotermal alanını ve Kavaklıdere ile Ahmetli arasında kalan ve metinde Salihli olarak adlandırılmış olan jeotermal alanı, İzmir'de Orhanlı ile Doğanbey arasında kalan ve Seferihisar olarak adlandırılan jeotermal alanı, Kütahya'da Eynal, Naşa ve Çitgöl alanlarını kapsayan ve Simav olarak adlandırılan jeotermal alanı ve Çanakkale'de Tuzla jeotermal alanınından oluşan Batı Anadolu jeotermal sahalarında çalışma yapılmıştır (Şekil 1.1).

1.3 Materyal ve Metot

Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlarındaki mineral rezervlerini belirlemek üzere ilgili lokasyonları temsil eden rezervuar parametreleri ve su analizleri literatürden toplanmıştır. Jeotermal enerjiden elektrik üretimine yönelik yatırım kararları alınırken, enerji rezervi ve enerji üretiminin zamansal devamlılığına yönelik yaklaşım hesapları yapılmaktadır. Üretilebilir enerji tahmini için kullanılan hacimsel yöntem Monte Carlo benzetimi ile jeotermal akışkan içerisindeki mineral rezerv miktarlarına yaklaşım yapılacaktır.

Çalışma alanındaki ve diğer jeotermal alanlardaki akışkanlarda, su-kayaç etkileşimi nedeniyle birçok mineral ve element çeşidi çözünmüş olarak bulunabilmektedir. Bu nedenle benzetim yapılırken Lityum (Li), Mangan (Mn), Sezyum (Cs), Stronsiyum (Sr), Antimon (Sb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Gümüş (Ag) ve Silika (SiO_2)

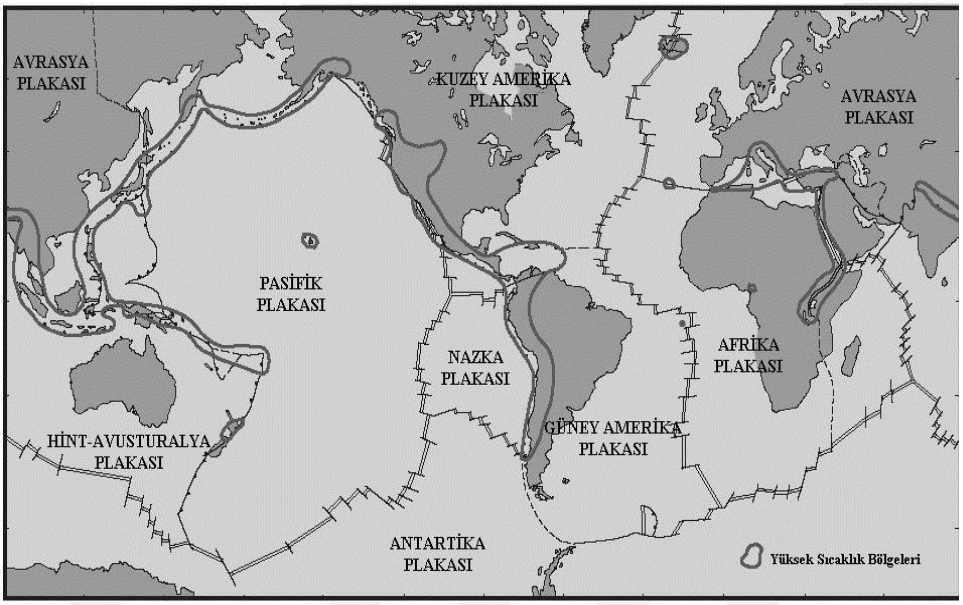
konsantrasyonları kullanılmıştır. Mineral geri kazanımı ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda bu minerallerin geri kazanımına yönelik metot ve/veya metotlar önerilecektir.



Şekil 1.1 Çalışma alanı (Şimşek, 2014'den değiştirilmiştir.)

1.3.1 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının, normal yer altı/yerüstü sularıyla kayaç içerisinde teması sonucu erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.2). Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 1.2 Litosferik plakalar ve yüksek sıcaklıklı alanlar (Mock vd., 1997)

1.3.1.1 Jeotermal Enerji ve Uygulama Alanları

Antik çağlardan beri kullanımda olan Jeotermal enerjinin kullanım alanları;

1.3.1.1.1 Elektrik üretimi. Jeotermal sahalarda açılan kuyulardan üretilen akışkan seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra türbin ve jeneratör ile elektrik enerjisi üretmesidir.

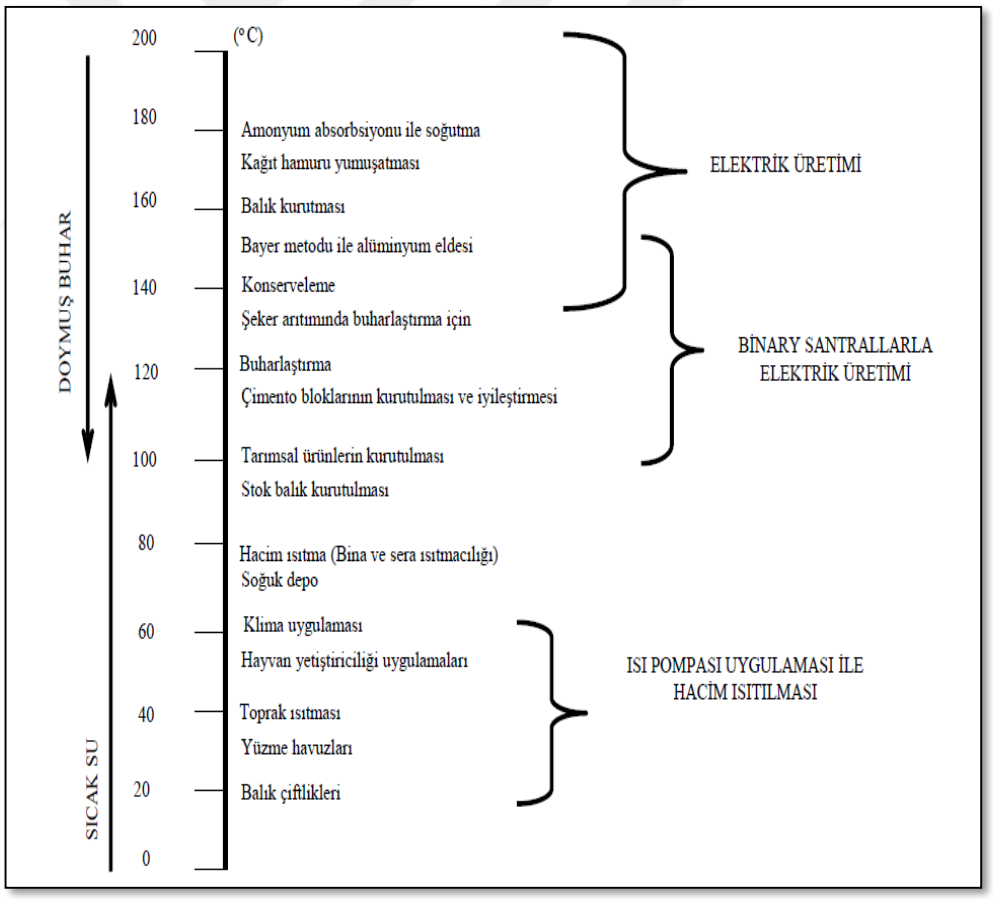
1.3.1.1.2 Isı üretimi. Düşük sıcaklık, basınç ve debideki jeotermal kaynakların sera, organik tarım, ürün kurutma, bölgesel ısı ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla değerlendirilmesidir.

1.3.1.1.3 Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımı. İnsan sağlığına yararlı mineraller içerebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı suların sağlık amaçlı kullanımıdır.

1.3.1.1.4 Hammadde üretimi. Jeotermal akışkan içerisinde dolaştığı kayalardan aldığı mineralleri içerisinde taşıyarak zenginleştirmektedir. İlk olarak ısı kaynağı olarak kullanılmaya başlayan jeotermal akışkanın ikinci kullanım alanı mineral eldesi ve sonrasında enerji üretimidir.

1.3.1.2 Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması

Jeotermal akışkanlar rezerv şekline, sıcaklığına ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırma yapılırken en yaygın olarak Lindal diyagramı kullanılmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Jeotermal akışkan kullanım alanları (Lindal, 1973)

Buhar veya su fazında olan, jeotermal akışkanların tüm sıcaklık aralığı Lindal diyagramında gösterildiği gibi endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir. Farklı olası kullanım biçimleri arasında proses ısıtma, buharlaştırma, kurutma, damıtma, sterilizasyon, yıkama, buz çözme, tuz ve kimyasal eldesi ve yağ geri kazanımı bulunur. Endüstriyel proses ısısı, tesisatların büyük ve enerji tüketiminin yüksek olduğu 19 ülkede uygulamalara sahiptir.

1.3.2 Hacimsel Rezerv Hesabı ve Monte Carlo Benzetimi

Batı Anadolu jeotermal sahalarındaki ekonomik değere sahip mineral ve metallerin rezerv potansiyeli, ABD Jeolojik Araştırması (USGS) tarafından tanıtılan ve tipik olarak jeotermal enerji potansiyelini tahmin etmek için kullanılan hacimsel bir rezerv tahmin yöntemi şeklinde değerlendirilmiştir. Muffle (1978), hacimsel yöntemi, alan ve kalınlık gibi belirsiz rezervuar parametrelerini hesaba katmak için Monte Carlo benzetimi adı verilen olasılıksal bir yaklaşım yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Petrol ve doğal gaz aramaları gibi belirsizlikler altında bu benzetimi, bir risk analizi tekniği olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Newendorp, 1975; McCray, 1975).

Bir jeotermal kaynağın ne kadar üretebileceğini tahmin edebilmek, saha operatörleri için sahanın elektrik sağlama kapasitesinin yanında genellikle mevcut ve gelecekteki jeotermal projelerin ticari uygulanabilirliğini belirler. Potansiyel kapasiteleri tahmin etmek için en yaygın kullanılan iki yöntem, depolanan ısı hacimsel yöntemi ve sayısal benzetimlerdir. Hacimsel yöntem, basit bir analitik denkleme dayanır ve tipik olarak sınırlı üretim geçmişinin olduğu yerlerde kullanılır. Genellikle büyük derecede bir belirsizlik içerir. Sayısal simülasyonlar, gerçek jeotermal kaynağın sayısal verilerini çoğaltır ve model kalibrasyon veri setinin zenginliğine bağlı olarak daha rafine ve güvenilir tahminler sağlayabilir. Petrol Mühendisleri Derneği (SPE) ve Petrol ve Gaz Rezervleri Komitesi (OGRC) tarafından genellikle P10; en olası, P50; beklenir ve P90 olası rezervler olarak gruplandırılır (Tablo 1.1). Olasılıklı kaynak değerlendirmeleri, yüksek tahmine eşit veya bunları aşacağına dair sırasıyla en az %90, %50 ve %10 olasılık olarak tanımlanır (Etherington ve Ritter, 2007).

Tablo 1.1 Kaynak belirsizlik kategorisi (Etherington ve Ritter, 2007)

Kaynak Belirsizlik Kategorisi	Rezerv		Diğer Kaynaklar
	Senaryo	Olasılık	Senaryo
Düşük Yaklaşım Değeri	Kanıtlanmış (1P)	P 90	Düşük
En İyi Yaklaşım Değeri	Kanıtlanmış + Beklenir (2P)	P 50	Orta
Yüksek Yaklaşım Değeri	Kanıtlanmış + Beklenir + Olası (3P)	P 10	Yüksek

Hacimsel yöntem ile rezerv hesabı, kaya gözenekliliği ve fay ortamında bulunan jeotermal tuzlu suyun hacmi ve sudaki çözünmüş materyal konsantrasyonlarının literatürde belirlenen geri kazanım ve verimlilik katsayıları ile çarpımıdır. Kayaç içerisindeki mineral potansiyeli göz ardı edilmiştir (Denklem 1.1). Jeotermal rezervuardan üretim sırasında konsantrasyon farkı nedeniyle çözünerek kaya tanelerinden suya katılabilecek olan mineral ve metal potansiyeli ihmal edilmiştir.

$$\text{Geri kazanılabilir mineral/metal kütlesi} = A*h*\Theta*C*RF*E \quad (1.1)$$

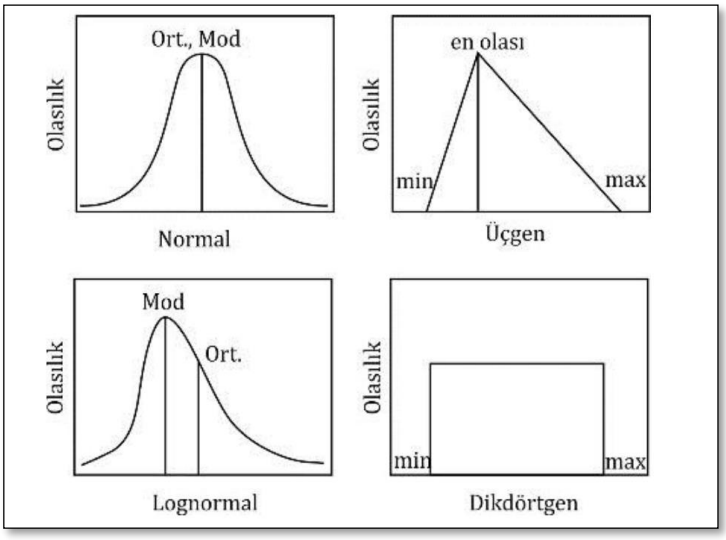
Burada, "A": rezervuar alanı (km^2); "h": rezervuar kalınlığı (m); "Θ": eşdeğer gözeneklilik (kesir); C: Tuzlu sudaki mineral/metal konsantrasyonu (ppm); RF: Geri Kazanım Faktörü (kesir); E: Ekstraksiyon verimliliği'dir.

Denklem 1.1 (Aydın vd., 2022), jeotermal rezervuarların gözenek boşluğunda bulunan jeotermal tuzlu sudaki geri kazanılabilir mineral/metal miktarını ifade eder. Rezerv tahmininin hesaplanmasında önemli bir belirsizlik bulunmaktadır. Denklem 1.1'de kullanılan tüm parametreler, heterojen jeotermal rezervuarlardan kaynaklanan belirsizliği içerir. Parametrelerin en olası değerini belirlemek zordur. Böyle durumlarda Monte Carlo benzetimi gibi olasılık yaklaşımı yöntemleri, sonuçların belirsizliğini ele alabilir.

Monte Carlo benzetimi, rezerv tahmini için yaygın olarak kullanılan bir stokastik yöntemdir. Monte Carlo yöntemi, bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak içeren matematiksel bir model sağlar. Her parametrenin olasılık dağılımına dayanır ve değişkenlerdeki tüm belirsizlikleri dahil ederek bir tahmin sağlar. Bağımlı değişken mineral ya da metal kütlesidir. Bağımsız değişkenler rezervuar alanı, kalınlık, gözeneklilik, sudaki mineral/metal konsantrasyonu ve geri kazanım faktörüdür. Monte Carlo benzetimindeki belirsizlik için kullanılan önemli dağılım fonksiyonları normal dağılım, lognormal dağılım, dikdötrgen ve üçgen dağılım'dır (Şekil 1.4, Şekil 1.5).

Jeotermal rezervuarların geri kazanım faktörü tartışmalı bir konudur ve araştırmacılar, çoğunlukla rezervuardan enerji geri kazanımına odaklanmıştır (DiPippo, 2007; Lawless ve Beardsmore, 2010; Zarrouk ve Moon, 2014). Bu nedenle çalışma içerisinde boyutları ve sıcaklıkları tanımlanmış sahalarda sistemlerin gözenekliliği ve geçirgenliğine bağlı olarak %5 ile %24 arasında değişme gösterdiği rapor edilen kurtarım faktörleri kullanılacaktır (Williams vd., 2008; Avsar vd., 2015).

Jeotermal tuzlu sudan mineral çıkarma verimliliği, mineral yakalamak için uygulanan tekniğe bağlı olarak değişebilmekte ve her zaman jeotermal akışkandan kurtarılan mineraller tamamen kazanılamamaktadır. Bu nedenle çalışmada kurtarım faktörüne ek olarak araştırmacıların deneysel olarak bulduğu mineral çıkarım verimlilikleri de çarpan olarak eklenecektir. Örneğin, Zhang vd. (2021) ve Sun vd., (2020), demir fosfat elektrokimyasal tekniğine dayalı olarak yeşil bir lityum geri kazanımı önermiş ve çıkarım verimi maksimum değer olarak % 90.65 olarak bildirilmiştir. Harrison (2014), sorbentlerin kullanıldığı laboratuvar ölçekli deneylerde lityum özütleme verimliliğinin %95 'ten fazla olduğunu bildirmiştir. Mceachern vd. (2020), alüminat bazlı adsorbanlar ile % 60'ın altında bir ekstraksiyon verimi elde etmiştir. McGrail vd. (2017), Smith vd. (2017), bazı nadir toprak elementlerinin çıkarım verimini %90 ve geri dönüşüm verimini % 20 olarak belirtmiştir.



Şekil 1.4 Monte Carlo benzetiminde kullanılan yaygın dağılım fonksiyonları

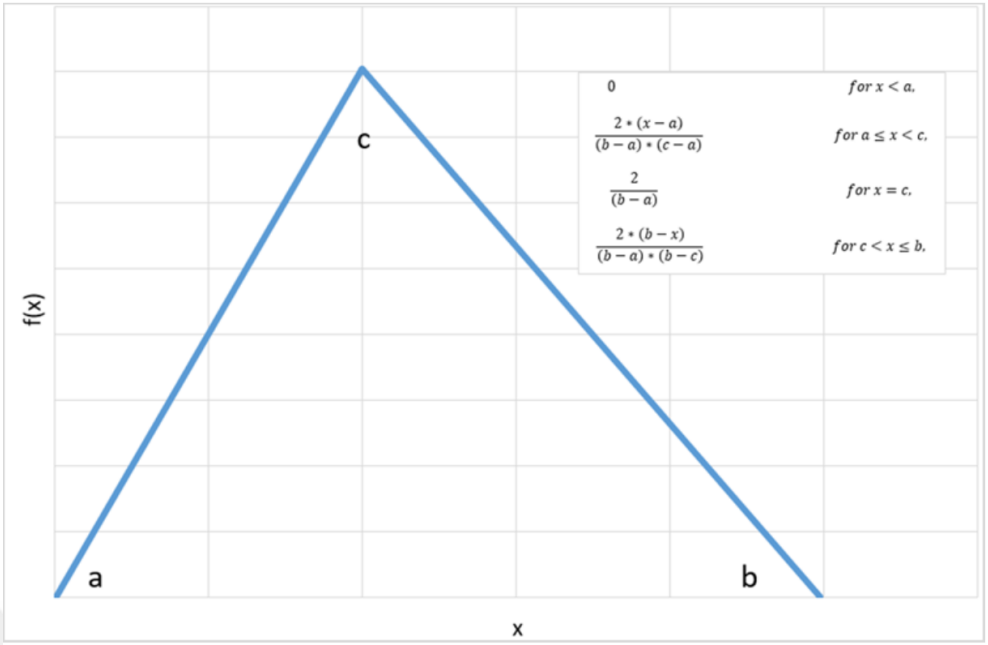
Bu çalışmada Excel tabanlı bir hesap tablosunda Monte Carlo benzetimi gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki veri eksikliğinden dolayı üçgen dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Üçgen dağılımda, üçgen şeklinde olasılık yoğunluk fonksiyonunu oluşturmak için minimum, maksimum ve en olası değerler kullanılır (Denklem 1.2, 1.3 ve 1.4). Bu nedenle, bağımsız değişkenlerin farklı değerleri ile birçok bağımlı değişken değeri bulunur.

$$\chi = 2*(x-a)/((b-a)*(c-a)) \quad ; a \leq x < c \tag{1.2}$$

$$\chi = 2/(b-a) \quad ; x = c \tag{1.3}$$

$$\chi = 2*(b-x)/((b-a)*(b-c)) \quad ; c < x \leq b \tag{1.4}$$

Hesaplamalarda kullanılan rezervuar alanı, rezervuar kalınlığı, gözeneklilik jeotermal suyun metal/mineral konsantrasyonları literatürde mevcut olan önceki çalışmalar kullanılarak tanımlanmıştır. Batı Anadolu jeotermal sahalarında bir çok çalışma olmasına karşın nadir toprak elementlerinin yayınlanmış verisi oldukça azdır. Bu nedenle analiz sonucu bulunmayan alanlara, oraya en yakın jeotermal alana ait değer atanmıştır.



Şekil 1.5 Üçgen dağılım fonksiyonu ve grafiği (Aydın ve Merey, 2021)

Literatür çalışmalarında bulunan konsantrasyon miktarları, benzetim kurgulanırken en olası değer olarak kabul edilmiştir. Rezerv hesapları için yapılan benzetimde konsantrasyon bazında maksimum değer en olası değerin %50 fazlası ve minimum değer en olası değerin %90 azı olacak şeklinde kabul yapılmıştır (Tablo 2.3, Tablo 2.5, Tablo 2.7, Tablo 2.9, Tablo 2.11, Tablo 2.12, Tablo 2.14). Bölüm ikide sahalara ait kurtarım ve çıkartım faktörleri literatür araştırmalarına göre her saha ve mineral için aynı olarak verilmiştir.

Microsoft Excel uygulaması yardımı ile 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4 nolu eşitlikte yer alan terimler için bölüm ikide bulunan Tablo 2.3, Tablo 2.5, Tablo 2.7, Tablo 2.9, Tablo 2.11, Tablo 2.12, Tablo 2.14'de verilen değerlerden 1000' er adet rastgele değişken türetilmiştir. Elde edilen bu rastgele değişkenlere dayalı olarak Monte Carlo benzetimi ile Batı Anadolu Jeotermal sistemlerinde bulunan rezerv tahminleri yapılmıştır.

1.3.3 Jeotermal Enerji Kullanımı ile Tuzdan Arındırma ve Mineral Eldesi Yöntemleri

Deniz suyu desalinasyonu (tuzdan arındırılması) ile daha yaygın olarak bilinen akışkandan mineral eldesi, su arıtma teknolojileri ile oldukça ilişkilidir. Günlük hayatta kullanılan içme suyunda da benzer yöntemlerin birkaçı kullanılırken, özellikle su sıkıntısı çeken çöl ülkelerinde deniz suyundan faydalanmak adına tuzluluk giderici birçok yöntem çalışılmıştır. Su arıtma sistemlerini temel alan mineral eldesi yöntemleri başlıca; Termal Yöntem, Membran Yöntemi, Elektriksel Yöntem ve Kimyasal Yöntem' dir (Şekil 1.6).

Jeotermal enerji ile tuzdan arındırma sistemi oluşturmak da mümkünüdür. Çok kademeli flaş damıtma (MSF) ve çok etkili damıtma (MED) gibi termal tabanlı tuzdan arındırma ünitelerinde doğrudan kullanılabilirken (Mahmoodi vd., 2010; Garg, 2019) veya jeoakışkanın entalpisine bağlı olarak ters osmos (RO) (Gude, 2016a) ve elektroliz gibi yöntemlerin kullanımında harcanacak gücü sağlamak için enerji üretme aracı olarak da kullanılabilir.

1.3.3.1 Termal Yöntem

En yaygın kullanılan tuzdan arındırma yöntemidir. Yoğun enerji ihtiyacı nedeniyle özellikle fosil yakıt kaynağı bulunan ülkelerde kullanılır. Termal yöntemi kendi içinde distilasyon, kristalizasyon, filtrasyon ana başlıklarında toplamak mümkündür.

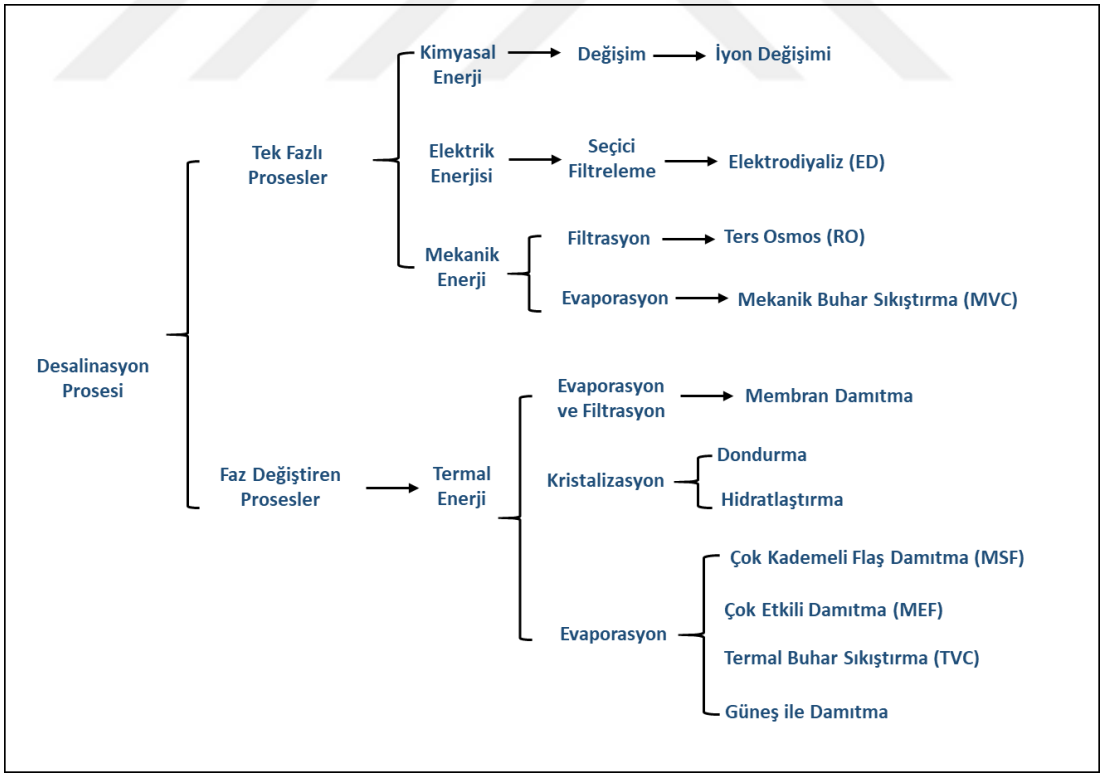
1.3.3.1.1 Distilasyon (Damıtma). İki veya daha fazla bileşen içeren bir karışımın ısıtılıp, buhar ve sıvı faz oluşturmak suretiyle daha uçucu bileşence zengin karışımların elde edilmesini sağlayan ayırma işlemidir (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.1.2 Kristalizasyon. Katı bir maddenin uygun bir çözücü içinde çözünmesi sonrasında çöktürülmesi yoluyla katı ve sıvı fazlarının birbirinden ayrılmasını sağlayan işlemdir (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.1.3 Filtrasyon. İçinden yalnızca sıvının geçebileceği bir ortam ekleyerek katıları sıvılardan (sıvılar veya gazlar) ayıran çeşitli mekanik, fiziksel veya biyolojik işlemlerden herhangi biridir *(Panagopoulos, 2019).*

1.3.3.2 Elektriksel Yöntem

Seçilen ya da tüm tuz iyonlarının bir elektriksel potansiyel farkı yardımıyla sudan ayrılması işlemidir. Elektrodiyaliz, ters elektrodiyaliz, membran elektrolizi, elektrodeiyonizasyon, elektrofiltrasyon ve yakıt hücreleri elektrik yönteme örnektir.



Şekil 1.6 Desalinasyon (Tuzdan Arındırma) yöntemleri (Khan vd. 2019)

1.3.3.2.1 Elektrodiyaliz (ED). *Tuz iyonlarının*, uygulanan elektriksel potansiyel farkının etkisi altında bir çözeltiden (besleme) başka bir çözeltiye iyon değişim membranları yoluyla taşınmasıdır. Yapıya elektrodiyaliz hücresi adı verilir. Hücre, bir besleme (seyreltik) bölmesi ve bir anyon değiştirme membranı ve iki elektrot arasına yerleştirilen bir katyon değiştirme membranından oluşan bir konsantre (tuzlu su) bölmesinden oluşur. Besleme çözeltisindeki çözünmüş türlerin miktarı sıvınınkinden çok daha az olduğu için, elektrodiyaliz birçok uygulamada daha yüksek geri kazanım sunar. Ters osmoza alternatif olarak ve bazen ulfrasaf su üretimi için elektrodeiyonizasyon ile birlikte kullanılır (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.2.2 Ters Elektrodiyaliz (EDR). Elektrodiyaliz ayırma teknolojisinin modifiye edilmiş halidir. EDR Teknolojisinde doğru akım voltajı kullanılır. Ayrıca EDR teknolojisinde sürekli yer değiştiren elektrotlar ve Anyon & Katyonları geçirebilen yarı geçirgen iyon seçici membranlar bulunmaktadır. EDR; doğru akım voltajı altında sudaki iyonları, iyon değişimi prensibiyle çalışan membranlar tarafından, transfer edildiği bir elektrokimyasal ayırma işlemidir (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.2.3 Membran Elekrolizi. Klor alkali işlemi olarak da bilinir. Genellikle işlem bir tuzlu su (sulu bir NaCl çözeltisi) üzerinde yürütülür, bu durumda NaOH, hidrojen ve klor oluşur. Proses yüksek bir enerji tüketimine sahiptir (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.2.4 Elektrodeiyonizasyon. Suyu deiyonize etmek ve çözünmüş iyonları (safsızlıkları) sudan ayırmak için elektrik ile birlikte iyon değişim membranları ve reçine kullanan bir su arıtma teknolojisidir. Su bir anot (pozitif elektrot) ve bir katot (negatif elektrot) arasından geçirilir. İyon seçici membranlar, pozitif iyonların sudan negatif elektroda doğru ve negatif iyonların pozitif elektroda doğru ayrılmasını sağlar (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.2.5 Elektrofiltrasyon. Elektrofiltrasyon, kolloidal maddelerin, örneğin biyopolimerlerin ayrılması ve konsantrasyonunun artırılması için bir tekniktir.

Elektrofiltrasyonun amacı, filtre keki oluşumunu önlemek ve süzülmesi zor ürünlerin filtrasyon kinetiğini geliştirmektir. Ayrılmaya maruz kalan katı parçacıklar negatif olarak yüklendiğinde, anota (pozitif kutup) doğru göç ederler ve orada bulunan filtre bezi üzerinde birikirler. Sonuç olarak, katot (negatif kutup) tarafının zarında neredeyse tüm filtratın bu zardan akmasına izin veren çok ince bir film vardır (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.2.6 Yakıt Hücresi. Bir yakıt hücresi, bir yakıtın (genellikle hidrojen) ve bir oksitleyici maddenin (genellikle oksijenin) kimyasal enerjisini bir çift redoks reaksiyonu yoluyla elektriğe dönüştüren elektrokimyasal bir hücredir (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.3 Kimyasal Yöntem

Kimyasal yöntem olarak genellikle iyon değiştiriciler kullanılır. İyon değiştirici, katının yapısında kalıcı değişikliğe sebep olmadan, katı (iyon değiştirici malzeme) ile sıvı arasında çift yönlü bir iyon alışverişidir. İyon değiştirme teknolojisi temelde su arıtma uygulamalarında kullanılmakla beraber bir çok başka sıvıları da kapsayan ayrıştırma proseslerinde kullanılır

1.3.3.3.1 İyon Değişimi. Genellikle katı polimerik iyon değişim reçinesi kullanılarak sulu çözeltilerin saflaştırılması işlemidir. İyonların iki elektrolit arasında değiş tokuş edildiği çok çeşitli işlemleri kapsar. Bu teknik, içme suyunu arıtmak için kullanmasının yanı sıra, endüstriyel ve tıbbi açıdan önemli çeşitli kimyasalların saflaştırılması ve ayrılması için yaygın olarak uygulanmaktadır. Tipik iyon değiştiriciler; iyon değiştirici reçineler (işlevselleştirilmiş gözenekli veya jel polimerler), zeolitler, montmorillonit vb. killer ve toprak humusudur. İyon değiştiriciler, pozitif yüklü iyonları (katyonları) değiştiren katyon değiştiriciler veya negatif yüklü iyonları (anyonları) değiştiren anyon değiştiriciler olabilir. Hem katyonları hem de anyonları aynı anda değiştirebilen amfoterik eşanjörler de vardır.

Bununla birlikte, katyon ve anyonların eş zamanlı değişimi, anyon ve katyon değiştirme reçinelerinin bir karışımını içeren veya işlenmiş çözeltiyi birkaç farklı iyon değiştirme malzemesinden geçiren karışık yataklarda daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Jeotermal akışkandan lityum üretimi için genellikle iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.4 Membran Yöntemi

Gaz veya sıvı akımlarını ayırmak için mekanik ayırma işlemleri membran teknolojisini kullanır. Membrandan kütle transferi için iki temel model ayırt edilebilir. Ters osmoz üniteleri membrane yöntemlerine gösterilebilecek en yaygın yöntemdir. Genel arıtma performansı itibari ile yüksek sıcaklıkta ve kirlilikte çalışmaya elverişli değildir (Tablo 1.2). Ön filtrasyon ünitelerine ihtiyaç duyar (Panagopoulos, 2019).

1.3.3.4.1 Çözelti Difüzyon Modeli. Taşıma sadece difüzyonla gerçekleşir. Genel yaklaşım, besleme ve süzüntü sıvılarının kimyasal potansiyeli, bitişik membran yüzeyleriyle dengede olmalıdır ki sıvı ve membran fazlarındaki kimyasal potansiyel, çözelti-membran ara yüzünde eşitlenebilsin. Filtrasyon işlemi sırasında membran üzerinde bir sınır tabakası oluşur. Bu konsantrasyon gradyanı, zardan geçemeyen moleküller tarafından oluşturulur. Etki konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılır ve filtrasyon sırasında meydana gelen, azalmış bir trans-membran akışına yol açar. Konsantrasyon polarizasyonu, prensip olarak, zarın temizlenmesi ile tersine çevrilebilir, bu da başlangıç akısının neredeyse tamamen geri kazanılmasına neden olur. Membrana teğetsel bir akış kullanmak (çapraz akış filtrasyonu) da konsantrasyon polarizasyonunu en aza indirebilir (Beck ve Schultz, 1970; Renkin 1954).

1.3.3.4.2 Hidrodinamik Model. Gözenekler üzerinden taşıma - en basit durumda - konvektif olarak yapılır. Bu, gözeneklerin boyutunun iki ayrı bileşeninin çapından daha küçük olmasını gerektirir. Bu prensibe göre işlev gören membranlar esas olarak mikro ve ultrafiltrasyonda kullanılır. Makromolekülleri çözeltilerden, kolloidleri bir

dispersiyondan ayırmak veya bakterileri uzaklaştırmak için kullanılırlar. Bu işlem sırasında tutulan parçacıklar veya moleküller zar üzerinde pulpa bir kütle (filtre keki) oluşturur ve membranın bu tıkanması filtreleme işlemini engeller. Bu blokaj tutma, çapraz akış yöntemi (çapraz akış filtrasyonu) kullanılarak azaltılabilir. Burada süzülecek sıvı, zarın önü boyunca akar ve zarın önü ve arkası arasındaki basınç farkı ile öndeki akan konsantre ve arkadaki süzüntü olarak ayrılır. Ön taraftaki teğetsel akış, filtre kekini çatlatan ve kirlenmeyi azaltan bir kesme gerilimi oluşturur. Gerçek membranlarda, bu iki taşıma mekanizması, özellikle ultra filtreleme sırasında yan yana meydana gelir (Beck ve Schultz, 1970; Renkin 1954).

1.3.3.4.3 Basınç Güdümlü Membranlar. Gözenek boyutlarına göre isimlendirilirler. Basınçlandırılan akışkan boşluk (gözenek) büyüklükleri Tablo 1.2'e göre ayırtlanmış membranlardan geçirilerek filtrasyon işlemi yapılır (Beck ve Schultz, 1970; Renkin 1954).

