

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ YÖNTEMLE JEOTERMAL SULARDAN
BORUN KAZANILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Sıla AYHAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mirali ALOSMAN

Haziran 2006

BÖLÜM 4. BOR ELEMENTİNİN JEOKİMYASAL DAVRANIŞI, YATAKLARIN DAĞILIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Atom ağırlığı çok küçük (10.811) olan bor elementi, metalik ve metalik olmayan (ametal) özelliklere sahiptir. Doğada en az bulunan ve en duraysız elementlerden birisi olan bor, yerkabuğundaki ortalama miktarının 10 ppm'den az olduğu öngörülmüştür. Buna karşın bor, her türlü jeolojik ortamda oluşan minerallerde bulunur. Bor elementinin çift yönlü özelliği, olağan sayılmayan ender bileşiklerin oluşmasına neden olur. Üç değerli bor (B^{3+}) yüksek iyonik potansiyelinden ($i = 13.0$) dolayı doğada serbest olarak bulunmaz [11].

Bor, çoğunlukla turmalin minerali içinde ve birçok plutonik ve metamorfik kayaların bileşiminde gözlenir (Rankama ve Sahama, 1950; Goldschmidt, 1954; Grew ve Anovitz, 1996). Bunun yanında tortul kayalarda, özellikle kırıntı halindeki turmalinlerin bileşiminde ve iz element olarak illitik killerin içinde bulunur. Denizel killi tortullar, denizel olmayan tortullardan bağıl olarak daha fazla bor içerirler (Landergrén, 1945). Tortulların bileşimindeki bor ile çökelme ortamındaki suyun tuzluluğu arasında sıkı ilişkilerin varlığı tartışılmıştır. Denizel tortullar ortalama değerler, 110-120 ppm B arasındadır [11].

Göl ve sıcak su kaynaklarında bor konsantrasyonu geniş oranda değişir. Anılan değişimlerin çoğu volkanik aktivite ile ilişkilidir. Denizel olmayan evaporit yataklarında bor minerallerinin maksimum konsantrasyonlara ulaştığı saptanmıştır. Buna karşın karasal kökenli kırıntılı tortullar bor bileşenleri yönünden oldukça fakirdir. Borların büyük bölümü, sulu borat minerallerinin egemen olduğu yataklarda genellikle volkanizmanın etkili olduğu kurak bölgelerdeki kapalı havzalarda oluşurlar. Bor mineralleri karasal veya denizel tortullaşma ortamlarında, doğal bor çözültüsü kapsayan suların buharlaşması sonucu çökelirler [11].

Bor mineralleri, eser miktarlarda dünyanın birçok yerinde gözlenir. Öte yandan, ekonomik boyuttaki bor yataklarına Türkiye (Batı Anadolu), ABD (Kaliforniya), Sovyetler Birliği, Kanada, Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Tibet, Çin, Hindistan, İran, Suriye, Yeni Zelanda, Yeni Gine, İtalya, Japonya, Almanya ve Britanya adalarında rastlanmıştır [11].

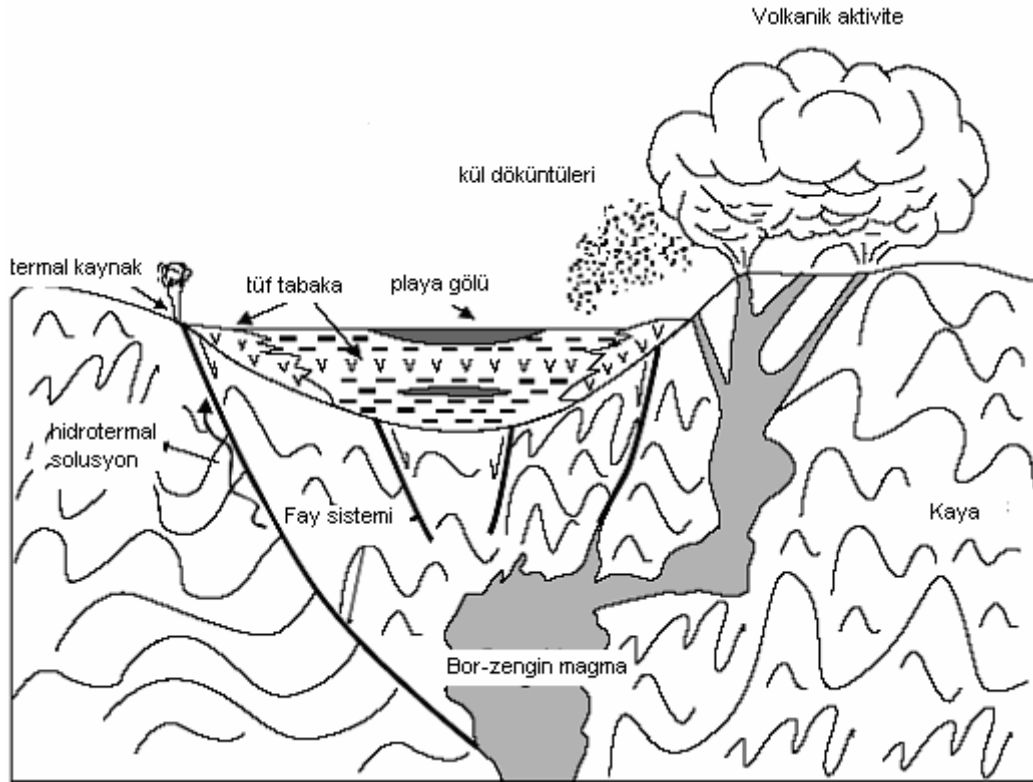
Güney Amerika ve Japonya'daki termal suları ile Tuscany'deki (İtalya) volkanik bölgelerin yoğun volkanik gazları önemli miktarda bor içerirler [11].

4.1. Türkiye Borat Yataklarının Dağılımı ve Jeolojik Konumu

Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır [11].

Alt ve üst borat yatakları, kurak iklim koşullarında, yerel volkanizmayla bağlantılı olan hidrotermal çözeltiler ve sıcak su kaynakları ile beslenen sahalarda gelişmiş, ayrık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen playa göllerinde oluşmuşlardır (Şekil 4.1) [11].

Bor yataklarını oluşturan playa-göllerini, hidrotermal eriyikler, sıcak su kaynakları ve yüzey suları ile beslenmişlerdir. Bor minerallerinin olduğu kurak veya yarı -kurak dönemlerde çok aşırı buharlaşmadan dolayı su seviyeleri azalarak playalar oluşmuş ve sedimentasyon hızı minimum düzeye inmiştir. Bor çökelimini izleyen dönemlerde, playalardaki su seviyeleri aşamalı olarak artarak kalın kil, marn ve kireçtaşı oluşmasına neden olmuştur [11].



Şekil 4.1. Batı Anadolu'da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli[11].

4.2. Termal Suyun Kimyasal Özellikleri ve Bor İle Etkileşimleri

Batı Anadolu'daki zengin termal sularda borun konsantrasyonu 1-63 mg/l arasında değişmektedir. Yüksek sıcaklıklardaki suların $>150^{\circ}\text{C}$ Cl/B molar oranı, 1 ila 10 arasında değişen düşük değerleri vardır. Düşük sıcaklıktaki termal sularda ($<150^{\circ}\text{C}$), istisna örnekler ile ki, bu bazı deniz sularıdır, Cl/B oranı 2 ila 88 arasında değişmektedir. Termal sular için HCO_3 ile B değerlerinin pozitif korelasyonu termal sulardaki bor konsantrasyonunun, karbonat çözülmesiyle ilgilidir. Su-kaya toplamının birbirine tesir etmesi, sokulgan magmanın gazsızlaştırılarak B katkısıyla termal sulardaki borun kontrolü sağlanır [12].

Menderes kütle kayasında çok olan serisit, illit, turmalin mineralleri yüksek bor içerikleri için asıl sebebi oluşturmaktadır [12].

Termal suyun dolaşımı, büyük kırık faylar ve çatlak bölgelerle ilgilidir. Menderes kütlelerinin çatlak kayaları, kuartz, şist, gnays ve granadiorit ve karstik mermer, şist, kumtaşı ve Bornova'nın büyük kireçtaşı blokları larışı ve metamorfik olamayan mezozoik karbonatla kaya kuyularındadır [12].

Termal sularda bor ve Cl konsantrasyonu su sıcaklığındaki artışla çoğalmaktadır. Ancak, yüzeyde akış sırasında yer altı suları ile karışması sebebiyle düşük sıcaklıklı sular için ilişkisi iyi değildir. Borun baskın sulu türü borik asit, $B(OH)_3$ ve borat anyonu $B(OH)_4$, pH'tan etkilenir. pH düşük iken $B(OH)_3$ üstündür [12].

Volkanik kayalardan Cl erimesi, B erimesine göre daha yavaştır. Bununla beraber, sıcaklık artışı Cl/B oranında düşmelere sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ($>150^\circ C$), 67mg/l't'ye ulaşan yüksek B miktarları ile Cl/B molar oranı düşük değerdedir, 1 ila 10 arasında. Su-kaya etkileşimine ilave olarak sokulgan magma taşınması B miktarını arttırır [12].

Deniz suyunun etkisinde olan istisnai örnekler ile, düşük sıcaklıklı ($<150^\circ C$) termal sularda, Cl/B oranı 2 ila 88 arasında değişmektedir (Ek 2). Deniz suyuyla karışan termal sularınsa (Seferihisar) Cl/B oranı 94 ila 256 arasındadır [12].

B ve Cl arasındaki korelasyon, aşamalı kaya erimesine örnektir. Bu B ve Cl, yüksek sıcaklıklar için su-kaya etkileşimi sırasında kayadan salı verilir [12].

Türkiye'nin batısındaki düşük sıcaklıklardaki termal sularda Cl ve B değeriyle iyi ilişkide değildir. Borun düşük sıcaklıklı alanlardaki Cl/B oranının yüksek sıcaklıklı termal sulara göre düşük olmasının 2 sebebi vardır:

1. Sokulgan magmanın gaz çıkarmasıyla bora iştirakına ek olarak yüksek sıcaklıklı alandaki su-kaya etkileşimi,
2. Düşük sıcaklıklı alanlarda aşındırma işlemi sırasında borun ikincil minerallerin içine intikal etmesidir.

Jeotermal sularda B ve Cl konsantrasyonu volkanik ve çökelme kayaları ile ilgilidir. Böylece, B ve Cl içeriği ve Cl/B molar oranı, jeotermal suyun kaynağı hakkında bilgi edinmek için belirteç gibi kullanılabilir [12].

HCO₃ ile bu pozitif ilişki, karbonat çözülmesi ile termal sulardaki bu B konsantrasyonun birleştiği anlamına gelir. Termal akışkandaki B zenginliği, Na-HCO₃ tip suların oluşumunda meydana gelen şartlarla ilgilidir. Na-HCO₃ tip termal sular için, Na konsantrasyonundaki artış, su-kaya etkileşiminde bir gösterge gibi kullanılabilir [12].

Su-kaya etkileşimine ek olarak, termal sulardaki bazı borlar muhtemelen kabuk veya deniz tortuları başkalaşımından ileri gelmektedir.

4.3. Türkiye'deki Termal Suların Tipleri ve İçeriklerindeki Bor Miktarları

4.3.1. Emet jeotermal alanı

Tablo 4.1, Gemici ve Ark. Emet jeotermal alanda yaptıkları çalışmadaki kimyasal su içeriğini göstermektedir. Kimyasal içerikleri bakımdan sular kendi aralarında 3'e ayrılabilir [13]:

1. Ca Mg-SO₄-HCO₃ tip sular
2. Ca Mg- HCO₃ tip sular
3. Na-Ca-SO₄

Tablo 4.1.Emet jeotermal alanı su kimyasal içerikleri[13]

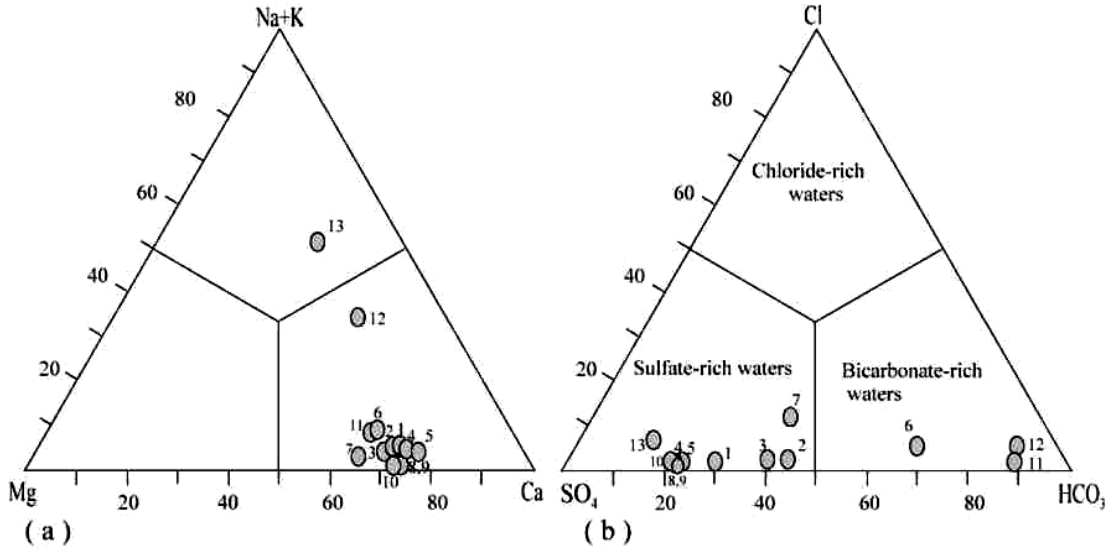
No	Yıl	T	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	B	Li	Si	Su Tipi
1	2000 ^a	43	7.11	1350	18.8	5.0	230.8	45.2	11	295.2	541.9	0.1	0.038	14.1	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
2	2000 ^a	54	7.10	1041	12.70	3.2	176.8	32.3	11	324.5	319.7	0.26	0.039	19.5	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
3	2000	43	7.10	1015	13.1	3.5	166.4	35.5	11	287.9	335.0	0.26	0.048	22.4	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
4	2000	38	6.90	1830	14.9	5.3	354.0	62.0	12	292.8	839.5	0.91	0.031	15.2	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
5	2000 ^a	13	7.25	1606	13.3	4.2	298.8	49.6	13	273.3	749.8	0.91	0.029	20.9	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
6	2000	48	7.00	646	10.1	6.1	89.6	23.3	14	275.7	87.2	0.48	0.013	19.5	Ca-Mg-HCO ₃
7	2000	15	7.20	962	9.2	2	226.8	68.7	50	458.7	433.7	1.44	0.1	9.3	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
8	2000	46	6.47	1269	6.2	1	288	57.6	17	283.1	772.8	0.5	0.04	15.1	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
9	2000	49	6.45	1346	7	1	297.2	57.8	17	287.9	792.6	0.5	0.04	15.3	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
10	2000	15	7.09	1636	8.5	0.6	353.6	73.4	20	331.8	1019	1.75	0.1	15.0	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
11	1984	33	7.80	500	10	1.8	78	21	5.7	34	29	3	-	4,2	Ca-Mg-HCO ₃
12	1984	39	6.70	1060	110	9.6	139	28	27	756	51	1.6	0.3	6.0	Ca-Na-HCO ₃
13	1984 ^b	43	7.10	2250	340	71	204	61	88	305	1309	5.2	0.2	14	Na-Ca-SO ₄
a Gemici and Tarcan (2002b).															
b MTA (1996).															

Gemici ve ark. yaptıkları çalışmada termal suların sıcaklığı 33 ve 54°C, elektriksel iletkenlik 500-2250 µS/cm'dir. Termal sulardaki kalsiyum ve SO₄ konsantrasyonları 89.6 ila 354 mg/kg ve 29 ila 1309mg/kg arasında değişmektedir. İkinci ve üçüncü grup sular erimiş katı bakımından düşüktür. Kalsiyum ve Mg baskın katyonlardır fakat 1.gruba göre konsantrasyonları düşüktür. 78-139mg/kg ve 21-28mg/kg arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra, HCO₃ değerleri 348-756mg/kg arasında olup yüksektir ve SO₄ konsantrasyonları 29-51mg/kg arasındadır ve düşüktür. 3. tip su Na, Ca ve SO₄ (SO₄ konsantrasyonu 1309mg/kg) yüksektir [13].

Kalsiyum 1 ve 2. tip sular için baskın katyondur, bu da gösterir ki, bu sular için karbonat kayası ara rezervuar kayasıdır. Suyun kimyasal özelliğini kontrol eden başlıca proses kireç taşı ve dolomanitin çözünürlüğüdür. Termal suyun magnezyum içeriği 21 ila 62 mg/kg arasında değişmektedir. Bu gösterir ki; su-kaya reaksiyonu düşük sıcaklıklarda ve/veya soğuk yer altı suyuyla karışmaktadır [13].

Şekil 4.2a, sulardaki Na⁺, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarının oranını gösteriyor [13].

Sulardaki Cl, HCO₃ ve SO₄ konsantrasyonları oranı, Şekil 4.2b’de gösterilmiştir. SO₄’te 1nci ve 3 ncü grup örneklerin diyagramın yoğun olduğu kısımdadır. Diyagramın diğer tarafında kalanların HCO₃’te yoğunlaştığı görülüyor [13].



Şekil 4.2. Termal sulardaki Na⁺, K, Ca ve Mg, Cl, HCO₃ ve SO₄ konsantrasyonlarının oranını [13]

4.3.2. Salihli jeotermal suları ve kimyasal içerikleri

Salihli jeotermal sistemi fiziksel olarak 4 ana grupta toplanabilir: Sazdere, Kurşunlu, Caferbey ve Sart,çamur jeotermal alanlarıdır. Salihli’de çalışılan alandan alınan örnek suların kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir [14].

Tablo 4.2. Salihli jeotermal kaynağının kimyasal su içerikleri [14]

Nümunne no su ve adı	Date	T (°C)	ECDS/cm	PH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Li	Mn	Ni	Cu	Pb	Cl	HCO3	SO4	SiO2	B
1-MTA2 Tw	25.4.1992	85	3000	6.3	462	55	130	13	0.100	Nd	nd	0.147	0.008	0.076	69	1378	125	267	65
2-MTA3 Tw	24.6.1992	95	2750	6.03	431	50	31	13							90	1220	100	135	31
3-Caferbeyli Tw	20.9.1990	155	2700	7.8	680	70	42	6	0.100	Nd	nd	0.147	0.008	0.076	115	1983	34	214	67
4-Sart-Çamur Ts	An. Av.	51	1431	6.03	199	24	134	23	0.133	1.8	0.04	0.082	0.006	0.057	37	1076	81	101	13
5-Celikli Ts	An. Av.	42	2310	5.98	500	62	45	15	0.063	1.788	0.005	0.120	0.008	0.087	68	1513	119	182	23
6-Sazdere Ts	21.5.1993	37	3070	7.55	417	50	29	65							200	2477	43	145	
7-Kurşunlu Ts	An. Av.	90	1850	4.85	426	51	10	9	0.110	1.842		0.103	0.005	0.072	64	1080	107	186	38
8-Tabak Stream Sw	An. Av.	20	586	7.10	45	6	34	12							16	305	73	29	2.3
9-Karaoluk Cs	An. Av.	14	210	7.25	5	1	13	5	0.054	0.014	nd	0.022	0.005	0.033	14	66	71	11	nd
10-Kurşunlu Stream Sw	An. Av.	19	410	6.76	29	4	26	16	0.072	0.082	nd	0.033	0.004	0.038	16	204	92	19	3
11-Kurşunlu Ufurluk Cs	31.5.1992	15	1420	5.75	12	7	180	77							21	647	541	2	
12-Salihli Stream Sw	21.5.1993	18	1299	7.19	140	15	17	92							41	535	174	19	
13-Göbekli Villazce Cw	21.5.1993	18	556	4.9	30	4	14	15							12	293	120	26	

Salihli jeotermal alanındaki termomineral sular için sıcaklıkların ve kimyasal konsantrasyon içeriklerinin zamanla değişiminin önemsiz olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, soğuk sular, özellikle akışkan sular iyon konsantrasyonlarındaki değişimin önemli olduğunu göstermiştir. Kurşunlu akışkanı için Na⁺, HCO₃ ve B⁺³

konsantrasyonları yaz aylarında, akıştaki azalmadan kaynaklı bir artış olduğu gözlenmektedir [14].

Sazlı dere termomineral kaynağı Mg^{2+} bakımından zengindir [14].

Sart-çamur kaynağı ve MTA2 kuyusu Ca^{2+} zengindir. Tarcan ve arkadaşları çalıştıkları alandaki bütün termomineral suların kimyasında başta Na ve HCO_3^- iyonları hakim olduğunu belirtmişlerdir.(%50den yüksek). Sart-çamur termal kaynakları ve MTA2 termal kuyusundaki sular $Na^+ - Ca^{+2} - HCO_3^-$ ($Ca^{+2} > \%20$) tip sulardır ve Saz dere termal kaynağındaki sular $Na^+ - Mg^{2+} - HCO_3^-$ ($Mg^{2+} > \%20$) tip sulardır. Diğer termomineral sular Na- HCO_3^- 'ten zengindir [14].

Tarcan ve arş. çalıştıkları alandaki soğuk sular değişiktir. Hakim iyon cinsleri genellikle Ca^{+2} ve/veya Mg^{2+} dır. Bazı sular hakim katyon cinslerinden yoksundur, HCO_3^- ve/veya SO_4^{-2} genellikle hakim anyonlardır [14].

Tarcan ve ark. Salihli jeotermal alanındaki termomineral sularında yüksek Na^+ ve HCO_3^- iyonları sadece karbonat silikat minerallerinin çözünmesiyle açıklanamayacağını bu termomineral suların, olay karışımının toplama, kaya çözünmesi ve iyon değişimi reaksiyonlarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Termomineral suların kimyasal içerikleri soğuk sulara göre farklılık gösterir. Bölgesel soğuk yer altı suları ve akış sularıyla karıştığında, bütün termal sular Na^+ ve HCO_3^- bakımından zengindir. Salihli termal sularındaki yüksek Na^+ konsantrasyonu ve zemin konuk kayasının kristalizasyonu silikat aşınması ve değişimi anlamına gelmektedir [14].

