T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

İZMİR KALKINMA AJANSI

İZMİR İLİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN POTANSİYELİ, KULLANIM ALANLARI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ ARAŞTIRMASI

ŞUBAT 2022

İZMİR İLİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN POTANSİYELİ, KULLANIM ALANLARI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ ARAŞTIRMASI

ŞUBAT 2022, İZMİR

Yayın Sahibi

İzmir Kalkınma Ajansı
Megapol Çarşı Kule, Halkapınar Mahallesi,
1203/11. Sk. No: 5-7, Kat: 19
35170 Konak/İzmir
Tel : 0232 489 81 81
Faks : 0232 489 85 05
E-posta : info@izka.org.tr

Proje Ekibi

Prof. Dr. Alper Baba (İYTE)
Prof. Dr. Hasan Sözbilir (DEÜ)
Prof. Dr. Mustafa M. Demir (İYTE)
Prof. Dr. Gülden Gökçen Akkurt (İYTE)
Doç. Dr. Aslı Yüksel Özşen (İYTE)
Doç. Dr. M. Furkan Şener (BÜ)
Dr. Ebru Hancıoğlu (İYTE)
Dr. Taygun Uzelli (İYTE)

İZKA Ekibi

Sena GÜRSOY-Yeşil Büyüme Politikaları Birimi Başkanı
Hakkı Gökhan ELÜSTÜN-Yeşil Büyüme Politikaları Birimi Uzmanı

Grafik Tasarım

Orçun ANDIÇ

© 2022, İZKA. Tüm hakları saklıdır. Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 4110 sayılı Yasa ile değişik 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu uyarınca, kullanılmazdan önce hak sahibinden 52. maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekil ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilmek, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz.

Hazırlanmış olan çalışmanın tüm hakları İzmir Kalkınma Ajansı'na aittir. Bu İZKA eserinden kaynak gösterilmek suretiyle alıntı yapılabilir.

T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

İZMİR KALKINMA AJANSI

İZMİR İLİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN POTANSİYELİ, KULLANIM ALANLARI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ ARAŞTIRMASI

YÖNETİCİ ÖZETİ

"İzmir İlindeki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanları, Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi Projesi" isimli bu proje, İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA) ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rektörlüğü (İYTE) işbirliğiyle gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı, İzmir ili sınırları içinde kalan jeotermal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacak bütüncül bir stratejik plan geliştirmek ve jeotermal kaynaklar konusunda gerek kamu kurum ve kuruluşlarının gerekse özel sektörün gerçekleştireceği çalışmalara destek olmaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması, büyüyen bir ekonomide güvenilir ve düşük maliyetli enerjinin çevresel açıdan sürdürülebilir şekilde sağlanması ülkemizin öncelikli enerji politikasını oluşturmaktadır. Bu konudaki yatırımlar ve uygulamalar hızla artmaktadır. İzmir, yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin odak noktaları arasındadır.

İzmir ilinin içinde bulunduğu Ege Bölgesi, Alp-Himalaya deprem kuşağında, Afrika Levhası'nın Ege Denizi altına daldığı aktif bir yay gerisi tektonik ortam içerisinde bulunmaktadır. Bu levha sınırları boyunca genç volkanik yapılar ve sismik zonlar yer almaktadır. Bu zonlar içinde hem akışkan hem de ısı dolaşımına izin veren aktif faylar bulunmaktadır. İzmir'de jeotermal kaynakların dağılımı; genel olarak fay sistemlerinin, genç volkanik yapıların ve hidrotermal açıdan değişime uğramış alanların dağılımıyla çakışmaktadır. İzmir il sınırları içinde, jeolojik ve tektonik oluşumları nedeniyle düşük ve yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip sahalar bulunmaktadır. Bu sahalardaki jeotermal kaynaklar; elektrik üretimi, ısıtma, soğutma, seracılık, kurutma ve termal turizm gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Dünyada seracılıkta (Dikili jeotermal sahası) ve kentsel ısıtmada (Balçova-Narlıdere jeotermal sahası) jeotermal kaynakların kullanımının en iyi örneklerinden bazıları İzmir il sınırları içindedir.

Bu proje kapsamında, İzmir ili sınırları içindeki jeotermal kaynaklarla ilgili önceki çalışmalar değerlendirilerek mevcut jeotermal sahaların jeolojik, tektonik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca bölgedeki jeotermal kaynakların kullanım alanları ve olası potansiyelleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Raporun 1. bölümünde ildeki jeotermal kaynakların araştırılmasında kullanılan yöntemler, 2. bölümde Dünya'nın ve Türkiye'nin enerji sektöründeki mevcut durumu, 3. bölümde çalışma alanı ve özellikleri, 4. bölümde bölgesel jeoloji ve tektonik özellikler, 5. bölümde hidrojeolojik özellikler, 6. bölümde ise her jeotermal sahanın jeotermal kaynaklarına ait özellikler detaylı olarak sunulmuştur. 7. bölümde alandaki jeotermal kaynaklar ve bunların teknik ve çevresel değerlendirilmesi, 8. bölümde ise alandaki jeotermal kaynaklara ilişkin yatırım olanakları ve maliyet değerlendirmeleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Raporun son bölümününde ise ilin jeotermal potansiyeli genel olarak değerlendirilmiş ve yapılması gereken çalışmalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur. İlin sürdürülebilir jeotermal kaynak kullanımını sağlamak, projelerin negatif etkilerini azaltmak ve pozitif etkilerini arttırmak üzere öneriler içeren stratejik plan, program ve politikalar geliştirilmiştir.

Projeden elde edilen veriler, İzmir ilinin jeotermal potansiyelinin yüksek olduğunu, Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında termal turizm, seracılık, kurutma, konut ısıtma-soğutma ve elektrik üretimi; Karşıyaka-Bayraklı ve Çiğli jeotermal sahalarında konut ısıtma ve soğutma; Urla jeotermal sahasında konut ısıtma ve soğutma, seracılık ve balıkçılık; Çeşme jeotermal sahasında konut soğutma, termal ve sağlık turizmi; Seferihisar ve Menderes jeotermal sahalarında termal turizm, seracılık, kurutma, konut ısıtması ve elektrik üretimi; Menemen jeotermal sahasında konut ısıtma ve soğutma, seracılık ve kurutma; Foça jeotermal sahasında balıkçılık, termal ve sağlık turizmi; Aliağa jeotermal sahasında konut ısıtma-soğutma ve seracılık; Dikili-Bergama jeotermal sahasında seracılık, konut ısıtma, termal turizm, elektrik üretimi; Torbalı ve Bayındır jeotermal sahalarında ise seracılık, kurutma, termal turizm gibi uygulamaların yapılabilirliğini

ortaya koymuştur. Bununla birlikte, alandaki jeotermal kaynakların daha verimli ve doğru kullanılmasına yönelik bir dizi yerbilimsel çalışmanın yapılması da şarttır.

Lojistik imkânları, nitelikli işgücü ve özel yatırım bölgeleri ile İzmir, yatırım ortamıyla dünyada jeotermal kaynaklar açısından bir çekim merkezi haline gelebilecek potansiyele sahiptir. Buna rağmen İzmir'in jeotermal potansiyelinin yeterince değerlendirilmediği görülmektedir. Yenilik ve teknoloji merkezi olma yolunda hızla ilerleyen İzmir'de yapılan araştırmalar, jeotermal açısından kentin yatırımcılar nezdinde bilinirliğinin ve algısının kısıtlı olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, İzmir'de jeotermal kaynakları kullanan firmaların jeotermal konusunda aldıkları yatırım kararlarından memnun oldukları görülmektedir. Bu bağlamda, İzmir ilinde kentsel ısıtma-soğutmada jeotermal kullanımının arttırılması, termal turizm ve sağlık turizminin geliştirilmesi, tarıma dayalı jeotermal ihtisas organize sanayi bölgelerinin kurulması, jeotermal kaynakların ülke ekonomisine hizmet edecek bir yapıya kavuşturularak bölgesel ekonominin güçlendirilmesi gerekmektedir.

Araştırma kapsamında, İzmir ili sınırları içindeki jeotermal kaynaklarla ilgili önceki çalışmalar değerlendirilerek mevcut jeotermal sahaların jeolojik, tektonik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca bölgedeki jeotermal kaynakların kullanım alanları ve olası potansiyelleri hakkında bilgiler verilmiştir.

İÇİNDEKİLER

1.	**GİRİŞ**	1
1.1	Amaç ve Kapsam	2
1.2	Yöntem	4
1.2.1	Jeoloji ve Tektonik Çalışmaları	4
1.2.2	Jeofizik Çalışmaları	5
1.2.3	Hidrojeoloji Çalışmaları	5
1.2.4	Hidrojeokimya Çalışmaları	5
1.2.5	Isıl Potansiyelin Belirlenmesi	9
2.	**ENERJİ SEKTÖRÜNDE MEVCUT DURUM**	10
2.1	Türkiye'de ve Dünyada Enerji	10
2.2	Türkiye'de Jeotermal Enerji ve Ekonomik Önemi	14
3.	**ÇALIŞMA ALANI**	17
3.1	Coğrafik Özellikler	19
3.2	İklim Özellikleri	20
3.3	Arazi Kullanımı	24
4.	**BÖLGESEL JEOLOJİ VE TEKTONİK**	27
4.1	Temel Kaya Birimleri	28
4.2	Örtü Birimleri	30
4.3	Yapısal Kontroller	31
4.3.1	Bergama Fayı	32
4.3.2	Yenifoça Fayı	32
4.3.3	Gülbahçe Fay Zonu	32
4.3.4	Demircili-Yağcılar Fay Zonu	32
4.3.5	Seferihisar Fayı	33
4.3.6	Tuzla Fayı	34
4.3.7	İzmir Fayı	34
4.3.8	Güzelhisar Fayı	34
4.3.9	Menemen Fay Zonu	34
4.3.10	Dağkızılca Fayı	35
4.3.11	Kemalpaşa Fayı	35
5.	**HİDROJEOLOJİ**	35
5.1	Yerüstü Su Kaynakları	35
5.1.1	Akarsu ve Nehirler	35
5.1.2	Baraj ve Göletler	37
5.2	Yeraltı Su Kaynakları	37
6.	**İZMİR İLİ JEOTERMAL SAHALARI**	40
6.1	Yarımada Jeotermal Sahaları	41
6.1.1.	Urla Jeotermal Sahası	42
6.1.2.	Çeşme Jeotermal Sahası	50
6.1.3.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	59
6.1.4.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	65
6.2	Cumaovası Jeotermal Sahaları	65
6.2.1.	Seferihisar ve Menderes Jeotermal Sahaları	65
6.2.2.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	76

6.2.3.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	82
6.3	İzmir Körfezi Jeotermal Sahaları	83
6.3.1.	Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası	84
6.3.2.	Çiğli-Bayraklı-Karşıyaka Jeotermal Sahası	92
6.3.3.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	96
6.3.4.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	102
6.4	Gediz Havzası Jeotermal Sahaları	102
6.4.1.	Foça Jeotermal Sahası	103
6.4.2.	Menemen Jeotermal Sahası	108
6.4.3.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	113
6.4.4.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	113
6.5	Küçük Menderes Havzası Jeotermal Sahaları	113
6.5.1.	Bayındır Jeotermal Sahası	114
6.5.2.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	119
6.5.3.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	123
6.6	Bakırçay Havzası Jeotermal Sahaları	124
6.6.1.	Aliağa Jeotermal Sahası	125
6.6.2.	Dikili-Bergama-Kınık Jeotermal Sahası	130
6.6.3.	Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi	139
6.6.4.	Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar	144
7.	**TEKNİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME**	145
7.1	Teknik Sorunlara Yönelik Öneriler ve Tedbirler	150
7.1.1	Sektörel İyileştirme	150
7.1.2	Seracılık	151
7.1.3	Kentsel Isıtma	151
7.1.4	Turizm	152
7.1.5	Balıkçılık	152
7.1.6	Tarımsal Ürün Kurutma	152
7.2	Çevresel Sorunlara Yönelik Öneriler ve Tedbirler	153
7.2.1	Gaz Emisyonları	153
7.2.2	Toprak Kirliliği	154
7.2.3	Yeraltı ve Yerüstü Su Kirliliği	155
7.2.4	Gürültü ve Titreşim Kirliliği	156
7.2.5	Flora ve Fauna Üzerindeki Etkiler	157
7.2.6	Sosyal Sorunlar	157
7.2.7	Tarımsal Uygulamalar	158
7.2.8	Görsel Etkiler	158
7.2.9	Yer Seçimi ve Planlama	160
7.2.10	Önerilen İzleme Çalışmaları	161
8.	**YATIRIM OLANAKLARI VE MALİYET DEĞERLENDİRMESİ**	162
8.1	Elektrik Üretimi	165
8.2	Sera Isıtması ve Kurutma	167
8.2.1	Sera Isıtması	167
8.2.2	Kurutma	169
8.3	Kentsel Isıtma	172
8.4	Termal Turizm	176
9.	**SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER**	178
	KAYNAKLAR	186

ŞEKİLLER

ŞEKİL 2.1:	1965-2019 yılları arasında dünya genelinde kaynak bazlı enerji tüketim yüzdeleri.	11
ŞEKİL 2.2:	Dünyada toplam nihai enerji tüketiminin tahmini yenilenebilir payı (2009-2019).	11
ŞEKİL 2.3:	2000-2019 yılları arasında Türkiye'de kaynağa göre toplam birincil enerji arzı.	13
ŞEKİL 2.4:	2021 yılı Nisan ayı sonu itibariyle lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı (MW-%).	14
ŞEKİL 2.5:	Türkiye'nin jeotermal kaynak alanları (kırmızı noktalar jeotermal sahaları göstermektedir).	15
ŞEKİL 2.6:	Türkiye'de jeotermal elektrik üretiminin yıllara bağlı gelişimi (MWe).	16
ŞEKİL 3.1:	Türkiye ve İzmir'deki jeotermal kaynakların mevcut durumu ve yer bulduru haritası.	18
ŞEKİL 3.2:	İzmir ili ve çevresindeki coğrafik unsurlar.	20
ŞEKİL 3.3:	a) Bulutlu, yağışlı ve güneşli günler b) maksimum sıcaklıklar.	22
ŞEKİL 3.4:	İzmir ili için modellenen ortalama sıcaklık ve yağış dağılım grafiği.	23
ŞEKİL 3.5:	İzmir için a) ay bazlı rüzgâr hızı dağılımı, b) yıl için rüzgâr yönü dağılım grafiği (rüzgârgülü).	23
ŞEKİL 3.6:	İzmir iline ait Corine arazi kullanım verisi.	24
ŞEKİL 3.7:	İzmir ili için arazi örtüsünü oluşturan sınıfların yüzdelik dağılım grafiği.	25
ŞEKİL 3.8:	İzmir ili ilçe bazlı tarımsal ve orman alanlarının dağılım oranları.	26
ŞEKİL 4.1:	İzmir ili için genelleştirilmiş jeoloji haritası.	27
ŞEKİL 4.2:	Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesitleri.	29
ŞEKİL 4.3.	Karaburun Yarımadası Neojen öncesi birimlerin stratigrafisi.	30
ŞEKİL 4.4:	İzmir ve çevresinde bulunan önemli faylar.	33
ŞEKİL 5.1:	İzmir ili ve çevresindeki akarsu, nehir, drenaj, göl ve barajlar.	36
ŞEKİL 5.2:	İzmir ili ve çevresi için su temininde kullanılan barajlar a) Kutlu Aktaş Barajı b) Gördes Barajı c) Ürkmez Barajı d) Tahtalı Barajı e) Balçova Barajı f) Güzelhisar Barajı.	38
ŞEKİL 6.1:	İzmir ili jeotermal kaynakları ve bu çalışma kapsamında belirlenmiş çalışma bölgeleri.	40
ŞEKİL 6.2:	İzmir ili sınırlarında bu çalışma kapsamında belirlenmiş jeotermal sistemler ve sahalar.	41
ŞEKİL 6.3:	Yarımada jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	42
ŞEKİL 6.4:	a) Gülbahçe jeotermal sahası ve tarihi Roma Hamamı b) Ilıksu jeotermal sahasında jeotermal kaynağın bulunduğu hamam c) Malgaca İçmeleri.	44
ŞEKİL 6.5:	Urla jeotermal sisteminin genel özellikleri.	45
ŞEKİL 6.6:	Gülbahçe-İçmeler-Ilıksu jeotermal sahasının jeoloji haritası.	48
ŞEKİL 6.7:	Çeştaş'a ait a) termal turizm amaçlı kullanılan Ilıca mevkiindeki aktif jeotermal kuyusu b) termal turizm amaçlı kullanılan Karadağ mevkiindeki aktif jeotermal kuyusu.	52
ŞEKİL 6.8:	Çeşme jeotermal sahasına ait jeotermal sistemin genel özellikleri.	53
ŞEKİL 6.9:	Çeşme jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	55
ŞEKİL 6.10:	Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Schoeller diyagramı.	60

ŞEKİL 6.11:	Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Piper diyagramı.	60
ŞEKİL 6.12:	Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Cl-SO4-HCO3 diyagramı.	61
ŞEKİL 6.13:	Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.	61
ŞEKİL 6.14:	Çeşme'den alınan beyaz kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.	62
ŞEKİL 6.15:	Beyaz kabuk SEM görüntüleri (a) 500 büyütme (b) 1000 büyütme.	63
ŞEKİL 6.16:	Çeşme'den alınan turuncu kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.	64
ŞEKİL 6.17:	Turuncu kabuk SEM görüntüleri (a) 500 büyütme (b) 1 000 büyütme.	64
ŞEKİL 6.18:	Cumaovası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	66
ŞEKİL 6.19:	Cumaovası jeotermal sahalarına ait fotoğraflar a) Cumalı Kaplıcaları b) Doğanbey civarındaki sıcak çamur ve buhar çıkışları c) İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'ye ait bir üretim kuyusu d) Doğanbey-Karakoç civarındaki doğal kaynak çıkışları.	69
ŞEKİL 6.20:	Cumaovası jeotermal sahalarına (Seferihisar-Menderes) ait jeotermal sistemin genel özellikleri.	70
ŞEKİL 6.21:	Cumaovası jeotermal sahalarına ait jeoloji haritası.	72
ŞEKİL 6.22:	a) RSC Elektrik şirketine ait 12 MWe kapasiteli jeotermal elektrik santrali b) İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'ye ait jeotermal ısıtma uygulamalı seralar c) Seferihisar Belediyesi'nin mandalina jeotermal kurutma tesisi d) sera ve kurutma tesisi yakınındaki jeotermal üretim kuyusu.	74
ŞEKİL 6.23:	Cumaovası Havzası jeotermal sahalarındaki jeotermal akışkanların Piper diyagramı.	77
ŞEKİL 6.24:	Cumaovası Havzası jeotermal sahalarındaki jeotermal akışkanların Schoeller diyagramı.	78
ŞEKİL 6.25:	Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının Cl-SO4-HCO3 diyagramı.	78
ŞEKİL 6.26:	Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.	79
ŞEKİL 6.27:	Seferihisar sahasından alınan siyah kabuklaşma örneği.	81
ŞEKİL 6.28:	Seferihisar'dan alınan siyah kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.	81
ŞEKİL 6.29:	Seferihisar kabuk SEM görüntüleri a) 500 büyütme b) 1.000 büyütme.	81
ŞEKİL 6.30:	Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.	82
ŞEKİL 6.31:	İzmir Körfezi jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	84
ŞEKİL 6.32:	Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında yer alan ısı merkezlerindeki üretim kuyularına örnekler.	85
ŞEKİL 6.33:	Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminin genel özellikleri.	86
ŞEKİL 6.34:	Balçova-Narlıdere jeotermal sahalarına ait jeoloji haritası.	88
ŞEKİL 6.35:	Balçova jeotermal sahasındaki yer alan a) ısıtma merkezi, b) arıtma, c) kurutma ve d) tarımsal ürün yetiştirme uygulamaları.	91
ŞEKİL 6.36:	Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli jeotermal sahasına ait jeotermal sistemin genel özellikleri.	93
ŞEKİL 6.37:	Çiğli-Karşıyaka-Bayraklı jeotermal sahasına ait kuyuların bulunduğu alanın jeoloji haritası.	94
ŞEKİL 6.38:	İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Schoeller diyagramı.	98
ŞEKİL 6.39:	İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Piper diyagramı.	98
ŞEKİL 6.40:	İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.	99

ŞEKİL 6.41:	İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.	100
ŞEKİL 6.42:	Kabuk örneklerinin elektron mikroskop gösterimi.	101
ŞEKİL 6.43:	İzmir Körfezi jeotermal akışkanların Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.	102
ŞEKİL 6.44:	Gediz Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	103
ŞEKİL 6.45:	Foça-Ilıpınar jeotermal sahasında yapılan sondaj çalışması.	105
ŞEKİL 6.46:	Foça jeotermal sisteminin genel özellikleri.	106
ŞEKİL 6.47:	Foça jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	107
ŞEKİL 6.48:	Menemen jeotermal sisteminin genel özellikleri.	110
ŞEKİL 6.49:	Menemen jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	112
ŞEKİL 6.50:	Küçük Menderes Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	114
ŞEKİL 6.51:	a) Bayındır Belediyesi'ne ait kuyuda görülen kabuklaşma problemi b) örnekleme süreci c) Belediye jeotermal üretim kuyusuna ait bina.	115
ŞEKİL 6.52:	Bayındır jeotermal sisteminin genel özellikleri.	116
ŞEKİL 6.53:	Bayındır jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	117
ŞEKİL 6.54:	a) Bayındır Belediyesi jeotermal işletmesi b) Vardar Kaplıcaları c) Fatma Hanım Kaplıcaları.	119
ŞEKİL 6.55:	Küçük Menderes jeotermal akışkanlarının Schoeller diagramı.	120
ŞEKİL 6.56:	Küçük Menderes jeotermal akışkanlarının Piper diagramı.	121
ŞEKİL 6.57:	Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.	121
ŞEKİL 6.58:	Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.	122
ŞEKİL 6.59:	Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.	123
ŞEKİL 6.60:	Bakırçay Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.	125
ŞEKİL 6.61:	Aliağa-Samurlu jeotermal sahasındaki üretim kuyuları.	126
ŞEKİL 6.62:	Aliağa jeotermal sisteminin genel özellikleri.	128
ŞEKİL 6.63:	Aliağa jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	128
ŞEKİL 6.64:	Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasında bulunan doğal kaynaklardan a) Güzellik Kaplıcası (Bergama) b) Paşaköy Kaplıcası (Bergama c) Çamur Ilıcası (Dikili).	132
ŞEKİL 6.65:	Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sisteminin genel özellikleri.	133
ŞEKİL 6.66:	Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.	135
ŞEKİL 6.67:	a) Dikili Jeotermal A.Ş.'ye ait üretim kuyuları ve ısıtma binası b) Kozak civarında EGS potansiyeli olan granitler c) Agrobay Seracılık'a ait jeotermal ısıtmalı seralar d) seralarda yetiştirilen ve büyük bölümü ihraç edilen domatesler.	139
ŞEKİL 6.68:	Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Schoeller diagramı.	141
ŞEKİL 6.69:	Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Piper diagramı.	141
ŞEKİL 6.70:	Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Cl-SO_4-HCO_3 Ternary diyagramı.	142
ŞEKİL 6.71:	Bakırçay Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.	143
ŞEKİL 6.72:	Bakırçay Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.	144
ŞEKİL 7.1:	Hassasiyet haritalarının oluşturulmasındaki temel unsurlar.	145

ŞEKİL 7.2:	İzmir ili hassasiyet haritası.	147
ŞEKİL 7.3:	Hassas bölgeler üzerindeki kirletici faktörlerinin analiz şeması.	148
ŞEKİL 7.4:	Kirletici matriksine göre hazırlanmış olan baskı haritası.	148
ŞEKİL 7.5:	Hassasiyet ve baskı ilişkisi.	149
ŞEKİL 7.6:	Jeotermal ruhsat alanlarının baskı haritasındaki yerleri.	149
ŞEKİL 7.7:	a) Bayındır jeotermal sahasında bölgedeki verimli tarım arazilerini kirleten âtıl durumda olan bir kuyu b) Çeşme'de kullanılmayan bir kuyu örneği.	155
ŞEKİL 7.8:	a) Dikili jeotermal sahasında kuyu başından sızan jeotermal akışkan b) Sızan akışkanların bölgedeki su kaynaklarına karışması c) Bayındır jeotermal sahasında kapalı kuyulardan artezyen sonucu sızan akışkan.	156
ŞEKİL 7.9:	a) Çeşme jeotermal sahasında âtıl durumda kuyu binası b) Kuyu binası içerisindeki kirlilik ve akışkan sızıntısı c) Çeşme jeotermal sahasında işletilen bir kuyuya ait iyi bir koruma uygulaması d) Balçova Termal oteldeki kuyulardaki görsel iyileştirmelere güzel bir örnek.	159
ŞEKİL 7.10:	30 Ekim 2020 Samos depremi sonrası a) Gülbahçe jeotermal sahasında yeni kaynak oluşumları b) Tuzla fay segmentinde jeotermal akışkan faaliyetinin başlaması c) Tuzla fay segmentinde fümerol aktivitesi d) Tuzla fay segmentine ait drone görüntüsü e) Gülbahçe sahasında sıvılaşma sonucu oluşan kum volkanları.	161
ŞEKİL 8.1:	Jeotermal enerji destekli yatırım kalemleri.	163
ŞEKİL 8.2:	Jeotermal kaynak aramalarındaki iş akış şeması.	164
ŞEKİL 8.3:	İlçelere göre yaş sebze ve meyve toplam üretiminin ilçe bazlı dağılımı.	170
ŞEKİL 8.4:	Balçova-Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemine ait ısı dağıtım şeması.	173
ŞEKİL 9.1:	İzmir'deki jeotermal sahaların jeotermal uygulamaları açısından değerlendirme kriterleri.	179
ŞEKİL 9.2:	İzmir'deki jeotermal sahaların jeotermal uygulamaları açısından değerlendirme sonuçları.	180
ŞEKİL 9.3:	İzmir'deki jeotermal sahaların havza bazlı kullanım alanı değerlendirmesi.	182

TABLOLAR

TABLO 6.1:	Urla'da bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli.	49
TABLO 6.2:	Çeşme jeotermal sahasında bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli.	56
TABLO 6.3:	Çeşme İlçesinde Termal Turizm Verileri (S:Sezonluk Tesisler; T:Yıl Boyu Hizmet Veren Tesisler).	58
TABLO 6.4:	Beyaz kabuğun elemental içeriği (XRF analizi).	62
TABLO 6.5:	Turuncu Kabuk örneğinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.	63
TABLO 6.6:	Cumaovası jeotermal sahalarında bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli	73
TABLO 6.7:	Siyah kabuğun elemental içeriği (XRF sonucu).	80
TABLO 6.8:	Balçova-Narlıdere sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.	89
TABLO 6.9:	Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.	96
TABLO 6.10:	Balçova'dan alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.	100
TABLO 6.11:	Foça sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.	108
TABLO 6.12:	Bayındır sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.	118
TABLO 6.13:	Bayındır jeotermal alanının jeotermometre hesaplamaları.	122
TABLO 6.14:	Bayındır'dan alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.	123
TABLO 6.15:	Aliağa sahasında bulunan jeotermal kaynakların ısıl potansiyeli.	129
TABLO 6.16:	Dikili-Bergama-Kınık sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.	136
TABLO 6.17:	Dikili'den alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.	143
TABLO 7.1:	Hassasiyet haritalarında dikkate alınan ağırlıklandırma değerleri.	146
TABLO 8.1:	İzmir 'de jeotermal ile ısıtılan mevcut ve planlanan seralar ve alanları.	167
TABLO 8.2:	Dikili TDİOSB Yatırım Örneği Tutarları.	168
TABLO 8.3:	2 da'lık bir sera kurulumu örneği.	169
TABLO 8.4:	İzmir il sınırları içerisindeki jeotermal kurutma tesisleri	171
TABLO 8.5:	Jeotermal destekli kurutma tesisi fizibilitesi	171
TABLO 8.6:	İzmir ilindeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve kapasiteleri	172
TABLO 8.7:	1 K.E. (100 m2) için enerji maliyeti karşılaştırması.	173
TABLO 8.8:	Çeşitli enerji kaynakları için ısıtma ve soğutma için enerji fiyatı.	175
TABLO 8.9:	İzmir ili Termal Otelleri.	176
TABLO 8.10:	Doğanbey Termal Tedavi Merkezi Yatırım Maliyeti.	177
TABLO 8.11:	Tesisler için yapı yaklaşık birim maliyetleri.	177

BÖLÜM 1.
Giriş

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilmektedir. Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yarattığı çevresel problemler, özellikle global ısınmaya etkisi nedeni ile gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her alanda artmaktadır. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem vermektedir. Bu enerjilerden en önemlisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji ise günümüzde olduğu gibi yakın gelecekte de ülkelerin en önemli enerji kaynağı konumuna gelecektir [1-3].

Jeotermal enerji; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğunun ulaşılabilir noktalarında, doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılabilen, yeryüzüne su, buhar ve gaz ile de taşınabilen doğal kaynağın enerjisidir. Yeraltında bulunan yüksek sıcaklıktaki sıcak kuru kayalar ve bu kayaçlara dışarıdan basılan su, gaz ve diğer akışkanlardan sağlanan sıcak su, buhar ve gazlar da jeotermal enerji kaynağı tanımı kapsamındadır. Bu özellikleriyle jeotermal enerji; yeni, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi olmayan, sürdürülebilen, yenilenebilir, ucuz, güvenilir, çevre dostu ve ülkemiz için yerli bir enerji türüdür [4].

İklim değişikliği ve küresel ısınma süreçleri ile birlikte çevresel etmenlerden kaynaklı yenilebilir enerji kullanımında birtakım anlaşmalarla kullanım alanlarına yönelik zorunluluk getirilmiş ve ülkeler enerji üretim politikalarında yenilenebilir enerji paylarını arttırmışlardır. 2030 yılı itibarıyla AB'nin yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş enerji payının %30'a ulaşması hedeflenmiştir. Türkiye ise 2023 yılına kadar toplam elektrik enerjisi talebinin en az % 30'unu ve ulaştırma sektörü ihtiyaçlarının da %10'unu yenilenebilir enerjiden karşılamayı hedeflemekte, diğer yandan 2023 yılında enerji yoğunluğunu yani birim GSYH başına tüketilen enerji miktarını, 2011 yılını referans alarak en az %20 düşürmeyi amaçlamaktadır [5]. Bu nedenle son yıllarda jeotermal enerji kullanımı tüm dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir artış göstermektedir [6].

Bu çalışma kapsamında İzmir ili sınırı içinde yer alan jeotermal sahaların jeolojik, tektonik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım alanları ve potansiyelleri ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Jeotermal kaynaklar açısından İzmir ili önemli bir paya sahiptir. İl sınırlarında hem Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) hem de özel sektör tarafından jeotermal amaçlı açılmış çok sayıda kuyu bulunmaktadır. Yapılan incelemelere göre, açılan bu kuyuların derinlikleri 200 m ile 2.000 m arasında değişmekte, bazılarında 200°C'ye ulaşan rezervuar sıcaklıklarına rastlanmaktadır. Bu veriler İzmir ilinin jeotermal enerji açısından oldukça önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Seferihisar'da elektrik üretimi, Balçova'da konut ısıtma, Dikili'de sera ısıtma ve Çeşme'de termal turizm amaçlı uygulamalar bulunmaktadır. Mevcut durumda bu uygulamalar ülke ekonomisine ciddi anlamda katkı sağlamaktadır. İzmir'de bulunan sahalarda ve henüz geliştirme çalışmaları başlamamış alanlarda mevcutlara ilave kapasitenin geliştirilmesi hem ülke ekonomisine olan katkıyı artıracak hem de çevresel problemleri minimize edecektir.

"İzmir İlindeki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanları, Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi Projesi" isimli bu projede yapılan çalışmaların adımları aşağıda detaylı olarak özetlenmiştir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Dünya enerji sektörü son 10 yılda kökten bir değişim dönemine girmiştir. Değişimin ana odağı, yenilenebilir enerjilerin ana etken olduğu, daha sürdürülebilir ve verimli bir enerji sektörünün teşvik edilmesidir. Jeotermal enerji hem enerji üretimi hem de kapsamlı doğrudan kullanım uygulamaları söz konusu olduğunda, bu değişimde önemli bir rol oynayacaktır.

Türkiye jeotermal sektörü, son yıllarda çok sayıda önemli proje ve yatırım gerçekleştirmiştir ancak bunlar çoğunlukla bireysel şirketler ve kurumlar tarafından yürütülmüştür. Türkiye jeotermal sektörünün dünya çapında gerçekleşen jeotermal gelişime aktif olarak katılabilmesini sağlamak ve uluslararası projelerle sürekli ve sürdürülebilir büyümesini sağlamak için endüstri sektörü, üniversiteler ve kamu kurum kuruluşları ile iş birliği içerisinde olması oldukça önemlidir.

Türkiye'nin jeotermal yetkinliğinin uluslararası markalaşma uygulaması, nasıl ve nereye odaklanılacağına dair bir strateji ve eylem planını içeren uyumlu bir çalışma ile mümkün olacaktır. Bu strateji hem potansiyel müşterileri hem de ajansları, organizasyonları ve finansal kurumları hedef almalıdır. Jeotermal enerjinin gelişimi ulusal ve uluslararası finansmana bağlı olduğu için farklı organizasyonlar ve kuruluşlar da sürece dâhil edilmelidir. Jeotermal kaynaklar aynı zamanda turizm aktiviteleri aracılığıyla ülkeyi tanıtmada oldukça önemli doğal kaynaklardır. Bölgesel, alan, konut ve sera ısıtma-soğutma uygulamaları da HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sektörünün karbondan arındırılması için kilit bir teknoloji durumuna gelmiştir. Türkiye, son yıllarda jeotermal enerjiden elektrik üretiminde geldiği konumu sürdürmek ve uluslararası pazarlardaki yerini sağlamlaştırmak için jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında da önde gelen ülkeler arasında olmak zorundadır.

Elektrik üretimi veya doğrudan kullanım alanında jeotermal enerji için dünya genelinde oldukça büyük bir beklenti mevcuttur. Jeotermal enerjinin gelişimi, büyük ölçüde siyasi ve finansal desteğe bağlı olmakla birlikte, kömür veya petrol gibi fosil yakıtlara alternatif olan en önemli doğal kaynak konumundadır. Kısa vadede en büyük potansiyel, özellikle ısıtma ve ısıyı kullanan diğer uygulamalar için jeotermal enerjinin doğrudan kullanımındadır. Teknolojik gelişmelerle, kademeli/entegre ve iyi tasarlanmış sistemlerde jeotermal, gelecekte küresel enerji üretiminin temel bir parçası olabilir. Jeotermal enerjinin hem elektrik üretiminde hem de doğrudan kullanımda olduğu kadar endüstride de kullanımı için muazzam bir potansiyel vardır. Jeotermal enerjinin bölgesel ısıtma, kaplıcalar, gıda üretimi ve ısı kullanan diğer endüstriyel uygulamalar için doğrudan kullanımı henüz istenilen aşamaya gelmemiştir.

Jeotermal enerji günümüzde elektrik üretimi, ısıtma ve ilgili amaçlar için doğrudan kullanım olarak adlandırılan uygulamalarda ve dolaylı olarak toprak kaynaklı ısı pompaları aracılığıyla kullanılmaktadır. Elektrik üretimi ve doğrudan kullanım uygulamaları enerjilerini doğrudan bir rezervuardan alırken hem doğal hem de yapay olarak oluşturulan derin jeotermal sistemler ve sığ derinliklerde toprak kaynaklı ısı pompaları yerin sabit sıcaklıklarını kullanır.

Enerji güvenliği ve enerjide bağımsızlık için artan çabalar ve iklim değişikliğine karşı mücadele ile ısıtma, enerji sektöründe ön plana çıkmaya başlamıştır. Şubat 2016'da AB, ısıtma ve soğutma konusundaki ilk stratejisini yayınlamıştır. Strateji, AB'nin Enerji Birliği stratejisinin ayrılmaz bir parçası olmuştur. Günümüzde ısıtma ve soğutma AB'nin enerji tüketiminin neredeyse yarısını temsil etmektedir. Binaları ısıtmak ve soğutmak için kullanılan enerjinin %75'i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır [7]. Dünyanın birçok

yerinde yılın sadece 3 ila 6 ayı ısınma talebi olmasına rağmen, bu durum Türkiye'de bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Özellikle büyükşehirlerde önemli ısıtma maliyetleri oluşmaktadır ve bu durum İzmir gibi mevcut jeotermal ısıtma örnekleri olan, jeotermal kaynağa sahip şehirler için çözülebilir bir sorundur. Isıtma dışında sera, kurutma ve jeotermal akışkandan mineral ve gaz kazanımının da hem dünyadaki CO_2 değerlerinin azaltılmasına hem de ülke ekonomisine ciddi katkısı olacaktır.

Türkiye'deki jeotermal kaynakların sadece mevcut kaynak (açılmış kuyu, doğal kaynak, kaplıca vb.) sayıları incelendiğinde 1. 000'den fazla jeotermal kaynak ve mineralli su olduğu bilinmektedir. Jeotermal enerjinin Türkiye'deki teorik potansiyelinin ise 60.000 MWt civarında olduğu belirtilmektedir [6]. Bu tarz tahminlerin temeli uygulama öncesinde net olarak ifade edilemeyebilir çünkü bazen bir kaynağın potansiyeli uygulamaya geçilmeden önce tam olarak anlaşılamayabilir. Teknoloji metodu ve enerji fiyatlarına ilişkin varsayımlar da dâhil olmak üzere, böyle bir tahminin temeli açıklanmadıkça, kaynak tahminlerinin değeri çok sınırlıdır. Tek bir jeotermal kaynak düzeyinde, yalnızca geliştirmeyi planlamak için kaynağın boyutunu iyi kavramak değil, aynı zamanda risklerin değerlendirilebilmesi ve finansman sorunları için bu tahminin güvenilirliğinin sayısallaştırılması da aynı derecede önemlidir. Tüm bu potansiyel, jeolojik, hidrojeolojik, jeofizik, hidrojeokimyasal ve ilgili diğer disiplinlerin birlikte değerlendirilmesi ile gerçekleşebilir.

Genel enerji tartışmasında, artan nüfus ve gelişmişlik seviyeleri düşünüldüğünde odak noktası şehirlerdir. Şehirler, enerji piyasasının temiz ve sürdürülebilir enerjiye geçişinde merkezi bir role sahiptir. Metropoller, küresel enerji talebinin %70'inden fazlasını temsil etmekte ve enerji politikaları incelendiğinde gelecekteki yenilenebilir enerji ve iklimle ilgili hedeflere ulaşmada ilk aksiyon alınması gereken yerler konumundadırlar. Özellikle kamu hizmeti şirketleri ve kurumları, modern bölgesel enerji sistemlerini geliştirmek için benzersiz bir konuma sahiptir. Bu nedenle, "İzmir İlindeki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanları, Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi Projesi" adlı bu çalışma kapsamında, İzmir il sınırlarındaki jeotermal kaynaklar değerlendirilmiş, yeni kaynak alanları belirlenmiş, güncel kullanım durumları yerinde incelenmiştir. Aynı zamanda kaynakların potansiyelleri dikkate alınarak, ileride yapılabilecek yatırımlar için bir ön fizibilite olabilecek multidisipliner bir çalışma ortaya konulmuştur.

1.2. Yöntem

Projenin kapsadığı İzmir ilindeki jeotermal alanlardaki çalışmalarda esas alınan temel ilke; jeotermal kaynaktan ekonomik olarak yararlanmak için alanlarda yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte ve yeterlilikte karşılanabileceğine yönelik bilgilerin üretilmesidir. Bu araştırma anlayışından yola çıkarak önce mevcut durumun saptanması, daha sonra tercih edilen araştırma yönteminin gerektirdiği tekniklerin uygulama sonuçlarının değerlendirilmesiyle kullanım ve değerlendirme seçeneklerinin sunulması amaçlanmıştır. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1.2.1. Jeoloji ve Tektonik Çalışmaları

Araştırmanın hazırlık aşamasında bölgesel jeoloji ve tektonik özellikler ile jeotermal alanlarla ilgili literatür taraması yapılmış, uydu görüntülerinden bölgenin ana tektonik yapıları ve çizgisellikler belirlenerek araştırmada odaklanılması gereken jeolojik özellikler tartışılmıştır. Bölgenin tektonik yapısı irdelenerek sahaların bölgesel neotektonik yapı içindeki konumları belirlenmeye çalışılmıştır. Arazi gözlemlerinde belirlenen faylar, jeotermal kaynaklar vb. veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla haritalara işlenmiştir. Haritalar İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde lisanslı ArcGIS® Pro (Version 2.3.3; Esri Inc.) yazılımı ile hazırlanmıştır. Oluşturulan haritalar yardımı ile jeolojik, tektonik, volkanizma ve hidrojeolojik bulguların ortak sentezi sonucu alanların jeotermal sistem bileşenleri tartışılarak jeotermal sistemin ısı kaynağı, rezervuar ve örtü kaya özellikleri irdelenmiştir. Böylece sahaların jeolojisi ve tektoniği jeotermal kaynak potansiyeli açısından değerlendirilmiştir.

1.2.2. Jeofizik Çalışmaları

Bazı sahalarda daha önce yapılmış olan jeofizik çalışmalar irdelenmiş, jeolojik yapılarla ilişkisi ortaya konulmuştur. Yeraltı bilgi eksikliğinin giderilmesi, yüzeydeki fayların derine doğru gidişlerinin belirlenmesi ve jeotermal aktivite yorumlamalarında bu çalışmalardan yararlanılmıştır.

1.2.3. Hidrojeoloji Çalışmaları

Proje sahasındaki jeolojik kayaların hidrojeolojik özellikleri detaylı olarak irdelenmiş, jeotermal sistemi oluşturan kayaçlara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Arazi gözlemlerine dayanılarak elde edilen veriler yardımıyla sahalara ilişkin jeoloji haritaları çizilmiş, jeotermal sistemin elemanları tanımlanmıştır.

1.2.4. Hidrojeokimya Çalışmaları

Proje kapsamında, İzmir ili sınırları içerisinde gerçekleştirilmiş tüm bilimsel raporlar, akademik yayınlar, veri tabanları, envanterler ile ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilen bilgiler ışığında jeotermal sahalara ait tüm fiziksel (sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik-Eİ vb.) ve kimyasal veriler (majör anyon ve katyon, ağır metaller vb.) derlenmiştir. Bunlara ek olarak, proje sahasında jeotermal kaynaklardan ve kuyulardan hem fiziksel hem de kimyasal analizler için numune alınmıştır. Örnekleme noktaları mekânsal olarak alanı yansıtacak şekilde daha önce örneklenmemiş sahalardan seçilmiştir.

Sahadaki su örneklemesi bu çalışmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Ortaya çıkabilecek laboratuvar ölçüm hataları ile laboratuvardaki analiz ve test yöntemlerinden doğabilecek hataların en aza indirilmesi için örnek sayısı çoğaltılmış ve örneklemenin doğru yapılmasına dikkat edilmiştir. Suların örneklemesi sırasında farklı hacimlerde sızdırmaz kapaklı polietilen örnekleme şişeleri kullanılmış olup, örnek kapları doldurulmadan önce örnekleme yapılan sularla üç kez çalkalanmıştır. Örneklemelerde, temel anyon ve katyonlar için 250 ml, ağır metal ve eser elementler için 100 ml, trityum analizleri için 1.000 ml, oksijen-18 ve döteryum izotopu analizleri için ise 50 ml hacimli şişeler kullanılmıştır. Sularda majör anyon ve katyon analizleri, ağır metal analizleri

ve silika ölçümleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tümleşik Araştırma Merkezleri Laboratuvarlarında ve izotop analizleri ise ulusal standart kalite belgesine sahip Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılmıştır. Majör anyon ve katyon analizleri için alınan örnekler Milipore marka 0,45 µm gözenekli filtrelerle filtrelenmiştir. Ancak bu örneklerde nitrik asit ile asitlendirme yapılmamıştır. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuş ve örnekler arazi tipi buzdolabında +4°C'de saklanmıştır. Daha sonra tüm majör anyon ve katyon örnekleri iyon kromatografi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Ağır metal ve eser element analizi için alınan su örneklerinde elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla örneğin pH'ını 2-3 aralığına indirmek için 0,1-0,2 ml arasında derişik nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Eklenen nitrik asit ortamda gaz çıkışına sebep olduğundan örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır.

Daha sonra tüm ağır metal ve eser element örnekleri endüktif eşlenik plazma–kütle spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Hidrojeokimya Diyagramları

Jeotermal sahalarda alınan tüm veriler hidrojeokimya açısından değerlendirilmiştir. Bu nedenle, bir dizi diyagram kullanılmıştır. Piper Üçgen Diyagramı, Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı ve Ternary Diyagramı, gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeokimyada oldukça sık kullanılan diyagramlardandır.

Piper Diyagramı anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılmasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper sınıflamasına göre eşkenar üçgenlerden meydana gelen katyon ve anyon üçgenine iyonların % meq/L değerleri işaretlenerek bulunan noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak kesiştiği nokta ile suyun sınıfı belirlenmektedir.

Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı'nda benzer kökenli, aynı rezervuara ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. Schoeller Diyagramı logaritmik ölçekli Y ekseninde element derişimlerinin meq/L olarak yer aldığı, X ekseninde sırasıyla Mg_2^+, Ca_2^+, Na^+,K^+, Cl^-, SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarını gösteren bir diyagramdır. Sonuç olarak bu diyagram üzerine işaretlenen element derişimlerinin oluşturduğu çizgilerin yorumlanması yoluyla suların kökenlerinin benzer olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Cl-SO_4-HCO_3 Diyagramı, doğal yeraltı sularının sınıflandırılması için kullanılan Giggenbach Diyagramına benzemektedir. Bu diyagram, suyun kökeni ve yaşadığı fiziko-kimyasal süreçler hakkında bilgi sağlar.

Bu çalışma kapsamında, değerlendirmeleri daha iyi yapabilmek adına jeokimyasal analiz sonucu bulunmayan ya da sonucu çok eski tarihli olan bazı sahalardan yeniden jeotermal akışkan örneklemesi yapılmış ve grafiklerde "İZKA" etiketiyle değerlendirilmiştir.

Jeotermometre Hesaplamaları

Hidrojeokimyasal verilerden yararlanılarak rezervuar sıcaklığına yönelik tahminler yapılmıştır. Analiz sonuçları, suların karakteristik özellikleri, sınıfları, köken ilişkileri, su-kayaç etkileşim özellikleri, dolaşım mekanizmaları gibi bilgiler arazi gözlemleri ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Proje sahasında alınan su örneklerinden yararlanılarak alandaki suların rezervuar sıcaklığına yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) rezervuar sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Jeotermometre ile hem jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklığı yorumlanabilmekte hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal akışkana uygulanıp/uygulanamadığı kontrol edilmektedir.

Jeotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığı katyon ve silis jeotermometreleri ile tahmin edilebilir. Denge sağlandıktan sonra sular karışırsa, jeotermometreler sıcaklık değerleri sağlayabilir. Katyonik bileşimli jeotermometreler [8], özellikle yüzeye çıkış sırasında sığ derinliklere ait soğuk sular ile karışmışsa rezervuar

sıcaklıklarına ilişkin yakın tahminlerde bulunmayı kolaylaştırmaktadır. Alandaki jeotermal akışkanların sıcaklıkları şu jeotermometrelerle hesaplanmıştır: Katyon jeotermometreleri Na/K [8-12], K/Mg [13], Na-K-Mg [12] ve silika [11, 14, 15].

Katyon jeotermometreleri, Giggenbach [12] tarafından akışkanların rezervuar sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem akışkanların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri, olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmaktadır.

Doygunluk indeksi; MI=0.315 log [(K2/Mg)-log (K/Na)] bağıntısıyla tanımlanmıştır. Su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu alanlar (karışmış sular) ve tamamen dengede olduğu alanlar ise eş kimyasal özellikteki noktalar ile K+ -Mg++ ve K+ -Na+ jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık (izoterm) değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğriyle birbirinden ayrılmaktadır [12].

Jeotermal sahalarda ölçülen major katyonlardan yararlanılarak sahadaki akışkanda farklı sıcaklıklarda oluşabilecek minerallerin doygunlukları hesaplanmış, T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doygunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir. Ayrıca bazı sahalarda doygunluk indekslerinden yararlanılarak olası rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmiştir.

Kabuklaşma ve Korozyon

Jeotermal sistemlerde üretim ve re-enjeksiyon süreçlerinde akışkandan kaynaklı bir dizi mühendislik problemleri ile karşılaşılabilinmektedir. Kabuklaşma ve korozyon bunların en önemlilerindendir. Bu nedenle, bazı jeotermal sahalarda oluşan kabuk örneklerinden ve altere olmuş kayaçlardan numuneler alınarak İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Laboratuvarları'nda bir dizi jeokimyasal analiz (X-Işınları Floresans Spektrometre (XRF), X-Işını Difraktometre (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazları ile) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, oluşan kabuğun özelliği ve sıcaklık tahminleri yapılmıştır. Ayrıca, bu veriler ile jeotermal akışkandan kaynaklanabilecek problemlerin hem önceden kestirimi hem de daha ekonomik olarak uygulanabilecek kimyasal yöntemlere ilişkin veriler sağlamıştır.

İzotop Çalışmaları

Jeotermal arama, geliştirme ve izleme çalışmalarında akışkan kökenlerine ilişkin olarak hidrojeolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko-kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan izotoplar; hidrojen ve oksijen elementlerinin duraylı izotoplarıdır. Hidrojen elementinin doğada 2 adet duraylı (δ ^{1}H= Hidrojen ve δ ^{2}H =D=Döteryum) ve 1 adet radyoaktif (δ ^{3}H= Trityum) izotopu mevcuttur. Oksijen elementinin doğal olarak bulunan duraylı izotopları ise δ 16O, δ ^{17}O ve δ ^{18}O izotoplarıdır.

Oksijen ve hidrojenin duraylı izotopları nedeniyle su molekülleri çeşitli izotopik konfigürasyonlara sahip olabilmektedir. Suyun farklı izotopik moleküllerinin buhar basıncı izotoplarının kütleleri ile ters orantılıdır. Örneğin $H_2{}^{16}O$ molekülü $D_2{}^{18}O$ molekülüne oranla daha yüksek buhar basıncına sahiptir. Bu nedenle suyun buharlaşma sürecinde buhar fazı hafif izotoplarca (H ve ^{16}O) zenginleşirken, ağır izotoplar (D ve ^{18}O) geriye kalan artık sıvı fazında derişmektedir.

Dünya üzerinde farklı lokasyonlardan alınan yağış (yağmur, kar) suları ile gerçekleştirilmiş olan izotop analizler meteorik suların δ^{18}O ve δD değerlerinin:

$$\delta D = 8 (\delta^{18}O) + 10$$

denklemi ile tanınan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir [16]. Meteorik suların $\delta^{18}O$ değerleri 0-60 ‰, δD değerleri ise yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir; sıcaklık düştükçe izotop ayrımlaşma faktörü dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranları artmaktadır [17].

Bu çalışma kapsamında jeotermal sahalarda daha önce ölçülmüş olan izotop verilerine ek olarak eksik görülen jeotermal alanlardan izotop analizleri için örnekler alınmış ve ilgili kısımda değerlendirmede kullanılmıştır.

1.2.5. Isıl Potansiyelin Belirlenmesi

Bir jeotermal kaynağın ısıl potansiyeli (içerdiği ısı miktarı) ve kullanım alanının belirlenmesi için rezervuar modelinin oluşturulması esastır. Rezervuar modelinin güvenilirliği için pek çok kuyu ve doğal çıkışa ait veriyi içermesi önemlidir. Ülkemizdeki sahaların büyük bir çoğunluğunda rezervuar modeli bulunmamaktadır. Bu durumda sahanın kapasitesinin belirlenmesinde en önemli iki parametre mevcut doğal kaynak ve kuyulara ait sıcaklık ve debi değerleridir. Bu iki parametreye ek olarak akışkanın kimyasal özellikleri (kabuklaşma, korozyon potansiyeli), sahanın bulunduğu bölgenin ekonomik, lojistik, coğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak kullanım alanları önerilir.

Mevcut bir jeotermal kaynağın ısıl potansiyeli Eşitlik 1.1'e göre hesaplanır. Daha detaylı potansiyel hesabı için rezervuar modelinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Proje sonrasında rezervuar modeli yapılan sahalarda ısıl potansiyel hesabı güncellenmelidir. Modele her eklenen sondaj bilgisi daha somut bir ısıl potansiyel hesabı yapılmasını sağlayacaktır. Rezervuar modeli yapılıp sondajlarla geliştirilerek saha yönetimi, sürdürülebilirliği ve doğru yatırım olanakları sağlanmış olacaktır.

$$Q = A \times H \times Cv \times (T - To) \qquad \text{(Eşitlik 1.1)}$$

Bu eşitlikte A: kaynağın alanı (km^2), H: kaynağın derinliği (km), Cv: hacimsel ısı kapasitesi ($J/(km^3\ °C)$), T: kaynağın ortalama sıcaklığı (°C), To: ortalama dış ortam sıcaklığı (°C) olarak ifade edilmektedir [18]. Hacimsel ısı kapasitesi sıcaklık ile değişiyor olmakla beraber hesaplamalarda ortalama 2,5 $J/(cm^3\ °C)$ olarak alınmaktadır.

Eşitlik 1.1'in kullanılabilmesi için rezervuar alanı, derinliği, sıcaklığı ile hacimsel ısı kapasitesinin belirlenebilmesi için rezervuarı oluşturan kayaçların gözeneklilik, su içeriği ve litolojiye ait bilgilerinin mevcut olması gereklidir. Rezervuar modelleri olmayan sahaların alanı, derinliği ve kayaçların ısı kapasiteleri konusunda güvenilir bilgi mevcut olmadığından, Eşitlik 1.1'e göre depolanmış ısıl enerji hesabı yapılamaz. Bunun yerine mevcut kuyu ve doğal çıkışlara ait sıcaklık ve debi ölçümleri kullanılarak Eşitlik 1.2'ye göre kullanılabilir ısıl güç hesaplanır [18].

$$Q = \acute{m} * Cp * (Tg - Tç) \qquad \text{(Eşitlik 1.2)}$$

$\acute{m}$: Jeotermal akışkan debisi (kg/s), Cp: Spesifik ısı (Jeotermal akışkan sıcaklığa göre belirlenir) [19], Tg: Jeotermal akışkanın kuyu başı sıcaklığı ya da doğal kaynak sıcaklığı (°C), Tç: Jeotermal akışkanın kullanımdan sonraki atım ya da re-enjeksiyon sıcaklığı (°C).

Tç; uygulama alanına, ısı ihtiyacına, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Tç sıcaklığı bu çalışmada 20-25-30-35°C olarak alınmıştır. Bu sıcaklık dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden bu projede bölgenin yıllık ortalama maksimum dış ortam sıcaklığı ve civarını temsil edecek 4 farklı sıcaklık olarak seçilmiştir.

Gerçekleştirilecek uygulamada akışkan ısı değiştirgecinden geçirilecekse ısı değiştirgeci performansına göre farklı çıkış sıcaklıkları oluşacaktır. Bu nedenle ilgili sahada gerçekleştirilmesi planlanan uygulamaya bağlı olarak hesaplamaların yenilenmesi önemlidir.

Proje kapsamında, mevcut kaynakların sıcaklık ve debilerine bağlı olarak ısıl potansiyelleri Eşitlik 1.2'ye göre hesaplanmıştır. Bu potansiyele bağlı olarak bir sahada yapılacak olan yatırımın kapasitesi kabaca belirlenebilir. Bu değerler yatırımcıya bir fikir verecektir. Yatırım kararı için detaylı fizibilite çalışması yapılmalıdır.

BÖLÜM 2.

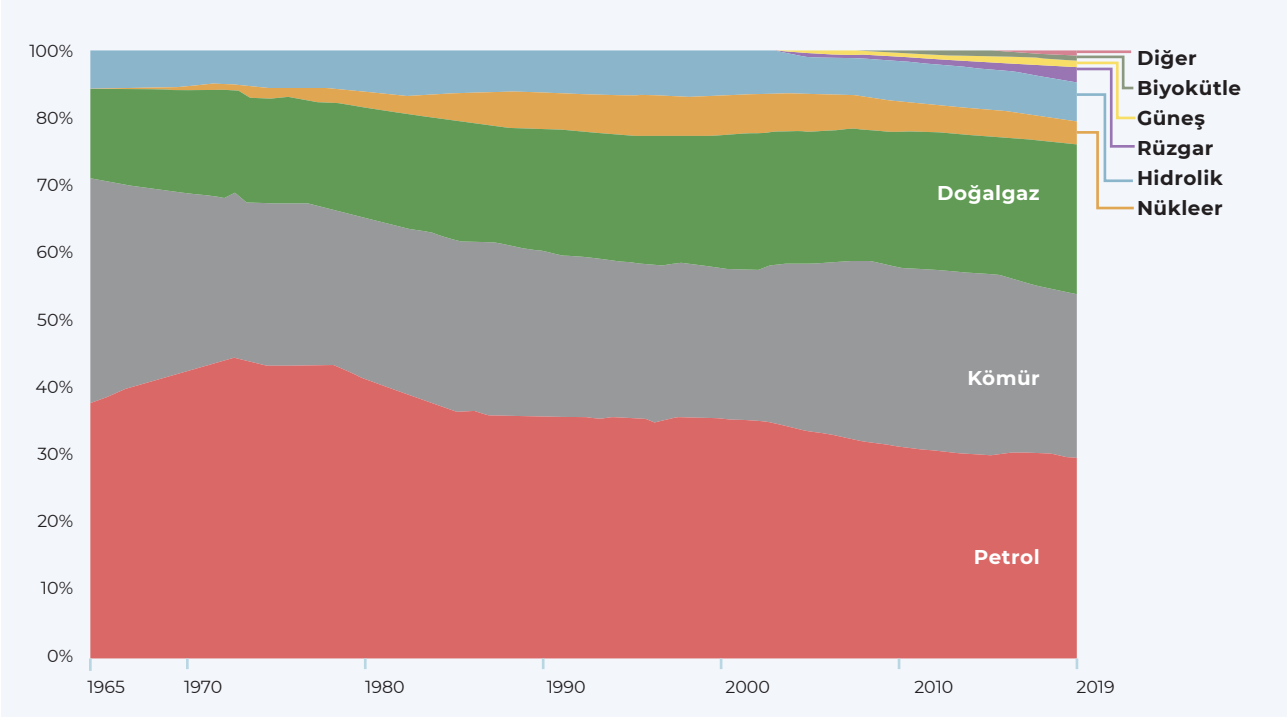
Enerji Sektöründe Mevcut Durum

2.1. Türkiye'de ve Dünyada Enerji

Ekonomi ve sosyal kalkınma açısından enerji kaynakları oldukça önemlidir. Endüstri devrimi sonrasında ülkelerin enerji kaynaklarına olan talebi artmış ve bu artış günümüzde de devam etmektedir. Bu süreç içerisinde aslında çok uzun yıllardan beri bilinen ve kullanılan, ancak fosil yakıtlarla rekabet edemediği için ikinci planda olan daha çevreci, yenilenebilir enerji kaynakları tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve küreselleşme sonucu artan ticaret ve üretim olanaklarına bağlı olarak doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep her geçen gün artmıştır. Özellikle iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi kavramlar ile bu süreç daha farklı bir boyuta ulaşmıştır.

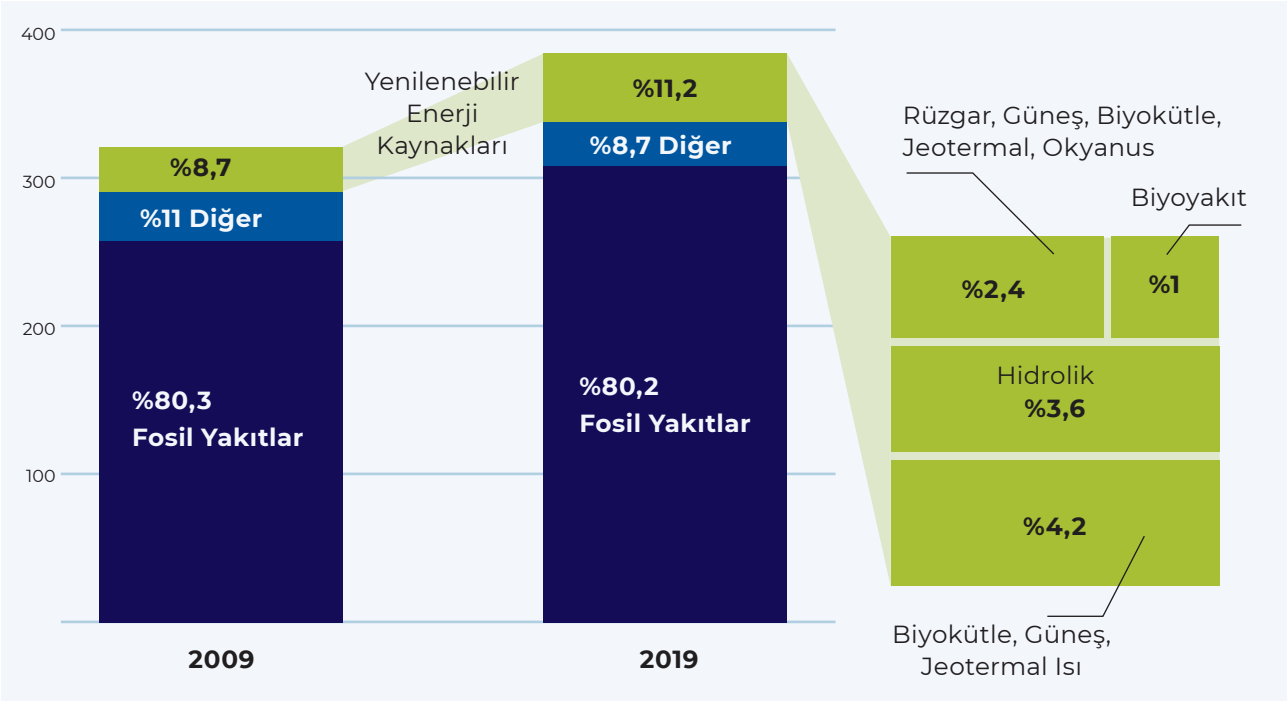
1971 ve 2018 yılları arasında dünya Toplam Enerji Arzı (TEA) 2,6 kat artmıştır. Petrol, 1971 ile 2010 arasında TEA'nın %44'ünden %32'sine gerilemiştir ancak hala istikrarını korumaktadır. Doğal gaz 1971'de %16 olan oranını 2018'de %23'e yükselterek üçüncü sıraya yerleşmiştir. 2019 yılı itibariyle petrol, kömür ve doğalgaz dünyada birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar konumundadır ve dünyada toplam nihai enerji tüketiminin tahmini %80,2'sine denk gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %11,2 civarındadır [20]. Ancak son 2 yılda Covid-19 pandemi koşulları enerji durumunu biraz değiştirmeye başlamıştır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Yenilenebilir enerji şimdiye kadar Covid-19 karantina önlemlerine en dayanıklı enerji kaynağı olmuştur. Yenilenebilir enerjinin diğer kullanımları için talep düşerken, yenilenebilir elektrik üretimi etkilenmemiştir. 2020'nin ilk çeyreğinde, tüm sektörlerde küresel yenilenebilir enerji kullanımı, 2019'un ilk çeyreğine göre yaklaşık %1,5 artmıştır. Yenilenebilir elektrik üretimi, esas olarak geçen yıl içinde tamamlanan yeni rüzgâr ve güneş PV projeleri nedeniyle yaklaşık %3 artmıştır [21].

ŞEKİL 2.1: 1965-2019 yılları arasında dünya genelinde kaynak bazlı enerji tüketim yüzdeleri.



Kaynak: https://ourworldindata.org/ verisi kullanılmıştır [22].

ŞEKİL 2.2: Dünya'da toplam nihai enerji tüketiminin tahmini yenilenebilir payı (2009-2019).



Kaynak: REN21 [20]'den değiştirilerek alınmıştır.

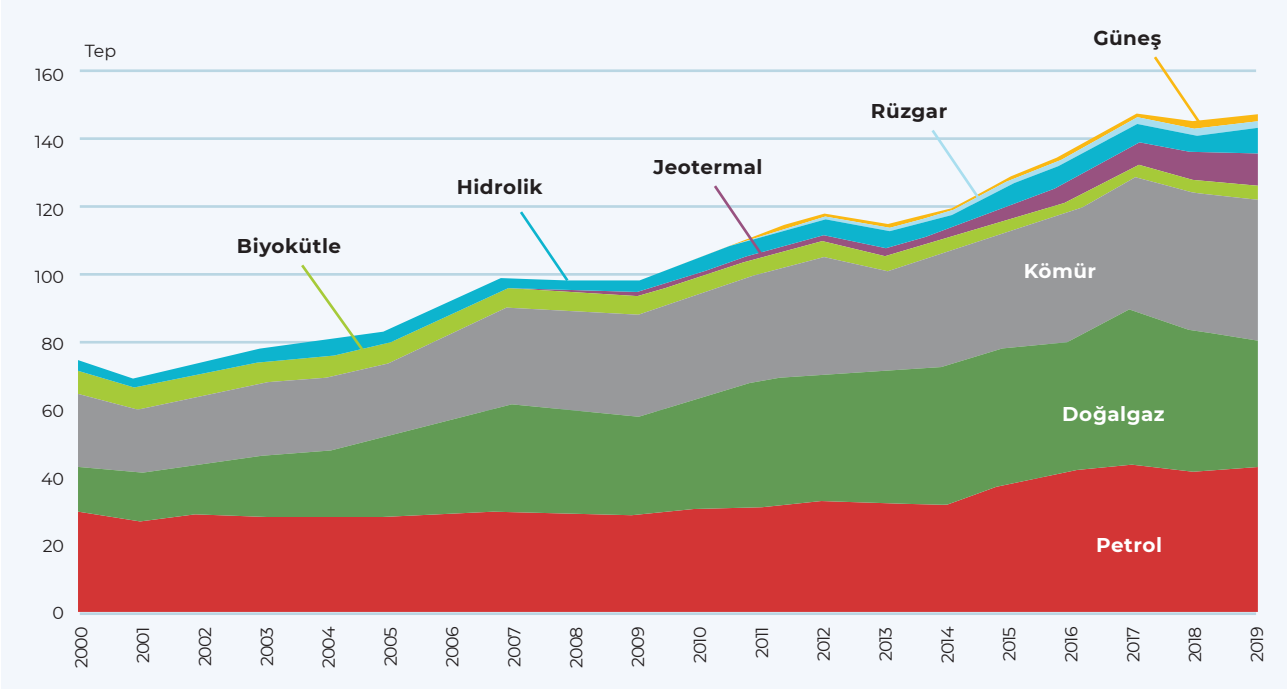
Türkiye, enerji kaynaklarına olan talebin yoğun olduğu ülkelerdendir. Nitekim 2000 yılında Mtep 78,8 olan birincil enerji kaynakları tüketimi 2020 yılında 222 Mtep değerine ulaşmıştır. Türkiye'de 2000-2020 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına olan talep dünya ortalamasının 3 katı olmuştur. Yine Türkiye OECD ülkeleri içinde geçtiğimiz 10 yıllık süreçte enerji talep artışının en hızlı olduğu ülkedir. Aynı şekilde Türkiye elektrik talebinde 2000 yılından günümüze büyük ekonomiler içinde Çin (%174,8) ve Hindistan'dan (%56,8) sonra %55,3'lük artış oranı ile üçüncü sırada gelmektedir [23].

Türkiye'de enerji arzı, hızla büyüyen ekonominin ihtiyaçlarını karşılamak için istikrarlı bir şekilde artmıştır. 2000 ve 2019 yılları arasında toplam birincil enerji kaynakları, 2018'deki ekonomik yavaşlama nedeniyle son zamanlardaki düşüşe rağmen %92 büyümüştür. Fosil yakıtlar toplam birincil enerji kaynaklarına hâkimdir ve 2000'den bu yana %90 civarında sabit kalmıştır. 2019'da fosil yakıtların payı %83 olup Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi ülkeler arasında dokuzuncu sırada yer almaktadır [24].

Ülkemizde 1980'li yılların başından itibaren hızla artan elektrik ihtiyacı yeni yatırımların yapılmasını gerektirmiştir. Türkiye'de elektrik üretiminde bazı yıllarda bir azalma gözlense de genel olarak elektrik talebine paralel bir seyir izlemiştir. Brüt elektrik üretiminde 2019 yılında %0,2'lik bir azalma gerçekleşmiştir. 2018 yılında 304,8 TWh (milyar kWh) olan brüt elektrik tüketimi 2019 yılı sonu itibarıyla 304,3 TWh seviyesine gerilemiştir [25]. 2020 yılında Covid-19 pandemisi ve değişen koşullar nedeniyle Mart-Haziran döneminde elektrik talebi azalmıştır ve bu durum elektrik üretimini de etkilemiştir. Kademeli normalleşme ile bu durumun eskiye döneceği düşünülmektedir.

Yerli enerji üretimi, 2014'ten 2019'a kadar %59'luk bir büyüme kaydetmiştir (Şekil 3). Özellikle jeotermal enerjinin kurulu gücü, 2014'ten bu yana iki kattan fazla artmıştır ve 2019'da toplam enerji üretiminin %2,1'ini oluşturmuştur. Kömür üretimi de 2010-2015 döneminde önceki düşüşün ardından son yıllarda artmıştır. 2019 yılında kömür, toplam üretimin %39'unu oluşturmuştur. Ayrıca Türkiye nükleer enerji programına başlamıştır ve nükleer santralin ilk ünitesinin 2023 yılı sonunda faaliyete geçmesi planlanmaktadır.

ŞEKİL 2.3: 2000-2019 yılları arasında Türkiye'de kaynağa göre toplam birincil enerji arzı.



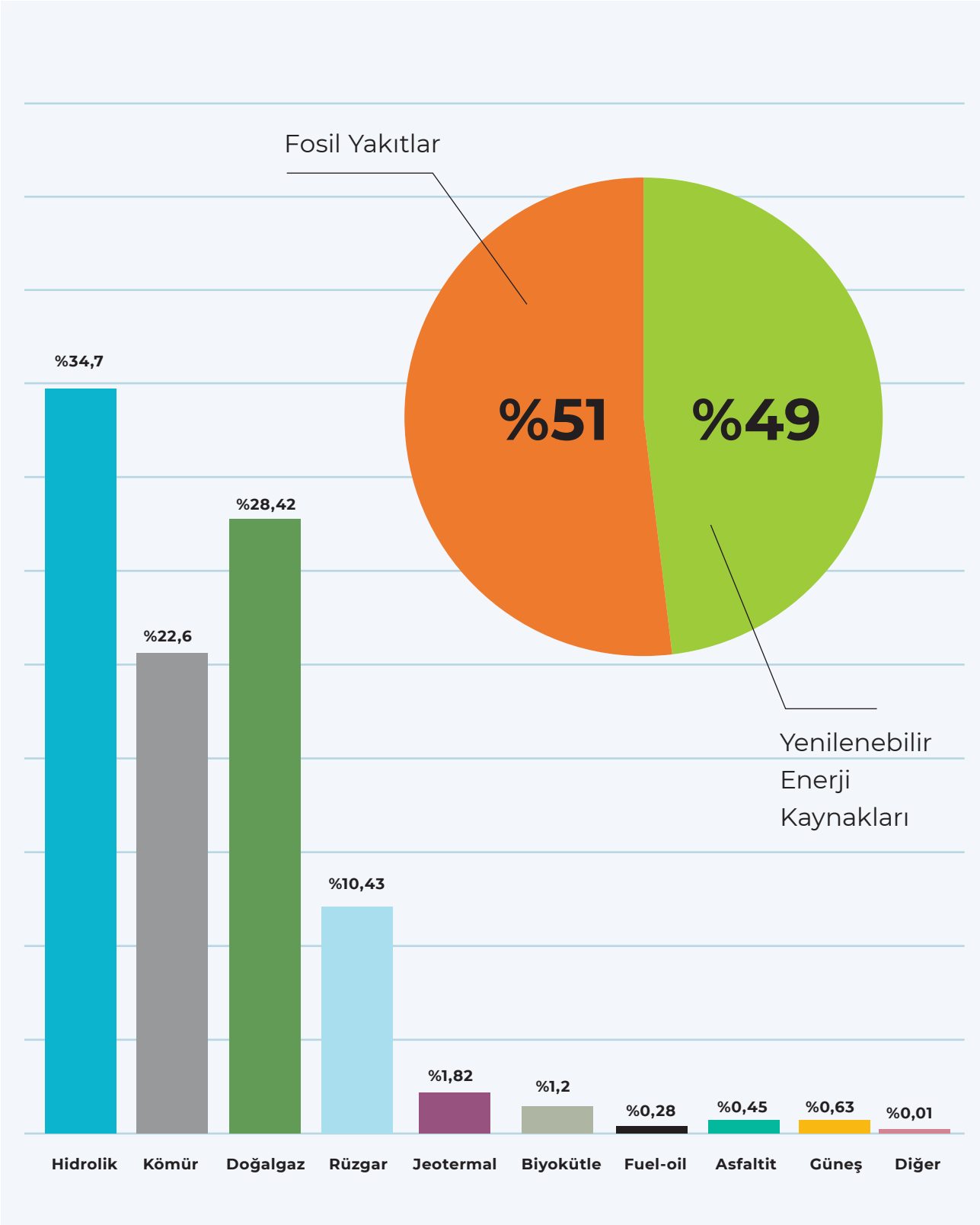
Kaynak: REN21 [20] 'den yararlanılmıştır.

Genel anlamda ithal edilen enerji kaynaklarına bakıldığında özellikle fosil kaynaklı yakıtlarda dışa bağımlı olduğumuz açıkça görülmektedir. Tüketilen petrol ve gazın tamamına yakını ithal edilirken, kömürün önemli bir kısmı yurt içinde üretilmektedir. Yerli enerji üretimindeki hızlı büyümeye rağmen, Türkiye arz için çoğunlukla enerji ithalatına bağımlıdır. Neredeyse doğal gazın tümü ithal edilmektedir ve yerli petrol üretimi toplam talebin sadece %7'sini oluşturmaktadır. Yerli kömür üretimi daha fazladır ancak son zamanlardaki büyümeye rağmen, Türkiye kömür talebinin %58'i hala ithalata bağımlıdır. Yerli enerji üretimi 2019'da toplam birincil enerji kaynaklarının yaklaşık %31'ini karşılamıştır. Yenilenebilir enerji üretimi, jeotermal, hidrolik, rüzgâr ve güneşte hızlı büyüme ile 2009'dan bu yana iki katından fazla artarken, konut ısıtması için geleneksel biyoenerji kullanımı azalmıştır [24].

2021 yılı Nisan ayı verilerine göre [26], Türkiye birincil enerji üretiminin kurulu güç bazındaki dağılımında en yüksek payı Şekil 2.4'te görüldüğü üzere %34,70 oranla hidrolik alırken bunu doğalgaz %28,42, kömür %22,06 ile takip etmektedir. Genel tabloya bakıldığında Türkiye'deki elektrik üretiminde kullanılan kaynakların %51'i fosil yakıtlardan karşılanmakta iken yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı %49'a ulaşmıştır.

Türkiye'de enerji tüketim alanlarına bakıldığında, sanayi, 2018'de toplam nihai tüketimin üçte birinden fazlasını oluşturan en büyük enerji tüketen sektördür ve bunu ulaşım (%27), konut (%20) ve hizmetler (%17) izlemektedir. Sanayi sektörü, hemen hemen eşit paylarla ağırlıklı olarak petrol, doğal gaz ve elektrik tüketmektedir. Petrol ayrıca ulaşımda enerji tüketimine hâkimken, hem konut hem de hizmet sektörlerinde ise doğal gaz ve elektrik hâkimdir [24].

ŞEKİL 2.4: 2021 yılı Nisan ayı sonu itibariyle lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı (MW-%).



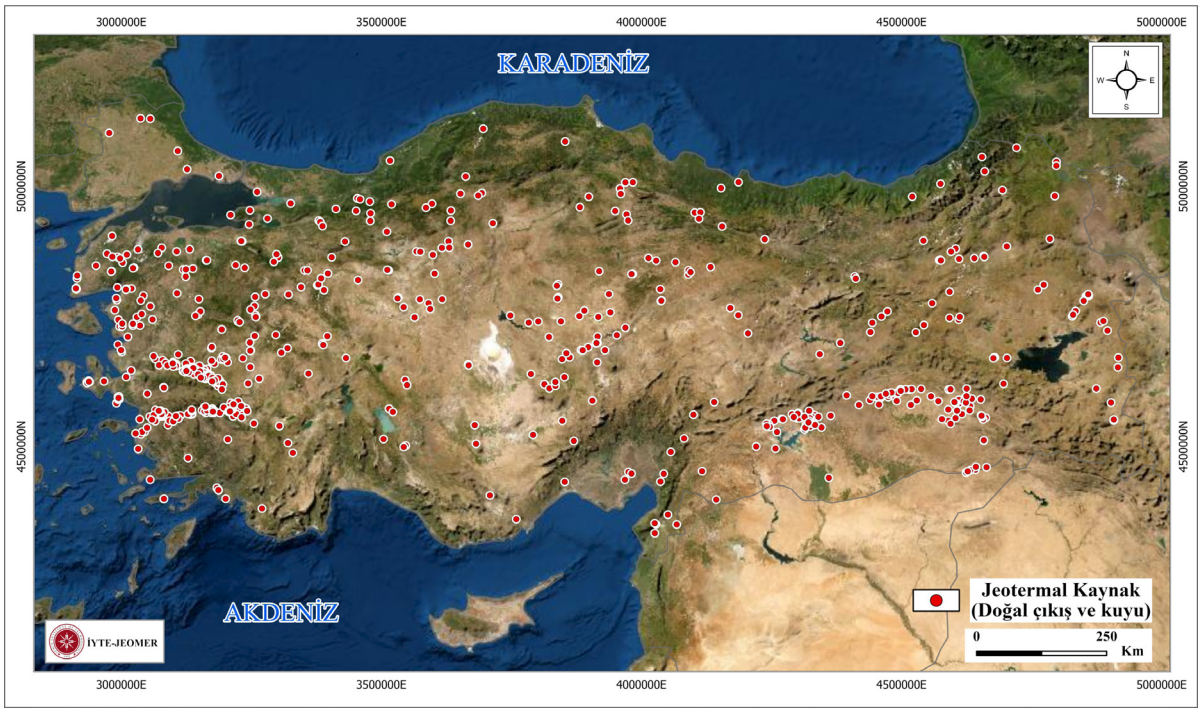
Kaynak: EPDK [26] verisinden yararlanılmıştır.

2.2. Türkiye'de Jeotermal Enerji ve Ekonomik Önemi

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilmektedir. Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı ancak bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların giderek azalan rezervlerinin kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem vermektedir. Bu kaynaklardan en önemlisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Jeotermal enerjinin termal amaçlı olarak kullanımı ilk çağlardan beri bilinmektedir ancak enerji kaynağı olarak kullanımı ilk defa 1904 yılında İtalya'da Larderello kuru buhar jeotermal sahasında küçük çaplı bir elektrik santralinin kurulması ile başlamıştır. Daha sonra birçok ülkede farklı amaçlar için (konut ısıtma, sera, termal turizm, balıkçılık, yolların ısıtılması) jeotermal enerjinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu nedenle son yıllarda jeotermal enerji kullanımı tüm dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir artış göstermektedir. Jeotermal kaynakların araştırılmasına yönelik yapılan jeolojik incelemeler, bu kaynağın ülke ekonomisi açısından son derece önemli olduğunu ortaya koymuştur. Jeolojik yapıdaki çeşitlilik, beslenme ve boşalım koşulları, jeolojik unsurlar ve jeodinamik süreçlere bağlı olarak gelişen jeotermal sistemlerdeki kaynaklar, genç tektonizma ve volkanizma ile çok yakın ilişkili olarak Türkiye'nin her yanına dağılmışlardır (Şekil 2.5). Türkiye'de mevcut kaynakların çoğu Batı Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Ancak aktif fayların ve volkanizmanın etkinliğine ve dağılımına bakılacak olursa, Türkiye'nin neredeyse her bölgesinde jeotermal ile ilişkili bir kaynak bulunmaktadır. Bu nedenle fay ve kırık sistemleri ile volkanik aktivite, jeotermal kaynakların oluşum mekanizmalarını doğrudan etkileyen jeolojik unsurlardır.

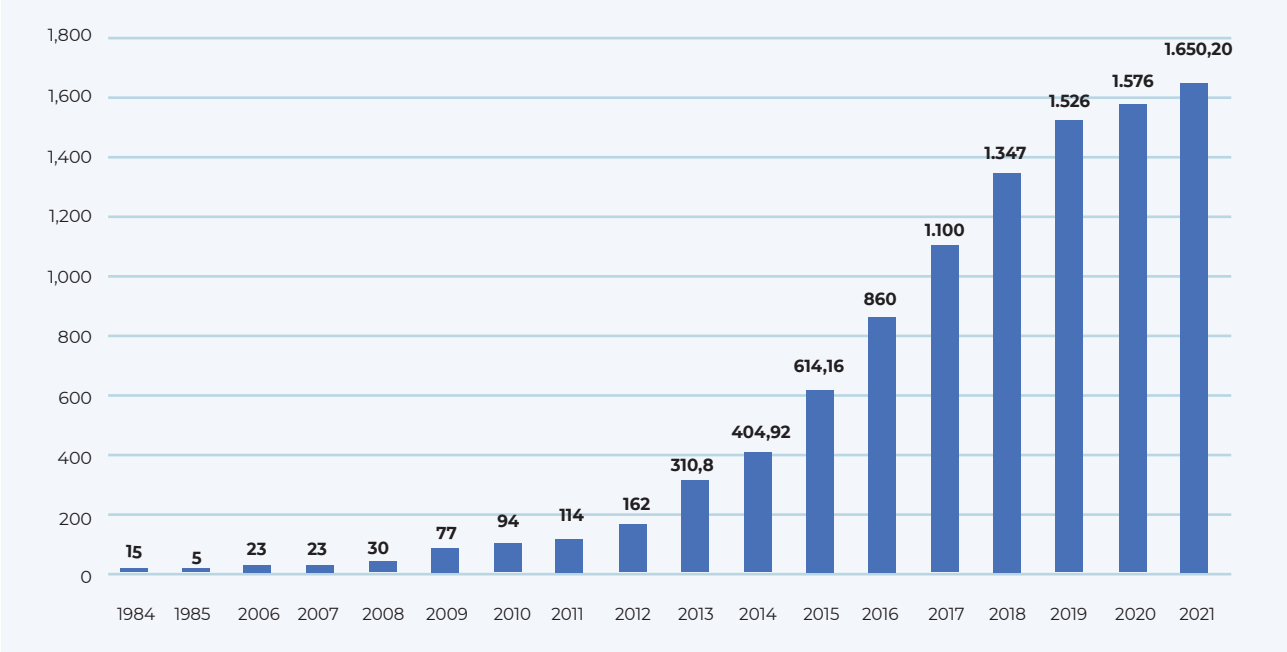
ŞEKİL 2.5: Türkiye'nin jeotermal kaynak alanları (Kırmızı noktalar jeotermal sahaları göstermektedir).



Ülkemiz jeotermal kaynakları ve fümerol çıkışlarıyla birlikte dünyada kaynak zenginliği bakımından 7. sıradadır. Sıcaklık alt sınırı 20°C kabul edildiğinde ise Avrupa'da kaynak grubu bakımından 1. sıradadır. Türkiye, jeotermal sistemlerde yer alan, sıcaklığı 30°C ve üzerinde olan 347 adet jeotermal sahaya sahip bir ülkedir. Bu rakam açılmış kuyusu bulunan tanımlanmış sahalarla birlikte doğal kaynakları da içermektedir. Bunların dağılımı, doğal kaynak ve kuyu sıcaklık değerleri esasına göre; %88'i düşük ve orta, %12'si sıcaklığı 295°C'ye kadar ulaşan yüksek sıcaklıklı sahalar şeklindedir. Alan ve bölge ısıtmasında yararlanılabilecek saha sayısı enerji üretilebilecek sahalardaki entegre kullanımla birlikte 153 olup, tüm sahaların %43'ünü oluşturmaktadır. Geriye kalan düşük ve orta sıcaklıkta akışkan içeren %45'lik dilimdeki diğer sahalar, sıcaklık ölçütleri esas alınarak (80°C'den düşük) sera, sağlık, termal turizm ve diğer uygulamalardaki kullanımlar için potansiyel alanlardır. Jeotermal kaynaklar, 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu hükümleri kapsamında ve işin tekniğine uygun şekilde aranması, işletilmesi ve denetlenmesi halinde; çevreye en az zararlı, sürdürülebilir ve yerli bir enerji kaynağıdır.

Yapılan incelemelere göre, jeotermal potansiyele sahip alanların %79'u Batı Anadolu'da, %7,5'i İç Anadolu'da, %7,5'i Marmara'da, %4,5'i Doğu Anadolu'da ve %0,5'i de diğer bölgelerde yer alır. Jeotermal kaynakların %94'ü düşük ve orta sıcaklığa sahip olup ısıtma, termal turizm ve mineral eldesi gibi doğrudan uygulamalar için uygunken, %6'sı elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı uygulamalar için uygundur. Yapılmış olan çalışmalar, ekonomik ölçekte kullanıma uygun 227'den fazla jeotermal saha ve buna ilave olarak sıcaklıkları 20° ile 295°C arasında değişen kaynak ve kuyu deşarjları şeklinde, yaklaşık 2000 termal kaynak belirlemiştir. Şimdiye kadar 1.000'in üzerinde jeotermal üretim ve re-enjeksiyon kuyusu açılmış ve bu kuyuların yaklaşık %80'i Batı Anadolu'da yer almıştır [27]. En sıcak jeotermal kuyular, Niğde ve Aksaray şehirleri yakınında Bozköy'de yer almaktadır ve üretilen jeotermal akışkanın kuyu dibi sıcaklığı 3.816 metre derinlikte 295°C'dir. Özel sektörün jeotermal kaynaklardan enerji üretimine dâhil edilmesi ile sektör belirgin bir büyüme kaydetmiştir. 2021 Eylül ayı sonu itibariyle Türkiye'de jeotermal enerji kurulu güç kapasitesi 1.650,2 MWe olan 63 adet jeotermal enerji santrali (JES) bulunmaktadır (Şekil 2.6).

ŞEKİL 2.6: Türkiye'de jeotermal elektrik üretiminin yıllara bağlı gelişimi (MWe).



Kaynak: Jeotermal Enerji Derneği (JED) [28]

JES' lerle ilgili kapasite faktörü dikkate alındığında; Türkiye'de %49 olan kapasite faktörünün, İtalya ve İzlanda'da %75, Fransa ve Portekiz'de ise %69 olduğu görülmektedir. Bu verilere göre, Türkiye'deki enerji üretim santralleri düşük kapasite ile çalışmaktadır. Enerji üretimine ilave olarak Türkiye jeotermal enerjiden bölgesel ısıtmada ve sera ısıtmasında da yararlanmaktadır. 2020 yılında Türkiye, 3.591 MWt doğrudan kullanım (ısı pompası hariç) kapasitesiyle dünyada ikinci sırada yer almıştır [6].

Sonuç olarak, bugün küresel enerji dönüşümünde esas rolü yenilenebilir enerjinin oynadığı ve bütün ülkelerin bu eğilim yönünde hareket ettiği kabul edilmektedir. IRENA'nın yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik santrallerinin maliyet raporuna göre, 2012 yılından beri elektrik üretim kapasitesine yapılan yeni katkıların yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından gelmektedir; 2016 yılının sonunda 2.000 GW'den fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir. Son 2 yılda da bu gelişmeler fosil yakıttan elektrik üretim maliyetlerinin aralığında kalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilme maliyetleri için eğilimler daima fosil yakıtlı fiyatlarıyla daha fazla rekabet edecek şekilde belirlenmektedir ve 2020 itibariyle tüm yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıta dayalı enerji kaynaklarından daha düşük ortalama maliyet sağlamaktadır. Bu da politika yapıcılar ve yatırımcılar için farklı bir ticaret anlayışı sağlayacaktır.

