

154465

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOTERMAL SUYUN PLASTİK BORULARLA
TAŞINMASI ve ISITMA AMAÇLI KULLANIMI

Makine Müh. Süleyman BASIKAR

F.B.E Makine Müh. Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof Dr. İsmail TEKE

Prof. Dr. Bahri SARTIN

Prof. Dr. Olcay KINAY

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ	2
2.1. Batı Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar.....	2
2.1.1 Sındırgı-Balıkesir	2
2.1.2 Simav-Kütahya	3
2.1.3 Gönen-Balıkesir.....	3
2.1.4 Dikili-İzmir.....	4
2.1.5 Germencik-Aydın	4
2.1.6 Salavatlı-Aydın.....	5
2.1.7 Kızıldere-Denizli	5
2.1.8 Balçova-İzmir	6
2.1.9 Ömer-Gecek ve Gazlıgöl-Afyon	6
2.1.10 Seferihisar-İzmir.....	7
2.1.11 Tuzla-Çanakale.....	7
2.2 Kuzey Anadolu Fay Bölgesindeki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar	8
2.2.1 Kuzuluk-Sakarya	8
2.2.2 Erzincan.....	8
2.3 Orta Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar	8
2.3.1 Gözlek-Amasya	8
2.3.2 Acıgöl-Nevşehir	9
2.3.3 Sıcakçermik-Sivas	9
2.3.4 Kızılcahamam-Ankara.....	9
2.4 Doğu Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar.....	9
2.4.1 Tatvan-Nemrut-Bitlis ve Süphan.....	10
2.4.2 Zilan-Erciyes-Van ve Tendürek	10
2.5 Diğer Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar	10

3.	JEOTERMAL SUDA BASINÇ ve SICAKLIK DÜŞÜMÜ ETKİLERİ	21
3.1	Jeotermal Sahalarında CaCO ₃ Çökmesi	21
3.1.1	Kalsiyum Karbonat Çökmesi.....	22
3.2	Jeotermal Sularda Kabuklaşma ve Korozyon Sorunları ve Alınacak Önlemler ...	24
3.2.1	Kabuklaşma Sorunları	24
3.2.2	Kabuklaşma Oluşumu	24
3.2.3	Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃) Kabuklaşması	25
3.2.3.1	Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃) Kabuklaşmasının Önlenmesi.....	26
3.2.3.1.1	Karbondioksit (CO ₂) Kısmi Basıncının Kontrolü.....	26
3.2.3.1.2	Akışkan pH'nın Düzenlenmesi.....	27
3.2.3.1.3	Kabuklaşmayı Önleyici Kimyasal Katkı Maddeleri Kullanmak.....	27
3.2.4	Silika Kabuklaşması	28
3.2.4.1	Silika Kabuklaşmasının Önlenmesi.....	29
3.2.4.2	Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler	29
3.3	Jeotermal Uygulamalarda Korozyon.....	31
3.3.1	Jeotermal Uygulamalarda Karşılaşılan Korozyon Türleri.....	31
3.3.2	Jeotermal Akışkanlardaki Korozyon Etkili Maddeler	33
4.	JEOTERMAL SUYUN TAŞINMASINDA ve ŞEHİR İÇİ DAĞITIM HATLARINDA TOPRAĞA DOĞRUDAN GÖMÜLEBİLEN ÖN İZOLELİ BORULAMA SİSTEMİNİN KULLANILMASI	35
4.1	Polipropilen	37
5.	ISITMA AMAÇLI SU ELDE EDİLMESİ.....	45
5.1	Plakalı Isı Değiştirici Tipleri	46
5.1.1	Conta-Plakalı Isı Değiştiriciler	46
5.2	Mekanik Özellikler.....	48
5.2.1	Plaka Paketi ve Çerçeve	48
5.2.2	Plaka tipleri.....	51
5.2.3	Plaka Üretimi ve Özellikleri.....	52
5.2.4	Contalar	54
5.3	Çalışma Karakteristikleri.....	56
5.3.1	Temel Avantajları.....	56
5.3.2	Performans Sınırları.....	59
5.3.3	Bakım	61
6.	ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ve KARŞILAŞTIRMA	62
6.1	AR-3 Kuyusunda Yapılan Testler	65
6.1.1	Statik Sıcaklık Testi.....	65
6.1.2	Dinamik Sıcaklık Testi.....	66
6.1.3	Statik Basınç Testi.....	69
6.1.4	Dinamik Basınç Testi	70
6.1.5	Rezervuar Geçirgenlik Testleri.....	72
6.1.6	Basınç Yükselim Testi.....	72
6.1.7	Basınç Düşüm Testi.....	75
6.1.8	Sıcaklık, Basınç ve Geçirgenlik Testlerinin Analizi ve Sonuçları	76
6.1.8.1	Statik ve Dinamik Sıcaklık Testlerinin Analizi.....	79
6.1.8.2	Statik ve Dinamik Basınç Testlerinin Analizi	80

6.1.8.3	Rezervuar Geçirgenlik Testlerinin Analizi.....	80
6.2	AR-3 Kuyusundan Üretilecek Akış Miktarı.....	81
6.3	AR-3 Kuyusu, Kuyu Başı ve Kuyu İçi Ekipman Tasarımı	81
6.3.1	Kuyu İçi Jeotermal Akışkan ve Boru Hattı Pompaları.....	82
6.4	Kuyu Başı Sistemi	86
6.5	AR-3 Kuyusu Jeotermal Akışkan Kimyası ve Uygun İnhibitör Seçimi Testleri ..	87
6.5.1	Akışkanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	89
6.6	AR-3 Akışkanının Tortu Oluşturma (Kabuklaşma) ve Korozyon Yapma Eğilimi Konusunda Yapılan Teknik Çalışmalar.....	92
6.6.1	AR-3 Akışkanında Bulunan Tortu ve Korozyon Yapıcı Kimyasal Madde ve Fiziksel Özellikler	94
6.6.1.1	Langelier Saturation Index (LSI).....	95
6.6.1.2	Ryznar Stability Index (RSI).....	97
6.6.1.3	Larson-Skold Index (L-S I)	98
6.6.2	AR-3 Akışkanın Korozyon Yönünden İncelenmesi.....	100
6.7	Jeotermal Akışkanların Sebep Olduğu Korozyon Çeşitleri ve AR-3 Kuyusu ve Boru Hattındaki Korozyonun İncelenmesi.....	104
6.8	Korozyondan Korunma Yöntemleri	106
6.9	AR-3 Jeotermal Akışkanında Yapılan İnhibitör Testleri.....	106
6.9.1	AR-3 Jeotermal Akışkanında Kullanılan ve Kullanılacak İnhibitörlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	107
6.9.2	AR-3 Akışkanında Deneme Üretimi Sırasında Kullanılan Tortu Önleyici İnhibitör	109
6.9.3	AR-3 Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonu Önlemek İçin Kullanılması Planlanan İnhibitörlerin Özellikleri ve Yapılan Analizler.....	109
6.10	Korozyon Kuponu Uygulama Test Önerileri	113
6.10.1	AR-3 Akışkanın Doğal Korozif Etkisinin Belirlenmesi.....	113
6.10.2	AR-3 Akışkanının pH Değerinin Düzenlenmesi.....	114
6.10.3	Korozyon / Tortu Önleyici İnhibitörlerin Etkinliklerinin Test Edilmesi.....	115
6.10.4	AR-3 Akışkanında Varlığı Saptanan Korozyona Sebep Olan Oksijenin Ortamdan Uzaklaştırılması.....	115
6.10.5	Korozyon Hızlarının Hesaplanması	116
6.11	AR-3 Kuyusunda Yapılan Kuyu İçi Testler, Akışkan Kimyası ve İnhibitör Seçimi Analizleri, Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonun Önlenmesi İçin Alınacak Önlemler.....	116
6.11.1	Sıcaklık, Basınç ve Geçirgenlik Test Sonuçları	116
6.11.2	AR-3 Kuyusu Akışkan Kimyasal Analiz ve İnhibitör Test Sonuçları	117
6.12	Armutlu Tatil Köyü Jeotermal Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonu Önlemek İçin Alınması Gereken Önlemler	121
6.13	Armutlu Tatil Köyü Tesisinin Boru Hattı	123
6.13.1	İzolasyonlu Boruların Özellikleri	123
6.13.2	Boru Hattından Olan Isı kaybı ve Sıcaklık Düşümünün Hesaplanması.....	127
6.13.3	Pompa Hesabı.....	129
6.14	Armutlu Tatil Köyü Tesisi' nin Isıtma Sistemi	132
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	134

KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	138
Ek 1 İhlas Armutlu Tatil Köyü İsale Hattı Boy Kesiti.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	140



SİMGE LİSTESİ

b	Ortalama Kütle Kanal Aralığı (m)
c	Özgül Isı (J/kg.K)
d	Taşıyıcı Borunun (Polipropilen=PPRC) Dış Çapı (mm)
D	Ceket Boru Dış Çapı (mm)
D _i	Ceket Boru İç Çapı (mm)
D _p	Bağlantı Kanalı Çapı (m)
EC	Elektrik Kondaktivite Değeri (μS/cm)
ECI	Su İçinde Ölçülen (SO ₄ -Ca) İki İyon Değerinin Farkı (meq/l)
h	Boru Ekseninden Ölçülen Gömme Derinliği (mm)
kh	Transmissivity (Geçirgenlik) Değeri
KH	Korozyon Hızı (mpy)
K _p	Çözünürlük Çarpanı
K _s	(CaSO ₄ -R) Farkı
L	Boru Hattı Uzunluğu (m)
L _H	Bağlantı Kanalları Arası Yatay Uzunluk (m)
L _P	İzdüşüm Plaka Uzunluğu (m)
L _V	Bağlantı Kanalları Arası Dikey Uzunluk (m)
L _W	Contalar Arası Plaka Genişliği (m)
m _j	Toprak Isıl Direnci (m°C/W)
m _r	Polipropilen (taşıyıcı) borunun ısıl direnci (m°C/W)
M	(R/CaSO ₄) Oranı
MWt	Akışkan Termal Potansiyeli (MW-saniye/cal)
NM	Su İçinde Ölçülen (Na+Mg) İki İyon Değerinin Toplamı (meq/l)
P	Plaka Aralığı (m)
P _C	Dalga (Oluk) Aralığı (m)
P _{wf}	Dinamik Rezervuar Basıncı (bar)
P _{ws}	Statik Rezervuar Basıncı (bar)
PI	Prodaktivite Endeksi (lt/s/bar)
R	Su İçindeki İyonların Oranı (NM/ECI)
t	Plaka Kalınlığı (mm)
t _j	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)
t _r	Akışkan Giriş Sıcaklığı (°C)
t _s	Hat Sonundaki Akışkan Çıkış Sıcaklığı (°C)
T	Akışkan Sıcaklığı (°C)
s	Taşıyıcı Boru Et Kalınlığı (mm)
S	Hesaplanan Doygunluk Değeri (meq/l)
SDR	Standart Boyun Oranı
Q	Akışkan Debisi (lt/s)
Ø	Boru Hattından Çevreye Olan Isı Kaybı (W/m)
λ _j	Toprak Isı İletim Katsayısı (W/m°C)
λ _{ur}	Poliüretan (PUR) Isı İletim Katsayısı (W/m°C)
β	Dalga (oluk) açısı (=90-α)
ΔP	Basınç Farkı (bar)
ΔP _{Top}	Hattaki Toplam Basınç Kaybı (bar)
Δt	Sıcaklık Farkı (°C)
ΔT	Zaman (dakika)

KISALTIMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CTP	Cam Elyaf Takviyeli Polyester Boru
epm	Equivalents Per Million
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LSI	Langelier Saturation Index
L-SI	Larson-Skold Index
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
meq/lt	Milli Equivalent/Litre
mpy	Millimetres Per Year
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RSI	Ryznar Stability Index
PE	Polietilen
PE-X	Polietilen Çapraz Bağlı Plastik Boru
PP	Polipropilen
PP-b	Polipropilen Blok Kopolimer
PP-c	Polipropilen Kopolimer
PP-h	Polipropilen Homo Polimer
PP-r	Polipropilen Random Kopolimer
ppb	Parts Per Billion
ppm	Parts Per Million
SI	Saturation Index
TDS	Total Dissolved Solids
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
UV	Ultra Viyole

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	CaCO ₃ çözünürlüğüne CO ₂ 'nin kısmi basıncının ve sıcaklığının etkisi	26
Şekil 3.2	Kristallendiricinin çalışma ilkesi (Vetter ve Kandarpa,1982)	30
Şekil 5.1	Bir conta-plakalı ısı değiştirici içersinde akışkanın izlediği yol.....	46
Şekil 5.2	Conta-plakalı ısı değiştirici.....	47
Şekil 5.3	Conta-plakalı ısı değiştiriciler.....	48
Şekil 5.4	Chevron tip ısı değiştirici plakalar.....	49
Şekil 5.5	Tek geçişli karşı akışlı bir bağlantının akış diyagramı	50
Şekil 5.6	Conta-plakalı ısı değiştirici montajı.....	51
Şekil 5.7	Conta bağlantıları.....	54
Şekil 5.8	(a) Chevron açılı plakanın esas boyutları; (b) Chevron açılı plakanın gerçek ve izdüşüm boyutları	56
Şekil 5.9	Komşu plakada Chevron açısı ters çevrilir	58
Şekil 5.10	Plakanın temizlenmesi	60
Şekil 6.1	Yalova -Armutlu Kaplıcası yerbelirleme haritası (ölçek:1/500.000)	63
Şekil 6.2	Armutlu AR-3 kuyusu teçhiz planı.....	64
Şekil 6.3	Statik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001).....	67
Şekil 6.4	Dinamik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001)	67
Şekil 6.5	Statik basınç eğrisi (Gülgör, 2001)	71
Şekil 6.6	Dinamik basınç eğrisi (Gülgör, 2001)	71
Şekil 6.7	Semi-Log basınç yükselim eğrisi (Gülgör, 2001).....	74
Şekil 6.8	Log-Log basınç yükselim eğrisi (Gülgör, 2001)	74
Şekil 6.9	Semi-Log basınç düşüm eğrisi (Gülgör, 2001).....	77
Şekil 6.10	Log-Log basınç düşümü eğrisi (Gülgör, 2001)	77
Şekil 6.11	Statik-Dinamik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001)	78
Şekil 6.12	Statik-Dinamik basınç eğrisi (Gülgör, 2001).....	78
Şekil 6.13	AR-3 kuyusunun mevcut kuyu başı tasarımı.....	83
Şekil 6.14	AR-3 kuyusunun kuyu içi pompa uygulaması için tasarlanan yeni kuyu başı sistemi	83
Şekil 6.15	AR-3 kuyusu çok fonksiyonlu kuyu başı-kuyu içi sistemi.....	88
Şekil 6.16	AR-3 Kuyusu örnek numune alma yerleri ve analiz sonuçları.....	91
Şekil 6.17	AR-3 kuyu akışkanına ait langelier kalsiyum denge diyagramı (Gülgör, 2001)	92
Şekil 6.18	Erimiş gazların birbirlerine göre karşılaştırılmalı korozyon hızları	101
Şekil 6.19	Erimiş oksijen nezdinde anodtan kopan Fe ⁺⁺ iyonlarının CO ₂ ile anodtan uzaklaşması ve karbonat çökelleri oluşturma mekanizması.....	102
Şekil 6.20	Akışın yavaş olduğu kesimlerde borularda meydana gelen pas ürünlerinin sebep olduğu oksijen farklılığı ve çukur korozyonu.....	103
Şekil 6.21	Boruların kavis yaptığı yerlerde meydana gelen çökellerden dolayı oluşan oksijen difraksiyonu ve korozyonu.....	103
Şekil 6.22	pH değerine göre rölatif korozyon artış hızı.....	104
Şekil 6.23	AR-3 akışkanının boru hattına verilmeden görmesi gereken işlem şeması... ..	120
Şekil 6.24	Gaz ayırıştırma seperatörü.....	120
Şekil 6.25	İzolasyonlu borular	124
Şekil 6.26	İzolasyonlu termal boru kesiti	128
Şekil 6.27	Armutlu Tatil Köyü ısıtma şeması.....	133

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Türkiye'deki jeotermal enerji kaynaklarının elektrik dışı kullanımına yönelik kaynak ve sondaj kuyularının termal potansiyeli (Şimşek, 1986; Karul, 1988; Dokuz, 1989, 1990, 1992; Şimşek ve Okandan, 1990; Yilmazer ve Gevrek, 1990; Akkuş, 1990; Mertoğlu, 1992; Bülbül, 1992; Orme Jeotermal A.Ş., 1992)	13
Çizelge 2.2	Bölgelere göre kaynak ve kuyuların elektrik dışı kullanım kapasiteleri (Şimşek, 1986; Karul, 1988; Dokuz, 1989, 1990, 1992; Şimşek ve Okandan, 1990; Yilmazer ve Gevrek, 1990; Akkuş, 1990; Mertoğlu, 1992; Bülbül, 1992; Orme Jeotermal A.Ş., 1992)	20
Çizelge 3.1	Kabuklaşmanın önleyici katkı maddeleri (Corsi ve ark.,1985)	27
Çizelge 3.2	Silika parçalarının ayrılması için uygun yöntemler (Paksoy vd., 1994).....	31
Çizelge 4.1	Sıcak su boruları için PP-r polimerinin tipik fiziksel özellikleri (Daplen Firmasının Teknik Dökümanı)	40
Çizelge 5.1	Plaka malzemeleri (Raju ve Bansal, 1983).....	52
Çizelge 5.2	Kullanılan bazı plaka malzemeleri	53
Çizelge 5.3	Conta malzemeleri ve özellikleri	55
Çizelge 5.4	Performans sınırları (Kakaçve Liu , 1998)	59
Çizelge 6.1	Armutlu jeotermal sahasında kazılan kuyular	62
Çizelge 6.2	Kuyu üretim karakteristikleri.....	63
Çizelge 6.3	Hava basma derinlik-debi değerleri.....	65
Çizelge 6.4	Statik sıcaklık testi (Gülgör, 2001).....	65
Çizelge 6.5	Derinlik-statik sıcaklık değerleri (Gülgör, 2001)	66
Çizelge 6.6	Dinamik sıcaklık testi (Gülgör, 2001)	68
Çizelge 6.7	Derinlik-dinamik sıcaklık değerleri(Gülgör, 2001).....	68
Çizelge 6.8	Statik basınç testi (Gülgör, 2001)	69
Çizelge 6.9	Derinlik-statik basınç değerleri (Gülgör, 2001).....	69
Çizelge 6.10	Dinamik basınç testi (Gülgör, 2001)	70
Çizelge 6.11	Derinlik-dinamik basınç değerleri (Gülgör, 2001)	70
Çizelge 6.12	Basınç yükselim testi (Gülgör, 2001)	72
Çizelge 6.13	300 metre derinlikteki basınç değişim değerleri(Gülgör, 2001).....	73
Çizelge 6.14	Basınç düşüm testi (Gülgör, 2001)	75
Çizelge 6.15	300 metrede basınç değişim değerleri (Gülgör, 2001)	76
Çizelge 6.16	Derinlik-sıcaklık gradyen değerleri	79
Çizelge 6.17	Basınç düşüm-yükselim test analizi (Gülgör, 2001).....	80
Çizelge 6.18	Armutlu AR-3 kuyusunda kullanılacak pompalar ile ilgili teknik ve diğer bilgiler.....	84
Çizelge 6.19	Yalova-Armutlu jeotermal sahası kuyu ve kaynakların su ve gaz kimyası analizleri	93
Çizelge 6.20	LSI kabuklaşma potansiyeli (Langelier).....	96
Çizelge 6.21	AR-3 jeotermal akışkanı kalsiyum sülfat doygunluk indeksi hesabı.....	99
Çizelge 6.22	TPAO çökel analiz sonucu	101
Çizelge 6.23	Korozyon ve kabuklaşma inhibitörleri	108
Çizelge 6.24	Karışım sonrası ölçülen pH değerleri	109
Çizelge 6.25	Bazik karakterli inhibitörlerin sahada ölçülen pH ve EC (Elektrik Konduktivite) değerleri.....	110
Çizelge 6.26	İnhibitörlerin en yüksek sıcaklık ve dayanım süreleri	111
Çizelge 6.27	Akışkanın boru hattındaki akış hızı ve termal tesise gidiş zamanı	112
Çizelge 6.28	Doğal korozyon hızları	114

Çizelge 6.29	AR-3 akışkanının pH değerinin yükseltilmesi için ,Kostik Soda (NaOH) kullanılarak kuyu başında yapılan analiz değerleri	115
Çizelge 6.30	PPR-80 borular için sıcaklık-ömür yıl basınç değerleri(DIN8077,1997).....	126
Çizelge 6.31	Plastik boru içindeki su için sürtünme kaybı (Ashre Handbook, 1997)	130
Çizelge 6.32	Boru hattı pompa hesabı	131



ÖNSÖZ

Günümüzde önemli yeri olan, hidrolik ve fosil yakıtlardan karşılanan enerjinin tükenmesi insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Yenilenebilir ve çevre dostu olan jeotermal enerji, yurdumuzda 1961 yılından itibaren ısıtma amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüz teknolojisi sayesinde daha önceden karşılaşılan ısıtma sistemlerindeki, kuyulardaki ve boru hatlarındaki kabuklaşma ve korozyon problemleri tamamen çözülmüş, yüksek bir verimle bu kaynaklardan yararlanılmaya başlanmıştır. Kazanılan deneyimler sonucu jeotermal enerji yüksek verimle kullanılabilen ve bu enerjinin çevreye olan zararlı etkileri tamamen ortadan kaldırılabilir. İşte bu nedenden dolayı aynı zamanda jeotermal enerji, çevreci bir enerjidir. Isıtma sistemi maliyetinin düşük oluşu, sistemin kurulma ve kullanım rahatlığı gibi pek çok olumlu faktör jeotermal enerjinin kullanımını desteklemektedir. Jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin çoğunda yatırımın yaklaşık %30-%50'si kullanıcı vatandaş tarafından katılım payı depozite vb. adı altında finanse edilmiştir. Doğru uygulama ve teknoloji seçimi yapıldığında, jeotermal merkezi ısıtma sistemleri ilk yatırım ve işletme giderleri en ucuz, çevreye en duyarlı sistemlerdir.

Bu yüksek lisans çalışmamı yöneten, çalışmam boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen, eleştiri ve önerileriyle tezime katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. İsmail Teke' ye, bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme ve tezimin düzenlenmesinde yardımcı olan değerli arkadaşım Mak. Müh. Ali Kemal Aldanmaz' a teşekkür ederim.

ÖZET

Fosil yakıtların azalması insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Fosil ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde en temiz ve en ucuz enerji kaynağı jeotermaldir. Jeotermal enerji yeni, tekrarlanabilen, sürdürülebilir, çevre dostu ve yerli bir enerjidir. Türkiye, elektrik ve elektrik dışı (doğrudan) jeotermal uygulamaların ortalama potansiyeli açısından dünyanın 7.ülkesidir. Türkiye’de 40 °C’nin üzerinde 170 adet jeotermal saha bulunmaktadır (Şimşek vd., 2000). Mevcut jeotermal kuyu ve kaynaklara göre ispatlanmış jeotermal kapasite 2628 MWt’tır (MTA). Muhtemel teorik jeotermal potansiyel ise 31.500 MWt’dır. (5 milyon konut eşdeğeri ısıtma), (Mertoğlu, 2000). Ekim 2000 itibariyle, Türkiye’de 52.000 konut eşdeğeri jeotermal ısıtma yapılmakta (493 MWt), 194 adet kaplıcada jeotermal akışkanlar balneolojik amaçlı kullanılmaktadır (327 MWt). Şu anda jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak %2-3’ü değerlendirilmektedir. Türkiye 2010 yılında jeotermal doğrudan kullanımında dünyada ilk 3’e girmeyi hedeflemektedir.

Kendi öz varlığımız olan bir enerji türü olduğu için bir borsası bulunmamaktadır. Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemleri vatandaşın yaşam standardı yükselten altyapı ve çevre yatırımlarıdır.

Bu çalışmada ülkemizdeki jeotermal enerji potansiyelinden, jeotermal suyun taşınması esnasında meydana gelen olumsuzluklardan ve bu olumsuzlukları gidermek için alınması gereken tedbirlerden bahsedilmiştir. Ayrıca Armutlu Tatil Köyü tesislerinin termal su ihtiyacının karşılanacağı AR-3 kuyusunun; kuyu içi sıcaklık/basınç dağılımı, rezervuar parametreleri ve Armutlu rezervuarından üretilen jeotermal akışkanın korozyon ve birikinti yapma özelliklerinin belirlenmesi ve boru hattında mevcut korozyon problemini çözmek için alınması gereken tedbirlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, plakalı ısı değiştiricileri, polipropilen, korozyon

ABSTRACT

Because of the fact that fossil fuels decrease, human beings have been inclined to find alternative energy resources. Among all the renewable energy sources geothermal energy is the cheapest and clearest one. Geothermal energy is a kind of energy such that new, environmentally friendly, renewable, natural and completely locally produced. Considering the usage of geothermal energy to direct or indirect electricity implementations Turkey takes 7.th place among all of the countries. There are 170 geothermal plants that are all above 40 °C, in Turkey (Şimşek vd., 2000). The current power that can be obtained by active geothermal sources and wells is 2628MWt (MTA). However, theoretically obtainable total power is 31.500MWt. (This equals to the total power supplied for heating to 5 million houses), (Mertoğlu, 2000). Since October 2000 in Turkey, 493MWt power is used for geothermal heating (this equals to the total power supplied for heating to 52000 houses) and in 194 spa geothermal fluids are used for balneologic purposes (327MWt). Currently only the 2-3% of geothermal energy potential is available for usage. In the year 2010 Turkey is supposed to take the first or second place in the world.

Central geothermal heating systems are one of the infrastructural and environmental investments such that they increase the quality of the life standards.

In this thesis the geothermal energy potential in Turkey, the problems confronted with the transmission of geothermal water and the possible solutions to these transmission problems are examined. Also some of the properties of AR-3 well, which will be used for the thermal heating of the Armutlu Holiday Village, such as reservoir parameters and heat/pressure curves are examined. Further more the corrosion and accumulation properties of geothermal fluid obtained from AR-3 well, and the precautions that must be taken to solve the current corrosion problems are explained.

Keywords: Geothermal energy, plate heat exchangers, corrosion, polypropylene

1. GİRİŞ

Ülkemizde jeotermal araştırmaların hız kazanması 1970’li yıllarda başlamıştır. 1980’li yılların başına kadar kabuklaşma nedeniyle bu enerjinin kullanımını gerektiği kadar yaygınlaştırılamamıştır.

Günümüzde dünyada ve ülkemizde kabuklaşma ve korozyon gibi herhangi bir sorun kalmamıştır. Uzak mesafe ekonomik taşıma olanaklı hale gelmiştir. Teknolojik gelişim bu tür sorunların tümünü ortadan kaldırmıştır.

Yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayaç kütlelerin yağmur, kar, deniz ve magmatik kökenli sular ile beslenerek oluşturduğu jeotermal rezervuarlar, atmosfer koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Ancak, jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın çevreye atılmaması ve rezervuarları beslemesi bakımından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yer altına gönderilmesi (reenjeksiyon) zorunludur. Bu nedenle reenjeksiyon birçok ülkede zorunlu hale getirilmiştir.

Türkiye’de yaklaşık 170 adet jeotermal sahadan mevcut ekonomik ve teknik şartlara bağlı olarak 5 tanesinin elektrik üretimine uygun olması (teknolojik gelişmeler ve devlet desteği sağlandığı takdirde bu sayı 9’a çıkabilecektir), diğerlerinin doğrudan kullanımına uygun olması ve Balçova’da 1983 yılında kuyu içi eşanjörlü uygulamanın başlamasıyla, teknolojik gelişimin izlenmesine paralel olarak, Türkiye’de jeotermal uygulamanın ısıtma uygulamaları yaygınlık kazanmıştır. Mevcut jeotermal kuyu ve kaynaklarımıza göre kesin ispatlanmış jeotermal potansiyeli 2628 MWt’dir (MTA 2000). Jeotermal akışkanlar sıcaklıklarına göre farklı alanlarda veya birbirine entegre olmak suretiyle değerlendirilmektedir. Jeotermal akışkanların başlıca kullanım alanları elektrik enerjisi üretimi, merkezi ısıtma, soğutma, sera ısıtması, endüstriyel amaçlı kullanım, kimyasal madde üretimi, mineral, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su eldesi, kaplıca maksatlı kullanım, çok düşük sıcaklıklarda (30 °C) kültür balıkçılığı olmaktadır.

Türkiye’de jeotermal kaynakların değerlendirilmesinde mevcut yasalara göre elektrik üretimine uygun sahalar dışındakiler fiilen Özel İdareler ve Belediyelerin kullanımındadır. Özel İdare ve Belediyeler bu kaynakları değerlendirmek üzere merkezi şehir ısıtma sistemleri ve kaplıca gibi tesisler kurmuşlardır. Bu yatırımlar Özel İdarelere ve belediyelere önemli bir gelir kaynağı olmuş, bunun yanında da halkın yaşam standardını yükselten bir altyapı ve çevre yatırımı haline gelmişlerdir.

2. TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ

Türkiye'de jeotermal aramalar; MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) tarafından 1961 yılında sıcak suların araştırılmasıyla başlanmıştır. Araştırmalar sonucunda Türkiye'de çok büyük bir jeotermal enerji potansiyeli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu potansiyelin kullanım imkanı olduğu görülmüştür. Türkiye altı jeotermal bölgeye ayrılmış ve sistematik bir şekilde bu bölgelerdeki kaynaklar geliştirilmiştir. 1968'deki ilk jeotermal araştırma sonucunda İzmir'in batısında yer alan Balçova'daki sahada sondaj yapılarak ilk kuyu açılmıştır. 40 m derinlikte, 124 °C sıcaklığa ulaşan sıcak su ve buhar karışımı jeotermal akışkan elde edilmiştir. Elektrik kullanımına yönelik ilk jeotermal saha Denizli-Kızıldere sahasında keşfedilmiştir. Bu sahadaki çalışmalar 1968 yılında başlamıştır. Şimdiki kullanım sonucunda elektrik santralinin kapasitesi 20 MW'tır (Karul, 1988).

Çok sıcak ve dağılmış sıcak su kaynakları Türkiye'deki jeolojik özellikleri kontrol eden iki ana tektonik durumdan dolayı ortaya çıkmıştır. Türkiye'yi dört ana jeotermal bölge olarak göz önüne almak mümkündür. Yani Batı Anadolu, Kuzey Anadolu (Karadeniz) fay kuşağı ile Doğu Anadolu ve Orta Anadolu'nun üçüncü-dördüncü zamana ait volkanik aktivitelerden etkilenen bölgeler olmak üzere sınırlayabiliriz (Şimşek ve Okandan 1990).

Türkiye'deki mevcut kuyu ve termal kaynakların elektrik dışı kullanımına yönelik görünür kapasiteleri Türkiye'nin yedi coğrafik bölgesine göre ayrılmış olarak Çizelge 2.1'de görebiliriz.

2.1 Batı Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar

Jeotermal aktivitelerin sabit davranışlarından dolayı meydana gelen gerilme tektonizması sonucunda Batı Anadolu'da neojen ve kıyı grabenlerinin büyümesiyle geliştiğine inanılır. Jeotermal bölgeler doğal olarak uzanan bu grabenler boyunca araştırılır ve bulunur. MTA öncülüğünde bu çalışmalarda 123 sıcak kaynak bulunmuş ve 36 jeotermal sahaya isim verilmiştir. Bugüne kadar 9 sahada sondaj araştırmaları ve direkt kullanımı gerçekleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu jeotermal çalışmaları ve durumlarını inceleyecek olursak;

2.1.1 Sındırgı-Balıkesir

Bu saha Balıkesir şehrinin 60 km güneydoğusunda yer alır. Sıcak kaynak 98 °C sıcaklıkta ve 50 kg/sn debidedir (Şimşek, 1990). Burada 2000 m² sera jeotermal enerjiyle ısıtılmaktadır. Sistemin kapasitesi 450.000 kcal/h (0.45 MWt) olup Ekim 1986'dan beri işletilmektedir. Bu sahadaki kaynak sera ve konut ısıtmacılığı için elverişlidir (Orme Jeotermal, 1992).

2.1.2 Simav-Kütahya

Simav grabeni Simav şehrinin kuzeyinde yer alır ve kabaca doğu-batı doğrultusunda uzanır. Saha kuzey tarafındaki bölümle Akdağ fay bloğu ile güney tarafındaki arazi yükselmesiyle sınırlıdır. Jeotermal sahalar (Eynal, Çitgöl, Naşa) kuzey tarafındaki bölümde bulunan grabende yer alır. Bu sahada sekiz sıcak kaynak yer alır. Bu kaynakların analizi ve jeotermometrik ölçümleri sonucunda rezervuardaki sıcaklık 157 °C ile 236 °C arasında değiştiği görülmüştür. Burada altı sondaj yapılmıştır. Bunların dördü Eynal, biri Çitgöl, diğeri Naşa sahasındadır.

Eynal'da MTA tarafından yapılan kuyu sondajından 162.5 °C maksimum sıcaklığa ve 73 kg/sn debide kaynak elde etmiştir. Buradaki termal potansiyel 38.961 MWt'dir. Bu da yaklaşık 4000 konuta yetecek enerji demektir.

Eynal, Çitgöl ve Naşa'daki diğer kuyular içinde sondaj yapılmış ve bu sahada otel, kaplıca, sera ısıtması için ön çalışmalar başlamıştır (Şimşek vd., 1990; Dokuz, 1990).

6500 konut kapasiteli Simav Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminin inşaat ve montajı Mart 1991'de başlamış ve Eylül 1992'de işletmeye alınarak Türkiye'deki jeotermal enerji ile şehir ısıtmacılığı yapılan ikinci yer olmuştur.

2.1.3 Gönen-Balıkesir

Jeotermal enerjinin Türkiye'de ilk ve en önemli entegre kullanımı 1987 yılında Gönen'de başlamıştır. Entegre sistem aşağıdaki dört kullanımı kapsar.

- 1400 konut ve 6500 yataklı termal otellerinin ısıtılması ve tüm yıl kullanım için sıcak su verilmesi,
- 56 adet tabakhane (deri sanayi) 75 °C temiz proses suyu ve deri kurutması için enerji verilmesi,
- 2000 m² seranın ısıtılması,
- Sıcaklığı 82 °C 'ye indirilene kadar sanayi ihtiyacı, şehir ve sera ısıtılmasında sistemde direkt olarak kullanılan jeotermal su, kimyasal özellikleri bozulmadan, hava ile temas etmeden kaplıcalarda kullanıma sunulması.

Halen mevcut sisteme 308 ve 504 m derinlikteki iki kuyudan 82 °C sıcaklıkta toplam 80 lt/sn üretim yapılmaktadır. Sistemin halihazırda kurulu gücü 14x10⁶ kcal/h (16.2 MWt) tir. Bunun fuel-oil eşdeğeri 2000 lt/h ve toplam konut eşdeğeri kapasitesi 2600'dür (Dokuz, 1989).

20 Ekim 1987 tarihinde Gönen’de işletmeye alınan merkezi ısıtma sisteminde konutlar tüm yıl sıcak su ve kışın ısınma için ortalama bir ücretle ayda 56.000 TL(1991 yılı ort.)gibi cüzi bir ücret ödenmektedir. Ayrıca bu ekonomik uygulamaya da ilaveten Gönen’de hava kirliliği önlenmektedir ve jeotermal akışkana reenjeksiyon yapılmaktadır. Gönen’de bacaların yerini jeotermal ısıtma merkezi almıştır ki bu yüzden “Bacasız Şehir Gönen” ismini almıştır (Orme Jeotermal, 1992).

2.1.4 Dikili-İzmir

Jeotermal alan Dikili’nin yaklaşık 10 km doğusundaki Kaynarca mevkiindedir. Bu yörede irili ufaklı 40 kadar sıcak su kaynağı saptanmış ve maksimum 98 °C çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Kaynaklardan boşalan toplam debi 200 kg/sn ve ortalama sıcaklık 70-80 °C ‘ dir. Bu debideki sıcak suyun, sıcaklığının 30 °C’ ye düşene kadar değişik biçimde kullanılmasından 36.000.000 kcal/h ısı enerjisi çekilecektir. Çekilecek olan ısının linyit karşılığı 9000 kcal/h, fuel-oil karşılığı 3750 kcal/h’tir (1 kg linyit 4000 kcal/h, 1 kg fuel-oil 9600 kcal/h alındı.)

Bu sahadaki suların hemen hemen kabuklaşma özelliği göstermemesi oldukça büyük bir avantajdır. Kaynarca’nın yaklaşık 5 km doğusunda zengin soğuk yer altı sularının olması termal turizm işletmelerinde, seracılıkta ve değişik tarımsal uygulamalarda çok önemlidir.

Bu sahadaki kaynağı şehir ısıtmacılığında kullanmak istersek 9000 daireyi (bir daire için 4000 kcal/h ısı yeterlidir.) rahatlıkla ısıtabiliriz. (Yılmazer ve Gevrek, 1990).

2.1.5 Germencik-Aydın

Bu saha Batı Anadolu’daki Büyük Menderes Grabeni’nin batısında (Kızıldere’nin batısında 100 km uzaklıkta) yer alır. Yapılan jeoloji, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda bugüne kadar derinlikleri 285-2398 m arasında değişen dokuz araştırma kuyusu açılmıştır. Sıcaklıklar birinci ve ikinci rezervuarda 203-217 °C ve 216-232 °C arasındadır. Dokuz kuyudan toplam 635.16 kg/sn’lik bir debi ve %13-20 arasında değişen buhar oranı sağlanmıştır (Şimşek, 1998). Türkiye’nin en yüksek rezervuar sıcaklığına sahip olan bu sahada açılan 285 m derinlikteki 4 nolu kuyu, dünyadaki yüksek sıcaklıklı en sığ kuyular arasında yer almaktadır (MTA, 1984).

Bu veriler sonucunda bugüne kadar Türkiye için en önemli jeotermal potansiyele sahip saha Germencik sahasıdır. Elektrik üretimi, direkt ısıtma olarak kullanım, soğutma, endüstri ve turistik balneolojik merkezler için kullanıma yönelik bir potansiyele sahiptir (Şimşek, 1998).

2.1.6 Salavatlı-Aydın

Salavatlı-Aydın jeotermal sahası Menderes grabeninde yer alan Kızıldere-Denizli jeotermal sahası ile Germencik-Aydın jeotermal sahasının ortasında yer alır. MTA tarafından iki adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardaki rezervuarlardan 162 °C ile 171 °C sıcaklıkta ve toplam 167 kg/sn debide sıcak su elde edilmiştir. Elektrik üretimi dışında tarımsal kullanımlara, merkezi ısıtma sistemlerine ve balneolojik banyolar için iyi bir potansiyele sahiptir (Şimşek ve Okandan, 1990).

2.1.7 Kızıldere-Denizli

Türkiye’de elektrik üretimine uygun ilk jeotermal alan 1968’de Kızıldere-Denizli sahasında bulunmuştur. Bu saha önemli jeotermal enerji potansiyeline sahip olup, Batı Anadolu’daki Büyük Menderes Grabeni’nin doğu kısmında yer almaktadır. Bu alandaki çalışmalar MTA-UNDP (Birleşmiş Milletler Kalkınma Teşkilatı) işbirliğiyle gerçekleştirilmiştir. Jeoloji, jeofizik, jeokimya etütleriyle 108 sığ gradyan (termal) sondajları tamamlanmıştır. Bunlardan sonra ilk derin sondaj ile elektrik üretimine elverişli yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan 1968 yılında KD-1 kuyusunda keşfedilmiştir. Alanda toplam derinliği 10786 m’ yi bulan 20 derin kuyu açılarak, iki rezervuar belirlenmiştir. Birinci rezervuarın sıcaklığı 198 °C’dir. Jeotermal akışkanın ortalama buhar oranı % 10’ dur.İkinci haznenin derinliği 450-1100 m arasında değişir ve sıcaklığı 212 °C kadardır. Elde edilen akışkanın buhar oranı % 10-12 olup elektrik üretiminde kullanılan kuyular bu rezervuardan üretim yapmaktadır. Sahada ilk deneme santrali 1974 yılında (0.5 MW gücünde) kurularak başarılı sonuçlar alınmış ve çevredeki üç köye elektrik sağlanmıştır.

TEK tarafından yaptırılan ve Şubat 1984’te devreye giren 20.4 MW gücündeki santral yurdumuzun ilk ticari jeotermal santrali olmuştur (Şimşek, 1986). Jeotermal akışkanda ergimiş halde bulunan (%1.5) karbondioksit gazının sanayinin ihtiyacını karşılamak amacı ile özel sektör tarafından 40000 ton/yıl kapasiteli sıvı karbondioksit (-25 °C, 20 bar) üretim-dağıtım tesis ve sistem 1986 yılından beri işletilmektedir. Bu halen dünyadaki tek uygulamadır (Orme Jeotermal, 1992).

Santralden çıkan 140 °C yaklaşık 1500 ton/h debili artık akışkandan da yaklaşık 500 dönüm serayı veya 8-10 bin konutu ısıtabilecek 100 MWt’lık bir ısı enerjisi mevcuttur (Şimşek, 1986).

2.1.8 Balçova-İzmir

Bu sahadaki ilk jeotermal enerji kuyusu 1968 yılında açılmış olup, 40 m derinlikte, 124 °C sıcaklığa ulaşan sıcak su ve buhar karışımı elde edilmiştir. Buradaki hızlı kabuklaşmadan dolayı, kuyu kısa sürede kullanılamaz hale gelmiştir.

Türkiye’de kabuklaşmayı önleyici “kuyu içi eşanjörü” sistemi ilk kez, 1982’de bu sahada uygulanmıştır. Bu amaçla açılan ilk kuyu 100 m derinlikte olup, kuyu dibi sıcaklığı 115 °C’dir. Bu yeni uygulama ile ısı, kuyu içine yerleştirilen U şekilli boru içinde dolaştırılan temiz suya aktarılır. Sistemdeki temiz suyun sıcaklığı, dış etkiler ve akış hızına bağlı olarak 50-95 °C arasında değişmektedir (Şimşek, 1986). Kuyu içi eşanjör sisteminin başarı ile sonuçlanmasından sonra sahadan derinlikleri 44-250 m olan dokuz kuyu 1983 yılında, iki kuyuda 1989 yılında olmak üzere toplam onbir kuyu açılarak teçhiz edilmiştir. Halen onbir kuyudan 5×10^6 kcal/h ısı çekilmektedir (Akkuş, 1990). Bu enerji ile 1981 yılında İzmir-Balçova jeotermal alanında kuyu içi eşanjörünün Türkiye’de ilk uygulanması neticesinde 250 oda kapasiteli otel-model-TV salonu, vb.yerler 1982 yılından beri ısıtılmaktadır. Sistemin kurulu gücü 6 MWt’dir. Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Kampusü, Hastane ve Fakülte binaları (yaklaşık 9000 m³ hacmindeki) 2.2 MWt kapasite ile 1983 yılından bu yana Balçova Jeotermal Alanı’ndan ısıtılmaktadır. Yatırım kendisini fuel-oil’e göre altı ayda geri ödemiştir. Türkiye’nin en büyük kapalı yüzme havuzunun (Balçova Termal Tesisleri’de) jeotermal ısıtma sistemi 1.600.000 kcal/h kapasite ile Şubat 1987’de devreye alınmıştır. Balçova Termal Tesisleri bünyesinde bulunan kaplıca tedavi merkezi (11000 m²) jeotermal ısıtma sistemi 1.200.000 kcal/h kapasite ile Eylül 1989’da devreye alınmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastaneleri ilave 100000 m² (1000 konut eşdeğeri) jeotermal ısıtma sistemi montajı Aralık 1991’de başlamıştır. Sistem kapasitesi 4.800.000 kcal/h (6.5 MWt) dir (Orme Jeotermal, 1992).

2.1.9 Ömer-Gecek ve Gazlıgöl-Afyon

Afyon jeotermal sahasında Ömer-Gecek ve Gazlıgöl olmak üzere iki alan bulunmaktadır. Bu sahada hızlı CaCO₃ kabuklaşmasının meydana geldiği sahalardan biridir. Bu sahada ilk araştırma sondajı 1974 yılında yapılmıştır. Ancak; hızlı kabuklaşmadan dolayı jeotermal enerjiden yararlanılamamıştır. 1982 yılından sonra Ömer-Gecek alanında üç kuyu açılarak kuyu içi eşanjör sistemi ile teçhiz edilmiştir. Halen sahada rezervuar sıcaklığı 93-106 °C olan, 120-210 m derinlikte dokuz kuyu açılmıştır. Alanın mevcut ısı kapasitesi 2×10^6 kcal/h olup, 35 motel odası, restoran ve kapalı yüzme havuzu jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Sistemde dolaşan temiz suyun sıcaklığı dış etkiler ve akış hızına bağlı olarak 58-95 °C

arasında değişmektedir.

Ömer alanının 20 km kuzeydoğusunda yer alan Gazlıgöl alanında rezervuar sıcaklığı 67 °C olan 120 m derinlikte bir kuyu açılmıştır. Bu kuyudan 0.5×10^6 kcal/h ısı çekilmektedir. Bu enerji ile kaplıca tesisleri ısıtılmaktadır. Sahanın geliştirilmesi için ikinci kuyu açılmıştır (Akkuş, 1990).

2.1.10 Seferihisar-İzmir

Bu saha İzmir'in 40 km kadar güneybatısında yer almaktadır. Yapılan jeoloji, jeofizik, jeokimya etütleri ile gradyan ve derin sondaj çalışmaları, sahanın elektrik enerjisi üretimi yanında sera ısıtmacılığı ile turistik ve sağlık amaçlı tesislerde de kullanılabilir elverişli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Bu sahada belirtilen birinci rezervuardaki sıcaklık 145 °C 'dir. İkinci rezervuara erişmek amacı ile 2500 m derinlikte bir sondaj programlanmış bulunmaktadır (Şimşek, 1986).

1986-1987 yılları arasında beş kuyuya sondaj çalışması yapılmış ve rezervuar sıcaklığı 153 °C ölçülmüştür. Buradaki beş kuyuya uygulanan kuyu içi eşanjör sistemi ile 9.7 MWt ısı potansiyeli elde edilmiştir. Tahminlere göre 3600 m² alan serayı bu enerjiyi kullanarak ısıtmaya yetecektir (Şimşek, 1988).

2.1.11 Tuzla-Çanakkale

Kuzeybatı Anadolu'da, Çanakkale'nin 80 km güneyinde ve Ege denizine 5 km uzaklıktadır. Önceki yıllarda yapılan jeoloji, jeofizik, jeokimya ve gradyan sondajlarından önemli ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. İlk kuyu 814 m derinlikli olup 1982'de açılmıştır. Bu kuyuda (birinci rezervuarı oluşturan 333-553 metreler arasında yer alan volkanik kayalardan) buhar ve sıcak su karışımı elde edilmiştir. Üretim debisi 130 ton/h olup rezervuar sıcaklığı 174 °C ve buhar oranı %13' tür.

Sahada yüksek sıcaklıkta ikinci bir rezervuar bulmak için derin sondaj devam edilecektir. Bu saha; elektrik enerjisi üretimi yanında, tarımsal kullanım içinde son derece uygundur (sera ısıtmacılığı, kurutmacılık, vb.). Buna ek olarak, kimyasal özelliklerinden dolayı jeotermal akışkan tuz üretiminde de kullanılabilir. Artık su ise, sahanın Ege Denizi'ne yakınlığı dolayısıyla problem yaratmayacaktır (Şimşek, 1986).

2.2 Kuzey Anadolu Fay Bölgesindeki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar

Kuzeyinden dağlarla çevrili Anadolu; Avrasya Levhası'nın başlıca yapısal düzeni ve karasal sınırıdır. 37 sıcak su kaynağı 1500 km uzunluğunda Kuzey Anadolu Fayı boyunca dağılmıştır. Bu kaynakların başlıca kullanımı bölgesel olarak balneolojik banyolar olabilir. Bu bölgede 6 jeotermal saha tespit edilmiştir. (Şimşek ve Okandan,1990).

2.2.1 Kuzuluk-Sakarya

Kuzuluk jeotermal sahası Akyazı ilçesinin güneyinde ve Kuzey Anadolu Fayı'nın batısında yer alır. Bu sahadaki sıcak kaynaklar 41-51 °C sıcaklıkta bulunur. Bölgesel yatırımla karşılanan kuyu sondajından 84 °C sıcaklıkta ve 41 kg/sn debide su elde edilmiştir. Bu kuyu, kuyu içi eşanjörünün ekipmanları ile ve fizibilite çalışmaları ile direkt kullanımına model olacaktır. (Şimşek ve Okandan,1990).

2.2.2 Erzincan

Erzincan; Kuzey Anadolu Fayı üzerinde özellikle sürekli deprem riskinin olduğu bir bölgedir. Burada çeşitli yerlerde 30 °C sıcaklıkta sıcak kaynaklar ve mineral özelliğine sahip su kaynakları bulunur. Türk Petrolleri Şirketi iki araştırma kuyusunda 800 m derinlikte 1989 yılında sondaj yapılmıştır (Şimşek ve Okandan,1990).

2.3 Orta Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar

Yaygın genç yanardağları ve hidrotermal değişimi bu bölgede göz önünde bulundurulmalıdır. 8 jeotermal saha tespit edilmiş ve 44 sıcak kaynak bulunmuştur. Genellikle yapılar güneybatı ve kuzeybatı-kuzey yönündedir. Jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda Ziga ve Acıgöl sahası planlanan sondajlarla ileride yapılacak çalışmalara örnek saha olacaktır. Bu bölgede Hasandağ ve Erciyes Dağı volkanik özelliğe sahip iki dağ olarak gözümüze çarpar (Şimşek ve Okandan,1990).