Tarcan ve ark. Na^+ ve HCO_3^- iyonları arasında pozitif lineer bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Na ve Ca^{2+} katyonları arasında negatif bir ilişki vardır. Termomineral sularda, sodyumu yükselmesi ve kalsiyum ve magnezyumun düşmesi, iyon değişimiyle açıklanabileceğini belirtmişlerdir [14].

Birçok yerde, konak kayaların erimesi akışkanın sıcaklığının bir fonksiyondan meydana gelmektedir. Sıcak sular değişik oranlarda soğuk yeraltı sularıyla karışır ve termomineral suların yol hareketinden dolayı iyon değişimi meydana gelir [14].

Soğuk sular için yüksek hidro jeokimyasal işlemler karbonat eriyiği ve silikat aşınma reaksiyonlarından kaynaklandığı gözükmektedir. Jeotermal alandaki yüksek hidro jeokimyasal işlemler iyon değişimi doğal su yumuşatmasına aittir ve Na^+ ve Ca^{2+} ve/veya Mg^{+2} katyonlarından meydana gelir [14].

Soğuk su için en önemli problem, borun akiferlere ve toprağa bulaşmasıdır. Termomineral suların bor içeriği oldukça yüksektir (Tablo 4.2).

Tarcan ve ark. soğuk yer altı sularında ve yüzey sularındaki yüksek bor içeriğinin sebebini, Salihli jeotermal alanından çıkan termomineral akışkan olduğunu belirtmişlerdir. Bütün termomineral sularda ana olarak HCO_3^- baskındır ve B^{3+} ve HCO_3^- diğerleriyle ilgisi olduğunu ve HCO_3^- , termomineral sulardaki yüksek bor içeriği için ana sorumlu anyon olduğunu belirtirler. Sulama amaçlı kullanılan soğuk sulara borun karışmasını engellemek, üretilen termomineral suların jeotermal rezervuara reenjeksiyonu önem kazanmaktadır.

4.3.3. Menderes kayası üzerindeki termal alanlar

Gümüşköy termal suları 40 °C sıcaklığında Na-Ca-Cl- HCO_3 tipinde akar [15].

Metamorfik Menderes kütlelerinde konaklayan termal sularda bor konsantrasyonu 10mg/lt civarındadır. Derin kuyulardaki Na-Ca-Cl- HCO_3 tipindeki termal sular, yüksek oranda 41-43mg/lt bor miktarına sahiptirler [15].

Tekkehamam termal kaynakları 83-98 °C akış sıcaklığında ve 17-18mg/lt bor konsantrasyonu ile ve Na- SO_4 - HCO_3 tipinde sudur [15].

52°C sıcaklıkta akan Ortakçı termal kaynakları, Na- HCO_3 - SO_4 tipinde ve 8 mg/lt bor içermektedir [15].

Küçük Menderes grabeninde bulunan Bayındır termal suyu (45°C) banyo ve 1857'den beri sağlık için kullanılmaktadır. Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipinde 1mg/lt'den az bor konsantrasyonu içeren sulardır [15].

Turgutlu termal suları 75-78°C'dedir. Bor konsantrasyonu 8-13mg/lt arasındadır [15].

Simav jeotermal alanı termal kaynakları 51-90°C arasındadır. 163 °C sıcaklık ile derin kuyulardaki Na-HCO₃-SO₄ tipli termal kaynaklar bölgesel ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Her ne kadar sıcaklık yüksekse de, bor konsantrasyonu diğer Menderes masif kayasından çıkan yüksek sıcaklıklı jeotermal sulara göre daha düşüktür. Bor konsantrasyonu 1-2mg/lt arasındadır. Gediz termal suları 2gruba ayrılır. Gediz Murat Dağı kaplıca suları 38-45°C sıcaklığıyla 2mg/lt bor içeriğinde Ca-SO₄ tipinde sulardır [15].

Gediz Abide kaplıca suları 75-92°C sıcaklıkları ile Na-SO₄-HCO₃ tipinde düşünülmekte ve 7.5mg/lt bor içermektedir [15].

Uşak Emirfakı kaplıcası (38°C) Na-Ca-HCO₃-SO₄ tip termal su ve 3.5mg/lt bor içermektedir [15].

Gecek(Afyon) alanı Na-Cl-HCO₃ tipli termal suları kaynaklardan ve 92°C'de derin kuyulardan elde edilir. Bor konsantrasyonu 10 mg/lt'ye ulaşır [15].

Saraycık jeotermal sistemi Menderes masifinin kuzey kısmındadır. Saraycık jeotermal alanı yeni alanlardan bir tanesidir ve dördüncü volkanizma tarafından kontrol edilir. Sıcaklığı 10 ila 70 °C arasında değişen sıcaklığı ile Na-HCO₃-SO₄ tipinde termal sulardır ve bor konsantrasyonu 13-35 mg/lt'dir [15].

27 °C sıcaklıkla akan Ca-Mg-HCO₃ tip Ilıkpınar(Manisa) termal sularının bor konsantrasyonu düşüktür. İçmeye ve kullanmaya elverişli olan bu sular Manisa çevresindeki su ihtiyacını karşılar [15].

Balçova termal alanı, 140°C derin kuyu sıcaklığı ile Türkiye’de jeotermal alanların en önemlilerinden bir tanesidir. Na-HCO₃-Cl tip termal sular, 8-14mg/lt bor konsantrasyonu ile tarımsal amaç için kullanıldığında yeraltı sularında problemlere yol açar [15].

Seferihisar jeotermal alanı deniz suları katkısı sayesinde yüksek iyon konsantrasyonu ile Na-Cl tip sulara birleşmektedir. 120°C’ye ulaşan akışkanın derin kuyu sıcaklığı ısınma için kullanılmak üzere planlanmıştır. Bor değeri 17 mg/lt’dir [15].

Afyon Ömer ve Gecek Termal Turizm Merkezi Suyun Isısı 51-98°C arasında değişmektedir. pH Değeri 6.5 -7.3 arasındadır. Kimyasal sınıflandırmaya göre klorürlü (% 59 milival). Bikarbonatlı (20 milival), sodyumlu (% 78 milival), demirli (4.9 mg/lt), arsenikli (1/15 mg/l.), karbondioksitli (423.1 mg/l.) termal sular sınıfına girmektedir. Ayrıca, metoborik asit(24.7 mg/l.), flüorür (4.32 mg/l.) ve bor (10 mg/l.) içeren termal sulardandır [16].

Gazlıgöl Termal Turizm Merkezi Suyun Isısı 40-71°C arasında değişmektedir. pH Değeri 6-7.5 arasındadır. Kimyasal sınıflandırma bakımından Bikarbonatlı (%92.8 milival), sodyumlu (88.99 milival), Hidrojen Sülfürlü (3.75 mg/l.) ve Karbondioksitli (360 mg/l.) termal su grubuna girmektedir. Fiziksel sınıflandırma bakımından ise hipotermal (64 °C), hipotonik (111 milival/l.) bir termal su olup ayrıca 47.79 mg/l. metabolik asit içermektedir [16].

Aksaray Ziga kaplıcası ise kimyasal sınıflandırma bakımından Sodyum (Na) 765,2 mg/lt , Klorür (Cl) 1480,16 mg/lt, Hidrokarbonat (HCO₃) 1279,78 mg/lt, Kalsiyum (Ca) 550,7 mg/lt, Sülfat (SO₄) 36,32 mg/lt, Bor (B) 25 mg/lt su içermektedir ve bu kaplıcanın 25°C deki iletkenliği 5800 uS/cm’dir [16].

Ziga Jeotermal alanı sıcak suları NaCl, KCl ve Ca(HCO₃)₂, Na₂SO₄ karakterlidirler.Toplam erişim madde içeriği 4500 (mg/lt) olup kaplıcalıkta şifalılık için aranan erimiş madde miktarından yaklaşık 4,5 kat daha fazladır. Bu suların sulamada kullanılabilmesi için Bor içeriği 1 (mg/lt), EC si 225 uS/cm den büyük olmamalıdır. B oranı olması gereken konsantrasyondan 25, Na 70, SO₄ 1,5 kat daha

fazla olduğu görülmüştür. B, Na, Cl ve EC si çok yüksek olan bu suların direkt olarak kullanılması sakıncalıdır. Kullanımdan sonra reenjekt edilmesi gerekir. Yüksek erimiş madde içermesine rağmen asidik olması sebebiyle Ziga termal suları düşey yönde kabuklanma açısından sorun yaratmayacak ancak yüzeyde gazın uçması ve baziklenme sebebiyle kabuklanma sorunu yaratacağından direkt olarak kullanılamaz [16].

Akçaağıl (Suşehri) Alanında Yapılan ölçümlerde Akçaağıl kaynağının suyunun sıcaklığı 37°C, debisi ise 1 lt/sn olarak ölçülmüştür. Yapılan kimyasal analizlerde suyun, “Bor ve Arsenik İçeren, Sodyumlu, Bikarbonatlı Termal Su” olduğu tespit edilmiştir [17].

Eynal Kaplıcaları, sıcaklığı 97 ile 162°C arasında değışen kaplıca suyu, içerdiğinde kalsiyum, sodyum, bio karbonat, sülfat, metoborikasit, florür, bromür element barındırmaktadır. Termal su açısından son derece zengin olan Simav’da Eynal Kaplıcaları’nda 725 metre derinlikten çıkan 162°C sıcak su, jeotermal ısıtmada kullanılıyor [17].

4.3.4. Balçova termal sularının kimyasal özellikleri

Batı Anadolu bulunan Agamemnun’da üç kaynak bulunmaktadır. Bunlardan biri sıcak, diğeri ikisi ılıktır. Ilık sular magnezyum ve sodyumludur. Sıcak sular ise H_2SiO_3 lı olup (200 mg/lt), ayrıca içerisinde normalin üstünde bor bulunmaktadır. Anyon ve katyonlar yekûnu 1650 mg/lt dir. Total mineralizasyon oldukça yüksektir. Madensel özellik taşır. Membadan çıkan sular hemen alüvyonlarda kaybolur. Alüvyonlarda kazılmış 500 kuyunun içerisindeki sularda daima bor bulunmuş olup, ısıları 65°C-75°C dir. Sondajlarla 124°C ısılı tabii buhar elde edilmiş ve bazen buharlar 15 metreye kadar yükselmiştir (Tablo 4.3) [18].

Tablo 4.3. Balçova termal kaynağının su kimyasal içerikleri[18]

Locality	T (°C)	pH (25 °C)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	B (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	F (mg/l)
Dam lake (2000)	12	7.85	11.6	0.74	58.5	22.4	<0.1	7.9	23.2	195	32	1
Kabaoglu (c. spring)	18	7.62	17	2	18	41	0.04	20	25	240	13	0.1
Hot spring (1962)	63.5	6.8	345	42	68	17	–	146	202	726	178	
B-9 ^a (1984)	122 ^c	8.5	440	31	8	4	14	109	223	467	169	
B-4 ^a (1984)	112 ^c	7.5	390	31	29	4.4	13.3	–	205	610	202	6.7
BD-1 ^b (1994)	140 ^c	7.7	395	24	27	2.7	13	279	176	622	270	14
BD-4 ^b (2000)	131 ^c	7.39	420	27	15	2.5	13.4	130	164	579	180	7.6

4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Jeotermal Gelişmeler

17 Ağustos 1999 depreminin olduğu Adapazarı, İzmit ve Yalova hattında Yalova Termal ve Sakarya-Akyazı Kuzuluk'ta ve 12 Kasım 1999 Düzce depremi ile Efteni ve Bolu Küçükkaplıca jeotermal alanlarındaki kaynak ve kuyularında bazı değişiklikler gözlenmiştir. Benzer değişikliklerin 13 Mart 1992 Erzincan depreminde bölgede yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarında da olduğu bilinmektedir [19].

Dünyada depremlerin önceden tahmin edilmesi amacıyla yer kabuğunun derinliklerinden gelen termal sular, mineralli sular ve gaz çıkışları özellikle, Çin ve Japonya'da gözlem altında tutulmaktadır (Wakita, 1996). Yeraltı sularının düzenli olarak gözlenmesi ve ölçüm alınması deprem mekanizmasının gelişimi ve erken uyarı açısından önem taşımaktadır. Aktif Deprem kuşaklarında jeokimyasal ve hidrojeolojik araştırmalar kapsamındaki sulardaki kimyasal değişiklikler (klorür, radon, trityum) su seviyelerindeki değişiklikler ölçülmektedir. 17 Şubat 1995'deki Kobe depremi öncesinde yağış olmamasına rağmen anormal seviyede yükseklikler tespit edilmiş, deprem sonrasında ise deprem bölgesinde yeraltı su seviyelerinde, sıcaklıklarda ve nehir suyu debilerinde önemli artışlar görülmüştür [19].

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde bazı jeotermal kaynak ve kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiştir. Bu değişiklikler; bulanıklık, koku, tat, renk, sıcaklık, basınç, debi, yeni kaynak oluşumu ve kimyasal değişimlerdir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Deprem bölgelerindeki jeotermal sahalarda yapılan gözlem ve ölçümler[20]

TARİH	GÖZLEMLER		BULANIKLIK KOKU RENK TAT	SICAKLIK °C	YENİ KAYNAK ÇIKIŞI	DEBİ ARTIŞI	AÇIKLAMA
	SAHALAR						
17 AĞUSTOS 1999	* TERMAL YALOVA	1	+	64,5	+	± 1 lt/sn	2 Ağustos 1999 da yeni bir sıcaksu kaynağı çıkmıştır. Toplam debi artmıştır.
		2	+	64,5	+	± 1 lt/sn	
		3	-	64,5	+	± 1 lt/sn	
	** KUZULUK AKYAZI SAKARYA	1	-	79			Kuyularda debi ve sıcaklık değişimi gözlenmiştir.
		2	+	77-78		+ 1 bar basınç artışı	
		3	-	79			
12 KASIM 1999	*EFTENİ DÜZCE	1	+ bir gün önce	42,3		3,5 lt/sn	Göl kenarında ılık kaynak çıkmıştır. Metan gazı ve CO ₂ çıkışı görülmüştür. Bir hafta süreyle yanma görülmüştür.
		2	+	42,3	+ 25 °C ılık kaynak	± 4,0 lt/sn	
		3	-	42,3	+ 25 °C ılık kaynak	3,5 lt/sn	
	** K. KAPLICA BOLU	1	-	43,7			Depremle birlikte önce debi azalması daha sonra artış olmuştur (Kuyuda artezyen başlamıştır).
		2	-	44,0		-	
		3	-	44,0		+	

* : Kaynak ** : Kuyu + değişiklik var - normal - Deprem

Yıldırım 1992, Şimşek ve Yıldırım 2000

1- Deprem Öncesi 2- Deprem Sonrası 3- Bir hafta sonrası

Sakarya-Akyazı Kuzuluk Sahası: Kuzuluk sahası Dokurcun segmenti üzerinde olup sahada 79 santigrat derece sıcaklıklı (kuyu çıkış sıcaklığı) kaynaklar vardır. Sahada kurulan termal tesislere su sağlanması ve ısıtılması için 180-320 m derinliğindeki 5 kuyudan üretim yapılmaktadır. Önceleri sahada mevcut kaynakların, kuyulardan akışkan üretimi yapılması sonucu bugün debileri azalmış ve bir bölümü ise kaybolmuştur. 17 Ağustos depremi ile birlikte kuyulardan gelen suda bulanma olmuştur. Ayrıca, sıcaklık önce 79 dereceden 80 dereceye yükselmiş, 2 hafta sonra 77 dereceye düşmüş, daha sonra yeniden 79 dereceye gelmiştir. Kuyularda 0.8 bar olan basınçta 1 barlık artış ölçülmüş ve kuyu başı basınçları 1.8 bara yükselmiştir [20].

Kuzuluk termal sularında özellikler deprem sonrası bor miktarı 1.55 mg/lt ye ulaşmıştır [21].

4.5 Termal Sulardan Borun Alınması Üzerine Yapılan Çalışmalar

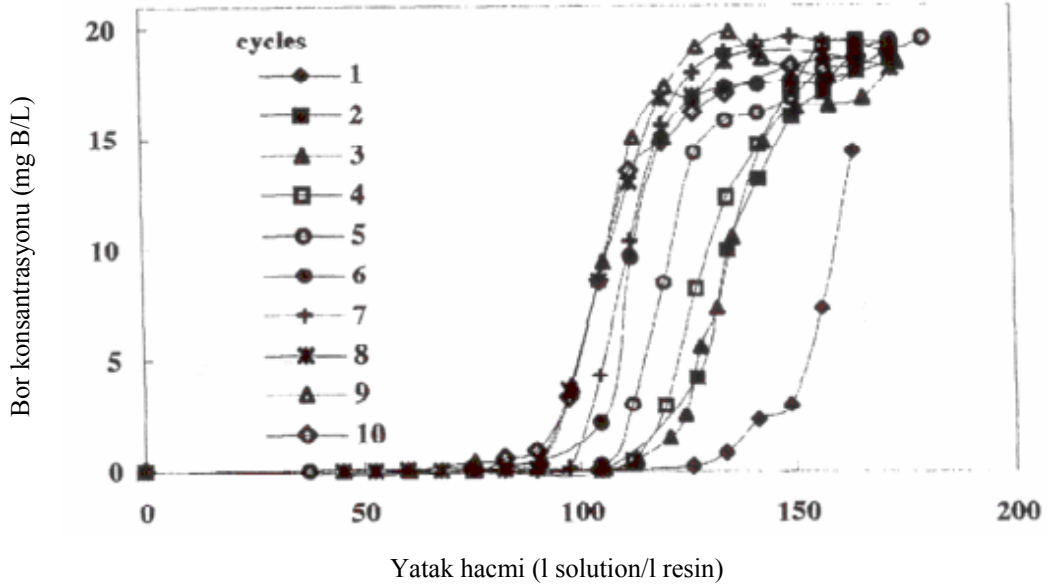
Sıvı solüsyondan borun alınması için bir çok metot akla gelmektedir. Bu metotlar arasında, iyon değiştirme yöntemi daha çok kullanılandır. Poli gruplara sahip kenetli fiberler, daha önce bor alınmasında kullanılmıştır.

Fonksiyon ihtiva eden kenetli reçinelerin içine çift taraflı(cis position) pozisyonda borun alınmasında yüksek seçicilik gösteren hidroksil grupları olduğu belirtilmektedir.(13) ooi ve arkadaşları (14), değerli ($CeO_2 \cdot nH_2O$. $ZrO_2 \cdot nH_2O$. $HfO_2 \cdot nH_2O$) veya 5 değerli metallerin ($Ta_2O_5 \cdot nH_2O$) bazı sulu oksitlerlerinin bor alınması için umut verici adsorbentler olduğunu belirtmişlerdir.

Bazı membran yöntemleri bor alınması için test edilmiştir. Taniguchi ve arkadaşları(16) deniz suyundan borun azaltılması için ters ozmoz yöntemini kullanmışlardır. Seçici iyon değiştirme reçinesi, ters ozmoz süzmesinde borun alınması için kullanılmıştır. Polimer destekli ultrafiltrasyon, bor alınması için diğer arıtım metotlarına göre daha uygun bir metot olduğu belirlenmiştir. Deniz suyundan borun alınması için kullanılan diğer bir membran yöntemi elektrodializdir.

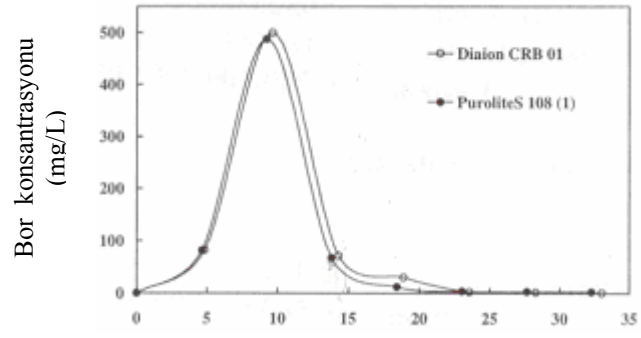
Kabay ve ark.ları Denizli-Kızıldere jeotermal atık suyundan bor giderilmesini, N-glukamin gruplarını taşıyan şelat yapıcı iyon değiştirici reçine Diaion CRB02 kullanılarak, laboratuarda ve jeotermal arazide kurulan pilot tesiste araştırmıştır. Laboratuar çalışmalarında Diaion CRB02 reçinesinin bor giderimini etkileyen koşullar (pH, reçine miktarı, kolon akış hızı) incelenmiştir. Laboratuar çalışmalarını kesikli ve sürekli işlemlerden oluşmaktadır. Bor giderilmesinde optimum reçine miktarı ve pH' ın etkileri kesikli yöntem ile incelenmiştir. Kesikli denemeler hem model (100 mg B/L) çözeltiler hem de Kızıldere jeotermal sahasından temin edilen bor içeriği 18-20 mg/L olan atık sularla gerçekteştirilmiştir. Sürekli denemelerde ise sadece borlu atık sular kullanılmıştır. Reçine üzerinde tutulan bor, 5% H_2SO_4 çözeltilisi ile reçineden sıyrılmıştır.Diaion CRB02 reçinesi, Kızıldere jeotermal sahasında kurulan pilot tesiste, 75-80°C sıcaklıktaki jeotermal atık sudan sürekli yöntem ile bor giderilmesi için kullanılmıştır [17].

Kızıldere jeotermal sahasında kurulan pilot tesiste 10 adet geri döngü çalışması (bor tutma-yıkama-sıyırma-yıkama-rejenerasyon-yıkama) gerçekleştirilmiştir. Reçinenin salıverme kapasitesinde 2. döngüye gidildiğinde belirgin bir azalma olurken, bunu izleyen döngülerde kapasitedeki kaybın daha az olduğu gözlenmiştir. 7.döngü ile 10. döngü arasında salıverme süresinin hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür [17].



Şekil 4.3. Kızıldere jeotermal sahasında kurulan pilot tesiste 10 adet geri döngü çalışması sonucu[17]

Kabay ve arkadaşlarının yaptığı diğer çalışmada, laboratuvar ortamında yürütülen kesikli ve sürekli işlemler, farklı pH'larda hazırlanmış model çözeltiler ve jeotermal atık sular kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, N-glucamin fonksiyonel gruplarını içeren şelatlayıcı iyon değiştirici reçineler (Diaion CRB 01 ve Purolite S 108) bor giderilmesi için kullanılmıştır. Bor bu reçinelerden %5'lik H_2SO_4 çözeltisi kullanılarak nicel olarak tamamen sıyrılabilmiştir. Bor analizleri, spektrofotometrik olarak Curcumin yöntemiyle gerçekleştirilmiştir [18].