Proje kapsamında, İzmir ilindeki jeotermal kaynakların önemi, potansiyeli, CO_2 izine etkisi değerlendirilmiş ve elde edilen verilerle jeotermal kaynakların doğru ve etkin kullanımının bölge enerji üretimine, seracılık, ısıtma-soğutma, kurutma, sağlık ve termal turizme katkısı detaylı olarak irdelenmiştir.

BÖLÜM 3.

Çalışma Alanı

Türkiye'nin üçüncü büyük kenti olan İzmir; çağdaş ve gelişmiş bir kent olmasının yanı sıra önemli bir kültür, sanat, turizm ve ticaret merkezidir. Yaklaşık 8.500 yıllık tarihi ile Anadolu'nun batısında yer alan İzmir'i, antik dönemin ünlü tarihçisi Herodot "Onlar kentlerini bizim yeryüzünde bildiğimiz en güzel gökyüzü ve en güzel iklimlerinde kurdular." cümleleri ile tarif etmiştir. İzmir tarihte hüküm sürmüş olan uygarlıkların yaşadığı topraklara ve hâlâ gün yüzüne çıkmamış pek çok uygarlık merkezinin mirasına sahip binlerce yıllık geçmişi olan bir yerleşim yeridir [29]. İzmir; coğrafi konumu, kültürel ve tarihî zenginliği, metropol niteliği, ulaşımın kolaylığı, turizme uygun iklim yapısı, sosyal-kültürel yapısı, 629 kilometrelik kıyı uzunluğu ve doğal plajları ile de farklı turizm çeşitlerine uygundur.

İzmir'in Aliağa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Bergama, Beydağ, Bornova, Buca, Çeşme, Çiğli, Dikili, Foça, Gaziemir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karaburun, Karşıyaka, Kemalpaşa, Kınık, Kiraz, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk, Tire, Torbalı ve Urla olmak üzere 30 ilçesi bulunmaktadır.

İzmir, çok çeşitli üretim ve hizmet sektörünü barındırır ve Türkiye'nin en önemli liman kentlerinden biridir. Bölgede yenilenebilir enerji ve çevre teknolojileri dâhil pek çok sektör için araştırma, yenilik, fikri mülkiyet hakları (FSM) ve ticarileştirme konularında kapasite geliştirme önceliklendirilmekte ve desteklenmektedir. Ar-Ge şirketlerinin sayısının artması, nitelikli insan kaynağı ve girişimcilik kültürü bölgede güçlü fırsatlardır.

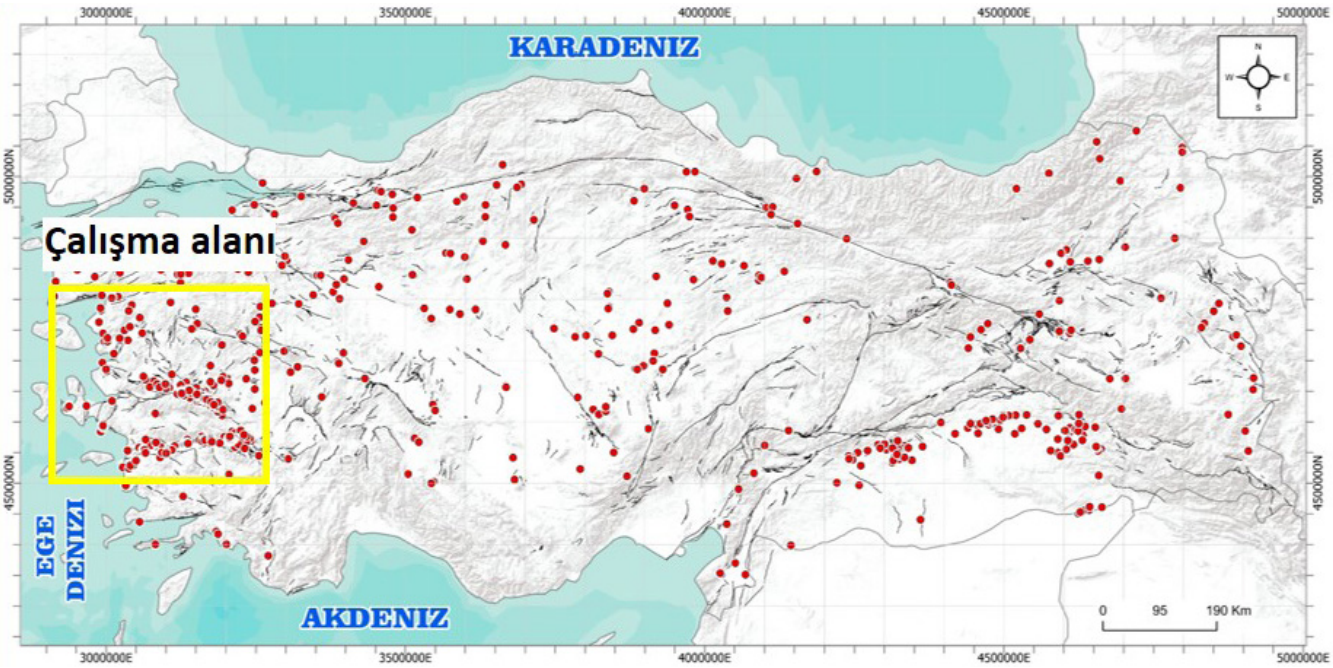
İzmir; rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisi açısından sahip olduğu yüksek potansiyelin sağladığı avantajlar ve coğrafi konumu nedeniyle aynı zamanda bir yenilenebilir enerji merkezidir. İzmir'deki yenilenebilir enerji teknolojilerinin enerji piyasasının geleceğinde önemli bir paya sahip olması beklenmektedir.

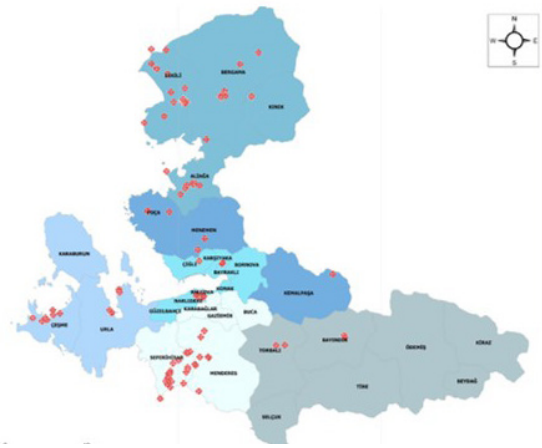
İzmir 1.798 MWe kurulu güç ile açık ara 'Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Başkenti' olma ünvanını korumaktadır. İzmir'in de içinde yer aldığı Ege Bölgesi, 3.511 MWe kurulu güç ile ülkemizin en yüksek RES yatırımının yapıldığı bölgedir ve Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre rüzgâr enerjisini kullanarak elektrik üretebilen şehirler arasında potansiyeli en yüksek olan şehir İzmir'dir. Güneş enerjisi potansiyeli de yüksek olan şehirde işletmede olan lisanssız yaklaşık 380 güneş enerjisi santrali (GES)'nin toplam kapasitesi 298 MW civarındadır. Biyokütleden enerji, Bornova ve Tire ilçelerinde 3 adet santralde toplam 18,07 MWe kapasite ile üretilmektedir. Türkiye'deki toplam potansiyel göz önünde bulundurulduğunda, İzmir'in payının oldukça düşük olduğu görülmektedir [30, 31].

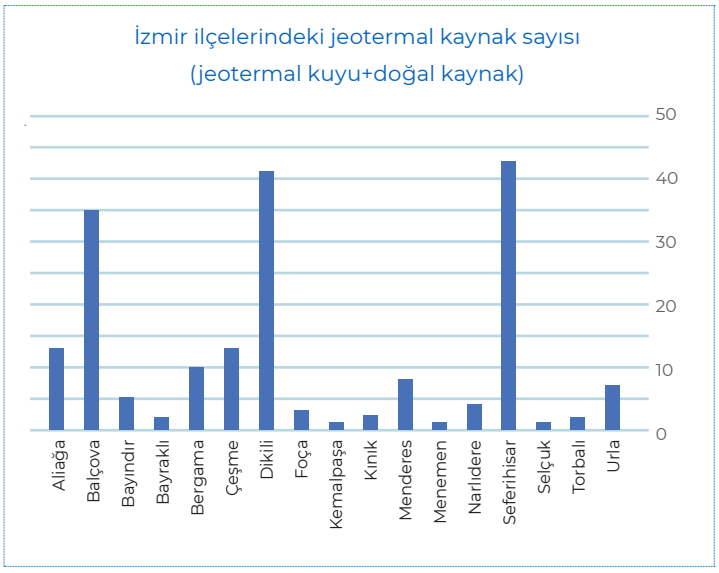
Jeotermal enerji için İzmir, jeolojik ve coğrafi konumu açısından oldukça önemli bir yerde bulunmaktadır. Bakırçay, Gediz ve Büyük Menderes grabenleri arasında bulunan İzmir, bu alandaki jeotermal sahalara çok yakındır. Ayrıca bölgede yer alan fay hatları sayesinde İzmir il sınırları içerisinde de pek çok kaynak oluşmuştur. İzmir il sınırları içerisinde verisine ulaşabilen toplam 192 adet jeotermal kaynak bulunmaktadır. Ayrıca bölgede kurulu olan jeotermal elektrik santralleri sebebiyle jeotermal enerji sektörüne oldukça yakın olması İzmir'in en önemli coğrafik avantajlarındandır (Şekil 3.1).

ŞEKİL 3.1: Türkiye ve İzmir'deki jeotermal kaynakların mevcut durumu ve yer bulduru haritası

192	1	138*	11	43**
İzmir ili jeotermal kaynak sayısı (kuyu+doğal çıkış)	İzmir ili jeotermal elektrik santrali sayısı	İzmir ili jeotermal üretim kuyusu sayısı	İzmir ili jeotermal re-enjeksiyon kuyusu sayısı:	İzmir ili jeotermal doğal kaynak-kaplıca sayısı







*verisine ulaşılabilen açılmış ve jeotermal akışkan elde edilmiş tüm kuyular,

**verisine ulaşılabilen tüm doğal kaynaklar (kurumuş olan kaynaklar sayıya dahildir)

3.1. Coğrafik Özellikler

İzmir ili kuzeyde Madra ve Yunt Dağları ve Balıkesir il sınırı, güneyde Kuşadası Körfezi ve Aydın il sınırı, batıda Çeşme Yarımadası ve İzmir Körfezi, doğusunda da Manisa il sınırı ile çevrilmiş bir coğrafyaya sahiptir (Şekil 3.2).

İzmir ilinin yeryüzü şekilleri, yakın jeolojik geçmişin bir sonucudur. Doğu-batı doğrultusunda uzanan sıradağlar arasında yer alan çöküntü ovaları ve akarsu ağızlarındaki birikinti ovaları, yeryüzü şekillerinin ana hatlarını meydana getirir. İlin en kuzeyindeki Madra Dağları yaklaşık 1.250 metreyi aşan yüksekliğe sahiptir ve kuzeyindeki Burhaniye-Havran Ovaları ile güneyindeki Bergama-Bakırçay Ovası arasında önemli bir yükselti meydana getirir. Madra Dağları üzerinde bazı yerler 500-700 m yüksekliğinde hafif dalgalı düzlükler halindedir. Fıstık çamı ormanları ile kaplı Kozak Yaylası bunların en bilinenidir. Madra Dağları'nın güneyinde Bergama-Bakırçay Ovası yer alır. Ova genel olarak Soma yakınlarından Çandarlı Körfezi'ne kadar kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanır. Bakırçay ve kollarının getirdiği alüvyonlarla örtülü olan ovanın en fazla genişlediği yer Kınık'ın kuzeyinde bulunur [29].

Bergama-Bakırçay Ovası'nın güneyinde Yunt Dağları yer alır. Bu dağlık alan Menemen ve Gediz Havzası'nın kuzeyinde dağlık bir topografya oluşmasına sebep olmuştur. Güneydeki Yamanlar Dağı ise genç bir volkan konisidir ve içerisinde Karagöl bulunur. İzmir Körfezi'nin doğusunda, etraftaki yamaçlardan inen akarsuların getirdiği alüvyonların denizi doldurması ile oluşmuş Bornova Ovası, onun doğusunda Kemalpaşa Ovası bulunur. İzmir Körfezi ve Kemalpaşa Ovası'nın güneyinde, doğu-batı doğrultusunda uzanan Bozdağlar bulunur. Bozdağlar, doğuda Sarıgöl'ün güneyinden başlar ve Kemalpaşa'nın güneydoğusundaki Karabel Geçidi'ne kadar uzanır [29].

Bozdağlar, kuzeyindeki Gediz Ovası'na ve güneyindeki Küçük Menderes Ovası'na dik yamaçlarla iner. İzmir Körfezi'nin doğusunda yüksekliği 1.500 m'ye kadar çıkan Kemalpaşa Dağları heybetli bir görünüm meydana getirir. İzmir kentinin batısında Çatalkaya (Kızıldağ) ve Karaburun yarım adasındaki Akdağ bulunmaktadır [29]. Bozdağların güneyinde Küçük Menderes Ovası yer alır. Üzeri çok verimli alüvyon toprakları ile örtülmüştür. Küçük Menderes Ovası, doğuda hemen hemen Beydağ yerleşim alanından başlar, ortalama 10-15 km genişlikte, Torbalı ve Selçuk'a kadar uzanır.

Coğrafik özellikleri incelendiğinde İzmir ili jeotermal yatırımlar için bir risk veya ulaşım-tedarik ve diğer unsurlar açısından ciddi bir zorluk içermemektedir.

Şekil 3.2: İzmir ili ve çevresindeki coğrafik unsurlar.

3.2. İklim Özellikleri

Akdeniz iklim kuşağında yer alan İzmir'de, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Bu duruma coğrafi özelliklerin etkisi oldukça fazladır. Temmuz-Ağustos ayları en sıcak ve Ocak-Şubat en soğuk aylardır. Kar yağışı yok denecek kadar azdır. Sıcak yaz aylarında "imbat" ismi verilen rüzgâr serinlik getirir. Kara ve denizin gece-gündüz arasındaki ısınma ve soğuma farkından meydana gelen bu rüzgâr sadece İzmir'e aittir.

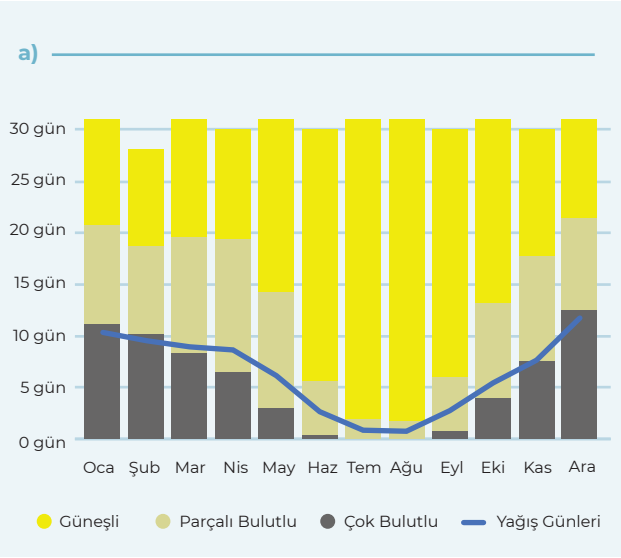
İl bazında yıllık ortalama sıcaklık, alçak kesimlerde 14-18°C arasında değişmektedir. İzmir il merkezinde yıllık sıcaklık ortalaması 17,6°C'dir. Yaz günlerinde sıcaklık değerleri zaman zaman tropik bölgelerin sıcaklığına yaklaşacak kadar yükselmektedir. Yazın kıyı kesiminde sıcaklık, imbatın etkisiyle iç kesimlere göre 1-2°C daha düşük olmaktadır. Kış mevsiminde ortalama 7°C olan sıcaklık, zaman zaman kuzey ve kuzeybatıdan sokulan denizel hava kütlesi nedeniyle düşmektedir.

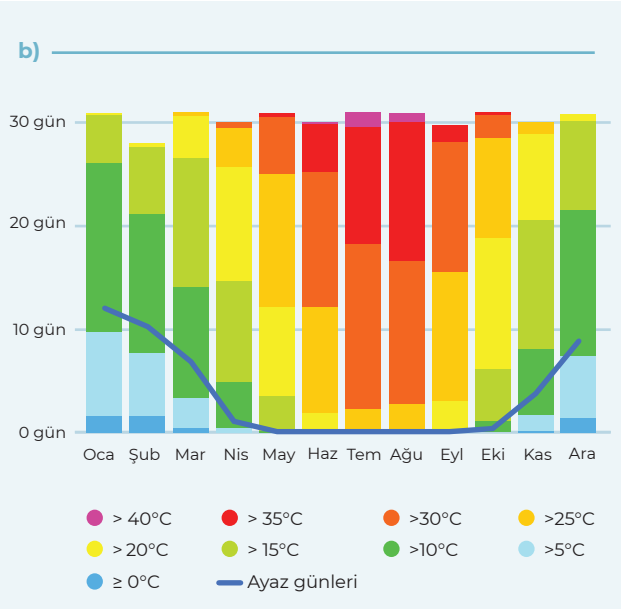
Şekil 3.3a'da yer alan grafik aylık güneşli, parçalı bulutlu, bulutlu ve yağışlı gün sayısını göstermektedir. Şekil 3.3b'de ise İzmir için maksimum sıcaklık diyagramı ayda kaç sayıda günün belirli bir sıcaklığa ulaştığını göstermektedir.

İzmir'de yağışın aylara ve mevsimlere göre dağılımında önemli farklar vardır. İzmir'de yıllık ortalama yağış miktarı 700 mm olup yıllık yağışın % 50'den fazlası kış mevsiminde, % 40-45'i ilkbahar ve sonbaharda, % 2-4'ü ise yaz aylarında düşmektedir. Kar yağışlı gün sayısı, alçak kesimlerde yok denecek kadar azdır. Dağlarla çevrilmiş bir körfez etrafında kurulmuş olan İzmir'de, havadaki nem oranı yüksek olup en yüksek sıcaklığın kaydedildiği Ağustos ayında nem oranı %50 civarındadır.

Şekil 3.4'te İzmir ili için modellenen ortalama sıcaklık ve yağış dağılım grafiği gösterilmiştir. «Ortalama günlük maksimum» (koyu kırmızı çizgi) her ay için ve İzmir için ortalama bir günün maksimum sıcaklığını gösterir. Aynı şekilde, «ortalama günlük minimum» (koyu mavi çizgi) ortalama minimum sıcaklığı gösterir. Sıcak günler ve soğuk geceler (kesikli kırmızı ve mavi çizgiler) son 30 yıldır her ayın en sıcak ve en soğuk gecelerinin ortalamasını göstermektedir.

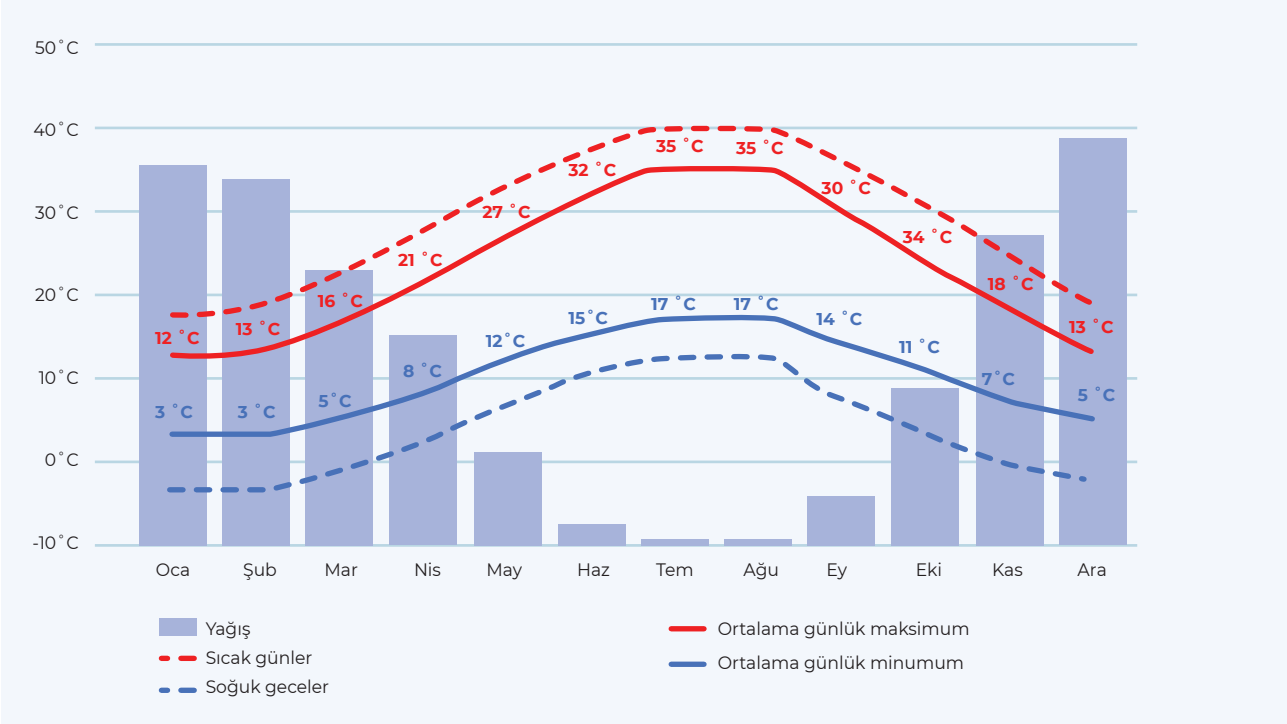
ŞEKİL 3.3: a) Bulutlu, yağışlı ve güneşli günler b) maksimum sıcaklıklar.





Kaynak: Meteoblue [32]

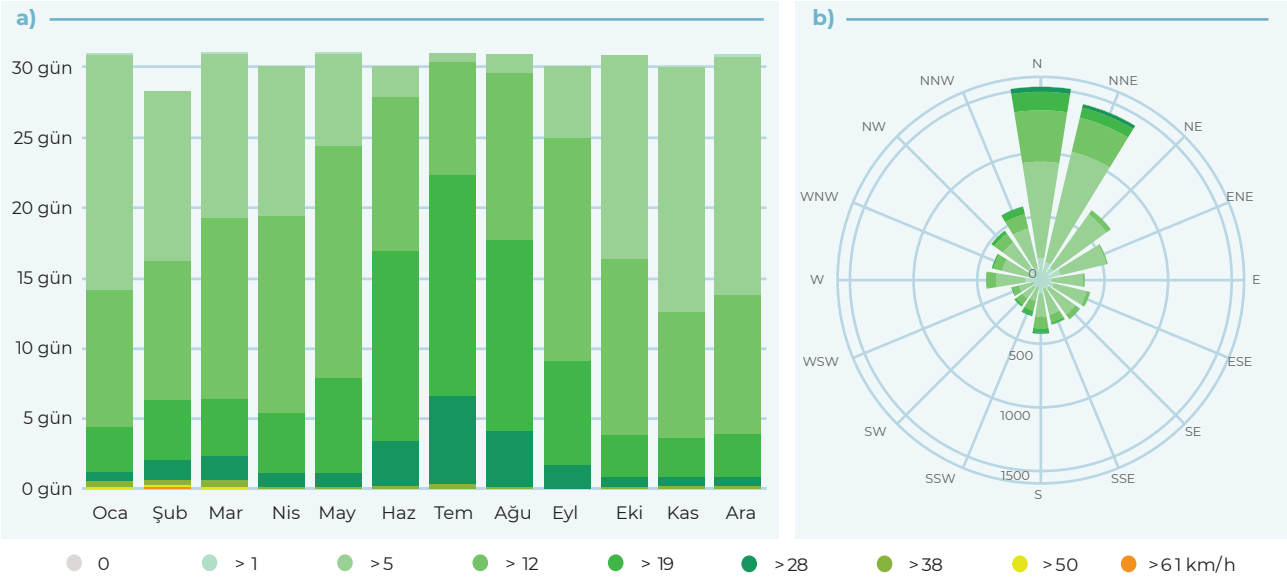
ŞEKİL 3.4: İzmir ili için modellenen ortalama sıcaklık ve yağış dağılım grafiği.



Kaynak: Meteoblue [32]

Kış aylarında kararsız ve ılık olan rüzgâr, yaz aylarında kararlılık göstermektedir. İzmir'in hâkim rüzgâr yönü güneydoğu ve batıdır (Şekil 3.5). Yıllık ortalama 18,5°C olan deniz suyu sıcaklığının en düşük olduğu aylar Ocak ve Şubat; en yüksek olduğu aylar ise Temmuz ve Ağustos'tur.

ŞEKİL 3.5: İzmir için a) ay bazlı rüzgâr hızı dağılımı, b) yıl için rüzgâr yönü dağılım grafiği (rüzgârgülü).



Kaynak: Meteoblue [32]

Artan fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma ve arazi kullanım değişiklikleri gibi insan faaliyetleri sonucunda atmosferde CO_2, H_2O, O_3, CH_4, N_2O ve sentetik CFC gibi sera gazları birikmesi sonucunda küresel iklim değişikliği ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple günümüzde klimatoloji alanında pek çok farklı gözlem, modelleme ve tahmin odaklı çalışma yapılmaktadır.

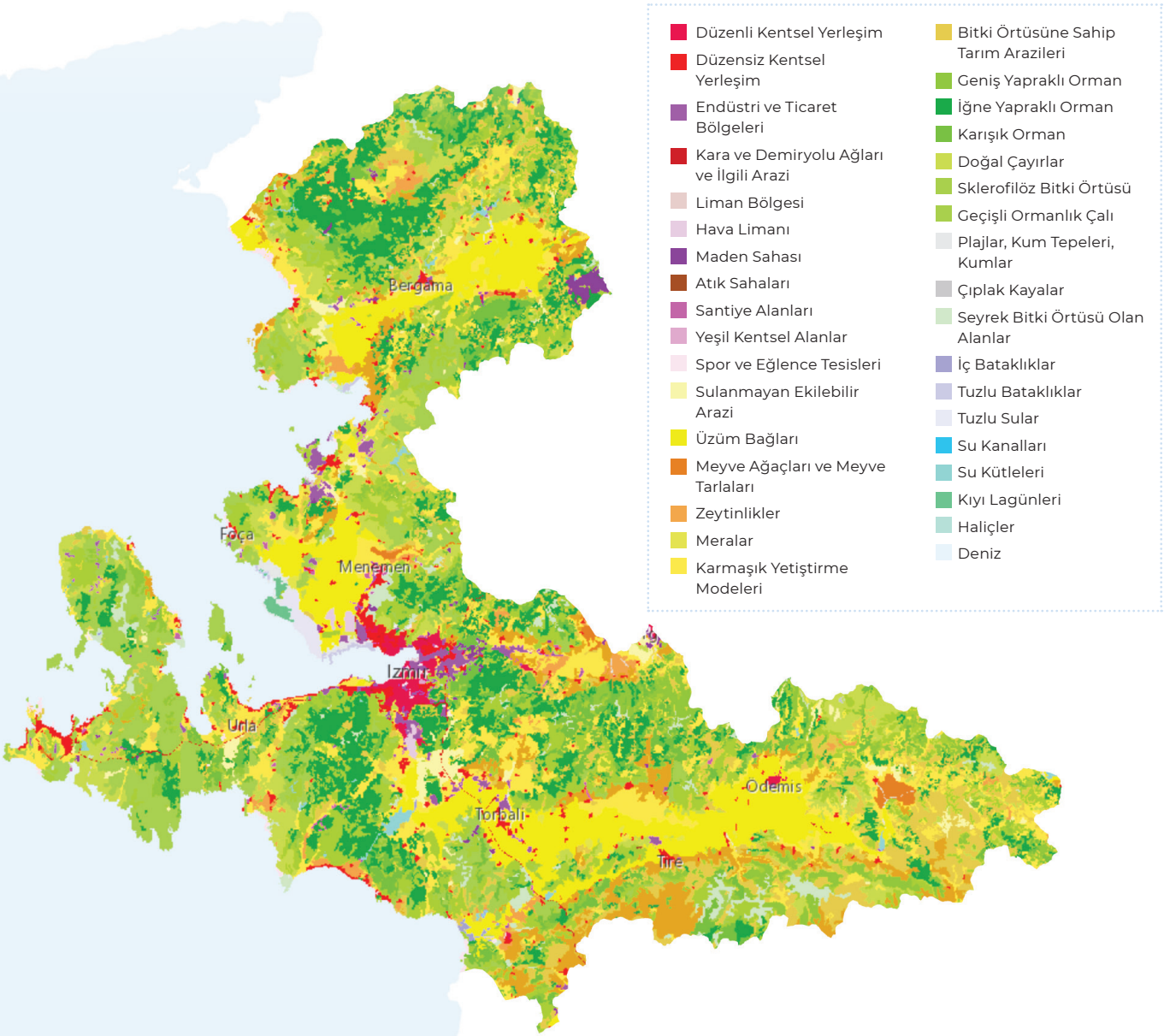
Mevcut durumda İzmir ve çevresinde etkin olan iklim çeşidi Köppen-Geiger'e göre Akdeniz iklimi (Csa)'dir. İzmir ili içerisinde iklim değişikliğinin sıcaklık yönünden etkisinin özellikle Ocak-Temmuz periyodunda daha yoğun bir şekilde hissedileceği görülmektedir [33]. İzmir bölgesinde güncel durumdaki yağış düzeni değişerek yağışların belirli dönemlerde yoğunlaşacağı tahmin edilmiştir. Bu yoğunluk beraberinde sel, taşkın ve yüksek erozyon risklerini getirmektedir. Bu durum 2020 ve 2021 yılı içerisinde yaşanan taşkın ve sel olayları ile birlikte İzmir için gerçekçi bir risk olduğunu göstermeye başlamıştır. İlkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde ise senaryolara göre gelecek dönemde yağışların %50 civarında azalacağı öngörülmektedir.

Yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve iklim değişikliği, gelecekte İzmir'de daha sıcak ve daha soğuk havalara sebep olabilecektir. Mevcut durumda dahi ısıtma ve soğutma ihtiyacı olan İzmir iklimi gelecekte jeotermal kaynak kullanımı için önemli bir potansiyel kaynak olacaktır. Ayrıca seracılık uygulamaları için de iklim verilerinin dikkate alınması önemlidir.

3.3. Arazi Kullanımı

Jeotermal kaynakların kullanım alanları, durumu ve etkisinde arazi kullanımı da önem taşıyan parametrelerden bir tanesidir. Genel olarak, doğu-batı doğrultusunda birbirine paralel ve denize dik inen dağlar ve aralarındaki çöküntü havzaları ile akarsu düzlükleri, İzmir ve çevresinin morfolojik yapısını oluşturmaktadır. İzmir ili, arazileri jeomorfolojik birimler, yeryüzü şekilleri ve yükselti kuşaklarına göre sınıflandırıldığında, yaklaşık %60'ını dağlar, %22'sini ovalık alanlar, %18'ini ise platolar-yaylalar kaplamaktadır (Şekil 3.6).

ŞEKİL 3.6: İzmir iline ait Corine arazi kullanım verisi.



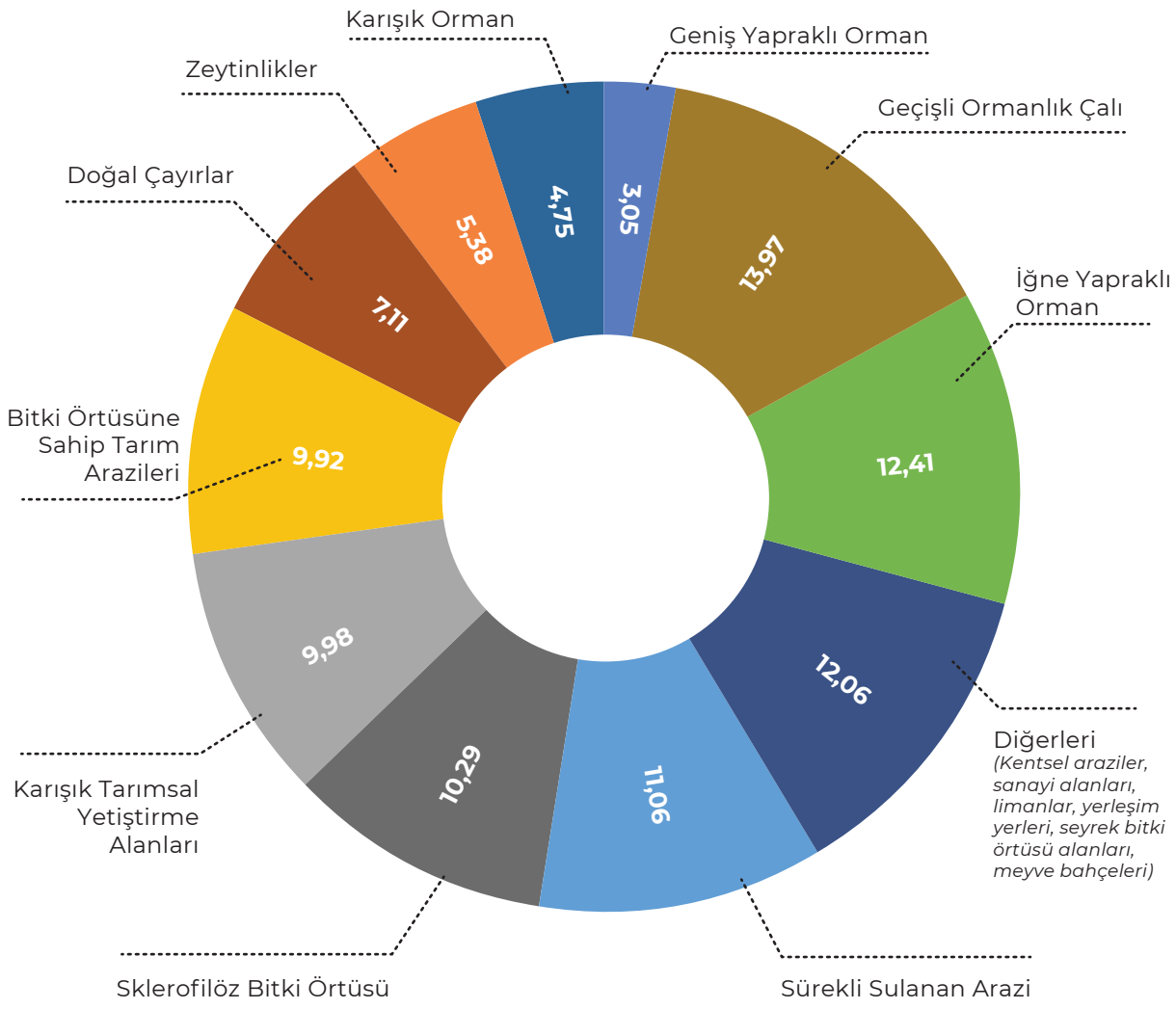
Kaynak: EEA [34] verisinden yararlanılmıştır.

Eğim analizlerine göre, İzmir il sınırlarının %50,2'si yerleşime uygun olmayan, eğimi %40'tan fazla, topoğrafik eşik alanlarından oluşmaktadır. Alanın %15'i eğimi %25-40 arasında, genelde yerleşmeye uygun olmamakla birlikte, zorunlu hallerde kısıtlı oranda yerleşime açılabilir alanlardır [35].

İzmir ilinin arazi örtüsü ile ilgili olarak bu rapor için yapılan çalışmada, Corine 2018 yılı verisinin güncelleştirilmiş 2020 yılı versiyonu kullanılmıştır [34]. Genel sınıflamaya bakıldığında yaygın arazi örtüsü tiplerinin çalılık ve orman sahaları ile tarım alanları olduğu görülmektedir (Şekil 3.7). Kıyılarda tuzla, lagün, bataklık, sahil ve diğer geçiş alanları benzeri sulak alanlar yer almaktadır.

Akdeniz iklim bölgesinde yetişen geniş, sert ve iğne yapraklı, sürekli yeşil kalan, kuraklığa dayanıklı ağaç ve çalılar, yaygın doğal bitki örtüsünü oluşturur. Bitki örtüsünde kızılçam, fıstık çamı, karaçam, selvi maki ve zeytin ağaçlarına bol rastlanır. Bağ ve meyve bahçeleri oldukça geniş yer kaplar. İlde ormanların yok olduğu yerlerde makiler; makilerin yerini de bodur çalılar almıştır.

ŞEKİL 3.7: İzmir ili için arazi örtüsünü oluşturan sınıfların yüzdelik dağılım grafiği.



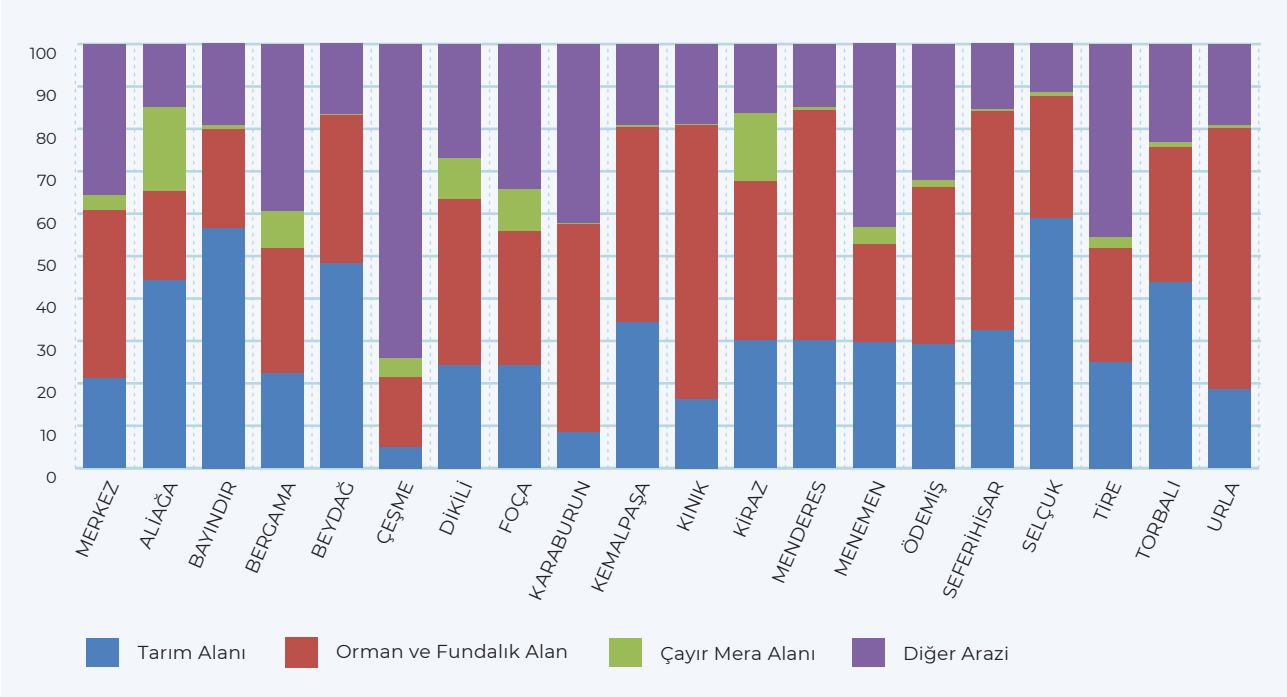
Kaynak: EEA [34] verisinden yararlanılmıştır.

İzmir il sınırları içerisinde Selçuk ve Bayındır ilçelerinin yüzey alanının %50'den fazlası tarım alanıyken, Beydağ, Aliağa, Torbalı gibi ilçeler bu iki ilçeyi takip etmektedir (Şekil 3.8). Çayır ve mera alanları il genelinde düşük yüzdelere sahipken en büyük alanlar Aliağa ve Kiraz çevresindedir.

İzmir'deki ormanlık alanlar genellikle yüksek topoğrafyaya sahip dağlık alanlarda ve şehir merkezinin dışında bulunmaktadır. Ormanlar Bozdağlar üzerinde, Kemalpaşa ve Bayındır'ın yüksek kesimlerinde, Bornova'nın kuzeyindeki Yamanlar ve Narlıdere'nin güneyindeki Çatalkaya yükseltilerinde, Gümüldür, Ürkmez ve Özdere'nin arkasındaki sırtlarda, Selçuk-Pamucak'ın güneyinde, Karaburun Yarımadası'nın yüksek kesimlerinde, Bakırçay Vadisi'nin ve güneyindeki yükseltilerle parçalı olarak dağılım göstermektedir.

Kınık, Urla, Menderes, Seferihisar ve Karaburun ilçelerinde yüzey alanının yaklaşık %50'si orman alanları ile kaplıdır. İlde kıyı ormanları genellikle tahrip olmuştur. Bu alanlar makilikler ve zeytinliklerle örtülüdür ya da yerleşim alanına dönüşmüştür. İzmir, orman kaynaklarının yangın, yerleşme ve tarım alanı açma gibi nedenlerle tehdit altında olduğu illerden birisidir. Özellikle Urla, Menderes ve Seferihisar'da yanan ormanların en kısa sürede yeni ağaçlar dikilerek yenilenmesi İzmir ili için oldukça önemlidir.

ŞEKİL 3.8: İzmir ili ilçe bazlı tarımsal ve orman alanlarının dağılım oranları.



Kaynak: İİTOM [36] verisinden yararlanılmıştır.

Bu alanlar dışında özellikle iç körfez çevresinde yoğun kentleşme görülmektedir. Metropol ilçelerin dışında son yıllarda özellikle pandemi sürecinde kırsala yönelim gerçekleşmiş, Karaburun Yarımadası ve İzmir'in kuzeyine doğru yerleşim alanları genişlemeye başlamıştır. Bu alanlar dışında İzmir'de gelişen sanayi ve ticaret alanları bulunmaktadır. İzmir'de sanayi önce liman çevresinde ve merkezde gelişmiş, giderek Bornova, Gaziemir, Çiğli ve Buca'ya sıçrayarak yoğunlaşmıştır. Aliağa'da, petrokimya ve demir-çelik, gemi söküm, Torbalı'da otomotiv, kimya, imalat ve tarımsal sanayi öne çıkmaktadır [35].

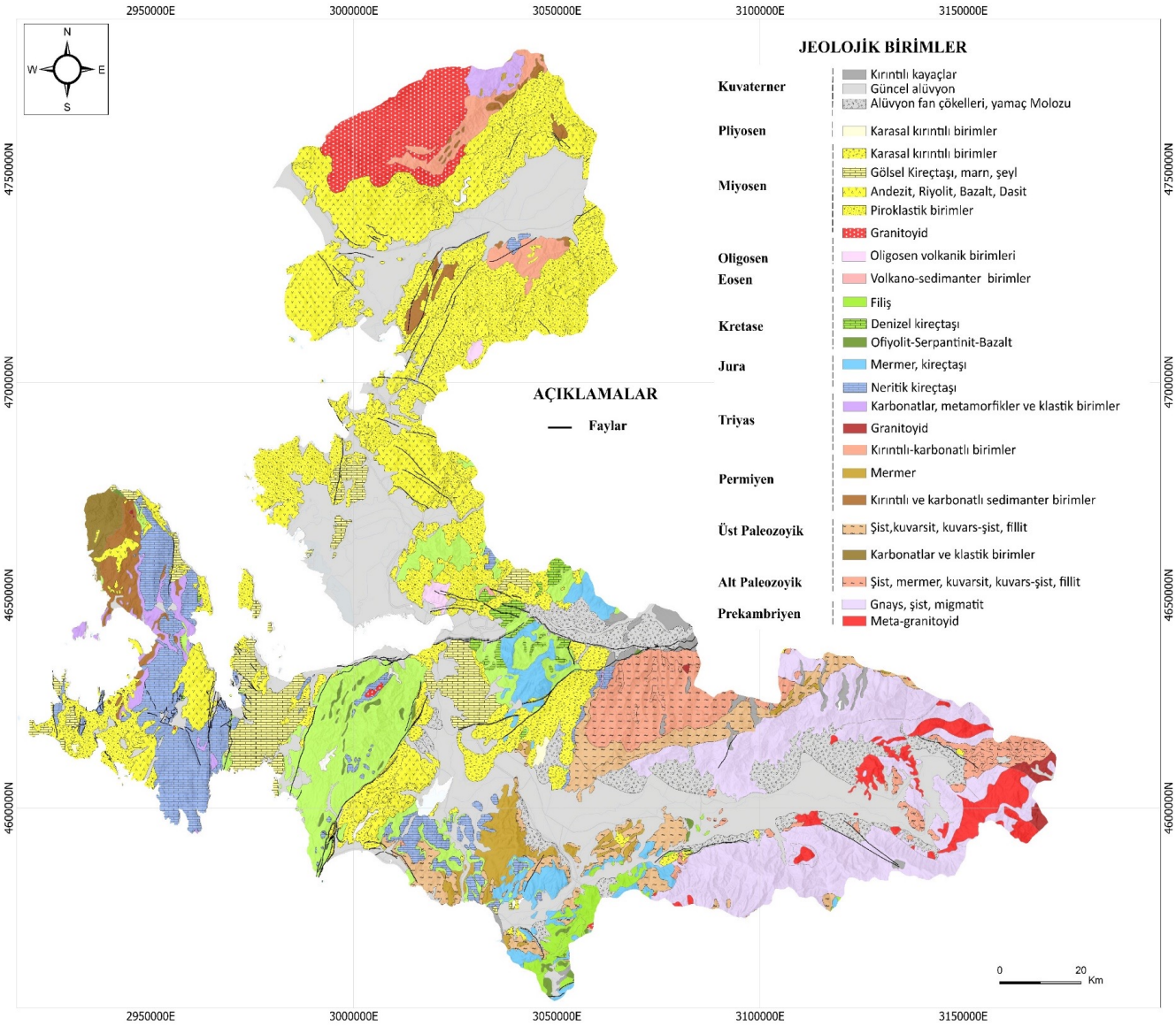
İzmir ilinde genel olarak kentsel alanlar, kıyı şeritleri, tarımsal alanlar ile yüksek ve engebeli arazilerde ormanlar bulunmaktadır. Jeotermal enerji uygulamalarında yapılacak tesisler ve tipleri bu alanlara uygun şekilde planlanmalı, ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri arazi kullanımı göz önünde bulundurularak projeler öncesinde belirlenmelidir.

BÖLÜM 4.

Bölgesel Jeoloji ve Tektonik

İzmir ili ve çevresinde farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş pek çok kaya birimi mevcuttur (Şekil 4.1). Bu çalışma kapsamında jeolojik birimler, temel kaya birimleri ve örtü birimler olarak iki grupta toplanmıştır. Temel birimler, Neojen öncesi (jeolojik zaman ölçeğine göre yaklaşık 23 milyon yıldan daha eski) zamanlara ait kaya topluluklarını ifade etmekte iken örtü birimler Neojen'den günümüze kadar olan birimlere karşılık gelmektedir. Bu kısımda İzmir ili ve çevresindeki jeolojik birimler kısaca özetlenmiştir. Raporun ilerleyen kısımlarında, jeotermal sistemler açıklanırken daha detaylı jeotermal saha bazlı jeolojik ve stratigrafik özellikler verilecektir.

ŞEKİL 4.1: İzmir İli için genelleştirilmiş jeoloji haritası.



Kaynak: [37, 38]

4.1. Temel Kaya Birimleri

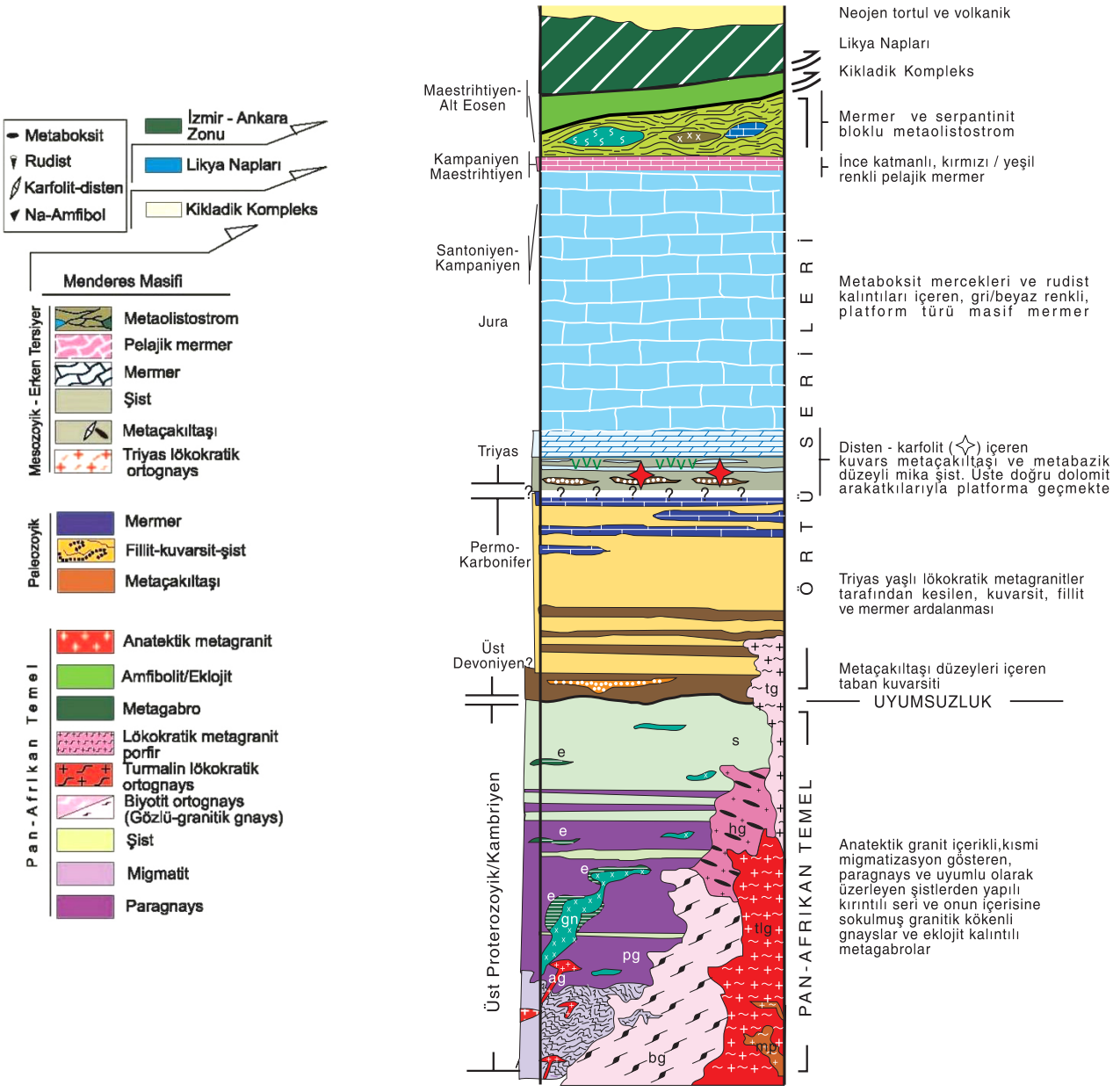
İnceleme alanındaki temel kaya birimleri Menderes Masifi ve İzmir-Ankara Kenet Kuşağı olmak üzere iki grupta toplanır. Menderes Masifi yüksek metamorfizmaya uğramış şist, gnays, kuvarsit ve mermer/re-kristalize kireçtaşı gibi birimlerden oluşur [39, 40]. İzmir ili çevresinde Menderes Masifi'ne ait kaya birimleri Gediz grabeni güneyinde Bozdağ yükselimi civarında ve Torbalı-Gümüldür-Kuşadası Körfezi arasında yayılım göstermektedir.

Özellikle Gediz ve Büyük Menderes grabenlerindeki jeotermal sistemlerde rezervuar kaya birimlerini oluşturan Menderes Masifi yaklaşık olarak KD-GB uzanımlıdır. Masif güneyden Likya napları, kuzey ve kuzey batıda ise Afyon Zonu, İzmir-Ankara Zonu ile Kiklad Çekirdek Kompleksi tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Doğuda Neojen yaşlı tortul/volkanik birimlerle örtülmektedir. D-B uzanımlı genç graben sistemleri Menderes Masifi'ni kuzeyden güneye Demirci-Gördes Asmasifi, Ödemiş-Kiraz asmasifi ve Çine asmasifi olmak üzere üç asmasife bölmektedir [41]. Günümüzde çekirdek ve örtü serilerinin stratigrafileri büyük oranda açıklığa kavuşturulmuştur [42, 43]. 'Pan-Afrikan temel' veya 'Prekambriyen temel' olarak da adlandırılan çekirdek ve örtü serilerinin masif boyutundaki genel dağılımları ve genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Anadolu'nun eski tektonik (paleotektonik) dönem yapılarından olan İzmir-Ankara kenet kuşağı birimleri inceleme alanında yaygındır. Bornova Filiş Zonu [44] veya Bornova Karmaşığı [45] olarak adlandırılan bu birimler Üst Kretase–Paleosen yaşlı kaya topluluklarından oluşur. Filiş birimleri bu çalışmada, MTA'nın 1/10000'lik haritalarındaki adlandırmasında olduğu gibi İzmir Filişi adıyla incelenmiştir. Filiş fasiyesindeki kırıntılı kayalar ile serpantinit, çört, diyabaz ve kireçtaşları bloklarından oluşan bu kaya toplulukları yer yer metamorfizmaya uğramıştır [45]. Birimi İzmir-Kuşadası Körfezleri arasındaki Seferihisar çevresinde ve daha doğuda Nif ve Spil Dağı çevresinde görmek mümkündür.

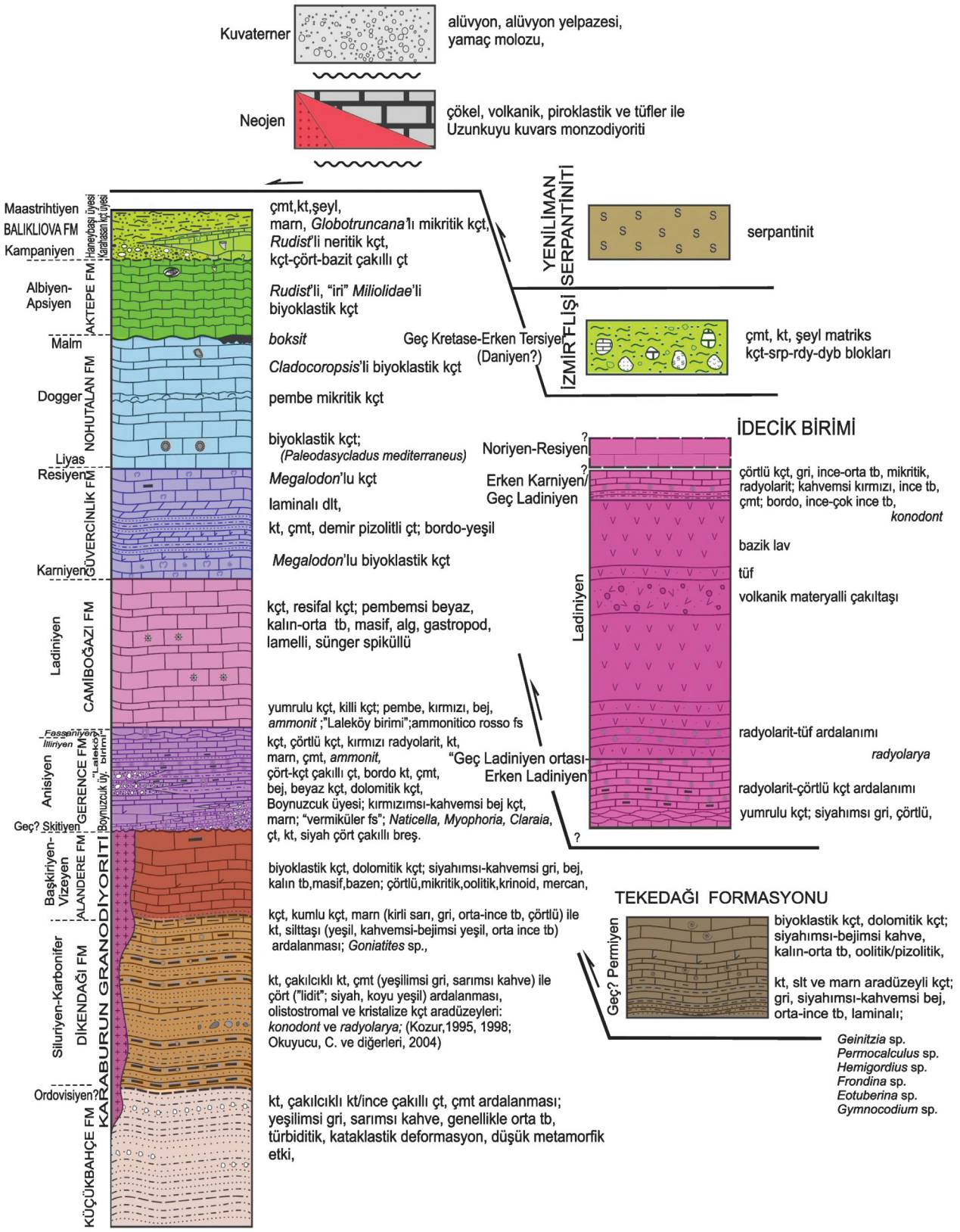
İzmir ilinin batısında yer alan temel birimler ise Karaburun Yarımadası ve çevresi Kalafatçıoğlu [46] ve Konuk [47] tarafından yapılan ilk jeolojik haritalamalarda tanımlanmıştır. Daha sonra yarımadanın hem Paleotetis ve hem de Neotetis Okyanusu'na ait birimler içerdiğinin anlaşılması üzerine Erdoğan ve diğ. [48], Robertson ve Pickett [49] gibi araştırmacılar Karaburun Yarımadası'nın stratigrafisi ve jeolojik evrimi üzerine çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Jeotermal sahaların bulunduğu bölgenin Neojen öncesi stratigrafisi tektonik ilişkili Karaburun Platformu [45, 49, 50] ve İzmir-Ankara Zonu ile ilişkilidir. Bu çalışma kapsamında Çakmakoğlu ve Bilgin [51] tarafından yapılan çalışmadaki Neojen öncesi stratigrafik istif kullanılmıştır (Şekil 4.3).

ŞEKİL 4.2: Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesitleri.



Kaynak: [41, 43].

ŞEKİL 4.3. Karaburun Yarımadası Neojen öncesi birimlerin stratigrafisi.



Kaynak: [51]

4.2. Örtü Birimleri

İzmir ve çevresinde Neojen ve Kuvaterner birimleri Menderes Masifi ile İzmir-Ankara Kenet Kuşağı'na ait temel birimler üzerindeki örtü kayalarını oluşturmaktadır. Neojen yaşlı birimler genelde akarsu ve göl ortamlarında gelişmiş çökel kayalar ile volkanizma ürünlerinden oluşmuştur [52, 53, 54]. İnceleme alanındaki Neojen yaşlı birimler İzmir kuzeyinde Foça-Aliağa-Menemen, İzmir güneyinde Urla, Seferihisar-Menderes-Torbalı ve Gediz Grabeni çevresinde geniş yayılımlıdır.

Neojen volkano-sedimanter birimlerinde tabanda Alt-Orta Miyosen yaşlı akarsu-göl ortamında çökelmiş kumtaşı, şeyl, kireçtaşı ve çakıltaşı seviyelerinden oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerine ise uyumsuz olarak Geç Miyosen-Pliyosen çökelleri gelir. Miyosen dönemi birimleri genellikle havza çökeli olarak killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn, çamurtaşı ve kiltaşı ardalanmalarından oluşmaktadır. Miyosen birimleri İzmir ve çevresinde özellikle Urla, Çeşme, Menemen, Foça ve Aliağa civarında volkanizmadan etkilenmiştir. Bu sebeple bu bölgelerdeki stratigrafik istifte eş zamanlı çökelen volkanik birimler ve alüviyal ve gölsel-karasal ortam sedimanları birlikte görmek mümkündür. Neojen çökelleriyle birlikte görülen lav akmaları, ignimbritler, aglomera-breş ve tüflerden oluşan volkanizma ürünleri İzmir kuzeyindeki Yamanlar Dağı, Menemen civarındaki Dumanlıdağ, Gülbahçe civarındaki Kocadağ, Cumaovası ve Foça yöresinde oldukça karakteristiktir [54, 55].

İzmir ve çevresinde çökelmiş Kuvaterner birimleri akarsu havzaları, dağ yamaçları, alüvyon yelpazeleri, deniz kenarlarındaki plaj düzlükleri ve diğer topoğrafik olarak daha düşük kotlardaki bölgelerde çökelmiştir. Gediz, Bakırçay ve Küçük Menderes nehir havzaları önemli alüvyon dolgusuna sahiptir.

4.3. Yapısal Kontroller

Batı Anadolu neotektonizması önceki çalışmalarda belirtildiği üzere açılmalı tektonik rejimle temsil edilir [56, 57]. Bölgesel olarak K-G yönlü açılmalı tektonik rejim Anadolu plakasındaki bölgesel gerilimlerin bir sonucudur. Orta-Üst Miyosen'de Doğu Anadolu'da Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhaları arasında gerçekleşen kıta-kıta çarpışması Anadolu levhasının Kuzey ve Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru kaçmasına sebep olmuştur. Batıya kaçış süreci Batı Anadolu'da saat yönünün tersinde rotasyonal bir dönmeyle sonuçlanmış ve buna bağlı kabaca D-B genel uzanımlı horst ve grabenlerden oluşan morfoloji ortaya çıkmıştır [56, 57, 58, 59, 60].

İzmir ili ve çevresi, ince kabuk, yüksek ısı akısı, aktif tektonik ortam, genç magmatik/volkanik etkinlik ve uygun rezervuar parametreleri ile Ege Bölgesi genelinde olduğu gibi jeotermal sistemler için oldukça uygundur. İzmir ili çevresinde Gediz graben sistemi dışındaki neotektonik dönem yapıları KD ve KB uzanımlıdır. Miyosen döneminde oluşan yay-gerisi tektonik ortamda volkanizma/magmatizmanın da eşlik ettiği gölsel havzalar İzmir-Balıkesir Transfer Zonu olarak bilinen KD-GB uzanımlı makaslama zonu içinde gelişimlerini sürdürmüşlerdir [61, 62, 63]. Bu zonun doğu sınırında yer alan Menderes Masifi üzerinde sıyrılma faylarına bağlı çöküntü havzaları gelişirken, İzmir ili ve çevresinde ise doğrultu atımlı faylanmanın baskın olduğu ve volkanizmaya bağlı morfolojiyle sınırlanmış gölsel havzalar oluşmuştur.

İzmir ilindeki jeotermal kaynakların oluşum mekanizmasına bakıldığında neredeyse tüm kaynakların yapısal kontrollerle yani faylarla denetlendiği görülmektedir. Bu sebeple, depremsellik açısından önemli olan ana fay hatları jeotermal sistemler için de oldukça önemlidir. Bu kapsamda İzmir ili için önemli bazı fay hatları aşağıda kısaca özetlenmiştir (Şekil 4.4).

4.3.1. Bergama Fayı

Yaklaşık KD-GB uzanım sunan Bergama Fayı 10 km uzunluğunda K'ye eğimli aktif normal faydır. Emre ve diğ. [64] tarafından Holosen Fayı olarak sınıflandırılmıştır. Dikili Körfezi'nden GD yönünde uzanan fay segmentleri ile Dikili ve Bergama jeotermal sahalarının önemli yapısal kontrollerindendir.

4.3.2. Yenifoça Fayı

Yenifoça Fayı, yerleşim yerinin doğusunda Nemrut Limanı ile güneydeki Gerenköy arasında KKD-GGB genel doğrultusunda uzanan bir normal faydır. Yenifoça Fayı, Emre ve diğerleri [38, 64] tarafından Kuvaterner Fay sınıflamasına dâhil edilmiştir. Emre ve diğ. [64] bu fayı yaklaşık 14 ve 15 km'lik iki parçadan oluşan normal karakterde bir fay olarak tanımlanmıştır. Yenifoça Fayı için öngörülen maksimum deprem büyüklüğü ise 6,4'tür.

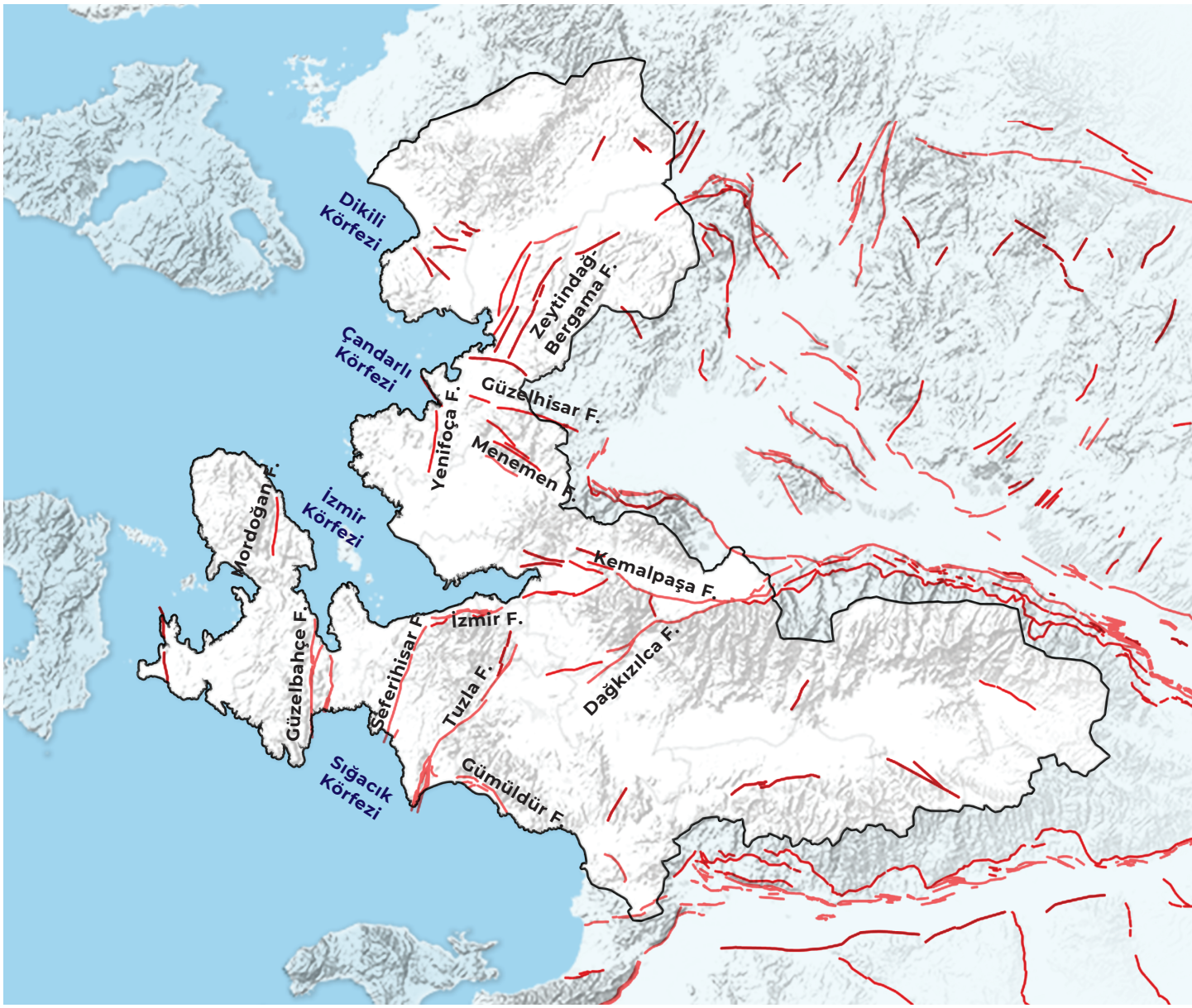
4.3.3. Gülbahçe Fay Zonu

Önceki çalışmalarda [45, 65] Karaburun Fayı olarak adlandırılan Gülbahçe Fayı, Emre ve diğ. [66] tarafından, fayın karada izlendiği bölümündeki en büyük yerleşimini dikkate alınarak adı Gülbahçe Fayı olarak yeniden tanımlanmıştır. Emre ve diğ. [66] Gülbahçe Fayı olarak tanımladıkları yapısal süreksizliğin, Ocakoğlu ve diğ. [67, 68]'te verilen sismik verilere göre deniz tabanında da devam ettiğini ve karadaki 15 km uzunluğuyla birlikte denizaltındaki devamıyla birlikte fayın uzunluğunun 70 km'ye ulaşabileceğini bildirmektedirler. Sözbilir ve diğ. [69] Gülbahçe Fay Zonu olarak tanımladıkları yapısal süreksizliğin 17-21 Kasım 2005 depremleriyle ilişkilendirmiştir. Ayrıca Emre ve diğ. [66], 70 km uzunluğuna sahip olan Gülbahçe Fayı'nı, İzmir yöresinin önemli deprem kaynaklarından biri olarak değerlendirmektedir. Uzelli ve diğ. [70] çalışmasında Gülbahçe Fay Zonu'nun doğusunda yer alan paralel doğrultuya sahip Demircili-Yağcılar fay zonu ile birlikte Gülbahçe ve çevresindeki jeotermal aktivitenin en önemli yapısal kontrolü olarak değerlendirmiştir.

4.3.4. Demircili-Yağcılar Fay Zonu

Urla Havzası'nı etkileyen diğer önemli yapısal kontrol, Gülbahçe Fay Zonu'nun hemen doğusunda yer alan 11 km uzunluğunda ve yer yer 2 km genişliğine ulaşan K-G doğrultulu Demirci-Yağcılar Fay Zonu'dur [63]. Bu zon, Demircili Köyü güneyinden başlar ve kuzeye doğru Yağcılar Köyü'nden geçerek Gülbahçe Körfezi'ne kadar uzanır. Emre ve Özalp [71], Yağcılar Fayı olarak tanımladıkları bu fayı aktif bir fay olarak göstererek haritalamış, ayrıca hattın güneyinde 21 Ekim 2005 depreminden (Mw:5,7, USGS, Ml: 5,9, KOERİ) kaynaklanan bir deprem yüzey kırığı geliştiğini belirtmişlerdir. Emre ve diğ. [64] bu fayı sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlamakta ve üretebileceği maksimum deprem büyüklüğünü 6,3 olarak vermektedirler.

ŞEKİL 4.4: İzmir ve çevresinde bulunan önemli faylar.



Kaynak: Fay verisi Emre ve diğ., [38]'den sayısallaştırılmıştır.

4.3.5. Seferihisar Fayı

Seferihisar Fayı, morfolojik olarak Urla Havzası ile Seferihisar yükseltisi arasındaki uzanan 2-3 km genişlikte ve 23 km uzunluğunda bir fay segmentidir [63]. Sözbilir ve diğ. [62] bu paleotektonik yapının İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) içindeki ana yapılardan biri olduğunu belirtmektedir. Sismik veriler Seferihisar Fayı'nın, Ege Denizi tabanında devam ettiğini ve fayın deniz altındaki devamıyla birlikte uzunluğunun 30 km'ye ulaşabileceğini göstermektedir [67, 68]. Seferihisar Fayı, Emre ve Özalp [71] tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası'nda, aktif bir fay olarak gösterilmiş ve haritalanmıştır. 10 Nisan 2003 tarihinde meydana gelen deprem (Mw: 5,7; USGS) bölgede fayla ilişkilendirilebilecek en önemli aletsel depremdir. Emre ve diğ. [64] tarafından sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak Holosen Fayı içinde değerlendirilen Seferihisar Fayı için öngörülen maksimum deprem büyüklüğü 6,7'dir.

4.3.6. Tuzla Fayı

Tuzla Fayı [72, 73] veya diğer bir adıyla Orhanlı Fay Zonu [54, 74], toplam uzunluğu 45 km olan doğrultu atımlı bir faydır. Sismik veriler, Tuzla Fayı'nın GB'da Ege Denizi tabanında devam ettiğini ve fayın denizaltındaki devamıyla birlikte uzunluğunun 50 km'yi aştığını göstermektedir [67, 68]. Fayla ilişkili olabilecek en önemli deprem, İzmir-Doğanbey arasında düşük hasarlara yol açan 6 Kasım 1992 tarihli depremdir (Ms:6,0; USGS).

4.3.7. İzmir Fayı

İzmir Fayı, İzmir Körfezi güneyinde bulunan D-B doğrultulu Karaburun Yarımadası ile Bayraklı arasında uzanan normal bileşenli bir faydır [72, 66, 75]. Karadaki uzunluğu yaklaşık 40 km'yi bulan İzmir Fayı, Gediz grabeninin devamı niteliğindeki bir yapısal hatta paralellik göstermektedir [76]. Fay doğuda Pınarbaşı'ndan başlar ve batıya Üçkuyular'a doğru uzanır. Burada yaklaşık D-B uzanımlı olan İzmir Fayı'na ait fay segmentleri, Balçova ve Narlıdere'ye doğru devam ederek, önce BKB-DGD, sonra da BGB-DKD uzanımlı olarak düşük dalga boylu bir kıvrımlanma ile Güzelbahçe'ye ulaşır [76]. Fayın doğu bölümünü oluşturan Pınarbaşı segmenti Halkapınar ile Belkahve arasında uzanmaktadır.

4.3.8. Güzelhisar Fayı

Güzelhisar Fayı, İzmir'in kuzeyindeki Aliağa ilçesi yakınında yer almaktadır ve yaklaşık 25 km uzunluğunda olan fayın genel doğrultusu K70B'dır [66]. Doğrultu atım morfolojisinin egemen olduğu fayın Holosen aktivitesine ilişkin jeolojik bulgular elde edilememiş olsa da jeomorfolojik bulgular fayın Kuvaterner'de etkin olduğuna işaret etmektedir [66]. Bu nedenle Güzelhisar Fayı olası diri fay olarak kabul edilmektedir. Emre ve diğ. [64] ise Güzelhisar Fayı'nı sağ yanal doğrultu atımlı Kuvaterner Fayı olarak tanımlamaktadır.

4.3.9. Menemen Fay Zonu

Emre ve diğ. [66], Menemen kuzeyindeki Dumanlıdağ ile Gediz Nehri'nin taşkın ovası arasında yer alan ve KB-GD doğrultusunda uzanan fayları Menemen Fay Zonu olarak tanımlamaktadır. Bu fay zonu ilk kez Şaroğlu ve diğ. [77] tarafından haritalanmış ve Dumanlıdağ Fay Zonu olarak tanımlanmıştır. Emre ve diğ. [64], Menemen Fay Zonu'nu normal fay karakterindeki Holosen Fayı olarak sınıflamaktadır. Fayın üretebileceği maksimum deprem büyüklüğü 6,2 olarak belirtilmiştir.

4.3.10. Dağkızılca Fayı

Dağkızılca Fayı ilk kez Emre ve diğ. [66]'te tanımlanmıştır. Çalışmacılar toplamda 27 km uzunluğunda olan fayın Kemalpaşa ilçesi güneyi ile Torbalı arasında uzandığını ve Gediz Grabeni sistemine bağlı sağ yönlü doğrultu atımlı bir transfer fayı olduğunu belirtirler. Fayın Kurudere-Ayrancılar arasında kalan 20 km uzunluğundaki bölümü Emre ve diğ. [66, 73]'de diri fay olarak haritalanmıştır.

4.3.11. Kemalpaşa Fayı

İlk olarak Emre ve Barka [72] tarafından Kemalpaşa Fayı olarak tanımlanan fay, Gediz Graben sisteminde değerlendirilen normal fay karakterine, D-B uzanıma ve 20 km uzunluğa sahiptir. Emre ve diğ., [66] ise fay boyunca Holosen yelpazelerinin kesildiğini ve askıda kaldığını, fayın taban bloğunda yelpazeleri oluşturan akarsu yataklarında tektonik kökenli taraçalar geliştiğini belirtmektedir. Sözbilir ve diğ., [78] Kemalpaşa Fayı'nın, Kemalpaşa Havzası'nın güney sınırını oluşturduğunu ve güneyinde kalan bütün Miyosen yaşlı birimler ile daha yaşlı doğrultu atımlı sistemlerini kestiğini belirtmekteyken Tepe ve Sözbilir [79], Kemalpaşa Fayı'nın aktif oblik atımlı normal fay olduğunu belirtmektedirler.

BÖLÜM 5.

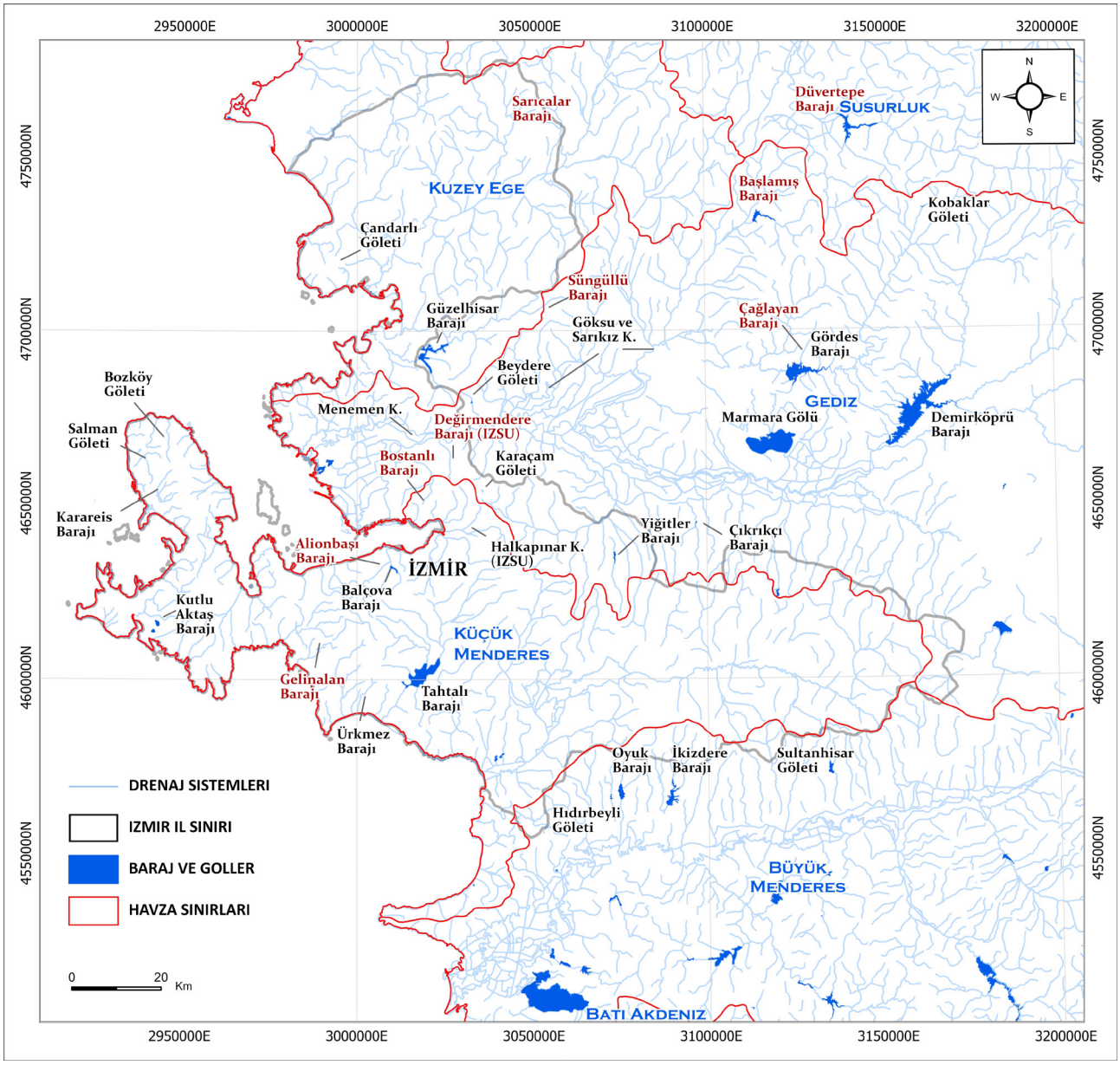
Hidrojeoloji

5.1. Yerüstü Su Kaynakları

5.1.1. Akarsu ve Nehirler

Çalışma alanı içinde yer alan Bakırçay, Gediz ve Küçük Menderes, İzmir için en önemli akarsulardır. Bunların yanı sıra, kaynağını Karaburun Yarımadası'ndan alıp Ege Denizi'ne dökülen kısa ve geçici akışlı akarsular da bulunmaktadır (Şekil 5.1).

ŞEKİL 5.1: İzmir ili ve çevresindeki akarsu, nehir, drenaj, göl ve barajlar (Kırmızı renkli barajlar yapım/proje aşamasındadır).



Gediz Nehri, İç Batı Anadolu'da Murat Dağı'ndan doğar. Toplam uzunluğu 400 km'dir. Gediz; Manisa Ovası'nın batısından Yamanlar Dağı ile Dumanlı Dağ arasındaki Menemen Boğazı'ndan geçerek Foça'nın güneyinde denize dökülmektedir. Gediz Nehri, döküldüğü yerde geniş bir delta meydana getirmiştir. Delta düzlüğünün kuzey-güney doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık olarak 20 km'dir. Vadi tabanı yer yer alüvyonlarla kaplı olan Gediz Nehri, delta oluşturduğu alüvyon dolgu üzerinde geniş tabanlı ve sığ bir yatakta akmaktadır. Bölgenin en verimli ovalarından biri olan Gediz Ovası'nda Menemen, kıyı kesiminde Foça, Çiğli ve Karşıyaka yerleşimleri yer almaktadır [80].

Gediz Havzası'nın alansal olarak yaklaşık % 12'lik kısmı İzmir il sınırı içerisindedir. İzmir iline ait Kemalpaşa ilçesi havzanın güneybatısında, Menemen ilçesi, Foça İlçesi, bir kısmı havza içinde kalan Çiğli ilçesi ve dağlık küçük bir kısmı havza içinde bulunan Aliağa ilçesi, havzanın batısında yer almaktadır. Gediz Havzası içinde kalan Kemalpaşa ve Menemen ilçeleri ovalık alanlarda, Foça ilçesi ise Ege Denizi kıyısında yer almaktadır. İzmir iline ait havzanın güneyinde bulunan Bayındır ve Ödemiş ilçelerinin dağlık alanlarının küçük bir kısmı ile Kiraz ilçesinin bir kısmı Gediz Havzası içinde yer almaktadır.

Bakırçay, doğuda Ömerdağ, kuzeyde Madra, güneyde Yunt Dağı'ndan gelen kollardan oluşur ve 128 km uzunluğundadır. Ömerdağ'dan çıkan Bakırçay, Kınık'ın doğusunda alüvyal bir ovaya girerek Çandarlı Körfezi'nden denize dökülmektedir. Bakırçay, geniş tabanlı, alüvyal bir yatak içerisinde 25 km akmakta; Madra ve Yunt Dağı'ndan kaynaklanan kolları ise dik ve derin vadilerden akmaktadır [80].

Küçük Menderes, Bozdağlar'dan doğar ve Selçuk ilçesinin batısında denize dökülür. Toplam uzunluğu 140 km'dir. Nehir, kendi adıyla anılan verimli ova topraklarını sulamaktadır. Bozdağlar ve Aydın Dağları arasında uzanan Küçük Menderes Ovası, doğu-batı yönünde 80 km, kuzey-güney yönünde 20 km genişliktedir. Kiraz, Ödemiş, Beydağ, Tire, Bayındır, Torbalı ve Selçuk gibi birçok yerleşim yeri Küçük Menderes'in ova kısmında yer almaktadır.

5.1.2. Baraj ve Göletler

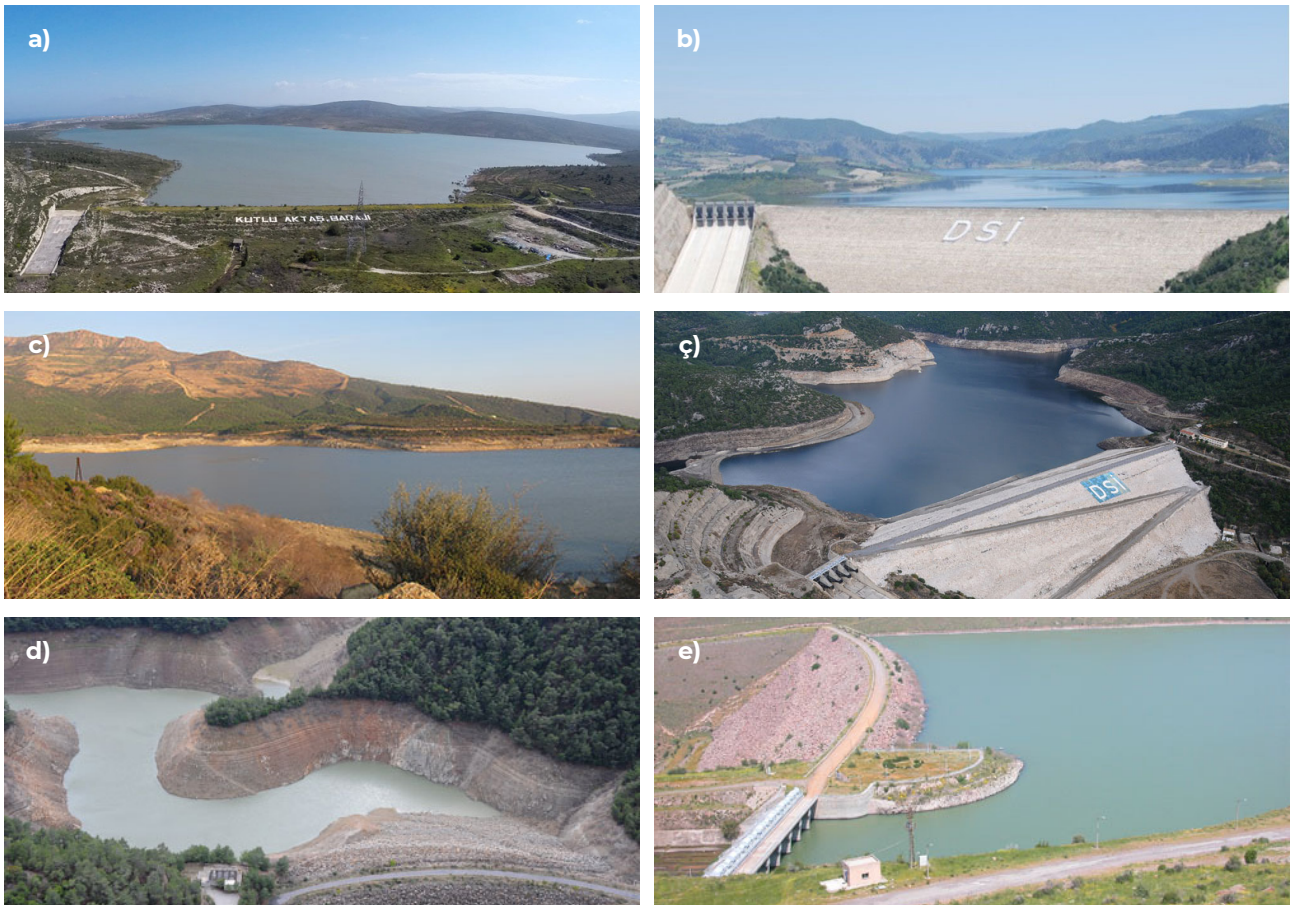
İzmir ilindeki su üretimini karşılayan en önemli barajlar Tahtalı, Gördes ve Balçova barajlarıdır (Şekil 5.2). İzmir'de yüzeysel su kaynaklarından üretim miktarı 2019 yılında 95.415.218 m^3'tür ve İzmir'in tüm su ihtiyacının yaklaşık %41,2'sine karşılık gelmektedir [81]. 2019 yılında İzmir'de su temininin %36,6'sı sadece Tahtalı Barajı'ndan sağlanmıştır. Diğer önemli barajlar ise Çeşme Kutlu Aktaş, Güzelhisar ve Ürkmez barajlarıdır. Bahsedilen tüm bu barajların (Gördes hariç) doluluk oranı Temmuz 2021 tarihi itibariyle %50'nin üzerindedir.

