

Muhammed İkbal YILDIZ



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ELAZIĞ-KARAKOÇAN JEOTERMAL
KUYUSUNDA KUYU TAMAMLAMA
TESTLERİ VE DELPHİ İLE
PROGRAMLANMASI**

Muhammed İkbal YILDIZ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

HAZİRAN 2019

Muhammed İkbâl YILDIZ tarafından hazırlanan "ELAZIĞ KARAKOÇAN KUYU TAMAMLAMA TEST ANALİZLERİ VE DELPHİ İLE PROGRAMLANMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TEYMEN

Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 10/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Muhammed İkbal

YILDIZ



10/06/2019



**ELAZIĞ – KARAKOÇAN JEOTERMAL KUYUSUNDA KUYU
TAMAMLAMA TESTLERİ VE DELPHİ İLE PROGRAMLANMASI**

Muhammed İkbâl YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

ELAZIĞ – KARAKOÇAN JEOTERMAL KUYUSUNDA KUYU TAMAMLAMA
TESTLERİ VE DELPHİ İLE PROGRAMLANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed İkbal YILDIZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Jeotermal enerjiyi içeren yeraltı rezervuar sistemlerinin yerinde ve kuyu akış koşulları altında özelliklerinin (geçirgenlik, gözeneklilik, akışa kapalı ya da uygun olup olmaması vb.) belirlenmesi, bu sistemlerin uygun şekilde geliştirilmesi ve işletilmesine yönelik kararların alınmasında ve geleceğe yönelik performans tahminlerinin yapılmasında kullanılan modellerin oluşturulmasında son derece önemlidir. Kuyu tamamlama testleri bu amaçları gerçekleştirmek için kullanılan en önemli araçlardır. Kuyu tamamlama testlerinden elde edilen bilgiler, günümüz teknolojisi ile birleştirildiğinde, rezervuarın gerçekçi bir şekilde tanımlanmasını ve üretim/rezervuar performansının değerlendirilmesini sağlar. Dolayısıyla, en doğru yaklaşım elde edilecek kuyu test analiz bilgilerinden oluşturulan veri tabanının jeotermal sistemlerin tanımlanması ve uygun şekilde hesaplanmasını sağlayan programın oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada, jeotermal sistemlerde kuyu tamamlama testlerinde kullanılacak yöntemlerin özellikleri hakkında bilgilerden başlanarak, kullanılan kuyu tamamlama test tipleri, bu testlerin tasarlanması, değerlendirilmesi, analizlerden elde edilen veri tabanı ile oluşturulmuş modern bir bilgisayar programı sunulacaktır. Bu program son yıllarda teknolojik gelişmelerle paralel olarak Delphi Programlama dili ile kuyu tamamlama testleri alanında da önemli ölçüde ilerleme kaydedecektir. Modern modelleme ve analiz yöntemleriyle geliştirilecek olan bilgisayar programı hakkında bilgiler sunulacak olup, Türkiye'deki Aydın - Söke jeotermal sahalarında yapılan çeşitli kuyu testlerine ait saha uygulamaları yine bu çalışmada yer verilecek ve bu testlerin değerlendirilmesi, analizleri hakkında bilgiler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler : Jeotermal, Sondaj, Delphi, Sıcaklık, Basınç

Sayfa Adedi : 73

Danışman : Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

GEOHERMAL WELL COMPLETION TESTS IN ELAZIG – KAROCAN and
PROGRAMMING with DELPHI
(M. Sc. Thesis)

Muhammed İkbal YILDIZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2019

ABSTRACT

Determining the properties of underground reservoir systems containing geothermal energy under site and well flow conditions (permeability, porosity, whether it is closed to flow or not, etc.), making decisions about the proper development and operation of these systems and creating the models used in making future performance forecasts is extremely important. Well completion tests are the most important tools used to achieve these objectives. When the information obtained from the well completion tests is combined with today's technology, the reservoir is defined in a realistic way and the production / reservoir performance is evaluated. Therefore, the most accurate approach is to create a program that allows the identification and proper calculation of geothermal systems of the database formed from well test analysis information to be obtained.