(Yatak hacmi mL solution/mLreçine)

Şekil 4.4. Diaion CRB 01 ve Purolite S 108 tip reçinelerin karşılaştırılması[18]

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

İlk olarak Menderes Kayası üzerindeki jeotermal alanlarından alınan numuneler incelenmiştir. Bu alanlardaki, jeotermal sulara bor içeriklerine bakılmıştır. Alanlardaki, bor miktarlarına ek olarak Kuzuluk termal sularındaki bor miktarları tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında deneysel jeotermal sular hazırlanmıştır. Hazırlanan deney sularında, Türkiye’de mevcut jeotermal suların bor miktarları, ortalama ve ortalamanın üzerindeki yerlere uygun seçilmiştir. Yapılan deneylerde oluşturulan buharın içersindeki bor tespit edilerek adsorban malzemeyle temas ettirmeye çalışılmıştır. Buhara geçen borun adsorbanla teması sonrası buharda kalan borun miktarı tespit edilmiştir.

Materyal ve metot:

Deneysel iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada suda bulunan borun buhara ne kadarının geçtiği araştırılmıştır. İkinci aşamada ise bu buhara geçen bor zeolit yardımıyla tutulmaya çalışılmıştır.

İlk aşama için 2 adet 250 ml’lik balon joje birbirine bir plastik boru vasıtasıyla bağlanmıştır. Hassas terazide ölçülen bor, 1.balon jojeye koyulmuş ve üzerine saf su ilave edilerek karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılmıştır. Bir taraftan karışım devam ederken, diğer bir taraftan ısıtıcıyla bor içeren su ısıtılmıştır. Diğer balon jojede aynı miktar saf su koyularak boru vasıtasıyla buharın geçmesi sağlanmıştır. Bu balon jojede ısıtma yapılmamıştır. Deney düzeneği şekil 5.1’de gösterilmiştir.

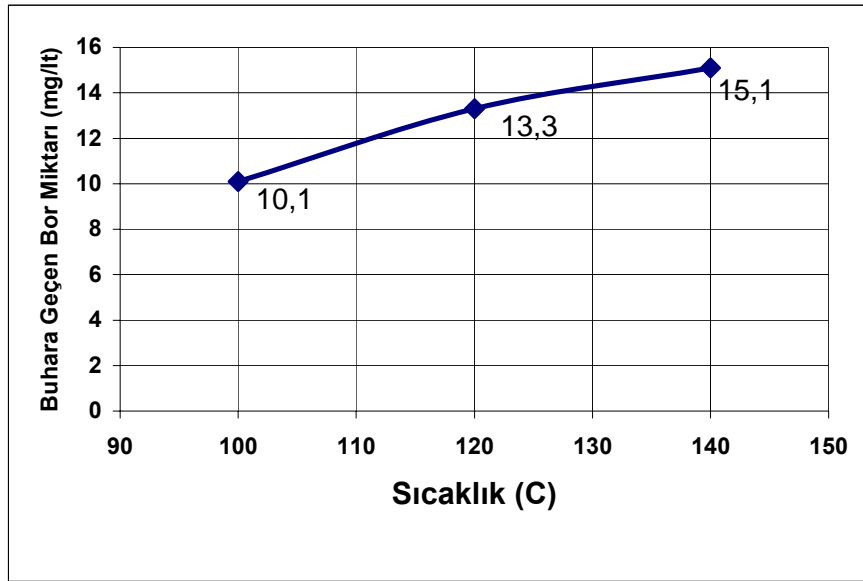


Şekil 5.1 Deney düzeneği

İkinci aşama için ise, helezon sistemi kullanılarak oluşan buhardan adsorban vasıtasıyla bor alınmaya çalışılmıştır.

Bu deneylerde, değişken olarak bir çok parametre seçilmiştir. Bu seçilen parametreler, termal suyun çıktığı rezervuarın, farklı içerebileceği fiziksel ve kimyasal özelliklerine uygun seçilmiştir. Bu parametreler sıcaklık, bor miktarı, su miktarı, karıştırma süresi ve karıştırma hızıdır. Deneyler doğrultusunda diyagramlar oluşturulmuştur.

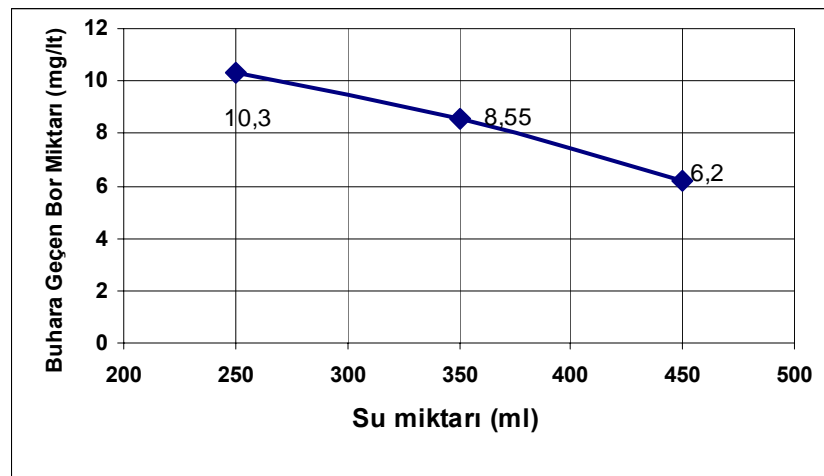
İlk olarak sıcaklık değerleri üzerinde çalışılmıştır. Bu göre, 250ml suya koyulan 13 mg bor, 600 devir/dakikada 15 dakika süreyle 100°C, 120°C, 140°C’de çalışılmıştır. Buna göre termal buharda taşına bor miktarları şekil 5.2’de verilmiştir:



Şekil 5.2. Sıcaklığın değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları

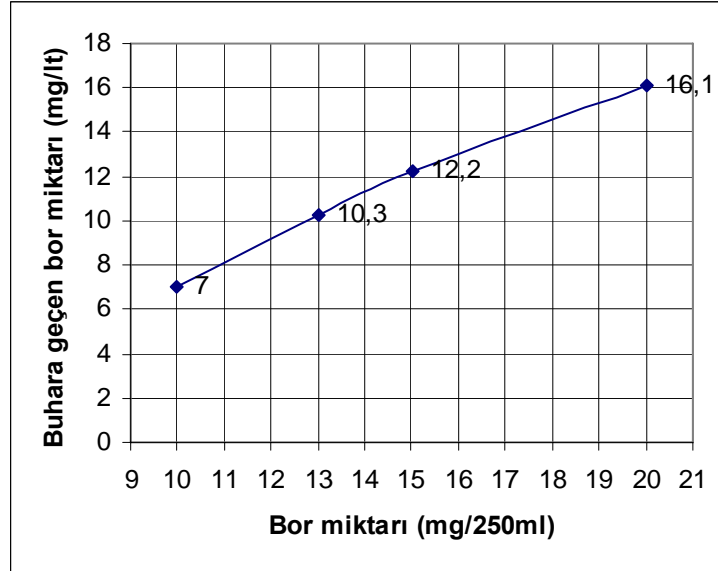
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi sıcaklık artışına bağlı olarak buhara geçen bor miktarı artmıştır.

Daha sonraki deney aşamasında ise, su miktarları değişken olarak çalışılmıştır. Buna göre, 13mg bor içeren 250ml,350ml,450ml’lik deneysel jeotermal sular 100°C sabit sıcaklıkta, 15 dakika süreyle 600 dev/dak karıştırılmıştır. Bu deneyler doğrultusunda oluşan şekil 5.3’deki gibidir.



Şekil 5.3. Su miktarının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları

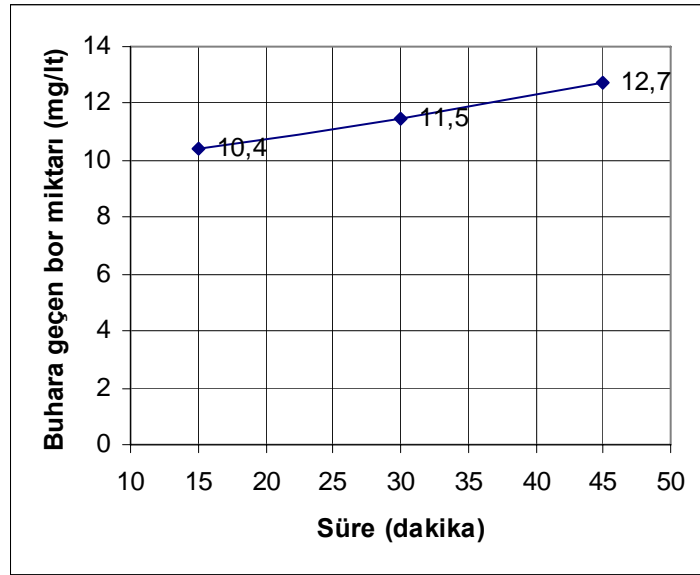
Farklı alanlardaki jeotermal suların içerdği farklı bor içeriklerine uygun olarak bor miktarları değişken olarak kabul edilmiştir. Buna göre, 250ml suya 10mg, 13mg, 15mg ve 20mg lık bor koyularak 100°C,15 dakika süreyle 600 dev/dak'da çalışılmıştır. Bu deneylerin sonuçları doğrultusunda oluşturulan şekil 5.4'teki gibidir.



Şekil 5.4. Bor miktarının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları

Bor miktarı artışında buhara geçen borunda arttığını gözlemlenmiştir.

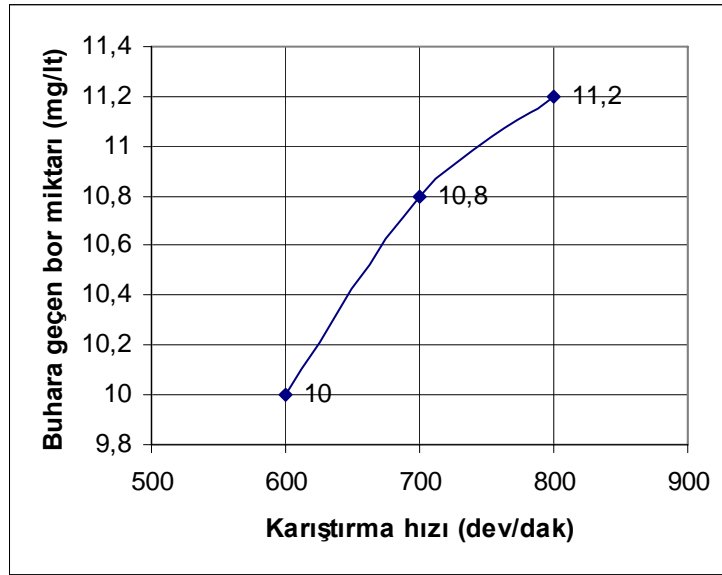
Karıştırma sürelerinin değişken olarak kullanıldığı deneylerde, 250ml suya 13mg bor ilave edilerek 100°C'de 600dev/dak'da 15, 30 ve 45 dakika çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulan şekil 5.5'teki gibidir.



Şekil 5.5. Sürenin değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları

Karıştırma süresi arttıkça buhara geçen borun arttığı gözlemlenmiştir. Fakat özellikle 30 dakikadan sonraki deneylerde, hem buhar sıcaklığının fazlasıyla artması sebebiyle, buharın taşıma kapasitesinin 20mg'a kadar arttığı fakat bu miktardan daha öteye gidemediği gözlemlenmiştir. Değişken olarak bor miktarlarının olduğu deneylerde ise, yüksek mg yada gr'larda özellikle 30. dakikadan sonra borun, çalışılan cam balon joje etrafında tortuğu bıraktığı, bununda jeotermal sularda buharda taşınan bora kanıt olabileceği düşünülmüştür.

Diğer bir aşamada ise, karıştırma hızları değişken gibi kabul edilerek deneyler yapılmıştır. 250ml suya koyulan 13mg bor,100°C'de 15 dakika süreyle farklı karıştırma hızlarında çalışılmıştır.(600, 700, 800 dev/dak). Bu deneyler doğrultusunda oluşturulan şekil 5.6'teki gibidir.



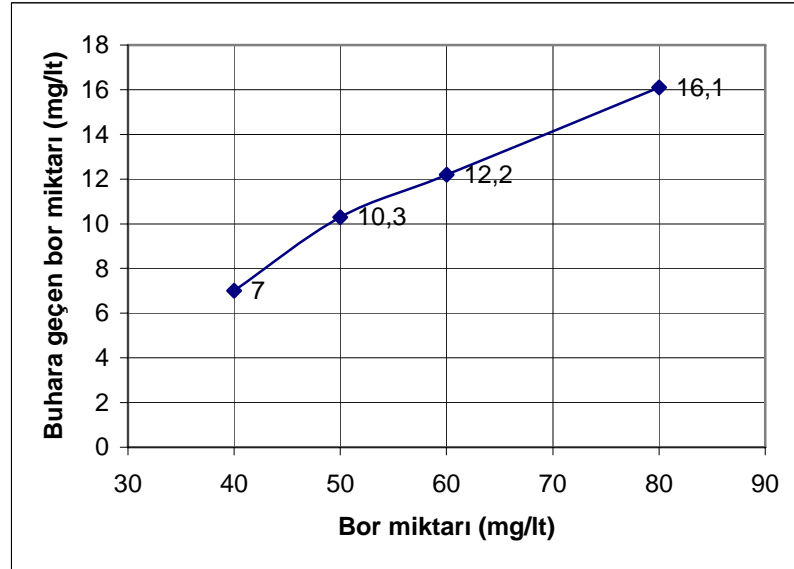
Şekil 5.6. Karıştırma hızının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları

Bu değişkende buhara geçen bor miktarının fazla değişmediği gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bor yataklarını oluşturan playa-gölleri, hidrotermal eriyikler, sıcak su kaynakları ve yüzey suları ile beslenmişlerdir. Batı Anadolu'daki zengin termal sularda borun konsantrasyonu 1-63mg/lt arasında değişmektedir.

Bu çalışmada farklı parametreler kullanılarak yapılan deneyler çerçevesinde özellikle bor miktarı artışının buharda taşınan bora olumlu etkide bulunduğu ve jeotermal suda taşınan çözülmüş bor miktarı arttıkça buhara geçen borunda arttığı gözlemlendi. Şekil 6.1'de yapılan deneylerden elde edilen sonuçları mg/lt'ye çevrilmiş hali bulunmaktadır. Buna göre litrede 40 mg bor içeren termal suların buharında 7mg'a bor rastlanmıştır. Termal suyun bor miktarının litrede 80mg'a yakın olduğu yerlerde ise buharda taşınan borda artmakta, 16 mg'a ulaşmaktadır.



Şekil 6.1 Termal suda bulunan bor miktarlarının, buhara geçen bora etki

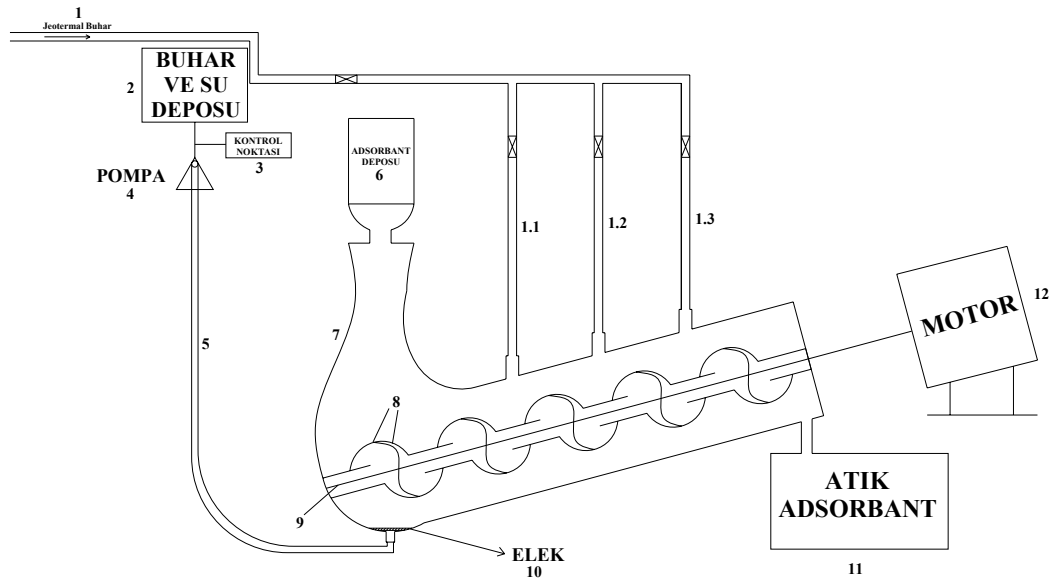
Termal suyun dolaşımı, büyük kırık faylar ve çatlak bölgelerle ilgilidir. Özellikle yüksek sıcaklığı olan rezervuarlarda, jeotermal sularda B konsantrasyonu volkanik ve çökelme kayaları ile ilgilidir. Termal su-kaya etkileşimi sayesinde, bünyesine bor katarak yoluna devam eder. Kaynak suyu ne kadar sıcak ise bor miktarı o kadar artar. Buda, sıcaklık artışıyla buharda taşınan bor miktarını artırır.

Yapılan deneylerde sürenin de su buharında taşınan bor miktarında etkili olduğu gözlenmiştir. Deneyler esnasında, 30 dakikadan sonra, yüksek sıcaklığa bağlı olarak buharlaşan suyun azaldığı ve balon joje etrafında buharda taşınan boru bıraktığı gözlemlendi.



Şekil 6.2 Buharda taşınan borun gözlemlenmesi

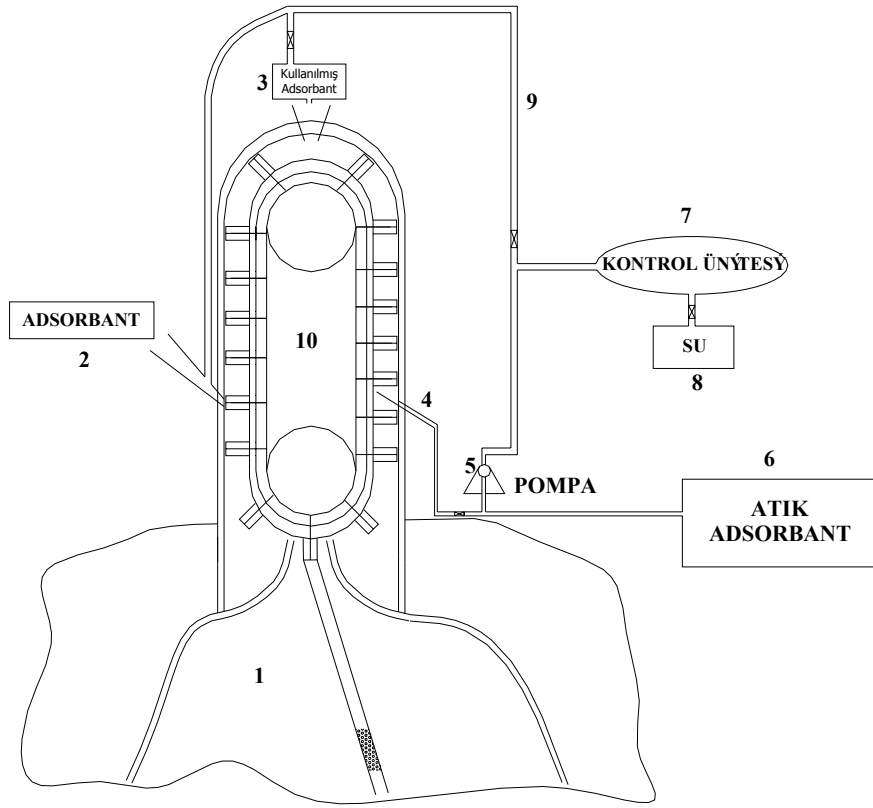
Yapılan deneyler sonucunda buharla beraber bor taşındığı ispatlandı. Bu buharın giderilmesi için yapılan çalışmada ise adsorban malzeme kullanılarak helezon sisteminde buhardaki bor tutuldu. Kullanılan sistem şekil 6.2 de verilmiştir. Buna göre termal su buharı helezonun 1 nolu borusundan, 1.1, 1.2, 1.3 boruları yardımıyla helezona verildi. Adsorban ise adsorban deposundan helezon teknesine verildi. Helezonda karşılaştırılan buhar, helezonun alt kısmından alınarak depoya verildi. Adsorban ise helezonun üst kısmından alındı. Buhar halinde bulunan suda 10mg bor varken, adsorbanla karıştırılan buharda bu miktar, Tübitak MAM'dan gelen deney sonuçlarına göre, bor miktarının <1 mg'dan daha az olduğu kanıtlandı.



Şekil 6.2 Helezon sistemiyle buharda bulunan borun tutulması

1-Borlu Jeotermal, 2- Depo, 3- Kontrol Noktası, 4- Pompa, 5- Su Deposu, 6- Adsorbant Deposu, 7- Helezon Teknesi, 8- Kürek, 9- Mil, 10- Izgara, 11- Borlu Adsorbant, 12- Motor, 13- 1,2,3 Jeotermal Buhar

Geliştirilmesi gereken diğer sistem ise özellikle jeotermal sahalarda buharın oluşturabileceği korozyon ve tıkanıklara karşı olumlu sonuçların beklendiği bir yöntemdir. Bu sisteme göre, kaynağın içerisine daldırılmış döner bir bant kullanılabilir. Bant pedalları sayesinde ileriye doğru yollanan buhar 2 numaralı kapı sayesinde adsorbantla karşılaştırılır. Pedalların ittirilmesiyle 4 nolu kapıya kadar gelen adsorbantlı buhar, burada pompa yardımıyla su ve atık adsorbant olarak 8 ve 6 olarak depo edilir. 8 nolu depoda bekletilen su 7 numaralı kontrol ünitesiyle zaman zaman kontrol edilir. Gerekli durumlarda, 9 nolu boru vasıtasıyla sisteme su yada kullanılmış adsorbant geri verilebilir.