5.2. Yeraltı Su Kaynakları

İzmir ilindeki en önemli yeraltısuyu kaynakları Gediz ve Küçük Menderes havzalarındaki akiferleridir. İzmir kent merkezine su sağlayan kaynakların 2019 yılı verilerine göre %58,8'i yeraltı su kaynaklarından sağlanmıştır. Yeraltı su kaynaklarından sağlanan su miktarı 136.057.316 m³'tür [81]. İzmir kent alanı içinde yer alan ve 1897 yılından beri bölgedeki gölden kente su sağlayan Halkapınar kaynakları, İzmir için önemli bir su kaynağıdır. Halen bu alanda toplam 19 adet kuyu aktiftir. Ayrıca Menemen ilçesinde, Gediz nehrine yakın ova kısmında, tarım arazilerinin yoğun olduğu bölgelerde toplam 30 adet aktif kuyu bulunmaktadır. Bornova, Buca, Pınarbaşı, Gaziemir ve Sarnıç'ta kullanılan içme suyu kuyuları da mevcuttur. Ayrıca İzmir ili su kaynaklarını sadece il sınırlarından temin etmemektedir; Manisa ili Muradiye ilçesinde 22 kuyu ve Saruhanlı ilçesi, Sarıkız Pınarları bölgesinde toplam 30 kuyudan da İzmir iline pompa ile su temini yapılmaktadır.

Batı Anadolu grabenlerindeki derinde yer alan rezervuar kayalarını Paleozoyik mermerler, kristalize kireçtaşları veya Mesozoyik dolomitik kireçtaşları oluşturur. Daha sığ su kaynakları ise akarsu havzaları ve grabenlerdeki kalın havza dolguları yani taneli birimlerden sağlanmaktadır.

ŞEKİL 5.2: İzmir ili ve çevresi için su temininde kullanılan barajlar a) Kutlu Aktaş Barajı b) Gördes Barajı c) Ürkmez Barajı ç) Tahtalı Barajı d) Balçova Barajı e) Güzelhisar Barajı.



Kaynak: IZSU, [82]'den alınmıştır.

Gediz Havzası'ndaki yeraltısuyu kütlelerine ilişkin hidrojeolojik ve hidrolik parametreler daha önce yapılan detaylı çalışmalar ile belirlenmiştir [83, 84]. Havzada alüvyon alanlarda yer alan taneli birimler önemli bir su kütlesidir. Havzadaki en önemli yeraltısuyu çekimi taneli birimlerden gerçekleşmektedir. Ayrıca havza çevresindeki temel birimlerdeki karstik kireçtaşları önemli akiferleri oluşturmaktadır. Karşıyaka-Menemen-Foça ilçeleri arasındaki oldukça geniş alanlarda (yaklaşık 250 km²), Gediz Nehri tarafından biriktirilmiş Kuvaterner yaşlı (0,8-5 milyon yıl), kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutunda malzemelerden oluşan alüvyon akiferi yeraltısuyu açısından oldukça önemlidir [85]. Ayrıca Yamanlar Dağı ve çevresindeki ikincil geçirimliliğe sahip volkanikler ile Göksu kaynaklarını da oluşturan Neojen kireçtaşları bölgedeki önemli akifer seviyeleridir.

Gediz Havzası içerisinden, İZSU tarafından Manisa Sarıkız kaynaklarından 15,99 hm³(1 hm³= 1.000.000 m³), Göksu kaynaklarından ise 42,56 hm³'lük bir çekim yapılmaktadır. Buna göre, Manisa ilinden İzmir için toplamda 58,21 hm³'lük bir çekim söz konusudur. İçme suyu sağlayan önemli havzalardan bir diğeri de Menemen Alt Havzası olup bu havzadan da İzmir iline içme suyu sağlamaktadır. İzmir'e sağlanan su ile birlikte Menemen Alt Havzası'ndan toplamda 17,21 hm³'lük bir içme suyu çekimi söz konusudur. Bu miktarın 17,103 hm³'lük bölümü İZSU tarafından çekilmekte ve Menemen ile İzmir için içme suyu olarak kullanılmaktadır. Ancak Gediz Havzası'ndaki yeraltı suları için en fazla çekim (yaklaşık %80) tarımsal faaliyetler ve sanayide kullanılmaktadır [83].

Bayraklı-Bornova ovası alüvyonları ve Kemalpaşa ilçesi ile civarında yayılım gösteren alüvyon ve kireçtaşları İzmir kent merkezine yakın önemli yeraltısuyu bulunduran jeolojik birimlerdir. Kemalpaşa-Bornova-Dağkızılca-Buca arasında yayılım gösteren Mesozoik yaşlı kireçtaşları önemli bir akiferdir. Mesozoik kireçtaşlarından Pınarbaşı, Halkapınar kaynakları, Buca yönünde Kaynaklar Beldesinde Gürlek Kaynağı, Vişneli Köyünden de Başpınar kaynakları boşalır [85]. Cumaovasında bulunan kireçtaşlarından oluşan Neojen istifi ve Torbalı civarında yayılım gösteren çakıltaşı-konglomera seviyeleri önemli miktarda yeraltısuyu bulundurmaktadır.

Türkiye'nin batısında yer alan Küçük Menderes Havzası, tarımsal faaliyetin yoğun olduğu verimli topraklara ve ürün çeşitliliğine sahiptir. Havzada tarımsal sulama ihtiyacının büyük bir bölümü yeraltısuyundan karşılanmaktadır. Küçük Menderes Nehri 3.500 km²lik beslenme alanına sahiptir [86]. Havzayı temsil eden akarsu, Küçük Menderes Nehri ve kollarıdır. Bu sisteme Uluçay, Kocahavran, Çamlı, Keleş, Aktaş Çayları gibi bazı akarsular girmektedir. Yapılan yeraltısuyu bütçesinde, toplam yeraltısuyu beslenimi 716,5 hm³ olarak hesaplanmıştır. Bu yeraltısuyu beslenimin en büyük kısmı 361,5 hm³ ile Küçük Menderes Nehri alt havzasını oluşturan Kiraz, Torbalı-Selçuk kesiminde gerçekleşmektedir. Bu oran toplam havzanın besleniminin %50'sini oluşturmaktadır [87].

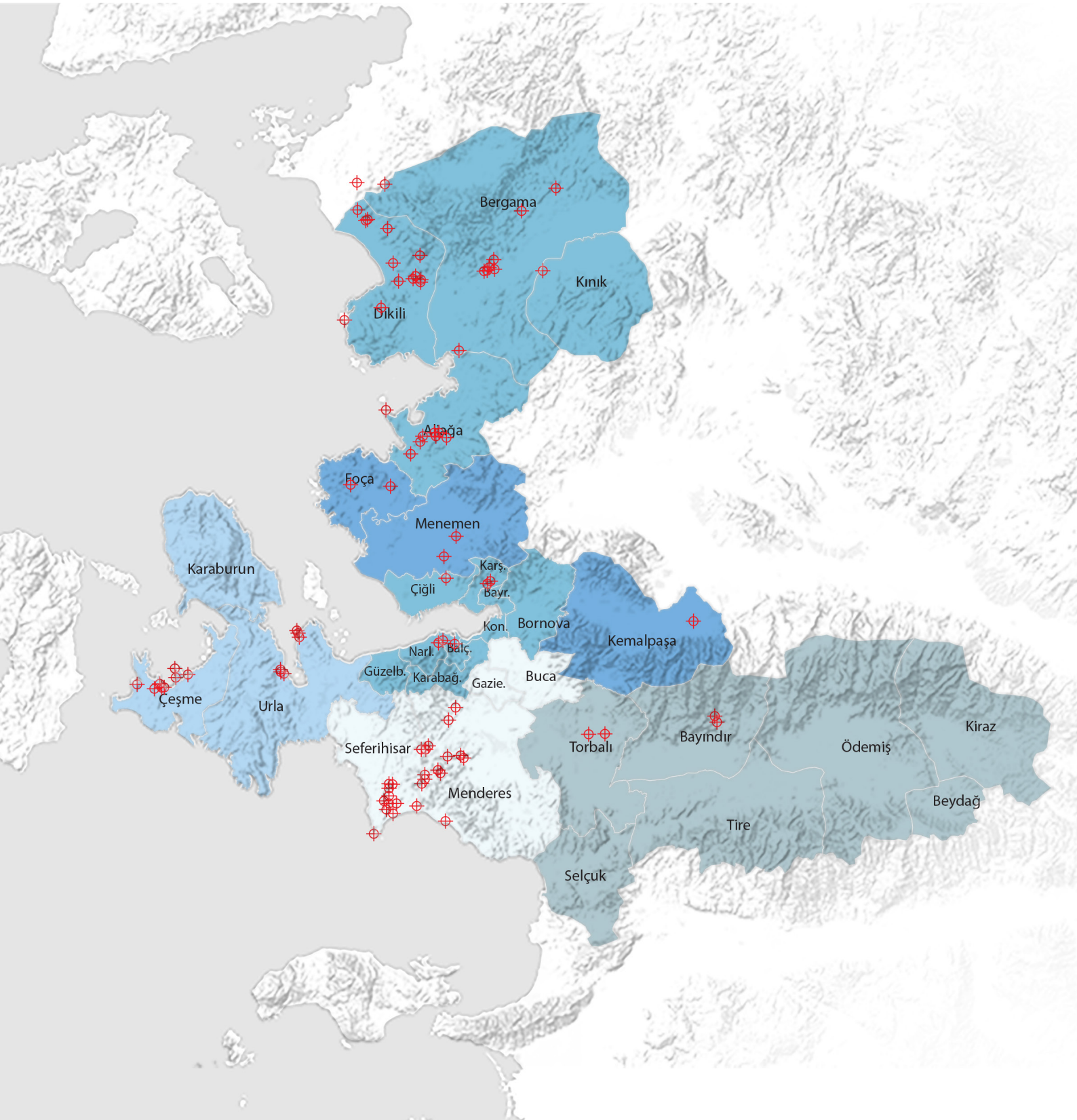
Diğer önemli bir beslenim alanı ise Çeşme ve Karaburun Yarımadası'dır. Bu kesimde 126,5 hm³'lük bir yeraltısuyu gerçekleşmektedir. Bu beslenim ağırlıkla karbonatlı kayalardan süzülme şeklinde olup havza genelindeki beslenimin %17,6'sını oluşturmaktadır. Belirtilen toplam çekimin tamamına yakınının alüvyonel-taneli akiferlerden gerçekleştiği dikkate alındığında, bölgede yayılım sunan alüvyon birimlerin büyük bölümü aşırı çekim kaynaklı baskı altındadır. [87].

BÖLÜM 6.

İzmir İli Jeotermal Sahaları

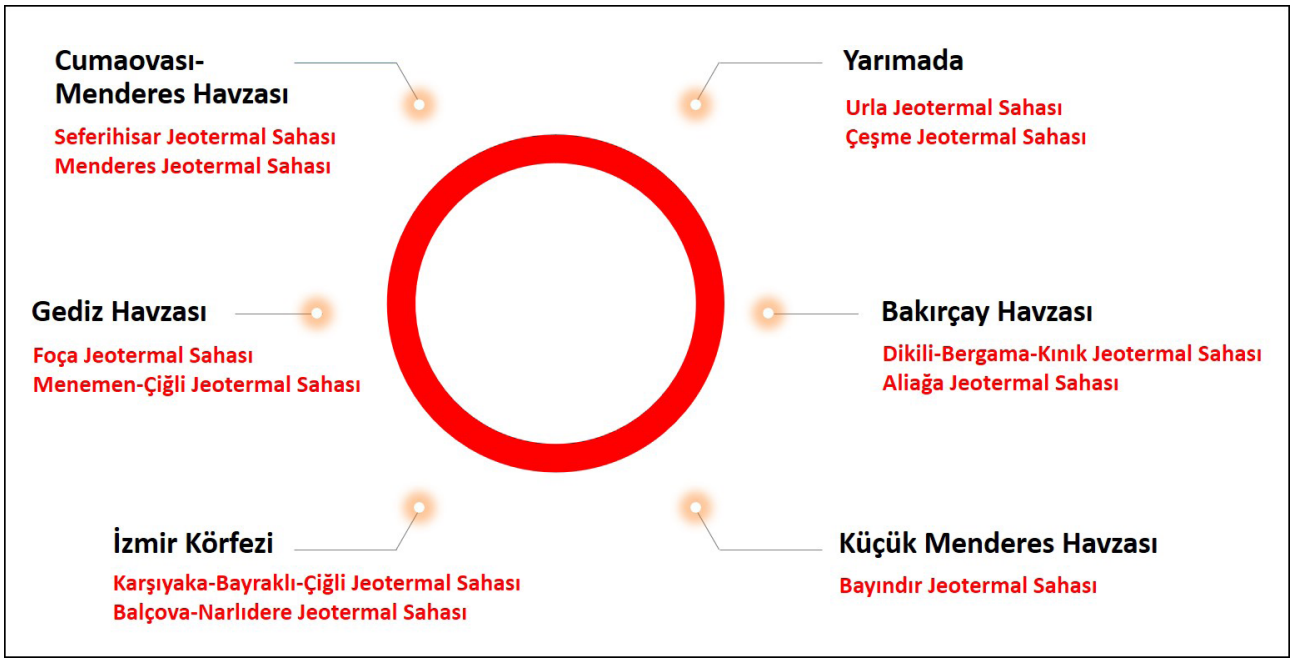
Çalışma kapsamında, İzmir'deki jeotermal sahalar, İzmir ili jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak ilçe sınırlarına da uygun şekilde altı farklı alt çalışma bölgesine ayrılmıştır (Şekil 6.1). İzmir il sınırları içerisinde belirlenen altı jeotermal sistem; Yarımada, Bakırçay Havzası, Cumaovası Havzası, Gediz Havzası, İzmir Körfezi ve Küçük Menderes Havzası'nı içermektedir.

ŞEKİL 6.1: İzmir ili jeotermal kaynakları ve bu çalışma kapsamında belirlenmiş çalışma bölgeleri.



Her bir jeotermal sistem içerisinde farklı jeotermal sahalar bulunmaktadır. Yarımada sisteminde Urla ve Çeşme sahaları; Bakırçay Havzası sisteminde Dikili-Bergama-Kınık ve Aliağa sahaları; Küçük Menderes Havzası sisteminde Bayındır sahası; İzmir Körfezi sisteminde Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli ve Balçova-Narlıdere sahaları; Gediz Havzası sisteminde Foça, Menemen-Çiğli ve Kemalpaşa sahaları; Cumaovası Havzası sisteminde ise Seferihisar ve Menderes sahaları bulunmaktadır (Şekil 6.2).

ŞEKİL 6.2: İzmir ili sınırlarında bu çalışma kapsamında belirlenmiş jeotermal sistemler ve sahalar.



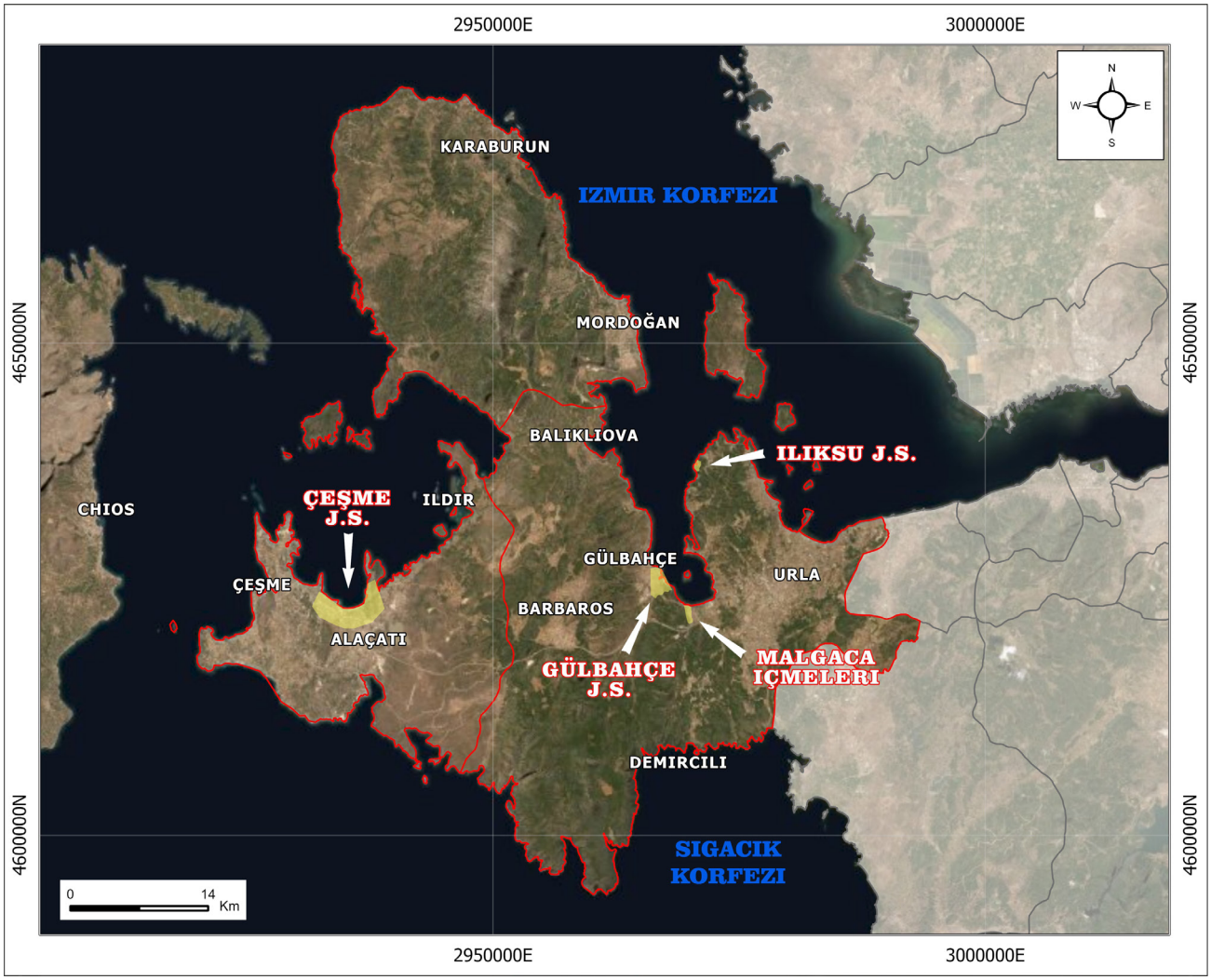
Bu kısımda jeotermal sistemler ve içerdiği jeotermal sahalara ait genel bilgiler, sahalarda bulunan jeotermal kaynaklar, sahaların stratigrafik ve hidrojeolojik özellikleri ile yapısal kontrolleri detaylı şekilde anlatılmıştır. Ayrıca sahalarda bulunan doğal kaynaklar ile sıcaklık ve debi verisine ulaşılabilen üretim kuyularının (re-enjeksiyon kuyuları hariç) termal potansiyeli hesaplanmıştır. Buna ek olarak jeotermal sahalardaki mevcut uygulamalar ve öneriler de bu kısımda irdelenmiştir.

6.1. Yarımada Jeotermal Sahaları

İzmir kentinin Batı'ya, Ege Denizi'ne uzanan bölümünde yer alan Urla-Çeşme-Karaburun Yarımadaları, İzmir kent merkezinin etkileme bölgesinde olması ile birlikte, doğal ve kültürel değerlerini günümüze kadar büyük oranda korumuştur. Bu çalışma kapsamında Urla-Çeşme-Karaburun ilçeleri "Yarımada Jeotermal Sahaları" başlığı altında incelenmiştir. Bölge, topoğrafyası, iklimi, özgün flora ve faunası, kıyıları, doğal kaynakları, tarihi yerleşimleri ve arkeolojik sahaları ile kendine özgün bir kimlik taşımaktadır. Ege Bölgesi'nin en önemli ilçelerinden olan Karaburun, Urla ve Çeşme turizm ve tarımsal üretim açısından her geçen gün daha da gelişmektedir. Ayrıca yeni ulaşım ağlarının, turizm ve teknoloji bölgelerinin oluşturulması ile bölge son yıllarda çok fazla göç almaya başlamıştır.

Bu kısımda Çeşme ve Urla (Gülbahçe-İçmeler-Ilıksu) jeotermal sahaları kapsamlı şekilde incelenmiş ve şu anda mevcut jeotermal kaynağı bulunmayan Karaburun bölgesi için potansiyel alan önerilmiştir (Şekil 6.3).

ŞEKİL: 6.3: Yarımada jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.



6.1.1. Urla Jeotermal Sahası

6.1.1.1. Genel Bilgiler

Urla, İzmir'in 38 km batısında kendi adını taşıyan yarımadanın merkezinde eski bir yerleşim merkezi olarak İzmir ilçeleri arasındaki önemini korumaktadır. Kuzeyinde İzmir Körfezi, güneyinde Sığacık Körfezi, batısında Çeşme, doğusunda ise Güzelbahçe ilçesi ile sınırlı olan Urla, yaklaşık 728 km² yüzölçümüne sahiptir ve denizden yüksekliği 65 metredir. Nüfusu TÜİK 2020 yılı verilerine göre 69.550'dir [88].

İlçenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Narenciye, meyve, sebze, bağ, süs bitkileri ve zeytin alanları bulunmaktadır. Urla ilçesi toplam 70.400 ha araziye sahip olup bunun yaklaşık %12'si olan 8.600 ha alanda tarım yapılmaktadır. Urla ilçesindeki toplam tarım alanının 4.770 ha'lık kısmında zeytin yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ayrıca ilçede seracılık gelişmiştir. Urla ilçesindeki seralarda çiçek ve sebze yetiştirilmekte olup bunlar çiftçiler için önemli bir gelir kaynağıdır. İlçede seralar Kuşçular ve Bademler mahallelerinde yoğunlaşmakla beraber Kalabak ve Zeytinalanı mahallelerinde de bulunmaktadır. Urla ilçesinde 97,3 ha alanda 1.020 adet sera mevcut olup bunun 70 ha'lık alanında çiçek ve ayrıca ilçede 259 ha'lık alanda ise sebze yetiştirilmektedir. Ancak bu seralar jeotermal ile ısıtılmamaktadır.

Su Ürünleri Fakültesi ile su ürünleri kooperatifleri mevcuttur. İlçede 17 adet su ürünleri yetiştiriciliği işletmesi faaliyette olup ortalama 950 ton/yıl kapasite ile 16.500 ton/yıl ürün yetiştiriciliği yapılmaktadır. Başlıca ürünler; levrek, çipura, orkinos (mavi yüzgeç) ve sarıağızdır. İlçedeki denizlerde tutulan balık miktarı 235 ton/yıl olup başlıca balık çeşitleri çipura, kefal, sardalya, levrek, barbun, tekir, dil balığı, mırmır ve mercandır [89].

İlçede turizm aktiviteleri öne çıkmaktadır. İlçenin turizm yönünden en önemli özelliği İzmir'e en yakın denize girme imkânının Urla'da bulunmasıdır. İlçe; kumsalı, denizi ve tamamlanan projeler sayesinde önemli bir turizm merkezi olma potansiyeline sahiptir. Özellikle yaz aylarında Kalabak, Balıklıova, Demircili, Gülbahçe ve Balıklıova sahillerine kadar uzanan yaklaşık 40 km'lik sahil şeridinde büyüklü küçüklü özel tesisler ve kamu kuruluşlarına ait kamplar ve çeşitli alanlara kurulan çadırlarla birlikte denizden yararlananların sayısı oldukça yüksektir. İlçede yelken ve sörf için geniş olanaklar bulunmakta ve turizme büyük katkı sağlamaktadır. İlçede, Enginar Festivali gibi çeşitli festivaller düzenlenmekte, bu festivaller ilçeye yüksek sayıda ziyaretçi çekmektedir. Bununla birlikte, ilçe sınırları içinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) ve Ege Bölgesi'nin en büyük Teknoparkı yer almaktadır. Ayrıca, ülkenin en büyük bilimsel projelerinden biri olan Teknoloji Üssü Projesi de bu alanda planlanmıştır. Alanda hem İYTE sınırları içinde hem de Özbek Ilıksu sınırları içinde tarihsel öneme sahip hamamlar bulunmaktadır. Aynı zamanda Malgaca karstik kaynakları da İçmeler'dedir. Bunlara ilave olarak, Türkiye'de ilk su mirası odaklı "Su Rotası" da bu alandadır.

6.1.1.2. Jeotermal Kaynaklar

İlçede bulunan jeotermal kaynaklar; Gülbahçe ve Özbek-Ilıksu jeotermal sahalarıdır (Şekil 6.4'a ve Şekil 6.4b). Ayrıca dolomitik kayaçlardan çıkan ve magnezyum mineralince zengin olan Malgaca İçmeleri bu alandadır (Şekil 6.4c).

Gülbahçe Jeotermal Sahası:

Karaburun Yarımadası'nın doğu kenarında, İzmir'e yaklaşık 45 km uzaklıkta yer almaktadır. 30-35 km²-lik bir alanı kapsayan saha, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) kampüs alanı içindedir. İYTE, sahanın işletme ruhsatına sahiptir. Bölgede 35-36°C sıcaklığında akışkana sahip doğal bir kaplıca (Roma Hamamı) ve aynı sıcaklık aralığına sahip üretim kuyusu bulunmaktadır.

Malgaca Kaynakları:

Literatürde İçmeler-Malgaca mineralli-maden suyu olarak geçmektedir. Urla ilçesine 10 km uzaklıkta, İzmir–Eski Çeşme Yolu üzerindedir. Kaynak sıcaklığı 19-22°C arasındadır. Su kaynağı magnezyumca zengin olduğu için yöre halkı tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır.

Özbek-Ilıksu Jeotermal Sahası:

Ilıksu jeotermal kaynağı Ilıksu Askeri Kampı sınırları içinde bulunmaktadır. Ilıksu-1 kaynağının kuyu başı sıcaklığı 27-45°C arasında değişmektedir.

ŞEKİL 6.4: a) Gülbahçe jeotermal sahası ve tarihi Roma Hamamı b) Ilıksu jeotermal sahasında jeotermal kaynağın bulunduğu hamam c) Malgaca İçmeleri.

6.1.1.3. Stratigrafi

Yarımada ve yakın çevresinde Prekambriyen'den (542 milyon) günümüze kadar oluşmuş çeşitli yaş ve türdeki kaya toplulukları bulunmaktadır. Çalışma alanının stratigrafisini Karaburun Platformu'na ait birimler, bunları açısal uyumsuzlukla üzerleyen Neojen volkanosedimanter birimleri ile Kuvaterner çökelleri oluşturur [48, 51].

Karaburun Platformu'nun en yaşlı birimini oluşturan türbiditik özellikteki Dikendağı Formasyonu (Siluriyen-Karbonifer) ile kırıntılı ve karbonat kayalardan oluşan Alandere Formasyonu (Başkiriyen-Vizeyen), inceleme alanındaki en yaşlı temel birimleridir. Paleozoyik temeli açılı uyumsuzlukla üzerleyen Mesozoyik yaşlı birimleri sırasıyla tabanındaki Gerence

Formasyonu, karbonatlı derin deniz çökellerinden oluşan Camiboğazı ve Güvercinlik Formasyonları ile Jura karbonatlarından oluşan Nohutalan Formasyonu temsil edilir [51, 90, 91]. Jeotermal sahaların çevresindeki temeli baskın olarak bu birimlere ait kireçtaşları, resifal kireçtaşları ve dolomitler oluşturmaktadır. Filiş yerleşimi ile Erken Miyosen arasındaki dönemde birimler çalışma sahasında gözlenmemektedir.

Erken-Orta Miyosen yaşlı volkanik ve sedimanter birimler Urla Havzası olarak adlandırılan çöküntü bölgesinde temel birimlerin üzerinde yer almaktadır. Erken Miyosen kalkalkalen volkanizma ürünü Kocadağ Volkanitleri [92, 93, 94] Gülbahçe jeotermal sahasının batısında andezit birimleri ile yaygın olarak görülmektedir. Daha batıda ise Uzunkuyu sokulum birimleri olarak adlandırılan, temeldeki Güvercinlik ve Nohutalan Formasyonları içine 15,4-16,7 milyon yıl önce yerleşen kuvars monzodiyorit kütleleri mevcuttur [92]. Ilıksu jeotermal sahasının güneyinde ise Miyosen volkanosedimanter birimlerini görmek mümkündür. Volkanosedimanter istif baskın olarak Orta Miyosen yaşlı ve geçişli bir ilişkiye sahip Urla kireçtaşı ile Menteş (Urla) Volkanitleri'nden [61] oluşmaktadır.

Miyosen birimleri üzerine açısal uyumsuzluk ile Pleyistosen yaşlı Gülbahçe Çakıltaşı (Ballıkaya Konglomerası; [70, 94, 95]) yerleşmiştir. Bu birimler genel olarak Gülbahçe jeotermal sahası çevresi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüs Alanı içerisinde yayılım göstermektedir. Birim temel kaya blokları ve Kocadağ Volkanit'lerinden türemiş çakıl ve bloklardan oluşmaktadır (Şekil 6.5).

ŞEKİL 6.5: Urla jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Urla Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Jura-Triyas Karstik Kireçtaşları

Örtü Birimler
Neojen Volkanosedimanter Birimleri

Yapısal Kontrol
Gülbahçe Fay Zonu
Demircili-Kuşçular Fay Zonu

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan
Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **36°C***
*Kuyular : **36°C***

Debi Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **15 lt/s***
*Kuyular : **25 lt/s***

6.1.1.4. Hidrojeoloji

Çalışma alanının hidrojeolojik özellikleri stratigrafik birimler esas alınarak belirlenmiştir. Temel birimlerde yer alan Paleozoyik yaşlı birimler yeraltısuyu eldesi açısından verimsiz olup, lokal olarak kumtaşı, marn ve kireçtaşı seviyelerinden debisi çok düşük pınarlar ve keson kuyular ile sınırlı oranda yeraltısuyu sağlanmaktadır. Ayrıca hidrojeokimyasal verilerce desteklendiği üzere temel birimlerde daha derin dolaşımlı akışkanlar bulunmaktadır ve yükselen sıcak-akışkanlar yarı/geçirgen olmayan Miyosen birimleri tarafından örtülür ve sınırlandırılır. Karaburun Platformu'na ait Nohutalan ve Güvercinlik Formasyonlarının kireçtaşları birincil gözenekliliğe sahip olmamakla birlikte, ikincil geçirgenliği kontrol eden ana faktörler olan karstik özellikler, çatlaklar ve faylara sahiptir. Genellikle 10-45 cm arasında boşluk ve bazı değişken açıklıklar ile ikincil bir geçirgenliğe yol açar, böylece yüzey suyu bu birimlerden kolayca sızabilir [96]. Yarımada'da yüzeylenen kireçtaşlarının boyutu ve yayılımı düşünüldüğünde, süreksizlikler hidrotermal akışkanların yeniden yüzeye çıkışını kontrol edebilir ve kireçtaşları jeotermal sistem için bir rezervuar haline gelebilir. Ayrıca Urla çevresinde görülebilen 50 lt/s daha fazla debili Malgaca-İçmeler Kaynağı gibi birçok karstik kaynak bulunmaktadır.

Urla çevresinde yayılım gösteren Kocadağ Volkanitleri'nin birincil gözenekliliği ve geçirgenliği, aglomeraların matris litrifikasyonu, volkanik breşler ve andezit litolojisi nedeniyle düşüktür, ancak ikincil geçirgenlik su sirkülasyonu için önemli bir faktördür. Bu volkanikler, iyi gelişmiş bağlantılı kırık ağlarına, faylara ve dikey soğutma eklem setlerine sahiptir. Çok sayıda düşük seviyelerde (1–3 lt/s) debi ile 100–120 m'ye kadar derinlikte su alınabilen sondaj vardır.

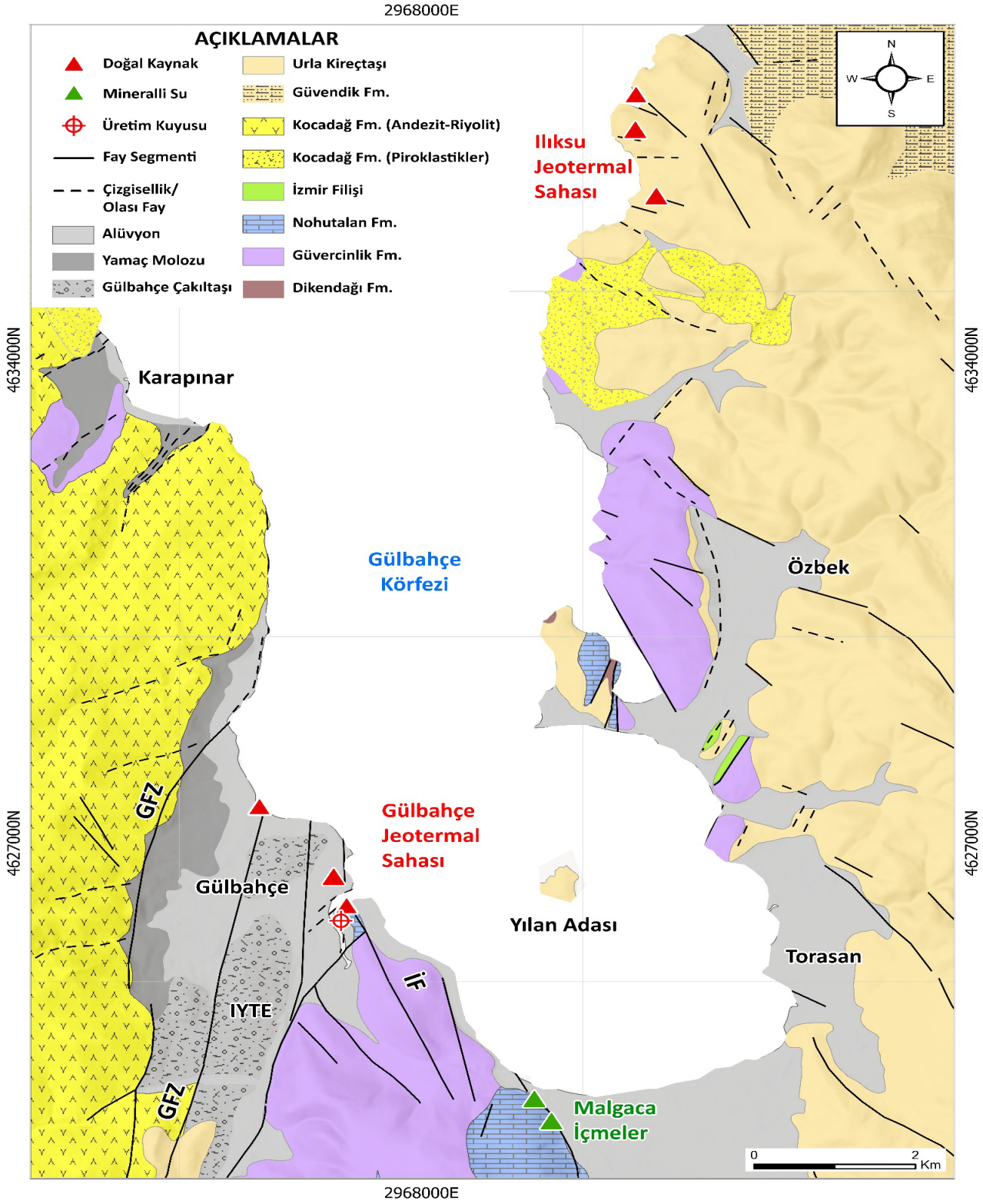
Sonuç olarak, Urla'da yer alan jeotermal sahalarda ana rezervuar temel birimlerdeki karstik kayalar iken örtü birimler Miyosen sonrası volkanosedimanter birimlerdir. Bölgede etkin/genç bir volkanizma olmadığı için ısı kaynağı jeotermal gradyana bağlıdır. Özellikle fayların olduğu kısımlarda jeotermal akışkan derinlere daha rahat ulaşıp ısınarak yüzeyde doğal çıkışlar oluşturmuştur.

6.1.1.5. Yapısal Jeoloji

Gülbahçe bölgesindeki Gülbahçe Fay Zonu (GFZ)'na ait yapısal kontroller yaklaşık K-G uzanımlıdır. Gülbahçe ve çevresinde yapılan kinematik çalışmalarda [70, 96] faylar ve eklemlerin genel olarak K-G, KD-GB ve KB-GD gidişli olduğu belirlenmiştir ve jeotermal sistemin evriminin bir transtansiyonel tektonik rejimden etkilendiğini göstermektedir. Yaklaşık 6 km uzunluğundaki bir fay zonu üzerinde tektonik yapılar ve deformasyon değişkenlik göstermelidir, ancak Gülbahçe alt havzasında, aşırı gerilim rejimi etkisini lokal bir açılma havzası yapısı olarak gösterir. Alanın yapısal haritası, baskın olarak K-G yönlü GFZ'na ait fay kesişme alanlarına sahip bir model göstermektedir. Normal bileşene ait doğrultu atımlı faylar boyunca aktif genişleme, jeotermal akışkanlar için akış yollarını korur ve kesişen faylar ile jeotermal açısından uygun zonlar oluşur. Örneğin KD-GB yönlü Söğütköy Fayı ve KB-GD yönlü İçmeler Fayı (İF) GFZ ile uyumlu trendi ile jeotermal sistemde önemli rol oynamaktadır (Şekil 6.6). Yağış, yüzey akışı ve deniz suyundan gelen sular, bu yoğun çatlaklı sistemlerden sızar ve hidrotermal sistemi besler ve bu durum Yarımada'da ve özellikle jeotermal sahaların olduğu alanlarda oldukça yaygındır.

Bununla birlikte, jeotermal akışkanlar, ikincil geçirgenlik ve gözeneklilikten sorumlu olan GFZ fay segmentleri boyunca hareket etmektedir. Kesişen faylardan etkilenen alanda Gülbahçe jeotermal sistemi oluşmaktadır ve jeotermal akışkanların yükselmesi ve birikmesi için çok uygun bir bölgedir. Daha büyük ölçekli bir model düşünüldüğünde, tektonik olarak olası bir negatif çiçek yapısı Gülbahçe Körfezi'ni oluşturmaktadır [70]. Bu negatif çiçek yapısı, Gülbahçe Körfezi'nin morfolojisi ve bilinen ana fay segmentlerinin gidişatı ile uyumludur. Ilıksu kaynağının bulunduğu alan ise Urla Havzası'ndan ve Gülbahçe Körfezi boyunca kuzeye uzanan fayların devamında bulunmaktadır. Fayların Miyosen volkano-sedimanter birimler içerisinde kırık ve çatlak sistemleri oluşturması ile jeotermal akışkanın yüzeylenmesini sağladığı düşünülmektedir.

ŞEKİL 6.6: Gülbahçe-İçmeler-Ilıksu jeotermal sahasının jeoloji haritası (İF: İçmeler Fayı, GFZ: Gülbahçe Fay Zonu).



Kaynak: [70] ve [97], 2017'den yararlanılmıştır.

6.1.1.6. Kaynak Potansiyeli

Urla Jeotermal Sahası'nın rezervuar modeli mevcut olmadığından, sahanın ısıl potansiyeli mevcut doğal kaynak ve üretim kuyuları dikkate alınarak hesaplanmış ve Tablo 6.1'de verilmiştir. Sahada sıcaklığı 20,6-45°C arasında değişen toplam 73 lt/s debiye sahip kaynakların ısıl kapasitesi 75-3.645 kWt arasında değişmektedir. Sahada sadece iki kuyu açıldığı için yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemekle birlikte jeotermometrelerin sahada 53-136°C arasında bir rezervuar sıcaklığı vermesi, karstik yapıya sahip sahada yüksek debi beklentisi ile birleştiğinde sahanın potansiyelinin mevcut potansiyelin çok üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Mevcut kuyuların sığ olduğu (~300 m) göz önünde bulundurularak, sahanın geliştirilmesi kapsamında açılacak derin kuyularla bu potansiyelin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

TABLO 6.1: Urla'da bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	$T_ç$ (20°C)
Gülbahçe Hamamı	Doğal Kaynak	Termal turizm	15	35	-	313,5	627,0	940,5
Gülbahçe Sahil	Doğal Kaynak	Kullanımda değil	8	36	33,4	200,6	367,8	535,0
Ilıksu Kaynağı	Doğal Kaynak	Kullanımda değil	15	20.6	-	-	-	37,6
Ilıksu-1	Üretim Kuyusu	Termal turizm	10	36	41,8	250,8	459,8	668,8
IYTE-1	Üretim Kuyusu	Kullanımda değil	25	34	-	418,0	940,5	1.463,0
TOPLAM			73,0		75,2	1.182,9	2.395,1	3.644,9

6.1.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Tarihi Gülbahçe Roma Hamamı yöre halkı tarafından tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Hamam suyu sıcaklığı 35°C'dir. Yıkılmak üzere olan bu tarihi hamam İYTE tarafından başlatılan restorasyon çalışmaları kapsamında İzmir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığınca fonlanarak tamamlanmıştır. Malgaca İçmelerdeki tesis eskiden işletilmekteyken şu an harabe durumdadır. Ilıksu Kaynakları, Ilıksu Askeri Kampı içinde termal havuz olarak kullanılmaktadır.

Gülbahçe, jeotermal sistem açısından birçok veriyle desteklenerek iyi tanımlanan bir sistemdir. Yeni yatırımlar ve ön fizibilite çalışmaları ile kaynak ve sahanın potansiyeli artacak, bölgeye verimli, ekonomik ve sürdürülebilir bir kaynak kazandırılacaktır.

Roma Hamamı'nın mevcut yüzey sıcaklığı 30-35°C aralığında değişmekte iken, mevcut İYTE-1 üretim kuyusunun kuyu başı sıcaklığı yaklaşık 34°C'dir ve şu anda kullanılmamaktadır. Jeotermometre

hesaplamalarına göre elde edilen değerler (potansiyel rezervuar sıcaklığı 136°C civarındadır), sera ısıtma, tropik balık yetiştiriciliği, ısıtma-soğutma, endüstriyel kurutma vb. doğrudan kullanım uygulamaları için oldukça uygundur.

Sahada Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın desteği ile yatırım planları yapılmakta ve bu kapsamda Bakanlık tarafından İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Yerleşkesi'nin jeotermal enerji sistemleri ile ısıtılması ve sera uygulaması amacıyla fizibilite çalışması gerçekleştirilmektedir. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü mevcut kapalı alanı, 32 binada yaklaşık 163.107,00 m²'dir. Üniversitenin ısıtma enerjisi ihtiyacının 6.344.209.872,00 kcal (7.371,972 kWh) olduğu belirlenmiştir. Devam eden fizibilite çalışması kapsamında bu 32 binanın ısıtılması çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışma için, İYTE ısıtma sisteminde 2 adet jeotermal üretim kuyusu ve 1 adet re-enjeksiyon kuyusunun kullanılması planlanmaktadır. Yine İYTE sınırları içinde ikinci bir uygulama olarak ise jeotermal enerji destekli sera uygulaması planlanmıştır. Bu alanda 1.000 m²lik bir seranın kurulması planlanmıştır. Seranın ısı ihtiyacı 198 kWt olarak hesaplanmıştır.

Gülbahçe kaynağı ile Ilıksu kaynağı tektonik olarak aynı hat üzerindedir. Bu tektonik hat denizden geçmektedir ve bu hat boyunca denizin içinde çok sayıda jeotermal kaynak yüzeye çıkmaktadır. Deniz suyunun ılık olması balıkların üremesi için optimum ortamı yaratmaktadır. Dolayısı ile sıcak jeotermal kaynakların yüzeye çıktığı bu alanlar balık çiftlikleri için yavru üretim havuzları oluşturmak üzere değerlendirilebilir.

6.1.2. Çeşme Jeotermal Sahası

6.1.2.1. Genel Bilgiler

İzmir'e 86 km uzaklıkta olan Çeşme'nin yüzölçümü 285 km²dir. İlçenin doğusunda Urla bulunmakta iken yarımada Ege Denizi ile çevrilidir. Denizden yüksekliği 10 metredir. Nüfusu güncel TÜİK verilerine göre 46.093 kişidir [88]. Yaklaşık 29 km'lik Çeşme kıyı şeridi boyunca 20'den fazla kumsal, 8 adet mavi bayraklı plaj vardır. Ilıca ve Şifne'de bulunan kaplıcalar ile Ilıca Plajı, Pırlanta, Altınkum, Alaçatı'daki rüzgâr sörfü tesisleri, deniz ürünleri, yel değirmenleri öne çıkan en önemli turizm alanlarındandır. Çeşme Limanı ve Çeşme Marina da turizm açısından bölgede oldukça önemli bir konuma sahiptir.

Çeşme Kalesi ve Çeşme Müzesi ile birlikte 12 İyon kentinden biri olan Eritrai antik kenti ilçede bulunmaktadır ve tarihsel açıdan neredeyse Efes kadar büyük bir öneme sahiptir. Çeşme, 402 adet taşınmaz kültür varlığı ve 89 adet sit alanı ile İzmir'in en çok sit alanına sahip ilçesidir. Benzer şekilde 6.000 yıl önce ilk kez Çeşme'de bulunan sakız ağaçları da bölge tarihi ve ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Sakız reçeli ve dondurması Çeşme ile özdeşleşmiştir.

İzmir ilinde spor turizmi açısından söz edilmesi gereken birinci yer şüphesiz rüzgâr sörfü için çok uygun olan Alaçatı'dır. Çeşme'ye on dakika uzaklıktaki Alaçatı son 15 yıldır dünyanın en iyi rüzgâr sörfü alanları arasında sayılmaktadır. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından hazırlanan "Ege Turizm Merkezleri Çeşme Projesi" mevcut termal turizm faaliyetlerinin de geliştirilmesini sağlayacaktır.

Şifne (Reisdere) kaplıca ve çamuru, tarihsel dokusu içinde gelenek ve göreneklerini korumayı başarmış, termal suları, şifalı çamur banyoları ve kıyısında bulunan balık lokantaları ile şirin bir yerleşim yeridir. Ilıca da beyaz kumlu plajı ve termal otelleri ile Çeşme'nin gözde yerlerinden biridir.

6.1.2.2. Jeotermal Kaynaklar

Çeşme ve çevresi zengin jeotermal kaynaklara sahiptir. Kaynaklardan ve sondajlardan elde edilen jeotermal akışkanlar, kaplıca ve bazı otellerde sağlık ve turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Mevcut durumda 4 adet doğal kaynak, 9 adet jeotermal kuyu (1 adet kuyu re-enjeksiyon amacıyla kullanılmaktadır) bulunmaktadır. Bir kısmı deniz içinde bulunan Topan ve Hamidiye kaynakları Şifne bölgesinde yer almaktadır.

Çeşme'de ilk olarak MTA tarafından jeotermal sistemin potansiyelinin ortaya çıkarılması ve konut ısıtma amaçlı sıcak akışkan elde etmek amacıyla 1975 yılında I-1 kuyusu açılmıştır. Çeşme Jeotermal Geliştirme Projesinin kavramsal gelişimi 90'lı yılların başında başlamıştır. Yine MTA 1995 yılında FY-1 derin jeotermal sondajını tamamlamıştır. Ancak en ciddi çalışmalar

İzmir Valiliği'nin 2001 yılı başında, Çeşme Otelciler Birliği ve otellerin temsilcileri ile yaptığı toplantılarla otellere jeotermal akışkan ile jeotermal akışkan sağlaması projesine hız kazandırmak istenmesiyle hayata geçirilmiştir. "Çeşme Jeotermal 2001 Projesi" adındaki proje kapsamında 2001-2002 yılında MTA tarafından "Çeşme Yarımadası Jeotermal Alanı Jeolojik ve Jeofizik Etüt Raporu" ile 2003 yılında Balçova Jeotermal En. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından "Çeşme Jeotermal 2001 Projesi 1. ve 2. Etap Hesap Raporu ve Tasarım Değerleri" raporu hazırlanmıştır. Sonraki süreçte Çeşme'de Ilıca bölgesinde bulunan termal su kaynakları ile Şifne bölgesindeki termal çamur kaynağının kullanım hakkı Çeşme Belediyesi'ne, yeni sondajlarla çıkarılacak termal suyunun kullanım hakkı ise Kültür ve Turizm Bakanlığı'na verilmiştir [98].

Daha sonraki yıllarda da bölgede KD-1, I-2, ÇD-1, I-3 ve I-4 sondajları açılmıştır. Bu sondajlardan I-2 ve I-3 aktif olarak kullanılmaktadır. Açılan sondajlar 250-400 m arasında derinliklere sahiptirler. Sondajlardan elde edilen 58°C sıcaklıktaki termal sular yöredeki bazı otellerde termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Çeşme'de 44 km uzunluğunda boru hattı ile birçok otele jeotermal akışkan taşınmaktadır. Alaçatı yöresine 5 km ve Çiftlik bölgesine 8 km'lik sıcak su dağıtım hattı yapılarak bu bölgelerdeki otellere de termal su taşınması planlanmaktadır. Yöredeki jeotermal akışkanlar, kaynak ve üretim kuyularından (Şekil 6.7) elde edilmekte olup yüzey sıcaklıkları 58°C ye ulaşmaktadır (Şekil 6.8). Çeşme Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. (Çeştaş)'nin çalışmalarına göre tahmini rezervuar sıcaklıkları 65-100°C aralığındadır.

ŞEKİL 6.7: Çeştaş'a ait a) Termal turizm amaçlı kullanılan Ilıca mevkiindeki aktif jeotermal kuyusu b) Termal turizm amaçlı kullanılan Karadağ mevkiindeki aktif jeotermal kuyusu.

Kaynak: Çeşme Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. (Çeştaş)

İlçedeki termal suların Na-Cl iyonlarınca zengin olması yani deniz kökenli olması, pH değerinin nötre yakın olması, içeriğinde yeterli konsantrasyonlarda mineral bulunması birçok hastalığı tedavi edici niteliği taşımasını sağlamaktadır. Ayrıca yörede bulunan termal çamurlarla ilgili kimyasal analizlerde, bunların cildin beslenmesi ve temizlenmesinde etkili olan kükürt ve organik maddeleri bol miktarda bulundurmaları nedeniyle deri hastalıkları tedavisinde de etkili olduğu tespit edilmiştir [98].

6.1.2.3. Stratigrafi

Urla ve Karaburun Yarımadalarında olduğu gibi Çeşme civarında da jeolojik istif neredeyse bu bölgeler ile aynıdır. Çeşme Yarımadası'ndaki karasal Tersiyer tortullaşması ve volkanizması, Neojen kaya birimleri tarafından şekillendirilmiştir. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel kayaları arasındaki dokanaklar açılı uyumsuz ya da tektonik kontrolüdür [99]. Miyosen ve sonrası birimleri çalışma alanında karasal Neojen istifi, gölsel Şifne Formasyonu (Erken Miyosen) ve alüvyal-gölsel çökellerden oluşan Ildır Formasyonu (Orta Miyosen) ile temsil edilir.

Göktaş [100] tarafından ilk kez tanımlanan Şifne Formasyonu baskın olarak algal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yer yer killi ve marnlı seviyeler de içeren gölsel kireçtaşları jeolojik evrimde Erken Miyosen karasal ortama geçiş birimi olarak kabul edilir. Bu birimin üzerine Alaçatı Tüfü olarak da bilinen Erken-Orta Miyosen yaşlı volkanik birimler yerleşmiştir. Çeşme Yarımadası çevresindeki volkanik birimler Armağandağı Volkanitleri adıyla anılır [92]. Şifne Formasyonu üzerinde felsik piroklastiklerle başlayan ve andezitik volkanitler ile devam eden Armağandağı Volkanik Kompleksi'nin hacimsel açıdan en büyük bölümünü volkanoklastik çökeller oluşturur [99]. Orta Miyosen tortullaşmasını yansıtan Ildır Formasyonu [100], çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı topluluğundan oluşur ve Armağandağı Volkanitleri'nin yanal uzantılarını kapsar [99]. Çeşme sahası çevresindeki çökelim havzalarında ve yamaç çevrelerinde bahsedilen bütün birimler Holosen çökelleri tarafından uyumsuzluk ile örtülmüştür (Şekil 6.9).

ŞEKİL 6.8: Çeşme jeotermal sahasına ait jeotermal sistemin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Çeşme Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Jura-Triyas Karstik Kireçtaşları

Örtü Birimler
Neojen Volkanosedimanter Birimleri

Yapısal Kontrol
Ilıca Fayı

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan / Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **57°C***
*Kuyular : **58°C***

Debi Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **12 lt/s***
*Kuyular : **85 lt/s***

6.1.2.4. Hidrojeoloji

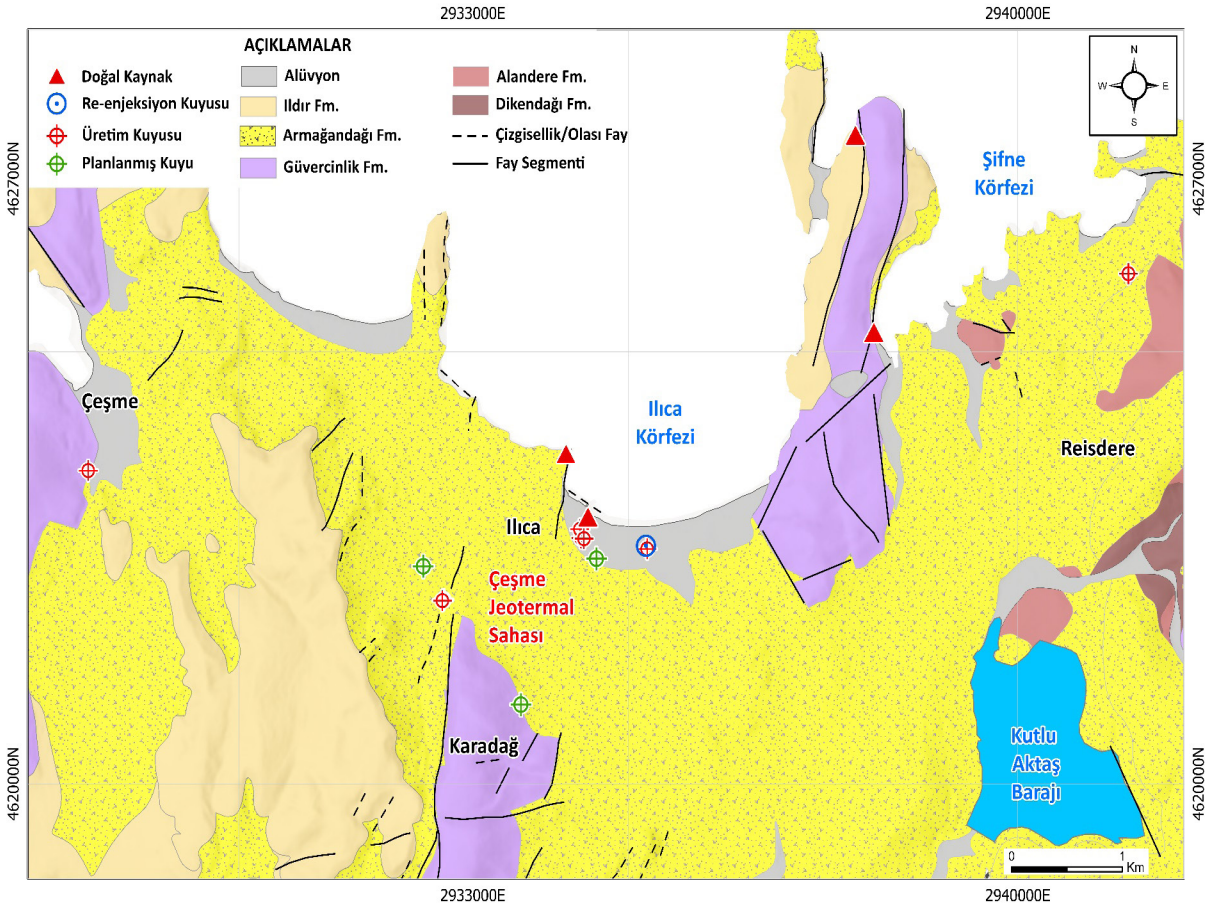
Bölgenin jeolojik özellikleri ile ilgili çok sayıda araştırma olmasına rağmen hidrojeolojisiyle ilgili çalışmalar son derece azdır [101]. Yapılan gözlemlere göre, Çeşme sahası çevresinde çok fazla yüzlek vermeyen temel birimlerin derin kotlarda kırık-çatlak kontrollü, karstik rezervuarlar oluşturması olasıdır. Karstlaşmaya bağlı olarak gelişen erime boşluklarının oluşturduğu ikincil gözeneklilik bu kayaçların rezervuar özelliği kazanmasında en büyük etkenlerdendir. Ayrıca, süreksizlikler karstlaşma ve denize uzanan faylar temeldeki kireçtaşları içerisine deniz suyu girişimini kolaylaştırmaktadır. Bölgede temel birimlerde yer alan kuyularda yeraltı suları genelde tuzlu sulardır. Çeşme ilçesindeki bütün köylerin içme suları neredeyse tamamen yeraltısuyu kaynaklarından ve dönem dönem kuruyan Alaçatı Barajı'ndan sağlanmaktadır. Bu alanda suların debileri oldukça düşüktür. Kıyıya yakın kesimlerde açılmış olan sondajlarda da tuzlanmalar gözlenmiştir. Genel olarak daha sığ açılmış kuyularda aşırı su çekimi nedeniyle de tuzlu su girişimi görülmektedir. Tuzlanma özellikle içme suyunu sağlayan Ildır bölgesinde gözükmektedir.

Miyosen yaşlı volkano-tortul istifi volkanik ve gölsel birimlerden oluşur. Birim kiltaşı, kumtaşı, kalker, tüf, marn gibi litolojik ardalanmalara bağlı olarak değişken geçirgenlik özelliklerine sahiptir. Miyosen tabakaları, çok sayıda tabaka, marn mercekleri ve düşük hidrolik iletkenliğe sahip volkanik tüfler içerir ve istifin üst ve alt kısımları arasında yerel sınırlayıcı birimler olarak hareket ederler. İnceleme alanında bulunan volkanik birimler, litolojik özellikleri ve yapısal çerçeveleri nedeniyle benzer hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Daha genç volkanik birimler olan Armağandağı Volkanitleri'nin lav ve tüf tabakaları geçirimsizdir ve hidrojeolojik sınırlı birimler olarak kabul edilir [101, 102].

Gölsel kireçtaşları Neojen birimleri içerisinde yersel rezervuar özelliği gösterebilir ve çok düşük debili (<1 lt/s) kaynaklar mevcuttur. Özellikle Çeşme yöresindeki kaynaklar geçirgen olmayan killi seviyelerle kireçtaşı, marn, çakıltaşı gibi kısmen geçirgen kayaçların dokanaklarında meydana gelen dokanak kaynaklarıdır [103]. Ancak eş yaşlı tüf, aglomera ve andezit birimlerinin geçirimsiz ve su seviyesi barındıramayacak oluşu hidrojeolojik açıdan sorun teşkil etmektedir. Geçirimsiz karakterdeki kiltaşı-marn ardalanmaları ve tüfler yeraltısuyu bakımından oldukça fakirdir. Ancak bölgede yer alan fay sistemleri ile bu birimlerde özellikle kaynakların olduğu Ilıca ve Boyalık bölgesinde ikincil geçirimlilik sağlanmış ve jeotermal kaynaklar yüzeye ulaşabilmiştir [104]. Taneli birimleri oluşturan alüvyonlar ise genel olarak dere yataklarında ve fay sistemleri ile kontrol edilen düzlüklerde gözlenmektedir. Bölgede açılan kuyuların büyük çoğunluğu taneli birimlerde bulunmaktadır. Bu nedenle bu birimler Yarımada'da yeraltısuyu sağlanan en önemli birimler olarak karşımıza çıkmaktadır [105, 106].

Sonuç olarak Çeşme jeotermal sahası temelde jeolojik olarak Karaburun Platformu olarak değerlendirilen kayalardan oluşmaktadır. Urla'da yer alan jeotermal sahalarda olduğu gibi Triyas-Jura yaş aralığındaki kireçtaşı, marn ve dolomitler çalışma alanındaki en yaşlı birimleri oluşturmaktadır. Mesozoyik (Triyas) yaşlı Güvercinlik Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ve Senozoik (Neojen) yaşlı kayaçların oluşturduğu rezervuar sistemleridir. Armağandağı Formasyonu'na ait volkano-sedimanter birimler ve üzerinde yer alan daha genç havza çökelleri jeotermal sistemde örtü kaya görevi görmektedir (Şekil 6.9).

ŞEKİL 6.9: Çeşme jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Çakmakoğlu ve Bilgin, [51]'den yararlanılmıştır.

6.1.2.5. Yapısal Jeoloji

Çeşme jeotermal sistemi deniz suyunun kırık, çatlak ve karstik boşluklar boyunca yeraltına süzülerek burada jeotermal gradyan, volkanizma ve özellikle K-G doğrultulu fay segmentleri boyunca yüzeye çıkması ile oluşmuştur [104].

Jeotermal saha çevresinde temel birimlerde deformasyon çok aşırı seviyelere ulaşmamıştır. Neojen volkanosedimanter birimleri de faylandığı kısımlarda lokal kıvrımlar oluşturmuştur. Çeşme jeotermal sahasındaki en önemli yapısal kontroller K-G uzanımlı fay segmentleridir. Fayların çevresinde lokal çöküntü bölgeleri oluşmuştur ve bu faylar Ilıca-Şifne ve Alaçatı Körfezi arasında uzanarak Çeşme Yarımadası'nı farklı tektonik bloklara ayırır. Alaçatı civarında K-G yönünde uzanan Ilıca Plajı'nın güneyindeki Karadağ yükselimini sınırlayan normal karakterde faylar bulunmaktadır. Bu faylar temel birimler ile Neojen birimlerini birbirinden ayırmaktadır. Jeotermal sahanın, bugünkü morfolojisinin önemli bir bölümünü Miyosen döneminde gelişen ana tektonik hatlar ile bunlara bağlı hareketliliklerle kazanmıştır [107].

Güvercinlik Formasyonu'na ait kireçtaşı yükseltilerinin yamaçlarında yaklaşık K-G yönünde uzanan normal faylar, Neojen volkano-sedimanter birimleri ile dokunak oluşturur. Ilıca ve çevresinde Kuvaterner ve Neojen birimlerinin Karadağ boyunca uzanan fayları örttüğü tahmin edilmektedir. Ilıca sahilinde mevcut olan K-G doğrultulu fay, gömülü fayların devamında yer almaktadır. Ilıca Fayı olarak da adlandırılan bu fay deniz suyunu daha derin rezervuar seviyelerine kadar ileterek jeotermal sistemde akışkan beslenmesini sağlayan en önemli fay segmenti olarak kabul edilebilir.

6.1.2.6. Kaynak Potansiyeli

Çeşme'de mevcut durumda 4 adet doğal kaynak, 8 adet üretim kuyusu ve 1 adet re-enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Çeştaş 3 adet yeni kuyu açmayı planlamaktadır. Ayrıca mevcut üretim kuyularından 3 tanesi yedek durumda bekletilmektedir (Tablo 6.2). Doğal kaynak ve tüm kuyuların toplam kapasitesi 26-48 MWt arasındadır. Kullanımda olan I-2, Sheraton 1, ICR-1 ve I-3 kuyularının kapasitesi ise 10-18 MWt olup yedek kuyular ise 14-27 MWt ısıl potansiyele sahiptir. Bu potansiyel termal otellerin ısıtılması, termal havuzlar, talassoterapi ve çeşitli kür uygulamaları için otellerin spa merkezlerinde kullanılmaktadır.

Ayrıca, yeni açılacak kuyular ile Alaçatı'daki otellere sıcak su verilmesi planlanmaktadır. MTA'nın "Çeşme Yarımadası Jeotermal Alanı Jeolojik ve Jeofizik Etüt Raporu"na göre sahada beklenen rezervuar sıcaklıkları 65-100°C arasındadır. Baba ve Uzelli [108] tarafından alanda yapılan çalışmalara göre alanın akışkan sıcaklığının 125°C'ye ulaşabileceği belirtilmiştir. Sahadaki kuyu derinliklerinin genel olarak 190-475 m aralığında (1 adet kuyu 850 m derinliğinde ancak jeotermal sistemden uzak Reisdere mevkiinde açılmıştır) olduğu göz önünde bulundurularak derin kuyular ile bu sıcaklıklara ulaşılabileceği düşünülmektedir. 100°C ve civarında sıcaklık ve yeterli debi elde edilirse bölgesel ısıtma ve soğutma sistemi kurulabilir. Pandemi döneminde Çeşme'de yerleşik yaşayan sayısının artmış olması ısıtma ihtiyacını artırmıştır.

TABLO 6.2: Çeşme jeotermal sahasında bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)				
					$T_ç$ (40°C)	$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	$T_ç$ (20°C)
Topan Ilıcası	Doğal Kaynak	Bilinmiyor	10	57	919,6	1.128,6	1.337,6	1.546,6	10
Şifne Ilıca	Doğal Kaynak	Termal Turizm	12	47	601,9	852,7	1.103,5	1.354,3	12
I-2	Üretim Kuyusu	Termal Turizm ve Ön Isıtma	51	57	4.690,0	5.755,9	6.821,8	7.887,7	51
I-4	Üretim Kuyusu	Termal Turizm (Yedek kuyu)	85	57	7.816,6	9.593,1	11.369,6	13.146,1	85
Sheraton-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm	7	44,4	275,0	421,3	567,6	713,9	7
ICR-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm	25	37,5	261,3	783,8	1.306,3	1.828,8	25
I-3	Üretim Kuyusu	Termal Turizm ve Ön Isıtma	50	57	4.598,0	5.643,0	6.688,0	7.733,0	50
FY-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm (Yedek Kuyu)	30	57	2.758,8	3.385,8	4.012,8	4.639,8	30
I-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm (Yedek Kuyu)	42	56	3.686,8	4.564,6	5.442,4	6.320,2	42
KD-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm (Yedek Kuyu)	50	35	0,0	1.045,0	2.090,0	3.135,0	50
TOPLAM			362		25.607,9	33.173,7	40.739,5	48.305,3	362

6.1.2.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Çeşme ilçesi genelinde birçok farklı noktada termal kaynak bulunmaktadır. Türkiye için oldukça önemli ve öncelikli termal merkezlerden birisi olan Çeşme, Avrupa'daki benzer kaynaklara göre şifa verici üstünlüğe de sahiptir. Çeşme ilçesinin uygun iklim koşullarıyla 12 ay sağlık turizmine elverişli olması ve yeterli düzeyde konaklama tesisine ev sahipliği yapması, talassoterapiye uygun birçok plajın bulunması, yatırım aşamasında bulunan yatak kapasitesinin varlığı ilçenin termal turizm kapsamındaki avantajlarını göstermektedir.

Çeşme'de turizm en gelişmiş ve en öne çıkan sektör durumundadır. TCKB [98]' göre ilçede beş yıldızlı, turizm işletme belgeli, 777 oda, 1.688 yataklı 3 adet; turizm yatırım belgeli, 819 odalı ve 1.860 yataklı 3 adet tesis bulunmaktadır. Dört yıldızlı 3 adet otel bulunmaktadır. Bunların toplam oda sayısı 450, yatak sayısı 952'dir. Üç yıldızlı 7 adet otelin toplam oda sayısı 460, toplam yatak sayısı 968 adettir. İlçede iki yıldızlı 11, bir yıldızlı 1 adet otelin yanı sıra, 4 adet pansiyon, 2 adet özel ve 4 adet butik otel bulunmaktadır. Ayrıca ilçede toplam 896 odalı, 1.844 yataklı 3 adet tatil köyü de mevcuttur.

Çeşme jeotermal kaynakları projesi, genelde turizm sezonunda otellerin termal su gereksinimini karşılamak üzere geliştirilmiştir. Bunlardan ilki "I. Etap Termal Su Taşıma Hattı"dır. Bu hattın, toplam 3.660 m olan termal su ana taşıma hattı ve yaklaşık 3.000 m dönüş hattı tamamlanmış ve işletmeye alınmıştır. Yapılan çalışmayla toplam 16 adet otel ve ilerde yapılması muhtemel 13 potansiyel nokta ile toplam 29 tesis termal sudan faydalanabilmektedir. Çeştaş tarafından işletilmekte olan termal su hattının 1. etabından 13 adet turistik tesis yararlanmaktadır. İkinci etapta ise Çeşme merkez ve Dalyan bölgesinde 12 otel resmi olarak aboneliğini devam ettirmektedir. Dolayısıyla ilçede hizmet veren beş yıldızlı tesisler dışında termal su bağlanan tesislerin kışın açık oldukları dönemlerde Çeştaş diğer büyük oteller gibi ön ısıtma amaçlı hizmet alımı yapabilmektedir.

TABLO 6.3: Çeşme ilçesinde termal turizm verileri (S:Sezonluk tesisler; T:Yıl boyu hizmet veren tesisler).

Otel/ Pansiyon	Tesis Sayısı	Açık Olduğu Dönem		Spa & Wellness Ünitesi Mevcut Tesisler		Spa & Wellness Ünitesi Bulunmayan Tesisler		Toplam Yatak Kapasitesi	
		S	T	Tesis	Yatak	Tesis	Yatak	S	T
İki Yıldızlı	11	10	1	1	60	10	910	970	60
Üç Yıldızlı	5	4	1	2	390	3	759	1.149	70
Dört Yıldızlı	3	3	-	1	429	2	480	909	-
Beş Yıldızlı	5	1	4	5	2.616	-	-	2.616	414
Özel	1	1	-	1	152	-	-	152	
Pansiyon	4	4	-	-	136	-	-	136	-
Genel Toplam	29	26	3	10	3.783	15	2.149	5.932	544

Kaynak: Serdar Enerji [109].

Çeşme yakın gelecekte termal turizm bölgesi olarak gelişmesi planlanan bir bölge olduğundan tatlı su kaynaklarına ihtiyaç her gün artacaktır. Bu nedenle daha ucuz su için jeotermal enerji kullanılarak deniz suyu arıtılabilir. Jeotermal enerjinin kullanımı ile enerjiden tasarruf edilecek böylece maliyetler minimuma inecektir.

Kaplıca tesislerine jeotermal akışkan satışında devlet hakkı olarak cironun %1'i alınmaktadır. Bu oran büyük otellerin yanında küçük kaplıca işletmeleri için oldukça yüksek olmaktadır ve jeotermal akışkanın kullanımını engelleyecek bir durumdur.

Ayrıca ilçede jeotermal akışkanın kullanımı tek bir elde toplanmayıp STK'lar ve çeşitli kurumlar arasındaki görüş ayrılıkları nedeniyle 2001 projesinde planlandığı gibi gelişememiştir. Alanda yer alan Çeştaş'ın etkinliğinin arttırılması ve şirketin hem finansal hem de altyapısının geliştirilmesine ilişkin çalışmaların yapılması son derece önemlidir. Bölgede kısıtlı olan tarımsal faaliyetler ve arazi fiyatlarının yüksekliği sebebiyle jeotermal enerji ile sera yatırımlarının fizibıl olamayacağı düşünülmektedir.

Özellikle, pandemi döneminde Çeşme'de yerleşik nüfusun artmış olması ısıtma ve soğutma ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle jeotermalin hem termal ve sağlık turizminde kullanımı hem de ısıtma ve soğutma yapılması alan için önemlidir. Ayrıca Çeşme kıyılarında denizde çok sayıda jeotermal kaynak olduğu için bu kesimlerde denizin içinde turizm amaçlı akvaryumlar yapılabilir. Bununla birlikte denizsuyu arıtımının jeotermal enerji ile yapılması da son derece önemlidir.

6.1.3. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

6.1.3.1. Hidrojeokimyasal Özellikler

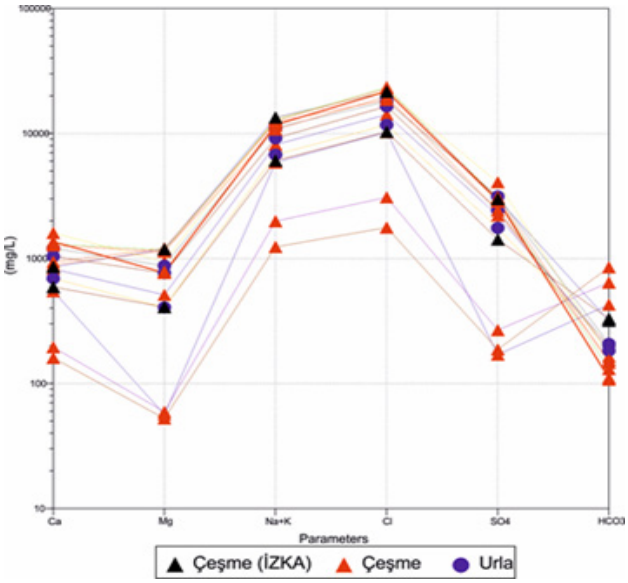
Türkiye'deki pek çok sahada karstlaşma ve kireçtaşlarının ana rezervuar olması sebebiyle jeotermal akışkanlar yüksek Ca ve HCO_3 içeriğine sahiptir. Ancak Yarımada'daki karstik termal kaynaklar deniz suyu kökenli olmalarından dolayı kimyasal özellikler yönünden diğerlerinden farklıdır. Yöredeki sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile detay çalışmalar yapılmıştır [110, 111].

Genel olarak, Yarımada jeotermal sisteminde jeotermal sahalardan elde edilen jeotermal akışkanlar Na-Cl su tipindedirler. Deniz girişiminden uzak, daha sığ sondajlarla Neojen yaşlı kayaçlardan alınan sularda ise soğuk yeraltısuyu karışımından dolayı farklı su tipleri gözlenmektedir. Bu sularda da genel olarak NaCl ve HCO_3 baskın iyonlar olup diğer bazı anyon ve katyonlarda %20'den fazla oranlarda bu iki iyonla birlikte olabilmektedirler. İnceleme alanındaki jeotermal akışkan ve mineralli suların deniz suyuna benzer değişimler verdiği gözlenmektedir. Akışkan örneklerinin Schoeller diyagramında iyonları birleştiren doğrunun gidişinin deniz suyu ile hemen hemen eşit görünümde oldukları gözlenmektedir. Birbirine benzerlik sunan birbirine yakın dağılım gösteren akışkanların kökenlerinin ve yeraltında izledikleri yolların birbirine benzer oldukları ve aynı rezervuardan geldikleri söylenebilir (Şekil 6.10). Ancak bazı akışkanlar diyagramın daha alt kesimlerinde yer almaktadır. Bu durum deniz suyu karışımının her su noktası için farklı olduğunu göstermektedir.

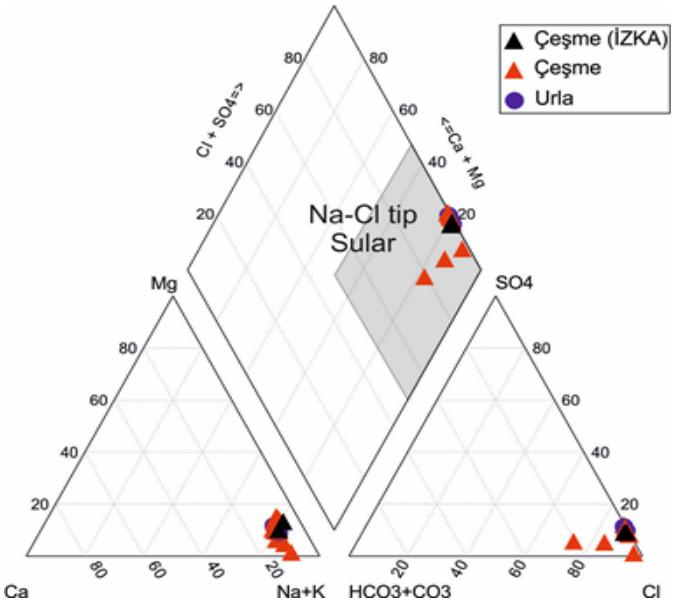
Alandaki akışkanlar aynı rezervuar sisteminden beslendiklerinden dolayı tümü benzer özellik sunar. Bu durum Piper diyagramında net olarak gözlenmektedir (Şekil 6.11). Tüm jeotermal akışkan noktaları Na^+ ve Cl^- iyonlarınca baskındır ve Na-Cl su tipini yansıtmaktadır. Bu durum termal suların kökeninin deniz suyu ile beslenmesinden kaynaklanmaktadır. Soğuk yeraltısuları ise farkı akiferlerden ve derinliklerden geldiklerinden ötürü hidrojeokimyasal özellikleri de değişkendir. İnceleme alanındaki jeotermal kaynaklarda deniz suyu karışım oranı yüksek olduğundan akışkanların elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri oldukça yüksektir ve Eİ değerleri 6.710-85.100 µS/cm arasında değişmektedir.

Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki jeotermal akışkanların büyük bir kısmının sodyum klorürlü (Na-Cl) su tipini yansıttıkları görülmektedir (Şekil 6.11). Piper sınıflamasında yöredeki sodyum klorürlü sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan deniz ve acı suların gözlendiği alana düşmektedir.

ŞEKİL 6.10: Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Schoeller diyagramı.

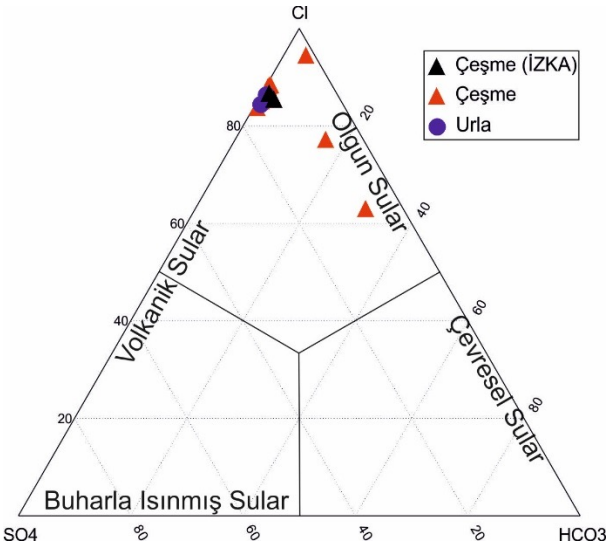


ŞEKİL 6.11: Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Piper diyagramı.



Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı (Şekil 6.12) anyon bazlı termal su sınıflandırması klorür, sülfat ve bikarbonat bakımından zengin sular olmak üzere üç tür suyun varlığını gösterir. Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramında yarımada jeotermal akışkan örnekleri klorür alanına karşılık gelir ve olgun su olarak kabul edilebilir.

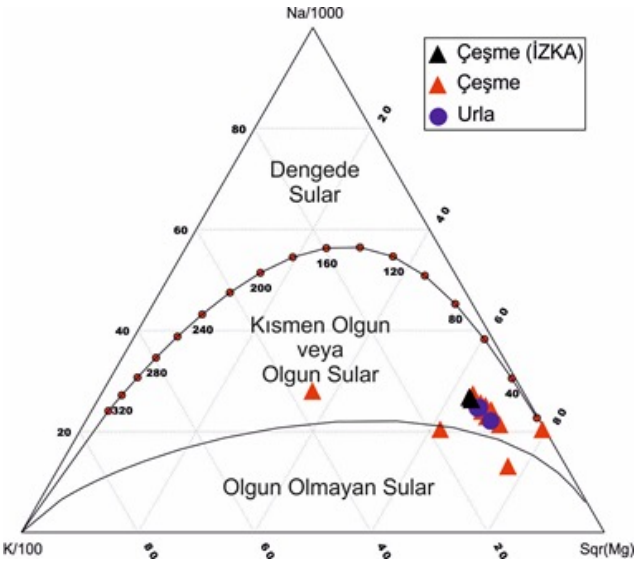
ŞEKİL 6.12: Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.



6.1.3.2. Jeotermometre Uygulamaları

Yarımadada bulunan jeotermal akışkan Na-K-Mg Giggenbach üçgen diyagramlarında değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre, Yarımadadaki jeotermal akışkan olgun sular bölgesine, sıcaklık izotermi olarak da 80-140°C arasına karşılık gelmektedir (Şekil 6.13).

ŞEKİL 6.13: Yarımada (Çeşme-Urla) jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.



Çeşme sahası için daha önce Çeştaş'ın yaptığı çalışmalar ve Alaçatı'da yapılan son jeotermal çalışmalara göre çeşitli jeotermometre teknikleri ve bunların uygulanabilirlikleri incelenerek sistemin rezervuar sıcaklığı 65-120°C olarak tahmin edilmektedir [108].

Urla sahası için kimyasal sonuçlar, Gülbahçe bölgesindeki jeotermal akışkan için rezervuar sıcaklığının 103 ile 136°C arasında değiştiğini göstermektedir [70].

6.1.3.3. Korozyon ve Kabuklaşma

Jeotermal sistemlerde kabuklaşma ve korozyon ciddi teknik problemler yaratabilmektedir. Yarımada'nın önemli jeotermal sahalarından olan Çeşme'den kabuk örnekleri alınmıştır. Kabuk, jeotermal sistemlerde istemsiz bir şekilde oluşan katı örneklerdir ve jeolojik olarak önemli bilgiler içermektedir. Bu proje kapsamında, elde edilen kabuk örneklerinin yapısal ve kimyasal tanımlaması yapılmıştır. Katı formda bulunan kabuk örneklerinin elemental kompozisyonu X-ışını flöresans (XRF), kristal yapısı X-ışını difraktometresi (XRD) ve morfolojisi ise Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile incelenmiştir. Örneklere ait analiz sonuçları aşağıda verilmektedir. Bu jeotermal sahada alınan kabuk örneklerinde, kabuk yapılarının heterojen olduğu ve birkaç kristal yapıdan oluştuğu görülmektedir.

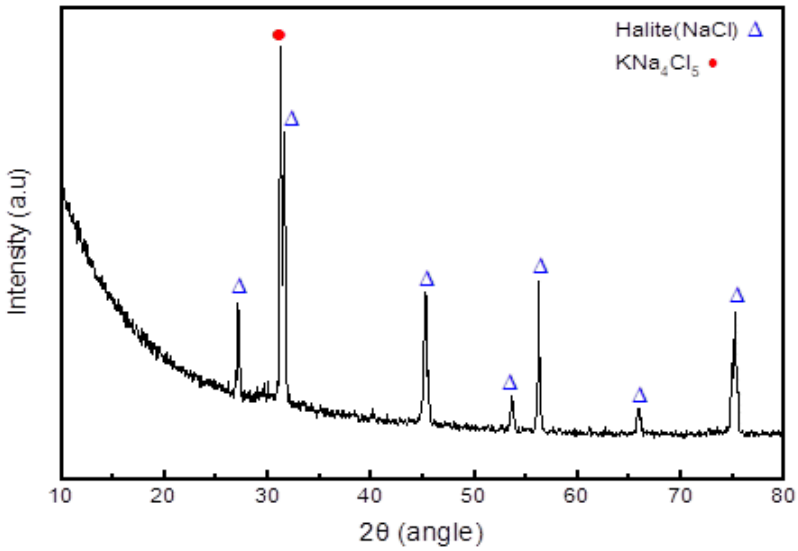
Beyaz Kabuk

Tablo 6.4, Çeşme'den alınan beyaz renkli kabuk örneğinin XRF sonuçları verilmiştir. Bu kabuk yapısında Na ve Cl toplamda kütlece %60'tan fazla yer tutmaktadır. Mg ve Al ise sırası ile %7.34 ve %2.43 civarındadır. Beyaz kabuk örneğinin X-ışını difraksiyonu ve eşlenen sinyalleri ise Şekil 6.14'te sunulmuştur.

TABLO 6.4: Beyaz kabuğun elemental içeriği (XRF analizi).

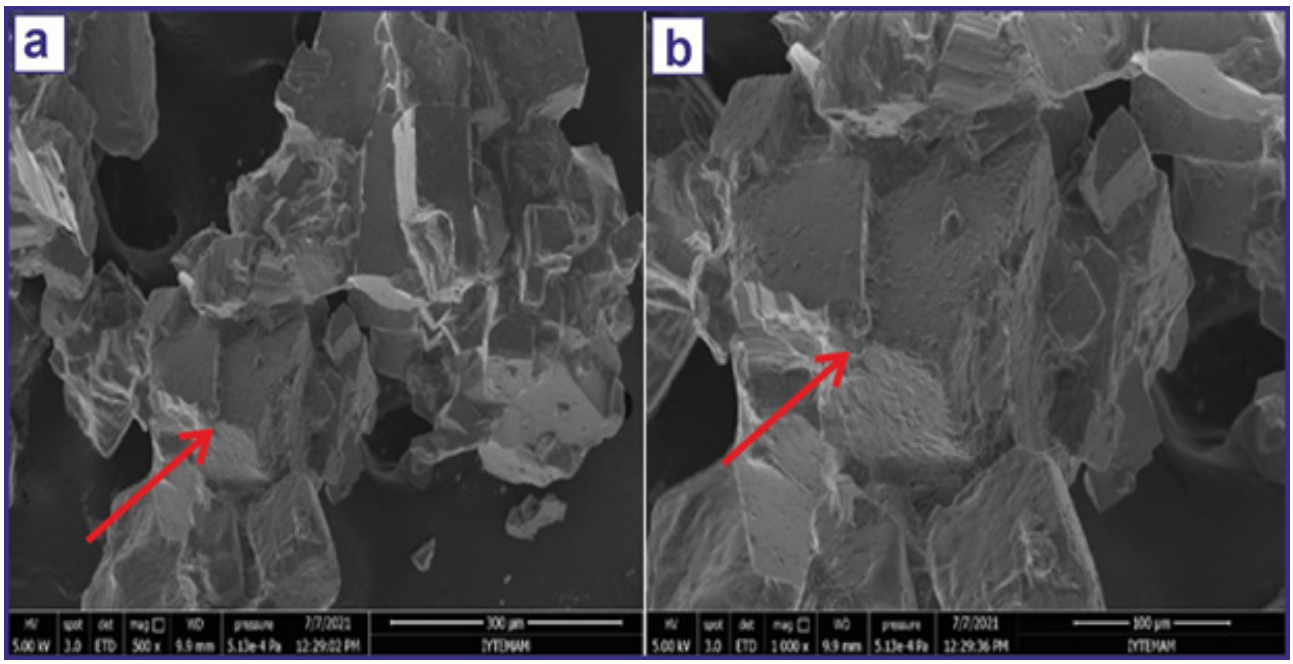
Element	Na	Cl	Mg	Al	K	Ca	Br	Cu	Fe	Te
Ağırlık (wt %)	44,46	21,64	7,34	2,43	0,61	0,52	0,054	0,056	0,0012	0,035

ŞEKİL 6.14: Çeşme'den alınan beyaz kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.



XRD sinyallerinin eşleştirme sonuçlarına göre, 7 adet sinyal noktasının Halite modeliyle (JCPDS: 96-900-6376), 1 adet sinyal noktasının ise KNa4Cl5 kristal formu (JCPDS: 96-900-3283) ile eşleştiği görülmüştür. Halite, sodyum klorürünün bir mineral formudur. JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kristal yapıya ait özel bir numaradır. Her kristal yapının kendine özgü bir numarası bulunmaktadır. Beyaz kabuğun SEM görüntüsü Şekil 6.15'te verilmiştir. Kabukların morfolojik olarak incelenmesi amacıyla farklı büyütmede SEM görüntüleri alınmıştır. Sodyum klorür (NaCl) kristallerinde görülmesi beklenen keskin köşeli yapı, beyaz kabuk örneğinin SEM görüntülerinde de görülmesi beklenen bir sonuçtur.

ŞEKİL 6.15: Beyaz kabuk SEM görüntüleri (a) 500 büyütme (b) 1000 büyütme.