Tablo 1.2 Membran tipleri ve özellikleri (Beck ve Schultz, 1970; Renkin 1954)

Gözenek Çapı	**Molekül Kütlesi**	**Proses**	**Filtrasyon**	**Arıtım**
> 10		Klasik Filtre		
> 0.1 µm	> 5000 kDa	Mikrofiltrasyon	< 2 bar	Büyük bakteriler, maya, tanecikler
100 – 2 nm	5 – 5000 kDa	Ultrafiltrasyon	1 – 10 bar	Bakteriler, makromoleküller, proteinler, büyük virüsler
2 – 1 nm	0.1 – 5 Da	Nanofiltrasyon	3 – 20 bar	Virüsler, 2-valent iyonlar
< 1 nm	< 100 Da	Ters Osmos	10 – 80bar	Tuzlar , Küçük organik moleküller

BÖLÜM İKİ

BATI ANADOLU'DAKİ YÜKSEK SICAKLIKLI JEOTERMAL SAHALARIN JEOLOJİK, HİDROJEOLOJİK ve HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

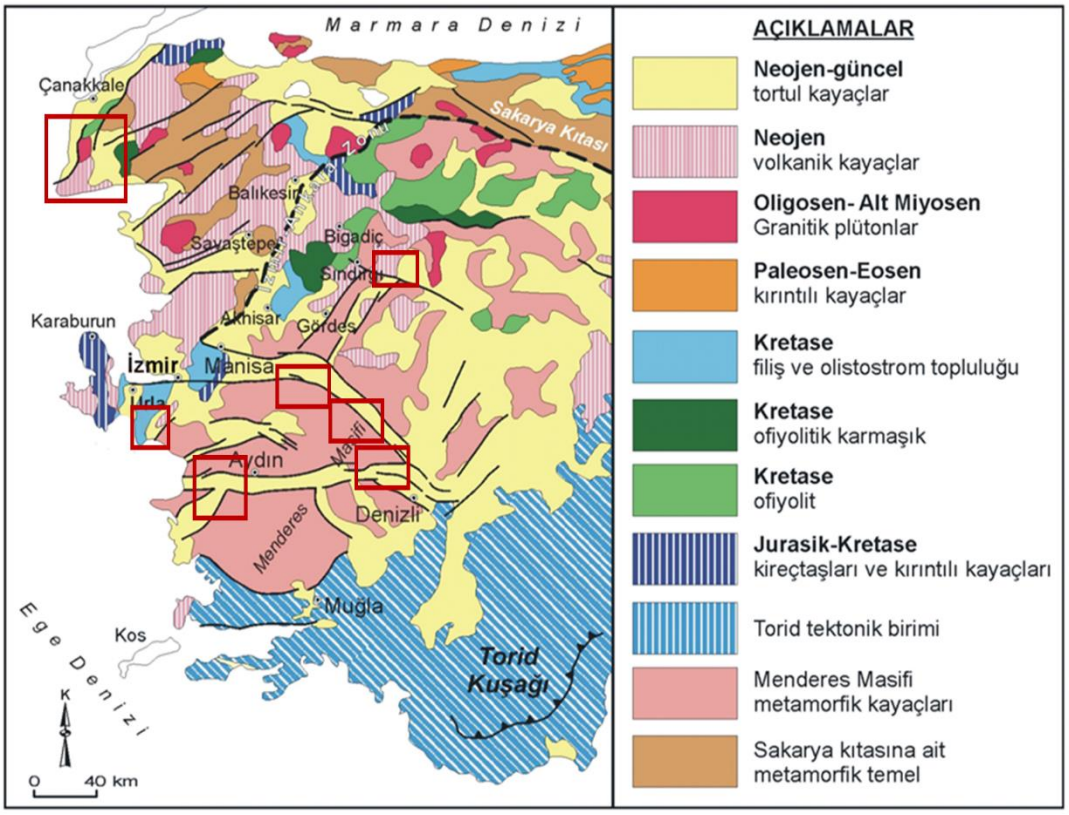
Batı Anadolu'da çalışmaya konu olan sahalar, genel olarak yüksek sıcaklıklı sahalar, Büyük Menderes Grabeni'nde bulunan Kızıldere ve Germencik sahaları, Gediz Grabeni'nde Alaşehir ve Salihli sahaları, Çubukdağ Grabeni'nde Seferihisar Sahası, Simav Grabeni'nde Eynal, Naşa ve Çitgöl sahaları ve son olarak Edremit Grabeni'nde bulunan Tuzla Sahası'nı içermektedir. Bu bölümde Batı Anadolu genel jeolojik ve tektonik yapısının yanında aktif tektonik ilişki ile oluşmuş grabenlerdeki yüksek sıcaklı jeotermal sahaların jeolojik hidrojeolojik ve jeokimyasal özellikleri paylaşılacaktır.

2.1 Batı Anadolu'nun Jeolojisi

Batı Anadolu'da geniş alanlarda Neojen yaşlı kaya toplulukları bulunmaktadır. Şengör (1980) Türkiye Neotektonik bölgelerini ayırmış ve Batı Anadolu'yu grabenler bölgesi olarak tanımlamıştır. Batı Anadolu'da bulunan Neojen yaşlı kaya birimleri incelendiğinde birbirlerinden farklı karakterde üç kaya topluluğundan oluştuğu görülür. Alt-Orta Miyosen yaşlı en alttaki çökel paketi karasal fasiyestedir, daha yaşlı birimleri uyumsuz bir şekilde örtmektedir. Litolojik olarak daha yaşlı birimlerden belirgin farklılıklar gösteren bu çökellerin tabanında çakıltaşı düzeyi bulunmaktadır. Alt paket çökellerinin büyük bir bölümü gölsel karbonatlardır. Kalın tabakalı ve iyi diyajenez geçirmişlerdir. Birimin Batı Anadolu'da yayılımı birbirinden bağımsız mostralar halindedir ve temel ile dokanağı çoğunlukla faylıdır. (Yılmaz, Şaroğlu ve Güner, 1987).

Batı Anadolu'da bulunan diğer bir çökel paket, Üst Miyosen yaşlı olup çoğunlukla kırıntılardan meydana gelir. Her iki paket arasında uyumsuzluğu ifade eden açı

farkının yanında aralarında taban çakıltaşı olabilecek iri kırıntı düzeyler de bulunmaktadır. İkinci paketin en üst düzeyinde hemen hemen tüm Batı Anadolu'yu kaplayacak bir yayılımı olan traverten dokulu, algli karbonatlı düzey bulunmaktadır. İkinci paketin diğer bir önemli özelliği de yayılım alanlarının gidişi birinci paketten farklı olarak KD veya KB uzun eksenli olmasıdır. Birinci paket çökeller içinde güneyde volkanik aktivite sınırlıdır. Buna karşılık bölgenin kuzeyinde yoğun bir volkanik aktivite bulunmaktadır. Bu volkanitler asidik karakterde, andezit, riyolit türü kayalardır. İkinci paket çökellerde volkanizma sınırlıdır. Serpilmiş haldedir, nispeten daha basıktır ve geniş alanlarda yayılım göstermez.



Şekil 2.1 Batı Anadolu'nun genel jeoloji haritası ve çalışılan jeotermal sahalar (İlkimen, 2010'den değiştirilerek)

Batı Anadolu'da bulunan üçüncü bir çökel paket genelde doğu-batı gidişli olup bugünkü D-B eksenli grabenlerin içinde yerleşmiş fluviyal çökellerdir. Tipik kırmızı

renkli düzlükleri çoğunlukta olan bu birimin iyi diyajenez geçirmediği açıktır. Üçüncü paketin mostralarının yayılımı D-B uzun eksenli gidişler gösterir. Yaş tayinlerine göre Geç Pliyosen - Kuvaterner yaşlıdırlar. Bu birimler Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinde tipik yüzlekler vermektedir (Yılmaz, Şaroğlu ve Güner, 1987)

Batı Anadolu' da genelde D-B uzanımlı fayların egemen olduğu, bunlardan başka KD-GB ve KB-GD uzanımlı fayların da geliştiği bir bölgedir. Tüm bu faylar Neotektonik döneme ait olup normal fay karakterlidir. Ancak kuzey ile belirli açı yapanlardan KD-GB doğrultulu olanların sağ, KB-GD doğrultulu olanların ise sol yönlü doğrultu atım bileşenleri vardır. Batı Anadolu'da Gediz ve Büyük Menderes vadilerinde D-B genel doğrultulu ve sürekliliği olan normal faylar bulunmaktadır. Gediz ve Büyük Menderes grabenlerini oluşturan bu faylar dışında da bölgede küçük çapta birçok normal fay bulunmaktadır (Şekil 2.1).

2.2 Batı Anadolu'nun Tektoniği

Bölgesel ölçekte Türkiye ve yakın çevresinin bugünkü şeklini almasını sağlayan ana Neotektonik yapılar sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ölüdeniz Fay Zonları (ÖFZ) ve güneyde Ege-Kıbrıs aktif dalma-batma zonudur. Bu yapılar boyunca Afrika ve Avrasya levhaları birbirine yaklaşırken Anadolu Levhası batı-güneybatıya doğru saat yönünün tersi yönde hareket eder. Böylece Afrika ve Arap levhaları; Ege Yayı (EY), Kıbrıs Yayı (KY) ve Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BZSZ) boyunca Anadolu ve Avrasya levhalarının altına dalar (Şengör, 1979; Barka, 1999; Bozkurt, 2001a). Batı Anadolu orojenik sıkışmanın kıtasal genişlemeyi izlediği, aktif sismik bölgelerinden birisidir (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Eyidoğan ve Jackson, 1985; Şengör, 1987; Seyitoğlu ve Scott, 1991; Bozkurt, 2001a) (Şekil 2.2).

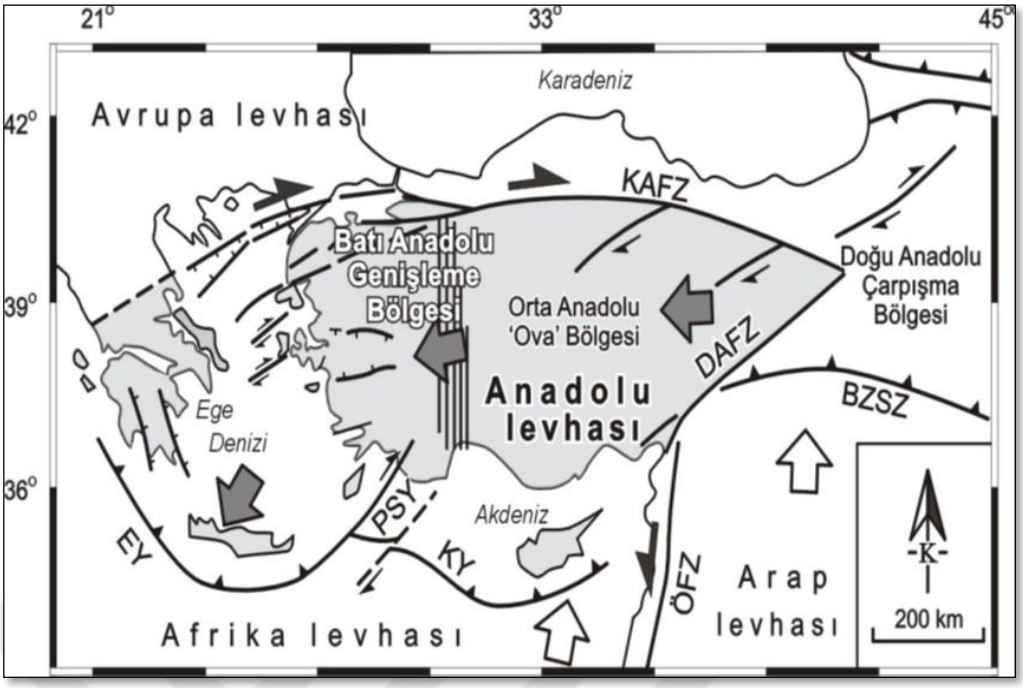
Bölgede Neotektonik dönemde gelişen havzalar, geniş ölçekte (1) Batı Anadolu horst-graben sistemini oluşturan D-B uzanımlı, eğim atımlı normal faylarla sınırlanan

havzalar ve (2) yaklaşık KD-GB ve KB-GD uzanımlı, verev atımlı normal faylar ya da doğrultu atımlı faylarla sınırlanan havzalar olarak tanımlanabilir. Bu havzalar genel olarak Mesozoyik-Alt Tersiyer yaşlı kırıntılı, karbonat, ofiyolit ve metamorfik kayalar üzerine tektonik dokanaklarla açınmış, kısıtlı oranda denizel katkılar içeren baskın karasal havza dolguları içeren, yer yer volkanizmanın eşlik ettiği havzalardır.

Literatürde Batı Anadolu'yu şekillendiren söz konusu genişleme ile ilgili dört farklı görüş bulunmaktadır:

- Tektonik kaçış modeli: Arap ve Avrasya levhalarının BZSZ boyunca çarpışmaları sonucu, Anadolu levhası KAFZ ve DAFZ boyunca batıya hareket etmekte ve bu hareket Batı Anadolu' nun K-G genleşmesine sebep olmaktadır (Şekil 2.3a). Şengör (1982) bu modelin temelini Becker ve Platen' in (1970) D-B uzanımlı Büyük Menderes Grabenindeki paleontolojik verilerine dayandırır ve K-G açılmanın başlangıç yaşını Tortoniyen olarak verir. Bu modele göre Batı Anadolu' daki KD havzalar, Tortoniyen öncesi Neotetise dik doğrultuda gelişen K-G sıkışmanın yarattığı paleotektonik Tibet-tipi çapraz-grabenlerdir. Bu grabenler Tortoniyen sonrası tektonik kaçışın sonuçladığı K-G açılma ile yeniden düzenlenerek, Ege-tipi çapraz grabenler şeklinde bugünkü konumlarını almışlardır.

- Yay gerisi açılma modeli: Ege Yayındaki yitimin güney ve güneybatıya göçü bu model için başlangıç noktasıdır. Burada Ege Yayı'nın göç etmesi sebebi ile yay gerisi olan Batı Anadolu' da K-G yönlü genleşme gerçekleşmektedir. Araştırmacılar yay gerisindeki bu açılmanın Geç Miyosen' de başladığını ileri sürmektedir (Şekil 2.3b) (McKenzie, 1978; Le Pichon ve Angelier, 1979; Jackson ve McKenzie, 1988; Meulenkamp vd., 1994; Okay ve Satır, 2000).

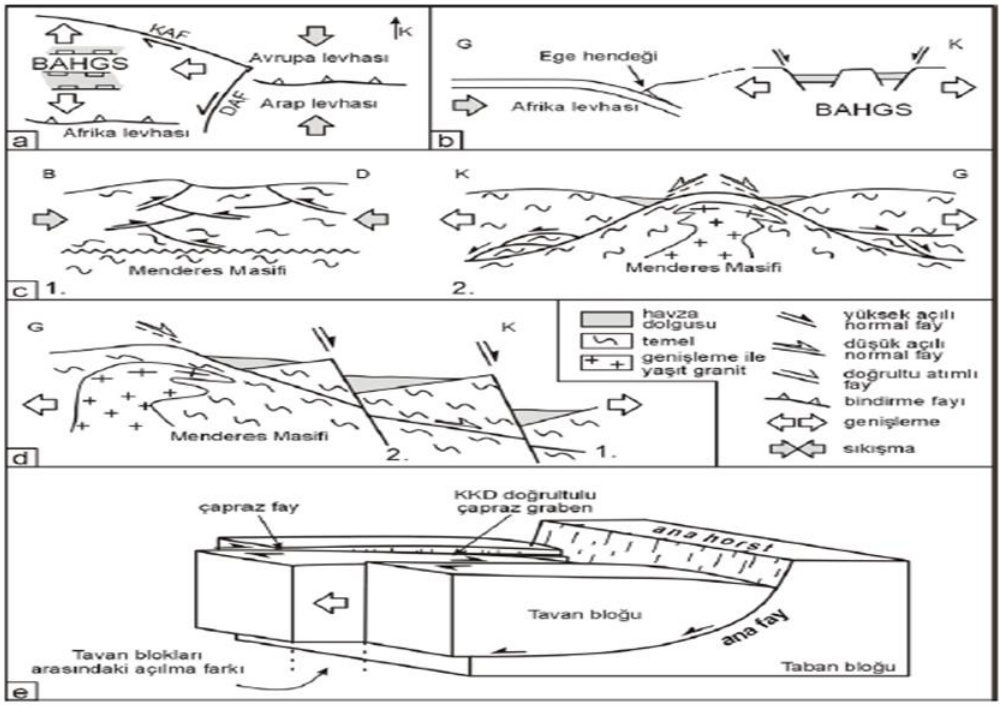


Şekil 2.2 Türkiye çevresindeki ana tektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş yapısal harita (Barka, 1992; 1999 ve Bozkurt, 2001a' dan değiştirilerek). Kalın oklar Avrupa Levhası'na göre diğer levhaların hareketlerini göstermektedir. BAHGS- Batı Anadolu horst-graben sistemi, KAFZ- Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ- Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖFZ- Ölüdeniz Fay Zonu, BZSZ- Bitlis Zagros Sütur Zonu, EY- Ege Yayı, PSY- Pliny-Strabo Yayı, KY-Kıbrıs Yayı (Uzel, 2007)

- Orojenik çökme modeli: Bu modele göre, Geç Paleosen sonunda sıkışma nedeni ile kalınlaşan kıtasal kabuk Geç Oligosen - Erken Miyosen' de incelerek yayılmakta ve K-G doğrultulu kıtasal genleşmeyi sonuçlamaktadır (Şekil 2.3c) (Seyitoğlu ve Scott, 1992; Seyitoğlu vd., 1992).

- İki evreli grabenleşme modeli: Bu modelde Batı Anadolu' daki havzaları oluşturan orojenik çökme iki evrede gerçekleşmektedir. İlk evrede (Oligosen-Erken Miyosen) düşük açılı normal fayların (detachment faylarının) denetlediği orojenik çökme, ikinci evrede (Pliyo-Kuvaterner) ise Anadolu Levhası'nın batıya kaçışı ile ilişkili K-G gerilme ve yüksek açılı normal fayların denetlediği riftleşme söz konusudur (Şekil 2.3.c, d, e) (Sözbilir ve Emre, 1996; Koçyiğit vd. 1999; Bozkurt, 2000, 2001a, 2003;

Işık ve Tekeli, 2001; Lips vd., 2001; Sözbilir, 2001, 2002; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Koçyiğit, 2005).



Şekil 2.3 Batı Anadolu' daki Neotektonik dönem havzaların oluşumlarına ilişkin literatürdeki bazı modellerin şematik gösterimi; (a) tektonik kaçış modeli, (b) yay gerisi açılma modeli, (c) orojenikçökme modeli, 1. D-B sıkışma ve 2. K-G açılma, (d ve e) iki evreli açılma modeli, 1. düşük açılı normalfaylanma (detachment fayları), 2. yüksek açılı normal faylanma (Uzel, 2007)

2.3 Batı Anadolu Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sahaların Hidrolojik, Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve Kıymetli Mineral Özellikleri

Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere fay kontrollu oluşmuş yapılardır. Genel olarak grabenleşme sistemlerindeki örtü kayalar graben torrtul dolguları ve temel kayalar ise rezervuar kayaları olarak çalışmaktadır. Sahaların genelinde elektrik enerjisi üretimi amaçlı olarak açıklan birçok kuyu varken üretim debisi saatte on binlerde tonun üzerindedir. Sahalarda genel su tipi karbonat rezervuar özellikleri nedeniyle Na-HCO_3 'dır. Su tipi

denize yakın bölgelerde klorür etkisiyle, sığ su girişimleri ile de sülfat, kalsiyum gibi iyonların etkisiyle varyasyon sunabilmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri (Sanem Elidemir, 2014'den değiştirilmiştir.)

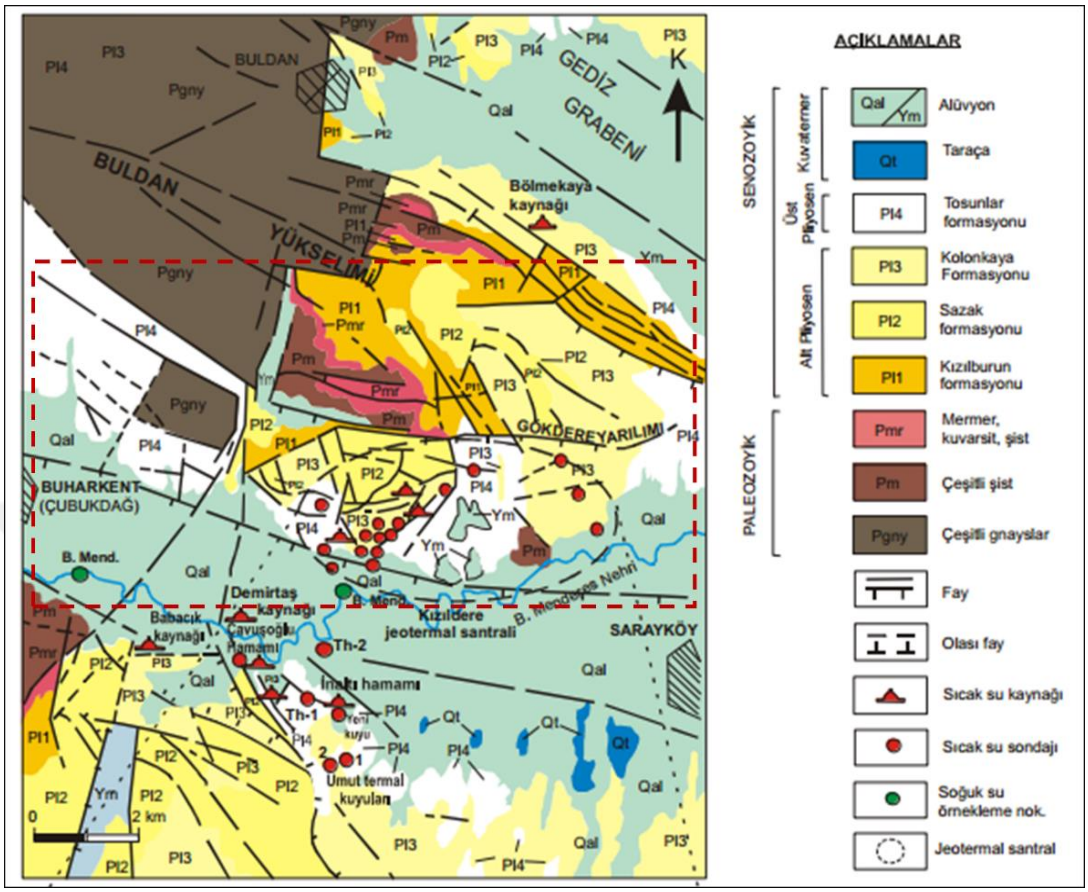
Graben Sistemi	Jeotermal Saha	Kuyu Adedi	Maks. Kuyu Derinliği (m)	Ölçülen Maks. Sıcaklık (°C)	Rezervuar Kaya	Örtü Kaya	Su Tipi	Referanslar
Büyük Menderes Grabeni	Kızıldere (Denizli)	93	>3000	245	Pliyosen Kireçtaşı, Paleozok-Mesozoik Menderes Masifi mermer, şistler ve kuvarsitleri	Pliyosen kum taşı, çakıltaşı ve kil taşı ardalanması, çeşitli şistler	Na-HCO3 Na-HCO3-SO4	Haklıdır vd. (2021)
	Germencik (Aydın)	9	2398	232	Miyosen Kumtaşı ve konglomera, Paleozoik-Mesozoik Menderes Masifi mermer, şişt ve kuvarsiti	Pliyosen kum taşı, çakıltaşı, silttaşı ve kil taşı ardalanması	Na-Cl-HCO3	Tarcan (2005); MTA (2005); Karakuş ve Şimşek (2013); Tarcan vd. (2013)
Çubukludağ Grabeni	Seferihisar (İzmir)	6	2009.5	153	Bornova karmaşığı çört, kireçtaşı, sepantinit ve mafik denizaltı volkanikleri	Neojen iç içe geçmiş konglomera, kumtaşı, kiltaşı, çamurtaşı, marn ve kireçtaşı	Na-Ca-Cl-HCO3 Na-Cl	Tarcan ve Gemici (2003); Tarcan vd. (2004); MTA (2005)
Gediz Grabeni	Salihli (Manisa)	20	1189.1	168	Paleozoik ila Mesozoyik Menderes Masifi mermeri, şist, gnays ve kuvarsit	Neojen ara katkılı kiltaşı, kumtaşı, konglomera ve silttaşı	Na-HCO3	Tarcan (2005); Tarcan vd. (2009); MTA (2005); Özen (2012);
	Alaşehir (Manisa)	20	1600	190	Paleozoik ila Mesozoyik Menderes Masifi mermeri, şist, gnays ve kuvarsit	Neojen ara katkılı kiltaşı, kumtaşı, konglomera ve silttaşı	Na-HCO3	Tarcan vd. (2009)
Simav Grabeni	Simav (Kütahya)	15	958	162.4	Neojen Naşa bazaltları; Mezozoik kireçtaşı, kumtaşı, konglomera Kırkbudak fm; Paleozoik-Mesozoyik Simav mermeri, şist	Neojen kayaçlar kiltaşı, kumtaşı ve konglomera	Na-HCO3-SO4	Gemici ve Tarcan (2002); MTA (2005)
Edremit Grabeni	Tuzla (Çanakkale)	14	1020	174	Alt Miyosen riyolitik tüfler, ignimbiritler, latitik ve riyolitik lavlar; Paleozoik şist, kristalize kireçtaşı ve granodiyorit	Miyosen tüfiti kiltaşı, konglomeralar ve kumtaşı	Na-Cl Na-HCO3-Cl	Tarcan (2005); MTA (2005); Baba vd. (2009)

2.3.1 Kızıldere Jeotermal Sahası

Büyük Menderes Grabeni'nin en doğu ve dar noktasında bulunan Kızıldere Jeotermal alanı ülkemizde ilk olarak keşfedilen ve jeotermal enerjiden elektrik üretilen sahadır. Sahanın tabanında gnays, şist, kuvarsit, mika ve klorit şist gibi çeşitli şistler ve mermerlerden oluşan Menderes Masifi metamorfik kayaları bulunmaktadır. 245 °C sıcaklığa kadar akışkan üreten kuvarsit, kalkşist ve mermer birimleri rezervuar özelliği gösteren Menderes Masifi metamorfiklerini Neojen yaşlı tortullar örter. Alt Pliyosen yaşlı çakıltaşı ve kumtaşından oluşan Kızılburun formasyonu, Menderes Metamorfikleri'nin mermerlerine örtü kaya özelliği gösterirken yine Alt Pliyosen yaşlı, kireçtaşı ve killi kireçtaşından oluşan Sazak formasyonu 120 °C ile 150 °C rezervuar özelliği göstermektedir (Şekil 2.4). Sazak formasyonu üzerinde benzer yaşta olan kumtaşı, marn birimlerine sahip Kolonkaya formasyonu örtü kaya özelliği göstermektedir. Bölgede jeotermal akışkanların su tipi Na-HCO_3 ve Na-HCO_3-SO_4 tipinde ve meteorik kökenlidir. Bu birimlerin üzerinde bloklu çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu bulunur. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyon birimleri tüm birimleri uyumsuz olarak örter. Alanda bugüne dek yüzün üzerinde kuyu açılmış olup, 280,85 MWe (MegaWatt Elektrik) kapasitesinde kurulu güce sahiptir (Tablo 2.2). Kızıldere Jeotermal sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.3'de bahsedilmektedir.

2.3.2 Alaşehir Jeotermal Alanı

Alaşehir Jeotermal Alanı Gediz Grabeni'nin güney kanadında bulunmaktadır. Büyük Menderes Grabeni'nde olduğu gibi Gediz Grabeni'nin tabanında gnays, şist, kuvarsit, mika şist ve mermerlerden oluşan Menderes Masifi metamorfik kayaları bulunmaktadır. Menderes Metamorfitleri gnays, hornblend, mika gnays, mermer, kuvarsit, klorit, granat ve çeşitli şistleri içerir. Paleozoik-Mesozoyik yaşlı Menderes Metamorfitleri, meta-sedimanter birimler içinde mermerler ve kırıklı kuvarsit zonları ana rezervuardır (Rabet vd., 2017).



Şekil 2.4 Kızıldere jeotermal sahası jeoloji haritası (Şimşek vd. 2005 ve Tarcan vd. 2013'den değiştirilmiştir.)

Tablo 2.2 Kızıldere jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
Kızıldere Jeotermal Alanı	Kızıldere 3 JES	Denizli	Zorlu Enerji	165
	Kızıldere 2 JES	Denizli	Zorlu Enerji	80
	Kızıldere 1 JES	Denizli	Zorlu Enerji	15
	Kızıldere JES	Denizli	Aydem Enerji	6.85
	Buharkent Jeotermal Santrali	Aydın	Limgaz Elektrik Üretim	14
	Toplam KuruluGüç			280.85

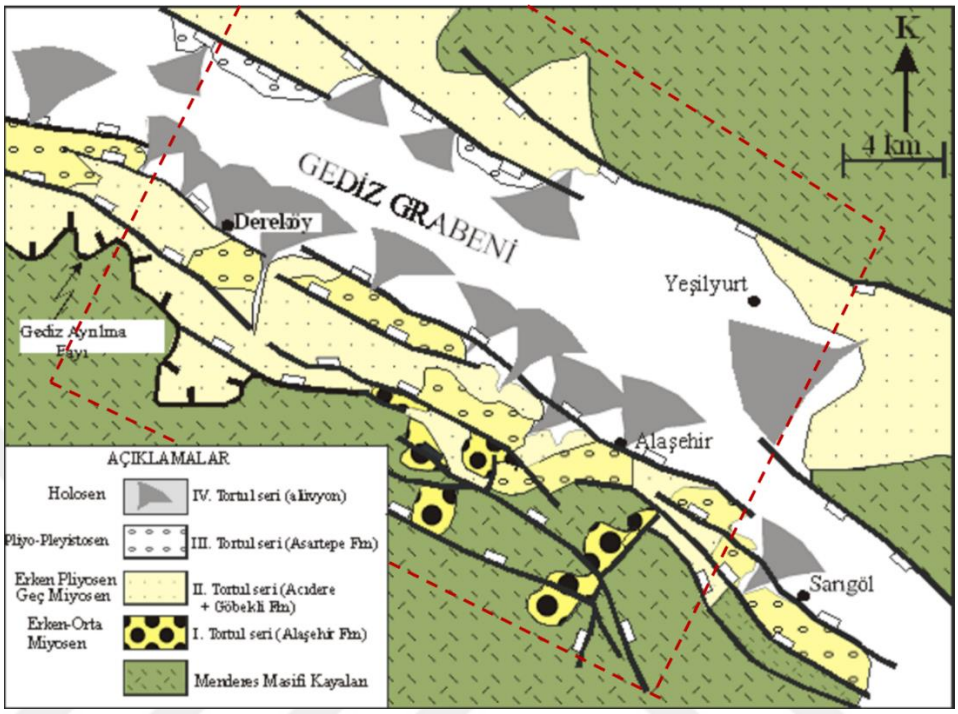
Tablo 2.3 Kızıldere jeotermal sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri

Lokasyon ***Kızıldere***

Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			30000000	70000000	10000000	*Yılmazer (2015)*
Kalınlık	***H (m)***			500	1000	1500	*Yılmazer (2015)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	10	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	5.7	KD-49 Kuyusu	0.57	5.7	8.55	*Haklıdır vd. (2021)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	1.3	Kızıldere Kuyuları Ort.	0.13	1.3	1.95	*Möller vd. (2004)*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.02	DW-P11	0.002	0.02	0.03	*Bundschuh vd. (2013)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	0.54	KD-49 Kuyusu	0.054	0.54	0.81	*Zorlu (2022)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	0.4	KD-49 Kuyusu	0.04	0.4	0.6	*Zorlu (2022)*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	0.18	KD-49 Kuyusu	0.018	0.18	0.27	*Zorlu (2022)*
Gümüş-Ag	***C (ppm)***	0.93	KD-49 Kuyusu	0.093	0.93	1.395	*Zorlu (2022)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	0.5	KD-49-Kuyusu	0.05	0.5	0.75	*Zorlu (2022)*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	2.16	KD-49-Kuyusu	0.216	2.16	3.24	*Zorlu (2022)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.09	KD-49-Kuyusu	0.009	0.09	0.135	*Zorlu (2022)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	Ölçüm Limiti Altında	DW-P11	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2012)*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	560	KD-49-Kuyusu	56	560	840	*Haklıdır vd. (2021)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verimi	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

Alaşehir Formasyonu ve Erken Orta Miyosen yaşlı Üst Miyosen yaşlı Gediz Formasyonu, grabenin batı kesiminde uyumsuz olarak yer alır. Alaşehir Formasyonu gölsel çökeller, kireçtaşı ve şeylden oluşmaktadır. Alaşehir jeotermal rezervuarlarının örtü kayası, metamorfitlerin şist-şeyl seviyeleri ve Tersiyer birimlerinde çamurtaşı seviyesi olarak gözlenmektedir. (Yazman vd., 1998; Seyitoğlu vd., 2002; Çiftçi ve Bozkurt, 2009; Maddy vd., 2017). Gediz Formasyonu konglomera ile kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Bu birimler üzerinde Pliyosen yaşlı Kaletepe

Formasyonu konglomera-kumtaşı ardalanmasından oluşur. Kuvaterner alüvyon jeolojik tüm birimler üzerine yerleşir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Alaşehir Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Koçyiğit vd., 1996; Yılmaz vd., 2001 ve Sözbilir 2001'den değiştirilmiştir.)

Tablo 2.4 Alaşehir Jeotermal Sahası'nın jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021; Parantez içindeki değerler 2021 sonuna dek tamamlanmamış kurulu güçleri temsil eder)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
Alaşehir Jeotermal Alanı	Mis 3 JES	Manisa	Soyak Enerji	48
	Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Zorlu Enerji	45
	Ala 2 Jeotermal Santrali	Manisa	Maspo Enerji	30
	Türkerler Jeotermal Enerji Santrali - 3	Manisa	Türkerler Holding	30 (120)
	Enerjeo Kemaliye Santrali	Manisa	Enerjeo Kemaliye Enerji Üretim	25
	Türkerler Alaşehir 2 JES	Manisa	Türkerler Holding	24
	Türkerler Alaşehir JES	Manisa	Türkerler Holding	24
	Özmen 1 Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Özmen Holding, Sis Enerji	24
	Baklacı Jeotermal Santrali	Manisa	Akça Enerji	19
	Özmen 3 JES	Manisa	Özmen Holding, Sis Enerji	19
	Mis 1 Jeotermal Santrali	Manisa	Soyak Enerji	12
	Maspo Enerji JES 4	Manisa	Gürmen Group, Maspo Enerji	10
	Toplam KuruluGüç			400

Alaşehir yöresinde petrol yataklarına rastlanmıştır (İztan ve Yazman, 1990). Bölgedeki rezervuar sıcaklıkları su ağırlıklı rezervuarlarda 210-220 °C'ye, buhar ağırlıklı rezervuarlarda ise 286 °C'ye ulaşmaktadır (Baba, 2015). Sahadaki jeotermal santrallerin toplam kurulu gücü 400 MWe (MegaWattElektrik)'dir (Tablo 2.4).

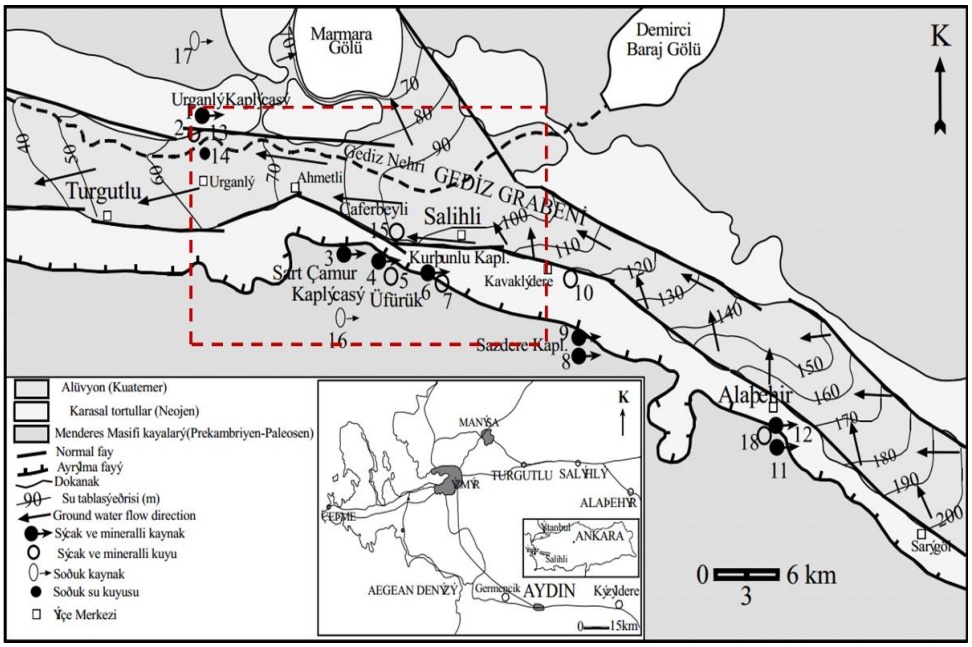
Tektonizma nedeniyle rezervuardaki mermer birimi deforme olmuş ve kuvarsit-şist çatlaklarında kalsit ve serisit, karbonat ve pirit gözlenmektedir (İlhan ve Kabak, 2018). Baklacı köyünde keşfedilen (İztan ve Yazman, 1990) petrol rezervuarına 10 km uzaklıktadır ve jeotermal akışkanların özellikle gaz fazlarında bir miktar hidrokarbon etkisi tespit edilmiştir. Sahada sular meteorik kökenli ve Na-HCO_3 tipindedir (Tarcan vd., 2009). Alaşehir Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.5'de bahsedilmektedir.