2.3.1 Gözlek-Amasya

Bu saha Amasya şehrinin 20 km kuzeybatısında yer alır. Buradaki kuyu sondajından 380 m su 10.5 kg/sn debide, 42 °C kuyu içi sıcaklığında çıkarılmaktadır. Amasya Belediyesi bu kaynağın kullanımı için karar almıştır. Kullanım çalışmaları yapılmaktadır (Şimşek ve Okandan,1990).

2.3.2 Acıgöl-Nevşehir

Bu saha Orta Anadolu'nun güneyinde Hasandağı'nın kuzeyinde Erciyes Dağı'nın güneybatısında yer alır. Yapılmış jeoloji ve jeofizik çalışmaları sığ derinlikte bir ısı kaynağının varlığına işaret etmektedir. Bu nedenle sahada yakın bir gelecek için Kızgın Kuru Kaya (Hot Dry Rock) projesi planlanmıştır (Şimşek, 1986).

2.3.3 Sıcakçermik-Sivas

Sıcakçermik sahası Sivas şehrinin 22 km batısında yer alır. Sıcak su kaynakları, 36-45 °C sıcaklıkta ve 10 kg/sn debide kuzey-güney ve kuzeybatı-güney doğrultusunda uzanan fay boyunca bulunur. Kuyu sondajı çalışmasıyla 55 °C sıcaklıkta ve 30 kg/sn debide su elde edilmiştir .Yeni jeofizik çalışmalarda bu sahanın potansiyeli geliştirilmeye başlanmıştır (Şimşek ve Okandan,1990).

2.3.4 Kızılcahamam-Ankara

Kızılcahamam sahası Ankara şehrinin 70 km kuzeybatısında yer alır. Çeşitli sıcak kaynakların yüzeye çıkış sıcaklığı 50-55 °C arasında değişir. Kaplıçalarda eski zamanlardan beri bu kaynaklar kullanılmaktadır. Beş gradient kuyusu sahada sondajlanmış ve yüksek jeotermal gradientli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır ancak bunların geçirgensizliğinde göz önünde bulundurulması gereklidir. MTA-1 ve KHD-1 kuyularından sıcak akıcı akışkana rastlanılmıştır. Kullanışlı sıcak kaynaklar şimdilik 1400 m² seranın, otelin ısıtılmasında ve balneolojik banyolar amaçlı olarak kullanılmaktadır (Şimşek ve Okandan,1990).

Kızılcahamam da yine 1000'er konut ve 10000 m² sera ısıtması için, proje ve fizibilite çalışmaları tamamlanmış ve yatırıma hazır hale getirilmiştir. Ayrıca Haymana'da iki adet cami 43 °C 'deki jeotermal su ile tabandan ısıtılmaktadır. Toplam 60000 kcal/h kapasiteli sistemler, Aralık 1988 ve Kasım 1989'da devreye alınmıştır (Orme Jeotermal, 1992).

2.4 Doğu Anadolu'daki Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar

Yaygın volkanik olaylar pliyosen ve en son jeolojik zaman esnasında Doğu Anadolu'da meydana gelmiştir. Taktir edilen jeotermal enerji yedi bölgede tespit edilmiş, iki bölgede de çalışmalar başlamıştır. Yani jeotermal kaynaklar Tatvan (Nemrut)-Bitlis ve Zilan (Van) bölgelerinde başlamıştır. Volkanik patlama sonucu Nemrut, Tendürek, Süphandağı volkanları büyük değerli sıcak kaynaklar ve volkanik duman püskürten küçük delikli yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar olarak ileriye dönük olarak değerlendirilebilir(Şimşek ve Okandan,1990).

Genç volkanik etkinlik ve jeokimya verilerine göre bu sahadan “kuru buhar” üretimi beklenmektedir (Şimşek, 1986).

2.4.1 Tatvan-Nemrut-Bitlis ve Süphan

Jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalar MTA öncülüğünde bu sahada başlamıştır ve volkanik patlama sonucu ortaya çıkan çöküntü 4 km çapında bir alanı oluşturmuştur. Türkiye’de genç volkanik aktiviteler sonucu bu sahada 1441 kaynak meydana gelmiştir. Sıcak gazlar ve sıcak kaynaklar çok yaygındır. Bu sahada Türk Petrol Şirketi ile Unooal Şirketi’nin işbirliğiyle araştırmalar yapılmış, beş kuyuda sondaj açılmıştır (Şimşek ve Okandan,1990).

2.4.2 Zilan-Erciyes-Van ve Tendürek

Zilan sahası Ercis ilçesinin 15 km kuzeyinde yer alır. Sıcaklıkları 20-78 °C arasında olan sıcak kaynaklara rastlanılmaktadır. En son jeolojik zamanda (volkanik aktiviteler ve yaygın hidrotermal değişimler sonucu) bu saha oluşmuştur. Bu sahada MTA tarafından araştırmalar yapılmış, iki sondaj kuyusu açılmıştır. Biri 1196 m derinliktedir, diğeri de sığ kuyu (394 m)’dur. Her iki kuyuda da sıcak su ile karşılaşmıştır. (Şimşek vd., 1990; Dokuz,1990).

2.5 Diğer Aktiviteler ve Jeotermal Sahalar

MTA’nın belirlemiş olduğu değerlere göre Türkiye’deki jeotermal ısı potansiyelimiz 31500 MWt’dir. 31500 MWt’in izahatını 5 milyon evin jeotermal enerji ile ısıtılması olarak yapabiliriz. Türkiye’deki jeotermal enerji potansiyeli 3800 ton/h fuel-oilin yakılmasına eşdeğerdir.

Şu anda Denizli-Kızıldere Jeotermal Santrali’nde elektrik üretiminde kullanılan akışkan (147 °C ‘de ve 1500 -1700 ton/h debide) Menderes Nehri’ne akmaktadır. Bu akışkanın enerjisi saatte 30 milyon TL fuel-oil eşdeğeridir ve bu akışkan tüm yıl boşa akıtılmaktadır. Ayrıca Balıkesir – Sındırgı’da 90 °C sıcaklığındaki jeotermal su değirmen çevrilmesinde kullanılmaktadır. Bu jeotermal akışkan yüzeye doğal olarak boşalmaktadır. Buna karşın, Fransa’nın başkenti Paris havzasında normal gradient ile elde edilen 2000 m derinlikli jeotermal kuyulardan elde edilen 60 ve 80 °C ‘lik jeotermal akışkanlar ısıtmada kullanılmaktadır (Orme Jeotermal, 1992).

Merkezi ısıtma-şehir ısıtmacılığı şu anda (Gönen ve Simav ilçeleri hariç) Türkiye’de yapılmamaktadır. Bölgesel ısıtmacılık daha yaygın durumdadır. Gazlıgöl, Gediz, Havza, Salihli, Hisarköy, Haymana ve Eskişehir’de toplam 28 MWt’lik enerji bölgesel ısıtmacılıkta

kullanılmaktadır (Şimşek ve Okandan, 1990).

Kozaklı'da 1000'er konut ve 10.000 m² sera ısıtması için proje ve fizibilite raporu çalışmaları tamamlanmış ve yatırıma hazır hale getirilmiştir. Gediz, kaplıca ve motelleri (20.000 kcal/h kapasiteli) 78 °C ' deki jeotermal su ile Kasım 1987' den itibaren ısıtılmaktadır. Ekim 1988' de işletmeye alınan kaplıca 60.000 kcal/h kapasitelidir. Salihli Termal Tesisleri'nde 50 adet apart-otelin jeotermal ısıtma sistemi 220.000 kcal/h kapasite ile Kasım 1989' dan beri işletilmektedir (Mertoğlu, 1992).

Gelişen jeotermal teknoloji kendisinin problemlerini artık çözmüştür. Kabuklaşma ve korozyon gibi jeotermal problemler kesinlikle çözülmüş ve jeotermal değerlendirme hız kazanmıştır (Mertoğlu, 1992).

MTA Genel Müdürlüğü'nce bugüne kadar ülke genelinde envanter çalışmaları ve sondajlar yapılmıştır. 1992 yılı itibariyle değerlendirmeye alınan çeşitli sıcaklık ve debideki toplam 116 kaynakta 284.165314 MWt ve açılan 93 kuyuda 701.038803 MWt olmak üzere toplam 985.204117 MWt potansiyel tespit edilmiştir.

Ege Bölgesi'nde kaynak sayısı (47) ve kuyu sayısının (40) diğer bölgelere göre daha fazla olması nedeniyle potansiyelin en fazla bu bölgede olduğu görülmektedir. (788.284840 MWt). Bu bölgeyi sırayla Marmara Bölgesi (93.650029 MWt), İç Anadolu Bölgesi (70.065226 MWt), Doğu Anadolu Bölgesi (17.516610 MWt), Kuzey Anadolu (Karadeniz) Bölgesi (12.228771 MWt), Güneydoğu Anadolu Bölgesi (2.319044 MWt) ve Akdeniz Bölgesi (1.139597 MWt) ile takip etmektedir.

Sahalarda mevcut kaynakların debileri ve kapasiteleri arttırılmaktadır. Bunlara bazı örnekler verecek olursak; Aydın-Salavatlı Jeotermal Sahası Alanı'nda 38 °C ve 0.5 lt/sn debide kaynak mevcutken, derinlikleri 962 ve 1510 m olan 2 kuyu açılarak, 162-171 °C sıcaklıklı rezervuar belirlenmiş ve kuyuların her birinden 300 ton/h akışkan üretimi sağlanmıştır. Elde edilen akışkanın kapasitesi 91.70 MWt'dir.

Aynı şekilde İzmir-Balçova Jeotermal Alanı'nda sıcaklığı 55 °C, debisi 3 lt/sn olan kaynaktan hareket ile, derinlikleri 80-182 m ve sıcaklıkları 90-126 °C arasında değişen toplam 11 sondaj yapılarak 5.5 MWt üretim sağlanmıştır.

Sakarya-Akyazı-Kuzuluk kaplıcasında da toplam debileri 1.15 lt/sn ve sıcaklıkları 31-44 °C arasında değişen toplam 17 kaynak baz alınarak açılan iki kuyudan 84 °C ve toplam 41 lt/sn debide akışkan elde edilmiştir. Elde edilen akışkanın potansiyeli 8.4 MWt olarak

hesaplanmıştır.

Kütahya-Simav-Eynal'da ise 66-78 °C ve 30.5 lt/sn debide kaynak mevcut iken derinliği 725 m, sıcaklığı 162 °C ve debisi 72 lt/sn olan akışkan elde edilmiştir. Aynı şekilde; derinlikleri 149.5 ve 150 m olan iki kuyudan 97 °C ve toplam 95 lt/sn debideki akışkan üretimi sağlanmış olup, sahadan üretilen akışkanın toplam potansiyeli 62 MWt'dir.

Van-Zilan Jeotermal Alanı'nda 65 °C ve 2 lt/sn debideki kaynak baz alınarak; derinlikleri 394-1172 m olan iki kuyu açılmış ve 35 lt/sn debide 100 °C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Tespit edilen potansiyel 9.5 MWt'dir. Sahada açılacak yeni sondajlarla debinin 100 lt/sn'yi aşacağı tahmin edilmektedir. Bu taktirde Erciş ilçesinin önemli bir bölümünün, askeri tesislerin ve çiftliklerin ısıtılması mümkün görülmektedir.

Türkiye'de 1989 yılı itibari ile tüketim gücü yaklaşık 45 MWt olup bu değer yıllık 15.000 ton eşdeğeri fuel-oil tasarrufudur.

Bir kuyu ve kaynaktan elde edilen jeotermal akışkanın termal potansiyeli hesaplanırken, sıcaklık ve debi parametreleri kullanılmıştır. Hesaplama da kullanılan sıcaklık değeri 35 °C'nin üzerindedir. Kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

$$MWt = (T-35 \text{ °C}) \times Q \times 4.186 \times 10^{-3} \text{ MW-saniye/cal} \quad (2.1)$$

Bu formül de;

T: °C değerinde kullanılacak akışkanın sıcaklığı

Q: lt/s değerinde kullanılacak akışkanın debisi

olarak kullanılacaktır.

Burada potansiyel hesaplanırken doğrudan kaynak veya kuyu başı çıkış sıcaklıkları alınmıştır.

Herhangi bir alanda yapılacak ısıtma projesinde ısı mühendisliği ile ilgili ısıtılacak alanların kaynağa mesafesi, konutların yapısına göre ısı talebi, iklim ve taşıma esnasındaki ısı kayıpları gibi değerlendirmeler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca ısıtmada kullanılacak ısı eşanjörü tipi ve özellikleri, mevcut potansiyelden % kaç oranında yararlanılabileceği ortaya çıkmaktadır.(Şimşek ve Demir, 1990).

Çizelge 2.1’de yukarıda bahsedilen formül yardımıyla 35 °C ‘nin üstündeki kaynaklar ele alınarak Türkiye’de ısıtmacılıkta kullanılabilen kaynak ve sondaj kuyuların termal potansiyelleri gösterilmiştir. Çizelge 2.2’de ise yukarıda bahsedilen formül yardımıyla 35 °C ‘nin üstündeki kaynaklar ele alınarak Türkiye’de bölgelere göre ısıtmacılıkta kullanılabilen kaynakların gösterildiği tablo oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1 Türkiye'deki jeotermal enerji kaynaklarının elektrik dışı kullanımına yönelik kaynak ve sondaj kuyularının termal potansiyeli (Şimşek, 1986; Karul, 1988; Dokuz, 1989, 1990, 1992; Şimşek ve Okandan, 1990; Yılmaz ve Gevrek, 1990; Akkuş, 1990; Mertoğlu, 1992; Bülbül, 1992; Orme Jeotermal A.Ş, 1992)

JEOTERMAL BÖLGE	TERMAL POTANSİYEL(MWt)
EGE BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	788,248840
MARMARA BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	93,650029
İÇ ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	70,065226
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	17,516610
KARADENİZ BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	12,228771
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	2,319044
AKDENİZ BÖLGESİ GENEL TOPLAMI	1,139597
TÜRKİYE GENEL TOPLAMI	985,204117

Çizelge 2.1 (devam) Ege Bölgesi

İL		SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK
JEOTERMAL ALAN		(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ
AFYON					
1	ARAPLIDERE	63.81	21	2,532572	KAYNAK
2	ÇAY-KARABURUN	37.5	38	0,397670	SONDAJ
3	GAZLIGÖL	66	6,4	0,830502	KAYNAK
4	BOLVADİN-HEYBELİ	57	20	1,841840	SONDAJ
5	SANDIKLI-HÜDAİ	69	50	7,116200	KAYNAK
6	ÖMER-GECEK AF-1	98	20	5,274360	SONDAJ
7	ÖMER-GECEK AF-3	97	35	9,083620	SONDAJ
8	ÖMER-GECEK AF-4	95	80	20,092800	SONDAJ
9	ÖMER-GECEK AF-5	79	15	2,762760	SONDAJ
10	ÖMER-GECEK AF-6	92	10	2,386020	SONDAJ
11	ÖMER-GECEK AF-7	93	6	1,456728	SONDAJ
12	ÖMER-GECEK AF-8	91	10	2,344160	SONDAJ
13	ÖMER-GECEK AF-9	49.5	17	1,031849	SONDAJ
14	ÖMER-GECEK AF-10	96	100	25,534600	SONDAJ
15	ÖMER-GECEK R-260	92	20	4,772040	SONDAJ
AYDIN					
1	GERMENCİK-ALANGÜLLÜ-1	56	2	0,175812	SONDAJ
2	AYTER-1	71	4,6	0,693202	SONDAJ
3	AYTER-2	88	7	1,553006	SONDAJ
4	DERMAN	51	0,5	0,033488	KAYNAK
5	GERMENCİK-ALANGÜLLÜ-1	140	278	122,18934	SONDAJ
6	MERKEZ-K.K.GİRME	38	31	0,389298	KAYNAK
7	KUYUCAK-ORTAKÇI	50	3	0,18837	KAYNAK
8	ORTAKLAR-GÜMÜŞ	41	6	0,150696	KAYNAK
9	SULTANHİSAR-SALAVATLI-1	162	83,3	44,284113	SONDAJ
10	SULTANHİSAR-SALAVATLI-2	171	83,3	47,422357	SONDAJ
11	SULTANIYE	41	3,5	0,087906	KAYNAK
12	SULTANIYE-VELİBEY	39.3	10	0,179998	KAYNAK
DENİZLİ					
1	DEMİRTAŞPINARI	95	2	0,50232	KAYNAK
2	İNALLI	54	1,5	0,119301	KAYNAK
3	KAMARA	38	10	0,12558	KAYNAK
4	MERKEZ-KARAHAYİT	41.5	1	0,027209	SONDAJ
5	KIZILDERE	140	417	183,28401	ARTIK
6	KIZILDERE-KIZILHAMAM	42	1	0,029302	KAYNAK
7	KIZILDERE-KUBBELİHAMAM	57	10	0,92092	KAYNAK
8	MERKEZ-TEKKEKÖY	97	20	5,19064	KAYNAK
9	YENİCE	41.5	1	0,027209	KAYNAK
MANİSA					
1	SALİHLİ-KURŞUNLU	78	5	0,89999	KAYNAK
2	MENTEŞE	62	4	0,452088	KAYNAK
3	SALİHLİ-KURŞUNLU	155	2	1,00464	SONDAJ
4	D.KÖPRÜ-SARAYCIK	51.5	0,5	0,034535	KAYNAK
5	SART	51	3	0,200928	KAYNAK
6	ŞEHİTLER	55	2	0,16744	KAYNAK
7	TURGUTLU	82	13	2,557646	KAYNAK
8	URGANLI	90	25	5,75575	SONDAJ
EGE BÖLGESİ ARA TOPLAMI =506,104814 MWt					

Çizelge 2.1(devam) Ege Bölgesi

İL		SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK
JEOTERMAL ALAN		(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ
İZMİR					
1	DİKİLİ-BADEMLİ	70	1	0,146510	KAYNAK
2	BALÇOVA-1	114	20	6,613880	SONDAJ
3	BALÇOVA-2	112	5	1,611610	SONDAJ
4	BALÇOVA-3	111	4	1,272544	SONDAJ
5	BALÇOVA-4	114	10	3,306940	SONDAJ
6	BALÇOVA-5	124	15	5,588310	SONDAJ
7	BALÇOVA-6	93	3	0,728364	SONDAJ
8	BALÇOVA-7	115	10	3,348800	SONDAJ
9	BALÇOVA-8	104	4	1,155336	SONDAJ
10	BALÇOVA-9	124	18	6,705972	SONDAJ
11	ÇEŞME-İLİCA	56	42	3,692052	SONDAJ
12	MENDERES-CUMA	68	5	0,690690	KAYNAK
13	BERGAMA-DEREKÖY	45	2	0,083720	KAYNAK
14	DİKİLİ	90	200	46,046000	SONDAJ
15	DOĞANBEY	95	50	12,558000	KAYNAK
16	DOĞANBEY-KARAKOÇ	62	4	0,452088	KAYNAK
17	NEBİLER	57	2,5	0,230230	KAYNAK
18	PAŞA	43,5	0,5	0,017791	KAYNAK
19	SEFERİHİSAR	153	168,714	83,335943	SONDAJ
20	ŞİFNE	42	12	0,351624	KAYNAK
21	TOPAN	56	5	0,439530	KAYNAK
KÜTAHYA					
1	DERELİ	41	60	1,506960	KAYNAK
2	EMET	47	17	0,853944	KAYNAK
3	GEDİZ	78	8	1,439984	KAYNAK
4	HAMAMKÖYÜ	51	2,250	0,150696	KAYNAK
5	KIZILSIN	44	35	1,318590	KAYNAK
6	MURATDAĞI	42	7,5	0,219765	KAYNAK
7	SİMAV-ÇİTGÖL	97	28	7,266896	SONDAJ
8	SİMAV-EYNAL EJ-1	162	72,8	38,702082	SONDAJ
9	SİMAV-EYNAL EJ-2	158	50	25,743900	SONDAJ
10	SİMAV-EYNAL EJ-3	147	50	23,441600	SONDAJ
11	SİMAV-NAŞA-1	42	9	0,263718	SONDAJ
12	SİMAV-NAŞA-2	52	2	0,142324	KAYNAK
13	YENİCEKÖY	49	1	0,058604	KAYNAK
14	YONCAAĞAÇ	39	2	0,033488	KAYNAK
15	YONCALI	41	10,6	0,266230	KAYNAK
16	YONCALI-1	41,5	30	0,816270	SONDAJ
17	YONCALI-2	42,2	30	0,904176	SONDAJ
MUĞLA					
1	KÖYCEĞİZ-SULTANIYA	43	3,5	0,117208	KAYNAK
UŞAK					
1	GÜRE-AKBULAK	37	1,8	0,015070	KAYNAK
2	AKSAZ	38	28,3	0,355391	KAYNAK
3	EMİRFAKİ	38	8	0,100464	KAYNAK
4	EŞME-ÖRENCİK	37,8	7,4	0,086734	KAYNAK
EGE BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =788,284840 MWt					

Çizelge 2.1(devam) Marmara Bölgesi

İL		SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK
JEOTERMAL ALAN		(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ
BALIKESİR					
1	MERKEZ	50	30	1,883700	KAYNAK
2	DAĞ	63	12	1,406496	KAYNAK
3	GÖNEN-EKŞİDERE	41	2	0,050232	KAYNAK
4	GÖNEN G-1	74	14	2,285556	SONDAJ
5	GÖNEN G-2	82	30	5,902260	SONDAJ
6	GÖNEN G-3	74	30	4,897620	SONDAJ
7	GÖNEN G-64A	71.5	15	2,291835	SONDAJ
8	GÖNENDAĞ	44	14	0,527436	KAYNAK
9	HİSARKÖY	79	4,8	0,884083	KAYNAK
10	ILICA-KEPEKLER	64	15	1,820910	SONDAJ
11	KARAKAPLICA	48	0,3	0,016744	SONDAJ
12	KIZILKOYU	51	2,5	0,167440	KAYNAK
13	MERKEZ-PAMUKÇU P-1	53	7	0,527436	SONDAJ
14	MERKEZ-PAMUKÇU P-2	56	18	1,582308	SONDAJ
15	SAMLIDAĞ	62	1,4	0,158231	KAYNAK
16	SINDIRGI-HİSARALAN	98	50	13,185900	KAYNAK
17	SUSURLUK-YILDIZ	47	1,6	0,080371	KAYNAK
BİLECİK					
1	ÇALTI	36	3	0,012558	KAYNAK
BURSA					
1	MERKEZ	45.3	28	1,207242	KAYNAK
2	MERKEZ	83.7	50	10,192910	KAYNAK
3	DÜMBÜLDEK	44	1,5	0,056511	KAYNAK
4	GEMLİK	36	33,5	0,140231	KAYNAK
5	KAYA	68	1,1	0,151952	KAYNAK
6	OYLAT	40	52	1,088360	KAYNAK
ÇANAKKALE					
1	ÇAN	46.5	1,7	0,081836	KAYNAK
2	TUZLA-GAYZERSUYU	100	1	0,272090	KAYNAK
3	HIDİRLAR	80	15	2,825550	KAYNAK
4	KARABİGA	49	9	0,527436	KAYNAK
5	KESTANBOL	73	20	3,181360	SONDAJ
6	KÜÇÜKGEÇİT	52	4,25	0,302439	KAYNAK
7	K.TUZLASI	55	3	0,251160	KAYNAK
8	KAZDAĞI-KOCABAŞLAR	36.5	2	0,012558	KAYNAK
9	KÜÇÜKÇETMİ	41	10	0,251160	KAYNAK
10	KUM	69	0,8	0,113859	KAYNAK
11	TUZLA	102	15	4,206930	SONDAJ
12	TUZLA	174	30,6	17,804732	SONDAJ
İSTANBUL					
1	TERMAL	65	10	1,255800	KAYNAK
YALOVA					
1	ARMUTLU	75	11	1,841840	SONDAJ
2	YALOVA	57	19	1,749748	KAYNAK
SAKARYA					
1	AKYAZI-KUZULUK-1	84	21	4,307394	SONDAJ
2	AKYAZI-KUZULUK-2	84	20	4,102280	SONDAJ
3	KİL	38	3,5	0,043953	KAYNAK
MARMARA BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =93,650029 MWt					

Çizelge 2.1(devam) İç Anadolu Bölgesi

İL		SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK
JEOTERMAL ALAN		(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ
ANKARA					
1	DUTLUCA	51	5	0,334880	KAYNAK
2	HAYMANA-3	44	52	1,959048	SONDAJ
3	HAYMANA-4	44	52	1,959048	SONDAJ
4	KIZILCAHAMAM-1	76	13	2,231138	SONDAJ
5	KIZILCAHAMAM-2	86	35	7,472010	SONDAJ
6	MELİKŞAH	43	70	2,344160	KAYNAK
7	ŞEYHHAMAMI	43	15	0,502320	KAYNAK
ÇANKIRI					
1	KURŞUNLU-ÇAVUNDUR	54	47	3,738098	SONDAJ
ESKİŞEHİR					
1	MERKEZ	44	14	0,527436	SONDAJ
2	MERKEZ ES-3	45	6	0,251160	SONDAJ
3	SAKARILICA SK-1	52	3,3	0,234835	SONDAJ
4	SAKARILICA SK-3	55	23	1,925560	SONDAJ
5	SARICAKAYA	55	12	1,004640	SONDAJ
6	YARIKÇI	38	1,3	0,016325	KAYNAK
KAYSERİ					
1	MEKEZ-BAYRAMHACI	41	3	0,075348	KAYNAK
2	TEKGÖZ	40	20	0,418600	KAYNAK
KIRŞEHİR					
1	BULAMAÇLI	44,5	0,3	0,011930	KAYNAK
2	MERKEZ-KARAKURT	50	10	0,627900	KAYNAK
3	MAHMUTLU	62	28	3,164616	SONDAJ
4	MERKEZ-TERME-3	40	45	0,941850	SONDAJ
5	MERKEZ-TERME-4	48	50	2,720900	SONDAJ
KONYA					
1	ÇİFTEHAN	52	7,5	0,533715	KAYNAK
2	ILGIN	42	160	4,688320	KAYNAK
NEVŞEHİR					
1	KOZAKLI	90	20	4,604600	SONDAJ
NİĞDE					
1	AÇIGÖL NAR-2	63	50	5,860400	SONDAJ
2	AÇIGÖL NAR-3	63	60	7,032480	SONDAJ
3	ÇİFTEHAN	53	5	0,376740	KAYNAK
4	AKSARAY-ZIGA	53	4,6	0,346601	KAYNAK
SİVAS					
1	MERKEZ	45	4	0,167440	KAYNAK
2	SICAKÇERMİK	45	200	8,372000	SONDAJ
3	YILANLI	36	4	0,016744	KAYNAK
YOZGAT					
1	MERKEZ-YERKÖY	45	1	0,041860	KAYNAK
2	BOĞAZLAYAN BAHARİ BB-2	46	100	4,604600	SONDAJ
3	SORGUN-KÖHNE	62	0,92	0,103980	KAYNAK
4	SARIKAYA	46	4	0,184184	KAYNAK
5	SORGUN YS-1	75	4	0,669760	SONDAJ
İÇ ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =70,065226 MWt					

Çizelge 2.1(devam) Doğu Anadolu Bölgesi

İL	SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK	
JEOTERMAL ALAN	(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ	
AĞRI					
1	DİYADİN-DAVUT	44	6	0,226044	KAYNAK
2	TAŞLIÇAY-KÖPRÜ	53	13	0,979524	KAYNAK
3	DİYADİN-TAZEKENT-2	63	2,2	0,257858	KAYNAK
4	DOĞUBEYAZIT-YILANLI	37	3	0,025116	KAYNAK
BİNGÖL					
1	ACIYAN	62	1	0,113022	KAYNAK
2	HARUR	52	0,160	0,011386	KAYNAK
3	KOŞ	41	4	0,100464	SONDAJ
ELAZIĞ					
1	KOLAN	44	5	0,188370	KAYNAK
2	KÖPRÜ	53	13	0,979524	KAYNAK
ERZİNCAN					
1	ILICA	40	11	0,230230	SONDAJ
ERZURUM					
1	DUMLU	37	10	0,083720	SONDAJ
2	ILICA	38	20	0,251160	SONDAJ
3	ILICA E-1	39	6	0,100464	SONDAJ
4	KIĞIHAMZAN	56	12	1,054872	KAYNAK
5	NORMAN	45.5	1,5	0,065930	KAYNAK
6	OLUR	38	4,5	0,056511	KAYNAK
7	PASINLER	43	75	2,511600	SONDAJ
HAKKARİ					
1	BEYTÜŞEBAP	36	10	0,041860	KAYNAK
TUNCELİ					
1	BAGİN	39	5	0,083720	KAYNAK
2	HARİK	39	15	0,251160	KAYNAK
VAN					
1	DERGEZİN	36	5	0,020930	KAYNAK
2	HASANABDAL	68	2	0,276276	KAYNAK
3	ZEREN	55	1	0,083720	KAYNAK
4	ZİLAN	100	35	9,523150	SONDAJ
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =17,516610 MWt					

Çizelge 2.1(devam) Karadeniz Bölgesi

İL	SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK	
JEOTERMAL ALAN	(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ	
AMASYA					
1	GÖZLEK G-1	42	10,5	0,307671	SONDAJ
2	HAMAMÖZÜ	42.5	29	0,910455	SONDAJ
3	TERZİKÖY	37	12	0,100464	SONDAJ
BOLU					
1	MERKEZ	44	14,5	0,546273	SONDAJ
2	SARIOT	63	1,2	0,140650	KAYNAK
ORDU					
1	FATSA	48.5	2,5	0,141278	KAYNAK
RİZE					
1	ÇAMLIHEMŞİN AYDER	55.5	14	1,201382	SONDAJ
SAMSUN					
1	HAVZA SH1-C	54	55	4,374370	SONDAJ
2	HAVZA SH-2	53	11	0,828828	SONDAJ
3	LADİK KOCAPINAR HH-1	38	40	0,502320	SONDAJ
TOKAT					
1	SULUSARAY AS-2	53.5	20	1,548820	SONDAJ
2	SULUSARAY AS-3	53.5	21	1,626261	SONDAJ
KARADENİZ BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =12,228771 MWt					

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ					
İL	SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK	
JEOTERMAL ALAN	(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ	
DİYARBAKIR					
1	ÇERMİK	48	10	0,544180	SONDAJ
MARDİN					
1	GERMAV	40	1	0,020930	KAYNAK
SİİRT					
1	BİLLURİS	38	65	0,816270	KAYNAK
2	HİSTAÇERMIĞI	67	7	0,937664	KAYNAK
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =2,319044 MWt					

AKDENİZ BÖLGESİ					
İL	SICAKLIK	DEBİSİ	TERMAL POTANSİYEL	KAYNAK	
JEOTERMAL ALAN	(°C)	(lt/s)	(MWt)	SONDAJ	
İÇEL					
1	GÜNEY YOLU	37.5	4,3	0,045000	KAYNAK
2	MERSİN	38	1,5	0,018837	KAYNAK
KAHRAMANMARAŞ					
1	SÜLEYMANLI-1	44	8,110	0,305536	SONDAJ
2	SÜLEYMANLI-2	43	23	0,770224	SONDAJ
AKDENİZ BÖLGESİ GENEL TOPLAMI =1,139597 MWt					

Çizelge 2.2 Bölgelere göre kaynak ve kuyuların elektrik dışı kullanım kapasiteleri (Şimşek, 1986; Karul, 1988; Dokuz, 1989, 1990, 1992; Şimşek ve Okandan, 1990; Yılmaz ve Gevrek, 1990; Akkuş, 1990; Mertoglu, 1992; Bulbul, 1992; Orme Jeotermal A.Ş., 1992)

BÖLGE	DEĞERLENDİRİLEN KAYNAK SAYISI	KAYNAK TERMAL POTANSİYELİ (MWt)	DEĞERLENDİRİLEN SONDAJ SAYISI	SONDAJ TERMAL POTANSİYELİ (MWt)	TOPLAM POTANSİYEL KAY+SON (MWt)
EGE	47	227.656.573	40	560,628267	788,284840
MARMARA	28	38.881.243	14	54,768786	93,650029
İÇ ANADOLU	17	10.791.047	19	59,274179	70,065226
DOĞU ANADOLU	17	4.715.822	7	12,800788	17,516610
KARADENİZ	2	0.281928	10	11,946843	12,228771
GÜNEYDOĞU ANADOLU	3	1.774.864	1	0,544180	2,319044
AKDENİZ	2	0.063837	2	1,075760	1,139597
TÜRKİYE TOPLAMI	116	284.165.314	93	701,038803	985,204117

3. JEOTERMAL SUDA BASINÇ ve SICAKLIK DÜŞÜMÜ ETKİLERİ

3.1 Jeotermal Sahalarında CaCO₃ Çökmesi

Kalsiyum karbonat çökmesi, jeotermal sahalarda ve bazı petrol sahalarındaki üretim veya enjeksiyon kuyularında yer altı ve yerüstü donanımlarında daralmalara ve tıkanmalara neden olarak bir takım işletim sorunlarına ve dolayısıyla ekonomik kayıplara neden olur. Ayrıca petrol sahalalarında enjeksiyon durumunda ve bazı hallerde üretim durumunda da formasyon gözeneklerinin tıkanması dolayısıyla geçirgenlikte azalmaya neden olarak kuyuya olan akışı ve enjeksiyonu önler.

Karbonat çökmesini meydana getiren iyonlar bakımından, rezervuar koşullarında, dengede olan sulu çözelti üretiminden dolayı meydana gelen basınç düşümü sonucu kalsiyum karbonata göre aşırı doymuş hale gelir. Gözenekler ve üretim-enjeksiyon donanımları boyunca sürekli olarak akan aşırı doymuş çözelti içerisindeki kalsiyum karbonat kristalleri uygun koşullar bulunduğu gözenek ve donanım yüzeylerine tutunarak gittikçe kalınlaşan sert tabakalar halinde çöklerler. Oluşan bu tabakalar zamanla çap daralmalarına neden olarak akışı önlerler.

Petrol ve jeotermal sahalardan üretilen suyun içerdiği minerallerin kimyasal tepkimeleri sonucunda doğal olarak çözilemeyen bazı bileşikler suyla temas eden boruların iç yüzeyinde veya diğer donanımlarda çökerek birikebilirler. Suyun bileşimine bağlı olarak mineral çökmesini oluşturan bileşikler arasında kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat, kalsiyum sülfat, stronsiyum sülfat, baryum sülfat, silikat ve demir bileşikleri sayılabilir. Minerallerin çökmesi ve birikmesi sonucunda boruların çapları azalır ve donanımlar kullanılamaz duruma gelebilirler. Dolayısıyla, petrol ve jeotermal sahalarda suyun üretimi, depolanması, enjekte edilmesi ve diğer işlemlerden geçirilmesi durumunda mineral çökmesinin kontrolü gerekir. Ancak bu oldukça karışık bir kimyasal durum olup çökmenin önlenmesi için uzman bilgisine gereksinim vardır. Genelde, kontrol etmek için çökmenin birikimine kadar beklemek akıllı bir yaklaşım olmaz (Satman ve Uğur, 1994).

Çökmenin bir potansiyel sorun olması durumunda çökmeyi engellemek amacıyla çökmeyi geciktiren veya önleyen kimyasal maddeler (inhibitors) kullanılabilir. Bu tür kimyasal maddeler çökebilecek maddelerin kristallerin büyümesini durdurur ve dolayısıyla birikimi engeller. Kimyasal maddelerin kullanılmaması durumunda ise kuyu içinde biriken mineral bileşikler mekanik işlemler veya asitleme gibi yöntemlere başvurulabilir.

Mineral çökmesi, su içindeki minerallerin aşırı doymuşluğa ulaşması, çözülmüş gazların (CO_2 gibi)sudan ayrışması, basınç ve sıcaklık koşullarının değişmesi ve iyonik yapıları uyumsuz olan suların karışması gibi nedenlerle oluşur.

Petrol sahalarında petrol ve doğal gazla birlikte önemli miktarlarda su üretilir. Orijinal rezervuar koşullarında üretilen suyun kimyasal bileşimi termodinamik dengededir. Ancak kuyu dibinden yüzeye doğru akış sırasında sıcaklıkta ve daha önemlisi basınçta azalma olur. Özellikle basınçtaki azalma nedeniyle suyun termodinamik dengesi bozulur, bileşimindeki çözülmüş gaz olan CO_2 sıvı fazdan ayrılarak gaz fazına geçer. Dolayısıyla CO_2 'nin kısmi basıncında azalma olurken su içindeki karbonat dengesi bozulur. Bozulan denge sonucunda $CaCO_3$ oluşur. Oluşan $CaCO_3$ hidrodinamik ve kinetik koşulların elverdiği yerlerde, özellikle ani basınç düşümleri olan ve kristal birikimine olanak sağlayan pürüzlü boru iç yüzeylerinde, çöker ve birikir (Satman ve Uğur, 1994).

Jeotermal sahalardaki $CaCO_3$ çökmesi olayı petrol sahalarındakine benzerdir. Önemli farklılıklar petrol sahalarında su ile petrol birlikte üretilirken jeotermal sahalarda sadece su üretilmektedir. Üretim kuyusu dibindeki basınç ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak rezervuardan üretim kuyusuna giren su tek fazlı olabileceği gibi su ve buharın birlikte olduğu iki fazlı durumlarla da karşılaşılabilir. Türkiye'deki önemli jeotermal rezervuarlar olan Kızıldere ve Germencik rezervuarlarında rezervuar basıncının yüksekliğinden dolayı yüksek basınçlı sıcak su tek faz olarak kuyu dibine girer. Kuyu içinden yüzeye doğru akış sırasında ayrışma noktası (flash point) basıncı daha yüksek olan CO_2 sıvı fazdan ayrılarak gaz fazına geçer. Daha sonra da su fazı buharlaşmaya başlar. Yüzeyde üretilen gaz faz içinde buhar ve CO_2 birlikte bulunur. Petrol sahalarından üretimde ise yüzeydeki gaz faz içinde sudan ayrılan CO_2 ve petrolden ayrılan hafif hidrokarbonlar birlikte bulunurlar. Jeotermal üretim kuyusunda CO_2 'nin sıvı fazdan ayrıldığı noktada suyun kimyasal dengesi bozulur ve petrol üretim kuyusundaki duruma benzer olarak $CaCO_3$ oluşur, uygun ortam ve koşullarda çökerek birikir (Satman ve Uğur, 1994).

3.1.1 Kalsiyum Karbonat Çökmesi

Kalsiyum karbonat çökmesini açıklamak için sudaki karbonat bileşenlerinin davranışlarının bilinmesi gerekir. Genellikle sulu çözeltilerin karbonat sistemleri;





şeklinde iyonlara ayrışırlar.

Sistemi oluşturan ana bileşen CO_2 olduğu için tümü CO_2 bileşenleri diye adlandırılır. Görüldüğü gibi suda çözünen CO_2 karbonik asidi oluşturarak çözeltiye asidik yapı kazandırmaktadır. Henry kanuna göre suda çözünen gaz kısmi basıncıyla doğru orantılı olduğu için CO_2 'nin kısmi basıncı çözeltinin pH'ı üzerinde etkin parametre olacaktır. Denklem 3.3 ve 3.4'deki tepkimelerde çözeltiye hem H^+ iyonu hem de karbonat iyonları verildiği için bu sistem aynı zamanda çözeltinin bir tampon çözeltisi gibi davranmasını sağlar.

$CaCO_3$ çözelti dengesi ise;



şeklinde çözeltinin bulunduğu koşullara göre gerçekleşir.

Karbonatların çökeliminde doğal olarak en etkin parametre pH'dır. pH'ın yüksek olması çözeltideki karbonat iyonlarının derişimini artıracığı için çökelmeyi artırır. Çözünmüş karbondioksit veya karbondioksitin kısmi basıncı çözeltide karbonik asit oluşmasına neden olduğu için pH değerini düşürmekte dolayısıyla $CaCO_3$ 'ün çökelmesini önlemektedir. Şekil 3.1 sıcaklık ve karbondioksitin kısmi basıncının $CaCO_3$ çökelmesi üzerindeki etkisini göstermektedir. Sıcaklık arttıkça çökelme eğilimi artmakta buna karşılık kısmi basınç arttıkça çökelme eğilimi azalmaktadır. Artan sıcaklık CO_2 'in kısmi basıncının çökelme eğilimi üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Çözeltide bulunan diğer iyonlar yani çözeltinin iyonik gerilmesi çözünürlüğü artırıcı yönde etki etmektedir.

Çökelmeyi etkileyen diğer faktörler kinetik ve hidrodinamik faktörlerdir. Bunlar özellikle termodinamik denge sağlandıktan sonra etkili olurlar. Çökeltilerin bir yerde tutunması, kristal şeklinde büyümesi vs. kinetik etkiler; akışın laminer veya türbülans olması veya akışın faz davranışı hidrodinamik etkilere girer. Örneğin $CaCO_3$ çökelmesi akışın türbülanslı olduğu yerlerde daha fazla gözlenmektedir.

3.2 Jeotermal Sularda Kabuklaşma ve Korozyon Sorunları ve Alınacak Önlemler

Jeotermal uygulamalarda, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan kabuklaşma ve korozyon, sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunlardır.

Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözünmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Bu akışkanların kimyasal bileşimleri; saf su veya buhardan 360.000 ppm'lik eriyik katı içeren sıcak tuzlu su arasında değiştiği için, kabuklaşma ve korozyon genellikle yüzeye bağlı olup, tek bir çözüm bulmak oldukça güçtür. Bununla birlikte, jeotermal akışkanların kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak kabuklaşma ve korozyon sorunları, kaynakların bulunduğu bölgeye özgü olsa da bazı genel ilke ve öneriler verilebilir.

3.2.1 Kabuklaşma Sorunları

Kabuklaşma, jeotermal kaynaklardan yararlanma sırasında oluşan en önemli sorunlardan birisidir. Silika ve silikat, karbonat, sülfat ve kükürt genel olarak kabul edilen esas kabuklaşma türleridir.

Silika, genellikle opal gibi amorf silis şeklinde olup, silikatlar (SO_4) da amorf ile yarı amorf arasındadır. Karbonat kabuklaşması esas olarak, düşük magnezyum kalsitlerden oluşmakla birlikte bazı durumlarda yüksek magnezyum ve aragonit ($CaCO_3$) içerenlerde belirlenmiştir. Sülfatlar esas olarak, kalsiyum sülfat ve baritler ($BaSO_4$)'dir. Yüksek sıcaklıklarda anhidrit ($CaSO_4$) baskındır. Kükürtlü olanlar genellikle düzgün kristalleşmişlerdir ve çok faz şeklinde oluşurlar (Paksoy vd., 1994).

3.2.2 Kabuklaşma Oluşumu

Kabuklaşma oluşumuna neden olan tam mekanizma hakkında çok az şey bilinmekle birlikte, esas olarak üç ortam arasında ayırım yapılabilir:

- Tek fazlı bir akışkandan kalan çökeltiler (geri dönüşüm boru hatları),
- Fıskıran akışkandan kalan çökeltiler (kuyular, ayırıcılar, iki fazlı boru hatları),
- Buhar taşınması sonucunda kalan çökeltiler (türbinler, buhar boru hatları).

Belirtilen bu çökelti türlerinden 1. ve 3. türdekiler anlaşılması en kolay olanlardır, fakat birçok kabuklaşma sorunu 2. tür çökeltilerden kaynaklanmaktadır (Paksoy vd., 1994).

Tek fazlı bir akışkandan katı maddelerin çökeltilmesi uzun yıllardan günümüze kadar araştırılmıştır. Akışkan bulunduğu faza göre aşırı doymuş halde bulunduğu çöker. Çekirdekleşme ve birikimin kinetiği; aşırı doymuluk derecesine, basınca, sıcaklığa ve bazı elementlerin bulunmasından kaynaklanan katalik ve tutucu etkilere bağlıdır.

Fışkıran akışkandan kalan çökeltiler, kabuklaşmanın esas nedeni olmasına karşın bu durumdaki mekanizma çok az anlaşılmaktadır. Fışkıрма, basınç düşmesiyle veya türbülanslı akış nedeniyle başlar ve kalsit kabuklaşmasına neden olur. Fışkıрма aşğıdaki mekanizmalardan birisi aracılığı ile aşırı doymuluğu artırır:

- Sıvı fazdan buhar kaybı, çözünen maddelerin derişimini artırır,
- Genleşme sırasındaki sıcaklık düşüşü ve
- CO₂ veya H₂S gibi kararlı gazların kaybı, pH'ı artırır.

Buhar taşınmasından oluşan birikintiler, türbinler ve buharla temas halinde olan diğer birimlerde kabuklaşmaya neden olur. Bu tür kabuklaşma tamamen buharlaşmaya bağlı olduğundan, barot ve halit gibi bazı minerallere rastlanabilir.

3.2.3 Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) Kabuklaşması

Bütün jeotermal akışkanlarda CO₂ bulunur ve Henry yasasına göre; bir su çözeltisindeki CO₂ miktarı, CO₂'nin buhar basıncı ile doğru orantılıdır. Çözünmüş CO₂ derişiminde H₂CO₃ şeklinde karbonik asit de bulunur ve genellikle toplam olarak % 3 kadardır. Jeotermal işletim, buhar fazı içermeyen statik CO₂ yüklü bir sıvıyla başlar ve üretim başladığında basınç düşer ve denge sağa kayar.



CO₃⁻² iyonu derişimi artar ve çözünürlük çarpanına göre,



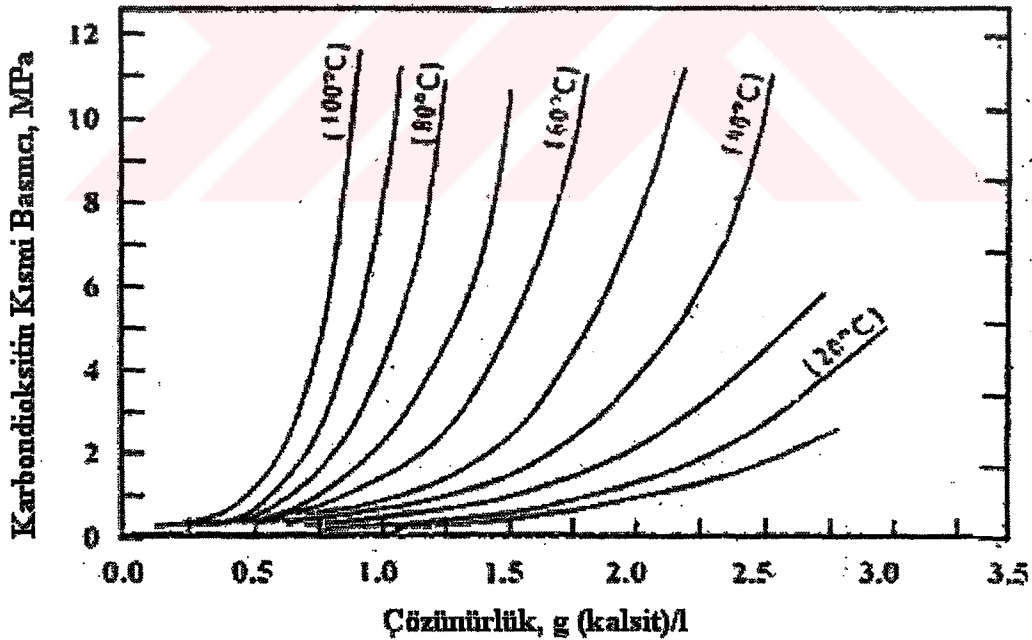
CaCO₃ çökmesine neden olabilir. Bu nedenle CaCO₃ çökmesi fışkıрма ile başlar. Fışkıрма üretim kuyusunda başladığında, kabuklaşma kuyu içerisinde başlayacak eğer yüzeydeki aletlerde başlarsa katmanlar bu aletler üzerinde oluşacaktır (Paksoy vd., 1994).

3.2.3.1 Kalsiyum Karbonat (CaCO_3) Kabuklaşmasının Önlenmesi

3.2.3.1.1 Karbondioksit (CO_2) Kısmi Basıncının Kontrolü

Jeotermal akışkanın basınç ve sıcaklığı, jeotermal kuyudan doğal akışla iletim yerine akışkanın pompalanarak iletilmesiyle kolay bir şekilde düzenlenebilir. Kuyu içi pompası kullanılarak, kuyu içinde fişkırtma sonucunda oluşan basınç ve sıcaklık düşmesi önlenir. Mekanik bir kuyu içi pompası yardımıyla, üretilen akışkan tek fazlı sistem olarak sürdürülebilir. Böylece, CaCO_3 gibi “basınca duyarlı” kabuklaşma oluşumu önlenir ve BaSO_4 gibi “sıcaklığa duyarlı” kabuklaşma oluşumu da geciktirilebilir. Bu tip pompaların kullanımı akışkan sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, yaklaşık $190\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki kuyularda bu pompaların çalışabileceği garanti edilmemektedir (Paksoy vd., 1994).

Kabuklaşmanın önlenmesinde diğer önemli bir yöntem de, üretilen CO_2 'nin bir kısmının tekrardan üretim kuyusuna geri gönderilerek, yüksek CO_2 kısmi basıncının yapay olarak sürdürülmesidir (Şekil 3.1). Bu yöntemle yapılan denemeler ABD’de başarılı sonuçlanmıştır, ancak sadece düşük CO_2 içeren akışkanlar için geçerlidir.



Şekil 3.1 CaCO_3 çözünürlüğüne CO_2 'nin kısmi basıncının ve sıcaklığının etkisi

3.2.3.1.2 Akışkan pH'nın Düzenlenmesi

Kabuklaşmanın önlenmesi için diğer bir yöntem de, jeotermal akışkanın kimyasal bileşimini özellikle pH'ını düzenlemektir. Akışkanın pH'ını CaCO_3 kabuklaşmasının oluşmayacağı bir değere düşürmek için akışkana HCl eklenmesi teknik olarak mümkün olmakla birlikte, ekonomik bir uygulama değildir. pH'daki çok az bir düşüş için çok miktarda asit eklemek gerekir.