Şekil 6.3 Döner bantlı jeotermal buhardaki bor tutucu

1- Buhar, 2- Adsorban Deposu, 3- Kullanılmış Adsorban, 4- Kapı, 5-Pompa, 6- Atık Adsorban, 7-Kontrol Ünitesi,8- Su Deposu, 9- Boru, 10- Bant

KAYNAKLAR

- [1] [Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu](#) .Ankara: DPT, 2001. 67 s. tab. (DPT.2609 - ÖİK.620) ISBN: 975-19-2825-7
- [2] ERSÖZ, U. “NEDEN JEOTERMAL?” İnşaat Mühendisi, İzmir Çevre İl Müdürlüğü
- [3] <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>
- [4] AYAZ M.E, KAVAK N.S, TOPALOĞLU M., “Dünya’da ve Türkiye’de önemli bazı jeotermal alanları ve Sivas yöresindeki jeotermal enerji alanların özellikleri” MTA Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü, 58030, SİVAS
- [5] [Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu: Jeotermal Enerji Çalışma Grubu raporu](#) . Ankara: DPT, Mayıs 1996. 54 s. (DPT.2441 - ÖİK. 497) ISBN 975-19-1375-6
- [6] AKAN B., “Afyon Ömer-Gecek jeotermal sisteminde reenjeksiyon uygulamalarının rezervuar sıcaklığına etkilerinin modellenmesi”Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), 06532 Beytepe, ANKARA
- [7] DOĞDU M., BAYARI C S., “Akarçay Havzasında (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme, II. Yeraltısuyu Kirliliği” Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA
- [8] <http://www.geothermal.org/>
- [9] Mark E. H., (1991) Alternative Energy, Prompt Publications, ISBN 0-7906-1079-5, USA

- [10] ŞİMŞEK Ş., YILDIRIM N., GÜLGÖR A., Developmental and environmental effects of Kızıldere geothermal Power Project Turkey Geothermics 34; 239-256(2005)
- [11] HELVACI C., “Türkiye borat yataklarının jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası” BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. 11 (2003)
- [12] GEMİCİ Ü., TARCAN G., “Distribution of boron in thermal waters of western anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts” Environmental Geology (2002) 43:84-98
- [13] GEMİCİ Ü., TARCAN G., ÇOLAK M., HELVACI C., “Hydrogeochemical and hydrogeological investigations of thermal waters in Emet area(Kütahya, Turkey), Geochemistry (2004) 105-117
- [14] TARCAN G, Filiz Ş., GEMİCİ Ü., “Geology and Geochemistry of Salihli Geothermal Fields, TURKEY”, Dokuz Eylül University, Geological Engineering Department, 35100-Bornova-İzmir, Turkey
- [15] ÖZTÜRK S.M.,Jeofizik Yüksek Mühendisi "Karahayıt Kaplıca ve içmeleri”
- [16] KABAY N., YILMAZ S., YAMAÇ S.,Removal and recovery of boron goethermal wastewater by selective ion-exchange resins –II. Fields tests Reactive&Functional Polymers 60 (2004) 163-170
- [17] KABAY N., YILMAZ S., YAMAÇ S.,Removal and recovery of boron goethermal wastewater by selective ion-exchange resins –I.Lab tests Reactive&Functional Polymers 60 (2004) 163-170
- [18] SERPEN U. “Hydrogeological investigations on Balçova geothermal system in Turkey” Geothermics 33 (2004) 309-335
- [19] www.mta.gov.tr/mta_web/kutuphane/mtadergi/70_1.pdf
- [20] ŞİMŞEK Ş., “17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 deprem bölgelerindeki termal kaynaklarda gözlenen değişimler ve önemi” , Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), Beytepe, ANKARA Nazım Yıldırım, MTA Genel Müdürlüğü,Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, ANKARA.Cumhuriyet Bilim Teknik - 01 Temmuz 2000
- [21] SUROĞLU B., AKAN F. “Şerefiye İçme Suyu Tesisinde Borun Perlit ile Arıtımı” Haziran 2005 Bitirme Tezi

EKLER

Ek 1. Termal turizm merkezleri

Termal Turizm Merkezi	Alan	Mevcut Yatak	Planlı Yatak	Toplam Yatak	Termal Kapas. (Lt/ Sn)	Termal Üretimi (Lt/ Sn)	Su Tüketimi (Lt/ Sn)	Termal Su Isısı (°C)
Afyon-Gazlıgöl	73,0	287	1950	2.237	15,5	30,0	12,0	50-75
Afyon-Bolvadin Heybeli	262,0	500	12300	12.800	89,2	55,0	29,0	57
Afyon-Ömer Gecek	1.300,0	1000	9000	10.000	69,5	100,0	80,0	50-95
Afyon-Sandıklı	126,5	1500	5000	6.500	45,1	175,0	52,0	45-70
Ağrı-Diyadin	280,0	-	-	-	-	6,0	6,0	45-75
Amasya-Terziköy	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankara-Seyhamamı	78,5	502	2000	2.502	17,4	21,0	21,0	43
Balıkesir-Gönen	72,5	520	1120	1.640	11,4	100,0	28,0	40-45
Balıkesir-Edremit Güre	98,7	82	2766	2.848	11,4	45,0	2,0	50-60
Bolu-Karacasu	30,0	500	1500	2.000	13,7	33,7	17,6	40-45
Bursa-Kükürtlü	18,0	133	967	1.100	7,8	14,8	6,6	90-110
Çanakkale-Ezine Kestanbol	312,5	600	6000	6.600	46,0	65,0	15,0	60-75
Diyarbakır-Çermik	73,0	1634	1160	2.794	19,5	10,0	5,0	45-50
Erzurum-Pasinler	18,7	66	704	770	5,4	220,0	15,0	47
Eskişehir-Sarıcakaya	13,4	500	1000	1.500	10,4	9,0	9,0	50
İzmir-Balçova	64,2	1004	-	1.004	-	100,0	12,0	45-140
İzmir-Seferihisar Doğanbey	470,0	500	12000	12.500	86,9	90,0	-	78
Kütahya-Emet	25,2	200	900	1.100	7,4	17,0	5,9	40-45
Kütahya-Gediz Ilıcası	17,7	770	2500	3.270	22,7	225,0	15,8	65-75

Kütahya-Gediz Muratdağı	36,0	84	3500	3.584	24,3	45,2	5,4	42
Kütahya-Ilıca Harlek	15,0	302	1750	2.052	15,0	36,0	27,0	43
Kütahya-Simav Eynal	51,0	411	1500	1.911	13,3	200,0	15,2	97
Kütahya-Yoncalı	123,4	450	1400	1.850	12,9	65,0	63,5	41
Niğde-Çiftehan	31,6	1765	2000	3.765	26,1	21,0	14,0	53
Niğde-Narlıgöl	245,2	-	7615	7.615	53,0	110,0	-	65
Osmaniye-Haruniye	27,0	-	-	-	-	15,0	15,0	33
Rize-Çamlıhemşin Ayder	-	665	-	665	-	17,0	14,0	55
Samsun Havza	313,0	814	1760	2.574	18,0	70,0	21,0	52
Sivas-Kangal Balıklıçermik	24,2	240	360	600	5,0	50,0	-	36
Sivas-Sıcak Çermik	63,8	356	1600	1.956	0,5	200,0	39,0	45-50
Yalova	90,0	704	780	1.484	0,3	18,0	18,0	66
Yozgat-Bahariye Cavlak	87,0	-	2600	2.600	18,1	511,0	35,0	35-40
Yozgat-Sarıkaya	10,5	233	1590	1.823	11,3	28,0	15,0	45-50
TOPLAM	4.451	16.322	87.322	103.644	677,1	2.702,7	614,0	-

Location	No.	T (°C)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄	B	Cl/B (molal)	Li	Water type	Ref. ^a
Germencik	1s	60	6.66	1,199	125	69	25	1,212	2,426	66	41	9		Na-HCO ₃ -Cl	a
	2s	50	6.9	1,101	109	66	58	1,115	2,355	144	45	7.5		Na-HCO ₃ -Cl	a
	3w	200	8.5	2,050	85	3.2	1	1,747	2,123	66	63	8.44	7.2	Na-HCO ₃	b
	4w	200	8.5	1,355	45	6.4	1	1,586	1,324	37	45	10.7	8	Na-Cl-HCO ₃	c
	5w	231	8	2,810	191	4.2	2	1,948	1,531	168	63	9.42	7.4	Na-Cl-HCO ₃	b
	6w	231	8.7	1,600	145	6	1.2	1,790	900	24	50	10.9	18	Na-Cl-HCO ₃	c
	9w	85	6.3	462	55	130	13	69	1,378	125	65	0.32		Na-Ca-HCO ₃	d
	10w	95	6.03	431	50	31	13	90	1,220	100	31	0.88		Na-HCO ₃	
	11w	155	7.8	680	70	42	6	115	1,983	34	67	0.52		Na-HCO ₃	
	12s	51	6.03	199	24	134	23	37	1,076	81	13	0.86	1.8	Na-Ca-HCO ₃	
13s	42	5.98	500	62	45	15	68	1,513	119	23	0.9	1.8	Na-HCO ₃		
14s	90	4.85	426	51	10	9	64	1,080	107	38	0.51	1.84	Na-HCO ₃		
15c	16	6.76	29	4	26	16	16	204	92	3	1.62	0.08	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	e	
17w	24	7.5	12.2	1.1	86.4	19.7	15	305	35	0.67	6.8	0.05	Ca-HCO ₃		
18s	27	7.4	11.3	0.8	116.4	5.8	12	370.8	44	0.67	5.45		Ca-HCO ₃		
19c	16	7.2	7	0.4	117.2	11.9	13	370.8	25	0.32	12.37	0.05	Ca-HCO ₃		
20w	27	7.2	9.7	2.6	100	19.2	14	382	33.3	0.32	13.31	0.1	Ca-Mg-HCO ₃	f	
22w	39	6.7	867	77	161	55.7	36	1,418	927	51	10	26.49		Na-Cl-HCO ₃	
23s	39	6.7	1,141	110	103	36	36	1,418	927	51	10	43.18		Na-Cl-HCO ₃	
24w	39	6.68	803	104	257	38	38	1,348	982	39	10	41.05		Na-Ca-Cl-HCO ₃	
25c	19	7.54	13.6	1.34	187	33.3	41	96	732	20	2.2	15.6		Ca-Mg-HCO ₃ -Cl	
26s	26	7.4	45	4.6	223	41	41	96	732	20	2.29	12.77		Ca-Mg-HCO ₃	
28w	74	7.3	1,159	118.9	98.4	7.3	130	130	2,647	585	17.9	2.21	1.67	Na-HCO ₃ -SO ₄	g
29w	51	6.9	987	126	97.6	27.7	130	130	2,713	544	35	1.13	1.76	Na-HCO ₃ -SO ₄	
30c	19	6.8	75	13.9	192.4	113.2	28	28	996	154	1.5	5.68		Ca-Mg-HCO ₃	
31w	55	7.1	1,050	118	90.4	26.2	130	2,718	602	18.6	2.13	1.74		Na-HCO ₃ -SO ₄	
32s	41	6.8	1,088	114	73.6	27.5	200	2,528	590	13.3	4.58			Na-HCO ₃ -SO ₄	
33c	18	7.6	89	18	84.8	9	28	402	55	1.4	1.4	60.9		Ca-Na-HCO ₃	
34w	40	7.5	1,287	117	90	3.1	132	2,459	534	14	14	2.87		Na-HCO ₃	
36w	163	8.74	506.4	55.3	11.6	4.9	80	678.3	471.2	2.69	2.69	9.06	0.42	Na-HCO ₃ -SO ₄	h
37w	160	8.84	532.3	62.3	6.4	5.8	80	651.5	455.9	1.08	1.08	22.55	0.41	Na-HCO ₃ -SO ₄	
38s	78	9.2	529.5	48.4	1.6	3.9	71	588	424.3	1.31	1.31	16.5	0.35	Na-HCO ₃ -SO ₄	
39c	13	7.21	27.2	17.6	107.6	38.2	31	419.7	80.7	0.1	0.1	94.4	0.05	Ca-Mg-HCO ₃	i
41w	114	8.6	400	28	12	7	213	494	176	13.5	13.5	4.8	1.6	Na-HCO ₃ -Cl	
42w	140	7.7	395	24	27	2.7	176	62	143	13	13	4.9	1.5	Na-Cl-SO ₄	
43w	122	9	440	31	8	4	223	467	169	14	14	4.85	1.7	Na-HCO ₃ -Cl	
44w	115	8.4	420	32	10	8.5	216	488	219	13.6	13.6	4.84	1.6	Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄	
47w	88	6.7	1,600	144	214.6	30	1,754	1,628	494	8.6	8.6	62	1.5	Na-Cl-HCO ₃	j
48w	92	6.7	1,750	158.7	78.8	9.96	1,862	1,294	536.6	10	10	56.7	1.6	Na-Cl-HCO ₃	
49w	62	6.95	1,300	101.7	205	36.5	1,261	1,397	430.2	8.2	8.2	46.8	1.9	Na-Cl-HCO ₃	
50w	87	7.1	1,700	156.8	105.8	18.9	1,842	1,350	513.6	9.6	9.6	58.4	1.6	Na-Cl-HCO ₃	
51w	51	6.4	780	64.1	135.8	32.9	812	1,025	236.6	4.4	4.4	56.2	0.9	Na-Cl-HCO ₃	
52c	14	6.95	13.1	1.4	110	16.2	29.1	281	45.1	0.1	0.1	88.6	0.1	Ca-HCO ₃	

Ek 2. Türkiye'de bulunan termal suların kimyasal içerikleri

Kızılderne	54w	196	8.97	1,220	116	1.2	0.36	124	1,150.1	560	20.4	1.85	3.9	Na-HCO ₃ -SO ₄	k
	55w	207	8.96	1,410	152	1.2	0.2	144	1,746	737	24.4	1.79	4.5	Na-HCO ₃ -SO ₄	
	56w	202	9.3	1,275	140	1.2	0.24	729	1,148.2	735	25	8.88		Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄	
	57s	100	7.9	1,200	110	5.1	1.4	100	1,484.4	680	21	1.45		Na-HCO ₃ -SO ₄	
	58c	16	7.6	11.9	1.5	65	1	7.5	183.9	23	0.3	7.6		Ca-HCO ₃	
Turgutlu	60s	75	7.36	525	50	16	19	73	1,256	70	12	1.87	1.43	Na-HCO ₃	l
	61s	78	6.92	515	49	20	21	72	1,422	60	8	2.7	1.42	Na-HCO ₃	
	62s	72	6.67	527	49	24	26	75	1,516	122	13	1.7	1.44	Na-HCO ₃	
	63s	78	6.72	514	49	19	22	73	1,424	59	10	2.2	1.42	Na-HCO ₃	
	64c	18	7.27	51	3	56	49	35	245	216	1.8	5.9	0.08	Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	65c	18	7.37	27	1	35	92	61	362	127	1	18.5	0.01	Mg-HCO ₃ -SO ₄	
Seferihisar	67s	75	6.05	6,021	823	562	612	11,048	391	204	17	197.9		Na-Cl	m
	68s	70	6.71	2,507	2.1	63	851	4,049	659	347	13	94.85		Na-Mg-Cl	
	69s	72	6.63	6,797	781	751	1,829	12,647	366	597	15	256.76		Na-Mg-Cl	
Emet	72s	43	7.11	18.8	5	230.8	45.2	11	295.2	541.9	1.4	2.39		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	n
	73s	54	7.1	12.7	3.29	176.8	32.3	11	324.5	319.7	1.48	2.26		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	
	74s	13	7.25	13.3	4.22	298.8	49.6	13	273.3	749.8	5.2	0.76		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	
Bayındır	80s	45	6.96	211.4	9.7	54.8	6.9	17	659	66	0.7	7.4		Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	n
	81s	45	7.04	191.7	9.8	56.1	10.4	14	691	148	0.8	5.3		Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	
Gediz	83s	45	7.3	45	3.2	544	50	9	100	1,386	1.2	2.3		Ca-SO ₄	n
	84s	38	7.3	45	3	443	53	7	124.4	1,226	1.2	1.8		Ca-SO ₄	
	85s	75	7.3	624	94	139	57	103	969	1,269	7.6	4.1		Na-SO ₄ -HCO ₃	
Uşak-Emirfaki	86s	92	6.9	614	91	166	49	104	1,083	1,228	7.6	4.2		Na-SO ₄ -HCO ₃	n
Ortakçı	88s	38	6.5	361	42	326	45	51	991	1,030	3.4	4.6		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	n
Tekkehamam	90s	52	8.03	306	27	40	19	25	529	384	8.3	0.9		Na-HCO ₃ -SO ₄	n
	92s	83	7.6	1,823	106	18	9	106	2,164	1,958	17.7	1.8		Na-SO ₄ -HCO ₃	n
	93s	98	7.0	917	78	58	13	105	615	1,613	17.9	1.8		Na-SO ₄ -HCO ₃	n
	94c	18	7.86	82	12	124	61	60	381	370	3.6	5.1		Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃	n
Seawater	100		8.5	10,365	569	454	1,437	21,800	103	3,210	3.4	1,941		Na-Cl	n

Ek 2. devam

ÖZGEÇMİŞ

02/09/1980 yılında Bursa'da doğan Sıla Ayhan, ilkokulu Sabihanım İlkokulunu bitirdikten sonra 1991 yılında Galatasaray Lisesi'ne girdi. 1999 yılında buradan mezun olduktan sonra, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliğine girdi. Buradan 2003 yılında mezun olduktan sonra, aynı bölümde yüksek lisansına başladı. Halen yüksek lisansı devam etmektedir.

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ YÖNTEMLE JEOTERMAL SULARDAN
BORUN KAZANILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Sıla AYHAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Mirali ALOSMAN
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Saim ÖZDEMİR
Üye**

**Prof.
Lütfi SALTABAŞ
Üye**

ÖNSÖZ

Tüm çalışmalarım boyunca ve özellikle laboratuvar çalışmalarım sırasında bilgilerini benimle paylaşan, yol gösteren ve beni destekleyen, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tech. Sci Mirali Alosman'a ve desteğini esirgemeyen Anneme, Babama ve Ağabeyime, Arş. Gör. Sinan M. TURP'a, çizimlerimde bana yardımcı olan Yusuf KABRAN ve Hakan TUNA'ya, dostluğunu hiçbir zaman esirgemeyen Deniz DEMİREL'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
JEOTERMAL NEDİR.....	2
2.1. Jeotermal Sistemin Oluşumu ve Özellikleri.....	4
2.2. Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması.....	6
2.2.1. Sıcak su sistemi.....	6
2.2.2. Kuru buhar sistemi	7
2.2.3. Sıcak kuru kaya sistemleri.....	7
2.3. Jeotermal Tarihi.....	7
2.4. Dünyada Mevcut Durum	10
2.4.1. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar.....	11
2.5. Jeotermal Kaynakların Tüketim Alanları.....	12
2.5.1. Isıtma.....	13
2.5.2. Endüstriyel uygulamalar.....	15
2.5.3. Kimyasal madde üretimi.....	16
2.5.4. Tüketim miktar ve değerleri.....	17
2.5.6. Üretim.....	18

2.5.7. Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	18
2.6. Elektrik Üretimi.....	18
2.7. Isı Enerjisi Üretimi.....	21
2.8. Ürün Standartları.....	22
2.9. Türkiye’de Durum.....	23
2.9.1 Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri.....	23
2.9.2. Potansiyel.....	26
2.9.3. Tüketim.....	27
2.9.4. Tüketim miktar ve değerleri.....	27
2.9.5. Üretim yöntemi ve teknoloji.....	28
2.10. Kullanılan Jeotermal Suyun Reenjeksiyonu.....	28
BÖLÜM 3.	
JEOTERMAL GELİŞİMİN ÇEVRESEL ETKİSİ.....	31
3.1. Jeotermal Kaynak Kullanımın Zararları.....	33
3.2. Türkiye’de Jeotermal Gelişimin Çevresel Etkisi.....	36
BÖLÜM 4.	
BOR ELEMENTİNİN JEOKİMYASAL DAVRANIŞI, YATAKLARIN DAĞILIMI VE SINIFLANDIRILMASI.....	39
4.1. Türkiye Borat Yataklarının Dağılımı ve Jeolojik Konumu.....	40
4.2. Termal Suyun Kimyasal Özellikleri ve Bor İle Etkileşimleri.....	41
4.3. Türkiye’deki Termal Suların Tipleri ve İçeriklerindeki Bor Miktarları	43
4.3.1. Emet jeotermal alanı.....	43
4.3.2. Salihli jeotermal suları ve kimyasal içerikleri.....	45
4.3.3. Menderes kayası üzerindeki termal alanlar.....	47
4.3.4. Balçova termal sularının kimyasal özellikleri.....	50
4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Jeotermal Gelişmeler.....	51
4.5 Termal Sulardan Borun Alınması Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	53
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI.....	56

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yerkabuğu, manto ve çekirdek.....	2
Şekil 2.2.	Jeotermal sistemin oluşum mekanizması.....	4
Şekil 2.3.	İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.4.	Jeotermal enerjinin Dünyada ve Türkiye’de değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması.....	11
Şekil 2.5.	Kuyuiçi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi.....	14
Şekil 2.6.	Kuyudışı eşanjörlü jeotermal merkezi ısıtma sistemi.....	14
Şekil 2.7.	Jeotermal ısı pompası sistemi örnek sıcaklık rejimi.....	15
Şekil 2.8.	Jeotermal akışkanların dünyadaki kullanımları ile ilgili yüzdesel Dağılımı.....	17
Şekil 2.9.	Binary çevrim jeotermal elektrik üretim sistemi.....	19
Şekil 2.10.	Sıcaksu egemen jeotermal elektrik üretim sistemleri.....	20
Şekil 2.11.	İzmir-Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi.....	25
Şekil 2.12.	Türkiye’nin jeotermal mevcut durumu ve projeksiyonları.....	26
Şekil 3.1.	Jeotermal enerjinin kullanımı sırasında ortaya çıkan SO ₂ (asit yağmurlarının ana kaynağı) ve CO ₂	32
Şekil 3.2.	Jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal kirleticiler.....	33
Şekil 3.3.	CaCO ₃ Kabuklaşmasına Örnek	35
Şekil 3.4.	Üretilen kWh başına sera gazı emisyon miktarları.....	38
Şekil 4.1.	Batı Anadolu’da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli.....	41
Şekil 4.2.	Termal sulardaki Na ⁺ , K, Ca ve Mg, Cl, HCO ₃ ve SO ₄ konsantrasyonlarının oranını.....	45
Şekil 4.3.	Kızıldere jeotermal sahasında kurulan pilot tesiste 10 adet geri döngü çalışması sonucu.....	54
Şekil 4.4.	Diaion CRB 01 ve Purolite S 108 tip reçinelerin karşılaştırılması.....	55

Şekil 5.1.	Deney düzeneği.....	57
Şekil 5.2.	Sıcaklığın değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları.....	58
Şekil 5.3.	Su miktarının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları.....	58
Şekil 5.4.	Bor miktarının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları.....	59
Şekil 5.5.	Sürenin değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları.....	60
Şekil 5.6	Karıştırma hızının değişken olarak kullanıldığı deneylerin sonuçları....	61
Şekil 6.1	Termal suda bulunan bor miktarlarının, buhara geçen bora etkisi.....	62
Şekil 6.2	Buharda taşınan borun gözlenmesi.....	63
Şekil 6.2	Helezon sistemiyle buharda bulunan borun tutulması.....	64
Şekil 6.3	Döner bantlı jeotermal buhardaki bor tutucu.....	65

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Sektörde faaliyet gösteren uluslararası kuruluşlar.....	10
Tablo 2.2. %60 Kazanım Varsayımıyla, 4.5 Milyon kg/h'lik Salton Sea Jeotermal Akışkanının İşlenmesi ile Elde Edilen Kimyasal Ürünlerin Miktar ve Değerleri.....	17
Tablo 2.3. Jeotermal Akışkan Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları (Lindal Diyagram).....	23
Tablo 2.4. Türkiye'deki mevcut (Ocak 2000) jeotermal kullanım kategorileri...	27
Tablo 4.1. Emet jeotermal alanı su kimyasal içerikleri.....	44
Tablo 4.2. Salihli jeotermal kaynağının kimyasal su içerikleri.....	45
Tablo 4.3. Balçova termal kaynağının su kimyasal içerikleri.....	51
Tablo 4.4. Deprem bölgelerindeki jeotermal sahalarda yapılan gözlem ve ölçümler.....	52

ÖZET

Anahtar kelimeler: Jeotermal buhar, Bor, Helezon sistemi

Jeotermal enerji diğ er enerji türlerine göre daha temiz enerji kaynağıdır. Sera etkisi yaratan CO₂ emisyonu jeotermal enerjide sıfırdır. Fakat jeotermal enerjinin olumlu yanı sıra, atık akışkan sorunu, kabuklaşma ve korozyon gibi sorunlara neden olmaktadır. Sondajlı çalışmalar sonucu üretilen akışkanda zaman zaman kimyasal kirleticilerle karşılaşmaktadır (bor vb). Kuyu içinde ve tesisatta basıncın yüksek tutulması veya kimyasal inhibitör enjekte edilmesi sonucunda CaCO₃ kabuklaşmasına ekonomik ölçekte engel olunmaktadır. Bunun yanı sıra, termal suyun buharında taşınan borda çeşitli sorunlara sebep olmaktadır. Bunları minimuma indirmek ve buhardaki boru almak için helezon sistemi ve döner bant filtre sistemi geliştirilmiştir.