Tablo 2.5 Alaşehir jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simülasyon veri giriş değerleri

Lokasyon	***Alaşehir***						
Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			45000000	90000000	135000000	*Yılmazer (2015)*
Kalınlık	***H (m)***			250	500	750	*Yılmazer (2015)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	10	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	6.3	Alkan-1	0.63	6.3	9.45	*Haklıdır ve Şengün (2020)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	-		0.275	2.75	4.125	*Salihli'ye ait analiz sonucu kullanılmıştır.*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.01	S-P25	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	0.08	S-P25	0.008	0.08	0.12	*Bundschuh vd. (2013)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	0.2	S-P25	0.02	0.2	0.3	*Bundschuh vd. (2013)*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	0.005	S-P25	0.0005	0.005	0.0075	*Bundschuh vd. (2013)*
Gümüş-Ag	***C (ppm)***	0.9		0.09	0.9	1.35	*Zorlu (2022)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	-		0.95	9.5	14.25	*Salihli'ye ait analiz sonucu kullanılmıştır.*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	0.01	S-P25	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.01	S-P25	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	0.01	S-P25	36.6	366	549	*Haklıdır ve Şengün (2020)*
Silika- SiO2	***RF (%)***	366	Alkan-1	10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verim	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

2.3.3 Salihli Jeotermal Alanı

Salihli Jeotermal Sahası'nın stratigrafik istifi, temel olarak Menderes Masifi'nin Paleozoyik yaşlı metamorfitleri ile başlamaktadır. Acıdere, Göbekli ve Asartepe olarak adlandırılan ve zayıf çimentolu killi seviyeler içeren Neojen karasal çökelleri bir bütün olarak çok düşük geçirgenliğe sahiptir. En yaşlı çökel birimi olan Acıdere formasyonu, ince taneli kalkerli çamurtaşları, silttaşları, kumtaşları ve çakıllı kumtaşlarından oluşur. Bölgede geniş bir alanı kaplayan Göbekli formasyonu, ardalanmalı kumtaşı, çakıllı kumtaşı, konglomera yatakları ve çamurtaşlarının hakimiyetindedir. Asartepe formasyonu temel olarak konglomeralar ve ardalanmış kumtaşı içeren, zayıf biçimde sıkıştırılmış alüvyal yelpaze çökellerinden oluşur. Daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar örtmektedir (Tarcan vd., 2000; Özen vd., 2012). Menderes Masifi'nin metamorfitleri hem soğuk sular hem de termal sular için akifer görevi görür (Şekil 2.6). Neojen karasal çökelleri killi seviyeleri, örtü kayaç görevi görür. Salihli-Köseali bölgesinde bulunan jeotermal kuyuda Türkiye'nin ikinci en yüksek sıcaklığı olan 287 °C' dir.



Şekil 2.6 Salihli ve Alaşehir jeotermal sahaları ve çevresindeki alanın basitleştirilmiş hidrojeolojik haritası (Tarcan vd., 2004)

Bölgede bulunan jeotermal santrallerinin toplam kurulu gücü 70 MWe (MegaWattElektrik)'dir (Tablo 2.6). Sahada su tipi Na-HCO_3 ve meteorik kökenlidir (Tarcan vd. 2005 ve Özen vd. 2012). Salihli Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.7'de bahsedilmektedir.

Tablo 2.6 Salihli Jeotermal Sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
Salihli Jeotermal Alanı	Salihli 3 JES	Manisa	Sanko Enerji	30
	Salihli 2 JES	Manisa	Sanko Enerji	25
	Sanko Salihli JES	Manisa	Sanko Enerji	15
	Toplam KuruluGüç			70

2.3.4 Germencik Jeotermal Alanı

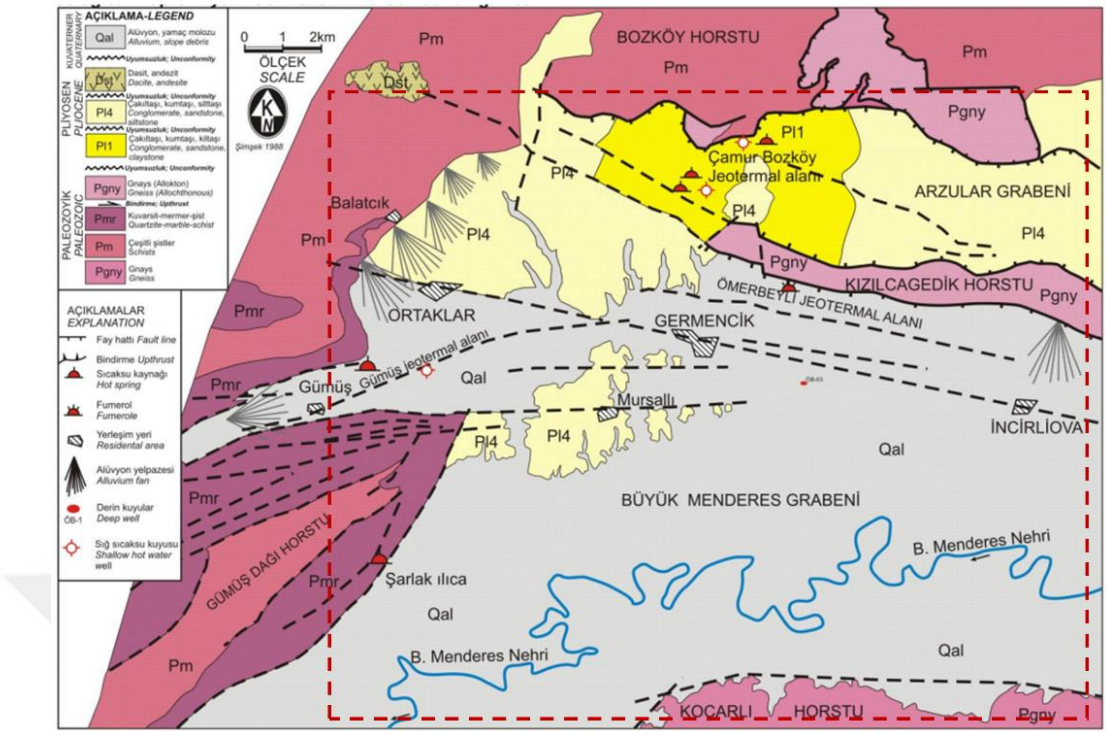
Germencik Jeotermal Sahası Büyük Menderes Grabeni'nin batısında bulunmakta ve taban kayası olarak yine Menderes Metamorfitleri yer almaktadır. Sahada Paleozoik yaşlı Menderes Metamorfitleri yanında Senozoyik yaşlı çökeller bulunmaktadır. Menderes Masifi'nde allokton gnayslar bindirme fayları ile mika şist, kuvarsit, kalkşist, kuvars şist ve mermer ardalanması birimleri üzerine istiflenmiştir. Neojen çökelleri, Pliyosen ve Miyosen çökellerinden oluşan metamorfik kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Kiltaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşan Pliyosen yaşlı sedimanlar, konglomera ve kumtaşından oluşan Miyosen yaşlı sedimanların üst kesimine uyumsuz olarak gelir. Tüm birimlerin üzerinde uyumsuzlukla gevşek çimentolu Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelmiştir. Germencik sahası iki rezervuar olup Menderes Masifi'nin kuvars şistleri, gnaysları ve mermerleri birinci rezervuarı, Neojen yaşlı kumtaşları ve konglomeraları ise ikincil rezervuarı oluşturmaktadır. Neojen yaşlı kil içeren sedimanter seviyeler, sistemin örtü kayası görevini görür (Şekil 2.7).

Tablo 2.7 Salihli Jeotermal Sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simülasyon veri giriş değerleri

Lokasyon ***Salihli (Kavakdere-Ahmetli)***

Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			5000000	12000000	20000000	*Yılmazer (2015)*
Kalınlık	***H (m)***			250	500	750	*Yılmazer (2015)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	10	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	5.14	K-2 Kuyusu	0.514	5.14	7.71	*Özen vd. (2010)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	2.27	1 ve 2 ortalama	0.227	2.27	3.405	*Möller vd. (2004)*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.03	DW-P27	0.003	0.03	0.045	*Bundschuh vd. (2013)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	0.01	DW-P27	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	0.06	DW-P27	0.006	0.06	0.09	*Bundschuh vd. (2013)*
Antimon-Sb		0.001	DW-P27	1E-04	0.001	0.0015	*Bundschuh vd. (2013)*
Gümüş-Ag	***C (ppm)***	0.88	Caferbeyli Köyü	8.80E-02	0.88	1.32	*Özen vd. (2010)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	9.5	Caferbeyli Köyü	0.95	9.5	14.25	*Özen vd. (2010)*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	4.3	Caferbeyli Köyü	0.43	4.3	6.45	*Özen vd. (2010)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.02	DW-P27	0.002	0.02	0.03	*Bundschuh vd. (2013)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	Ölçüm Limiti Altında	DW-P27	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	322	K-2-Kuyusu	32.2	322	483	*Özen vd. (2010)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verim	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

Ölçülen kuyu sıcaklıkları 200 °C ile 232 °C ‘dir (Filiz vd., 2000). Sahada Ömerbeyli ve Gümüşköy mevkileri arasındaki jeotermal santrallerin toplam kurulu gücü 502 MWe (MegaWattElektrik)’dir (Tablo 2.8). Sahada su tipi Na-Cl-HCO_3 ve meteorik kökenlidir. Klorür zenginleşmesi derin fosil sularla birleşmesiyle oluşmaktadır (Tarcan 2013, Mutlu ve Güleç, 2008). Germencik Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.9’da bahsedilmektedir.



Şekil 2.7 Germencik Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Kasımoğlu vd., 2015)

Tablo 2.8 Germencik Jeotermal Sahası'nın jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021; Parantez içindeki değerler 2021 sonuna dek tamamlanmamış kurulu güçleri temsil eder)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
Germencik Jeotermal Alanı	Maren Jeotermal Enerji Santrali (İrem ve Sinem)	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	44
	Melih Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	33
	Deniz Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	24
	Kerem JES	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	24
	Nezihe Beren JES	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	20
	Kiper 1 JES	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	10
	Mehmethan Jeotermal Santrali	Aydın	Kipaş Holding	25
	Efeler Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Güriş Holding	115
	Efe 8 JES	Aydın	Güriş Holding	50
	Galip Hoca Germencik JES	Aydın	Güriş Holding	47
	Efe 7 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Güriş Holding	25
	Efe 6 JES	Aydın	Güriş Holding	23
	Kubilay Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Çevik Grup	24
	Gümüşköy Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	BM Holding Enerji Grubu	13
	3S Kale Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	3S Kale Enerji	20 (25)
	Toplam KuruluGüç			502

Tablo 2.9 Germencik Jeotermal Sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simülasyon veri giriş değerleri

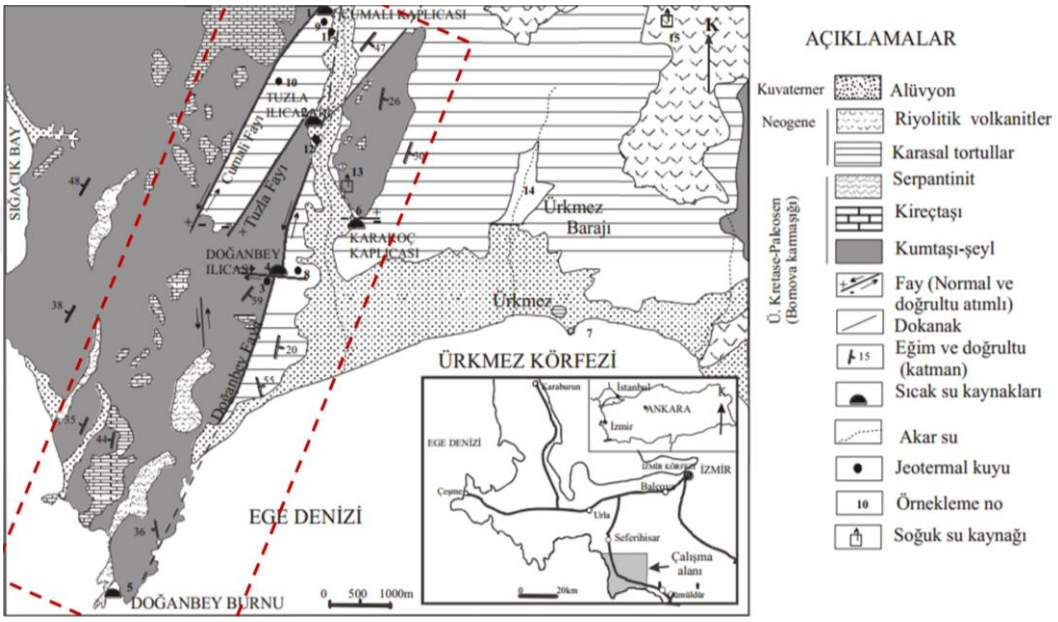
Lokasyon ***Germencik***

Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			75000000	150000000	225000000	*Yılmazer (2015)*
Kalınlık	***H (m)***			171	1000	1400	*Yılmazer (2015)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	7.5	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	10.6	OB-17 Kuyusu	1.06	10.6	15.9	*Karakuş ve Şimşek (2013)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	347.4	Ömerbeyli Kuyuları Ort. Değer	34.74	347.4	521.1	*Möller vd. (2004)*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.06	DW-P4-Hıdırbeyli	0.006	0.06	0.09	*Bundschuh vd. (2013)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	0.15	2K	0.015	0.15	0.225	*Parkın (2012)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	0.11	DW-P4-Hıdırbeyli	0.011	0.11	0.165	*Bundschuh vd. (2013)*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	1.9	2K	0.19	1.9	2.85	*Parkın (2012)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	0.079	2K	7.90E-03	0.079	0.1185	*Parkın (2012)*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	0.26	DW-P4-Hıdırbeyli	0.026	0.26	0.39	*Bundschuh vd. (2013)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.29	2K	0.029	0.29	0.435	*Parkın (2012)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	0.03	DW-P4-Hıdırbeyli	0.003	0.03	0.045	*Bundschuh vd. (2013)*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	535	OB-17-Kuyusu	53.5	535	802.5	*Karakuş ve Şimşek (2013)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verir	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

2.3.5 Seferihisar Jeotermal Alanı

Seferihisar Jeotermal Sahası İzmir'in güneybatısında yer almaktadır. Saha, Orhanlı Fay Zonu tarafından kontrol edilmektedir (Uzel, vd. 2008). Tuzla Fayı Seferihisar Jeotermal Sahası'nın oluşumu ve tektonik evrimi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Drahor ve Berge, 2006). Seferihisar yükseltisinin kuzeybatısında yer alan Çukurdağ Grabeni'nin temeli olarak Paleozoik yaşlı Menderes metamorfitleri ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşları içeren çeşitli şist ve mermerler, serpantin ve denizaltı volkanik filiş formasyonu (Erdoğan, 1990) kabul edilmektedir. Graben dolgusu, altta Miyosen yaşlı gölsel ve akarsu çökelli Yeniköy Formasyonu ile üstte Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Cumaovası Volkanitlerinden oluşur. Jeotermal sistemin ısı kaynağı olarak tanımlanan

Cumaovası Volkanitlerini içeren riyolit ve riyodasitler, Grabenin güneydoğusunda Kretase formasyonlarında tek tek domlar halinde yer almaktadır. Bornova melanjının çatlaklı mafik denizaltı volkanitleri ve yüksek geçirimli kireçtaşı ve serpantinit kütleleri rezervuar kayaçları iken, nispeten geçirimsiz kilce zengin zonlar ve Neojen sedimanlarının kumtaşı, şeyl seviyeleri örtü kayası görevi görür (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Seferihisar Jeotermal Sahası'nın jeolojik haritası (Tarcan ve Gemici, 2003'den değiştirilerek)

Su tipi, Na-HCO_3 iken su kökeni meteoriktir. (Eşder ve Şimşek, 1975, Tarcan ve Gemici, 2003; Tarcan vd., 2009). Rezervuar akışkanı sıvı ağırlıklı olup, rezervuar sıcaklığı derinliğe bağlı olarak 70 °C ile 200 °C arasında değişmektedir. Bölgede bir adet 12 MWe (MegaWattElektrik) gücünde jeotermal santral bulunmaktadır (Tablo 2.10). Seferihisar Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.11'de bahsedilmektedir.

Tablo 2.10 Seferihisar Jeotermal Sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021; Parantez içindeki değerler 2021 sonuna dek tamamlanmamış kurulu güçleri temsil eder)

Seferihisar Jeotermal Alanı	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
	RSC Seferihisar JES	İzmir	RSC Elektrik	12
	Toplam KuruluGüç			12

Tablo 2.11 Seferihisar Jeotermal Sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simülasyon veri giriş değerleri

Lokasyon ***Seferihisar***

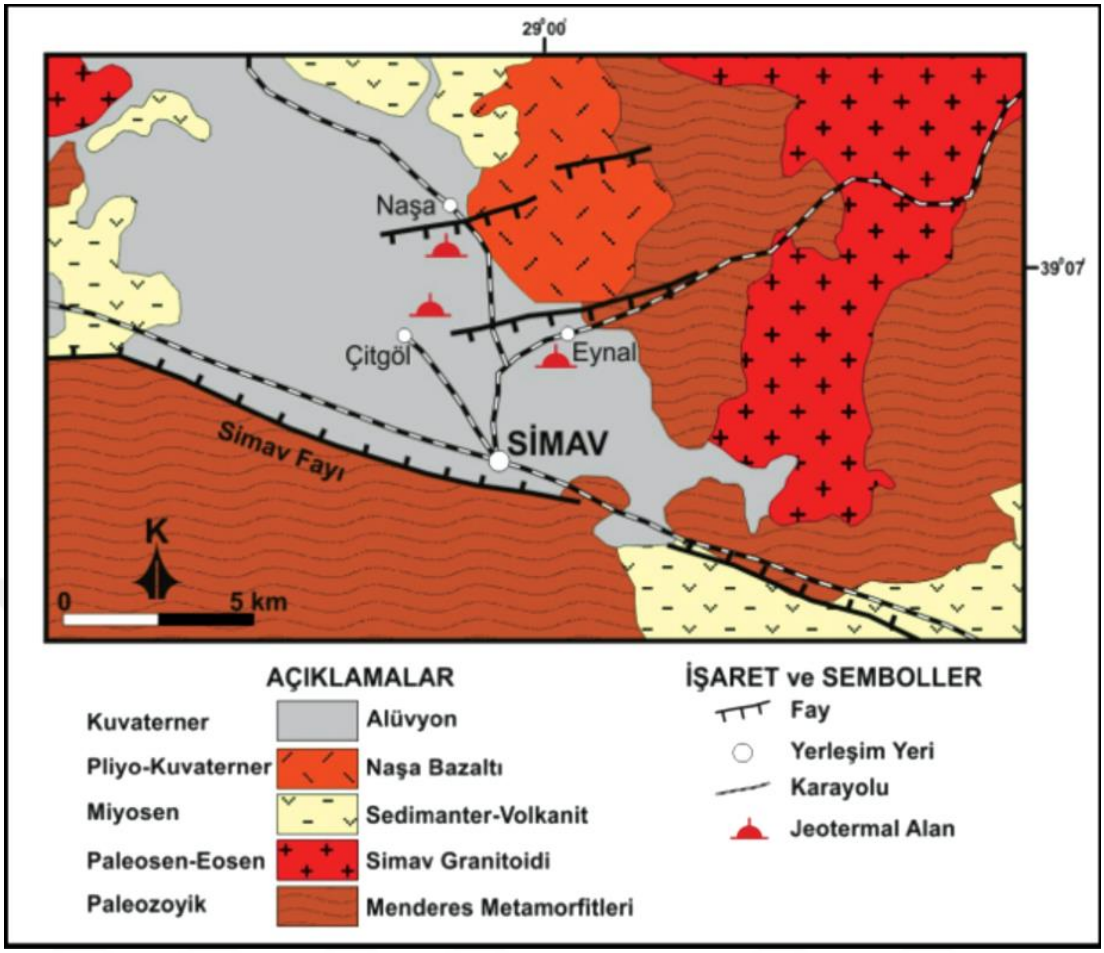
Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			12500000	25000000	37500000	*Aydın vd. (2022)*
Kalınlık	***H (m)***			500	1000	1500	*Aydın vd. (2022)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	10	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	10	Tuzla Fayı	1	10	15	*Zorlu (2020)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	-		0.000092	0.00092	0.00138	*Değer verilmiştir.*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.15	DW-P1	0.015	0.15	0.225	*Bundschuh vd. (2013)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	0.19	DW-P1	0.019	0.19	0.285	*Bundschuh vd. (2013)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	Ölçüm Limiti Altında	DW-P1	0.005	0.05	0.075	*Bundschuh vd. (2013), limit değer verilmiştir.*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	0.001	DW-P1	0.00001	0.0001	0.00015	*Bundschuh vd. (2013)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	-		0.0001	0.001	0.0015	*Değer verilmiştir.*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	0.12	DW-P1	0.012	0.12	0.18	*Bundschuh vd. (2013)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.02	DW-P1	0.002	0.02	0.03	*Bundschuh vd. (2013)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	Ölçüm Limiti Altında	DW-P1	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013) -limit değer verilmiştir.*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	119	Tuzla Fayı	11.9	119	178.5	*Zorlu (2020)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verir	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

2.3.6 Simav Jeotermal Alanı

Eynal, Çitgöl ve Naşa termal sularını içeren Simav Jeotermal Sahası, Simav ilçesinin yaklaşık 4 km kuzeyinde, Simav Grabeni'nin orta kesiminde yer almaktadır. Simav Jeotermal Sahası'nın temelini ise kuvarsit, kuvars-muskovit şist, mikaşist,

kalkşist ve mermerden oluşan Paleozoyik yaşlı Simav metamorfitleri oluşturmaktadır. Bu birim Mesozoyik yaşlı Kırkbudak formasyonu (çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşı) tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Bu kayaçlar Senozoyik yaşlı Toklargözü formasyonu ve iri kırıntılılardan oluşan Eynal formasyonu tarafından örtülür. Paleosen yaşlı Eğrigöz graniti metamorfitleri ve Kırkbudak formasyonunu keser. Naşa bazaltları en genç volkanik kayaçlardır (Şekil 2.9). Sahanın ana rezervuar kayaçları, Kırkbudak formasyonunun kalkşist ve mermer seviyeleri ve Naşa bazaltları potansiyel (ikincil) rezervuar kayaçlarını oluşturmaktadır. Kiltaşı, kumtaşı ve konglomera gibi geçirimsiz Neojen kayaçları Simav Jeotermal Sistemi'ni örtmektedir (Gemici ve Tarcan, 2002; MTA, 2005).

Eynal bölgesinde bulunan kaynaklar daha yüksek sıcaklığa sahip olmaları sebebiyle silika değerleri de göreceli yüksektir. Bölgedeki sular olgun olmayan jeotermal sular sınıfında olması sebebiyle, kuvars jeotermometresi 180° C -200°C arasında anlamlı sonuçlar vermiştir. Bölgede uzun yıllardır konut ısıtması ve termal turizm yapılmasına karşın devreye alınmış bir jeotermal elektrik santrali bulunmamaktadır. % CO_2 miktarının rezervuarda %0.018 ile %1.4 arasında değiştiği hesaplanmış olup, maksimum değer Çitgöl mevkinde görülmüştür. Bölgede karbonat mineralleri çökelim eğilimindedir (Gemici ve Tarcan, 2002). Ateş ve Tutkun'un (2014) yaptığı çalışmaya göre bölgede 2011 yılında gelişen 5.9 büyüklüğündeki deprem öncesinde, Eynal'da Na-Cl değerleri yükselip, SO_4 değerinde azalmış, Naşa'da: Cl değerleri yükselmiş, SO_4 değerleri azalmış ve Çitgöl'de Cl değerleri yükselmiş, SO_4 değerleri azalmıştır. Bölgede sular meteorik kökenli olup, 50 yıldan yaşlıdır. BMG jeotermal sahalarına göre daha yüksek manto kaynaklı CO_2 olduğu görülmekte olup, değerleri %13.1 ile 32.2 arasındadır. CO_2 'nin büyük kısmı karbonat kayaları kökenlidir. Helyum izotopları Naşa bazaltları dolayısıyla % 20 oranında manto kaynağını göstermekte ise de kabuk kaynaklı değerlerin çok üstünde değillerdir (Karakuş, 2015). Simav Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.12'de bahsedilmektedir.



Şekil 2.9 Simav Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Konak 2002'den değiştirilerek)

2.3.7 Çanakkale - Tuzla Jeotermal Alanı

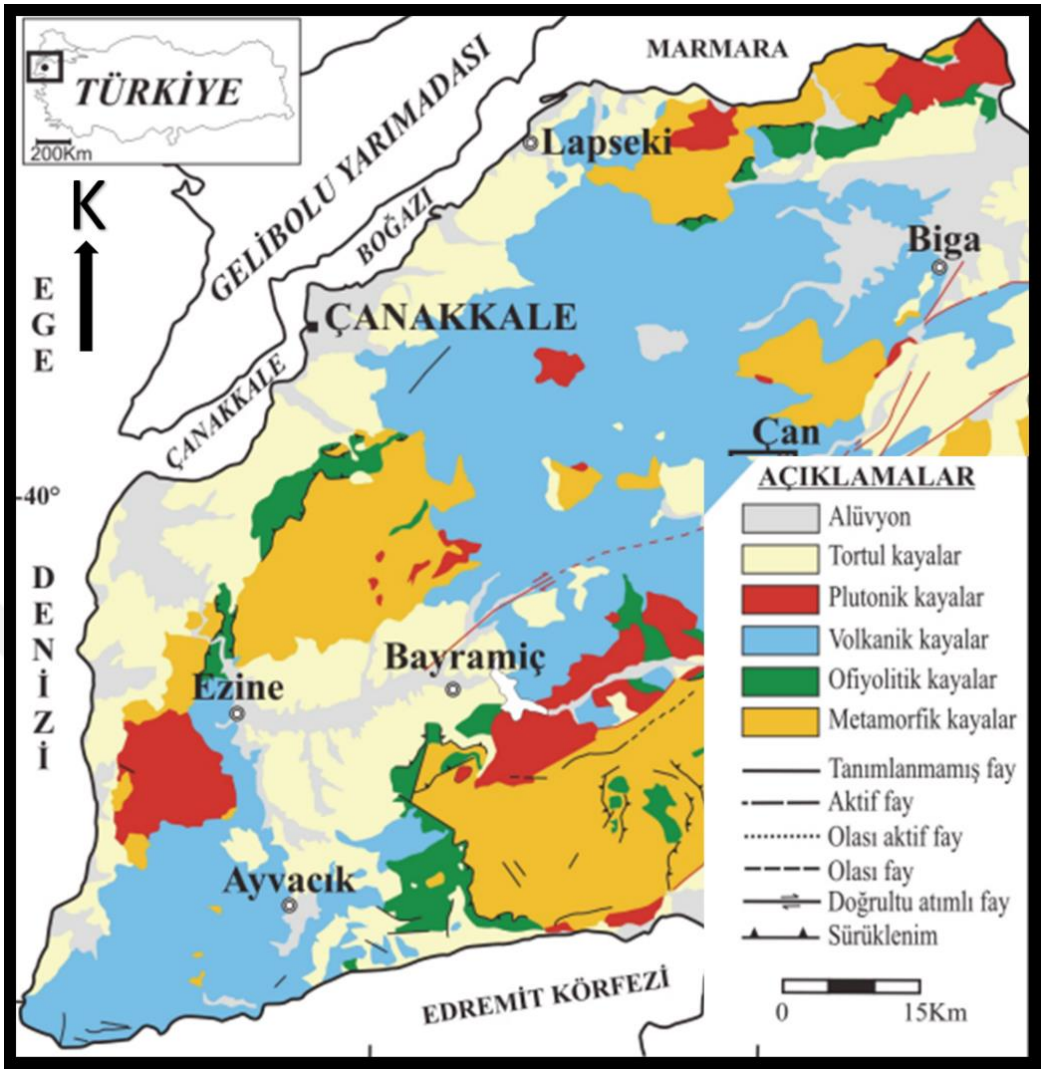
Tuzla Jeotermal Sahası Türkiye'nin kuzeybatısında, Çanakkale'nin 80 km güneybatısında ve Ege Denizi'nden 5 km uzaklıkta Edremit Grabeni içerisinde yer almaktadır. Tuzla termal suyu, deniz suyunun etkisi sebebiyle Na-Cl ve Na-HCO_3-Cl tipinde olup 173°C kuyu sıcaklığına (814 m derinlikte T1 kuyusu) rastlanır. Bölgede bulunan jeotermal elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 46.5 MWe (MegaWattElektrik)'dir (Tablo 2.13). Bölgedeki hem jeotermal su, hem de sığ yeraltı suyu meteorik kökenlidir (Baba vd., 2009).

Tablo 2.12 Simav Jeotermal Sahası hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simülasyon veri giriş değerleri

Lokasyon ***Simav (Eynal-Naşa)***

Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			1000000	2000000	5000000	*Karakuş vd. (2017)*
Kalınlık	***H (m)***			250	1000	3000	*Karakuş vd. (2017)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			6	6	6	*Karakuş vd. (2017)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	1.76	Eynal E-7 Kuyusu	0.176	1.76	2.64	*Çardak vd. (2019)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	-		0.000092	0.00092	0.00138	*Değer verilmiştir.*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	0.02	DW-P20-Eynal	0.002	0.02	0.03	*Bundschuh vd. (2012)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	15.25	Eynal E-7 Kuyusu	1.525	15.25	22.875	*Çardak, vd. 2019*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	0.05	DW-P20-Eynal	0.005	0.05	0.075	*Bundschuh vd. (2013)*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	0.002	DW-P20	0.0002	0.002	0.003	*Bundschuh vd. (2013)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	-		1.00E-04	0.001	0.0015	*Değer verilmiştir.*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	15.25	Eynal E-7 Kuyusu	1.525	15.25	22.875	*Çardak vd. (2019)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	5.5	Eynal E-7 Kuyusu	0.55	5.5	8.25	*Çardak vd. (2019)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	0.01	DW-P20-Eynal	0.001	0.01	0.015	*Bundschuh vd. (2013)*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	280.7142857	Eynal E-7 Kuyusu	28.1	281	421.5	*Çardak vd. (2019)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verim	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

Tuzla Jeotermal Sahası'nın temeli şist ve rekristalize kireçtaşı olan Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Metamorfik temel Kestanbol Plütonu olarak adlandırılan büyük bir granodiyoritik plüton tarafından kesilir. Bu birimleri Mesozoyik yaşlı konglomera, kumtaşı, marn ve kireçtaşı-kumtaşı üzerler, bunlar da Miyosen yaşlı riyolitik tüfler, ignimbiritler, latitik ve riyolitik lavlar tarafından üzerlenir (Şekil 2.10). Rezervuar kayaçlarını farklı tipte lavlar ve metamorfik temelin rekristalize kireçtaşları oluştururken, bu birimlerin üzerindeki tüfitli kiltaşı, konglomera ve kumtaşları sistem için örtü kayaç görevi görür (Gevrek vd., 1984; MTA, 2005). Tuzla Jeotermal Sahası rezervuar özellikleri ve çalışma içerinde kullanılacak olan kıymetli mineral konsantrasyonlardan Tablo 2.14'de bahsedilmektedir.



Şekil 2.10 Tuzla Jeotermal Sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Deniz vd., 2010'den değiştirilmiştir)

Tablo 2.13 Tuzla jeotermal sahası jeotermal santralleri ve kurulu güçleri (Enerji Atlası, 2021; Parantez içindeki değerler 2021 sonuna dek tamamlanmamış kurulu güçleri temsil eder)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MegaWattElektrik)
Tuzla Jeotermal Alanı	İda Jeotermal Santrali	Çanakkale	Yerka Elektrik Üretim A.Ş.	12
	Babadere Jeotermal Enerji Santrali	Çanakkale	MTN Enerji	8
	Tuzla Jeotermal Enerji Santrali	Çanakkale	Enda Enerji	7.5
	Transmark JES	Çanakkale	Transmark Turkey	3.20 (19)
	Toplam KuruluGüç			46.5

Tablo 2.14 Tuzla jeotermal sahsı hidrolojik ve kıymetli mineral konsantrasyonları ile hazırlanan simulasyon veri giriş değerleri

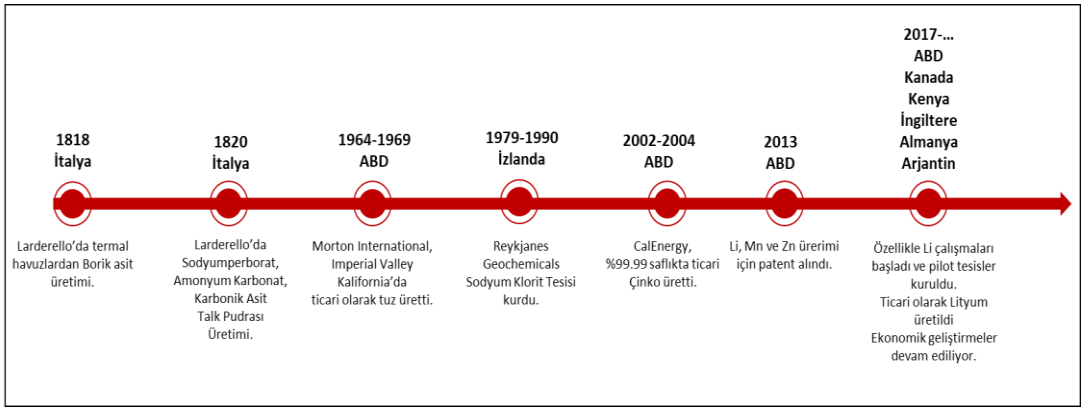
Lokasyon ***Tuzla***

Parametre	***Birimler***	***Konsantrasyon Değeri***	***Numune Tanımı***	***Min.***	***Orta***	***Maks.***	***Referans***
Alan	***A (m2)***			3000000	6000000	9000000	*Yılmazer (2015)*
Kalınlık	***H (m)***			250	500	750	*Yılmazer (2015)*
Gözeneklilik	***Θ (%)***			3	5	10	*Aydın and Akın (2020); Küçük (2018)*
Lityum -Li	***C (ppm)***	29.294	T-9 Kuyusu	2.9294	29.294	43.941	*Katırcıoğlu (2013)*
Neodim-Nd	***C (ppm)***	0.00092	Ayvacık Tuzla Jeotermal Kaynak No:26	0.000092	0.00092	0.00138	*Özçetin ve Gemici (2018)*
Sezyum-Cs	***C (ppm)***	2.4	Tuzla 1 Kuyusu	0.24	2.4	3.6	*Özçetin ve Gemici (2018)*
Mangan-Mn	***C (ppm)***	5.117	T-9 Kuyusu	0.5117	5.117	7.6755	*Katırcıoğlu (2013)*
Stronsiyum-Sr	***C (ppm)***	169.968	T-9 -Kuyusu	17	170	255	*Katırcıoğlu (2013)*
Antimon-Sb	***C (ppm)***	<2	Ayvacık Tuzla Jeotermal Kaynak No:23	0.19	1.9	2.85	*Karaca vd. (2013)*
Bakır-Cu	***C (ppm)***	2.4	Tuzla 1-Kuyusu	2.40E-01	2.4	3.6	*Özçetin (2018)*
Nikel-Ni	***C (ppm)***	<0.3	Ayvacık Tuzla Jeotermal Kaynak No:24	0.02	0.2	0.3	*Karaca vd. (2013)*
Çinko-Zn	***C (ppm)***	0.535	Ayvacık Tuzla Jeotermal Kaynak No:24	0.0535	0.535	0.8025	*Karaca vd. (2013)*
Rubidyum- Rb	***C (ppm)***	0.026	Ayvacık Tuzla Jeotermal Kaynak No:26	0.0026	0.026	0.039	*Karaca vd. (2013)*
Silika- SiO2	***C (ppm)***	96.2	Tuzla 1-Kuyusu	9.62	96.2	144.3	*Özçetin (2018)*
Kurtarım Faktörü	***RF (%)***			10	15	20	*Williams vd.(2008); Avsar vd. (2015)*
Ekstarksiyon Verim	***E (%)***			50	70	90	*Sun vd. (2020); Mceachern vd. (2020); McGrail vd. (2017); Smith vd. (2019)*

BÖLÜM ÜÇ

BATI ANADOLU JEOTERMAL SAHALARINDAKİ JEOTERMAL AKIŞKANLARDA BULUNAN BAZI MİNERAL REZERVLERİ VE UYGUN KAZANIM YÖNTEMLERİ

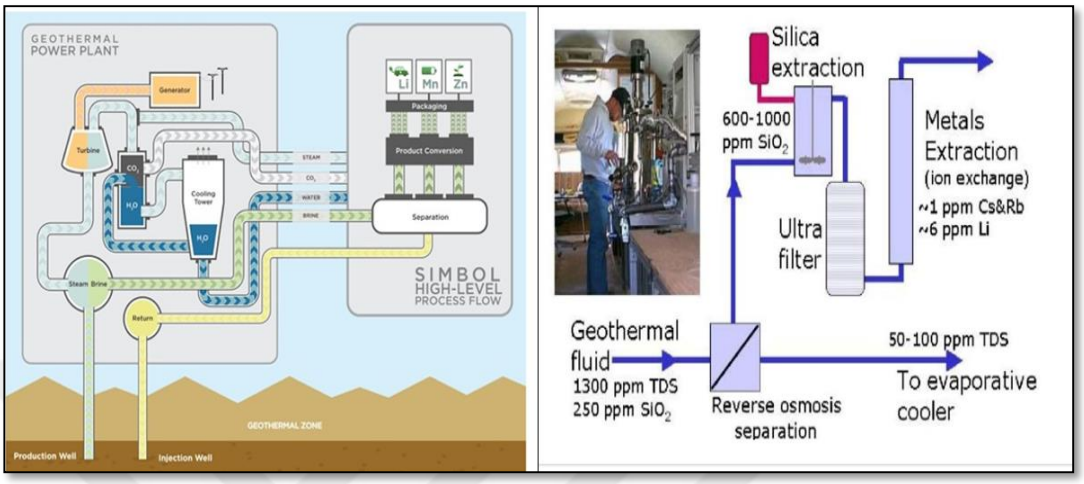
Mineral geri kazanımı veya tuzlu sudan mineral eldesi hem yüksek hem de orta sıcaklıktaki jeotermal sistemlerdeki akışkandan sıvı karbondioksit, ısıtma, termal turizm, tarım ve enerji üretimi yanında kullanım çeşitliliğini arttıran uygulamalardan biridir. 1800' lerden beri Larderello'da termal havuzlardan borik asit üretimi ile jeotermal mineral geri kazanımı çalışmalarına başlanmış olup günümüzde silika, bor ve pil teknolojileriyle bağlantılı olarak lityum jeotermal tuzlu sudan başlıca geri kazanılan minerallerdir. Mineral eldesi yöntemleri ve uygulamaları oldukça maliyetli görünse de, yeni yöntemlerin geliştirilmesi ile önümüzdeki dönemlerde, Jeotermal madencilik çalışmalarıyla kaynak yaratma ve temiz hammadde üretimi için umut vaad etmektedir.