3.2.3.1.3 Kabuklaşmayı Önleyici Kimyasal Katkı Maddeleri Kullanmak

Çizelge 3.1'de kabuklaşmayı önleyici bazı kimyasal katkı maddeleri verilmiştir. Bu kimyasalların bazıları İtalya'daki çalışmalarda denenmiş olup, en iyi sonuçlar Dequest 2066 ve Sequion 40 Na 32 gibi organik fosfonatlarla alınmıştır.

Çizelge 3.1 Kabuklaşmanın önleyici katkı maddeleri (Corsi ve ark.,1985)

Katkı Maddeleri	Kimyasal Yapısı
Dequest 2060	Organikfofanik asit
Dequest 2066	Organikfofanik asit
Ecostabil 4001	Organikfofanik asit
Ecostabil 4004	Organikfofanik asit
Ecostabil EP/85	Organikfofanik asit
Ecopol 4014	Poliakrilat
Ecopol 4022	Poliakrilat
Nadar 4053	Organikfofanik asit
Nadar 4054	Organikfofanik asit
Flocon 247	Polikarboksilik asit
Chelone DPNA	Organikfofanik asit
Sequion 40 Na 32	Organikfofanik asit
Procedor ST90	Karışık
Sodium Fumate	-

Kimyasal katkı maddeleri kullanılarak günümüze kadar yapılan çalışmalardan belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Ergimiş tuzlar ve bazı eser elemetlerin (Mn, Fe, As) bulunması ürün etkinliğini etkilememektedir.
- Kimyasal katkı maddesi, çekirdekleşmenin başlamış olduğu iki fazlı bir akışkana eklendiğinde etkili olmaktadır.
- Fosfanatların etkinliği, 180-200 °C' ye kadar sürmektedir. Bazı sonuçlar 210 °C' den sonra bozulma olduğunu göstermiştir ve bu nedenle katkı maddesinden aynı etkinin sağlanması için iki misli derişim kullanılmalıdır.
- Kimyasal katkı maddelerinin etkinliği birkaç saat sürebilir, bu nedenle geri besleme sorun oluşmaksızın devam edebilir.

3.2.4 Silika Kabuklaşması

CaCO₃ kabuklaşması orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklarda, üretim kuyularında ve yüksek sıcaklık altında çalışan ekipmanlarda oluşmasına karşın, silis kabuklaşması yüksek sıcaklıktaki kaynaklarda, özellikle geri dönüş hatlarında, ayırıcılarda ve bazen de kuyularda oluşur.

Silikanın sulu çözeltilerdeki davranışları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Jeotermal uygulamalarda önemli olan silika şekilleri, kuartz ve amorf silikadır. Genellikle jeotermal kaynaklarda akışkanın kuartz ile akışkan sıcaklığında dengede olduğu varsayılır. Jeotermal uygulamalar için, akışkan içerisinde erimiş olan kuartz miktarı sıcaklıkla artar ve derişimle azalır. pH < 8 durumunda, kuartz çözünürlüğünün pH'dan bağımsız olduğu dikkate alınabilir.

Soğutulduğu zaman jeotermal akışkan, kuartz bakımından doygun duruma gelir. Bununla birlikte, kuartzın kinetiği çok yavaştır ve düşük sıcaklıklardaki silika birikimi, belirli sıcaklıktaki çözünürlüğü kuartzdan daha fazla olan amorf silika dengesiyle kontrol edilir. Bu nedenle silika birikimi, amorf silika dengesi için gerekli doygunluk sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda oluşur. Amorf çözünürlüğü sıcaklıkla artar, derişimle azalır ve pH ile belirgin bir şekilde artar. Amorf silika birikimlerinin oluşma hızı, silikanın polimerleşme hızıyla kontrol edilir. Silikanın polimerleşme hızı, doygunluk derecesi ve sıcaklığa bağlıdır. Tepkimeler, klorür ve hidroksitlerle katalizlenen zincirleme tepkimeler şeklinde olabilir ve bu durumda sodyum, potasyum ve sülfat iyonlarının çok az etkisi vardır (Paksoy vd., 1994).

Ortam sıcaklıklarında kabuklaşma oranı çok yavaş olduğundan, kabuklaşmanın oluştuğu bölge aşırı doygun akışkanın tutunma süresine bağlıdır. Çalışmalar asitleşmenin çökme hızını yavaşlattığını göstermiştir.

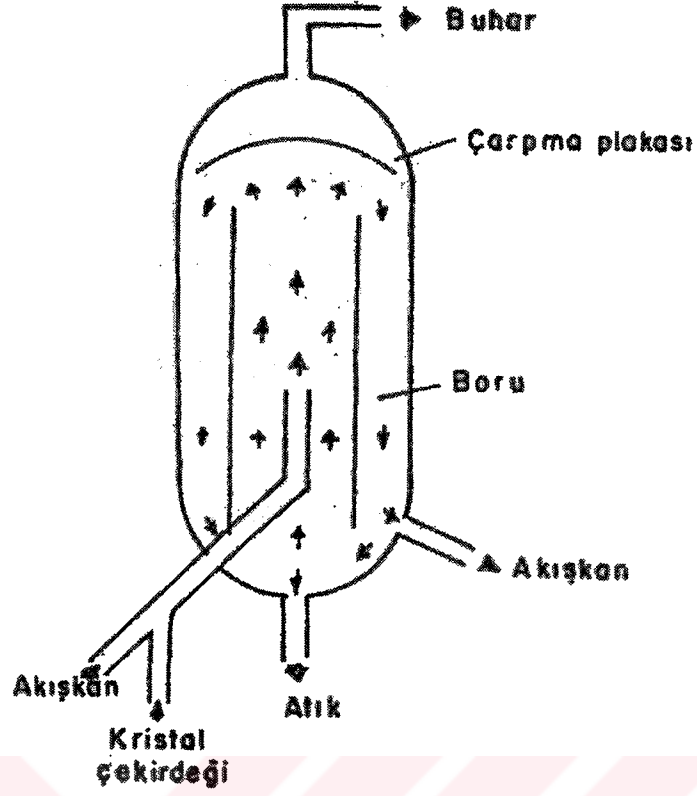
3.2.4.1 Silika Kabuklaşmasının Önlenmesi

Silika kabuklaşmasının oluşumu dikkate alındığında, kabuklaşma oranını azaltmak veya ortadan kaldırmak için esas olarak çözeltinin pH'ını değiştirmek yeterli olmaktadır. Bu yöntem, jeotermal akışkana HCl veya NaOH eklenerek Meksika ve ABD'de denenmiştir. Her iki durumda da ümit verici sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte, kullanılan kimyasalların fiyatları çok yüksek olduğundan bu konuda yeni yaklaşımların denenmesi gereklidir.

Basınç, sıcaklık ve akış hızı düzenlenerek ekipman içerisinde oluşan silika kabuklarını hareket ettirme olanağı vardır, ancak bu uygulamalar kabuklaşma sorununu tamamen ortadan kaldırmamaktadır.

3.2.4.2 Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler

Kabuklaşma sorunu gidermek için kimyasal katkı maddelerinin etkili olmadığı durumlarda, farklı yöntemler denenebilir. Kabuklaşma oluşumunu önlemek yerine, üretim kuyuları başında ve enjeksiyon kuyuları arasında sıcaklık ve basıncı dikkatli bir şekilde kademeli olarak azaltarak özel olarak tasarlanmış bir ekipman içerisinde kabuk birikimine olanak sağlanabilir. Bu yöntem için, toplam basınç ve istenilen basınç düşmesine bağlı olarak bir çok ekipman kullanılabilir. Örneğin, kabuklaşma fişkırtma tankında (flash-tank) oluşuyorsa özel bir fişkırtma kristallendirici kullanılabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kristallendiricinin çalışma ilkesi (Vetter ve Kandarpa,1982)

Bu kristallendiricinin çalışma ilkesi, çözeltinin kabuklaşmaya uygun olmayan ortamdan kabuklaşma için uygun olan ortama ani olarak gönderilmesi ve tankın iç duvarları yerine yeterli miktarda eklenen kristal çekirdeği üzerinde katı maddelerin çökmesinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, sıvı içerisindeki duvarlar üzerinde katı madde birikiminin önlenmesi için eklenen çekirdeklerle geniş bir yüzey alanı oluşturulmalıdır. Duvarlar üzerindeki kabuklaşma, duvar tarafından oluşturulan değişik bir çekirdekten veya eklenen çekirdeklerden bazılarının duvarlara yapışmasından kaynaklanabilir.

Bununla birlikte, bu yaklaşım akışkan geri dönüş borularında sıcaklık azalmasından kaynaklanan silika parçacıklarına bir çözüm sağlamamaktadır. Bu gibi durumlarda; birikintilerin yüzdürülmesi, filtrasyon veya siklonla ayırma gibi geleneksel su arıtma yöntemleri uygulanabilir. Jeotermal uygulamalardaki yüksek akış hızları, bu yöntemlerin kullanılmasında arıtma tesislerinin büyüklüğü bakımından bazı sorunlar yaratabilir. Çizelge 3.2’de bu konuda uygun olabilecek bazı çözümler verilmiştir.

Çizelge 3.2 Silika parçalarının ayrılması için uygun yöntemler (Paksoy vd., 1994)

Yöntem	Hidrolik Yük (m ³ /m ² .h)	Öneriler
Çökeltme(yoğunlaştırıcı+durultma)	1-2	Hidrolik ve konvektif türbülans
Yüzdürme	10-15	Konvektif hareketten kısmen etkilenme
Süzme	0.5-1	Pahalı
Tuz Süzme	10-15	Kuvvetli bağlanmış parçacıkların bulunduğu derişimler için uygun değil
Hidrosiklon	>100	Etkinlik düşük

3.3 Jeotermal Uygulamalarda Korozyon

3.3.1 Jeotermal Uygulamalarda Karşılaşılan Korozyon Türleri

Jeotermal uygulamalarda kullanılan malzemelerde karşılaşılan korozyon türleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

- **Düzdün genel korozyon**, metal yüzeylerin daha çok klorür, amonyaklı türünler veya hidrojen iyonları tarafından daha sonra “pas” şekline dönüşen genel bir saldırıya uğramasıdır.
- **Çukur korozyonu**, metal yüzeyinde aşınmaya neden olan bölgesel bir etkidir. Genellikle yüzeydeki bir tabakanın veya kabuklaşmanın parçalanmasıyla ilgilidir. Ama başlangıcını ve oluşma hızını önceden tahmin etmek mümkün değildir.
- **Aralık korozyonu**, aşınma korozyonuna benzer şekilde bölgesel bir etkidir. Diğer korozyon türlerinden farklı olarak, geometriye bağlı ve ekipmanın yapımından kaynaklanan çatlaklarda veya kabuk kalıntıları altında oluşur.

- **Gerilmeli korozyon çatlaması**, malzemenin gerilme altında kalması ve ortamda klorür iyonunun bulunmasından kaynaklanır ve jeotermal uygulamalardaki en tehlikeli korozyon türüdür. Ortamda bulunan oksijen ve yüksek sıcaklık gerilme çatlamasını artırır.
- **Kükürtlü gerilim çatlaması**, sulu fazda H_2S içeren ortamlarda dayanımı yüksek çelik malzemelerin gerilme altında kalması sonucunda oluşur. Gerilme çatlamasının aksine, oksijen ve yüksek sıcaklığın etkisi yok denecek kadar azdır. pH'ın düşük olması durumunda olay hızlanmasına karşın, bu tür korozyon jeotermal uygulamalardan çok petrol endüstrisinde görülür.
- **Hidrojen kabartması**, düşük dirençli çeliklerin H_2S içeren sulu çözeltilerle karşılaşması sonucunda oluşur. Boşluklar sıkışan hidrojen birikerek, yeterli basınç uygulandığında yırtılmalar oluşabilir. Hidrojen kabarcıklarının oluşabilmesi için, malzemenin gerilme altında bulunmasına gerek yoktur.
- **Örgü arası korozyon**, metalin damarlarındaki veya yakınlarındaki bölgesel etkili bir korozyondur. Uygun olmayan ısıl işlemlerde kaynaklanan bu tür korozyonda, alaşım parçalanır (damarlar ayrılır) ve dayanımını yitirir.
- **Galvanik eşleme**, farklı iki metalin elektriksel olarak etkileşiminden oluşur.
- **Yorulmalı korozyon**, koroziv bir ortamda malzeme üzerine düzenli olarak gerilme uygulandığında oluşur. Korozyon yorgunluğu sınırı; gerilme, sıcaklık ve koroziv sonuçlar altında birkaç gerilme uygulamasından sonra yorgunluğa neden olmayacak en fazla birim gerilmedir. Gerilme ve korozyonun birleşik etkileri, bu olayları tek başlarına verdikleri toplam etkiden daha tehlikelidir.
- **Örozyon korozyonu**, yüksek hızdaki akışkanın damlacık veya parçacıklarının çarpması sonucunda hızlı bir şekilde oluşan metal kaybıdır. Türbinlerin giriş ve çıkışlarında veya iki fazlı akışın olduğu yerlerde önemli olabilir.
- **Oyulma**, metal yüzeylerde buhar kabarcıklarının neden olduğu bölgesel bir korozyondur.

3.3.2 Jeotermal Akışkanlardaki Korozif Etkili Maddeler

Jeotermal akışkanlarda, metal yüzeylerde korozyona neden olan başlıca kimyasal maddeler; oksijen, hidrojen iyonu (pH), klorür iyonu, hidrojen sülfid, karbondioksit, amonyak ve sülfat iyonudur. Bazı jeotermal akışkanlarda daha az rastlanan veya daha az etkili olan florür iyonu, ağır metaller ve boron gibi diğer bazı bileşenler de korozif etkiler yaratabilir. Bu maddelerin korozif etkilerinin miktarını tahmin edebilmek aşağıdaki nedenlerden dolayı güçtür:

- İki yada daha fazla korozif etkili maddenin birbirleriyle etkileşimleri, bu maddelerin tek başlarına oldukları durumda verdikleri etkiden farklı olabilir.
- Korozif etkili bir maddenin önemi, korozif etkinin türüne bağlıdır.

Jeotermal akışkanlardaki en önemli kirletici, çözülmüş durumda bulunan oksijendir. Havalandırılmış jeotermal akışkan, karbon çeliğindeki sabit korozyon hızını on kat artırır. Oksijen, klorür iyonu ile birlikte belirli sıcaklıklarda gerilme çatlama hızına neden olabilir. Bazı malzemeler özellikle alüminyum alaşımları koruyucu tabakalarını devam ettirebilmek için çözülmüş oksijene gereksinim duyar. Sıcaklığın yükselebileceği geri dönüş hatlarında oksijen kirliliğinin önlenmesi çok önemlidir.

Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin korozyonu, genellikle pH (hidrojen iyonu) ile kontrol edilir. Çeliğin korozyon oranı pH arttıkça azalır. Düşük pH'lı çözeltiler; aşınma, gerilme çatlama gibi korozyon türlerine neden olabilir.

Sabit korozyon oranı, akışkanda klorür iyonunun bulunmasıyla artar. Düşük sıcaklıklarda ve 100.00 ppm'lik derişimlerde korozyon oranının, klorür derişiminin kare köküyle doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Klorür iyonu, korozyona dayanıklı alaşımların dayanımlarının azalmasına ve östenit paslanmaz çeliğinde gerilme çatlama hızına neden olur. Sıcaklığın 50 °C 'nin üzerinde olduğu durumlarda 5 – 10 ppm'lik klorür iyonu derişimi, paslanmaz çeliklerde (AISI 316) gerilme çatlama hızını başlatmak için yeterlidir. Klorür iyonları çok hareketli olduğundan çukur ve çatlaklarda doygunluğa erişebildiğinden, akışkandaki ortalama klorür iyonu derişimi yanıltıcı olabilir.

Hidrojen sülfid (H₂S)'in en şiddetli etkisi, bazı bakır ve nikel alaşımlarında görülür. Hidrojen sülfidin etkili olduğu derişim eşiği 30 ppb'dir. Çelik malzemeler üzerindeki etkisini belirlemek güçtür. Havalandırılmış sularda hidrojen sülfidin oksidasyonu, pH'ı azaltabilir ve korozyonu artırabilir.

Karbondiyoksit (CO_2), çözünmüş durumda bir çok jeotermal akışkanda doğal olarak bulunur ve karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelikler üzerinde korozif etkilidir. CO_2 , jeotermal akışkanlarda pH'ı kontrol etmek için en önemli maddedir. Bir çok durumda, yoğunlaşmış buharda çözünmüş olarak bulunan CO_2 ' den kaynaklanan düşük pH, jeotermal buhar hatlarındaki pH'ı kontrol eden en önemli etmendir. CO_2 kısmi basıncının artması, çözeltinin pH'ını düşürür. Teorik hesaplamalar, 80 °C'ye kadar CO_2 ve NaCl_2 'lü ortamda uniform korozyon oranının yüksek olduğunu gösterir. 80 °C'nin üstünde kararlı demir katmanları oluşur ve bu tabaka korozyon oranını tahmin edilen değerlere göre daha da yavaşlatır. Amonyak, bazı bakır alaşımlarında gerilme çatlamasına neden olabilir ve soğutma suyunun pH'ını etkiler. Ağır ve geçiş metal iyonları yükseltgenmiş şekillerinde bulunursa korozif etkili olabilirler fakat, genellikle jeotermal akışkanlarda en düşük yükseltgenmiş durumlarında bulunurlar. Sülfat iyonları genellikle jeotermal akışkanlarda bulunur fakat klorür gibi bölgeselleşmiş şiddetli etkilerde bulunmazlar (Paksoy vd., 1994).



4. JEOTERMAL SUYUN TAŞINMASINDA ve ŞEHİR İÇİ DAĞITIM HATLARINDA TOPRAĞA DOĞRUDAN GÖMÜLEBİLEN ÖN İZOLELİ BORULAMA SİSTEMİNİN KULLANILMASI

Kullanılan borulama sisteminin konvansiyonel sistemlere göre iki büyük farkı vardır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi boruların toprağa doğrudan gömülmesidir. Bu yöntem galeri konsol v.b. inşai imalatları ortadan kaldırmaktadır. Galeri maliyeti çoğu zaman (iki boru için) boru maliyetinden daha fazladır. Jeotermal merkezi ısıtma sisteminde toplam yatırımın %50-% 70'inin borulamanın oluşturduğu dikkate alındığında, toprağa doğrudan gömülebilir borulama sistemi toplam yatırımda % 10-20'ye varan tasarruf getirmektedir.

Jeotermal merkezi ısıtma uygulaması yapılan yerleşim birimleri, alt yapısı daha önce inşa edilmiş şehirlerdir. Dolayısı ile ısıtma borularının güzergahında önceden döşenmiş, içme suyu, kanalizasyon, elektrik, telefon hatları vardır. Böyle bir altyapıda galeri inşası oldukça zor ve yüksek maliyet getirmektedir. Toprağa doğrudan gömülebilir boru teknolojisi altyapı, ayrıca yatırımda ciddi ekonomi sağlamıştır.

İkinci farklılık boruların sıcaklık tesiri ile uzamasına izin verilmemesidir. Yani boru hattında genişleme elemanı (kompanzatör, omega) kullanılmaz. Bu sıcaklık tesiri ile oluşan uzama kuvvetlerinin borunun mukavemetinden küçük kalacak şekilde yapılan dizayn ve uygulama ile mümkün olmaktadır. Ancak böyle bir boru şebekesini projelendirmek ve uygulamasını yapmak özel ihtisas gerektirmektedir.

Cam elyaf takviyeli borular hammadde hariç % 100 yerli olarak üretilmektedir. Cam elyaf takviyeli reçineli kompozit malzeme teknolojisi dünyada hızla gelişmektedir. Hafif, mukavim, anti korozyon ve malzeme yorulmasına dayanıklı olması birçok avantaj sağlamaktadır. Jeotermal merkezi ısıtma sisteminde CTP boruların sağladığı avantajları kısaca özetleyecek olursak;

- Toprağa doğrudan gömülebilir bir sisteme uygundur.
- Genişleme parçalarına ihtiyaç yoktur.
- İç yüzeyi daha az sürtünme direncine neden olmakta, daha az pompalama enerjisine ihtiyaç olmaktadır. Katı partikül tutulması çok daha az olmaktadır.
- Cam elyaf liflerini bağlayıcı olarak kullanılan reçine çok değişik çeşitlerde

kullanılmaktadır. İzofthalik, ortoftalik, vinlyester, atlac, epoxi v.d.

- CTP borular suyun kimyasal içeriğinden oluşan korozyon tehdidine, bakteri korozyonu tehdidine, korozyon pili oluşmasına karşı % 1 00' e yakın dayanıklıdır.
- Isı iletkenliği son derece küçüktür.(0.4 W/mK) . Bu nedenle çoğu zaman reenjeksiyon ve şehir dönüş hatlarında izolasyonsuz olarak kullanılabilir. Bu da yine yatırımda ekonomi sağlamaktadır.
- Yapıştırma, muflu oringli, flanşlı, kilitli birleştirme şekilleri çok kolaylıkla uygulanabilmektedir.
- İzolasyon olarak iç boru üzerine poliüretan dış kovan ile birlikte uygulanmaktadır. Böyle izolasyonlu bir CTP boru ile 70 °C deki bir akışkan 0.1°C /km sıcaklık düşüşü ile taşınabilmektedir.

CTP borunun uygulanabilirliği su sıcaklığına bağlıdır. Yerli üretim CTP boruların uygulama sıcaklığı 80 °C civarındadır. Sıcaklık ve optimizasyon gereği bazen CTP boru kullanmak uygun olabilir. Bu durumda suyun kimyasal içeriğine uygun iç boru, sıcaklığa uygun izolasyon malzemesi ve dış kovan değişik şekillerde uygulanabilir.

İç boru ST 37 çelik, paslanmaz çelik v.b. metaller olabilir. Bu durumda da yine boru ve boru elemanları toprağa doğrudan gömülebilir şekilde üretilir ve montajı yapılır.

İç boru çelik kullanıldığında kullanılan kompanzatörler, vanalar v.b. elemanların tamamı toprağa doğrudan gömülebilir şekilde ve izolasyonludur.

Çelik boruyu korozyona karşı korumak için özel önlemler gerekir. Öncelikle izolasyon üstü mukavim ve sızdırmaz kovan ile kaplanır. Hem çelik boruyu korozyona karşı korumak hem de izolasyonu korumak için bu borular su kaçığını haber veren kontrol sistemi ile teçhiz edilmiştir. Sistem bir merkezden sürekli kontrol edilir. Bu tip borulama sisteminin dizaynı, üretimi ve uygulaması da yine özel ihtisas gerektirmektedir. Gerek CTP gerek ön izoleli çelik borulama sisteminin diğer bir önemli özelliği boru sisteminin (boru, vana, dirsek, TE, v.b.) bakım gerektirmemesidir.

İç borunun çelik olarak kullanılması durumunda da sıcaklık tesiri ile oluşan gerilmenin, malzemenin dayanımından (Fe_{33} için 150 N/mm^2) eşit veya az olduğu uygulamalarda genişleme elemanı (kompanzatör) kullanılmaz. Tıpkı CTP boruda olduğu gibi borunun

uzamasına izin verilmez. Serbest montaj yerine ön gerilmeli montaj tekniği kullanılarak kompanzatörsüz kullanım sıcaklığı artırılabilir.

Çelik boruda da en çok kullanılan izolasyon malzemesi yoğunluğu $60-80 \text{ kg/m}^3$ olan genişletilmiş poliüretandır. Dış koruyucu kovan olarak CTP veya yüksek yoğunluklu polietilen kullanılabilir. Bu ön izoleli boru ve ekipmanları izolasyon ve kovan hammaddesi hariç yerli olarak temin edilmektedir. Bu boruların dışında özellikle küçük bağımsız evlerin bağlantısında son derece etkili olan fleksibıl borularda kullanılmaktadır. Fleksibıl boruda, iç boru olarak oksijene karşı yalıtılmış Pex veya bakır, çelik kullanılabilir. Bu borular sürekli üretim olup kesintisiz boyu 200 metre kadar olabilmektedir. İç boru cinsini sıcaklık v.b. şartların optimizasyonu belirlemektedir. Fleksibıl borularda gidiş ve dönüş borusunun bir kovan ve izolasyon içine alınmış olanlarının uygulaması hem ekonomik hem de pratiktir. Ancak fleksibıl boruların tamamı ithaldir.

Gerek yurtdışında yapılan çalışmalar gerekse yerli imalatçılar ile yapılan çalışmalar neticesinde toprağa doğrudan gömülebilen boru ve ekipmanları, vana, kompanzatör yerli olarak imal edilir hale gelmiştir. Su kaçağını izleme sistemi % 100 yerli olarak üretilebilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sayesinde önemli derecede teknoloji transferi sağlanmış, jeotermal merkezi ısıtma sistemi yatırımları ekonomisi iyileştirilmiştir.

4.1 Polipropilen

Alçak yoğunluklu bir plastik olan polipropilen tabii olarak yarı saydam ve süt beyaz rengindedir. Ayrıca çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Genellikle malzemenin sınırlı ısısal, kimyasal ve elektriksel özellikleri ve orta derecede mukavemeti vardır; bu son özellik cam elyafı ile kuvvetlendirme ile iyileştirilebilir. Polipropilenden yapılan parçaların ömrü basınca bağlı olarak $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de 5 sene, $110 \text{ }^\circ\text{C}$ de 10 senedir. (Akkurt, 1991).

Polipropilen kalıplanabilen, ekstrüzyonla çekilebilen, elyaf ve film haline gelebilen yegane plastiktir. Polipropilen izotaktik ve ataktik olmak üzere iki grupta incelenebilir. İzotaktik polipropilen kristal yapıya sahip bir polimerdir. Ataktik olan ise amorfudur ve polimer yapısı gelişigüzeledir. Ayrıca moleküller arasında simetri yoktur (Akkurt, 1991).

Polipropilen propilenin polimerizasyonu ile elde edilir. Reaksiyon için özel katalistler kullanılır. İzotaktik polipropilen elde edilirken çok az miktarda ataktik polipropilen teşekkül eder. Bu tür polipropilenin sistemde bulunması izotaktik polipropilenin fiziksel özelliklerini

etkiler. Izotaktik olmayan bu polimerin sistemden atılması, polipropilen üretiminin en önemli problemidir. Polimerizasyon ve saflaştırmadan sonra polipropilen granül olarak elde edilir.

Polipropilenin üstün özellikleri olmasına rağmen, bazı katkı maddeleriyle daha değişik ve üstün özellikler verilebilir. Polipropilenin düşük sıcaklıklarda çarpma direnci düşüktür. Poliizobütülen veya bütül kauçuğu gibi elastomerlerle bu özellik geliştirilebilir. Polipropilenin olefinik monomerlerle olan kopolimerizasyonu, polipropilene kauçukumsu bir özellik verir. Propilenin etilen ve bütlen-1 ile yaptığı kopolimer, düşük sıcaklık özelliklerini geliştirir. Böyle bir polimer sert, kristalimsi plastik yerine elastomer gibi hareket eder (Akkurt, 1991).

Polipropilenin blok kopolimerlerinin teşekkülü, reaktör sistemine katılan monomerlerin durumuna bağlıdır. Kopolimerlerin büyük bir kısmı kristallik ve yüksek sıcaklık özelliği sağlayan polipropilen, geri kalan kısım etilen ve/veya propilen-etilen elastomeridir. Blok kopolimer daha çok enjeksiyon kalıplamada kullanılır. Etilen propilen kopolimerinin kristal yapısı düşüktür (Kaya, 1983).

Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak değişir. Molekül ağırlığı yüksek olan polimer yumuşaktır, düşük olan polimer ise sert ve kırılmandır.

Molekül ağırlığı ve moleküllerin dağılımı akış ve reolojik özelliklerini etkiler. Yüksek molekül ağırlığı bulunan polimerin erime direnci yüksektir. Düşük molekül ağırlığı bulunan ise daha iyi akışkan ve reolojik özellikleri iyidir. Bu tür polipropilen ince elyaf ve ince cidarlı kalıplama işlerinde kullanılır.

Polipropilen halojenleri içeren, nitrik asit ve çok kuvvetli oksitleyici maddelerden başka kimyasal maddelerce etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropilene çözebilecek hiçbir çözücü yoktur. Deterjanlar polimeri etkilemez.

Polipropilen borular PE'de olduğu gibi ekstrüzyon yöntemi ile üretilir. Özellikle pazarda PP'nin birkaç değişik molekül yapıları türleri bulunmaktadır. En basit durumda moleküller zincirler bir birim molekülün tekrarlı birleşmesinden teşekkül eder. Bu polimer homopolimer olarak adlandırılır. Şayet farklı iki birim molekülün (A ve B) tekrarlı birleşmesinden teşekkül ise Kopolimer olarak adlandırılır. PP-h olarak gösterilen homopolimerde tekrarlanan birim A propilen monomeridir. PP-c işaretiyle gösterilen Kopolimerdeki birim B, etilen monomeridir. Moleküller zincir içerisinde tekrarlanan A ve B birimlerinin düzenlenmesine bağlı olarak Kopolimer değişir (Yaşar, 1992).

"AAAA..."	(PP-h) Polipropilen homo polimer
"ABABAB..."	(PP-c) Polipropilen copolimer
"AAAA... BBB.. AAA..."	(PP-b) Polipropilen blok copolimer
"AABABBAABBAAA..."	(PP-r) Polipropilen random copolimer

Bu son diziliş A ve B birimlerinin rastgele dizilmesi ile teşekkül olur.

PP'nin sertliği şu sıra ile azalır. PP-h→PP-b →PP-r ve sonuç olarak darbe mukavemeti aynı zamanda artar. PP-h'tan PP-r'e gidildiğinde yüksek sıcaklıktaki (60°C) uzun dönem mukavemetinin arttığı bulunur. Daha fazla yaygın olarak atık sularda PP ve soğuk su borularında PP-b boruları kullanılır. PP-r tipi ise yakın zamandaki geliştirme neticesinde sıcak akışkana mukavemeti nedeniyle ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bunlar tekrar işlenebilme özelliği yanında PEX' ten daha kolay ekstrüde edilebilmesi ve PE 'den daha güvenli olması hasebiyle pazarda yarışabilmektedir. Dahası, PP boruları kaynak yapmak suretiyle birleştirilebilir ki bu olay PEX' te mümkün değildir. PP oksitleyici olmayan tuzların sulu çözeltilerine karşı çok dirence sahiptir. Yine de, 70°C 'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda belli metal iyonlarında, bakır gibi, malzemede ısıl oksidasyonun ivmelenmesine neden olur (Kaya, 1983).

Oksidatif olmayan asidlere karşı hatta yüksek sıcaklıklarda dahi çok iyi direnç göstermektedir. Sülfirik asid gibi oksitleyici asidlere karşı dayanımı özellikle yüksek sıcaklıklarda ve %60'ın üzerindeki konsantrasyonlarda az iyidir. Bu durum nitrik asid içinde geçerlidir. Sülfirik asid ile karşılaştırıldığında nitrik asid kolayca PP içerisine nüfuz edebilir. %30'un üzerindeki konsantrasyonlarda ve özellikle yüksek sıcaklıklarda malzemenin mekanik özelliklerinde azalmaya neden olur (Kaya, 1983).

Çizelge 4.1 Sıcak su boruları için PP-r polimerinin tipik fiziksel özellikleri (Daplen Firmasının Teknik Dökümanı)

ÖZELLİKLER	TEST METODLARI	SONUÇLAR
Yoğunluk	DIN 53479	0.900 g/cm ³
Yüzey direnci	DIN 53482/VDE 0303 part 2	>10 ¹² Ohm
Akma noktasındaki mukavemet	ISO 527/1A, 50mm/dak	26.1 Mpa
Kopma noktasındaki mukavemet	ISO 527/1A, 50mm/dak	21.5 MPa
Kopma noktasındaki uzama	ISO 527/1A, 50mm/dak	>400%
Elastisite modülü	ISO 527/1A, 50mm/dak	808 MPa
Esneklik modülü	ISO 178, 2mm/dak	874 MPa
Esneklik mukavemeti	ISO 178, 2mm/ dak	30.5 Mpa
Charpy, çentikli	ISO 179/1A	
23°C	1.00 J	22.9 KJ/m ²
0°C	0.50 J	4.5 KJ/m ²
-20°C	0.50 J	1.9 KJ/m ²
Charpy, çentiksiz	ISO 179/1D	
23 °C	4.0 J	NB
0 ° C	4.0 J	NB
-20 °C	4.0 J	53.7 KJ/m ²

Çizelge 4.1(Devam) Sıcak su boruları için PP-r polimerinin tipik fiziksel özellikleri (Daplen Firmasının Teknik Dökümanı)

Izod, çentikli	ISO 180/1 A	
23 °C	2.75 J	22.5 Kj/m ²
0 °C	1.0 J	5.6 Kj/m ²
-20 °C	1.0 J	3.4 Kj/m ²
Izod, çentiksiz,	ISO 180/1 C	
23° C	5.5 J	NB
0 °C	5.5 J	NB
-20° C	2.75 J	38.4 Kj/m ²
Shore D sertliği	ISO 868	60
Rockwell sertliği	ISO 2039-2	50
Vicat yumuşama sıcaklığı	ISO 306,metod A,50K/h	131.3 °C
Erime aralığı	ISO 3146-19	142.4 °C
20 °C'de ısınma ısısı	DSC	2.0 J/gK
(30-90° C) Uzama katsayısı	Dilatometre (DIN 53752)	1.8 10 ⁻⁴ 1/K
(10-60 °C) Isıl iletkenlik	DIN 52612	0.21 W/m° C
HDT	ISO 75, Metod A	45.2 °C
Eriyik akış hızı		
230/2.16	ISO 1133, Cond 12	<0.5
190/5	ISO 1133 Cond 18	<1.0

PP alkalilere çok iyi direnç gösterir. Sürünme direnci etkilenebilir. Yine de 80 °C'de %30 konsantrasyonda sürünme direnci sudakine göre 0.7'dir. Klor ve klordioksit PP üzerinde aşındırıcıdır.

Organik asid, alkoller, veya esterler genellikle PP ile reaksiyona girmezler. Yine de bunlar malzemeyi şişirirler ve mekanik özelliklerini azaltırlar. İçinde organik sıvı varken bir uzama meydana gelirse PP'ye ihtiyatlı yaklaşmak gerekir.

Karbon siyahı ile üretilen PP borularının hava şartlarına özellikle Ultra Viyole güneş ışığına dayanımı yüksektir. Ancak diğer renklerdeki dayanım düşüktür. Bu sebeple iç tesisatlarda kullanılmasında fayda vardır. Binaya döşemedi önce de paketlenmiş halde depolanması gerekmektedir (Kaya, 1983).

Birçok renkteki pigment nihai haldeki ürüne daha güzel bir görünüm vermesi için natural haldeki hammaddeye katılmak suretiyle plastik endüstrisinde kullanılmaktadır. Siyah pigment kablo, kaplamalarında ve borularda kullanılmaktadır. Bu materyallerde malzemelerin uzun dönem özelliklerinin en iyi olması istenildiğinden Karbon Siyahı diğerlerine göre daha fazla hava tesirlerine karşı mukavemet sağlamak için kullanılır (Kaya, 1983).

Natural Polipropilen kısa süre açık havada depolandığında kırılğan hale gelirken, %2 Karbon Siyahı katıldığında yüzey bozunmasına karşı materyali en az 50 yıl korur. Nihai ürün açık havada depolandığı veya döşendiğinde Karbon Siyahı, ürünü yüksek sıcaklıklardaki oksidasyona karşı katkıda bulunur (Kaya, 1983).

Farklı üretim metodları ile farklı tipte karbon siyahı elde edilir. UV radyasyonuna karşılık verimli bir koruma isteniyorsa iyi belirlenmiş yapıda ve partikül büyüklüğünde doğru karbon siyahının seçilmesi gereklidir. Eğer yanlış tipte karbon siyahı seçilirse zayıf fiziksel özelliklerin ilavesi yanında polimere istenmeyen tat ve kokular verir. Bazı karbon siyahları aromatik maddeler içerir ki bunların yiyecek veya içecek ile temas etmemesi gerekir. Basınçlı borular için gerekler ISO DP 4427 de bulunmaktadır.

UV koruması için kullanılan karbon siyahının standard özellikleri;

Yoğunluk	1500-2000 kg/m ³
Maksimum uçucu madde	kütleden % 9
Ortalama partikül büyüklüğü	0.010-0.025 mikron
Toluen çıkartabilme	% 0.10'dan fazla değil

Karbon siyahının tipi yanında polimer içerisindeki konsantrasyon ve dispersiyon, nihai ürünün özellikleri çok önemli iki faktördür. % 2-3 arasındaki konsantrasyon optimum sonucunu verirken daha fazla konsantrasyon fiziksel özellikleri ters yönde etkileyebilir.

Koruyucu katkı maddelerinin yani karbon siyahı ve antioksidantlar kimyasal reaksiyon bozunması olmaması için çok iyi dağılmış olmalıdırlar. Sıcaklık ve UV'ye maruz kalındığında zamanla reaksiyon başlar. Her meydana gelen reaksiyon, bir tanesini için katalizör vazifesi

yapar bu da daha fazla bozunma demektir. Bu bir zincir reaksiyonu haline döndürür. Bu tip reaksiyonları önlemek ancak dağılım ve homojen yapının iyi olması, aynı zamanda polietilenin iyi stabilize edilmesi ile sağlanır (Kaya, 1983).

Editivlerin (katkı maddeleri) dispersiyonu, özellikle de karbon siyahı, polietilenin mekanik özelliklerini etkiler. Eğer iyi dağılmamış ise yük altında gerilme yığılmaları meydana gelir. Köttü dağılımın sebep olduğu zayıf kısım tahmin edilen servis ömründen önce yarıma olumsuzluğu meydana gelebilir. İyi bir karışım elde edilmesi için hammaddeye karbon siyahı ve diğerlerinin üretici firmanın özel operasyonlar ile karıştırılması tercih edilmelidir.

Pazarda mevcut karbon siyahı direk olarak ekstrüder hunisinden katılmak üzere satılmaktadır. Kolay bir dispersiyon elde edilmesi için düşük moleküler ağırlıklı, fiyat ve kolay kullanım sebebiyle de büyük ebatlı karbon siyahı kullanılmaktadır. Bu tip mastırbeçler (pigment ihtiva eden hammadde) sadece siyah renk verirler. Taşıyıcı olarak düşük moleküler ağırlıklı materyaller kullanıldığından ürünün mekanik özellikleri kötülebilir. Çok büyük partiküllü karbon siyahının UV koruyuculuğu yeterli değildir. Boru görünümü iyidir ancak uzun dönem özellikleri zayıflatır. Karbon siyahının dağılımı mikroskop ile incelenebilir. Mikrotom cihazı ile üründen soğan zarı gibi incelikte numune çıkartılır ve 64 defa büyütebilen polarize mikroskopta testler gerçekleştirilebilir (Kaya, 1983).

Yüksek sıcaklıklarda bakır iyonlarına boylu boyunca maruz kaldığında PP 'nin özelliklerinde bozulmalar göstermektedir. 60 °C'nin altında pirinç ile temasında zararlı bir şekilde etkilenme olmaz.

Isıtma sistemlerinde kullanılan PP-r'in oksijen geçirgenliğinin göz önüne alınması önemli bir husustur. Oksijen molekülleri boru ve fittinglerden nüfuz ederek sistemde kullanılan metal kısımların korozyona uğramasına sebep olur. Bu tip korozyonun önlenmesi için 3 yol vardır.

1. Korozyon inhibitöründen istifade etmek. İnhibitör tipi PP-r üzerinde zararlı etkisi olmamalıdır ve inhibitör konsantrasyonu sürekli kontrol edilmelidir.
2. Sistemde korozyona uğramayan materyaller kullanılması.
3. Boru fittinglerin üzerinin oksijen bariyeri ile kaplanmasıdır.

Uzun dönem basınç mukavemetleri, kolay işlenmeleri ve döşemeye uygun olmaları hasebiyle geleneksel borularla, bakır ve galvanizli gibi, rekabet etmekte ve onların yerini almaktadır. Bina içerisindeki su tesisatlarında hem üretici hem de kullanıcı için birçok avantajı nedeniyle

tercih edilmektedir.

Hammadde için özel ekstrüder gerektirmezler. Sıcak su hatları yüksek kalitede boru imalatı için tek vidalı ekstrüderler kullanılması yeterlidir. PP-r aynı zamanda fittingler için enjeksiyon baskısında üretilebilir ve tüketici sistemini tamamlayabilir (Yaşar, 1992).

PP-r boru ve fittinglerindeki düz hat uygulamalarında kolay ve mükemmel kaynak kabiliyeti sayesinde bina içerisinde çok kolay döşenir. DN (boru anma çapı) Ø50'ye kadar el kaynak makinası ile işlem gerçekleştirilebilir (Yaşar, 1992).



5. ISITMA AMAÇLI SU ELDE EDİLMESİ

Doğrudan kullanımlı jeotermal sistemlerde, kurulan tesisin çalışması ve başarılı olması, birçok ekipman ve donanım kullanılması ile mümkündür. Bu ekipman ve donanımlar,

- Kuyu pompaları,
- Boru donanımı ve tesisatı,
- Yerel ısıtma elemanları,
- Isı emme özelliğine sahip soğutma elemanları,
- Isı değiştiricileri.

Diğer tüm elemanlar için de geçerli olmak kaydı ile, jeotermal uygulamalarda kullanılacak ısı değiştiricilerinin seçimindeki en büyük faktör, kaynak suyunun kimyasal yapısı ve sıcaklığıdır. Bunun yanında ısı değiştiricileri, sahip oldukları fiziksel yapıları ile de tercih edilebilir veya edilmezler. Jeotermal uygulamalarda en yaygın olarak tercih edilen ısı değiştiricileri, sahip oldukları kompakt yapı ve temizlenebilir özellikleri sebebi ile, contalı - plakalı tiplerdir. İkinci sırada tercih edilen eşanjör tipi ise, benzer özellikleri sebebi ile, gövde-boru ve gövde-plaka tipi eşanjörlerdir.

Contalı plakalı ısı değiştiricilerinin, jeotermal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlayan özellikleri şunlardır;

- Yüksek ısı performans gösterirler,
- Üretim teknikleri açısından, korozyona dayanıklı malzemeler ile üretilebilirler,
- Montaj ve yerleşimleri kolayca yapılabilir, özel bilgi ve teknik eleman gerektirmezler,
- Değişen kapasitelere göre aynı gövde içinde ve gerektiği kadar büyütülebilirler ,
- Kapasitelerine göre en az yeri işgal ederek avantaj sağlarlar.

Plakalı ısı değiştiricileri, contalı (çerçevesiz) ve lehimli olmak üzere iki tiptir. Lehimli plakalı ısı değiştiricilerinin, özellikle lehim dikişleri korozyona karşı hassas olup, jeotermal uygulamalarda fazla tercih edilmezler ve çok sık kullanılmazlar.

5.1 Plakalı Isı Değişirici Tipleri

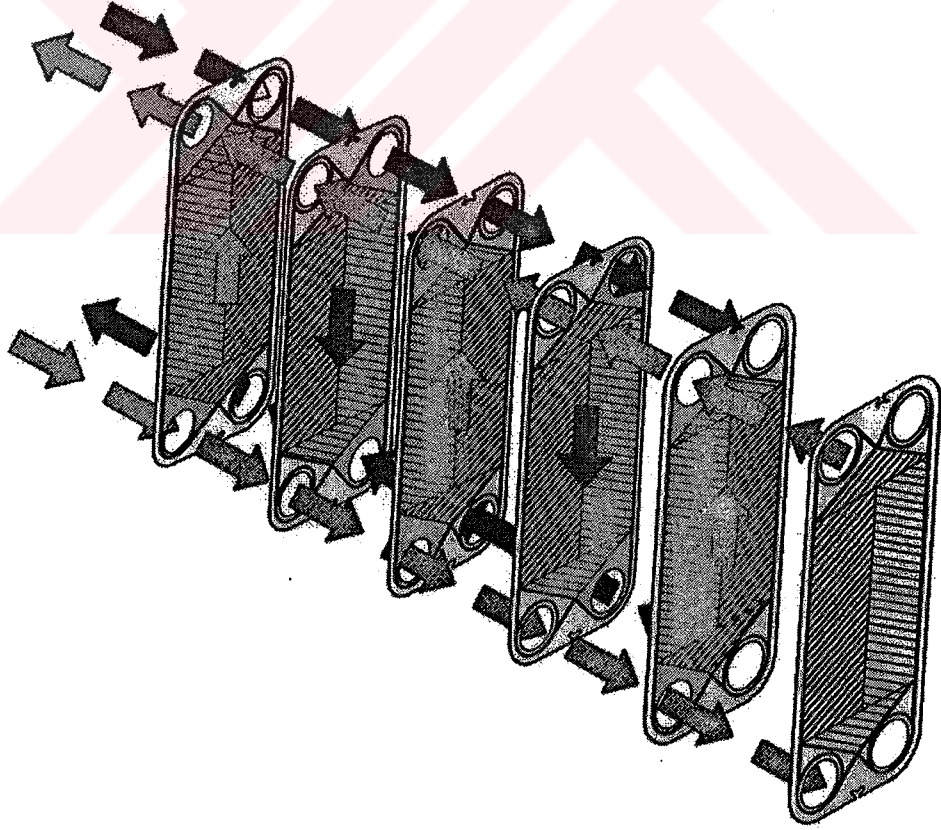
Plakalı ısı değiştiricileri üç gruba ayırabiliriz. Bunlar;

- Conta-Plakalı Isı Değiştiriciler
- Spiral Plakalı Isı Değiştiriciler
- Lamelli Tip Plakalı Isı Değiştiricilerdir.

Bu çalışmada sadece conta-plakalı ısı değiştiricilerinden bahsedilecektir.

5.1.1 Conta-Plakalı Isı Değiştiriciler

Tipik bir conta-plakalı ısı değiştirici ve bu ısı değiştiricilerde akışın yolu Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Conta-plakalı ısı değiştirici, dalgalı ya da oluklu yüzeye sahip, akışkanları birbirinden ayıran, bir seri ince plakadan oluşur. Plakalarda köşe bağlantı noktaları ile iki akışkan bu bağlantılardan geçerek plakalar arasındaki kanallarda dolaşır ve ısı enerjisini diğer akışkana transferi gerçekleşir. Uygun dizayn ve contalama ile plakalar, son plakaların eklenmesi ve sıkıştırma civataları ile birbirine tutturulması sağlanır.

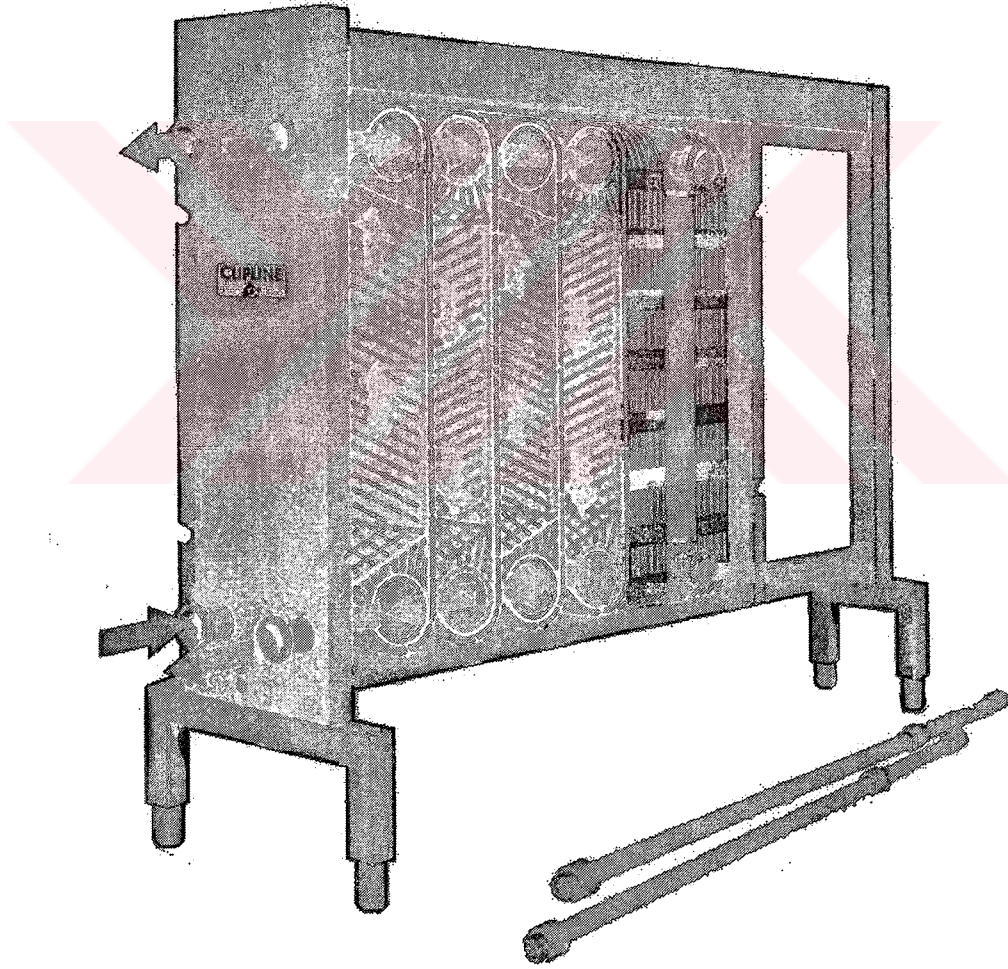


Şekil 5.1 Bir conta-plakalı ısı değiştirici içersinde akışkanın izlediği yol

Contalar dışarıya sızıntıyı engeller ve plakalar içinde akışkanlara yön verir. Akış biçimi genellikle birbirine karşı akışlıdır. Plakalı ısı değiştirciler, genellikle 25 bar'm altında ve yaklaşık 250 °C'nin altındaki sıcaklık ile sınırlıdır. Akış geçişlerinin dar, güçlü girdap hareketi, yüksek ısı transfer katsayıları, yüksek basınç düşümleri ve yüksek yerel kaymadan dolayı minimum kirlenme sağlar.