In this study, starting from the information about the properties of the methods to be used in well completion tests in geothermal systems, the well completion test types used, the design and evaluation of these tests, a modern computer program created with the data obtained from the analyzes will be presented. In parallel with the technological developments, this program will make significant progress in the area of well completion tests with Delphi Programming language. Modern modeling and analysis methods with will be presented information about the computer program that will be developed, Aydin in Turkey - Soke geothermal field applications of various well tests in the field will be given the floor again this study and evaluation of these tests, information about the analysis will be presented.

Key Words : Geothermal, Drilling, Delphi, Temperature, Pressure
Page Number : 73
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yasin ERDOĞAN

TEŞEKKÜR

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğumuz bu çalışma, yeraltı kaynakları araştırılmasında kullanılan kuyu tamamlama testlerinin günümüzün teknolojik gelişmeleri ile birleştirilerek hızlı, metodik ve geliştirilebilir programlamaları kapsamaktadır. Bu çalışma çerçevesinde literatür taraması yapılmış ve konu hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana öncülük eden, tez danışmanım Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN'a, tezin programlama dilinin oluşturma aşamalarında görüş ve önerilerini benimle paylaşan ve desteğini eksik etmeyen Muhammed Enis YILDIZ'a şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca çalışmalarım sırasında küçük veya büyük yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
RESİMLERİN LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Jeotermal Kuyularda Kuyu Tamamlama Test Çalışmaları	2
2.1.1. Afyon Ömer – Gecek AF-16 Kuyu Tamamlama Basınç Testleri.....	2
2.1.2. Afyon Ömer – Gecek E-260 KTH Basınç/Azalım Testleri	3
2.1.3. Afyon Ömer – Gecek AF-21/R-260 KTH Girişim Testleri	4
2.1.4. Balçova – Narlıdere BD-2 Kuyu Tamamlama Fall Off Testleri.....	5
2.1.5. Elazığ Beydağı II Kuyu Tamamlama Sıcaklık Testleri.....	6
3. MATERYAL VE METOD	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Jeotermal Kuyular	8
3.1.2. Jeotermal Kuyularda KTH Testlerinde Kullanılan Donanımlar	10
3.2. Metot.....	16
3.2.1. Jeotermal Kuyularda Kuyu Tamamlama Testleri	16

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	26
4.1. Elazığ Karakoçan Jeotermal Kuyusu.....	26
4.2. Elazığ EKK-1 Kuyusunda Uygulanan Kuyu Tamamlama Testleri	28
4.2.1. Sıcaklık Testleri	28
4.2.2. Su Kaybı Testleri	33
4.2.3. Çok Debili Enjeksiyon Testleri.....	36
4.2.4. Üretim Test Çalışmaları	37
4.3. Delphi ile Program Veri Tabanı ve EKK-1 Kuyusu ile Eşleştirilmesi	38
4.3.1. Programa Giriş	39
4.3.2. Kullanıcı Paneli.....	40
4.3.3. Analiz ve Raporlama Paneli.....	41
4.3.4. Sıcaklık ve Basınç Testi Uygulaması	42
4.3.5. Su Kaybı Testi ve Uygulama	50
4.3.6. Çok Debili Enjeksiyon Testi ve Uygulaması.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Jeotermal Kuyularda Kullanılan Basınç ve Sıcaklık Cihazları.....	11
Çizelge 4.1. EKK-1 Kuyu Sıcaklık ve Basınç Test Ölçüm Cihaz Modelleri	27
Çizelge 4.2. EKK-1 Kuyu Statik Sıcaklık ve Derinlik Değerleri.....	29
Çizelge 4.3. EKK-1 Kuyu Dinamik Sıcaklık ve Basınç Değerleri.....	31
Çizelge 4.4. EKK-1 Jeotermal Kuyusu Su Kaybı ve Derinlik Değerleri.....	33
Çizelge 4.5. EKK-1 Çok Debili Enjeksiyon Basınç ve Debi Değerleri.....	36