Şekil 3.1 Jeotermal akışkandan mineral eldesi tarihçesi (Wall, 2016'dan değiştirilmiştir.)

Jeotermal sistemler bulundukları bölge, oluşum koşulları, köken, beslenme ve yan kayaç etkileşimlerine göre kendine özel karakterde olsa da genelleştirme yapmak gerekirse; Silis , Bor, Stronsiyum, Çinko, Potasyum, Magnezyum, Baryumve Lityum

ile Nadir Toprak Elementlerini (Y, Ce, Ne, La, Mo vd.) jeotermal akışkandan ayırmak mümkündür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Jeotermal akışkandan mineral eldesi Salton Sea- ABD (Bourcier vd., 2005)

3.1 Jeotermal Akışkandan Mineral Eldesine Yönelik Örnek Çalışmalar

Endüstriyel ihtiyaçlar doğrultusunda Zn^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, nadir toprak elementleri (NTE), SiO_2, Li^+, As^{5+}, Br^-, Sb^{3+}, B, I, Sr^{2+}, $BaSO_4$, $CaCO_3$, $CaCl_2$, K-tuzları, NaCl (sofra tuzu), Na_2SO_4 ve diğer çözünmüş maddeler ekonomik değer kazanmış ve jeotermal akışkandan üretilebilir hale gelmiştir. Bu nedenle mineral eldesi üzerine araştırma çalışmaları ve jeotermal akışkanda mineral madenciliği başlamıştır. Jeotermal akışkan işletmeciliği yapan birçok ülke, akışkan içerisindeki mineralleri ayrıştırmanın yollarını aramıştır. Yeni Zelanda, Japonya ve ABD özellikle silika, lityum, çinko, mangan gibi minerallere olan endüstriyel ihtiyaçları gidermek adına üretim tesislerini açmıştır. Bununla birlikte ihtiyaç duyulan diğer mineraller için pilot üretim tesislerinin kurulması araştırmacılar ve kurumlar tarafından üzerinde yoğun ilgi olan bir konudur. Günümüzde gelişen teknoloji ile jeotermal akışkandan mineral eldesine yönelik kurum ve kuruluşlar yüksek oranda çalışmaktadır. Pil teknolojilerinin zamansal gelişimi nedeniyle rezerv konusunda ihtiyaç oluşacağı öngörülen lityum üzerinde özellikle yoğun oranda çalışan araştırmacılar ve özel sektör kuruluşları,

membran distilasyonu, elektrokoagülasyon, simentasyon, kimyasal yer değiştirme reaksiyonları içeren teknikleri kullanılarak ekonomik olarak göreceli yüksek debili akışkanlardan mineral üretmeye çalışmıştır. Başlıca mineral eldesine yönelik yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları Tablo 3.1 'de verilmektedir. Bunun yanında Ulusal laboratuvar ve akademik kurumlar ve yapılan çalışmalardan bazıları; Lawrance Livermore Ulusal Laboratuvarı (LLNL), Livermore Kalifornia' da Jeotermal akışkandan NTE'lerinin ayrılması için biyomühendislik ile geliştirilmiş bakterileri kullanması, Pasifik Kuzey Batı Ulusal Laboravuvarı (PNNL), Richmond Washington'da jeotermal akışkandaki ekonomik değeri olan minerallerin ve NTE'nin ayrımlaştırılması konusunda manyetik nanoakışkan geliştirmesi, Utah Üniversitesi, Salt Lake, Utah'da, enerji üretiminde kullanılan akışkanlar ve jeotermal akışkanlardaki zenginleşen materyaller hakkında çalışmalar ve Wyoming Üniversitesi, Laramie, Wyoming'da, Jeotermal, Petrol ve Doğal Gaz sistemlerinde üretilen sudaki nadir toprak elementi konsantrasyonları ve kazanımı konularında çalışmalar yapmaktadır.

Bunların yanında özel şirketlerce lityum eldesine ilişkin yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu konuda Unlimited projesine ilişkin verilen demeçlerde MnO_2 içeren iyon değiştirici reçineler yardımıyla lityum üretiminin Almanya Upper Rhine Grabeni'nde sağlandığı belirtilmiştir. Yine aynı graben içinde bulunan jeotermal kaynaklardan, Vulcan Enerji lityum karbonat ürettiğini belirtmiştir.

Mineral eldesi ve tuzlu su arıtma yöntemlerine ilişkin yapılan çalışmaların bir kısmı şu şekildedir;

Maimoni (1982); Jeotermal sudan mineral eldesini ilk önerenlerdendir. pH 3' e düşürülerek, ağır metallerce fakir olan suya jeotermal su içinde bulunan hidrojen sülfür eklenerek metal sülfitler oluşturulmuş, elektrotların üzerinde metal sülfitlere eşlik eden silika ve diğer çökelleri düşük pH değeri ile engellemeye çalışmışlardır. Gümüş (Ag), mangan (Mn), altın (Au), platin (Pt), selenyum (Se), arsenik (As), bakır (Cu), bizmut (Bi), kurşun (Pb), çinko (Zn), lityum (Li) 'yi ayırıp kazanmaya çalışmıştır.

Brown ve Roberts (1988); Kuyu başında değişik basıçlarda aktif karbon dolgulu filtre serileri ile gümüş ve altın yakalanmaya çalışılmıştır.

Mroczek vd. (2005); Elektrodiyaliz ile lityum ayırmayı önermiştir. 30 Volt'luk bir güç kaynağı, pH 2 - 4 arasında 2.5 litre seyreltik ve 1.5 litre yüksek konsantrasyonlu akışkan koşullarında maksimum verim elde edildiğini ölçülmüştür. Yüksek verimlilik istendiğinde, çoklu yığın sistemlerde 0.28 mg/saat.cm^2 debi uygulanmalıdır. Laboratuar deneylerinin, silikanın ortamdan çıkarılmasından sonra tüm lityumun tuzlu sudan çıkarılmasının mümkün olduğunu gösterdiğini belirtmiştir.

Bazinet ve Araya-Farias (2006), Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) içeren bir çözelti kullanıldığında, kalsiyum hidroksitin ana tortu olduğunu, ancak hiçbir kalsiyum karbonat tespit edilmediğini belirtmişlerdir. Bu durum çözeltide magnezyum bulunmamasıyla açıklanmıştır, kalsiyum karbonat çekirdeklenmesini başlatmak için magnezyum gerektiği belirtilmiştir.

Mohan, vd. (2009); Elektrokoagulasyon (EC) ile silisyum, arsenik ve sertlik giderimi çalışılmıştır. HERO (High Efficiency Reverse Osmosis- Yüksek Verimli Ters Osmoz) teknolojisinden sonra oluşan konsantre tuzlu suyun elektrokoagulasyon ile arıtılması üzerine çalışılmıştır. EC hücresinde demir anot ve içi boş silindirik Ebonex marka katot kullanmışlardır. Deneysel çalışmada, pH 12 ve silisyumdioksit konsantrasyonu 1000 ppm'dir. 20 dk reaksiyon süresi ile pH 6,7 ve 8'de demir ile çok yüksek oranda silisi çöktürebilmişlerdir. Her 1 mol demir dozu için yaklaşık 3 -6 mol silika uzaklaştırılmıştır. pH 7' de ise demir konsantrasyonu arttıkça arsenik ve sertlik değerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Her bir mol demir veya alüminyum dozu için 0,5 mol arsenik giderilmiştir.

Park vd. 2012; Lityum yakalama sırasında arsenik λ-MnO_2 ile redoks tepkimesi vermesinden dolayı arsenik öncelikle titanyumdioksit TiO_2 ile tutulduktan sonra

salamura (tuzlu su) MnO_2 emicisinden geçirilmiştir. Jeotermal sudaki arsenik, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum ile bir arada bulunan iyonların kesikli adsorpsiyonu da pH = 8.0' da gerçekleştirilmiştir. Yapay jeotermal tuzlu su, çift pistonlu pompa yardımıyla 0.2 cm^3/dk'lık bir akış hızında kolondan yukarı doğru beslenmiştir. Deney sonucunda bir miktar As, Mn ile redoks reaksiyonu yapmıştır. Fakat deney genelinde titanyumdioksit (TiO_2), As absorsiyonunda ve λ-MnO_2, lityum absorbsiyonunda 1300 BV 'ye (Kolonun Bulk hacmi) kadar başarılı olmuştur.

Harif vd. (2012); Kimyasal koagülasyon (kimyasal pıhtılaşma) ve elektrokoagulasyonu (elektriksel pıhtılaştırma) karşılaştırmıştır. Elektrokoagülasyon (EC) ve kimyasal pıhtılaşma (CC), parçacık giderme için su arıtımında kullanılmıştır. Her ikisi de benzer amaçlar için kullanılsa da, dozlama yöntemlerinde farklılık gösterirler, EC'de pıhtılaştırıcı uygun bir anot malzemesinin elektrolitik oksidasyonu ile eklenirken, CC'de kimyasal bir pıhtılaştırıcının çözünmesi kullanılır. EC'yi yöneten flokülasyon mekanizmasının, CC'deki Reaksiyon Sınırlı Küme Toplama (Reaction Limited Cluster Aggregation - RLCA) tipine karşı Difüzyon Sınırlı Küme Toplama (DCLA) doğasına sahip olduğunu gösterdiğini vurgulamıştır.

Chaturvedi (2013); Elektrokoagulasyon mekanizmasında katot için alüminyum ve anot için demir önermiştir.

Parhi (2013); Destekli sıvı zar ile sıvı - sıvı ektraksiyonu (ayırımı) yaparak ağır metal ayırtlamaya çalışmıştır. Genellikle çözünmüş reaktifler ile oluşturulmuş farklı bileşimlerdeki iki sulu faz arasında, ince organik sıvı bir zar faz tabakası oluşturulur. Bu ince organik faz tabakası, iki sulu çözelti arasına yerleştirildiğinde destekli sıvı membran (SLM) olarak adlandırılan uygun bir mikro gözenekli destek üzerinde hareketsiz hale getirilebilir. Bu üç fazlı ekstraksiyon tekniğinde hedef elementler, sürekli olarak akan sulu bir numuneden genellikle geçici olarak durgun bir organik sıvı fazdan başka bir sulu faza çıkarılır. Metal iyonlarının ayrılması için kullanılan farklı sıvı membran türleri, (i) emülsiyon sıvı membranlar (ELM), (ii) toplu sıvı membran

(BLM) ve (iii) destekli sıvı membrandır (SLM). Kullanım kolaylığı, faz kirliliğinin olmaması, düşük enerji tüketimi, yüksek seçicilik ve düşük işletme maliyeti bu sistemlerin alternatif olarak kullanılmasına avantaj sağlamaktadır.

Heidekamp (2013); Soğutma kulesi blöf suyunun tuzdan arındırılması için elektrodiyalizin veya membran kapasitif deiyonizasyonun uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Elektrodiyaliz (ED) işlemi, besleme suyunun tuz konsantrasyonuna, hücrelerdeki akış hızına ve membran tipine bağlıdır. Membran kapasitif deiyonizasyonda (MCDI) ise tuzdan arındırılması, esas olarak besleme suyunun iletkenliği ve yığına uygulanabilecek maksimum akım 20 amper ile sınırlandırılmıştır. Her iki sistemin membran performansı karşılaştırıldığında benzer iyon çıkarma oranları gözlemlenmiş ve iyon seçiciliğinde net bir fark elde edilmemiştir. ED ve MCDI ile soğutma kulesi blöf suyunun tuzdan arındırılmasındaki temel fark, enerji gereksinimidir. MCDI (2.1 kWh/m^3) için gereken enerji, ED (0.4 kWh/m^3)'ye kıyasla 5 kat daha yüksektir.

Lee vd. (2014); CDI ile bir pil sistemini birleştiren hibrit kapasitif deiyonizasyon (HCDI) olarak adlandırılan yeni bir tuzdan arındırma tekniğini önermiştir. HCDI bir sodyum manganez oksit ($Na_4Mn_9O_{18}$) elektrotu, bir anyon değişim membranı ve bir gözenekli karbon elektrottan oluşmaktadır. Bu sistemde, sodyum iyonları $Na_4Mn_9O_{18}$ elektrotundaki kimyasal reaksiyonla tutulurken, tuzdan arındırma işlemi sırasında klorür iyonları aktif karbon elektrotunun yüzeyine adsorbe edilir. HCDI, tipik bir CDI sistemine (13,5 mg/g) kıyasla iki kattan fazla iyon giderme sorpsiyon kapasitesi (31.2 mg/g) sergilemektedir. Ayrıca sistemin sulu bir sodyum klorür çözeltisi içinde hızlı bir iyon giderme hızına ve mükemmel stabiliteye sahip olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla HCDI sisteminin kapasitif tekniklerde yüksek oranda konsantre bir sodyum klorür çözeltisinin tuzunun giderilmesi için uygun bir yöntem olabileceği önerilmiştir.

Kartikaningsih vd. (2015); Kimyasal koagülasyon (pıhtılaştırma) ve elektrokoagülasyon (elektriksel pıhtılaştırma) yöntemleri ile Alüminyum hidroksit

($Al(OH)_3$) kullanarak sentetik sudan Bor ayrımını deneysel ortamda karşılaştırmışlardır. Kimyasal koagülasyon için 0.8 mol Alüminyum çözeltisi kullanılırken, buna eşit miktrada Alüminyum üretmek için sentetik çözelti içine yerleştirilen alüminyum elektrodlara 0.6 mA/cm^3 akım yoğunluğu uygulanmış, bor ayrımını elektrokoagülasyon yöntemiyle % 95'e kadar artmıştır. pH 12'de minimum ayrım görülmüştür. Kimyasal koagülasyonda ise bor ayrımı % 79'da kalmıştır.

Jaadar ve Sarbatly (2015); İçme suyunda nanofiber membran ile membran distilasyonu (MD) yapmışlardır. MD, su ve çözünmüş mineraller arasındaki ayrımı gerçekleştirmek için gözenekli bir hidrofobik zarın kullanıldığı termal olarak tahrik edilen bir membran işlemidir. Membranın hidrofobik yapısı, su buharının geçişine izin verirken sıvı suyun gözeneklerden geçişini engeller.

Hoshino (2015); Elektrodiyaliz ile lityum ayırmayı önermiştir. Diyaliz kullanılarak deniz suyundan lityumun geri kazanılması için önerilen yöntemde lityum, lityum ayırma zarı (LISM) olarak işlev gören bir lityum iyonik süper iletken aracılığıyla yalnızca negatif elektrot tarafından pozitif elektrot tarafına nüfuz ettirilmiştir. Sistemde iyonik bir sıvı emdirilmiş organik zarlar kullanılmıştır. Lityum tutmak için plaka benzeri gözenek hacmi küçültülmüş seramikler kullanmıştır. İki farklı kalınlıkta ve alanda plaka oluşturulmuştur. LISM-1'in alanı ve kalınlığı sırasıyla 20.3 cm^2 (5,08 cm çaplı, daire) ve 0.25 mm'dir ve LISM-2'nin alanı ve kalınlığı sırasıyla 25 cm^2 (5.0 cm kenar uzunluklu, kare) ve 0.18 mm'dir. Birinci elektrodiyaliz ünitesinde uygulanan diyaliz voltajı 2 V ve diyaliz süresi 24 saattir. İkinci ünitede bir tuz köprüsüyle oluşturulan konsantrasyon farkı ile dış voltaj olmadan lityum iyonları bir hücreden diğerine akar. Düşük konsantrasyona rağmen sadece lityum iyonlarının kazanımı sağlanabilmiştir.

Bunani vd. (2017); Bipolar Membran Elektrodiyalizi (BMED) ile lityum ve bor eş zamanlı ayırma ve geri kazanımını yapmışlardır. Çeşitli konsantrasyonlarda lityum tetraborat ($Li_2B_4O_7.5H_2O$) model çözeltisi kullanılmıştır. Örnek çözeltisindeki lityum

konsantrasyonları sırasıyla 34, 68, 170 ve 340 mg/L ve bor konsantrasyonları sırasıyla 100, 200, 500 ve 1000 mg/L 'dir. NaCl (Sodyum klorür) birlikte var olan Na ve Cl iyonlarının etkisini araştırmak için model çözelti içinde çözülmüştür. Uygulanan voltajlar 25, 28, 30 ve 35 volttur. Numune bölmesinin hacmi 2 litre ve asit ile baz bölmelerinin hacmi sırasıyla 200 mL 0.1 mol/L HCl ve 0.1 mol/L NaOH 'dır. Elektrot bölmesinde 500 mL 0.1 mol/L NaOH dolaştırılmış ve BMED sistemi 2 saat çalıştırılıp kimyasal analizler için her 20 dakikada bir asit ve baz bölmelerinden numune alınmıştır. 40 dakikada 2 litre numune üzerinden %90 üzerinde verimlilikte ürün geri kazanmışlardır.

Recepoğlu vd. (2017); Adsorpsiyon ve Ultrafiltrasyon (UF) membranını birleştiren bir hibrit sistem kullanmışlardır. Ultrafiltrasyon delikli fiber membranı, katı toz formunda olan $LiMnO_2$ adsorbentlerinin filtrasyonu ve ayrıca süzüntü toplama için kullanılmıştır. Spinel tipi lityum manganez dioksitten türetilen λ-MnO_2 kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, lityumu jeotermal sudan ayırmak için en uygun çalışma koşulları, 6 mL/dk taze ve doymuş adsorban değiştirme hızı ve 5 mL/dk süzüntü akış hızı ile adsorban konsantrasyonu 1.5 g-adsorban/L-çözelti olan toz halinde λ-MnO_2 ile bulmuşlardır. Çok ince partiküllerle kolayca çalışma avantajı sağlayan adsorpsiyon-ultrafiltrasyon hibrit sisteminin, lityumun jeotermal sudan ayrılması için uygun bir süreç olarak değerlendirilebileceğini savunmuşlardır.

Hassanvand vd. (2017): Membran kapasitif deiyonizasyonda (MCDI) iyon değişim membranları ve elektrodiyaliz (ED) yöntemleri ile desalinasyonu (tuzdan arındırma) tartışmıştır. Birincisinde sabitlenen en yaygın pozitif yüklü gruplar, anyonların taşınmasına ve katyonları reddetmeye izin veren NH_3^+, $–NRH^{2+}$, $–NR_2H^+$ ve NR^{3+}'dır. Öte yandan, katyon değişim memranları (CEM) katyonların taşınmasına izin veren ve anyonları reddeden $–SO^{3–}$, $–COO^–$, $PO_3^{2–}$ ve $PO_3H^–$ içerir. Bir katyon ve anyon değişim mebranının kombinasyonu, bipolar iyon değişim zarı olarak bilinen üçüncü bir tür zar üretir. Ayrışma yapılacak olan tuzlu suyun toplam çözünmüş katı madde (TDS) değeri <2 g/L ve efluent (çıkış suyu)'in TDS'si >0.5g/l ise MCDI, Ters Ozmoz (RO)'dan daha az enerji harcar. MCDI veya CDI performansını gösteren birkaç

anahtar parametre vardır. Tuz giderme verimliliği, her adsorpsiyon döngüsünde besleme akışından çıkarılan tuzun yüzdesidir ve hücre geometrisini, besleme akış hızlarını, uygulanan yükü ve karbon özelliklerini yansıtır. Genel olarak, MCDI, ko-iyon adsorpsiyonunun neredeyse tamamen ortadan kaldırılması nedeniyle CDI ile karşılaştırıldığında daha iyi tuz giderme verimliliği sağlar. Bu tür verimlilikler, MCDI ve m-MCDI için esas olarak %70'in üzerindeyken, CDI hücreleri için bunlar çoğunlukla %70'in altındadır.

Ventura vd. (2018); Nanoyapılı sulu mangansioksit (MnO_2) polimer hibrit emici boncukları kullanarak, lityum alımı kinetiğinin, 1 gram emici ile lityum alım kapasitesinin 16.2 mg miktarına kadar hızlı olduğu bulunmuştur. Uygulanan yöntem ile yüksek konsantrasyonlarda Na^+, K^+, Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonları içeren sentetik tuzlu sularda lityum alımı için yüksek seçicilik belirlenmiştir. Manganez oksit ile lityum manganez oksit oluşturulup 150 μm büyüklüğündeki hibrit nanokompozit emici boncukları ile lityum alımı arttırılmıştır. Sonrasında rejenere etmek için 0.5M HCl (hidroklorik asit) ile yıkananan emici boncuklar, pH 5 ve 7 arasındaki sentetik jeotermal tuzlu su ile test edilmiştir. Nano yapılı sulu manganez oksit ve bir lityum baskılı polimere dayalı yeni bir hibrit nanokompozit sorbent (emici madde) geliştirilip sorbent yüksek konsantrasyonda alkali ve toprak alkali metallerin mevcudiyetinde lityum çıkarma kabiliyeti açısından bir akış sisteminde test edilmiştir. Lityum alımının kinetiğinin 30 BV (yatak hacmi - *bed volume*)/saate kadar hızlarda tuzlu su akan, dolgulu yataklı bir kolonda lityum sorpsiyonu (soğrulması) oluşmuştur. Sorbent, yüksek konsantrasyonlarda Na^+, K^+, Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarının varlığında Li^+ için yüksek seçicilik ve mükemmel lityum kapasitesi (16.2 mg Li/g sorbent'e kadar) göstermiştir.

Van Limpt ve Van Der Wal (2014). ticari MCDI ile soğutma suyu geri dönüşüm akışlarında seri halinde (her biri 6 m^2 hücre alanı sağlayan) iki MCDI modülünün çalışmasını izlemişlerdir. Modüller iki farklı saha lokasyonunda altı aydan fazla sabit akım koşulları altında çalıştırılarak MCDI işlemi, iletkenliğin %70 giderilmesi, %83 su geri kazanımı ve kimyasal kullanımında %85 tasarruf ile sonuçlanmıştır.

Rejenerasyon sırasında akış hızı düşürülerek yüksek su geri kazanımı sağlanmıştır. MCDI'de, 0.1 ile 0.2 kWh/m^3 bir enerji tüketimi tespit edilirken, aynı tür tuzlu sularda RO kullanıldığında oluşan 0.85–1.55 kWh/m^3 enerji tüketildiği rapor edilmiştir. Enerji kullanımı önemli ölçüde daha düşüktür. Çalışma sırasında elektrodların üzerine organik materyal ve özellikle demir olmak üzere kalsiyum, magnezyum gibi inorganik materyaller birikebilmektedir. Elektrotları temizlemek için asit-alkali temizlik işlemi uygulanmıştır (0.01M sitrik asit ve 0.01 M NaOH). CEM (Katyon değişim membranında) asidik koşullarda çökelim olurken AEM (Anyon değişim membranı) nda ise bazik ve nötral koşullarda çökelim olmaktadır. Sıcaklık arttıkça kalsiyum çökelim riski artmaktadır.

Atlantis Technologies(2014): Silindirik olarak modifiye edilmiş 100 elektrot çiftine sahip bir MCDI hücresini ticarileştirmişir. Bu yaklaşım, fosfat madenciliği atıksuları, şeyl gazı üretilen su ve çöp sızıntı suyu üzerinde test edilmiş ve daha yaygın tuzlara ek olarak selenyum, cıva, arsenik ve uranyum gibi eser metalleri etkili bir şekilde ortadan kaldırdığı gösterilmiştir. Teknolojiye Radyal Deiyonizasyon (RDI) denmektedir.

Mroczek vd. (2019); Aüminyum ve demir elektrokoagulasyon ünitesiyle 80 ^oC 'deki jeotermal sudan arsenik ve silisyumdioksit ayrımı yapmaya çalışmışlardır.

Tablo 3.1 Jeotermal Akışkandan Mineral Eldesi Teknolojileri

Mineral	**Teknoloji**	**Referans**
Ag (Gümüş)	Metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi	Maimoni (1982)
	Çelik hasır plakalar üzerinde biriktirme	Brown ve Roberts (1988)
	Jeotermal çökelden Gümüş ayırma	Gallup (1992)

Tablo 3.1 Devamı

Au (Altın)	Jeotermal çökelde altın Oluşumu	Brown (1986); Gallup (1998)
	Çelik hasır plakalar üzerinde biriktirme	Brown ve Roberts (1988)
	Jeotermal çamurun/çökelin biyokimyasal liçi	Premuzic vd. (1997)
Cu (Bakır)	Jeotermal çökelden As, Cu, Zn liçi	Peralta vd. (1996)
	Metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi	Maimoni (1982)
Mn (Mangan)	Mn-oksitlerin kireç kaynaklı seçici çökelmesi, Flaş sonrası silikadan arındırılmış brine'da çöktürme ve pH 8-9 aralığında hidroksit olarak çöktürme	Harrison (2014)
SiO2 (Silisyumdioksit)	1250 ppm'e (ters ozmoz ile) konsantre edilmiş SiO2' nin, kolloidlerini büyütmek için yaşlandırılması ve filtrelenmesi	Bourcier vd. (2014)
	Pilot tesis	Roberts (2009)
	Elektrokoagulasyon ile As ve SiO2 ayrımı	Mroczek vd. (2019)
	Elektrokoagulasyon ile Si, As ve Sertlik giderimi	Mohan, (2009);
	SiO2'nin kireç ile kalsiyum silikat olarak çöktürülmesi	Rothbaum and Anderton (1976) Shannon vd. (1982); Kato vd. (2000); Sasan vd. (2016)
Zn (Çinko)	Kireç kaynaklı seçici çökeltme	Christopher vd. (1975)
	Metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi	Maimoni (1982); Christopher vd. (1975)
	Flaş sonrası silikadan arındırılmış brine'da çöktürme	Harrison (2014)
	pH stabilize (kireçli) tuzlu suyun H2S ile işlenmesiyle çökeltme	Shultze and Bauer (1985)

Tablo 3.1 Devamı

B (Bor)	Reçine ile uzaklaştırma	Recepoglu (1991); Badruk vd. (1999); Yan vd. (2008)
	Bipolar Membran Elektrodiyalizi (BMED)	Bunani, S. vd. (2017)
	Koagülasyon, Elektrokoagulasyon	Kartikaningsih vd. (2015)
	Kimyasal yolla çökeltim	Yılmaz vd. (2012)
Cs (Sezyum) ve Rb (Rubidyum)	Fraksiyonel çökeltme, İyon değişimi, Solvent ekstraksiyonu	Zhang vd (2020); Schulz ve Bray, (1987)
	Cs ve Rb'nin (K ile birlikte) tetrafloroborat ile desilikasyondan yapılmış ve deferrike edilmiş tuzlu sulardan uzaklaştırılması	Zhang vd. (2014)
Li (Lityum)	AlCl3 ve kireç bulamacı ilavesi ile pH'ın 7.5'e yükseltilmesi ve Li-Al olarak çökeleğinin HCl ile çözündürülmesi	Pauwels vd. (1995)
	pH 10±0.5'te alüminyum hidroksit ile Li birlikte çökeltme	Rothbaum ve Middendorf (1986)
	Li eldesi için LiCl-alümina peletlerin kullanımı	Bauman vd. (2001); Schultze ve Bauer (1984)
	SiO2 uzaklaştırılmış tuzlu sudan Li sorpsiyonu	Harrison (2014)
	Li-Mn veya Li-Fe-Mn oksitler üzerinde Li sorpsiyonu	Iwanaga vd. (2007); Park vd. (2012); Chitrakar vd. (2014); Pawels, Fouillac, Brach (1989)
	Elektrodiyaliz	Mroczek vd. (2015a)
	Nanoyapılı sulu MnO2 ,polimer hibrit sorbent boncukları	Ventura vd. (2018)
	Adsorpsiyon ve Ultrafiltrasyon (UF)	Recepoğlu vd. (2017)
	MnO2 ve TiO2 adsorbent ile Li ve As Yakalama	Park vd. (2012)
	Elekrodiyaliz	Hoshino (2015); Harrison(2018)
	Elektrodiyaliz	Mroczek vd. 2015
	Bipolar Membran Elektrodiyalizi (BMED)	Bunani vd. (2017)

Tablo 3.1 Devamı

Pt (Platin)	Jeotermal tuzlu su ile karbon temas ettirilerek Pt geri kazanımı	Gallup ve Ririe (1994)
Sn (Kalay)	Metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi	Maimoni (1982)
Sr (Stronsiyum)	İyon değiştirici reçineler	Orth ve Kurath (1994)
	Solvent ekstraksiyonu	Schulz ve Bray, (1987)
Nadir Toprak Elementleri ve Ağır metaller	Özel reçine üzerinde REE'lerin ön konsantrasyonu ve asit elüsyonu ile geri kazanım	Thomas vd., (2015); Noack vd. (2015);
	Jeotermal akışlan içinde bulunan nadir toprak elementlerinin mühendislik çalışmalarıyla özel üretilmiş seçici bakteriler tarafından yakalanması	Thomas vd., (2015); Ajo-Franklin vd. (2017)
	Jeotermal tuzlu sulardan REE'lerin seküstrasyonu	Stull (2016)
	Gelişmiş sorbent yapıları ile jeotermal sulardan değerli metal ve REE'lerin geri kazanılması	Addleman (2014)
	Detekli sıvı membran (SLM) ise sıvı sıvı ekstraksiyonu	Parhi (2013)
	Radyal Deiyonizasyon (RDI) ile Hg, As, Se, U arıtımı	Atlantis technologies
	Manyetik çekirdek-kabuk mikroküreler ile nadir toprak elementi ayıklama	Lui vd. (2021); Elsaidi vd. (2018); McGrail (2015)

Bu bölümde bahsi geçem araştırmacıların yanında, gerek jeotermal sistemlerden minderal eldesi gerekse tuzlu sulardan kullanılabilir/içilebilir ya da endüstriyel su eldesi sırasındaki enerji ve hammadde ihtiyacının azaltılması için birçok çalışmalar yapılmaktadır.

3.2 Batı Anadolu Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sahalarından Kazanılabilecek Mineraller ve Rezerv Tahminleri

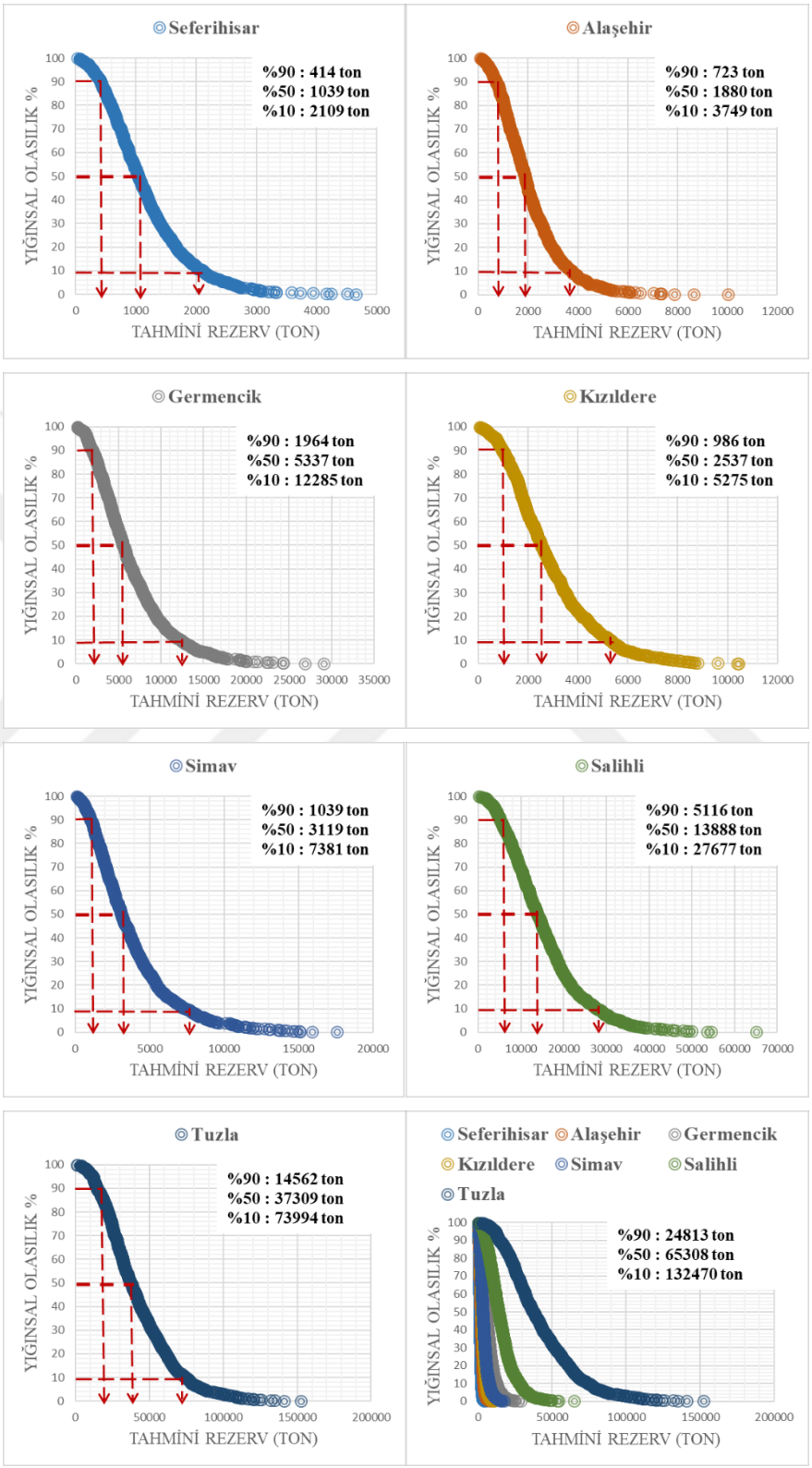
Bu bölümde tez kapsamında belirtilen Kızıldere, Germencik (Gümüşköy-Ömerbeyli), Alaşehir, Salihli (Kavaklıdere-Ahmetli), Simav (Eynal, Naşa ve Çitgöl'ü), Seferihisar (Orhanlı- Doğanbey) ve Çanakkale-Tuzla jeotermal alanlarında bulunan Lityum (Li) , Sezyum (Cs), Mangan (Mn), Stronsiyum (Sr), Neodim (Nd), Stibnit (Sb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Rubidyum (Rb), Gümüş (Ag) ve Silika (SiO_2) minerallerinin özellikleri, kullanım alanları, bu çalışmada hesaplanan tahmini rezerv değerleri, rezervin ekonomik değeri ve kullanılabilir çıkartım yöntemlerinden bahsedilecektir.