Bu ısı değiştirciler, oldukça kompakt ve hafif ısı transfer yüzeyi sağlar. Bu tip ısı değiştircilerde sıcaklık ve basınç limitlerinin olmasının nedeni, konstrüksiyon biçimi ve contalamadır.

Tipik olarak, iki sıvı arasında ısı transferinde kullanılır. Tamamen sökülebilmesi nedeniyle kolayca temizlenebilir ve strelize edilebilir. Gıda proses endüstrisinde kullanımını yaygındır.



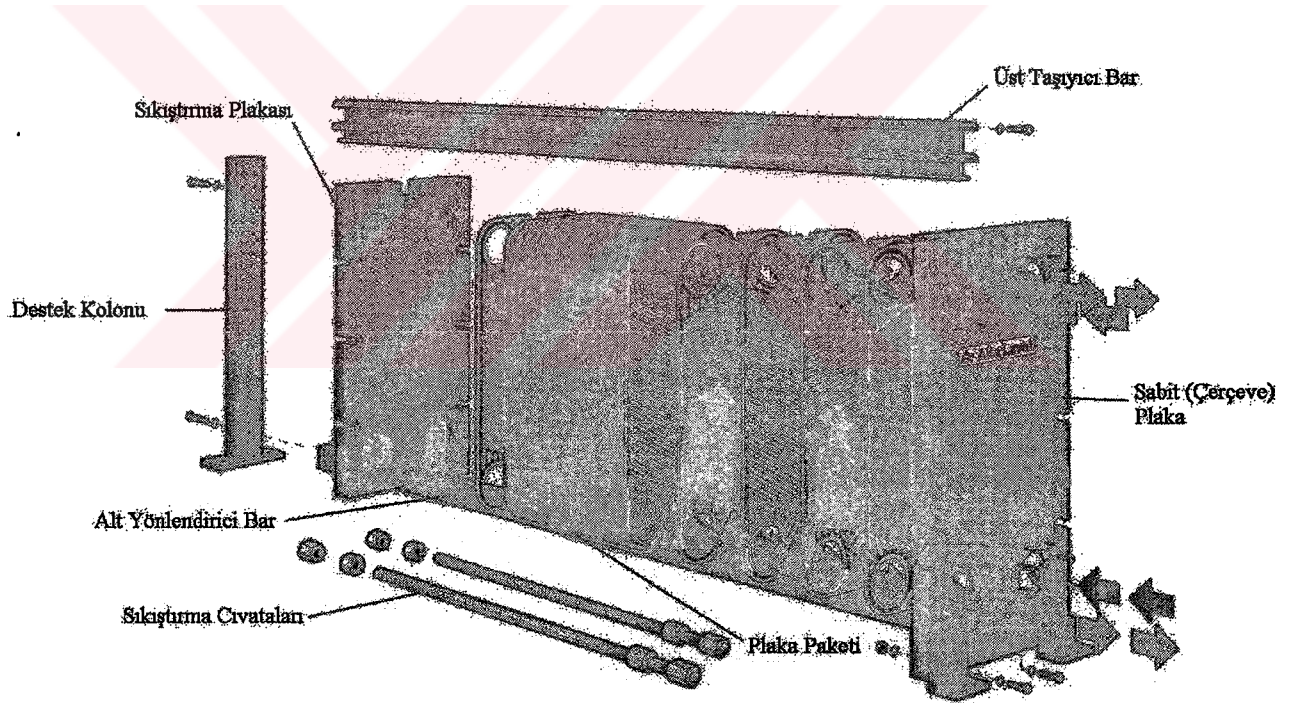
Şekil 5.2 Conta-plakalı ısı değiştirci

5.2 Mekanik Özellikler

Tipik bir conta-plakalı ısı değiştirici şekil 5.1 ve şekil 5.2 de gösterilmiştir. şekilde görülen elemanlar; ereve ve sabit plaka, sıkıştırma plakası, sıkıştırma elemanı, ve bağlantı kanallarıdır. Isı transfer yüzeyi, köşelerinde akışkan giriş ve çıkışı için bağlantı kanallarına sahip plaka serisinden oluşmaktadır (şekil 5.3).

5.2.1 Plaka Paketi ve ereve

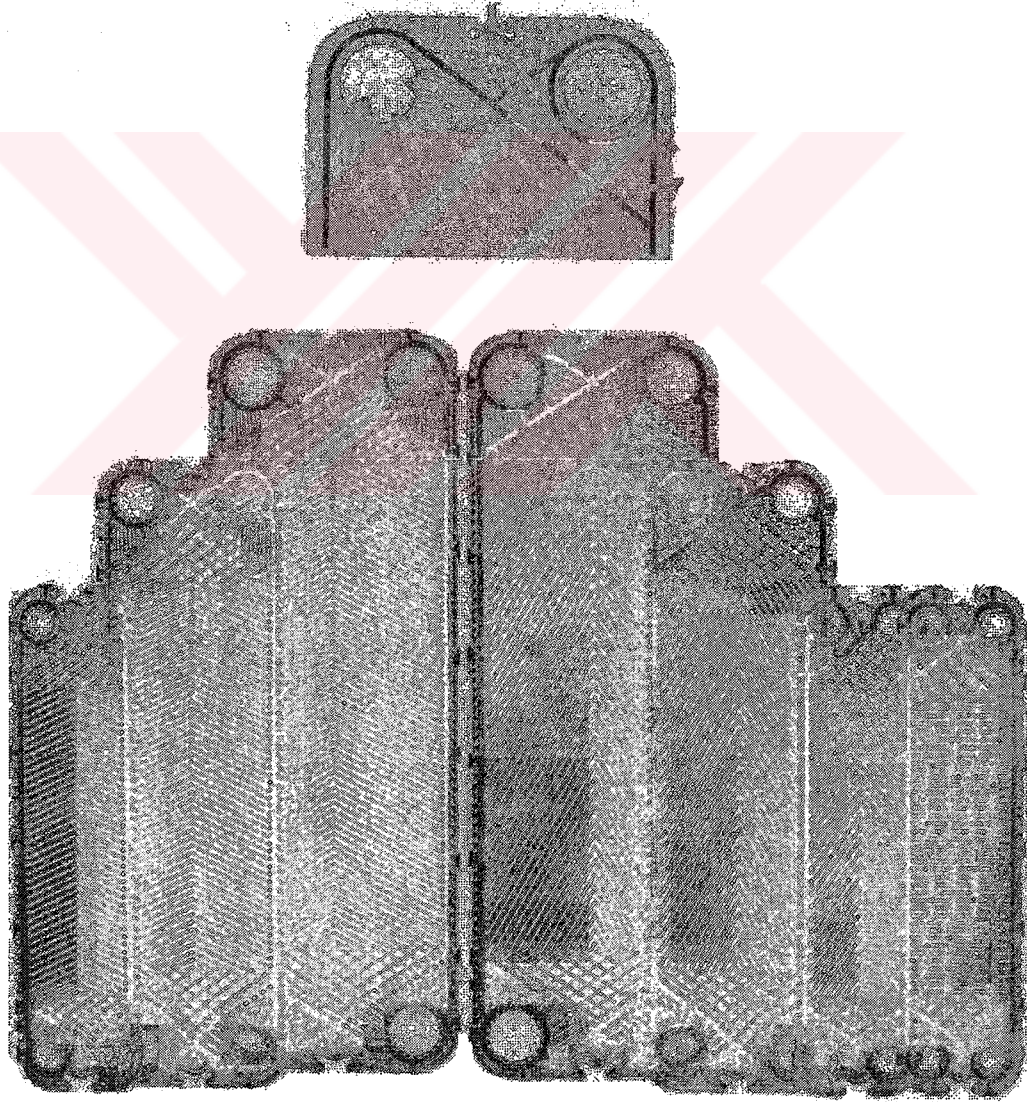
Plaka paketi bir birine sıkıştırıldığı zaman, plakaların köşelerindeki delikler sürekli bir akış kanalı oluşturur. Akışkan bu kanaldan geçerek plakalar arası dar kanallar içine dağılır. Plaka paketinin sıkıştırılması, mekanik ya da hidrolik sıkıştırma cihazları ile istenen seviye sıkıştırma basıncının kontrolünü olanak sağlar. Plakalar ve köşe bağlantı kanalları arasındaki bu geçiş formu düzenlenerek, iki akışkan karşılıklı kanallar boyunca hareket eder. Bu hareketi her zaman karşı akışlıdır.



şekil 5.3 Conta-plakalı ısı değiştiriciler

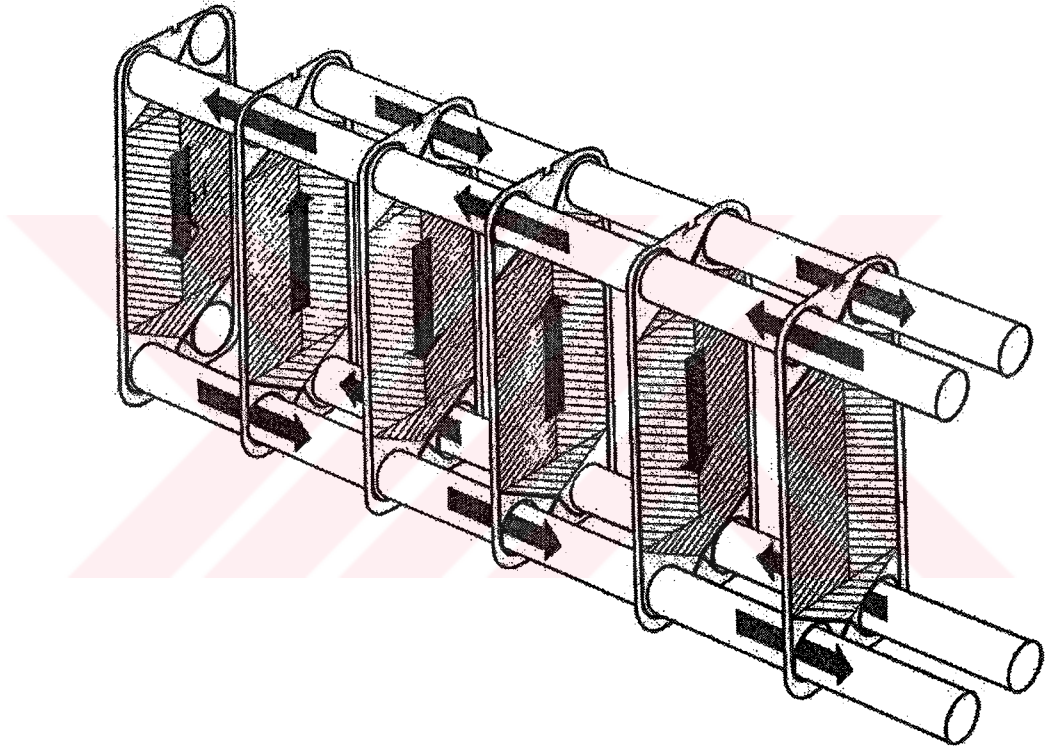
Cihaz boyunca bu geçişler sırasında, sıcak akışkan sahip olduğu ısı enerjisinin bir kısmını ince plaka duvarı boyunca öteki taraftaki soğuk akışkana verecektir. Sonuç olarak, akışkan eş bağlantı kanalları kanalına yönlendirilerek plaka paketinin sonundan tahliye edilir. Plakalar, çerçeve içersine birkaç yüz adet yüklenebilir ve sıkıştırma civataları vasıtasıyla plakalar hem bir arada tutulur hem de sıkıştırma sağlanır.

Plaka paketi ön ve arka plakalar arasına civatalar kullanılarak sıkıştırılır. Plakalar ve çerçevenin değiştirilebilir parçaları, üst taşıyıcı bara asılır ve yönlendirici bar vasıtasıyla da desteklenir. Taşıyıcı ve yönlendirici bar, çerçevenin sabit kısmına civatalanır fakat daha küçük tipler, arka desteğe bağlanır.



Şekil 5.4 Chevron tip ısı değiştirici plakalar

Plaka demeti, gövde-boru tip ısı değiştiricilerindeki boru demetine karşılık gelir, önemli farklılığı, plakalı ısı değiştiricilerin her iki tarafı genellikle aynı hidrodinamik karakteristikte olur. Plaka paketinin temel elemanı olan plaka, ince saç metalin preste dalgalı (oluk) biçimi verilmesinden oluşur (Şekil 5.4). En büyük tek plaka 4,3 m yüksekliğinde ve 1,1 m genişliğindedir. Tek plaka için ısı transfer alanı 0,01 ile 0,36 m² arasında değişir. Akışkanın plakanın tüm genişliği boyunca eşit olarak dağılması sağlanmalıdır. Plaka genişliği boyunca kötü dağılımdan kaçınmak için minimum (uzunluk/genişlik) oranı 1,8 olmalıdır. Plaka kalınlığı 0,5 mm ile 1,2 mm arasında değişir ve nominal boşluğu 2,5 ile 5mm aralıklı konulur, akış kanalları için hidrolik çap 4 ile 10 mm arasında değişir.



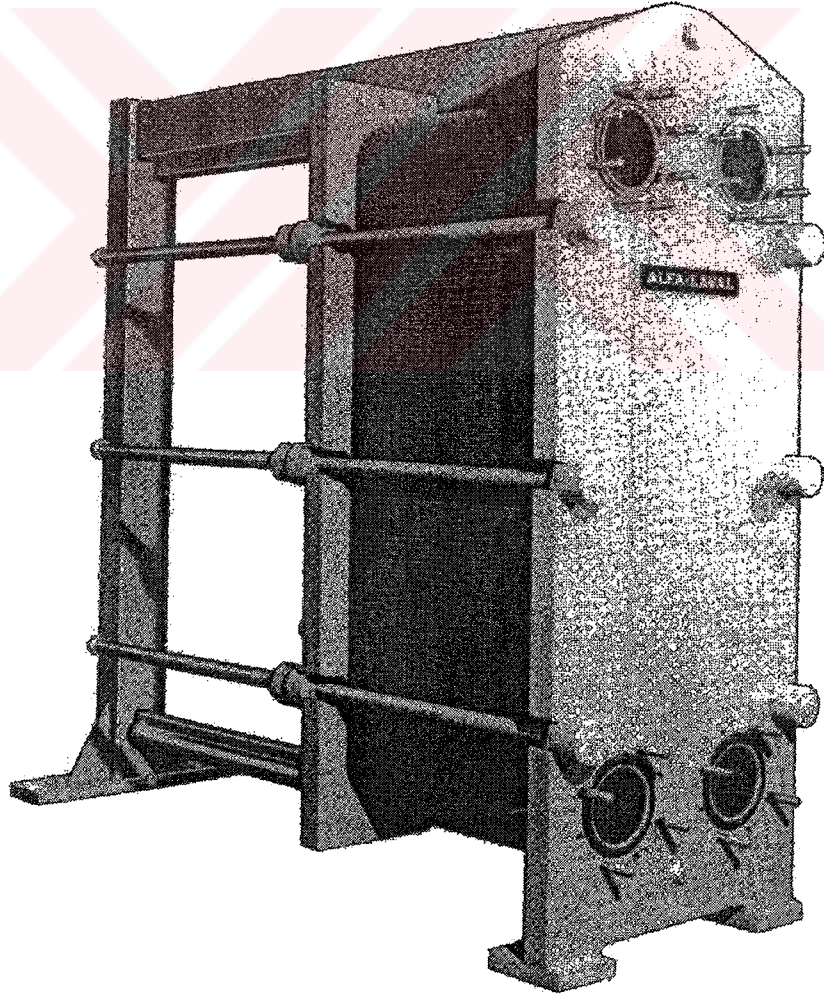
Şekil 5.5 Tek geçişli karşı akışlı bir bağlantının akış diyagramı

Plakalar arasında, kanallardan dış atmosfere olan sızıntı, plakanın dışını çevreleyen conta vasıtasıyla engellenir. Plakalar tüm preslenebilen malzemedan yapılabilir. En çok kullanılan malzemeler (Çizelge 5.1) paslanmaz çelik, titanyum, titanyum-palladium, Incoloy 825, Hastelloy C-276, Diabon F100, Monel 400, alüminyum ve alüminyum-pirinçtir.

Plakaların sayısı ve boyutları , akış debisi, akışkanın fiziksel özellikleri, basınç düşümü ve sıcaklık koşullarına göre belirlenir.

5.2.2 Plaka tipleri

Pratik uygulamalarda çok çeşitli dalgalı (oluklu) tipte plakalar kullanılabilir (Şekil 5.4). Her ne kadar en modern plakalı ısı değıştirciler Chevron tipi ise, ticari plakaları bir çoğu dalgalı biçimi yıkama levhası olarak adlandırılır. Bu tip plaka tipinin kendine özgü dalga biçimlerinin çok çeşitli olması nedeniyle, özel bir biçimin kullanılması önceden belirlenen yöntemle elde edilen deneysel verilere bağlıdır. Yıkama levhası tipinde, akışkanların hızı ve akış yönü sürekli değişimiyle türbülans artırılır. Chevron tipinde, komşu plakalar akış kanalı girdap hareketini sağlayacak şekilde monte edilir. Dalgalı (oluklu) yapı bir (α veya β) açısına sahiptir ve bu Chevron açısını belirtir. Chevron açısı komşu plakalarda ters çevrilir, böylece plakalar birbirine kenetlenir. Dalgalar (oluklar) bir çok temas noktası sağlar (Şekil 5.9). Bir çok temas noktasının desteği ile plakalar çok ince malzemeden yapılabilir, bu kalınlık genellikle 0,6 mm' dir. Chevron açısı 65° ve 25° sınır değerleri asında değişir ve plakanın ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerine göre belirlenir.



Şekil 5.6 Conta-plakalı ısı değıştirci montajı

5.2.3 Plaka Üretimi ve Özellikleri

Plakalar, mukavemet bakımından; sürekli (plastik) deformasyon ihtimali olmadan ve mümkün olan en küçük elastik deformasyonla istenen değişik basınçlara dayanacak şekilde yapılmışlardır.

Gerekli rijitliğin sağlanması ve ısıtma yüzeyinde türbülansı artırarak ısı transferini geliştirmek için plakalar bütün yüzeyleri boyunca dalgalı (oluklu) olarak prese edilmişlerdir.

Çizelge 5.1 Plaka malzemeleri (Raju ve Bansal, 1983)

Plaka Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Paslanmaz çelik (316)	16,5
Titanyum	20
Inconel 600	16
Incolay 825	12
Hastelloy C-276	10,6
Monel 400	66
Nikel 200	66
9/10 Cupronikel	52
70/30 Cupronikel	35

Dalga(oluklar) akış kanalı boyunca birbirlerine paralel olabilirler ve plakalar arasındaki genel boşluğu sağlamak için aralarında köprüler vardır.

Her ikinci plaka 180° döndürüldüğünde dalgalar (oluklar) birbirlerine çapraz olarak kesebilir, her kesişme noktası plakalar arasında bir destek oluşturur.

Bu tip plakalar arasında basit bir şekilde çok rijit bir destek sağlar ve türbülansı da çok etkili olarak artırır. Bu suretle plakalar arasındaki akışkan çapraz çukurlar arasında çoğunlukla spiral bir helis şeklinde akar.

Paralel dalgalı (oluklu) plakalar arasında delikli saçlar sokulabilir. Bu düzen sayesinde türbülans biraz daha fazlalaşır. Araya sokulan bu plakalar akışkanı deliklerden yüksek bir hızla akmaya zorlar ve deliklerden geçen akımlar ısı transfer yüzeyine bir açı altında çarparak sınır tabakasının kalınlığını azaltır. Dolayısı ile ısı transferi de artırılmış olur.

Bu ara plakaları viskoz akışkanlar halinde (5cst veya daha fazla) basınç düşümünün ısı transferi bakımından daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Fakat su ve diğer viskoz olmayan akışkanlar için bunun pek önemi yoktur.

Plaka malzemesinin kalınlığı genellikle 0,5-1,2 mm dir ve kanal boşlukları da küçük olup nadiren 5-6 mm 'nin üstündedir. Plakalar çeşitli şekilde ve boyutta yapılırlar, her plakanın ısıtma yüzeyi 0,01-2 m²'ye kadar değişir.

Plaka malzemesinin presle çok kolay şekillendirilebilmesi gerekir. Plakalı ısı değiştiricilerinde kullanılmak üzere Krom, Zirkonyum ve Titanın bazı alaşımları prese edilmesi zordur.

Çizelge 5.2 Kullanılan bazı plaka malzemeleri

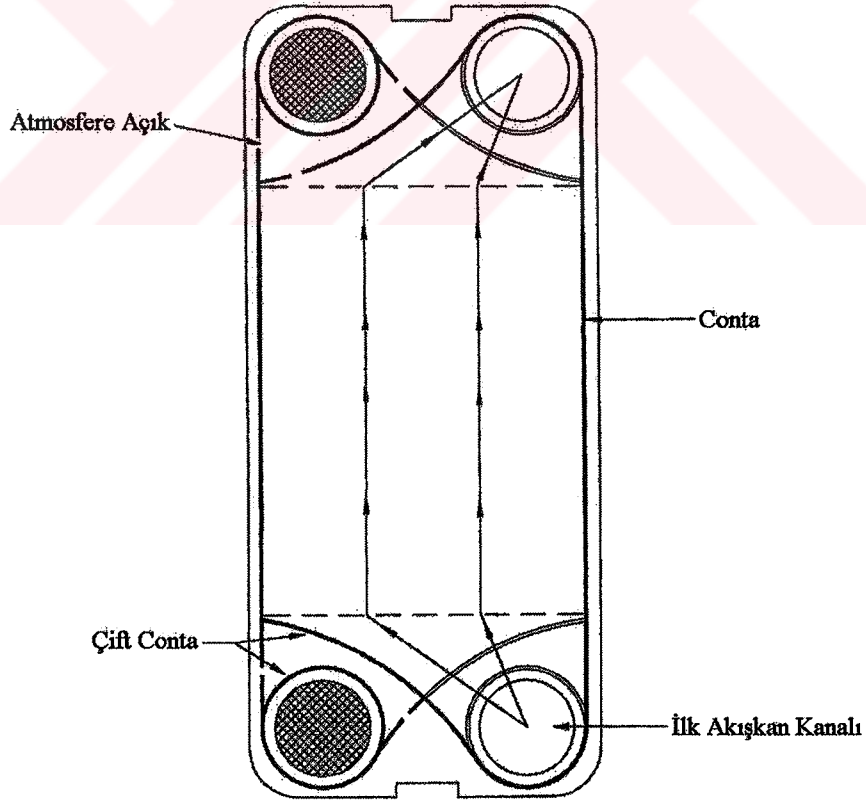
Plaka Malzemeleri
Paslanmazlar
AISI 304 (1.4301)
AISI 316 (1.4401)
AISI 317 (1.4439)
AISI 316 TI (1.4571)
Avesta SMO 254(1.4529)
Diğerleri
Titanyum
Hastelloy
Incoloy
Palladium ile stabilize titanyum
Nikel
Tantal

5.2.4 Contalar

Plakalı ısı değiştirici performansları contalarla sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni yüksek sıcaklık ve basınç düşümü değerlerine dayanıklı conta malzemeleri azdır. Son yapılan çalışmalarda 21 bar ve 260 °C basınç ve sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Buna göre conta malzemesinin her iki proses sıvısına da dayanıklı olması gerekmektedir.

Contaların temel fonksiyonu, akış kanallarında basınç izolasyonu sağlamak, akışkanın kanallarındaki akışını kontrol etmek ve akışkanların karışmasını engellemektir. Bu contaların sağladığı izolasyonlar arasındaki yüzeyde atmosfere küçük kanallar açılmıştır. Bu sayede meydana gelebilecek bir sızıntı durumunda akışkanın diğer proses sıvısı ile karışmasını engelleyerek atmosfere çıkması sağlanır.

Conta malzemesi için temel fonksiyonu, kimyasal maddelere ve sıcaklığa dayanıklılık ve iyi yalıtıma özelliğine sahip olmasıdır. Buna ek olarak, conta malzemeleri bu özelliklerini belli bir süre koruyabilmelidir. Akışkanlar arasında çift izolasyon Şekil 5.7 deki gibi yerleştirilmesi ile sağlanabilir.



Şekil 5.7 Conta bağlantıları

Contalar genellikle tabii kauçuk, nitril, butil, neopren, EP, viton v.s. gibi elastomer (esnek malzeme) den yapılır. Teflon ve diğerleri gibi plastik maddeler kötü sıkıştırma özelliklerinden dolayı conta malzemesi olarak kullanılmazlar. Conta malzemesi kullanılan akışkan ve çalışma sıcaklığına göre seçilir. Conta kesiti plakaya göre değişir. Dikdörtgen, yamuk ve oval kesitler en çok kullanılan kesitlerdir. Genişlik, boşluğa bağlı olarak 5-15 mm arasında değişir. Sıkıştırılmadan önce contanın yüksekliği malzemenin cinsine, contanın kesitine, izine ve sertliğine bağlı olarak aralıktan %15-50 daha fazladır. Sağlıkla ilgili uygulamalarda contaların kesitleri ve izler, tortudan ötürü kirlenmeyi önlemek için conta yuvası yüzeyi ile contanın ıslak tarafı arasında çatlaklar bulunmayacak şekilde yapılmıştır. Bazı uygulamalarda conta yuvasına yapıştırılarak da monte edilebilmektedir.

Çizelge 5.3 Conta malzemeleri ve özellikleri

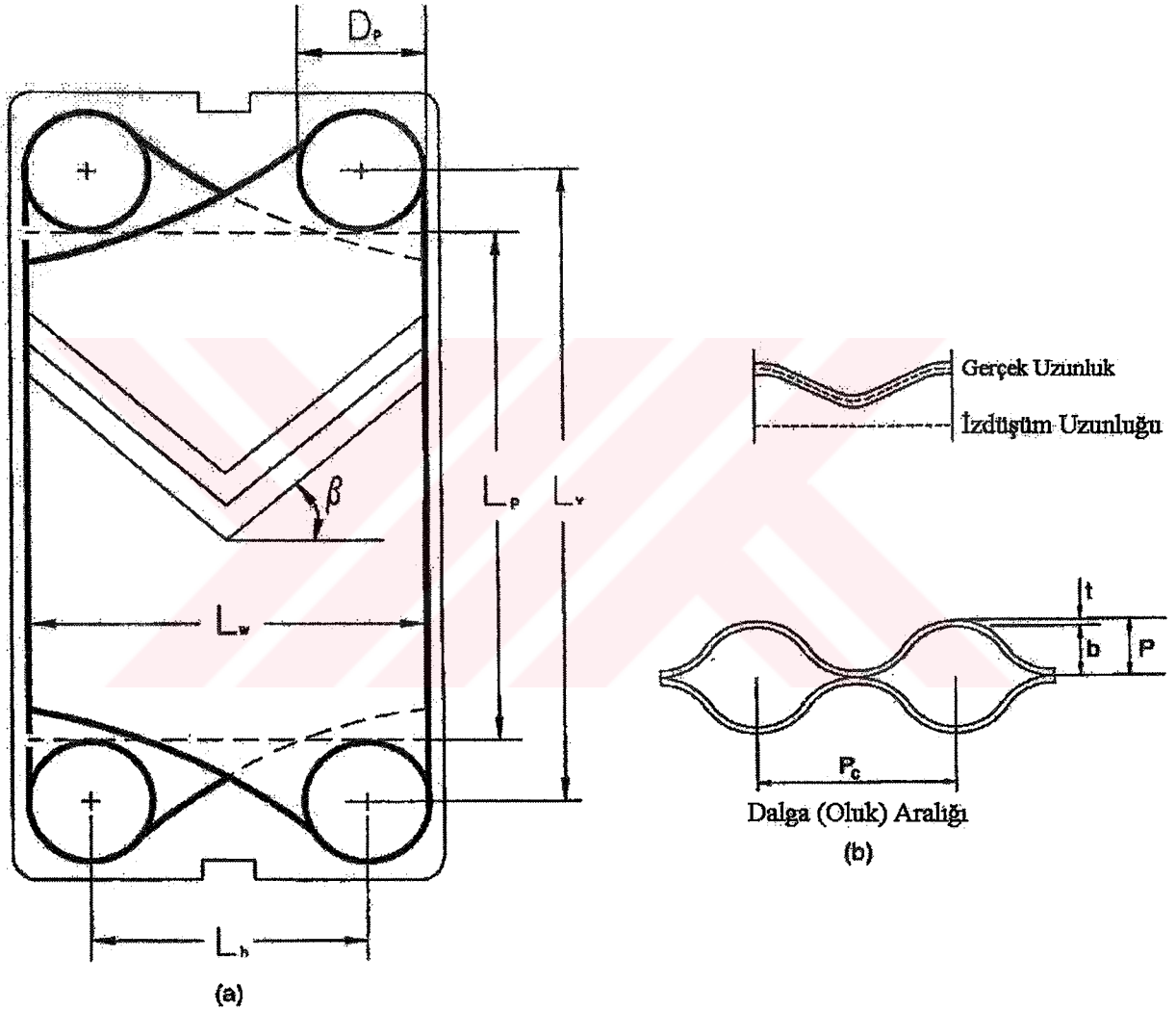
Conta Malzemesi	Sıcaklık	Kullanım Yerleri	Açıklama
Strin-butadien plastik	85 °C'ye kadar	Su sistemlerinde genel amaçlı olarak kullanılır.	
Acrylonitril-butadien plastik	140 °C'ye kadar	Su sistemleri, yağlara ve alifatik hidrokarbonlara çok iyi dirençlidir.	
Nitril Plastik (NBR) Butil Plastik	140 °C'ye kadar		
Reçine ile sertleştirilmiş butil plastik	150 °C'ye kadar	Asit, alkali, keton ve amin içeren çoğu kimyasallara çok iyi dirençlidir.	Yağlara karşı zayıf direnç gösterir.
Floro-elastomer	150 °C'nin üzerinde	Yağlar için idealdir.	Maliyeti yüksektir.
Etilen-propilen polimer (EPDM)	170 °C'ye kadar	Çoğu kimyasallara yüksek sıcaklıklarda dirençlidir.	
Silikon plastik	175 °C'ye kadar		
Viton	200 °C'ye kadar		
Sert Contalar,serbest asbest	220 °C'ye kadar		
Sıkıştırılmış Asbest Lifleri (CAF)	260 °C'ye kadar	Organik kimyasal karışımlara dayanıklıdır.	(CAF), izolasyon özelliğini muhafaza etmesi zor olduğundan kullanımından vazgeçilmiştir.

5.3 Çalışma Karakteristikleri

Conta-plakalı ısı değiştiriciler; kontrol, temizlik, bakım yada çerçeve uzunluğu boyunca yeniden kurulum için açılabilir.

5.3.1 Temel Avantajları

Conta dizaynı iç sızıntı riskini minimuma getirir. Contada herhangi bir hata sonucu, atmosfere olan sızıntı ünitenin dışında kolaylıkla belirlenebilir.

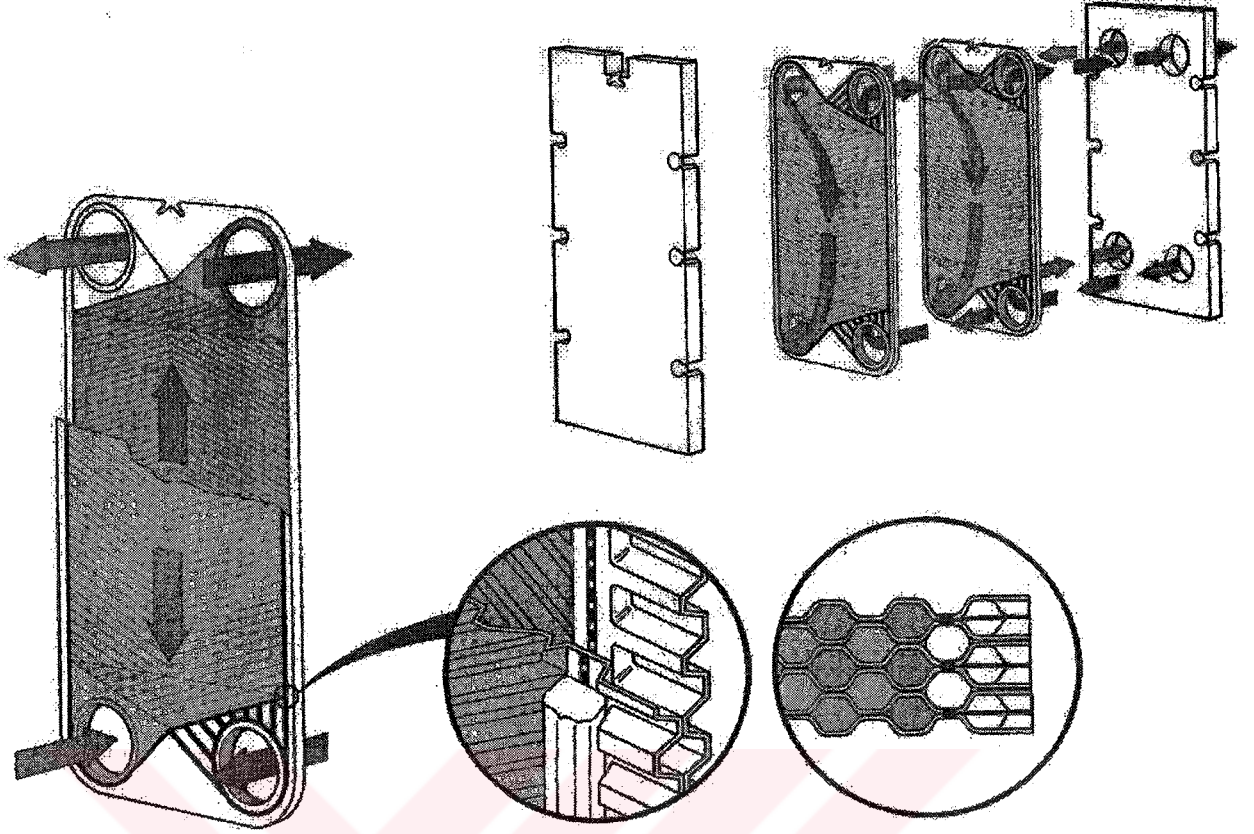


Şekil 5.8 (a) Chevron açılı plakanın esas boyutları; (b) Chevron açılı plakanın gerçek ve izdüşüm boyutları

Conta-plakalı ısı değiştiricilerin diğer avantajları şunlardır;

- Plaka boyutları ve geçiş bağlantılarının çeşitliliği sayesinde esnek dizayn sağlaması
- Plaka sayısının değişmesi sayesinde ısı transfer alanının kolayca yükseltilmesi ve proses koşullarının değişikliklere uygun olarak biçim değişikliklerine izin verir.
- Isı transfer verimi; türbülans ve küçük hidrolik çap olması nedeniyle her, iki akışkanın ısı transfer katsayıları yüksektir.
- Kompakttır (büyük ısı transfer alanı/ hacim oranı) ve düşük ağırlığa sahiptir. Kompaktlığı sebebiyle tek bir ünite de 2500 m² yüzey kullanılabilir.
- Sadece plaka kenarları atmosfere açıktır. Isı kayıpları ihmal edilir ve izolasyon gereksinimi yoktur.
- İki akışkanın karışması conta hatasından meydana gelmez
- Yüksek türbülans ve düşük bekleme zamanı nedeniyle plaka üniteleri düşük kirlilik karakteristiği gösterir.
- Tek bir ünite de 2 den fazla akışkan proses edilebilir.

Türbülanslı akışa geçişin meydana geldiği düşük Reynolds Sayısı 10 ile 400 arasındadır. Conta-plakalı ısı değiştiricilerinden yüksek türbülans sayesinde çok yüksek transfer katsayıları, düşük kirlilik oranları ve daha küçük boyutlar elde edilir. İnce plakalar metal duvar direncini minimuma indirir. Plakalı ünitelerde teorik logaritmik ortalama sıcaklık farkının (LMTD) yaklaşık %82'si kullanılırken, gövde-borulu tip ünitelerde bunun sadece %50'si kullanılır. Bunun nedeni esas olarak bir plaka ünitesi içersinde çapraz akışın olmayışıdır. Bir plakalı ünite de çok yakın sıcaklık yaklaşımlarında %90'nın üzerinde ısı geri kazanımı mümkündür.



Şekil 5.9 Komşu plakada Chevron açısı ters çevrilir

Aynı çerçevede, bağlantı plakaları kullanılarak 2 den fazla akışkan kullanılabilir. Eğer borular pahalı malzemeden olur ise paslanmaz çelik gibi, bir plakalı ünitesi borulu tip ünitenin yatırım maliyetinden daha uygundur.

Plakalı ünitesi, aynı görev için borulu tip üniteye göre son derece kompakt ve oldukça az oturma alanına ihtiyaç vardır. Düşük kaldırma hacmi, daha az ağırlığı ve daha az bakım, taşıma ve kurma maliyetleri bir plaka ünitesinin diğer avantajları olmaktadır.

5.3.2 Performans Sınırları

Conta-plakalı ısı değiştiricilerinin kapasite limitleri sınırlıdır. Bunun nedeni plakalar ve contalardır. Esas öğeler özetlenirse;

Çizelge 5.4 Performans sınırları (Kakaçve Liu , 1998)

Maksimum Kullanım Basıncı	25 bar, Özel konstrüksiyon ile 30 bar
Maksimum Sıcaklık	160 °C, Özel konstrüksiyon ile 250 °C
Maksimum Akış Debisi	3600 m ³ /h
Isı Transfer Alanı	0,1-2200 m ²
Isı Transfer Katsayısı	3500-7500 W/m ² .K

Contalar, kullanım sıcaklıklarını, basınçlar ve kullanılan akışkanın cinsini zorunlu olarak kısıtlar. Tam gelişmiş türbülanslı akışta, sürtünme faktörleri oldukça yüksektir. Fakat kanal uzunlukları oldukça kısa ve hızlar düşüktür. Bunun sonucu olarak basınç kayıpları tek fazlı akış koşullarında izin verilen sınırlar içersinde kalır.

Proses endüstrilerinde conta-plakalı ısı değiştiricilerinin uygulamalarında esas engel boyutlarının üst sınırı olmasıdır. Boyutları, levha metalden basılan plakalar için kullanılan presler nedeniyle sınırlandırılır. 1500 m²'den büyük boyutlardaki ısı değiştiriciler genellikle kullanılmaz. Çünkü plakalar arasındaki akış geçişleri incedir, yüksek sıvı debileri, aşırı basınç düşüşlerine neden olacaktır. Bundan dolayı kapasite sınırlanır. Özel durumlar için maksimum dizayn basıncı 2,5 MPa' a kadar çıkması mümkün olabilir; genellikle bu 1 MPa civarındadır. Kullanım sıcaklıkları da uygun conta malzemelerinin kullanılabilirliği tarafından sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.10 Plakanın temizlenmesi

Conta-plakalı ısı değiştiriciler bir hava soğutucu olarak uygun değildir. Ayrıca havadan havaya ya da gazdan gaza olan uygulamalarda da kullanılmazlar. Özellikle soğutma yapıldığında, çok yüksek viskoziteye sahip akışkanlarda problemler gösterir. Çünkü akış dağılımı etkilenir. Akış hızları 0,1 m/s' den düşük ise düşük ısı transfer katsayıları ve düşük ısı değiştirici verir. Bundan dolayıdır 0,1 m/s' den düşük hızlarda plakalı ısı değiştiriciler kullanılmaz.

Conta-plakalı ısı değiştiriciler yoğuşma görevlerine uygun değildir. Yoğuşma için özellikle vakum altındaki gazlar için uygulanır. Çünkü dar plaka boşlukları ve türbülansa geçiş sonucunda buhar tarafında basınç kayıpları çok yüksek olur. Özel dizayn edilmiş conta-plakalı ısı değiştiriciler buharlaşma ve yoğuşma sistemleri içeren görevler için günümüzde kullanılmaktadır.

5.3.3 Bakım

Bir conta-plakalı ısı değiştirici, kontrol, mekanik temizleme, conta değişimi, plaka sayısının azaltılması ya da arttırılması ya da diğer modifikasyonlar durumlarında kolaylıkla açılabilir. Uygun temizleme kimyasallarının dağılımı ile yerinde temizleme nispeten kolaydır. Plaka ünitelerinin standart elemanlardan kurulması nedeniyle bu elemanlar değişebilir ya da yeri değiştirilebilir, yedek parça stoklanması minimum olmaktadır. Conta yer değişimi bir problem ortaya çıkarmaz. Tek geçişli bir ünite, çerçevenin sabit kısmında ki bütün boru bağlantılarını yerleştirmek mümkündür. Bu, ünite herhangi bir bağlantı açılmadan ısı transfer yüzeyine ulaşmak için ünitenin aılmasında çok büyük avantaj sağlar.



6. ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ve KARŞILAŞTIRMA

Armutlu jeotermal sahası, Armutlu yarımadasının güney batısında, Armutlu ilçesine 5 km uzaklıktadır (Şekil 6.1). Klasik bir jeotermal saha olup, Kuzey Anadolu Fayı' nın iki kolu arasında, sıkışma gerilimlerinin oluşturduğu, kuzey-güney ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultu atımlı faylara bağlı olarak meydana gelmiştir. Sahanın temelini oluşturan Paleozoyik yaşlı şişter ve Paleosen/Eosen yaşlı diyabazlar içerisinde gelişen çatlaklar Armutlu jeotermal rezervuarını oluşturmuştur (Tekin vd., 1997)

Armutlu jeotermal sahasında, jeotermal akışkan üretimi amacıyla, derinlikleri 500-750 metre arasında değişen dört adet kuyu kazılmıştır. Kuyulardan ikisi (AR-1 ve AR-2), Armutlu Belediye Başkanlığı, diğer ikisi (AR-3 ve AR-4) ise İhlas Holding A.Ş. tarafından kazdırılmıştır. İhlas Holding tarafından kazdırılan AR-4 kuyusu daha sonra Armutlu Belediye Başkanlığına verilmiştir.

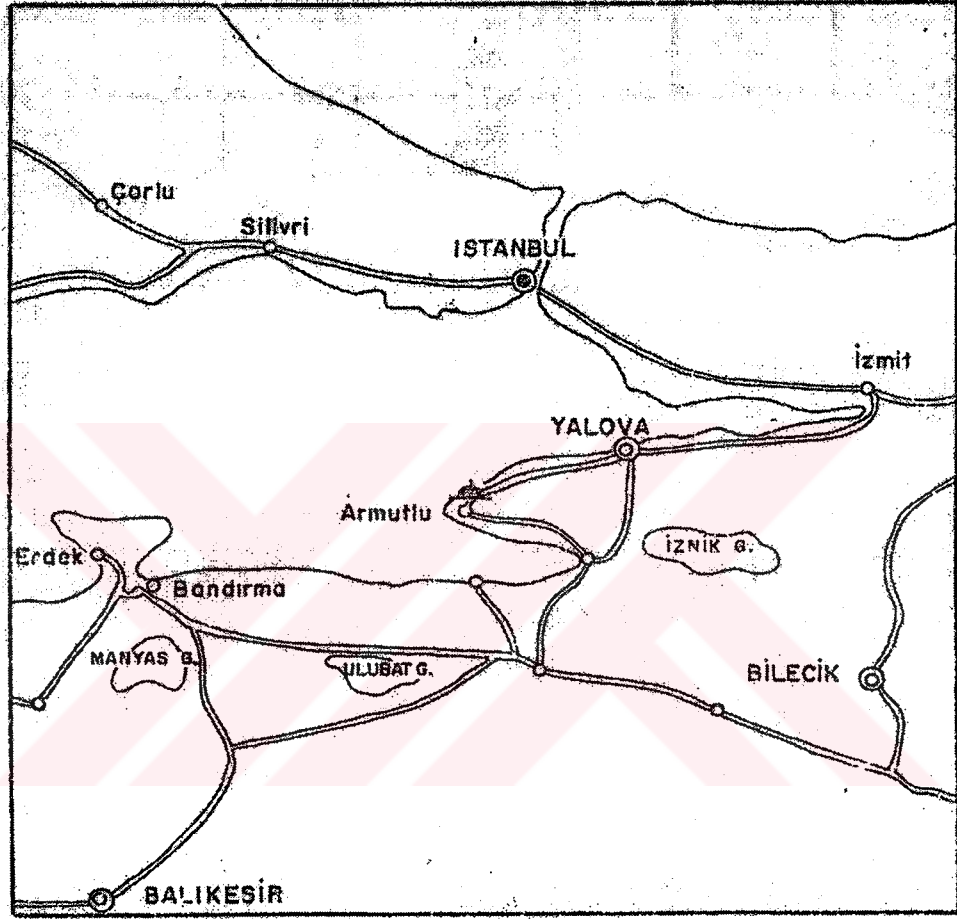
Armutlu jeotermal sahasında kazılan yukarıda değinilen kuyuların derinlikleri ve üretim karakteristikleri aşağıda verilen Çizelge 6.1 de görülmektedir.

Çizelge 6.1 Armutlu jeotermal sahasında kazılan kuyular

Kuyu No	Kazıldığı Tarih	Derinliği (m)	Üretim Debisi (lt/s)	Üretim Sıcaklığı(°C)
AR-1	TEMMUZ/ 1997	507	11	75
AR-2	KASIM/1997	500	2	75
AR-3	OCAK/1999	750	20	72
AR-4	TEMMUZ/1999	550	2	68

Sahada kazılan kuyuların dışında, yaklaşık bir kilometre boyunca uzanan kırıklar da sıcaklıklar 25.9-68.3°C arasında değişen otuzun üzerinde doğal kaynak bulunmaktadır. Çizelge 6.1 de görüldüğü gibi, Armutlu jeotermal sahasında kazılan üretimi en yüksek ve en derin kuyu İhlas Holding tarafından kazdırılan AR-3 kuyusudur. Bu kuyu, Armutlu Tatil Köyü' nün termal su ihtiyacını karşılanması için kazdırılmıştır.

Kuyunun kazılması sırasında; kuyu içi sıcaklıkları, çamur kaçak ve sıcaklıkları ile kesilen kayaç özellikleri göz önünde bulundurularak kuyunun 108-750 metreleri arasının tamamının filtre boru ile teçhiz edilmesi uygun bulunmuştur. AR-3 kuyusu tamamlandıktan sonra, kuyuda yapılan üretim testlerinden elde edilen üretim karakteristikleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 6.1 Yalova -Armutlu Kaplıcası yerbelirleme haritası (ölçek:1/500.000)

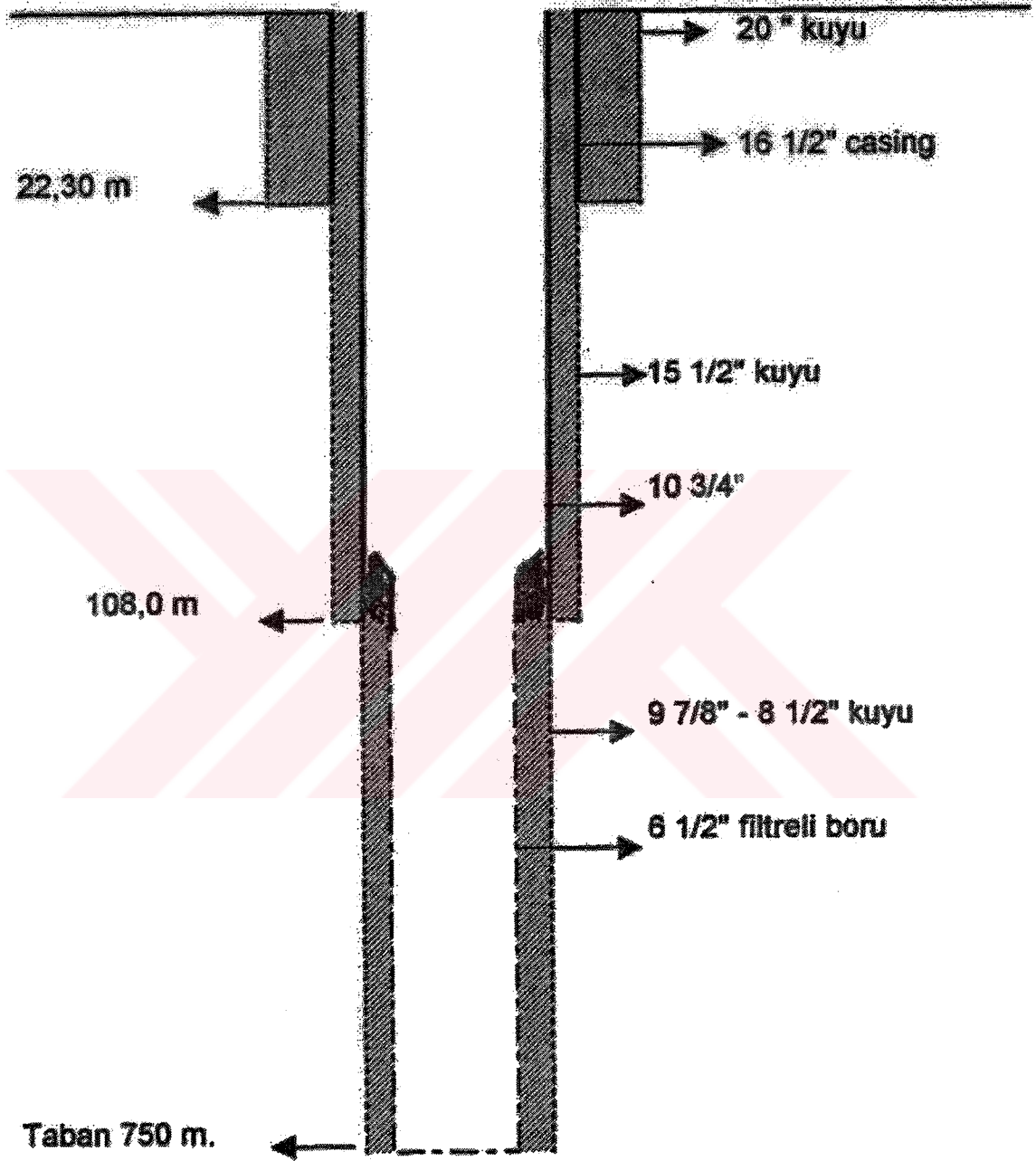
Çizelge 6.2 Kuyu üretim karakteristikleri

Kendi Enerjisi ile Akış DebiŐi	20 lt/s
Kuyu Başı Üretim Sıcaklığı	72 °C
Kuyu Başı Statik Basıncı	2,5 bar

Kuyunun hava ile geliştirme işlemi sırasında ise aşağıdaki üretim debileri ölçülmüştür. Yapılan pratik uygulamalarda hava ile yapılan geliŐtirmeler sırasında ölçülen debiler, aynı

seviyeden kuyu içi pompa ile üretim yapılması halinde daha yüksek bulunmaktadır.