Turuncu Kabuk

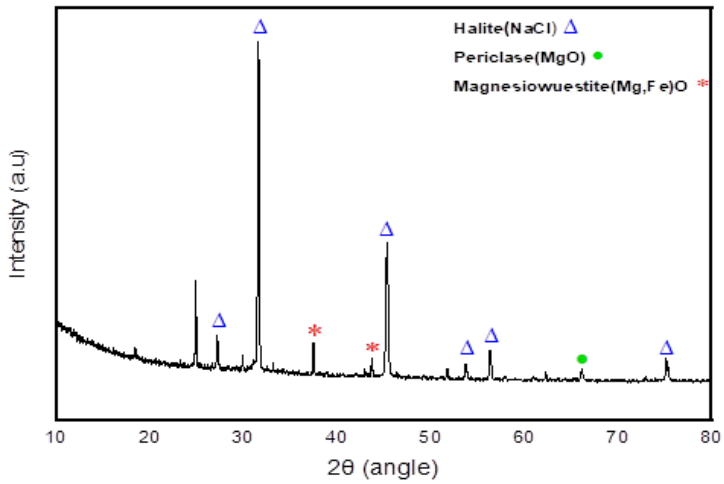
Çeşme'den alınan iki örnek farklı renklere sahiptir. Bir örnek beyaz iken, diğer örnek turuncu renklidir. Tablo 6.5 Çeşme'den alınan turuncu kabuk örneğinin elemental kompozisyonunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre turuncu kabuk baskın şekilde Sodyum (Na), Magnezyum (Mg) ve Klorür (Cl) elementlerini içermektedir. İlaveten, kütlece yaklaşık %1 civarında Potasyum (K), Alüminyum (Al) ve Kalsiyum (Ca) bulunmaktadır. Eser miktarda ise Bakır (Cu), Demir (Fe) ve Stronsiyum (Sr) bulunmaktadır. Turuncu ve beyaz kabuk benzer elemental içeriğe sahiptir. Aralarındaki renk farkının turuncu kabuğun içeriğindeki demir elementinin kütlece daha yüksek miktarda bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Demir içeriği beyaz kabukta %0,0012 iken turuncu kabukta kütlece %0,035'tir. Bu derişim farkı turuncu rengin oluşmasına neden olabilmektedir.

TABLO 6.5: Turuncu Kabuk örneğinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.

Element	Na	Cl	Mg	K	Al	Ca	Br	Cu	Fe	Sr
Ağırlık (%)	40,28	24,76	9,12	1,64	1,09	0,93	0,22	0,083	0,035	0,036

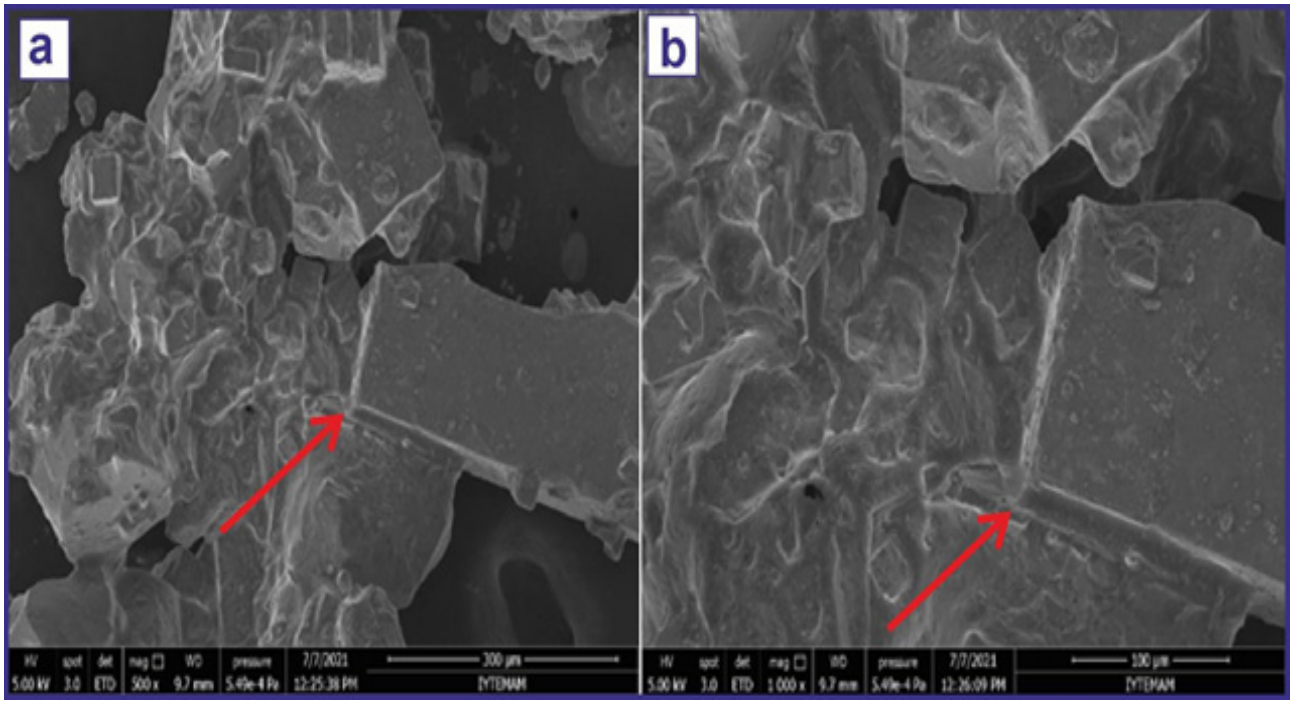
Turuncu kabuk örneğinin eşlenen sinyalleri Şekil 6.16'de sunulmuştur. Eşleşen sinyallerden ve elemental kompozisyon sonucundan temel kabuk yapısının Halit (JCPDS: 96-900-8679) olduğu ancak bu ana yapı ile birlikte başka fazların da bulunduğu görülmektedir. Toplam 6 adet sinyal noktasının Halit modeliyle, 2 adet sinyal noktasının (Mg,Fe)O kimyasal formülüne sahip magnesiowuestite modeliyle, 1 adet sinyal noktasının ise magnezyum oksit (MgO) ile eşleştiği görülmüştür.

ŞEKİL 6.16: Çeşme'den alınan turuncu kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.



Turuncu kabuğun SEM görüntüsü aşağıda Şekil 6.17'de verilmiştir. Sodyum klorür (NaCl) kristallerinde görülmesi beklenen keskin köşeli yapılar, turuncu kabuk örneğinin SEM görüntülerinde de görülmüştür.

ŞEKİL 6.17: Turuncu kabuk SEM görüntüleri (a) 500 büyütme (b) 1 000 büyütme.



6.1.4. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

Ekolojik açıdan son derece özgün niteliklere sahip olan Yarımada hem turizm hem de tarım açısından ülkemizin önemli bölgelerinden biridir. Bu durum Yarımada'yı yeraltı ve yerüstü su kaynakları açısından da oldukça önemli bir konuma getirmiştir. Yarımada'da su taşıma potansiyeline sahip karstik kireçtaşları ve çatlaklı volkanik kayaçlar yer almaktadır. Bu kayaçlar Yarımada'nın büyük bir kısmını kapsamaktadır.

Yarımada'nın kuzey kesimlerinde, özellikle de Karaburun civarlarında jeotermal ile ilgili çalışmalar yapılmamıştır. Ancak, alanda (özellikle Mordoğan ve çevresi) jeotermal olasılığına ilişkin veriler bulunmaktadır. Bu nedenle, alandaki jeotermal kaynakların potansiyelinin belirlenmesine ilişkin detay çalışmaların (MT, sismik ve araştırma sondajların) yapılması gerekmektedir. Benzer durum Çeşme'nin güneyi için de geçerlidir. Alanda derin sondaj çalışmaları yapılmadığından potansiyeline ilişkin veriler şu an düşük görülmesine rağmen yapılacak derin sondajlar ile potansiyelin artacağı görülmektedir. Artan jeotermal potansiyel ile bu alan gelecekte dünyanın en önemli termal turizm ve termal sağlık turizm merkezi olabilir.

Alandaki akışkan, deniz suyu ile ilişkili olduğu için akışkanda bazı minerallerin konsantrasyonu (Li ve Sr gibi) yüksek olabilir. Akışkanda bu minerallerin kazanılmasına ilişkin çalışmaların yapılması son derece önemlidir. Ek olarak, jeotermal enerji ile deniz suyu arıtımı yapılarak, ileride ihtiyaç duyulacak tatlı suyun kazanılmasına gidilebilir. Ayrıca deniz içinde çıkan akışkanın yarattığı pozitif etkinin gösterilmesine ilişkin doğa esaslı bazı mühendislik çalışmaları (deniz içinde termal akvaryum gibi) yapılabilir. Bu alanda yetişen bitkiler özellikle de alanda denizde jeotermal akışkanın çevresinde yaygın olarak görülen Poseidon çayırlarının (Gülbahçe ve Ilıksu Kaynakları arasında denizde gözlenen tektonik hat boyunca) sağlıkla ilişkileri araştırılmalıdır.

Yarımada rüzgâr ve güneş gibi diğer yenilenebilir kaynaklar ile de günümüzde ön plana çıkmıştır. Bu nedenle, bu alanlarda yenilenebilir hibrit sistemler ile ilgili çalışmaların bütüncül ele alınmasında yarar vardır.

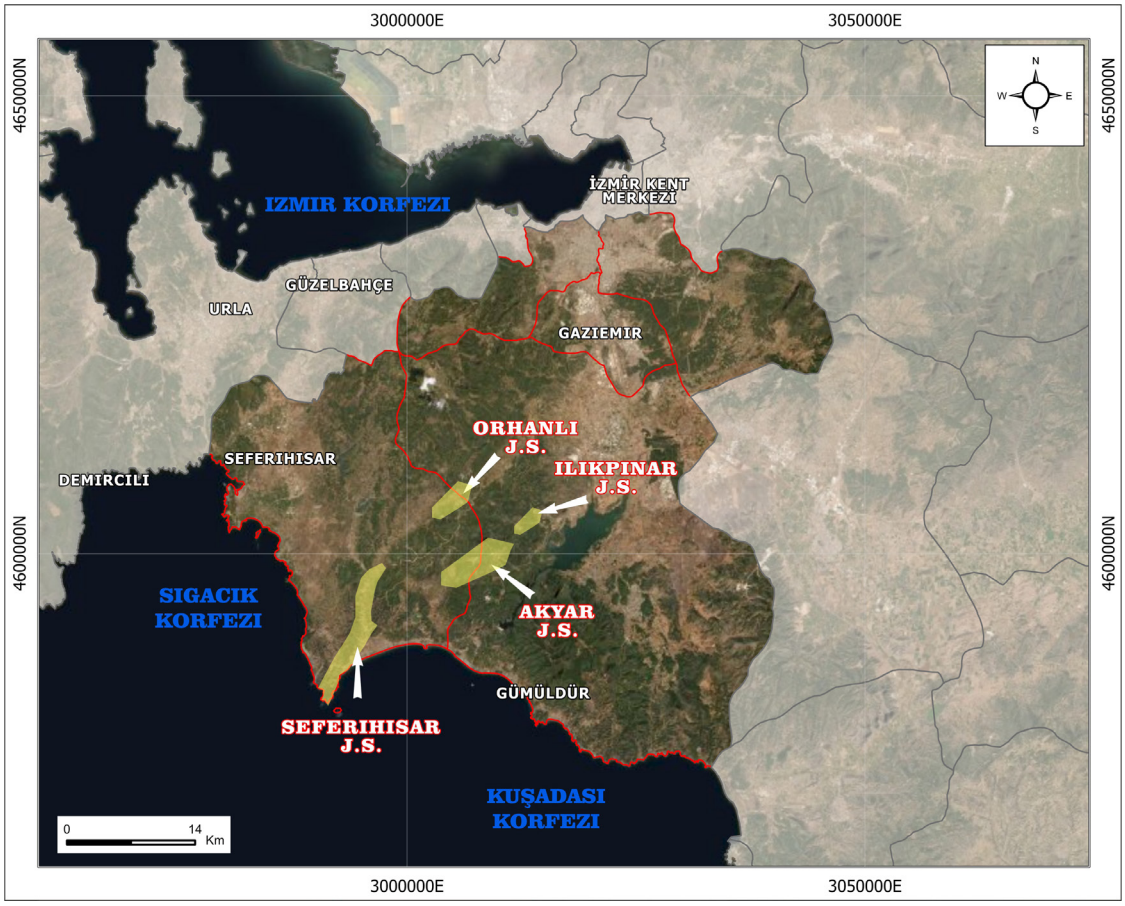
6.2. Cumaovası Jeotermal Sahaları

6.2.1. Seferihisar ve Menderes Jeotermal Sahaları

Proje kapsamında Cumaovası Havzası olarak belirlenen alan Seferihisar, Menderes, Gaziemir, Karabağlar ve Buca ilçelerini kapsayan bölgeye karşılık gelmektedir. Cumaovası Havzası'nda 1970 yılından bu yana jeotermal arama çalışmaları yapılmaktadır [112]. Bu bölümde Seferihisar ve Menderes jeotermal sahaları kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve mevcut jeotermal kaynağı bulunmayan Gaziemir, Karabağlar ve Buca ilçeleri için potansiyel alan önerileri getirilmiştir (Şekil 6.18).

Cumaovası jeotermal sistemleri içerisinde Seferihisar ve Menderes jeotermal sahaları bulunmaktadır. Jeotermal sahalar arasında keskin net sınır ayrımları bulunmamaktadır. Seferihisar jeotermal sahası Karakoç, Doğanbey ve Cumalı alt sahalarından oluşmaktadır. Orhanlı jeotermal sahası ise Tuzla Fayı üzerinde yer aldığı için yeni araştırılan ve fay zonu üzerinde sınırları netleşmemiş bir Seferihisar jeotermal sahasıdır. Akyar ve Ilıkpınar sahaları ise sınırları içerisinde daha önceki çalışmalarda Roma Hamamı, Deliömer Kaplıcası, Kovukluardı ve Kızılağaç Kaynağı adlarıyla incelenmiş jeotermal kaynakları içermektedir. Jeotermal sahaların aynı fay zonlarıyla ilişkili olması ve coğrafi olarak birbirlerine yakın olması sebebiyle Seferihisar ve Menderes sahaları aynı başlık altında değerlendirilmiştir.

ŞEKİL 6.18. Cumaovası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.



6.2.1.1. Genel Bilgiler

Seferihisar, İzmir'in batısında il merkezine yaklaşık 47 km uzaklıkta bulunmaktadır. Kuzeyde Urla ve Güzelbahçe, doğuda Menderes, batı ve güneyde Ege Denizi ile çevrilidir. İlçenin yüzölçümü 386 km²-dir. Seferihisar ilçe merkezi 28 m rakımda yer almakta olup, bölgenin önemli turizm merkezleri arasında Sığacık ve Teos Marina bulunmaktadır. Seferihisar'daki en eski yerleşim yeri, MÖ 2.000 yılında Giritliler tarafından kurulduğu bilinen Teos'tur. Bölgenin bir diğer önemli tarihi yeri ise Smyrna, Klazomenai ve Teos'un güneyinde yer alan İyon Birliği'nin on iki kentinden biri olan Lebedus veya Lebedos'tur. 2020 verilerine göre Seferihisar'da 48.320 kişi yaşamaktadır [88]. Seferihisar, %5 ve 114.169 kişi/km² nüfus yoğunluğu ile yaklaşık bir büyüme oranına sahiptir. 1984 ile 2010 yılları arasında Seferihisar'da kentleşme (yazlık evler ve toplu konutlar) %92 oranında artarken, tarım arazileri, ormanlar ve çayırlar sırasıyla %18, %4 ve %3 oranında azalmıştır [6].

Bölge ekonomisi ağırlıklı olarak balıkçılık, zeytin yetiştiriciliği, narenciye, üzüm ve enginar yetiştiriciliği, süs bitkileri, seracılık, hayvancılık (sığır, keçi ve koyun), alabalık (soğuk su) yetiştiriciliği, arıcılık ve turizme bağlıdır. Seferihisar'da sanayi diğer sakin şehirler kadar gelişmemesine rağmen, un değirmenciliği, mandıralar, zeytinyağı üretimi, taze meyve-sebze paketleme, süt toplama ve depolama gibi çeşitli alanlarda faaliyet gösteren küçük işletmeler, fabrikalar ve atölyeler bulunmaktadır. Nüfusun yaklaşık %80'i tarımla uğraşmaktadır. Narenciye paketleme tesislerinde işlenen ürünler ihraç edilmekte, diğerleri ise sadece ilçenin ihtiyacını karşılamaktadır. Açık alan tarımının yanı sıra domates ve çiçek yetiştirilen seralar da bulunmaktadır. Ayrıca güneşte kurutma ve jeotermal enerji ile mandalina kurutma da yapılmaktadır [6].

Menderes ilçesi ise, İzmir şehir merkezine 20 km mesafededir. Kuzeyinde Gaziemir, güneydoğusunda Torbalı, batısında Seferihisar, güneyinde Selçuk ve Ege Denizi ile çevrilidir. Morfolojik olarak en yüksek yerler Çatalkaya ve Gümüşsu Dağları'dır [113]. 2020 verilerine göre Menderes'te 101.338 kişi yaşamaktadır [88]. Yüzölçümü 788,66 km², yüksekliği 110 metre olan, toprakları verimli, 43 km'lik sahil şeridinde birbirinden güzel kıyı, koy, turistik işletme ve tesisleriyle turizm potansiyeli yüksek bir ilçedir [113]. Özdere, Gümüldür ve Ahmetbeyli, gerek sahilleri gerekse tarihi eserleri bakımından rağbet gören yerlerdir. İlçe, tarihi eserler bakımından da zengindir. Başlıcaları; Türkiye'nin ilk arkeoparkı olan Klaros Bilicilik Merkezi, Notion Antik Kenti, Kolophon Antik Kenti, Baklatepe Höyüğü, Roma Kaplıcası, Palamutarası Sarnıcı ve Gölovası Sarnıcı'dır.

İlçe ekonomisinde tarım ve hayvancılık önemli yer tutar. Arpa, buğday, pamuk, tütün, narenciye ve seracılık önemli gelir kaynağıdır. İzmir'in içme suyu ihtiyacını karşılayan Tahtalı Barajı ilçe sınırlarındadır. Ayrıca Çatalca ve Balabandere göletleri, Değirmendere Malta Şelalesi sportif olta balıkçılığı ve doğa yürüyüşlerinde mola yerleri olarak ideal alanlardır. Ahmetbeyli Mahallesi'nde bulunan deniz mağaraları da görülmeye değer doğa güzelliklerindendir.

6.2.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Seferihisar ilçesindeki jeotermal kaynaklar Cumalı, Karakoç, Doğanbey ve Orhanlı çevrelerinde dağılım göstermektedir (Şekil 6.19). Sahada Samos depreminden sonra belirlenen yeni noktalar ile 10'a yakın doğal kaynak çıkışı olduğu bilinmekteyken farklı amaçla kullanılan veya âtıl durumda olan 40'tan fazla kuyu bulunmaktadır. Cumalı ve Karakoç'taki kaplıcalar termal turizm, Orhanlı ve Cumalı sahalarındaki jeotermal kuyular ise elektrik üretimi, sera ısıtma ve kurutma uygulamaları için kullanılmaktadır.

Cumalı ve Doğanbey sahaları İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. 'nin işletme ruhsat alanı sınırında yer almaktadır. Sahada bulunan bazı kuyular yaklaşık 30 yılı aşkın bir süre önce açılmış olup, kuyu ekipmanlarının korozyona uğraması nedeniyle şu anda kullanılmamaktadır ve rehabilitasyonu da mümkün değildir. Bölgede 2020 yılında faaliyete başlayan RSC jeotermal elektrik üretim santrali için yeni kuyular açılmıştır. Sahada mevcut durumda yüksek termal potansiyele sahip olmalarına rağmen bazı üretim kuyuları re-enjeksiyon için kullanılmaktadır. G18-A kuyusu İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. 'nin seralarına ve kurutma sistemine bağlıdır. Ancak seralar terk edilmiş durumda olup kurutma sistemi %10 gibi

düşük bir kapasite faktörüne sahiptir. Bu seraların daha aktif hale gelmesi ve yeni ürünler yetiştirilmesi konusunda İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ile İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. tarafından çalışmalara başlanmıştır. Ayrıca, DI-1A kuyusu "Termal Turizm Bölgesi"ne tahsis edilmiş olup, DI-1 kuyusu düşük akış hızı nedeniyle kullanılmamaktadır [6].

Cumalı, Doğanbey ve Karakoç jeotermal sahaları (Seferihisar)

Cumalı, Doğanbey ve Karakoç jeotermal sahaları, Seferihisar yükseliminin GD uzantısında yer alan tektonik alanın merkezinde yer almaktadır. Cumalı'daki doğal kaplıcaların sıcaklıkları 40°C'ye ulaşmakta iken Doğanbey civarındaki kaynaklarda 75°C'ye varan sıcaklıklar ölçülmüştür.

Bu bölgede jeotermal üretim kuyuları da bulunmaktadır. Kuyu başı sıcaklıkları 90-153°C aralığında değişiklik göstermektedir. Elektrik üretimi amacıyla açılan kuyularda, 2.100 metre derinlikte 207°C maksimum taban sıcaklığına ulaşılmıştır.

Orhanlı jeotermal sahası (Seferihisar-Menderes)

Orhanlı bölgesindeki arama ruhsat sahalarında da yeni sondaj çalışmalarına başlanmıştır. Mevcut durumda 800-1.052 m derinlikleri arasında açılan sondajlarda, 100°C üzerinde sıcaklığa sahip 50-70 lt/s debi aralığında jeotermal akışkana ulaşılmıştır.

Akyar jeotermal sahası (Seferihisar-Menderes)

Kızılağaç, Dikmen, Kovukluardı ve Akyar kaynakları bu bölgedeki en önemli doğal çıkışlardır. Akyar sahası dışındaki jeotermal kaynaklar nispeten daha düşük sıcaklıklı, 30-40°C aralığında doğal çıkışlar şeklindedir. Akyar sahasında ise bir firma işletme ruhsatına sahip olup, elektrik üretimi için ISA-211/10 kuyusunun kullanılması planlanmaktadır. Bu kuyuda yapılan gözlemler sonucunda 104 ton/h debi ve 141,2°C sıcaklığa sahip akışkan 1.215,50 m derinlikte buhar+su şeklinde elde edilmiştir [114].

ŞEKİL 6.19: Cumaovası jeotermal sahalarına ait fotoğraflar a) Cumalı Kaplıcaları b) Doğanbey civarındaki sıcak çamur ve buhar çıkışları c) İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'ye ait bir üretim kuyusu d) Doğanbey-Karakoç civarındaki doğal kaynak çıkışları.

6.2.1.3. Stratigrafi

İnceleme alanının stratigrafisi üç ana grupta ele alınmaktadır, bunlar: temel kaya birimleri, Neojen volkano-tortul birimleri (eski havza dolgu birimleri) ve Pliyo-Kuvaterner birimleri (modern havza dolgu birimleri)'dir. Eski havza dolgusu, modern çöküntüden daha uzakta açığa çıkarken, modern havza dolgusu çöküntünün iç kısmıyla sınırlıdır. İki havza dolgusu birbirinden açısal bir uyumsuzlukla ayrılmıştır.

Temel birimleri, Menderes Masifi Paleozoyik-Mesozoik metamorfik kayaçları ile İzmir Filişi'ne ait Üst Kretase-Paleojen kayaçlarından oluşur. Masif, yerel fillit ara katkılı şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Menderes Masifi ve tektonik olarak üzerleyen filiş birimleri, Neojen volkanosedimanter istifleri tarafından uyumsuzlukla örtülür [74]. Neojen istifi jeotermal sahaların bulunduğu alanda üç ana litostratigrafik birimle temsil edilmektedir, bunlar; Ürkmez-Yeniköy ve Cumaovası volkanik birimleridir. Tuzla Fayı boyunca Erken-Orta Miyosen Çatalca Formasyonu ve Karaburun Volkanitleri'nin de haritalandığı bölgeler bulunmaktadır [74]. Ürkmez, Yeniköy ve Cumaovası Formasyonları bu birimlerin üzerine uyumsuzlukla yerleşmiştir.

Ürkmez Formasyonu gölsel kireçtaşı mercekli kırmızı bir çakıltaşı ve kumtaşı ardalanması ile karakteristiktir ve yaş olarak Alt-Orta Miyosen aralığında çökeldiği bilinmektedir [54, 112]. Benzer şekilde Yeniköy Formasyonu da ince linyit damarlı kumtaşı, çamurtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşur. Yukarıya doğru istif, ince-orta tabakalı gölsel kireçtaşları ve yeşil laminalı kiltaşı ardalanmalarına sahiptir. Birime ait bu seviyeler Cumaovası Volkanitleri'ne ait piroklastik kayaçlarla ara tabakalıdır [54, 112, 115]. Cumaovası Volkanitleri'ne ait riyolitik volkanik kayaçlar için önceki çalışmalarda 11.5–9 My. K/Ar yaşları vermiştir [54, 115, 116].

ŞEKİL 6.20: Cumaovası jeotermal sahalarına (Seferihisar-Menderes) ait jeotermal sistemin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Cumaovası Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Jura-Triyas Karstik Kireçtaşları
İzmir Filişi

Örtü Birimler
Neojen Volkanosedimanter Birimleri

Yapısal Kontrol
Tuzla Fay Zonu, Deliömer Fayı,
Künerlik Fayı, Yeniköy Fayı

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan / Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **75°C***
*Kuyular : **207°C***

Debi Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **50 lt/s***
*Kuyular : **78 lt/s***

6.2.1.4. Hidrojeoloji

Jeotermal sistemi oluşturan kaya birimlerini iki ana grupta incelemek mümkündür: Temel kayaçlar (Menderes Masifi ve İzmir Filişi) ve örtü birimleri (eski ve güncel havza-dolgu birimleri). Alanın stratigrafisine göre Menderes Masifi'nin Paleozoik-Mezozoik yaşlı metamorfik kayaçları ve İzmir Filişi'nin Üst Kretase-Paleosen yaşlı kayaçları en yaşlı kaya birimlerini oluşturmaktadır. Yoğun çatlaklı temel kayaçların Cumaovası Havzası jeotermal sisteminin rezervuar kayacını oluşturduğu düşünülmektedir.

Jeotermal alan, bölgenin havza yapısını ve morfolojisini sınırlayan, KD-GB uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı Tuzla Fayı etkisi altındadır. Cumalı ve Doğanbey yerleşimleri çevresindeki fay segmentleri akışkan sirkülasyonu ile yakından ilişkilidir. Fay segmentleriyle ilişkili küçük ölçekli graben-horst sistemleri, meteorik suların jeotermal sisteme katılmasına ve sistem içerisinde ısınan akışkanın kaynaklar oluşturmak için yüzeye ulaşmasını sağlar.

Jeotermal sistemde temel birimler rezervuar görevi görmektedir. Jeotermal saha çevresinde görülen filiş birimleri yoğun deformasyona uğramıştır ve akışkan iletebilme potansiyeline sahiptir. Spilit, re-kristalize kireçtaşları ve metakumtaşları filiş içerisinde rezervuar olabilecek birimlerdir. Neojen istifi ise özellikle lavlar ve piroklastik çökel seviyeleri ile birlikte önemli bir örtü kaya özelliğine sahiptir.

6.2.1.5. Yapısal Jeoloji

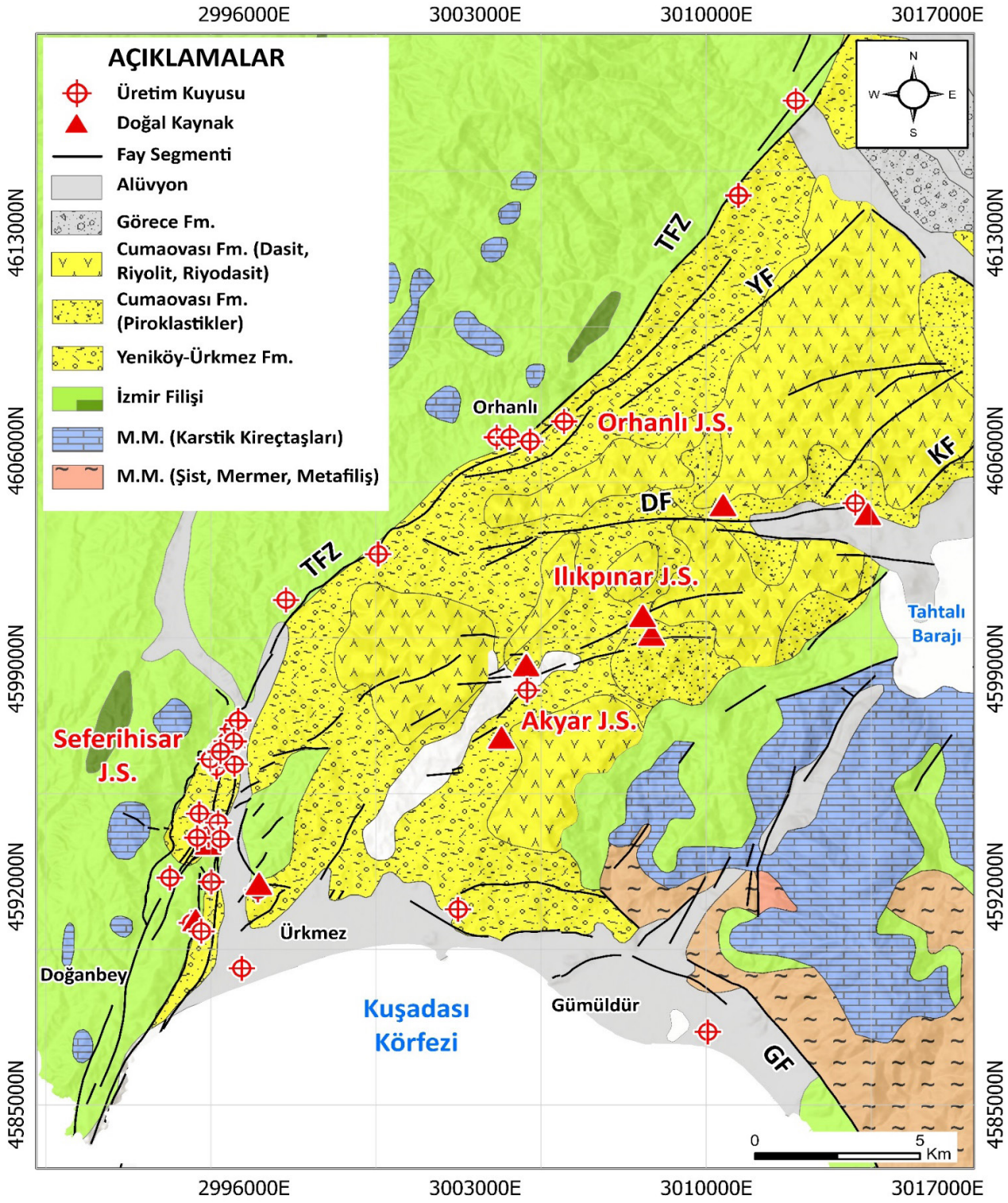
Yaklaşık KD-GB yönlü doğrultu atımlı faylar ve yaklaşık D-B doğrultulu normal faylar Cumaovası Havzası'nın deformasyonunu ve morfolojisini kontrol etmektedir [74]. Cumaovası Havzası'nın batı kesimi doğrultu atımlı faylarla, havzanın orta, güney ve kuzey kesimleri ise normal faylarla sınırlandırılmıştır. Seferihisar ve Menderes ilçeleri ile Cumaovası olarak adlandırılan bölgedeki batı kısımda yer alan ve havzanın drenaj düzenini kontrol eden doğrultu atımlı faylar, Tuzla Fay Zonu (TFZ) ve Yeniköy (YF), Deliömer (DF) ve Künerlik (KF) Faylarıdır ([74]; Şekil 6.21).

Emre ve diğ. [66] genel doğrultusu KD-GB olan Tuzla Fayı'nın birbirinden belirgin sıçrama veya büklümlerle ayrılan ve farklı doğrultularda uzanan üç alt bölümden oluştuğunu belirtmektedir. Araştırmacılar bu alt bölümleri kuzeyden güneye doğru Çatalca, Orhanlı ve Cumalı olarak tanımlamaktadırlar. Fayın kuzeydoğu ucunu oluşturan K35D doğrultulu Çatalca bölümü 15 km uzunluğundadır ve batı ucunda 750 m'lik sağ yönlü bir sıçrama ile Orhanlı bölümünden ayrılmaktadır. Orhanlı bölümü ise K50D genel doğrultulu, 16 km uzunluğundadır ve günümüzde jeotermal aramalarında yoğun olarak araştırılan bir bölgedir. Çalışmacılara göre, fayın güneybatısında yer alan jeotermal sahaların da bulunduğu Cumalı bölümü ise, KKD-GGB uzanımında birbirine paralel faylardan oluşan zonal bir yapı sunmaktadır [117].

Uzel ve Sözbilir [74], çalışmasında Cumaovası'ndaki diğer fay segmentleri ile ilgili önemli bulgular elde etmiştir. Bu çalışmaya göre; Yeniköy Fayı, Tuzla Fay Zonu'na yaklaşık olarak paralel uzanan, 200 m genişliğinde, 30 km uzunluğunda, KD-GB yünlü doğrultu atımlı bir faydır. Görece ve Ürkmez köyleri arasında yer almaktadır ve düzlemleri sağ doğrultu atımlı bir faylanma göstermektedir. D-B yönünde uzanan Deliömer Fayı ise yaklaşık 20 m genişliğe sahip bir deformasyon zonu ile karakteristiktir. Deliömer Fayı, Tuzla Fay Zonu'nun antitetik eşlenik (R') bir fayı olarak yorumlanabilir. Diğer önemli fay segmenti olan Künerlik Fayları, sağ doğrultu atımlı bir fay olup, yaklaşık 200 m genişliğinde, 20 km uzunluğundadır.

Sisam (Samos) Adası'nda meydana gelen deprem ve tsunami sonrası Seferihisar çevresinde bulunan jeotermal sahalarda gözlemler yapılmıştır [117]. Seferihisar'ın güneydoğusunda yer alan Karakoç ve Cumalı jeotermal sahalarında yeni kaynak oluşumlarına rastlanmıştır. Tuzla Fayı üzerinde yer alan bu jeotermal sahalarda, deprem sonrasında yeni jeotermal kaynak oluşumu, çamur ve gaz çıkışları gözlenmiştir. Bu su çıkışlarının sıcaklığı 97°C ölçülmüştür. Deprem öncesinde sahada bulunmayan bu çıkışların deprem sonrasında geniş bir alanı kapladığı belirlenmiştir.

ŞEKİL 6.21: Cumaovası jeotermal sahalarına ait jeoloji haritası.



Kaynak: [6, 37, 74, 97]'den yararlanılmıştır.

6.2.1.6. Kaynak Potansiyeli

Cumaovası jeotermal sahalarında verisine ulaşılabilen kaynak ve kuyulara ait veriler Tablo 6.6'da verilmiştir. Cumaovası sistemindeki kaynak ve kuyuların toplam debisi 491 lt/s'dir. Doğal kaynakların sıcaklıkları 76°C'a ulaşmakta iken sahadaki üretim kuyularında ulaşılan en yüksek sıcaklık 207°C'dir (Santral kuyularında ortalama değer olarak 169,5°C kullanılmıştır). Sahalardaki neredeyse tüm kuyulardan elde edilen yüksek sıcaklık değerleri oldukça ümit vaad etmekte olup doğal kaynak sıcaklıklarının da oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sahada yer alan jeotermal elektrik üretim santrali, mevcut rezervuarın elektrik üretiminde ve doğrudan kullanımda kullanılabilecek akışkan özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir.

TABLO 6.6: Cumaovası jeotermal sahalarında bulunan jeotermal doğal kaynaklar ve kuyuların ısıl potansiyeli

Kaynak Adı	İlçe	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	Tg (°C)	Q (kWt)			
						Tç (35°C)	Tç (30°C)	Tç (25°C)	Tç (20°C)
Doğanbey Tuzlası	Seferihisar	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	50	73,5	8.065,8	9.113,3	10.160,8	11.208,3
Doğanbey	Seferihisar	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	50	69	7.106,0	8.151,0	9.196,0	10.241,0
Doğanbey Burnu	Seferihisar	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	12,5	75,5	2.121,2	2.383,1	2.644,9	2.906,8
Akyar	Seferihisar	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	0,75	36	3,1	18,8	34,5	50,2
ISA-10	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	21	141,2	10.705,0	11.209,0	11.713,0	12.217,0
Akyar-Kavaklı	Seferihisar	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	1,5	36	6,3	37,6	39,0	100,3
CM-5	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	10	121	4.128,0	4.368,0	4.608,0	4.848,0
CM-6	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	15	148	8.136,0	8.496,0	8.856,0	9.216,0
G2-A	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	66	146	35.164,8	36.748,8	38.332,8	39.916,8

Kaynak Adı	İlçe	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	Tg (°C)	Q (kWt)			
						Tç (35°C)	Tç (30°C)	Tç (25°C)	Tç (20°C)
CM-1	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	1	140	504,0	528,0	552,0	576,0
SH-1	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	7,5	107	2.278,8	2.437,1	2.595,3	2.753,6
SH-2	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	7,5	153	4.779,0	4.4981,5	5.184,0	5.386,5
DI-1	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	12	78	2.156,9	2.407,7	2.658,5	2.909,3
DL-1A	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Kullanımda Değil	78	78	14.019,7	15.649,9	17.280,1	18.910,3
RSC 4/8/7A*	Seferihisar	Üretim Kuyusu	Elektrik Üretimi	68	169,5	49.388,4	51.224,4	53.060,4	54.896,4
Orhanlı Araştırma Kuyuları*	Seferihisar	Santral amaçlı araştırma?	Kullanımda Değil	62,5	120	25.500,0	27.000,0	28.500,0	30.000,0
Tetas	Menderes	Araştırma	Kullanımda Değil	6,5	26,1	-	-	29,9	165,7
Serdar Enerji	Menderes	Araştırma	Kullanımda Değil	4	68,1	553,4	637,0	720,6	804,2
Gayzer-1	Menderes	Araştırma	Kullanımda Değil	15	44,3	583,1	896,6	1.210,1	1.523,6
Kızılağaç-Dikmen-Kovukluardı Kaynakları*	Menderes	Doğal Kaynak	Kullanımda Değil	2,25	31	-	9,4	56,4	103,5
TOPLAM				**491,0**	**82,3**	**175.199,4**	**186.297,1**	**197.432,3**	**208.733,4**

**Kuyulara ait ortalama değerler alındı.*

6.2.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Akyar, Ilıkpınar, Kızılağaç, Orhanlı, Dikmen, Doğanbey Burnu, Kovukluardı ve Karakoç sahalarının henüz jeotermal uygulaması olmadığı için doğrudan kullanım açısından gelişmeye açık sahalardır. Bu sahalar yüksek potansiyele sahip olmasına rağmen, Seferihisar sahası 2015 yılına kadar bazı ilkel kaplıca uygulamaları dışında gelişmemiştir. Bunun nedenlerinden bazıları, deniz suyu girişi nedeniyle jeotermal akışkanların yüksek korozyon potansiyeli, korunan tarihi ve askeri alanlar nedeniyle arazi kullanım kısıtlamaları, şehir gelişim planları ve düzenleme eksiklikleridir.

2006 yılında Cumalı ve Doğanbey sahalarının kullanım hakları İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. 'ye devredilmiştir. İzmir Valiliği ve İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin ortak şirketi olan İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., 2007 yılında bu sahalar için işletme ruhsatı almıştır. Bu sayede rezervuar modelinin hazırlanması, kabuklaşma ve korozyon gibi akışkana dayalı problemler için inhibitör testleri, arazi kullanımı, şehir imar planlaması ve fizibilite çalışmaları sonuçlandırılmıştır. 2015 yılında toplam 1.080 m² alana sahip iki adet sera inşa edilmiş ve Seferihisar Belediyesi'ne kiralanmıştır. 2016 yılında belediye 1,5 ton/gün kapasiteli "jeotermal mandalina kurutma" tesisi geliştirerek kurutma ünitesini seralardan birine yerleştirmiştir ve işletme hakkı Doğanbey Tarımsal Kalkınma Kooperatifi'ne verilmiştir. Türkiye'nin mandalina yetiştiriciliğinin başkenti olan Seferihisar, kurutma tesisi ile üreticilere ihracat için yeni fırsatlar sunmuştur. 2020 yılında İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. kurutma tesisinin kapasitesini artırmak amacıyla kuyu başı ekipmanlarının ve iletim hattının yenilenmesini planlamıştır.

ŞEKİL 6.22: a) RSC Elektrik şirketine ait 12 MWe kapasiteli jeotermal elektrik santrali b) İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'ye ait jeotermal ısıtma uygulamalı seralar c) Seferihisar Belediyesi'nin mandalina jeotermal kurutma tesisi d) sera ve kurutma tesisi yakınındaki jeotermal üretim kuyusu.

Kaynak: a) [118]

2016 yılında İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., bölge ve potansiyel yatırımcılar için modern sera örneği olması amacıyla toplam 0,125 ha alana sahip üç adet sera daha inşa etmiştir. Seralar kiralanmıştır ancak bu küçük sera alanından elde edilen ürünle karşılaştırıldığında işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle işletme kâra geçememiştir. Karlı bir işletme için optimum sera alanı 2,5-3 ha olmalıdır. Şu anda bu seralar aktif olarak kullanılmamaktadır. Ancak seraların aktif hale getirilmesi konusunda İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ile çalışmaların yapılması planlanmıştır.

İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Doğanbey sahasını "Termal Turizm Bölgesi" olarak geliştirme vizyonuna sahiptir. Termal turizm faaliyetlerinin önemi ve İzmir'deki Balçova Termal Otel ve Kaplıca Kompleksi'nin başarılı bir şekilde işletilmesi nedeniyle Doğanbey bölgesi 2015 yılında "Termal Turizm Bölgesi" ilan edilmiş ve "kaplıca ve termal tedavi merkezi" tasarlanmıştır. Bu tedavi merkezinin İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. tarafından inşa edilmesi planlanmıştır. Merkez 20.000 m² kapalı alana sahip, 250 yatak ve 820 kişi/gün kapasiteli olarak planlanmıştır. Arazinin geri kalan kısmı yatırımcılar tarafından satın alınmış olup termal otel ve kaplıca tesisleri inşa etmek için imar planlarının onaylanması beklenmektedir.

İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Cumalı ve Doğanbey jeotermal kaynaklarının bir kısmını 2016 yılında elektrik üretimi için RSC Elektrik şirketine kiralamıştır. Santral, 2020 yılının sonundan beri faaliyet göstermektedir. Santralin kurulu gücü 12 MWe'dir ve yıllık üretimi yaklaşık olarak 96 GWh'tır.

Seferihisar ilçe merkezi, Yelki, Ulamış ve Kavakdere köylerinde tarım sektörü ağırlıklı olarak küçük aile işletmelerinden oluşmakta olup, çoğunlukla çiçek ve domates, biber, salatalık, kabak, marul gibi sebzeler yetiştirilmektedir. Ancak, Seferihisar'daki arazi maliyetinin yüksekliği sera ısıtması ve gıda kurutması gibi faaliyetlerin uygulanabilirliğini biraz zorlamakla birlikte bu uygulamalar yörenin ekonomisine ciddi katkı sağlayabilir.

Seferihisar ilçe merkezinde ve bölgedeki diğer yerleşim yerlerinde bölgesel ısıtma sistemi uygulaması bulunmamaktadır. Kömür, fuel-oil, elektrik, doğalgaz (şehir merkezinin sadece bir bölümünde) gibi çeşitli enerji kaynakları ile bireysel veya merkezi ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Öte yandan, doğalgaz dağıtımını yazlık ve otellerin bulunduğu Doğanbey, Sığacık ve Akarca sahillerine kadar genişletme planı bulunmamaktadır. Bu kıyı şeridi, nüfus yoğunluğu düşük olsa da (82 kişi/km²) jeotermal bölgesel ısıtma sistemi potansiyeline sahiptir. Kış aylarında, Termal Turizm Bölgesi ziyaretçilerine, ısıtmalı yazlık evler kiralanabilirse, konut sahipleri turizm sezonunu uzatmış ve böylelikle bölgeye ekonomik girdi artışı sağlanmış olacaktır. Bu bölgede ısıtma dışında soğutma uygulamalarının yapılması da son derece önemlidir.

6.2.2. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

6.2.2.1. Hidrojeokimyasal Özellikler

Cumaovası Havzası 1970 yılından beri jeotermal açısından araştırılmaktadır. Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmaların ve analizlerin sonuçları özetlenmiştir [6, 114, 119, 120, 121, 122, 123, 124].

Cumaovası Havzası'nda farklı bölgelerde farklı sıcaklıklar ve özelliklere sahip jeotermal alanlar bulunmaktadır. Jeotermal kuyularında en yüksek sıcaklık 153°C ile Cumalı ve Doğanbey sahalarında ölçülmüştür. Ilıkpınar ve Karakoç Kaplıcaları'nda ise su sıcaklığı 65-77°C aralığında tespit edilmiştir. Doğanbey bölgesinde, kaplıcalarda debiler 50 lt/s civarında, kuyuların debileri ise 100 lt/s civarında ölçülmüştür [6].

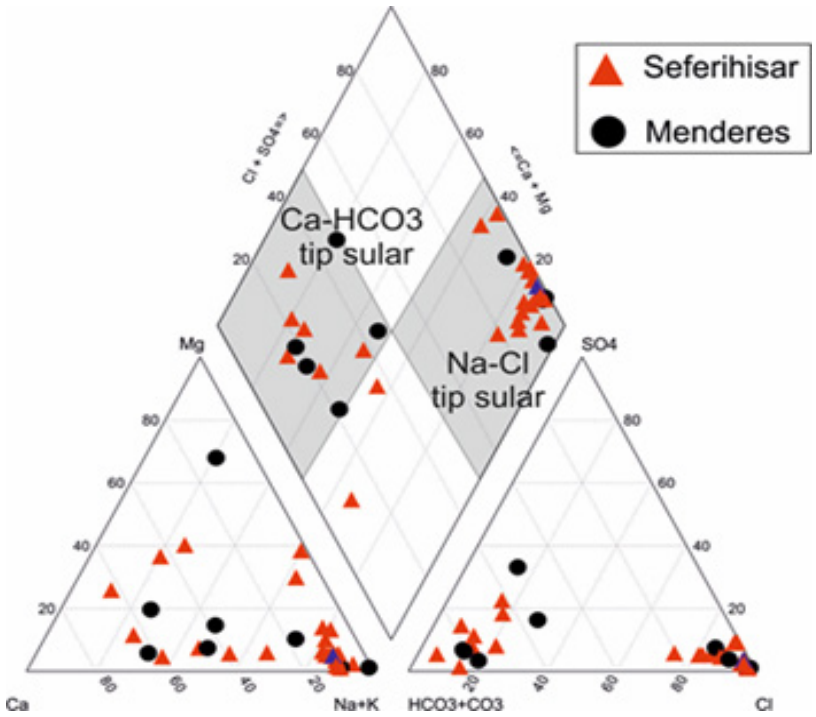
Korkmaz Basel (2010)[125] Cumaovası Havzası'nı modellemiş ve termal potansiyeli %90 olasılıkla 1.086 MWt ve %10 olasılıkla 1.866 MWt, görünür kapasite 140 MWt olarak tahmin etmiştir. Ayrıca, sahanın elektrik üretim potansiyeli, sıcaklığın 110°C ve rezervuar hacminin 2,5 km³ olduğu varsayımıyla 13,8 MWe (%10 olasılık) ve 28,5 MWe (%90 olasılık) olarak hesaplanmıştır. Elektriksel İletkenlik (EC), iyonların kimyasal aktivitesinin bir ölçümü olarak kabul edilmektedir. Yüksek EC değerlerine sahip jeotermal akışkanlarda

bazı mühendislik problemleri (örn. korozyon, deniz suyu girişi, kabuklaşma) görülebilir. Cumaovası Havzası'nda yüksek EC değerleri Cumalı ve Doğanbey kaynakları çevresinde görülmektedir [6].

Cumalı Kaplıcaları'nda EC değerleri 28.500-33.600 µS/cm iken Doğanbey bölgesinde 33.900-35.400 µS/cm civarındadır. Orhanlı (Tuzla) fay zonu Doğanbey Burnu'ndan başlayıp Doğanbey, Karakoç ve Cumalı sahaları boyunca devam ettiği bilinmektedir. Alandaki jeotermal akışkanda gözlemlenen yüksek Na+ ve Cl– konsantrasyonları, bölgedeki fayların deniz suyunu jeotermal sisteme taşıdığını düşündürmektedir. Ancak bu bölgelerdeki EC değerleri ve Na+ konsantrasyonları deniz suyundaki değerleri aşmamaktadır. Bu durum aynı zamanda deniz suyu karışımı olduğunu destekler.

Akyar bölgesindeki EC değerleri kaplıcalarda 326-449 µS/cm, kuyularda 5.690 µS/cm olarak ölçülmüştür. Piper diyagramına göre (Şekil 6.23) sığ derinliklerden gelen akışkanlardaki su türü kalsiyum bikarbonat (Ca-HCO_3) olarak belirlenir ve karışım suyu (jeotermal ve jeotermal olmayan meteorik/yeraltı sularının karışımı) pH değerleri 6,8 ile 8,5 arasında değişmektedir.

ŞEKİL 6.23: Cumaovası Havzası jeotermal sahalarındaki jeotermal akışkanların Piper diyagramı.



Ilıkpınar bölgesindeki EC değerleri nispeten daha düşük seviyelerde olup 284-500 µS/cm civarındadır. Akışkanlardaki suyun türü, sodyum klorür (Na-Cl) ve bazen de bikarbonatça zengin karışım suları olarak belirlenmiştir (Şekil 6.23). Akışkanların pH değerleri 6,9 ile 7,6 arasında değişmektedir.

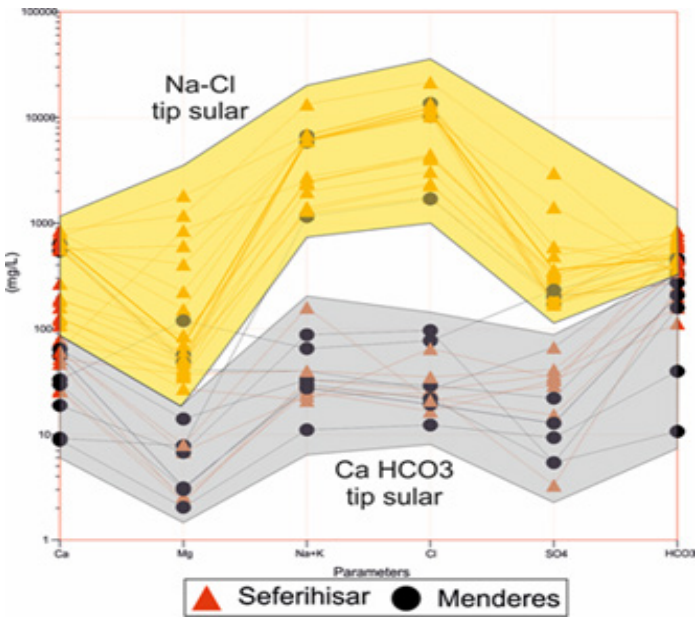
Karakoç bölgesinde EC değerleri 6.710-7.910 µS/cm civarındadır. Akışkanlardaki su türü sodyum klorür (Na-Cl) ve kalsiyum bikarbonat (Ca-HCO_3) olarak belirlenmiştir (Şekil 6.23). Akışkanların pH değerleri 6,5 ile 7,8 arasında değişmektedir.

Orhanlı bölgesindeki jeotermal akışkanların EC değerleri 553-685 µS/cm civarında iken sular kalsiyum-magnezyum bikarbonat (Ca-Mg-HCO_3) tipindedir (Şekil 6.23). Bu durum Orhanlı, Akyar ve Ilıkpınar sahalarındaki jeotermal akışkanın, deniz suyu girişinden uzak olması ile açıklanabilir. Bu bölgedeki sular jeolojik birimlerden etkilenmektedir. Meteorik suların volkanik birimler ve kireçtaşları ile su-kayaç etkileşimine girmesi nedeniyle bölge sularının kimyasal bileşimlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir.

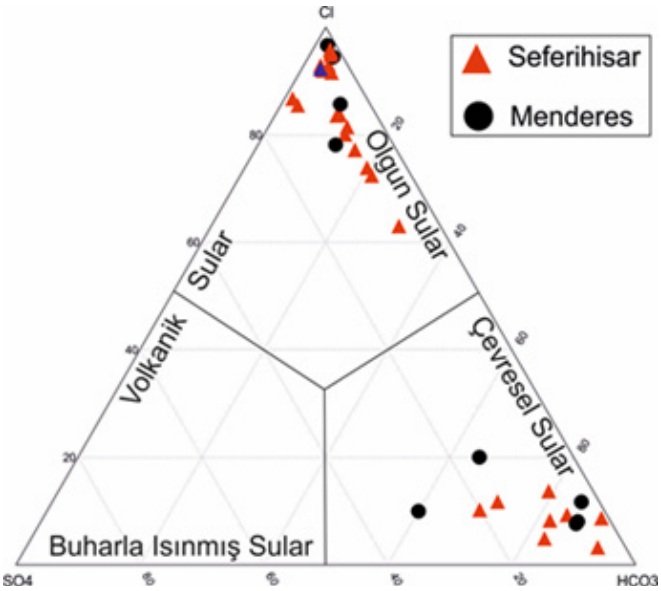
Oluşturulan yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre, Cumaovası Havzası'nda bulunan jeotermal akışkanlar iki farklı kökene sahiptir. Derin dolaşımlı olan jeotermal akışkanların Na+ ve Cl- iyonları bakımından zengin iken daha sığ ve soğuk sular Ca_2+ ve HCO_3- bakımından zengindir (Şekil 6.24). Bu durum, suların faylar yoluyla başka bölgelerden gelen veya farklı derinliklerden gelen sularla karışması ile açıklanabilir.

Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramında, Cumaovası Havzası jeotermal akışkan örnekleri klorür alanına karşılık gelir ve olgun su olarak kabul edilirken sığ dolaşımlı sular bikarbonat kısmına denk gelmektedir ve çevresel sular olarak kabul edilmektedir (Şekil 6.25).

ŞEKİL 6.24: Cumaovası Havzası jeotermal sahalarındaki jeotermal akışkanların Schoeller diyagramı.



ŞEKİL 6.25: Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.



6.2.2.2. Jeotermometre Uygulamaları

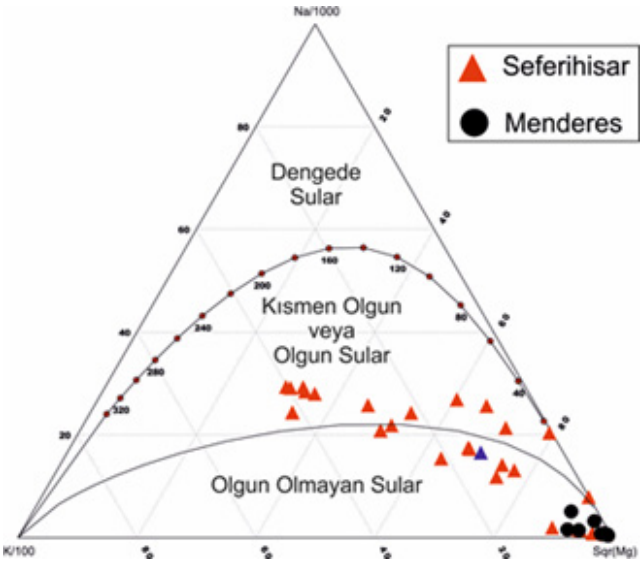
Kimyasal jeotermometreler, rezervuar sıcaklık tahminleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Önceki çalışmalar için genel jeotermometre sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Quartz jeotermometrelerine göre, Cumaovası jeotermal sahalarındaki rezervuar sıcaklığı 110 ile 180°C arasında hesaplanırken, Na/K jeotermometreleri uygulandığında bu sıcaklık 110 ile 295°C arasında değişmektedir [124].

Akyar ve Ilıkpınar bölgesinde rezervuar sıcaklıkları silika jeotermometrelerle minimum 48°C ile maksimum 112-162°C arasında tahmin edilmektedir [114, 126]. Doğanbey ve Ilıkpınar bölgesinde silika jeotermometre sonuçları rezervuar sıcaklıklarının 127-133°C'ye ulaşabileceğini göstermektedir [126].

İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'nin 2008 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmaya göre en yüksek rezervuar sıcaklıkları Cumalı bölgesinde elde edilmiştir (Na/K ve K-Mg jeotermometreleri hariç). Bölgeler deniz suyu girişiminden etkilendiği için silika jeotermometre sonuçları katyon jeotermometre sonuçlarından daha güvenilir bulunmuştur. Ayrıca Cumalı ve Doğanbey Tuzla dışındaki akışkanların olgunlaşmamış su sınıfı da bu deniz suyu intrüzyon durumunu desteklemektedir. Bu nedenle Cumalı ve Doğanbey bölgeleri için K-Mg ve silika jeotermometre sonuçları daha güvenilir olup 170-200°C rezervuar sıcaklıklarını göstermektedir.

Giggenbach [12] diyagramında Cumaovası Havzası içerisindeki jeotermal akışkanlar genellikle Kısmen Olgunlaşmış veya Olgun Sular kısmında yer alıyorken, sığ dolaşımlı suların Olgun Olmayan Sular sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu durum sığ dolaşımlı jeotermal akışkanların çatlak sistemleri sayesinde yüzeye yakın seviyelerden soğuk su girişi tezini desteklemektedir (Şekil 6.26).

ŞEKİL 6.26: Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.



6.2.2.3. Korozyon ve Kabuklaşma

Önceki çalışmalara göre, Cumaovası jeotermal sahalarında bazı doygunluk indeksi hesaplamaları yapılmıştır [114, 126]. Akyar bölgesinde kuyulardan çıkan jeotermal akışkanlar analiz edilerek olgun sular, klorür içeriği yüksek doymuş sular olarak sınıflandırılmıştır. Akyar bölgesindeki derin bir kuyu dışında jeotermal akışkanlar anhidrit, aragonit, kalsit, dolomit ve jips minerallerince doygun değildir. Kalsedon ve kuvars mineralleri jeotermal sıvıda çözünüp doygun hale geçmektedir, bu da suda çökelebilir ve kabuklaşma sorunlarına neden olabilir. Akyar ve Ilıkpınar bölgelerinde ise doygunluk indeksi soğuk su ve jeotermal akışkan numunelerinin demir ve silika mineralleri ile doygun olduğunu göstermektedir. Doğanbey kaplıcalarından çıkan jeotermal akışkanlar, hemen hemen tüm mineraller için doymuş su sınıfındadır.

Cumaovası'nda Seferihisar'daki jeotermal elektrik sahasındaki kuyudan elde edilen kabuk örneğinin yapısal ve kimyasal tanımlaması yapılmıştır. Katı formda bulunan kabuk örneklerinin elemental kompozisyonu X-ışını flöresans (XRF), kristal yapısı X-ışını difraktometresi (XRD) ve morfolojisi ise Taramalı Elektron Mikroskop ile incelenmiştir. Örneklere ait analiz sonuçları aşağıda verilmektedir. Bu çalışmada incelenen kabuk yapıları heterojen olup, birkaç kristal yapının oluştuğu görülmektedir.

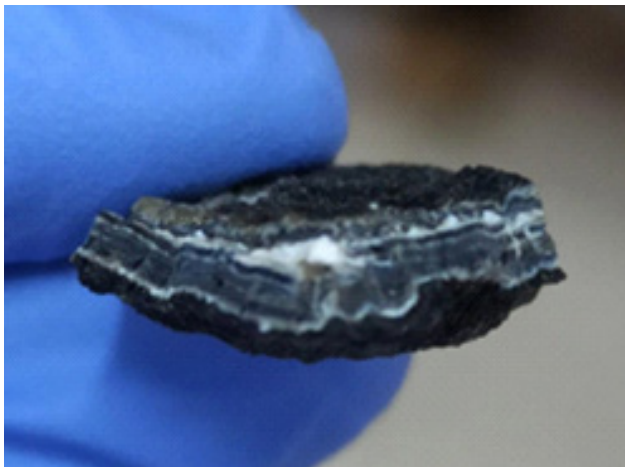
TABLO 6.7: Siyah kabuğun elemental içeriği (XRF sonucu).

Element	Si	Mg	Fe	Ca	Mn	Al	P	Cu	Na
Ağırlık (wt %)	23,46	14,64	11,44	2,38	3,05	0,38	0,31	0,098	0,081

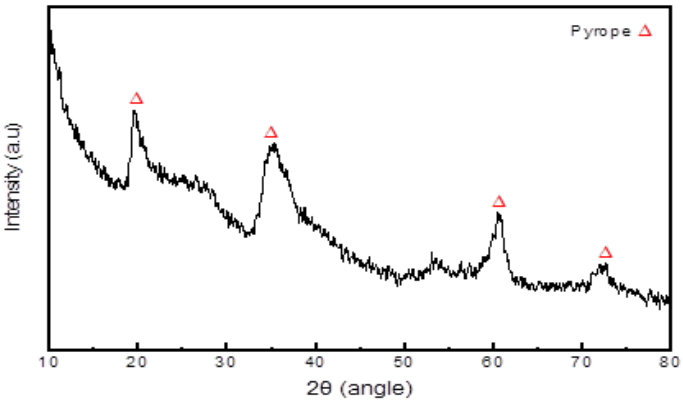
Seferihisar'dan alınan kabuk görünüş itibari ile Yarımada sahalarından daha farklıdır. Siyah renge sahiptir (Şekil 6.27). Tablo 6.6'da bu kabuğun elemental içeriği görülmektedir. XRF sonuçlarına göre siyah kabuk baskın olarak Silisyum (Si) %23,46, Mg %14,64 ve Fe %11,44 içermektedir. Bununla birlikte, Ca ve Mn da kütlece %2,38 ve %3,05 civarındadır. Ayrıca, Na da bu kabukta eser miktarda yer almaktadır.

Siyah renge sahip kabuk beyaz çizgiler barındırmaktır. Beyaz çizgiler $CaCO_3$'tan oluşmaktadır. Kabuğun oluşum sürecinde $CaCO_3$ antiskalantının bir nedenle sisteme verilemediği durumlarda (örneğin pompa arızası) oluşmuştur. Şekil 6.28'de kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı, Şekil 6.29'da ise kabuk örneğinin SEM görüntüleri bulunmaktadır. Pyrope (JCPDS: 96-900-1424) esaslı bir eşleşmeye rastlanmaktadır.

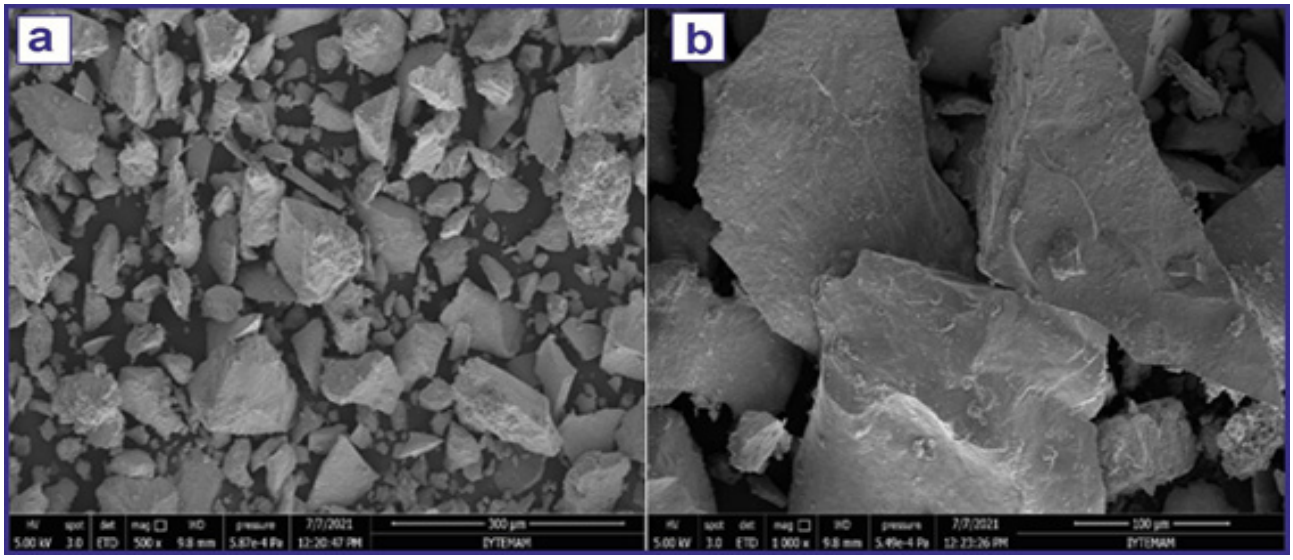
ŞEKİL 6.27: Seferihisar sahasından alınan siyah kabuklaşma örneği.



ŞEKİL 6.28: Seferihisar'dan alınan siyah kabuk örneğinin X-ışını difraktogramı.



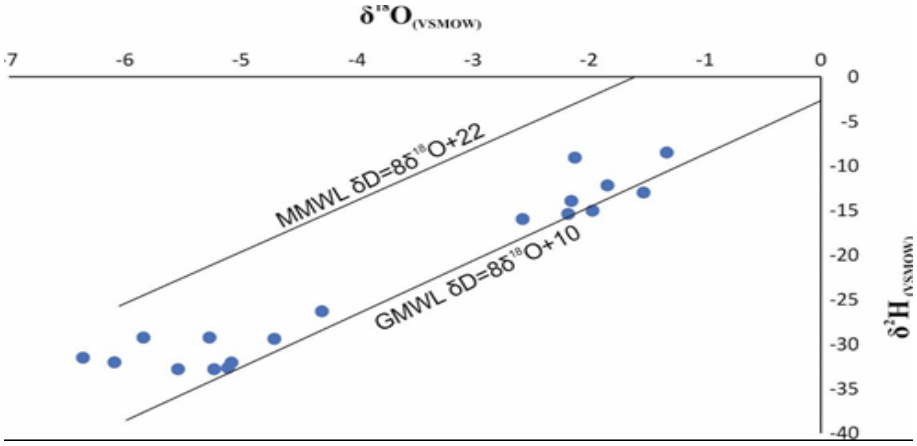
ŞEKİL 6.29: Seferihisar kabuk SEM görüntüleri a) 500 büyütme b) 1.000 büyütme.



6.2.2.4. İzotopik Analizler

Önceki çalışmalarda [121, 123, 127], Cumaovası Havzası jeotermal sahaları çevresindeki jeotermal ve soğuk su örneklerinden izotopik hidrojeoloji analizi yapılmıştır. Tüm bu çalışmalarda, jeotermal sahaların jeotermal akışkanlarının meteorik kökenli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.30). Yapılan ölçümlerde, sıvı numunelerinde önemli bir buharlaşma ve Oksijen-18 değişiklikleri tespit edilmemiştir ve Trityum içeriklerinin oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Düşük Trityum değerleri, yeraltısuyu sirkülasyonunun ve geçiş süresinin nispeten uzun olduğunu göstermektedir. Bu sirkülasyon döneminde su-kaya etkileşimi meydana gelir ve bu da Oksijen-18 zenginleşmesine neden olur. Cumaovası Havzası jeotermal sahasında deniz suyu girişi nedeniyle Oksijen-18 ve Döteryum oranlarında da artışlar tespit edilmiştir. Bu nedenle deniz suyundan Na+ iyonlarının sisteme eklenmesi korozyon için önemli bir koşuldur.

ŞEKİL 6.30: Cumaovası Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.



Daha önce yapılan jeokimyasal çalışmalar, Cumaovası Havzası jeotermal sahalarındaki akışkanların $CaCO_3$ bileşimli kalsit ve aragonit, $MgCO_3$ bileşimli manyezit ve $CaMg(CO_3)_2$ bileşimli dolomit mineralleri ile doymuş olduğunu göstermektedir. Bu, sahalarda üretim sırasında potansiyel olarak Ca ve/veya Mg-CO_3 kabuk oluşumuna yol açacaktır, ayrıca Na-Cl'nin varlığı, sıvının korozyona yol açabileceğini göstermektedir. Bu sorun teknik olarak bir risk olarak görülse de günümüzde inhibitör teknolojisi ile en aza indirmek mümkündür.

6.2.3. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

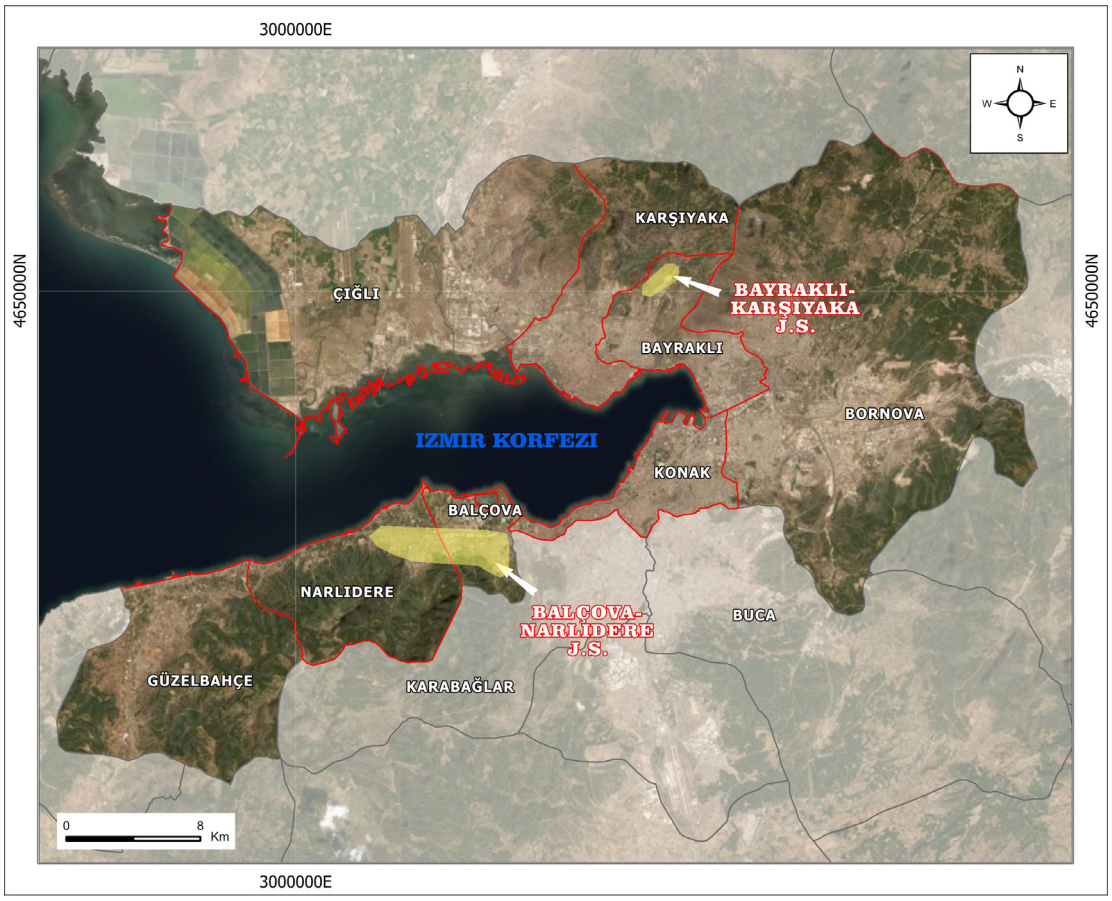
Seferihisar sahası orta/yüksek sıcaklık ve debiye sahip, oldukça verimli bir sahadır. Söz konusu bölge için mevcut elektrik üretiminin yanında, bölgesel ısıtma/soğutma, termal otel ısıtma/soğutma, tedavi/kür merkezlerinde kullanım, seracılık, kurutma, balık çiftliklerinde katma değeri yüksek tropikal türlerin yetiştirilmesi, mineral eldesi vb. uygulamalar için fizibilite çalışmalarının yapılması gerekir. Ayrıca bu alanda, kabuklaşma problemleri dikkate alınarak jeotermal santralin atık ısısının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar desteklenmelidir.

6.3. İzmir Körfezi Jeotermal Sahaları

Proje kapsamında İzmir Körfezi İç Havzası olarak belirlenen alan Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı, Bornova, Konak, Balçova, Narlıdere ve Güzelbahçe ilçe sınırlarını kapsayan alana karşılık gelmektedir. Çalışma alanı, kuzeybatıda Gediz Havzası'nda bulunan Menemen ilçesi ile sınırlandırılmış iken güneyde Seferihisar yükselimi, kuzeyden de Yamanlar yükselimi ile sınırlanmıştır. Çiğli ilçesinin bir bölümü hidrolik olarak Gediz Havzası sınırları içerisinde yer alsa da jeotermal özellikleri göz önünde bulundurularak bu sistem içerisinde değerlendirilmiştir. Bu kısımda Balçova-Narlıdere ve Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli jeotermal sahaları kapsamlı şekilde incelenecek ve şu anda mevcut jeotermal kaynağı bulunmayan diğer ilçeler için potansiyel alan önerileri yapılacaktır (Şekil 6.31).

İzmir Körfezi jeotermal sistemleri içerisinde Balçova-Narlıdere ve Çiğli-Karşıyaka-Bayraklı jeotermal sahaları incelenmiştir. Jeotermal sahaların sınırları incelendiğinde, Balçova-Narlıdere jeotermal sahası İzmir Fayı'na paralel bir şekilde Balçova ve Narlıdere ilçe sınırlarında ve batıda Güzelbahçe'ye doğru uzanan bir jeotermal saha iken, son zamanlarda yoğun şekilde araştırılmaya başlanan Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli sahası, yaklaşık KD-GB doğrultulu fay zonları boyunca gelişeceği düşünülen, şu anda mevcut kuyuların olduğu alan ile tanımlanan ancak gerçek rezervuar sınırları bilinmeyen bir jeotermal sahadır.

ŞEKİL 6.31: İzmir Körfezi jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.



6.3.1. Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası

6.3.1.1. Genel Bilgiler

Balçova-Narlıdere jeotermal sahası, İzmir il merkezinin yaklaşık 10 km batısında olup İzmir Körfezi'nin güney sahili kenarında yer almaktadır. Çalışma alanı, doğusunda Buca ve Konak, batısında ise Güzelbahçe ilçesi ile sınırlıdır. İzmir Körfezi'nin güneyindeki Çatalkaya Dağı'nın eteklerinde kurulmuş olan Balçova'nın en önemli dereleri Yahya, Sarıpınar ve Hacıahmet derelerinin birleştiği Mollakuyu ve Ilıca derelerdir. Deniz seviyesinden yüksekliği 10-400 m arasında değişen Balçova'nın yüzölçümü 29 km^{2}dir.

Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası, Türkiye'de jeotermal enerjiden daha etkili ve verimli şekilde yararlanmak için bilimsel çalışmaların başlatıldığı ilk sahadır. Sahada 1963 yılında jeotermal enerji elde etmek ve sahanın potansiyelini belirleyebilmek için, MTA tarafından sığ jeotermal kuyuların açılmasına başlanmıştır. 1980'li yılların başına kadar devam eden saha tanımlama ve kısmi üretim uygulamalarının ardından, 1983 yılında ilk kuyular açılmaya başlamıştır. MTA'nın çalışmaları ile yaklaşık 50 yıl önce başlayan jeotermal enerji araştırmaları günümüzde İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. öncülüğünde devam etmektedir.

6.3.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Balçova-Narlıdere jeotermal alanında İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'ne ait 2087 numaralı ruhsat alanında 26 adet kuyu olup, bunlardan 16 tanesi üretim ve 5 tanesi ise re-enjeksiyon amaçlı kullanılmaktadır. Üretim amaçlı kuyulardan 5 adedi sığ kuyudur. Diğer kuyular ise derindir. 2013-2015 yılları arasında 6 adet kuyu yenilenmiştir. Bu alanda üretim ve re-enjeksiyon kuyuları dışında araştırma amaçlı açılan 4 adet gradyan kuyusu, İzmir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı'na ait 6 adet üretim kuyusu ve özel şahıslara ait jeotermal amaçlı açılmış 5 adet kuyu bulunmaktadır. Toplamda Balçova jeotermal sahasında 37 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyulardan 22 adedi aktiftir. Ayrıca, jeotermal sahada yaklaşık 400 km boru hattı, 9 adet ısı merkezi, 2 adet alt ısı merkezi, 2 adet pompa (terfi) istasyonu bulunmaktadır [128].

ŞEKİL 6.32: Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında yer alan ısı merkezlerindeki üretim kuyularına örnekler.

Kaynak: İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.

6.3.1.3. Stratigrafi

İnceleme alanı kuzeyden Gediz Deltası ve Yamanlar Yükseltisi ile güneyden Seferihisar Yükseltileri ile sınırlı yaklaşık D-B uzanımlı İzmir İç Körfezi'nin güney kenarında Narlıdere ve Balçova ilçe yerleşimlerinin yaklaşık orta noktasında yer almaktadır. Çalışma alanı sınırları içerisinde birbirlerinden ana uyumsuzlukla ayrılan; Geç Kretase-Paleosen yaşlı İzmir Filişi ve Kuvaterner-Holosen Alüvyon çökelleridir (Şekil 6.33). Temelde yer alan filiş birimleri Narlıdere ilçesinin güneyinde Oligosen yaşlı granodiyoritler tarafından kesilmektedir.

İnceleme alanında filişin matriksini oluşturan birimler gözlenmektedir [128]. Genel anlamda İzmir Fayı'nın yükselmiş olan taban bloğunda yer alan temel birimler, sahada kuyuların bulunduğu alanın güneyinde yüzlek vermektedir. Filişin matriksini oluşturan birimler kumtaşı, çamurtaşı ve şeyl litolojilerinden oluşmaktayken yer yer rekristalize kireçtaşı ve kumtaşı blokları da gözlenir. Kumtaşları grimsi sarı-kahverengimsi bordo renklerde, ince ve orta katmanlı, orta yüksek dayanımlıdır. Çamurtaşları ise genelde ince katmanlı ve düşük orta dayanımda gözlenirler. Yeşilimsi gri, grimsi kahve renkli çamur ve şeyller ise düşük dayanımlıdır [128].

ŞEKİL 6.33: Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Balçova-Narlıdere Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
İzmir Filişi

Örtü Birimler
Kurvartner Birimleri, İzmir Filişi (İnce Taneli Çamurtaşı-Şeyller)

Yapısal Kontrol
İzmir Fayı ve Agamemnon Fayları

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan
Magmatizma (?)

Sıcaklık Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **140°C***

Debi Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **100 lt/s***

İnceleme alanı içerisinde yüzlek veren Kuvaterner-Holosen yaşlı birimler az pekleşmiş tortullar ve kırıntılı bir litolojiye sahiptir. Kolüvyonel çökeller, alüvyon yelpazesi çökelleri ve alüvyon düzlüğü çökelleri olarak üç ana grupta toplanan güncel birimler özellikle İzmir ve Agamemnon Fayları ile İzmir Körfezi arasında

çökelmiştir. İnceleme alanı içinde yapılan sondaj verileri, birimlerin kalınlıklarının yer yer 15 metreden kalın olduğunu ve inceleme alanının güney sınırında, filiş birimlerinin ince kırıntılı çökelleri üzerinde uyumsuzlukla oturduklarını göstermektedir. Fay segmentleri ile ilişkili kolüvyon çökeller genelde alüvyon yelpazelerinin üst bölümlerindeki fay sarplıklarında sınırlı bir alanda yayılım göstermekte iken alüvyon yelpazeleri ile yanal ve düşey yönde geçişli olan alüvyon düzlüğü çökelleri ise kum ve çamur tortullarından yapılıdır. Fasiyes anlamında özellikle Ilıca Deresi'nin ve yan kollarının taşkın ve kanal çökelleri ile temsil edilen bu tortullar, yersel olarak akarsu rejimine bağlı gelişen kaba kırıntılı bölümlere de sahiptir.

6.3.1.4. Hidrojeoloji

Narlıdere ve Balçova bölgesine ait jeolojik, jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmalar bulunmaktadır [126, 129-135]. Ancak benzer jeolojik ve yapısal özelliklere sahip olan Karşıyaka, Bayraklı, Bornova ve Konak kesimi, jeotermal özellikleri ve potansiyeli bakımından detaylı olarak incelenmemiştir. Kuzey kesiminde Karşıyaka sınırları içerisinde özel bir şirkete ait iki kuyu bulunmaktadır. Proje kapsamında bu kuyulara ait suların kimyasal özellikleri temin edilip incelenmiştir.

Çalışma alanında taneli birimleri oluşturan Kuvaterner-Holosen yaşlı birimler, az pekleşmiş tortul kayalar ve/veya çökelimleri hala devam eden kırıntılı tortullar genel olarak dere yataklarında ve fay sistemleri ile kontrol edilen düzlüklerde gözlenmektedir. Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında taneli birimler (kolüvyonel çökeller, alüvyon yelpazesi çökelleri ve alüvyon düzlüğü çökelleri) yeraltısuyu içerecek özelliktedir. Taneli birimleri kesen hem soğuk hem jeotermal akışkan içeren kuyular bulunmaktadır. Birimlerde açılan kuyuların verimleri yüksektir. Jeotermal akışkanların alındığı sığ kuyular Kuvaterner birimlerdeki tektonik hatlarla ilişkilidir ve jeotermal akışkanlar faylar boyunca yüzeye ulaşır.

Çalışma sahasında temel birimlerde kireçtaşı blokları yaygın değildir. Jeotermal saha ve çevresinde İzmir Filişi kayaları genel anlamda metamorfize olmuştur, hidrojeolojik açıdan yeraltısuyu içermeyen akifelerdendir. Bu birimlerin geçirimlilik ve gözeneklilik değerleri oldukça düşüktür ancak temel birimlerde bulunan İzmir ve Agamemnon fayları birime ikincil geçirimlilik sağlayarak doğal jeotermal üretim zonu olarak kullanılmaktadır. Sondajlarla daha derin bir rezervuar olabilecek birimlere (örneğin Menderes Masifi birimleri) ait mermerler ile hidrolik ilişkili sistemlerden gelen jeotermal akışkanlara ulaşılmaktadır [136].

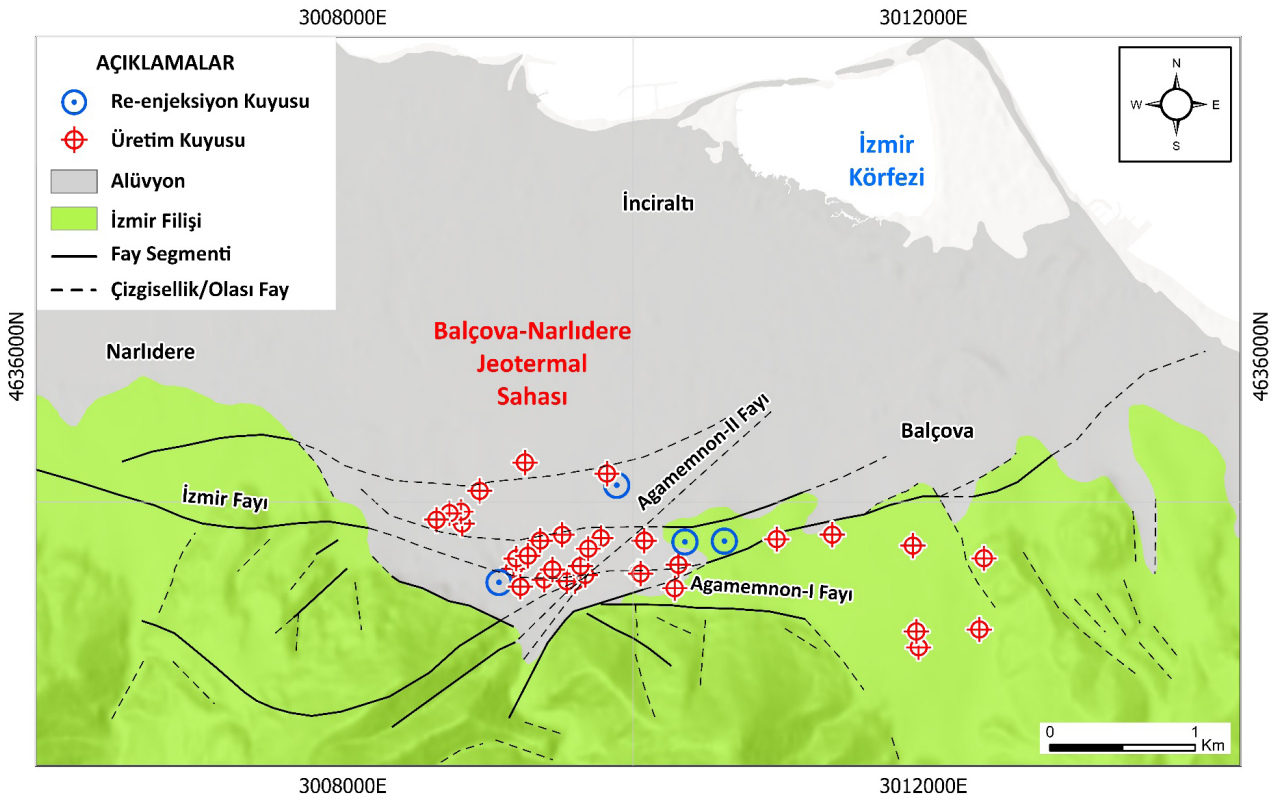
Alanda rezervuardan gelen jeotermal akışkan dolaşımı daha çok yapısal kontroller ile ilişkilidir. Ayrıca, İzmir Filişi içinde yüzlek veren karstik ve çatlaklı kayalarda rezervuar kaya özelliğindedir. Tektonik kontrolü jeotermal sistemin ısıtıcı kayacı inceleme alanın güneyinde yüzlek veren granodiyoritler ve jeotermal gradyandır. Filiş içerisinde yer alan çamurtaşı, şeyl seviyeleri ve güncel Kuvaterner çökelleri ise jeotermal sahasında örtü kayası görevini görmektedir.

6.3.1.5. Yapısal Jeoloji

İzmir-Balçova-Narlıdere jeotermal alanındaki başlıca yapısal elemanlar, jeotermal sistemi kontrol eden faylar ve kıvrımlardır. Bölgedeki ana yapısal kontrol İzmir Körfezi'ni güneyden sınırlayan İzmir Fayı'dır. Eski çalışmalarda İzmir Fayı'nın kollarından biri Agamemnon-I Fayı olarak bilinmektedir (Şekil 6.34). Sahada İzmir Fayı tarafından kesilen KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylar da bulunmaktadır [128]. Bunlardan KD-GB uzanımlı olan Ilıca Deresinden geçen fay ise Agamemnon-II Fayı olarak adlandırılmıştır.

İzmir Fayı'nın Balçova ile Güzelbahçe arasındaki bölümünde eksenleri yaklaşık KD doğrultusunda uzanan alüvyon yelpazeleri gelişmiştir. Ayrıca fayın yükselen bloğunda, KD-GB ve KB-GD gidişli faylar mevcuttur [76]. İzmir Fayı boyunca gözlenen dağ önü çizgiselleri, alüvyal yelpazeler, ütü altı yapıları (iron-flat structures), üçgen yüzeyler ve drenaj ağları gibi jeomorfolojik indisler, İzmir Fayı'nın normal fay şeklinde Holosen'de aktif olduğunu göstermektedir [66, 75, 76]. Ayrıca çalışma alanı içerisinde konumlanan İzmir Ekonomi Üniversitesi Kampüs alanı ve Kaya Termal Otel civarında, İzmir Fayı'na ait fay parçaları boyunca Holosen fay sarplığı olarak nitelendirilebilecek topoğrafyadaki morfolojik kırılmalar saptanmıştır. Aktif olan İzmir Fayı ve özellikle jeotermal sahada Agamemnon Fayları ile diğer segmentlerin kesiştiği bölgede jeotermal aktivite için oldukça uygun geçirimli zonlar oluşmuş ve derinlerden gelen jeotermal akışkanlar yüzeye yakın seviyelere ulaşabilmiştir.