THE ELIMINATION AND EVALUTION OF BORON FROM GEOTHERMAL WATER USING NEW METOD

SUMMARY

Keywords: Geothermal vapor, Boron, Helezonic system

Geothermal energy when compared to other energy sources is a clean energy source. CO₂ emission which causes green house effect is zero in geothermal energy. But besides the positive effects, the fluid that is manufactured by drilling works is face to face with chemical waste such as boron from time to time. To increase the pressure inside the installation and well and the injection of chemical inhibitor would inhibit the formation of CaCO₃. Beside this, the boron that is carried by the vapor of thermal water causes several problems. To decrease these to a minimum helezonic system and band transport system is developed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Bilinen jeotermal alanların %95'i ısıtmaya ve kaplıca kullanımına uygundur. Türkiye'de toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı vardır. Türkiye'de 40 °C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Türkiye'de jeotermal enerji elektrik üretiminde, ısıtmacılıkta, kimyasal madde üretimi (sıvı karbondioksit) ve deri işlemesine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Türkiye'de elektrik üretimine yönelik ilk uygulamalar 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamıştır. Türkiye'de ilk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Gönen Park Otelinin ısıtılması ile olmuştur. Balıkesir-Gönen'de 1987 yılından beri ısıtma yapılmaktadır.

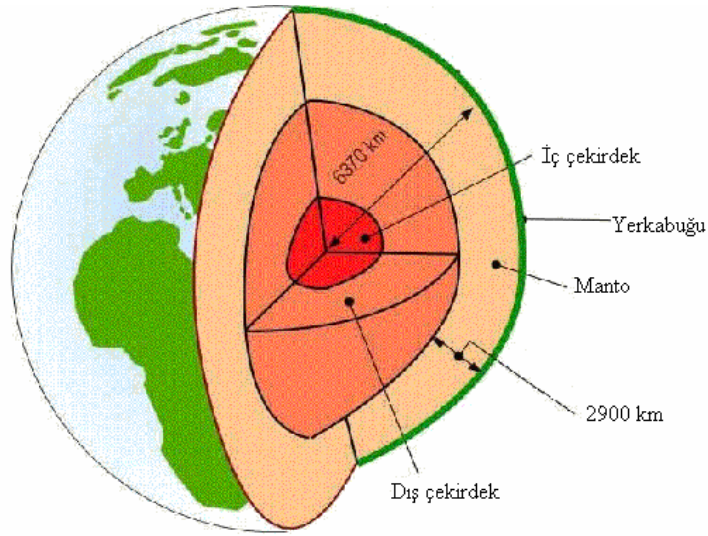
Türkiye'de bulunan suların bir kısmı bor içeren termal sulardır. Bu borun, termal sulardan alınması için birkaç çalışma yapılmıştır. Sıvı solüsyondan borun alınması için birçok metot akla gelmektedir. Bu metotlar arasında, iyon değiştirme yöntemi daha çok kullanılmıştır. Poli gruplara sahip kenetli fiberler, daha önce bor alınmasında kullanılmıştır.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalar, termal su içerisindeki borun engellemeye yöneliktir. Bu çalışmada özellikle jeotermal buharı içindeki borun miktarı araştırılmış ve muhtemel oluşturduğu zararları önlemeye yönelik yeni bir teknoloji sunulmuştur.

BÖLÜM 2. JEOTERMAL NEDİR

Yerkabuğunun kalınlığı kıtalarda 20-65 km'ye ulaşırken okyanus tabanlarında 5-6 km kalınlıktadır. Manto 2900 km kalınlıkta ve çekirdeğin yarıçapı yaklaşık 3470 kilometredir (Şekil 2.1) [1].

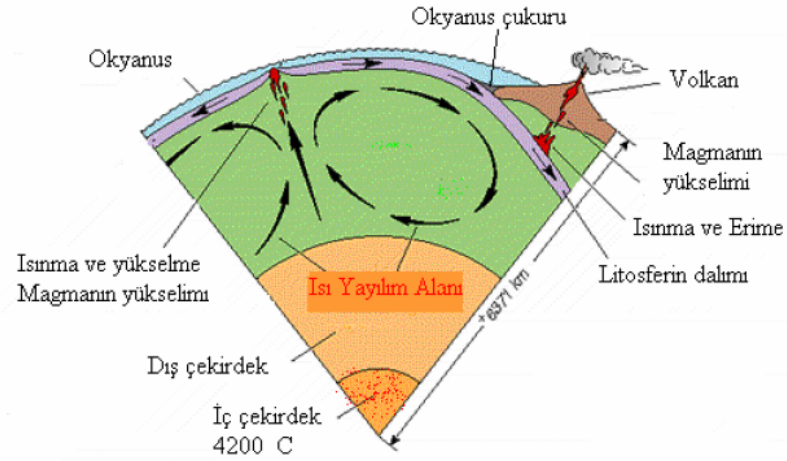
Yerkabuğu, manto ve çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri yer yüzeyinden merkeze doğru farklılık gösterir. Yerkürenin en üst kısmı litosfer olarak adlandırılır ve yerkabuğu ile üst mantoyu içerir. Kalınlığı okyanus tabanında 80 km ve kıtasal alanlarda 200 km olan litosfer katı değişmez bir davranış gösterir. Litosferin altındaki astenosfer 200-300 km kalınlıkta olup daha plastik bir özelliğe sahiptir [1].



Şekil 2.1. Yerkabuğu, manto ve çekirdek[1]

Astenosferin değişik tabakalarındaki sıcaklık farkı nedeniyle on milyonlarca yıl önce ısı yayılım (konvektif) hareketi ve ısı yayılım hücreleri oluşmuştur. Çekirdekten gelen ve radyoaktif elementlerin bozuşması sonucu devamlı olarak üretilen ısı, astenosferin oldukça çok yavaş hareket (yılda birkaç cm) etmesini sağlar. Derinlerdeki çok büyük hacimdeki sıcak kayalar, çevresindeki daha az yoğunluklu ve hafif kayaları yüzeye doğru iterler. Bu sırada yüzeydeki yoğun ve ağır kayalar derine doğru batarlar ve tekrar ısınarak yüzeye doğru yükselirler [1].

Litosferin çok ince olduğu (özellikle okyanuslarda) zonlarda: astenosferden yükselen çok sıcak ve bir kısmı eriyik halde bulunan maddeler litosferi yukarı doğru hareket ettirir ve kırar. Bu sistemin oluşturduğu ve oluşturmaya devam ettiği yüksekler okyanusta ada (İzlanda) oluşumlarına da neden olmaktadır. Astenosferden yükselen bu eriyik maddelerin çoğu, litosferi ikiye bölünerek farklı yönlerde hareket etmesine neden olur. Devamlı olarak üretilen bu yükseltiler ve farklı yönlerde hareket eden bu iki tabakanın çekimi okyanus tabanının her yıl birkaç cm her iki yöne de hareket etmesine neden olur. Sonuç olarak okyanus tabanı büyüme eğilimindedir. Fakat dünyanın yüzeyinde herhangi bir büyüme yoktur. Oluşan bu yeni litosfer formasyonu dünyanın diğer ucundaki litosferin küçülmesine neden olur. Bu durum dalma zonlarında çok büyük okyanus hendeklerinin oluşmasına neden olur. Bu dalma zonlarında aşağı doğru kıvrılan litosfer bitişik litosferin altına doğru dalar ve dolayısıyla derinlerdeki sıcak zona inerek litosferin bir kısmı tekrar eriyik hale gelir ve çatlak ve kırık zonlarından tekrar yüzeye yükselerek volkanları oluşturur. Sonuç olarak yüzeyde oluşan birçok volkana karşı diğer tarafta okyanus hendekleri oluşur [1].

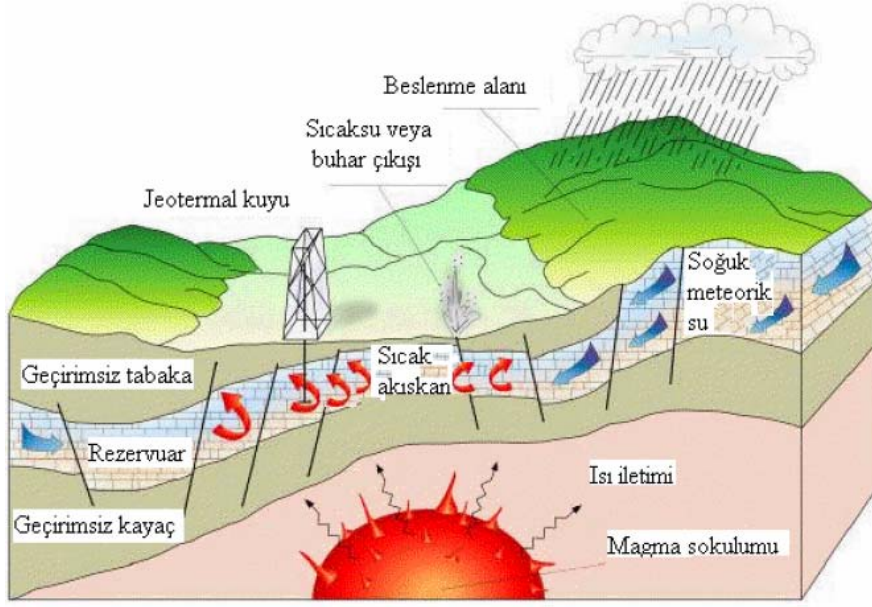


Şekil 2.2. Jeotermal sistemin oluşum mekanizması[1]

2.1. Jeotermal Sistemin Oluşumu ve Özellikleri

Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan (Şekil 2.2) [1].

Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan -ortalama 2,5-3 °C/100 m) olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayalardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO₂, H₂S gibi) içerir. Şekil 2.3 ideal bir jeotermal sistemi göstermektedir [1].



Şekil 2.3. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi[1]

Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişlemesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konveksiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir [1].

Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğinin kombinasyonuna bağlı olarak oluşur. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir. Örneğin, elektrik üretiminde kullanılan akışkan faz su ve buhar olarak ikiye ayrıldıktan sonra atık hale gelen su tekrar yeraltına enjekte edilerek tekrar kullanıma sunulabilir. Sıcak kuru kaya projelerinde ise sıvı ile birlikte rezervuar da yapaydır. Açılan sondaj kuyuları vasıtasıyla yüksek basınçlı soğuk su, sıcak geçirimsiz kayalara pompa ile basılmakta ve hidrolik çatlatma yapılarak suni rezervuar oluşturulmaktadır. Dışarıdan basılan soğuk su, açılan bu çatlakla nüfuz ederek çevresindeki doğal rezervuar olarak davranan kayaların sıcaklıklarını alır. Bu

rezervuarda açılan ikinci bir kuyu vasıtasıyla ısınan su, pompa ile çekilir ve ısısından faydalanılır. Sonuç olarak, soğuk suyun enjekte edildiği ve hidrolik çatlatma için kullanılan kuyu, hidrolik çatlatma yapılan rezervuar ve ısınan suyun rezervuardan çekildiği ikinci bir kuyu bu sistemi oluşturur. Bu sistem yüzeyde kurulan santralle bağlı kapalı bir sistemdir [1].

2.2. Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem jeotermal sıvısının içerdiği entalpidir. Entalpi, sıvının ısı (termal enerji) içeriğini gösterir ve onun değeri hakkında kaba bir değer verir. Ükelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılır:

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1- Düşük Sıcaklıklı Sahalar | (20-70°C) |
| 2- Orta Sıcaklıklı Sahalar | (70-150°C) |
| 3- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar | (150°C'den yüksek) [1] |

Diğer bir sınıflama ise su yoğunluklu jeotermal sistem ve buhar yoğunluklu jeotermal sistemdir.

Üç çeşit jeotermal sistemin varlığı saptanmıştır. Bunlar [2]:

2.2.1. Sıcak su sistemi

Yeryüzünde sıcak su esaslı sistemler Buhar esaslı sistemlerden yirmi kat daha fazla bulunmaktadır. Sıcak su sisteminde, derindeki hazne kaya içerisinde, basınç altında, yüksek sıcaklıkta, erimiş kimyasal madde bakımından çok zengin, farklı kimyasal özelliklerde sular bulunmaktadır. Bu tür sistemlerden sondajlarla yeryüzüne çıkarılan sıcak su ve buhar karışımından elde edilen buhardan, elektrik enerjisi üretilmekte, buharı alınmış sıcak su ise atılmaktadır [2].

2.2.2. Kuru buhar sistemi

Buhar esaslı sistemler, sıcak su esaslı sistemlerden farklı olarak, çok fazla ısınmış, nem miktarı az, sıcaklığı yüksek buhar üretirler. Bu tür buhar, bir enerji kaynağı olarak doğrudan jeotermal santrallere gönderilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bir bakıma bunlar yer kabuğu üzerinde oluşmuş, birer doğal nükleer reaktör olarak kabul edilir [2].

2.2.3. Sıcak kuru kaya sistemleri

Yerküremizde özellikle genç, aktif volkanik kuşaklarda, jeotermal gradyanın çok yüksek olduğu bölgelerde, sıcak su içermeyen yüksek sıcaklığa sahip kızgın, kuru kayalar bulunmaktadır. Bu tür sistemlere soğuk su basılarak sıcak su+ buhar karışımı alınmakta ve bu, bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [2].

2.3. Jeotermal Tarihi

- M.Ö. 10.000 Jeotermal akışkandan Akdeniz Bölgesi'nde çanak, çömlek, cam, tekstil, krem imalatında yararlanıyorlardı.
- M.Ö. 1.500 Romalı'lar ve Çin'liler doğal jeotermal kaynakları banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullanıyorlardı.
- 630 Japon İmparatorluğu'nda kaplıca geleneği yaygınlaştı.
- 1200 Jeotermal enerji ile mekan ve su ısıtması yapılabileceği Avrupa'lılar tarafından keşfedildi.
- 1322 Fransa'da köylüler doğal sıcak su ile evlerini ısıtmaya başladı.
- 1800 yine Fransa'da yerleşim birimlerinin jeotermal enerji ile ısıtılması yaygınlaştı.
- 1800 ABD'de kaplıcacılık hızla yaygınlaşmaya başladı.
- 1818 F. Larderel ilk defa jeotermal buhar kullanarak Borik Asit elde etti.
- 1833 P. Savi tarafından İtalya'daki Larderello Bölgesi'nin altındaki jeotermal rezervuarın yayılımı araştırıldı.

- 1841 İtalya (Larderello)'da yeni teknikler kullanılarak jeotermal kuyularının açılmasına başlandı.
- 1860 ABD (California)'da "The Geysers" tesisleri açıldı.
- 1870 ABD'de kaplıca ve benzeri yerlere büyük talep doğdu.
- 1891 ABD (Boise Idaho)'da ilk jeotermal bölge ısıtma sistemi uygulaması gerçekleşti.
- 1900 California (Calistoga)'da otuzdan fazla kaplıca merkezi açıldı.
- 1904 İtalya'da Larderello jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlandı.
- 1920 California (The Geysers)'de ilk jeotermal kuyular açıldı.
- 1929 Oregon (Klamath Falls)'da evler jeotermal enerji ile ısıtıldı.
- 1930 İzlanda'da büyük ölçekli merkezi ısıtma projesi çalışmaları başladı.
- 1930 İzlanda, ABD, Japonya ve Rusya'da jeotermal akışkanın kullanımı yaygınlaştı.
- 1943 İtalya (Larderello) jeotermal sahasından elektrik üretimi 132 MWe kapasiteye erişti.
- 1945 Süt pastörizasyonunda ilk kez jeotermal akışkandan yararlanıldı.
- 1945 ABD'de buzlanmaya karşı yer ısıtmasında, hacim ısıtmasında ve sera ısıtmacılığında jeotermal ısı kullanıldı.
- 1958 Yeni Zelanda'da "Flash Metodu" ile jeotermal elektrik üretimine başlandı.
- 1960 California (The Geysers) jeotermal alanında ticari elektrik üretimi için ilk kez kuru buhar kullanıldı.
- 1963 Türkiye'de ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmir (Balçova)'de açıldı.
- 1966 Japonya'da ilk jeotermal elektrik santrali kuruldu.
- 1968 Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyu Denizli (Kızıldere)'de açılarak, Denizli (Kızıldere) jeotermal alanı keşfedildi.
- 1969 İkincil çevrim jeotermal teknolojiler ABD (California)'de başarı ile uygulandı.
- 1969 Fransa'da büyük jeotermal ısıtma projeleri başladı.
- 1970 Çin'de ilk kez elektrik üretiminde jeotermal akışkandan yararlanıldı.
- 1975 ABD (California)'de "The Geysers" jeotermal alanındaki kaynaklardan 500 Mwe'lık elektrik üretimi kapasitesine ulaşıldı.
- 1978 ABD (Nevada)'de ilk jeotermal gıda kurutma tesisi kuruldu.

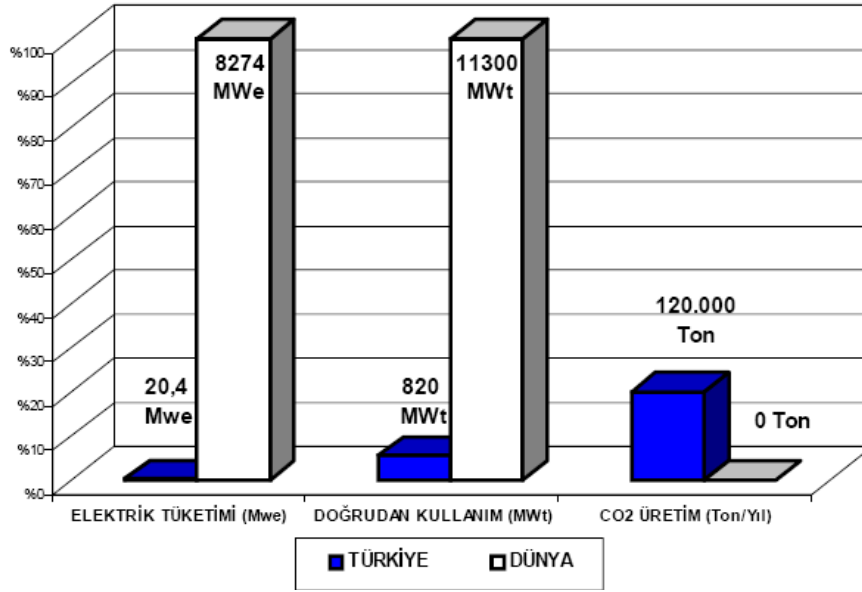
- 1978 Meksika (New Mexico)'da kızgın kuru kayada jeotermal rezervuar oluşturulup test edilmeye başlandı.
- 1979 Endonezya'da ilk jeotermal elektrik üretimi gerçekleştirildi.
- 1980 Batı Amerika'da bazı jeotermal elektrik santralleri kuruldu.
- 1981 Hawaii (Puna)'de kurulan jeotermal tesisler faaliyete geçti.
- 1982 Türkiye'de Aydın (Germencik) jeotermal alanı keşfedildi.
- 1983 Türkiye'de kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi İzmir (Balçova)'de kuruldu.
- 1984 Türkiye'nin ilk ve Avrupa'nın İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (20.4 MWe kapasiteli) Denizli (Kızıldere)'de hizmete açıldı.
- 1984 ABD (Oregon)'de mantar yetiştiriciliğinde jeotermalden yararlanıldı.
- 1985 Jeotermal elektrik santrallerinde yaklaşık 2.000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşıldı.
- 1987 ABD (Nevada)'de jeotermal akışkan altın üretiminde kullanıldı.
- 1987 Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Balıkesir (Gönen)'de işletmeye açıldı.
- 1990 ABD'de jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi 3.000 MWe'e yükseldi.
- 1992 Dünya'da 21 ülkede jeotermal elektrik üretimi yaklaşık 6.000 MWe'e ulaştı.
- 1996 Türkiye'de 15.000 konut ana kapasiteli İzmir (Balçova) jeotermal merkezi ısıtma sistemi devreye girdi.
- 2000 Tüm Dünya'da jeotermalden yaklaşık 8000 MWe jeotermal elektrik ve 17.000 MWt civarında jeotermal doğrudan kullanım gerçekleştirildi.
- 2001 Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma gücü 493 MWt'e ulaştı. Türkiye böylece jeotermal elektrik dışı uygulamalarda Dünya'nın 5. büyük ülkesi durumuna geldi [3].