AR-3 jeotermal enerji üretim kuyusunun, koruma borusu çapları, boruların indirildiği derinlikler ve kuyu çapları Şekil 6.2 de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Armutlu AR-3 kuyusu teviz planı

Çizelge 6.3 Hava basma derinlik-debi değerleri

Hava Basma Derinliği (m)	Ölçülen Debi (lt/s)
205	73
94	71

6.1 AR-3 Kuyusunda Yapılan Testler

Armutlu AR-3 kuyusunun jeotermal akışkan karakteristikleri, kuyu içi sıcaklık ve basınç dağılımları ile kuyunun üretim potansiyelini ortaya çıkarmak için, kuyuda aşağıda detayları verilen testler yapılmıştır. Testler, yüksek duyarlılık Grc-Amerada basınç ve sıcaklık ölçme aleti ile gerçekleştirilmiştir.

6.1.1 Statik Sıcaklık Testi

AR-3 kuyusu kapalı iken sıcaklık ölçme aleti kuyuya indirilerek aşağıdaki derinliklerden sıcaklık kayıtları alındı. Her derinlikte 10' ar dakika beklenerek bulunulan derinliğin sıcaklığının tam olarak kayıt edilmesi sağlandı. Kuyunun 750 metre olan temiz derinliği bu test sırasında 730 metre olarak bulundu. Kuyunun kompresörle geliştirilmesi sırasında, 108-730 metreler arasındaki zayıf birimlerden ve sondaj sırasında, çamur kaçaqları nedeni ile çatlaklara giren kırıntıların kuyuya düşmesi ile kuyu tabanında 20 metrelik bir dolgu olduğu anlaşıldı.

Statik sıcaklık testi sırasında kuyu başında ve kuyu içinde yapılan kayıtlar aşağıda gösterildi:

Çizelge 6.4 Statik sıcaklık testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Statik Sıcaklık
Üretim Debisi	0 lt/s
Kuyu Başı Basıncı	1,9 bar
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

Çizelge 6.5 Derinlik-statik sıcaklık değerleri (Gülgör, 2001)

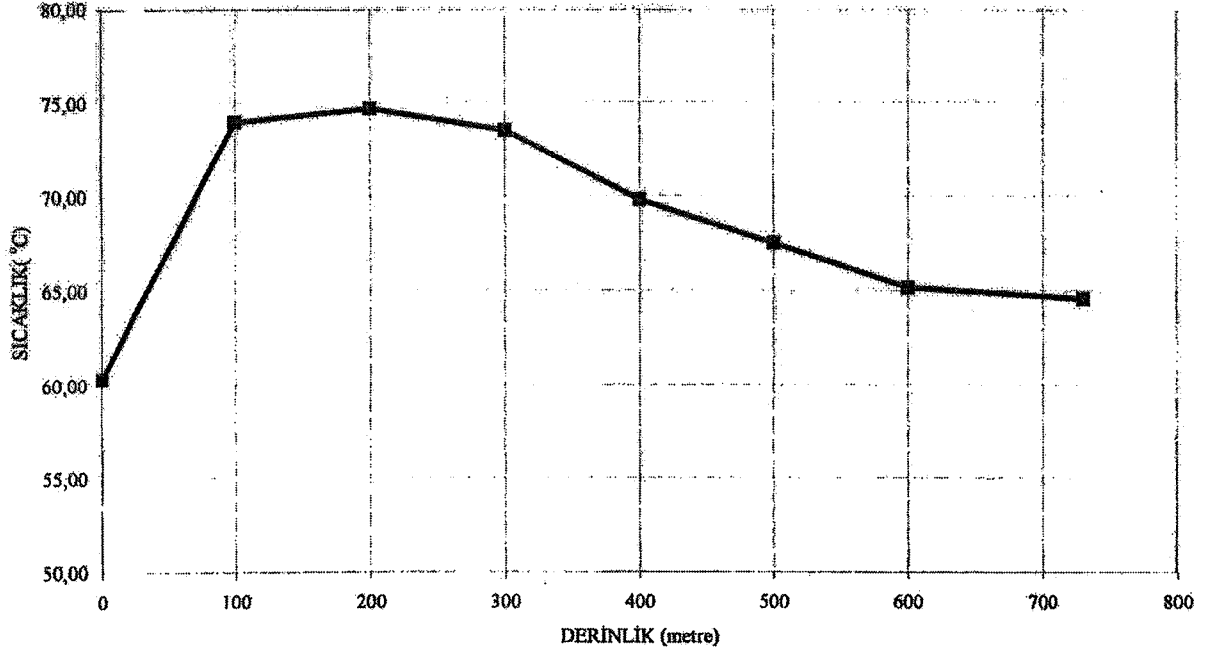
Derinlik (m)	Sıcaklık(°C)
0	60,35
100	73,94
200	74,65
300	73,47
400	69,78
500	67,52
600	65,14
730	64,55

Derinlik -Statik sıcaklık değerleri, Şekil 6.3 de grafik olarak gösterilerek AR-3 kuyusunun sıcaklık profili elde edildi. Sıcaklık profilinde görüldüğü gibi, kuyu içindeki en yüksek sıcaklık, 200 metre derinlikte 74.65 °C olmuştur. 200 metreden sonra sıcaklık azalarak, kuyu temiz derinliği olan 730 metrede 64.55 °C düşmüştür. 530 metre içerisinde 10 °C 'lik sıcaklık düşüşü nedenlerine daha ilerideki bölümlerde değinilecektir.

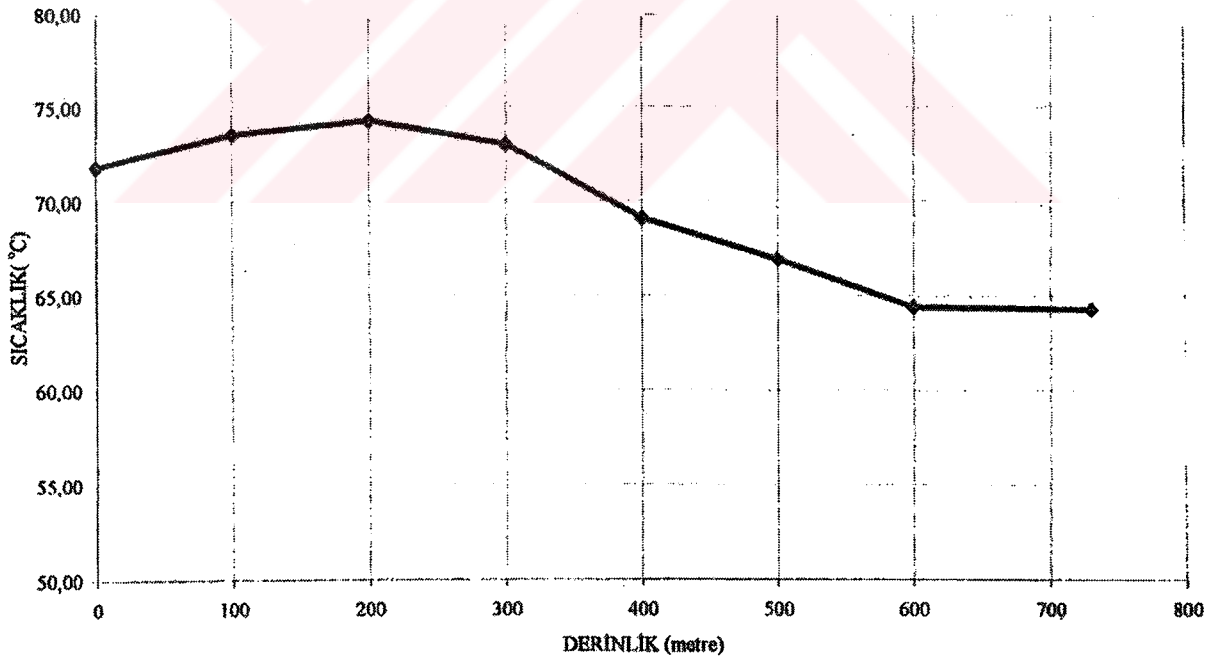
6.1.2 Dinamik Sıcaklık Testi

Dinamik sıcaklık testinin yapılmasının amacı, kuyu üretimde iken kuyu içi dinamik sıcaklık dağılımını elde etmektir. Kuyu, dinamik sıcaklık profilinin değerlendirilmesinden üretilen akışkanın maksimum sıcaklığı belirlenir. Ayrıca, statik ve dinamik sıcaklık profillerinin karşılaştırılmasından, kuyudaki çeşitli üretim seviyelerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

AR-3 kuyusu, dinamik sıcaklık testi için 20 lt/s debi ile üretime alındı. Bu sırada sıcaklık ölçme cihazı hazırlanarak kuyuya iniş yapıldı. Test sırasında, kuyu başı ve kuyu içinde yapılan kayıtlar aşağıda gösterildi. Kuyu içinde yapılan sıcaklık değerleri, Şekil 6.4 de grafik olarak gösterildi. Şekil 6.4 deki dinamik sıcaklık profilinde görüleceği üzere, kuyu 20 lt/s debi ile üretim yaparken, kuyunun en sıcak noktası (74.27 °C), statik sıcaklık profilinde olduğu gibi 200 metrede bulunmuştur.



Şekil 6.3 Statik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.4 Dinamik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001)

Çizelge 6.6 Dinamik sıcaklık testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Dinamik Sıcaklık
Üretim Debisi	20 lt/s
Kuyu Başı Basıncı	0,88 bar
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

Çizelge 6.7 Derinlik-dinamik sıcaklık değerleri(Gülgör, 2001)

Derinlik (m)	Sıcaklık(°C)
0	71,80
100	73,52
200	74,27
300	73,00
400	69,12
500	66,90
600	64,37
730	64,24

Dinamik sıcaklık testinde, kuyu başı üretim sıcaklığı 71.80 °C bulundu. Yalova Tatil Köyü ısıtma sistemi tasarımı için kuyu başı sıcaklığı 72 °C olarak alınabilir.

Dinamik ve statik sıcaklık profillerinin her ikisinde de, kuyunun 108-250 metreleri arasındaki sıcaklık değerlerinin fazla değişmediği gözlemlendi. Bu interval, jeotermal akışkanın kuyuya girdiği ana zon olup en geçirgen olarak tespit edilmiştir. Bu zonun altında bulunan birimlerden, kuyuya önemli bir akışkan girmediği anlaşılmıştır.

6.1.3 Statik Basınç Testi

Statik basınç testinin yapılmasının amacı, kuyu üretim halinde değilken, derinliğe bağlı olarak kuyu içi orijinal statik basınç profilinin bulunmasıdır. Statik basınç değerlerinden statik rezervuar basıncı bulunur ve kuyu rezervuar üretim davranışının bulunmasında kullanılır.

AR-3 kuyusunda yapılan ilk statik basınç testi, kuyu kazıldıktan iki yıl sonra ve kuyudan bir yıl süre ile 6 lt/s üretim yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Üretim süresi içerisinde kuyudan yaklaşık 200.000 ton jeotermal akışkan üretilmiştir.

AR-3 kuyusunda yapılan statik basınç testi sırasında, kuyu başı ve kuyu içi kayıtlar aşağıya çıkartılmış olup derinlik-basınç verileri grafik olarak Şekil 6.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 Statik basınç testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Statik Basınç
Üretim Debisi	0 lt/s
Statik Kuyu Başı Basıncı	1,90 bar
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

Çizelge 6.9 Derinlik-statik basınç değerleri (Gülgör, 2001)

Derinlik(m)	Basınç(bar)
0	1,92
100	11,75
200	21,91
300	31,40
400	41,33
500	51,00
600	60,91
700	70,59

6.1.4 Dinamik Basınç Testi

AR-3 kuyusu dinamik basınç testi için kuyu 20 lt/s debi ile üretime açıldı. Debi sabitleşince basınç ölçme aleti kuyuya indirildi. Yüzeyden 200 metreye kadar her elli metrede bir, 200 metreden 700 metreye kadar ise her yüz metrede bir basınç ölçümü yapıldı. Test sırasında kuyu başı ve kuyu içinde yapılan basınç kayıtları aşağıya çıkartıldı.

Çizelge 6.10 Dinamik basınç testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Dinamik Basınç
Üretim Debisi	20 lt/s
Kuyu Başı Basıncı	0,88 bar
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

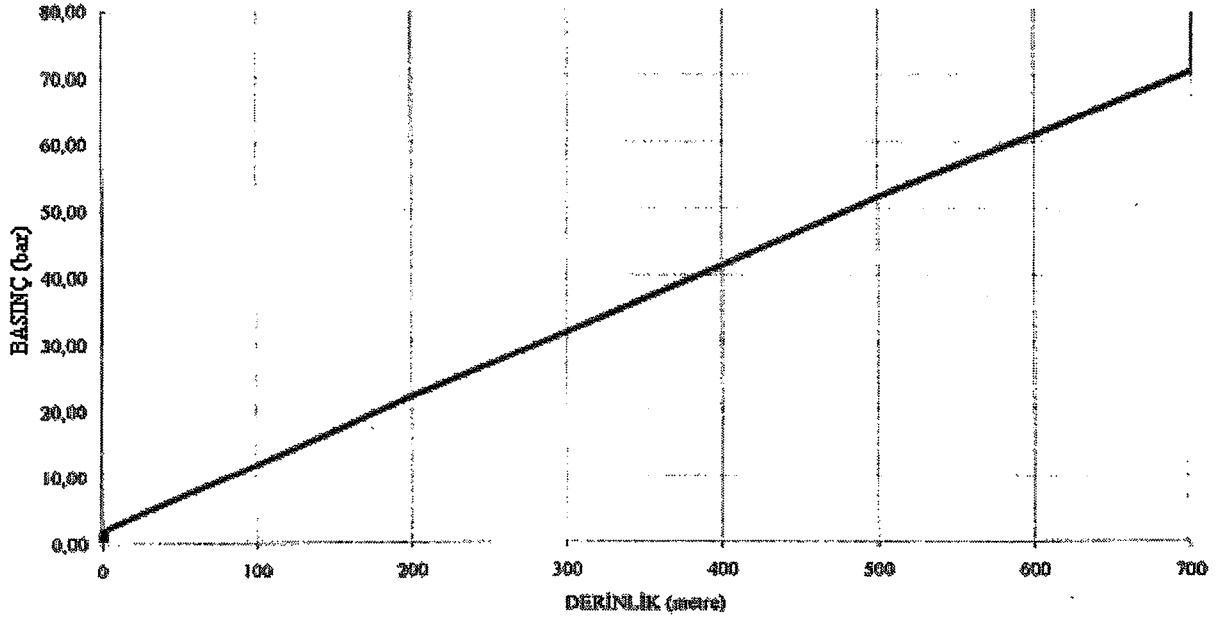
Çizelge 6.11 Derinlik-dinamik basınç değerleri (Gülgör, 2001)

Derinlik (m)	Basınç(bar)
0	0,89
50	5,96
100	11,10
150	15,89
200	20,96
300	30,55
400	40,21
500	49,96
600	59,92
700	69,54

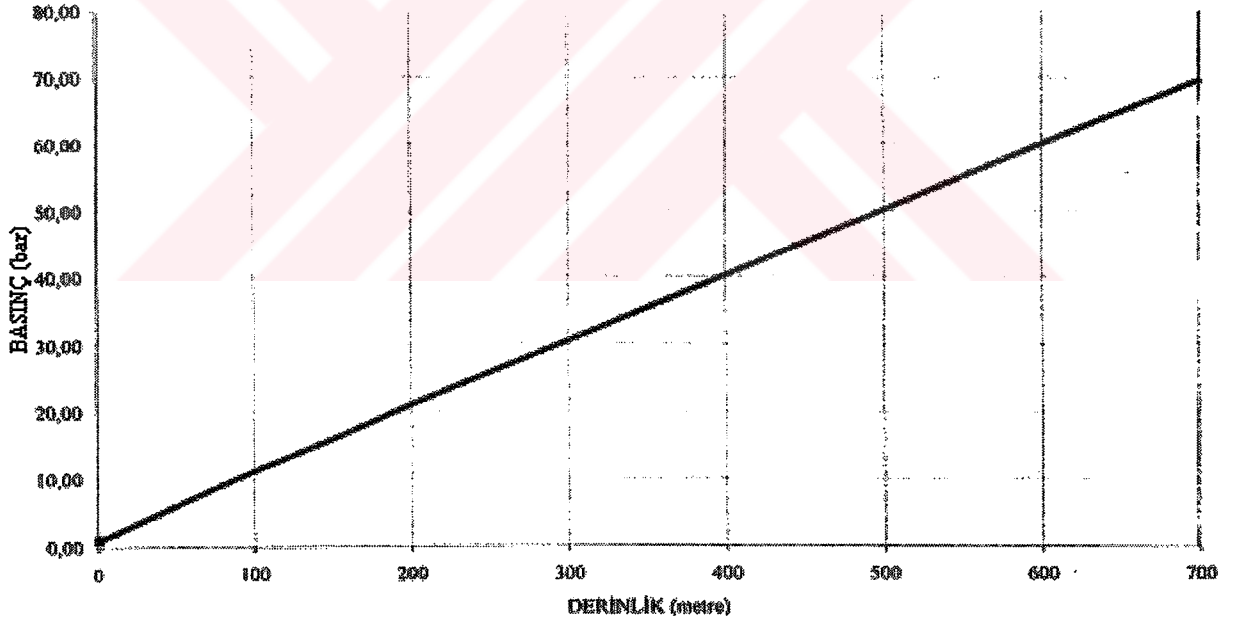
Yukarıda verilen dinamik basınç değerleri Şekil 6.6 de grafik olarak gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi dinamik basınçlar, yüzeyden kuyu tabanına doğru lineer olarak artmaktadır.

Dinamik basınç eğrisinin lineer olarak artışı, kuyu içinde herhangi bir "Flush Point" in (Gazların sıvı halden gaz fazına geçtiği derinlik) olmadığını göstermiştir.



Şekil 6.5 Statik basınç eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.6 Dinamik basınç eğrisi (Gülgör, 2001)

6.1.5 Rezervuar Geçirgenlik Testleri

Armutlu AR-3 kuyusunda kazılan geçirgen zonların rezervuar parametreleri ve kuyu potansiyeli hakkında bilgi sahibi olmak için, kuyuda "Basınç Yükselim " ve "Basınç Düşüm" testleri yapıldı. Basınç yükselim ve basınç düşüm testlerinden kuyunun prodaktivite endeksi bulunmuştur.

6.1.6 Basınç Yükselim Testi

Basınç yükselim testi, rezervuar çatlaklarında bir kirlenme, rezervuar geçirgenliği ve sınırları ile rezervuar geometrisi gibi önemli rezervuar parametrelerinin bulunması için yapılır. Kuyu sabit bir debi ile üretim yaparken kapatılır, bu sırada ana üretim zonu karşısında bulunan basınç kayıt aleti burada yeterli bir süre bekletilir. Basınç kayıtları değerlendirilerek yukarıda değinilen rezervuar parametreleri bulunur.

AR-3 kuyusu 20 lt/s sabit debide üretim yaparken, basınç aleti 300 metreye indirildi ve kuyu kapatılarak 300 metredeki basınç değişimleri kayıt edildi. Test sırasında kuyu başında ve kuyu içinde yapılan kayıtlar aşağıda gösterildi.

Çizelge 6.12 Basınç yükselim testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Basınç Yükselim
Üretim Debisi	20 lt/s
Kuyu Başı Basıncı (Başlangıçta)	1,90 bar
Kuyu Başı Basıncı (Bitişte)	0,88 bar
Toplam Test Süresi	45 dakika
Basınç Aleti Derinliği	300 metre
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

Çizelge 6.13 300 metre derinlikteki basınç değişim değerleri(Gülgör, 2001)

ΔT (dakika)	Basınç, P_{ws} (bar)	ΔP (bar)
0	30,55	0
0,5	31,30	0,75
0,75	31,37	0,82
1	31,37	0,82
1,5	31,37	0,82
2	31,37	0,82
5	31,37	0,82
10	31,37	0,82
15	31,37	0,82
20	31,37	0,82
25	31,37	0,82
30	31,37	0,82
45	31,37	0,82

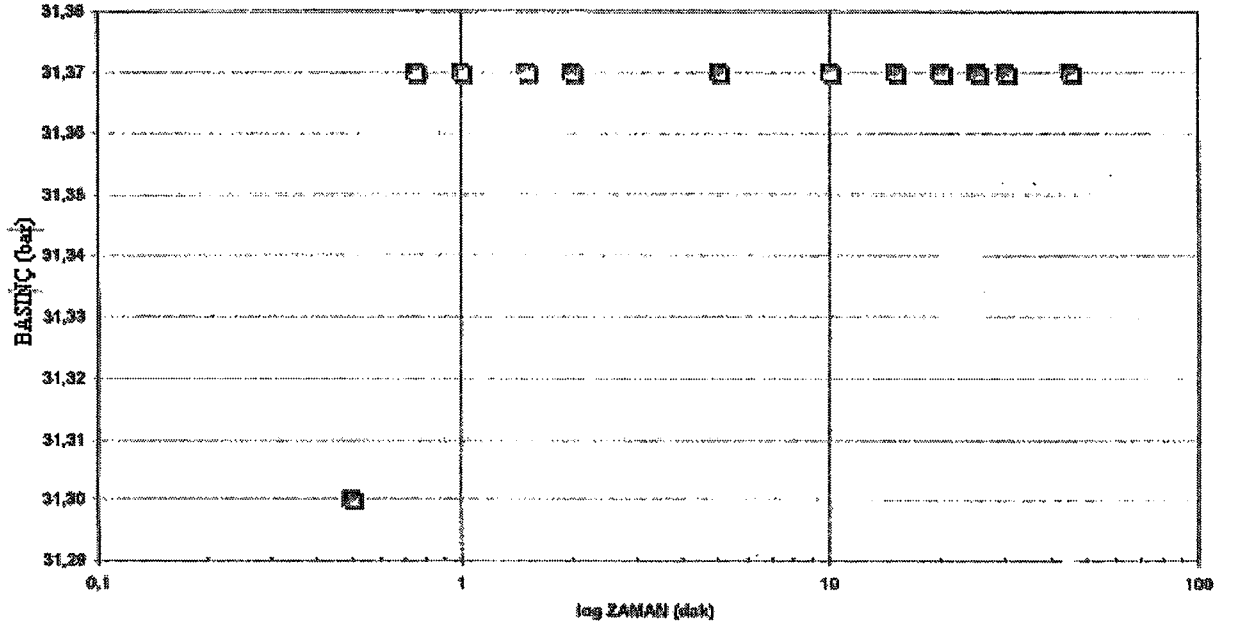
$$\Delta P=0.82 \text{ bar}$$

$$Q=20 \text{ lt/s}$$

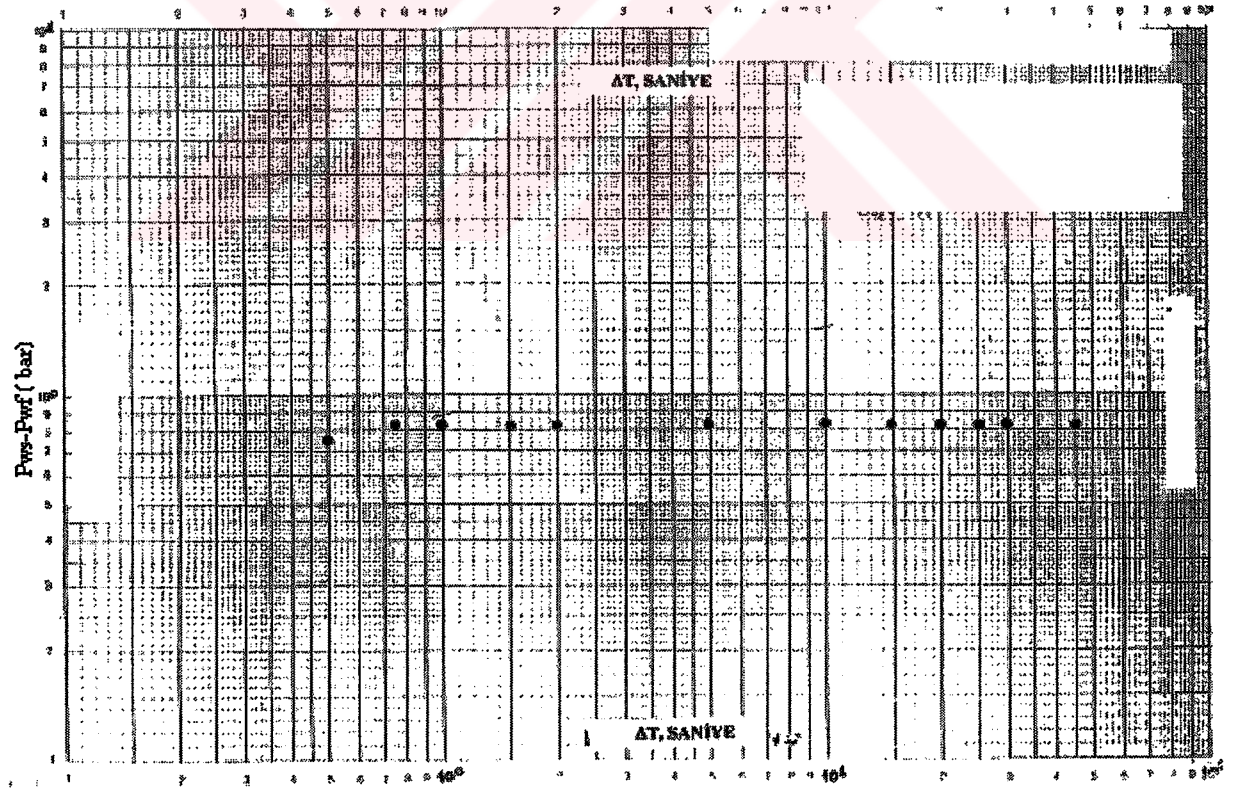
$$PI=Q/ \Delta P =24.4 \text{ lt/s/bar}$$

Amerada basınç aletinin 45 dakika süre ile 300 metre derinlikte bekletilmesi sırasında, $\Delta P = 0.82$ bar basınç farkı olmuştur. Buradan kuyunun "Prodaktivite Endeksi", $PI=24.4$ lt/s/bar olarak bulundu. Bulunan bu prodaktivite endeksi, AR-3 kuyusu rezervuarında, 0.041 kg/cm^2 basınç düşümü meydana getirmek için 24.4 lt/s su üretiminin yapılması gerektiğini göstermektedir. Diğer bir ifade ile, kuyu üretimi 1 lt/s arttırıldığında AR-3 kuyusu rezervuarında 0.041 bar basınç düşümü meydana gelecektir. Hesaplanan bu prodaktivite endeksi AR-3 kuyusu rezervuarının yüksek üretim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Basınç yükselme verileri, Şekil 6.7'de P_{ws} -Log t ve Şekil 6.8'de Log ΔP -Log t grafikleri çizildi. Her iki grafikte de görüldüğü gibi rezervuar basınçları çok kısa sürelerde dengelenmektedir. Bu nedenle, rezervuar geçirgenliğinin çok yüksek olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.7 Semi-Log basınç yükselim eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.8 Log-Log basınç yükselim eğrisi (Gülgör, 2001)

6.1.7 Basınç Düşüm Testi

Basınç Düşüm Testi'nden de, Basınç Yükselim Testi' inde belirtilen önemli rezervuar parametreleri bulunur. Bu test, kuyu kapalı iken basınç ölçme aleti kuyuya indirilir. Basınç aleti burada bekletilirken kuyu sabit bir debi ile üretime açılır. Yeterli bir süre beklendikten sonra basınç aleti çıkartılarak üretim sırasındaki basınç değerleri incelenir.

AR-3 kuyusu kapalı iken, Amerada basınç aleti 700 metrede bekletildi ve kuyu 20 lt/s sabit debi ile üretime açıldı. Kuyu kısa sürede dengeye ulaşacağı daha önceki testlerden bilindiği için 10 dakika beklendi ve bu zaman süresinde yapılan basınç değişimleri incelendi. Test sırasında., kuyu başında ve kuyudaki basınç kayıtları aşağıya çıkartıldı.

Çizelge 6.14 Basınç düşüm testi (Gülgör, 2001)

Kuyu No	AR-3
Ölçü Tipi	Basınç Düşüm
Üretim Debisi	20 lt/s
Kuyu Başı Basıncı (Dinamik)	1,90 bar
Kuyu Başı Basıncı (Statik)	0,80 bar
Toplam Test Süresi	10 dakika
Basınç Aleti Derinliği	700 metre(300 metreye göre düzenlendi)
Ölçü Aleti	Grc-Amerada

Çizelge 6.15 300 metrede basınç değişim değerleri (Gülgör, 2001)

ΔT (dakika)	Basınç, P_{ws} (bar)	ΔP (bar)
0	31,51	0
0,5	30,74	0,77
0,75	30,61	0,90
1	30,53	0,98
1,5	30,53	0,98
2	30,53	0,98
3	30,53	0,98
4	30,53	0,98
5	30,53	0,98
10	30,53	0,98

$$\Delta P = 0.98 \text{ bar}$$

$$Q = 20 \text{ lt/s}$$

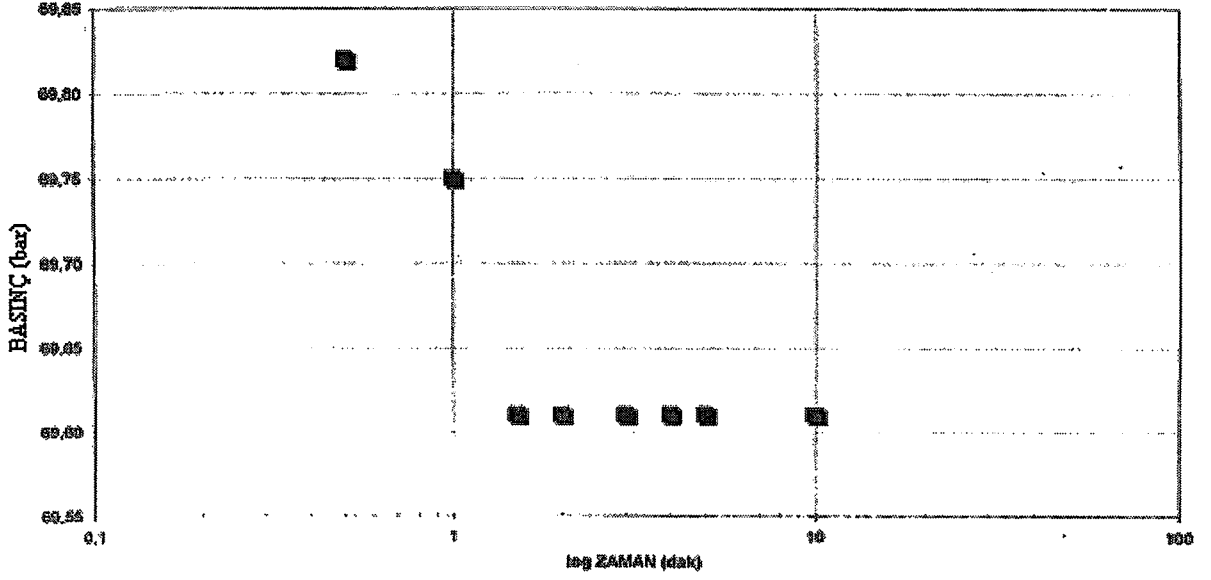
$$PI = Q / \Delta P = 20 / 0.98 = 20.4 \text{ lt/s/bar}$$

Basınç değişimi verilerinden, kuyunun "Prodaktivite Endeksi, PI" 20.4 lt/s/bar olarak bulundu. Basınç düşüm testinden bulunan PI değeri de, AR-3 kuyunun yüksek geçirgenliğe sahip olduğunu gösterdi.

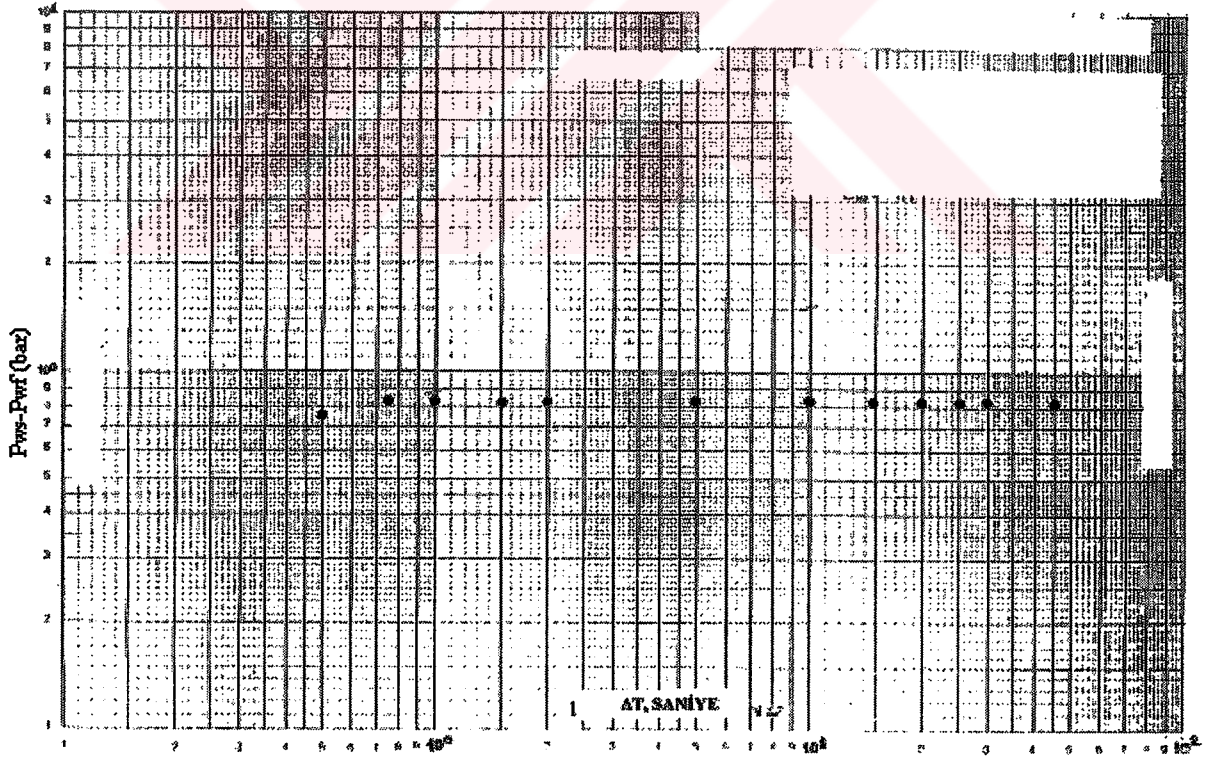
Basınç düşüm testi sırasında elde edilen veriler, Şekil 6.9 ve 10 da sıra ile Pwf-Log t ve Log ΔP -Log t grafikleri halinde çizildi. Her iki grafikte görüleceği üzere, rezervuar basınçları çok kısa sürede dengelendiği için kuyu geçirgenliğinin de yüksek olduğu bu yöntemle de anlaşılmış oldu.

6.1.8 Sıcaklık, Basınç ve Geçirgenlik Testlerinin Analizi ve Sonuçları

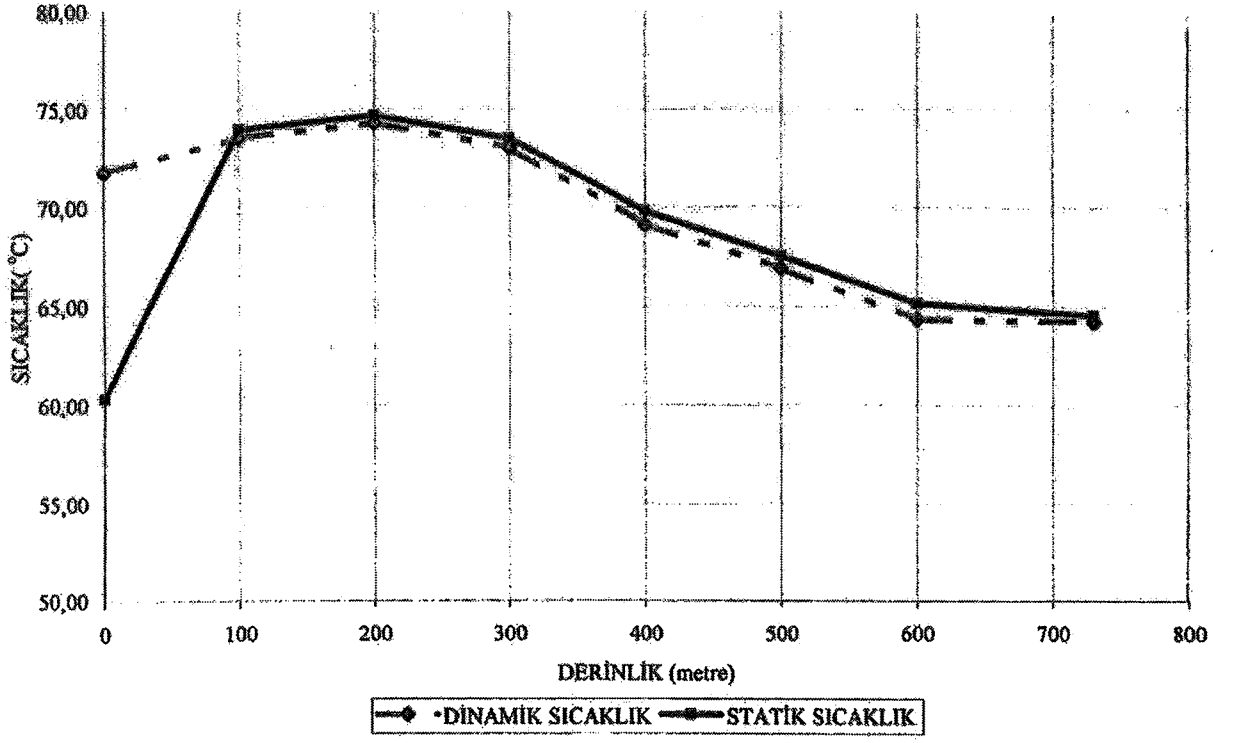
AR-3 kuyusunda, yapılan testlerden elde edilen veriler Çizelge 6.5, 6.7, 6.9, 6.11, 6.13 ve 6.15 de verilmiş olup verilerin değerlendirilmesi için çizilen grafikler ise Şekil 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12'de görülmektedir. Test verileri ve grafikler incelenerek; Statik ve dinamik sıcaklık / basınç testleri analizleri ile geçirgenlik testlerinin sonuçları sıra ile aşağıda verilmiştir.



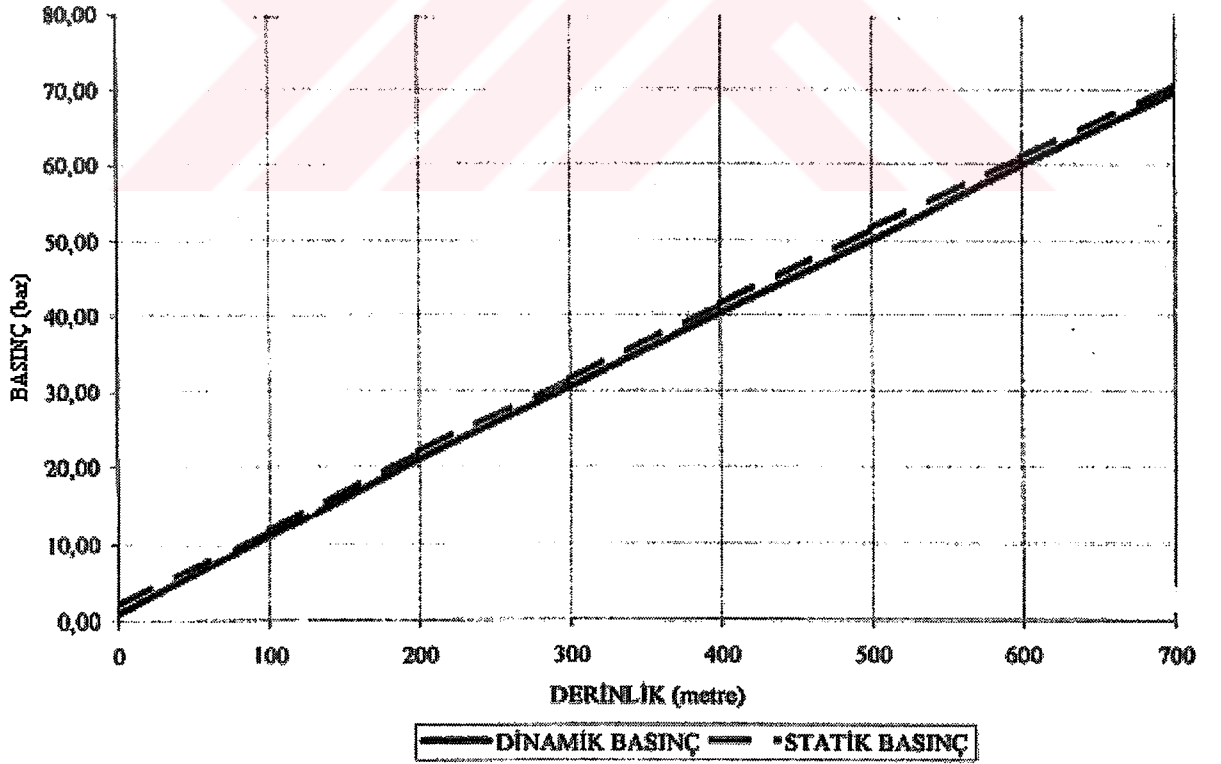
Şekil 6.9 Semi-Log basınç düşüm eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.10 Log-Log basınç düşümü eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.11 Statik-Dinamik sıcaklık eğrisi (Gülgör, 2001)



Şekil 6.12 Statik-Dinamik basınç eğrisi (Gülgör, 2001)

6.1.8.1 Statik ve Dinamik Sıcaklık Testlerinin Analizi

AR-3 kuyusunda yapılan derinlik-statik sıcaklık testi verileri Şekil 6.3'de gösterildi. Grafikte görülen gradyan değişimlerini aşağıdaki gibi iki intervalde incelemek mümkün:

Çizelge 6.16 Derinlik-sıcaklık gradyen değerleri

Derinlik (m)	Sıcaklık Gradyeni
0-200	+37 °C/100 m
200-700	-1,9 °C/100 m

Yukarıdaki çizelgede ve statik sıcaklık eğrisinde görüldüğü gibi yüzeyde 200 metreye kadar yüksek bir gradyen artışı vardır. Bu birimlerde yer ısı akışı anormal yüksek bulunmuştur. 200 metre de maksimum olan statik sıcaklık (74.65°C), kuyu temiz tabanı olan 730 metreye doğru ortalama -1.9 °C/100 m azalarak 730 m de 64.55 °C' a düşmüştür. Kuyunun 100-300 metreleri arasındaki statik sıcaklık hemen hemen aynı kabul edilebilir.

AR-3 kuyusunda, jeotermal rezervuar 100-300 metreler arasında olan diyabaz ve şişlerden meydana gelmiştir.

Şekil 6.4 dinamik sıcaklık profilinde de 100-300 metreler arasındaki sıcaklıklar hemen hemen birbirine çok yakındır. Kuyu 20 lt/s debi ile üretime açıldıktan sonra, kuyudan alınan dinamik sıcaklık değerleri 100-730 metreler arasında, statik sıcaklık değerlerine çok yakın olduğu Şekil 6.11 de görülmektedir. Kuyuda 300-730 metreler arasından kuyuya herhangi bir akışkan girmediği buradaki dinamik ve statik sıcaklık değerlerinin aynı olmasından anlaşılmıştır.

AR-3 kuyusunda yapılan statik ve dinamik sıcaklık testler; kuyudaki ana üretim zonunun 108-300 metreler arasında olduğunu, 300 metreden daha derin seviyelerden kuyuya bir akışkan girişinin olmadığını, kuyu başı üretim sıcaklığının 72 °C alınabileceğini ortaya çıkarmıştır.

6.1.8.2 Statik ve Dinamik Basınç Testlerinin Analizi

Statik ve Dinamik koşullarda yapılan ve Çizelge 6.9 ve 6.11’de verilen basınç değerleri derinliğe göre Şekil-6.5 ve 6.6’de grafik halinde gösterilmiştir. Analizlerin daha kolay yapılabilmesi için dinamik ve statik basınç profilleri Şekil 6.12’ de birlikte gösterildi. Derinliğe göre statik ve dinamik basınç eğrilerinden kuyu içindeki basınç dağılımlarının lineer olduğu görüldü.

Dinamik koşullarda, Armutlu jeotermal akışkanı içerisinde erimiş olarak bulunan gazların, sıvı halden gaz haline geçtiği belirgin bir nokta, dinamik basınç eğrisinin değerlendirilmesinden elde edilememiştir. Dinamik sıcaklık eğrisinde “Flush Point” in belirgin olarak görülememesinin nedeni, jeotermal akışkan içinde bulunan gazların fazla olmaması veya gaz halinde olmasından kaynaklanabilir. Ancak, kuyu içi pompa uygulanması sırasında, rezervuar üzerinden daha fazla basınç kaldırılacağı için kuyu içinde bir “Flush Point=Erimeş gazların gaz fazına geçtiği derinlik” in bulunması mümkün olabilecektir. Jeotermal akışkan borularda birikinti oluşturmadığı için bu “Flush Point” in bulunması önemini şimdilik yitirmiştir.

AR-3 kuyusunda yapılan statik basınç testinden, 200 metredeki statik rezervuar basıncı, $P_{ws}=21.91$ bar olarak hesaplandı. Kuyu 20 lt/s debi ile üretim yaparken, 200 m derinlikteki dinamik rezervuar basıncı, $P_{wf}=20.96$ bar olarak bulundu.

6.1.8.3 Rezervuar Geçirgenlik Testlerinin Analizi

AR-3 kuyusunun rezervuar parametrelerini ve üretim potansiyelini bulmak için yapılan, “Basınç Yükselim” ve “Basınç Düşüm” testlerinden elde edilen verileri (Çizelge 6.13 ve 6.15), analiz etmek üzere Şekil 6.7, 6.8, 6.9, ve 6.10’de “Basınç (P)-Log(T)” ve “ Basınç Farkı(ΔP)-Log(T)”, olarak grafik haline getirildi. Basınç yükselim ve düşüm eğrilerinin (Şekil 6.8 ve 6.10) Transient test analiz sonuçları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.17 Basınç düşüm-yükselim test analizi (Gülgör, 2001)

Test Tipi	Analiz Tipi	Geçirgenlik (kh=D-M)
Basınç Yükselim	Log-Log	23,7
Basınç Düşüm	Log-Log	27,5

Hesaplanan her iki geçirgenlik değerinin aritmetik ortalaması alınırsa $kh = 25.6$ D-M bulunur. Bu değer AR-3 kuyusu 108-300 metre arasındaki jeotermal rezervuarının yüksek geçirgenliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Çizelgelerde verilen veriler ve Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10' daki grafiklerden, rezervuar basınçlarının bir dakikadan az bir süre içinde dengelendiği görüldü. Çok kısa sürelerde dengelenen rezervuar basınçları yüksek geçirgenlik göstergesidir. Testlerde, düşük basınç değişimlerine karşı, büyük üretim debilerinin elde edilmesi rezervuar geçirgenliğinin yüksek olduğunun başka bir göstergesidir.

6.2 AR-3 Kuyusundan Üretilecek Akış Miktarı

Basınç yükselim ve basınç düşüm testlerinden sırası ile $PI=24.4$ ve $PI=20.4$ lt/s/bar Prodaktivite Endeksleri bulunmuştur. Bu değerler, yüksek rezervuar geçirgenliği ve kuyu potansiyelini göstermektedir. Her iki değerlerin ortalaması alınırsa, "Ortalama Prodaktivite Endeksi" = 22.4 lt/s/bar olarak bulunur. Yaklaşık %33 emniyet faktörü alınarak $PI = 15$ lt/s/bar alınırsa, bu durumda, rezervuar üzerinden 1 bar basınç kaldırmakla 15 lt/s jeotermal akışkan üretilbilir sonucu çıkar.

Kuyu kapalı iken, ortalama rezervuar derinliği olan 200 metredeki statik rezervuar basıncı 21.91 bar ve 20 lt/s debi ile üretim yaparken 200 metre derinlikteki rezervuar akış basıncı ise 20.96 bar hesaplandı.

Kuyu tamamlandığında yapılan üretim testleri, bu sonucu doğrular yönde değerler vermiştir. AR-3 kuyusunda, kuyu içi pompa ile dinamik su seviyesini 40 metreye düşürmekle kuyudan 60 lt/s jeotermal akışkan üretilbilir sonucuna varılmıştır. Ancak, kuyudan bu miktarda jeotermal akışkan üretilmesi durumunda, kuyu yakınında bulunan kuyu ve kaynakların etkilenmesi mümkündür. Etkileşim durumunun üretim sırasında izlenmesi ve etkileşim durumuna göre üretim debisinin revize edilmesi uygun olacaktır.