ŞEKİL 6.34: Balçova-Narlıdere jeotermal sahalarına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Sözbilir ve Baba [128] ve Uzel ve Sözbilir [74]'den yararlanılmıştır.

6.3.1.6. Kaynak Potansiyeli

Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası'nda mevcut üretim kuyuları ile kullanımda olmayan 2 adet kuyunun toplam debisi 2.191,3 lt/s, sıcaklık aralığı ise 95-195,5°C'dir. Elde edilen debi aralıkları oldukça geniş olduğu için ortalama debi değerleri tabloya işlenmiştir. Bu kuyuların ortalama sıcaklık ve debi değerleri için farklı çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak hesaplanan ısıl potansiyel değerleri Tablo 6.8'de verilmiştir. 35°C çıkış sıcaklığı için sahanın potansiyeli 988,7 MWt'dir. Sahada bulunan çeşitli uygulamalardan biri ve en büyüğü olan Balçova-Narlıdere Bölgesel Isıtma Sistemi'nin Kurulu gücü 38.460 konut eşdeğeri, ısıtma için 145 MWt (110-120°C giriş, 55-60°C çıkış sıcaklığı) olup 671 lt/s debide akışkan kullanılmaktadır. Tablo 6.7'de kısmi kullanımda olan kuyular, termal otel kuyusu ve kullanılmayan kuyular dışındaki 15 kuyunun minimum debisi 757 lt/s'dir ve Bölgesel Isıtma Sistemini desteklemektedir. Kullanımda olmayan ve kısmi kullanımda olan kuyuların minimum debisi 490 lt/s'ye ulaşmaktadır. Büyük bir potansiyele sahip sahada yeni kuyuların açılması ile bölgesel ısıtma sistemi kapasitesinin geliştirilmesinin yanısıra soğutma, elektrik üretimi vb. uygulamalar gerçekleştirilebilir. Kuyuların yaz döneminde akışkan eldesi dışında dinlendirilmesi ve düşen su seviyesinin ısıtma sezonuna kadar artması için yaz aylarında soğutma sistemi uygulaması yapılması düşünülmemekle birlikte kış aylarında soğutma ihtiyacı olan hastane vb. binalarda uygulama planlanabilir.

6.3.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası'nda mevcut üretim kuyuları ile kullanımda olmayan 2 adet kuyunun toplam debisi 919,0 lt/s, sıcaklık aralığı ise 95-140,0°C'dir. Bu kuyuların ortalama sıcaklık ve debi değerleri için farklı çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak hesaplanan ısıl potansiyel değerleri Tablo 6.8'de verilmiştir. 35°C çıkış sıcaklığı için sahanın potansiyeli 395.2 MWt'dir. Sahada bulunan çeşitli uygulamalardan biri ve en büyüğü olan Balçova-Narlıdere bölgesel ısıtma sisteminin kurulu gücü 38.460 konut eşdeğeri, ısıtma için 145 MWt (110-120°C giriş, 55-60°C çıkış sıcaklığı) olup 671 lt/s debide akışkan kullanılmaktadır. Büyük bir potansiyele sahip sahada yeni kuyuların açılması ile bölgesel ısıtma sistemi kapasitesinin geliştirilmesinin yanısıra soğutma, elektrik üretimi vb. uygulamalar gerçekleştirilebilir. Kuyuların yaz döneminde akışkan eldesi dışında dinlendirilmesi ve düşen su seviyesinin ısıtma sezonuna kadar artması için yaz aylarında soğutma sistemi uygulaması yapılması düşünülmemekle birlikte kış aylarında soğutma ihtiyacı olan hastane vb. binalarda uygulama planlanabilir.

TABLO 6.8. Balçova-Narlıdere sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q* (lt/s)	T_g* (°C)	Q (kW)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
B-7	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	38	96	9.782,0	10.583,8	11.385,6	12.187,4
B-10A	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	30	99,5	8.165,7	8.798,7	9.431,7	10.064,7
B-4	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma Kısmi Kullanım	15	100	4.114,5	4.431,0	4.747,5	5.064,0
B-1	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma Kısmi Kullanım	27	102	7.634,0	8.203,7	8.773,4	9.343,1
B-5	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	38	102	10.744,1	115.45,9	12.347,7	13.149,5
BD-15	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	22	105,6	6.554,5	7.018,7	7.482,9	7.947,1
BD-1	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	16	110	5.760,0	6.144,0	6.528,0	6.912,0
BD-5	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	80	115	30.720,0	32.640,0	34.560,0	36.480,0
BD-7A	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	30	110	10.800,0	11.520.,0	12.240,0	12.960,.0
B-2	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	15	117	5.141,4	5.454,9	5.768,4	6.081,9
B-9	Üretim Kuyusu	Termal Otel	6,5	125	2.808,0	2.964,0	3.120,0	3.276,0
BD-14	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	38	127	16.780,8	17.692,8	18.604,8	19.516,8
BD-2	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	50	132	22.080,0	23.280,0	24.480,0	25.680,0
BD-4A	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	60	131,5	31.266,0	32.886,0	34.506,0	36.126,0
BT-6	Üretim Kuyusu	Kullanılmıyor	33	135	15.840,0	16.632,0	17.424,0	18.216,0
BD-6A	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	80	135	38.400,0	40.320,0	42.240,0	44.160,0
BD-12	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	60	137	29.376,0	30.816,0	32.256,0	33.696,0
BD-13	Üretim Kuyusu	Kullanılmıyor	80	137	39.168,0	41.088,0	43.008,0	44.928,0
BD-9	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	100	138,5	49.680,0	52.080,0	54.480,0	56.880,0
BD-11	Üretim Kuyusu	Kentsel Isıtma	100	140	50.400,0	52.800,0	55.200,0	57.600,0
TOPLAM			919,0	119,8	395.215,0	416.899,5	438.584,0	460.268,5

**Debi ve sıcaklık aralıklarında farklı çalışmalarda farklı değerler mevcuttur. Bu sebeple bazı kuyularda ortalama alınarak hesaplamalara dâhil edilmiştir.*

Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi, 2.767 konut eşdeğeri (K.E.) (1 K.E.=100 m²) ısıtma kapasitesi ile 1996 yılında Türkiye'nin ilk bölgesel ısıtma sistemi olarak devreye alınmıştır. Yıllar içerisinde kapasite artırımı ile Narlıdere ilçesinin bir kısmını da kapsayan sistem Balçova-Narlıdere Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi olarak anılmaktadır. Konut ısıtmasının yanısıra termal turizm tesisleri, hastane, üniversite, yurt, fakülte binalarına ve bir miktar sera uygulamasına da enerji hizmeti verilmekte olup toplam kapasite 38.460 K.E. (145 MWt)'ne ulaşmıştır. Açılan 2 yeni kuyu ile kapasitenin 173 MWt'e ulaşması beklenmektedir.

Ayrıca, örnek bir uygulama olarak 2017 yılında 210 kW'lık soğutma kapasitesi ile bir absorbsiyonlu soğutma sistemi İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'nin sahada bulunan yaklaşık 2.000 m² alana sahip idari binasında kullanılmaya başlanmıştır [137].

Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası'nda çeşitli Ar-Ge çalışmaları ile hem jeotermal kaynağın kullanım alanlarının artırılması, hem de jeotermal sistemlerin geliştirilmesi üzerine çalışılmaktadır (Şekil 6.35). Bu çalışmalar sahaya bir Jeotermal Araştırma/Uygulama Merkezi kimliği de kazandırmaktadır. Sahada geçmişten bugüne üniversiteler ve özel sektör tarafından yürütülen çeşitli araştırma projeleri mevcuttur.

ŞEKİL 6.35: Balçova jeotermal sahasındaki yer alan a) ısıtma merkezi, b) arıtma, c) kurutma ve d) tarımsal ürün yetiştirme uygulamaları.

Bunlardan bazıları; jeotermal akışkanda bor giderimi, jeotermal enerji kullanılarak tarımsal ürünlerin kurutulması, jeotermal uygulamaların çevresel etkilerinin incelenmesi, jeotermal korozyon ve kabuklaşma mekanizmalarının belirlenmesi, jeotermal sistemlerin otomasyonu, elektrik üretim sistem prototiplerinin testleri, bölgesel ısıtma sistemi enerji verimliliğidir. Bu çalışmalardan en yenisi 2020 yılında Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve Ege Üniversitesi iş birliğinde ve Türkiye-Polonya ortaklığında yürütülen jeotermal akışkanın tarımsal uygulamalarda kullanımı projesidir.

Proje kapsamında, atık jeotermal akışkan re-enjekte edilmeden önce iki amaçla kullanılmaktadır:

1. Arıtılarak tarımsal sulama
2. Bir sıcak hava kurutma sisteminde enerji kaynağı olarak havayı ısıtma

Arıtılan jeotermal akışkan ile sulama yapılarak yetiştirilen ürünler bu kurutucuda kurutulmaktadır. Su-enerji-gıda üçgeninde önemli bir rol alabilen jeotermal akışkan su kıtlığının yaşanmaya başladığı günümüzde gıda güvenliği açısından önemli bir alternatif olacaktır [138, 139].

6.3.2. Çiğli-Bayraklı-Karşıyaka Jeotermal Sahası

6.3.2.1. Genel Bilgiler

Jeotermal saha günümüzde yaklaşık üç ilçenin sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu ilçeler Çiğli, Karşıyaka ve Bayraklı ilçeleridir. Çiğli günümüzde yerleşim yerlerinin gelişmekte olduğu, sanayi bölgeleri, doğal ortamlar, askeri havalimanı ve üniversitelerin bulunduğu bir ilçedir. 1937 yılında Türkiye'nin ilk hayvanat bahçesi olarak Kültürpark içerisinde kurulan Fuar Hayvanat Bahçesi, 2008 yılında Çiğli Sasalı'da Türkiye'nin ilk Doğal Yaşam Parkı'na dönüştürülmüştür. İzmir'in 25 km kuzeybatısında, Gediz Nehri'nin eskiden döküldüğü yerde, tuzcul ve tatlı su ekosistemleri, koylar, tuzlalar ve lagünler (dalyan)'den oluşan Gediz Deltası içindeki 1. derece doğal sit alanı ve sulak alandır. Bu alan günümüzde 288 farklı türden yaklaşık 90.000 kuşa ev sahipliği yapmaktadır [29].

Karşıyaka ve Bayraklı ilçeleri ise metropol ilçeleri içerisinde son yıllarda oldukça ilgi gören yerleşimlerdendir. Karşıyaka ilçesi 19. yüzyıl Batı kaynaklarında "Kordelio" adı altında anılmıştır. Birkaç mahallede yapılan tarım günümüzde birkaç bahçe ile sınırlıdır. Benzer tarım alanları Bayraklı'nın tarihinde de mevcuttur ancak günümüzde Bayraklı gökdelenler ilçesi olarak anılmaya başlanmıştır. Tarihi Smryna kentini sınırları içerisinde bulunduran Bayraklı yerleşimi 2020 yılındaki Samos depreminden zemin özellikleri sebebiyle etkilenmiş, can kayıpları ve maddi hasarlar meydana gelmiştir.

İzmir İç Körfezi'nin kuzeyinde yer alan Bayraklı ve Karşıyaka ilçeleri son yıllarda jeotermal enerji açısından oldukça ilgi çekmeye başlamıştır. Gediz Havzası'nda yer alan Çiğli sahasında yapılan çalışmalar yakınlığı sebebiyle Karşıyaka ve Bayraklı ilçelerinde de jeotermal enerji potansiyeli ile ilgili çalışmaları başlatmış, Balçova sahasında olduğu gibi özellikle kentsel ısıtma ile ilgili fizibilite çalışmalarına başlanmıştır. Bu üç saha günümüzde jeotermal enerji açısından İzmir kenti için önemli potansiyeli olabilecek bir konumdadır.

6.3.2.2. Jeotermal Kaynaklar

Jeotermal sahada en ciddi çalışmalar 1998 yılında MTA tarafından Çiğli Belediyesi için yapılmış ancak sondaj aşamasına geçilememiştir. Bölgede 1997 yılında İzmir Valiliği tarafından yaptırılan ve 55°C sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilen Ulukent kuyusunun dışında 2011 yılına kadar jeotermal amaçlı sondaj yapılmamıştır. Yeni yapılan jeotermal çalışmaların ışığında, Çiğli sahasında, yaklaşık doğu-batı uzanımlı Karşıyaka Fayı ile Balçova'dan kuzeye doğru İzmir Körfezi'ni geçerek devam eden kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu fay hattının kesişme zonunda jeotermal sondaj lokasyonları belirlenmiştir.

Çiğli-Karşıyaka bölgesindeki jeotermal sistemin en önemli belirtileri hidrotermal alterasyonlar, Menemen-Ulucak yerleşimi yakınında 55°C, Çiğli-Balatcık'ta yapılan sondajda 42°C sıcaklık ile Bayraklı-Karşıyaka ilçe sınırında iki jeotermal kuyuda 75°C'de jeotermal akışkan elde edilmesidir [140]. Mevcut durumda iki jeotermal üretim kuyusu bulunan sahada ve komşu ilçelerde (örneğin Bornova-Halkapınar kuyuları) sanayi ve yerleşimlerde bazı su kuyularında 20°C'nin üzerinde sıcaklıklara rastlanmıştır.

6.3.2.3. Stratigrafi

Bölgenin genel stratigrafik istifinde en altta Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi yer alır. İzmir Filişi bölgede hafif metamorfizma geçirmiş kiltaşı, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, spilit, radyolarit bloklu kayaçlardan oluşmuş karmaşık bir birimdir. Neojen kaya birimleri KD-GB ve yaklaşık D-B doğrultulu fay segmentleri ile sınırlanmıştır ve volkanizmadan oldukça etkilenmiştir. Temel birimlerin üzerinde çalışma alanı ve çevresinde yüzeyden derine doğru alüvyon, yamaç molozu, Yamanlar Volkanitleri (tüf, andezitik ve dasidik lavlar, piroklastikler), kumtaşı, kiltaşı ve filiş birimleri yer almaktadır (Şekil 6.36).

Bölgedeki stratigrafik istifte bahsedilen birimler jeotermal amaçlı açılan iki kuyu logunda da kesilmiştir [141]. Yapılan sondajlardan ilkinde yüzeyden yaklaşık 30-40 m derinliğe kadar alüvyon ve volkanik birimlerden türeyen kırıntılı birimler ve yamaç molozu kesilmiştir. Daha sonra 200 m'ye kadar Yamanlar Volkanizması'na ait andezit birimi kesilmekte iken 200 m'den sonra İzmir Filişi kesilmiştir. 600 m'ye kadar devam eden filiş serileri içerisinde 600-750 m arası dasidik lavlar kesilip 750 m'de kuyu sonlandırılmıştır. Daha derin olan ikinci kuyuda ise 600 m'ye kadar tüfe ve dasidik tüfler kesilmekte iken 1300 m'ye kadar silisifiye dasidik lavlar kesilmiştir.

ŞEKİL 6.36: Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli jeotermal sahasına ait jeotermal sistemin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Yamanlar Volkaniti (Andrezitik ve Dasitik Lavlar)

Örtü Birimler
Yamanlar Volkaniti (Killi ve Tüflü Seviyeler)

Yapısal Kontrol
Karşıyaka Fayı ve KD-GB Doğrultulu Segmentler

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan, Volkanizma (?)

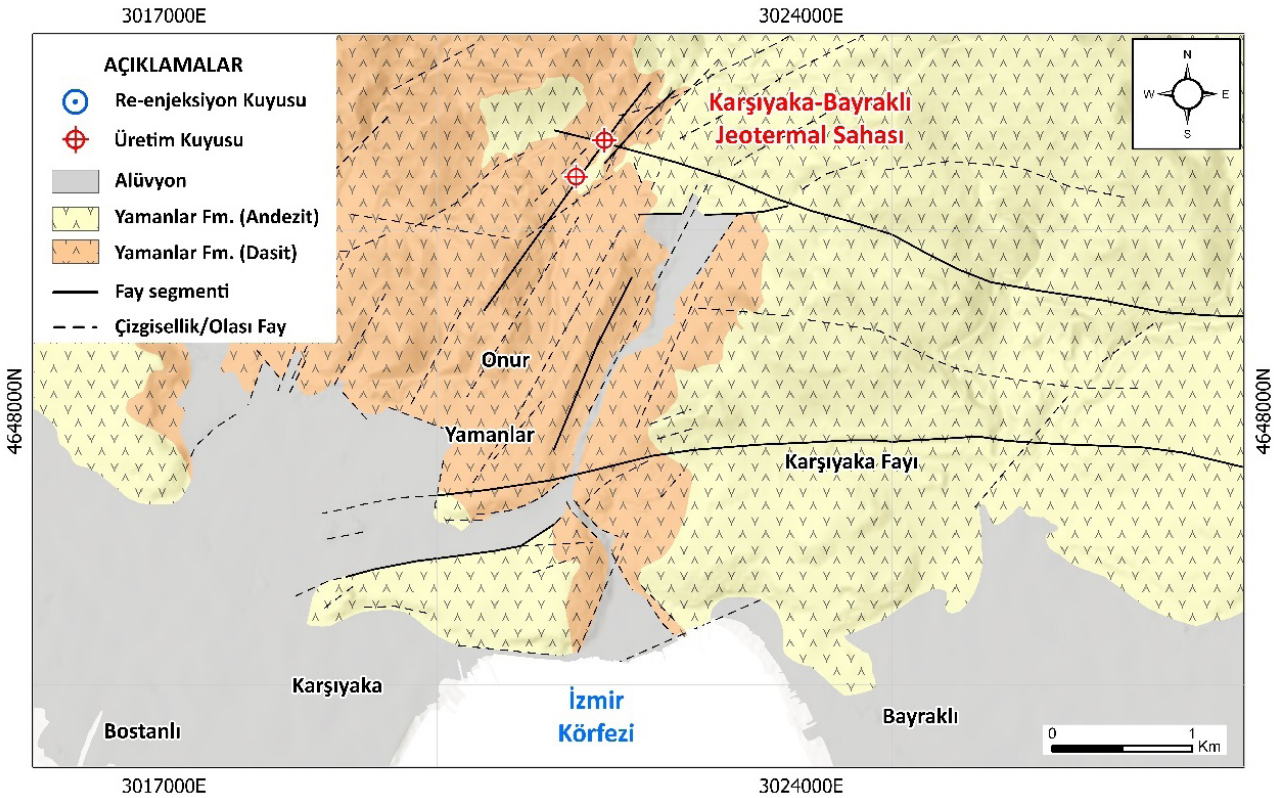
Sıcaklık Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
Kuyular : 75°C

Debi Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
Kuyular : 18 lt/s

6.3.2.4. Hidrojeoloji

Çiğli-Karşıyaka-Bayraklı jeotermal sisteminin rezervuar kayaçları çatlaklı kırıklı andezit, dasitler ve bu kayaçların fay zonlarıdır. Örtü kaya genelde neojen yaşlı kayaçların killi kısımları ve tüflerdir. Jeotermal sistemin büyük oranda kuzeyde bulunan Yamanlar Dağı'ndan beslendiği öngörülmektedir. Denize yakın olan Mavişehir bölgesinde ise Yamanlar Dağı haricinde bir miktar denizden de beslenme olmaktadır. Volkanik birimlerde yer alan kırık-çatlak sistemleri jeotermal akışkan dolaşımı için oldukça önemlidir. Karşıyaka Fayı ve kesiştiği diğer fay segmentleri Yamanlar Dağı çevresinde jeotermal sistem oluşumu için oldukça uygun bir ortam oluşturmuştur (Şekil 6.36 ve 6.37). Benzer şekilde Bostanlı-Mavişehir yerleşimlerinin olduğu alanda alüvyon birimler önemli hidrolik özellikleri ile birlikte yeraltısuyu içermekte ve derinlerde yer alan jeotermal sisteme önemli beslenme sağlamaktadır.

ŞEKİL 6.37: Çiğli-Karşıyaka-Bayraklı jeotermal sahasına ait kuyuların bulunduğu alanın jeoloji haritası.



Kaynak: Megapol [141] ve Akbaş ve diğ, [37]'den yararlanımıştır.

6.3.2.5. Yapısal Jeoloji

Ocakoğlu ve diğ. [68] İzmir Körfezi ve çevresinde denizde yaptıkları sismik çalışmalarda, K-G' den KD-GB ya kadar değişen doğrultularda ters bileşenli, doğrultu atımlı ve D-B uzanımlı normal fay sistemlerini tanımlamışlardır. Çalışma alanındaki genel tektonik hatlar da KD-GB, KB-GD, K-G, D-B yönlüdür. KD-GB doğrultulu tektonik hatlar İzmir Körfezi ve Yamanlar Dağı arasında uzanmaktadır. Bu fayların Balçova ve Tuzla Fayı ile aynı doğrultulu olması bazı çalışmalarda bu fay segmentlerinin körfezin güneyindeki fayların devamı niteliğinde olduğunu belirtmelerine sebep olmuştur.

İzmir Körfezi'nin güney sınırını oluşturan İzmir Fayı eğim atımlı normal fay olup Pınarbaşı'ndan başlayarak çeşitli sıçramalarla Güzelbahçe'ye kadar devam etmektedir. İzmir Fayı'na paralel sayılabilecek Karşıyaka Fayı (veya diğer bir adıyla Bornova Fayı), Bornova'dan Karşıyaka'ya kadar D-B uzanımlı olup Miyosen yaşlı volkanik birimleri ve Holosen çökelleri keser [140]. Karşıyaka Çiğli Menemen arasında fay KB-GD yönünde devam eder ve volkanik birimler ile düşen blokta bulunan alüvyon sınırını oluşturur. Fayın yükselen bloğundaki Miyosen yaşlı volkanik birimler KD-GB uzanımlı doğrultu atım bileşenli faylarla kesilmiştir [76].

Oluşturulan jeotermal modellemede; yüksek sıcaklıktaki akışkanın Karşıyaka Fayı'nın düşen bloğunda, Karşıyaka-Bayraklı, Mavişehir ve Çiğli organize bölgesi civarında da bulunabileceği öngörülmüştür. Balçova-Narlıdere sahasındaki yapısal kontrollerden olan Agememnon-2 Fayının, körfezin kuzeyindeki uzanımı, Çiğli-Egekent Sazlıcadere boyunca gözlenmiş ve bu fay hattı üzerinde doğal çıkışlar ve kuyularda 23-35°C sıcaklık aralığında jeotermal kaynaklar saptanmıştır [140]. Çiğli-Mavişehir bölgesinde yeni araştırma kuyuları planlanmış ve yakın zamanda araştırma sondajlarının başlanması ön görülmüştür.

6.3.2.6. Kaynak Potansiyeli

Saha henüz gelişmekte olup doğal çıkış ve kuyulardan elde edilen sıcaklıklar 25-75°C aralığındadır. Mevcut kuyular toplam 31,5 lt/s debiye sahip olup bu kuyuların mevcut ısıl potansiyeli 4,5-6,5 MWt arağında hesaplanmıştır (Tablo 6.9). Sahada sadece iki kuyu açıldığı için yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemekle birlikte jeotermometrelerin 40-91°C arasında bir rezervuar sıcaklığı vermesi orta entalpili bir saha olduğunu düşündürmektedir. Ancak, alanda yüzlek veren volkanik kayaçlarda alterasyonlar çok belirgindir. Arjilik alterasyon yoğundur. Bu nedenle, alterasyonlar bu alanda rezervuar sıcaklığının 150°C'ye ulaşabileceğini göstermektedir. Mevcut kuyular dikkata alındığında, sahanın geliştirilmesi kapsamında açılacak derin kuyularla bu potansiyelin daha net olarak ortaya çıkarılması gerekmektedir.

TABLO 6.9: Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
Mega-1	Üretim Kuyusu	?	18,0	75	3.016,8	3.393,9	3.771,0	4.148,1
Mega-2	Üretim Kuyusu	?	13,5	61	1.467,2	1.749,3	2.031,5	2.313,6
TOPLAM			31,5		4.484,0	5.143,2	5.802,5	6.461,7

6.3.2.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli sahalarında şu ana kadar lokal ölçekte çalışmalar yapılmıştır. Alanın jeolojik ve hidrojeolojik verileri bölgenin jeotermal potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Öncelikle alanda detay jeolojik ve jeofizik çalışmaların yapılması son derece önemlidir. Elde edilen veriler ile sondaj çalışmaları yapılmalı ve alanın rezervuarının ortaya konması gerekir. 100°C ve üzerinde yeterli debide jeotermal akışkan elde edilebilirse bölgede ısıtma ve soğutma uygulamaları ile Çiğli Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nde endüstriyel uygulamalarda doğalgaza alternatif olarak kullanılabilir. Aynı zamanda bölge termal oteller ve jeotermal balıkçılık için de uygundur.

6.3.3. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

6.3.3.1. Hidrojeokimyasal Özellikler

Balçova-Narlıdere jeotermal alanında farklı yıllarda bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, daha önce yapılmış olan hidrojeokimyasal analizlerin sonuçları ile yeni sonuçlar değerlendirilmiştir. Jeotermal sahada farklı dönemlerde yapılan hidrojeokimyasal veriler ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur. Bayraklı-Karşıyaka jeotermal sahası ise henüz araştırma aşamasında olan bir saha olduğu için oldukça sınırlı veri ve çalışma vardır.

İzmir Körfezi jeotermal alanının kuzeyinde bulunan Karşıyaka, Bayraklı, Bornova ve Konak bölgelerinde literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Karşıyaka'da özel bir şirkete ait iki kuyu bulunmaktadır ve verileri bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Balçova-Narlıdere jeotermal alanında açılan sığ kuyuların derinliklerinin önemli bir bölümü 200 m'den azdır. Derin kuyuların derinlikleri ise 400 ile 1.100 m arasında değişmektedir. Bu alandaki kuyuların sıcaklıkları 60-141°C arasındadır. İzmir Körfezi jeotermal alanının kuzeyinde bulunan Karşıyaka, Bayraklı, Bornova ve Konak alanlarını temsilen Karşıyaka'da açılan kuyularda jeotermal akışkanın sıcaklığı 68-75°C arasında ölçülmüştür.

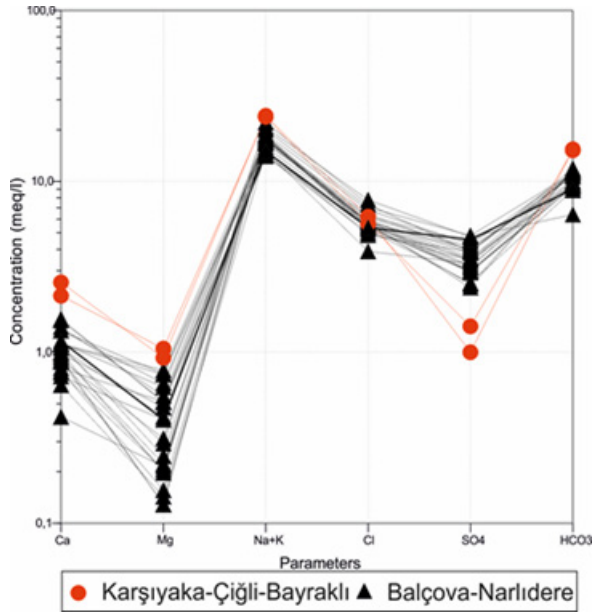
Ayrıca, Balçova-Narlıdere jeotermal alanında sulama amaçlı açılmış soğuk su kuyuları bulunmaktadır. Taneli birimlerden açılan sığ kuyularda debileri 10 lt/s geçen kuyular bulunmaktadır. Ayrıca, Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında Ilıca Deresi yer almaktadır. Ilıca Deresi sürekli akıma sahiptir. Özellikle yağışlı dönemlerde debisi yüksektir. Kurak dönemlerde debisi çok düşmektedir. Ilıca Deresi her türlü kirlilikten etkilenebilir özelliktedir. Ilıca Deresi dışındaki diğer yüzeysel su yapıları genelde mevsimsel özelliktedir [128].

Balçova-Narlıdere jeotermal alanında bulunan akışkanın Elektriksel İletkenlik (Eİ) değerleri 134-6.920 µS/cm; alanda sıcak akışkandaki Eİ değerlerinin yüksekliği su-kayaç etkileşiminin bir sonucudur. Ancak geçmiş yıllarda yapılan ölçümler incelendiğinde Eİ değerlerinde genel olarak azalma olduğu görülmektedir. Örneğin 2010 Şubat döneminde yapılan ölçümlerde Eİ değerlerinin 2.030-2.420 µS/cm, Haziran döneminde ise, 1.946-2.330 µS/cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu değişimin jeotermal kaynaklarda aşırı kullanım, soğuk su girişi ya da kullanımdan dönen akışkanların jeotermal kaynakların/rezervuarın yakın noktasına deşarjı/re-enjeksiyonu nedeniyle olduğu düşünülmektedir [142]. İzmir Körfezi jeotermal alanının kuzeyinde bulunan Karşıyaka jeotermal akışkanının Eİ değeri ise 2.150-2.310 µS/cm'dir.

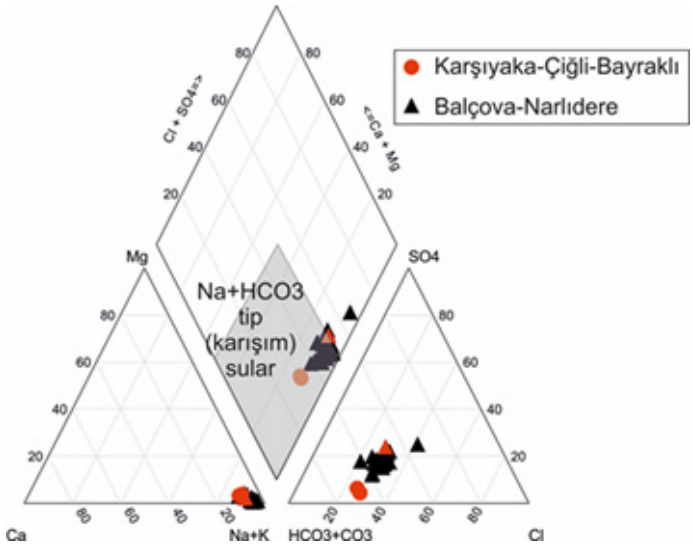
İzmir Körfezi jeotermal alanının güneyini temsilen Balçova-Narlıdere jeotermal alanında bulunan akışkanın pH değerleri ise 6,33-9,8 arasında değişmektedir. İzmir Körfezi kuzey alanını temsilen Karşıyaka jeotermal alanından derlenen akışkanların pH'ı 6,67-6,86 aralığındadır.

Balçova-Narlıdere jeotermal sahasındaki akışkanın kökensel ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla alanda yapılan çalışmalardan derlenen sonuçlar ile suların majör anyon ve katyon analizleri yapılmıştır. Schoeller diyagramına göre (Şekil 6.38), jeotermal sahadaki sıcak akışkanda hâkim katyon Na+K iken hâkim anyon HCO_3 olup bu sular $NaHCO_3$'lı sulardır. İnceleme alanında yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler sonucunda sıcak ve mineralli suların hâkim iyon diziliminin Na+K>Ca>Mg ve HCO_3>Cl>SO_4 şeklinde olduğu anlaşılmaktadır.

ŞEKİL 6.38: İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Schoeller diyagramı.



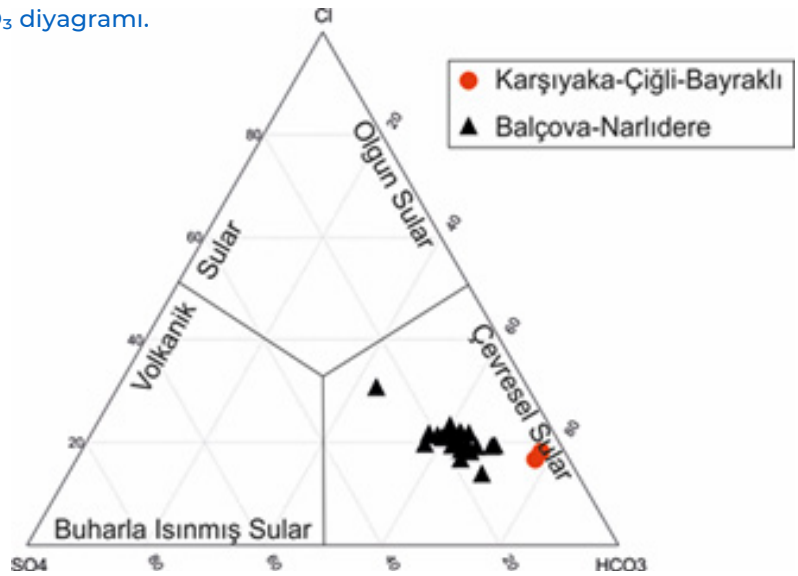
ŞEKİL 6.39: İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Piper diyagramı.



Piper diyagramlarına göre alandaki jeotermal akışkanlar (Na+K>Ca+Mg) bölgesinde yer alan tuzlu ve sodalı sular sınıfına girmektedir (Şekil 6.39). Ancak B-10 ve BD-7 kuyularının farklılığı majör-anyon katyon analizlerinde de kendini göstermektedir. Akışkanların diyagramda aynı bölgede yer almaları aynı kökenli olduklarını ve benzer dolaşım yoluna sahip olduklarını göstermektedir.

Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramında İzmir Körfezi jeotermal alanı olarak belirlenen jeotermal akışkan örnekleri HCO_3 (bikarbonat) sular alanına karşılık gelmekte olup olgun su olarak kabul edilirken, sığ dolaşımlı sular bikarbonat kısmına denk gelmektedir ve çevresel sular olarak kabul edilmektedir (Şekil 6.40).

ŞEKİL 6.40: İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.

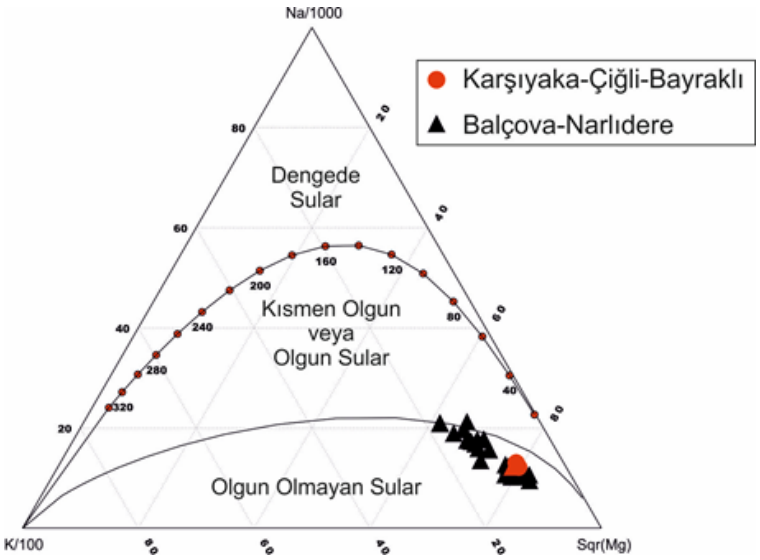


6.3.3.2. Jeotermometre Uygulamaları

Kimyasal jeotermometreler, rezervuar sıcaklık tahminleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. İzmir Körfezi güneyi olarak belirlenen Narlıdere-Balçova jeotermal sahasının rezervuar sıcaklığı a-Kristobalit jeotermometresine göre 83,12-117,89°C, Kalsedon jeotermometresine göre 106,7-146,44°C, Kuvars jeotermometresine göre 133,77-169,15°C ve İzmir Körfezi kuzeyi olarak belirlenen Karşıyaka-Bayraklı jeotermal sahasının rezervuar sıcaklığı a-Kristobalit jeotermometresine göre 37,05-40,43°C, Kalsedon jeotermometresine göre 56,17-59,87°C, Kuvars jeotermometresine göre 87,09-90,57°C dir.

Katyon jeotermometreleri Giggenbach [12] tarafından jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır. Diyagramda İzmir Körfezi jeotermal sahaları içerisindeki jeotermal akışkanlar genellikle olgun olmayan sular kısmında yer aldığı görülmektedir. Bu durum sığ dolaşımlı jeotermal akışkanların çatlak sistemleri sayesinde yüzeye yakın seviyelerden soğuk sularla karışması durumunu desteklemektedir (Şekil 6.41).

ŞEKİL 6.41: İzmir Körfezi jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.



6.3.3.3. Korozyon ve Kabuklaşma

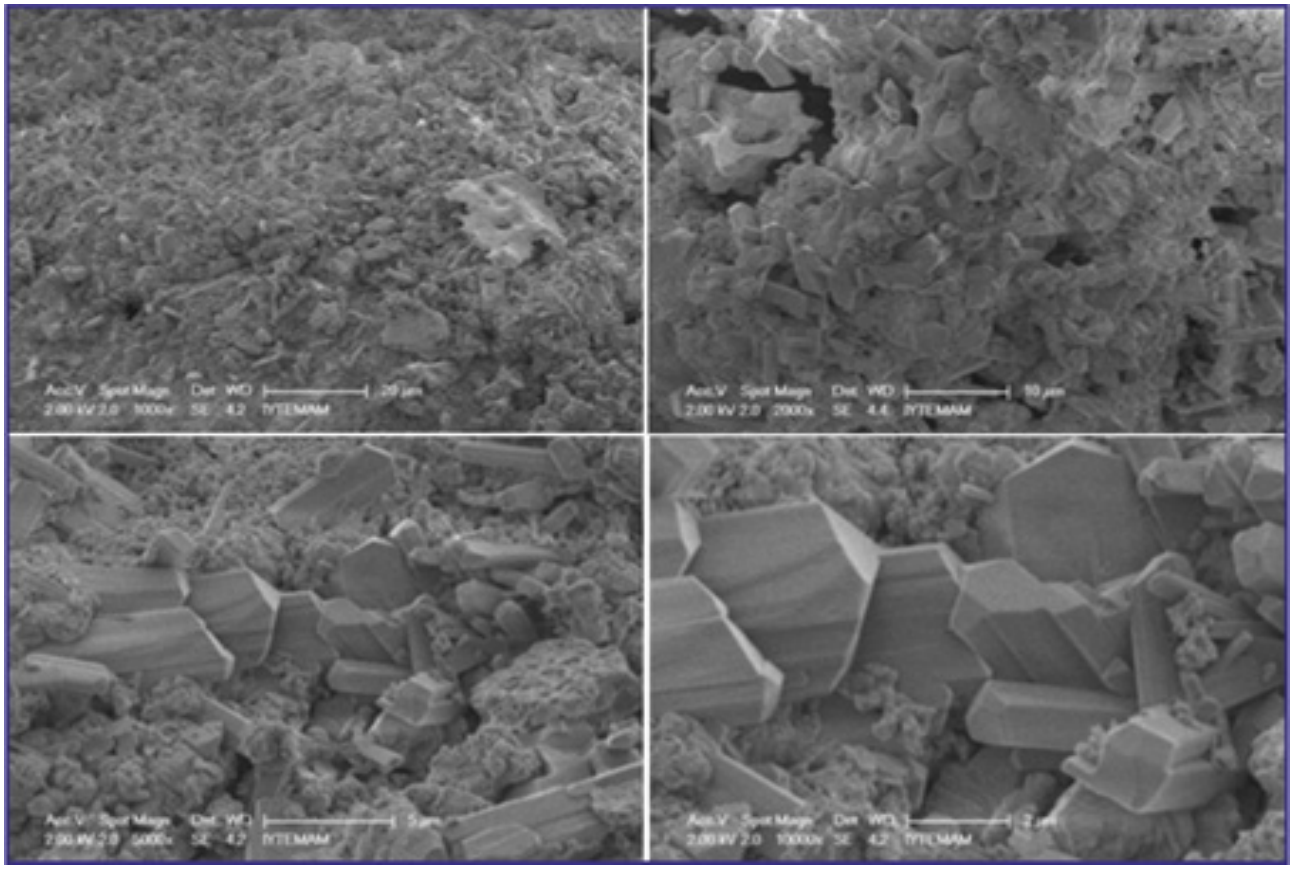
Bu çalışma kapsamında Balçova-Narlıdere sahasından alınan kabuk örneği korozyon ve kabuklaşma açısından değerlendirilmiştir. Sahadan alınan kabuk örneğinin daha çok Na ve Ca'dan oluştuğu anlaşılmaktadır. Anyon olarak ise en fazla klor bulunmuştur. Muhtemel yapı major kalsit $Ca(OH)_2$, minor ise NaCl'dür.

TABLO 6.10: Balçova'dan alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.

Element	Na	Cl	K	Mg	Al	Ca	Fe	S
Balçova-I	28,0	3,7	1,5	5,9	0,7	20,8	0,6	0,8

Kabuk yapısının morfolojisi taramalı elektron mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 6.42'de temsili dört görüntü yer almaktadır. İlk resim 100×100 μm^2lik bir alandan bilgi vermektedir. Kabuğun oldukça heterojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Son panelde görülen keskin ve şekilli olan madde tipik bir kristal örneğidir. Amorf yapıya sahip bölgeler var iken, uzunluğu 5 µm kalınlığı ise yaklaşık 2 µm olan kristal çubuklar bulunmaktadır.

ŞEKİL 6.42: Kabuk örneklerinin elektron mikroskop gösterimi.

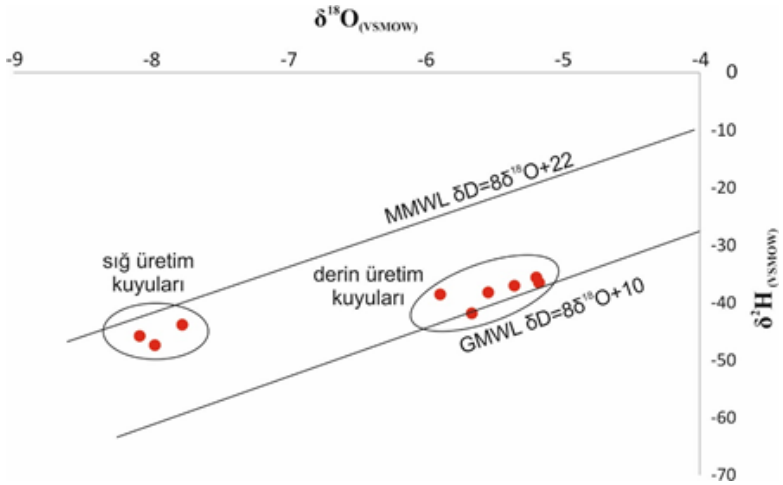


6.3.3.4. İzotopik Analizler

İzmir Körfezi jeotermal alanının beslenme özellikleri ile ilgili Aksoy [129], Çakın ve diğ. [143], Serpen [130] ve Sözbilir ve Baba [128] tarafından bir dizi araştırma yapılmıştır. Yapılan izotop çalışmalarında Narlıdere-Balçova jeotermal alandaki suların ^{18}O zenginleşmesi düşük olduğu vurgulanmıştır. ^{18}O zenginleşmesinin düşük olması, rezervuar beslenmesinin göreli olarak hızlı olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir [128]. Döteryum sonuçlarından, beslenme yüksekliği Aksoy [129] tarafından 465 m ve Yılmazer ve Büyükoktar [144] tarafından 535 m olarak hesaplanmıştır. Bu değerler suların yüksek kotlardan geldiğini göstermekte ve sahanın hemen güneyindeki dağlık kesim buna en uygun yer olmaktadır. Ilıca Deresi'nin 35 km²lik su toplama alanı dâhil olmak üzere, Balçova-Narlıdere güneyindeki yüksek rölyeften kıyıya inen derelerin toplam su toplama alanı yaklaşık 110 km² kadardır. Buna alüvyal düzlük de eklendiğinde, alan 135 km²'ye çıkmaktadır. Bu kesimler dikkate alındığında yağış alanın geniş olduğu görülmektedir.

İzmir Körfezi jeotermal sahaları içerisinden alınan numunelerde döteryum (‰) değerleri -35,80 ile -47,44, Oksijen-18 (‰) değerleri ise -8,10 ile -5,19 arasında değişmektedir. İzmir Körfezi jeotermal sahalarına ait verilere ilişkin döteryum-oksijen-18 ilişkisinde bakıldığında yüzey suların meteorik su çizgisi üzerinde yer aldığı, derin üretim kuyularının ise oksijence daha zenginleşmiş derin dolaşımlı sular olduğu görülmektedir (Şekil 6.43).

ŞEKİL 6.43: İzmir Körfezi jeotermal akışkanların Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.



6.3.4. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

İzmir Körfezi'nin güneyinde yer alan Balçova–Narlıdere jeotermal sahası kentsel ısıtma- soğutma ve termal turizm açısından Dünyanın en önemli örnekleri arasındadır. Bu alandaki akışkan ile elektrik üretimi de mümkündür. Özellikle sahasının düzlük alanları seracılık ve termal turizm açısından uygundur. Bu nedenle, alanda yenilikçi sera ve jeotermal eğitim merkezinin yapılması alanın farkındalığını daha da artıracaktır. Akışkandan bor kazanımına ilişkin çalışmaların da yapılması ve buna ilişkin pazarların oluşturulması önem taşımaktadır. Bu sahanın hem doğu hem de batı kesimlerinde araştırma sondajların yapılması, olumlu sonuç alınması durumunda bölgenin soğutulmasına ilişkin stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

İzmir Körfezi'nin kuzey ve batısına ilişkin şu ana kadar jeotermal amaçlı ciddi jeolojik çalışmalar yapılmamıştır. Ancak elde edilen veriler, alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri bu kesimlerin de jeotermal kaynaklar açısından potansiyel alanlar olabileceğini göstermektedir. Yapılacak sondajlardan elde edilecek akışkan sıcaklığı ve debisine bağlı olarak ısı pompası ile ısıtma/soğutma, endüstriyel kullanım, kaplıca uygulamaları ve balık/deniz ürünü üretimi gerçekleştirilebilir. Ayrıca, akışkanın özellikleri dikkate alınarak mineral kazanımına ilişkin çalışmalar gerçekleştirilebilir. Her iki sahanın jeolojik özellikleri dikkate alındığında mevcut halde bile jeotermal ısı pompaları ile alanın ısıtılabileceği değerlendirilmektedir.

6.4. Gediz Havzası Jeotermal Sahaları

Proje kapsamında Gediz Havzası olarak belirlenen alan Foça, Menemen, Kemalpaşa ve kısmen Çiğli ilçe sınırlarını kapsayan bölgeye karşılık gelmektedir. Çalışma alanı kuzeyde Aliağa ilçesi, doğuda Manisa ili ve güneyde Çiğli ve Karşıyaka ilçeleri ile sınırlanmıştır.

Bu kısımda Foça ve Menemen jeotermal sahası ile ilgili detaylı bilgiler verilecek olup mevcut durumda düşük sıcaklıklı bir araştırma kuyusu bulunduran Kemalpaşa sahasının potansiyeli hakkında önerilerde bulunulacaktır (Şekil 6.44).

ŞEKİL 6.44: Gediz Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.

6.4.1. Foça Jeotermal Sahası

6.4.1.1. Genel Bilgiler

Foça, İzmir il merkezinin yaklaşık 69 km kuzeybatısında yer alan bir ilçedir. Foça'nın mevcut nüfusu 33.227'dir [88]. Foça, tarihi Phocaea Antik Kenti'nin bulunduğu yere inşa edilmiştir. Günümüzde bu antik yerleşime ait pek çok kalıntı, yeni yerleşim yerlerindeki kazı çalışmaları sırasında gün yüzüne çıkarılmaktadır.

Tarihsel önemine ek olarak Foça son yıllarda oldukça fazla sayıda turiste ev sahipliği yapmaktadır. Mevcut durumda 10 tesis ve yaklaşık 796 yatak kapasitesi ile turizme katkı sağlayan Foça, doğal zenginlikler açısından da oldukça önemlidir [145]. Foça Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak adlandırılan bölgede sahiller ve koylar ile birlikte karakteristik fokların yaşadığı alanlar korunmaktadır. Doğal zenginliklerine ek olarak bölgede enerji açısından da önemli yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Bölgede mevcut durumda biyogaz enerji üretim tesisi, güneş enerjisi yatırımları ile birlikte rüzgâr enerjisi yatırımları da dikkat çekicidir.

6.4.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Bölgedeki jeotermal potansiyelin varlığı komşu ilçelerdeki jeotermal kaynakların varlığından yola çıkılarak yapılan ön çalışmalar sonucunda ve 2000'li yıllarda yapılan ilk çalışmalar ile araştırılmaya başlanmıştır. 2006 yılında kurulan Foça Jeotermal Araştırma Grubu'nun sondaj çalışmaları ve MTA sondajları ile bölgedeki mevcut jeotermal kuyular açılmıştır [146, 147].

2009 yılında Yeni Foça Bucak mevkisinde, 378 ve 800 metre derinlikte termal turizm amaçlı açılan kuyularda jeotermal akışkana ulaşılmıştır. Kuyulardan 41-53°C sıcaklıkta ve yaklaşık 15 lt/s debide jeotermal akışkan elde edilmiştir. Daha sonra MTA tarafından 2012 yılında İzmir Foça Ilıpınar bölgesinde 1.300 m derinliğinde bir sondaj yapılmış, 63,4°C sıcaklıkta ve 6 lt/s üretim debisinde akışkan elde edilmiştir ([148]; Şekil 6.45).

6.4.1.3. Stratigrafi

Foça jeotermal kaynaklarının bulunduğu alanın güneyi ve doğusu Gediz Nehri'nin getirdiği alüvyon çökelleri ile örtülü iken kaynakların bulunduğu bölgede Miyosen yaşlı volkanosedimanter birimlerden oluşan kalın bir istif bulunmaktadır [149-151]. Foça çevresinde temel birimler yüzeylenmemiştir ancak bölgesel özellikler incelendiğinde temelde İzmir Filişi'ne ait birimlerin olduğu kabul edilmektedir.

Sahada gözlenen en yaşlı birimler Foça-Aliağa arasında yüzlek veren Soma ve Samurlu Formasyonları'dır. Alt Miyosen Soma Formasyonu kiltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve yer yer tüf ile kömür seviyeleri içermekteyken, Alt-Orta Miyosen yaşlı Samurlu Formasyonu andezit ve bazaltlardan oluşan volkanitlerden oluşmaktadır. Bu birimi uyumsuzlukla örten Yenifoça Formasyonu çalışma sahasında geniş bir yayılım gösteren breş ve piroklastiklerden oluşmuştur.

ŞEKİL 6.45: Foça-Ilıpınar jeotermal sahasında yapılan sondaj çalışması.

Kaynak: MTA [148]

Alt-Orta Miyosen volkanitleri önceki çalışmalarda farklı formasyon isimleri ile adlandırılmıştır [149, 152-154]. Volkanik birimler Foça Kalderası olarak adlandırılan morfolojik yükseltinin çevresinde yayılım göstermektedir. En altta Foça Tüfü birimi yer almaktadır. Üzerine uyumsuzlukla Balabantepe ve Haykıran Formasyonları gelmektedir. Balabantepe Volkanitleri bazaltik karakterde iken Haykıran Volkanitleri riyolit ve dasit karakterindedir.

Çalışma alanında volkanik birimlerin üzerinde yer alan Aliağa Formasyonu genel anlamda kumtaşı, kiltaşı ve gölsel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları Foça kalderasının doğusunda yüzlek vermektedir. Kireçtaşları sarı-beyaz renkli, orta-kalın tabakalı, gastropod içeren gölsel kireçtaşlarından, kahverengimsi-sarı killi kireçtaşı ve yeşilimsi-kahverengi çamurtaşı ara katmanlarından oluşur [149, 152].

6.4.1.4. Hidrojeoloji

Foça sahası henüz jeotermal rezervuarın geometrik yapısı ve hidrojeolojisi tam olarak araştırılmamış bir sistemdir. Bölgedeki hidrojeolojik özellikler batıda ve doğuda farklılık göstermektedir. Bunun sebebi bölgedeki jeolojik birimlerin litolojik özelliklerinin farklı olmasıdır.

Foça jeotermal sahasının batısında, özellikle Foça kalderası etrafında volkanizma etkisi yoğun olarak görülmektedir. Bazalt ve tüf birimleri bölgede geniş yayılım göstermektedir. Bu birimler yer yer faylar tarafından deformasyona uğramıştır. Kaldera çevresi fayları ve kırık sistemleri volkanik birimlerin yoğun olduğu yerlerde yüzey beslenmesini ve akışkan dolaşımını kontrol etmektedir. Bu bölgedeki 400-800 m derinlikteki kuyulardan elde edilen 50°C üzerinde sıcaklığa sahip akışkanın volkanik birimleri kesen faylarla ilişkili olarak yüzeye geldiği düşünülmektedir. Ancak derinde yer alan ana rezervuarın litolojisi için detaylı araştırmaların yapılması önerilmektedir.

ŞEKİL 6.46: Foça jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Foça Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Miyosen Volkanikleri

Örtü Birimler
Miyosen Volkanosedimanter Birimleri

Yapısal Kontrol
Foça Kalderası Fayları, Yeni Foça Fayı

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan, Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
Kuyular : 64°C

Debi Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
Kuyular : 15 lt/s

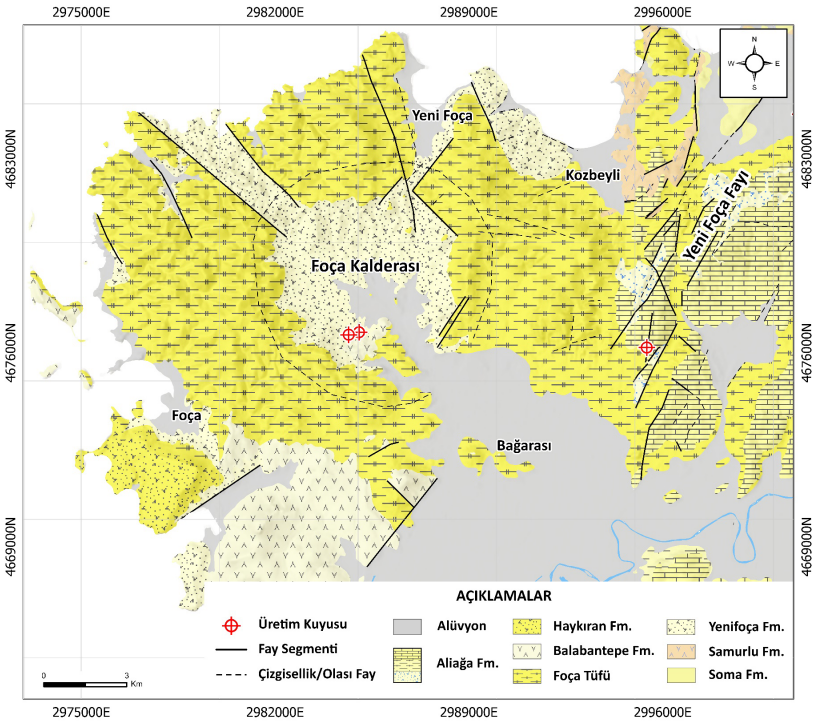
Doğuda yer alan jeotermal kuyu 1.300 m derinliktedir. Yüzeydeki jeolojik birimlerin baskın litolojisi kireçtaşıdır. Ancak stratigrafik istife göre bu birimlerin altında Miyosen volkanikleri bulunmaktadır. Bölgedeki kireçtaşları Yeni Foça Fayı olarak adlandırılan KD doğrultulu fay segmentleri tarafından deformasyona uğratılmış ve ikincil geçirimlilik kazanmıştır. Bu sebeple kireçtaşları ve altındaki volkanik birimler jeotermal akışkan için uygun depolanma ortamları oluşturmuştur.

Foça'daki jeotermal kaynakları oluşturan jeotermal sistem tam olarak incelenmemiştir. Ancak yapılan gözlemlere göre bölgede hem volkanizma hem de tektonizmanın etkisini görmek mümkündür. Batıda yer alan kaynaklar Foça kalderasının oluşumu ile ilişkili bir jeolojik ortamda oluşmuşken doğudaki kaynaklar Aliağa-Foça arasında uzanan fay segmentleri kontrolündedir. Bölgede yer alan kalın volkanosedimanter istif sistemde örtü kaya görevi görmektedir. Sahada doğal bir kaynak mevcut değildir. Açılan kuyulardan elde edilen jeotermal akışkan, derinlerde yer alan kırıklı-çatlaklı volkanik birimler ve eş yaşlı kireçtaşlarındaki rezervuarlardan gelmektedir. Bölgedeki ısı kaynağının jeotermal gradyan ve volkanizma olduğu düşünülmektedir.

6.4.1.5. Yapısal Jeoloji

Foça jeotermal kaynakları iki ana yapısal unsur tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar Foça Kalderası fayları ve Yeni Foça Fayı'dır. Foça Kalderası, Foça ile Yenifoça arasında oluşmuş yaklaşık 8 kilometre çaplı bir kalderadır (Şekil 6.47). Kalderanın Bağarası Köyü'ne bakan güneydoğu yönü yırtılmış olup kaldera duvarı faylar tarafından kesilmiştir [151]. Foça Kalderası çevresinde volkanlarda sık gözlenen ışınsal yani çember şeklinde kaldera çevresinde farklı doğrultularda gelişmiş kırık-çatlak ve fay sistemleri mevcuttur. Bu hatların en belirginleri kalderanın kuzey yamaçlarındaki fay segmentleridir. Jeotermal kaynaklar mekânsal olarak kaldera içerisinde konumlanmıştır. Büyük ihtimalle volkanın çökmesinden ve kaldera oluşumundan sorumlu fay segmentleri ile ilişkili jeotermal akışkan dolaşımından etkilenmektedirler.

ŞEKİL 6.47: Foça jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Akçay ve diğ. [150] 'ten yararlanılmıştır.

Doğuda yer alan ve daha derin bir sondajdan (1.300 m) elde edilen 64°C sıcaklığındaki jeotermal akışkan Kozbeyli ve Bağarası arasında KD doğrultulu Yeni Foça Fayı tarafından kontrol edilmektedir. Bu fay Foça Kalderası'ndan bağımsızdır ve Aliağa Formasyonu'na ait kireçtaşlarını kesmektedir. Yeni Foça Fayı normal karaktere sahip aktif bir faydır [64]. Yeni Foça Fayı'nın normal karakterde oluşu bölgede lokal açılma bölgelerinin olduğunu göstermektedir. Bu tarz alanlar jeotermal kaynakların oluşumu için oldukça uygundur. Bu sebeple mevcut jeotermal kuyunun konumu da göz önünde bulundurularak sahanın geliştirilmesi için bu fayın detaylı şekilde incelenmesi önerilmektedir.

6.4.1.6. Kaynak Potansiyeli

Foça jeotermal sahasında yerbilimleri ile ilgili çalışmalar olmakla birlikte bugüne kadar sadece 3 kuyu açılmış ve düşük sıcaklık (41-63,4°C) ve debide (6-15 lt/s) jeotermal akışkan elde edilmiştir. Mevcut ısıl potansiyeli 2,2-4,5 MWt arağında hesaplanmıştır (Tablo 6.11). Yetersiz kuyu sayısı nedeniyle sahada yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemekte, sıcaklık tahminleri de mevcut olmadığı için sahanın potansiyeli konusunda gerçekçi bir yorum yapılamamaktadır. Sahada 378, 800 ve 1.300 m derinliklerinde üç sondaj yapılmıştır. 1.300 m derinliğindeki sondajdan 63,4°C sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilmiştir. Bu nedenle, sahanın gerçek potansiyelinin belirlenebilmesi için arama ve derin sondaj çalışmalarının artırılması önem kazanmaktadır.

6.4.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Foça jeotermal sahasında mevcut durumda açılmış 3 adet jeotermal üretim kuyusu mevcuttur. Bu kuyulardan 2 tanesi termal turizm amacıyla açılmıştır. MTA tarafından açılan diğer kuyu ise şu anda özel bir şirket tarafından işletilmektedir. Yeni açılacak kuyulardan elde edilecek jeotermal akışkanın sıcaklık ve debisine bağlı olarak uygulama alanları gelişebilir. Mevcut durumda jeotermal kaynaklar, termal-sağlık turizmi ve balıkçılıkla ilgili uygulamalar için uygundur.

TABLO 6.11: Foça sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	Tg (°C)	Q (kWt)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
Tunca-1	Üretim Kuyusu	Üretim Kuyusu	15	41	376,2	689,7	1.003,2	1.316,7
Tunca-2	Üretim Kuyusu	Üretim Kuyusu	15	53	1.128,6	1.442,1	1.755,6	2.069,1
Ege Çelik-1	Üretim Kuyusu	Üretim Kuyusu	6	63,4	712,3	837,7	963,1	1.088,5
TOPLAM			36		2.217,1	2.969,5	3.721,9	4.474,3

6.5. Menemen Jeotermal Sahası

6.5.1.1. Genel Bilgiler

Menemen, Foça ve Aliağa'nın güneyinde, Çiğli'nin kuzeyinde yer alan, 186.182 nüfusa sahip, İzmir'in gelişmekte olan önemli ilçelerinden birisidir. Aliağa Limanı'na 26 km uzaklıkta olan Menemen, inşası devam eden Çandarlı Limanı'na da oldukça yakın bir mesafededir. Son yıllarda rüzgâr enerjisi ile ilgili yatırımların başladığı Menemen ilçesi jeotermal kaynaklar açısından da potansiyeli olduğu düşünülen yeni bir sahadır.

6.5.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Menemen sahasında bilinen 2 adet jeotermal üretim kuyusu vardır. Bölgedeki jeotermal sistemin jeolojik ve yapısal açıdan devamlılığı incelendiğinde Çiğli-Menemen ilçe sınırında yer alan 1 jeotermal üretim kuyusu daha Menemen jeotermal sistemi içerisinde kabul edilmiştir. Çiğli ilçesi aslında Menemen ve Karşıyaka ilçelerinden gelen iki fay zonunun kesiştiği bölgede yer almaktadır. Bu sebeple bazı çalışmalarda Menemen-Çiğli ve Çiğli-Karşıyaka jeotermal sahaları tanımı yapılmıştır. Bu çalışmada Menemen sahası içerisindeki KD doğrultulu fay segmentleri baz alınarak Çiğli-Balatçık ve organize sanayi bölgesi bu saha kapsamında değerlendirilmiştir.

Menemen sahasında yer alan 2 kuyunun sıcaklıkları 40-55°C aralığındadır. Kuzeyde Ulukent civarında yer alan 800 m derinliğindeki jeotermal kuyu günümüzde Yeni İstanbul Otoyolu inşaatından etkilenmiştir ve kullanılamaz durumdadır. Güneyde yer alan 500 m derinliğindeki şahıs kuyusu ise üretim kuyusu olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde Çiğli Balatçık OSB içerisindeki 1.024 m derinlikteki 42°C sıcaklıkta akışkana sahip kuyu da aktiftir.

ŞEKİL 6.48: Menemen jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Menemen Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
İzmir Filişi

Örtü Birimler
Miyosen Volkanosedimer Birimleri
Kuvertner Birimler

Yapısal Kontrol
KD-GB Doğrultulu Fay Segmentleri

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan, Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **55°C***

Debi Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **14 lt/s***

İzmir Filişi'nin üzerinde Alt Miyosen yaşlı taban konglomerası niteliğindeki Yeniköy Formasyonu (Yeniköy Çakıltaşı) birimi bulunmaktadır. Birim çakıltaşı, kumtaşı ve killi kumtaşlarından oluşmuştur. Birim sahanın özellikle kuzey kısımlarında eş yaşlı Soma Formasyonu'na ait çakıltaşı-kiltaşı-kumtaşı-kireçtaşı ardalanmaları ile yanal geçiş gösterir. Ulucak-Ulukent civarında Alt-Orta Miyosen yaşlı bazalt ve piroklastiklerden oluşan Hasanlar Formasyonu sınırlı bir alanda yüzlek vermektedir.

Menemen sahasının güneydoğusunda görülen Yamanlar Volkanitleri çalışma sahasında yüzlek vermezken, Orta-Üst Miyosen yaşlı andezitik ve trakiandezitik lavlardan oluşan Yuntdağ Volkanitleri jeotermal kaynakların bulunduğu alanın doğusunda geniş yayılım gösterir. Bu alanda İzmir Filişi'ne ait birimler ile topografik olarak yüksek bölgelerde volkanik birimleri görebilmek mümkündür.

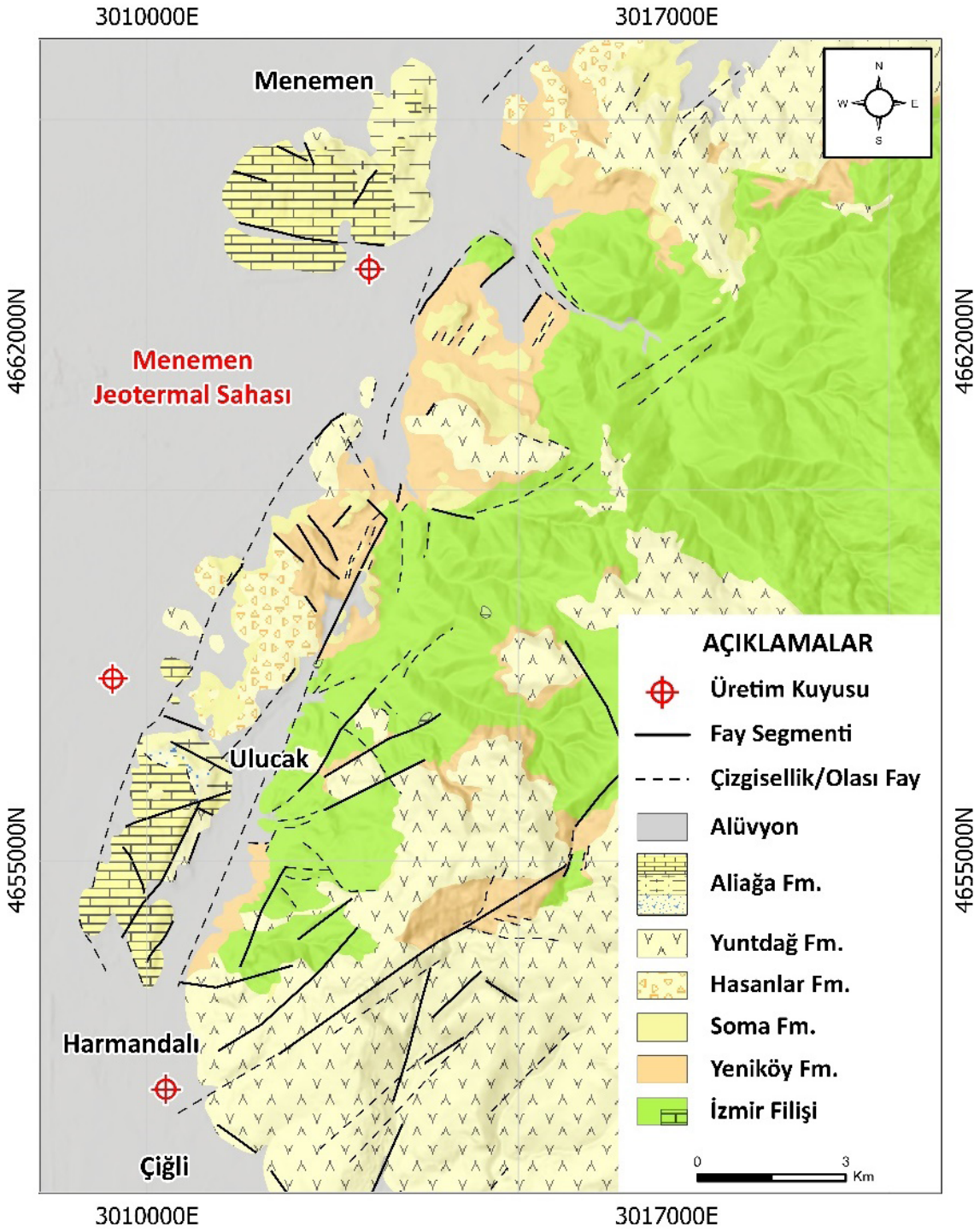
6.5.1.3. Hidrojeoloji

Menemen sahası henüz jeotermal potansiyel açısından çok çalışılmamış bir sahadır. Bölgede İzmir genelinde görülen tüm stratigrafik birimleri görebilmek mümkündür. Temel birimleri oluşturan İzmir Filişi ve kireçtaşı blokları bölgedeki en yaşlı geçirimsiz birimlerdir. Ancak İzmir genelindeki jeotermal kaynak içeren sahalarda olduğu gibi filiş içerisindeki büyük kireçtaşı blokları ve faylar ile deformasyona uğrayan temel birimler bu geçirimli zonlar boyunca rezervuar özelliği gösterebilmektedir. Menemen, Ulucak ve Harmandalı boyunca uzanan KD-GB doğrultulu fay segmentleri jeotermal sahada akışkan dolaşımı için uygun, geçirimli zonlar oluşturmuştur. Bölgedeki volkanosedimanter birimler ve Kuvaterner havza dolgusu, jeotermal sistemde örtü kaya görevi görmektedir. Jeotermal sistemde ısı kaynağının jeotermal gradyan ve volkanizma olduğu düşünülmektedir.

6.5.1.4. Yapısal Jeoloji

Menemen jeotermal sahasında farklı doğrultularda fay segmentleri bulunmaktadır. Bölgede bilinen en önemli fay segmentleri Harmandalı Fay Zonu olarak bilinen Harmandalı yerleşiminden başlayıp volkanik birimler boyunca kuzeydoğuya doğru ilerleyen doğrultu atımlı fay segmentleridir [156]. Bu fay zonuna paralel ancak kuzeye daha yakın doğrultudaki Harmandalı ve Menemen arasında uzanan temel birimler ile Kuvaterner birimleri birbirinden ayıran fay segmentleri ise jeotermal kaynak oluşumu ile daha yakın ilişkilidir. Bu segmentler arasında D-B ve KB-GD doğrultularında nispeten daha küçük uzunluklara sahip fay segmentleri de sahada mevcuttur. Özellikle Miyosen volkanikleri ve kireçtaşlarındaki fay ve kırık sistemleri jeotermal akışkan dolaşımı için oldukça önemlidir. Bu süreksizlikler yüzeysel beslenmeyi sağlamaktadır. Mevcut kuyuların KD-GB doğrultulu bir çizgiselliğe sahip olması da aynı doğrultulu fay segmentlerinin jeotermal sistemde birincil kontrole sahip olmasının bir göstergesidir.

ŞEKİL 6.49: Menemen jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Uzel [156] ve Dönmez ve diğ. [155]'ten yararlanılmıştır.

6.5.1.5. Kaynak Potansiyeli

Menemen jeotermal sahasındaki kaynakların sıcaklıkları 40-55°C aralığında değişmekte iken debi değerleri net olmamakla birlikte 10-14 lt/s aralığında değişmektedir. Üretim kuyuları ile ilgili potansiyel hesabı yapabilecek yeterli veriye ulaşılamamıştır. Ancak 1.024 m derinlikteki kuyudan 40°C sıcaklıkta, 800 m derinlikteki kuyudan ise 55°C sıcaklıkta akışkan elde edilmiş olması sahanın sınırları içerisinde akışkanın farklı özellikler gösterebileceğine işaret etmektedir. Bu sebeple, Menemen ve Çiğli arasında açılacak yeni kuyular sahanın gerçek potansiyelini belirleme konusunda oldukça önemlidir.

6.5.1.6. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Menemen jeotermal sahasında, şu anda Çiğli ilçe sınırındaki kuyu ile birlikte 2 adet kuyu ve özellikleri bilinen ancak kullanılamayacak durumda olan 1 adet kuyu mevcuttur. Sahada doğal bir çıkış bulunmamaktadır. Kuyular şahıslara aittir ve kullanım amaçları net olarak bilinmemektedir. Alanda yapılacak daha detaylı çalışmalar ile jeotermal potansiyel geliştirilebilir. Mevcut veriler alanın jeotermal enerji için umut verici olduğunu göstermektedir. Elde edilecek akışkan ile alanda seracılık ve ısıtma ile ilgili çalışmaların yapılması mümkündür.

6.5.1. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

Foça ve Menemen sahalarında yer alan kaynaklar jeotermal üretim kuyularıdır. İki sahada da doğal kaynak bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında ve daha önceki çalışmalarda şu anda ruhsatlı durumda bulunan kuyulardan jeotermal akışkan örneği alınıp hidrojeokimyasal açıdan değerlendirme yapılamamıştır. Bu sebeple akışkanın kimyasal, fiziksel ve teknik değerlendirmesi için yeni örnekleme ve teknik değerlendirilmesinin (jeotermometre, kabuklaşma ve korozyon vb.) yapılması önerilmektedir.

6.5.2. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

Gediz Havzası'nda yer alan bu sahalar ile ilgili henüz yeterli sayıda jeotermal amaçlı detay çalışmalar yapılmamıştır. Ancak, Kemalpaşa'da 552 m derinlikte özel bir şirketin araştırma kuyusunda 5 lt/s debi ile 32,5°C sıcaklık ölçülmüştür. Derin kuyular ile bu sıcaklığın artacağı açıktır. Bu nedenle, bu alanlarda kentsel ısıtma ve seracılık ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi'nde jeotermal enerji kullanılarak soğutma yapılabilir. Menemen'de ise seracılık ve kurutma, Foça'da ise termal turizm ve balıkçılık uygulamaları önerilmektedir.

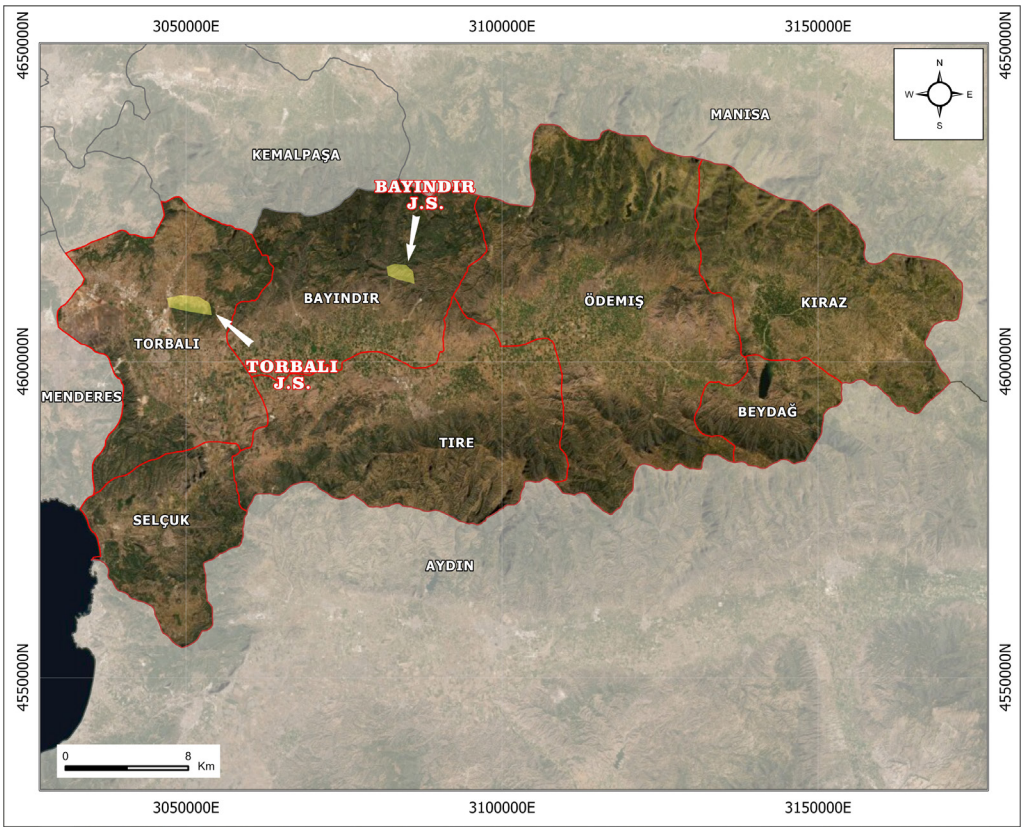
6.6. Küçük Menderes Havzası Jeotermal Sahaları

Ege Bölgesi'nde yer alan Küçük Menderes Havzası, Batı Anadolu'da yer alan ve uzun ekseni doğu-batı gidişli bir çöküntü havzası niteliğindedir. Küçük Menderes Havzası Batı Anadolu'da, Bozdağlar ve Aydın Dağları arasında, D-B doğrultulu yapısal kontrollü bir grabendir. Grabenin çöküntü kısmında uzanan yaklaşık 114 km uzunluğundaki Küçük Menderes Nehri bölgedeki en önemli yüzey suyu kaynağıdır.

Küçük Menderes Nehri Havzası'nda İzmir'in 7 önemli ilçesi yer almaktadır. Bu ilçeler; Kiraz, Beydağ, Ödemiş, Tire, Bayındır, Torbalı ve Selçuk'tur. Havzanın orta kesimlerinde verimli alüvyon araziler mevcut iken kuzey ve güney kısımlarda yükselti artmakta ve dağlık-engebeli araziler görülmektedir. Nüfus açısından en fazla yoğunluk Torbalı ve Ödemiş ilçelerindedir. Nüfus değişim hızı açısından ise Torbalı en çok artış gösteren ilçedir. Bunun sebebi İzmir'e yakınlığı ve gelişen sanayi alanlarının varlığıdır.

Küçük Menderes Havzası'nda yenilenebilir enerji alanında son yıllarda rüzgâr ve güneş enerjisinde bazı yatırımlar planlansa da diğer ilçelere oranla oldukça az sayıda tesis mevcuttur. Benzer şekilde jeolojik açıdan Büyük Menderes'e benzese de havzada jeotermal enerjinin kullanımı oldukça sınırlıdır. Bölgede Selçuk, Torbalı ve Bayındır'da jeotermal kaynakların varlığı bilinmektedir. Torbalı'da 2 adet jeotermal üretim kuyusu, Selçuk'ta 1 adet jeotermal üretim kuyusu ve 1 adet maden suyu kaynağı, Bayındır'da 5 adet jeotermal üretim kuyusu mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Bayındır jeotermal sahası kapsamlı olarak irdelenecek, jeotermal sistem açısından henüz yeterli verisi bulunmayan ve sadece araştırma kuyuları bulunan Torbalı ve Selçuk sahaları ile ilgili önerilerde bulunulacaktır.

ŞEKİL 6.50: Küçük Menderes Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.



6.6.1. Bayındır Jeotermal Sahası

6.6.1.1. Genel Bilgiler

Bayındır, İzmir'in güneydoğusunda yer almaktadır ve il merkezine uzaklığı yaklaşık 80 km'dir. Kuzeyinde Kemalpaşa, doğusunda Ödemiş, batısında Torbalı, güneyinde Tire ilçeleri bulunmaktadır. İlçenin yüzölçümü 540 km²dir. Dağ köylerinde sınırlı geçim kaynakları nüfusun hızla azalmasına, ova köylerinde verimli ovaların bulunması da kısmi nüfus artışına neden olmaktadır [29]. 2020 verilerine göre Bayındır'da 40.418 kişi yaşamaktadır [88].

İlçe ekonomisi tarıma dayalıdır. Başlıca tarım ürünleri zeytin, pamuk, karpuz, sebze ve meyvelerdir. Son yıllarda çiçekçilik sektörü hızla gelişmektedir [80]. Çiçekçilik faaliyetleri, ilçede yirmi beş yıl önce başlamıştır. Zaman içerisinde üreticiler tarafından çiçekçiliğe ilginin artması, sera çiçekçiliğinin yapılma koşulları ile ekolojik ortamın uygun olması nedeniyle, çiçekçilik son yıllarda oldukça gelişmiştir. İlçede şu anda 21 yatak kapasiteli 1 otel bulunmaktadır. Buna ek olarak Fatma Hanım-Ergenli Kaplıcaları'nda termal bir işletme de mevcuttur.

6.6.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Çalışma sahası, ilçenin yaklaşık 14 km kuzeydoğusunda Küçük Menderes Grabeni'nin kuzeyinde yer almaktadır. Bayındır jeotermal sahasındaki en önemli kaynaklar Fatma Hanım Kaplıcaları, Ergenli ve Vardar olarak adlandırılan tesisler ve çevresinde yer almaktadır (Şekil 6.51). Tesislerde konaklama ve tedavi hizmetleri verilmektedir.

İşletmelerde 2 adet sığ (80-84 m) derinlikte sondaj kuyusundan 44-47°C sıcaklık aralıklarında akışkan elde edilmektedir. Bu kuyular dışında sahada daha önce farklı tarihlerde açılmış 3 adet daha sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların en derini 2009 yılında açılmış 310 m derinlikteki Bayındır Belediyesi'ne ait üretim kuyusudur. Bu kuyudan mevcut durumda 55°C' ye ulaşan sıcaklıklarda yaklaşık 50 lt/s debi ile (pompa ile) üretim yapılabilmektedir. Pompa çalışmadığı durumda cazibeli şekilde 2-3 lt/s debi ile akışkan üretilebilmektedir. Diğer iki kuyu aktif değildir ve kullanılamaz durumdadır.

ŞEKİL 6.51: a) Bayındır Belediyesi'ne ait kuyuda görülen kabuklaşma problemi b) örnekleme süreci c) Belediye jeotermal üretim kuyusuna ait bina.

6.6.1.3. Stratigrafi

Bayındır jeotermal sahasında temel birimler Menderes Masifi'ne ait şist, gnays, mikaşist, kuvarşşist, kloritşist, ve kalkşistlerdir. Şistlerin içerisinde mermer seviyeleri bulunmaktadır. Önceki çalışmalarda Pre-kambriyen yaşlı gnays birimleri dışındaki birimler Bayındır Formasyonu adı ile tanımlanmıştır [157]. Temel birimler oldukça deformasyona uğramıştır ve bölgedeki tektonik rejimden etkilenip yer yer kıvrımlanmıştır. Bu birimlerin üzerine doğrudan Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve Küçük Menderes havza çökelleri yerleşmiştir.

Bölgede açılan kuyularda 20-40 m'ye kadar alüvyon ve dere çökelleri ile yamaç molozları kesilmiştir. Daha sonra 250 m'ye kadar kalkşist ve mermer, 250 m'den sonra 300 m'ye kadar kalkşist, kuvarşşist, mikaşist ve mermer seviyeleri gözlenmiştir.

ŞEKİL 6.52: Bayındır jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Bayındır Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Menderes Masifi (Kalkşist ve Mermerler)

Örtü Birimler
Menderes Masifi (Örtü Birimleri)
Kuvaterner Birimler

Yapısal Kontrol
KD-GB Doğrultulu Fay Segmentleri

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan

Sıcaklık Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **55°C***

Debi Değerleri
Doğal Kaynaklar : -
*Kuyular : **50 lt/s***

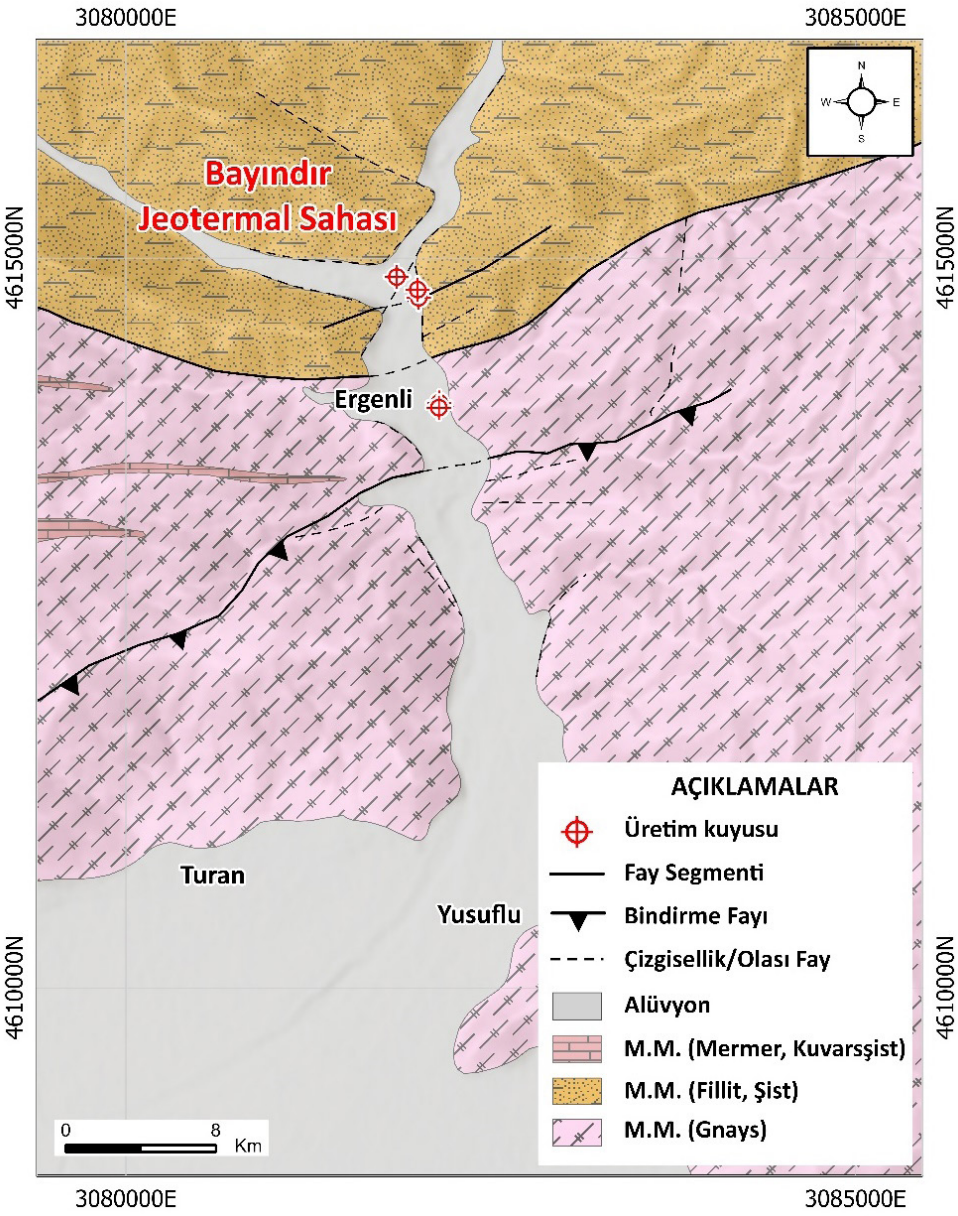
6.6.1.4. Hidrojeoloji

Sahadaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri etki altında kaldıkları deformasyonun derecesine ve hâkim litolojisine göre farklılık göstermektedir. Genel anlamda Menderes Masifi örtü kayaçları içerisinde bulunan şist ve fillitler düşük geçirimliliğe sahiptir [157]. Bindirme fayları ile birlikte deformasyona uğramış mermerler ve kalkşistler kırık ve çatlak sistemleri yüzünden ikincil geçirimlilik kazanmıştır. Bu birimleri kesen kuyulardan jeotermal akışkan elde edilebilmesi, birimleri akışkan iletebilme ve rezervuar özelliği gösterebilme yeteneğinin bir kanıtıdır. Bu sebeple, temel birimlerdeki deforme olmuş mermer ve kalkşistler rezervuar, diğer şist ve fillitler örtü görevi görmektedir. Daha yaşlı gnayslar geçirimsiz temel özelliğine sahiptir. Sahadaki Kuvaterner birimler genellikle kalın olmayan yamaç molozudur. Bu sebeple jeotermal sistemde çok fazla aktif rol oynamazlar.