3.2.1 Lityum (Li)

Lityum, atom numarası 3, atom ağırlığı 7 g/mol, deneysel atom yarıçapı 152 pm olan, 6,96 g/cm3 yoğunluğunda nadir elementlerden biridir. Büyük kapasiteli şarj edilebilir piller, hafif uçak alaşımları ve nükleer füzyon yakıtı için malzeme olarak kullanılır. Li'nin mevcut kaynakları, toplamda yaklaşık 34 milyon ton içeren maden ve tuz gölleridir. Li miktarına rağmen bu kaynaklar şu anda yeterliyse de yakın gelecekte artan talebi karşılamak için alternatif kaynaklardan yararlanılmalıdır. Deniz suyu ve diğer kullanılamayan sıvılar, potansiyel Li kaynakları olarak kabul edilir. Son zamanlarda, nispeten yüksek konsantrasyonda Li ve deniz suyuna göre bir arada bulunduğu iyonların düşük konsantrasyonundan dolayı, Li kaynağı olarak jeotermal suya olan ilgi artmaktadır (Schwochau, 1984; Weiser ve Coplen 2011).

Son dönem pil teknolojilerinde büyük öneme sahip Lityum değerinin Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.2 ve Şekil 3.3' de verilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 414 ton, Alaşehir'de 723 ton, Germencik' te 1964 ton, Kızıldere'de 986 ton, Simav'da 1039 ton, Salihli'de 5116 ton, Tuzla'da 14572 ton

olarak tahmin edilmiştir. Beklenir rezerv miktarlarının da; Seferihisar'da 1039 ton, Alaşehir'de 1880 ton, Germencik' te 5537 ton, Kızıldere'de 2537 ton, Simav'da 3119



Şekil 3.3 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Lityum rezerv tahmini

Tablo 3.2 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Lityum rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Lityum)	414	1039	2109
Alaşehir (ton Lityum)	723	1880	3749
Germencik (ton Lityum)	1964	5537	12285
Kızıldere (ton Lityum)	986	2537	5275
Simav (ton Lityum)	1039	3119	7381
Salihli (ton Lityum)	5116	13888	27677
Tuzla (ton Lityum)	14572	37309	73994
Toplam	**24813**	**65308**	**132470**

ton, Salihli'de 13888 ton ve Tuzla'da 137309 ton olarak tahmin edilmiştir. Olası rezerv miktarlarının ise; Seferihisar'da 2109 ton, Alaşehir'de 3749 ton, Germencik' te 12285 ton, Kızıldere'de 5275 ton, Simav'da 7381 ton, Salihli'de 27677 ton, Tuzla'da 73994 ton Lityum rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında da en olası Li rezervi 24813 ton, beklenir Li rezervi 65308 ton ve olası Li rezervi 132470 ton olduğu tahmin edilmiştir.

Jeotermal sahalarda Lityum üretilmesi için yapılan uygulamalarda çoğunlukla iyon değiştirici reçineler tercih edilmektedir. Fakat bu türlü reçineler kullanılırken jeotermal akışkan debisi oldukça düşüktür. Silika, Magnezyum, Sodyum, Kalsiyum gibi elementlerin bileşikleri ve jeotermal tesislerde çökelim oluşumunu engellemek amacıyla kullanılan inhibitörler reçinelere zarar verebilmekte ve kirliliği artırmaktadır. Lityum elementinin reçineden geri alınabilmesi için ekstra kimyasala ihtiyaç duyar ve reçinelerin kullanım ömrü vardır. İyon değiştiricilere alternatif olarak önerilen elektrodiyaliz ve ters elektrodiyaliz yöntemlerindeyse jeotermal akışkanın yanında daha seyreltik bir akışkana ve elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Diğer elektrik yöntemlere nazaran düşük enerji kullanımı ve yüksek seçici olması nedeniyle geleneksel reçine yöntemine rakip olarak gelişime açık bir yöntemdir (Mroczek vd., 2005,; Iwanaga vd., 2007; Park vd., 2012; Chitrakar vd., 2014; Pauwels, vd. 1995; Pawels, Fouillac ve Brach, 1989; Christopher vd., 1975; Yoshinaga, Shultze ve Bauer, 1984; Rothbaum ve Middendorf, 1986; Bauman vd., 2001; Schultze ve Bauer, 1984;

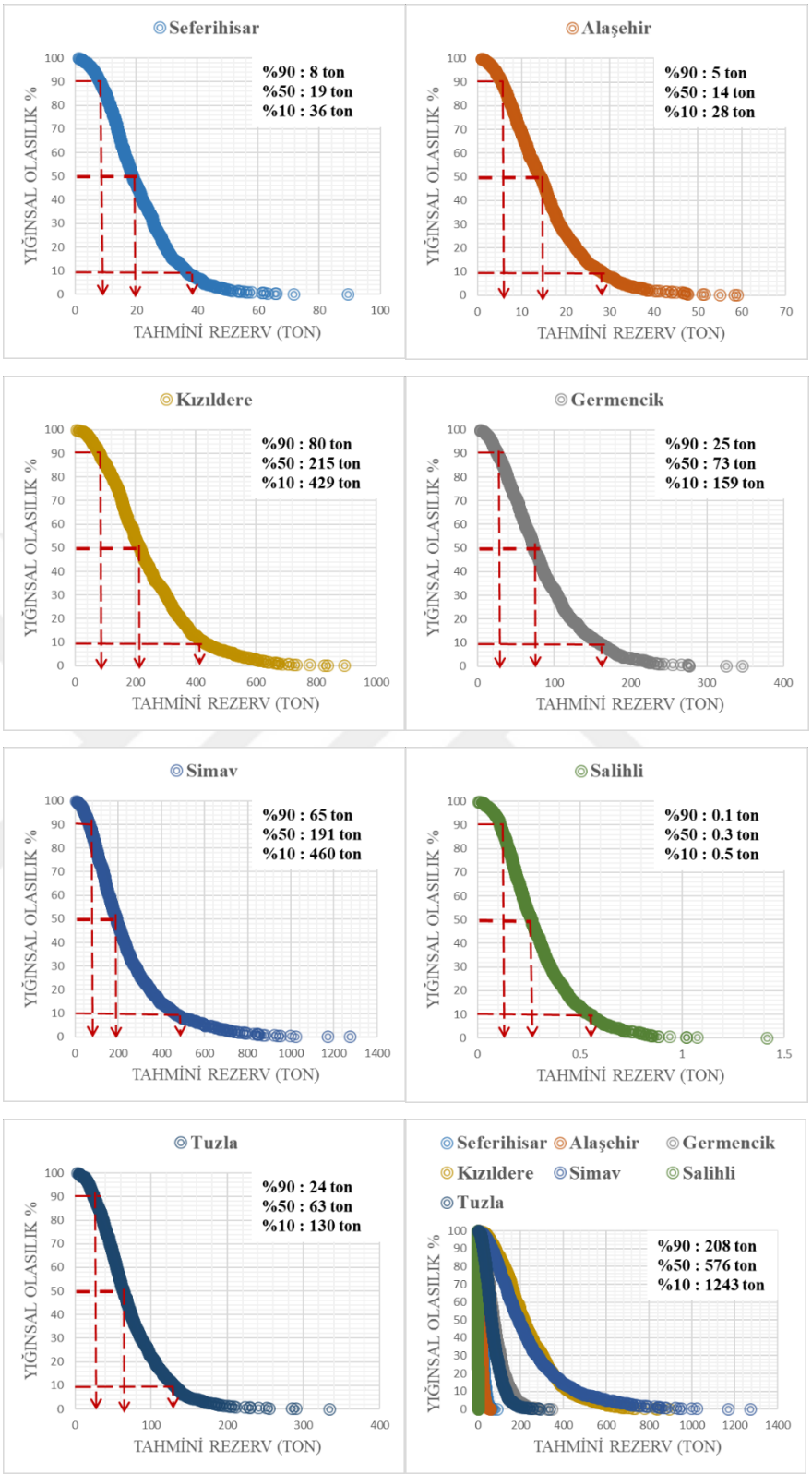
Harrison, 2018; Mroczek vd., 2015a; Ventura vd., 2018; Recepoğlu vd., 2017; Park vd., 2012; Hoshino, 2015; Bunani, vd., 2017).

3.2.2 Mangan (Mn)

Yeryüzünde en çok rastlanan 12. elementtir ve demir, bakır ve alüminyumdan sonra en çok kullanılan metaldir. Atom ağırlığı 54.94 g/mol, atom numarası 25 ve ergime noktası 1244°C'dir. Fosfor, kükürt ve oksijen ile ergime sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda kolay bir şekilde bileşik yapabilmektedir. Çelik bünyesinde bulunan fosfor ve kükürdün giderilmesinde kullanılmaktadır. Bunlar haricinde manganez, alüminyum endüstrisinde alaşım malzemesi olarak, pil üretiminde, cam ve seramik endüstrisinde, elektrolitik çinko üretiminde, kaynak endüstrisinde, oto boyası, çimento, refrakter, petrokimya, fotoğrafçılık, suni gübre ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. Mangan sülfat, kimya endüstrisinde, ilaç endüstrisinde ve gübre endüstrisinde kullanılmaktadır (John R de Leater, 2003; Rancke-Madsen, 1975; Eberhard,1980). Bunun yanında lityum ayrımı için kullanılan iyon değiştirici reçinelerde mangan oksit yaygın olarak kullanılmaktadır. Pil teknolojilerinde ve son dönemde değeri artan Lityum eldesinde kullanılmakta olan Mangan'ın Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Mangan rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Mangan)	8	19	36
Alaşehir (ton Mangan)	5	14	28
Germencik (ton Mangan)	25	73	159
Kızıldere (ton Mangan)	80	215	429
Simav (ton Mangan)	65	191	460
Salihli (ton Mangan)	0,1	0,3	0,5
Tuzla (ton Mangan)	24	63	130
Toplam	**208**	**576**	**1243**



Şekil 3.4 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Mangan rezerv tahmini

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 8 ton, Alaşehir'de 5 ton, Germencik' te 25 ton, Kızıldere'de 80 ton, Simav'da 65 ton, Salihli'de 0,1 ton, Tuzla'da 24 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 19 ton, Alaşehir'de 14 ton, Germencik' te 73 ton, Kızıldere'de 215 ton, Simav'da 191 ton, Salihli'de 0,3 ton, Tuzla'da 63 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 36 ton, Alaşehir'de 28 ton, Germencik' te 159 ton, Kızıldere'de 429 ton, Simav'da 460 ton, Salihli'de 0,5 ton, Tuzla'da 130 ton Mangan rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Mn rezervi 208 ton, beklenir Mn rezervi 576 ton ve olası Mn rezervi 1243 ton olduğu tahmin edilmiştir.

Kireç ile seçici çökeltim ve pH 8-9 aralığında hidroksit olarak çöktürme gibi kimyasal sarfına dayalı metodlar kullanılabilemektedir. Termal yöntem ile flaş sonrası silikadan arındırılmış brine'da kimyasal yollarla çöktürmesine dayalı birleştirilmiş yöntemler ile Mangan minerallerinin üretimi mümkündür (Harrison, 2014)

3.2.3 Neodimyum veya Neodim (Nd)

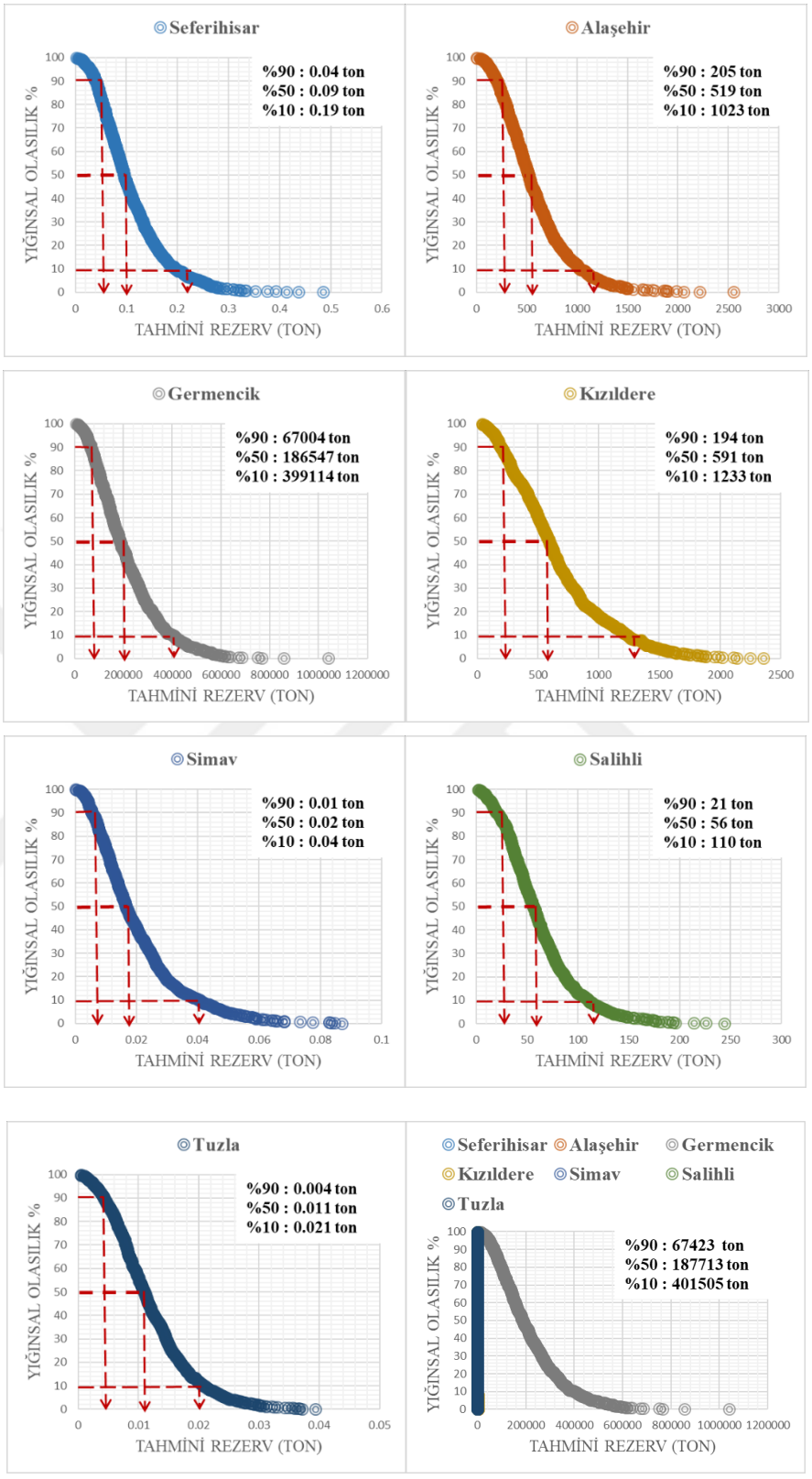
Atom numarası 60, atom ağırlığı 144,3 g/mol, deneysel atom yarıçapı 229 pm olan, seryumdan daha sert, 0,534 g/cm^3 yoğunluğunda bir elementir. Havada kolayca oksitlenen, gümüş-beyazı renkte, nadir bir metalik elementtir. Periyodik tabloda geçiş metallerinin bir alt serisini oluşturan lantanitler grubunda, 6. periyotta bulunur. Neodimyum, lazerler için yapay yakut yapımında, kaynakçı gözlüklerine takılan praseodimli özel bir cam üretiminde kullanılır. Parlak mor cam ve kızılötesi radyasyonu filtreleyen özel cam üretmek içinde neodimyumdan yararlanılır. Demir kirleticilerin neden olduğu camdaki yeşil rengi azaltmak için camlara eklenir. Çakmak taşı yapımında ayrıca bor ve demirle birlikte güçlü neodimyum mıknatıs yapımında kullanılır. Neodimyum mıknatısların manyetik alan şiddetleri, hacim ve grade derecelerine göre değişmektedir. N serisi olarak nitelendirilir. N serisi artıkça manyetik gauss değeri derecesi ve mıknatısın imal edildiği hacime göre artmaktadır. Endüstriyel sektörün ihtiyaç ve talebine göre daha hacimli neodimyum mıknatıslar üretilmekte bu mıknatıslar kontrol tecrübesi ve bilgisi olmayan taraflarca kullanıldığı

zaman ciddi yaralanmalar olabilmektedir. Hatta uzuv kayıpları dahi olmaktadır.1885 yılında keşfedilmiştir. Çin'de çıkarılmaktadır. Neodymium bileşikleri ticari olarak ilk kez 1927 yılında kullanılmıştır (John R de Leater vd., 2003; Toshiba 2012; Zhang vd., 1992; Kondrukevich vd., 2008; Bray, 2001).

Neodim elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmektedir. Çalışma kapsamındaki hesaplamalara göre en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0,04 ton, Alaşehir'de 205 ton, Germencik' te 67004 ton, Kızıldere'de 194 ton, Simav'da 0,01 ton, Salihli'de 21 ton, Tuzla'da 0,004 ton olarak belirlenmiştir. Beklenir rezerv miktarları da; Seferihisar'da 0,09 ton, Alaşehir'de 519 ton, Germencik' te 186549 ton, Kızıldere'de 591 ton, Simav'da 0,02 ton, Salihli'de 56 ton, Tuzla'da 0,011 ton olarak belirlenmiştir. Olası rezerv miktarlarının ise; Seferihisar'da 0,19 ton, Alaşehir'de 1023 ton, Germencik' te 399141 ton, Kızıldere'de 1233 ton, Simav'da 0,04 ton, Salihli'de 110 ton, Tuzla'da 0,021 ton Neodim rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Nd rezervi 67423 ton, beklenir Nd rezervi 187713 ton ve olası Nd rezervi 401508 ton olarak tahmin edilmiştir. Neodim, sıvı-sıvı ekstraksiyonu yöntemi ile di(2-etil-hexil) fosforik asit ile hekzan içerisinde iyon değişimi mekanizmasıyla çıkartılabilmektedir (Valiente, 1999).

Tablo 3.4 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Neodim rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Neodim)	0,04	0,09	0,19
Alaşehir (ton Neodim)	205	519	1023
Germencik (ton Neodim)	67004	186547	399141
Kızıldere (ton Neodim)	194	591	1233
Simav (ton Neodim)	0,01	0,02	0,04
Salihli (ton Neodim)	21	56	110
Tuzla (ton Neodim)	0,004	0,011	0,021
Toplam	**67423**	**187713**	**401508**



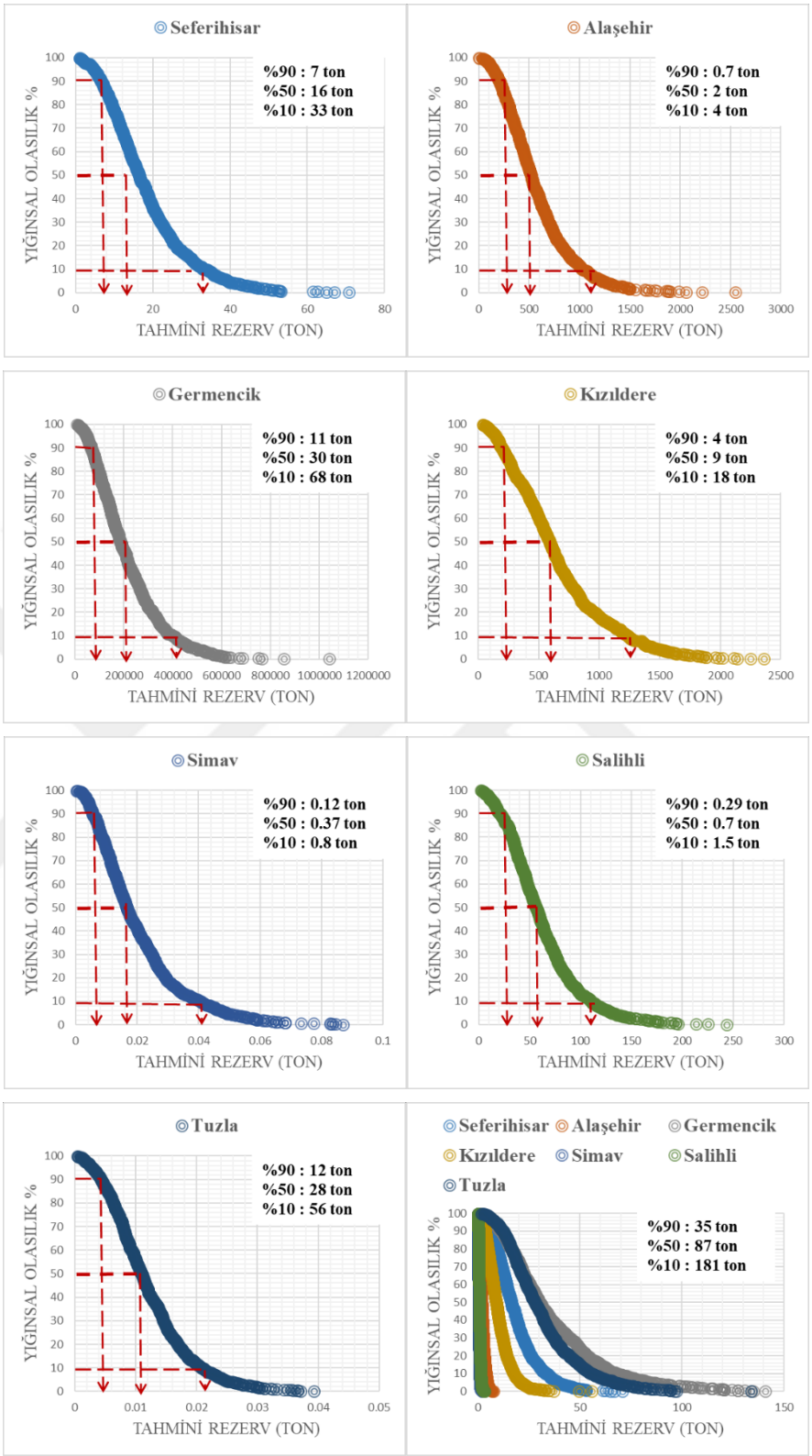
Şekil 3.5 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Neodim rezerv tahmini

3.2.4 Sezyum (Cs)

Sezyum atom numarası 55 olan, alkali metaller grubuna ait bir kimyasal element. Sezyum uzayabilen ve çok yumuşak bir metaldir (Sertlik 0,2). Soy olmayantepkimeye, çok istekli bir metaldir ve hemen hemen bütün elementlerle şiddetle veya alev çıkartarak tepkimeye girer. Metal havada hızlı bir şekilde kırmızı-mor alevle yandığı için vakumda saklanır. Suyla bilinen en güçlü baz olan sezyum hidroksiti (CsOH) oluşturur. Sezyum elementi bir çok organik bileşiğin hidrojenlenmesinde katalizör olarak, atomik saat olarak, fotoelektrik hücrelerde ve vakum tüplerinde, IR lambasında kullanılır ve ayrıca oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı elektron tüplerinde gaz giderici olarak da kullanılır (Haynes, 2011; Clark, 2005; Greenwood ve Earnshaw, 1984; Essen ve Parry 1955;Butterman vd., 2004). Sezyum elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.5 ve Şekil 3.6'de verilmektedir

Tablo 3.5 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Sezyum rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Sezyum)	7	16	33
Alaşehir (ton Sezyum)	0,7	2	4
Germencik (ton Sezyum)	11	30	68
Kızıldere (ton Sezyum)	4	9	18
Simav (ton Sezyum)	0,12	0,37	0,8
Salihli (ton Sezyum)	0,29	0,7	1,5
Tuzla (ton Sezyum)	12	28	56
Toplam	**35**	**87**	**181**



Şekil 3.6 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Sezyum rezerv tahmini

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da en 7 ton, Alaşehir'de 0,7 ton, Germencik' te 11 ton, Kızıldere'de 4 ton, Simav'da 0,12 ton, Salihli'de 0,29 ton, Tuzla'da 12 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da en 16 ton, Alaşehir'de 2 ton, Germencik' te 30 ton, Kızıldere'de 9 ton, Simav'da 0,37 ton, Salihli'de 0,7 ton, Tuzla'da 28 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da en 33 ton, Alaşehir'de 4 ton, Germencik' te 68 ton, Kızıldere'de 18 ton, Simav'da 0,8 ton, Salihli'de 1,5 ton, Tuzla'da 56 ton Sezyum rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Sezyum rezervi 35 ton, beklenir Sezyum rezervi 87 ton ve olası Sezyum rezervi 181 ton olarak tahmin edilmiştir. Fraksiyonel çökeltme, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu (Zhang vd, 2020; Schulz ve Bray, 1987) ve (K ile birlikte) tetrafloroborat ile desilikasyondan arındırılmış ve deferrike edilmiş tuzlu sulardan uzaklaştırılması (Zhang vd.,2014) ile Sezyum elde edilebilir. Kimyasal ve elektrik yöntemler başlıca Sezyum üretimi için kullanılan yöntemlerdir.

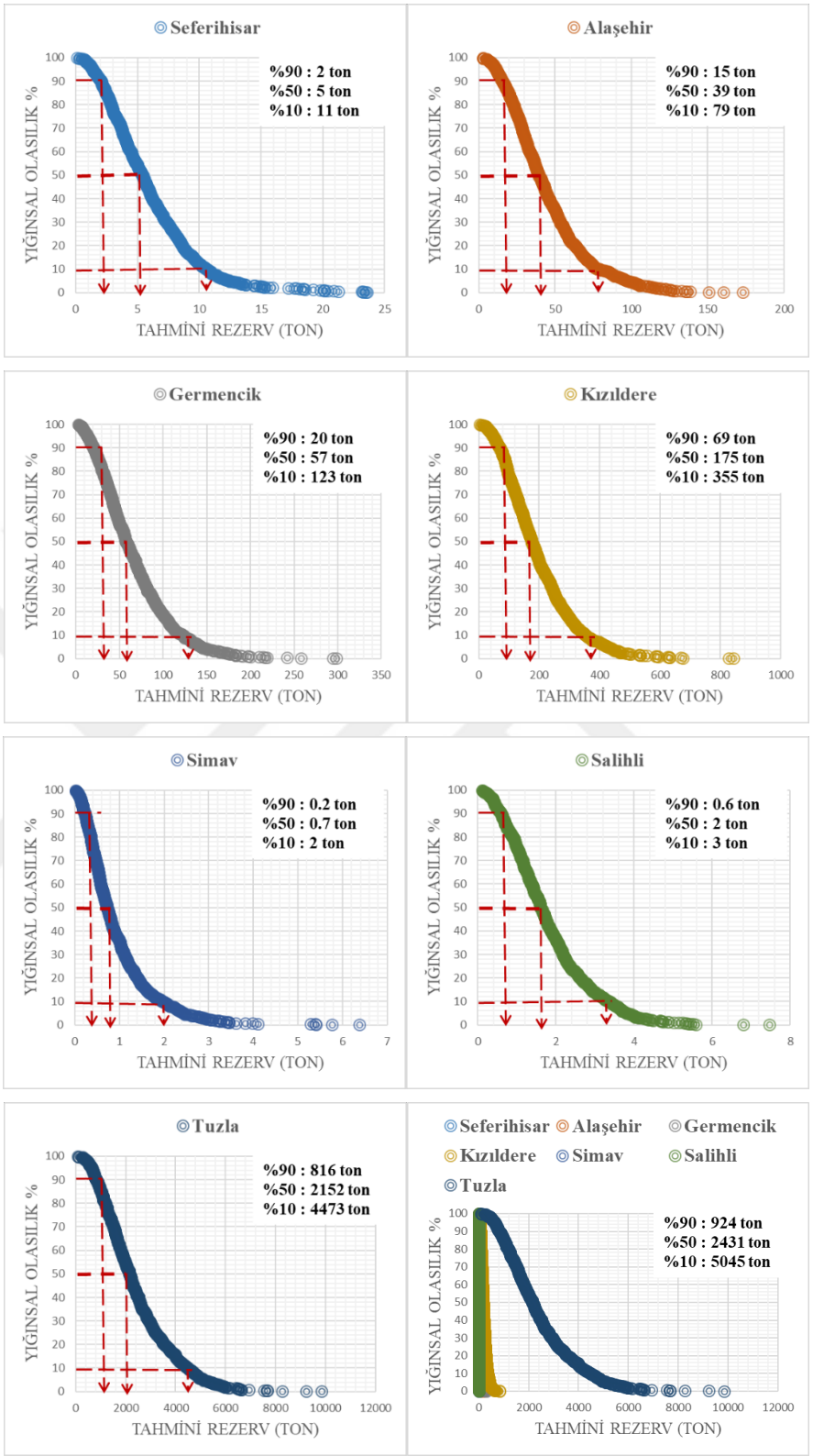
3.2.5 Stronsiyum (Sr)

Stronsiyum, atom numarası 38 olan, toprak alkali metaller grubundan gümüşümsü beyaz renkli bir kimyasal elementtir. Bileşiklerinden stronsiyum sülfidsülfit, havai fişeklerde ve boyalarda kullanılır. Oda sıcaklığında katı olan elementin atom ağırlığı 87,62 g/mol'dür. Stronsiyum, kimyasal olarak son derece reaktif olup, hava ile temas ettiği takdirde sarı rengine döner. Stronsiyum tüketimi genellikle stronsiyum karbonat şeklindedir. Karbonat şeklinde yaygın olarak yüksek voltajlı televizyon tüplerinde kullanılır. Otomotiv sanayisinde, demir cevheri seperatörlerinde, fotokopi makinelerinde ve özel alaşımlarda kullanılan seramik ferritlerin üretiminde de stronsiyumdan faydalanılır. Atomik yarıçapı büyük olan stronsiyum, X ışınlarının nötralize edilmesinde de kullanılır. Bileşiklerinden stronsiyum sülfidsülfit, havai fişeklerde ve boyalarda kullanılır. Stronsiyum nitrat, ilaç sanayisinde ve aleve koyu kırmızı renk verdiği için havai fişeklerde kullanılır. Stronsiyum oksit, ilaçlarda da kullanılan bir bileşiktir ve stronsiyum ferrit üretiminde ara ürün olarak kullanılır.

Stronsiyum hidroksit, şeker fabrikalarında melastan şekeri kurtarmak için kullanılan bir bileşiktir. Stronsiyum silikat bileşiği ise, yüksek kaliteli demir üretiminde önemli bir maddedir. Stronsiyumun önemli bir bileşiği olan stronsiyum kromat; pigmentlerde pas önleyici, polivinil klorür reçinelerde renklendirici olarak, piroteknik uygulamalarda, alüminyum pul kaplamalarda ve bazı alaşımlarda da pas önleyici astar olarak kullanılır. Stronsiyum titinat, refraktif indeksi yüksek bir bileşiktir ve optik yayılımı elmastan fazladır, bu nedenle optik uygulamalarda kullanılır. Sr-90 izotopu, nükleer güç sistemlerinde kullanılır; termoelektrik santrallerde ısı kaynağıdır. Stronsiyum, bileşikleri ve alaşımlarının kullanıldığı bazı ürünler; sinyal maddeleri, boyalar, cam, ilaçlar, kuru fırınlar, uçak motorları, çinko elektrolizi, yağlayıcı olarak mil yataklarında, sabit mıknatıslar, elektrik ürünleri, kaplamalar, uzay araçları, kozmetik ürünler, monitör camları, jeneratörler, hoparlörler, telefon zilleri, alıcılar, oyuncaklardır (Hammond, 2005; Nordin, 1968; Ober ve Polyak, 2007; MacMillan vd., 2002). Stronsiyum elementi, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmektedir.

Tablo 3.6 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Stronsiyum rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Stronsiyum)	2	5	11
Alaşehir (ton Stronsiyum)	15	39	79
Germencik (ton Stronsiyum)	20	57	123
Kızıldere (ton Stronsiyum)	69	175	355
Simav (ton Stronsiyum)	0,2	0,7	2
Salihli (ton Stronsiyum)	0,6	2	3
Tuzla (ton Stronsiyum)	816	2152	4473
Toplam	**924**	**2431**	**5045**



Şekil 3.7 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Stronsiyum rezerv tahmini

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 2 ton, Alaşehir'de 15 ton, Germencik' te 20 ton, Kızıldere'de 69 ton, Simav'da 0,2 ton, Salihli'de 0,6 ton, Tuzla'da 816 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 5 ton, Alaşehir'de 39 ton, Germencik' te 57 ton, Kızıldere'de 175 ton, Simav'da 0,7 ton, Salihli'de 2 ton, Tuzla'da 2152 ton, olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 11 ton, Alaşehir'de 79 ton, Germencik' te 123 ton, Kızıldere'de 355 ton, Simav'da 2 ton, Salihli'de 3 ton, Tuzla'da 4473 ton Stronsiyum rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Sr rezervi 924 ton, beklenir Sr rezervi 2431 ton ve olası Sr rezervi 5045 ton olarak tahmin edilmiştir.

Genel olarak nükleer atıklar içerisinden ayırtlanmaya çalışılan stronsiyum için**,** Amerikanyum, Neptünyum, Pluyonyum, uranium ve teknetyum sezyum ve stronsiyumun asidik nitrat ortamından aynı anda çıkartımının yapılabilmesi için bir yine çözücüyle çıkartım işlemi önermektedir (Horwitz vd., 1990; Schulz ve Bray, 1987). Bunun yanında, termal yöntem ile buharlaştırma sonrası çözücüler kullanılarak yapılabilemektedir. Orth ve Kurath 1994, asidik ortam için kimyasal çözücü ile çıkartım yanında iyon değiştiriciler ile ve alkali ortamı için çöktürme yöntemi ve iyon değişiriciler ile stronsiyum eldesinden bahsetmektedir.

3.2.6 Antimon (Sb)

Atom numarası 51 olan kimyasal bir elementtir. Parlak gri bir metaloid, doğada esas olarak bir sülfür minerali olan stibnit olarak bulunur. Antimon bileşikleri eski zamanlardan beri bilinmektedir ve genellikle ilaç ve kozmetik olarak kullanılmak üzere toz haline getirilmiştir. Antimon, demir alaşımlarını sertleştirmektedir. Lehim, maskara, kızılötesi dedektörleri, diyotlar, kablo kaplamaları, kurşun piller, plastik ve çeşitli kimyasalların yapımında da kullanımı vardır. Güneş enerjisi teknolojilerinde de kullanımı artmaktadır. Seramik emaye ve cam boyamasında da kullanılır. Ayrıca ilaç sektöründe de çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır (Wang, 1919; Butterman ve Carlin, 2003; O'Mara vd., 1990; McCallum, 1999). Antimon elementinin, Batı

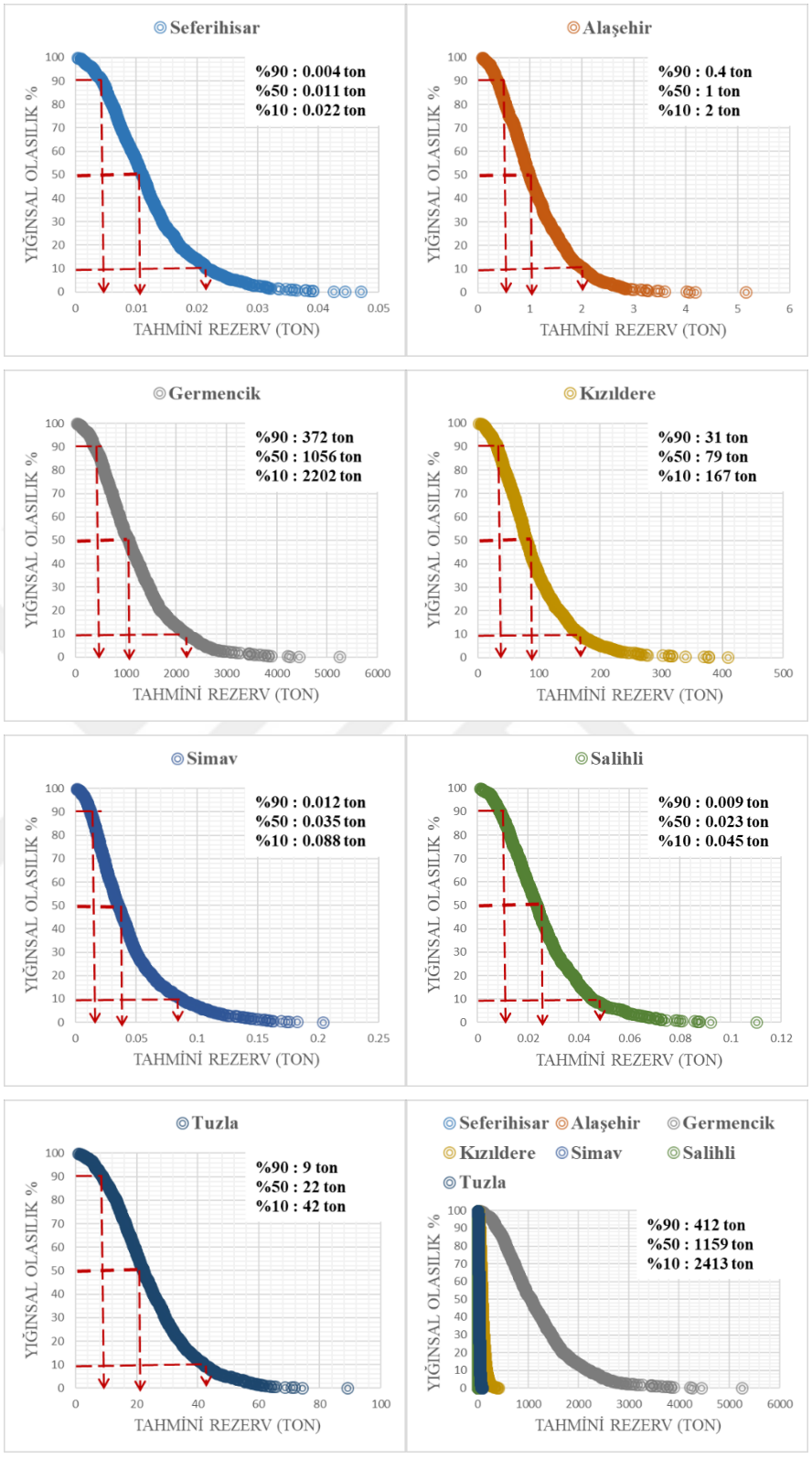
Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmektedir. Genellikle stibnit (SbS) kabuklaşması şeklinde sıkça rastlanılmaktadır.