6.3 AR-3 Kuyusu, Kuyu Başı ve Kuyu İçi Ekipman Tasarımı

AR-3 jeotermal enerji kuyusunun 20 lt/s olan jeotermal akışkan debisi, Armutlu Tatil Köyü Tesislerinin jeotermal akışkan ihtiyacını karşılamayacaktır. Bu nedenle kuyudan, kuyu içi pompa ile ihtiyaç duyulan jeotermal akışkanın üretilmesi gerekmektedir. Jeotermal kuyulardan, kuyu içi pompalarla akışkan üretimi yapılması için kuyu içi pompaya uygun kuyu başı ekipman seçilmesi gerekir. İyi tasarlanmayan kuyu başı ekipmanları, işletim sırasında bir

çok sorunlar yaratarak verim düşüklüğüne neden olabilir. Bu nedenle, jeotermal enerji ısıtma sistemlerinde güvenli ve ekonomik operasyonlar için kuyu başı tasarımı çok önem kazanmıştır.

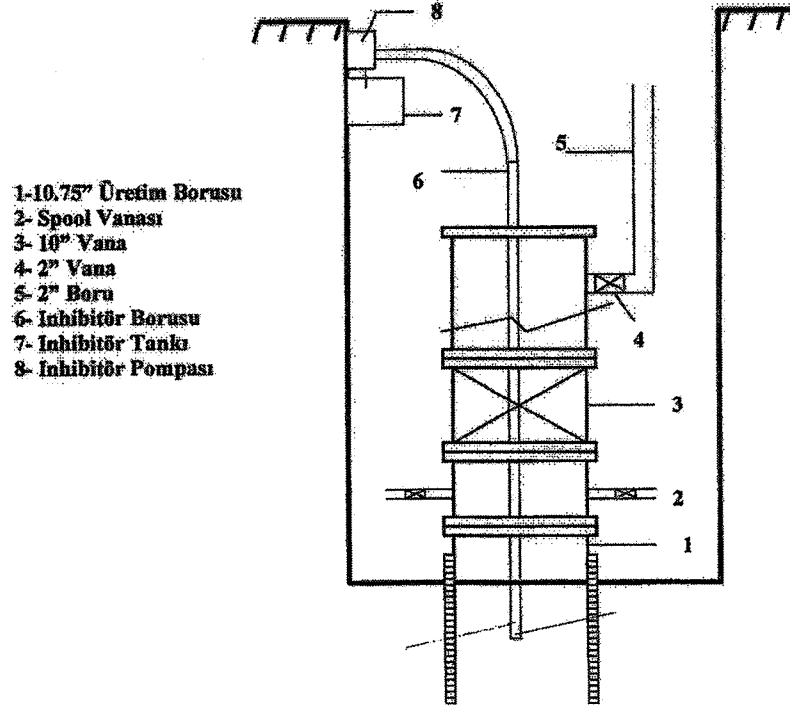
AR-3 kuyusunun Şekil-6.13'de görülen mevcut kuyu başı sistemi kuyu başı ekipmanları ve Armutlu Tatil Köyü' ne akışkan pompalama sistemi bu tür jeotermal projeler için uygun değildir. Bu nedenle AR-3 kuyusu kuyu başı ekipmanları, kuyuya pompa indirilecek ve kuyu içine dışarıdan hava almayacak tarzda tasarlanmalıdır. Jeotermal boru hattında görülen pitting tipi korozyonun önüne geçilmesi veya korozyon hızının en düşük düzeyde tutulması için Şekil 6.14 de görülen kuyu başı sistemi yapılmalıdır. Sistemde görülen tüm ekipmanlar, boru hattında görülen korozyon tipi göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Bu nedenle aşağıda sunulan ekipmanların yeni kuyu başı ve kuyu içi sisteminde yer alması uygun bulunmuştur.

6.3.1 Kuyu İçi Jeotermal Akışkan ve Boru Hattı Pompaları

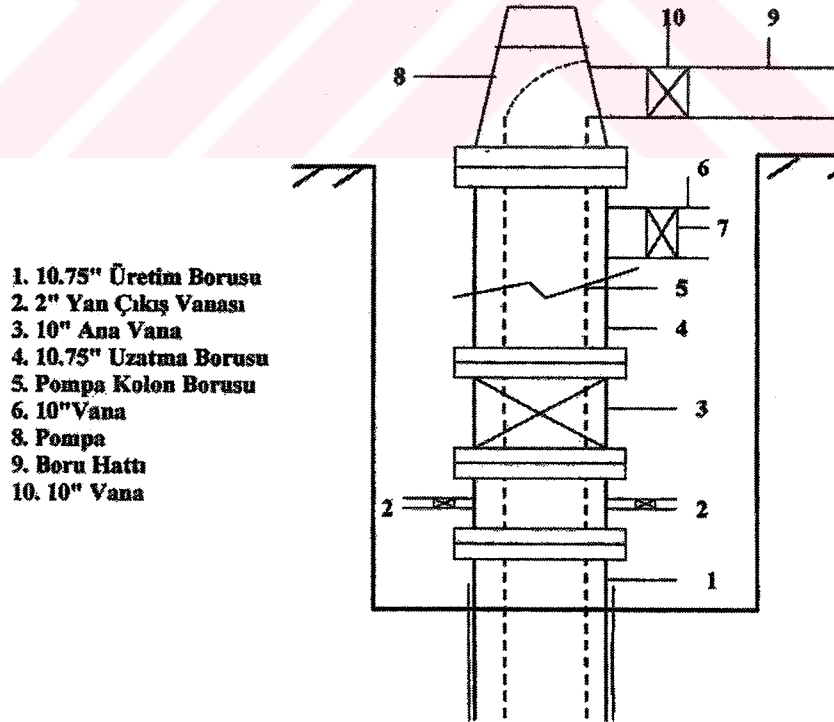
En yüksek kuyu içi sıcaklığı 75 °C olan AR-3 kuyusu için, Türkiye' de üretilen düşey milli pompaların kullanılması; teknik olarak gerekli performansı sağladığı, ithal pompalara göre çok daha ucuz olduğu ve arıza anında hızlı yedek parça temin edilebilir olması gibi nedenlerle uygun bulunmuştur. Ayrıca, düşey milli kuyu içi pompaları Türkiye ve dünyada benzer projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

AR-3 kuyusu için alınacak kuyu içi pompasının devir sayısının (sonuç olarak üretim debisinin) ayarlanabilmesi için "Değişken Frekans Hız Kontrol Sistemi" uygulanması gereklidir. Bu sistem sayesinde enerji ve jeotermal akışkan tasarrufu yapılacaktır. Geliştirilmiş hız kontrollü bu sistemin; kullanım kolaylığı, yumuşak başlatma/durdurma, yüksek performans, uzun ömür, az bakım hizmeti, başlatma ve durdurma sırasında kuyuda olabilecek ani basınç değişikliklerini önleme gibi büyük faydaları vardır.

Seperatörden geçen jeotermal akışkan, dinlendirilmek üzere izolasyonlu bir depoya alınacaktır. Depoda dinlenen ve katı maddeleri bırakılan akışkan, 50 lt/s gücündeki pompalarla Armutlu Tatil Köyü Tesislerine basılması planlanmıştır. Bu pompalarda, yukarıda belirtilen nedenlerle frekans kontrollü düşey milli pompalar olacaktır. Planlanan iki pompadan biri yedek olarak düşünülmüştür.



Şekil 6.13 AR-3 kuyusunun mevcut kuyu başı tasarımı



Şekil 6.14 AR-3 kuyusunun kuyu içi pompa uygulaması için tasarlanan yeni kuyu başı sistemi

Çizelge 6.18 Armutlu AR-3 kuyusunda kullanılacak pompalar ile ilgili teknik ve diğer bilgiler

Proje	: İhlas Holding, İhlas Yapı A.Ş.
Kuyu	: Armutlu Jeotermal Sahası, AR-3
Elektrik	: Üç Fazlı,50 Hz
Rezevuvar Kayaç Tipi	: Diyabaz, Metamorfik Şişt
Kuyu Verileri	
Üretim Borusu	: 10.75" OD X 8 MM,Mannesmann, TSE 416
Üretim Borusu Derinliği	: 108 Metre
Filre-Kapalı Boru (Lineer)	: 6.50" OD X 5 MM DSİ Tipi
Filtre-Kapalı Boru Derinliği	: 94-750 Metre
Üretim Verileri (Kuyu içi Pompasız)	
Statik Kuyu Başı Basıncı	:1.90 bar
Artezyen Üretim Debisi	: 20 lt/s
Dinamik Kuyu Başı Basıncı	: 0.88 bar
Maksimum Akışkan Sıcaklığı	: 80°C
Akışkan Yoğunluğu	: 0.974 kg/lt (Yaklaşık)
Akışkanın İçerdiği Gazlar	:CO ₂ , O, N
Akışkan pH Değeri	: 6,2 (Kuyu başında, 72 ° C da}
Akışkanın Özel Problemi	: Korozif(Çukurcuk Korozyonu)
Pompa İle Planlanan Üretim Verileri	
En Fazla Üretim Debisi	: 50-60 lt/s
Muhtemel Dinamik Su Seviyesi	: 40 Metre
Pompanın İndirileceği Derinlik	: 80 Metre

Çizelge 6.18 (devam) Armutlu AR-3 kuyusunda kullanılacak pompalar ile ilgili teknik ve diğer bilgiler

Kuyu İçi Pompanın Genel Özellikleri	
Pompa Tipi	Düşey milli elektrik motorlu, değişken frekans hız kontrollü
Pompa Debisi	50-60 lt/s
Pompa Çapı	8"
Kolon Borusu	7" veya 8"
Pompa Derinliği	80 metre
Dinamik Seviye	40 metre
Maksimum Sıcaklık Dayanımı	90 ° C
Akışkanın Çıkarılacağı Yer	Kuyu başı-Seperatör
Kuyu Başı Kotu	65 metre
Kullanılacak Malzeme	Jeotermal akışkanla temas eden tüm malzemeler korozyona karşı dayanıklı olacaktır
Kuyu Başından Seperatör Akışta	2 Adet Dirsek
Boru Hattı Akışkan Pompa Sistemi Boru Hattı İle İlgili Bilgiler	
Pompa Tipi	Düşey Milli, Elektrik Motorlu Frekans Kontrollü
Basılacak Akışkan Debisi	60 lt/sn
Akışkan Sıcaklığı	75 °C
Pompa Derinliği	3 Metre
Pompa Sayısı	2 Adet (Bir Adeti Yedek)
Pompanın Basacağı Toplam Uzaklık	7000 Metre
Pompa Kotu	65 Metre
Boru Çapı, Et Kalınlığı, Çelik Kalitesi	10.75" X 5.6 MM, TSE Fe 37 Mannesmann
Boru İç Çapı	260 mm
Boru Hattının En Yüksek Kotu	112 Metre

6.4 Kuyu Başı Sistemi

AR-3 kuyusu akışkanın içinde beş ana korozif madde vardır. Bu maddeler CO_2 , O_2 , H^+ , SO_4^- ve Cl^- olarak sıralanmıştır. Kuyu başında, TPAO ve yapılan analizler sonunda, boru hattında meydana gelen “Çukurcuk Tipi Korozyon” un ana nedeni akışkan içinde bulunan CO_2 ve O_2 dir. Bu nedenle, boru hattında görülen korozyon hızının azaltılması ve en düşük düzeyde tutulması için bu gazların boru hattına girmeden önce ortamdan, mümkün olduğunca uzaklaştırılması gerekir. Mevcut kuyu başı pompalama sistemlerinden akışkana oksijen karışabileceği ve ayrıca akışkan içerisinde belli bir oranda oksijen olduğu yapılan analizlerden anlaşılmıştır. $75\text{ }^\circ\text{C}$ olan akışkan sıcaklığı da korozyonun oluşmasında etken olmuştur.

Boru hattında görülen korozyon olayının ana nedenlerinden biri olan oksijen aşağıda değinilen yollardan akışkan içine karışabilir:

- Akışkan içinde bulunan doğal oksijen
- Pompaların hareketli parçalarından emilen oksijen
- Boru hattı ve kuyu başında negatif basınç oluşan yerlerden
- Jeotermal içinde bulunan gazlar içindeki oksijen varlığından
- Kuyu içi pompa indirilmesi durumunda, kuyu içindeki serbest havadan

Yukarıda değinilen oksijen giriş yollarının kapatılması ve AR-3 akışkanında bulunan gazların mümkün olduğunca akışkandan uzaklaştırılması için Şekil-6.15’de görülen sistemin uygulanması uygun olacaktır. Önerilen çok fonksiyonlu kuyu başı sistemi aşağıdaki faydaları sağlayacaktır:

- Akışkan içinde bulunan ve korozyona sebep olan CO_2 gazının büyük bir kısmı Şekil 6.24’ de dizayn parametreleri verilen seperatörle ortamdan dışarı atılacaktır.
- Kuyu içi pompa ile üretim yapılması durumunda, kuyudaki dinamik su seviyesi ile kuyu başı arasındaki boşluk sürekli nitrojen gazı ile dolu olacak ve su ile havanın teması önlenecektir.
- Pompa üzerine kadar indirilecek ince çaplı bir boru vasıtası ile kuyu içindeki dinamik seviye sürekli olarak gözlenecek ve kuyunun üretim potansiyeli bulunacaktır.

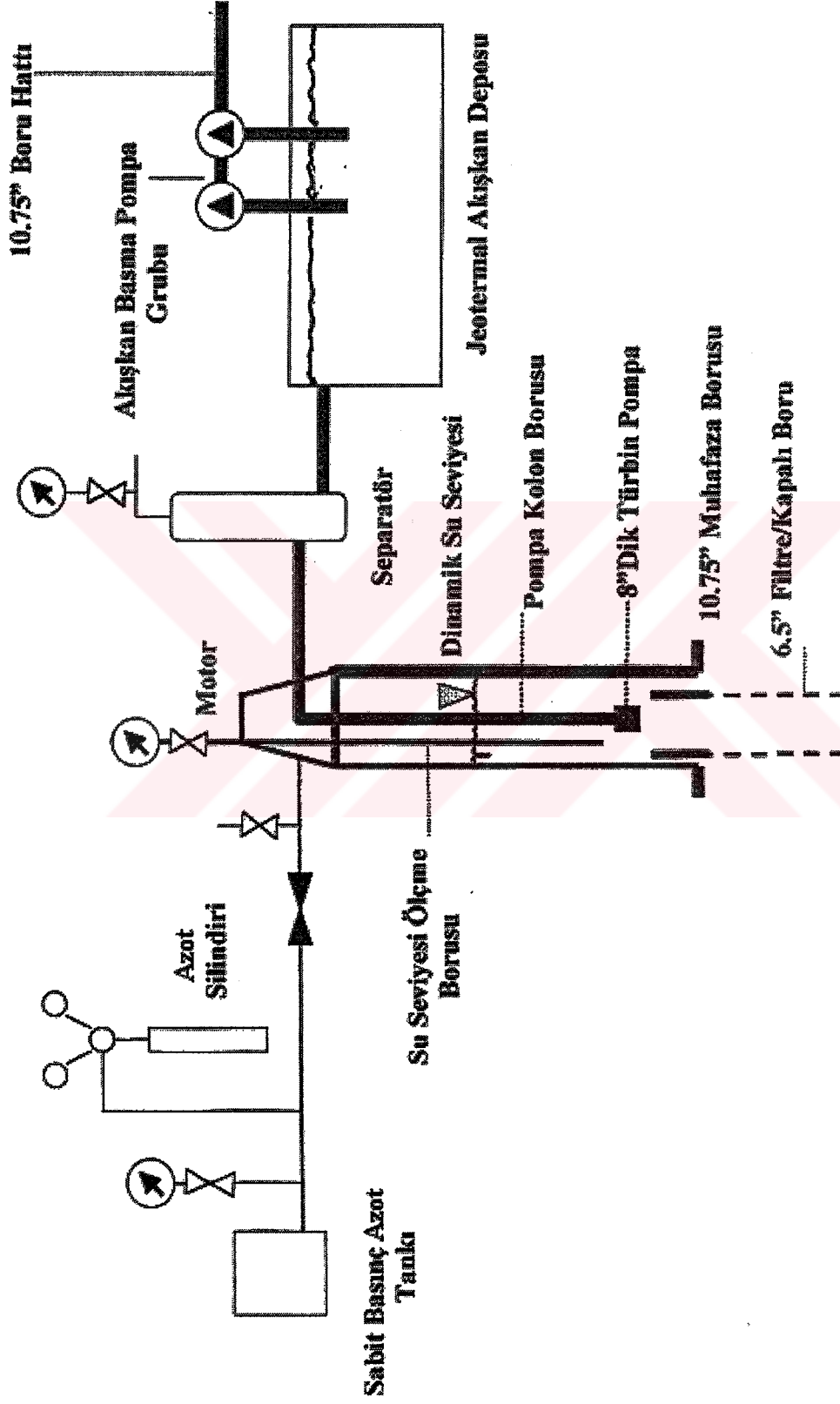
- Sistemin sağlayacağı en büyük fayda ise korozyonun en düşük seviyede tutulmasıdır.
- Frekans kontrollü devir kontrolü sayesinde ihtiyaca göre jeotermal akışkan üretilebilecek, enerji ve jeotermal akışkan tasarrufu yapılacaktır.
- Frekans kontrollü sistem sayesinde pompaların yumuşak başlatma ve durdurma ile pompalama debilerinin en düşük seviyede tutulması sağlanacaktır. Jeotermal akışkan ihtiyacı olmayan durumlarda, boru hattının çok düşük debilerde çalıştırılması, boru hattında ve kuyuda negatif basınç oluşmasına engel olacak ve sisteme hava girişi önlenmiş olacak ve korozyon hızı düşürülecektir.
- İhtiyaç duyulması halinde, kuyuya inhibitör enjeksiyon borusu indirilerek inhibitör basılabilecektir.

6.5 AR-3 Kuyusu Jeotermal Akışkan Kimyası ve Uygun İnhibitör Seçimi Testleri

İhlas Holding'e ait AR-3 jeotermal kuyusu akışkanının, dikey üretim ve yüzey taşınma borularında yaratması muhtemel problemleri saptamak ve gerekli çözüm yollarını bulmak üzere kuyu başında gerekli test çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Jeotermal akışkanın kullanımını sırasında karşılaşılan başlıca iki önemli problem, kabuklaşma ve korozyondur. Oluşum şartları birbirinin zıttı olmalarına rağmen bazen korozyon ve kabuklaşma etkisi bir arada görülebilir. AR-3 akışkanında her iki etkiyi oluşturabilecek fiziksel ve kimyasal özellikler mevcuttur.

Armutlu jeotermal sahası, AR-3 kuyusu ile Armutlu Tatil Köyü arasında, İhlas Yapı A.Ş. tarafından inşa edilen gidiş (383x5.61 mm dış çaplı) ve dönüş (219.1x5.00 mm dış çaplı) jeotermal boru hatları, düşük karbonlu ST.37 çeliğinden imal edilmiştir. Yaklaşık 7 km uzunluğunda olan boru hattı, kuyu başında 65 m kotundan başlayarak 2727 m de en düşük seviye olan 18 kotuna inerek, 5032 m de en yüksek seviye olan 110 m kotuna çıkmaktadır. En yüksek kottan sonra 6856 m de 42 m kotunda sona ermektedir. Gidiş hattının dışı izolasyonlu olup iç yüzeylerine korozyona karşı herhangi bir koruma tedbiri uygulanmamıştır. Dönüş hattının dışı izolasyonsuz olup iç yüzeyleri epoksi kaplanarak koruma altına alınmıştır.



Şekil 6.15 AR-3 kuyusu çok fonksiyonlu kuyu başı-kuyu içi sistemi

Deneme amacı ile AR-3 kuyusunda üretilen 6 lt/sn debili jeotermal akışkan, hiçbir ayrışma işlemine tabi tutulmadan, pH değeri 1.04 olan asit karakter haiz Henkel Ferrophos 8402 “Kalsiyum Karbonat Çökelmesini Önleyici” inhibitörü karıştırılarak yaklaşık bir yıl süre ile Tatil Köyü Tesislerine pompalanmıştır.

Deneme süresinin ilk ayı sonunda, kuyudan 2727 m uzaklıkta, boru hattının en düşük kotunda (18 m) ve boru hattındaki basıncın en fazla olduğu yerlerdeki bazı boruların spiral kaynak yerlerinde patlamalar olmuş ve hafif korozyon olayları gözlenmiştir. Deneme süresinin onuncu ayında ise 2727 m civarı ve diğer bazı yerlerde yoğun korozyonlar görülmüştür.

Boru hattında görülen bu korozyon olayının nedenlerinin araştırılması ve oluşan korozyonun önlenmesi için bir dizi çalışma başlatılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, ilk olarak boru hattında oluşan korozyonun mekanizmasını ortaya koymak ve korozyonu ekonomik olarak önlemek için alınacak tedbirler konusunda Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) bir araştırma yaptırılarak korozyon tipi belirlenmiştir. TPAO uzmanlarınca Armutlu ve Ankara’daki laboratuvarlarda yapılan analiz ve değerlendirmelerde, boru hattında oluşan çukurcuk (Pitting) tipi korozyona, AR-3 jeotermal akışkanı içerisinde erimiş halde bulunan karbondioksit ve oksijenin sebep olduğu belirlenmiştir. Boru hattının özellikle alt kısmında yoğun olarak görülen korozyon ürünlerinin, yapılan analizlerde % 95’ i siderit ($FeCO_3$) ve % 5’ i ise Magnezyum Kalsit ($MgCa$) CO_3 olarak bulunmuştur. Diğer taraftan ST.37 düşük karbonlu malzemenin, herhangi bir koruyucu tedbir alınmaksızın, AR-3 jeotermal akışkanın sebep olduğu korozyona dayanıklı olamayacağı yapılan analizlerden anlaşılmıştır.

Aşağıda detayları verilecek bu çalışmanın üç ana hedefi vardır.

- Boru hattında meydana gelen korozyon problemini değerlendirmek
- Korozyon mekanizmasını tayin etmek
- Korozyonu önlemek için kullanılacak uygun inhibitörleri bulmak

6.5.1 Akışkanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Korozyon probleminin görüldüğü AR-3 kuyusundan yerüstü pompasıyla boru hattına basılan akışkanın 7 km’ lik gidiş yönündeki borularda uğradığı değişiklikleri ve sebep olduğu problemleri saptayabilmek üzere kuyu başında ve laboratuvarında çeşitli analizler yapılmıştır. Kuyu başı, pompa çıkışı ve Termal Tesisler olmak üzere üç noktada yapılan analiz ve ölçümlerin sonuçları Şekil-6.16’da görülmektedir.

Yapılan ölçüm ve analizler, korozyon ve kabuklaşma komponentleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Suyun pH'ı kuyu başında 6.19, termal tesislerde 6.08 olarak ölçülmüştür. Basınç düşüşü etkisi ile erimiş gazların sıvı fazdan gaz fazına geçmesi sonucunda, beklenen pH yükselmesi yerine, akışkanda pH düşüşü olduğu gözlenmiştir. Bu durum, suyun pH değişimine karşı dirençli olması (buffer) ve boşalacağı yerde dar çaplı borularda taşınması nedeniyle, basıncın artmış olmasına bağlanabilir. Basıncı artan akışkanda gaz fazındaki CO₂ tekrar sıvı faza geçebilmekte ve karbonik asit şeklinde çözünerek suyun pH'ını daha da düşürebilmektedir. Pompa çıkışında püskürtülerek alınan, dolayısıyla havalandırılan örnekte yapılan ölçümlerde bulunan pH değeri ise, 7.09-7.21 arasında değişmektedir. Bu noktadaki pH yükseliminin başlıca sebebi, atmosfere açılma nedeniyle oluşan ani basınç düşümü ve buna bağlı olarak da erimiş gazların gaz fazına geçmesi ve ortamı terk etmesi olarak görülebilir.

Korozyona sebebiyet veren maddelerden erimiş oksijene; kuyu başında 200 ppb, pompa çıkışından alınan suda 3200 ppb ve termal tesislerdeki boşalım noktasında 500-600 ppb mertebesinde rastlanmıştır. Bu değerler koroziflik için sınır kabul edilen 20 ppb değerinin çok üstündedir.

Jeotermal akışkanlarda korozif etkisi olan diğer bir madde de erimiş karbondioksit (CO₂) dir. AR-3 akışkanı içinde varlığı, analizlerde belirlenen erimiş ve gaz halindeki karbondioksit, zayıf asit ortamı oluşturarak akışkanın pH değerinin düşmesine neden olmaktadır. Kuyu başından alınan örnekte ölçülen erimiş CO₂'i 80 mg/lt iken, termal tesislerden alınan örnekte 50 mg/lt olmuştur.

Jeotermal akışkanlarda bulunan, H₂S de demir aksam korozyonlarında önemli bir rol oynar. Ancak, AR-3 akışkanında H₂S konsantrasyonları gerek kuyu başından alınan örnekte ve gerekse termal tesislerdeki noktadan alınan örnekte düşük bulunmuştur. Her iki noktadan alınan örneklerin H₂S konsantrasyonları yöntem limitinin (<0.1 mg/lt) altında bulunmuştur. Şekil 6.16'da da görüldüğü üzere, jeotermal uygulamalarda dikey boru ve yüzey transfer borularında tıkanıklara sebep olan anyon ve katyonların AR-3 kuyusu akışkanındaki konsantrasyonları yüksektir.

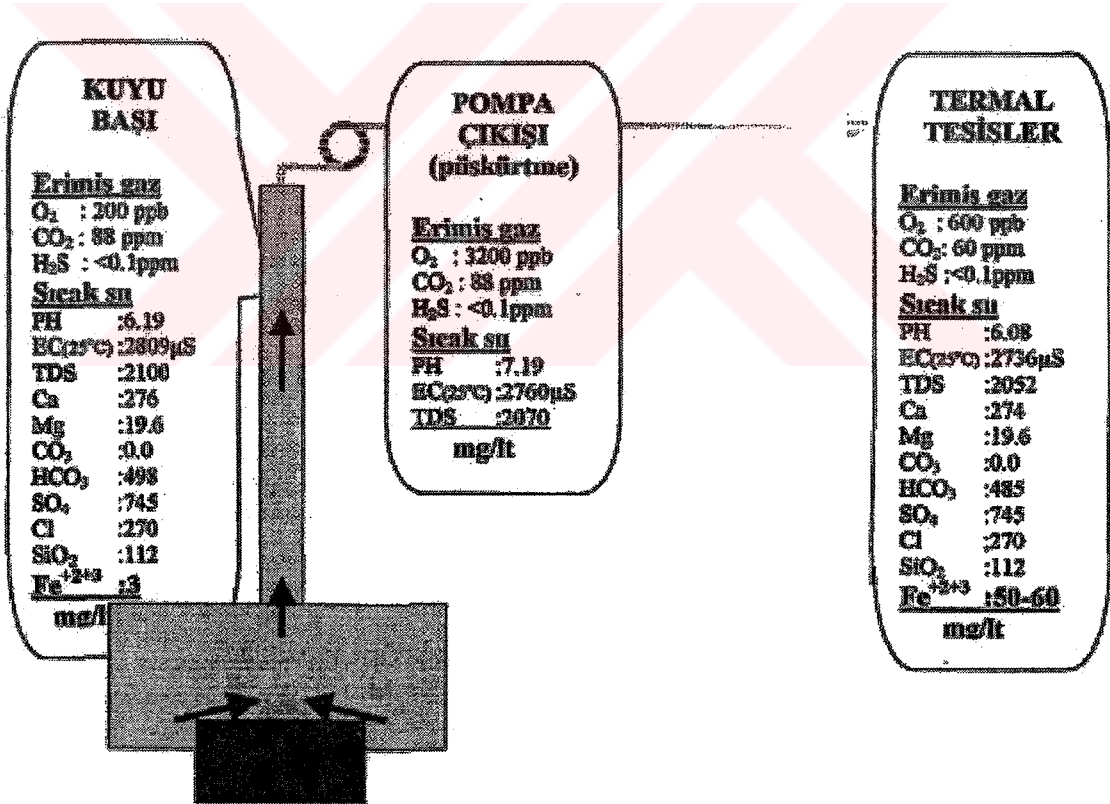
TDS değeri kuyu başında 2100 mg/lt, termal tesis boşalım noktasında 2052 mg/lt olmuştur. Toplam erimiş madde miktarında 48 mg/lt eksilme tespit edilmiştir.

Ca kationunun kuyu başındaki değeri 276 mg/l iken termal tesislerdeki noktada 274 mg/l olmuştur. 2 mg/l Ca eksilmiştir. Mg değeri her iki noktada aynı olup, 19.6 mg/l olarak bulunmuştur.

Akışkanın 7 km' lik taşınma yolunda, anyon değerlerinde fazla bir değişiklik gözlenmemiştir. Başlangıçtaki HCO_3 değeri 498 mg/l'ten ancak 485 mg/l'ye düşüş göstermiştir. Akışkan, kuyu başında 270 mg/l Cl ve 745 mg/l SO_4 değerlerini, 7 km' den sonraki boşalım noktasında da aynen muhafaza etmektedir.

Kuyu başı termal tesis noktaları arasındaki SiO_2 konsantrasyonlarında herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Dolayısıyla SiO_2 çökelişi taşıma yolunda söz konusu değildir.

Akışkan içerisindeki demir, kuyu başında 3.0 mg/l konsantrasyonunda ölçülürken, Termal Tesis' deki boşalım yerinde 50-60 mg/l konsantrasyonunda ölçülmüştür. Bu durum borulardaki korozyon derecesini açıkça göstermektedir.



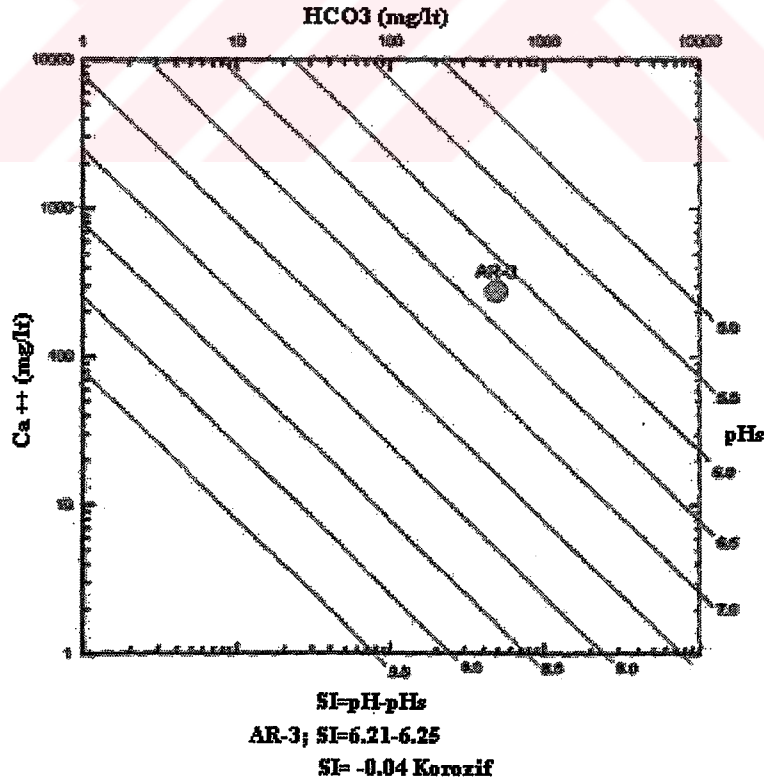
Şekil 6.16 AR-3 Kuyusu örnek numune alma yerleri ve analiz sonuçları

6.6 AR-3 Akışkanının Tortu Oluşturma (Kabuklaşma) ve Korozyon Yapma Eğilimi Konusunda Yapılan Teknik Çalışmalar

Bilindiği gibi jeotermal akışkanlar, içerdiği kimyasal maddelerden dolayı depolandığı veya taşındığı ortamlarda, tortu oluşturma, korozyon yapma veya her ikisini aynı anda yapma eğilimindedirler.

Armutlu jeotermal sahasında kazılan kuyular ve doğal kaynaklardan alınan jeotermal su örneklerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri detaylı olarak Çizelge 6.19'da gösterilmiştir. Çizelge 6.19 da görüldüğü gibi; kuyu ve kaynak başlarında yapılan analizler, jeotermal suların pH değerleri çoğunlukla 6.19-6.41 arasında değişmekte olup sahanın akışkanı hafif asit karakterde olduğunu göstermiştir.

Genellikle sıcak suların kabuklaşma ve korozyon eğilimleri kalsiyum denge diyagramlarına göre hesaplanır. Kalsiyum denge diyagramı değerlendirmesine göre AR-3 kuyusundan üretilmekte olan akışkan korozif etki yapma eğilimindedir. Ancak doğal pH değerinin 6.25 den daha yüksek bir değere dönüştürülmesi durumunda kabuklaşma eğilim göstermeye başlayabilir.



Şekil 6.17 AR-3 kuyu akışkanına ait langelier kalsiyum denge diyagramı (Gülgör, 2001)

Çizelge 6.19 Yalova-Armutlu jeotermal sahası kuyu ve kaynakların su ve gaz kimyası analizleri

	KUYULAR					KAYNAKLAR					
	AR-1	AR-1	AR-2	AR-3	AR-3	Kuzey	Orman	Küpeli	Kaplıca	Midesuyu	Nuripaşa
Tarih	9/92	6/97	11/97	2/99	6/99	6/97	6/97	6/97	6/97	6/97	6/97
Debi(lt/s)	11	11	2	20	20	0.2	0.7	0.05	0.3	0.4	1.0
Sıcaklık(°C)	75	75	68	72	72	62	62	52	52	60	65
pH(Yerinde)	6.2	6.86	-	-	-	6.21	6.28	6.77	6.41	6.23	6.26
Su kimyası (MTA raporları analizlerinden alınmıştır)											
pH(25 °C)	-	7.71	-	-	6.82	7.51	7.61	7.71	7.01	7.61	7.61
Li ⁺	1.28	1.70	-	1.33	-	1.50	1.60	1.80	1.60	1.70	1.70
K ⁺	28.7	199	30.0	28.3	29.3	163	172	237	202	181	239
Na ⁺	306	331	420	274	317	01	308	322	294	363	308
NH ₄ ⁺	-	1.90	2.65	1.80	2.10	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Ca ²⁺	294	272	214	256	289	218	263	272	282	294	293
Mg ²⁺	21.0	25.3	27.7	20.0	31.6	35.7	15.0	17.5	19.4	10.0	10.2
Fe(Total)	-	<0.1	-	0.3	2.4	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mn(Total)	-	0.26	-	0.21	0.22	1.50	0.28	0.19	0.35	0.21	0.24
B(Total)	-	4.8	3.7	2.6	1.3	10.3	7.0	3.8	2.9	2.8	2.6
HCO ₃ ⁻	483	518	414	494	469	530	549	524	542	536	542
CO ₃ ²⁻	-	<10	-	<10	0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
SO ₄ ²⁻	755	884	862	730	810	749	809	897	831	844	832
Cl ⁻	274	277	274	237	269	247	273	283	265	279	272
F ⁻	-	2.7	-	2.1	1.2	5.0	6.3	2.2	8.6	3.4	2.9
Br ⁻	-	<0.1	-	<0.1	0	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
NO ₂ ⁻	-	<0.1	-	<0.01	0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
NO ₃ ⁻	0	<1	-	1.23	0.44	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PO ₄ ³⁻ (Total)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SiO ₂	110	142	48	91	99	140	42	142	135	135	135

Çizelge 6.19 (Devam) Yalova-Armutlu jeotermal sahası kuyu ve kaynakların su ve gaz kimyası analizleri

CO ₂ (Erimiş)	118	16.60	-	-	115	26.2	21.60	18.34	84.74	21.05	21.88
O ₂ (Erimiş)	0.8	-	0.2	0.2	-	-	2.1	3.5	-	0.2	0.2
TDS	2140	2776	2310	1755	2323	2429	2569	2720	2671	2673	2668
	AR-1	AR-1	AR-2	AR-3	AR-3	Kuzey	Orman	Küpeli	Kaplıca	Midesuyu	Nuripaşa
NOT: AR-3, 6/99 tarihli analiz, İ.Ü:Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji ABD Balneoloji ve Su Kimyası											
	Laboratuvarlarında yapılmıştır.										
Gaz Kimyası	(The Marmara Poly Project, 1997 den alınmıştır.)										
Kuyu No. : AR-1											
Tarih	:25.08.91										
CO ₂	:590 mg/kg (% 79.9)										
N ₂	:87.3 mg/kg (%18.7)										
CH ₄	:3.0 mg/kg (%1.1)										
Ar	:2.0 mg/kg (%0.3)										
O ₂	:0.03 mg/kg (%0.01)										
H ₂ S	Yok										
H ₂	Yok										
He	Yok										

6.6.1 AR-3 Akışkanı İçinde Bulunan Tortu ve Korozyon Yapıcı Kimyasal Madde ve Fiziksel Özellikler

Ca²⁺ : 276 mg/lt (12.80 meq/lt)

CO₂(erimiş) : 88 mg/lt

Mg²⁺ : 19.6 mg/lt (1.66 meq/lt)

O₂ (erimiş) : 0.2 mg/lt

HCO₃⁻ : 485 mg/lt (8.10 meq/lt)

TDS: 2100 mg/lt

CO₃²⁻ : <10 mg/lt

pH_(kuyubası) : 6.19

SO₄²⁻ : 645 mg/lt (15.21 meq/lt)

T(rezervuar) : 75 °C=167 °F =348.15 °K

Cl⁻ : 270 mg/lt (6.68 meq/lt)

Suların, bulunduğu ortamlarda tortu oluşturma ve korozyon yapma eğilimlerini ortaya koymak için çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmış değişik formüller geliştirilerek çeşitli endeksler bulmuşlardır. Bu araştırmacıların geliştirdiği formüllerden yararlanarak AR-3 jeotermal akışkanın tortu oluşturma ve korozyon eğilimleri aşağıda incelenmiştir:

Suların özelliklerini iyileştirme endüstrisinde, bir su kaynağının doğasını değerlendirmek için, Langelier Saturation Index (LSI) ve Ryznar Stability Index (RSI) yaygın olarak kullanılır. Bu iki indeks aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

$$LSI = pH - pH_s \quad (6.1)$$

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (6.2)$$

Bu iki indeks dışında, Larson ve Skold adında iki araştırmacı, yumuşak çeliklerde korozyon hızı gözlemleri için klor ve sülfatlara dayalı bir ampirik formül geliştirmiştir. Bu araştırmacıya göre, sularda klor ve sülfat miktarlarının artması korozyon olaylarına sebep olmaktadır.

Yukarıda değinilen üç indeks AR-3 akışkanına uygulanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

6.6.1.1 Langelier Saturation Index (LSI)

Langelier Doyma İndeksi (LSI, Langelier Stabilité İndeksi diye de bilinir) suyun kalsiyum karbonat dengesini tahmin etmek için hesaplanır. Suyun kalsiyum karbonat dengesi suyun çökelti yapıp yapmayacağı, kalsiyum karbonatın çözünüp çözünmeyeceğini veya kalsiyum karbonat ile dengede olup olmayacağını belirtir. Langelier suyun kalsiyum karbonat (pH_s diye de tanımlanır) içinde hangi pH değerinde doyacağını tahmin eden bir metot geliştirmiştir. LSI, gerçek pH sistemi ile doyma pH' ı arasındaki farkı ifade eder.

Denklem 6.1 deki formül kullanılır.

Suyun gerçek pH değeri, hesaplanan doyma pH' ın altında ise, LSI negatiftir ve su oldukça sınırlı bir kabuklaşma potansiyeline sahiptir. Eğer gerçek pH, pH_s' ten büyükse LSI pozitif ve CaCO₃ ile aşırı doymuştur. Bu durumda su kabuklaşmayı şekillendirmeye başlar. Pozitif indeks değerinin artmasıyla kabuklaşma potansiyeli de artar.

Çizelge 6.20 LSI kabuklaşma potansiyeli (Langelier)

LSI	Kabuklaşma Potansiyeli
Negatif Sıfırdan daha az	Herhangi bir kabuklaşma potansiyeli yok Su CaCO ₃ ' ı çözemeyecektir.
Pozitif Sıfırdan büyük	Kabuklaşma şekillenebilir CaCO ₃ çökmesi oluşabilir
Sıfıra yakın	Su kalitesi ve sıcaklık değişir veya buharlaşma, indeksi değiştirebilir

Langelier Saturasyon Endeksi; Edstrom, 1998 ve NASA' nın kullandığı yöntemlere göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

NASA hesap yöntemine göre gerçek pHs değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Kalsiyum ve Alkali Düzeltme Faktörü} = \text{Log}276 \times 485 = 5.13$$

$$\text{Sıcaklık Düzeltme Faktörü} = 167 \times 0.00915 = 1.52$$

$$\text{Toplam Mineralizasyon Düzeltme Fakt.} = \text{Log}2100 \times 0.1 = 0.33$$

$$\text{Sabit Katsayı} = 12.65$$

Yukarıda hesaplanan değerlerden;

$$pH_s = 12.65 + 0.33 - (5.13 + 1.52) = 6.33$$

olarak bulunur. Bulunan pH_s=6.33 ve pH=6.19 değerleri;

$LSI = pH - pH_s$ formülünde yerine konursa Langelier Saturasyon Endeksi;

$$LSI_{(1)} = -0.14$$

olarak bulunur ki bu negatif değer AR-3 akışkanın korozyon eğilimli olabileceğini gösterir.

Edstrom yöntemine göre LSI' yı hesaplamak için, bazzlığı-alkaliği (mg/lt CaCO₃ olarak), kalsiyum sertliğini (mg/lt olarak Ca⁺²), toplam çözülmemiş katıları (mg/lt TDS), gerçek pH'ı

ve suyun sıcaklığını (°C) bilmek gerekir.

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (6.3)$$

formülü ile hesaplanır. Buna göre:

$$A = ((\text{Log}TDS) - 1)/10 = ((\text{Log}2100) - 1)/10 = 0.23$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}^{\circ}K + 34.55 = -13.12 \times \text{Log}348.15 + 34.55 = 1.20$$

$$C = \text{Log}Ca - 0.40 = \text{Log}(256 \times 2.497) - 0.40 = 2.41$$

$$D = \text{Log}(Malkalinity) = \text{Log}(485 \times 0.4917) = 2.38$$

Yukarıdaki formüllerden bulunan A, B, C ve D değerleri, Edstrom formülünde yerine konursa;

$$pH_s = (9.3 + 0.23 + 1.20) - (2.41 + 2.38) = 5.93$$

bulunur. Bu değer yine ;

$$LSI = pH - pH_s$$

formülünde yerine konursa,

$$LSI_{(2)} = 0.26$$

olarak bulunur. Her iki LSI değerinin ortalaması alındığında ,

$$LSI = 0.06$$

değeri bulunur.

Bu değer, Carrier, 1965' e göre, AR-3 jeotermal akışkanı çukurcuk (pitting) tipi korozyon yapıcı özelliğe haiz olduğunu gösterir.

6.6.1.2 Ryznar Stability Index (RSI)

RSI, belediye su sistemlerinde, su kimyasındaki ölçek kalınlıkları ile ilgili ampirik (deneysel) verileriyle ilişki kurar. LSI gibi RSI da, doyma düzeyinde kendi temellerine sahiptir. Ryznar karbonat doyma hali ile kabuklaşma oluşumu arasındaki ilişkiyi tanımlar. Ryznar indeksi denklem 6.2 deki gibi hesaplanır.

Ryznar denge indeksinin deneysel verileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- $RSI < 6$; indeks düşerken kabuklaşmaya meyil artar.
- $RSI > 7$; muhtemelen kalsiyum karbonat oluşumu koruyucu bir korozyon inhibitör filminin oluşumuna yol açmaz.
- $RSI > 8$; yumuşak çelik korozyonu büyüyen bir sorun olur.

$$RSI = 2pH_s - pH$$

$$RSI_{(1)} = 2 \times 6.33 - 6.19 = 6.47$$

ve

$$RSI_{(2)} = 2 \times 5.93 - 6.19 = 5.67$$

olarak bulunur. İki RSI değerinin ortalaması, $RSI = 6.07$ olarak bulunur ki bu değer Carrier, 1965 ' e göre AR-3 akışkanının hafif tortu yapıcı ve korozyon özelliği olduğunu gösterir.

6.6.1.3 Larson-Skold Index (L-S I)

Larson-Skold İndeksi; suyun korozivitesini yumuşak çeliğe doğru tanımlar. İndeks, Büyük Göller sularını taşıyan yumuşak çelikten yapılmış taşıma boru hatlarının korozyon değerlendirmesine dayanır. İndeks sülfat ve klor toplamının bikarbonat içindeki alkali ve karbonat toplamına oranından oluşur.

$$L - SI = (epmCl^- + epmSO_4^{2-}) / (epmHCO_3^- + CO_3^{2-}) \quad (6.4)$$

formülünden bulunur.

L-SI, korozyon oranı ve Büyük Göller' de borulara olan zararların türlerini gözlemlemek için tanımlanmıştır. Diğer sularla ekstrapolasyon yapıldığında, düşük veya fazla alkali, orijinal verilerin ötesine geçilir. İndeks soğutucu suların sertliğini tahmin etmede oldukça yararlı bir metot olduğunu kanıtlamıştır.

Suların yapısal kompozisyonu Büyük Göllerde olan sularla benzerlik göstermektedir ve bu ise doğal alkaliliği ve soğutucu suların film şekillenme kapasitesine korozyon engelleyen programlarda sertlik göstergesi olarak oldukça yararlıdır. Larson-Skold İndeksi aşağıdaki gibi temel hatlarla izah edilebilir:

- İndeks << 0.8; klor ve sülfat muhtemelen doğal film formasyonu ile karışmaz,
- 0.8 << indeks << 1.2; klor ve sülfat doğal film formasyonu ile karışabilir. Arzu edilen korozyondan daha fazlası meydana gelebilir,
- İndeks > 1.2; indeksin artmasıyla yüksek korozyon oranları beklenebilir.

Denklem 6.4 de epm (meq/lt) değerleri yerine konursa;

$$L - SI = 2.7$$

olarak hesaplanır. Bu indeks değeri Larson-Skold' a göre AR-3 akışkanı yüksek lokal korozyon eğilimlidir.

Yukarıda hesaplanan üç ayrı indeks de AR-3 jeotermal akışkanın korozyon eğilimli olduğunu, doğal yapısı ile tortu yapıcı özelliği olmadığını göstermiştir.

Çizelge 6.21 AR-3 jeotermal akışkanı kalsiyum sülfat doygunluk indeksi hesabı

İYON	mg/lt	meq/lt (mg/lt x Değerlik/Mol ağırlığı)	
Ca	276	13.8	(276x2/40)
Mg	19.6	1.63	(19.6x2/24)
Na	274	11.9	(274x1/23)
SO ₄	745	15.5	(745x2/96)

$$CaSO_4 = 13.8$$

$$ECI = SO_4 - Ca = 15.5 - 13.8 = 1.7$$

$$NM = Na + Mg = 11.9 + 1.63 = 13.53$$

$$R = NM / ECI = 13.53 / 1.7 = 7.8$$

$$Ks = CaSO_4 - R = 13.8 - 7.8$$

$$Ks = 6.0 \quad \text{Su Sulfata doygunluk mertebesindedir.}$$

$$M = R / CaSO_4 = 7.8 / 13.8 = 0.57$$

$$M > 0.12 \Rightarrow S = 1.2Ks$$

$$M < 0.12 \Rightarrow S = 0.68Ks$$

$$S = 1.2 \times 6.0 = 7.2$$

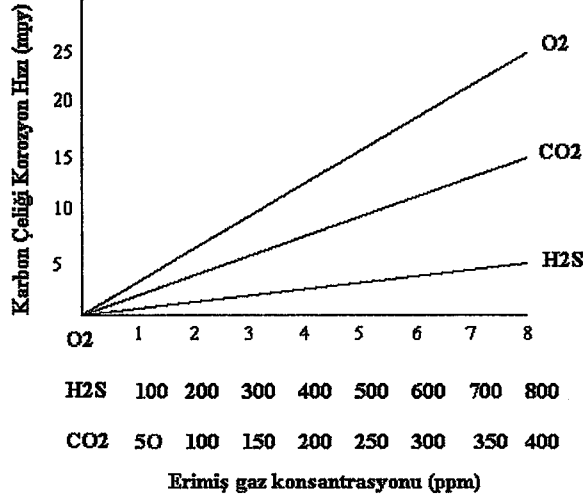
$$SI = CaSO_4 - S = 13.8 - 7.2 = +6.6$$

Kuyu akışkanı SO_4 ' a doygun olup bir miktar $CaSO_4$ çökeltmeye yatkındır. Sonuçta AR-3 kuyusu akışkanı $CaCO_3$ ' doymamış $CaSO_4$ ' doymuş görünmektedir.

6.6.2 AR-3 Akışkanın Korozyon Yönünden İncelenmesi

Şekil 6.18 Suda bulunabilen bazı erimiş gazların birbirine göre korozivlik oranlarını göstermektedir. Şekilde aynı koşullarda 1 ppm' lik erimiş oksijenin 50 ppm erimiş CO_2 ve 100 ppm H_2S kadar koroziv olduğu görülmektedir. 8 ppm oksijen 800 ppm H_2S den 5 kat, 400 ppm CO_2 den 1 kat daha koroziv etkiye sahiptir. Bu bilgi oksijenin korozivliğinin nedenli tehlikeli olduğunun anlaşılması için verilmiştir. CO_2 ' nin korozivlik etkisi çok değişken olup, büyük ölçekte suyun alkalinitesine bağlıdır. Suyun alkalinitesi yükseldikçe CO_2 'in korozivlik etkisi azalır. Ancak analiz tablosunda görülebileceği gibi suyumuzun alkalinitesi fazla yüksek değildir (485 mg/l).