6.6.1.5. Yapısal Jeoloji

Bayındır jeotermal sahasındaki en önemli yapısal kontroller bindirme fayları ile KD-GB doğrultulu fay segmentleridir. Bulut ve Filiz [157] Ergenli Kaplıcaları'nın olduğu alanda yaklaşık K80D doğrultulu normal karakterdeki fayın jeotermal sistemde rol oynadığını belirtmektedir. Mevcut kuyular da bu fayı kesecek şekilde konumlanmıştır. Aynı doğrultuda daha güneyde yer alan bindirme faylarında ise jeotermal aktivite görülmemektedir. Jeotermal kaynakların bulunduğu alandaki temel birimlerde çatlakların yoğun, şistozite ve tabakalanma yüzeylerinin oldukça belirgin olması, jeotermal akışkan hareketi için uygun olabilecek bir litolojik altyapının mevcut olduğunun göstergesidir.

ŞEKİL 6.53: Bayındır jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Akbaş ve diğ., 2011'den yararlanılmıştır.

6.6.1.6. Kaynak Potansiyeli

Bayındır Jeotermal Sahası'nda mevcut 5 adet kuyudan 38-54,5°C sıcaklıkta 2,5-50 lt/s debide akışkan elde edilmektedir. Toplam debi 63,5 lt/s'dir. Mevcut kuyulardan elde edilebilecek toplam ısıl potansiyel 4,4-8,4 MWt'dir (Tablo 6.12). Sahada 50-80 m'de 44-47°C sıcaklık elde edilmesi ve jeotermometrelerin 74-110°C'lik sıcaklık tahminleri, bu sahanın potansiyelinin yüksek olabileceğini göstermektedir. Mevcut kuyuların sığ olduğu göz önünde bulundurularak, sahanın geliştirilmesi kapsamında açılacak derin kuyularla bu potansiyelin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

TABLO 6.12: Bayındır sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kW)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
Vardar-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm	4	38	50,2	133,8	217,4	301,0
Fatma Hanım Kaplıcası	Üretim Kuyusu	Termal Turizm	2,5	44	94,1	146,3	198,6	250,8
Bayındır-1	Üretim Kuyusu	Termal Turizm	50	54,5	4.075,5	5.120,5	6.165,5	7.210,5
Derekoy Sondajı	Üretim Kuyusu	Âtıl	3	42	87,8	150,5	213,2	275,9
Kayacık Sondajı	Üretim Kuyusu	Âtıl	4	43,5	142,1	225,7	309,3	392,9
TOPLAM			63,5		4.449,7	5.776,8	7.104	8.431,1

6.6.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Bayındır jeotermal sahasından mevcut durumda sadece termal turizm ve sağlık amaçlı yararlanılmaktadır. Vardar ve Fatma Hanım-Ergenli Kaplıcaları düşük kapasiteli ancak yöre halkı tarafından oldukça ilgi gören köklü tesislerdir. Ancak mevcut uygulamaların kapasitesi yetersizdir ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Ergenli jeotermal kaynakları, 29 Kasım 2012 tarihinde Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından "Bayındır Termal Turizm Merkezi" olarak ilan edilmiştir. Ancak, Kültür ve Turizm Bakanlığı ile İl Müdürlüğü verilerinde Bayındır'da yeterli sayıda ve nitelikte yatırım belgeli, belediye ve işletme belgeli konaklama tesisi bulunmadığı ve Termal Turizm Merkezi ilan edilmesinden dolayı bu yatırımlara öncelik verilmesi gerektiği görülmektedir [158]. Sahadaki belediye kuyusu dışındaki diğer kuyuların bakımlarının yapılması gerekmektedir. Belediye kuyusundaki kaçaklar bu çalışma sürecinde yapılan bakımlar ile giderilse de jeotermal sahada daha bütüncül bir yaklaşım ve yeni yatırımlar gerekmektedir. Özellikle termal turizm ve sera ısıtması gibi uygulamalara yöre halkı ve belediye işletmesi oldukça sıcak bakmaktadır.

Sahanın geliştirilmesi ile hem termal turizm hem Bayındır için önemli bir gelir kaynağı olan seracılıkta jeotermal enerji kullanımı, beraberinde kurutma uygulamalarını da getirecektir. Jeotermometrelerin belirttiği gibi 100°C civarında bir sıcaklığa ulaşılabilirse şehir ısıtma uygulamasında da kullanılabilir.

ŞEKİL 6.54: a) Bayındır Belediyesi jeotermal işletmesi b) Vardar Kaplıcaları c) Fatma Hanım Kaplıcaları.

Kaynak: c) [159]

6.6.2. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

6.6.2.1. Hidrojeokimyasal Özellikler

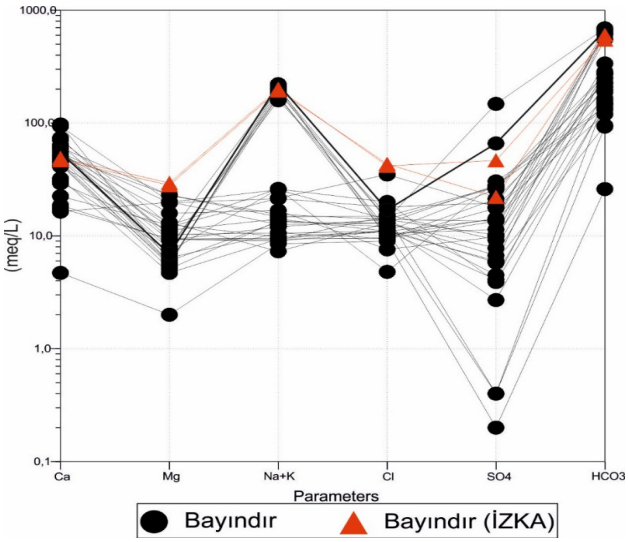
Hem geçmiş çalışmalar [157, 160] hem de proje kapsamında sahada yapılan ölçümlere göre sahadaki jeotermal kaynakların sıcaklıkları 45-49°C arasında, pH değerleri 6,51 ile 8,44 arasında, EC değerleri ise 942 ile 1.315 µS/cm arasında değişmektedir. Bayındır sahasında bulunan jeotermal kaynaklar, magmatik rezervuar kökenli olmaları nedeniyle hafif asidik 6,85–8,44 karakter sunarlar. Geçmiş dönemlere ait yapılan çalışmalarda sonbahar ve kış mevsimlerinde pH değerlerinin düşük olması, jeotermal akışkanların meteorik sulara karışması ile açıklanabilir. Yapılan EC ölçümlerine göre alandaki suların EC değeri jeotermal akışkanların değerlerine göre nispeten düşüktür. Çözünmüş tuzların miktarının doğrudan elektrik iletkenliği ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu sular, suyun elektriksel iletkenlik sınıflandırmasına göre düşük tuzluluk içeriğine sahiptir.

İnceleme alanındaki jeotermal akışkanlar Na-Ca-HCO_3 tipinde olup soğuk sular Ca-Mg-HCO_3 tipindedir. Soğuk su kaynakları gnays, kalkşist, mikaşist ve kuvarsşist olmak üzere dört çeşit kırıklı rezervuarlardan yüzeye ulaşmaktadır. Kayaçların kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında gnayslardan çıkan sular Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4, kalkşist ve mermerlerden çıkanlar sular Ca-Mg-HCO_3 ve mikaşist-kuvarsşistlerden çıkanlar sular ise Ca-Mg-HCO_3-SO_4 fasiyesindedir. Analiz edilen tüm sıcak ve soğuk sular, anyon içeriği

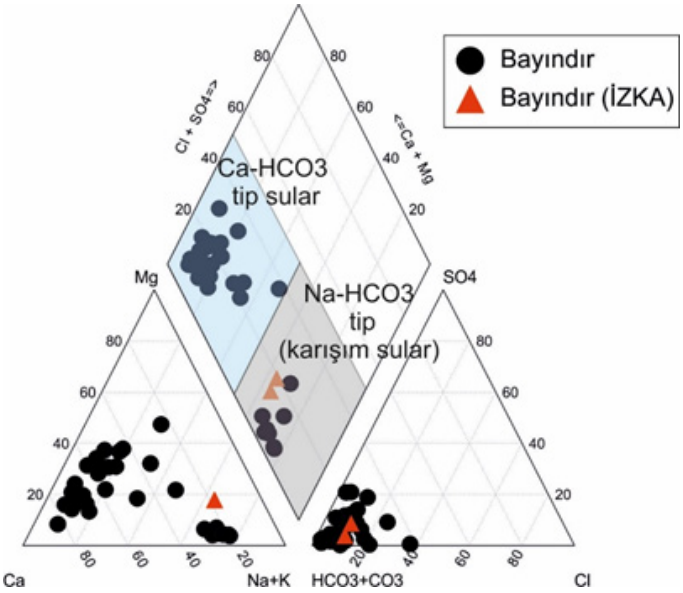
açısından bikarbonat bakımından zengindir. Ayrıca, katyon içeriği açısından, akışkanlar sodyum, soğuk sular ise kalsiyum bakımından zengindir. Çalışma alanının soğuk suları ve jeotermal kaynakları karşılaştırıldığında, Schoeller diyagramından da görüleceği üzere; jeotermal akışkanlar Na+ iyonu bakımından zengindir ve soğuk sularla diğer iyonların içerikleri bakımından benzerlik göstermektedir (Şekil 6.55). Bu durum bölgedeki tüm akışkan ve suların aynı havza alanına sahip olduğunu ve/veya jeotermal akışkanların yükselmesi sırasında karıştığını gösterir.

Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki jeotermal akışkanın sığ dolaşımlı olanları Ca-HCO_3 tip sulardan oluşurken derin dolaşımlı akışkanlar Na(Ca) HCO_3 tip sulardan yani karışım sularından oluşmaktadır. Bu durum derin dolaşımlı jeotermal akışkanların yüzeye çıkarken sığ dolaşımlı sularla karıştığı görüşünü desteklemektedir (Şekil 6.56).

ŞEKİL 6.55: Küçük Menderes jeotermal akışkanlarının Schoeller diagramı.

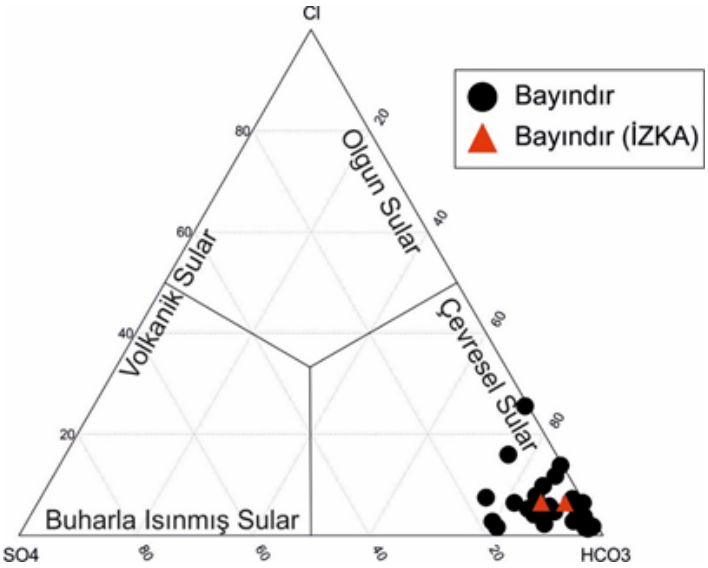


ŞEKİL 6.56: Küçük Menderes jeotermal akışkanlarının Piper diagramı.

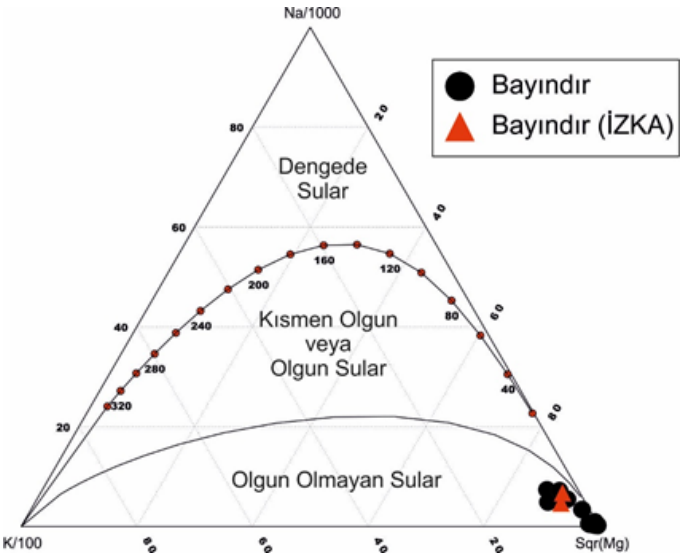


Anyon bazlı termal su sınıflandırması klorür, sülfat ve bikarbonat bakımından zengin sular olmak üzere üç tür suyun varlığını gösterir. Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramında Küçük Menderes jeotermal akışkan örnekleri çevresel sular alanına karşılık gelir ve olgunlaşmamış sular olarak kabul edilebilir (Şekil 6.57).

ŞEKİL 6.57: Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının Cl-SO_4-HCO_3 diyagramı.



ŞEKİL 6.58: Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.



6.6.2.2. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sistemlerde derin sondajlar yapılmadan önce rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesi önemli bir uygulama ve analiz yöntemidir. Doğrudan ölçülmesi pahalı ve zaman alıcı olduğu için daha ekonomik olan jeotermometre uygulamaları kullanılmaktadır. Bu işlem için önerilen birçok yol vardır. Na-K-Mg [12] üçgen diyagramı, jeotermal akışkanların katyon jeotermometre değerlerine göre rezervuarların sıcaklığını ve su ile ana kaya arasındaki denge ilişkisini tahmin etmek için kullanılır. Bayındır jeotermal sahasının tüm jeotermal kaynakları grafikte olgunlaşmamış sular (su-kaya dengesi olmayan su) alanına karşılık gelmektedir (Şekil 6.58). Bu nedenle katyon jeotermometresinden hesaplanan rezervuarın sıcaklığı tartışmalı olacaktır. Jeotermometre hesaplarından elde edilen sonuçların bir kısmı yüzey sıcaklığının altındadır. Katyon jeotermometre hesaplama sonuçları 45-226°C sıcaklıkları arasında değişmektedir. Bu durum suyun olgunlaşmamış doğasından kaynaklanmaktadır ve gerçek rezervuar sıcaklığını yansıtmamaktadır.

Küçük Menderes jeotermal alanındaki suların rezervuar sıcaklıkları bu çalışma kapsamında alınan örneklerden kalsedon ve kuvars jeotermometreleri kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Buna göre, Fatma Hanım Ergenli jeotermal akışkanlarının rezervuar sıcaklıkları kalsedon jeotermometresine göre 80,4°C ve kuvars jeotermometresine göre 73,9°C arasında ölçülmüştür (Bayındır K-1 kuyusundaki jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklıkları kalsedon jeotermometresine göre 109,69°C ve kuvars jeotermometresine göre 103,65°C arasında ölçülmüştür.

TABLO 6.13: Bayındır jeotermal alanının jeotermometre hesaplamaları.

Lokasyon	SiO_2	Kalsedon (°C)	Kuvars (°C)
Bayındır Fatma Hanım Ergenli	59,00	80,38	109,69
Bayındır-1 Kuyusu	52,00	73,86	103,65

6.6.2.3. Korozyon ve Kabuklaşma

Bayındır'dan iki farklı kabuk örneği alınmıştır. Bu örneklerinin kristal yapısı birbirinden farklıdır. İlk örnek $CaCO_3$'ın Kalsit formu olup ikinci örnek ise Aragonit formudur. Bu tür farklılık çok sık olmamakla beraber jeotermal sistemlerde görülmektedir. Elementel kompozisyon açısından da farklılık arz etmektedir.

TABLO 6.14: Bayındır'dan alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.

Element	Na	Mg	Si	Al	Ca	Fe	Sr
Bayındır A	4,1	1,1	0,0	0,2	65,0	0,3	0,3
Bayındır B	30,4	7,2	4,0	0,2	23,1	0,9	0,6

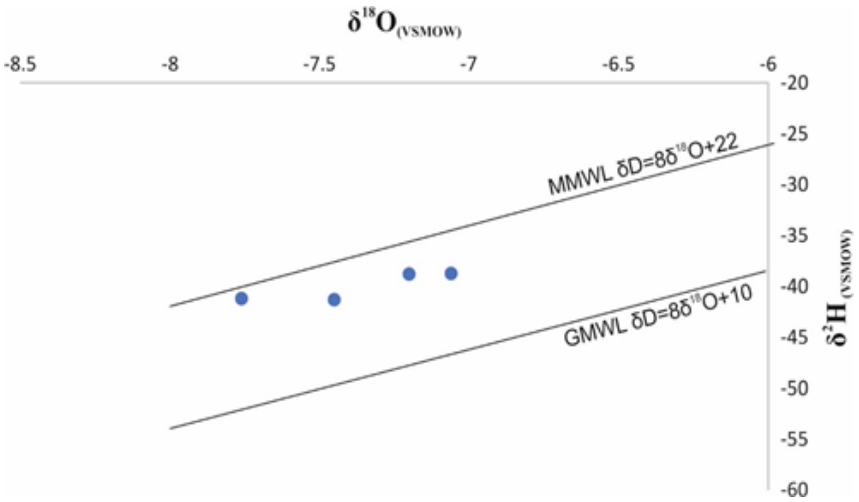
6.6.2.4. İzotopik Analizler

Jeotermal arama, geliştirme ve izleme çalışmalarında akışkan kökenlerine ilişkin olarak hidrojeolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko-kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan izotoplar; hidrojen ve oksijen elementlerinin duraylı izotoplarıdır. Çalışma alanına ait sıcak ve soğuk su örneklerinin ^{18}O ve ^{2}H değerleri Akdeniz Meteorik Su Hattı $^{2}H=8^{18}O+22$ kullanılarak [161] ve Dünya Meteorik Su Hattı $^{2}H=8^{18}O+10$ [16] denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. ^{18}O ve ^{2}H grafiğindeki suların yerleri meteorik kökenli olduklarını ve Bayındır Fatma Hanım Ergenli Kaynağı ile jeotermal kuyuların aynı havza alanına sahip olduklarını göstermektedir (Şekil 6.59).

6.6.3. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

Selçuk çevresinde jeotermal amaçlı çalışmalar yapılmamıştır. Ancak, bu alanda sıcak su kaynaklarına ilişkin izler vardır. Alanda düşük sıcaklıklarla bile termal turizm aktiviteler geliştirilebilir. Jeotermal ısı pompaları ile bu alan ısıtılabilir. Torbalı'da sıcaklığı 60°C'ye ulaşan bir kuyu olduğu bilinmektedir. Torbalı ve Bayındır tarımsal açıdan Küçük Menderes Nehir Havzası'nın en önemli ilçelerindedir. Her iki ilçede seracılık, özellikle de kurutma yapılabilir. Bununla birlikte Bayındır'da termal turizm ile ilgili uygulamalar geliştirilebilir. Bu nedenle, her iki alanda da detaylı yerbilimsel çalışmaların yapılması önemlidir.

ŞEKİL 6.59: Küçük Menderes Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.



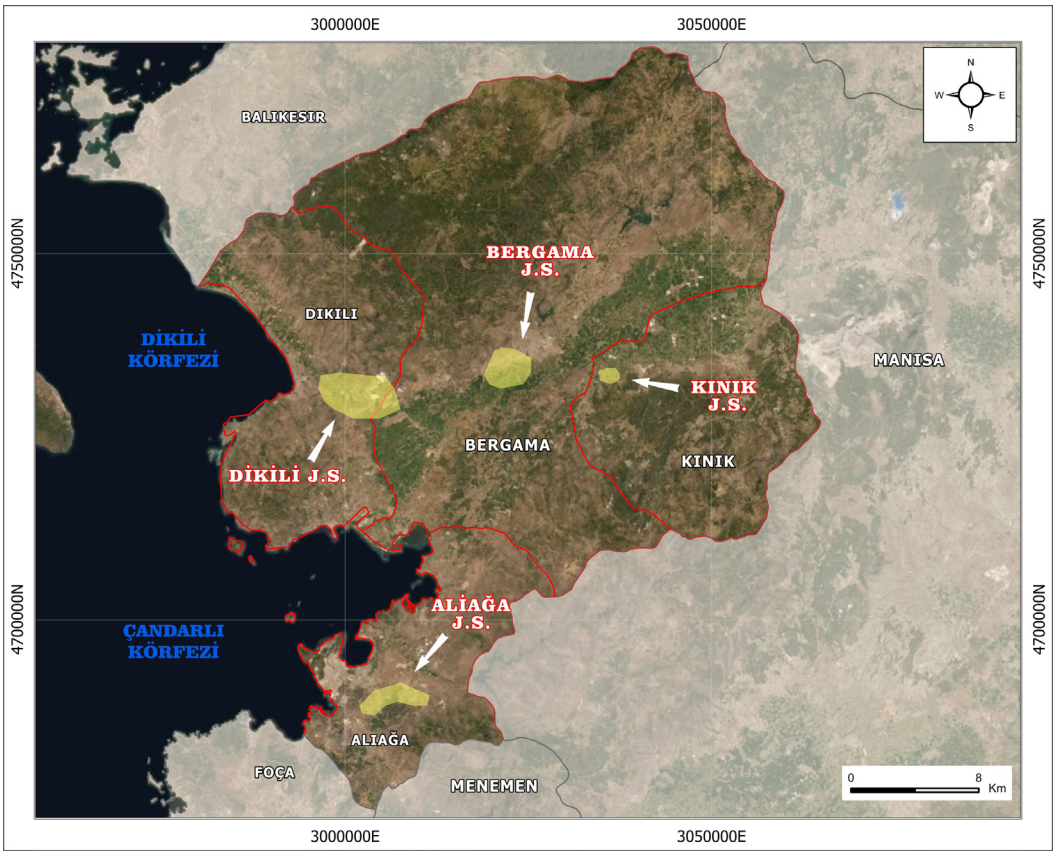
6.7. Bakırçay Havzası Jeotermal Sahaları

Proje alanın kuzeyini oluşturan ve Bakırçay Havzası olarak belirlenen alan Aliağa, Dikili, Bergama ve Kınık'tan oluşmaktadır. Kuzey Ege Havzası'nın önemli bir alt havzası olan Bakırçay Havzası, Bakırçay Nehri'nin su toplama alanlarını kapsayan geniş bir yayılıma sahiptir. Daha çok D-B doğrultulu dağlık alanlar arasında bulunan havzada yaklaşık 129 km uzunluğa sahip Bakırçay Nehri Çandarlı yakınlarında denize dökülür.

Nüfus bakımından en yoğun olan ilçeler sırasıyla Bergama, Aliağa, Dikili ve Kınık iken yaz aylarında Dikili ve Aliağa'nın nüfusu önemli oranda artmaktadır. Ayrıca nüfus projeksiyonlarına göre Aliağa'nın sanayisi ve iş imkanları ile birlikte ilerideki yıllarda önemli göç alan ilçelerden biri olacağı tahmin edilmektedir. Bergama ve Aliağa daha çok sanayileşmiş ve kentleşmiş iken diğer ilçeler tarımsal kırsal alanların yoğun olduğu bir yapıya sahiptir. Son yıllarda jeotermal, güneş ve rüzgâr enerjisinde yatırımların olduğu havzada özellikle Aliağa petrokimya endüstrisi açısından oldukça önemli bir konumdadır.

Bakırçay Havzası'nda yer alan jeotermal kaynaklar Dikili ve Kınık arasında uzanan havza boyunca ve Aliağa'da bulunmaktadır. İlçe sınırlarında Şekil 6.60'ta gösterilen saha sınırları kaynakların yoğun olduğu alanları belirtmektedir. Ancak bu alanlar dışında da farklı lokasyonlarda jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Raporun bu kısmında Aliağa ve Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahaları ile ilgili detaylı bilgiler verilmiş olup sahaların jeotermal potansiyeli ve geliştirilmesi hakkında önerilerde bulunulmuştur (Şekil 6.60).

ŞEKİL 6.60: Bakırçay Havzası jeotermal sahalarına ait yer bulduru haritası.



6.7.1. Aliağa Jeotermal Sahası

6.7.1.1. Genel Bilgiler

Dumanlı Dağı ve Yunt Dağı ile çevrelenmiş Aliağa ilçesi; doğusunda Manisa, kuzeyinde Bergama, güneyinde Menemen, güneybatısında Foça, batı ve kuzeyinde de Ege Denizi ile çevrilidir. Aliağa'nın yüzölçümü 412,5 km²dir. İzmir-Çanakkale karayolu kentin içinden geçmekte ve bu karayolu ile ilçeden İzmir'e 45 dakikada ulaşılmaktadır [162]. 2020 verilerine göre Aliağa'da 101.242 kişi yaşamaktadır [88]. İlçenin ekonomik yapısı tarım, hayvancılık ve ormancılığa dayalıdır [80]. İlçenin, genel anlamda bir sanayi kenti kimliğine sahip olması yanında; ilçe önemli bir lojistik merkez olma niteliğiyle de ön plana çıkmaktadır [163].

6.7.1.2. Jeotermal Kaynaklar

Aliağa jeotermal sahasında bilinen daha önce açılmış 9 jeotermal kuyu ve 3 adet doğal kaynak bulunmaktadır. Sahadaki en çok bilinen kaynak Biçer Kaplıcası'dır. Biçer Kaplıcası 2000'li yılların başında bölgedeki diğer kuyulardan yapılan aşırı çekimler sonucunda kurumuştur [164]. Aliağa Körfezi'nin kuzeybatısında yer alan Ilıcaburun Kaynağı ise bölgede yer alan 55°C sıcaklığa varan akışkan ve gaz muhtevasıyla sahadaki diğer önemli kaynaktır.

Sahada yer alan 9 jeotermal kuyunun 5 tanesi şu an ruhsatsız ve kullanılmamakta iken, 4 adet kuyu özel bir şirket tarafından ruhsatlandırılmıştır. Kuyuların derinlikleri 230-1.200 m aralığında değişiklik göstermektedir. Jeotermal enerji firması, ölçüm ve test çalışmalarının ardından bölgede elektrik enerjisi üretimine ve seracılık işletmesine hazırlanmaktadır [165, 166]. Yabancı bir ortağı bulunan şirket, 2 kuyudan çıkan jeotermal akışkan ile elektrik elde etmeyi, 1 kuyu ile seracılık yapmayı, 1 kuyuyu ise re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanmayı planlanmıştır.

6.7.1.3. Stratigrafi

Aliağa jeotermal sahasındaki temel birimler İzmir Filişi'ne ait kayalar iken, örtü birimleri Yuntdağı Volkanizması ürünleri, Neojen ve Kuvaterner birimleridir [150]. Sahada İzmir Filişi'ne ait birimlere rastlanmamaktadır ancak bölgedeki istife göre ve açılan kuyu loğlarına göre örtü birimlerinin altında filişe ait malzeme yer almaktadır [167]. Samurlu civarında açılan kuyularda yaklaşık 900 m derinlikte İzmir Filişi'ne ait birimler kesilmiştir [164].

Aliağa jeotermal sahasında gözlenen en yaşlı birim İzmir Filişi'ni uyumsuz olarak örten Alt Miyosen yaşlı Soma Formasyonu'dur [150]. Soma Formasyonu alt kesimlerde kalın tabakalı killi kireçtaşı, marn, çamurtaşı, kumtaşı ve tüfit ardalanması ile temsil edilir. Soma Formasyonunun üzerine andezitleri ile karakteristik Samurlu Formasyonu ile Foça Tüfleri uyumsuz şekilde çökelmiştir.

Aliağa ve çevresinde Alt Miyosen ve Pliyosen aralığında gerçekleşen volkanizmanın farklı evreler sonucunda oluşmuş volkanik birimler mevcuttur [150]. Yuntdağ, Dumanlıdağ ve Bozdivlit Formasyonları bu süreçler sonucu oluşmuş Alt-Orta Miyosen ve sonrası volkanik birimlerden oluşmuştur. Bu volkanitlerin üzerine ise Üst Miyosen döneminde volkanosedimanter karakterdeki Aliağa Formasyonu çökelmiştir.

Alüvyonlar, Bakırçay Havzası ve inceleme alanının orta kesiminde güncel alüvyonlar ve alüvyon yelpazeleri ile yamaç molozundan oluşur.

ŞEKİL 6.61: Aliağa-Samurlu jeotermal sahasındaki üretim kuyuları.

Kaynak: Haberler [165, 166].

6.7.1.4. Hidrojeoloji

Etüt alanının içinde yer aldığı drenaj havzasında sürekli akışı bulunan bir akarsu ve dere yatağı bulunmamaktadır. Drenaj alanı 40 km² olan havzanın yaklaşık 1/4'ünü Biçer Ovası düzlüğü oluşturmaktadır. Havzada yer yer bataklıklar bulunmaktadır ve bazı bölgelerde DSİ'ye ait kanallar ile yüzey sularına yönlendirilmiştir.

Havza içinde açılan birçok kuyu bu birimden su almaktadır. Çok geçirimli olmamasına rağmen kırık ve çatlak sistemleri ve fayların deformasyonundan etkilenen volkaniklerden de yer yer su alınabilmektedir. Bazaltik andezitlerin ortalama hidrolik iletkenlik katsayısı 3,0x10-6 m/s (0,26 m/gün)'dür [168].

6.7.1.5. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı Güzelhisar Fayı, Menemen Fay Zonu ve Yeni Foça Fayı arasındaki bölgede yer almaktadır. Bölgede yapısal kontroller ve volkanizmanın etkisi ile birimlerde deformasyonlar ve alterasyonlar yoğun şekilde görülmektedir. Bölgedeki yapısal unsurlar genellikle KD-GB, KB-GD ve BKB-DGD doğrultuludur [167].

Güzelhisar Fayı, Aliağa İlçesi ile Manisa il sınırı arasında uzanır. Yaklaşık 25 km uzunluğundaki fay K70B genel doğrultulu ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır [64]. Toplam uzunluğu 20 km'ye ulaşan Menemen Fay Zonu ise Dumanlı Dağ Volkanik Yükselimi ile Gediz Havzası arasında KB-doğrultulu segmentlerden oluşur. Yeni Foça Fayı genel olarak K-G doğrultusunda uzanan bir faydır ve yaklaşık 20 km uzunluğundadır [66].

Ilıcaburun Kaplıcaları, bölgede yer alan mağara boyunca gözlenebilen bir faydan boşalım yapmaktadır. Bu bölgede yer alan iki kaynağın da Foça Tüfü ve diğer volkanik birimlerden Nemrut Koyu boyunca uzanan KB-GD yönlü faylara bağlı akışkan dolaşımı sonucu oluştuğu düşünülmektedir [164]. Samurlu ve civarındaki jeotermal kaynaklar ise Foça Tüfü ve Aliağa Formasyonu kireçtaşlarını kesen/sınırlayan yaklaşık K-G ve KB-GD doğrultulu faylar kontrolünde oluşmuştur. Bu fay segmentlerinin K-G doğrultulu olanlarının Yeni Foça Fayı'nın; KB-GD olanlarının ise Güzelhisar Fayı'nın devamı niteliğinde olduğu düşünülmektedir.

ŞEKİL 6.62: Aliağa jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Aliağa Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Miyosen Volkaosedimanter Birimler (Andezit ve Bazlar)

Örtü Birimler
Miyosen Volkaosedimanter Birimler (Piroklastikler ve Tüfler)

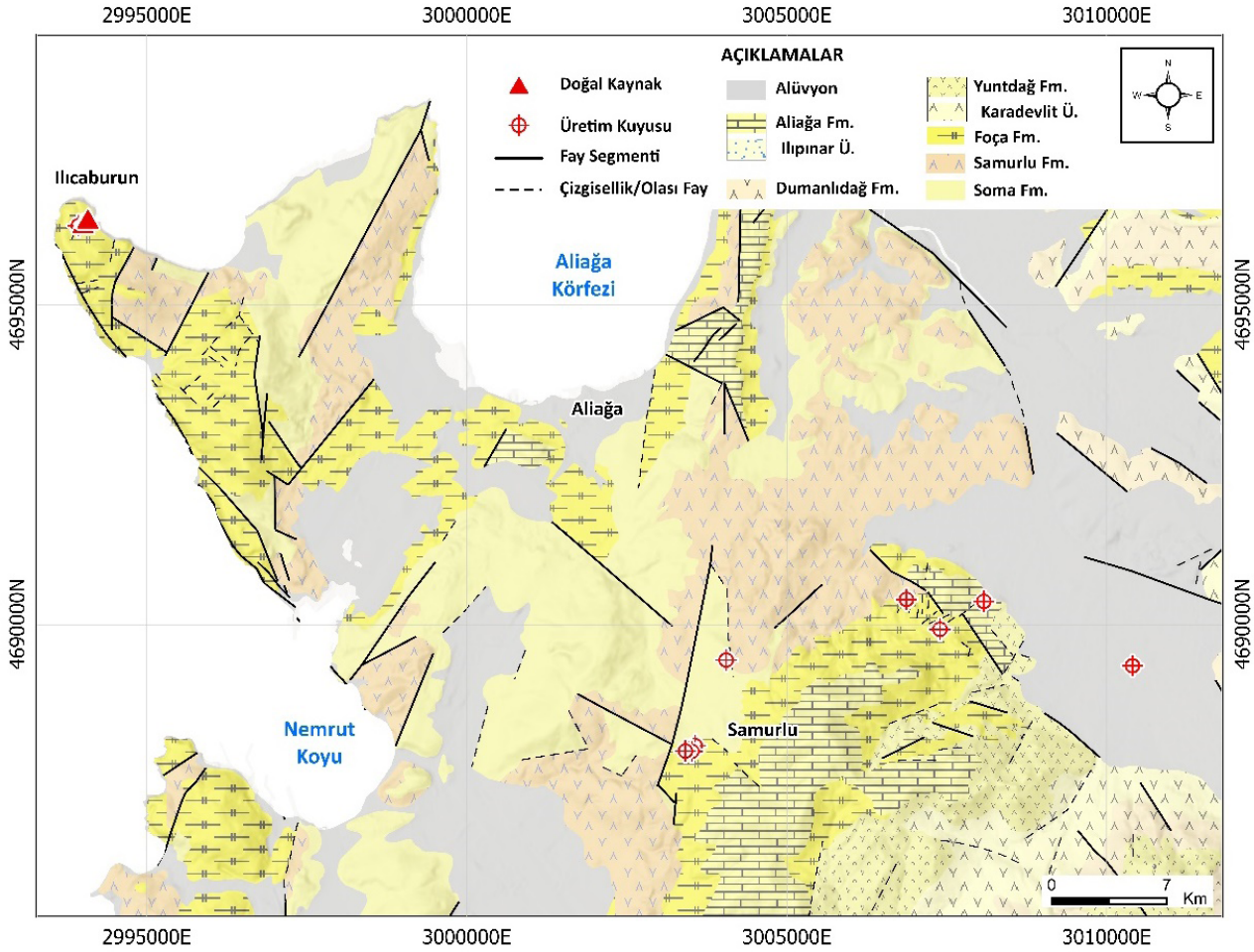
Yapısal Kontrol
Güzelhisar Fayı, Menemen Fay Zonu, Yeni Foça Fayı

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan, Volkanizma (?)

Sıcaklık Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **55°C***
*Kuyular : **109°C***

Debi Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **10 lt/s***
*Kuyular : **35 lt/s***

ŞEKİL 6.63: Aliağa jeotermal sahasına ait jeoloji haritası.



Kaynak: Akbaş ve diğ. [37] ve Akçay ve diğ. [150]'den yararlanılmıştır.

6.7.1.6. Kaynak Potansiyeli

Aliağa Jeotermal Sahası'nda bulunan 9 kuyu ve doğal kaynaktan verilerine ulaşılabilen 5 kuyu ve 2 doğal kaynağın toplam debisi 107 lt/s'dir. Kuyu debileri 5-35 lt/s arasında değişirken sıcaklıklar 62-109°C'dir. Doğal kaynaklar ise 40-55°C sıcaklığa sahiptir. Sahanın mevcut potansiyeli Tablo 6.15'den de görülebileceği gibi 25,9-32,6 MWt arasındadır. Sığ kuyulardan elde edilen yüksek sıcaklık değerleri oldukça ümit vadetmekte olup doğal kaynak sıcaklıklarının da oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sahada çalışmaların artırılarak gerçek potansiyelin ortaya konması ile komşu Dikili örneği gibi şehir ısıtma, seracılık, kurutma ve termal turizm amaçlı kullanımı mümkün olabilir.

TABLO 6.15: Aliağa sahasında bulunan jeotermal kaynakların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
					$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
Ayen-2	Üretim Kuyusu	Kullanılmıyor	35	109	10.929,8	11.668,3	12.406,8	13.145,3
Buhar-1	Üretim Kuyusu	Kullanılmıyor	5	62	564,3	668,8	773,3	877,8
Migi-1	Üretim Kuyusu	Bilinmiyor	30	96,6	7.798,6	8.431,6	9.064,6	9.697,6
Migi-2	Üretim Kuyusu	Bilinmiyor	10	89,2	2.271,0	2.480,5	2.690,0	2.899,5
Migi-3	Üretim Kuyusu	Bilinmiyor	15	89,4	3.443,5	3.760,0	4.076,5	4.393,0
Ilıcaburun-2	Doğal Kaynak	Termal Havuz-Kaptaj	2	40	41,8	83,6	125,4	167,2
Ilicaburun Kaynağı	Doğal Kaynak	Termal Havuz-Kaptaj	10	55	836,0	1.045,0	1.254,0	1.463,0
TOPLAM			107		25.885,0	28.137,8	30.390,6	32.643,4

6.7.1.7. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

Aliağa, ülkemizde termal turizm ile denizin entegre olabileceği yerlerden birisidir. Samurlu, Güzelhisar ve Helvacı'dan çıkarılan suyun sıcaklığı seracılık yanında termal turizm için de uygundur. Ayrıca Aliağa merkezinin 15 km batısında, suların bir mağara içinde kaynadığı Ilıcaburun kaynakları yer almaktadır. Kayalar eski dönemde yontularak, kaynağın doğal bir hamam içinde kalması sağlanmıştır [158].

Güzelhisar Ovası'ndaki tarımsal faaliyetlerin yapılabilmesi için hem yeraltı hem de Güzelhisar Barajı suyunu da içeren ''su yönetim planı''nın acilen hazırlanıp uygulanması talep edilmiştir. Uygun bir sulama ile ele alınabilecek ''Jeotermal Enerji Katkılı Seracılık'' projesinin Güzelhisar köylüsü için ekonomik potansiyel taşıdığı belirtilmiştir. Aliağa çevresindeki jeotermal seraların yaygınlaştırılması ve bunların balıkçılık, tarımsal ürün kurutma, agro-turizm gibi uygulamalarla zenginleştirilmesi önerilmektedir [158].

Samurlu sahasında özel bir şirket mevcut durumdaki kuyular için domates seracılığı planlamıştır. Bu projede üretimde ve paketlemede yaklaşık 140 işçinin çalışması ve bunun çoğunluğunun kadın olması ve tamamının Aliağa'dan istihdam edilmesi planlanmıştır [165, 166]. Ayrıca Belediye'nin Aliağa Jeotermal A.Ş. adı altında bir şirketi mevcut olsa da daha çok sosyal ve mimari proje tasarımı alanında çalışmalarda bulunmaktadır [163].

6.7.2. Dikili-Bergama-Kınık Jeotermal Sahası

6.7.2.1. Genel Bilgiler

İzmir ilinin en kuzey ilçeleri olan Dikili, Bergama ve Kınık, jeotermal açıdan oldukça önemli kaynaklara sahip ve jeotermal enerji potansiyeli olan bir bölgede yer almaktadır.

Dikili, Ege Denizi kıyısında ve Midilli Adası karşısında yer alır. Komşu ilçeler Ayvalık, Bergama ve Aliağa'dır. 2020 verilerine göre Dikili'de 45.217 kişi yaşamaktadır [88]. İlçenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Başlıca geçim kaynağı orman ve orman ürünlerine dayalı sanayi kolları ile hayvancılıktır. İlçede en önemli ticari faaliyet keresteciliktir. Bu sektör aynı zamanda nakliye sektörünün de gelişmesini sağlamıştır. İlçe çeşitli maden rezervlerine sahiptir. Bunların başında; linyit, traverten mermeri, kurşun, krom, magnezit, çinkolu kurşun gelmektedir [169].

İlçe toprakları çok engebeli ve verimsiz olduğu için tarımsal faaliyetler geniş araziler üzerine kurulmuştur. İlçede toplam 23.901 ha. tarım arazisi bulunmaktadır. Kuru tarım ürünlerinden; buğday, arpa, çavdar, yulaf, mercimek ve nohut, meyve üretimi olarak en çok elma üretilmektedir [169]. Dikili'de son yıllarda gelişen jeotermal kaynaklı sera alanları da yeni bir girişimcilik alanı olmuştur. 2009 yılında Dikili ''Termal Kültür ve Turizm Koruma ve Gelişim Bölgesi'' ilan edilmiştir [158].

Bergama, Ege Bölgesi'nin kuzey batısında yer alan bir ilçedir. Bakırçay'ın kuzeyinde, antik Pergamon kentinin yer aldığı yamaç üzerinde kurulmuştur. Doğusunda Manisa ve Kınık, kuzeyinde Balıkesir, batısında Ayvalık ve Dikili, güneyinde ise Aliağa ile çevrilidir. İzmir il merkezine uzaklığı 107 km ve deniz kıyısına uzaklığı 30 km'dir. Yüzölçümü 1.573 km² olup, İzmir'in alan bakımından en büyük ilçesidir [170]. 2020 verilerine göre Bergama'da 104.944 kişi yaşamaktadır [88].

Bergama'nın uzun yıllardan beri en önemli gelir kaynakları tarım ve hayvancılıktır. Halkın geçimini sağladığı en önemli tarım ürünleri pamuk, tütün, domates, zeytin, mısır ve buğdaydır. Bölge toprağı ve arazi yapısı, yeni yatırımcılara çeşitlendirme konusunda açık alan özelliği taşımaktadır. Bergama yöresi özellikle granit, mermer, altın, perlit ve taş ocakları ile madencilik sektöründe önemli bir bölgedir [171]. Bergama'da ayrıca tarihi Pergamon Antik Kenti bulunmaktadır. 2014 yılında Dünya Kültür Miras Listesi'ne giren Pergamon ve çevresinde Prehistorik dönemlere kadar uzanan yerleşim yeri kalıntıları mevcuttur. Günümüzde ayrı bir ilçe olan Dikili, antik dönemde Pergamon'un bir limanı durumundaydı. Bugün de aynı şekilde Dikili ve çevresi Bergama ve Kınık için önemli bir liman yerleşimi konumundadır [169].

Kınık, Madra Dağları ile Yunt Dağları'nın arasında Bakırçay Ovası'nın güney kıyısında yer almaktadır. Doğusu ve Güneyi Manisa il sınırı ile batısı ile kuzeyi Bergama ilçeleriyle çevrilmiştir. Yüzölçümü 436 km² kilometrekare olup [172], 2020 verilerine göre Kınık'ta 28.691 kişi yaşamaktadır [88]. İlçenin ekonomik yapısı tarım, hayvancılık ve ormancılığa dayalıdır [80].

6.7.2.2. Jeotermal Kaynaklar

Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasında doğal kaynaklar, jeotermal üretim kuyuları ve jeotermal re-enjeksiyon kuyuları bulunmaktadır.

Dikili ilçesinde en önemlileri Nebiler Kaplıcası, Kocaoba Kaplıcası, Dikili-Karadere Ilıcası ve Kaynarca olmak üzere toplam 9 adet doğal kaynak bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda Bergama sahası kapsamında değerlendirilen Sucahlı jeotermal kaynakları ise günümüzde Kınık ilçe sınırı içerisinde bulunmaktadır [164].

Doğal kaynakların varlığı bölgede 1980'li yılların sonunda MTA'nın çalışmaları ile jeotermal potansiyelin yüksek olması ile ilişkilendirilmiş ve bölgede ilk kuyular açılmıştır. 2000'li yılların başından itibaren bölgedeki jeotermal araştırmalar hız kazanmış ve açılan yeni kuyularla günümüze kadar bilinen 32 adet jeotermal kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan 5 tanesi ise mevcut durumda re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Üretim kuyularının büyük çoğunluğu sera ısıtmasında, bir kısmı ise kentsel ısıtmada kullanılmaktadır.

Bergama ilçesindeki jeotermal alanlardaki doğal kaynaklar Paşa Ilıcası, Dibek Kaynağı, Mahmudiye Ilıcası, Geyiklidağ (Güzellik) Ilıcası ve kuzeyde ilçe sınırındaki Kozak Kaynağı'dır. Bu kaynaklardan Paşaköy Ilıcası baraj suları altında kalmış iken, Dibek ve Güzellik Ilıcaları kurumuştur. Bergama sınırlarında ayrıca Bergama Belediyesi tarafından işletilen 4 adet üretim, 1 adet re-enjeksiyon kuyusu mevcuttur.

ŞEKİL 6.64: Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasında bulunan doğal kaynaklardan a) Güzellik Kaplıcası (Bergama) b) Paşaköy Kaplıcası (Bergama c) Çamur Ilıcası (Dikili).

Kaynak: a)[173] b) [174] Stratigrafi

Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasının bulunduğu alanda temel birimleri Paleozoyik ve Mesozoik yaşlı kireçtaşı ve mermerler oluşturur [37]. Temel birimlerde bulunan 3 ana formasyon Çamoba, Kınık ve Kapıkaya Formasyonları'dır [155]. En yaşlı Paleozoyik Çamoba Formasyonu kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera litolojisine sahip birkaç üyeden oluşmuştur ve jeotermal kaynakların güneydoğusundaki temeli oluşturur. Metakumtaşı, metaçamurtaşı ve metavolkanitlerden oluşan Kınık Formasyonu özellikle Bergama'nın güneydoğusu ve doğusunda, Kınık-Sucahlı jeotermal kaynaklarının olduğu alanda yüzeylenmiştir. Bu birimlerin üzerinde ise kireçtaşı-kumtaşı litolojisi egemen Orta Triyas yaşlı Kapıkaya Formasyonu bulunmaktadır.

Dikili-Bergama-Kınık civarında temel birimler üzerine volkanosedimanter birimler yerleşmiştir. Birimlerdeki kireçtaşları killi ve yer yer tüf birimleri ile ardalanmalıdır. Özellikle sahanın kuzeyinde Kozak Yaylası ve çevresinde görülebilen magmatik kayaçlar alanda çok geniş yer kaplarlar. Kozak bölgesindeki Eosen-Oligosen yaşlı Kozak Granodiyoritleri bölgedeki en önemli birimlerdendir [155, 175].

Aliağa, Foça, Yamanlar ve çevresinde olduğu gibi bu sahada da volkanizmaya ait ürünler geniş yayılım göstermektedir. Üst Miyosen'den Kuvaterner'e kadar farklı yaşlarda formasyonlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri Yuntdağ Volkanitleri ve Bozdivlit Volkanitleri'dir [155]. Başlangıçta dasitik, riyodasitik lav ve tüflerle karakterize edilen Yuntdağ Volkanitleri aktivitesinin sonuna doğru andezitik türde lavlar tüf ve aglomeralarla geniş yayılım gösterirler [176]. Üst Miyosen-Pleistosen yaşlı Alibey (Dededağ) Bazaltları ise koyu siyah renkte ve soğuma sütun yapıları ile karakteristiktir [155, 176].

ŞEKİL 6.65: Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sisteminin genel özellikleri.

Jeotermal Sistem
Dikili-Bergama-Kınık Jeotermal Sistemi

Rezervuar Birimler
Miyosen Volkanosedimanter Birimler (Andezit ve Bazatlar)

Örtü Birimler
Miyosen Volkanosedimanter Birimler (Piroklastikler ve Tüfler)

Yapısal Kontrol
Dikili Fay Zonu
Zeytindağ-Bergama Fay Zonu

Isı Kaynağı
Jeotermal Gradyan,
Volkanizma-Magmatizma

Sıcaklık Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **80°C***
*Kuyular : **132°C***

Debi Değerleri
*Doğal Kaynaklar : **180 lt/s****
*Kuyular : **65 lt/s***

**Kaynakların toplam debisidir.*

6.7.2.3. Hidrojeoloji

Proje alanın kuzeyini oluşturan ve Bakırçay Havzası olarak da belirlenen alan Aliağa, Dikili, Bergama ve Kınık'tan oluşmaktadır. Bu bölgedeki jeotermal sahalara ait jeolojik, jeokimyasal ve hidrojekimya çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan ilki, 1939 yılında Salomon-Calvi tarafından 1939 yılında meydana gelen 9 şiddetindeki depremi (Mercalli-Sierberg ölçeği verilerine göre) incelemek amacıyla yapılmıştır. Depremle ilişkili olarak incelediği eski jeotermal kaynaklara (5 adet 90°C) ek olarak depremden sonra 2 adet maksimum 92°C yeni kaynağın oluştuğunu saptamıştır. Bu çalışmaları takiben alanda yapılan diğer çalışmalar bulunmaktadır [176-187]. Ancak benzer jeolojik ve yapısal özelliklere sahip olan Kınık sahasının jeotermal özellikleri ve potansiyeli bakımından çalışma bulunmamaktadır.

Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahaları Türkiye'nin en önemli jeotermal alanlarından birisidir. Çalışma alanında yapılan incelemelerde, alanda bulunan volkanik birimler yaygın alterasyona uğramalarından dolayı bu kayaçların çatlaklarında silis, kalsit, jips dolguları bulunmaktadır. Tektonik zonlarda ikincil gözeneklilik ve geçirgenliğin artmasıyla bu kayalar rezervuar özelliği kazanmışlardır.

Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahaları içerisinde gözlemlenen piroklastikler altere olmamış dasit, ignimbirit, felsik piroklastik kayaçlardan oluşmasından dolayı düşük porozite özelliğine sahiptir ve bu nedenle örtü kaya özelliğindedir. İnceleme alanı içerisinde çok fazla yayılım göstermeyen volkanik birimler tektonik hatlar boyunca düşük dereceli rezervuar oluşturabilir.

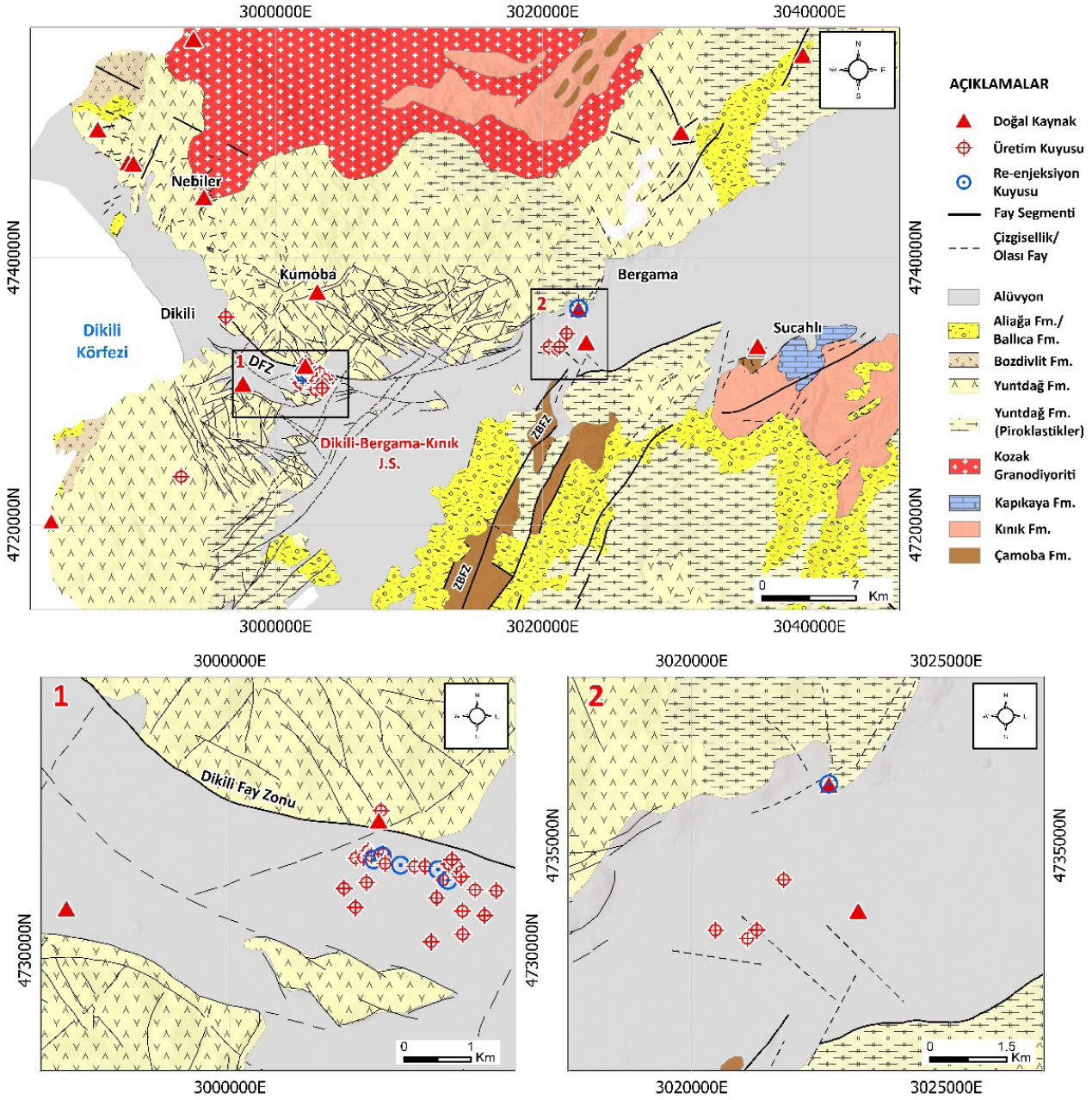
6.7.2.4. Yapısal Jeoloji

Çalışma sahasında yapılan gözlemlere göre KB-GD, K-G ve KD-GB doğrultularında uzanan Miyosen sonrası oluştuğu düşünülen pek çok fay segmenti mevcuttur. Haritalanan fayların tümü KD-GB uzanımlı Zeytindağ-Bergama Fay Zonu'nun batısında kalmaktadır [188].

Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahalarına ait jeotermal kaynakları genellikle KB-GD doğrultulu fayların çatlaklarından gelerek alüvyon şeridinin üzerinde birkaç yerden yüzeye çıkmaktadır. Kaynaklardan yüksek sıcaklığa sahip olanları, koyu renkli andezitler arasından çıkarak alüvyondan boşalmaktadır [189].

Bölgedeki yapısal unsurlar Miyosen dönemine ait Kozak Granodiyoriti ile volkanik ve volkanosedimanter birimleri kesecek şekilde gelişmişlerdir. Bölgede yapılan son çalışmalara göre [188]; gerek KD-GB ve gerekse de KB-GD uzanımlı yapısal hatlar aynı zamanda hem kıyı şeridini kontrol edecek şekilde uzanım sunmuş ve hem de Kuvaterner grabenlerinin sınır faylarını oluşturmuştur. Dikili Fay Zonu'na KB-GD ve Zeytindağ-Bergama Fay Zonu'na ait KD-GB hatları ise Miyosen dönemi magmatizma ve volkanizmanın çıkış zonlarını oluşturacak şekilde gelişmiş ve bu fayların bir kısmı Miyosen sonrası dönemde yeniden aktif hale geçerek jeotermal sistemin oluşumuna katkıda bulunmuştur. Jeotermal kaynakların lokasyonları incelendiğinde kaynakların genellikle fayların üzerinde veya kesişme bölgelerinde yakın konumlandığı görülmektedir.

ŞEKİL 6.66: Dikili-Bergama-Kınık jeotermal sahasına ait jeoloji haritası (DFZ: Dikili Fay Zonu, ZMFZ: Zeytindağ-Bergama Fay Zonu).



Kaynak: Dönmez ve diğ. [155]; Sözbilir [188]'den yararlanılmıştır.

6.7.2.5. Kaynak Potansiyeli

Dikili ve Bergama'da sıcaklık ve debi değerlerine ulaşılmış 27 adet kuyu ile 4 adet doğal kaynak bulunmaktadır. Bergama'da bulunan kuyular 37-62°C arasında sıcaklığa sahipken Dikili kuyularından 10 adedinin sıcaklığı 100°C'nin üzerindedir. Kaydedilen en yüksek sıcaklık ise 131,5°C'dir. Her iki sahada bulunan kuyuların toplam debisi 1,000 lt/s'yi geçmektedir. Dikili'de bulunan doğal kaynaklar termal turizm amaçlı kullanılmakta olup sıcaklıkları 57-80°C, debileri ise 2-180 lt/s arasında değişmektedir. Özellikle Kaynarca doğal kaynakları 80°C sıcaklık ve 180 lt/s debi (doğal çıkışların tümünün toplam debisi) ile oldukça yüksek kapasiteli bir kaynak olarak dikkat çekmektedir.

Dikili sahası orta-yüksek sıcaklıklı bir saha olmasına rağmen debi değerleri 15-60 lt/s aralığında kalmaktadır. Derin sondajlar ile daha yüksek debi değerleri elde edilebilirse sahada öncelikle elektrik üretimi düşünülmelidir. 135°C'lik kuyuların sera ısıtma uygulamasında kullanımı enerji verimliliği açısından uygun olmamaktadır. Jeotermometreler sahada 200°C sıcaklığa ulaşılabileceğini göstermektedir.

Dikili'de kent ısıtmasında kullanılan 2 kuyu ortalama 100°C sıcaklık ve 30-35 lt/s debiye sahiptir. Jeotermal akışkanda 30°C'lik bir sıcaklık düşümü gerçekleştiği kabulü ile bu kuyuların toplam ısı kapasitesi yaklaşık 4,1 MWt'dir. Bu kapasite ile 677 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır. Dikili'de yukarıdaki kabul ile bölgesel ısıtma sistemi dönüş sıcaklığı 70°C civarında olup sera/kurutma uygulamaları için yeterli olabilir. Kullanılmayan ya da kullanım alanı belirlenememiş kuyular da eklendiğinde sahanın toplam potansiyeli 29-37 MWt gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmaktadır (Tablo 6.16). Sahada, "Jeotermal Kaynaklı Dikili Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesi" için çok sayıda kuyunun açılması ve jeotermal akışkanın uygulama alanları ile sıcaklık eşleşmesinin yapılarak entegre kullanım ile maksimum verim hedeflenmektedir.

TABLO 6.16: Dikili-Bergama-Kınık sahasında bulunan jeotermal kuyuların ısıl potansiyeli.

Kaynak Adı	İlçe	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
						$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
BÇ-1	Bergama	Jeotermal Kuyu	Kullanılmıyor	28	58	2.691,9	3.277,1	3.862,3	4.447,5
BDJ-1	Bergama	Jeotermal Kuyu	Kullanılmıyor	9	62	1.015,7	1.203,8	1.391,9	1.580,0
DB-2	Bergama	Jeotermal Kuyu	Bilinmiyor	30	62	3.385,8	4.012,8	4.639,8	5.266,8
GI-1	Bergama	Jeotermal Kuyu	Re-enjeksiyon	60	53*	4.514,4	5.768,4	7.022,4	8.276,4
Y2	Bergama	Jeotermal Kuyu	Kullanılmıyor	50	62	5.643,0	6.688,0	7.733,0	8.778,0
Mahmudiye	Bergama	Jeotermal Kuyu	Bilinmiyor	2	37	16,7	58,5	100,3	142,1

Kaynak Adı	İlçe	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
						$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
A-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	25	93	6.278,5	6.819,8	7.361,0	7.902,3
A-2	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	50	102	14.137,0	15.192,0	16.247,0	17.302,0
A-3	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	60	110	18.990,0	20.256,0	21.522,0	22.788,0
A-4	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması/ Re-enjeksiyon	50	115	16.880,0	17.935,0	18.990,,0	20.045,0
A-5	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	50	105	14.770.0	15.825,0	16.880,0	17.935,0
A-6-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması/ Re-enjeksiyon	50	95	12.540,0	13.585,0	14.630,0	15.675,0
A-6-2	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	45	80	8.464,5	9.405,0	10.345,5	11.286,0
A-7	Dikili	Jeotermal Kuyu	Bilinmiyor	40	97	10.366,4	11.202,4	12.038,4	12.874,4
Ç-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	30	110	9.495.0	10.128,0	10.761,0	11.394,0
Ç-2	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	25	103	7.174,0	7.701,5	8.229,0	8.756,5
C-3	Dikili	Jeotermal Kuyu	Bilinmiyor	40	105	11.816,0	12.660,0	13.504,0	14.348,0
Ç-3	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	20	95	5.908,0	6.330,0	6.752,0	7.174,0
C-7	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	65	80	12.226,5	13.585,0	14.943,5	16.302,0
MG-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Bilinmiyor	25	72	3.866,5	4.389,0	4.911,5	5.434,0

Kaynak Adı	İlçe	Kaynak Tipi	Mevcut Kullanım	Q (lt/s)	T_g (°C)	Q (kWt)			
						$T_ç$ (35°C)	$T_ç$ (30°C)	$T_ç$ (25°C)	($T_ç$ 20°C)
SA-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	15	91	3.511.2	3.824,7	4.138,2	4.451,7
T-1 (MTA-1)	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması	40,6	130,7	18.650,0	19.624,4	20.598,8	21.573,2
T-2 (MTA-2)	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması/ Re-enjeksiyon	46,7	131,5	21.631,4	22.752,2	23.873,0	24.993,8
T-3 (MTA-3)	Dikili	Jeotermal Kuyu	Sera Isıtması/ Re-enjeksiyon	45	97	11.773,8	12.723,3	13672,8	14.622,3
V-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Kullanılmıyor	26	79	4.781,9	5.325,3	5.868,7	6.412,1
YB-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Kentsel Isıtma	35	103	10.043,6	10.782,1	11.520,6	12.259,1
YYB-2	Dikili	Jeotermal Kuyu	Kentsel Isıtma	30	97	7.849,2	8.482,2	9.115,2	9.748,2
ZD-1	Dikili	Jeotermal Kuyu	Termal Turizm	20	48	1.086,8	1.504,8	1.922,8	2.340,8
Dikili Ilıcası-Karadere	Dikili	Doğal Kaynak	Bilinmiyor	3	73	476,5	539,2	601,9	664,6
Kaynarca	Dikili	Doğal Kaynak	Termal Turizm	180*	80	38.880,0	43.200,0	47.520,0	51.840,0
Kocaoba Kaplıcası	Dikili	Doğal Kaynak	Termal Turizm	3	68	413,8	476,5	539,2	601,9
Nebiler Kaplıcası	Dikili	Doğal Kaynak	Termal Turizm	2	57	183,9	225,7	267,5	309,3
TOPLAM				1.200,3		289.462	315.482,7	341.503,3	367.524

**Bütün kaynakların toplam debisidir.*

6.7.2.6. Mevcut Uygulamalar ve Öneriler

İZKA tarafından hazırlanmış olan İlçe Raporu'nda, Dikili'nin önemli düzeyde jeotermal kaynağa sahip olduğu, ancak bu potansiyelin yeterince değerlendirilmediği belirtilmektedir. Bademli Sahili'nde deniz içinde yer alan ''Ilıca'' bölgesi, çevre düzenlemesi yapılıp hem deniz hem de karadan ulaşımı sağlanarak ziyarete açılabilir. Kocaoba Köyü'ndeki şifalı su kaynağı da değerlendirilmeyi beklemektedir [158].

Agrobay Seracılık tarafından 2002 yılından beri işletmede olan jeotermal enerji ile entegre sera tesisi, 10.000 da civarı arazi üzerine kurulmuş Avrupa'nın en büyük sera tesisidir. Agrobay Seracılık'a ait Dikili Kaynarca Mevkii'nde 7 adet üretim ve 2 adet re-enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Bu alandaki, jeotermal kuyuların sıcaklıkları 80°C ve işletmede kullanılan toplam debi 250 lt/s'dir (Şekil 6.67c; [158]).

Dikili ilçesi İsmetpaşa Mahallesi'nde yapılması planlanan "Jeotermal Kaynaklı Dikili Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesi (TDİOSB)" Türkiye'nin en büyük projelerinden biridir. Toplam 80 adet 25 dekarlık sera kurulacaktır. Kurulacak olan seralarda 3.500 kişi istihdam edilecektir [190].

ŞEKİL 6.67: a) Dikili Jeotermal A.Ş.'ye ait üretim kuyuları ve ısıtma binası b) Kozak civarında EGS potansiyeli olan granitler c) Agrobay Seracılık'a ait jeotermal ısıtmalı seralar d) seralarda yetiştirilen ve büyük bölümü ihraç edilen domatesler.

Dikili TDİOSB, bölgede bir ilk olma özelliğine sahip yenilikçi bir projedir. Dikili TDİOSB projesi Onbirinci Kalkınma Planı'ndaki Tarıma Yönelik Hedefler, OSB'lere Yönelik Hedefler, Bölgesel Gelişme Ulusal Stratejisi'nin (BGUS) (2014-2023) Tarım ve OSB'lere Yönelik Hedefleri, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın TDİOSB'lere ve Kırsal Kalkınmaya Yönelik Hedeflerine uygun bir yatırımdır. Bu seralarda jeotermal enerjinin verimli ve doğru bir şekilde kullanılması ve bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirilmesi planlanmıştır. Bu proje ile bölgede istihdam olanakları da artacaktır.

Bergama'da ise, jeotermal sistemde ilk kez 2005 yılında Yuvam Sitesi'nde 42 konutla başlayan konut ısıtmacılığı, 2015 yılı itibarı ile toplam 53 konut sayısına ulaşmıştır. Bayatlı Sitesi'nde 2005 yılında başlanan ısıtma sisteminde ise 2015 yılı itibarı ile toplam abone sayısı 352'dir. Jeotermal sistemde devreye alınmış DB-2 kuyusu ile ısıtma yapılmaktadır. Jeotermal ısıtma, Bayatlı, Yuvam, Kamer Siteleri ve Kapalı Yüzme Havuzu'nda kullanılmakta ve bu ısıtmadan şu an toplam 677 konut abonesi faydalanmaktadır [191].

Ayrıca Dikili sahasının kuzeyinde görülen granitler Gelişmiş Jeotermal Sistemler (EGS) için önemli bir potansiyele sahiptir. Bunlara ek olarak Dikili'de jeotermal akışkana deniz suyu karışımı nedeniyle tropik balık türleri yetiştirilebilir ve bu sahada yenilenebilir enerji kaynakları hibrit olarak kullanılabilir.

6.7.3. Jeotermal Sahaların Teknik Açıdan Değerlendirilmesi

6.7.3.1. Hidrojeokimyasal Özellikler

Bakırçay Havzası jeotermal alanlarına ait farklı yıllarda bir dizi hidrojeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, daha önce yapılmış olan hidrojeokimyasal analiz sonuçları ile yeni sonuçlar sentez edilerek değerlendirilmiştir. Jeotermal sahada farklı dönemlerde yapılan hidrojeokimyasal veriler ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

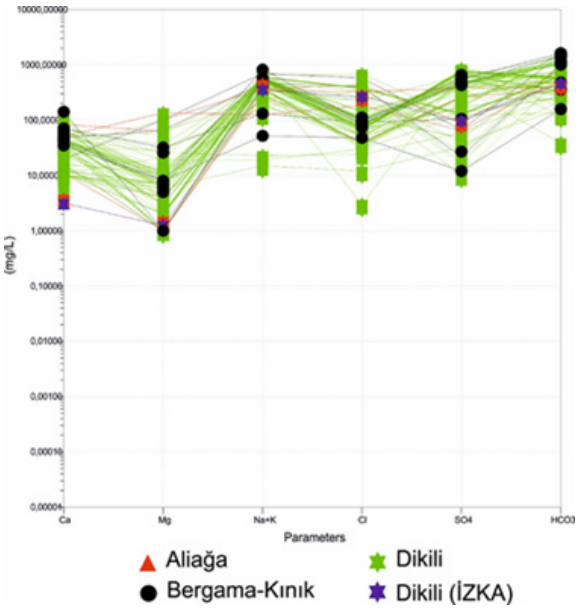
Çalışma sahasının hidrojeokimyasal özelliklerini yorumlayabilmek için sahada bulunan farklı lokasyon noktalarında yapılmış çalışmalardan toplamda 121 su numunesi derlenmiştir. Proje alanın kuzeyini oluşturan ve Bakırçay Havzası olarak belirlenen alan Aliağa, Dikili, Bergama ve Kınık'tan oluşmaktadır. Bakırçay Havzası içerisinde açılan jeotermal kuyuların derinlikleri ise 250 ile 1.000 m arasında değişmektedir. Bakırçay Havzası içerisinde bulunan Dikili bölgesinde su sıcaklıkları 16-131°C arasında değişirken, Aliağa bölgesinde sıcaklıklar 25-90°C ve Bergama bölgesinde sıcaklıklar 19-60°C arasında değişmektedir.

Bakırçay Havzası jeotermal alanında bulunan akışkanların Elektriksel İletkenlik (Eİ) değerleri 350-56.200 µS/cm olarak ölçülmüştür. Bu alanlardan Dikili jeotermal akışkanlarının Eİ değerleri 410-56.200 µS/cm iken Aliağa'da Eİ değerleri 1.900-47.000 µS/cm ve Bergama'da Eİ değerleri 350-2.320 µS/cm olarak ölçülmüştür. Bakırçay Havzası jeotermal alanında, Bergama jeotermal akışkanlarının Eİ değerlerinin diğer alanlara oranla düşük olması, Dikili ve Aliağa bölgelerinin denize yakın olması ve jeotermal sistemlere tuzlu deniz suyu girişimi ile açıklanabilir. Ancak geçmiş yıllarda yapılan ölçümler incelendiğinde Eİ değerlerinde genel olarak azalma olduğu görülmektedir. Bu değişim, jeotermal akışkanlarda aşırı kullanım, soğuk su girişi ya da kullanımdan dönen akışkan kaynaklarının/rezervuarın yakın noktasına deşarjı/re-enjeksiyonu ile açıklanabilir.

Bakırçay Havzası jeotermal alanında bulunan akışkanların pH değerleri 6,1-9,1 olarak ölçülmüştür. Bu alanlardan Dikili jeotermal akışkanlarının pH değerleri 6,2-9,1 iken Aliağa jeotermal akışkanlarının pH değerleri 6,1-8,86 ve Bergama jeotermal akışkanlarının pH değerleri 6,2-8,88 olarak ölçülmüştür.

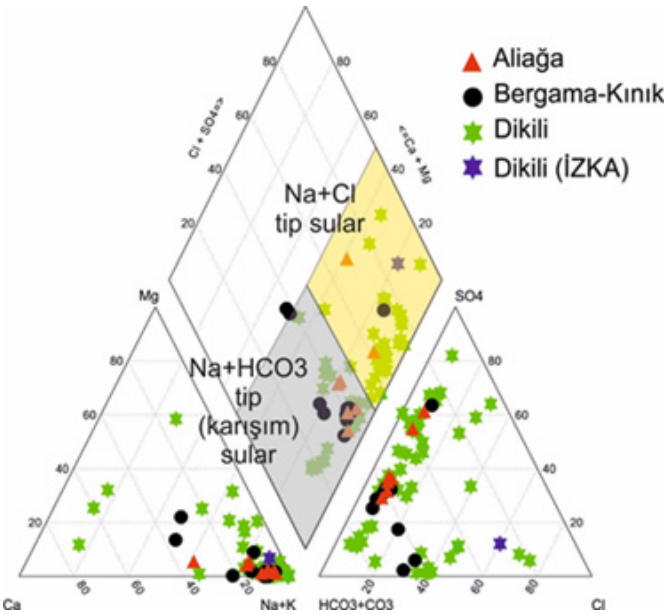
Yarı Logaritmik Schoeller diyagramında Bakırçay Havzası jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli sular incelendiğinde deniz suyuna benzer değişimler verdiği; jeotermal akışkan örneklerinin Schoeller diyagramında iyonları birleştiren doğrunun gidişinin deniz suyu ile hemen hemen eşit görünümde oldukları gözlenmektedir. Birbirine benzerlik sunan, birbirine yakın dağılım gösteren suların kökenlerinin ve yeraltında izledikleri yolların birbirine benzer oldukları ve aynı rezervuardan geldikleri söylenebilir (Şekil 6.68). Ancak bazı jeotermal akışkanlar diyagramın daha alt kesimlerinde yer almaktadır. Bu durum deniz suyu karışımının her su noktası için farklı olduğunu göstermektedir.

ŞEKİL 6.68: Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Schoeller diagramı.



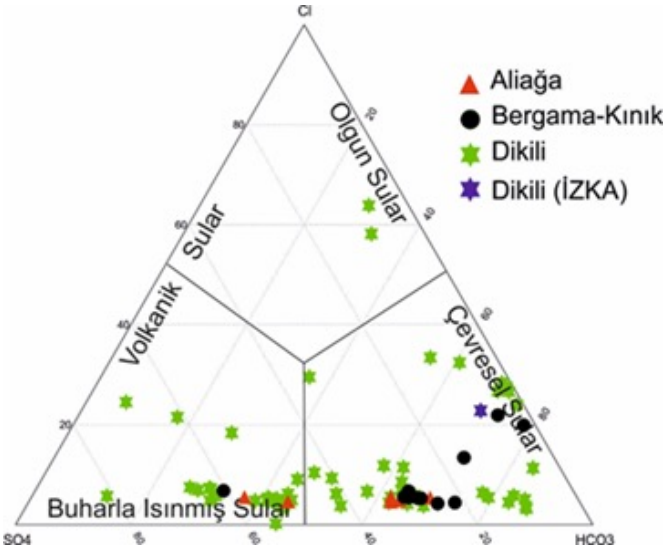
Piper diyagramına göre sular Na-Cl-HCO_3 tipi, diğer örneklerde ise genel olarak Na-SO_4-HCO_3 tipi sulardan oluşmaktadır; yani karışık sular bölümüne denk gelmektedir bu da rezervuarda bulunan jeotermal akışkanların yüzeye çıkarken tatlı yeraltı suları ile karışması ile açıklanabilir. (Şekil 6.68).

ŞEKİL 6.69: Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Piper diagramı.



Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramında Bakırçay Havzası'na ait jeotermal akışkan örnekleri genel olarak buharla ısınmış/termal sular bölümüne denk gelirken karışım suları ise çevresel sular kısmına denk gelmektedir (Şekil 6.70).

ŞEKİL 6.70: Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanların Cl-SO_4-HCO_3 Ternary diyagramı.



6.7.3.2. Jeotermometre Uygulamaları

Bakırçay Havzası'na ait jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesinde katyon ve silis jeotermometrelerinden faydalanılmıştır. Bu jeotermometreler 150-225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda rezervuardan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlendiğinden dolayı 225°C nin üzerindeki rezervuar kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmamaktadır. Bakırçay Havzası jeotermal sahalarındaki suların rezervuar sıcaklıkları α-kristobalit, kalsedon ve kuvars jeotermometreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre, Dikili jeotermal akışkanlarının rezervuar sıcaklıkları α-kristobalit jeotermometresine göre 10,56-249,72°C iken kalsedon jeotermometresine göre 27,31-293,10°C ve kuvars jeotermometresine göre 59,53-290,46°C arasında ölçülmüştür. Aliağa jeotermal akışkanlarının rezervuar

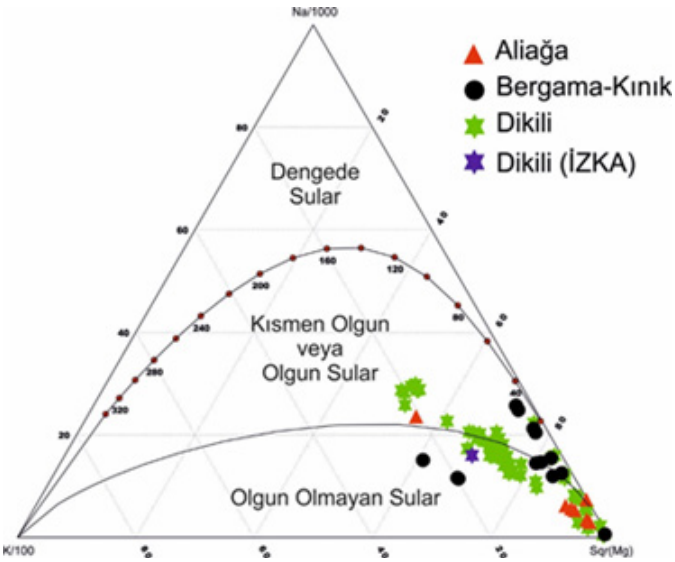
sıcaklıkları α kristobalit jeotermometresine göre 42,58-88,23°C iken kalsedon jeotermometresine göre 62,22-112,33°C ve kuvars jeotermometresine göre 92,78-138,85°C arasında ölçülmüştür. Bergama-Kınık jeotermal akışkanlarının rezervuar sıcaklıkları α-kristobalit jeotermometresine göre 30,20-86,56°C iken kalsedon jeotermometresine göre 48,69-110,49°C ve kuvars jeotermometresine göre 80,01-137,19°C arasında ölçülmüştür [192].

Uygulanan jeotermemotre sonuçları incelendiğinde, Bakırçay Havzası jeotermal sahalarındaki suların rezervuar sıcaklıklarının en yüksek olduğu yer Dikili olarak göze çarpmaktadır. Alanın jeolojik özellikleri incelendiğinde de ısıtıcı kayacın yüzeye yakın olması, alanın aktif tektonik yapı içerinde bulunması bu durumun doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Katyon jeotermometreleri Giggenbach [12] tarafından jeotermal akışkanların rezervuar sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem akışkan rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır.

Burada Bakırçay Havzası'nda bulunan jeotermal akışkanlar ele alınmıştır. Buna göre Na-K-Mg üçgen jeotermometre değerlendirmeleri sonucunda Bakırçay Havzası'nda bulunan jeotermal akışkanlar olgun sular ile kısmen olgun sular bölgesine karşılık gelmektedir. Ayrıca sıcaklık izotermi olarak da Bakırçay Havzası'ndaki jeotermal akışkanlar 80-200°C arasına karşılık gelmektedir (Şekil 6.71).

ŞEKİL 6.71: Bakırçay Havzası jeotermal akışkanlarının olgunluk diyagramı.



6.7.3.3. Korozyon ve Kabuklaşma

Dikili sahasından üç adet örnek alınmış ve analiz edilmiştir. Kabukların hemen hepsi benzer karakter göstermektedir. Hepsi kristalin yapı göstermekte ve bu yapılar $CaCO_3$'ün Kalsit formu ile eşleşmektedir. Dikili A örneğinde ağırlıklı olarak kalsit yapı ile minör olarak metal silikat yapısı da bulunmaktadır. Söz konusu üç örneğin elementel kompozisyonu aşağıdaki Tablo 6.17'de verilmektedir.

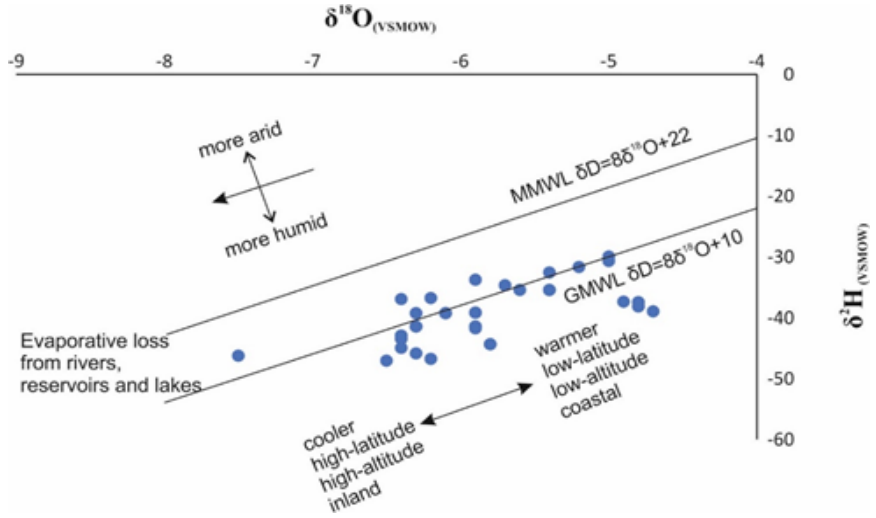
TABLO 6.17: Dikili'den alınmış kabuk örneklerinin XRF ile belirlenmiş elementel içeriği.

Element	Na	Mg	K	Al	Ca	Fe	Sr
Dikili-A	4,7	1,8	1,1	4,7	41,0	3,5	0,7
Dikili-B	4,8	1,1	0,0	0,2	63,3	0,3	1,0
Dikili-U	4,9	1,1	0,0	0,2	63,0	0,3	1,3

6.7.3.4. İzotopik Analizler

Jeotermal arama, geliştirme ve izleme çalışmalarında akışkan kökenlerine ilişkin olarak hidrojeolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko-kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan izotoplar; hidrojen ve oksijen elementlerinin duraylı izotoplarıdır. Bakırçay Havzası jeotermal sahaları içerisinde geçmiş dönemde yapılan çalışmalardan sadece Dikili sahasına ait jeotermal akışkanlardan Oksijen-Döteryum analizi yapılmıştır. Bakırçay Havzası'nı temsilen değerlendirilen jeotermal akışkanların döteryum (‰) değerleri -39 ile -46,3, Oksijen-18 (‰) değerleri ise -4,6 ile -7,5 arasında değişmektedir. Bakırçay Havzası jeotermal sahalarına ait verilere ilişkin döteryum-oksijen-18 ilişkisine bakıldığında jeotermal akışkanların Küresel Meteorik Su Hattı üzerinde olduğu bazı suların ise oksijence daha zenginleşmiş derin dolaşımlı sular olduğu görülmektedir (Şekil 6.72).

ŞEKİL 6.72: Bakırçay Havzası jeotermal akışkanlarının Oksijen-Döteryum dağılım diyagramı.



6.7.4. Potansiyel Sahalar ve Yenilikçi Uygulamalar

Dikili-Bergama-Kınık sahasında yüksek sıcaklıklı ve yüksek potansiyele sahip jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Mevcut uygulamalar, doğal kaynaklar ve kuyular aslında sahadaki potansiyelin açık bir göstergesidir. Dikili ilçesinde tarımsal kalkınmaya yönelik olarak modern teknolojik seralar kurulabilir ve yüksek katma değere sahip olan ürünler yetiştirilebilir. Dikili jeotermal sahasının bütüncül bir yaklaşım ile yönetilmesi ile alanda, seracılık, termal turizm, ısıtma ve diğer doğrudan kullanım uygulamaları yapılabilir. Ayrıca alandaki akışkanda Li değerleri İzmir'deki diğer sahalara oranla biraz yüksektir. Bu nedenle, Li kazanımına yönelik çalışmalar da gerçekleştirilebilir. Bölgenin kuzeyinde ise yüksek sıcaklık fakat orta-düşük debiye sahip granitlerin bulunduğu Kozak Yaylası çevresinde geliştirilmiş jeotermal sistemler (EGS) uygulamaları yapılabilir. Sıcaklığı yüksek olmasına rağmen debisi çok düşük kuyuların terkedilmesi yerine kuyu içi ısı değiştirgeçleri ile ısı çekimi gerçekleştirilebilir. Dikili ve Bergama jeotermal sahaları EGS için en uygun alanlardır. Aliağa sahasında ise sanayi odaklı ısıtma-soğutma uygulamaları, termal turizm ve seracılık yapılabilir.

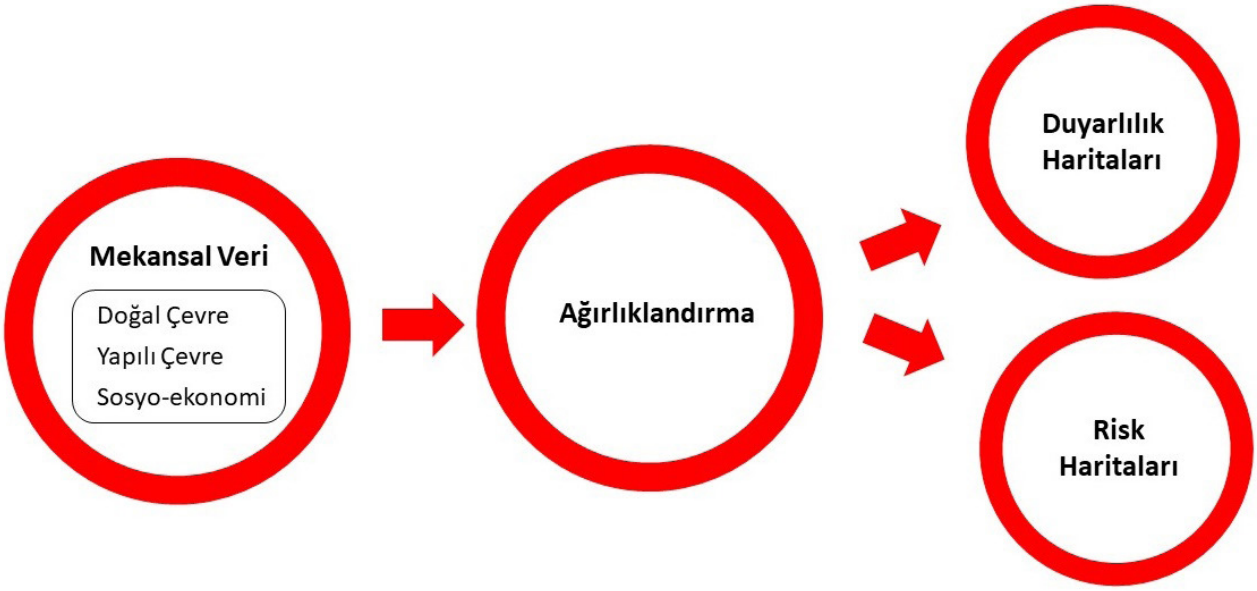
BÖLÜM 7.

Teknik ve Çevresel Değerlendirme

Özellikle son 20 yılda, Türkiye'de jeotermal enerji hem elektrik üretimi hem de doğrudan kullanıma yönelik birçok projede kullanılmıştır. Ancak bu uygulamalarda hatalı ve/veya eksik uygulamadan kaynaklanan bir dizi çevre problemi gözlenmiştir. Bu nedenle, jeotermal enerjinin yoğun şekilde kullanıldığı bazı projelere karşı artan bir kamuoyu karşıtlığı sürmektedir. Bu karşıtlığın çoğu santrallerin kurulu olduğu Ege Bölgesi'ndedir. Bu bölge hem sıcak hem de soğuk su kaynakları açısından en önemli alanlardandır. Bu alanlar, aynı zamanda gerek tarım gerekse turizm açısından ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlamaktadır. Sürdürülebilir jeotermal kaynak kullanımı için; teknik, çevresel (su, toprak, hava gibi) ve sosyal bileşenlerin bütüncül bir sistem içerisinde entegre edilmesi önem taşımaktadır.

İzmir ili de jeotermal kaynaklar açısından oldukça önemli bir bölgedir. İzmir ili için hazırlanan hassasiyet ve etki analizlerinde de kentin hem su kaynakları hem de tarım açısından önemli hassasiyetlere sahip olduğu görülmektedir. İl sınırları içinde sektörlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Haritalar tüm çevre değerlerinin ağırlıklı çakıştırma (karşılaştırma) analizi sonucunda elde edilmiştir (Şekil 7.1). Bu haritaların altlığını oluşturan veriler, il sınırları içinde yer alan koruma alanlarını, tarım alanlarını, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını, özgün jeolojik yapıları, önemli doğa alanlarını, sosyo-kültürel varlıklar gibi unsurları içermektedir. Bu haritaların ağırlıklandırılmasında hem Büyük Menderes hem de Gediz Nehir Havzaları için jeotermal sahalardaki bilimsel veriler dikkate alınmıştır. Tablo 7.1'de hassasiyet haritalarında kullanılan mekânsal verilerin listesi ve havzalarda yapılan bilimsel toplantılarda önerilen veri indeks değerleri baz alınmıştır [193].

ŞEKİL 7.1: Hassasiyet haritalarının oluşturulmasındaki temel unsurlar.



Değerli çevresel ve sosyal bileşenler ağırlıklandırılarak, İzmir iline ilişkin hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Entegre bir analiz oluşturmak için çeşitli ve birbirinden farklı girdilere ortak bir değer ölçeği uygulanmıştır. Standardize edilmiş bireysel katmanların örtüştürülmesi ve daha sonra bu katmanların her birinin önemine göre ağırlıklandırılması ile nihai yüzey oluşturulmuştur. Böylece, ağırlıklı çoklu katmanların bir araya getirilmesi sonucunda hassasiyet haritaları elde edilmiştir (Şekil 7.2).