Tablo 3.7 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Antimon rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Antimon)	0,004	0,011	0,022
Alaşehir (ton Antimon)	0,4	1	2
Germencik (ton Antimon)	372	1056	2202
Kızıldere (ton Antimon)	31	79	167
Simav (ton Antimon)	0,012	0,035	0,088
Salihli (ton Antimon)	0,009	0,023	0,045
Tuzla (ton Antimon)	9	22	42
Toplam	**412**	**1159**	**2413**

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,004 ton, Alaşehir'de 0,4 ton, Germencik' te 372 ton, Kızıldere'de 31 ton, Simav'da 0,012 ton, Salihli'de 0,009 ton, Tuzla'da 9 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,011 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 1056 ton, Kızıldere'de 79 ton, Simav'da 0,035 ton, Salihli'de 0,023 ton, Tuzla'da 22 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,022 ton, Alaşehir'de 2 ton, Germencik' te 2202 ton, Kızıldere'de 167 ton, Simav'da 0.088 ton, Salihli'de 0,045 ton, Tuzla'da 42 ton antimon rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Sb rezervi 924 ton, beklenir Sb rezervi 2431 ton ve olası Sb rezervi 5045 ton olarak tahmin edilmiştir.

Metalik çinko ilavesi ile iki aşamalı sementasyon işlemi uygulanmıştır ve %90 verimlilikle ger kazanım sağlanmıştır (Uysal vd., 2022). Dupont vd. (2016), altın madenlerinde atık olarak oluşan antimonun endüstriyel koşullarda geri kazanımı için yaptığı öneride öğütme, yüzdürme ve yoğunluk farkı ile ayırma işlemlerinde sonra hem alkali hemde asidik ortamda kimyasal, elektrokimyasal ve elektrik yöntemler ile antimon ayırtlama yöntemlerinden bahsetmektedir.



Şekil 3.8 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Antimon rezerv tahmini

3.2.7 Bakır (Cu)

Atom numarası 29, atom ağırlığı 63,5 gram, özgül ağırlığı 8,96 g/cm³ bir kimyasal element'tir. 9. yüzyıldan itibaren kullanılmaya başlanan bakır birbirinden farklı alanlarda kullanılmış ve denenmiştir. İlk olarak silah yapımında kullanılmış ancak başka elementlerin bulunması ile birlikte bu alandaki önemini kaybetmiş ve kullanılmamaktadır. Daha sonrasında, süs ve süsleme işlerinde de kullanılmıştır. Çok yüksek termal ve elektrik iletkenliği olan yumuşak, dövülebilir ve sünek bir metal olduğu için endüstriyel alanlarda ve elektrik üretiminde sıklıkla kullanılmış bu da bakırın önemini oldukça arttırmıştır. Gümüşten sonra en iyi iletken metal olduğu için elektrik alanların kablo ve güç jeneratör gibi ürünlerin içerisinde de bulunmaktadır. Endüstriyel alanlarda ise daha çok merkezi ısıtma tipleri, ısı kazanları, havalandırma sistemleri gibi yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların yanında gübre yapımındada kullanılmaktadır (Günter, 1999; Pops, 1995). Bakır elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmektedir.

Tablo 3.8 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Bakır rezerv tahmini

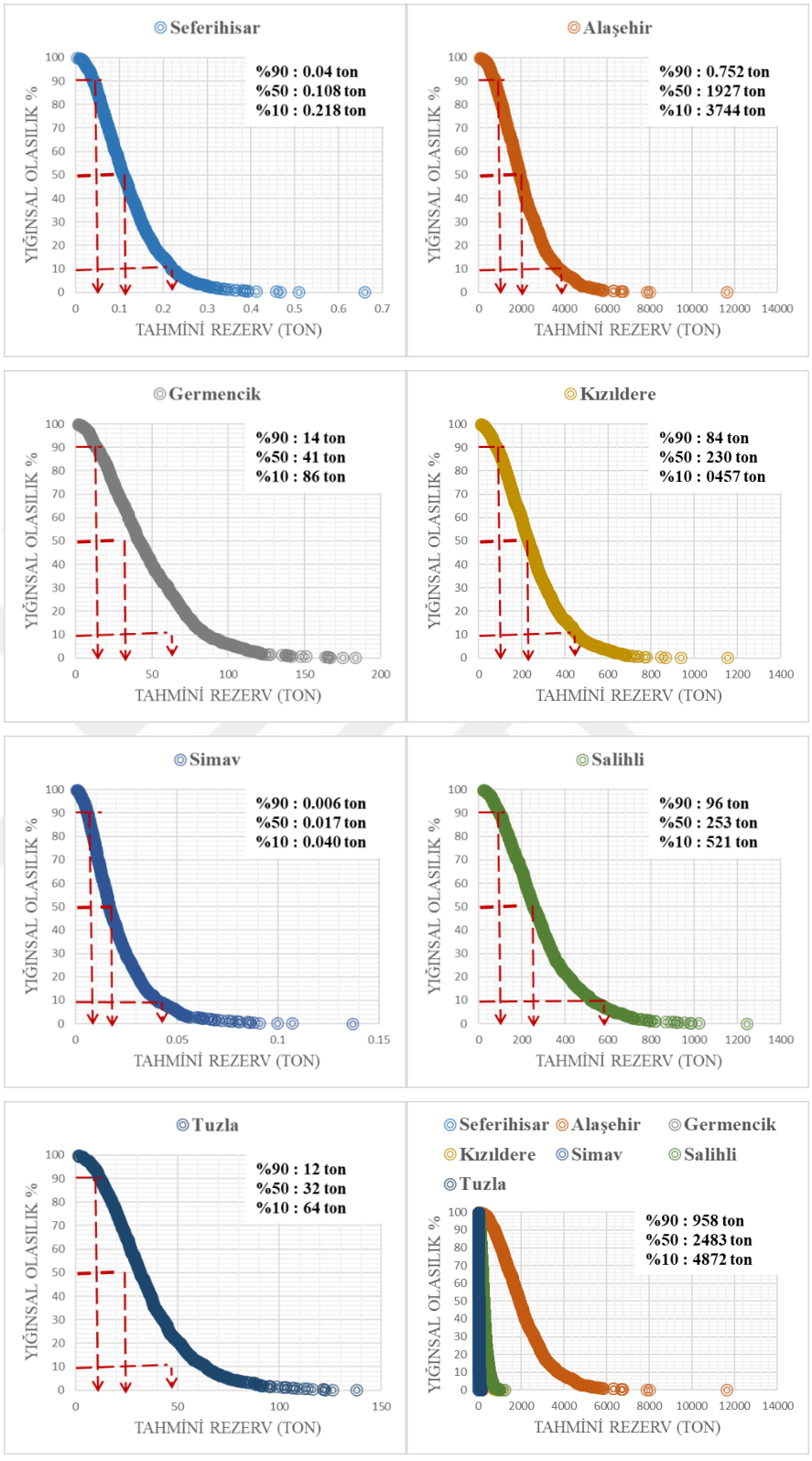
Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Bakır)	0,040	0,108	0,218
Alaşehir (ton Bakır)	752	1927	3744
Germencik (ton Bakır)	14	41	86
Kızıldere (ton Bakır)	84	230	457
Simav (ton Bakır)	0,006	0,017	0,040
Salihli (ton Bakır)	96	253	521
Tuzla (ton Bakır)	12	32	64
Toplam	**958**	**2483**	**4872**

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,04 ton, Alaşehir'de 752 ton, Germencik' te 14 ton, Kızıldere'de 84 ton, Simav'da 0.006 ton, Salihli'de 96 ton, Tuzla'da 12 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,108 ton, Alaşehir'de 1927 ton, Germencik' te 41 ton, Kızıldere'de 230 ton, Simav'da 0,017 ton, Salihli'de 253 ton, Tuzla'da 32 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,218 ton, Alaşehir'de 3744 ton, Germencik' te 86 ton, Kızıldere'de 457 ton, Simav'da 0,04 ton, Salihli'de 251 ton, Tuzla'da 64 ton Bakır rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Cu rezervi 958 ton, beklenir Cu rezervi 2483 ton ve olası Cu rezervi 4872 ton olarak tahmin edilmiştir.

Atıklardan stronsiyum ile eldesi konusunda Dupont vd. (2016) detaylı bilgi vermekte olup, Barragan, (2020) ve asitleme sonrası elektrokimyasal yöntem ile bakır elde etmeyi önermektedir. Stando vd, (2021) ise Fe, Mg, Al, Zn, As gibi safsızlıklara rağmen karbon nanotüplü bir elektrokimyasal yöntemle geri kazanımı anlatmaktadır. Jeotermal çökelden Peralta vd. (1996), As, Cu, Zn liçi ile ve Maimoni (1982) ise metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi ile ayrımını önermektedir.

3.2.8 Nikel (Ni)

Atom numarası 28, atom kütlesi 58,69 g/mol, yoğunluğu 8,90 g/cm^3, olan bu elementin erime sıcaklığı 1455 derecedir. Bu cetvelde geçiş metalleri arasında olduğu bilinir. Parlak olarak gümüş beyazı rengini anımsatmaktadır. Bütün meşhur olan metallerle birlikte alaşımlarda kullanılır. Nikelin havaya karşı gösterdiği oksitlenme direnci sayesinde; bozuk para üretiminde, kimyasal araç ve gereçlerin üretiminde ve Alman gümüşü gibi birçok alaşımın üretiminde kullanılır. Nikel doğada genelde kobalt ile birlikte bulunur. Alaşımlar (özellikle süper alaşımlar) ve paslanmaz çelik üretiminde önemlidir. Ayrıca nikel doğal bir özelliği sayesinde manyetik bir alan içinde bir miktar boyut değiştirme kabiliyetine sahiptir. Nikelde bu değişim negatif



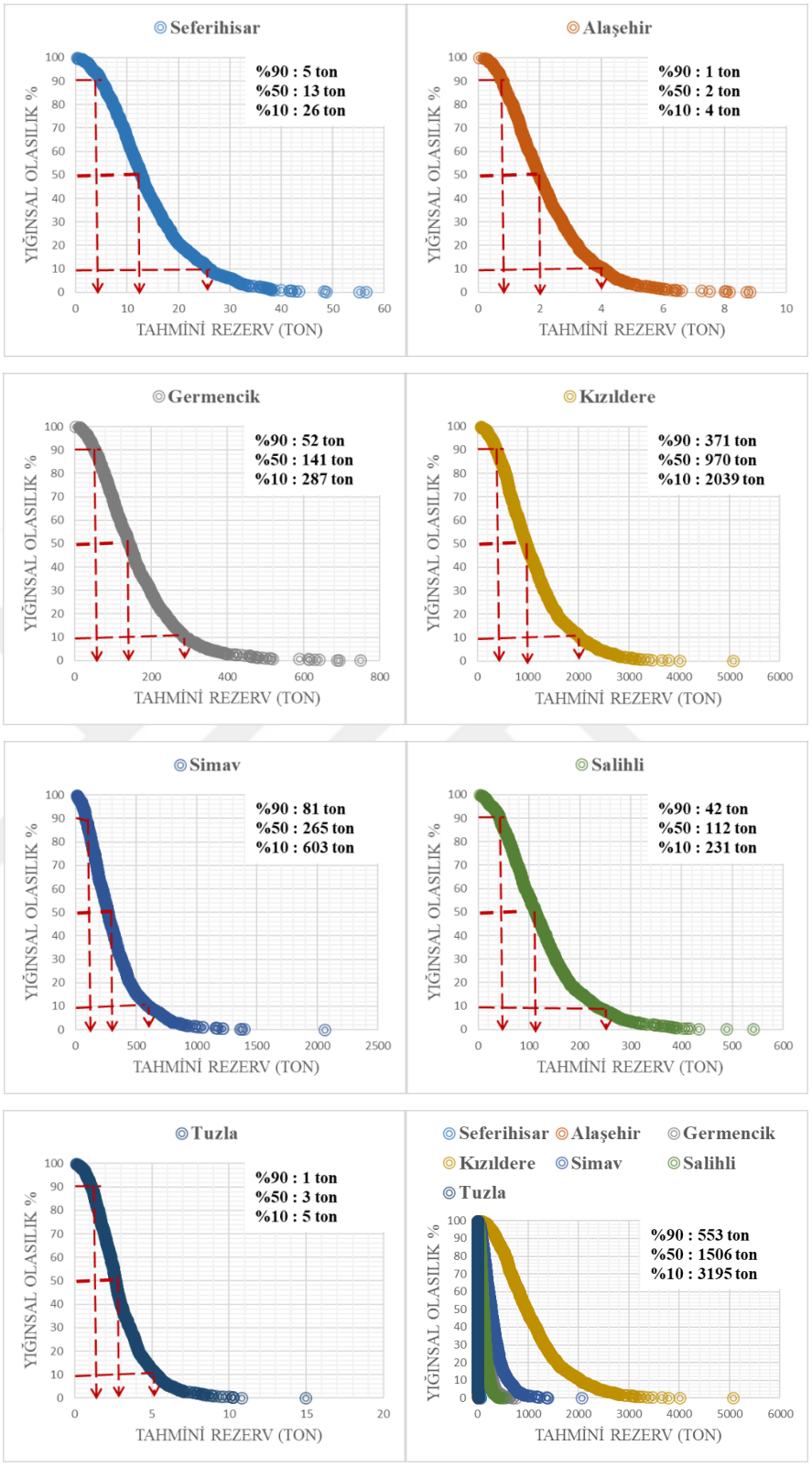
Şekil 3.9 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Bakır rezerv tahmini

yönde olmaktadır. Nikel paslanmaz çelik, mıknatıs, bozuk para ve özel alaşımlar gibi birçok endüstriyel ve son kullanıcı ürünlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca cama yeşil renk vermek amacıyla da kullanılmaktadır. Nikel her şeyden önce bir alaşım metalidir. Bu nedenle alaşım olarak birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu alaşımlar bakır, krom, alüminyum, kurşun, kobalt, gümüş ve altın ile yapılan alaşımlardır. Nikel ayrıca bozuk paraların üretiminde ve dekoratif gümüş yerine kullanılmaktadır. ABD'de kullanılan beş-centlik bozuk para %75 bakır içerir. 1922 - 1981 arasında üretilen Kanada centi ise %99,9 nikel içermekteydi ve manyetik özelliğe sahipti. Nikel (III) oksit ise birçok nikel-kadmiyum, nikel-demir ve nikel-metal hidrit şarj edilebilir pilde katot olarak kullanılmaktadır (Hommand ve Linde, 2018; Davis, 2000). Nikel elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.9 ve Şekil 3.10'de verilmektedir.

Tablo 3.9 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Nikel rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Nikel)	5	13	26
Alaşehir (ton Nikel)	1	2	4
Germencik (ton Nikel)	52	141	287
Kızıldere (ton Nikel)	371	970	2039
Simav (ton Nikel)	81	265	603
Salihli (ton Nikel)	42	112	231
Tuzla (ton Nikel)	1	3	5
Toplam	**553**	**1506**	**3195**

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 5 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 52 ton, Kızıldere'de 371 ton, Simav'da 81 ton, Salihli'de 42 ton, Tuzla'da 1 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 13 ton, Alaşehir'de 2 ton, Germencik' te 141 ton, Kızıldere'de 970 ton, Simav'da 265 ton, Salihli'de 112 ton, Tuzla'da 3 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 26 ton, Alaşehir'de 4 ton, Germencik' te 287 ton, Kızıldere'de 2039 ton, Simav'da 603 ton, Salihli'de 231 ton, Tuzla'da 5 ton Nikel rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası Nikel rezervi 553 ton,



Şekil 3.10 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Nikel rezerv tahmini

beklenir Nikel rezervi 1506 ton ve olası Nikel rezervi 3195 ton olarak tahmin edilmiştir.

Kimyasal ağır metal çöktürücüleri, yüzey aktif madde yardımıyla iyon yüzdürücüleri, zeolite ve iyon değiştirici reçineler, fitrasyon (ultra, nano), adsorbsiyon ve elektrodeiyonizasyon, elektroyüzdürücüler ve elektro çöktürücüler gibi elektrokimyasal yöntemler nikel elde etme yöntemleridir (Coman vd. 2013)

3.2.9 Çinko (Zn)

Atom numarası 30, atom kütlesi 65,41 g/mol, yoğunluğu 7,14 g/cm^3, olan bu elementin erime sıcaklığı 419,53 derecedir. Çinko, dünyada yıllık kullanım miktarı açısından demir, alüminyum, ve bakırdan sonra gelir. Çinko; korozyondan korunma amacıyla, çelik gibi diğer metallerin galvanize edilmesinde, pirinç, nikelli gümüş, değişik lehimler, alman gümüşü gibi alaşımların yapımında, genellikle otomotiv endüstrisinde döküm kalıplarında, pillerin gövdelerinin yapımında kullanılır. Çinko oksit, sulu boyalarda beyaz pigment olarak ve lastik sanayiinde aktivatör olarak kullanılır. Reçetesiz satılabilen bazı merhemlerin bileşiminde bulunur ve ince bir tabaka halinde uygulandığında cildin su kaybetmesini önler. Yazın güneş, kışın da soğuk yanıklarına karşı koruyucudur. Bebeklerin bez bağlanan bölgelerinde çok az miktarda kullanılarak ciltte meydana gelebilecek kızarıklıklar önlenebilir. Yaşa bağlı göz hastalıklarının tedavisinde de kullanılır. Çinko klorür, deodorantlarda ve ahşap koruyucu olarak kullanılır. Çinko sülfür, karanlıkta parlayan pigment olarak saatlerin akrep ve yelkovanlarında kullanılır. Çinko metil, ($Zn(CH_3)_2$) pek çok organik maddenin sentezinde kullanılır. Çinko, pek çok günlük vitamin ve mineral ilaçlarının bileşenidir. Cildin ve kasların erken yaşlanmasını önleyen anti-oksidan özellikler taşıdığına inanılmaktadır (Lehto, 1968; Emsley, 2001; DiSilvestro, 2004; Heiserman, 1992)

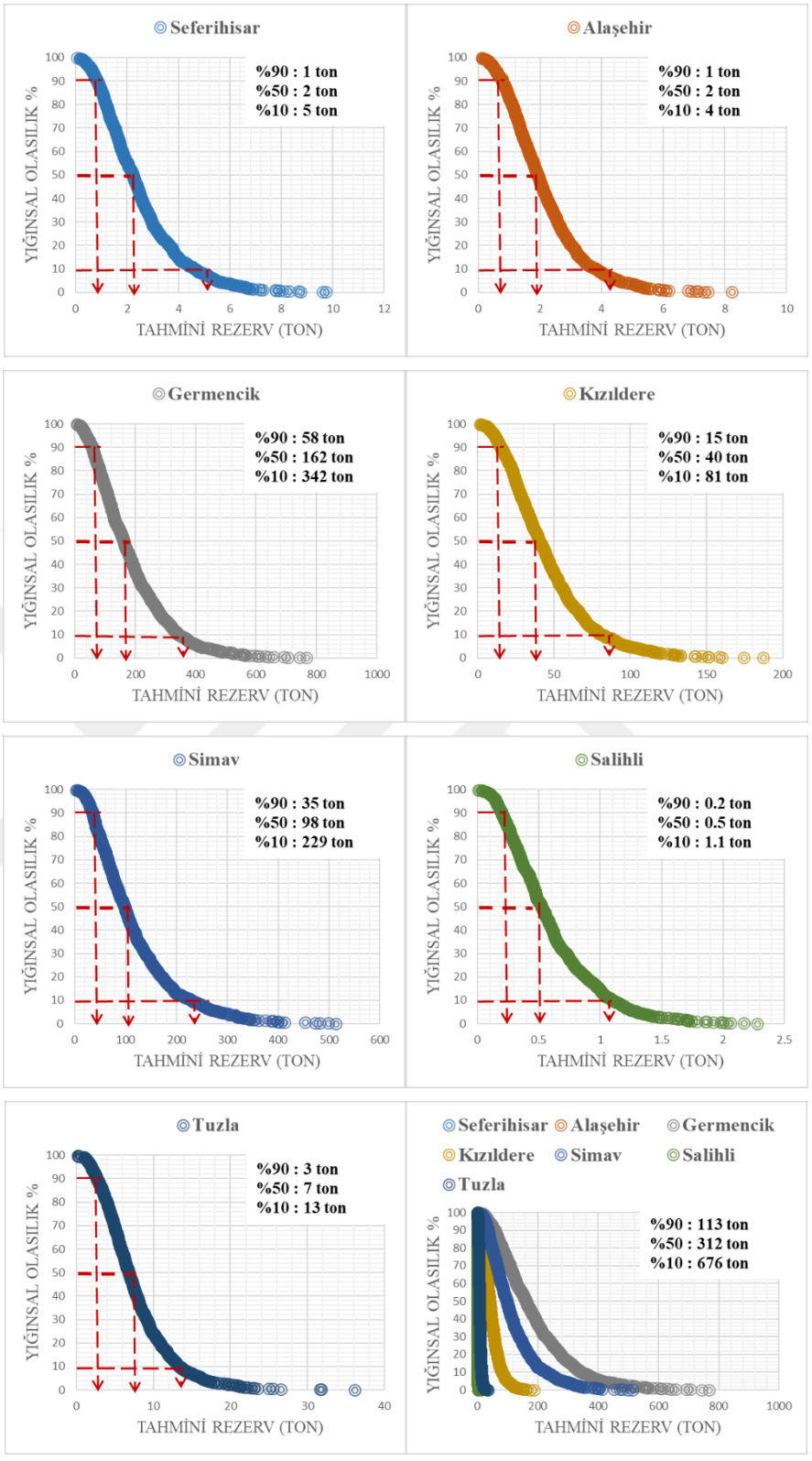
Çinko elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezer miktarları Tablo 3.10 ve Şekil 3.11'da verilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara

göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 1 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 58 ton, Kızıldere'de 15 ton, Simav'da 35 ton, Salihli'de 0,2 ton, Tuzla'da 3 ton, beklenir rezerv miktarı Seferihisar'da 2 ton, Alaşehir'de 2 ton, Germencik' te 162 ton, Kızıldere'de 40 ton, Simav'da 98 ton, Salihli'de 0,5 ton, Tuzla'da 7 ton ve olası rezerv miktarı Seferihidar'da 5 ton, Alaşehir'de 4 ton, Germencik' te 342 ton, Kızıldere'de 81 ton, Simav'da 229 ton, Salihli'de 1,1 ton, Tuzla'da 13 ton Çinko rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası çinko rezervi 113 ton, beklenir çinko rezervi 312 ton ve olası çinko rezervi 676 ton olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 3.10 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Çinko rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Çinko)	1	2	5
Alaşehir (ton Çinko)	1	2	4
Germencik (ton Çinko)	58	162	342
Kızıldere (ton Çinko)	15	40	81
Simav (ton Çinko)	35	98	229
Salihli (ton Çinko)	0,2	0,5	1,1
Tuzla (ton Çinko)	3	7	13
Toplam	**113**	**312**	**676**

Kireç kaynaklı seçici çökeltme, metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi, flaş sonrası silikadan arındırılmış brine'da çöktürme, pH stabilize edilmiş (kireçli) tuzlu suyun H_2S ile işlenmesiyle çökeltme (Maimoni, 1982, Harrison 2014, Shultze ve Bauer 1985). H_2S ile ayırlanma yöntemi, jeotermal yoğuşmayan gazlarda bu gazın eser olarak var olanması sebebiyle konsantrasyonu artırılıp, silkadan ayrılan brine da çinko eldesi sırasında kimyasal sarf maliyetini azaltabilecek bir yöntemdir.



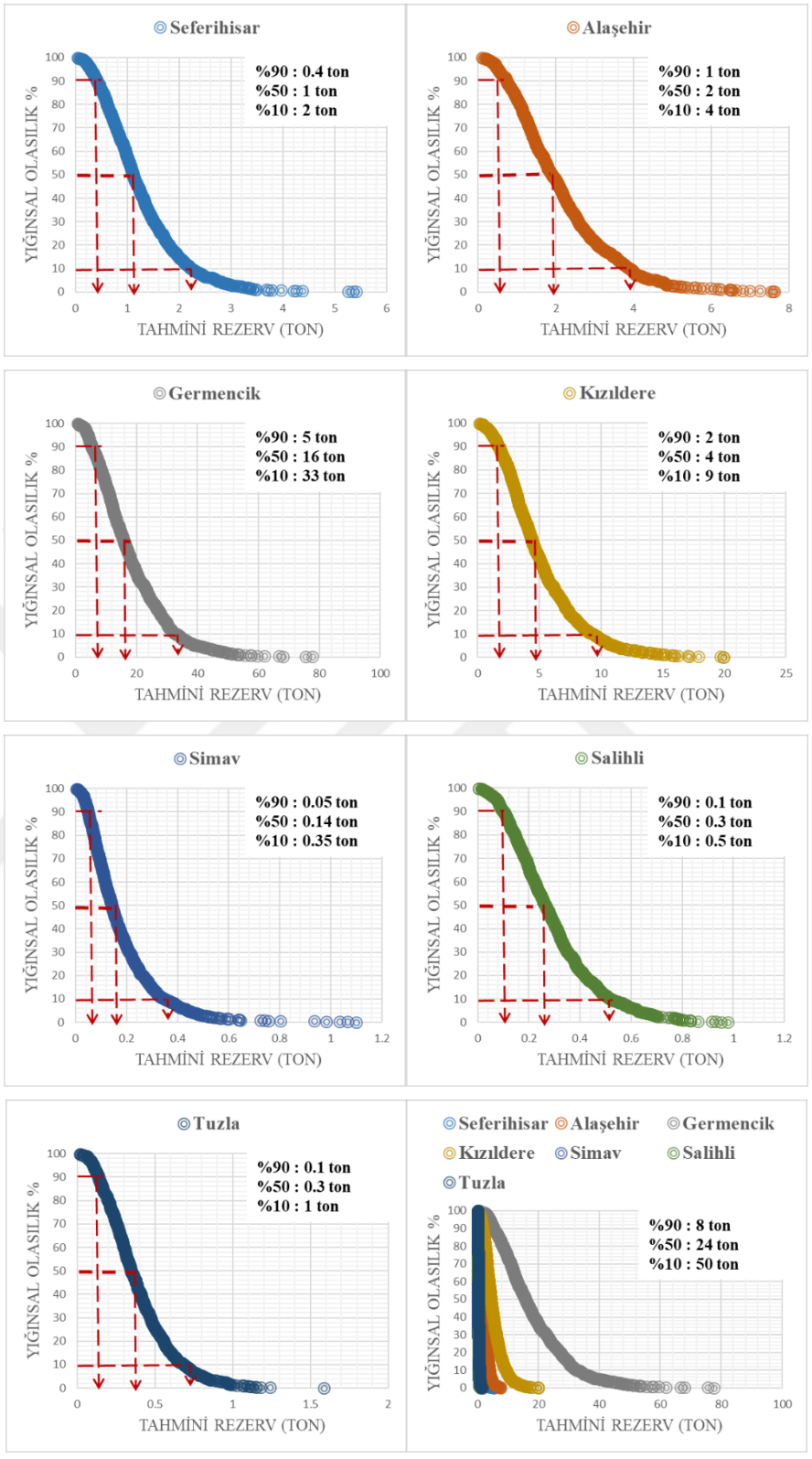
Şekil 3.11 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Çinko rezerv tahmini

3.2.10 Rubidyum (Rb)

Atom numarası 37, atom kütlesi 85,47 g/mol, yoğunluğu 1,532 g/cm^3, olan alkalş metaldir. Kimyasal açıdan potasyum ve sezyumun özelliklerine benzer özellikler gösterir ama potasyuma oranla çok ender bulunur. Oda sıcaklığında gümüşi beyaz renkli, yumuşak ve parlak bir katıdır. Kuru havada bile çok çabuk yükseltgenir, bu yüzden açık havada saklanamaz. Suyu şiddetle ayrıştırır ve ortaya çıkan hidrojeni tutuşturur. Çok kolay iyonlaşması nedeniyle sezyuma alternatif olarak, uzay araçlarındaki 'iyon motorlarında' kullanılmaktadır. Rubidyumdan, özel camların yapımında, kalp araştırmalarında, vakum tüplerindeki gaz izlerini yok etmede ve fotosellerin yapımında da yaralanılır. Rubidyum metali, sıvı rubidyum klorür (RbCl) tuzunun eloktrolizi ile saf olarak elde edilir. Bir diğer elde ediliş yöntemi ise sodyum metalinin, sıcak eritilmiş rubidyum klorür ile reaksiyona girmesi sonucu gerçekleşir (Holleman, vd., 1985; Koch, 2002; Mittal, 2009). Rubidyum elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmektedir.

Tablo 3.11 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Rubidyum rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Rubidyum)	0,4	1	2
Alaşehir (ton Rubidyum)	1	2	4
Germencik (ton Rubidyum)	5	16	33
Kızıldere (ton Rubidyum)	2	4	9
Simav (ton Rubidyum)	0,05	0,14	0,35
Salihli (ton Rubidyum)	0,1	0,3	0,5
Tuzla (ton Rubidyum)	0,1	0,3	1
Toplam	**8**	**24**	**50**



Şekil 3.12 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Rubidyum rezerv tahmini

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0.4 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 5 ton, Kızıldere'de 2 ton, Simav'da 0,05 ton, Salihli'de 0,1 ton, Tuzla'da 0,1 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 1 ton, Alaşehir'de 2 ton, Germencik' te 16 ton, Kızıldere'de 4 ton, Simav'da 0,14 ton, Salihli'de 0,3 ton, Tuzla'da 0,3 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 2 ton, Alaşehir'de 4 ton, Germencik' te 33 ton, Kızıldere'de 9 ton, Simav'da 0,35 ton, Salihli'de 0,5 ton, Tuzla'da 1 ton Rubidyum rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası rubidyum rezervi 8 ton, beklenir rubidyum rezervi 24 ton ve olası rubidyum rezervi 50 ton olarak tahmin edilmiştir. Fraksiyonel çökeltme, iyon değişimi, çözücü çıkartımı gibi kimyasal ve elekrokimyasal yöntemler ile eldesi mümkündür (Zhang 2014, 2020).

3.2.11 Silisyumdioksit (SiO_2)

Doğal sularda silisyumun (Si) yerine kullanılır ancak SiO_2 hidratlaşmış halde H_4SiO_4 veya $Si(OH)_4$ şeklindedir. Doğal sularda çözünmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan gelmektedir. Çok eski zamanlarda beri değerli taş olarak kuyumculukta kullanılmaktadır. Günümüzde ise elektronik endüstrisi ve optik bileşenlerin yapımında kristal silika kullanılmaktadır. Kristal silikanın bir başka kullanım alanı ise lazer gibi özel camların yapımıdır. Toz gıda, kişisel bakım ürünü ve kozmetik, boya, mürekkep ve toner, yangın söndürücü türü kuru kimyevi toz, yapı malzemesi, plastik, kauçuk, silikon kauçuk ve köpük kesici imalatı gibi endüstrilerde oldukça geniş bir yelpazede kullanılan silika tozları, ürünlerde sık karşılaşılan topaklanma, tortulaşma, kir, pas ve köpük oluşumu gibi sorunları önler ve ayrıca anti statik nitelik te kazandırırlar. Bunun yanında çeşitli çaplarda büyütülebilen silika tanecikleri ile membran yapımı da söz konusudur (Holleman, 2001; Ojovan, 2004; Flörke vd., 2018; Bassett 2007).

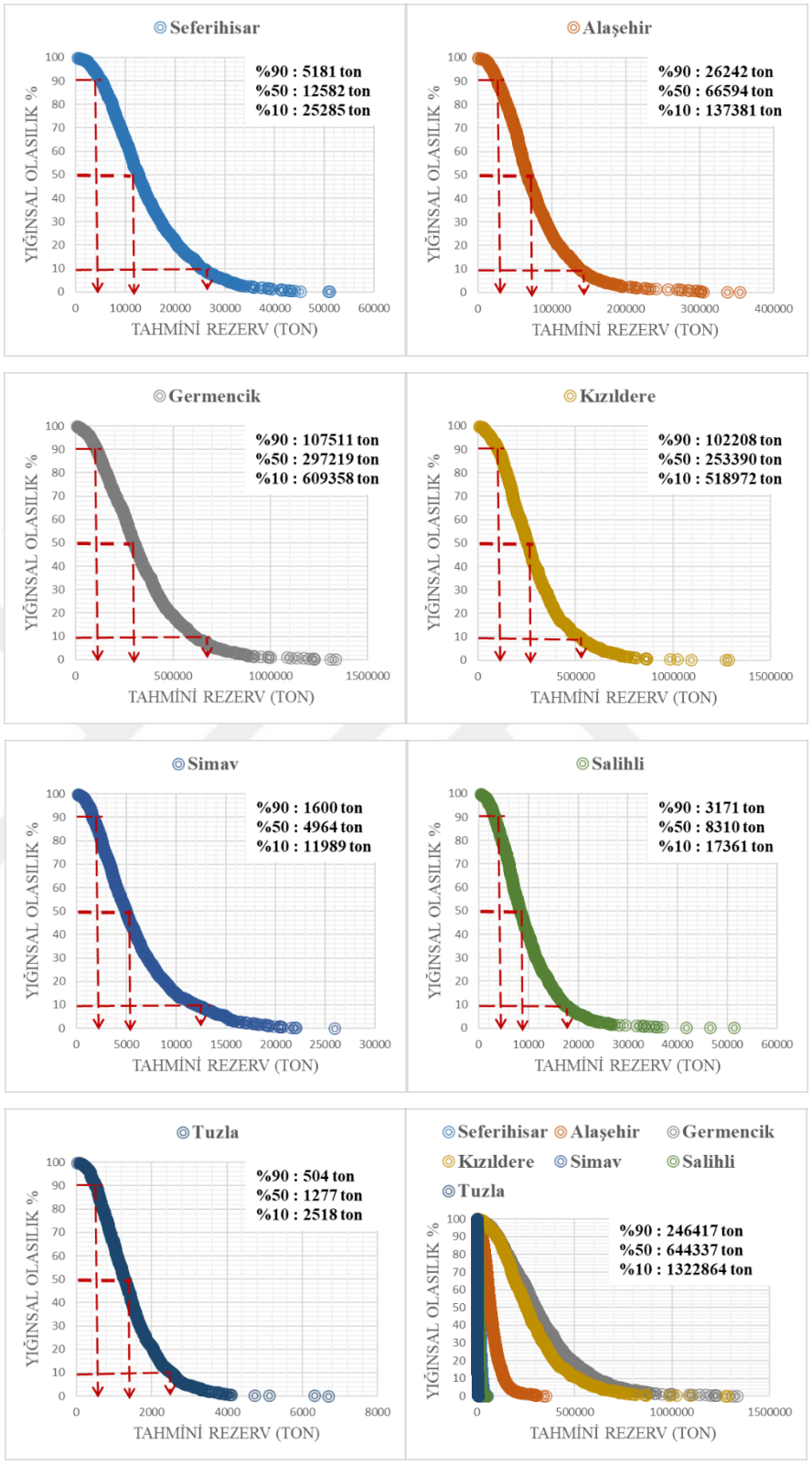
Silisyum elementinin Batı Anadolu jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.12 ve Şekil 3.13'de verilmektedir.