2.4. Dünyada Mevcut Durum

Tablo 2.1. Sektörde faaliyet gösteren uluslararası kuruluşlar [1]

ŞİRKET İSMİ	ÜLKE	ŞİRKET İSMİ	ÜLKE
UNION OIL	A.B.D	ENER SYSTEM	FRANSA
GRC	A.B.D	BRGM (CFG)	FRANSA
ORMAT	A.B.D	SPAC	FRANSA
MAGMA COMPANY	A.B.D	GEOHERMA	FRANSA
GHC Geoheat Cent.	A.B.D	GAUDRIOT	FRANSA
GEOHERMAL DEVELOPMENT ASS.	A.B.D	ORKUSTOFNUN	İZLANDA
GEO HILLS ASSOCIATES	A.B.D	VIRKIR	İZLANDA
GEOHERMAL POWER INCORPORATION	A.B.D	ROBERTSON RESEARCH INTERNATIONAL LIMITED	İNGİLTERE
CALIFORNIA ENERGY	A.B.D	ICE	KOSTA RİKA
JICA	JAPONYA	VAG	İZLANDA
KEPKO	JAPONYA	ASEA	İSVEÇ
WEST-JEC	JAPONYA	PNOC	FİLİPİNLER
JAPEX	JAPONYA	PERTAMINA	ENDONEZYA
MITSUBISHI	JAPONYA	UNOCAL	ENDONEZYA
TOSHIBA	JAPONYA	MNL	ENDONEZYA
NEDO	JAPONYA	PLN	ENDONEZYA
KANEMATSU	JAPONYA	GTN	ALMANYA
GENZL	Y.ZELANDA	TERRAWATT	ALMANYA
DESIGN POWER	Y.ZELANDA	MOL	MACARİSTAN
DSIR	Y.ZELANDA	MTA	TÜRKİYE
ELC ELECTROCONSULT	İTALYA	TEAŞ (elek.üret.)	TÜRKİYE
DAL	İTALYA	ORME JEOTERMAL A.Ş.	TÜRKİYE
ENEL	İTALYA	KARBOGAZ (CO ₂ üretimi)	TÜRKİYE
ERGA	İTALYA	UKAM(Hacettepe Üni. Karst Su Kaynakları Uyg. ve Araşt. Merk.	TÜRKİYE
AQUATER	İTALYA	GAYZER YERBİLİMLERİ	TÜRKİYE
ANSALDO (türbün yap.)	İTALYA	İHLAS	TÜRKİYE
KIRŞEHİR TERMAL TURİZM A.Ş.	TÜRKİYE	DIYADİN JEOTERMAL	TÜRKİYE
SİMSER A.Ş.	TÜRKİYE	GÖNEN KAPLICALARI İŞL.A.Ş.	TÜRKİYE
AFYON-ORUÇOĞLU A.Ş.	TÜRKİYE	BALÇOVA LTD.	TÜRKİYE
AFJET	TÜRKİYE	SANJET A.Ş.	TÜRKİYE
DOĞAN JEOTERMAL Ltd.	TÜRKİYE	KIZILCAHAMAM JEOTERMAL TESİSLERİ A.Ş.	TÜRKİYE

İlk çağlardan beri, sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da, asitborik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1905 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında, gücü 250 KWe olan ilk turbojeneratör kurulmuştur [1].



Şekil 2.4. Jeotermal enerjinin Dünyada ve Türkiye’de değerlendirilmesi ve karşılaştırılması[1]

1930’larda ise bu enerji İzlanda’nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara daha sonra, elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960 da Amerika’da, 1961 de Meksika’da ve 1966 da Japonya’da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımında önemli gelişmeler sağlanmıştır. 1992 yılı verilerine göre dünyadaki elektrik kurulu güç kapasitesi 6.275,3 MWe ve 1993 yılı verilerine göre ısıtma amaçlı doğrudan kullanım ise 13.044 MWt’a ulaşmıştır [1].

2.4.1. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar

Dünyada, jeolojik özellikleri nedeniyle (genç tektonizma ve volkanizma) birçok jeotermal kuşak bulunmaktadır [4].

Güney Amerika’nın batı sahillerinde bulunan And Kuşağı, Venezuela, Kolombiya, Ekvador, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin’i kapsamaktadır. Çok sayıda aktif volkanizmanın oluşumu nedeniyle de yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin gelişmesine

neden olmuştur. Ancak buralarda mevcut jeotermal alanlar henüz çok fazla değerlendirilmemiştir [4].

Hindistan Platosu ile Avrasya Platosu'nun çarpışması sonucu oluşan Alp-Himalaya Kuşağı, dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğunda olan bu kuşak, İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Çin, Myanmar ve Tayland'ı kapsamaktadır [4].

Aktif olan Doğu Afrika Rift Sistemi, Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya, Djibuti gibi ülkeleri içine alır. Aktif volkanizma Kenya, Etiyopya ve Tanzanya'dadır [4].

Karayip Adaları, aktif volkanizmanın hakim olduğu bölge olup, önemli jeotermal potansiyel görülmektedir [4].

Guatemala, El Salvador, Nikaragua, Kostarika ve Panama'yı etkileyen Orta Amerika Volkanik Kuşağı, aktif çok sayıda jeotermal sistemin oluşmasına yol açmıştır. Bunların dışında Kanada, ABD, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa ve Bağımsız Devletler Topluluğu da farklı tektonik oluşumların etkisiyle verimli jeotermal sahalara sahip bulunmaktadır [4].

2.5. Jeotermal Kaynakların Tüketim Alanları

Jeotermal enerjinin en önemli kullanım alanları elektrik üretimi ile konut ve sera ısıtmacılığıdır. Jeotermal enerji ayrıca, tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde, hayvan çiftliklerinin, cadde ve havaalanı pistlerinin ısıtılmasında, yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde kullanılmaktadır [1].

Bunların yanı sıra yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyonunda, konservecilikte, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayiinde, kağıt ve dokuma endüstrisinde ağartma maddesi olarak, derilerin kurutulması ve işlenmesinde, şeker, ilaç, pastörize süt

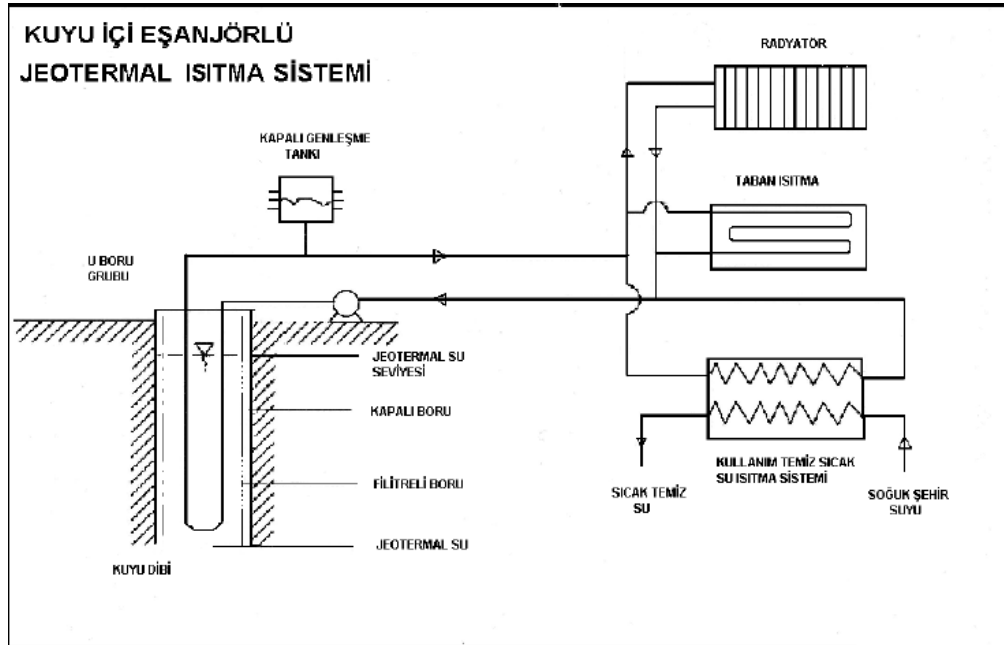
fabrikalarında, soğutma tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca jeotermal akışkandan çeşitli kimyasal maddeler elde edilebilmektedir [1].

2.5.1. Isıtma

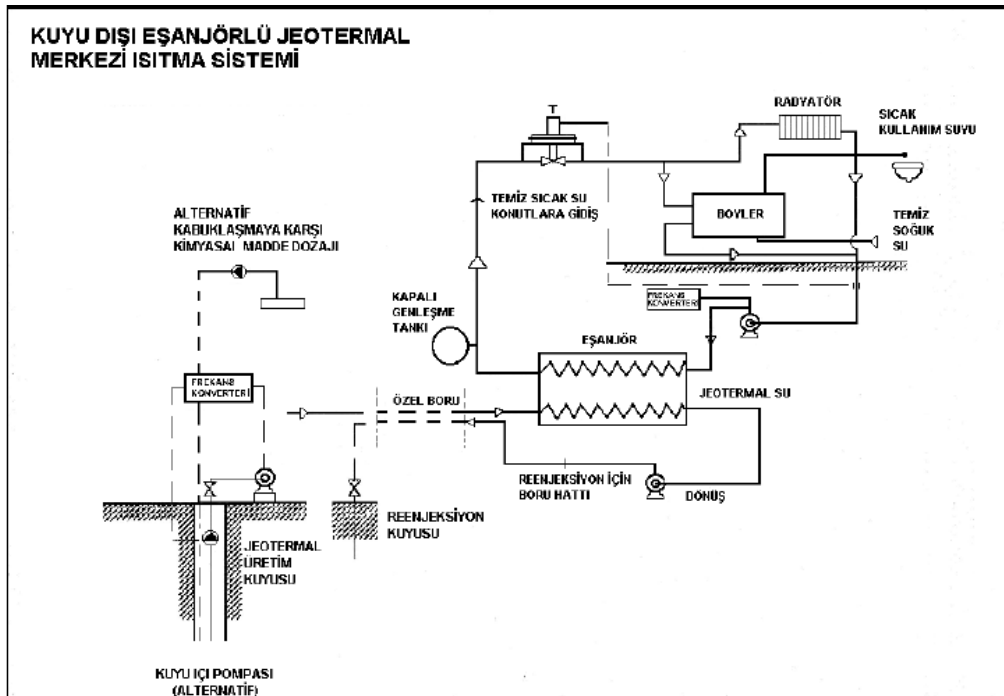
Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtımada kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı pompaları yardımıyla suların sıcaklığı 5 °C 'ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir. Şöyle ki:

- 40 °C 'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve de sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Türkiye, B.D.T., Macaristan, Kanada, Çin, Meksika, Arjantin, Kuzey Avrupa Ülkeleri),
- Seraların ısıtılması ile turfanda sebzeçilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve dünyadaki jeotermal doğrudan kullanım değerin önemli bir bölümü sera ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Macaristan, İtalya, Türkiye, ABD, Japonya, Meksika, Doğu Avrupa Ülkeleri, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 °C'den fazla sıcaklıktaki akışkan kullanılarak seraların ısıtılmasında,
- Tropikal bitki (Japonya) ve balık (Japonya'da timsah yetiştiriciliği dahil) yetiştirilmesinde (Filipinler, Çin, İzlanda),
- Tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında (Japonya, ABD, Yeni Zelanda, Macaristan, B.D.T),
- Toprak, cadde, havaalanı pistlerinin (Sibirya) vb. ısıtılmasında ve yüzme havuzu, termal tedavi ve diğerturistik tesislerde (İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye, Çin, Endonezya, Yeni Zelanda, Arjantin, Doğu Avrupa Ülkeleri, B.D.T) kullanılmaktadır [1].

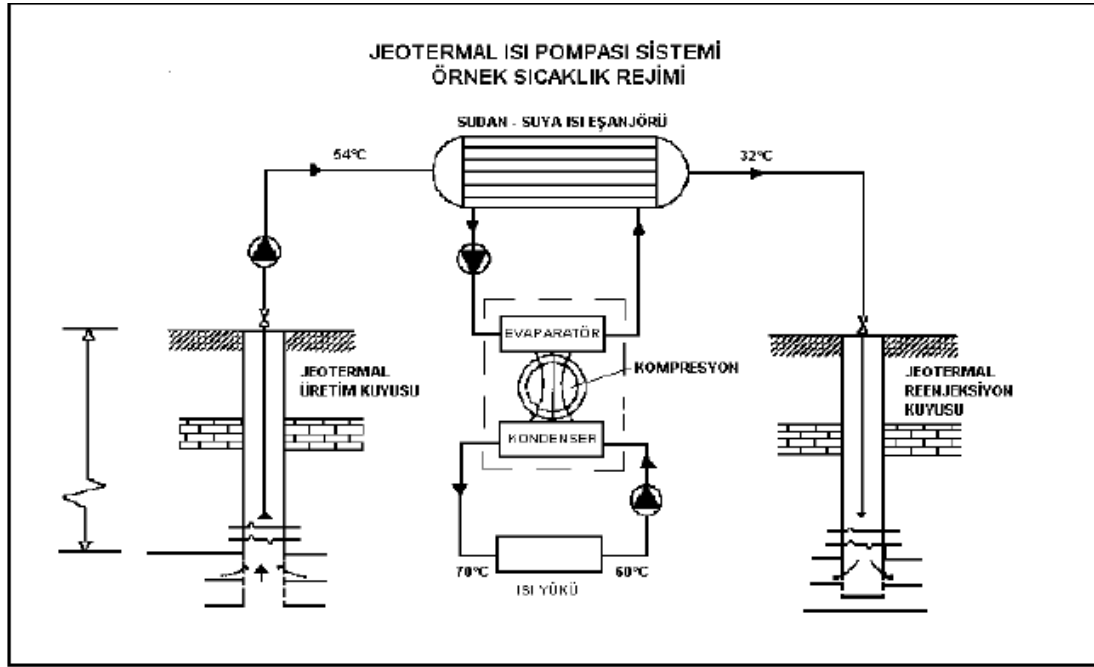
Kuyuiçi ve kuyudışı eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemleri ile jeotermal ısı pompası sistemlerine dair şemalar Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kuyuiçi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi[1]



Şekil 2.6 Kuyudışı eşanjörlü jeotermal merkezi ısıtma sistemi



Şekil 2.7. Jeotermal ısı pompası sistemi örnek sıcaklık rejimi[1]

2.5.2. Endüstriyel uygulamalar

Jeotermal akışkan endüstriyel uygulamalar çerçevesinde;

- Yiyeceklerin kurutulmasında (balık, yosun vb.) ve sterilize edilmesinde, konservecilikte (Japonya, ABD, İzlanda, Filipinler, Yeni Zelanda, Tayland),
- Kerestecilikte ve ağaç kaplama sanayiinde (Yeni Zelanda, Meksika, B.D.T),
- Kağıt (Yeni Zelanda, İzlanda, Japonya, Çin, B.D.T), dokuma ve boyamacılıkta (Yeni Zelanda, İzlanda, Çin ve B.D.T),
- Derilerin kurutulması ve işlenmesinde (Japonya vb.),
- Bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtma (Japonya),
- Soğutma tesislerinde (İtalya, Meksika) ve
- Beton blok kurutulmasında (Meksika) kullanılmaktadır. Ayrıca, bunlara;
 - Soğutularak içme suyu olarak kullanımını (Macaristan, B.D.T, Tunus, Cezayir) ve

- Yıkama amaçlı olarak çamaşırhanelerde kullanımını (Japonya) ilave etmek gerekir [1].

2.5.3. Kimyasal madde üretimi

Kimyasal madde üretimi çerçevesinde;

- Jeotermal akışkan borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit:D₂O), amonyum sülfat, potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde (İtalya,ABD, Japonya,Filipinler,Meksika),
- Jeotermal akışkandaki CO₂'den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır (ABD, Türkiye) (Geothermal Education Office, Steam Press Journal., 1993,USA) [1].

Dünyada jeotermal akışkandan kimyasal madde üretimi gibi faydalanma;

Toplam çözünmüş maddelerin 10.000 ppm'den daha fazla olduğu akışkanlarda minerallerin değeri daha çok önem taşımaktadır [5].

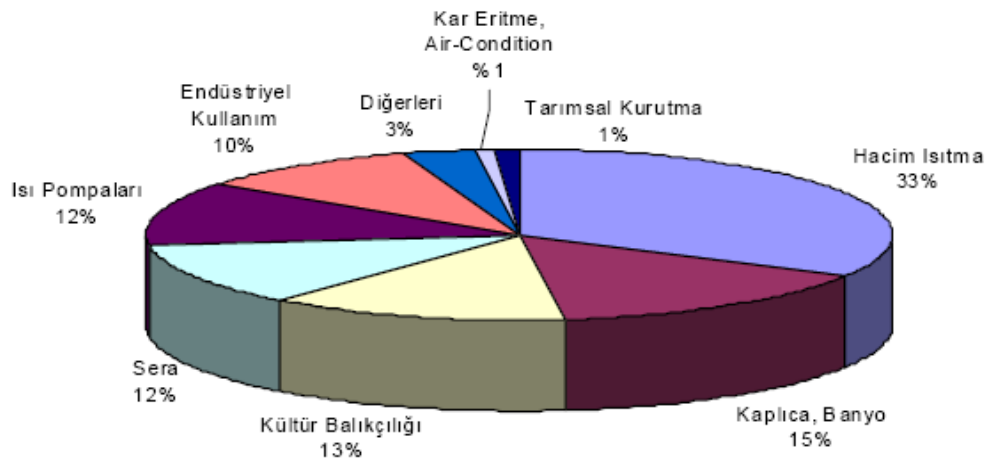
Salton Sea'de jeotermal akışkandan elde edilen minerallerin toplam üretim değeri 148 Milyon \$/yıl'dır (Tablo 2.2) [5].

Tablo 2.2. %60 Kazanım Varsayımıyla, 4.5 Milyon kg/h'lik Salton Sea Jeotermal Akışkanının İşlenmesi ile Elde Edilen Kimyasal Ürünlerin Miktar ve Değerleri[1]

ÜRÜN	PİYASA FİYATI (\$/Ton)	ÜRETİM MİKTARI (1000Ton/Yıl)	ÜRETİM DEĞERİ (Milyon\$/Yıl)
NaCl	1	3.240	3,2
KCl	62	780	48,3
CaCl ₂	60	1.980	18,0
Zn	700	12	8,4
MnO ₂	175	55	9,6
LiCl	1.900	32	60,8
TOPLAM			148,3

2.5.4. Tüketim miktar ve değerleri

Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına göre kullanılma imkânları oldukça geniştir. Jeotermal akışkanların dünyadaki kullanımları ile ilgili yüzdesel dağılım aşağıdaki gibidir (Şekil 2.8):



Şekil 2.8. Jeotermal akışkanların dünyadaki kullanımları ile ilgili yüzdesel dağılımı [1]

2.5.6. Üretim

Jeotermal enerji üretimi; yerin derinliklerinde bulunan akışkanın sondajlar aracılığı ile üretilerek doğrudan veya dolaylı olarak ekonomik kullanıma sunulması ile olur. Bu enerji türünde arama kuyuları da, olumlu sonuç alındığı ve uygun teknoloji ile teçhiz edildiği takdirde üretim kuyusu olarak kullanılabilir [1].

2.5.7. Üretim yöntemi ve teknolojisi

Jeotermal enerjide üretim teknolojisi, yer ısısının akışkanlar ve sondajlar aracılığı ile yüzeye çıkartılması ve bu enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, ısı enerjisi şeklinde doğrudan kullanımı, endüstri ve turizm alanında yararlanılması şeklindedir [1].

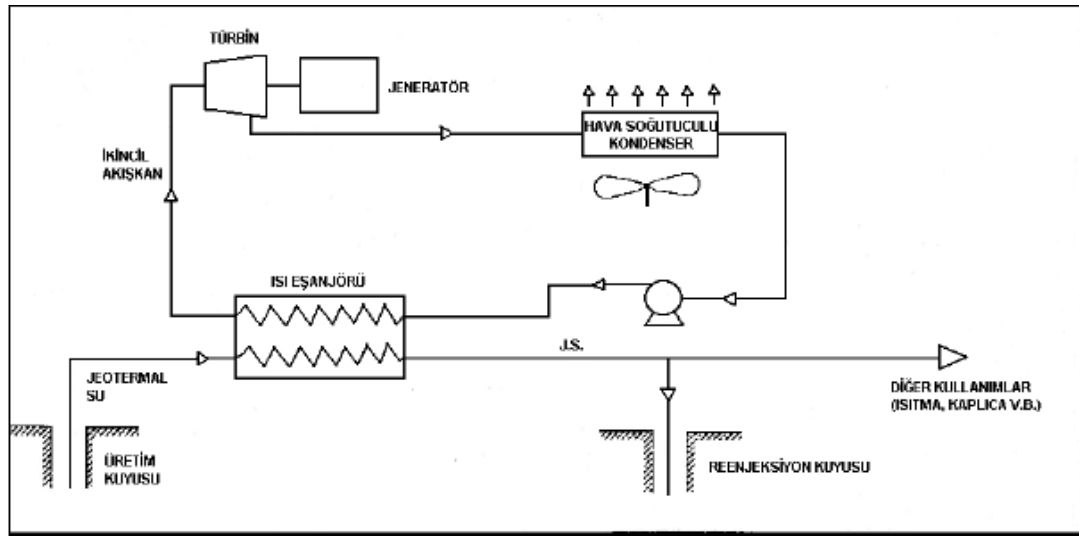
2.6. Elektrik Üretimi

Gerekli araştırmaları yapılmış olan bir jeotermal sahada açılan kuyulardan üretilen akışkan, seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra buhar, türbinlere gönderilerek jeneratör aracılığı ile elektrik üretilir [1].