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. AF-16 Çok Debili Basınç Testine ait Basınç ve Debi Değişimi	3
Şekil 2.2. AF-16 Kuyu Dibi Akış Basınç ve Debi Değişimi	3
Şekil 2.3. R-260 Basınç Azalım ve Yükselim Testi Verileri.....	4
Şekil 2.4. AF-21 / R-260 Girişim Test Debi, P ve T Zaman Grafiği.....	5
Şekil 2.5. BD-2 Kuyusu Enjeksiyon – Fall Off Test Modeli.....	6
Şekil 2.6. Statik Sıcaklığın Derinliğe Göre Profili	6
Şekil 2.7. Dinamik Sıcaklığın Derinliğe Göre Profili.....	7
Şekil 3.1. Jeotermal Kuyularda Testler, Üretim ve Zaman Profili	9
Şekil 3.2. Jeotermal Kuyularda Gerçek Üretim ve Zaman Profili	10
Şekil 3.3. Jeotermal Kuyu İçi Ölçüm Sistemin Şematik Görünümü	10
Şekil 3.4. Dikey Üretimde Uç Borunun Şematik Görünümü	12
Şekil 3.5. Genelleştirilmiş Kuyu Başı Üretim Sistemi	13
Şekil 3.6. Jeotermal Kuyularda Kullanılan Girişim Test Sistemi.....	14
Şekil 3.7. İnhibitör Basma Sistemleri	15
Şekil 3.8. Mini Seperatör ve Yoğuşturucu.....	15
Şekil 4.1. EKK-1 Kuyu Formasyonu	27
Şekil 4.2.EKK-1 Statik Sıcaklık – Derinlik Profili.....	29
Şekil 4.3.EKK-1 Dinamik Sıcaklık – Derinlik Profili	31
Şekil 4.4..EKK-1 Dinamik Basınç – Derinlik Profili	32
Şekil 4.5. EKK-1 Dinamik Sıcaklık – Basınç Profili.....	32
Şekil 4.6. EKK-1 Su Kaybı Zon Profili	34
Şekil 4.7. EKK-1 Su Kaybı Testinde Isınma Sırasındaki Eğriler	35
Şekil 4.8. EKK-1 Üretim Zonundaki Çok Debilili Enjeksiyon ve Basınç Profili	37

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. EKK-1 Jeotermal Kuyusu.....	28
Resim 4.2. İSTE Analiz Programı Giriş Ekranı	39
Resim 4.3. İSTE Analiz Programı Panel Ekranı	40
Resim 4.4. İSTE Analiz Programı Ekranı	41
Resim 4.5. İSTE Analiz Programı Statik Sıcaklık-Derinlik Ekranı.....	42
Resim 4.6. İSTE Analiz Programı Statik Sıcaklık-Derinlik Raporu	43
Resim 4.7. İSTE Analiz Programı Dinamik Sıcaklık-Basınç Ekranı	44
Resim 4.8. İSTE Analiz Programı Dinamik Basınç-Derinlik Raporu.....	45
Resim 4.9. İSTE Analiz Programı Dinamik Sıcaklık-Derinlik Raporu.....	47
Resim 4.10. İSTE Analiz Programı Dinamik Sıcaklık-Basınç Raporu	49
Resim 4.11. İSTE Analiz Programı Su Kaybı Test Ekranı	50
Resim 4.12. İSTE Analiz Programı Su Kaybı Test Raporu	52
Resim 4.13. İSTE Analiz Programı Çok Debili Enjeksiyon Test Ekranı.....	53
Resim 4.14. İSTE Analiz Programı Çok Debili Enjeksiyon Test Raporu.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