Daha önceki bölümde de bahsedildiği gibi, korozyona sebebiyet veren maddelerden erimiş oksijene kuyu başında 200 ppb, pompa çıkışında 3200 ppb ve termal tesislerdeki boşalım noktasında ise 500-600 ppb mertebesinde rastlanmıştır. Dolayısıyla AR-3 akışkanı, koroziteyi hızlandıran hatırı sayılır erimiş oksijen içermektedir. Kuyu başında 200 ppb mertebesinde olan erimiş oksijenin tesislerde boşalım noktasında 500-600 ppb olması sistemin atmosferden kirlendiğini göstermektedir. Pompadan püskürerek çıkan sudaki 3200 ppb' lik erimiş oksijen düzeyi atmosferik oksijen kirlenmesi olabildiğini açıkça gözler önüne sermektedir. Ancak oksijen ölçüm değerleri, ölçümlerin yapıldığı koşullara da bağlıdır. Ama ne olursa olsun yine de rastlanan oksijen değeri 200-600 ppb korozivlik alt sınırı olan 20 ppb' in çok üstündedir.



Şekil 6.18 Erimiş gazların birbirlerine göre karşılaştırılmalı korozyon hızları

Jeotermal akışkanlarda korozif etkisi olan diğer bir madde erimiş karbondioksittir (CO₂). Kuyu başından alınan örnekte ölçülen erimiş CO₂ miktarı 80 mg/lt iken termal tesislerden alınan örnekte ölçülen CO₂ miktarı 50 mg/ lt' dir.

30 mg/lt erimiş CO₂, boru iç yüzeyinde oluşan anod bölgelerinden kopan Fe²⁺ ile birleşerek FeCO₃ ve sudan kaynaklanan (CaMgCO₃) korozyon çökel ürünlerinin oluşumunda harcanmıştır. (Şekil6.19).TPAO raporunda yer alan korozyon çökel ürünlerinin analiz sonuçları erimiş CO₂ in korozyon oluşumunda büyük bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. TPAO raporunda yer alan çökel analiz sonucu aynen şöyledir

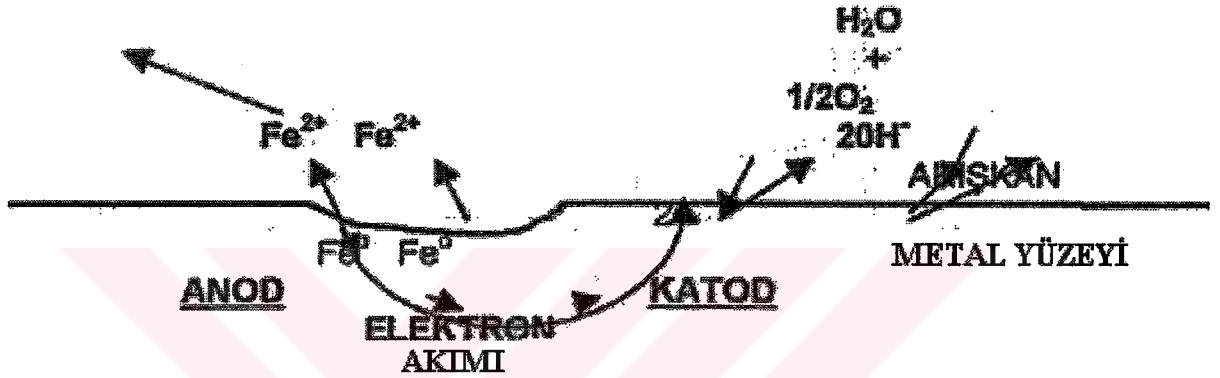
Çizelge 6.22 TPAO çökel analiz sonucu

Örnek	Tüm Mineral Bileşimi	Bağıl Bolluk(% hacimce)
Borunun alt kısmı	Siderit, (FeCO ₃) Magnezyum kalsit ((Ca MgCO ₃))	95 5
Borunun üst kısmı	Siderit, (FeCO ₃) Magnezyum kalsit ((Ca MgCO ₃))	65 35

TPAO raporunda bahsedildiği gibi, her iki örnekte de siderit mineralinin fazlaca bulunması korozyona sebep olan kaynağın, akışkanda bulunan erimiş CO₂ ve erimiş O₂ olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir. Her ne kadar ortam, karbonat çökelim ortamı değilse de, çökelda bulunan (CaMgCO₃) yüzdesi büyük bir ihtimalle su içersinde

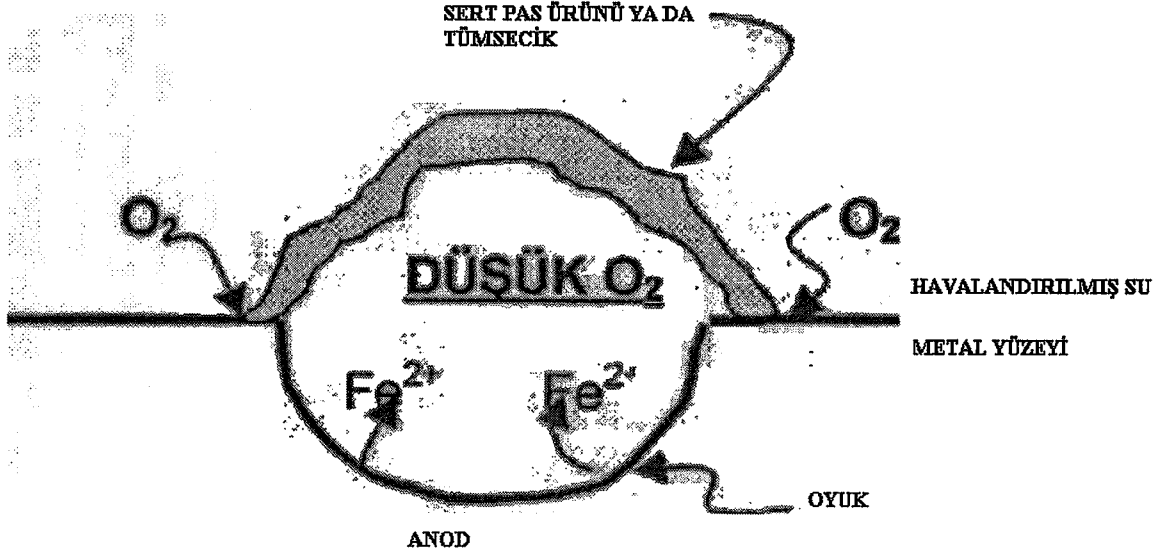
bulunan Ca ve HCO_3 iyonlarından ileri gelmektedir. Zira, Termal Tesis bölgesinden alınan su örneğinde Ca ve HCO_3 iyon konsantrasyonlarında azda olsa bir azalma gözlenmiştir.

Kuyu başı ile Termal Tesis ölçüm noktalarında HCO_3 de gözlenen 13 mg/lt' lik fark (498-485) ile Ca konsantrasyonunda rastlanan 2 mg/lt lik (276-274) fark büyük bir olasılıkla korozyon oluşum bölgelerinde kalsit çökeliminde harcanmıştır. Bu kadar çökelim tek başına kabuklaşma problemi yaratmaktan uzaktır.



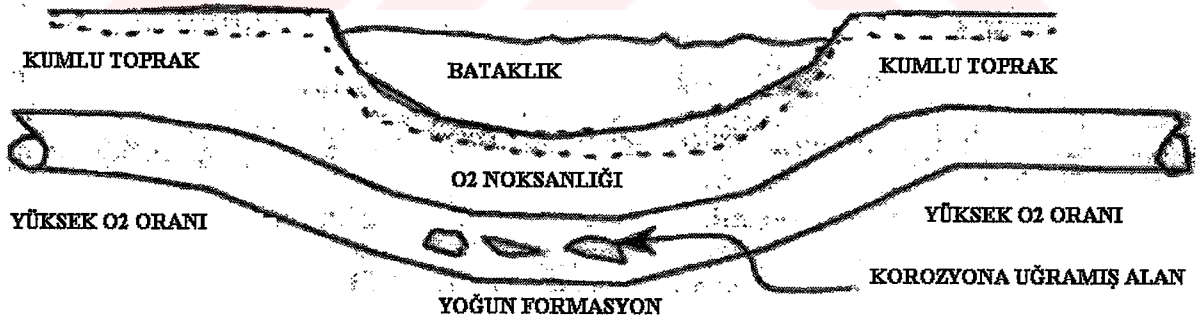
Şekil 6.19 Erimiş oksijen nezdinde anodtan kopan Fe^{++} iyonlarının CO_2 ile anodtan uzaklaşması ve karbonat çökelleri oluşturma mekanizması

Anod bölgesinde erimiş CO_2 ile birleşerek uzaklaşan pas ürünleri boruların diğer bölgelerinde oksijen farklılığına sebep oluşturmakta ve yeni katot-anod hücrelerinin meydana gelmesini sağlamaktadır (Şekil 6.20). Pitting (Çukurcuk) oluşturarak meydana gelen bu korozyon şekli oksijen ve H_2CO_3 ' a has bir korozyon şeklidir. Bu tip korozyon AR-3 kuyu akışkanının taşıma borularında maalesef mevcuttur.



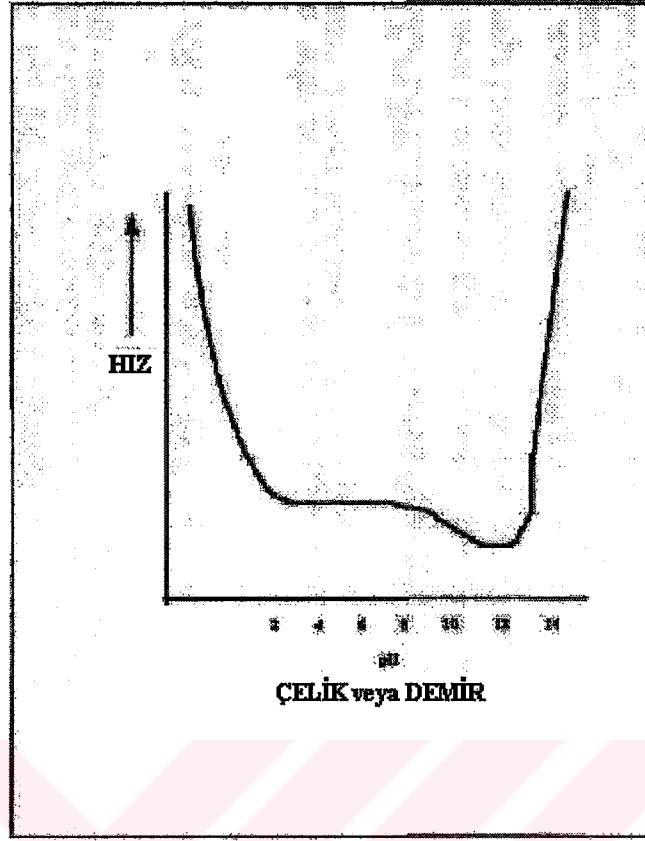
Şekil 6.20 Akışın yavaş olduğu kesimlerde borularda meydana gelen pas ürünlerinin sebep olduğu oksijen farklılığı ve çukur korozyonu [1]

Jeotermal akışkanlar taşınırken hızın düştüğü kavis bölgelerde bir takım çökeltiler (pas askı maddeleri) de oksijen konsantrasyon difraksiyonuna neden olabilmektedir.(Şekil 6.21). Bu durum ayrıca hız ve dolayısıyla basınç değişiminden ötürü erimiş CO_2 ; bikarbonat (HCO_3) ve karbonik asit (H_2CO_3) formları arasında gidip gelerek akışkanda pH dalgalanmalarına yol açmaktadır. Bu durum karbonik asit korozyonunu artırmaktadır. [2]



Şekil 6.21 Boruların kavis yaptığı yerlerde meydana gelen çökeltilerden dolayı oluşan oksijen difraksiyonu ve korozyonu

pH: Daha öncede belirtildiği gibi suyun pH'ı kuyu başında 6.19, termal tesislerde 6.08 olarak ölçülmüştür. Taşınan akışkanın pH'ı, akışkanın korozyon ya da kabuklaşma özelliği göstermesine çok büyük bir etkindir. AR-3 den boşalan suyun ölçülen pH değeri kabuklaşma olayı için uygun olmayıp, korozyon ortamı hazırlamaya uygun değerdedir.



Şekil 6.22 pH değerine göre rölatif korozyon artış hızı

6.7 Jeotermal Akışkanların Sebep Olduğu Korozyon Çeşitleri ve AR-3 Kuyusu ve Boru Hattındaki Korozyonun İncelenmesi

Jeotermal akışkanların, taşındığı ve depolandığı ortamlarda akışkanların kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı aşağıda verilen beş önemli korozyon olayları görülür: 1) Uniform Korozyon, 2)Çukurcuk Korozyonu, 3)Çatlak Korozyonu, 4) Gerilim Korozyon Çatlağı ve 5)Hidrojen Sülfid Gerilim Çatlatması.

Yukarıda değinilen ve jeotermal akışkan ortamlarında görülen korozyonlara sebep olan yedi ana unsur vardır. Bunlar; 1)Oksijen, 2)Hidrojen iyonu(pH), 3)Karbondioksit, 4)Hidrojen Sülfid, 5)Klor, 6)Amonyak, ve 7) Birbirine Geçişli Metal İyonlar(Fe^{2+} Fe^{3+}). Bu ana etkenlere ilave olarak, akışkanın sıcaklığı ve içerdiği toplam mineralizasyon miktarını da göz önünde bulundurmak gerekir.

Daha önceki bölümlerde de verildiği gibi; AR-3 jeotermal akışkanı üzerinde yapılan analizler akışkanın, boru hattındaki çukurcuk korozyonuna sebep olan, oksijen, düşük pH değeri, karbondioksit, klor, yüksek mineralizasyon ve sıcaklığı taşıdığı ortaya çıkartılmıştır.

Armutlu sahasında, korozyona uğramış boru hattı üzerinde yapılan gözlemlerde, kuyu akışkanında bulunan korozif elementlerin; uniform, çukurcuk, galvanik, yüksek sıcaklık ve erozyonlu korozyonun özel şekli olan kavitasyon korozyonlarına sebep olabileceği görülmüştür.

Boru hatlarındaki kaynak yerleri galvanik korozyona uygun bir ortamdır ve diğer korozyon mekanizmalarının desteği ile yürür.

Akışkan içinde, yüksek sıcaklıkta (75 °C) erimiş halde bulunan O₂, CO₂ ve Cl⁻ iyonları AR-3' de tehlike sınırının üstünde olup boru hatlarında çukurcuk korozyonu yaratmaktadır.

İletim hatlarındaki şartlar, erozyonlu korozyonun özel biçimi olan kavitasyon olayına da uygundur. Gaz ve buhar içeren jeotermal akışkan, hızlı akış sırasında bazı noktalarda basınç düşüşü ile karşılaşabilir. Bu bölgelerde düşük basınç nedeniyle su buharlaşarak buhar ve gaz kabarcıkları oluşturur. Buhar ve gaz kabarcıkları yüzeyin pürüzlü bir noktasında patlayarak parçalanır ve metal yüzeyinde oyuk oluşturur. Ayrıca normal akışlardan çok yüksek olan hızlarda bazı bölgelerde vakum oluşabilir. Bunun sonucu olarak sıvı buharlaşabilir ve sıvı içinde bulunan çözünmüş gazlar ayrışır. Böylece sıvı içinde düşük basınçlı gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıklar akış hızının azaldığı bölgelerde, genellikle metal yüzeyinin yakınında sönerler. Bu olay metal yüzeyi üzerinde kuvvetli bir vakum etkisi yaparak metalin oyulmasına neden olur. (Yalçın, Mühendisler için Korozyon Kitabı KMO yayını).

Bu olay ile birlikte çözünmüş gazların ve iyonların anodik-katodik etkileri; İhlas Holding AR-3 iletim hatlarında korozyonu meydana getirmektedir. Bu nedenle kesinlikle kuyu başında çözünmüş gazların sudan ayrıştırılması (Şekil 6.24 deki seperatör ile), sisteme oksijen emdirilmemesi gerekir. Ayrıca akış hızının yüksek olduğu bölümlerde erozyonlu korozyona, düşük olduğu yerlerde de O₂ difraksiyonuna sebebiyet veren partiküllerin kaynak başında kurulacak dinlendirme tankında akışkandan ayrılması gerekir.

6.8 Korozyondan Korunma Yöntemleri

Belli bir ortam içinde bulunan bir metalik sistemin, korozyonunu önlemek veya korozyon hızını azaltmak için uygulanan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler;

Elektrokimyasal yöntemler

- Katodik koruma
- Anodik koruma

Kimyasal yöntemler

- İnhibitör kullanımı
- Ortamın kimyasal bileşiminin değiştirilmesi

Boya ile koruyucu kaplama

En çok kullanılan elektrokimyasal yöntem katodik korumadır. Bu yöntemle korozyona uğrayan yapının potansiyeli kontrol edilerek, metal termodinamik olarak stabil hale getirilebilir. Ancak 7 km 'lik hattı, bu sistemle korumak pratik ve ekonomik değildir.

Koruyucu kaplamalar özellikle organik boyalar korozyonu önlemek amacıyla kullanılan en basit ve en ucuz yöntemdir. Bu yöntemin döşenmiş hatlarda uygulanmasının bazı teknolojik zorlukları vardır.

Uygun inhibitör seçimi ve kullanımı ile jeotermal sistemlerde meydana gelen ve oksijenin sebep olduğu pitting tipi korozyonu önlemek mümkün olmaktadır.

6.9 AR-3 Jeotermal Akışkanında Yapılan İnhibitör Testleri

AR-3 kuyusu jeotermal akışkanının taşındığı, jeotermal boru hattında sebep olduğu korozyon olayını ortadan kaldırmak veya korozyon hızını en düşük seviyede tutup boru hattının ömrünün uzatılması için çeşitli korozyon inhibitörlerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Sıvı ortamlara az miktarda katıldığında, kabuklaşma ve korozyon hızını azaltan veya tamamen yok eden maddelere inhibitör denilir. Bazı hallerde, jeotermal işletmelerde korozyona karşı dayanıklı fakat çok pahalı bir malzeme kullanmak yerine, ortama inhibitör katarak daha ucuz malzemeler kullanmak ekonomik olabilir.

İnhibitörlerin korozyonu azaltma etkileri çeşitli şekillerde olur. Bazı inhibitörler metal

yüzeylerinde ince, koruyucu bir film tabakası oluşturarak, metal yüzeyi ile akışkan arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatırlar. Amin esaslı bu inhibitörler, aynı zamanda metal yüzeylerine olası çökelimlerinde önlerler. Anodik ve katodik reaksiyonları aynı anda yavaşlatırlar.

Bazı durumlarda, ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşenin, örneğin oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması yolu ile korozyon önenebilir. Bu durumlarda ortama sülfütlü inorganik inhibitör katmak yeterli olabilir.

Asit özelliği olan jeotermal akışkanlarda, korozyonu önlemek için, asit karakterli inhibitörler, akışkanın asitliğini daha da arttıracığı için, kullanılması tavsiye edilmez.

Diğer taraftan, korozyon olaylarının kontrol altına alınabilmesi için, akışkanların pH değerlerinin korozyon kabuklaşma açısından emniyetli değerler arasında bulundurulması çok önemlidir.

Bazı durumlarda; pH düzenleyiciler, pH değerini yükselterek aynı zamanda korozyon inhibitörü olarak da kullanılabilir.

Genel olarak; inhibitörlerin veriminin artışı, inhibitör konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, jeotermal akışkanlara katılacak inhibitörlerin konsantrasyonları uygulama sırasında sürekli olarak kontrol edilmelidir.

6.9.1 AR-3 Jeotermal Akışkanında Kullanılan ve Kullanılacak İnhibitörlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

AR-3 jeotermal akışkanının, taşındığı ve depolandığı ortamlarda korozyon yapma ve tortu bırakma özelliği olmaması için çeşitli inhibitörler üzerinde araştırma yapılmıştır. Daha önce, AR-3 kuyusu boru hattında yaklaşık bir yıl süre ile kabuklaşma inhibitörü olarak kullanılan Ferrophos 8402 inhibitörü dahil araştırma yapılan inhibitörlerin özellikleri Çizelge 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.23 Korozyon ve kabuklaşma inhibitörleri

Sıra No	İnhibitörün Adı	Üretici Firma	Kullanım Amacı	pH Değeri	EC $\mu\text{S/cm}$	Yoğunluk gr/cm^3
1	Ferrophos8402	Henkel	Tortu Önleyici	1.09	86500	1.09
2	Sequen 40 Na 32	Giovanni Bozzetto	Tortu+Korozyon Önleyici	7.00	44160	1.34
3	Dequest 2010	Solutia	Tortu Önleyici	<2.00	72700	1.45
4	Dequest 2066	Soluta	Korozyon+Tortu önleyici	6-8	34500	1.29
5	Varisil C	Schilling Chemie	Korozyon+Tortu önleyici	6.40	17090	1.06

- İnhibitörlerin Kimyasal Bileşimleri

1: Kesin olarak bilinmiyor

2: Octasodium salt of diethylene triaminepenta(methylene phosphonic acid)

3: Aminotri (Methylene phosphonic acid)

4: Heptasodium salt of diethylene triaminepenta (Methylene phosphonic acid)

5: P_2O_5

- pH Düzenleyiciler

Genel olarak, pH değeri 6.5 dan düşük sular korozyon, 8.5 dan daha büyük olan sular tortu yapma özelliğine sahiptir. Korozyon yapma özelliği olan ve pH değeri düşük olan jeotermal suların; pH değerlerini yükseltip, akışkanı asidik halden nötr hale getirmek için çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. pH yükseltici olarak en çok kullanılan pH düzenleyicilerden, jeotermal akışkanlarda yaygın olarak kullanılanlar aşağıda verilmiştir:

Sodyum Hidroksit : NaOH

Sodyum Karbonat : Na_2CO_3

Sodyum Fosfat : Na_2PO_4

Kalsiyum Hidroksit : $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Magnezyum Hidroksit : $\text{Mg}(\text{OH})_2$

6.9.2 AR-3 Akışkanında Deneme Üretimi Sırasında Kullanılan Tortu Önleyici İnhibitör

AR-3 jeotermal boru hattına, 6 lt/s jeotermal akışkan basılarak yapılan deneme üretimi sırasında, akışkana Henkel ürünü Ferrophos 8402 tortu önleyici inhibitör kullanılmıştır. Bu inhibitör, özelliklerinden de anlaşılacağı üzere asit karakterli(pH= 1.04) bir inhibitördür.

Asit ve baz karakterli inhibitörlerin AR-3 akışkanının pH değeri üzerine etkilerini görmek için, biri asidik ve biri de bazik olmak üzere iki tortu önleyici inhibitör alındı. Her iki inhibitörden aynı miktarda inhibitör alınarak, aynı miktardaki AR-3 akışkanına katıldı ve pH değerleri ölçüldü. Karışım sonrası ölçülen pH değerleri aşağıda verilen çizelgede gösterildi:

Çizelge 6.24 Karışım sonrası ölçülen pH değerleri

Kullanılan İnhibitör	Karışım Öncesi pH Değeri	Karışım Sonrası pH Değeri
FERROPHOS 8402	6.27	5.88
SEQUEN 40 Na 32	6.31	6.31

Çizelgedeki değerlerden görüleceği üzere, asit karakterli Ferrophos 8402 inhibitörü, jeotermal suyun pH değerini 6.27 den 5.88' e düşürmüştür. Bazik karakterli Sequen 40Na32 inhibitörü ise jeotermal akışkanın pH değerinde bir değişikliğe neden olmamıştır.

AR-3 kuyusu akışkanının dengelenmiş doğal özelliklerinin tortu yapıcı olmadığı, aksine korozyon yapıcı eğilimde olduğu yapılan analiz ve hesaplardan ortaya çıkmıştır. Korozyon eğilimli olan bir jeotermal akışkanda, asit karakterli Ferrophos 8402 tortu önleyici inhibitörün kullanılması yanlış bir seçim olmuştur.

6.9.3 AR-3 Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonu Önlemek İçin Kullanılması Planlanan İnhibitörlerin Özellikleri ve Yapılan Analizler

AR-3 kuyusu akışkanı ile boru hattı iç yüzeyleri arasında, ince koruyucu bir film tabakası oluşturarak, meydana gelen korozyonu önlemek için, su sistemlerinde yaygın olarak kullanılan amin gurubu inhibitörlerin kullanılması uygun bulunmuştur. AR-3 akışkanının sebep olduğu korozyonu önlemek veya korozyon hızını en düşük düzeyde tutmak için temin edilebilen üç adet bazik karakterli inhibitörlerin sahada ölçülen pH ve EC (Elektrik Konduktivite) değerleri aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.25 Bazik karakterli inhibitörlerin sahada ölçülen pH ve EC (Elektrik Konduktivite) değerleri

Inhibitörün Adı	Ölçülen pH Değerleri	EC Değeri $\mu\text{S}/\text{cm}$	Kullanım Amacı	Kimyasal Bileşimi
Varisil C	6.02	17090	Tortu Ö.+ Korozyon Ö	P_2O_5
Dequest 2066	7.87	39380	Korozyon Ö.+ Tortu Ö	Methylene phosphonic acid
Sequen 40Na32	6.47	50800	Korozyon Ö.+ Tortu Ö	Methylene phosphonic acid

Yukarıdaki çizelgenin birinci sırasında yer alan Schilling Chemie firması ürünü Varisil C, içme sularında tortu ve korozyon önleyici olarak kullanıldığı ve 1 ton akışkan için, 70-105 gram inhibitör kullanılması halinde AR-3 boru hattında meydana gelen korozyonu önleyebileceği firma yetkilisi tarafından ifade edilmiştir. Katalog değerlerinden, Varisil C inhibitörünün aynı zamanda tortu önleyici olarak da kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

Solutia firması ürünü Dequest 2066 da korozyon ve tortu önleyici inhibitörü olarak jeotermal akışkanlarda kullanılmakta olduğu, ürünü pazarlayan firmanın yetkilisi tarafından belirtilmiştir. Katalog bilgilerinden, inhibitörün jeotermal akışkanlar için çok iyi bir korozyon ve tortu önleyici olduğu anlaşılmaktadır. Ürünü pazarlayan firma yetkilisi, 1 ton jeotermal akışkan için 10 gram civarında inhibitör kullanılması durumunda, AR-3 akışkanın sebep olduğu korozyon olayının ortadan kaldırılabilceğini ifade etmiştir.

Giovanni Bozzetto firması ürünü Sequen 40Na32 tortu ve korozyon önleyici inhibitör, yaygın olarak jeotermal akışkanlarda tortu önleyici inhibitör olarak kullanılmaktadır. Katalog verilerinden alınan bilgilere göre inhibitör, 1 ton jeotermal akışkan için 6-8 gram kullanıldığında tortu önleyici, 10 gram üzerinde kullanıldığında ise hem tortu önleyici hemde korozyon önleyici özelliğe sahiptir.

Dequest 2066 ve Sequen 40Na32 amin esaslı korozyon ve tortu önleyici inhibitörlerdir.

Korozyon veya tortu önleyici inhibitörleri kullanım amacına göre göz önünde bulundurulması gereken özellikleri aşağıda verilmiştir:

- pH değeri
- Aktif madde miktarı
- Sıcaklığa dayanıklılık ve etkinlik süresi
- Çevre ve insan sağlığına etkisi

Yukarıda incelenen üç inhibitörün pH ve EC değerleri tabloda verilmiştir. pH değerleri açısından inhibitörler AR-3 akışkanı için uygundur.

Sequen 40Na32 ve Dequest 2066 aktif madde miktarları birbirine yakındır. Varisil C ' nin aktif madde içeriği ise biraz daha az görülmektedir.

Katalog verilerinden Varisil C, Dequest 2066 ve Sequen 40Na32 inhibitörlerinin jeotermal akışkanlarda kullanılabileceği görülmüştür. İnhibitörlerin en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığa dayanım süreleri kataloglarda alınarak aşağıda verilmiştir

Çizelge 6.26 İnhibitörlerin en yüksek sıcaklık ve dayanım süreleri

İnhibitörün Adı	En Yüksek Sıcaklık	Sıcaklığa Dayanım Süresi
Varisil C	70°C	Belli değil
Dequest 2066	100°C	Belli değil
Sequen 40Na32	110°C	Sonsuz
	250 ° C	5-6 saat

AR-3 jeotermal boru hattına pompalanacak çeşitli debilerdeki akışkanların boru hattındaki akış hızları ve Termal Tesislere gidiş zamanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Çizelge 6.27 Akışkanın boru hattındaki akış hızı ve termal tesise gidiş zamanı

Akış Debisi (lt/s)	Akış Hızı (m/s)	Gidiş Zamanı (saat)
3	0,056	34,7
6	0,113	17,2
30	0,565	3,4
50	0,942	2,0

Yukarıda görüleceği üzere, kuyu başından Termal Tesislere akışkanın gidiş zamanı, en düşük debide(3 lt/sn) 34.7 saat ve en yüksek debide(50 lt/sn) ise 2 saat olmaktadır. 6 lt/sn lik deneme üretimi sırasında ise boru hattındaki akış hızı 0.113 m/sn ve akışkanın AR-3 kuyu başından Termal Tesislere gidiş süresi 17.2 saat olmuştur.

Hesaplanan akışkan gidiş süreleri dikkate alındığında, kullanılacak inhibitörlerin sıcaklığa etkinlik sürelerinin en az 20 saat civarında olması gerekmektedir.

Ürün satıcılarının verdiği sözlü bilgiler ve katalog verileri, her üç inhibitörün de sağlığa zararı olmadığını göstermiştir.

Yukarıda özellikleri verilen üç inhibitör, katalog verileri ve ürün temsilcilerinin verdiği bilgiler göz önünde bulundurularak AR-3 akışkanında korozyon inhibitörü olarak kullanılabilir.

Diğer taraftan, AR-3 akışkanın pH değerinin nötr hale getirmek için pH düzenleyiciler kullanılacaktır. Asit özellikte olan AR-3 akışkanın pH değerini yükseltmekle nötr hale getirilmesi sırasında akışkanın doğal yapısı da bozulacaktır. Bu sırada, bunlar içinde bir miktar tortu çökmesi meydana gelebilir. Bu çökme, aynı zamanda korozyon karşı koruyucu bir tedbir olabilir. Ancak, tortu birikme hızı çok yüksek olması durumunda, boru hattında tortu birikmelerine neden olup problem yaratabilir olabilir. Bu nedenle, pH düzenlemeleri sırasında, olabilecek tortu birikmelerini de önleyecek inhibitörler kullanılmalıdır. Yukarıda kullanılması önerilen üç korozyon inhibitörü, aynı zamanda tortu önleyici inhibitör özelliğini taşıdığı için kullanılmaları uygun olacaktır.

AR-3 kuyusu, kuyu başı akışkan pompalama sistemi yeterli teknik koşullar ve akışkan pompalama kapasitesine sahip değildir. Zayıf pompalama koşullarının ilavesi ile deneme üretimi sırasında görülen yoğun korozyon olayı sonucu, boru hattına akışkan pompalanması durdurulmuştur. Bu nedenle, yukarıda kullanılması tavsiye edilen inhibitörlerin, boru hattına pompalama yapılırken denenmesi mümkün olamamıştır. Uygun olmayan pompalama sistemi ile yapılacak inhibitör testleri sağlıklı sonuç vermeyecektir. Bundan dolayı, AR-3 akışkanında kullanılacak inhibitörlerin denenmesinin kuyu başına yerleştirilecek korozyon kuponları üzerinde yapılması yönünde bir karar alınmıştır. Bu karar gereği korozyon kuponu üzerinde yapılan testlere başlanmıştır.

6.10 Korozyon Kuponu Uygulama Test Önerileri

Yeni program gereği, AR-3 akışkanın ST.37 boru hattı malzemesi üzerindeki korozyon etkisini görmek, temin edilen üç inhibitörün performanslarını bulmak ve kullanılacak diğer kimyasal maddelerin (pH düzenleyici, oksijen yokedicisi) korozyon önleme etkilerini görmek için aşağıdaki testlerin yapılması uygun olacaktır:

6.10.1 AR-3 Akışkanın Doğal Korozif Etkisinin Belirlenmesi

Her hangi bir inhibitör kullanmadan, kuyu sabit bir debide, 20 gün süre ile üretime açılacaktır. Süre sonunda, seperatör öncesi ve sonrasına yerleştirilen kuponlardan korozyon etkileri incelenecektir.

AR-3 akışkanını doğal korozyon hızı, kuyu başına yerleştirilmiş mini test seperatörü kullanılarak hesaplanmıştır. Seperatör öncesine ve sonrasına yerleştirilen korozyon kuponları değerlendirilerek, akışkanın seperatör öncesi ve sonrasındaki doğal korozyon hızları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6.28 Doğal korozyon hızları

Kupon Yeri	Kupon Kesit Alanı A(cm ²)	Test Süresi (saat)	Ağırlık Kaybı(gr)	Korozyon Hızı (mpy)-(mmy)
Seperatör öncesi	14.55	480	0.255	14.10-0.3525
Seperatör öncesi	14.55	960	0.395	12.66-0.3165
Seperatör sonrası	14.55	480	0.183	11.50-0.2875

Tabloda görülen korozyon hızı değerleri, AR-3 akışkanının yüksek korozyon yapıcı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, seperatör sonrasında hesaplanan korozyon hızı 11.50 mpy, seperasyon öncesi korozyon hızı olan 14.10 mpy den % 18.7 daha düşük bulunmuştur. Korozyon hızında görülen % 18.7 lik düşüş mini test seperatörünün CO₂ gazı ayrıştırma etkisini göstermiştir.

Hesaplanan korozyon hızı değerleri, amin bazlı korozyon inhibitörleri kullanılarak ve pH düzenlemeleri ile mutlaka 5 mpy (0.125 mmy) değerinin altına çekilmelidir.

6.10.2 AR-3 Akışkanının pH Değerinin Düzenlemesi

Bazı jeotermal akışkanlarda, pH düşüklüğü dolayısı ile görülen korozyon hızı, akışkanın pH değerinin NaOH kullanılarak nötr hale getirilmesi ile düşürülebilmektedir. Bu nedenle, AR-3 kuyusu akışkanına, inhibitör basma sisteminden, her 1 ton jeotermal akışkan için 100-150 gram NaOH basılarak pH değeri düzenlenecek ve 20 gün süre sonunda korozyon kuponları değerlendirilerek NaOH ' ın neden olacağı pH yükseltmesinden dolayı olan korozyonu önleme etkileri incelenecektir.

AR-3 akışkanının pH değerinin yükseltilmesi için, Kostik Soda (NaOH) kullanılarak kuyu başında yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.29 AR-3 akışkanının pH değerinin yükseltilmesi için ,Kostik Soda (NaOH) kullanılarak kuyu başında yapılan analiz değerleri

AR-3 Akışkanı Miktarı(lt)	Karıştırılan NaOH	Ölçülen pH Değeri
15	0,0	6,18
15	0,5	6,23
15	1,0	6,30
15	1,5	6,35
15	2,0	6,41
15	2,5	6,51
15	3,0	6,58
15	3,5	6,68
15	4,0	6,80
15	4,5	6,95
15	5,0	7,07

6.10.3 Korozyon / Tortu Önleyici İnhibitörlerin Etkinliklerinin Test Edilmesi

Seçilen inhibitörler, inhibitör enjeksiyon sisteminden 20 gün süre ile basılarak, korozyon önleyici etkileri, korozyon kuponların değerlendirilmesi sonucu bulunacaktır.

6.10.4 AR-3 Akışkanında Varlığı Saptanan Korozyona Sebep Olan Oksijenin Ortamdan Uzaklaştırılması

AR-3 akışkanı içerisinde, korozyon olayına sebep olan ana faktörlerden biri de oksijendir. Kuyu başı ve Termal Tesislerde yapılan ölçümlerde, akışkan içerisinde 200-600 ppb erimiş oksijen olduğu belirlenmiştir. Jeotermal akışkanlarda müsaade edilebilir erimiş oksijen miktarları 20-50 ppb arasında olmalıdır.

Jeotermal akışkanlar içinde erimiş olarak bulunan oksijenin, ortamdan uzaklaştırılıp korozyon olayının önlenmesi için çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. Uygulamada Na_2SO_3 ve $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ yaygın olarak kullanılmaktadır.

AR-3 akışkanında, 200-600 ppb olarak belirlenen oksijenin akışkandan uzaklaştırılması için, bir ton jeotermal akışkana 2.4-7.1 gram Na_2SO_3 katılması uygun ve yeterli olabilecektir. Korozyon kuponları yerlerinde mevcut iken, yukarıda belirtilen oranlarda Na_2SO_3 , inhibitör

enjeksiyon sisteminden basılarak korozyonu önleme etkileri incelenecektir.

6.10.5 Korozyon Hızlarının Hesaplanması

Yukarıda değinilen testler sırasında "Korozyon Hız" ları, hesaplanarak değerlendirme yapılmalıdır. Korozyon Kuponu kullanılarak, "Korozyon Hızı" nın bulunması için aşağıdaki formül kullanılacaktır:

$$\text{Korozyon Hızı} = \frac{\text{Kupondaki Ağırlık Kaybı (gram)} \times K \text{ (Sabit Değer)}}{\text{Kuponun Yoğunluğu (gr/cm}^3\text{)} \times \text{Kupon Alanı (A)} \times \text{Test Süresi (saat)}} \quad (6.5)$$

Kupon alanı cm² birimi cinsinden hesaplanırsa, K sabit değeri 8. 76x10⁴ olarak alınırsa Korozyon hızı değeri milimetre/yıl (mm/yıl) olarak bulunur.

Korozyon Hızlarının (KH) bulunmasında sonra, "Korozyon İnhibitör Verimi " aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{İnhibitör Verimi} = 100 \times \frac{\text{Doğal Korozyon Hızı} - \text{İnhibitörlü Korozyon Hızı}}{\text{Doğal Korozyon Hızı}} \quad (6.6)$$

6.11 AR-3 Kuyusunda Yapılan Kuyu İçi Testler, Akışkan Kimyası ve İnhibitör Seçimi Analizleri, Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonun Önlenmesi İçin Alınacak Önlemler

AR-3 kuyusu akışkanının üretim karakteristiklerini bulmak, üretim hedeflerine uygun kuyu başı/ kuyu içi ekipmanları belirlemek ve boru hattında meydana gelen korozyon olayının önlenmesi veya korozyon hızının en düşük düzeyde tutulması amacıyla yapılan test ve kimyasal analizlerin sonuçları aşağıda sunulmuştur:

6.11.1 Sıcaklık, Basınç ve Geçirgenlik Test Sonuçları

- AR-3 kuyusu içinde en yüksek sıcaklık 200 metre derinlikte 74.65 °C bulunmuştur (Şekil 6.3 ve 6.4). Jeotermal akışkan 108-250 metreler arasındaki diyabaz ve şiştiler içinde bulunan kırık zonlarında üretildiği anlaşılmıştır. 250 metreden kuyu tabanına doğru sıcaklık azalarak temiz kuyu derinliği olan 730 metrede 64.1 °C ' ye düşmüştür. Dinamik ve statik sıcaklık profilleri kuyunun 250 metreden tabana doğru olan birimlerinden kuyuya akışkan girmediğini göstermiştir.
- Statik ve dinamik basınç profillerinin incelenmesinden kuyu içindeki basınç dağılımının statik ve dinamik koşullarda lineer olduğu görülmüştür. Kuyu içinde ölçülebilecek düzeyde bir buharlaşma veya gaz açığa çıkışı olmadığı görülmüştür.

- Kuyuda yapılan basınç yükselim ve basınç düşüm testleri, ölçüm yapılan derinlikteki rezervuar basınçlarının çok kısa sürede (0.5-1.0 saniye) dengeye geldiğini göstermiştir(Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10). Bu süre son derece kısa bir zaman olup 108-250 metreler arasındaki birimleri geçirgenliğinin çok yüksek olduğu ortaya konmuştur.
- Basınç yükselim ve basınç düşüm testlerinden (Transient Test Analizleri), $kh = 25.6$ D-M olarak hesaplanmıştır. Bu değer AR-3 kuyusu rezervuarının çok yüksek geçirgenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Armutlu jeotermal sahasının potansiyeli en yüksek olan AR-3 kuyusu tek başına Armutlu Tesislerinin jeotermal akışkan miktarını karşılayacak kapasitedir.
- Basınç yükselim ve düşüm testlerinden, kuyunun "Prodaktivite Endeksi" , sırasıyla 24.4 ve 20.4 lt/s/bar hesaplanmıştır. Bu iki değerde kuyunun üretim potansiyelinin yüksek olduğunu gösterdi.
- Yaklaşık %33 emniyet faktörü alıp, "Prodaktivite Endeksi" $PI=15$ lt/s/bar olarak kabul edilebilir. Bu durumda, kuyu içi pompa ile kuyudan 60 lt/s jeotermal akışkan üretildiğinde kuyu içindeki dinamik su seviyesi 40 metre civarı olur. Bu değerler, kuyudan rahatlıkla 60 lt/s akışkan üretilbileceğini göstermiştir.

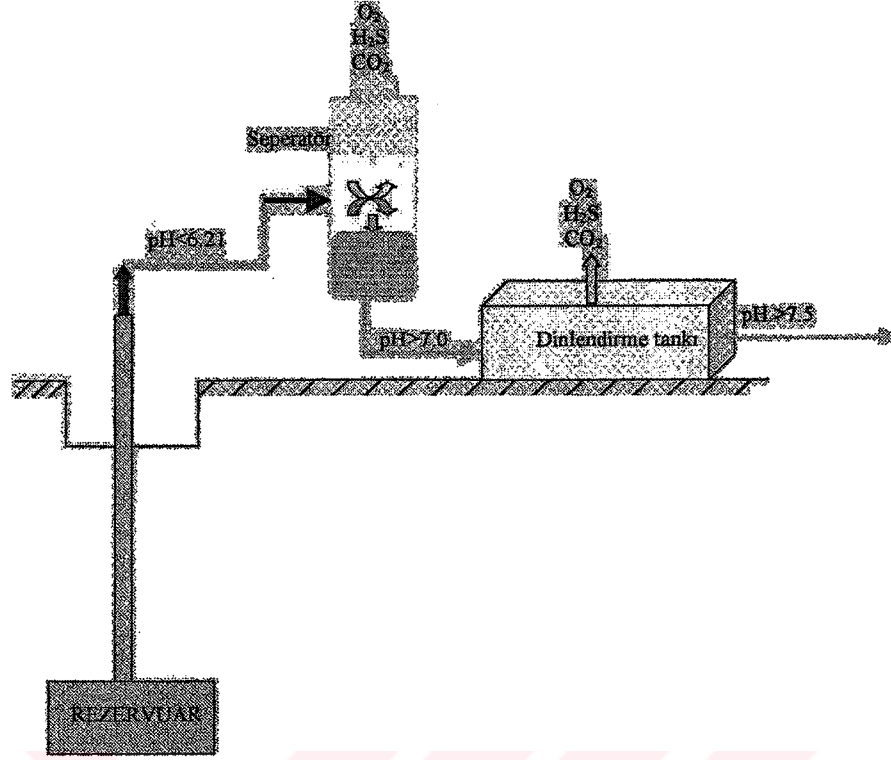
6.11.2 AR-3 Kuyusu Akışkan Kimyasal Analiz ve İnhibitör Test Sonuçları

- AR-3 jeotermal akışkanın üzerinde yapılan kimyasal analizler, akışkanın doğal hali ile kabuklaşma ($CaCO_3$ çökeltisi yapma) özelliği olmadığını ortaya koymuştur.
- Kabuklaşma inhibitörü olarak, kuyuda bir yıl süre ile kullanılan "Ferrophos 8402 P3" yanlıştır bir seçim olmuştur. AR-3 kuyusu başında yapılan analizler, asit karakterli bu inhibitörün, AR-3 kuyusu akışkanının pH değerini düşürdüğünü göstermiştir.
- AR-3 akışkanın, korozif veya kabuklaşma eğilimini gösteren "Langelier Saturasyon Endeksi (LSI)", NASA hesap yöntemine göre -0.14 ve Edstrom hesap yöntemine göre 0.26 olarak hesaplandı. Her iki LSI değerinin ortalaması 0.06 olarak bulunur ki bu değer, AR-3 kuyusu jeotermal akışkanının hafif tortu yapıcı ve pitting korozyonu yapma özelliği olduğunu ortaya koymuştur.
- Diğer taraftan, NASA ve Edstrom hesap yöntemlerinde bulunan pHs değerlerinden hesaplanan ortalama Ryznar Stabilite İndeksi, $RSI = 6.07$ olarak hesaplandı. Bu

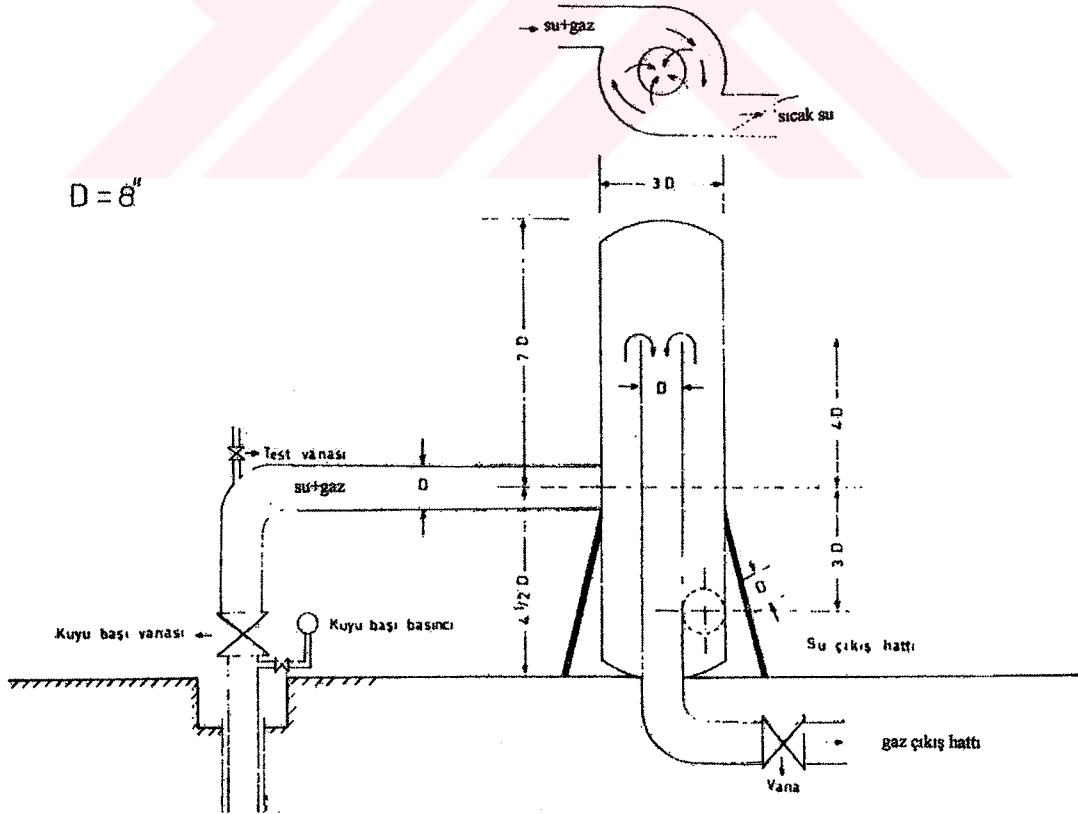
değere göre AR-3 akışkanının hafif tortu ve korozyon yapıcı özelliği taşıdığı ortaya konmuştur. Larson-Skold Indexi, L-S I = 2.7 olarak bulundu. Bu indeks de AR-3 akışkanın yüksek lokal korozyon (çukurcuk) özelliği olduğunu göstermiştir.

- AR-3 jeotermal akışkanın içerisinde, boru hattında meydana gelen "Çukurcuk Tipi Korozyon" un oluşmasına neden olan önemli üç etken daha tespit edilmiştir. Bunlar; erimiş ve serbest halde bulunan karbondioksit, erimiş halde bulunan oksijen ve bikarbonat'tır. Akışkanın oluşturduğu korozyon olayının önlenmesi veya korozyon hızının en düşük düzeyde tutularak boru hattının ömrünün uzatılması için akışkanda erimiş veya serbest halde bulunan oksijen ve karbondioksidin ortamdan uzaklaştırılması gerekir.
- Düşük LSI değeri, erimiş karbondioksit ve oksijen, bikarbonat ile akışkanın yüksek sayılabilecek sıcaklığı boru hattındaki çukurcuk tipi korozyon olayının ana etkenleridir.
- Boru hattı güzergahının topoğrafik durumuna göre, boru hattı içerisinde ilerleyen akışkan, değişken basınçlara maruz kalmaktadır. Boru hattının çeşitli yerlerinde oluşan bu değişken basınçlar, akışkan içerisinde erimiş olarak bulunan karbondioksidin varlığı nedeniyle, korozyon hızının artmasına neden olmaktadır.
- AR-3 kuyusunun hemen yanındaki Mide Suyu Kaynağı, AR-3 kuyusu ve Armutlu Tesislerinden alınan jeotermal su örnekleri üzerinde yapılan demir analizlerinde; Mide Suyu Kaynağında 0.3 ppm olan demir, AR-3 kuyusu kuyu başında 3 ppm ve Armutlu Tesisleri'nde ise 50-60 ppm olarak ölçüldü. Bu durum boru hattındaki korozyonun boyutunu ortaya koymuş oldu.
- Boru hattı, ST 37 çeliğinden yapılmıştır. Düşük karbonlu olan bu malzeme korozyona karşı dayanıklı değildir. TPAO laboratuvarlarında, AR-3 kuyusu akışkanı kullanılarak simule edilen kuyu şartlarında, ST 37 boru malzemesinin korozyon hızı 11.7 mpy olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 10 mpy den yüksek olduğu için çok şiddetli korozyon olayının göstergesidir. Bu nedenle boru hattının ömrünün uzatılması için gerekli önlemler alınmalı ve korozyon olayı titizlikle izlenmelidir.
- Kimyasal ortamın doğal olarak değiştirilmesi ile korozif etkinin azaltılması veya uygun inhibitörlerle en düşük düzeye düşürülmesi AR-3 kuyusu ve boru hattı için uygun bulunmuştur.