Tablo 3.12 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Silisyumdioksit rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton SiO_2)	5181	12582	25285
Alaşehir (ton SiO_2)	26242	66594	137381
Germencik (ton SiO_2)	107511	297219	609358
Kızıldere (ton SiO_2)	102208	253390	518972
Simav (ton SiO_2)	1600	4964	11989
Salihli (ton SiO_2)	3171	8310	17361
Tuzla (ton SiO_2)	504	1277	2518
Toplam	**246417**	**644337**	**1322864**

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 5181 ton, Alaşehir'de 26242 ton, Germencik' te 107511 ton, Kızıldere'de 102208 ton, Simav'da 1600 ton, Salihli'de 3171 ton, Tuzla'da 504 tonolduğu tahmin edilmiştir. Beklenir rezerv miktarlarının da Seferihisar'da 12582 ton, Alaşehir'de 66594 ton, Germencik' te 297219 ton, Kızıldere'de 253390 ton, Simav'da 4964 ton, Salihli'de 8310 ton, Tuzla'da 1277 ton olduğu hesap edilmiştir. Olası rezerv miktarlarınınise; Seferihisar'da 25285 ton, Alaşehir'de 137381 ton, Germencik' te 609358 ton, Kızıldere'de 518972 ton, Simav'da 11989 ton, Salihli'de 17361 ton, Tuzla'da 2518 ton Silika rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların toplamında en olası silisyumdioksit rezervi 246417 ton, beklenir silisyumdioksit rezervi 644337 ton ve olası silisyumdioksit rezervi 1322864 ton olarak tahmin edilmektedir.

Kolloid büyütmek için yaşlandırılma ve filtrelenme (Bourcier vd. 2009; Geo40; Roberts, 2009), Elektrokoagulasyon ayrım (Mroczek vd. 2019; Mohan, 2009) kalsiyum silikat ve/veya metal silikat formlarında çöktürülme ve polimer büyümesinin desteklendiği bekletme tankları (Rothbaum and Anderton 1976; Shannon vd. 1982; Sasan vd. 2016) silisyumdioksit eldesine yönelik yapılan çalışmalardır.



Şekil 3.13 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Silisyumdioksit rezerv tahmini

3.2.12 Gümüş (Ag)

Gümüş, elementlerin periyodik tablosunda simgesi Ag olan, beyaz, parlak, değerli bir metalik element. Atom numarası 47, atom ağırlığı 107,87 gramdır, ışığı çok iyi yansıtan, dövülebilen, sünek bir metaldir. Atmosferde oksitlenmeye karşı büyük bir mukavemet gösterir. Bakırdan daha zor, altından ise daha kolay oksitlenir. Elektrik ve ısıyı çok iyi iletir. Gümüş' ün kullanıldığı alanları sıralayacak olursak; fotoğraf sanayii, elektronik, para imali, süs eşyası ve takı yapımı, alaşımlar, dişçiliktir. Ayrıca, yapay yağmur yağdırmakta, ayna sırlarının yapımında, bilgisayar röle kontaklarında, pil yapımında da kullanılmaktadır. Gümüş elektriği çok iyi geçirdiğinden ve kolayca tel haline geldiğinden, elektrik teli olarak kullanılmaktaydı. Fakat nadir bulunması ve kıymeti dolayısıyla, artık bu amaçla kullanılmamaktadır. Bugün daha ziyade süs eşyası üretiminde, ayna yapımında, fotoğrafçılıkta, bazı ilaçlar ve alaşımların hazırlanmasında kullanılır. Bazı gümüş paralar, %90 gümüş, %10 bakır alaşımından yapılmıştır. Gümüş eşyada (%92,5 gümüş + %7,5 bakır) kullanılır. Saf gümüş, aynı zamanda asetik asit, boyalar ve fotoğraf maddeleri elde etmede de kullanılır. Keza toz halinde gümüş, cam ve ahşabı elektrik iletkeni yapmak için yeni seramik tipi kaplama işlerinde kullanılmaktadır. Gümüş zeolitler, acil durumlarda, deniz suyundan içilebilir su elde etmek için kullanılabilmektedir (Hammond, 2004; Maillard ve Hartemann 2012).

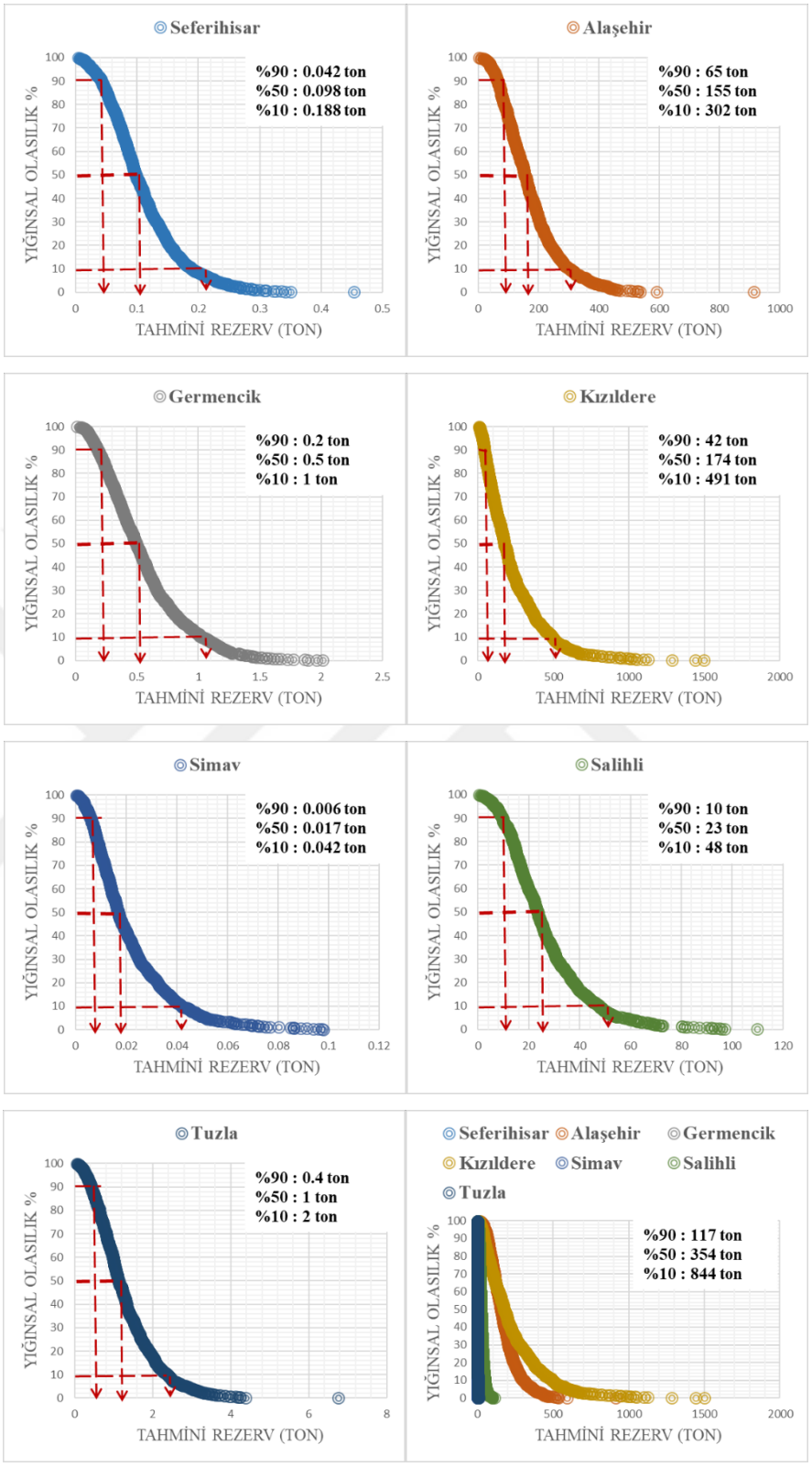
Gümüş'ün, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezerv miktarları Tablo 3.13 ve Şekil 3.14'de verilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,042 ton, Alaşehir'de 65 ton, Germencik' te 0,2 ton, Kızıldere'de 42 ton, Simav'da 0,006 ton, Salihli'de 10 ton, Tuzla'da 0,4 ton, beklenir rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,098 ton, Alaşehir'de 155 ton, Germencik' te 0,5 ton, Kızıldere'de 174 ton, Simav'da 0,017 ton, Salihli'de 23 ton, Tuzla'da 1 ton ve olası rezerv miktarlarının; Seferihisar'da 0,188 ton, Alaşehir'de 302 ton, Germencik' te 1 ton, Kızıldere'de 491 ton, Simav'da 0,042 ton, Salihli'de 48 ton, Tuzla'da 2 ton Gümüş rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmaya konu olan sahaların

toplamında en olası Gümüş rezervi 117 ton, beklenir Gümüş rezervi 354 ton ve olası Gümüş rezervi 844 ton olarak tahmin edilmiştir.

Jeotermal çökelden Gümüş ayırma, metalik demir indirgeyici ajan ile sıvılaştırılmış katot simantasyon işlemi ve çelik hasır plakalar üzerinde biriktirme yollarıyla araştırmacılar tarafından önerilmektedir (Gallup 1992, Maimoni 1982, Brown ve Roberts 1988). Gümüş gibi soy metaller yüksek enerji tüketimi gerektiren, asit veya kostik gereksinimli hidrometalurjik çevrimler gerektirmektedir. Kostik ya da asit ile oluşturulan çözeltileri arıtmak için sementasyon, çökeltme, elektrolitik geri kazanım, çözücü ile geri kazanım, iyon değişimi, indirgeyici değişim, adsorpsiyon ve son zamanlarda biyo-oksidasyon ve biyo-sorpsiyon dahil olmak üzere biyo-hidrometalurjik yöntemler uygulanabilir (Syed 2012, Das 2010, Patel vd. 2017).

Tablo 3.13 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Gümüş rezerv tahmini

Olasılık Değeri	P10 (% 90)	P50 (% 50)	P90 (% 10)
Seferihisar (ton Gümüş)	0,042	0,098	0,188
Alaşehir (ton Gümüş)	65	155	302
Germencik (ton Gümüş)	0,2	0,5	1,0
Kızıldere (ton Gümüş)	42	174	491
Simav (ton Gümüş)	0,006	0,017	0,042
Salihli (ton Gümüş)	10	23	48
Tuzla (ton Gümüş)	0,4	1	2
Toplam	**117**	**354**	**844**



Şekil 3.14 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları Gümüş rezerv tahmini

3.3 Toplam Rezerv Miktarlarının Önemi ve Ekonomik Değeri

Literatürden toplanan bilgilerle yapılan rezerv hesapları en olası rezervlerin toplamda; 24.813 ton lityum, 208 ton Mangan, 67.423 ton Neodium, 35 ton Sezyum, 924 ton Stronsiyum, 412 ton Antimon, 958 ton Bakır, 553 ton Nikel, 113 ton Çinko, 8 ton Rubidyum, 246.417 ton Silika ve 844 ton Gümüş olduğunu göstermektedir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları en olası (P10, % 90) rezerv miktarları

Lokasyon	Lityum	Mangan	Neodim	Sezyum	Stronsiyum	Antimon
Seferihisar	414	8	0,04	7	2	0,004
Alaşehir	723	5	205	1	15	0,370
Germencik	1964	25	67004	11	20	372
Kızıldere	986	80	194	4	69	31
Simav	1039	65	0,01	0,1	0,2	0,012
Salihli	5116	0,1	21	0,3	1	0,009
Tuzla	14572	24	0,004	12	816	9
Toplam	*24813*	*208*	*67423*	*35*	*924*	*412*
Lokasyon	***Bakır***	***Nikel***	***Çinko***	***Rubidyum***	***Silika***	***Gümüş***
Seferihisar	0,040	5	1	0,41	5181	0,188
Alaşehir	752	1	1	0,74	26242	302
Germencik	14	52	58	5,21	107511	1
Kızıldere	84	371	15	1,73	102208	491
Simav	0,006	81	35	0,05	1600	0,042
Salihli	96	42	0,2	0,10	3171	48
Tuzla	12	1	3	0,14	504	2
Toplam	*958*	*553*	*113*	*8*	*246417*	*844*

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Merkezi (USGS) 2022'de zamanla önem kazanan, 50 adet üretime katkı sağlayan kritik mineralin listesini yayınlaşmıştır. Bu listedeki mineraller enerji üretiminin yanı sıra günümüz gereksinimlerini üretetmek için endüstride oldukça büyük ekonomik öneme sahiptir. Bunun yanında Uluslararası

Enerji Ajansı (IEA), "*bakır, lityum, nikel, kobalt ve nadir toprak elementleri gibi kritik minerallerin, rüzgar türbinleri ve elektrik şebekelerinden elektrikli araçlara kadar günümüzün hızla büyüyen temiz enerji teknolojilerinin çoğunda temel bileşenlerdir. Temiz enerji geçişleri hız kazandıkça bu minerallere olan talep hızla artacaktır."* şeklinde açıklamalarda bulunmaktadır. Gündelik ve endüstriyel ihtiyaçlarımızın sürdürülebilir ve ekonomik açıdan karşılanabilir olması için jeotermal kaynaklardan elde edilebilecek mineraller de oldukça önemlidir. Tablo 3.14'de en olası rezer miktarları verilen bazı minerallerin toplam ekonomik değeri Tablo 3.22 'de verilmektedir.

Çalışma kapsamında ekonomik değere sahip mineral rezervleri USD cinsinden Seferihisar'da 1.111.041.972, Alaşehir'de 1.065.795.039, Germencik'de 4.847.084.332, Salihli'de 4.412.457.495, Kızıldere'de 1.914.066.156, Simav'da 896.984.661 ve Tuzla'da 13.601.189.484 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.15, 3.16…3.21). Bu jeotermal alanlarında bulunan toplam Lityum, Mangan, Neodim, Sezyum, Sronsiyum, Antimon, Bakır, Nikel, Çinko, Rubidyum, Silika ve Gümüş rezervlerinin ekonomik değeri toplamda 27.763.086.384 USD 'dir. Mali değerdeki en büyük pay 20.997.244.454 USD ile Lityum'a aitken enerji üretiminde ham madde olarak kullanılabilen Sezyum (3.544.059.610 USD), Neodium (1.338.225.654 USD) ve Rubidyum (925.794.760 USD) gibi nadir toprak elementleri de oldukça büyük ekonomik değere sahiptir (Tablo 3.22).

Tablo 3.15 Seferihisar jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Seferihisar/ Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	414	846.220	Metal (Li≥99%)	350.334.873
Mangan	8	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	23.416
Neodim	0,04	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	794
Sezyum	7	101.258.846	Cs≥99,5%	708.811.922
Stronsiyum	2	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	86.792
Antimon	0,004	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	535
Bakır	0,04	11.070	Toz Bakır	443
Nikel	5	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	19.394
Çinko	1	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	426
Rubidyum	0,41	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	47.446.981
Silika	5181	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	4.171.448
Gümüş	0,188	771.000	99,99%	144.948
			Toplam Ekonomik Değer:	1.111.041.972

Tablo 3.16 Alaşehir jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Alaşehir/ Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	723	846.220	Metal (Li≥99%)	611.816.699
Mangan	5	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	14.635
Neodim	205	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	4.068.882
Sezyum	1	101.258.846	Cs≥99,5%	101.258.846
Stronsiyum	15	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	650.939
Antimon	0,37	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	49.506
Bakır	752	11.070	Toz Bakır	8.324.640
Nikel	1	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	3.879
Çinko	1	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	426
Rubidyum	0,74	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	85.636.015
Silika	26242	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	21.128.573
Gümüş	302	771.000	99,99%	232.842.000
			Toplam Ekonomik Değer:	1.065.795.039

Tablo 3.17 Germencik jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Germencik / Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	1964	846.220	Metal (Li≥99%)	1.661.975.098
Mangan	25	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	73.174
Neodim	67004	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	1.329.909.255
Sezyum	11	101.258.846	Cs≥99,5%	1.113.847.306
Stronsiyum	20	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	867,918
Antimon	372	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	49.773.600
Bakır	14	11.070	Toz Bakır	154.980
Nikel	52	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	201.698
Çinko	58	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	24.693
Rubidyum	5,21	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	602.923.838
Silika	107511	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	86.561.772
Gümüş	1	771.000	99,99%	771.000
			Toplam Ekonomik Değer:	4.847.084.332

Tablo 3.18 Kızıldere jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Kızıldere / Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	986	846.220	Metal (Li≥99%)	834.372.427
Mangan	80	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	234.158
Neodim	194	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	3.850.552
Sezyum	4	101.258.846	Cs≥99,5%	405.035.384
Stronsiyum	69	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	2.994.317
Antimon	31	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	4.147.800
Bakır	84	11.070	Toz Bakır	929.880
Nikel	371	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	1.439.039
Çinko	15	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	6.386
Rubidyum	1,73	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	200.203.117
Silika	102208	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	82.292.096
Gümüş	491	771.000	99,99%	378.561.000
			Toplam Ekonomik Değer:	1.914.066.156

Tablo 3.19 Simav jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Simav / Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	1039	846.220	Metal (Li≥99%)	879.222.061
Mangan	65	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	190.253
Neodim	0,01	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	198
Sezyum	0,1	101.258.846	Cs≥99,5%	10.125.885
Stronsiyum	0,2	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	8.679
Antimon	0,012	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	1.606
Bakır	0,006	11.070	Toz Bakır	66
Nikel	81	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	314.184
Çinko	35	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	14.901
Rubidyum	0,05	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	5.786.217
Silika	1600	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	1.288.229
Gümüş	0,042	771.000	99,99%	32.382
			Toplam Ekonomik Değer:	846.220

Tablo 3.20 Salihli jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Salihli / Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	5116	846.220	Metal (Li≥99%)	4.329.258.962
Mangan	0,1	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	293
Neodim	21	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	416.812
Sezyum	0,3	101.258.846	Cs≥99,5%	30.377.654
Stronsiyum	1	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	43,396
Antimon	0,009	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	1.204
Bakır	96	11.070	Toz Bakır	1.062.720
Nikel	42	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	162.910
Çinko	0,2	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	85
Rubidyum	0,1	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	11.572.435
Silika	3171	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	2.553.110
Gümüş	48	771.000	99,99%	37.008.000
			Toplam Ekonomik Değer:	4.412.457.580

Tablo 3.21 Tuzla jeotermal sahası toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Tuzla / Mineral	Tahmin Edilen En Olası Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	14572	846.220	Metal (Li≥99%)	12.331.110.554
Mangan	24	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	70.247
Neodim	0,004	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	79
Sezyum	12	101.258.846	Cs≥99,5%	1.215.106.152
Stronsiyum	816	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	35.411.054
Antimon	9	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	1.204.200
Bakır	12	11.070	Toz Bakır	132.840
Nikel	1	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	3.879
Çinko	3	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	1.277
Rubidyum	0,14	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	16.201.408
Silika	504	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	405,792
Gümüş	2	771.000	99,99%	1.542.000
			Toplam Ekonomik Değer:	13.601.189.484

Tablo 3.22 Batı Anadolu yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları toplam en olası (P10, % 90) rezerv miktarları ve ekonomik değeri (Shangai Metal Market-SMM, 4 Ocak 2023)

Mineral	Tahmin Edilen Rezerv (ton)	Market Fiyatı (USD/ton)	Açıklama	Tahmin Edilen Ekonomik Değer (USD)
Lityum	24813	846.220	Metal (Li≥99%)	20.997.244.454
Mangan	208	937	Mangan Sülfat (Mn= %32)	608.810
Neodim	67423	19.848	Metal (Nd=99,0-99,9%)	1.338.225.654
Sezyum	35	101.258.846	Cs≥99,5%	3.544.059.610
Stronsiyum	924	4.340	Al-Sr (%10) Alaşım	40.097.812
Antimon	412	133.800	Sb-05 (≥99,999%)	55.125.600
Bakır	958	11.070	Toz Bakır	10.605.060
Nikel	553	3.879	Nikel (Ni: 99,90%)	2.144.983
Çinko	113	426	Çinko (Zn ≥ 99,5%)	54.623
Rubidyum	8	115.724.345	Rubidyum (Rb ≥ 99,995%)	925.794.760
Silika	246417	805	Si≥97%,Fe≥1,8%,Ca≥1,0%	198.401.020
Gümüş	844	771.000	99,99%	650.724.000
			Toplam Ekonomik Değer:	27.763.086.384

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR VE BULGULAR

Jeotermal enerjinin elektrik üretimi, ısıtma, kurutma, turizm ve sıvı karbondioksit üretimi gibi yaygın kullanım alanlarının yanında son dönemdeki enerji ve endüstriyel gereksinimleri nedeniyle hidrojen ve mineral üretimi konularında kullanımı söz konusudur. Bu çalışmada, Büyük Menderes Grabeni'nde bulunan Kızıldere ve Germencik jeotermal sahaları, Gediz Grabeni'nde Alaşehir ve Salihli jeotermal sahaları, Çubukdağ Grabeni'nde Seferihisar Jeotermal Sahası, Simav Grabeni'nde Eynal, Naşa ve Çitgöl sahaları ve son olarak Edremit grabeninde bulunan Tuzla jeotermal sahasının mineral rezervleri ve minerallerin çıkartım yöntemleri incelenmiştir. Batı Anadolu'da yer alan bu jeotermal sahaların seçimi nedeni hali hazırda elektrik enerjisi ve/veya ısı enerjisi üretme amacıyla faaliyette olmalarıdır.

Rezerv hesapları yapılırken literatürde var olan değerler kullanılarak hacim ve geri dönüşüm verimlilikleri ile rezerv hesapları yapılmış olup 1000' er adet rastgele değişken türetilmiştir. Elde edilen bu rastgele değişkenlerin üçgen dağılım fonsiyonu ve Monte Carlo benzetimi yöntemi ile olasılıksal dağılımlarına karşılık gelen en olası, beklenir ve olası rezerv miktarları hesaplanmıştır. Mineral üretim yöntemleri literatürde belirlenen ve/ veya endüstride kullanılan yöntemlerden derlenmiştir. Bu bağlamda, Kızıldere, Germencik (Gümüşköy ve Ömerbeyli), Alaşehir, Salihli (Kavaklıdere-Ahmetli), Simav (Eynal –Naşa ve Çitgöl), Seferihisar (Orhanlı-Doğanbey) ve Çanakkale Tuzla sahalarındaki jeotermal alanlarına ait Lityum (Li), Sezyum (Cs), Mangan (Mn), Stronsiyum (Sr), Neodim (Nd), Stibnit (Sb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Rubidyum (Rb), Gümüş (Ag) ve Silika (SiO_2) rezervleri, rezervlerin ekonomik değerleri, minerallarin kullanım alanları ve önerilen mineral kazanım yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

Son dönem pil teknolojilerinde büyük öneme sahip Lityum'un Batı Anadolu Jeotermal anlanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 414 ton, Alaşehir'de 723 ton, Germencik' te 1964 ton, Kızıldere'de 986 ton, Simav'da 1039 ton, Salihli'de 5116 ton, Tuzla'da 14572 ton ve toplamda 24813 ton olarak

20.997.244.454 USD ekonomik değere sahiptir. Jeotermal sudan yaygın olarak iyon değiştirici reçinerle ile üretilmektedir. Bu yöntem Doğrudan Lityum Üretimi (DLE-Direct Lithium Extraction) olarak bilinmektedir. Elektrodiyaliz ve ters elektrodiyaliz sadece yöntemleri elektrik sarf yükü getiren ve umut vaad eden yöntemlerdir.

Lityum çıkartım reçinelerinde ve yine pillerde oldukça fazla kullanılan Mangan'ın Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 8 ton, Alaşehir'de 5 ton, Germencik' te 25 ton, Kızıldere'de 80 ton, Simav'da 65 ton, Salihli'de 0,1 ton, Tuzla'da 24 ton ve toplamda 208 ton olarak 608.810 USD ekonomik değere sahiptir. Jeotermal sudan iyon değişimi ve termal yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla eldesi mümkündür.

Özellikle cam, mıknatıs ve renk düzenleyici olarak kullanılan Neodim elementinin, Batı Anadolu jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0,04 ton, Alaşehir'de 205 ton, Germencik' te 67004 ton, Kızıldere'de 194 ton, Simav'da 0,01 ton, Salihli'de 21 ton, Tuzla'da 0,004 ton ve toplamda 67.423 ton olup 1.338.225.654 USD ekonomik değere sahiptir. Bu nadir toprak elementinin, elektroliz yöntemi ile metal olarak eldesi mümkündür.

Fotoelektrik hücrelerde kullanılan Sezyum elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 7 ton, Alaşehir'de 0,7 ton, Germencik' te 11 ton, Kızıldere'de 4 ton, Simav'da 0,12 ton, Salihli'de 0.29 ton, Tuzla'da 12 ton ve bu sahaların toplamında en olası sezyum rezervi 35 ton olup ekonomik değeri 3.544.059.610 USD'dir. Fraksiyonel çökeltme, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu ve elektrik yöntemler başlıca Sezyum üretimi için kullanılan yöntemlerdir.

Reçineler, demir üretimi, optik, boya, ilaç ve şeker fabrikalarında kullanılan Stronsiyum elementinin, Batı Anadolu jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 2 ton, Alaşehir'de 15 ton, Germencik' te 20 ton, Kızıldere'de

69 ton, Simav'da 0,2 ton, Salihli'de 0,6 ton, Tuzla'da 816 ton ve toplamda Stronsiyum rezervi 924 ton olup 40.097.812 USD ekonomik değere sahiptir. Asidik ve bazik çözeltilerden çöktürme ve iyon değişiriciler ile stronsiyum eldesi mümkündür.

İlaç, kozmetik, kaplama, pil ve elektrik malzemeleri gibi çok çeşitli kullanım alanına sahip olan Antimon elementinin, Batı Anadolu jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0,004 ton, Alaşehir'de 0,4 ton, Germencik' te 372 ton, Kızıldere'de 31 ton, Simav'da 0,012 ton, Salihli'de 0,009 ton, Tuzla'da 9 ton olup, çalışmaya alanındaki sahaların toplamında en olası Antimon rezervi 924 ton ile 55.125.600 USD ekonomik değere sahiptir. Bazik veya asidik ortam koşullarında elektrokimyasal ve elektrik yöntemler saf olarak üretilebilmektedir.

Elektrik, ısı değiştirici, süs eşyası ve gübre olarak kullanılabilen Bakır elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0.04 ton, Alaşehir'de 752 ton, Germencik' te 14 ton, Kızıldere'de 84 ton, Simav'da 0.006 ton, Salihli'de 96 ton, Tuzla'da 12 ton ve toplamda 958 ton olup 10.605.060 USD ekonomik değere sahiptir. Asidik ortamda elektrokimyasal yollarla eldesi yapılmaktadır.

Alaşımlar, para ve kimya sektöründe kullanılan Nikel elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 5 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 52 ton, Kızıldere'de 371 ton, Simav'da 81 ton, Salihli'de 42 ton, Tuzla'da 1 ton ve 553 ton'dur. 2.144.983 USD ekonomik değere sahip olan Nikel'in kimyasal iyon değiştirciler, çöktürücüler yanında elektrodeiyonizasyon, elektroyüzdürücüler ve elektro çöktürücüler gibi elektrokimyasal yöntemler ile eldesi mümkündür.

İlaç sanayi, alaşımlar, pil gövdeleri ve korozyon koruyucu olarak kullanılan Çinko elementinin, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan rezer miktarları; Seferihisar'da 1 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 58 ton, Kızıldere'de 15 ton, Simav'da 35 ton, Salihli'de 0,2 ton, Tuzla'da 3 ton ve toplamda 113 ton olup,

ekonomik değeri 54.623 USD'dir. Jeotermal akışkandan kimyasal yollara ile konsantre edilip yien jeotermal akışkanın bir parçası olan H_2S ile ayırtlanabilir.

Fotosellerde, özel cam yapımında, Sezyuma alternatif olarak iyon motorlarında kullanılabilen bir nadir toprak elementi olan Rubidyum'un Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0,4 ton, Alaşehir'de 1 ton, Germencik' te 5 ton, Kızıldere'de 2 ton, Simav'da 0.05 ton, Salihli'de 0,1 ton, Tuzla'da 0,1 ton ve toplamda 8 ton olup, ekonomik değeri 925.794.760 USD'dir. Rubidyum klorür olarak çökeltildikten sonra elektroliz yöntemi ile eldesi mümkündür.

Özel cam üretimi ve elektronik endüstrisi, plastic, kozmetik, kauçuk, gıda ve bir çok alanda uzun yıllardır kullanılan Silisyumsioksit'in Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 5181 ton, Alaşehir'de 26.242 ton, Germencik' te 107.511 ton, Kızıldere'de 102.208 ton, Simav'da 1.600 ton, Salihli'de 3.171 ton, Tuzla'da 504 ton olup toplamda 246417 ton'dur. Safa yakın eldesi durumunda 198.401.020 USD ekonomik değere sahip olup saflık değeri arttıkça ekonomik değeri de artmaktadır. Elektrokoagülasyon ve soğutarak bekletme en çok kullanılan silis elde etme yöntemleridir.

Takı, elektrik, ilaç sanayi ve fotografcılıkta kullanılan Gümüş'ün, Batı Anadolu Jeotermal alanlarında bulunan en olası rezerv miktarları; Seferihisar'da 0,042 ton, Alaşehir'de 65 ton, Germencik' te 0,2 ton, Kızıldere'de 42 ton, Simav'da 0,006 ton, Salihli'de 10 ton, Tuzla'da 0,4 ton ve 117 ton'dur. Yüksek saflıkta ayırtlanması ile toplam ekonomik değeri 650.724.000 USD'dir. Elektrolitik geri kazanım ve iyon değişimi uygulanabilir yöntemlerdir.

Sonuç olarak Batı Anadolu jeotermal sistemlerinde akışkan içerisinden elektrokoagulasyon, elekroliz, elektrodiyaliz, ters elektrodiyaliz ve iyon değiştiriler ile üretimi mümkün olabilen Lityum (Li), Sezyum (Cs), Mangan (Mn), Stronsiyum (Sr), Neodim (Nd), Stibnit (Sb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Rubidyum (Rb), Gümüş (Ag) ve Silika (SiO_2) elementlerinin, hali hazırda çözünmüş olması madencilik

işlemlerinin çevresel etkilerinin azaltılması yanında hammadde talebinin artmakta olduğu modern dönemde sadece belirtilen 12 mineralin eldesiyle toplamda 27.763.086.384 USD değerinde bir ekonomik kazanç sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

Addleman, R. S., Chouyyok, W., Palo, D., Dunn, B. M., Billingsley, G., Johnson, D., ve Nell, K. M. (2014). Recovery of Rare Earths, Precious Metals and other Critical Materials from Geothermal Waters with Advanced Sorbent Structures. *Private communication, Pacific Northwest National Laboratory*.

Ajo-Franklin, C. M., Ajo-Franklin, J. B., Viani, B., Charrier, M., Borgin, S., Yang, L., ve Murray, G. (2017). Engineering Thermophilic Microorganisms to Selectively Extract Strategic Metals from Low Temperature Geothermal Brines. *Final Report AOP*, *2*(1.4).

Araya-Farias, M., ve Bazinet, L. (2006). Effect of calcium and carbonate concentrations on anionic membrane fouling during electrodialysis. *Journal of colloid and interface science*, *296*(1), 242-247.

Ateş, Ö., ve Tutkun, S. Z., (2014) Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 57, Sayı 3, Ağustos 2014.*

Atlantis Technologies (2014), Radial Deionization - A 'Game Changer' for Water Recovery. *Water Online, November 2014*.

Avşar, Ö., Güleç, N. T., ve Parlaktuna, M. (2015). Geothermal potential assessment of Edremit geothermal field NW Turkey.

Avşar, Ö., Uslular, G., Ve Türe, O. (2015). Web-based Computer Application for Assessment of Hydrogeochemistry Data of Geothermal Sites of Turkey: Muğla (SW Turkey) Example. In *Proceedings World Geothermal Congress*.

Aydın, H., ve Akın, S. (2020). Numerical reservoir simulation of Alaşehir geothermal field.

Aydın, H., Şengün, R., ve Haklıdır, F. T. Potential Assessment of Lithium Extraction from Geothermal Reservoirs.

Aydın, H., ve Merey, S. (2021). Design of Electrical Submersible Pump system in geothermal wells: A case study from West Anatolia, Turkey. *Energy*, *230*, 120891.

Baba, A. (2015). Application of geothermal energy and its environmental problems in Turkey. *International Journal of Global Environmental Issues*.

Baba, A., Save, D., Gunduz, O., Gurdal, G., Bozcu, M., Sulun, S., Ozcan, H., Hayran, O., Ikisik, H. and Bakirci, L. (2009). The Assessment of the mining activities in çan coal basin from a medical geology perspective, *Final Raporu, TÜBİTAK Project No: CAYDAG-106Y041, Ankara*

Baba, A., Yuce, G., Deniz, O., ve Ugurluoglu, D. Y. (2009). Hydrochemical and isotopic composition of Tuzla geothermal field (Canakkale-Turkey) and its environmental impacts. *Environmental Forensics*, *10*(2), 144-161.

Badruk, M., Kabay, N., Demircioglu, M., Mordogan, H., ve Ipekoglu, U. (1999). Removal of boron from wastewater of geothermal power plant by selective ion-exchange resins. I. Batch sorption–elution studies. *Separation science and technology*, *34*(13), 2553-2569.

Bakane, P. A. (2013, February). Overview of extraction of mineral/metals with the help of geothermal fluid. In *Proceedings of the 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, CA, USA* (pp. 11-13).

Barka, A. (1999). The 17 august 1999 Izmit earthquake. *Science*, *285*(5435), 1858-1859.

Barragan, J. A., Ponce de León, C., Alemán Castro, J. R., Peregrina-Lucano, A., Gómez-Zamudio, F., ve Larios-Durán, E. R. (2020). Copper and antimony recovery from electronic waste by hydrometallurgical and electrochemical techniques. *ACS omega*, *5*(21), 12355-12363.

Bassett, Ross Knox (2007). To the Digital Age: Research Labs, Start-up Companies, and the Rise of MOS Technology. Johns Hopkins University Press. pp. 22–23. ISBN 97808018863

Beck, R. E., & Schultz, J. S. (1970). Hindered diffusion in microporous membranes with known pore geometry. *Science*, *170*(3964), 1302-1305.

Becker-Platen, J. D. (1970). Lithostratigraphische Untersuchungen im Känozoikom-Südwest-Anatoliens (Türkei).-(Känozoikum und Braunkohlen der Türkei. 2.).

Bourcier, W. L., Lin, M., ve Nix, G. (2005). *Recovery of minerals and metals from geothermal fluids* (No. UCRL-CONF-215135). Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).

Bourcier, W. L., ve Bruton, C. J. (2014). *Silica extraction from geothermal water* (No. 8.840.859). Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).

Bozkurt, E. (2000). Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications. *Geological Society, London, Special Publications*, *173*(1), 385-403.

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey–a synthesis. *Geodinamica acta*, *14*(1-3), 3-30.

Bozkurt, E. (2003). Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica acta*, *16*(2-6), 61-81.

Bozkurt, E., ve SÖZBİLİR, H. A. S. A. N. (2004). Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geological Magazine*, *141*(1), 63-79.

Bray, C. (2001). *Dictionary of glass: materials and techniques*. University of Pennsylvania Press.

Brown, K. L. (1986). Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. *Economic Geology*, *81*(4), 979-983.

Brown, K. L., ve Roberts, P. J. C. (1988, November). Extraction of gold and silver from geothermal fluid. In *Proceedings of the 10th New Zealand Geothermal Workshop, Auckland, New Zealand* (pp. 2-4).

Bunani, S., Arda, M., Kabay, N., Yoshizuka, K., ve Nishihama, S. (2017). Effect of process conditions on recovery of lithium and boron from water using bipolar membrane electrodialysis (BMED). *Desalination*, *416*, 10-15.

Bunani, S., Yoshizuka, K., Nishihama, S., Arda, M., ve Kabay, N. (2017). Application of bipolar membrane electrodialysis (BMED) for simultaneous separation and recovery of boron and lithium from aqueous solutions. *Desalination*, *424*, 37-44.

Bunani, S., Yoshizuka, K., Nishihama, S., Arda, M., ve Kabay, N. (2017). Application of bipolar membrane electrodialysis (BMED) for simultaneous separation and recovery of boron and lithium from aqueous solutions. *Desalination*, *424*, 37-44.

Bundschuh, J., Maity, J. P., Nath, B., Baba, A., Gunduz, O., Kulp, T. R., ... ve Chen, C. Y. (2013). Naturally occurring arsenic in terrestrial geothermal systems of western Anatolia, Turkey: potential role in contamination of freshwater resources. *Journal of hazardous materials*, *262*, 951-959.

Butterman, W. C., & Carlin Jr, J. F. (2004). *Mineral commodity profiles: Antimony* (No. 2003-19).

Butterman, William C., Brooks, William E. Reese, Robert G. Jr. (2004). Mineral Commodity Profile: Cesium. *United States Geological Survey. Archived from the original on 7 February 2007. Retrieved 27 December 2009.*

C. R. Hammond ve Lide, D. R., (2005). CRC Handbook of Chemistry and Physics (86th ed.). *Boca Raton (FL): CRC Press. ISBN 0-8493-0486-5. 4–35*

Chaturvedi, S. I. (2013). Electrocoagulation: a novel waste water treatment method. *International journal of modern engineering research*, *3*(1), 93-100.