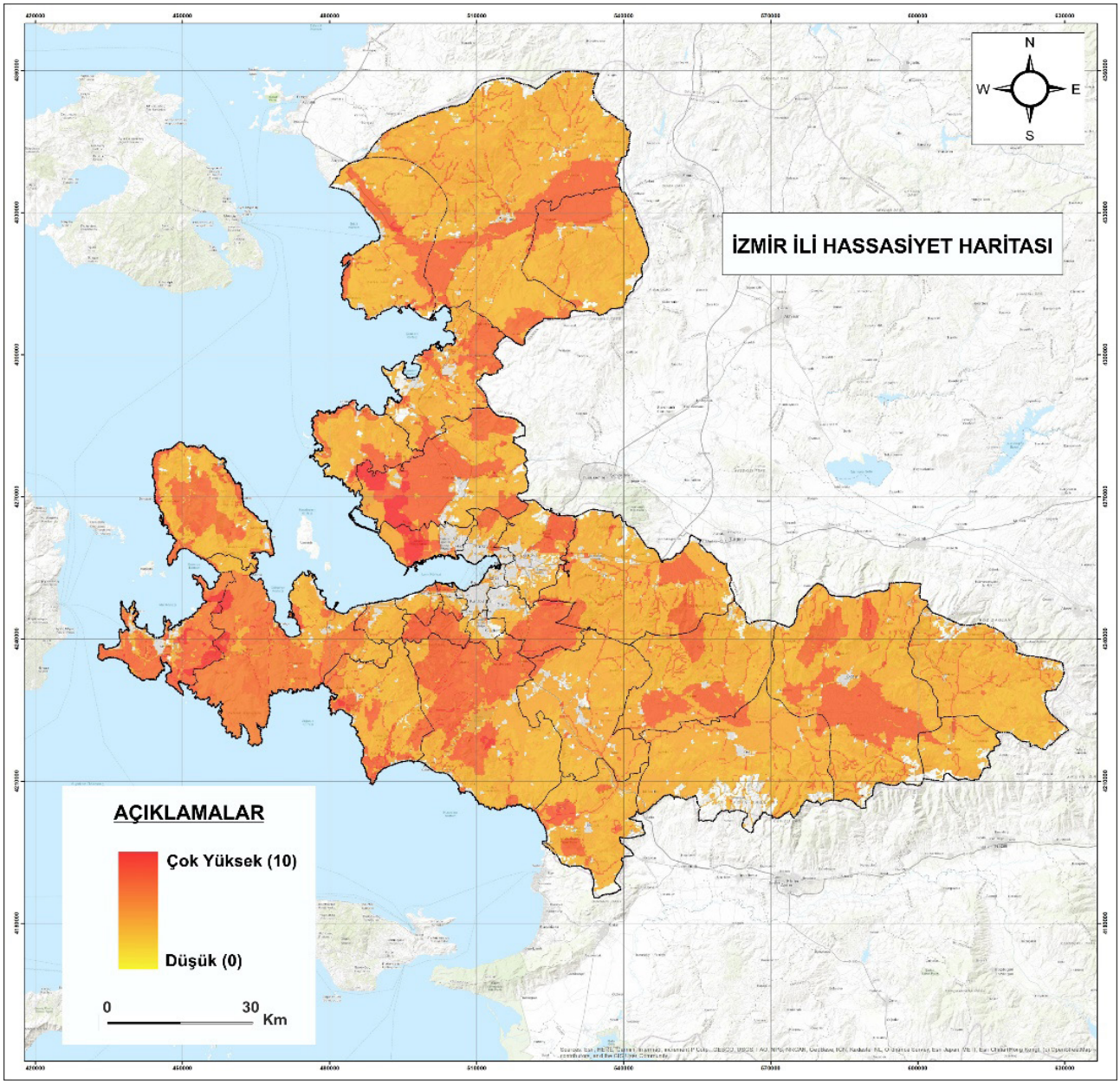
TABLO 7.1: Hassasiyet haritalarında dikkate alınan ağırlıklandırma değerleri.

Katman		Ağırlık değeri
Sitler	1. derece doğal sit	9,47
	2. derece doğal sit	8,67
	3. derece doğal sit	8,43
	1. derece arkeolojik sit	9,53
	2. derece arkeolojik sit	8,67
	3. derece arkeolojik sit	9,27
	Kentsel sit alanı	9,47
	Tarihi sit alanı	9,07
Diğer koruma alanları	Tabiat parkı	8,13
	Özel çevre koruma bölgesi	9,13
	Tabiat anıtı	9,07
	Yaban hayatı geliştirme bölgeleri	9,40
	Önemli doğa alanı	8,87
Sulak alanlar	Sulak alan mutlak koruma bölgesi	9,07
	Sulak alan bölgesi	8,67
	Sulak alan ekolojik etki bölgesi	8,33
	Sulak alan tampon bölgesi	9,13
	Ramsar sulak alanları	9,07
	Uluslararası öneme sahip sulak alanlar	9,47
	Kıyı Alanı (0-200 m)	8,20
Su yapıları ve koruma alanları	Su kaynağı mutlak koruma alanı	9,70
	Su kaynağı kısa mesafe koruma alanı	9,60
	Su kaynağı orta mesafe koruma	8,60
	Su kaynağı uzun mesafe koruma	7,50
	Göl su kütleleri	9,60
	İçme suyu kaynakları	9,80
	DSİ kaynakları	9,85
	Nehir su kütleleri	9,22
	Gölet- Baraj	9,43
	Nehir korunan alan	9,17
Sakınmaya yönelik alanlar	Fay hatları	8,50
	Heyelan alanları	8,00
	Taşkın alanları	7,10

Katman		Ağırlık değeri
Tarım arazileri	Kuru mutlak tarım arazileri	8,73
	Sulu mutlak tarım arazileri	9,13
	Dikili tarım arazileri	8,80
	Özel ürün arazileri	8,43
	Marjinal tarım arazileri	6.87
	Meralar	8,57
	Sulama alanları	9,50
Orman mülkiyetindeki alanlar	Kızılçam ormanı	9,13
	Halep çamı ormanı	9,27
	Fıstık çamı ormanı	8,60
	Kızılçam-Halep çamı ormanı	7,00
	Orman mülkiyetindeki çıplak alanlar	7,53
	Bozuk karışık orman	8,20
	Ağaçlandırmaya hazır alan	7,53
	Orman içi tarım alanları	6,80
	Orman içi tesis alanı	7,00
	Maden işletmesine açılmış orman	7,80
	Orman kapalılığı %10 ve daha az	8,13
	Orman kapalılığı %11-%30	8,67
	Orman kapalılığı %31-%70	9,13
	Orman kapalılığı %71 ve üzeri	9,93
Ekonomik yapı	Göç veren bölgeler	8,05
	Yaşlı nüfus oranı yüksek bölgeler	8,75
	İşsizlik oranı yüksek bölgeler	8,13
Yapılaşma	Kırsal yerleşim alanları	7,23
	Kentsel yerleşim alanları	6,15
	İkinci konut alanları	5,76
	Askeri alan	8,45
	Turizm tesis alanları	7,66
	Parklar, rekreasyon alanları	8,43
	Ağaçlandırılacak alanlar	8,77
	Yeşil kuşak projeleri	8,19

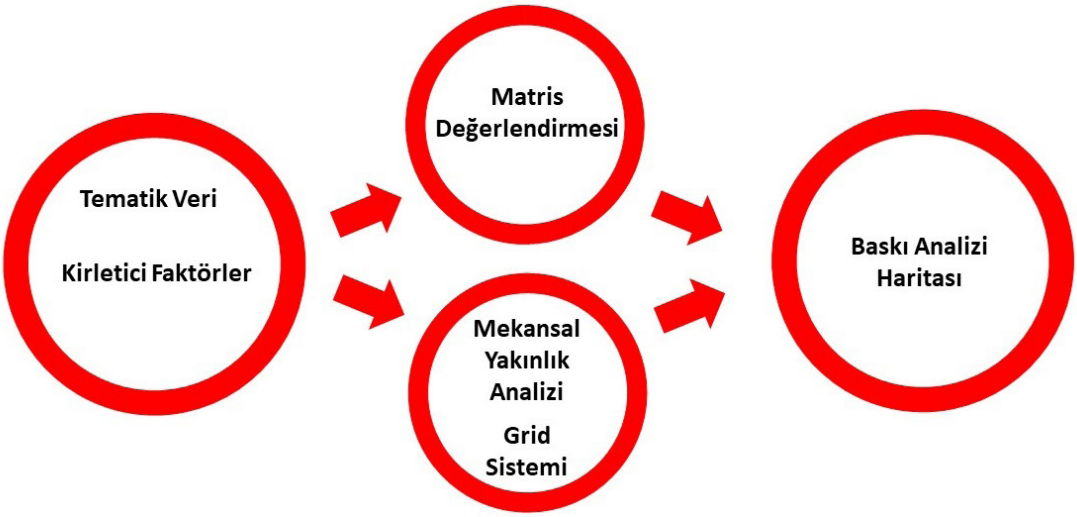
Kaynak: Stantec [193]

ŞEKİL 7.2: İzmir ili hassasiyet haritası.

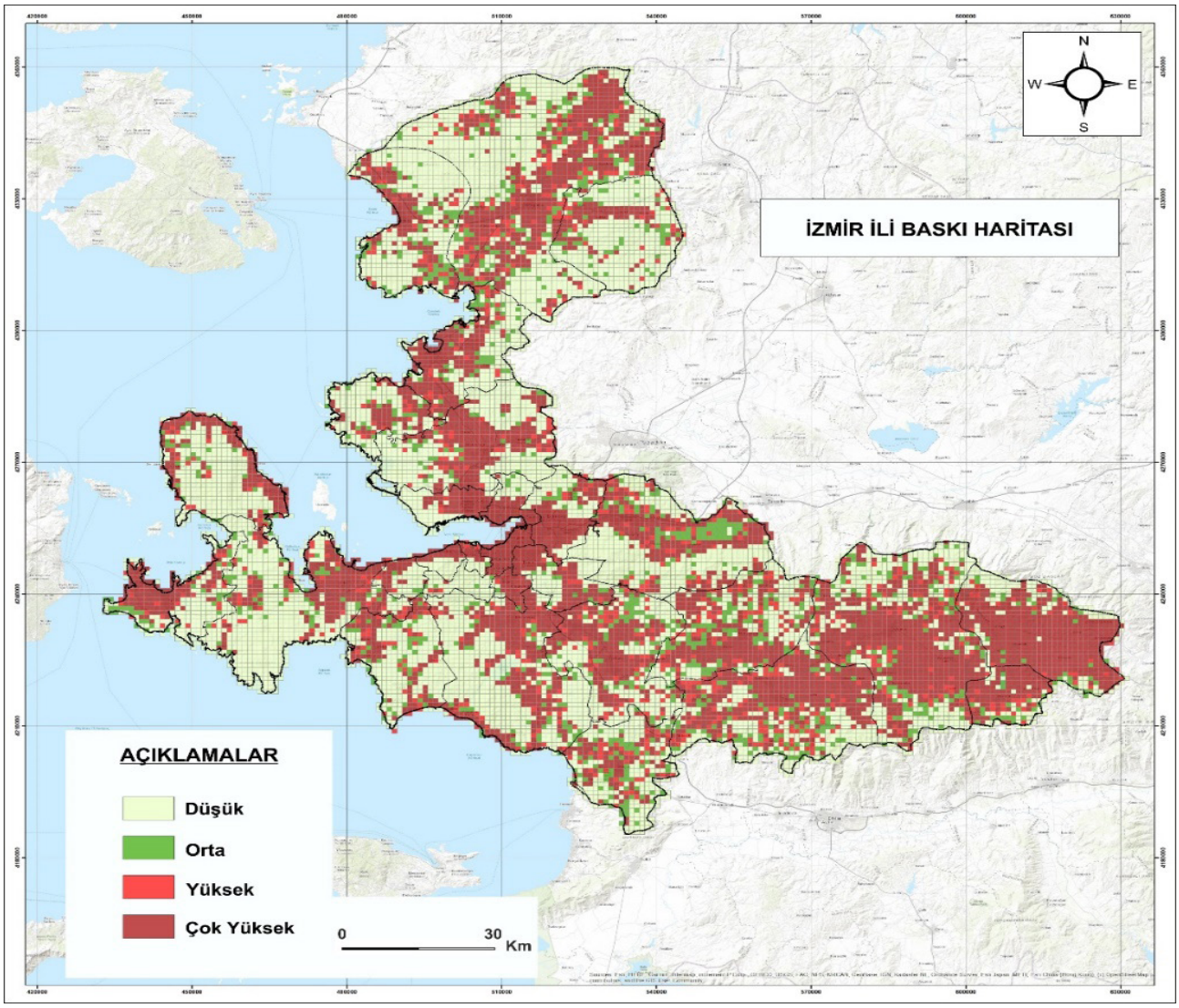


Ayrıca hassasiyet haritaları üzerine, alanda yer alan ana kirletici faktörlerin mekânsal dağılımı işlenmiş ve baskı haritaları oluşturulmuştur (Şekil 7.3). Bu kirleticiler matris değerlendirmesine göre (şiddet, olasılık, boyut, süre, geri çevrilebilirlik) ayrı olarak puanlandırılmıştır. Bunun yanında, tüm kirletici faktörlerin mekânsal dağılımı dikkate alınarak, Coğrafi Bilgi Sistemlerin (CBS)'de mekânsal yakınlık analizi ile 10 km²lik gridler oluşturulmuştur. Bu gridlerin her birinde kirletici faktörler ve puanları hesaplanmıştır. Her hücre için "düşük" ve "çok yüksek" ağırlıklandırma ifadelerine denk gelen, 1 ile 4 arası bir puan atanmıştır. Şekil 7.4'te kirletici faktörlerin tematik haritası gösterilmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda İzmir il sınırları içindeki alanların önemli bir kısmında baskı değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7.5'te ise hassasiyet haritaları üzerindeki baskı durumları ve grid puanları verilmiştir. Genel olarak hassasiyetin yüksek olduğu alanlarda baskı değerleri yüksektir. Şekil 7.6'de ise jeotermal ruhsat sahaları ve jeotermal kaynakların bulunduğu alanlar yer almaktadır.

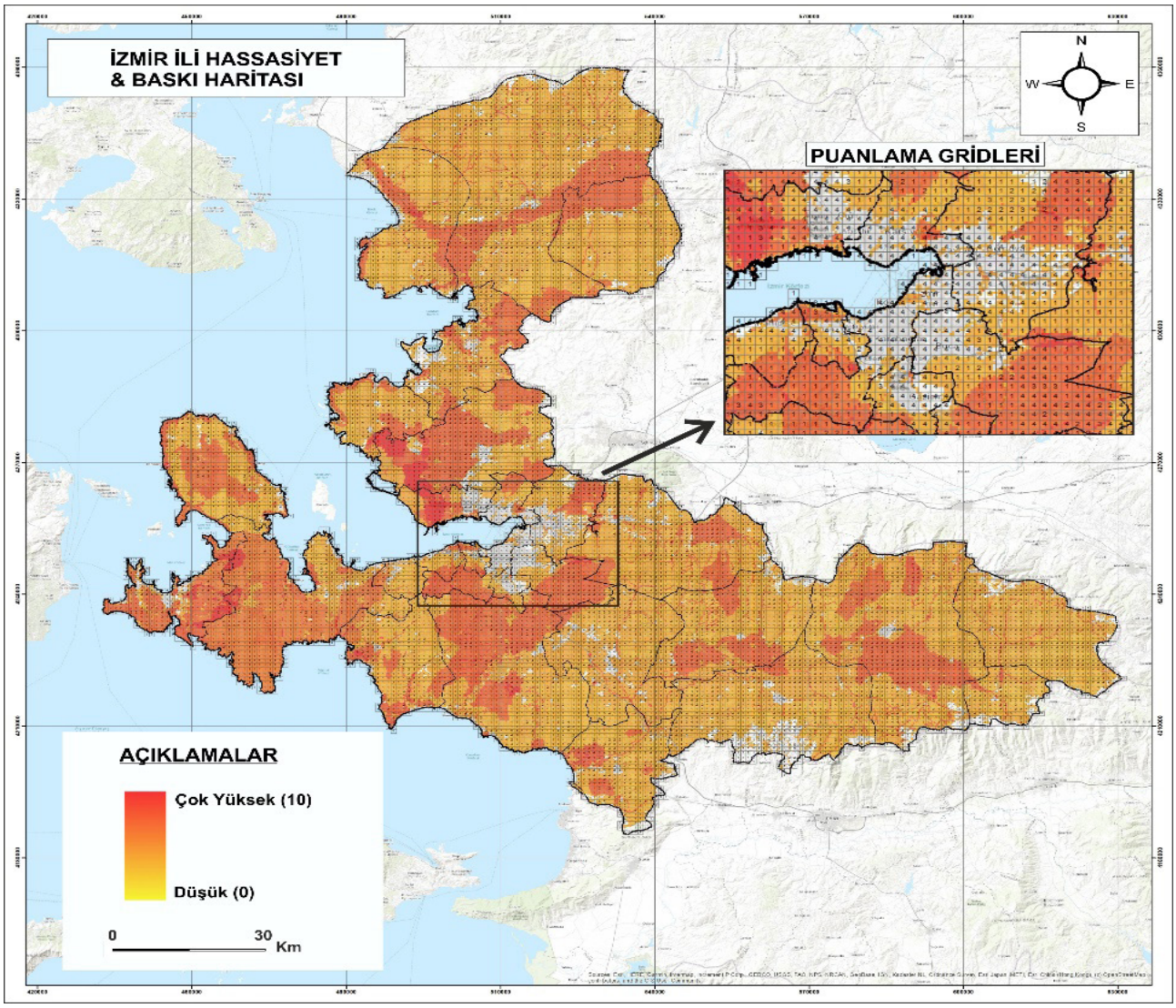
ŞEKİL 7.3: Hassas bölgeler üzerindeki kirletici faktörlerinin analiz şeması.



ŞEKİL 7.4: Kirletici matriksine göre hazırlanmış olan baskı haritası.

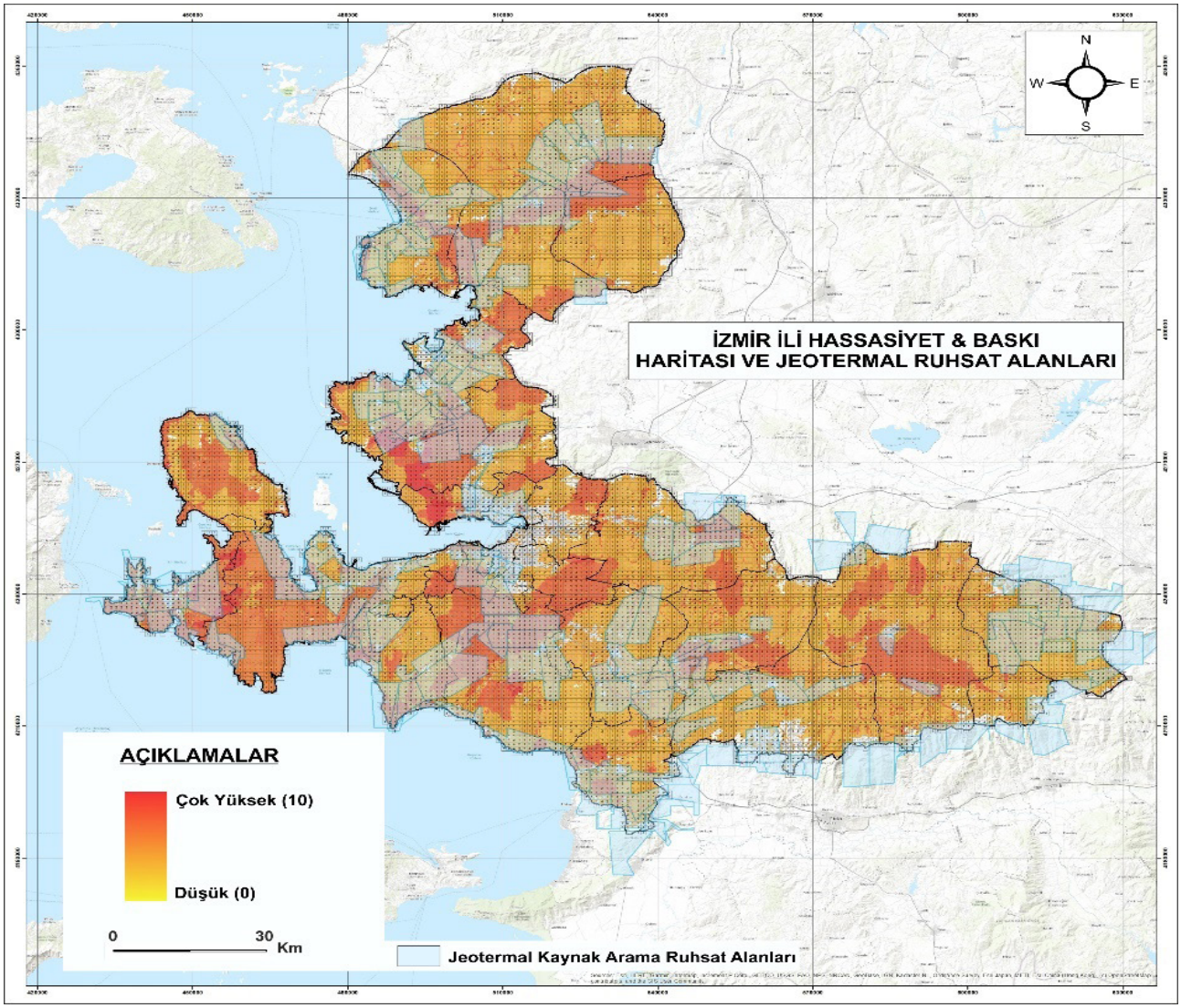


ŞEKİL 7.5: Hassasiyet ve baskı ilişkisi.



Genel olarak, jeotermal kaynaklar ve ruhsat sahalarının önemli bir kısmının hassas alanlar üzerinde yer aldığı görülmektedir. Ek olarak, jeotermal kaynakların bulunduğu alanlarda diğer kirleticiler de yoğunlaşmış durumdadır. Tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde yanlış kullanımların çok olduğu elektrik üretimi gibi uygulamalar tarımsal faaliyetler ve şehirleşmenin uzak olduğu nispeten daha uygun olan bölgelerde tercih edilmelidir. Seracılık ve kurutma gibi uygulamalar ise tedarik ve lojistik göz önünde bulundurularak mevcut tarım bölgelerinde çevreyle en uyumlu şekilde planlanmalıdır. Önerilerde görüleceği üzere, bazı sahaların sıcaklık ve debi değerleri her çeşit uygulama için potansiyel taşımasına rağmen birkaç uygulama ile sınırlandırılmıştır. Örneğin İzmir Körfezi'nde balıkçılık yerine kentsel ısıtma-soğutma önerilmiştir. Bunun sebebi yapılacak yatırıma olan talebin göz önünde bulundurulmasıdır. Baskı faktörleri ve hassasiyet unsurları da bu talepleri dolaylı olarak şekillendirmektedir. Bu kapsamda, raporun sonuç kısmında mevcut her saha için finansal açıdan daha fizibıl, sürdürülebilir ve uygun jeotermal uygulamalar önerilmiştir.

ŞEKİL 7.6: Jeotermal ruhsat alanlarının baskı haritasındaki yerleri.



7.1. Teknik Sorunlara Yönelik Öneriler ve Tedbirler

Türkiye'nin birçok ilinde olduğu gibi İzmir için de jeotermal kaynakların kullanımında, teknik, çevresel ve sosyal etkilerin en aza indirilebilmesi ve sürdürülebilir kaynak kullanımı için teknolojik iyileştirme ve doğru uygulamaların yapılması son derece önemlidir. İzmir kenti hem ısıtma (Balçova-Narlıdere kent ısıtması), hem sera (Dikili'deki sera uygulamaları) hem de termal sağlık turizmi açısından (Balçova Termal) dünyanın en iyi örneklerine sahiptir. Bu iyi örnekler topluma ve dünyaya yeterince tanıtılamamıştır. Ancak, bu iyi örneklerin uygulandığı alanlarda da bir dizi teknik ve çevresel problemler gözlenmiştir. Rezervuarın korunması, izlenmesi, geliştirilmesi, re-enjeksiyon kuyularının doğru seviyelerde açılması ve akışkandan kaynaklanabilecek problemlerin yenilikçi yöntemler ile giderilmesi son derece önemlidir. Aşağıda jeotermal sahalarda oluşabilecek problemler ve buna ilişkin öneriler sunulmuştur.

7.1.1. Sektörel İyileştirme

Jeotermal kaynakların elektrik üretimine ek olarak, konut ısıtma, soğutma, sera, kurutma, kimyasal madde üretimi, endüstriyel kullanım, bitki ve kültür balıkçılığı, termal turizm gibi yaygın kullanım alanları olup, bu kullanımlar hem İzmir ili hem de ülke ekonomisi için büyük bir önem arz etmektedir.

Bu nedenle, kentteki tüm kaynakların bütüncül bir şekilde ele alınması ve entegre kullanımın yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında hem ısıtma hem de sağlık turizmi yapılmaktadır. Dikili-Bergama jeotermal sahasında hem seracılık hem de konut ısıtılması yapılmakta olup, her işletme bağımsızdır. Şirketler sistemi bütüncül olarak değerlendirmedikleri için hem teknik (kuyu problemleri, kabuk problemleri, enerji verimliği gibi) hem de çevresel (toprak ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi) problemlerle karşılaşılmaktadır. Bayındır, Çeşme, Dikili ve Seferihisar'da standartlara uygun olmayan birçok kuyu yer almaktadır. Bu kuyularda korozyon ve kabuklaşma problemleri gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda bu kuyular hem su kaynaklarını hem de toprağı negatif yönde etkilemektedir. Bu nedenle, aynı rezervuarı kullanan şirketlerin teknik açıdan sistemin korunması için bütüncül hareket etmesi ve buna ilişkin yapıların oluşturulması, akışkanın ve sistemlerin izlenmesi son derece önemlidir. Bununla birlikte, ilde jeotermal kaynakların kentsel ısıtmada kullanımının yaygınlaştırılması ve entegre kullanımın desteklenmesi önem taşımaktadır.

7.1.2. Seracılık

Seracılık, birim alanda daha yüksek verim almanın yanında tarımda uzmanlaşmayı, ürün çeşitliliğini, bölgesel istihdamı artırmada önemli rol oynamaktadır. Dünyanın en büyük seralarından biri (Agrobay Seracılık) İzmir ilinde bulunmaktadır. Seracılığın artırılmasına ilişkin Dikili-Bergama jeotermal sahasında dünyanın en büyük jeotermal sera organize bölgesi kurulması çalışmaları devam etmektedir. Benzer şekilde, Seferihisar ve Bayındır'da da seracılık ile ilgili aktivitelerin artacağı görülmektedir. Seracılık üretim şeklinin hızla yaygınlaştırılması, üretim aşamalarında kolaylık sağlanması için yeni teknolojilerin ve metotların uygulanması son derece önemlidir. Özellikle ürün çeşitliliğin artırılması için dijital tarıma ilişkin bilimsel çalışmaların artırılması önem taşımaktadır.

7.1.3. Kentsel Isıtma

Türkiye'de, şehirlerdeki ısıtma sistemleri doğal gaz, mazot veya kömüre bağlıyken, odun-kömür sobalarının kullanımı ülke genelinde devam etmektedir. İzmir'in Balçova, Bergama, Dikili ve Narlıdere ilçeleri jeotermal kaynaklar ile ısıtılmaktadır. Ekonomik sorunlar, artan miktarlarda yakıt maliyetleri, jeotermal ısıtma sistemlerinin daha ucuz maliyetli olması nedeniyle tercih edilmesini sağlamıştır.

Balçova jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde en yeni teknolojiler kullanılmaktadır ve işletme maliyetleri çok düşüktür. Balçova jeotermal kaynakları

1996 yılından beri faaliyet göstermektedir ve 38.460 konuta ulaşmıştır. Buna ek olarak, 2017 yılında İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. tarafından yaklaşık 2.000 m² kapalı alanın soğutulması için İzmir-Balçova'da ilk jeotermal soğutma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Jeotermal enerji ile konut ısıtılması, ekonomik olarak ve enerjide birincil kaynaklar bakımından dışa bağımlılık göz önüne alındığında çok ekonomik ve yerli bir kaynaktır. Ayrıca kentteki fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliğini azaltmaktadır. İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. verileri incelendiğinde birim satış fiyatının diğer enerji türlerine göre son derece düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu alanda akışkanın tamamı re-enjekte edilmektedir. Bu nedenle, çevresel açıdan kentsel ısıtma son derece önemlidir. İzmir il sınırları içinde akışkanın kentsel ısıtmada kullanımın yaygınlaştırılması çevresel problemlerin minimize olmasına katkı sağlayacaktır.

7.1.4. Turizm

Sağlık turizminin rehabilitasyon hizmetleri, yaşlı-engelli bakımı gibi alanlara kayması termal turizmin önemini arttırmaktadır. Balçova ve Çeşme'de önemli termal tesisler bulunmaktadır. Çeşme ve Seferihisar ilçelerinde termal ve sağlık turizmine ilişkin yatırımların yakın zamanda artacağı görülmektedir. İnsan sağlığı ve bulunduğu ortama etkileri bakımından, termal turizm tesis suları için, yönetmelik ile belirlenen deşarj kalite standartlarının sağlanması ve mevcut termal kaynakların sağlığa etkisini araştırmak için fiziksel ve kimyasal analizlerin düzenli yapılması gerekmektedir. Bunun yanında alıcı ortamın korunması amacıyla, jeotermal kaynağın kaplıca ve otel kullanımları sonrası oluşan atık suların bertarafı ile ilgili düzenlemeler yapılması, mevzuatta bu atık suların tanımlanması ve deşarj kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut durumda termal turizmde kullanılan akışkan ile ilgili hem çevresel hem de teknik problemler gözlenmektedir. Bu nedenle, bu tesislerden kaynaklanan atıkların deşarj ve giderimine ilişkin stratejilerin geliştirilmesi önemlidir.

7.1.5. Balıkçılık

Ülkemizde jeotermal akışkandan balık üretimine ilişkin çalışmalar son derece azdır. Birçok ülkede tatlı su çipurası, somon, alabalık, tropikal balıklar, ıstakoz ve karides jeotermal enerji ısıtmalı balık çiftliklerinde yetiştirilebilmektedir. Türkiye önemli bir balıkçılık potansiyeline sahiptir ve jeotermal akışkan ile yukarıda belirtilen balık türleri yetiştirilebilir. Jeotermal kaynakların doğrudan ve/veya entegre şekilde kullanıldığı balıkçılık yatırımlarına gerekli teknik ve finansal desteklerin sağlanması son derece önemlidir. Çeşme, Seferihisar, Urla ilçelerinde denize boşalan jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bu alanlarda balıkçılık ile ilgili uygulamalar yapılabilir.

7.1.6. Tarımsal Ürün Kurutma

Yiyeceklerin kurutulması işlemi, içerdikleri suyun harici bir enerji kaynağından yararlanarak uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Özellikle düşük entalpili jeotermal akışkanların tarımsal ürünlerin kurutulması için uygunluğu sebebiyle, tarımsal işletmeciliğin bu alanında kullanılması rezervuar verimliliği artıracağı gibi, ciddi ekonomik fayda da sağlayacaktır. Kurutmanın en iyi örneklerinden biri Seferihisar'dadır. Seferihisar'da 1 kg yaş mandalina 2 TL iken jeotermal ile kurutulan mandalinanın kilosu 80 TL'dir (2020).

Yukarıda belirtilen doğrudan kullanımlara ilişkin ekonomik destekler son derece önemlidir. Jeotermal kaynakların, bütüncül bir yaklaşımla arama, geliştirme ve üretim süreçleri ile üretimde verimliliğin sağlanması amacıyla yapılması gereken Ar-Ge çalışmaları, yeni teknolojilerin kullanımı ve yurt içi gelişiminin sağlanmasına yönelik teşvik programlarını içeren ekonomik destekler son derece önemlidir. Ayrıca jeotermal kaynakların kullanımından doğabilecek çevresel etkilerin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması da kaynak geliştirme ile birlikte ele alınması gereken önemli bir konudur.

7.2. Çevresel Sorunlara Yönelik Öneriler ve Tedbirler

Jeotermal kaynak kullanımı amacıyla çalışan işletmelerin çevresel ve sosyal parametrelerinin ölçülerek sürekli izlenmesi, elde edilen verilerin kümülatif olarak değerlendirilmesi ve sosyoekonomik öneme sahip tarımsal üretim bölgelerinde jeotermal kuyularının, jeotermal akışkan ve atık su deşarjının ve re-enjeksiyon kuyularının tüm uygulama aşamalarının ilgili mevzuata göre yürütülmesi ve uygunluğunun periyodik olarak yerinde denetlenmesi oldukça önemlidir. Aşağıda, görülebilecek çevre problemlerine ilişkin önlemler özetlenmiştir.

7.2.1. Gaz Emisyonları

Jeotermal kaynağın elektrik üretimi amacıyla kullanımı durumunda bölgesel ısıtma, sera ve termal sağlık amacıyla kullanımına imkân veren tesislerin entegrasyonu sağlanmalıdır. Böylece fosil kaynaklı gazlar minimize edilmiş olacaktır. Bu şekilde hava emisyonlarının en aza indirilmesi ve alıcı ortamlara negatif etkilerinin azaltılarak, pozitif etkilerinin artırılması amaçlanmalıdır. İzmir ilinde jeotermal kaynaklı hava kirliliğine ilişkin ciddi problemler gözlenmemektedir. İzmir il sınırlarındaki jeotermal kaynaklarda H_2S değerleri son derece düşüktür.

Hidrojen sülfür, saflığa bağlı olarak 0,2-2,0 µg/m^3 koku algılama eşiğine sahip bir koku vericidir. Bu gazın belirli bir konsantrasyonda, çürük yumurta kokusuna benzer karakteristik bir kokusu vardır. Hidrojen sülfür, sağlık sorunlarına neden olan konsantrasyonların çok altındaki konsantrasyonlarda koku rahatsızlığına neden olabilir. Dünya Sağlık Örgütü, koku rahatsızlığının oluşmaması için H_2S gazının havadaki konsantrasyonunun 30 dakikalık ortalamada 7 µg/m^3 (≈ 0,0047 ppm)'ü geçmemesini önermektedir [194]. Sondaj, test ve işletme aşamalarında oluşabilecek acil bir durumda, bakım faaliyetlerinde ve/veya normal çalışma şartlarında H_2S gazını tespit etmek amacıyla, sabit ve taşınabilir dedektörler temin edilerek sistemlerin içinde uygun noktalara yerleştirilmelidir. Sabit dedektörler yerleştirilirken bu gazın havadan ağır bir gaz olduğu dikkate alınmalıdır. Taşınabilir dedektörler ise kapalı ve dar alanlarda yapılacak çalışmalarda, olası bir kaza durumunda yaralı çalışanların tahliyesi sırasında kullanılmalıdır.

İzmir ilinde, farklı rezervuarlarda ve derinliklerde açılabilecek kuyularda H_2S gazının durumu değişebilir. Bu nedenle, jeotermal kaynaklı buharlar ve gazların hem havaya hem toprağa hem de su kaynaklarına etkisini irdelemek için jeotermal sahaların bulunduğu alanlarda sistemlerin büyüklükleri esas alınarak otomatik meteoroloji istasyonları kurulmalı, bu istasyonlarda, sıcaklık, nem, buharlaşma gibi parametreler düzenli olarak izlenmelidir.

7.2.2. Toprak Kirliliği

İzmir ilinde bazı jeotermal sahalarda jeotermal akışkanın faylar boyunca doğrudan yüzeye çıkması, alandaki topraklara ve su kaynaklarına negatif yönde etki etmektedir. Buna ilişkin örnekler hem Seferihisar hem Çeşme hem de Dikili'de gözlenmektedir (Şekil 7.7). Bu problemlerin minimize edilmesi için kaynakların doğru yönetimine ilişkin planlar yapılmalıdır. Sondajlar toprak ve su kaynaklarını etkilemeyecek şekilde doğru ve etkin bir şekilde yapılmalıdır. Bununla birlikte, sondaj faaliyetleri sonucu açığa çıkan jeotermal çamurların toplandığı havuzlar membranla kaplanarak sızdırmazlıkları sağlanmalıdır. Mümkün olduğu durumlarda sondaj akışkanları tekrar kullanılmalıdır. Jeotermal borular, yerleşim alanlarının yakınına ve/veya tarım alanlarında inşa edildiklerinde görsel etkiye ve herhangi bir sızıntı durumunda toprak/su kirlenmesine neden olabilmektedir. Buhar ve akışkanı üretim kuyusundan işletme binasına taşımak için kullanılan iletim borularında ve üretim/re-enjeksiyon kuyularında korozyonu önlemek amacıyla çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Akışkanın taşındığı sıcak su borularının sızıntı problemi ile civarda yaşayan yerel halk ve bölgedeki diğer canlı türlerine muhtemel temasını önlemek için izolasyonu sağlanmaktadır. İzolasyonda meydana gelebilecek bozulma/kaçakların önlenmesi nedeni ile borular periyodik olarak kontrol edilmeli ve gerekli bakım-onarım faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.

ŞEKİL 7.7: a) Bayındır jeotermal sahasında bölgedeki verimli tarım arazilerini kirleten âtıl durumda olan bir kuyu b) Çeşme'de kullanılmayan bir kuyu örneği.

7.2.3. Yeraltı ve Yerüstü Su Kirliliği

İzmir ilinde bazı jeotermal sahalarda jeotermal akışkanın doğru rezervuara re-enjekte edilmediği ve alandaki akışkanın yerüstü ve yeraltısuyu kaynaklarını etkilediği görülmektedir. Buna ilişkin örnekler Seferihisar, Bayındır, Dikili ve âtıl durumdaki pek çok kaynakta gözlenmektedir (Şekil 7.8). Özellikle jeotermal atık suların alıcı ortama deşarjının önüne geçilerek re-enjeksiyonun yapılması gereklidir. Bu durumda yeraltısuyunun kirlenme potansiyeli, re-enjeksiyon kuyusuna, rezervuarı barındıran jeolojik oluşumun bulunduğu derinliğe kadar sızdırmaz kuyu kaplamaları yerleştirilerek en aza indirilmelidir.

Rezervuarın genel jeolojik, yapısal ve tektonik özellikleri, büyüklüğü ve sınırları, jeoteknik ve hidrolik ana kayaç özellikleri olmak üzere kapsamlı bir jeolojik ve hidrojeolojik modelin hazırlanması,

Jeotermal üretim ve re-enjeksiyon noktaları ile içilebilir su veya yüzey suyu özelliği taşıyan su kaynakları arasındaki hidrolik bağlantıların belirlenebilmesi için proje planlama aşamasında hidrojeolojik değerlendirme ve su dengesi değerlendirmesinin yapılması,

Yer seçiminin dikkatlice yapılması, uygun şekilde tasarlanmış ve kurulmuş kuyu muhafaza sistemleri vb. önlemler ile buhar/akışkan üretim kuyularının içilebilir su kaynakları olan sığ hidrolojik oluşumlardan izole edilmesi gerekir.

ŞEKİL 7.8: a) Dikili jeotermal sahasında kuyu başından sızan jeotermal akışkan b) Sızan akışkanların bölgedeki su kaynaklarına karışması c) Bayındır jeotermal sahasında kapalı kuyulardan artezyen sonucu sızan akışkan.

7.2.4. Gürültü ve Titreşim Kirliliği

İzmir il sınırları içinde özellikle kentleşmenin olduğu alanlarda kuyular açılmış ve borular geçmektedir. Balçova jeotermal sahasındaki kuyular dışında diğer kuyuların koruması uluslararası standartlara uygun değildir. Bu kuyuların koruma altına alınması ve iyi tasarımla kapatılması hem görüntü hem de gürültü problemlerini minimize edecektir. Elektrik santrallerinin işletme aşamasında soğutma kulesi fanları ve türbinleri gürültü oluşturabilir. Türbin ve fanlar sürekli olarak belirli bir gürültü yaydığından, aynı frekansta ve uzun süreli sese maruz kalan işletme çalışanları ve yöre halkının psikolojisi son derece önemlidir.

Ses izolasyonu yapılabilecek yerlerde izolasyon yapılmasında veya işletme alanında ses kırıcı yüksek bariyerler kurulmasında fayda vardır. Gürültünün kaynağında önlenemediği durumlarda gürültü perdeleri, ses yalıtımı bariyerleri vb. kullanılmalıdır.

7.2.5. Flora ve Fauna Üzerindeki Etkiler

İzmir ili flora ve fauna açısından zengindir. Önemli biyosfer alanları bulunmaktadır. Bu nedenle, jeotermal enerji arama ve santral işletme projelerine yönelik projenin yeri ve çevresine ait ekolojik özellikleri göz önünde bulundurularak, tüm aşamaları kapsayan Biyoçeşitlilik Yönetim Planı hazırlanması, projenin flora ve fauna üzerinde oluşturacağı muhtemel riskleri en aza indirecektir. Jeotermal sahalarda mühendislik yapıları için mümkün olduğunca az arazi kullanılmalıdır. Ayrıca, kullanılan araziler erozyona karşı kontrol altına alınmalı ve yapılan her türlü inşaat veya arazi hazırlama faaliyetinden kaynaklanabilecek tozun etkisinin minimize edilmesine yönelik önlemler geliştirilmelidir.

Çalışanlar, flora ve fauna üzerine etkileri en aza indirmek üzere eğitilmelidir. Çalışanlara, alt-yüklenicilere ve saha ziyaretçilerine, özellikle hayvanların üreme dönemlerinde yaban hayatını rahatsız etmekten kaçınmaları için eğitimler verilmelidir.

7.2.6. Sosyal Sorunlar

Dünyada jeotermal kaynakların etkili ve etkin kullanıldığı iyi örneklerden birkaç tanesi (Balçova ısıtma ve soğutma, Dikili seracılık) İzmir ilinde olmasına rağmen, son yıllarda Seferihisar bölgesinde halkın jeotermal karşıtlığı giderek artmaktadır. Genel olarak, toplumsal kabul konusunda uluslararası en iyi uygulamalar ışığında, halkın bilgi ve bilinç düzeyini, kaygılarının nedenlerini ve bu teknolojilere karşı tutumlarını önceden öğrenilerek buna yönelik hazırlanacak bilgilendirme çalışmalarının içeriğinin ve kapsamının belirlenmesi son derece önemlidir.

Kamuoyunda oluşan tepkiler, yaşanan kazalar, hasar ve kayıplarla yükselebilmekte, bölgesel olarak da uzun süreli tepkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle, iletişim sürecinde olası riskler ve alınacak önlemler konusunda proje başlangıcında, halkın uzmanlar tarafından düzenli toplantılarla bilgilendirilmesi, yatırımcılar ve halk arasında şeffaf bir iletişimin kurulması gerekir.

Jeotermal kaynakların enerji üretimi dışında, konut ısıtması, turizm, diğer endüstriyel ve tarımsal yatırımlarla halkın direkt yararına kullanımı da yatırımcılar, kamu kurumları ve halk arasında güven oluşumunu sağladığı gibi halkın yenilenebilir enerji kaynakları hakkındaki tutumunu da olumlu yönde etkileyecektir.

Projelerin her aşamasında, halkın bilgi alabileceği, onlara danışmanlık veren bir sistem kurulmalıdır. Böylece halkın endişelerini, kaygılarını anlamak, sürekli ve düzenli istişarede bulunmak mümkün hale gelecektir.

Halkın endişelerini gidermek amacıyla, kamu kurumları tarafından düzenli olarak yapılan hava, su, toprak ile ilgili kirlilik ölçümleri halkla şeffaf şekilde paylaşılmalı, risklere karşı alınan önlemler bütün paydaşların bilgi alabileceği iletişim kanalları ve araçları ile duyurulmalıdır.

7.2.7. Tarımsal Uygulamalar

İzmir kent merkezinin dışındaki alanlarda tarım yaygındır. Hem Kuzey Ege'de hem de Küçük Menderes Havzası'nda tarımsal faaliyetler oldukça yoğundur. Havzada, süs bitkileri Selçuk, Ödemiş ve Bayındır, bağcılık Menderes ve Torbalı, meyve bahçeleri Tire, Selçuk ve Ödemiş, narenciye Menderes, zeytinlikler Bayındır ve kavaklıklar ise Ödemiş'te yoğunlaşmış durumdadır.

Tarımsal açıdan değerlendirildiğinde, jeotermal kaynakların seracılıktan meyve sebze kurutmaya, balık kurutma ve yetiştiriciliğinden toprak ısıtmasına, gıda işletmelerinin farklı üretim alanlarında kullanılmasından tarımsal binaların ısıtılmalarına kadar birçok farklı alanda direkt veya entegre yöntemlerle kullanılması, ekonomik ve sosyal açıdan bölgeye ciddi yararlar sağlayabilecektir.

Henüz jeotermal aktivitelerin yoğun olmadığı bu alanlarda ileride yapılacak olan jeotermal yatırımlarda, mühendislik yapıların çiftçilerin tarlalarına ulaşımlarını ve çalışmalarını engellenmemesi için yenilikçi çözümler içermesi gerekmektedir. Ayrıca, sıcak jeotermal akışkanların sulama suyu kanalı olarak da kullanılan dere yataklarına salınmasının tamamen önlenmesi bunun yerine havuzlarda biriktirilmesi hem kaynakların sürdürülebilirliği hem de tarımsal ürünlere verilen zararın önlenmesi açısından önemlidir.

7.2.8. Görsel Etkiler

İzmir'de yer alan jeotermal kaynaklar doğal kaynaklar (kaplıcalar) ve jeotermal kuyulardır. Doğal kaynaklar genellikle doğa ile uyumlu küçük boyutlu kaplıca-hamam benzeri uygulamalar şeklindedir. Bazı tarihi kaplıcalarda zamansal deformasyondan dolayı yıkılma, hasar ve tahribatlar görülmektedir. Bu sebeple Urla-Gülbahçe Roma Hamamı örneğinde olduğu gibi tarihsel ve kültürel değer taşıyan bu alanların restorasyonu ve bakımının yapılması oldukça önemlidir.

Jeotermal üretim ve re-enjeksiyon kuyuları ise kuyu etrafında genellikle çitlerle çevrili açık alanlarda bulunmaktadır. Bazı kuyularda ise eski ve yeni kuyu binaları bulunmaktadır. Şekil 7.9'da gösterilen örneklerde olduğu gibi İzmir'deki jeotermal sahalarda hem âtıl hem de çok iyi kuyu binalarını görebilmek mümkündür. En iyi uygulamalara örnek olarak Balçova jeotermal sahasındaki jeotermal kuyular gösterilebilir.

Jeotermal sahalarda çok sayıda kuyu ve kuyular arasındaki akışkanı taşıyan borular bulunmaktadır. İzmir ilindeki jeotermal alanlardaki bu kuyular ve borular ile ilgili hem mühendislik hem de çevresel problemler gözlenmektedir. Jeotermal akışkan ve buharın iletildiği borular, özellikle tarımsal faaliyetlerin ve yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde olumsuz görsel etkilere neden olmaktadır.

Bu nedenle yer seçimi ve planlama aşamasında boruların geçeceği güzergâhlar belirlenerek, iletim borularının söz konusu alanlara uzak noktalara veya görsel etkiyi en aza indirecek şekilde tasarlanmasında fayda vardır. Özellikle tesis yeri seçiminde planlama aşamasında doğal güzellikteki turizm alanlarından, tarihi değeri olan yerlerden, ekolojik açıdan hassas alanlardan kaçınılması, tesislerin tasarımında ve yerleşiminde doğru ve uygun mimari prensiplerin uygulanması, kuyuların çevreyle iyi entegre edilmiş küçük yapılara yerleştirilmesi, boru hatlarının doğayla uyumlu renklere boyanması ve iletim hatlarının yeraltına alınması önem taşımaktadır.

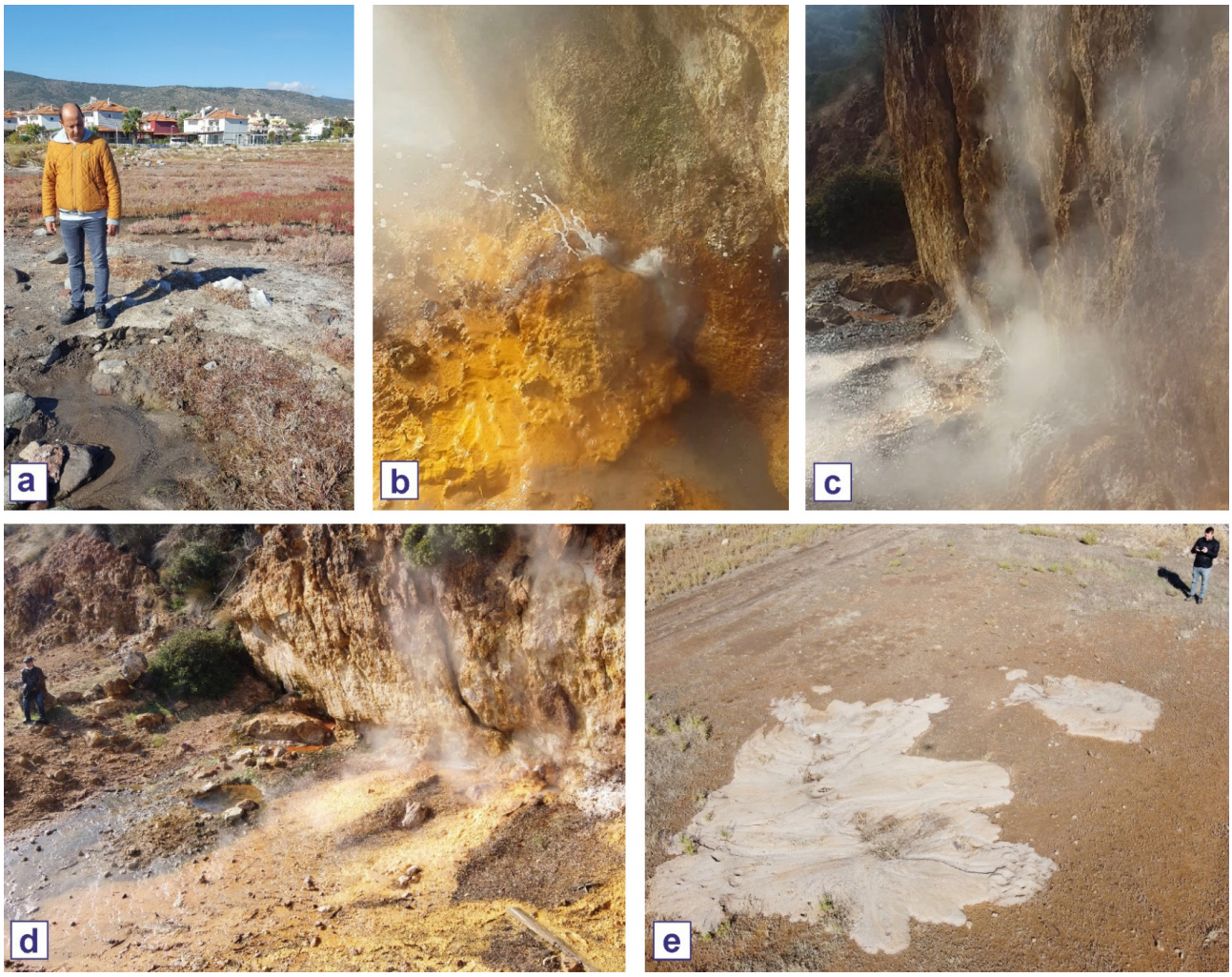
ŞEKİL 7.9: a) Çeşme jeotermal sahasında âtıl durumda kuyu binası b) Kuyu binası içerisindeki kirlilik ve akışkan sızıntısı c) Çeşme jeotermal sahasında işletilen bir kuyuya ait iyi bir koruma uygulaması d) Balçova Termal oteldeki kuyulardaki görsel iyileştirmelere güzel bir örnek.

7.2.9. Yer Seçimi ve Planlama

Yer seçimi aşamasında havza kapsamında teknik, çevresel ve sosyo-ekonomik etüdlerin bütüncül olarak yapılması önemlidir. Jeotermal rezervuarların doğru kullanım ve planlanmasına yönelik çalışmaların yapılması, yer seçimi açısından ise ihracata yönelik üretilen yüksek nitelikli ve coğrafi tescili olan ürünler için jeotermal etkiler değerlendirilerek yaklaşım mesafesi, koruma kuşakları/zonları oluşturulması önem taşımaktadır. İzmir ilinde jeotermal kuyuların önemli bir bölümü fay zonlarından (Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Gülbahçe Fayı gibi) üretim yapmaktadır.

30 Ekim 2020 tarihinde Samos'ta meydana gelen deprem sonrasında İzmir il sınırları içerisindeki fay segmentleri de harekete geçmiş; bölgede yeni kaynak oluşumlarına, fümerol ve akışkan çıkışlarına, sıvılaşma olaylarına ve çökmelere sebep olmuştur (Şekil 7.10). Bu nedenle, ruhsat sahası içinde kurulacak tesislerin yer seçiminde bilimsel kriterler dikkate alınmalı ve bu tesislerin diri fay zonlarının yüzey faylanması tehlikesi kuşağı dışında kurulması gerekmektedir.

ŞEKİL 7.10: 30 Ekim 2020 Samos depremi sonrası a) Gülbahçe jeotermal sahasında yeni kaynak oluşumları b) Tuzla fay segmentinde jeotermal akışkan faaliyetinin başlaması c) Tuzla fay segmentinde fümerol aktivitesi d) Tuzla fay segmentine ait drone görüntüsü e) Gülbahçe sahasında sıvılaşma sonucu oluşan kum volkanları.



Jeotermal projeler aktif hale geldiğinde sahada üretim ve re-enjeksiyon kuyuları, ısı merkezleri, boru-iletim hatları gibi mühendislik yapıları yer alacaktır. Örneğin; iletim hatları için yapılan arazi edinimi çiftçilerin tarlalarını bölebilir, insanların, hayvanların ve makinelerin erişimlerini engelleyebilir, tarımsal üretim ve trafik üzerine olumsuz etkide bulunabilir.

Boru hatlarının arazi edinimi etkisi bu sebeplerden sadece taban alanındaki etkiyle sınırlı değildir. Bu olumsuz etkilerin bertarafı için boru hattı alanları parsel bütünlüğünü bozmayacak bir şekilde parselin kenarından planlanmalı, tarım arazilerine geçişlerin engellenmemesi için arazi kullanıcılarıyla beraber Omega geçişlerinin yeri belirlenmelidir. Planlama safhasında teknik şartlara uyumlu olmak kaydıyla, kuyu alanı ve santral arasındaki mesafeler en aza indirgenerek boru hatları en kısa şekilde planlamalıdır. Buna benzer iyi planlanmış uygulamalar ile jeotermal enerji kullanımında hem sosyal ve hem de çevresel etkiler minimize edilmiş olacaktır.

7.2.10. Önerilen İzleme Çalışmaları

Jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinde en önemli parametrelerden biri de izleme çalışmalarıdır. Bu nedenle, İzmir'deki tüm jeotermal sahalarda aşağıda belirtilen izleme çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

Yerüstü ve Yeraltı Sularının İzlenmesi

Jeotermal sahalarda, doğal hidrolojik döngülerin belirlenmesi, jeotermal uygulamalar ve açılan kuyular sonrasında sistemin çevresel ve teknik açıdan kontrol edilmesi amacıyla yeraltı ve yerüstü sularında, yüzeyde ve kuyularda sürekli veya belirli aralıklarda izleme çalışmaları önerilmektedir.

Jeotermal Akışkanın İzlenmesi

Jeotermal rezervuarın sürdürülebilirliği, jeotermal akışkandaki fiziksel ve kimyasal değişimlerin belirlenmesi için periyodik örneklemeler ile sürekli izlenmelidir. Bu sayede jeotermal uygulamalarda karşılaşılabilecek, üretimi etkileyebilecek akışkan bazlı teknik problemler sorunlar yaşanmadan önce belirlenip sisteme müdahale edilebilecektir.

Gaz Emisyonlarının İzlenmesi

Jeotermal uygulamalardaki gaz salımı diğer elektrik üretim santral ve sanayi uygulamalarına göre oldukça düşüktür. Ancak jeolojik özellikler sebebiyle bazı bölgelerde jeotermal akışkan içerisinde CO_2 ve H_2S gibi gazlar bulunabilmektedir. Gaz içeriği jeotermal kuyulardan üretimin başlangıç ve uygulama aşamalarında farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin ülkemizdeki elektrik santrallerindeki CO_2 emisyonlarının zamana bağlı azaldığını gösteren bazı bilimsel çalışmalar mevcuttur. Bu sebeple gaz emisyonlarının sağlık ve çevre etkilerini kontrol altında tutabilmek amacıyla izlenmesi gereklidir.

Jeotermal Tesisin İzlenmesi

Jeotermal tesisler 4 mevsim 24 saat üretim yapabilecek potansiyeli olan, farklı uygulamalarda kullanılabilecek, karmaşık, akışkan üretim ve uygulama merkezleridir. Bu tesislerde yeraltından gelen akışkanın kullanıldığı kentsel ısıtma, elektrik üretimi, sera ısıtma gibi farklı süreçlere ait tesis yapıları ve bileşenler bulunmaktadır. Bu tesislerin teknik uygulamalar, çevresel etkiler, iş güvenliği ve sağlığı açısından izlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmalar hem uygulamanın kalitesini hem de işletmenin finansal gelişimi ile enerjinin verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Sismik Hareketlerin İzlenmesi

İzmir'deki jeotermal sahalar tektonik açıdan aktif fay zonları boyunca yayılım göstermektedir. Bu durum, jeotermal akışkanların faylar boyunca yüzeye ulaşmasına sebep olmaktadır. Ancak aynı faylar bölgedeki depremler ve deformasyondan da sorumludur. Son dönemlerde gerçekleşen depremlerin jeotermal sahalarda yeni kaynak oluşumu, çökme, sıvılaşma gibi olaylara sebep olduğu bilinmektedir. Ayrıca jeotermal enerji uygulama projeleri kapsamında yürütülen sondaj ve test faaliyetleri esnasında jeotermal akışkanın çekilmesi ve üretim kuyularının işletme aşamalarında kullanılan akışkanın re-enjeksiyonu sonucu depremsellik üzerinde bir etki oluşabilir. Bu sebeple jeotermal sahalarda depremselliğe ve çökmeye bağlı veriler, bölgede gerçekleşen depremlerin büyüklükleri ve sıklıkları, varsa bu konuda çalışma alanı kapsamındaki saha etütleri ve bu konuya ilişkin bilimsel çalışmalar dikkate alınmalı ve aktif olarak izlenmelidir.

BÖLÜM 8.

Yatırım Olanakları ve Maliyet Değerlendirmesi

Türkiye, sahip olduğu jeotermal potansiyeli ile elektrik enerjisi ihtiyacının %10'unu (EGS dahil), ısıtmada ise ısı enerjisi ihtiyacının %30'unu karşılayabilir. [195]. Türkiye'nin jeotermal enerjide yaklaşık 60.000 MWt ısı potansiyeli bulunmaktadır. Ancak EGS ve diğer araştırmalar bu potansiyelin daha da artacağını göstermektedir. Bunların ağırlıklı ortalaması alındığında jeotermal enerji, Türkiye enerji (elektrik + ısı enerjisi) ihtiyacının %18'ini karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Jeotermal enerji, sıcaklığına bağlı olarak en başta elektrik üretimi olmak üzere konut ısıtması, termal turizm-tedavi, sera ısıtması ve endüstri alanlarında kullanılmakta olup kapasitenin tam olarak kullanılması durumunda sağlayacağı katma değer 80 milyar USD civarında olacaktır.

Jeotermal enerji destekli yatırımların maliyetleri, geleneksel yatırımlara göre çok farklı ve mali boyutları da çok değişkendir. Jeotermal enerjide ilk yatırım maliyetleri geleneksel fosil yakıt yatırımları ile kıyaslandığında daha pahalı görünse de uzun vadede daha karlıdır.

Yerli bir kaynak olması nedeniyle birincil kaynaklar bakımından dışa bağımlı değildir. Dolayısıyla değişken enerji işletim maliyetlerinden etkilenmez ve aynı zamanda enerji işletim maliyetleri doğalgaz gibi fosil yakıtlara göre daha ucuzdur.

Jeotermal enerji yatırımlarında geleneksel yatırımlara ek olarak, ruhsat sahası, jeolojik ve jeofizik etütler gibi ek maliyetler de eklenmektedir. İlk yatırım maliyeti ve işletme maliyet kalemleri aşağıdaki Şekil 8.1'de kısaca özetlenmektedir.

ŞEKİL 8.1: Jeotermal enerji destekli yatırım kalemleri.

İLK YATIRIM MALİYETİ

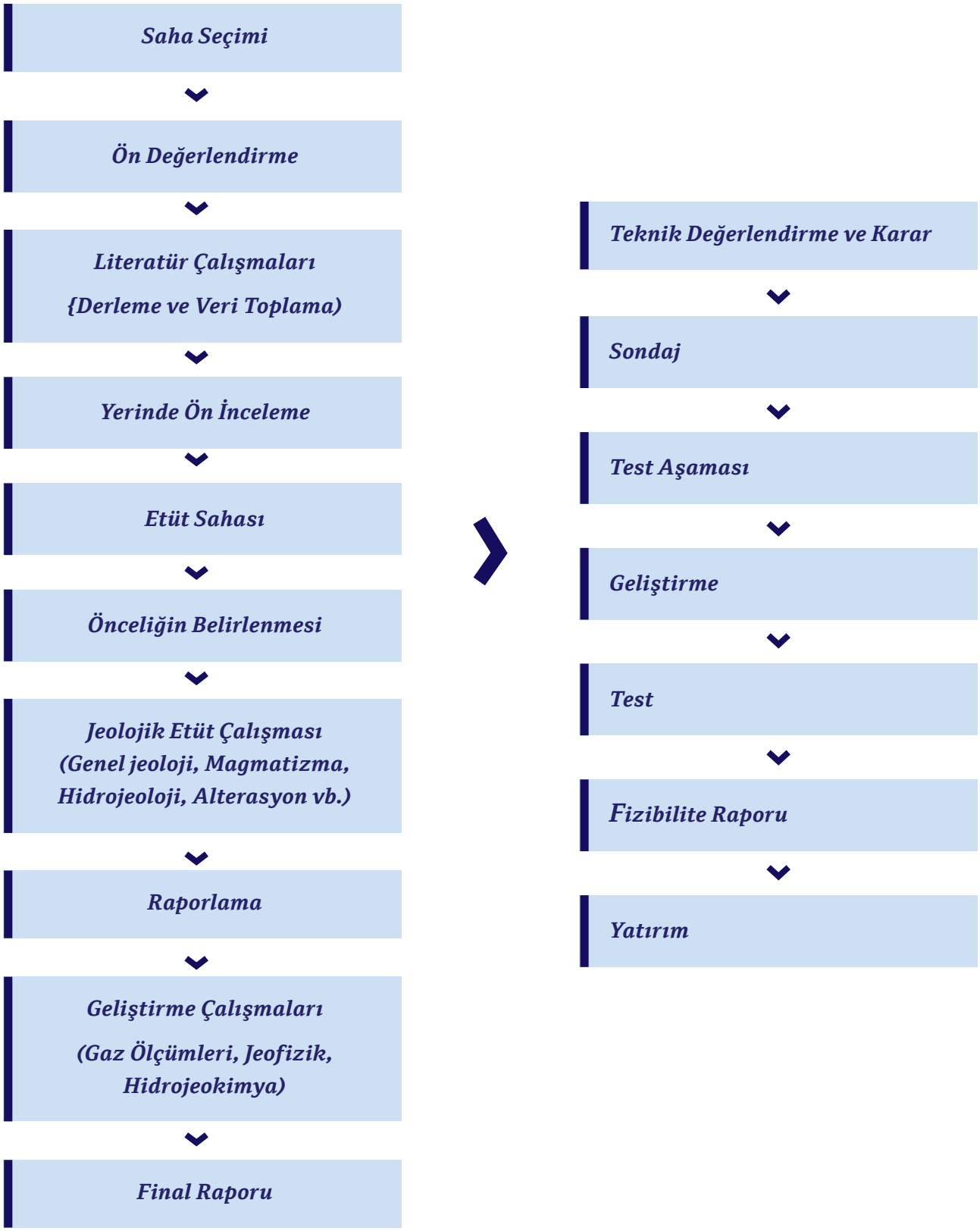
- ***Jeotermal Ruhsat Jeolojik Etüd***
- ***Jeofizik Etüd***
- ***Proje Bedeli Jeotermal Kuyu Sondajı Sondaj Ekipmanları Arazi Bedeli***
- ***Tesis İnşaatı***
- ***Makine ve Tesisat***
- ***Yol ve Enerji Hatları***

İŞLETME MALİYETLERİ

- ***Personel***
- ***Elektrik ve Su***
- ***Reklam***
- ***Nakliye***
- ***Bakım ve Onarım Araştırma ve Geliştirme Çevresel ve Sosyal Faaliyetler***

Jeotermal enerji destekli yatırımlarda hali hazırda var olan bir kuyu işletme halinde ise veya hiç jeotermal enerji kurulumu yoksa maliyet hesaplamalarında farklı kalemler kullanılmaktadır. Mevcut ve işletmede olan (örneğin santral yakını) bir jeotermal kaynak kullanılacaksa sadece sıcak akışkan temini için gerekli yatırımlar (örneğin sıcak akışkan boru hattı) yapılır. İşletmede olan bir jeotermal kuyu yoksa, jeotermal sahanın jeoloji ve jeofizik fizibilitelerinin tamamlanması sağlıklı ve uzun ömürlü bir işletme yatırımı için gereklidir. Bu, su azlığı, debi yetersizliği veya korozyon gibi olası problemlerin işletme esnasında çözümü yerine, ortaya çıkmadan giderilmesini sağlayacaktır. Jeotermal enerji araştırmaları ön değerlendirmeden fizibilite aşamasına kadar jeoloji, jeofizik, hidrojeoloji, jeokimya başta olmak üzere çeşitli konuları içeren basamaklardan oluşmaktadır (Şekil 8.2). Ön fizibilite raporlarına göre jeotermal kaynağın bulunuş yeri ve kaynak hakkındaki bilgiler vasıtasıyla yapılacak olan sondaj çalışmaları ile daha doğru sonuçlara ulaşılacaktır.

ŞEKİL 8.2: Jeotermal kaynak aramalarındaki iş akış şeması.



Kaynak: GAP Projesi [196]'nden değiştirilerek alınmıştır.

Yatırımcının ilk yatırım maliyetindeki bir diğer kalem ise mühendislik çalışmalarıdır. Proje firmaları tasarım aşamasından önce fizibilite raporları hazırlamakta ve yatırımcının isteğine bağlı olarak ilk yatırım maliyeti, yatırımdan sonraki işletme giderleri ve diğer olası giderleri de (yol veya enerji hattı gibi) içeren kapsamlı bir çalışma hazırlanmaktadır. Proje maliyeti, ilk yatırım maliyetlerinin %1 ila 3'ü arasında değişmektedir [197].

Sondaj maliyetleri ise genel anlamda sondaj derinliğine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tam donanımlı, tüm ekipmanlar dâhil 1.000 m'ye kadar olan sondaj maliyeti yaklaşık 360.000 USD, 1.000 m'den daha derin bir sondajın maliyeti yaklaşık olarak 450.000 USD'dır. İstenilen yatırımın kapasitesi, jeotermal kaynağın sıcaklık ve debisine bağlı olarak sondaj adedini belirlemektedir. Yatırım için gerekli üretim kuyusu sondajı yanında re-enjeksiyon kuyusu sondajı da yapılmalıdır. Re-enjeksiyon kuyusu, atık jeotermal akışkanın yüzey sularına ve toprağa deşarjını engellemekteyken aynı zamanda rezervuarın sürdürülebilirliğini sağlamakta ve dolayısıyla uzun vadeli yatırımın da korunmasını sağlamaktadır.

Yatırım yapılacak tesisin bulunduğu arazi bedelleri bölgeye göre değişmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken parametrelerden biri jeotermal kaynak ile tesisin kurulacağı alan arasındaki mesafedir. Bu mesafenin uzunluğu kaynak ile tesis arasındaki akışkan boru hattı maliyetini arttıracaktır. Aynı zamanda bu mesafenin dağıtım esnasında kayıplara yol açarak tesise verilecek akışkanın sıcaklığını etkileme ihtimali bulunmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve ekipmanlarla nispeten daha uzun mesafelerden akışkan iletimi yapılabilmektedir. Ancak yine de mesafelerin kısaltılması proje bütçesinin öncelikli ve daha gerekli yerlere aktarılmasını sağlayabilir. Çünkü yatırımı düşünülen tesis için arazi seçimindeki parametreler sadece jeotermal kaynağa yakınlıkla sınırlı değildir. Ulaşım ağına yakınlık, yörenin bitki örtüsü, iklim, turistik amaçlı olması ve benzeri etkenler, yapılacak yatırım ve işletme maliyetleri konusunda etken rol oynamaktadır.

Elektrik üretimi dışında sera, kurutma ve termal otel gibi yatırımlarda yakınlardaki bir jeotermal işletmeden sıcak akışkan alımı yapılarak da kurulum yapılmaktadır. Bu durumda kullanılacak jeotermal akışkan için ilk kurulum bedelleri ve işletme bedellerinin de yatırım maliyetleri içinde ele alınması gerekmektedir.

Aşağıdaki bölümlerde elektrik üretimi, sera, kurutma ve termal otel için tesis kurulumu üzerine genel yaklaşık maliyetler verilmiştir. Kurulumlar bölgeye, kurulacak tesis kapasitesi ve jeotermal kaynağa yakınlık gibi birçok parametreye bağlı olduğundan direkt bir maliyet vermek oldukça zordur. Burada sadece ana temel yatırımların maliyeti yatırımcıya bir fikir vermesi açısından ifade edilmiştir. Her bir tesisin doğal olarak kendine özel gereksinimleri olmaktadır ve dolayısıyla detaylı bir fizibilite raporu hazırlanmalıdır.

8.1. Elektrik Üretimi

Dünyada yaşanan enerji krizi, iklim değişikliği ve küresel ısınma yüzünden, yenilenebilir enerji kullanımına yönelik politikalar geliştirilmiştir. Enerjide birincil kaynaklar bakımından dışa bağımlı olan ülkemizin, yenilenebilir enerji kaynakları açısından potansiyeli yüksektir ve bu kaynaklar ile enerji üretilmesi enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacaktır. Ülkemizde jeotermal ruhsatların çoğunluğunun yer aldığı Büyük Menderes ve Gediz Nehir Havzaları'nda mevcutlara ilaveten birçok sahada yeni jeotermal enerji santralleri kurulması için son yıllarda çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Seferihisar'da bulunan RSC Elektrik-Seferihisar Jeotermal Enerji Santrali (JES) şu an İzmir il sınırı içinde kurulu tek santraldir. Seferihisar dışında kent sınırları içerisinde Balçova ve Dikili ilçelerinde de elektrik üretimi mümkündür. Balçova ve Dikili'de mevcut rezervuar sıcaklıkları 130-140°C'ye ulaşabilmektedir. RSC Elektrik Seferihisar JES, 12 MWe kurulu güce sahiptir ve ortalama yıllık 96.000.000 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmesi planlanmıştır. Projenin tam olarak işletmeye geçmesi ile yaklaşık 32.000 hanenin elektrik ihtiyacını tek başına karşılayacağı hesaplanmıştır (3.000 kWh/hane-yıl) [198].

Jeotermal elektrik santrali kurulumu 4 ana başlık altında toplanabilir: Jeotermal kuyu sondajı, arazi bedelleri, santral, borulama-mekanik ve enerji hatları. Ülkemizde genellikle jeotermal akışkan sıcaklıkları çok yüksek olmadığı için Organik Rankine Çevrimi (Binary) tipinde sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin çalışma prosedürü; jeotermal akışkanın ısısının başka bir akışkana (genellikle pentan) aktarılması, buharlaşan akışkanın türbine gönderilmesi ve elektrik üretilmesi şeklindedir. Binary sistemler için santral fiyatı yaklaşık 1 milyon USD/MWe şeklinde düşünülebilir, daha yüksek kapasitelere, örneğin 25 MW'lara çıkıldığında bu miktar 0,8 milyon USD/MW'a kadar düşmektedir.

Boru ve enerji hatları için kurulumlara Balance of Plant (BOP) denilmektedir. Mekanik-BOP maliyetleri, borulama, santraller için gerekli mekanik tesisat, pompalar, separatör, yangın sistemi, vinç ve benzeri mekanik giderlerden oluşmaktadır. Elektrik-BOP maliyetleri ise, trafo, şalt sistemleri, kablolar, enerji nakil hatları gibi giderleri içermektedir. Bu maliyetler, jeotermal santralin trafo merkezine veya yüksek gerilim hatlarına olan mesafesi ile değişmektedir ve net bir değer vermek zordur. Örneğin santrale yakın yerde bir trafo merkezi varsa buraya bağlanmak ve enerji hattında küçük değişimler yapmak yeterli iken, santral en yakın trafo merkezine 40-50 km uzaklıkta ise enerji hatları maliyetleri oldukça fazla olacaktır.

Yenilenebilir enerjide istihdam sayılarının araştırıldığı bir çalışmaya göre, Türkiye'de jeotermal elektrik santrallerinin kurulumu ve işletme sırasındaki tam zamanlı istihdam sayısı 15.108 olarak verilmiştir. Bu çalışma 1.282,50 MWe Kurulu güç için elde edilen veriler ışığında belirlenmiştir. Türkiye'de jeotermal santrallerin kurulum aşamasında toplam 14.236 istihdam, jeotermal tesislerin işletilmesi aşamasında ise toplam 872 istihdam yaratılmıştır [199].

Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler (EGS) içerisinde yer alan Kızgın Kuru Kaya yöntemiyle elektrik üretimi temiz ve yenilenebilir enerji talepleri açısından dünyada ilgi çekmektedir. EGS, yüksek ısıya sahip bir kayaca, derin sondajlarla ulaşılarak, bu kayaçta depolanmış olan ısının, yüzeyden enjekte edilen bir akışkana (su/gaz vb.) aktarılmasıyla enerji üretilmesidir. EGS, dünyanın her yerinde bulunabilir ve uygulanabilir olmasından dolayı enerji konusunda son yıllarda ilgi odağı olmuştur.

İzmir-Dikili'de bulanan Yuntdağ birimi tektonizma ve hidrotermal alterasyonlar nedeniyle kırıklı bir yapıya sahiptir ve rezervuar özelliği göstermektedir. Kozak plütonundaki radyoaktif bozunmanın sığ magmadan kaynaklandığı belirtilmektedir. Yuntdağı ve Kozak rezervuar sistemlerinden %50 olasılıkla 75 MWe ve 17 MWe net elektrik enerjisi üretilebileceği belirtilmiştir. Yapılan araştırmada %90 olasılık tahminlerine göre, bölge 4,2 kat daha fazla termal üretim sağlama potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel konut başına 100 m^2 taban alanı varsayıldığında, 95.031 konutun veya 4,17 milyon m^2 seranın ısıtılmasına karşılık gelmektedir.

Bu alanda EGS enerjisinin kullanılmasıyla mevcut CO_2 salımının doğalgazla kıyaslandığında %85 oranında azalacağı hesaplanmıştır [200]. Ayrıca, TÜBİTAK desteği ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde EGS'nin önemi, kaynağı ve bölge ekonomisine etkisine ilişkin bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada özellikle Kozak granitinin enerji potansiyeli irdelenmektedir.

8.2. Sera Isıtması ve Kurutma

8.2.1. Sera Isıtması

Dünyada ve ülkemizde gıda ihtiyacının hem artan nüfus hem de küresel ısınmanın etkisiyle hızla arttığı görülmektedir. Özellikle taze/yaş sebze ve meyve ihtiyacı giderek önem kazanmaktadır. Gıdaya olan talep ve enerji fiyatlarındaki artıştan kaynaklanan nedenlerle, gıda fiyatlarında sürekli bir dengesizlik ve dalgalanma söz konusu olmaktadır. Birim alandan yüksek verim alınmasını ve küçük alanların marjinal şekilde değerlendirilmesini sağlayan örtü altı yetiştiriciliği, aynı zamanda yıl içerisinde düzenli istihdam sağlanması nedeniyle de önemli tarımsal faaliyetler arasında gösterilmektedir. Seracılığın en önemli maliyet kalemlerinden birisi ısıtmadır. Nitekim seralarda sıcaklık değerinin uygun sistemler kullanılarak istenilen değerlerde tutulması modern yetiştiriciliğin şartlarındandır. İşte bu noktada jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı işletmelere önemli oranda maliyet avantajı sağlamaktadır. Diğer yandan bakıldığında da yenilenebilir enerjinin ülke ekonomisine kazandırılması enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmanın çıkış yoludur.

İzmir ili sınırları içinde özellikle Dikili'de seracılık sektörü çok gelişmiştir. Dikili, Aliağa, Torbalı ve Seferihisar'da jeotermal destekli seralar bulunmaktadır. Son yıllarda, jeotermal sera yatırımları hızla artmakta olup özellikle Dikili ve Bayındır'da buna yönelik yatırımlara başlanmıştır. Ayrıca Urla ilçesinde de küçük ölçekli bir sera yapılması planlanmıştır (Tablo 8.1). Bu seraların ısıtılmasında jeotermal yerine doğalgaz kullanılırsa yaklaşık CO_2 salınımının 51 ton ve kömür kullanılırsa 106 ton daha fazla olacağı hesaplanmıştır.

Dikili ilçesinde jeotermal enerji kaynakları ile ısıtılması öngörülen ''Dikili Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesi'' projesi onaylanmıştır. Bu proje ile jeotermal enerji kullanılarak ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra yaklaşık 3.500 kişiye istihdam sağlanması amaçlanmıştır. Avrupa'nın ve Türkiye'nin en büyük topraksız, tam otomasyonlu, ısıtma ve soğutma için yenilebilir enerji kaynaklarını kullanan modern teknolojik seralarında yıllık 80.000 ton kaliteli yaş sebze ve meyve üretilerek yurt içi ve yurt dışı piyasalara sunulması planlanmıştır. Aynı zamanda jeotermal enerjinin yanında güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynakları da kullanılarak enerji ihtiyacının kendi bünyesinde karşılanması, tesis atıklarının da kullanılmasına yönelik biyogaz/biyokütle tesis alanı, arıtma tesisi kurulması ve jeotermal enerjinin re-enjeksiyonu ile çevreye duyarlı tarımsal bir üretim gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır. Bu projede tüm tesis 3.038 da üzerine kurulacak, toplam jeotermal ısıtmalı sera alanı ise 1.833 da olacaktır. Dikili Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesi için ilgili proje kapsamında belirlenmiş yaklaşık maliyet Tablo 8.2'de özetlenmiştir. Bu projenin indirgenmiş geri dönüş süresi sermaye maliyeti dikkate alınarak 1 yıl 8 ay olarak hesaplanmıştır [201].

TABLO 8.1: İzmir 'de jeotermal ile ısıtılan mevcut ve planlanan seralar ve alanları.

Konum	Mevcut Sera Alanı (da)	Planlanan Sera Alanı (da) (Proje Alanı-da)
Dikili	1.145	1.833 (3.080)
Aliağa	35	
Torbalı	8	
Seferihisar	6	
Bayındır	-	450 (900)
Urla	-	1
Toplam	1194	2284

TABLO 8.2: Dikili TDİOSB yatırım örneği tutarları.

Gider Adı	Maliyet (USD)
Etüt Proje ve Mühendislik Giderleri	355.507,87
Alt Yapı Uygulama Maliyeti	25.920.331,39
Üst Yapı Uygulama Maliyeti	1.049.094,42
Su Sondaj Kuyusu Açımı	114.449,21
Jeotermal Sondaj Kuyusu Açımı	2.575.107,30
Arazi Giderleri	433.450,36
Genel Toplam	30.447.940,54

Benzer şekilde Bayındır'da çiçek yetiştiriciliği üzerine kurulacak jeotermal destekli sera alanı 450 da olup toplam proje alanın 900 da olması planlanmıştır. Bayındır, "çiçeğin kenti" olarak anılmaktadır ve bu seralarda 20 farklı türde çiçek yetiştirilmesi tasarlanmıştır. Bu projenin, yaklaşık 1.000 kişiye istihdam sağlayacağı düşünülmektedir.

Jeotermal enerjili sera kurulumu maliyetleri 4 ana başlık altında toplanabilir; arazi maliyetleri, jeotermal enerji ısıtma maliyetleri (sondaj, ısı değiştiricileri, pompa, borulama vb.), sera ekipmanları ve işletme maliyetleridir. Bu başlıklardan arazi maliyetleri ve jeotermal enerjiden yararlanma olanakları bölgeden bölgeye göre değişkenlik göstermektedir. Jeotermal kuyu ve araziden bağımsız olarak sera ekipmanları kurulum maliyeti genellikle çok değişken değildir ve yaklaşık 50-65 USD/m² civarında bir yatırım getirmektedir. Sera kurulacak bölge yakınlarında daha önceden açılmış bir kuyu varsa ya da jeotermal elektrik santrali mevcutsa jeotermal akışkan re-enjeksiyon kuyusuna geri gönderilmeden önce bu seralarda kullanılarak jeotermal enerjiden optimum derecede yararlanılabilir. Böylece enerjiden de tasarruf sağlanmış olunur.

Yaklaşık 2 da (2.000 m²) alana sahip bir sera için örnek maliyet hesabı yapılmıştır. Hesap, var olan bir jeotermal kuyu ve jeotermal kuyunun hiç olmadığı durumlar için yapılmıştır. Arazi bedellerinin yöreye göre değişiklik gösterdiği düşünülerek hesaba katılmamıştır. Aynı şekilde jeotermal ruhsat bedelleri ve var olan bir kuyu kullanılacaksa jeotermal akışkan kullanım değerleri değişken olacağından hesaba dahil edilmemiştir. Tablo 8.3'te jeotermal kuyu sondajı 1.000 m ve re-enjeksiyon kuyusuyla birlikte 2 adet jeotermal kuyu sondajı hesaplara dahil edilmiştir. Hesaplamalar çok detaylandırılmadan ve sadece genel kalemler ele alınarak, yatırımcıya bir fikir vermesi amacıyla verilmiştir. Her bir yatırımın yöreye (iklim bitki örtüsü, ulaşım ağına yakınlık vb.) özel olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

TABLO 8.3: 2 da'lık bir sera kurulumu örneği.

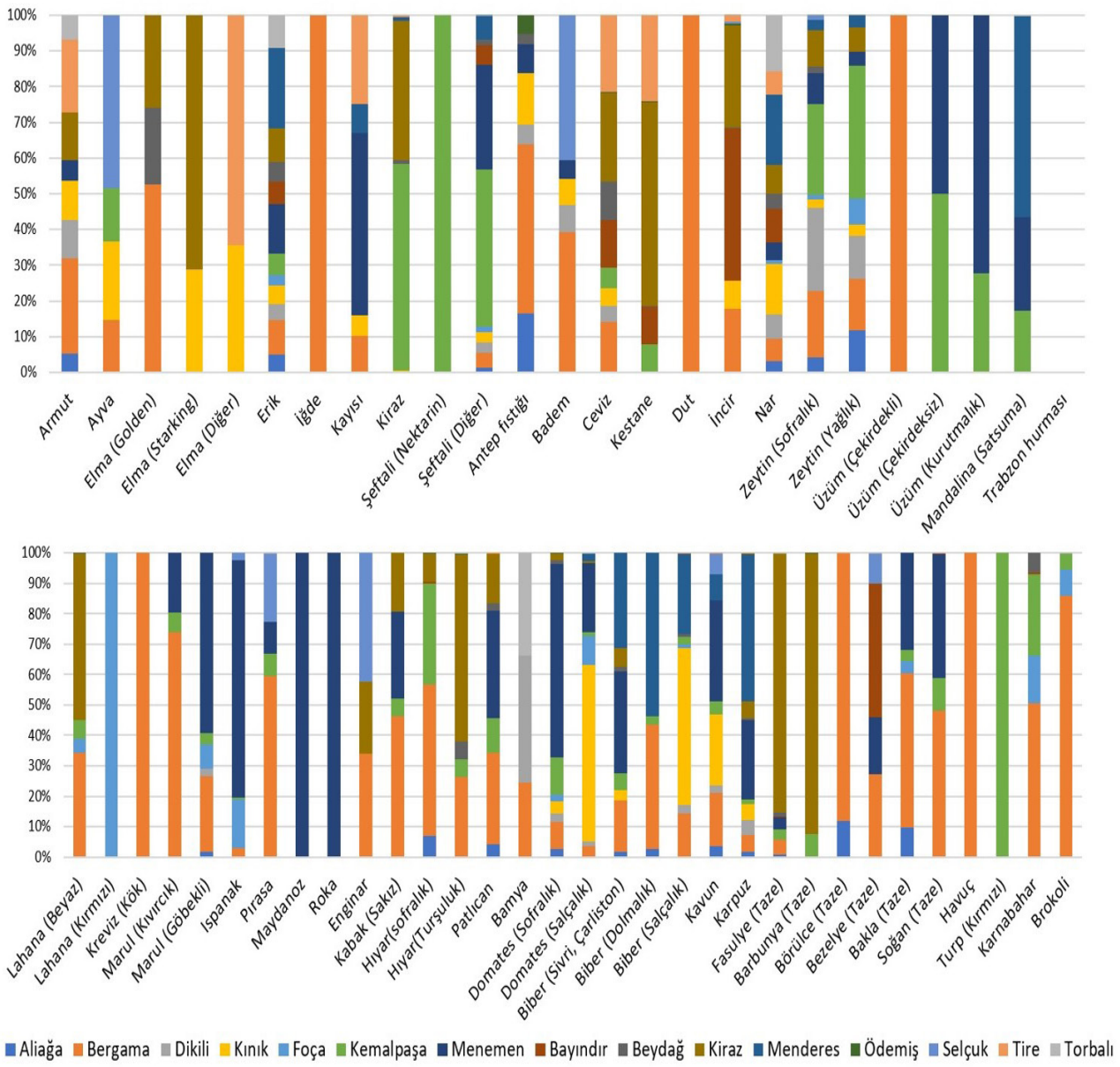
Jeotermal Kuyu Varsa		Jeotermal Kuyu Yoksa	
Yatırım Giderleri	**Maliyet (USD)**	**Yatırım Giderleri**	**Maliyet (USD)**
Arazi bedeli	-	Arazi Bedeli	-
Etüt proje giderleri	4.322,77	Etüt Proje giderleri	4.322,77
Alt yapı giderleri	9.726,22	Alt yapı giderleri	9.726,22
Üst yapı giderleri	23.054,76	Üst yapı giderleri	23.054,76
Sera malzemeleri, makine ve teçhizat ve montaj giderleri	56.916,43	Sera malzemeleri, makine ve teçhizat ve montaj giderleri	56.916,43
Jeotermal akışkan alımı	-	Jeotermal kuyu sondajı	720.000,00
TOPLAM	94.020,17	TOPLAM	814.020,17
İşletme giderleri	Maliyet (USD)	İşletme giderleri	Maliyet (USD)
Yardımcı malzeme ve işl. üretim giderleri (Gübre, ilaç, kutu, klips, topraksız kültür ortamı...)	3.602,31	Yardımcı malzeme ve işl. üretim giderleri (Gübre, ilaç, kutu, klips, topraksız kültür ortamı...)	3.602,31
Personel, işçilik	12.608,07	Personel, işçilik	12.608,07
Bakım onarım	720,46	Bakım onarım	720,46
Genel giderler	1.080,69	Genel giderler	1.080,69
Beklenmeyen giderler	720,46	Beklenmeyen giderler	720,46
TOPLAM	18.731,99	TOPLAM	18.731,99
GENEL TOPLAM	112.752,16	GENEL TOPLAM	832.752,16

8.2.2. Kurutma

Küresel ihracat sıralamasındaki yerine bakıldığında Türkiye, yaş meyve ürünlerinde 8'inci, yaş sebze ürünlerinde 16'ncı, kurutulmuş sebze ürünlerinde 9'uncu, kurutulmuş meyve ürünlerinde 2'nci sıradadır [202].