Jeotermal sistemler; buhar hâkim ve su hâkim sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Santral kurulmasında, sahanın durumu da göz önüne alınarak, en ekonomik ve verimli teknolojiyi seçmek gereklidir [1].

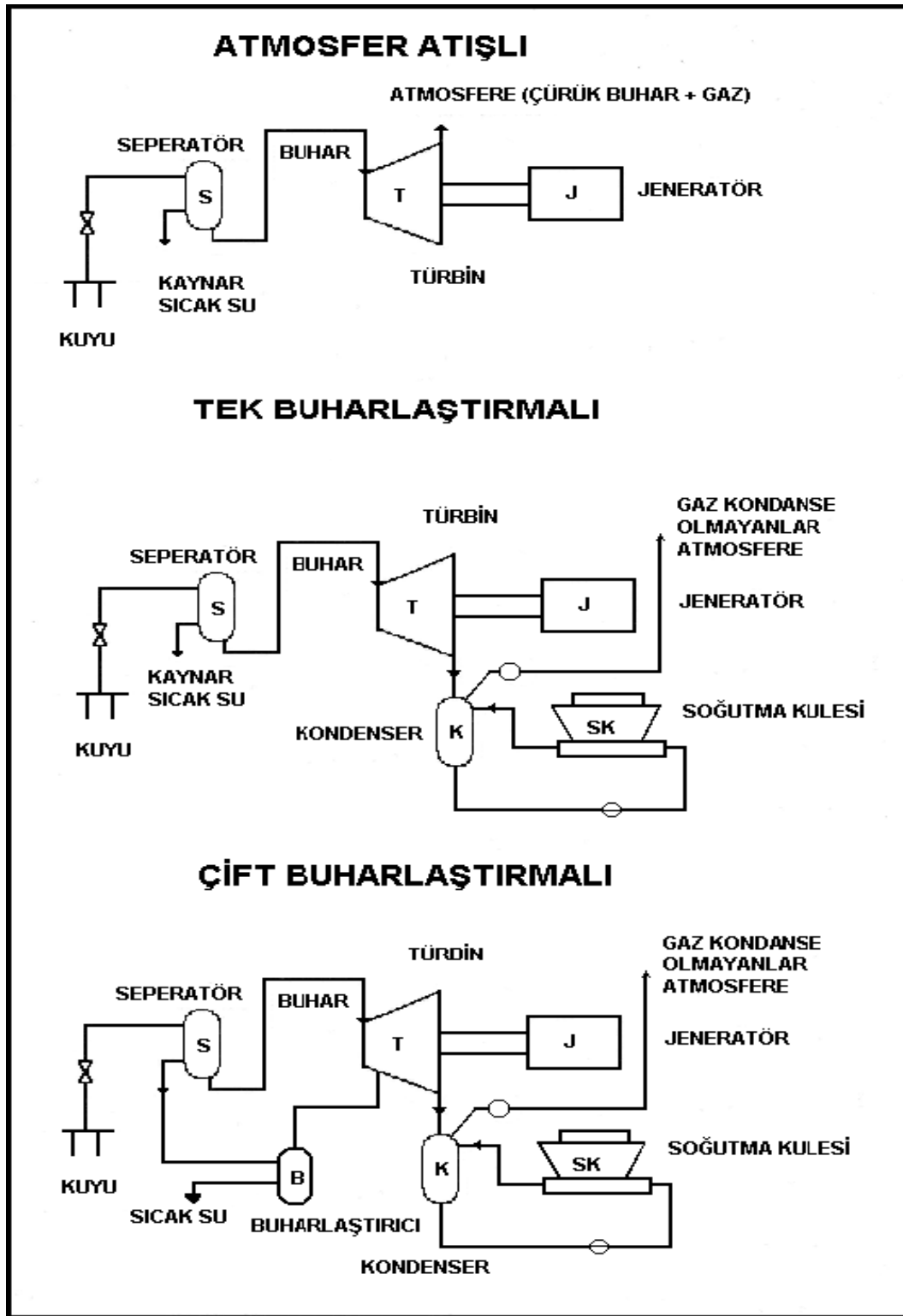
Jeotermal akışkandan elektrik üretimi için tek buharlaşmalı “single flash cycle” sistem yerine, yüksek verimli çift buharlaşmalı “double flash cycle” sistemi 1977 yılından beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca “total flow” ve “binary cycle” tipi santrallarda da verim yüksek olmaktadır. “Double flash cycle” sisteminde akışkan, iki aşamada iki ayrı seperatörde buharlaştırılarak türbine gönderilir. Santralin verimi “single flash cycle” sistemine göre %15 ile %20 daha fazladır. KWh başına net maliyetin %10 ile %20 daha düşük olduğu belirtilmektedir [1].

“Binary Çevrim” sisteminin esası jeotermal akışkanın hiç bir şekilde flashing edilmeden, buharından, gazından ve suyundan ayrıştırılmadan doğrudan doğruya elektrik üretim amaçlı olarak sistemin ısı eşanjörüne verilip, bu akışkanın enerjisini ikincil akışkana aktarıp direkt olarak reenjeksiyona gittiği bir sistemdir (Şekil 2.9). Rezervuar sıcaklığının 100-200 °C olduğu sahalar için son derece uygun optimum çözüm sistemlerdir [1].



Şekil 2.9. Binary çevrim jeotermal elektrik üretim sistemi[1]

“Single flash” orta büyüklükte 200 °C dolayındaki sıcaklıklı sahalar için uygundur. Bu sistemde buhar separatörde ayrılarak doğrudan türbine gönderilir. “Double flash” sistemler elde edilen akışkandan maksimum ölçüde yararlanmak için kullanılan sistemlerdir. Akışkan birinci yüksek basınç seperatöründe ayrıştırıldıktan sonra sıcak su ikinci bir seperatöre (orta kademe) gönderilerek tekrar ayrıştırılır ve iki seperatörde ayrıştırılan buhar türbinlere gönderilir (Şekil 2.10) [1].



Şekil 2.10. Sıcaksu egemen jeotermal elektrik üretim sistemleri[1]

Bilinen jeotermal elektrik üretim santral tipleri şunlardır:

- Kuru buharlı jeotermal santraller,
- Buhar ayırmalı (tek, çift faz) santraller,
- Binary-Kalina çevrim santraller,
- Faz dönüşüm ve Binary çevrim kombine santraller,
- Hibrit jeotermal santraller,
- Toplam akış sistemleri [1].

2.7. Isı Enerjisi Üretimi

Jeotermal akışkanın kimyasal özelliğine bağlı olarak ısıtma sistemleri önemli farklılıklar göstermektedirler. Jeotermal akışkan, kimyasal özelliğine göre, problem yaratmayacaksa, ısıtılacak alanda radyatör ve uygun borular sistemi aracılığı ile dolaştırılarak, kimyasal açıdan problem yaratacaksa (kabuklaşma, korozyon) ısı eşanjörleri aracılığı ile ısısı düşük kimyasal konsantrasyonlu suya (şehir şebeke suyuna) aktarılmakta ve ısıtma sağlanmaktadır. Bu eşanjör sistemi ise kuyu başı ve kuyu içi eşanjörleri şeklinde, sahanın ve akışkanın özelliğine göre kurulmaktadır [1].

Isıtma sistemlerinin verimliliği, sürekliliği veya başarısı teknolojisine uygun olarak kullanılmasına bağlıdır [1].

Kimyasal madde içeriğine göre jeotermal akışkanlardan endüstride beyazlatıcı olarak ve “kimyasal madde” eldesinde yararlanılır [1].

Isı pompaları daha derin kuyuların açılmasına alternatif olarak sıcaklıkların yükseltilmesinde kullanılmaktadır. Bu, jeotermal akışkan debisinin sınırlı olduğu durumlarda ΔT 'yi büyütürerek akışkandan daha fazla enerji alınması ile sağlanır [1].

Endüstriyel ısı pompaları, 15 ile 55 °C arasındaki sıcaklıkları, tersinmez ısı pompası ilkesi ile yükselterek kullanılabilir seviyeye getirirler. Isı pompaları sayesinde günümüze kadar elde edilen en yüksek sıcaklık 110 °C olmuştur. Genellikle sıcaklık yükseltilmesi (ısıtma suyu sıcaklığı ile atık jeotermal akışkan sıcaklığının farkı) 44 ile 50 °C arasında olur [1].

Proseslerde ısı pompası uygulanarak, 30-50 °C sıcaklıktaki jeotermal akışkanlar ekonomik şartlar incelenmek koşuluyla kullanıma sunulabilir [1].

2.8. Ürün Standartları

Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın. Lindal diyagramı jeotermal kaynaklardan faydalanmanın iki önemli yönünü gösterir:

- a- Faydalanılan akışkanın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılması jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini artırır.
- b- Jeotermal kaynağın sıcaklığı mümkün kullanılma alanını sınırlar (Tablo2.3) [1].

Tablo 2.3. Jeotermal Akışkan Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları (Lindal Diyagram)[1]

ISI (°C)	KULLANIM ALANI	Elektrik Üretimi	Isıtma
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma	+	
170	Hidrojen sülfid yoluyla ağır su eldesi, Diatomitlerin kurutulması	+	
160	Kereste, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	+	
150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi	+	
140	Çiftlik ürünlerinin kurutulması (Konservencilik)		+
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi		+
120	Temiz tuz eldesi, tuzluluk oranının artırılması		+
110	Çimento kurutulması		+
100	Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.) Yün yıkama ve kurutma		+
90	Balık kurutma		+
80	Ev ve sera ısıtma		+
70	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)		+
60	Kümes ve ahır ısıtma		+
50	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar		+
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma (alt sınır), sağlık tesisleri		+
30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri		+
20	Balık çiftlikleri		+

2.9. Türkiye’de Durum

2.9.1. Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri

Türkiye’de 40 °C’nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bunlardan Aydın-Germencik (232°C), Denizli-Kızıldere (242°C), Çanakkale-Tuzla (173°C), Aydın-Salavatlı (171°C) elektrik üretimine uygun, gelişen teknolojilere ve gerekli desteğin temin edilmesine göre Manisa-Salihli-Caferbeyli(155°C), Kütahya-Simav(162°C), İzmir-Seferihisar (153°C)-Dikili(130°C), Denizli- Gölemezli (arama aşamasında) elektrik üretilebilir, diğerleri ise doğrudan kullanıma uygundur [1].

Aydın-Germencik sahasının 150 MWe kapasitesi olduğu tahmin edilmiştir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan içeren sahalarda genelde genç tektonik etkinlikler sonucu oluşan grabenlerden dolayı Türkiye'nin batısında yer almaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalarda ise volkanizmanın ve fay oluşumlarının etkisi ile Orta ve Doğu Anadolu'da ve Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca da kuzeyde yer almaktadır [1].

Türkiye'de elektrik üretimine yönelik ilk uygulamalar 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamış ve 1974'de 0.5 MWe kapasiteli pilot santral devreye girmiştir. Daha sonra 1984 yılında TEAŞ tarafından 20.4 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. Aydın-Germencikte ise kapasitesi 50-100 MWe arasında değişebilecek bir santralin kurulmasına yönelik girişimler sürdürülmektedir [1].

Türkiye'de ilk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Gönen Park Otelinin ısıtılması ile olmuştur. Balıkesir-Gönen'de 1987 yılından beri ısıtma yapılmaktadır [1].

Günümüzde ise 32 MWt kapasiteli 3400 konut eşdeğeri ısıtma yapılmakta ve 54 adet tabakhane için proses sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Sistem 4000 konuta büyütülmektedir [1].

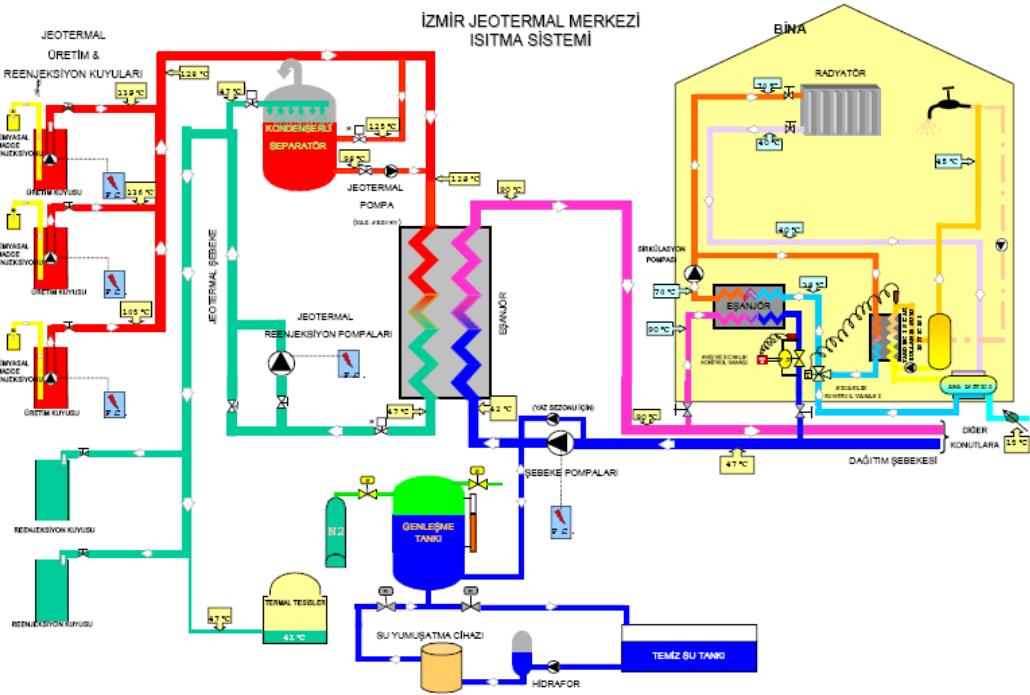
Türkiye'de halen işletilmekte olan başlıca jeotermal ısıtma sistemleri arasında, 143,3 MWt kapasite ile Balçova'da konut 9600 konut eşdeğeri ısıtma (Şekil 2.11), 100.000 m² sera ısıtması ve Dokuz Eylül Üniversitesi kampüs ısıtması Türkiye'nin en büyük ve önemli jeotermal uygulaması olarak öne çıkmaktadır [1].

25 MWt kapasite ile Simav'da 3200 konut ısıtılmaktadır. Yörede ayrıca 2. etap için toplam 6500 konut ısıtması projelendirilmiştir. Kırşehir'de 1800 konut kapasiteli jeotermal merkezi ısıtma sistemi 29 Ekim 1993 tarihinde yapılarak devreye alınmış olup, halen 1800 konut ısıtması yapılmaktadır [1].

Sandıklı jeotermal merkezi ısıtma sistemi 9318 m²'lik jeotermal su taşıma hattına sahip olup şu anda 1600 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır. Konut bağlantıları devam etmektedir [1].

Bugünkü teknoloji ile 35 °C' nin üzerindeki (ısı pompası hariç) jeotermal akışkanlar ile ısıtma yapılmaktadır. Buna örnek olarak, Havza Kaplıcaları, Haymana'da 2 adet caminin 43 °C sıcaklıktaki jeotermal akışkanla ısıtılması, Afyon- Oruçoğlu Termal Resort tesisleri (49 °C) ve Rize-Ayder kür merkezi ve kaplıca tesisi (54 °C) verilebilir [1].

Türkiye'de bulunan 170 jeotermal sahanın mevcut durumu ve su kapasiteleri özet olarak Ek-1'de verilmiştir.



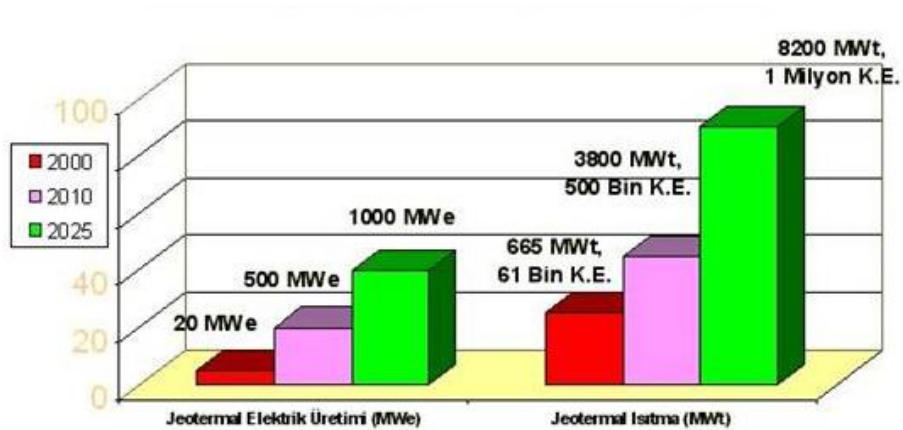
Şekil 2.11. İzmir-Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi [1]

2.9.2. Potansiyel

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye’de toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı vardır [1].

Bilinen jeotermal alanların %95’i ısıtmaya ve kaplıca kullanımına uygundur. Türkiye’de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir. Ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır. Halen 20.4 MWe brüt kurulu güce sahip Denizli-Kızıldere santrali günümüzde net 12 MWe elektrik üretmektedir (Şekil 2.12) [1].

Balneolojik amaçlı kullanımlar için sıcaklık alt sınırı 20 °C olarak kabul edilmekte olup 600 kaynak grubuyla ülkemiz Avrupa’da birinci sırayı almaktadır. Sadece kaynakların boşalimleri değerlendirildiğinde potansiyel 600 MWt civarındadır. MTA Genel Müdürlüğünün 35 yıllık süre içerisinde açtığı toplam 120.000 m derinliğindeki 305 adet jeotermal amaçlı sondaj ile bu potansiyele yaklaşık 2000 MWt katkı sağlanmıştır. Böylelikle, Türkiye’nin ispatlanmış termal kapasitesi (kuyu+kaynak) 2600 MWt civarına ulaşmıştır. Muhtemel jeotermal potansiyelimiz ise 31.500 MWt’dır (5.000.000 konut eşdeğeri). Bu da Türkiye’deki konutların en az % 30’unun jeotermal kaynaklarla ısıtılacağı anlamına gelmektedir. Bu da 30 Milyar m³ doğalgaz eşdeğeridir.



Şekil 2.12. Türkiye’nin jeotermal mevcut durumu ve projeksiyonları[1]

2.9.3. Tüketim

Türkiye’de jeotermal enerji elektrik üretiminde, ısıtmacılıkta, kimyasal madde üretimi (sıvı karbondioksit) ve deri işlemesine kadar birçok alanda kullanılmaktadır [1].

Bugüne kadar başlıca tüketim alanı ısıtmacılık (konut, sera) ve sağlık turizmi olmuştur. Türkiye’deki jeotermal enerji tüketiminin % 94’ü ısıtma amaçlı olmaktadır. En son yapılan uygulamalar da göz önüne alındığında Türkiye’de işletmeye alınmış merkezi ısıtma sistemleri ve termal tesis ısıtmalarının toplam kapasitesi 1999 yılı itibariyle 493 MWt’dir [1].

2.9.4. Tüketim miktar ve değerleri

Ülkemizde jeotermal enerji yukarıda söz edildiği gibi elektrik üretimi, ısıtmacılık, CO₂ üretimi ve sağlık turizmi amaçlı olarak kullanılmaktadır [1].

Ocak 2000’e göre Türkiye’deki jeotermal kullanım kategorileri Tablo-2.4.’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Türkiye’deki mevcut (Ocak 2000) jeotermal kullanım kategorileri

TÜRKİYE’DEKİ MEVCUT JEOTERMAL KULLANIM KATEGORİLERİ	KAPASİTE
JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİ (ŞEHİR, KONUT, TERMAL TESİS, SERA v.b.)	51.600 KONUT EŞDEĞERİ 493 MWt
KAPLICA KULLANIM	194 KAPLICA 327 MWt
MEVCUT OCAK 2000 HALINE GÖRE TOPLAM DOGRUDAN KULLANIM	820 MWt = YILLIK 104 TRİLYON TL KARŞILIĞI 495 BİN TON* FUEL-OIL
ELEKTRİK ÜRETİMİ	20 MWe
KARBONDİOKSİT ÜRETİMİ	120.000 Ton/yıl

2.9.5. Üretim yöntemi ve teknoloji

Jeotermal enerjinin aranması, üretimi ve kullanımıyla ilgili olarak dünyada kullanılan teknolojilerin hemen tamamı Türkiye’de de uygulanmaktadır. Özellikle jeotermal enerjinin aranması ve üretimi konularında teknolojik bakımdan herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Sondajlarda uygulanan bazı teknolojiler henüz kullanılmamaktadır (Örneğin; directional drilling gibi) [1].

Gelişen jeotermal teknolojisi kendisinin işletme problemlerini artık çözmüştür. Kabuklaşma ve korozyon gibi jeotermal işletme problemleri sorun olmaktan çıkmış ve jeotermal değerlendirme hız kazanmıştır [1].

2.10. Kullanılan Jeotermal Suyun Reenjeksiyonu

Kullanımdan dönen jeotermal suyun ortamdan ne şekilde uzaklaştırılacağı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu suyun değerlendirilmesine ilişkin çeşitli yöntemler mevcut olup, bunlar yüzey boşalımı, suyun arıtılması ve reenjeksiyon olarak sıralanabilir. Jeotermal alanlarda kullanımdan dönen jeotermal suyun yüzey sularına verilmesi sıklıkla kullanılan bir yöntem olmakla birlikte, yüzey sularının kimyasını değiştirerek, kirliliğe neden olmaktadır. Bu yüzden dünyada birçok jeotermal alanda kullanımdan dönen suyun yüzeye verilmesi, çevre kirliliğine yol açması nedeniyle yasaklanmış durumdadır. Bu durum göz önüne alındığında, kullanımdan dönen jeotermal suyun hem ekonomik yönden, hem de çevresel nedenlerle yeraltına verilmesi en uygun seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, kullanımdan dönen suların reenjeksiyonu jeotermal alanının geliştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Başlangıçta reenjeksiyon, kullanımdan dönen sudan kurtulmak için kullanılan bir yöntem iken, günümüzde rezervuar basıncının korunması yönünden de önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir [6].