Chitrakar, R., Makita, Y., Ooi, K., ve Sonoda, A. (2014). Lithium recovery from salt lake brine by H 2 TiO 3. *Dalton transactions*, *43*(23), 8933-8939.

Christopher, D. H., Stewart, M., ve Rice, J. (1975). *The recovery and separation of mineral values from geothermal brines. Research report, 1974--1975* (No. PB-245686). Hazen Research, Inc., Golden, Colo.(USA).

Clark, Jim (2005). "Flame Tests". chemguide. Retrieved 29 January 2012.

Coman, V., B. Robotin, and P. Ilea. "Nickel recovery/removal from industrial wastes: A review." *Resources, Conservation and Recycling* 73 (2013): 229-238.

Çardak, M., Yücel, D. Ş., Mustafa, A. Y., Acar, T. S., ve Tınaztepe, Ö. E. (2019). Jeotermal akışkanın hidrokimyasal karakterizasyonunun belirlenmesi: Simav (Kütahya) örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *5*(1), 1-15.

Çiftçi, N. B., ve Bozkurt, E. R. D. İ. N. (2009). Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. *Sedimentary Geology*, *216*(3-4), 49-79.

Dağistan, H. (2007), Yenilenebilir Enerji ve Jeotermal Kaynaklarımız, *TMMOB MMO IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri, Türkiye MMO Yayını.*

Das, N. (2010). Recovery of precious metals through biosorption—a review. *Hydrometallurgy*, *103*(1-4), 180-189.

Davis, J. R. (2000). Uses of nickel. *ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys*, *7*.

Davis, J. R. (2000). *Nickel, cobalt, and their alloys*. ASM international.

De Laeter, J. R., Böhlke, J. K., De Bievre, P., Hidaka, H., Peiser, H. S., Rosman, K. J. R., & Taylor, P. D. P. (2003). Atomic weights of the elements. Review 2000 (IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*, *75*(6), 683-800.

Debus, A. G. (2000). Antimony in medical history: an account of the medical uses of antimony and its compounds since early times to the present.

Deniz, O., Baba, A., & Tarcan, G. (2010). Çan Jeotermal Alanı'nın hidrojeokimyasal ve hidrojeolojik incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni. Cilt 53, Sayı 2-3, Ağustos-Aralık 2010*

Dewey, J. F., ve ŞENGÖR, A. C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, *90*(1), 84-92.

DiPippo, R. (2007). Ideal thermal efficiency for geothermal binary plants. *Geothermics*, *36*(3), 276-285.

DiSilvestro, R. A. (2004). *Handbook of minerals as nutritional supplements*. CRC press.

Drahor, M. G., ve Berge, M. A. (2006). Geophysical investigations of the Seferihisar geothermal area, Western Anatolia, Turkey. *Geothermics*, *35*(3), 302-320.

Dupont, D., Arnout, S., Jones, P. T., ve Binnemans, K. (2016). Antimony recovery from end-of-life products and industrial process residues: a critical review. *Journal of Sustainable Metallurgy*, *2*(1), 79-103.

Elidemir S. (2014). Geochemıcal Characterızatıon Of Geothermal Systems In Turkey As Natural Analogues For Geologıcal Storage Of Co2. *Master of Science in Geological Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara.*

Elsaidi, S. K., Sinnwell, M. A., Devaraj, A., Droubay, T. C., Nie, Z., Murugesan, V., ... ve Thallapally, P. K. (2018). Extraction of rare earth elements using magnetite@ MOF composites. *Journal of Materials Chemistry A*, *6*(38), 18438-18443.

Emsley, J. (2011). Zinc. *Nature's building blocks: an AZ guide to the elements*. Oxford University Press.

Erdoğan, B. (1990). Tectonic relations between Izmir-Ankara zone and Karaburun belt. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *110*(110), 1-15.

Essen, L.\ Parry, J. V. L. (1955). An Atomic Standard of Frequency and Time Interval: A Caesium Resonator. *Nature. 176 (4476): 280–282. Bibcode:1955Natur.176..280E. doi:10.1038/176280a0. S2CID 4191481*

Eşder, T. U. N. C. E. R., ve Şimşek, Ş. A. K. I. R. (1975, May). Geology of İzmir (Seferihisar) geothermal area, Western Anatolia of Turkey: determination of reservoirs by means of gradient drilling. In *Proceedings of 2nd UN. Symposium* (pp. 349-361).

Etherington, J. R., ve Ritter, J. E. (2007, April). The 2007 SPE/AAPG/WPC/SPEE Reserves and Resources Classification, Definitions and Guidelines. Defining the Standard!. In *Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium*. OnePetro.

Eyidoğan, H., ve Jackson, J. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal International*, *81*(3), 569-607.

Filiz, S., Tarcan, G., ve Gemici, U. (2000, May). Geochemistry of the Germencik geothermal fields, Turkey. In *Proceedings of the World Geothermal Congress* (pp. 1115-1120).

Gallup, D. L. (1992). Recovery of silver-containing scales from geothermal brines. *Transactions- Geothermal Resources Council*.

Gallup, D. L. (1998). Geochemistry of geothermal fluids and well scales, and potential for mineral recovery. *Ore geology reviews*, *12*(4), 225-236.

Gallup, D. L., ve Ririe, G. T. (1994). Platinum recovery. *Patent Number5290339*.

Garg, M. C. (2019). Renewable energy-powered membrane technology: cost analysis and energy consumption. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 85-110). Elsevier.

Gemici, Ü., ve Tarcan, G. (2002). Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and geothermal research*, *116*(3-4), 215-233.

Gevrek, A. İ., Şener, M., ve Ercan, T. (1984). Hydrothermal Alteratıon Study And Volcanıc Rock Petrology Of Çanakkale-Tuzla Geothermal Area. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *103*(103-104), 15-15.

Greenwood, N. N., Earnshaw, A. (1984). Chemistry of the Elements. Oxford, UK: Pergamon Press. ISBN 978-0-08-022057-4.

Gude, V. G. (2016). Desalination and sustainability–an appraisal and current perspective. *Water research*, *89*, 87-106.

Haklıdır, F. S. T., Şengün, R., ve Aydın, H. (2021). Characterization and Comparison of geothermal fluids geochemistry within the Kızıldere Geothermal Field in Turkey: New findings with power capacity expanding studies. *Geothermics*, *94*, 102110.

Haklıdır, F. S. T., ve Şengün, R. (2020). Hydrogeochemical similarities and differences between high temperature geothermal systems with similar geologic settings in the Büyük Menderes and Gediz Grabens of Turkey. *Geothermics*, *83*, 101717.

Hammond, C. R. (2004). The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics (81st ed.). CRC press. ISBN 978-0-8493-0485-9.

Hammond, C.R., Lide, C. R. (2018). The elements. *In Rumble, John R. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics (99th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. p. 4.22. ISBN 9781138561632.*

Harif, T., Khai, M., ve Adin, A. (2012). Electrocoagulation versus chemical coagulation: Coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics. *Water Research*, *46*(10), 3177-3188.

Harrison, H. (2018). *The electrodialysis of lithium sulphate to lithium hydroxide* (Doctoral dissertation, Murdoch University).

Harrison, S. (2014). *Technologies for extracting valuable metals and compounds from geothermal fluids* (No. DOE-SIM-001). Simbol Materials.

Harrison, S. (2014). *Technologies for extracting valuable metals and compounds from geothermal fluids* (No. DOE-SIM-001). Simbol Materials.

Hassanvand, A., Chen, G. Q., Webley, P. A., ve Kentish, S. E. (2018). A comparison of multicomponent electrosorption in capacitive deionization and membrane capacitive deionization. *Water research*, *131*, 100-109.

Haynes, William M., ed. (2011). CRC Handbook of Chemistry and Physics (92nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. p. 4.121. ISBN 1-4398-5511-0.

Heidekamp, M. (2013). Mild desalination of cooling tower blowdown water with electrodialysis and membrane capacitive deionization: A comparative study.

Heiserman, D. (1991). *Exploring chemical elements and their compounds*. McGraw-Hill.

Holleman, A. F. (2019). *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Holleman, A., Wiberg, E., & Wiberg, N. (2001). Inorganic Chemistry (Translated by Eagleson, M, Brewer, W).

Horwitz, E. P., Dietz, M. L., ve Fisher, D. E. (1990). Extraction of strontium from nitric acid solutions using dicyclohexano-18-crown-5 and its derivatives. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, *8*(4-5), 557-572.

Hoshino, T. (2015). Innovative lithium recovery technique from seawater by using world-first dialysis with a lithium ionic superconductor. *Desalination*, *359*, 59-63.

Hoshino, T. (2015). Innovative lithium recovery technique from seawater by using world-first dialysis with a lithium ionic superconductor. *Desalination*, *359*, 59-63.

Işik, V., ve Tekeli, O. (2001). Late orogenic crustal extension in the northern Menderes massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences*, *89*(4), 757-765.

Iwanaga, D., Gray, D. A., Fisk, I. D., Decker, E. A., Weiss, J., ve McClements, D. J. (2007). Extraction and characterization of oil bodies from soy beans: a natural source of pre-emulsified soybean oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(21), 8711-8716.

İLHAN, S., ve KABAK, A. F. (2018). ALAŞEHİR (MANİSA) Jeotermal Alanında Gelişen Hidrotermal Alterasyonların Karakteristiği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(3), 1078-1082.*

İlkimen E. M. (2010). Batı Anadolu'daki Isı Akısı Çalışmaları. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Lisans Bitirme Tezi, İzmir.*

İztan, H., ve Yazman, M. (1990). Geology and hydrocarbon potential of the Alaşehir (Manisa) area, western Turkey. In *Proceedings of International Earth Sciences Congress, Aegean Region* (pp. 327-333).

Jaafar, S., ve Sarbatly, R. (2012, February). Geothermal water desalination by using nanofiber membrane. In *Proceedings of International Conference on Chemical, Environmental and Biological Sciences*.

Jackson, J., ve McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine—Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, *77*(1), 185-264.

Jackson, J., ve McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal International*, *93*(1), 45-73.

Joseph, G. (1999). Copper: its trade, manufacture, use, and environmental status. *ASM International, Member/Customer Service Center, Materials Park, OH 44073-0002, USA, 1999. 451*.

Karaca, Z., Yücel, D.Ş., Yücel, M.A, Kamacı, C., Çetiner, Z.S., Erenoğlu, R.C., Akçay, Ö. (2013). Çanakkale İli (Biga Yarımadası) Jeotermal Kaynakları ve Özelliklerinin Belirlenmesi, Biga Yarımadası Jeotermal Bilgi Sistemi. *Güney Marmara Kalkınma Ajansı (GMKA) DFD12/0011.*

Karakuş, H. (2015). Helium and carbon isotope composition of gas discharges in the Simav Geothermal Field, Turkey: Implications for the heat source. *Geothermics*, *57*, 213-223.

Karakuş, H., Özkul, C., Ergüler, Z. A., Kibici, Y., ve YANIK, G. (2017). Monte Carlo benzetimi ile Simav sahasının jeotermal kaynak potansiyelinin tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *23*(3), 323-329.

Karakuş, H., ve Şimşek, Ş. (2013). Tracing deep thermal water circulation systems in the E–W trending Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *252*, 38-52.

Kartikaningsih, D., Shih, Y. J., ve Huang, Y. H. (2015). Sustainable Environment Research.

Kasımoğlu, O. M., Karamanderesi, I. H., Özgür, N., Çalışkan, T. A., & Abubakar, I. I. (2015). Ömerbeyli Köyü (Germencik, Aydin) Yöresi Jeotermal Su Arama ve Üretim Kuyusunda Hidrotermal Alterasyon Modellemesi, Turkey. 68. Jeoloji

Kurultayı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 6-10 Nisan 2015, MTA Kültür Sitesi, Ankara, 181-184.

Katırcıoğlu, G. (2013). *Effect of High Saline Geothermal Fluid on Soil and Surface Water: a Case Study from Tuzla, Çanakkale-Turkey* (Doctoral dissertation, Izmir Institute of Technology (Turkey)).

Kato, K., Mogi, K., Ueda, A., ve Ishimi, K. (2000). Recovery of silica from the Sumikawa geothermal fluids by addition of cationic nitrogen-bearing reagents. In *Proceedings World Geothermal Congress* (pp. 2121-2125).

Khan, M. N., Peters, C. J., ve Koh, C. A. (2019). Desalination using gas hydrates: The role of crystal nucleation, growth and separation. *Desalination*, *468*, 114049.

Koch, E. C. (2002). Special Materials in Pyrotechnics Part 2. Application of Caesium and Rubidium Compounds in Pyrotechnics. *Journal of Pyrotechnics*, 9-24.

Kocyigit, A. (1996). Superimposed basins and their relations to the recent strike-slip fault zone: a case study of the Refahiye superimposed basin adjacent to the North Anatolian Transform Fault, northeastern Turkey. International Geology Review, 38(8), 701-713.

Koçyigit, A., Yusufoglu, H., ve Bozkurt, E. (1999). Discussion on evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, *156*, 1240-1242.

Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, *18*(3-4), 167-208.

Konak, N. (2002). 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası, M.T.A., Ankara

Kondrukevich, A. A., Vlasov, A. S., Platov, Y. T., Rusovich-Yugai, N. S., & Gorbatov, E. P. (2008). Color of porcelain containing neodymium oxide. *Glass and Ceramics*, *65*(5), 203-207.

Lawless, J. V., Ward, M., ve Beardsmore, G. (2010). The Australian code for geothermal reserves and resources reporting: practical experience. In *Proceedings of the World Geothermal Congress*.

Le Pichon, X., ve Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, *60*(1-2), 1-42.

Lee, J., Kim, S., Kim, C., ve Yoon, J. (2014). Hybrid capacitive deionization to enhance the desalination performance of capacitive techniques. *Energy ve Environmental Science*, *7*(11), 3683-3689.

Lehto, R. S. (1968). Zinc. *In Clifford A. Hampel (ed.). The Encyclopedia of the Chemical Elements. New York: Reinhold Book Corporation. pp. 822–830. ISBN 978-0-442-15598-8. LCCN 68-29938.*

Lindal, B. (1973). Industrial and other applications of geothermal energy. *Geothermal energy*, 135-148.

Lips, A. L., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, H., ve Wijbrans, J. R. (2001). Multistage exhumation of the Menderes massif, western Anatolia (Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, *89*(4), 781-792.

Liu, J., Martin, P. F., ve McGrail, B. P. (2021). Rare-earth element extraction from geothermal brine using magnetic core-shell nanoparticles-techno-economic analysis. *Geothermics*, *89*, 101938.

Lou, W. B., Zhang, Y., Zhang, Y., Zheng, S. L., Sun, P., Wang, X. J., ... ve Weigand, J. J. (2021). A facile way to regenerate FePO4· 2H2O precursor from spent lithium iron phosphate cathode powder: Spontaneous precipitation and phase transformation in an acidic medium. *Journal of Alloys and Compounds*, *856*, 158148.

MacMillan, J. Paul, Park, Jai Won, Gerstenberg, Rolf, Wagner, Heinz, Köhler, Karl and Wallbrecht, Peter (2002). Strontium and Strontium Compounds in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a25_321.

Maddy, D., Veldkamp, A., Demir, T., Van Gorp, W., Wijbrans, J. R., Van Hinsbergen, D. J. J., ... ve Aytaç, A. S. (2017). The Gediz River fluvial archive: A benchmark for Quaternary research in Western Anatolia. *Quaternary Science Reviews*, *166*, 289-306.

Mahmoodi, Z., Hoseini, F., Shahr, H. A., Ghodsi, Z., ve Amini, L. (2010). The Association between Maternal Factors and Preterm Birthand Premature Rapture of Membranes. *Journal of Family and Reproductive Health*, 135-139.

Maillard, J. Y., & Hartemann, P. (2013). Silver as an antimicrobial: facts and gaps in knowledge. *Critical reviews in microbiology*, *39*(4), 373-383.

Maimoni, A. (1982). Minerals recovery from Salton Sea geothermal brines: A literature review and proposed cementation process. *Geothermics*, *11*(4), 239-258.

Maimoni, A. (1982). Minerals recovery from Salton Sea geothermal brines: A literature review and proposed cementation process. *Geothermics*, *11*(4), 239-258.

Maimoni, A. (1982). *Cementation process for minerals recovery from Salton Sea geothermal brines* (No. UCRL-53252). Lawrence Livermore National Lab., CA (USA).

McCray, A. W. (1975). *Petroleum evaluations and economic decisions*. Prentice-Hall.

Mceachern, P. M., Wong, N., ve Andric, M. (2020). *U.S. Patent Application No. 16/624,744*.

McGrail, B. P., Thallapally, P. K., Liu, J., ve Nune, S. K. (2017). *Magnetic Partitioning Nanofluid for Rare Earth Extraction from Geothermal Fluids* (No. PNNL-26721). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

McGrail, B. P., Thallapally, P. K., Liu, J., ve Nune, S. K. (2017). *Magnetic Partitioning Nanofluid for Rare Earth Extraction from Geothermal Fluids* (No. PNNL-26721). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine—Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, *55*(1), 217-254.

Meulenkamp, J. E., Van der Zwaan, G. J., ve Van Wamel, W. A. (1994). On Late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic arc. *Tectonophysics*, *234*(1-2), 53-72.

Mittal (2009). Introduction to Nuclear and Particle Physics. p. 274. ISBN 978-81-203-3610-0.

Mock, J. E., Tester, J. W., ve Wright, P. M. (1997). Geothermal energy from the earth: its potential impact as an environmentally sustainable resource. *Annual Review of Environment and Resources*, *22*, 305.

Mohan, R., Baygents, A. D. J., Farrell, J., Fund, I., ve Student, W. S. U. (2009). Water Treatment using Electrocoagulation. *University of Arizona, Technology and Research*.

Möller, P., Dulski, P., ve Özgür, N. (2008). Partitioning of rare earths and some major elements in the Kizildere geothermal field, Turkey. *Geothermics*, *37*(2), 132-156.

Mroczek, E. K., Graham, D., ve Bacon, L. (2019). Removal of arsenic and silica from geothermal fluid by electrocoagulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *7*(4), 103232.

Mroczek, E., Climo, M., Li, Y., Evans, D., Carey, B., ve Gao, W. (2015, April). From waste to wealth: mineral extraction from geothermal brines. In *Proceedings World Geothermal Congress*.

Mroczek, E., Dedual, G., Graham, D., ve Bacon, L. (2015). Lithium extraction from Wairakei geothermal fluid using electrodialysis. In *Proceedings World Geothermal Congress* (Vol. 2015, pp. 1-6).

MTA (2005). Türkiye Jeotermal Kaynak Envanteri. *Maden Tetkik Arama Raporu*. *Rapor No: 3372, Ankara*

Muffler, L. J. P. (1979). *Assessment of geothermal resources of the United States, 1978* (No. USGS-CIRC-790). Geological Survey, Reston, VA (USA). Geologic Div.

Mutlu, H., Güleç, N., ve Hilton, D. R. (2008). Helium–carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, *247*(1-2), 305-321.

Newendorp, P. D. (1976). Decision analysis for petroleum exploration.

Noack, C. W., Dzombak, D. A., ve Karamalidis, A. K. (2015). Determination of rare earth elements in hypersaline solutions using low-volume, liquid–liquid extraction. *Environmental science ve technology*, *49*(16), 9423-9430.

Nordin, B. E. (1968). Strontium Comes of Age. *British Medical Journal. 1 (5591): 566. doi:10.1136/bmj.1.5591.566. PMC 1985251*.

Ober, Joyce A., Polyak, Désirée E. (2008). Mineral Yearbook 2007: Strontium. *United States Geological Survey. Retrieved 14 October 2008*.

Ojovan, M. I. (2004). Glass formation in amorphous SiO2 as a percolation phase transition in a system of network defects. *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters*, *79*(12), 632-634.

Okay, A. I., ve Satir, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, *137*(5), 495-516.

Okay, A. İ., ve SATIR, M. (2000). Upper Cretaceous eclogite-facies metamorphic rocks from the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *9*(2), 47-56.

O'Mara, W., Herring, R. B., & Hunt, L. P. (2007). *Handbook of semiconductor silicon technology*. Crest Publishing House.

Ozen, T., Bulbul, A., ve Tarcan, G. (2010, April). Reservoir and hydrogeochemical characterizations of the Salihli geothermal fields in Turkey. In *Proceedings world geothermal congress* (pp. 25-29).

Özçetin K. (2018). Çanakkale Tuzla-Gülpınar Jeotermal Alanlarının Hidrojeolojik Açıdan İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı, İzmir.*

Özen, T., Bülbül, A., ve Tarcan, G. (2012). Reservoir and hydrogeochemical characterizations of geothermal fields in Salihli, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, *60*, 1-17.

Özen, T., Tarcan, G., ve Gemici, Ü. (2005). Hydrogeochemical study of the selected thermal and mineral waters in Dikili Town, Izmir, Turkey. In *Proceedings of the 2005 World Geothermal Congress, April* (pp. 24-29).

Panagopoulos, A., Haralambous, K. J., & Loizidou, M. (2019). Desalination brine disposal methods and treatment technologies-A review. *Science of the Total Environment*, *693*, 133545.

Parhi, P. K. (2013). Supported liquid membrane principle and its practices: A short review. *Journal of Chemistry*, *2013*.

Park, J., Sato, H., Nishihama, S., ve Yoshizuka, K. (2012). Lithium recovery from geothermal water by combined adsorption methods. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, *30*(4), 398-404.

Park, J., Sato, H., Nishihama, S., ve Yoshizuka, K. (2012). Separation and recovery of lithium from geothermal water by sequential adsorption process with λ-MnO2 and TiO2. *Ion Exchange Letters*, *5*, 1-5.

Parkın, H. P. (2012). *Germencik-İncirliova (aydın) jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Patel, S., Patel, R., Gautam, A., ve Gautam, S. (2017). Influence of oxidizing agent on recovery of metals including gold and silver from printed circuit boards. *Int. Res. J. Eng. Technol.*, *4*(1), 830-834.

Pauwels, H., Brach, M., ve Fouillac, C. (1995). Study of Li+ adsorption onto polymeric aluminium (III) hydroxide for application in the treatment of geothermal waters. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *100*, 73-82.

Pauwels, H., Fouillac, C., ve Brach, M. (1989). A. F ME.

Peralta, G. L., Graydon, J. W., ve Kirk, D. W. (1996). Physicochemical characteristics and leachability of scale and sludge from Bulalo geothermal system, Philippines. *Geothermics*, *25*(1), 17-35.

Peralta-Videa, J. R., J. L. Gardea-Torresdey, E. Gomez, K. J. Tiemann, J. G. Parsons, and G. Carrillo. "Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake." *Environmental pollution* 119, no. 3 (2002): 291-301.

Pops, H. (Ed.). (1995). *Nonferrous Wire Handbook: Principles and Practice*. Wire Association International.

Premuzic, E. T., Lin, M. S., Jin, J. Z., ve Hamilton, K. (1997). Geothermal waste treatment biotechnology. *Energy sources*, *19*(1), 9-17.

Rabet, R. S., Simsek, C., Baba, A., ve Murathan, A. (2017). Blowout mechanism of Alasehir (Turkey) geothermal field and its effects on groundwater chemistry. *Environmental Earth Sciences*, *76*(1), 1-16.

Rancke-Madsen, E. (1975). The discovery of an element. *Centaurus*, *19*(4), 299-313.

Recepoğlu, O. (1991). A preliminary study on boron removal from Kizildere/Turkey geothermal waste water. *Geothermics*, *20*(1-2), 83-89.

Recepoğlu, Y. K., Kabay, N., Yılmaz-Ipek, İ., Arda, M., Yoshizuka, K., Nishihama, S., ve Yüksel, M. (2017). Equilibrium and kinetic studies on lithium adsorption from geothermal water by λ-MnO2. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, *35*(3), 221-231.

Recepoğlu, Y. K., Kabay, N., Yılmaz-Ipek, İ., Arda, M., Yoshizuka, K., Nishihama, S., ve Yüksel, M. (2017). Equilibrium and kinetic studies on lithium adsorption from geothermal water by λ-MnO2. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, *35*(3), 221-231.

Renkin, E. M. (1954). Filtration, diffusion, and molecular sieving through porous cellulose membranes. *The Journal of general physiology*, *38*(2), 225.

Roberts, S. (2009). *Pilot-scale Geothermal Silica Recovery at Mammoth Lakes: Final Project Report*. California Energy Commission.

Rothbaum, H. P. (1976). Removal of Silica and Arsenic from Geothermal Discharge Waters by Precipitation of Useful Calcium Silicates. In *Proc. Second UN Symp. Devel. Use Geother. Res.* (Vol. 2, pp. 1417-1425).

Rothbaum, H. P., ve Middendorf, K. (1986). Lithium extraction from Wairakei geothermal waters. *New Zealand Journal of Technology*, *2*(4), 231-235.

Sanchez, J. M., Hidalgo, M., Salvadó, V., & Valiente, M. (1999). Extraction of neodymium (III) at trace level with di (2-ethyl-hexyl) phosphoric acid in hexane. *Solvent extraction and ion exchange*, *17*(3), 455-474.

Sasan, K., Nenoff, T. M., Brady, P. V., ve Krumhansl, J. L. (2016). *Selective Silica Separations from Waste Water using Hydrotalcites* (No. SAND2016-8883C). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States); Sandia National Laboratories.

Schultze, L. E., ve Bauer, D. J. (1982). *Operation of a mineral recovery unit on brine from the Salton Sea known geothermal resource area* (Vol. 8680). US Department of the Interior, Bureau of Mines.

Schulz, W. W., ve Bray, L. A. (1987). Solvent extraction recovery of byproduct 137Cs and 90Sr from HNO3 solutions—a technology review and assessment. *Separation Science and Technology*, *22*(2-3), 191-214.

Schwochau, K. (1984). Extraction of metals from sea water. In *Inorganic Chemistry* (pp. 91-133). Springer, Berlin, Heidelberg.

Sengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, *136*(3), 269-282.

Sengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniginin esasları. In *Türk. Jeol. Kur., Konf. Serisi* (Vol. 2, No. 40, p. 40).

Seyitoğlu, G., Scott, B. C., ve Rundle, C. C. (1992). Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *Journal of the Geological Society*, *149*(4), 533-538.

SEYİTOĞLU, G., Tekeli, O., Çemen, I., ŞEN, Ş., ve IŞIK, V. (2002). The role of the flexural rotation/ rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, *139*(1), 15-26.

Seyitoğlu, G., ve Scott, B. C. (1996). Age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, *31*(1), 1-11.

Seyitoğlu, G., ve Scott, B. C. (1992). The age of the Büyük Menderes graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, *129*(2), 239-242.

Shannon, W. T., Owers, W. R., ve Rothbaum, H. P. (1982). Pilot scale solids/liquid separation in hot geothermal discharge waters using dissolved air flotation. *Geothermics*, *11*(1), 43-58.

Smith, R. C., Taggart, R. K., Hower, J. C., Wiesner, M. R., ve Hsu-Kim, H. (2019). Selective recovery of rare earth elements from coal fly ash leachates using liquid membrane processes. *Environmental science ve technology*, *53*(8), 4490-4499.

Sozbilir, H., Uzel, B., Sumer, O., Inci, U., Ersoy, E. Y., Kocer, T., ... ve Ozkaymak, C. (2008). Evidence for a kinematically linked EW trending İzmir Fault and NE-trending Seferihisar Fault: Kinematic and paleoseismogical studies carried out on active faults forming the İzmir Bay, Western Anatolia. *TURKIYE JEOLOJI BULTENI-GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY*, *51*(2), 91-114.

Sözbilir, H. (2001). Extensional tectonics and the geometry of related macroscopic structures: field evidence from the Gediz detachment, western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *10*(2), 51-67.

Sözbilir, H. (2002). Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, *15*(5-6), 277-288.

Sözbilir, H., ve Emre, T. (1996). Supradetachment basin and rift basin developed during the neotectonic evolution of the Menderes Massif. In *Geological Congress of Turkey, Ankara, Abstracts* (Vol. 300, p. 301).

Stando, G., Hannula, P. M., Kumanek, B., Lundström, M., ve Janas, D. (2021). Copper recovery from industrial wastewater-Synergistic electrodeposition onto nanocarbon materials. Water Resources and Industry, 26, 100156.

Stull, D. P. (2016). *Environmentally friendly economical sequestration of rare earth metals from geothermal waters* (No. DOE-Tusaar-EE0006751). Tusaar Corp., Lafayette, CO (United States).

Sun, S., Yu, X., Li, M., Duo, J., Guo, Y., ve Deng, T. (2020). Green recovery of lithium from geothermal water based on a novel lithium iron phosphate electrochemical technique. *Journal of Cleaner Production*, *247*, 119178.

Syed, S. (2016). Silver recovery aqueous techniques from diverse sources: Hydrometallurgy in recycling. *Waste management*, *50*, 234-256.

Şengör, A. C., ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, *75*(3-4), 181-241.

Şengör, A. M. C. (1987). Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, *28*(1), 575-589.

Şengör, A. M. C., Görür, N., ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.

Şengör, A.M.C. (1982). Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli. Congress of the Geological Society of Turkey, 59.72

Şimşek, Ş., Yıldırım, N., & Gülgör, A. (2005). Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power project, Turkey. Geothermics, 34(2), 234-251.

Şimşek, Ş. (2015). Dünya'da ve Türkiye'de jeotermal gelişmeler. In *III. Geothermal Resources Symposium Proceedings, Ankara, Turkey* (pp. 1-17).

Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., (2004), İzmir İli sıcak ve mineralli kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. TÜBİTAK Projesi Final Raporu, No: YDABAG-102Y039 (Aralık–2004)114 sayfa, 105 sayfa EK.

Tarcan, G., & Gemici, Ü. (2004). İzmir Jeotermal Alanların Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi ve Kabuklaşma Özelliklerinin Değerlendirilmesi. DEÜ BAP, Proje No: 02. KB. FEN, 72.

Tarcan, G. (2005). Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (> 150 şC) in geothermal areas of Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *142*(3-4), 263-283.

Tarcan, G., Bülbül, A. ve Özen, T. (2009). Alaşehir Çevresinin Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Açıdan İncelenmesi. *Final Raporu, TÜBİTAK Proje No: 106Y160, İzmir*

Tarcan, G., Gemici, Ü., Çolak, M., Özen, T., ve Karamanderesi, İ.H. (2013). Büyük Menderes Grabeni'ndeki Jeotermal Alanlarda Kabuklaşma Problemleri Üzerine Hidrojeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelemeler. *Final Raporu,* TÜBİTAK *Proje No: 109Y315, İzmir*

Tarcan, G., Filiz, S., ve Gemici, U. (2000, May). Geology and geochemistry of the Salihli geothermal fields, Turkey. In *Proceedings World Geothermal Congress* (pp. 1829-1834).

Tarcan, G., Gemici, Ü., ve Aksoy, N. (2004). İzmir İli Sıcak Ve Mineralli Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi Ve Bazı Önemli Kaynaklarla Karşılaştırılması. *Final Raporu, TÜBİTAK Proje No: YDABAG-102Y039, İzmir*

Tarcan, G., Gemici, Ü., ve Aksoy, N. (2005). Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, *47*(4), 523-534.

Tarcan, G., Gemici, Ü., ve Aksoy, N. (2009). Hydrogeochemical factors effecting the scaling problem in Balçova geothermal field, İzmir, Turkey. *Environmental geology*, *58*(7), 1375-1386.

Tarcan, G., ve Gemici, Ü. (2003). Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *126*(3-4), 225-242.

Thomas, H., Reinhardt, T. P., ve Segneri, B. (2015, January). Low temperature geothermal mineral recovery program. In *Proceedings of the 40th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA* (pp. 26-28).

Toshiba (2012). Toshiba Develops Dysprosium-free Samarium-Cobalt Magnet to Replace Heat-resistant Neodymium Magnet in Essential Applications. Toshiba (2012-08-16). Retrieved on 2012-09-24.

USGS (2022). 2022 List of Critical Minerals. https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals

IEA (2022) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Technology report. November 2022, Licence CC BY 4.0 https://www.iea.org/reports/critical-minerals-policy-tracker

Uysal, A., ÇETİNER, B., ve Aktaş, S. (2022). Metallic antimony recovery via cementation from antimony containing solutions and investigation of its conditions. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *37*(1).

Uzel, B. (2007). Cumaovası (Menderes) Havzası'nın Kuvaterner Jeolojisi ve Aktif Tektoniği. *DEÜ Fen bilimleri enstitüsü*.

Van Limpt, B., & Van Der Wal, A. (2014). Water and chemical savings in cooling towers by using membrane capacitive deionization. Desalination, 342, 148-155.

Ventura, E., Futuro, A., Pinho, S. C., Almeida, M. F., ve Dias, J. M. (2018). Physical and thermal processing of Waste Printed Circuit Boards aiming for the recovery of gold and copper. *Journal of environmental management*, *223*, 297-305.

Ventura, S., Bhamidi, S., ve Hornbostel, M. (2018, February). Selective recovery of lithium from brines. In *43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University*.

W. C. Bauman, J. L. Burba, ve J. M. Lee. (2001). Structure and Operation of Dow's New Lithium-Selective Ion-Exchange Resin. *United States Patent, Patent No.: US 6,280,693 B1, Date of Patent: *Aug. 28, 2001*.

Wall, A. (2016). “Mineral Recovery from Geothermal Brines: Resources, Technologies, and Economics.” Presentation to California Geothermal Forum, October 20, 2016.

Wang, C. (1919). *Antimony: Its history, chemistry, mineralogy, geology, metallurgy, uses, preparations, analysis, production, and valuation; with complete bibliographies*. Charles Griffen.

Wieser, M. E., & Coplen, T. B. (2010). Atomic weights of the elements 2009 (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *83*(2), 359-396.

Williams, C. F., Reed, M. J., Mariner, R. H., DeAngelo, J., ve Galanis, S. P. (2008). *Assessment of moderate-and high-temperature geothermal resources of the United States* (No. 2008-3082). Geological Survey (US).

Williams, C. F., Reed, M., ve Mariner, R. H. (2008). *A Review of Methods Applied by the US Geological Survey in the Assessment If Identified Geothermal Resources* (p. 27). US Department of Interior, US Geological Survey.

Yan, C., Yi, W., Ma, P., Deng, X., ve Li, F. (2008). Removal of boron from refined brine by using selective ion exchange resins. *Journal of hazardous materials*, *154*(1-3), 564-571.

Yazman, M. K., Güven, A., Ermiş, Y., Yılmaz, M., Özdemir, İ., Akçay, Y., ... ve Korucu, Ö. (1998). Alaşehir Grabeni'nin ve Alaşehir-1 Prospektinin Değerlendirme Raporu. TPAO Exploration Group. *Unpublished technical report, 142pp [in Turkish]*.

Yılmazer, S. (2015). Western Anatolıa’s Possıble Geothermal Potentıalunder The Lıght Of Updated Data. *III Jeotermal Kaynaklar Sempozyum ve Sergisi, TMMOB Jeeoloji Mühendisleri Odası Bildiri Kitabı, 4-6 Kasım 2015 Ankara, 494-507.*

Yılmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R., Bayar, S., Fil, B. A., ve Kocakerim, M. M. (2012). Boron removal by means of chemical precipitation with calcium hydroxide and calcium borate formation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *29*(10), 1382-1387.

Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacik, Z., ... & Elmas, A. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? Geological Society, London, Special Publications, 173(1), 353-384.

Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., ve Güner, Y. (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, *134*(1-3), 177-199.

Young, K. R., Wall, A., ve Dobson, P. F. (2015). Geothermal Resource Reporting Metric (GRRM) Developed for the US Department of Energy's Geothermal Technologies Office. *GRC Transactions*, *39*, 995-1003.

Zarrouk, S. J., ve Moon, H. (2014). Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. *Geothermics*, *51*, 142-153.

Zhang, N., Gao, D. L., Liu, M. M., ve Deng, T. L. (2014). Rubidium and cesium recovery from brine resources. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1015, pp. 417-420). Trans Tech Publications Ltd.

Zhang, W., Liu, G., & Han, K. (1992). The Fe-Nd (Iron-Neodymium) System. *Journal of Phase Equilibria*, *13*(6), 645-648.

Zhang, X., Qin, Z., Aldahri, T., Ren, S., ve Liu, W. (2020). Solvent extraction of rubidium from a sulfate solution with high concentrations of rubidium and potassium using 4-tert-butyl-2-(α-methylbenzyl)-phenol. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *116*, 43-50.

Zorlu, (2020). Jeotermal Kuyu Analiz Raporları. *Şirket İçi Rapor.*

Zorlu, (2022). Jeotermal Kuyu Analiz Raporları. *Şirket İçi Rapor.*