°C

Santigrat

°K

Kelvin

°F

Fahrenhayt

Kısaltmalar

Açıklamalar

lt

Litre

sn

Saniye

m

Metre

psi

İnç Kare Başına Pound

KPG

Basınç Elementi

KTG

Sıcaklık Elementi

CaCO₃

Kalsiyum Karbonat

CO₂

Karbondioksit

HCL

Hidroklorik Asit

Ph

Asit ve Bazik Ölçü Birimi

t

Zaman

h

Saat

1.GİRİŞ

Geçen son yılların ardından enerji fiyatlarında ve talebindeki artış, yenilebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması, toplumsal çevre bilincinin gelişmesi, yerli kaynak kullanımına olan ilginin artması, jeotermal enerjiye olan ilgiyi arttırmıştır. Jeotermal enerji kaynakları açısından zengin olan ülkemizde jeotermal kuyu sayısı her geçen gün artmaktadır. Jeotermal kuyuların optimum verimli işletilmesine yönelik yapılan kuyu tamamlama test çalışmaları yine aynı önemi ve titizliği her geçen gün artan çalışmalardır. Bu bağlamda gerçekleştirilmesi gereken teknoloji ile birleştirildiğinde elde edilecek analitik sonuçların daha hızlı ve net ulaşılmasını sağlayacaktır.

Jeotermal kuyular kazılırken, sondaj operasyonu sırasında ve sondaj bitiminde, rezervuar hakkında olabildiğince fazla ve sağlıklı bilgi almak amacıyla bir dizi kuyu tamamlama testleri operasyonu gerçekleştirilir. Bu kuyu tamamlama testlerin, uygulama sırası ve tekniğe uygun olarak gerçekleştirilmesiyle alınacak sağlıklı veriler, yorumların hataya yer vermeyecek şekilde yapılmasını sağlayacaktır (Özüdoğru, 2015). Kuyu tamamlama testlerinden alınacak sonuçlar, ileri dönemlerde yapılacak olan testlerden elde edilecek sonuçların yorumunda odak ve hedef noktası oluşturacaktır. Bu da işletme stratejisi ve ekonomik işletme yönünden oldukça önemlidir. Kuyu tamamlama testleri bu amaçları gerçekleştirmek için jeotermal kuyularda gerçekleştirilen temel prensiplerin tamamını kapsamaktadır. Bu testler hedef derinliğe kadar kuyunun sondajının tamamlanması ve kuyu tamamlama faaliyetlerinin sonrası olan üretim aşamasının boyunca da süren çalışmaların bütünüdür.

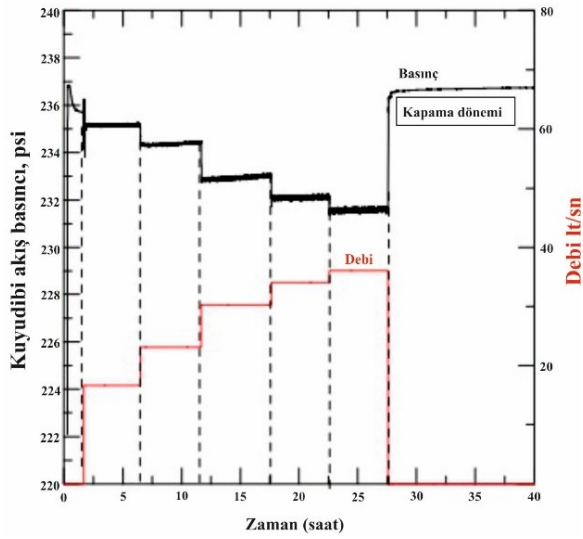
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Jeotermal Kuyularda Kuyu Tamamlama Test Çalışmaları