- Yapılan analizlerde, asit karakterli inhibitörlerin, AR-3 akışkanının pH değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bu nedenle, asit karakterli inhibitörler kullanılmamalıdır.
- Korozyon inhibitörleri üzerinde ve Armutlu'da yapılan analizler, AR-3 jeotermal akışkanı için "Methylene Phosphonic Asit" bazlı inhibitörlerin kullanılması, hem korozyonu hem de tortu oluşturmayı aynı zamanda önlediği için uygun bulunmuştur. Yapılan analiz ve araştırmalar Dequest 2066, Varisil C ve Sequen 40Na32 bazik karakterli inhibitörlerin deneme amaçlı olarak kullanılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır.
- Korozyon inhibitörleri dozaj debileri, limit değerlerin altına düşmemelidir. Aksi halde konsantrasyon düşüklüğünden dolayı çukurcuk korozyonu oluşabilir. Korozyon inhibitörlerinin dozajları, inhibitörleri üreten ticari firmalar tarafından belirlenmiştir.
- AR-3 akışkanının pH değerinin yükseltilerek nötr hale getirilmesi için 1 ton jeotermal akışkana 100-150 gram Kostik Soda (NaOH) karıştırılmasının uygun olacağı yapılan testlerden anlaşılmıştır.
- Lokal korozyon olarak da anılan, çukurcuk (pitting) tipi korozyona sebep olan ve AR-3 akışkanında 200-600 ppb olarak saptanan erimiş oksijenin ortamdan uzaklaştırılması için Na_2SO_3 çok düşük miktarlarda kullanılması uygun olabilir. Yapılan araştırmalarda 1 ton AR-3 akışkanı için 2.4-7.1 gram Na_2SO_3 ' in yeterli olabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, "Amin gurubu inhibitörler" oksijeni ortamdan ayırmak için yeterli olabilecektir.
- Bir yıl süre ile AR-3 boru hattının, 6 lt/s jeotermal akışkan basılarak denenmesi sırasında, boru hattı içerisindeki akışkan hızı 0.11 m/s civarında olmuştur. Gerçekleşen bu akış hızı optimum akış hızı olarak alınan 1.5-2.1 m/s değerlerinin çok altındadır. Durgun veya çok düşük akış hızları çukurcuk korozyon olayının etkenlerinden birisidir. Bu nedenle, çok düşük akışkan hızlarından sakınmak gerekir.



Şekil 6.23 AR-3 akışkanının boru hattına verilmeden görmesi gereken işlem şeması



Şekil 6.24 Gaz ayırıştırma seperatörü

6.12 Armutlu Tatil Köyü Jeotermal Boru Hattında Meydana Gelen Korozyonu Önlemek İçin Alınması Gereken Önlemler

AR-3 kuyusu jeotermal akışkanı; içerisinde erimiş halde bulunan oksijen ve karbondioksit ile bikarbonat, düşük pH değeri ve yüksek sıcaklıktan dolayı, orta derecede korozif özelliğe sahiptir. Diğer taraftan uygun olmayan kuyu başı ve akışkan pompalama sistemi, kuyudan çıkan akışkan içerisine bir miktar daha oksijenin girmesine neden olmaktadır. Kuyu başında yapılan oksijen ölçümleri bu durumu açıkça ortaya koymuştur.

Armutlu Tatil Köyü Tesisleri' nin devreye alınması ile tesislerin jeotermal akışkan ihtiyacı, 50-60 lt/s civarında olacaktır. Bu durumda, AR-3 kuyusunun üretim debisini, kuyu içi pompa uygulayarak 50-60 lt/s ' ye çıkarılması gerekmektedir. Kuyu içi pompa uygulanması durumunda, jeotermal akışkana hava karışma yolları da artacaktır.

Jeotermal boru hattı malzemesi, bilindiği gibi korozyona dayanıklı bir malzeme değildir. Bu nedenle, AR-3 jeotermal akışkanının korozyon hızının, en uygun ve ekonomik yöntemle en düşük düzeyde tutulması veya yok edilmesi için gerekli teknik ve idari önlemler alınmalıdır. Alınması gereken önlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- AR-3 kuyusunun Şekil 6.13 de görülen mevcut kuyu başı sistemi yerine, Şekil 6.14 ve 6.15 de tasarlanan kuyu başı sistemi monte edilmelidir. Bu yeni kuyu başı sistemi, kuyu içi pompanın kuyuya kolayca indirilmesini sağlayacaktır. Boru hattında meydana gelen çukurcuk tipi korozyonun oluşmasına neden olan gaz halindeki karbondioksitin büyük kısmı Şekil 6.24 de dizayn parametreleri verilen seperatörden atılacaktır. Ortamdan CO₂ gazının atılması ile akışkanın pH değeri bir miktar yükselecek ve korozifliği azalacaktır. AR-3 kuyusu başına monte edilen mini test seperatöründe, karbondioksit ayrıştırmasından dolayı % 18.7 lik korozyon azalması tespit edilmiştir.
- Jeotermal akışkan içerisine hava (oksijen girişi) girişini önlemek için yeni kuyu başı sisteminde bulunan tüm vana, flanş ve seperatör hava sızdırmaz hale getirilecektir.
- Kuyubaşı-seperatör-sıcak su deposu arasındaki borular ve seperatör sıcaklık kaybını önlemek için gerekli tedbirler alınacaktır.
- Jeotermal akışkana hava girişini önlemek için, kuyuda kuyu başı-dinamik su seviyesi arası ve jeotermal akışkan deposu üzerinde birer nitrojen yastığı oluşturulacak ve Şekil 6.15 de görülen azot sisteminin yapılması uygulanacaktır.
- Satın alınacak kuyu içi ve kuyu dışı pompaların devirleri frekans kontrol sistemi ile

ayarlanacaktır. Bu sistemle, pompaların başlatma ve durdurma operasyonları yavaş yavaş yapılabileceği için sistemde negatif basınç yaratılmayacak ve akışkan içerisine hava girişi önlenmiş olacaktır.

- Boru hattı üzerine yerleştirilmiş hava vantuzlarının hava sızdırmazlıkları kontrol edilecektir.
- Kuyu içine uygulanacak sabit azot basıncı, dinamik su seviyesi üzerinde ilave bir basınç oluşturacak ve kavitasyon olayının önüne geçilmiş olacaktır.
- Boru hattına, akışkan basan pompaların emiş bölümleri sürekli su içinde bulunacağı için hava almaları mümkün olamayacaktır.
- Kuyu içindeki dinamik su seviyesi sürekli izlenecek ve kuyu üretim performansı elde edilecektir.
- AR-3 kuyusu akışkanının pH değeri, Şekil 6.23'de gösterilen sistemle, 1 ton jeotermal akışkana 100-150 gram kostik soda ilave edilerek nötr hale getirilecektir.
- Gerekli olması halinde kuyu içine inhibitör borusu indirilebilecektir.
- Armutlu jeotermal boru hattı çok uzun olup akışkanı da koroziftir. Korozyonu önleme çalışmaları, kabuklaşmayı önleme çalışmalarına göre daha çok bilgi, deneyim ve dikkat ister. Bu nedenle, bu konuda seçilecek uygun bir veya iki elemanın eğitilmesi sistemin sağlığı için faydalı olacaktır.
- Jeotermal akışkanların endüstride kullanılmasında iki önemli teknolojik problem mevcuttur. Bilindiği gibi, bunlardan biri kabuklaşma ve diğeri ise korozyondur. Korozyon olayları, kabuklaşma olaylarından çok daha karmaşıktır. Bu nedenle, Armutlu jeotermal boru hattında görülen korozyon olayının önlenmesi çok dikkat ister.

6.13 Armutlu Tatil Köyü Tesisinin Boru Hattı

Armutlu Tatil Köyü tesislerinin boru hattı ilk etapta, İhlas Yapı A.Ş. tarafından inşa edilen gidiş (383x5,61 mm dış çaplı) ve dönüş (219.1x5,00 mm dış çaplı) düşük karbonlu ST 37 çeliğinden oluşmaktadır. TPAO laboratuvarlarında, AR-3 kuyusu akışkanı kullanılarak simule edilen kuyu şartlarında, ST 37 boru malzemesinin korozyon hızı 11.7 mpy olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 10 mpy den yüksek olduğu için çok şiddetli korozyon olayı görülmüştür. Düşük karbonlu olan bu malzemenin, korozyona karşı tedbir almadan dayanamayacağı görülmüştür.

Korozyon olayından dolayı ST 37 boru hattı iptal edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda ve suyun kimyasal analizine göre boru hattının izolasyonlu termal borudan (taşıyıcı boru olarak polipropilen) oluşmasına karar verilmiştir.

Jeotermal uygulamalarda kullanılan izolasyonlu borular;

- Ana taşıyıcı borudan,
- Kılıf borudan,
- İzolasyon malzemesi (Pur köpük)' ten oluşmaktadır.

Ana taşıyıcı boru olarak genellikle çelik boru kullanılır. Bu boru sistemde ısıtıcı akışkanın taşınmasında kullanılan borudur. Kullanım amacına göre dikişli (DIN 2458 & DIN 1629) veya dikişsiz (DIN 2448 & DIN 1629) olarak verilmiştir. (Dizayn Group)

Sistemde akışkan sıcaklığı ve basıncın fonksiyonu olarak ayrıca su kimyasal içeriğine göre, taşıyıcı boru HDPE, PPRC, PE-X ve paslanmaz çelikte olabilir. (Dizayn Group)

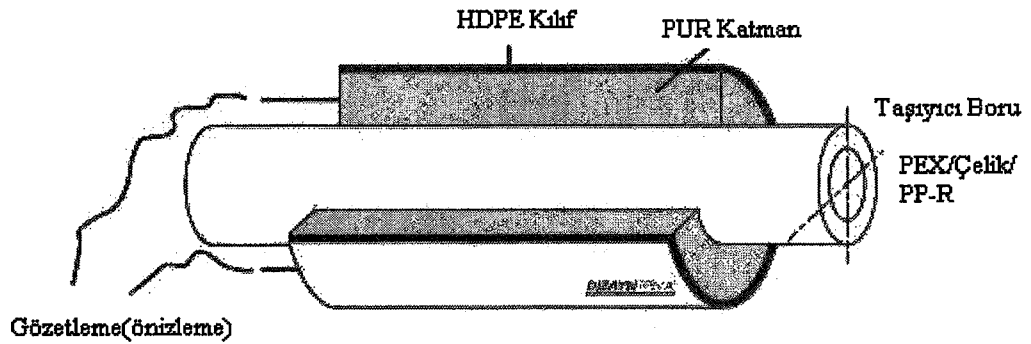
Kılıf boru, EN 253 standardına uygun eksiz, birleştirmesiz olarak ekstrude edilen HDPE'den mamül borudur. Üretilen kılıf boru, optimum PUR köpük yapışması için corona uygulamasına tabi tutulmuştur. (Dizayn Group)

İzolasyon malzemesi olarak ortalama 80 kg/m³ yoğunluklu rijit PUR köpük kullanılmaktadır.

6.13.1 İzolasyonlu Boruların Özellikleri

- İzolasyonu ve çelik boruyu korozif ortamlara, neme koruyan eksiz birleştirmeli bir kılıf ile uzun servis ömrüne sahiptir.
- Dış etkiler karşı izolasyon ömrü en az 30 yıldır.

- Uygulanan corona işleminin sayesinde poliüretan kılıf borudan ayrılmaz.
- Uygulanan poliüretan, bu tip borular için özel üretilen EN 253 normuna uygun sertifikalı firmalardan alınmaktadır.
- 140 °C sıcaklığa kadar uygulanabilir.
- İç boru olarak çelik, bakır, PPRC, PE-X kullanılabilir.
- İzolasyon malzemesi olarak kullanılan rijit PUR köpük çelik borudaki ısıl genişleme gerilmelerini karşılamak için, toprak-dış boru arası sürtünme kuvvetlerini çelik boruya iletilecek özelliklere sahiptir.
- Öngerilmeli sistemlerde kullanılabilir, bu nedenle kompensatör kullanmaya gerek kalmaz.
- Her türlü izolasyonlu boru ek parçaları vardır. (Dirsek, Te, Vana vs.)
- Ek yerlerinde kullanılan kayar kılıf sistemi sayesinde kesin sızdırmaz ek sağlanmıştır.
- Öngerilmeli sistemlerde L, Z, U bender kullanıldığından, bu parçaların döşenmesi için kanal genişletmesine gerek kalmamıştır.
- İzolasyon malzemesi içine önceden yerleştirilmiş izleme (gözetleme) telleri ve bağlantılı cihazlarla çelik boru ve izolasyonun tüm yıl boyunca izlenmesi, herhangi bir yerde sızıntı yerinin tespiti mümkün hale gelmiştir. (Dizayn Group)



Şekil 6.25 İzolasyonlu borular

Polipropilen, alçak yoğunluklu yarı şeffaf beyaz bir plastiktir. Basınca bağlı olarak 121 °C' ye kadar sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Erime noktası 175 °C' dir. Bu nedenle polipropilen malzemeler sterilize edilebilirler. Bir çok bükülmeden sonra sertliğini korur. Antioksidan katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisiyle bozulur. Kolay bir şekilde renklendirilemez. İyi bir elektriksel dirence sahiptir. Düşük su absorpsiyonu ve geçirgenliği vardır. - 9.4 °C' nin altında kırılındır. Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer oksitleyiciler tarafından etkilenir. Uygun bir şekilde modifiye edildiğinde iyi bir ısı dayanımına sahiptir. PP yüksek saflıktaki propilen gazının ağır basınç reaktörleriyle ve Ziegler tarafından keşfedilen katalizörleri kullanılarak polimerleşmesi ile elde edilir. Kristal yapılı, 0,902 ile 0,904 g/cm³ yoğunluklu bir polimerdir. Termoplastiklerin en hafiflerindedir. Polipropilen homopolimer ve kopolimer kompaundlarından oluşur. Ürün grubu cam elyaf takviyeli, mineral dolgulu darbeye mukavim, alev geciktiricili, stabilizeli ve renkli ürünler içerir. Polipropilen (homopolimeri) sağlamlığı, işleme kolaylığı ve yüksek ısılardaki performansı, kopolimeri ise esneklik ve düşük sıcaklıklardaki darbe mukavemeti ile dikkat çeker. Makul fiyatın mükemmel kimyasal dayanımı, düşük yoğunluğu ve kolay işlenmesi ile bir çok sektörde uygulama alanı bulmuştur. (PAT, (64), 2001)

İhlas Armutlu Tatil Köyü Tesisi'nin boru hattı yukarıda da belirtildiği gibi taşıyıcı borusu PPRC (polipropilen) olan izolasyonlu termal borudan oluşmaktadır.

Yapılan hesaplar sonucunda, 73 °C sıcaklıkta 7 bar daimi işletme basıncında ve 40 °C sıcaklıkta 13 bar daimi basıncında 50 yıl ömürlü taşıyıcı borusu PPRC olan 26 mm et kalınlığında 225 mm dış çaplı boru seçilmiştir.

$$SDR = \frac{d}{s} \quad (6.7)$$

d= Dış çap (mm)

s=Et kalınlığı (mm)

SDR=Standart boyun oranı

Bizim borumuz için;

$$SDR = \frac{225}{26} = 8,65 \cong 9$$

Çizelge 6.30' dan 70 °C ve 50 yıl için çalışma basıncı 7 bar olarak bulunur.

Çizelge 6.30 PPR-80 borular için sıcaklık-ömür yıl basınç değerleri(DIN8077,1997)

Sıcaklık °C	Servis Ömrü Yıl	Anma Basıncı						
		SDR 41	SDR33	SDR 26	SDR 17,6	SDR 11	SDR 7,4	SDR 6
		Çalışma Basıncı						
10	1	5,3	6,7	8,4	12,7	21,1	33,4	42
	5	5,0	6,3	7,9	12,0	20,0	31,6	39,8
	10	4,9	6,1	7,7	11,6	19,3	30,6	38,5
	25	4,7	5,9	7,4	11,2	18,7	29,6	37,3
	50	4,6	5,8	7,2	10,9	18,2	28,8	36,3
	100	4,5	5,6	7,1	10,7	17,7	28,1	35,4
20	1	4,5	5,7	7,2	10,8	18,0	28,6	36
	5	4,2	5,4	6,7	10,2	18,9	26,8	33,8
	10	4,1	5,2	6,5	9,9	16,4	26,1	32,8
	25	4,0	5,0	6,4	9,6	16,0	25,3	31,8
	50	3,9	4,9	6,2	9,3	15,5	24,5	30,9
	100	3,8	4,7	6,0	9,0	15,0	23,8	29,9
30	1	3,8	4,8	6,1	9,2	15,3	24,3	30,6
	5	3,6	4,5	5,7	8,6	14,4	22,8	28,7
	10	3,5	4,4	5,5	8,4	13,9	22,0	27,7
	25	3,4	4,2	5,3	8,1	13,4	21,3	26,8
	50	3,3	4,1	5,2	7,9	13,1	20,7	26,1
	100	3,2	4,0	5,1	7,7	12,8	20,2	25,5
40	1	3,2	4,1	5,1	7,8	12,9	20,5	25,8
	5	3,0	3,8	4,8	7,3	12,1	19,2	24,2
	10	3,0	3,7	4,7	7,1	11,8	18,7	23,6
	25	2,8	3,6	4,5	6,8	11,3	18,0	22,6
	50	2,8	3,5	4,4	6,6	11,0	17,5	22,0
	100	2,7	3,4	4,3	6,4	10,7	16,9	21,3
50	1	2,8	3,5	4,4	6,6	11,0	17,5	22
	5	2,6	3,2	4,1	6,1	10,2	16,2	20,4
	10	2,5	3,1	3,9	6,0	9,9	15,7	19,7
	25	2,4	3,0	3,8	5,8	9,6	15,2	19,1
	50	2,3	2,9	3,7	5,6	9,3	14,7	18,5
	100	2,2	2,8	3,6	5,4	8,9	14,2	17,8
60	1	2,3	2,9	3,7	5,6	9,3	14,7	18,5
	5	2,2	2,7	3,4	5,2	8,6	13,7	17,2
	10	2,1	2,6	3,3	5,0	8,3	13,2	16,6
	25	2,0	2,5	3,2	4,8	8,0	12,6	15,9
	50	1,9	2,4	3,1	4,6	7,7	12,1	15,3
70	1	2,0	2,5	3,1	4,7	7,8	12,4	15,6
	5	1,8	2,3	2,9	4,3	7,2	11,4	14,3
	10	1,8	2,2	2,8	4,2	7,0	11,1	14
	25	1,5	1,9	2,4	3,6	6,1	9,6	12,1
	50	1,3	1,6	2,0	3,1	5,1	8,1	10,2
80	1	1,6	2,1	2,6	3,9	6,5	10,4	13,1
	5	1,4	1,8	2,3	3,5	5,7	9,1	11,5
	10	1,2	1,5	1,9	2,9	4,8	7,6	9,6
	25	1	1,2	1,5	2,3	3,8	6,1	7,6
95	1	1,2	1,5	1,8	2,8	4,6	7,3	9,2
	5	-	1,0	1,2	1,8	3,0	4,8	6,1
	(10)	-	-	-	1,5	2,6	4,0	5,1

6.13.2 Boru Hattından Olan Isı kaybı ve Sıcaklık Düşümünün Hesaplanması

Toprak altındaki bir borudan olan ısı kaybı, toprağın ısı iletim katsayısına, sıcaklığına ve borunun gömüldüğü derinliğe bağlıdır. Borudan olan ısı kaybının tamamının toprak üzerinden atmosfere ulaştığı kabul edilerek, kararlı durumdaki ısı kaybı için aşağıdaki eşitlik yazılmıştır.

$$\phi = \frac{(t_r - t_j)}{m_r + m_j} \left(\frac{W}{m} \right) \quad (6.8)$$

$$m_r = \frac{1}{2\pi\lambda_{ur}} \ln\left(\frac{D_i}{d}\right) [m^\circ C/W] \quad (6.9)$$

$$m_j = \frac{1}{2\pi\lambda_j} \ln\left(\frac{4h}{D}\right) [m^\circ C/W] \quad (6.10)$$

$$\Delta t = \frac{(\phi \cdot L)}{c \cdot Q} [^\circ C] \quad (6.11)$$

t_r =Akışkan giriş sıcaklığı = 72 °C

t_j =Dış ortam sıcaklığı = -3 °C

λ_{ur} =Poliüretan (PUR) ısı iletim katsayısı = 0,028 W/m°C

λ_j =Toprak ısı iletim katsayısı = 2 W/m°C (ıslak)

D=Ceket boru dış çapı = 315 mm

D_i =Ceket boru iç çapı = 305,2 mm

d =Taşıyıcı borunun (polipropilen=PPRC) dış çapı = 225 mm

h =Boru ekseninden ölçülen gömme derinliği = 1100 mm

L =Boru hattı uzunluğu = 7000 m

c =Özgül ısı = 4186 (J/kgK)

Q =Akışkan debisi = 34 lt/s

Verilen değerler denklemlerde yerine konursa;

Denklem 6.9 den;

m_r =Polipropilen (taşıyıcı) borunun ısıl direnci = 1,733 (m °C/W)

Denklem 6.10 dan;

$m_j = \text{Toprağın ısı direnci} = 0,210 \text{ (m } ^\circ\text{C/W)}$

Denklemler 6.8 den;

$\dot{Q} = \text{Boru hattından çevreye olan ısı kaybı} = 38,78 \text{ W/m}$

ve denklemler 6.11 den;

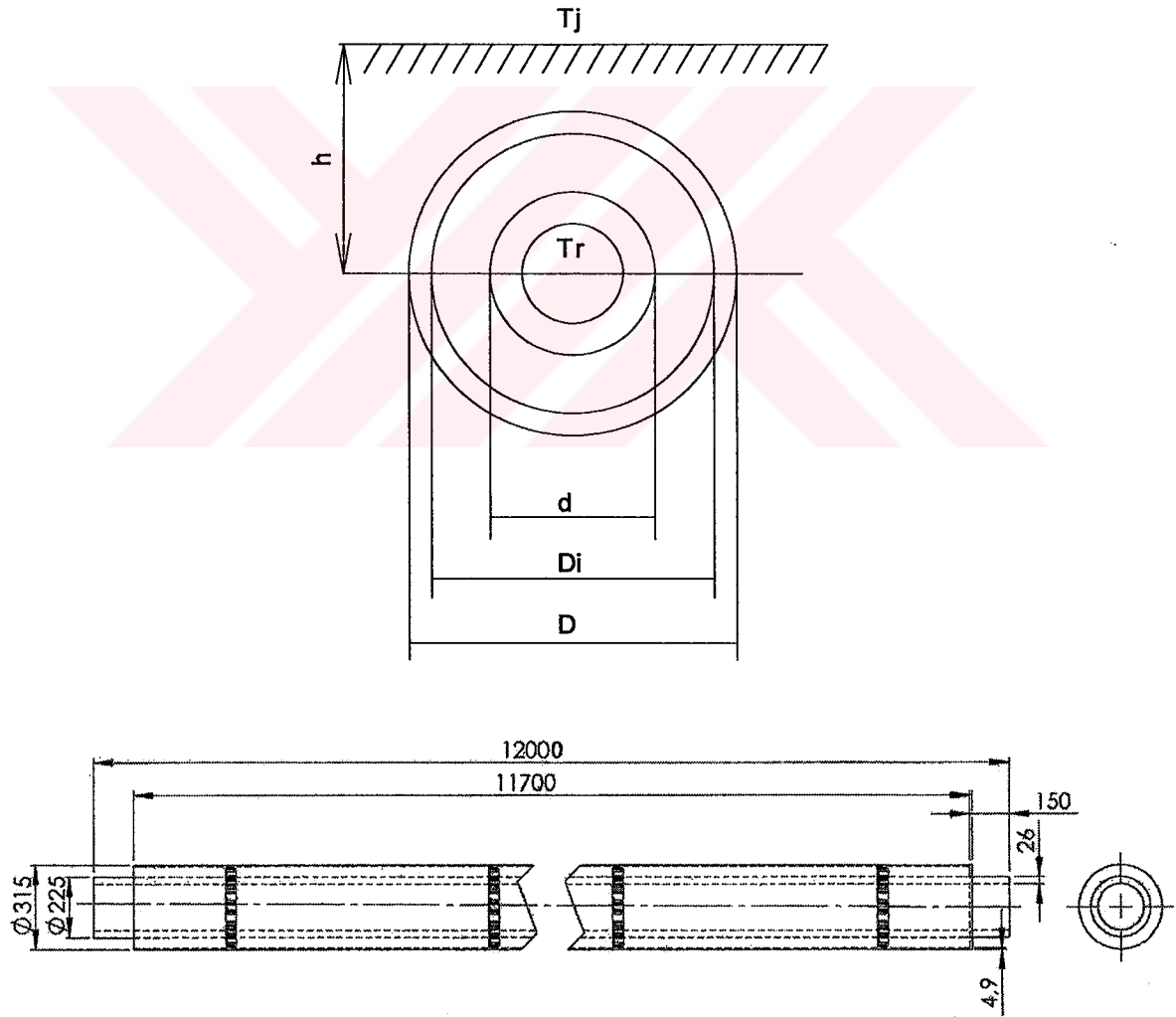
$\Delta t = \text{Sıcaklık farkı} = 1,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

bulunur.

Buradan da hat sonundaki akışkan çıkış sıcaklığı;

$t_s = 72 - 1,9 = 70,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak hesaplanır.

Şekil 6.26 da toprağa gömülü olan izolasyonlu termal borunun kesiti gösterilmiştir.



Şekil 6.26 İzolasyonlu termal boru kesiti

6.13.3 Pompa Hesabı

Armutlu Tatil Köyü Tesislerinin ortalama jeotermal su ihtiyacı 68 lt/s olarak tespit edilmiştir. Boru hattı iki adet izolasyonlu termal borudan (taşıyıcı boru polipropilen) ibarettir ve her bir borudan 34 lt/s su alınabileceği düşünilerek pompa hesabı buna göre yapılmıştır.

Boru hattının maksimum kotu 70 m, minimum kotu 10,62 m dir.Ekte boru hattının boykesiti ve piyozemetrik hattı verilmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda; Armutlu Tatil Köyü Tesislerinin ihtiyacı olan debiyi, 20 mSS na sahip pompanın karşılayacağı görülmüştür.

Kaynak çıkış noktası ile ısı merkezi arasındaki kot farkından dolayı oluşan basınç düşümü;

$$(Kaynak Kotu) - (Isı Merkezi Kotu) = 70 - 16.10 = 53.9 \text{ mSS}$$

Seçtiğimiz pompa 20 mSS'na sahiptir. Kullanabileceğimiz toplam basınç;

$$53.9 + 20 = 73.9 \text{ mSS}$$

Çizelge 6.31' den 34 lt/s debi ve 173 mm iç çap için basınç düşümü yaklaşık olarak 83 Pa/m okunur.

Çizelge 6.32'de verilen boru uzunluklarına göre her boruda oluşan basınç düşümü şu şekilde hesaplanmıştır;

$$(\text{Boru Uzunluğu}) \times (\text{Borunun Birim Boydaki Basınç Düşümü}) = (\text{Borudaki Basınç Düşümü}) \quad (6.12)$$

$$(164.3 - 0) \times (0.00830) = 1.36 \text{ mSS}$$

$$(772.4 - 164.3) \times (0.00830) = 5.05 \text{ mSS}$$

Diğer bütün borulardaki basınç düşümleri de aynı şekilde hesaplanır.

Tüm borudaki basınç düşümü ise her borudaki basınç düşümlerinin toplamından oluşmaktadır.

$$\Delta P_{\text{Top}} = \Delta P_{\text{Boru1}} + \Delta P_{\text{Boru2}} + \Delta P_{\text{Boru3}} + \dots + \Delta P_{\text{BoruN}} \quad (6.13)$$

$$\Delta P_{\text{Top}} = 0.00 + 1.36 + 5.05 \dots + 1.40$$

$$\Delta P_{\text{Top}} = 58.79 \text{ mSS} = 5.879 \text{ bar}$$

Hat sonundaki basınçlar (Noktadaki Basınçlar) ise Çizelge 6.32 de şu şekilde hesaplanmıştır:

$$(Pompa basma yüksekliği - o borudaki toplam basınç kaybı) + (Maksimum kot - o noktadaki kot) = Noktadaki basınç (mSS) \quad (6.14)$$

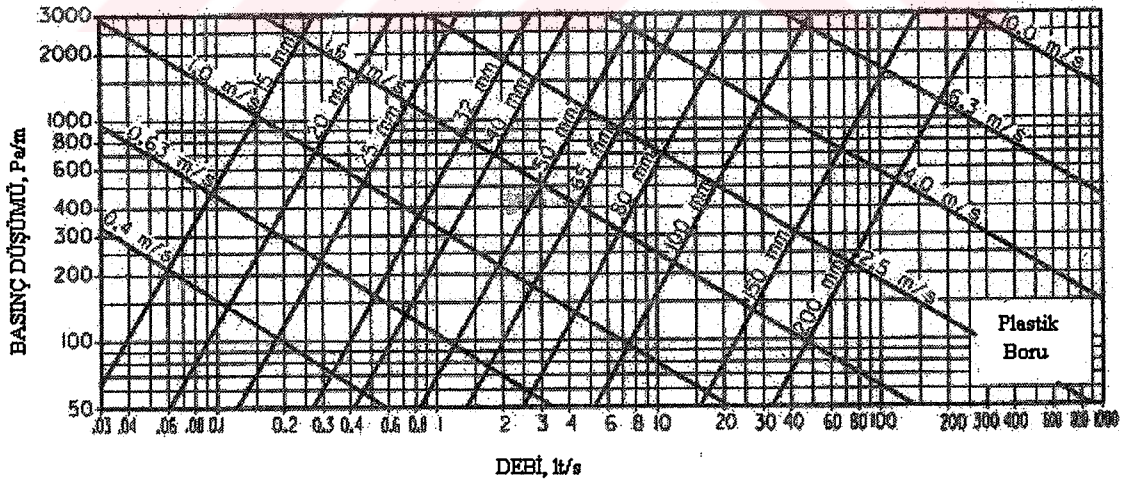
$$(20 - 1.36) + (70 - 64.20) = 24.44 \text{ mSS} = 2.44 \text{ bar}$$

$$[20 - (1.36 + 5.05)] + (70 - 50.61) = 32.98 \text{ mSS} = 3.298 \text{ bar}$$

şeklinde hesaplar tüm hat boyunca yapılır.

Hat sonundaki statik basınç 15,11 mSS olarak bulunur. Çizelge 6.32 de hat boyunca oluşan maksimum basıncın 46,88 mSS ve minimum basıncın 3,71 mSS olduğu görülmektedir. Bu değerler, maksimum debimiz olan 34 lt/sn göre hesaplanmıştır. İzolasyonlu termal borunun basınç sınıfı PN 7'dir. Borudaki akışkan debisi sıfır olduğu anda, en düşük kottaki statik basınç değeri Çizelge 6.32'den 59,38 (70-10,62) mSS olarak hesaplanır. Bu değer, borunun dizayn değeri olan 70 mSS' dan (7 bar) düşük olduğu için seçtiğimiz pompa uygundur. Ayrıca, yine Çizelge 6.32'den herhangi bir noktada vakumun oluşmadığı yani negatif bir basıncın olmadığı görülmektedir. Bu da yine bize seçtiğimiz pompanın uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.31 Plastik boru içindeki su için sürtünme kaybı (Ashre Handbook, 1997)



Çizelge 6.32 Boru hattı pompa hesabı

İç çap (mm)	173	Basma yüksekliği mSS	20	
Hat uzunluğu (m)	7000	Hatta Oluşan Min. Basınç mSS	3,71	
Basınç Düşümü (mSS/m)	0,00830	Hatta Oluşan Max. Basınç mSS	46,88	
Min. Kot (m)	10,62			
Max. Kot (m)	70,00			
		Borulardaki Basınç Kayıpları (mSS)	Toplam Basınç Kaybı (mSS)	Noktadaki Basınç (mSS)
Boru Uzunluğu	Kot	Debi (34 lt/sn)	34 lt/sn	34 lt/sn
0	70,00	0,00	0,00	20,00
164,3	64,20	1,36	1,36	24,44
772,4	50,61	5,05	6,41	32,98
984,7	55,65	1,76	8,17	26,18
1326,9	43,14	2,84	11,01	35,84
1479,5	44,69	1,27	12,27	33,04
1970,5	41,93	4,08	16,35	31,71
2369,4	36,53	3,31	19,66	33,81
2503,5	42,60	1,11	20,77	26,63
2652,5	37,02	1,24	22,01	30,97
3010,2	18,14	2,97	24,98	46,88
3062,5	19,02	0,43	25,41	45,57
3152,4	18,91	0,75	26,16	44,93
3564,0	52,6	3,42	29,58	7,82
3819,8	39,1	2,12	31,70	19,20
4049,3	52,1	1,90	33,60	4,30
4530,6	10,62	3,99	37,60	41,78
4732,5	22,25	1,68	39,27	28,48
4800,5	21,83	0,56	39,84	28,32
4959,9	23,15	1,32	41,16	25,69
5147,6	20,96	1,56	42,72	26,31
5324,5	26,02	1,47	44,19	19,79
5497,6	20,99	1,44	45,63	23,37
5525,1	22,11	0,23	45,85	22,04
5699,8	15,89	1,45	47,30	26,80
5874,8	25,11	1,45	48,76	16,13
6050,1	22,53	1,45	50,21	17,25
6158,6	24,73	0,90	51,11	14,16
6236,5	24,02	0,65	51,76	14,22
6434,6	32,89	1,64	53,40	3,71
6651,7	13,87	1,80	55,20	20,93
6819,6	15,95	1,39	56,60	17,45
6915,5	15,17	0,80	57,39	17,44
7083,6	16,10	1,40	58,79	15,11

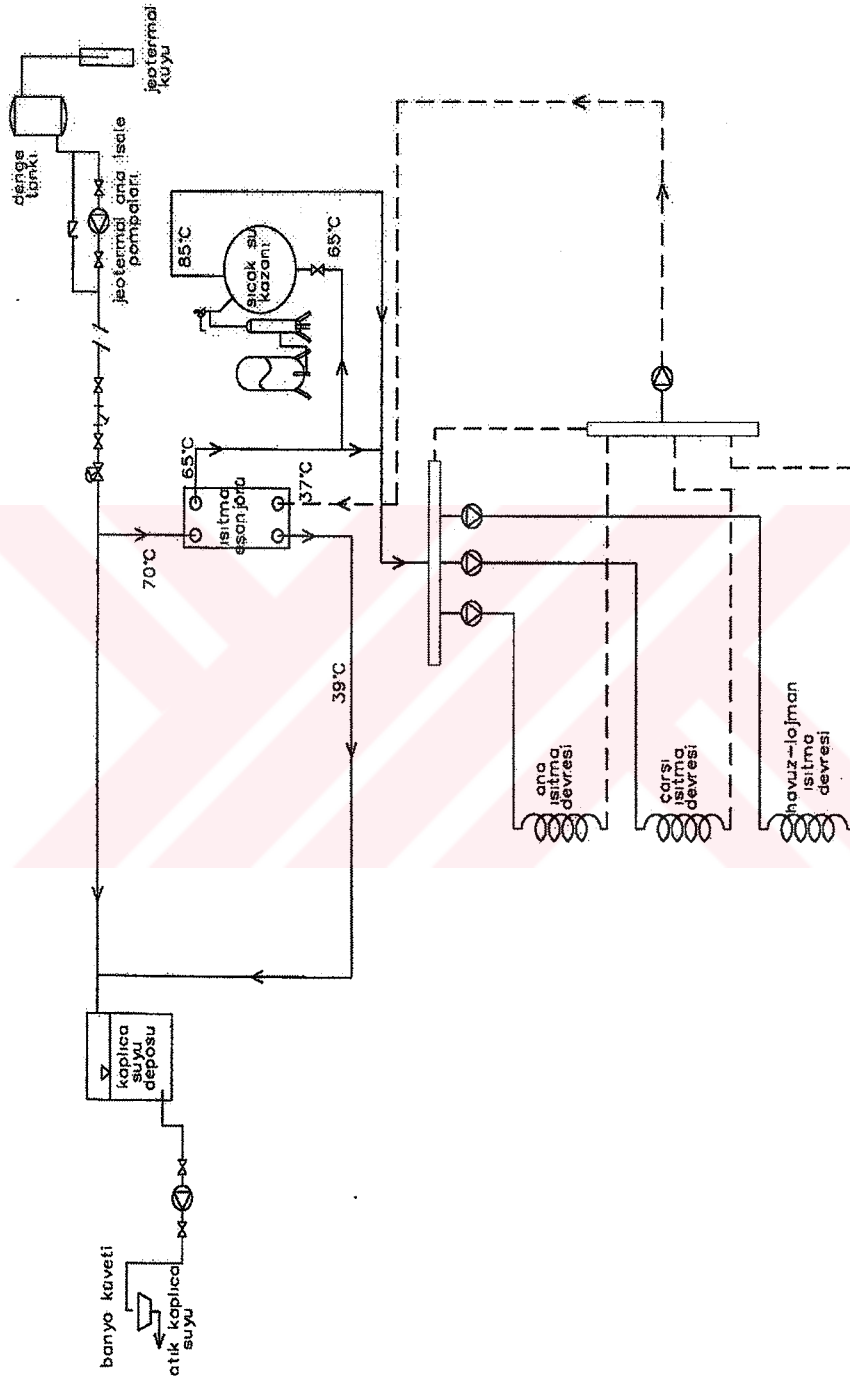
6.14 Armutlu Tatil Köyü Tesisi' nin Isıtma Sistemi

Armutlu Tatil Köyü Tesisi'nin ısıtılması jeotermal enerji ile sağlanmaktadır. Sistemin çalışması Şekil 6.27 de şematik olarak gösterilmiştir. Jeotermal kuyusundan elde edilen jeotermal akışkan önce denge tankına alınmakta oradan da jeotermal ana isale pompaları ile 2 hattan oluşan izolasyonlu termal borular vasıtasıyla yaklaşık 7 km basılarak Armutlu Tatil Köyü Tesisi' nde bulunan ısı merkezine ulaştırılmaktadır. Kuyu başında 72 °C olan akışkan sıcaklığı tesislerde 70 °C değerine düşmüştür. Isı merkezine 70 °C olarak gelen jeotermal akışkan burada bulunan conta plakalı ısı eşanjörlerine aynı sıcaklıkta girmekte ve ısısının bir kısmını kapalı devre ısıtma suyu akışkanına vererek eşanjörden 39 °C çıkararak kaplıca suyu deposuna gönderilmektedir. Kaplıca suyu deposundan da 39 °C olarak tesislerde bulunan dairelerin kütvetlerine tedavi amaçlı basılmaktadır. Kapalı devre suyu akışkanı da eşanjöre 37 °C olarak girmekte ve eşanjörden 65 °C çıkararak bütün tesisin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Isı merkezinde 3 adet conta plakalı ısıtma eşanjörleri bulunmaktadır. Her birinin ısıtma kapasitesi 2.315.000 kcal/h dir. Toplam ısıtma kapasitesi ise 6.945.000 kcal/h olmaktadır.

Herhangi bir nedenle ileride jeotermal akışkanın debisinde bir azalma olması durumunda sisteme 2 x 2.000.000 kcal/h 'lik iki adet sıcak su kazanı ilave edilmiştir. Şekil 6.27' de görüldüğü gibi bu kazanlar 65 °C / 85 °C su rejimi ile çalışmaktadır. Kazanlar, eşanjör sistemi ile istenilen su çıkış sıcaklığının elde edilememesi durumunda, devreye otomatik olarak girerek istenilen kapalı devre ısıtma suyu sıcaklığının (65°C) elde edilmesini sağlamaktadır.

Ayrıca jeotermal akışkanın tamamen tükenmesi durumu da düşünülerek sisteme 2x2.500.000 kcal/h 'lik iki adet sıcak su kazanı daha ilave edilmesi düşünülmüştür. Bu kazanlar ise, 65 °C / 90 °C su rejimi ile çalışacaktır.



Şekil 6.27 Armutlu Tatil Köyü ısıtma şeması

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Armutlu Tatil Köyü tesislerinin boru hattı ilk etapta ST 37 çeliğinden oluşmaktadır. Düşük karbonlu olan bu malzemenin korozyona karşı dayanıklı olmadığı görülmüştür. Deneme süresinin ilk ayı sonunda, kuyudan yaklaşık 2727 m uzaklıkta, boru hattının en düşük kotunda ve boru hattının basıncın en fazla olduğu yerlerdeki bazı boruların spiral kaynak yerlerinde patlamalar olmuş ve boru delinmiştir. Korozyona karşı herhangi bir tedbir almadan ST 37 düşük karbonlu çeliğin, boru malzemesi olarak kullanılmayacağı sonucuna varılmıştır.

Bu projede, Türkiye' de ilk defa akışkan sıcaklığı ve basıncın fonksiyonu olarak ayrıca su kimyasal içeriğine göre, taşıyıcı borusu PPRC (polipropilen) olan izolasyonlu termal boru ile jeotermal suyun 7 km sorunsuz bir şekilde taşınması sağlanmıştır. İzolasyonlu borular açılan hendeğe gömülmekte bu sayede betonarme kanal, galeri, mesnet gibi maliyet artırıcı işlemlerin hiçbirine gerek kalmamaktadır.

Jeotermal su, hem sitenin ısıtılmasında hem de dairelerde kaplıca amaçlı tedavide kullanılmaktadır. (1350 daire ve 4 tane yarı olimpik yüzme havuzunun ısıtılması)

Jeotermal suyun korozyon olmasından dolayı ısı merkezi dizaynında kullanılan ST 37 çelik malzemeler epoksi kaplama ve galvaniz işlemi ile korozyona karşı dayanıklı hale getirilmiştir.

Sahip oldukları kompakt yapı, yüksek ısı performansı, kolay temizlenebilir, korozyona dayanıklı malzemedен yapılmış olmaları nedeniyle conta-plakalı ısı değiştiricileri kullanılmıştır. Plaka malzemesi jeotermal suyun kimyasal analizine göre titanyum olarak seçilmiştir. Conta malzemesi olarak etilen-propilen polimer (EPDM) yine suyun kimyasal analizine göre tercih edilmiştir.

Isı merkezindeki bütün pompa ve hidroforlar frekans kontrollü olup korozyona karşı dayanıklı malzeme olan paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Frekans kontrol sayesinde hem enerji hem de jeotermal akışkan tasarrufu sağlanmaktadır.

Enerji ihtiyacı gittikçe artan ve tükettiği enerjinin önemli bir bölümünü döviz ödeyerek ithal edilen petrol ve doğalgazdan karşılayan ülkemiz için jeotermal kaynakların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine oranla daha ucuz, yenilenebilir, temiz ve yerli enerji kaynağı olması nedeniyle jeotermal kaynakların araştırılması ve geliştirilmesine öncelik

verilmeli, bu sektörde yatırımlar yapılmalıdır. Bu sayede ÷lkemize önemli ölçüde ekonomik ve sosyal katkı sağlanmış olacaktır.

Jeotermal enerji ile ısıtma sistemi; ısının kaynağı, ısının taşınması ve kullanılması olmak üzere üç ana grupta toplanır. Kaynağın bulunduğu her iklim bölgesinde yararlanma faktörü farklıdır. Bu yüzden optimal çözüm için mutlaka fizibilite etüdüleri konunun uzmanları tarafından yapılmalıdır. Jeotermal kaynağın ve üretilen akışkanın fiziko-kimyasal karakterlerini belirtmek amacı ile her türlü test çalışmaları yapılmadan ekonomik anlamda yatırım yapılmamalıdır.

Kabuklaşmanın önlenmesi için uygulanacak yöntemler, jeotermal bölgenin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriğinin bilinmesi, bu ortamlarda kullanılacak malzemelerin nasıl davranış göstereceklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle, jeotermal kaynakların işletilmeye başlatılmadan önce kimyasal analizlerinin yapılması, kullanılacak malzemelerin seçimi ve uygulamanın uzun ömürlü olması bakımından büyük önem taşır. Önceki yıllarda, jeotermal enerjinin işletilmesinde sorun yaratan kabuklaşma ve korozyon sorunları kimyasal madde inhibitörü enjeksiyonu ile tamamen çözümlenmiştir.

Jeotermal uygulamalarda karşılaşılan farklı korozyon türleri göz önüne alındığında, sistemde kullanılacak uygun malzemeleri seçmek çok zordur. Akışkanların kimyasal bileşimleri değiştiği için genelleme yapmak güç olmaktadır. Kullanılan malzemelerin korozyon oranının ölçülmesi, dayanıklı malzeme seçiminde önemlidir. Malzeme seçiminden önce, akışkanın kimyasal analizini yaparak korozyona dayanıklı alaşım malzemeler belirlemek, korozyona sebep olan etmenleri ortamdan uzaklaştırmak ve sistemde metalik malzeme kullanımını en aza indirmek korozyonun önlenmesi bakımından önemlidir.

Asit özelliği olan jeotermal akışkanlarda, korozyonu önlemek için, asit karakterli inhibitörler, akışkanın asitliğini daha da arttıracığı için, kullanılması tavsiye edilmez.

KAYNAKLAR

Akkurt, S., (1991), "Plastik Malzeme Bilgisi", İstanbul

Akkuş, M., (1990), "Türkiye'de Jeotermal Enerji ile Konut ve Sera Isıtılmasında Yeni Gelişmeler", Türkiye Jeotermal Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği-2, Ankara.

Aldanmaz, A., (2004), Yüksek Lisans Tezi, "Plakalı Isı Değiştiriciler ve Plakalı Isı Değiştiricilerde Isı Transfer Analizi", YTÜ, İstanbul.

Bülbül, A., (1992), "Türkiye' de Jeotermal Enerji Potansiyeli Üzerine Özel Görüşme", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Bülbül, A., (1992), "Türkiye' deki Kuyu ve Termal Kaynakların Elektrik Dışı Kullanımına Yönelik Görünür Kapasiteleri", MTA Genel Müdürlüğü-Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Yayını, Ankara.

Başkır, H., (1992), Yüksek Lisans Tezi, "Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Isıtma Amaçlı Kullanım Potansiyeli ve Afyon Şehrinin Hava Kirliliğinin Azaltılmasında Jeotermal Enerjiden Yararlanma İmkanları", YTÜ, İstanbul.

Dokuz, İ., (1989), "Türkiye' de Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi" 1989 Sanayi Kongresi Bildirileri, MMO Yayını, no: 134/1, 4-9 Aralık 1989.

Dokuz, İ., (1990), "Erciş ve Simav İlçelerinde Jeotermal Merkezi Isıtma İmkanları", Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği-2, Ankara.

Dokuz, İ., (1990), "Ziladere Jeotermal Alanından Erciş İlçesinin Isıtılması Ön Değerlendirme Raporu", MTA Genel Müdürlüğü-Sondaj Dairesi Raporu, Ankara.

Dokuz, İ., (1992), " (Türkiye'deki Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Jeotermal Isıtma Sistemleri Üzerine Özel Görüşmeler" MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Gülgör, A., (2001), "Yalova Armutlu Jeotermal Sahası İhlas Holding AR-3 Kuyusu ve Akışkanı Test Raporu", Ankara (Yayımlanmamış).

İller Bankası Genel Müdürlüğü., (2000), "Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu Bildirileri", 20-21-22 Kasım 2000, Macunköy-Ankara.

Karal, K., (1988), "Geothermal Activity In Turkey" Geothermics-vol:17-no:2/3

Kaya, F., (1983), "Plastikler Katkı Maddeleri", İstanbul.

Kılıçaslan, K, Dizayn Alt Yapı Ürünleri Kataloğu, "Bölgesel Isıtma ve Jeotermal Borular", Dizayn Group, İstanbul.

Mertoğlu, O., "Türkiye' de Jeotermal Enerji Uygulamaları ve Gelişimi"

Mertoğlu, O., (1992), "Türkiye'de Jeotermal Isıtma Sistemleri Üzerine Özel Görüşmeler", Orme Jeotermal A.Ş., Ankara.

Orme Jeotermal A.Ş., (1992), " Jeotermal Enerji Nedir? Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal Enerji Kullanımı Özet Bilgi", Orme Jeotermal A.Ş. yayını-no:92/01, Ankara.

Öz, Ş., (1999), Yüksek Lisans Tezi, " Türkiye'de Çevre Dostu Jeotermal Enerjiden Isıtmada Yararlanmanın Avantajları ve Uygulama Örnekleri", YTÜ, İstanbul.

Paksoy, H., Demirel, Y., Başçetinçelik, A., Öztürk, H., (1994), "Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu'94 " 27-30 Eylül Bildirileri Metinleri, Denizli (86-94).

"Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu 2001", Ankara.

Şimşek, Ş., (1986), "Türkiye' de Jeotermal Enerji Aramaları ve Beklentiler", Türkiye 4. Enerji Kongresi Özel Oturum Tebliğleri, İzmir.

Şimşek, Ş., (1988), "Importance of Geothermal Energy In Turkey", Proceedings of International Mediter Congress on Solar & Other New-Renewable Energy Resources, Antalya-Turkey.

Şimşek, Ş., Demir, A., (1990), "Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Elektrik Dışı Kullanım Potansiyeli, Mevcut ve Muhtemel Uygulamalar", Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri-2, Ankara.

Şimşek, Ş., Okandan, E., (1990), "Geothermal Energy Development In Turkey", Geothermal Resources Council Transactions-vol:14-part 1

Uğur, Z., (1994), "Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu'94", Denizli, (76-78).

Yaşar, H., (1992), "Plastikler Dünyası", TMMOB, Ankara.

Yılmazer, S., Gevrek, A., (1990), "Dikili (İzmir) Jeotermal Sistemi ve Yöre Suların Isıtmada Kullanılması", Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri-2, Ankara.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.edstrom.com

[2] www.corrosion-doctors.org

[3] www.proje.dizayngroup.com

EKLER

Ek 1 İhlas Armutlu Tatil Köyü İsale Hattı Boy Kesiti



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.04.1979

Doğum yeri Antalya

Lise 1993-1997 Antalya Karatay Süper Lisesi

Lisans 1997-2001 Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik/Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum(lar)

4.2003-10.2004 İhlas Yapı A.Ş.