İzmir, sıcak bir iklime ve zengin bir bitki örtüsüne sahip olduğundan ürün kurutma sektörü için çok elverişlidir. Kurutma işlemi çok enerji kullanılan bir işletme sürecine sahiptir. Kurutma işlemlerinde jeotermal enerjiden yararlanmak enerjiden tasarruf edilmesini sağlayarak ülke ekonomisine katkı sunacaktır. Şekil 8.3'te, İzmir genelinde toplam yaş sebze ve meyve üretiminin ilçe bazlı dağılımı gösterilmektedir [158, 203].

ŞEKİL 8.3: İlçelere göre yaş sebze ve meyve toplam üretiminin ilçe bazlı dağılımı.



Kaynak: İBB-GBHSKS [158] verisi kullanılmıştır.

Bu veriler kurutulacak sebze ve meyve potansiyelinin İzmir il sınırları içinde yüksek olduğunu göstermektedir. Türkiye'den en fazla ithal edilen kurutulmuş sebze türü ise %95 oranı ile kurutulmuş domatestir. Şekil 8.3'ten de görüleceği üzere, Kınık (94.264 ton) ve Menemen (72.000 ton) toplam domates üretimiyle dikkat çekmektedir. Üzüm üretiminde de Kemalpaşa (17.625 ton) ve Menemen (26.670 ton) kurutma açısından potansiyeli bulunan ilçelerdendir [158, 203]. Şekil 8.3 verileri her ilçede farklı meyve sebze kurutulmasının yapılabileceğini göstermektedir. Kiraz ve Kemalpaşa kiraz, Menderes karpuz, Menderes, Menemen ve Kemalpaşa mandalina kurutması için uygun yerlerdir.

İzmir ili sınırları içinde şu anda 3 ilçede jeotermal kurutma yapılmaktadır (Tablo 8.4). Toplam kurutulan ürün miktarı günde 17.000 kg'dır.

Tablo 8.5'te 6 ton/gün (150 ton/ay) kapasiteli jeotermal enerji destekli bir kurutma tesisine ait fizibilite örneği verilmiştir. Bu örnekte tesisin tüm yıl çalışacağı; elma, üzüm, incir ve mürdüm eriği kurutacağı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. İşletmede 16 kişinin istihdam edileceği (tesis günde 16 saat çalışacak) varsayımına göre de toplam yatırım maliyeti 1.098.638 USD olarak hesaplanmıştır. Yatırımlar için geri ödeme süresi ise 1 yıl 3 ay olarak hesaplanmıştır.

TABLO 8.4: İzmir il sınırları içerisindeki jeotermal kurutma tesisleri

Konum	Kurutulan ürün miktarı (kg/gün)
Seferihisar	2.000
Dikili	5.000
Bergama	10.000
Toplam	17.000

TABLO 8.5: Jeotermal destekli kurutma tesisi fizibilitesi

Yatırım Giderleri		
Yatırım Giderleri Kalemleri	**Açıklama**	**Maliyet (USD)**
Jeotermal Ruhsat	Jeotermal saha ruhsatı satın alınacağı varsayılarak yazılmıştır. Kiralama gibi çözümlerle bu kalem kaldırılabilir.	75.000,00
Arazi		10.000,00
Lokasyon İnşaat	Arazi Çevre Duvarı, Peyzaj ve Çevre Düzenlemesi	10.000,00
Lokasyon Elektrik	Çevre Aydınlatması ve Güvenlik Sistemleri	15.000,00
Jeotermal Sondaj		175.000,00

Yatırım Giderleri		
Yatırım Giderleri Kalemleri	**Açıklama**	**Maliyet (USD)**
Dalgıç Pompa		10.000,00
Resmi İzinler Diğer Giderler		5.000,00
Toplam	Jeotermal Saha Ruhsatı ve Sondaj Dahil	300.000,00
Makine Ekipman	Tüm kalemler toplu olarak verilmiştir.	419.700,00
Toplam		419.700,00
Proje Müdürü	9 Aylık Maliyet	31.500,00
Pazarlama Sorumlusu	10 Aylık Maliyet	15.750,00
Gıda Mühendisi (Teknik Sorumlu)	11 Aylık Maliyet	12.300,00
Araç Giderleri	9 Aylık Maliyet	13.500,00
Pazarlama ve Reklam Giderleri	9 Aylık Maliyet	25.000,00
Toplam		98.050,00
Genel Toplam		817.750,00
İşletme Giderleri		
İşletme Giderleri Kalemleri	**Açıklama**	**Maliyet (USD)**
İşletme Elektrik Giderleri		31.600,00
İşletme Reklam, Pazarlama ve Personel Giderleri		177.800,00
İşletme Diğer Giderler		71.488,00
Toplam		280.888,00

8.3. Kentsel Isıtma

Dünyada ve ülkemizde pek çok şehirde jeotermal kaynaklar şehir ısıtması/soğutması amacıyla kullanılmaktadır. Türkiye'de şu anda jeotermal ile ısıtılan ve işletmede olan 116.000 konut eşdeğerine (K.E.- 100 m²lik bir konut birimi olarak tanımlanan "konut eşdeğeri") (1,033 MWt) hizmet eden 18 bölgesel ısıtma sistemi vardır [137]. İzmir'de ise, 40.410 K.E.'ne sahip üç adet bölgesel ısıtma sistemi bulunmaktadır (Tablo 8.6). Tablo 8.6'da ayrıca hesaplanmış kapasite verilerine göre bu sayının İzmir ili için 53.850 K.E.'ye çıkabileceği gösterilmektedir.

İzmir il sınırları içinde, Balçova-Narlıdere, Dikili ve Bergama ilçelerinde konutların jeotermal ile ısıtılmasından dolayı yıllık yaklaşık 82.921 ton CO_2 gazı emisyonu önlenmektedir (Doğalgaz ile kıyaslandığında). Isıtmada kömür kullanımı olsaydı bu değer yıllık yaklaşık 172.368 ton CO_2 salınımına denk gelecekti.

TABLO 8.6: İzmir ilindeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve kapasiteleri

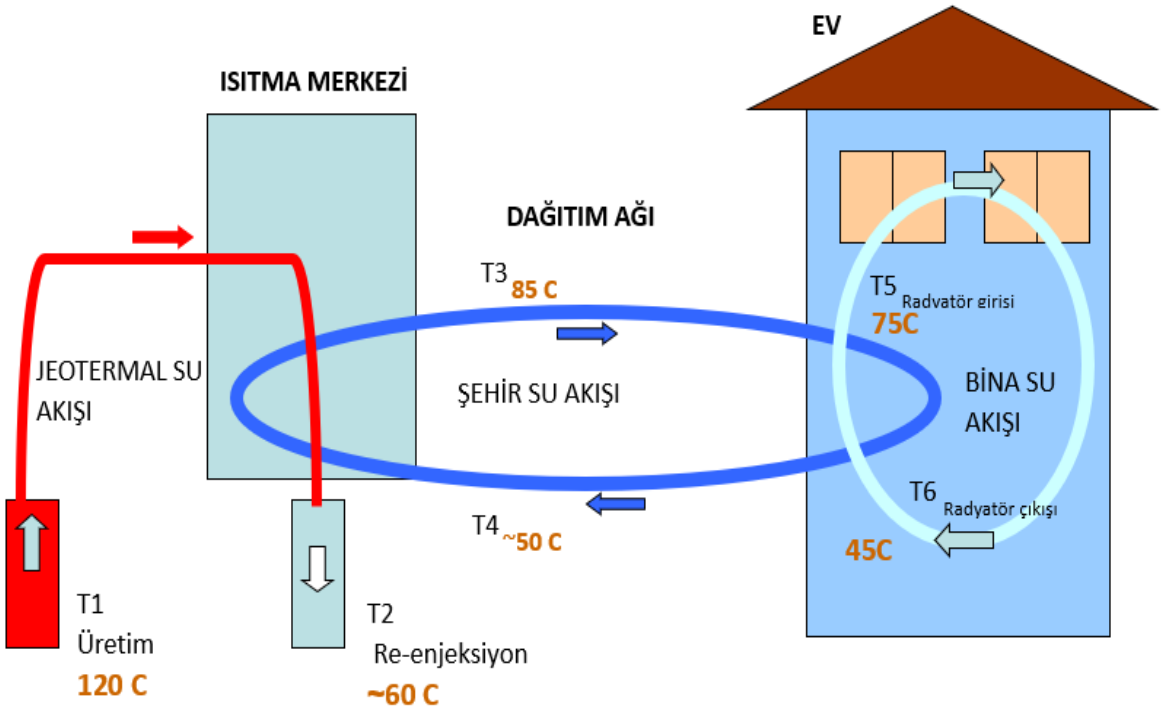
Konum	Jeotermal Akışkan Sıcaklığı (°C)	K.E. (100 m²lik bir konut birimi)	Kapasite (KE)
Balçova-Narlıdere	125-145	38.460	50.500
Dikili	80	1.500	2.500
Bergama	65	450	8.50
Toplam		40.410	53.850

Kaynak: EKB [202]

Türkiye'de jeotermal bölgesel ısıtma uygulaması dendiğinde ilk akla gelen yer, jeotermal enerjinin ağırlıklı olarak kullanıldığı başlıca alanlardan birisi olan Balçova-Narlıdere'dir. Bölgede 38.460 K.E. ısıtma yapılmaktadır. Bu değerle, Balçova-Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ülkemizin en büyük, Avrupa'nın 2'nci, dünyanın da sayılı büyüklükte bölgesel ısıtma sistemlerinden birisi olma özelliğindedir. Şekil 8.4'te Balçova-Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemine ait ısı dağıtım şeması verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere sistemde üç çevrim vardır: Birinci çevrim ortalama 120- 60°C çalışan jeotermal akışkan çevrimi, ikinci çevrim şehir suyu ile çalışan ortalama 85- 55°C şehir içi cevrimi ve üçüncü çevrim de ortalama 70- 45°C çalışan bina içi çevrimidir. Birinci ve ikinci çevrimin işletilmesi İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'nin sorumluğunda iken bina içi olan çevrimin işletilme sorumluluğu binada oturan abonelere aittir. Sistem, 13 adet ısı merkezi, 13 adet üretim kuyusu, 5 adet re-enjeksiyon kuyusu ve 5 adet gözlem kuyusu ile hizmet vermektedir. Yaklaşık 450 km boru hattı bulunmaktadır [205]. Balçova–Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemi kapsamında mevcut durumda, jeotermal enerji kullanarak ısıtma yapılmasından dolayı, yıllık yaklaşık 78.920 ton CO_2 emisyonu önlenmiş olmaktadır.

İzmir ilinde ısıtma için en düşük maliyetler İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. ile jeotermal bölgesel ısıtma sistemindedir (14,76 krş/kWh vergiler dahil) [206]. Balçova-Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemi için Tablo 8.7'de kullanılan yakıtlara göre 1 K.E. (100 m²) için enerji maliyeti verilmiştir.

ŞEKİL 8.4: Balçova-Narlıdere jeotermal bölgesel ısıtma sistemine ait ısı dağıtım şeması.



TABLO 8.7: 1 K.E. (100 m²) için enerji maliyeti karşılaştırması.

Enerji Fiyat Karşılaştırması (1.000 Kcal) (Yıllık tüketim 8.000.000 Kcal)			
Isınma Şekli	**30.03.2021 Yakıt Fiyatları (vergiler dahil)**	**1 Konut Eşdeğeri (K.E.) Enerji Maliyeti TL/Yıl**	**Yakıt Maliyeti İndeksi Δ (%)**
	Krş (TL)/1.000 kcal		
Jeotermal Bölgesel Isıtma (İzmir Jeotermal A.Ş.)	14,76	1.180,8	----
İzmir Doğal Gaz (8.250 kcal/m³ ve 107 % yanma verimliliği)	22,54	1.803,2	52,71
Kömür (Sibirya)	37,14	2.971,2	151,63
Elektrik	99,16	7.932,8	571,82

Kaynak: Yiğit [206].

Türkiye'nin ilk jeotermal absorpsiyonlu soğutma uygulaması İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. idari binasında kullanılmaktadır. Bu sistemin ilk yatırım maliyetinin yüksek (yaklaşık 1.200 €/kWth) olmasına rağmen, kompresörlü soğutma gruplarına göre daha düşük işletme maliyeti olmaktadır. Sistemin geri ödemesi VRF ile kıyaslandığında 4 yıl olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, bu karşılaştırmaya dahil edilmeyen şey, bu sisteme güç sağlamak için gerekli olan jeotermal akışkandan gelen CO_2 ve bunun geleneksel soğutma grupları için kullanılan fosil yakıt kaynaklı elektrikten kaynaklanan CO_2 emisyonu ile nasıl kıyaslandığıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi, rezervuar koşulları uygunsa (yeterince yüksek sıcaklıklar ve makul CO_2 içeriği) büyük ölçekli, jeotermal absorpsiyonlu soğutma sistemi uygun bir seçenek olabilir. Birim başına bir veya daha fazla bina için bir bölgede birden fazla kompresörlü soğutma grubu istasyonu kurmakla karşılaştırıldığında, bu sistem elektrik tasarrufu sağlama açısından önemli olacaktır.

Balçova-Narlıdere-İzmir, Sarayköy-Denizli ve Simav-Kütahya için yatırım ve işletim maliyetleri ile ilgili yapılan ısı üretimi maliyet çalışmasında, jeotermal alan (kuyular, pompalar, toplama boru hatları), ısı eşanjörleri, pompa istasyonları ve dağıtım sistemi dahil projelerin toplam sermaye giderleri ve işletme harcamaları dikkate alındığında birim maliyetin 0,020 EUR/kWh_t civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu birim üretim maliyet, öncelikle yatırım ve işletme bakım maliyetinden kaynaklanmaktadır, ancak bazı bölgesel ısıtma sistemlerinde hem kuyulardan gelen jeotermal akışkan hem de dağıtım sistemlerindeki sirkülasyon pompaları için nispeten yüksek elektrik maliyeti de bulunmaktadır [137]. Her durumda, 40 yıllık uzun bir proje ömrü ve yıllık %5'lik bir iç getiri oranı varsayılmıştır. Yatırımın birkaç yıl içinde geri kazanılması için kurulan bazı özel jeotermal enerji üretim projelerinin aksine, bölgesel ısıtma, doğası gereği daha uzun vadeli bir kamu hizmeti sistemi olarak düşünülmelidir.

Jeotermal ısıtmanın bir diğer önemli özelliği, sistem kurulduktan sonra fiyatın, fosil yakıtlarda olduğu gibi yıldan yıla dalgalı bir seyir izlememesidir. Genel olarak, jeotermal ısıtmanın finansal fizibilitesi, özellikle 2-3 seviyeli bir tarife yapısı (bağlantı ücreti, sabit yıllık ücret ve enerji ücreti) ile uygulandığında, iyi rezervuar koşulları, nüfus yoğunluğu ve yıllık ısı talebinin yüksek olduğu nispeten soğuk olan iklimlerde rekabetçi olmaktadır [137].

İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. kentsel ısıtma sistemi için belirlenmiş 2020-2021 yılına ait bağlantı ücretleri, sabit yıllık ücretler ve ısıtma için enerji fiyatları aşağıda özetlenmiştir [207].

- 1 KE başına bağlantı ücreti (100 m^2), tek seferlik ücret: 306 EURO/K.E.
- Yıllık standart ısınma ücreti: 2,35 EURO/m^2/yıl
- Enerji fiyatı: 0,014 EURO/kWh

Aşağıdaki tablo, çeşitli enerji kaynaklarından ısıtma ve soğutma için tipik enerji fiyatlarına genel bir bakış sunmaktadır (Tablo 8.8).

TABLO 8.8: Çeşitli enerji kaynakları için ısıtma ve soğutma için enerji fiyatı.

Enerji kaynakları ve uygulamaları	Bağlantı ücreti (€)	Yıllık Ücret (€/m²/yıl)	Enerji fiyatları (€/kWh$_t$)
Kömür (sübvansiyonsuz), ısıtma	Yok, kömür sobası satın alındı.	Yok	0,046-0,050
Kömür santralinden (örn. Soma) kaynaklanan atık ısı, ısıtma	640-800 €	Yok	0,011
Gaz, ısıtma	Ağa bağlı, birkaç bin TL	Yok	0,021-0,026
Fuel oil, ısıtma	Yok, gaz yağı sobası satın alındı	Yok	0,077
Jeotermal ısıtma, mevcut sisteme genişletme	400-640 €	Yok veya 0,160-0,176 €/m²/yıl	0,013-0,021
Jeotermal ısıtma, yeni sistem geliştirildi.	400-640 €	0,160-0,176 €/m²/yıl	0,021-0,026
Elektrikle çalışan AC ünitesi ile soğutma	Satın alınan klima ünitesi	Yok	0,035
Jeotermal soğutma (birleşik jeotermal ısıtma ve soğutmanın bir parçası)	400-640 €	0,160-0,176 €/m²/yıl	0,032-0,035

Kaynak: EBRD [137].

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri için Karşıyaka, Narlıdere ve Aliağa; soğutma için ise Çeşme-Alaçatı önemli potansiyel alanlardır. Jeotermal bölgesel ısıtma için diğer bir pazar, endüstri için proses ısısı teminidir. Jeotermal bölgesel ısıtma için potansiyel endüstri dalları arasında, gıda ve tütün endüstrisinin yanı sıra kimya, araba imalatı, kâğıt hamuru ve kâğıt ile mekanik endüstri sayılabilir. Yukarıda sayılan endüstriyel prosesler için mutlak ısı gereksinimi genellikle 100°C'nin üstündedir. Örneğin, kimya endüstrisi için ısı talebinin %47'si jeotermal bölgesel ısıtma ile karşılanabilir, gıda ve tütün endüstrileri için ise talebin %37'ye kadarı jeotermal ile karşılanabilir. Bunu dikkate alarak Aliağa ve Çiğli Atatürk OSB ilgi çekici olabilir [137].

Bölgesel ısıtma sistemlerinde, jeotermal ısı pompaları, yeraltında sıcak akışkanın olmadığı veya düşük sıcaklığa sahip bir akışkanın olduğu alanlarda, enerjiden tasarruf etme amacıyla, geleneksel sistemlere göre enerji açısından birçok avantaja sahip olması nedeniyle tercih edilebilir. Elektrik fiyatlarındaki artıştan etkilenmez ve daha az elektrik kullanarak daha az enerji maliyetine sahiptir. Örneğin Kınık'ta ısı pompalarından jeotermal toprak kaynaklı ısı pompaları ya da jeotermal akışkan kaynaklı ısı pompalarından veyahut her ikisi hibrit olarak kullanılarak yararlanılabilir. Aynı zamanda elektriğin bulunmadığı kırsal alanlarda, kurutma tesisi yerinin üretim yapılan tarlaya veya bahçeye yakın olması durumunda gaz motoru tahrikli jeotermal ısı pompaları kullanılabilir.

8.4. Termal Turizm

Eski çağlardan beri termal sular kaplıcalarda tedavi için kullanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar, Spa ve termal turizm açısından önemlidir. İzmir bir termal turizm kentidir ve Balçova Agamemnon, Allianoi, Asklepion, Karakoç, Çeşme-Şifne (Reisdere) vb. gibi pek çok kaplıcasıyla antik dönemlerden beri şifa dağıtmış olan kentte, termal turizmin turizm sektörü içerisindeki payı giderek artmaktadır. Bununla birlikte Bayındır Ilıcaları, Bergama Kaplıcaları, Menemen Ilıcaları, Ilıcagöl Ilıcası, Tavşan Adası Ilıcası, Çeşme Ilıcaları, Şifne Kaplıca ve Çamuru, Seferihisar Kaplıcaları, Urla Ilıcaları (Malkoç içmeleri) ve Gülbahçe Ilıcalarında halen termal turizm yapılmaktadır. Kaplıcalarda, jeotermal akışkan, çamur banyosu ve içme suları bulunmakta, modern tıbbın imkânlarından da yararlanılarak farklı tedavi yöntemleri uygulanmaktadır.

Balçova'da bulunan Balçova Termal Oteli, bünyesindeki kaplıca ve kür merkezi, tedavi kapasitesi bakımından uluslararası standartları sağlayan, Türkiye'nin en büyük termal otel ve tedavi merkezi olarak sağlık hizmeti yanında kompleks içinde bulunan jeotermal ile ısınan havuzlarıyla gerek eğlence gerekse spor amaçlı olarak da hizmet vermektedir.

Çeşme 2001 yılında termal turizm bölgesi seçilerek o günden bu yana gelişimini sürdürmektedir. Çeşme'de jeotermal enerji kullanan 28 otel vardır ve bu otellerin sayısı devamlı artmaktadır. Aynı şekilde Dikili, Seferihisar ve Foça da termal turizm merkezlerindendir. İzmir ilinde bulunan tesisler oda sayıları temel alınarak Tablo 8.9'de özetlenmiştir.

İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. tarafından, Seferihisar-Doğanbey'de bölgenin turizm kapasitesini 12 aya çıkartmak ve kentin sağlık turizmi hedefine katkı sağlamak amacıyla termal kür ve tedavi merkezi yapılması planlanmıştır [208].

TABLO 8.9: İzmir ili Termal Otelleri.

Konum	Mevcut (oda sayısı)	Planlanan
Balçova	534	
Narlıdere	219	
Çeşme	3.402	
Seferihisar		400 kişi/gün
Toplam	4.155	400 kişi/gün

Bu tesisin planlaması; yerli ve yabancı turiste hitap etmesi, yörede sürekli veya mevsimlik kalan halka hizmet etmesi hatta mevsimlik kalan 60 yaş üstündeki yöre halkının sağlık hizmetleri karşılanabileceği için burada tüm yıl kalabilmesi beklentileri üzerine yapılmıştır. Tesis sayesinde, Seferihisar merkezde çalışacak personel ve tüm yıl kalacak kişi sayısının artması, dolayısı ile böyle bir yatırımın Seferihisar'ın ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılması planlanan termal kür ve tedavi merkezinde, 540 kişi kapasiteli kür merkezi ve 280 hasta kapasiteli tedavi ünitesi ile wellness-spa ve sırabanyo (jakuzi ve hamam) hizmetlerinin sunulması öngörülmüştür. Söz konusu tesisten yılda yerli ve yabancı 300 bin kişinin faydalanması, 5.994.713 USD gelir getirmesi ve projenin geri ödeme süresinin 4 yıl 10 ay olması öngörülmektedir. Seferihisar Doğanbey Termal Tedavi Merkezi için yatırım maliyetleri Tablo 8.10'da verilmiştir.

TABLO 8.10: Doğanbey Termal Tedavi Merkezi Yatırım Maliyeti.

Gider Kalemleri	Maliyet (USD)
Arazi Bedelleri	812.274
Sabit sermaye yatırımı	11.390.415
İşletme sermayesi	1.977.594
TOPLAM	14.180.283

Aşağıdaki örnekte, jeotermal kuyusu, arazi bedelleri ve proje bedelleri olmaksızın sadece termal turizm için girişimde bulunacak yatırımcılara, otel binası için gerekli ilk yatırım maliyeti verilmiştir.

Otel veya tesis kapalı alanının inşası için gerekli bütçenin hesaplanmasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 24.03.2021 tarih ve 31433 sayılı "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2021 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" baz alınmıştır. İlgili tebliğe göre otel yapım maliyetleri Tablo 8.11'de özetlenmiştir [208]. Oteller için teçhizat, tesisat, tefrişat, makine ve donanım gibi giderler ise tesisin yıldızına göre 183-430 USD/m² arasında değişmektedir [210]. Elektrik, su, personel ve tanıtım maliyetleri de ilk yatırım maliyeti içine dâhil edilmelidir.

TABLO 8.11: Tesisler için yapı yaklaşık birim maliyetleri.

	Yapının birim maliyeti BM (TL/m²)	Yapının birim maliyeti BM (USD/m²)
IV. Sınıf Yapılar		
A Grubu yapılar		
Oteller (1 ve 2 Yıldızlı)	1.920	241,81
C Grubu Yapılar		
Otel (3 Yıldızlı) ve moteller	2.480	312,34
V. Sınıf Yapılar		
B Grubu yapılar		
Oteller (4 Yıldızlı)	3.600	453,40
C Grubu Yapılar		
Oteller ve tatil köyleri (5 Yıldızlı)	4.000	503,78
24 Mart 2021 USD:7,94 TL		

9. SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Ülkemiz, hem jeotermal enerji üretiminde hem de jeotermal kaynakların doğrudan kullanımında (ısıtma, kaplıca, balıkçılık, sera gibi) dünyada dördüncü sıradadır. Elektrik üretiminde ise her geçen yıl kurulu kapasite değerleri daha da artmaktadır. Mevcut durumda jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı konusunda ısı pompaları dışında dünyada ikinci sırada olmamıza rağmen hala istenilen seviyelere gelinememiştir. Bu nedenle mevcut ve potansiyel sahaların elektrik enerjisi üretiminde kullanımına ek olarak konut ısıtması, sağlık turizmi, termal turizm ve tarımsal uygulamalar gibi alanlarda entegre ve doğrudan kullanım açısından da potansiyelin değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Jeotermal enerji için İzmir jeolojik, iklim özellikleri, tarımsal üretim ve coğrafi konum açısından oldukça önemli bir yerde bulunmaktadır. Bakırçay, Gediz ve Büyük Menderes grabenleri arasında bulunan İzmir, bu alandaki jeotermal sahalara çok yakındır. Ayrıca bölgede yer alan fay hatları sayesinde İzmir il sınırları içerisinde de pek çok kaynak oluşmuştur. Bölgede kurulu olan jeotermal elektrik santralleri sebebiyle jeotermal enerji sektörüne oldukça yakın olması İzmir'in en önemli coğrafik avantajlarındandır.

İzmir iline ilişkin yer bilimsel veriler, bölgenin jeotermal potansiyelinin yüksek olduğunu ve gelecekte jeotermal kaynaklar açısından da kentin dünya için örnek bir alan olacağını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen sahaların jeotermal enerjinin hangi alanında kullanılabileceği ile ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla İzmir'de bilinen sahalarda Mevcut Durum (M) ve Potansiyel (P) değerlendirmeleri yapılmıştır (Şekil 9.1).

Mevcut Durum (M) tanımı; bilinen jeotermal sahalardaki jeotermal enerji uygulamasının mevcudiyeti yani sayısal oranı üzerinden genel bir değerlendirme yapılması esasına dayanmaktadır. Burada tesis sayısı, kapasite kullanım oranı ve alansal kullanım gibi parametreler değerlendirmede dikkate alınmıştır.

Potansiyel (P) tanımı ise; bilinen sahalardaki mevcut jeotermal akışkan sıcaklığı, debisi, jeotermometre sonuçları ile diğer kaynak potansiyelini etkileyen fiziksel ve kimyasal parametreler göz önünde bulundurularak sahanın jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirmesine karşılık gelmektedir. Bu değerlendirmede ayrıca kentsel yerleşim, iklim, ruhsat alanları, çevresel-kültürel-sosyal etkileşimler ile baskı-hassasiyet haritaları göz önünde bulundurulmuştur.

İl sınırları dâhilinde her bir jeotermal sistem içerisinde değerlendirilen farklı jeotermal sahalar bulunmaktadır (Şekil 9.2; Şekil 9.3). Yarımada sisteminde Urla ve Çeşme sahaları; Bakırçay Havzası sisteminde Dikili-Bergama-Kınık ve Aliağa sahaları; Küçük Menderes Havzası sisteminde Torbalı-Bayındır sahaları; İzmir Körfezi sisteminde Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli ve Balçova-Narlıdere sahaları; Gediz Havzası sisteminde Foça ve Menemen-Çiğli; Cumaovası Havzası sisteminde ise Seferihisar ve Menderes sahaları yer almaktadır.

ŞEKİL 9.1: İzmir'deki jeotermal sahaların jeotermal uygulamaları açısından değerlendirme kriterleri.

	Mevcut durumdaki jeotermal enerji uygulaması sayısı	*Jeotermal kullanım uygulanabilirliği açısından sahanın potansiyeli*
Değerlendirme	**Mevcut Durum (M)**	**Potansiyel (P)**
☆☆☆☆☆	Yok	Yok
★☆☆☆☆	Çok Az	Çok Az
★★☆☆☆	Az	Az
★★★☆☆	Orta	Orta
★★★★☆	Fazla	Yüksek
★★★★★	Çok Fazla	Çok Yüksek

ŞEKİL 9.2: İzmir'deki jeotermal sahaların jeotermal uygulamaları açısından değerlendirme sonuçları.

Jeotermal Saha	Elektrik Üretimi	Kentsel Isıtma	Sera Isıtma	Kurutma	Termal & Sağlık Turizmi	Balıkçılık	Soğutma	Mineral Eldesi
Balçova-Narlıdere	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ★★★☆☆ P ★★★★★	M ★☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ★★★★☆ P ★★★★★	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆
Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Urla	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Çeşme	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ★★★☆☆ P ★★★★★	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Seferihisar-Menderes	M ★★☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★★	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆
Menemen-Çiğli	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Foça	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Aliağa	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ★★☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆
Dikili-Bergama-Kınık	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ★★★☆☆ P ★★★★★	M ★★★☆☆ P ★★★★★	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★★	M ★★☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆
Torbalı-Bayındır	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★★☆☆	M ★☆☆☆☆ P ★★★★★	M ☆☆☆☆☆ P ★★★★☆	M ★★☆☆☆ P ★★★★☆	M ☆☆☆☆☆ P ★☆☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ★★☆☆☆	M ☆☆☆☆☆ P ☆☆☆☆☆

Balçova-Narlıdere

Balçova-Narlıdere sahası uzun zamandır jeotermal enerji kaynaklarının doğrudan kullanımında ülkemizde en iyi örneklere sahip olan sahadır. Ancak yine de mevcut ısıtma-soğutma sisteminin kapasitesi tam olarak kullanılmamaktadır. Mevcut kuyular ve yeni açılacak kuyular ile Narlıdere, Balçova ve komşu ilçelere ısıtma-soğutma amacıyla akışkan temini yapılabilir. Mevcut termal otellerin kapasitesi ve sayısı arttırılarak turizm ve sağlık alanında bölge daha modern tesislere sahip olabilir. Özellikle Sahilevleri ve İnciraltı bölgesinde var olan ve kurulacak yeni seralara ısıtma için jeotermal akışkan sağlanabilir. Bu seralarda yetişen ürünlerin (örneğin mandalina) kurutulmasında da jeotermal kaynaklar kullanılabilir.

Karşıyaka-Bayraklı-Çiğli

Karşıyaka-Bayraklı ve Çiğli'nin bir kısmını kapsayan jeotermal saha yeni araştırılmasına rağmen, elde edilen jeotermal akışkan sıcaklığı ve debisi jeotermal enerji açısından umut vadetmektedir. Bu bölgede Balçova-Narlıdere sahasında olduğu gibi ısıtma ve soğutma uygulamaları ile termal turizm açısından uygulanabilir bir kaynak potansiyeli mevcuttur.

Urla ve Çeşme

Urla ve Çeşme sahaları Yarımada'da yer alan önemli jeotermal kaynaklardır. Çeşme sahasındaki kaynaklar ve kuyular termal turizm, sağlık ve havuz ısıtma gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Çeşme 2001 yılında termal turizm bölgesi seçilerek o günden bu yana gelişimini sürdürmektedir. Çeşme'de jeotermal enerji kullanan 28 otel vardır ve bu otellerin sayısı devamlı artmaktadır. Mevcut kapasitesi tam olarak kullanılmayan sahada, yeni açılacak kuyular ile birlikte özellikle turizm açısından son yıllarda oldukça ön planda olan Alaçatı civarında termal ve sağlık tesisleri ile dört mevsim turizmin devamlılığını sağlamak amacıyla ısıtma-soğutma uygulamaları yapılabilir.

Ayrıca Karaburun Yarımadası'nda denizde gerçekleştirilen balıkçılık uygulamaları jeotermal akışkan kullanılarak havuzlarda gerçekleştirilebilir. Böylece balık çiftliklerinin denizlerimize vermiş olduğu kirlilik minimize edilirken, balıkçılık ve aynı tanım içerisinde bulunan diğer deniz ürünlerinin (balık, karides, istiridye, su ürünleri ve alg) yetiştirilmesinin de önü açılacaktır. Urla sahasında ise yeni açılacak kuyular ile termal turizm, ısıtma-soğutma ve balıkçılık uygulamaları yapılabilir.

Seferihisar-Menderes

Seferihisar sahası jeotermal açıdan son yıllarda oldukça ilgi gören bir sahadır. İzmir'deki tek jeotermal elektrik üretim santrali Seferihisar'da yer almaktadır. Menderes sahası ise özellikle Orhanlı ve Akyar civarında yeni açılan gradyan kuyularından alınan sonuçlar ışığında potansiyeli yüksek kabul edilen kaynaklara sahiptir.

Bu sahalarda, mevcut elektrik üretimi ile entegre uygulamalar, ısıtma-soğutma, seracılık ve termal turizm gibi bölge için yararlı ve ekonomik olabilecek doğrudan kullanım uygulamaları için yüksek bir kaynak potansiyeli mevcuttur.

Menemen-Çiğli ve Foça

Menemen-Çiğli sahası, Karşıyaka-Bayraklı sahasının devamında yer alan, jeotermal üretim kuyularının olduğu bir sahadır. Bölge genel anlamda sanayi ve tarımsal uygulamaların olduğu bir bölge olmasına rağmen, son yıllarda yeni açılan yerleşimler ve üniversiteler ile nüfus açısından da önemli bir konuma gelmiştir.

Bu sahadaki kaynakların mevcut sıcaklıkları orta seviyelerdedir. Bu sahada sera ısıtması ve kentsel ısıtma-soğutma uygulamalarının potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Foça sahasında ise mevcut turizmi canlandırmak açısından termal ve sağlık turizm tesislerinin jeotermal kaynaklar ile entegresi sağlanabilir. Ayrıca balıkçılık sektöründe de jeotermal akışkanlar kullanılabilir.

Aliağa ve Dikili-Bergama-Kınık

Aliağa sahası mevcut durumda az sayıda termal tesis ve sera ısıtma uygulamasına sahiptir. Kaynakların sıcaklık ve potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda mevcut sera ısıtma uygulamalarının kapasitesi ve

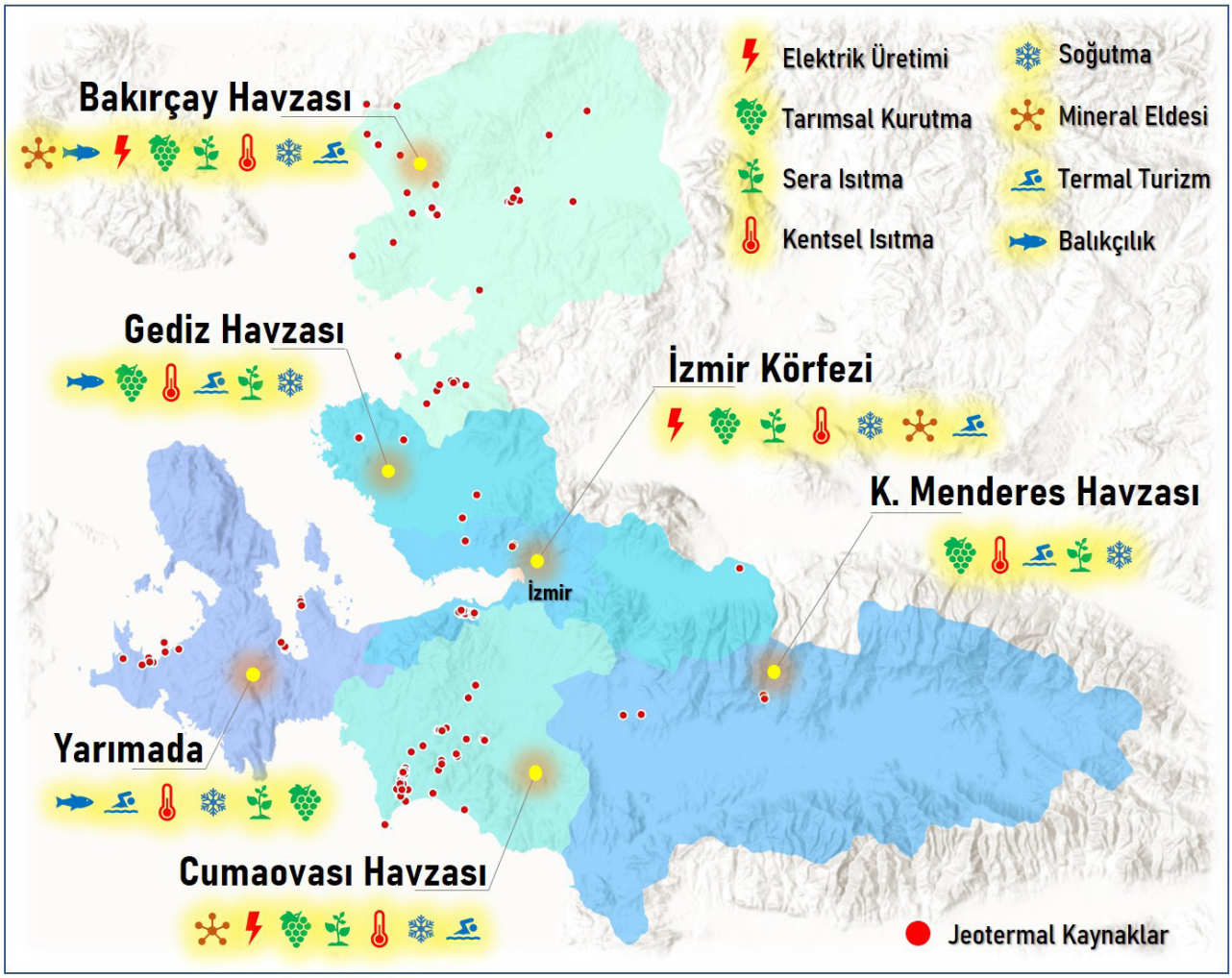
yayılımı arttırılabilir. Ayrıca sanayi ve liman bölgesinde ısıtma-soğutma uygulamaları ile deniz kıyısındaki jeotermal kaynakların termal ve sağlık turizmine entegrasyonu sağlanabilir.

Dikili-Bergama-Kınık sahası ise İzmir'deki jeotermal kaynak potansiyeli en yüksek sahalardan birisidir. Mevcut durumda yapılan sera yatırımları bütüncül bir yönetimle daha geniş alanlarda uygulanabilir. Sera ısıtmasına ek olarak kurutma tesisleri, kentsel ısıtma-soğutma sistemi ve yetersiz durumdaki termal ve sağlık turizmi tesisleri jeotermal kaynaklar kullanılarak çok daha ekonomik ve modern uygulamalara dönüştürülebilecektir. Bölgedeki kaynaklar uygun alanlarda elektrik üretimi için de yüksek potansiyele sahip iken mevcut rezervuar sıcaklıkları 130-140°C'ye ulaşabilmektedir.

Torbalı-Bayındır

Torbalı ve Bayındır, jeotermal kaynakların kullanımı açısından çok gelişememiştir. Bayındır'da yer alan termal tesisler ve birkaç sera ısıtma uygulaması dışında jeotermal kaynaklar kullanılmamaktadır. Bu bölgenin, sera ısıtma, kurutma ve termal turizm açısından yüksek jeotermal kaynak potansiyeli mevcuttur.

ŞEKİL 9.3: İzmir'deki jeotermal sahaların havza bazlı kullanım alanı değerlendirmesi.



- İzmir ili hem yaş meyve sebzenin bol yetiştiği hem de jeotermal kaynakların bulunduğu nadir bölgelerden birisidir. Veriler, kurutulacak sebze ve meyve potansiyelinin İzmir'de yüksek olduğunu göstermektedir.
- Örneğin, elma, üzüm, incir ve mürdüm eriği gibi ürünlerin kurutulabileceği 6 ton/gün kapasiteli ve jeotermal enerji destekli bir kurutma tesisi 1.098.638 USD'ye mal olmakta ve 16 kişiye istihdam sağlamaktadır. Böyle bir tesisin yatırımı geri ödeme süresi ise 1 yıl 3 ay olarak hesaplanmıştır. Bu da kurutmanın bölge için fizibıl olduğunu göstermektedir.
- Türkiye'de jeotermal bölgesel ısıtma uygulamasında en iyi örneklerden birisi Balçova-Narlıdere jeotermal sahasındadır. Bu sahada 38.460 K.E. ısıtma yapılmaktadır. İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.'nin Balçova-Narlıdere'de yaptığı jeotermal bölgesel ısıtma sayesinde doğalgaz kullanımına göre yıllık yaklaşık 78.920 ton CO_2'in sera gazı emisyonu önlenmektedir. Aynı zamanda, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında en düşük birim ısıtma ücreti (12,7 krş/kWh vergiler dâhil) jeotermaldedir.
- İzmir bir termal turizm kentidir. Balçova, Agamemnon, Allianoi, Asklepion, Karakoç, Çeşme-Şifne (Reisdere) vb. gibi pek çok kaplıcasıyla antik dönemlerden beri şifa dağıtmış olan kentte, termal turizmin turizm sektörü içerisindeki payı da giderek artmaktadır. Aynı şekilde Dikili, Seferihisar ve Foça da termal turizm merkezlerindendir.
- Elde edilen veriler Yarımada'da termal turizm, sağlık turizmi, ısıtma ve soğutmanın; Bakırçay sisteminde ısıtma, sera, termal turizm ve elektirik üretiminin; Küçük Menderes Havzası sisteminde sera ve kurutmanın; İzmir Körfezi sisteminde ısıtma ve soğutmanın; Gediz Havzası sisteminde sera ve kurutmanın; Cumaovası Havzası sisteminde termal turizm, sera, kurutma ve elektrik üretiminin yapılabileceğini göstermektedir. Ancak uygulama projelerinde önce jeolojiye ilişkin var olan bilgilerin jeotermal kaynak araştırmalarına yönelik olarak revize edilmesi, toplanan bilgiler doğrultusunda jeofizik çalışmalarının planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesi, bu bilgiler doğrultusunda özellikle yapısal unsurlara yönelik bazı sahalarda ilave jeofizik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. İncelenen bazı sahalarda yüzeyde jeotermal kaynak, jeotermal kaynak oluşumuna yorumlanabilecek hidrotermal alterasyon, volkanizma ve tektonik kontrol gibi göstergelere ilişkin veriler bulunmaktadır. Bu nedenle, yüksek sıcaklık yakalama olasılığını güçlendirecek ısı kaynağının varlığı, geometrisi ve derinliğinin saptanması vurgulanması gereken en önemli hususlardan biridir. Böyle bir olasılığı test etmek için sismik ölçümlerle birlikte jeotermal sistemlerin en önemli bileşenlerinden olan ısı kaynağına yönelik değerlendirmede yararlanılan ve ısı kaynağının derinliği ve geometrisinin belirlenmesinde kullanılan jeofizik-MT çalışması denenmelidir. Uygulanacak bu yöntemlerdeki sonuçların jeolojik ve hidrojeolojik verilerle birlikte değerlendirilmesi yorumlamayı daha da kolaylaştıracak ve riski azaltacaktır.
- Öncelikle, İzmir ilindeki jeotermal sistemlerin sürdürülebilir ve çevreci bir şekilde yönetilmesi için sistemin bütüncül bir değerlendirme ile araştırılması, işletilmesi ve korunması gerekmektedir. Havza ve sistem bazlı yönetim yöntemlerinin geliştirilmesi, kaynağın verimli şekilde kullanılması, işletmelerin sağlığı ve kontrolü açısından da oldukça önemlidir.
- İldeki jeotermal kaynakların bütüncül bir yaklaşım ile sürdürülebilmesi amacıyla verilerin toplanması, güncellenmesi ve izlenmesi için gerekli altyapıların oluşturulması önemlidir.
- Bununla birlikte, İzmir ilinde jeotermal ile ilgili bilgilendirme ve bilinçlendirmeler yapılarak yenilikçi yöntemlerin öğrenilmesi, hataların ve problemlerin minimize edilmesini sağlayacak ve iletişim eksikliğini ortadan kaldıracaktır. Bu nedenle, mevcut durumu iyileştirmek, azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak için gerekli bulunan yaklaşımlar aşağıda sunulmuştur.
- Öncelikle İzmir'de mümkün ise Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında bir eğitim merkezinin kurulması, buradaki iyi örneklerin (ısıtma, soğutma, termal turizm gibi) tüm halka anlatılmasına ilişkin stratejilerin oluşturulması planlanmalıdır. Bununla birlikte, Dikili jeotermal sahasında seracılıkla ilgili, Seferihisar jeotermal sahasında ise elektrik enerjisi ile ilgili halkın görüp bilgi alacakları alanların oluşturulması son derece gereklidir.

- Mevcut iyi uygulama örneklerinin uluslararası platformlarda tanıtılması ile jeotermal işletmelerin Ufuk Avrupa (Horizon Europe) veya diğer uluslararası fonlardan yararlanmaları sağlanmalıdır.
- Yerel halkın kaygılarını ve jeotermal hakkındaki bilgi düzeylerini ölçen araştırmalar sonucunda belirlenecek iletişim stratejisi ile halka daha fazla bilgi vermek ve endişelerini ortadan kaldırmak mümkün hale gelmiştir. Yine yatırımların başlangıcında firmaların bu tür araştırmalara önem vermeleri, halkın mevcut kaygı ve bilgi düzeyinin ölçülmesi ve bilgi gereksinimlerinin analiz edilebilmesi açısından önemlidir. Bilgi ihtiyacının tespit edilmesi ve sorunun bilgi kirliliğinden kaynaklanması halinde (her bir sorunlu yerleşime özel) sorunu çözmek sistematik ve düzenli iletişimle mümkün olacaktır.
- Jeotermal teknolojilere karşı toplumsal tavırlar zaman içinde ve mekândan mekâna değişiklik gösterdiği için paydaşların görüşünün sürekli ve yaygın şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu konuda veri tabanına ve vaka çalışmalarına sahip olmak faydalı olacaktır.
- Halkın bilinçlendirilmesi ve bilgi kirliliğinin engellenmesi açısından İzmir Valiliği ve İzmir Büyükşehir Belediyesi desteği ile ilde bulunan üniversitelerin Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezleri tarafından, denetleyici kamu kurumlarına düzenli olarak eğitim verilmesi ve uluslararası iyi uygulamaların aktarılması önemlidir. Tesis sahiplerinin de içinde yer alacağı yereldeki kamu kurum ve kuruluşları ile birlikte ortak oluşturulacak bir "iletişim strateji planı" doğrultusunda; köy/mahalle, ilçe gibi yerleşim yerlerinde çiftçilerin bilgilendirilmesi ya da yardım alabileceği bir iletişim biriminin konumlandırılmasının da faydalı olabileceği öngörülmektedir.
- Jeotermal kaynakların aranması, işletilmesi, izlenmesi, korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında görev alan teknik personel için, konusunda uzman ve uygulama süreçleri içerisinde yer alan kişiler tarafından meslek içi eğitim programlarının düzenlenmesi sisteme katkı sağlayacaktır. Üniversiteler ve meslek odaları tarafından uluslararası düzeyde uygulamaların takibi ve gerekli deneyimlerin kazandırılması kapsamında seminer, sempozyum, panel ve kongre gibi etkinliklerin düzenlenmesi ve bu tür etkinliklere katılım sağlanması faydalı olacaktır.

Sonuç olarak; jeotermal kaynaklar ucuz, yenilenebilir, sürdürülebilir, yerli, çok amaçlı kullanılabilir özellikleri ve kullanım çeşitliliğinden dolayı önemli bir seçenek haline gelmiştir. Türkiye'de son yıllarda jeotermal kaynak kullanımına ilişkin uygulamalara bakıldığında, çevreye etkilerinin tamamen önlenemediği gözlenmiştir. Jeotermal sektörü, son zamanlarda yatırımların hızlandığı ve yeni işletmelerin devreye sokulduğu bir dönemi yaşamaktadır. Aynı zamanda bu dönem, idari ve teknik işleyişte önemli problemlerin yaşandığı bir dönem olmuştur. Hatalı uygulamalardan kaynaklanan olumsuz etkiler teknik, çevresel ve sosyal açıdan bazı problemlere yol açmıştır. Özellikle son 10 yılda, Büyük Menderes ve Gediz Grabenleri'nde, elektrik üretimine yönelik birçok proje gerçekleştirilmiş ancak eksik ve hatalı uygulamalardan kaynaklanan bir dizi çevre problemleri gözlenmiş ve bunun sonucu olarak bazı büyük projelere karşı artan bir kamuoyu karşıtlığı meydana gelmiştir.

Ülkemiz açısından yenilenebilir öz kaynak oluşturmasının yanı sıra, çok amaçlı kullanımı ve ekonomik olması gibi önemli avantajlar sunan jeotermal kaynakların, aranmasından işletilmesine kadar geçen süreçlerin doğru olarak tanımlanması, kaynağın korunması, geliştirilmesi, sürekli bir üretimin sağlanması, kaynaktan ve kaynağın işletilmesi esnasında ortaya çıkan problemlerin sürekli olarak izlenmesi son derece önemlidir. Bununla birlikte, jeotermal kaynaklardan daha fazla toplumsal fayda üretebilmek için bütüncül bir yaklaşımla; arama, araştırma, geliştirme, üretim süreçleri ile üretimde verimliliğin sağlanmasına yönelik uygulamalar, yeni teknolojilerin kullanımı ve yurt içi gelişiminin sağlanması, idari yapılanma, ruhsat hukuku, teşvik ve eğitim süreçlerinin birlikte değerlendirilerek ulusal mevzuatın yenilenmesi ve geliştirilmesi önemle vurgulanması gereken hususlardır.

KAYNAKLAR

[1] Baba, A. (2015). Application of geothermal energy and its environmental problems in Turkey, Int. J. Global Environmental Issues, Vol. 14, Nos. 3/4, 2015.

[2] Bertani R., (2015). Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

[3] Lund, J. W., Boyd, T. J., (2016). Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Geothermics 60, Elsevier, 66-93.

[4] Baba A., Ármannsson H., (2006). Environmental impact of the utilization of ageothermal area in Turkey, Energy Sources 1:267–278.

[5] ETKB, (2014). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı.

[6] WB (2021). Turkey – Assessment of Opportunities and Interest in Direct Uses of Geothermal Energy, Project Final Report Workshop Presentation, World Bank, ESMAP, Stantec and Reykjavik Geothermal, 15 September 2021.

[7] EU (2016). EU Commission, Communication on "An EU Strategy on Heating and Cooling" (February 2016) retrieved from https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf on March 22, 2016.

[8] Nieva D., Nieva R., (1987). Developments in geothermal energy in Mexico-parttwelve: a catinic geothermometer for prospecting of geothermal resources, Heat Recov. Syst. 7 (3), 243–258.

[9] Truesdell, A.H., (1976). Geochemical techniques in exploration (Summary of sectionIII). In: Proceeding of the 2nd United Nations Symposium on the Developmentand Use of Geothermal Resources, San Francisco, CA, USA, pp. 53–79 (1).

[10] Tonani, F., (1980). Some remarks on the application of geochemical techniques ingeothermal exploration. Proceedings of Adv. Eur. Geoth. Res., SecondSymposium, Strasbourg, 428–443.

[11] Arnórsson S., Gunnlaugsson E., Svavarsson H., (1983). The chemistry of geothermalwaters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations, Geochim. Cosmochim. Acta 47 (3), 567–577.

[12] Giggenbach, W.F., (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Cageoindicators. Geochim. Cosmochim. Acta 52, 2749–2765.

[13] Giggenbach W.F., Gonfiantini R., Jangi B.L., Truesdell A.H., (1983). Isotopic andchemical composition of Parbati valley geothermal discharges NW-Himalaya,India. Geothermics 12, 199–222.

[14] Fournier R.O., (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. Geotherm.Resour. Council Trans. 3:221–224.

[15] Fournier R.O., Potter II R.W., (1982). A revised and expanded silica (quartz)geothermometer, Geotherm. Resour. Council Bull, November, 3–12.

[16] Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1702-1703.

[17] Dansgaard W., (1964). Stable isotopes in precipitation, Tellus, 16, 436-468.

[18] West Jec, (2000). The Feasibility Study on Geothermal and Fresh Water Resource Survey for Izmir District Heating System and on (Manisa, Salihli, Turgutlu, Balıkesir, Susurluk, Bigadiç) District Heating Systems for Surrounding Municipalities in Turkey, Japan External Trade Organization (JETRO), Commissioned by the Ministry of International Trade and Industry.

[19] Çengel Y.A., Boles M.A., Kanoğlu M., (2019). Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw Hill, NY.

[20] REN21 (2021). Renewables 2021 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-03-8

[21] IEA (2020), Global Energy Review 2020, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020

[22] OWD, (2021). https://ourworldindata.org/

[23] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 4(2), 33-54.

[24] IEA (2021), Turkey 2021, Energy Policy Review Report, International Energy Agency.

[25] TSKB, (2020). Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Enerji Görünümü 2020 Raporu. https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf

[26] EPDK (2021). T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2021 yılı Nisan ayı Elektrik Piyasası Sektör Raporları.

[27] Şimşek, Ş. (2015). Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal Gelişmeler, Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi, 04-06 Kasım 2015 Ankara, s:1-17.

[28] Jeotermal Enerji Derneği (JED), (2021). https://www.jeotermalhaberler.com/jeotermal-kurulu-guc-kapasitesine-100-kat-buyume/

[29] İKTB (2021). İzmir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü internet sitesi. https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77342/genel-bilgiler.html

[30] Enerji Atlası, (2021a). Güneş Enerjisi Haritası, https://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/izmir, 06.10.2021).

[31] Enerji Atlası, (2021b). Enerji Atlası, Biyogaz, https://www.enerjiatlasi.com/biyogaz/, 06.10.2021

[32] Meteoblue (2021). Meteoblue internet sitesi. https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/climatemodelled/%c4%b0zmir_t%c3%bcrkiye_311046

[33] Berberoğlu S., Çilek A., Ünlükaplan Y., (2019). "İklim Değişikliğine Dirençli Kentler İçin Bir Çerçeve: Yeşil Odaklı Uyarlama Kılavuzu", İzmir, Avrupa Birliği, Rap., 2019.

[34] EEA (2020). European Environment Agency (EEA). Corine Land Cover Change 2012–2018; Version 2020; European Environment Agency, Available online: https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover

[35] İBB (2012). 1/25000 Ölçekli İzmir Büyükşehir Bütünü Çevre Düzeni Planı Açıklama Raporu, 2012. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Nazım Plan Şube Müdürlüğü.

[36] İİTOM (2018). İzmir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2018 Yılı Tarımsal Yapı ve Maliyetler verisi. https://izmir.tarimorman.gov.tr/Menu/90/2018-Yili

[37] Akbaş B., Akdeniz N., Aksay A., Altun İ.E., Balcı V., Bilginer E., Bilgiç T., Duru M., Ercan T., Gedik İ., Günay Y., Güven İ.H., Hakyemez H.Y., Konak N., Papak İ., Pehlivan Ş., Sevin M., Şenel M., Tarhan N., Turhan N., Türkecan A., Ulu Ü., Uğuz M.F., Yurtsever A. T al., (2011). 1:1.250.000 scaled Geological Map of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration Publication, Ankara-Turkey.

[38] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., (2013). 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-30, Ankara, Türkiye.

[39] Şengör A.M.C., Satır M., Akkök, R., 1984, Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. Tectonics 3:693–707

[40] Okay A.İ., (2000), Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphics core complex in northwest Turkey. Geol. Mag., 137, 495-516.

[41] Candan O., Oberhanslı R., Dora O.Ö., Çetinkaplan M., Koralay E., Rimmele G., Chen F., Akal C., (2011). Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temel Ve Paleozoyik-Erken Tersiyer Örtü Serilerinin Polimetamorfik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi, 142:123-165.

[42] Konak N., Akdeniz N., Öztürk E.M., (1987). Geology of the south of Menderes Massif, I.G.C.P. Project no:5, Correlation of Variscan and pre-Variscan events of the Alpine Mediterranean mountain belt, field meeting, Mineral Research and Exploration Instutite Turkey, 42-53.

[43] Dora O.Ö., Candan O., Kaya O., Koralay E., Dürr S., (2001). Revision of the so-called "leptitegneisses" in the Menderes Massif: A supracrustal metasedimentary origin. International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 89/4, 836-851.

[44] Okay A.İ., Siyako M., (1991). The new position of the İzmir–Ankara Neo-Tethyan suture between İzmir and Balıkesir. In: Turgut S. (Ed.), Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and surrounding regions, Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, pp. 333–355.

[45] Erdoğan B., (1990). İzmir–Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi, TPJD Bülteni, 2:1–20.

[46] Kalafatçioğlu A., (1961). Karaburun yarimadasinin jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi 56: 53–63.

[47] Konuk Y.T., (1979). Karaburun Yarımadası'nın Kuzeybatı kesiminin stratigrafi ve tektonik özelliği: Ege Universitesi, Yerbilimler Fakültesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enst. Doçentlik Tezi, 85 p. (unpublished).

[48] Erdoğan B., Altıner D., Güngör T., Özer S., (1990). Stratigraphy of Karaburun Peninsula, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 111(111):1-20. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/bulletinofmre/issue/3930/52277

[49] Robertson A.H.F., Pickett E.A., (2000). Paleozoic-Early Tertiary Tethyan evolution of melanges, rift and passive magrin units in the Karaburun Peninsula (western Turkey) and Chios Island (Greece), In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., ve Piper, J.D.A. (eds), Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area Geological Society, London, Special Publications, 173:43-82.

[50] Kozur H., (1997). First discovery of Muellerisphaerida (inc. sedis) and Eoalbaillella (Radiolaria) in Turkey and the age of the siliciclastic sequence (clastic series) in Karaburun peninsula, Freiberger Forschungsheft C 466:33–59.

[51] Çakmakoğlu A., ve Bilgin R., (2006). Karaburun Yarımadasının Neojen Öncesi Stratigrafisi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 132:33-62.

[52] Yılmaz Y., Genç S.C., Gürer F., Bozcu M., Yılmaz K., Karacık Z., Altunkaynak Ş. and Elmas A., (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society Special Publication 173, Geological Society, London, 353–384.

[53] Koçyiğit A., Yusufoğlu H. and Bozkurt E., (1999). Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. J. Geol. Soc., London, 156:605–616.

[54] Genç Ş.C., Altunkaynak Ş., Karacık Z., Yazman M., Yılmaz Y., (2001). The Çubukludağ graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia, Geodinamica Acta, 14:1–12.

[55] Eşder T., Yakabağı A., Sarıkaya H., Çiçekli K., (1991). Aliağa (İzmir) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 9467, Ankara.

[56] Şengör A.M.C., (1979). The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. J. Geol. Soc., London, 136: 269–282.

[57] Şengör A.M.C., (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, TJK yayını, 40s.

[58] Şengör A.M.C., Kidd W.S.F., (1979). Post-collisional tectonics of Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet, Tectonophysics, 55:361-376.

[59] Şengör A.M.C., Görür N., Şaroğlu F., (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37:227–264.

[60] Reilinger R.E., McClusky S.C., Oral M.B., King W., Toksöz M.N., (1997). Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabian–Africa-Eurasia plate collision zone, J. Geophy. Res., 102:9983–9999.

[61] Kaya O., (1979). Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği, TJK Bülteni, 22:35-58.

[62] Sözbilir H., Erkül F., Sümer Ö., (2003). Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) Arasında Uzanan Miyosen Sonrası Yaşlı KD-Doğrultulu Accommodation Zonuna ait Saha Verileri, Batı Anadolu: 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 85-86, Ankara.

[63] İnci U., Sözbilir H., Sümer Ö., Erkül F., (2003). Urla-Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay, Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi, 21 Haziran 2003, 7-8.

[64] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Şaroğlu F., Olgun Ş., Elmacı H., Çan T., (2016). Active Fault Database of Turkey. Bull Earthquake Eng. DOI 10.1007/s10518-016-0041-2.

[65] RADİUS Projesi, (2000). İDSDMP, İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, İzmir Büyükşehir Belediyesi.

[66] Emre Ö., Ere Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C., Göktaş F., (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. Ankara: MTA Raporu no:10754.

[67] Ocakoğlu N., Demirbağ E., Kuşçu İ., (2004). Neotectonic structures in the area off shore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. Tectonophysics, 391, 67-83.

[68] Ocakoğlu N., Demirbağ E., Kuşçu İ., (2005). Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. Marine Geology, 219, 155–171.

[69] Sözbilir H., Sümer Ö., Uzel B., Ersoy Y., Erkül F., İnci U., (2009). 17-20 Ekim 2005-Sığacık Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Bülteni, 51:2:217–238.

[70] Uzelli T., Baba A., Mungan G. G., Dirik R. K., Sözbilir H., (2017). Conceptual model of the Gülbahçe geothermal system, Western Anatolia, Turkey: Based on structural and hydrogeochemical data, Geothermics, 68:67-85. doi:10.1016/j.geothermics.2017.03.003.

[71] Emre Ö., Özalp S., (2011). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Urla (NJ 35-6) Paftası, Seri No: 5. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

[72] Emre Ö., Barka A., (2000). Gediz grabeni–Ege denizi arasının (İzmir yöresi) aktif fayları. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı, 131–132, İzmir.

[73] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., (2011). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi, İzmir (NJ 37-5) Paftası, Seri No: 8, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

[74] Uzel B., Sözbilir H., (2008). A first record of strike-slip basin in western Anatolia ve its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example, Turkish Journal of Earth Sciences, 17:559–591.

[75] Uzel B., Sözbilir H., Özkaymak Ç., (2012). Neotectonic evolution of an actively growing superimposed basin in western Anatolia: The inner bay of İzmir, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 22:4:439–471, doi: 10.3906/yer-0910-11.

[76] Sözbilir H., Uzel B., Sümer Ö., İnci U., Ersoy E.Y., Koçer T., (2008). D-B Uzanımlı İzmir Fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler: İzmir Körfezi'ni Oluşturan Aktif Faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu, Türkiye, Türkiye Jeoloji Bülteni, 51:2:91–114.

[77] Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A., (1987). Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, III+394 s.+11 harita.

[78] Sözbilir H., Sarı B., Uzel B., Sümer Ö., Akkiraz S., (2011). Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey, BasinResearch, 23:4:423-448.

[79] Tepe Ç., Sözbilir H., (2017). Tectonicgeomorphology of the Kemalpaşa Basin and surrounding horsts, southwesternpart of the Gediz Graben, Western Anatolia, Geodinamica Acta, 29:1:70-90.

[80] İzmir Valiliği (2021). T.C. İzmir Valiliği, İnternet sitesi, İzmir Hakkında, http://izmir.gov.tr/izmir-hakkinda

[81] İZSU (2021a). İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, İZSU bilgi menüsü, https://www.izsu.gov.tr/tr/TesisDetay/1/35/2

[82] İZSU (2021b). İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, İZSU bilgi menüsü, https://www.izsu.gov.tr/tr/TesisDetay/1/3/2

[83] Eser Mühendislik Müsavirlik A.Ş., (2014). DSİ 02 Bölge Gediz Havzası Yeraltısuyu Planlaması Hidrojeolojik Etüt Fina Raporu (DSİ İzmir Bölge Müdürlüğü).

[84] TOB (2018a).Gediz Havzası NHYP Hazırlanması Projesi Nihai NHYP Raporu, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2018.

[85] Kazanasmaz E., (2009). Kentimiz ve Çevresinin Yeraltısuyu Kaynakları, Yeraltısuyunu Kirletici Etkenler ve Su Kıtlığı Riski, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 323-332.

[86] Yağbasan O., (2016). Impacts of climate change on groundwaterrecharge in Küçük Menderes RiverBasin inWestern Turkey, Geodinamica Acta.

[87] TOB (2018b). Küçük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 106s.

[88] TÜİK (2020). https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1

[89] UK (2021). Urla Kaymakamlığı, http://www.urla.gov.tr/urla-cografyasi, 12.05.2021).

[90] Brinkmann R., (1966). Geotektonische Gliederung von Westanatolien. Neues Jahrbuch Für Geologie und Palaontologie-Monatshefte, 10:603-618, Stuttgart

[91] Brinkmann R., Flügel E., Jacopshagen V., Lechner H., Rendel B., Trick, P., (1972). Trias, Jura und Unterkreide der Halbinsel Karaburun (West Anatolien). Geologie et Paleontologie, 6:139-150.

[92] Türkecan A., Ercan T., Sevin D., (1998). Karaburun Yarımadası'nın Neojen volkanizması, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10185, Ankara (yayımlanmamış).

[93] Helvacı C., Ersoy Y., Sözbilir H., Erkül F., Sümer Ö., Uzel B., (2009). Geochemistry and 40Ar/39Ar geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia, Journal of Volcanology and Geothermal Research 185:181-202.

[94] Göktaş F., (2011). Urla (İzmir) çöküntüsündeki Neojen tortullaşması ve volkanizmasının jeolojik etüdü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11568, 112 s., Ankara (yayımlanmamış).

[95] Filiz Ş., Tarcan G., (1990). Gülbahçe Körfezi (İzmir) güneyindeki alanın hidrojeolojik, jeokimyasal ve izotopsal incelenmesi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2:1:69-82.

[96] Uzelli T., (2013). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü (Gülbahçe-İzmir) ve Civarının Neotektonik Özellikleri-Batı Anadolu-Türkiye, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2013, 131 sayfa.

[97] Göktaş F., Çakmakoğlu A., (2017). 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Urla-L17 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

[98] TCKB (2018). T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırımlar ve İşletmeler Genel Müdürlüğü İzmir İli –Çeşme İlçesi – Şifne Durmuş Mevkii Turizm Merkezi 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planı Plan Araştırma ve Açıklama Raporu, Ankara, 2018.

[99] Göktaş F., (2016). Ildır Körfezi güneyindeki bölgenin Neojen stratigrafisi, Çeşme Yarımadası (Batı Anadolu), Türkiye Jeoloji Bülteni 59:3:299-321.

[100] Göktaş F., (2010). Çeşme Yarımadası'ndaki Neojen tortullaşması ve volkanizmasının jeolojik etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11389, 64 s., Ankara (yayımlanmamış).

[101] Yousef A., Baba A., Gunduz O., Şimşek C., Elçi A., Murathan A., Sözbilir H., (2017). Modeling of Seawater Intrusion in a Coastal Aquifer of Karaburun Peninsula, Western Turkey, Environmental Earth Sciences, 76:775, https://doi.org/10.1007/s12665-017-7124-5

[102] Baba A., Gündüz O., Şımşek C., Elçı A., Murathan A., Sözbılır H., (2017). Investigation of Sea Water Intrusion in the Ildırı Region (Çeşme-Turkey) Coastal Aquifer, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), CAPPADOCIA, May 8 - 10, 2017, Nevsehir, p.2557.

[103] Gemici Ü., (1999). Çeşme Yarımadası'nın hidrojeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. Doktora Tezi. DEÜ, Jeoloji Müh. Böl. İzmir.

[104] Koçak A., (1974). Çeşme Ilıcası Hidrojeoloji Etüd Raporu. MTA Raporu, No.29588, Yayınlanmamış.

[105] Baba A., Şimşek C., Solak O., Gunduz O., Elçi A., Murathan A., Sözbilir H., (2016a). Karaburun Yarimadasi'ndaki Yeralti Sularin Fiziksel ve İzotopik Özellikleri, DSİ Teknik Bülteni, 120:14-24.

[106] Baba A. ve diğ., (2016b). Karaburun Yarımadası'ndaki Deniz Suyu Girişimi ve Denize Boşalımının Hidrojeolojik Çalışmalar ve Matematiksel Modelleme ile Araştırılması, TÜBİTAK Projesi Final Raporu.

[107] Yücel M., Taşkıran A., Üçer A., Arslan S., Toker E., (2002). Çeşme Yarımadası Jeotermal Alanı Jeoloji ve Jeofizik Etüt Raporu, MTA, Ankara.

[108] Baba A., Uzelli T., (2021). Çeşme-Alaçatı'daki İR.2187 İşletme Ruhsat Alanın Jeotermal Potansiyeline İlişkin Özellikleri, İZTEK A.Ş-Alachaty Turizm A.Ş., Rapor, İzmir.

[109] Serdar Enerji (2018). Serdar Enerji Üretim Jeotermal Turizm A.Ş., Çeşme Termal Otel ve Sağlık Merkezi Yatırım Projesi, Ön Fizibilite Raporu, Ocak 2018.

[110] Baba A., Şımşek C., Gündüz O., Elçı A., Murathan A., Sözbılır H., (2015). Karaburun Yarımadası Güneybatısındaki Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri, 68, Türkiye Jeoloji Kurultayı, 06-10 Nisan 2015, Ankara, 170-171.

[111] Baba A., Şımşek C., Gündüz O., Elçı A., Murathan A., Sözbılır H., (2018). Karaburun Yarımadası'ndaki Deniz Suyu Girişimi ve Denize Boşalımının Hidrojeolojik Çalışmalar ve Matematiksel Modelleme ile Araştırılması, TÜBİTAK Projesi, ÇAYDAG- 103Y042, 2013-2018.

[112] Eşder T., Şimşek Ş., (1975). Geology of İzmir-Seferihisar geothermal area. Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, California, USA, 20-29 May 1975, Proceedings 1, 349-361.

[113] TCKTB (2021a). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77462/menderes.html, 06.07.2021.

[114] Bulut M., (2013). A new medium to high enthalpy geothermal field in aegean region (Akyar Menderes-Seferihisar-Izmir, Western Anatolia, Turkey, Bulletin of MTA (2013) 147:153-167.

[115] Özgenç İ., (1978). Cumaovası (İzmir) asit volkanitlerinde saptanan iki ekstrüzyon aşaması arasındaki göreli yaş ilişkisi, Türkiye Jeoloji Bülteni 21:31-34.

[116] Borsi S., Ferrara C., Innocenti F., Mazzuoli R., (1972). Geochronology and petrology of recent volcanics of Eastern Aegean Sea, Bulletin of Volcanology 36:473-496.

[117] Sözbilir H., Softa M., Eski S., Tepe Ç., Akgün M., Pamukçu O., Çırmık A., Utku M., Özdağ Ö., Özden G., Özçelik Ö., Altun Evlek D., Çakır R., Baba A., Uzelli T., Tatar O., (2020). Dokuz Eylül University Earthquake Research and Application Center (DAUM), 30 October 2020 Samos (Samos) Earthquake (MW 6.9) Assessment Report, 109 p. November, 2020 (in Turkish).

[118] HİC MÜHENDİSLİK, https://hicmuhendislik.com.tr

[119] Tarcan G., Gemici Ü., (2003). Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 126:225-242.

[120] Özgür N., Pala E.A., Degirmenci S., (2017). Hydrogeological, hydrogeochemical and isotope geochemical features of the geothermal waters in Seferihisar and environs, Western Anatolia, Turkey IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 95 022039.

[121] İzmir Jeotermal A.Ş., (2008). İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Seferihisar jeotermal alaninin jeokimyasal değerlendirilmesine ilişkin rapor.

[122] Izmir Jeotermal A.Ş. (2020). İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., 2019 yılı işletme raporu, 2020.

[123] Baba A., Sözbilir H., (2012). Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in Western Turkey, Chemical Geology, 334:364-377.

[124] Akar T.A., (2012). Seferihisar ve Balçova jeotermal alanlarında ve çevre akiferlerinde akışkan akımının modellenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, s.192.

[125] Korkmaz Başel, E.D., (2010). Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin araştirilmasi, Doktora Tezi, İTÜ.

[126] Kaya M.N., (2019). Hydrogeochemical investigation of thermal and mineral waters of Izmır-Ilıkpınar, PhD Thesis, Hacettepe University, Master of Science, Department of Geological (Hydrogeological) Engineering, p69.

[127] Gemici, Ü., Tarcan, G. (2002). Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. Environmental Earth Sciences 43(1):87-98

[128] Sözbilir H., Baba A., (2016). Balçova (İzmir) 2064, 2065, 2081, 2087, 2094, 2161 ve 2141 Numaralı İşletme Ruhsatlarına İlişkin Kaynak Koruma Alanı Etüt Raporu.

[129] Aksoy N., (2001). Bal ova Narl dere jeotermal sisteminin izleyiciler ile incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.

[130] Serpen Ü., (2004). Hydrogeological investigations on Balçova geothermal system in Turkey. Geothermics, 33, 309–335.

[131] Aksoy N., Serpen, U. ve Filiz, S. (2008). Management of the Balçova-Narlıdere geothermal reservoir, Turkey. Geothermics, 37:444-466.

[132] Aksoy N., Şimsek C., Gunduz, O., (2009). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balcova, Turkey. J. Contam. Hydrol. 103:13–28.

[133] Çakın, A. (2003). Environmental effects of geothermal application. Case study: Balcova Geothermal Field. Ms. Thesis, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 97 pp.

[134] Yılmazer, S., (1994). Balçova jeotermal alanının (İzmir) görünür termal potansiyeli ve kullanım alanları. Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim, İzmir, Teknik Oturum Tebliğleri-1.

[135] Yıldırım, N., (2011). Balçova jeotermal sahasının genel jeokimyasal özellikleri ve BD-9, B-10, BD-14 kuyularında A1, B1, B2, C1, C2 kodlu inhibitör test sonuçları raporu, Ankara.

[136] Çetiner L., (1999). Balçova jeotermal sahası BD-6 ve BD-7 jeotermal enerji arama sondaj kuyuları bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 10387, Ankara (yayınlanmamış).

[137] EBRD (2020). Europen Bank for Reconstruction and Development, Turkey: Feasibility Study On The Potential For Geothermal District Heating And Cooling Systems, March 2020.

[138] Baba ve diğ., (2020). TÜBİTAK 2549 - Polonya Ulusal Araştırma ve Geliştirme Merkezi (NCBR) ile İkili İş birliği Programı çerçevesinde desteklenmesine karar verilen 118Y490 kodlu "Su-Enerji-Gıda Bağlantısı: Tarım İçin Jeotermal Su", TÜBİTAK-NCBR 2549.

[139] Meriç M.K., Kukul Y.S., Özçakal E., Barlas N.T., Çakıcı H., Kabay N., Baba A., (2021). Use of geothermal fluid for agricultural irrigation: Preliminary studies in Balçova - Narlıdere Geothermal Field (Turkey), Journal of Turkish Earth Science.

[140] Karahan Ç., (2015). İzmir Metropolünde Yeni Jeotermal Alanlar Çiğli-Mavişehir- Karşıyaka Sahası. Megapol Elektrik Üretim A.Ş., İzmir-TÜRKİYE, Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi, 04-06 Kasım 2015 Ankara

[141] Megapol (2020). Megapol Elektrik Üretim A.Ş., Karşıyaka Kuyuları Hakkında Teknik Bilgiler.

[142] Sayık, T. (2012). Seferihisarın Geleceği Jeotermal. Ege Üniversitesi Jeotermal Kongresi. 08-09 Haziran 2012, Seferihisar, İZMİR.

[143] Çakın, A., Gökçen, G., Eroğlu, A. E., Baba, A., 2012. Hydrogeochemistry and Environmental Properties of Geothermal Fields. Case Study: Balçova, Izmir-Turkey. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 34(8), 732-745. https://doi.org/10.1080/15567031003681903.

[144] Yılmazer, S., Büyükoktar, S., 1989. Balçova kaplıcalarının hidrojeolojisi ve korunma alanları raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No:8695, Ankara (yayımlanmamış).

[145] TCKTB (2021b). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77451/foca.html

[146] Haberler (2010a). http://www.bakircay.com/focada-jeotermal-sevinci-6289h.htm

[147] Haberler (2010b). https://www.yeniasir.com.tr/ekonomi/2010/01/24/focada_ jeotermal_mujdesi

[148] MTA (2013). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ekonomi Bülteni. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_15/11.pdf

[149] Akay E., Erdoğan B., (2004). Evolution of Neogene calc-alkaline to alkaline volcanism in the Aliağa-Foça region (western Anatolia, Turkey). Journal of Asian Sciences 24:367-387.

[150] Akçay A.E., Dönmez M., Türkecan A., (2014). Türkiye jeoloji haritaları, URLA-K17 paftası, No: 212, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

[151] Dönmez M., Akçay A.E., Türkecan A., (2017). Batı Anadolu'da Yeni Bir Kaldera: Foça Kalderası. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni (2017) 24:13-20.

[152] Kaya O., (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. Newsletters on Stratigraphy 10:164–191.

[153] Altunkaynak Ş., Rogers N.W., Kelley S.P., (2010). Causes and effects of geochemical variations in late Cenozoic volcanism of the Foça volcanic centre, NW Anatolia, Turkey. International Geology Review 52:579-607.

[154] Yılmaz Y., (2000). Ege bölgesinin aktif tektoniği. Batı Anadolu'nun depremselliği Sempozyumu (BADSEM-2000), 24-27 Mayıs 2000, İzmir, Bildiriler, 3-14.

[155] Dönmez M., Akçay A.E., Türkecan A., (2014). Türkiye jeoloji haritaları, İZMİR-K18 paftası, No:213, Maden Tetkik ve Arama Yayını, Ankara.

[156] Uzel B., (2013). Geologic Evolutıon Of İzmir-Balıkesir Transfer Zone: A Crustal-Scale Structur Reorganızıng Extensıonal Tectonıcs In Western Anatolıa. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Geological Engineering, Applied Geology Program, April, 2013.

[157] Bulut M., Filiz Ş., (2005). Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi, Hidrokimyası ve İzotopik Özellikleri (İzmir, Batı Anadolu, Türkiye). MTA Dergisi, 131:63-78.

[158] İBB-GBHSKS (2015), Gediz-Bakırçay Havzası Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Ağustos 2015, İzmir.

[159] Fatma Hanım Kaplıcaları, (2021). http://fatmahanimkaplicalari.net/

[160] Yanar, Z., Taşköprü, C., İçhedef, M. Şaraç, M.M., Kumru, M.N., Bolca, M. (2015). 222Ra and 226Ra in geothermal waters of Bayındır-Izmir (Turkey). Environ Earth Sci 74, 6943–6949 https://doi.org/10.1007/s12665-015-4701-3

[161] Gat J.R., Carmi I., (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area., J. Geophys. Res., 75:3039–3048.

[162] TCKTB (2021c). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77438/aliaga.html, 02.07.2021

[163] AJET (2021). Aliağa Belediyesi Jeotermal A.Ş.. https://www.ajet.com.tr/kurumsal/.

[164] Akkuş İ., Akıllı H., Ceyhan S., Dilemre A., Tekin Z., (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.

[165] Haberler (2015a). https://madencilikhaberleri.wordpress.com/2015/03/01/aliaga-jeotermal-enerjiye-kavusuyor/

[166] Haberler (2015b). http://www.aliagaekspres.com.tr/guncel/20/01/2015/aliaga-jeotermal-ile-bulusuyor

[167] Eşder T., Tunçay İ., Yakabağ A., Ölmez E., Güner A., (1994). Aliağa (İzmir) sahasının jeotermal enerji olanaklarının gradyan ve araştırma kuyuları ile jeoloji, jeofizik olarak incelenmesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9467, 213 s. (not published).

[168] TMMOB (2012). TMMOB İzmir İl Koordinasyon Kurulu Aliağa Bölgesi Değerlendirme Raporu Mayıs, 2012.

[169] TCKTB (2021d). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77450/dikili.html, 25.06.2021

[170] TCKTB (2021e). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, https://izmir.ktb.gov.tr/TR-77442/bergama.html, 02.07.2021

[171] BB (2021a). Bergama Belediyesi. Bergama Belediyesi, http://bergama.bel.tr/bergama/bergama-hakkinda/, 02.07.2021

[172] KB (2021). Kınık Belediyesi. http://kinik.bel.tr/kiniki-taniyalim/, 02.07.2021

[173] Günaydın, (2021). http://www.gunaydinaliaga.com/guzellik-ilicasi-termal-tesisiyle-daha-modern-hizmet-verecek-29398h.htm

[174] Allianoi Kaplıcası, (2021). https://www.erolsasmaz.com/?oku=699

[175] Ercan T., Türköğen A., Akyürek B., Günay E., Çam A., Ateş M., Can B., Erkan M., Özkirişçi C., (1984). Dikili-Bergama-Çandarlı (Batı Anadolu) Yöresinin Jeolojisi ve Magmatik Kayaçlarının Petrolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 8:2:47-60. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/28445/303062

[176] Akyürek B., Sosyal Y., (1978). Kırkağaç-Soma (Manisa) , S avaştepe-Korucu- Ayvalık (Balıkesir), Bergama (îzmir) civarının jeolojisi:MTA Enstitüsü Rapor No 6452, Ankara.

[177] Ataberk, S. (1940). Sarayköy ve Dikili Civarındaki Sıcak Suların Tetkikatı : MTA Gen.Md., Der.Rap. No: 1182, Ankara, 4 S. (yayımlanmamış).

[178] Bistritschan, K. (1957). İzmir Vilayeti'nin Bergama, Dikili ve Menemen Kazaları dahilinde bulunan sıcak su ve maden suyu kaynakları hakkında rapor: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 2620, Ankara, 27 S. (yayımlanmamış).

[179] Ekingen, A. (1970). Jeotermik enerji araştırmaları, Dikili – Bergama gravite etüdü: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10181, Ankara 123, S. (yayımlanmamış).

[180] Özçiçek, B. (1970). Jeotermik Enerji Araştırmaları, Dikili-Bergama Rezistivite Etütleri Raporu: MTA Gen. Md., Der. Rap. No: 4314, Ankara, 11 S. (yayımlanmamış).

[181] Demirörer, M. ve Öngür, T. (1972). İzmir Dikili – Bergama Jeotermal Sahası, Bergama Çevresi Rezistivite Etüdü : MTA Gen.Md., Der. Rap. No: 5478, Ankara, 17 S. (yayımlanmamış).

[182] Yılmazer, S., Can, A.R. (1978). Dikili-Bergama Gradyan Sondajlari Degerlendirme Raporu. Rapor MTA Gen Md., Der. Rap. No:6645, Ankara 41 S. (yayımlanmamış).

[183] Yılmazer, S., Özgüler, M.E. (1986). Geological and Geophysical Studies in the Dikili Bergama (Izmir) Geothermal Field of Turkey. MTA, Ankara.

[184] Yılmazer, S., Gevrek, A.I. (1990). Dikili (Izmir) Jeotermal Sistemi ve Yöre Sularinin Isitmada Kullanilmasi, Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebligleri, Cilt no:2, Ankara.

[185] Manav, E. (2005). İzmir-Dikili-Kaynarca, T-1 jeotermal sondajının kuyu bitirme raporu: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10846., (yayımlanmamış).

[186] Tarcan and Gemici, (2010). Hydrogeochemical Assessment of the Bergama Thermal Waters, İzmir, Turkey, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010

[187] Özkan, R., Şener, M., Helvacı, C. & Şener, M. F. (2011). Aliağa (İzmir) Jeotermal Alanındaki Hidrotermal Alterasyonlar ve Termal Sularla İlişkisi. Yerbilimleri, 32:1:141-168. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/yerbilimleri/issue/13645/165197

[188] Sözbilir, H. (2021). İzmir İli Dikili İlçesi Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesine Ait 1323.24 Hektar Jeotermal Ruhsat Alanı ve TDİOSB Alanında Jeolojik Çalışmalar, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, Ağustos, 2021.

[189] Yılmazer S., (1984). Dikili- Bergama (Izmir) Geothermal Field of Turkey, Seminar On Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence (Italy).

[190] İTO (2021). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir İl Tarım Ve Orman Müdürlüğü https://izmir.tarimorman.gov.tr/Haber/614/Turkiyenin-En-Buyuk-Projelerinden-Biri-Dikilide-Hayat-Buluyor, 02.07.2021

[191] BB (2021b). Bergama Belediyesi, https://bergama.bel.tr/hizmet-rehberi/jeotermal-konut-isitma-hizmetleri/, 02.07.2021

[192] Fournier R.O., (1977) Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems, Geothermics, 5:41-50.

[193] Stantec (2020). Cumulative Impact Assessment Report of "Cumulative Impact Assessment of Geothermal Resources in Turkey". European Bank for Reconstruction and Development. In a print draft report.

[194] Concise (2003). Concise International Chemical Assessment Document 53, Hydrogen Sulfide: Human Health Aspects,2003, https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad53.pdf

[195] JED (2021). Türkiye Jeotermal Derneği, Türkiye'de Jeotermal, https://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Turkiye-de-Jeotermal (04.09.2021).

[196] GAP (2015). GAP İlleri Jeotermal Kaynakları Araştırma Projesi, 2015.

[197] AKA (2015). Dört Yıldızlı Jeotermal Otel Yatırımı Fizibilite Raporu, Ahiler Kalkınma Ajansı, Kırşehir, 2015.

[198] Ari-es Enerji (2019). İzmir İli Seferihisar İlçesi RSC-1 Seferihisar Jeotermal Enerji Santrali 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Plan Açıklama Raporu, Mayıs 2019.

[199] Güllü M., Kartal Z., (2020), Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi, Sakarya İktisat Dergisi, 10:1:36-65 The Sakarya Journal Of Economıcs, 10:1:36-65.

[200] Turan A., Artun E., Saner S., (2021), Probabilistic assessment of geothermal resources and their development in Dikili-Izmir region, SN Applied Sciences, 3:634 | https://doi.org/10.1007/s42452-021-04603-7.

[201] Dikili TDİOSB (2020). Dikili Tarıma Dayalı İhtisas Sera Organize Sanayi Bölgesi Fizibilite Raporu, Nisan 2020.

[202] GEKA (2018). Meyve ve Sebze Kurutma Tesisi Ön Fizibilitesi, Muğla Yatırım Destek Ofisi 2018, GEKA.

[203] İBB-KMHSKYS (2016), Küçük Menderes Havzası Sürdürülebilir Kalkınma ve Yaşam Stratejisi, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Aralık 2016, İzmir.

[204] EKB (2021). Enerji Kentleri Birliği, Türkiye jeotermal kentsel ısıtma verileri 2021.

[205] Eşrefgil M.F., Sayık T., Yiğit Y., Sezer H.Ç., Arslan E.S., (2019), Balçova-Narlıdere Jeotermal Kaynaklı Bölgesel Isıtma İşletmesi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi–17-20 Nisan 2019/İzmir.

[206] Yiğit K., (2021). İzmir Geothermal District Heating System Balçova-Narlıdere Geothermal Field from yesterday to today, İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Presentation, July 2021

[207] İzmir Jeotermal A.Ş., 2021, İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. https://www.izmirjeotermal.com.tr/islemler_katilim_bedelleri_2019_2020_isitma_sezonu, https://www.izmirjeotermal.com.tr/islemler-ucret-tarifeleri-2020-2021-isitma-sezonu, 06.10.2021.

[208] DTTM (2019). Doğanbey Termal Tedavi Merkezi Yatırımı Fizibilitesi, 2019.

[209] YYBM, Resmi Gazete, (2021), Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2021 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 04.09.2021.

[210] TUYED, (2021).Turizm Yazarları ve Gazetecileri Derneği, TESİSLERİN TÜR VE SINIFLARINA GÖRE M2 BAŞINA YATIRIMININ MALİYETİ ve MALİYETİN FAKTÖRLERE DAĞILIMI, http://www.tuyed.org.tr/bir-otel-kaca-mal-oluyor/, 10.09.2021.

İZMİR KALKINMA AJANSI

Megapol Çarşı Kule, Halkapınar Mahallesi,
1203/11. Sk. No: 5-7, Kat: 19, 35170 Konak/İzmir

T. +90 232 489 81 81 **F.** +90 232 489 85 05

www.izka.org.tr

Kalkınma Ajansları Yayınları Bedelsizdir, Satılamaz