Jeotermal sistemlerde kullanımdan dönen jeotermal suyun reenjeksiyon yolu ile sisteme yeniden kazandırılması sistemin yenilenebilmesi, dolayısıyla jeotermal enerjiden

maksimum düzeyde faydalanabilme açısından önem taşımaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan en önemli sonuç reenjeksiyon sahasının ve uygun derinliğin seçimidir. Şimşek (1999), dünyanın önemli jeotermal alanlarındaki reenjeksiyon uygulamaları ile ilgili olarak yaptığı çalışmada, reenjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki uzaklığın belirlenmesinde, sahanın hidrojeolojik özelliklerinin yanı sıra, üretim kuyularının kapasiteleri, sıcaklık ve su buharı oranı, yüksek geçirgenliğe sahip zonların bulunması, enjekte edilen suyun sıcaklığı, enjekte edilen toplam su miktarı gibi teknik faktörlerin önemli rol oynadığını bildirmiştir. Yine Akan ve arkadaşlarının yaptığı çalışma kapsamında enjeksiyon derinliğinin üretim kuyusu ile aynı zonda seçilebileceği gibi, alt ve üst zonlara reenjeksiyon yapılmasının mümkün olduğu belirtmiştir [6].

Ülkemizde yer alan önemli jeotermal alanlardan biri olan Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında jeotermal enerji yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle şehir ısıtmacılığı ve turistik amaçlı olarak jeotermal sulardan yararlanan bu bölgede, kullanımdan dönen jeotermal su Akarçay nehrine boşaltılmakta ve bu durum yüzey sularında kalite değişikliğine neden olmaktadır. Tezcan vd. (2002), Akarçay Havzası'nda yaptıkları çalışmada, kullanımdan dönen jeotermal suyun Akarçay Havzası'ndaki yüzey sularında meydana getirdiği kirletici etkiye dikkat çekmişlerdir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, özellikle Br⁻, F⁻ ve As iyonlarının, termal suların atıklarının Akarçay'a katılım noktasına kadar çok büyük değerler almadığı, termal atık katkısından sonra ise, akım yolu boyunca yüksek konsantrasyonda bulunduğu saptanmıştır. Akarçay'ın bu atıkları doğrudan Eber Gölü'ne taşınması ve Eber Gölü'nün çıkışının kapalı olması nedeniyle, uzun dönemde Eber Gölü'nde bu iyonların konsantrasyonunun yükselmesinin söz konusu olabileceği belirtilmiştir [6].

Doğdu ve Bayarın Afyon-Akarçay Havzası'nda Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarında termal su katkısına bağlı olarak soğuk yeraltı sularında oluşan kirlenmenin yayılım ve boyutlarının belirlenmesini için yaptıkları çalışma kapsamında sulama suyu kalitesi açısından sular Na, SAO, Eİ, Cl, SO₄, iz element vb. içeriklerine göre incelenmişlerdir. Değerlendirmelere göre, tüm termal sular özellikle %Na ve SAO(sodyum adsorpsiyon oranı) değerleri açısından sulama amaçlı olarak kullanılması

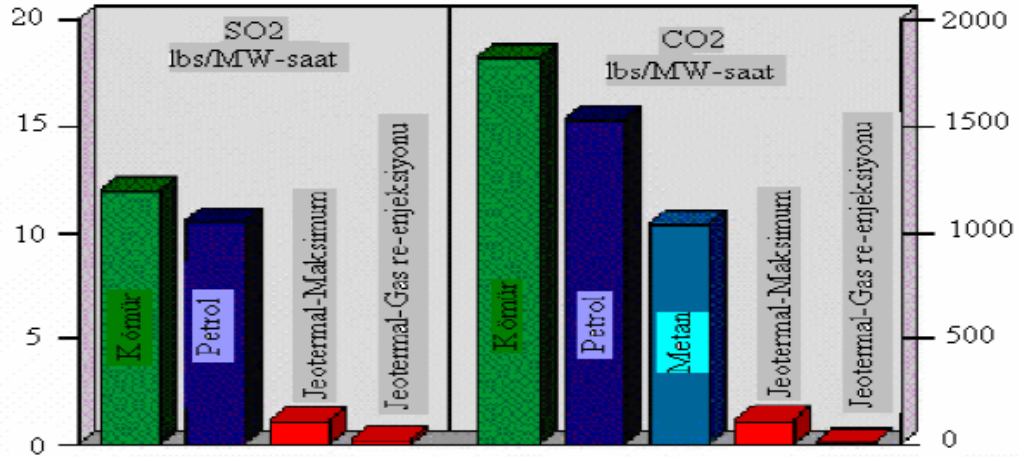
sakıncalı sular grubuna girmektedir. B derişimleri ve Cl derişimleri açısından bazı kuyuların sularının üst sınır derişim değerlerini aştıklarından sulama suyu olarak kullanılmaları uygun olmadığını belirlemişlerdir. Genel olarak, Afyon'un kuzeybatısında bulunan termal sular çevresindeki soğuk suların bir bölümü ya bir/birkaç parametre açısından sulama suyu kriterlerine uymamakta, ya da parametrelerin izin verilebilir üst sınırlarına çok yakın değerler almaktadırlar. Soğuk suların sulama suyu kullanımında içerdikleri riskler termal su üretim ve kaynak bölgelerinden uzaklaştıkça azaldığını belirtmişlerdir. İnceleme alanındaki termal suların tümü pek çok parametre (Na, K, SO₄ vb.) açısından içilmeye ve kullanılmaya uygun özellikle termal su kuyularına yakın soğuk su kuyularında da suyun bir, ya da birkaç parametre (Na, K, NH₃-N vb.) açısından kullanıma uygun olmadığını, diğer yandan, termal sulardan uzakta bulunan bazı soğuk su kuyularında da, olasılıkla tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirlenme nedeniyle NH₃-N derişimleri nispeten yüksek olduğunu ve içme-kullanma suyu açısından bir risk oluşturduğunu belirtmişlerdir [7].

BÖLÜM 3. JEOTERMAL GELİŞİMİN ÇEVRESEL ETKİSİ

Jeotermal enerji diğer enerji türlerine göre temiz enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Çünkü jeotermal santrallerde daha az karbondioksit (kömür ve petrol santralleri 1000-2000 kez daha fazla üretir) ve çok az miktarda da sülfüroksit gazı atmosfere salınır. Buhar santralleri çoğunlukla buhar emisyon eder. Binary cycle santralleri kapalı sistem olduğundan her hangi bir gaz atmosfere salınmaz. A.B.D. Enerji Bakanlığı'nın verilerine (1998, Jeotermal Enerji Stratejileri ve Hedefleri) göre sera etkisi yaratan karbondioksit emisyonunun jeotermalde sifıra yakın olduğu ve diğer fosil ve alternatif enerji kaynaklarında ise çok daha fazla olduğu saptanmıştır. CO₂ emisyon değerleri kömür'de 900 - 1300 g/kWh, Doğal gaz da 500- 1250 g/kWh, Güneş enerjisinde 20 - 250 g/kWh, rüzgar enerjisinde 20-50 g/kWh iken jeotermal enerjide 20 - 35 g/kWh'dır. Diğer yandan karbondioksit emisyonları açısından bakıldığında, Doğalgaz jeotermalin en az 2000 misli daha fazla karbondioksit emisyonuna sahiptir. Doğalgazın yangın, patlama, zehirlenme gibi risklerine karşı bu tür risklerin hiçbiri jeotermalde yoktur (Şekil 3.1) [8].

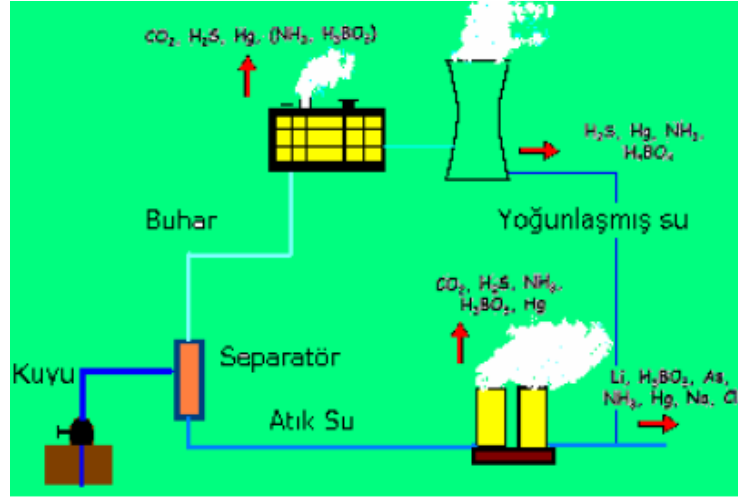
Jeotermal Santrallerde;

- Yakıt yakılmadığından, azot emisyonu oluşmamaktadır, sülfür dioksit emisyonu ise çok düşüktür.
- Jeotermal santraller sayesinde gaz emisyonu hiç bulunmamaktadır.
- Binary jeotermal santraller ile yüzeye akışkan atılmamaktadır.
- Santraller az alan kaplamakta ve görüntüyü bozmamaktadır.



Şekil 3.1. Jeotermal enerjinin kullanımı sırasında ortaya çıkan SO₂ (asit yağmurlarının ana kaynağı) ve CO₂ (sera gazı ve global ölçekte iklim değişikliklerine neden olmakta) gaz emisyonlarının diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması [8].

İnsanlar tarafından üretilen veya başka bir forma dönüştürülen enerjinin çevresel etkilerinin olması kaçınılmazdır. Dolayısıyla elektrik üretimi veya diğer nedenlerle kullanılan derin jeotermal suların da çevreye geniş bir oranda etkisi vardır. Bu etkiler, yüzeyde oluşan çökmelerden (tasman) jeotermal akışkanın oluşturduğu doğal güzelliklerdeki (Pamukkale travertenleri) tahribatlara kadar değişebilmektedir. Bunların yanında jeotermal sıvının içerdiği bor, cıva, arsenik, kurşun, amonyak, antimuan, lityum, karbondioksit, hidrojen sülfür ve tuz çevreyi olumsuz şekilde kirletmektedir. Şekil 3.2’de jeotermal santralden hava, su ve toprağa bırakılan kirletici maddeler gösterilmiştir. Fakat santralde kullanılan akışkanın tekrar rezervuara enjekte edilmesiyle çevreye verilen zarar minimuma indirilebilir [8].



Şekil 3.2. Jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal kirleticiler [8].

3.1. Jeotermal Kaynak Kullanımın Zararları

a) Asit Yağışlara Yol Açması: Jeotermal kaynaklar beraberinde çıkardığı kükürt oksitler nedeniyle asit yağışları oluşturabilmektedir [9].

Atmosferin üst katmanında birikip asit yağış olarak yeryüzüne inmesi olgusu gerçekleşmektedir. Ayrıca cisimler üzerinde biriken kükürt oksitler üzerine yağın çığ, kırığı, kırç nitelikli yağışlar ile etkileşime girerek asit yağışları oluşturmaktadır. Ancak bu nitelikli asit yağışlar oldukça düşüktür. Kömürdeki kükürt oksit emisyonları 5.44 kg/MWh, petroldeki 4.99 kg/MWh iken jeotermal kaynakların emisyonu 0.16 kg/MWh'dır [9].

b) Hava Kirliliğine Yol Açması: Jeotermal kökenli su buharının muhtevastındaki CO_2 in açığa çıkarak hava kirliliğine yol açtığı görülmektedir. Ancak kirliliğe yol açan emisyon değeri fosil yakıtlardan 1000-2000 kat daha düşüktür. Ancak çeşitli NO_x , SO_2 (0,16 5.44kg/MWh, kömürde 5.44kg/MWh, petrolde 5.44kg/MWh,), 4.99 kg/MWh ile % 0.15 H_2SO_4 hava kirliliğine yol açan unsur içermektedir [9].

c) Koku Kirliliğine Yol Açması: Jeotermal kaynakların özellikle gayzerlerin % 0.15'ini Hidrojen Sülfid gazı oluşturur. Jeotermal yeraltı suları yeryüzüne çıktığında basınç düşmesi ve sıcaklık azalmasına bağlı olarak serbest kalır. Bu gazın oluşturduğu koku kirliliği görülmektedir. Birçok jeotermal kaynaklar civarında hissedilen Hidrojen Sülfid gazının neden olduğu çürük yumurta kokusu çevre kirliliğine yol açmaktadır [9].

d) Su Kirliliğine Yol Açması: Jeotermal sular ısısının getirdiği avantaj ile magmatik kökenli kayaçları ve derinlik kayaçlarını eritip aşındırmaktadırlar. Bünyesine bu kayaçların mineral ve tuzluluk özelliklerini süspansiyon halinde alırlar. Yeryüzüne çıktıklarında yüzeysel akış sularıyla karışarak bu suların fiziksel, kimyasal, biyolojik yapılarını bozmaktadırlar[9].

Jeotermal sular dahil oldukları suların kimyasal yapılarını değiştirmekle kalmayıp; bu suların sıcaklık değerlerini de değiştirmesi farklı sonuçları beraberinde getirmektedir. Sıcaklığı artan su kütlelerinde fito ve zooplankton, alg ve çeşitli bakteri, koliform, akuatik bitkilerin artımı görülmektedir. Ayrıca jeotermal sular göllerde oluşan ötrofikasyonda katalizör görevi yapmaktadırlar [9].

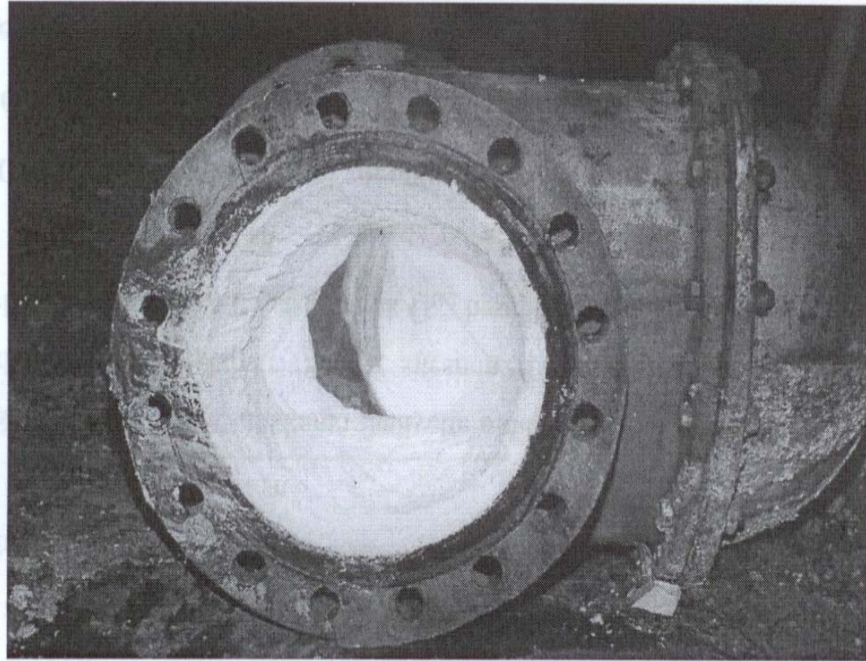
e) Toprak Kirliliği ve Erozyona Yol Açması: Yeraltından büyük miktarda su çekilmesi sonucunda yüzeydeki litosfer katmanı aşağıya doğru batma eğilimine girmektedir. Bunun sonucunda çökmeler görülebilmektedir. Mineral tuzları bakımından zengin olan bu sular, yeryüzüne çıktığında toprakların tuzlanmasına da neden olmaktadır. Ayrıca toprağın ısısının yükselmesinden dolayı aşındırma ve taşıma faaliyetleri daha fazla olmaktadır [9].

f) Canlı Yaşamını Tehdit Etmesi: Yüzeye çıktığında aşırı sıcaklığı nedeniyle mikrobiyolojik canlıların, toprak içindeki azot bakterisi vb. nitelikli mikroskobik canlıların, küçük yapılı canlıların, karınca ve böcek türlerinin yaşama habitatlarını daralmaktadırlar. Jeotermal suları içme suyu olarak tüketen hayvanların biyolojik yapıları içerdiği kimyasal tuzlardan olumsuz etkilenmektedir [9].

Ayrıca yüksek sıcaklık içeren jeotermal kaynaklardan oluşan su buharları ve bitki yapraklarının zarar görmesine yol açmaktadır. Jeotermal suların yüzeysel akışa geçtiği arazilerde bitki köklerinin yanmasının bir sonucu olarak bitkiye rastlamak mümkün olamamaktadır [9].

g) Kimyasal Sorunlar: i) Atık Akışkan Sorunu: Sondajlı çalışmalar sonucu üretilen akışkanda zaman zaman kimyasal kirleticilerle karşılaşmaktadır (bor vb.). Ancak bu problem, uygun koşullarda reenjeksiyon yapılarak aşılmaya çalışılmaktadır [10].

ii) Kabuklaşma ve Korozyon Sorunu: Kuyu içinde ve tesisatta basıncın yüksek tutulması veya kimyasal inhibitör enjekte edilmesi sonucunda CaCO_3 kabuklaşmasına ekonomik ölçekte engel olunmaktadır [10].



Şekil 3.3 CaCO_3 Kabuklaşmasına Örnek [10]

3.2. Türkiye’de Jeotermal Gelişimin Çevresel Etkisi

Bugün jeotermal enerji kullanımı sonucunda, fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve asit yağmuru gazlarının atmosfere atımından dolayı meydana gelen zararlı etkiler azaltılmıştır [5].

Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal santrallerde CO₂, NO_x, SO_x atımı çok daha düşük olup, özellikle merkezi ısıtma sistemlerinde sıfırdır [5].

Yeni kuşak modern jeotermal santrallerinde (Binary Cycle Sistem), yoğunlaşmayan gazları buharın içinden alıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yeraltına geri veren reenjeksiyon sistemleri vardır. Bu jeotermal santraller ile jeotermal ısıtma sistemleri tarafından dışarı hiç bir şey atılmaz. Eski tip jeotermal santraller, üretilen her MWh elektrik için en fazla 0,136 kg karbonu dışarı verirler. Bu değer konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında, doğalgaz ile çalışan bir santral için 128 kg/MWh, 6 nolu fuel-oil ile çalışan bir santral için 190 kg/MWh ve kömür ile çalışan bir santral içinse 226 kg/MWh’tır [5].

Eski tip jeotermal santraller, fosil yakıtları ile çalışanların sadece %1’i kadar kükürt atarlar. Ayrıca azot-oksit atışı da fosil yakıtlı santrallere göre çok daha düşüktür. Eski tip jeotermal santrallerdeki partikül atımı, sadece soğutma kulelerinin içindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu da, kömür ve petrol yakan santrallerinkinden 1000 kat daha azdır [5].

Netice olarak yeni kuşak Binary jeotermal elektrik santralleri ile jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde hiç bir atım yoktur. Yani tüm istenmeyenler sıfır olup, bu enerji çevre dostudur (Şekil 3.4) [5].

ABD ve Avrupa ‘da birçok yerleşim bölgelerinde fuel-oil, kömür beslemeli merkezi şehir ısıtma sistemleri vardır. Bunlar hava kirliliğini önleyen ve buna ilaveten yakıt

ekonomisi sağlayan alt yapı tesisleridir. Bu merkezi ısıtma sistemleri ucuz bir ısı kaynağı olan jeotermal enerjiye dayalı hale getirildiği takdirde, ülke ekonomisi önemli artı değerler kazanacak, bunun yanında çevreye olumlu katkılar sağlanacaktır [5].

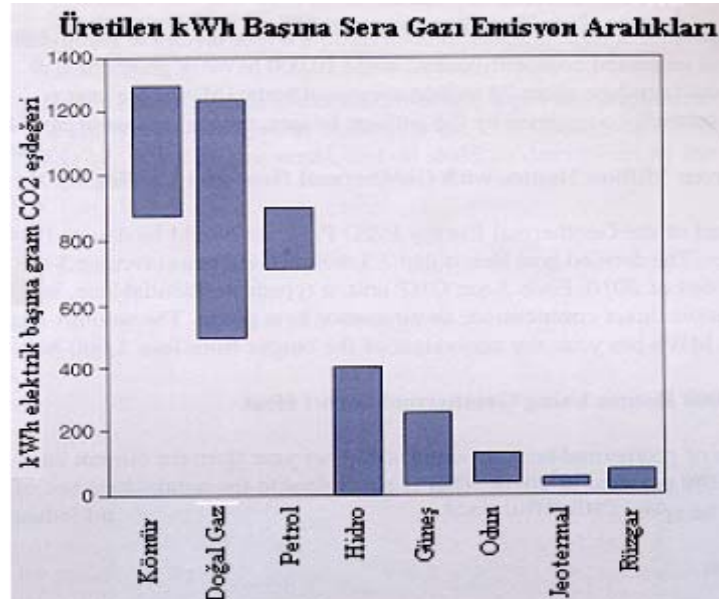
Türkiye’de, şu anda, Gönen, Simav, Kırşehir, Kızılcahamam, Afyon, İzmır (Balçova + Narlıdere), Sandıklı, Kozaklı ve Diyardın jeotermal merkezi şehir ısıtma sistemleri bulunmaktadır. Buralardaki konutlar ve binalar jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır.

Türkiye, jeotermal enerji (ısıtma amaçlı) potansiyeli olarak, Dünyada önde gelen ülkeler arasına girmektedir [5].

Jeotermal enerji yeni ve yenilenebilen bir enerji türü olup, Türkiye potansiyelinin, yaklaşık % 95’i ısıtmaya uygun jeotermal sahalardan oluşmaktadır [5].

Gelişen teknolojiye ve duyulan ihtiyaca göre atık su içindeki bazı kimyasal maddeler üretilerek, akışkan bu yönden zararsız hale getirilebilmektedir. Ayrıca, dinlendirme havuzlarında bekletilerek bazı bileşenler havuzlarda çöktürülmekte ve su arındırılmaktadır. Denize yakın bazı jeotermal alanlarda, akışkan kimyasal yönden deniz suyu karakterindedir ve atık suyun denize gönderilmesi bir problem yaratmayacaktır. Atık suların tekrar yeraltına reenjeksiyonu hem evre hem de rezervuar parametrelerinin korunması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle birçok jeotermal alanda bu yöntem kullanılmaktadır [5].

Sıcaklık ve gürültü, jeotermal sahaların genellikle yerleşim alanlarından uzakta olmaları nedeniyle, bu konuda büyük problemler yaratmamaktadır. Modern jeotermal santrallarda ise zararlı emisyon değeri sıfırdır [5].



Şekil 3.4. Üretilen kWh başına sera gazı emisyon miktarları[5]

Türkiye’de jeotermal enerji ile 51.600 konut eşdeğeri ısıtmanın sonucunda yılda ortalama 516.000 ton karbondioksit emisyonu havaya atılmamış olmaktadır [5].