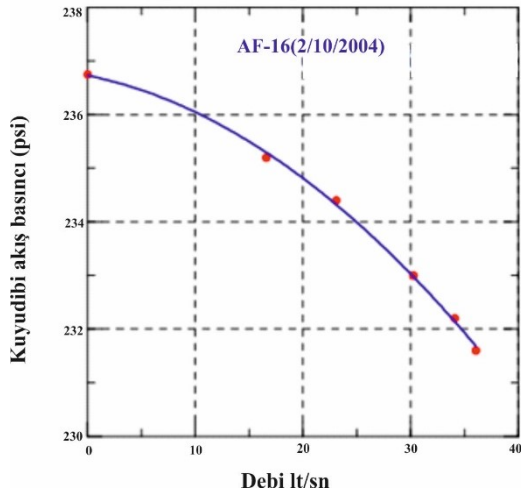
Jeotermal Enerji, yer çekirdeğinde bulunan ısının yeryüzüne doğru yükselmesi ile jeotermal enerji ortaya çıkmaktadır (Bağcı, 2019). Potansiyel ve performanslarının belirlenmesi ve işletilmesine yönelik kararların alınması kuyu tamamlama test çalışmaları sonucu elde edilen sonuçlar ile yönlendirilmektedir. Bu testler neticesinde kuyu potansiyel, geometrisi, sıcaklık eğrisi ve kuyu basınç dinamik profilleri oluşturulur.

2.1.1. Afyon Ömer - Gecek AF-16 Kuyu Tamamlama Basınç Testleri

İTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği bölümünde ev ısıtma hedefi ile yola çıkılan Ömer-Gecek Jeotermal Sahasında gerçekleştirilen çalışmada kuyu tamamlama basınç/verimlilik ve sıcaklık testlerinden oluşturulan veriler neticesinde kuyu üretim performansı oluşturulmuştur. AF-16 kuyusu 218 m derinliğine sahip, statik sıcaklık 111,5 °C ölçülürken, 174 m derinliğe inilerek vana kontrollü çok debili enjeksiyon testleri gerçekleştirilmiştir. Teste ait basınç/debi-zaman davranışı Şekil 2.1'de gösterilirken, debi değerleri savak ölçümlerinden buharlaşma düzeltilmesi yapılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi AF-15 kuyusunda 5 akış periyodu çok debili akış sonrası akış testleri yapılmıştır. Oluşturulan test periyotlarının sonunda, ortalama 12,5 saatlik kapama (Basınç Yükselim) anı tasarlanmış ve kuyu dibi basınç verileri ile Şekil 2.1'de zamana göre karşılaştırılmıştır (Onur,2011). Üretim akış performansını veren matematiksel eşitlik ile statik basınç 236,73 psi olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. AF-16 Çok Debili Basınç Testine ait Basınç ve Debi değişimi (Onur, 2011)

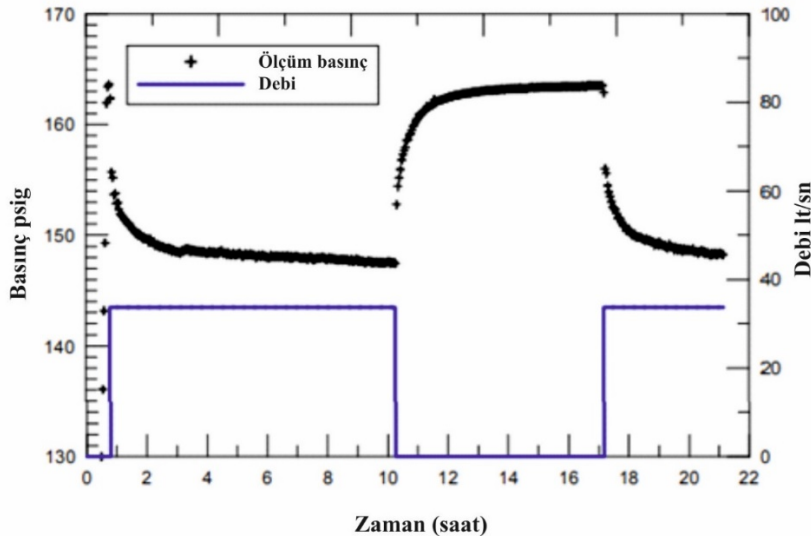


Şekil 2.2. AF-16 Kuyu Dibi Akış Basınç ve Debi Değişimi (Onur, 2011)

Debi ve zaman karşılaştırılması sonucu oluşan basınç ve debi değerleri neticesinde AF-16 kuyusu için akışın optimum verisi 2821 lt/s olarak hesaplanarak Şekil 2.2'de gösterilmiştir ve bu veri kuyunun oldukça üretken ve üretkenliğe sahip olduğuna işaret etmektedir (Onur, 2011).

2.1.2. Afyon Ömer - Gecek R-260 Kuyu Tamamlama Basınç/Azalım ve Yükselim Testleri

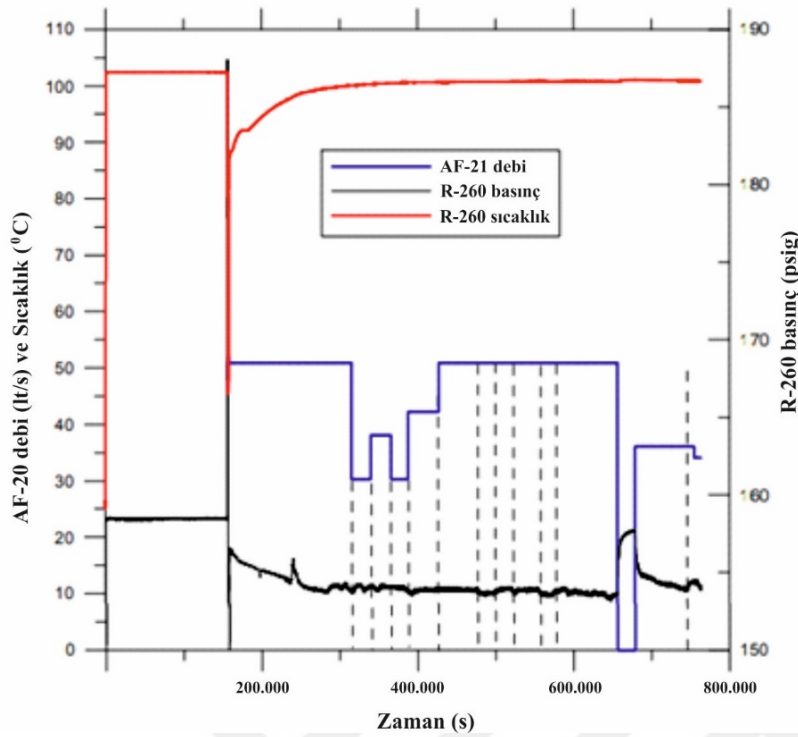
Ömer - Gecek jeotermal sahası AFJET proje kapsamında R-260 kuyusunda 115 m'de yapılan basınç azalım/yükselim testi Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Toplam 166 metre olan kuyu 104 °C sıcaklığında jeotermal su üretimi gerçekleştirilmiştir (Onur, 2011).



Şekil 2.3. R-260 Basınç Azalım ve Yükselim Testi Basınç/Debi Verileri (Onur, 2011)

2.1.3. Afyon Ömer - Gecek AF-21/R-260 Kuyu Tamamlama Girişim Testleri

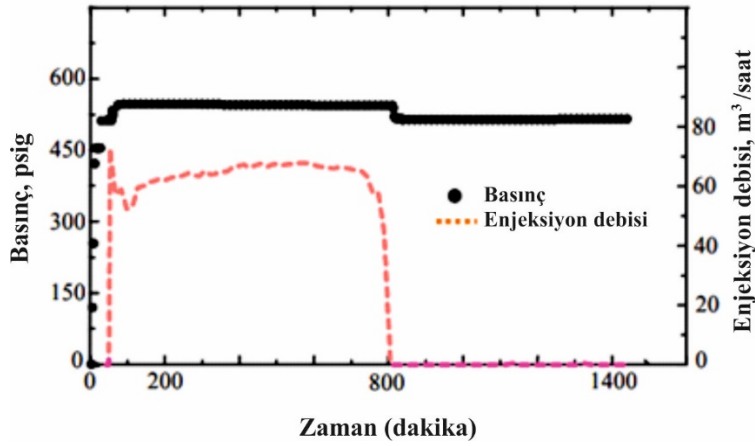
Afyon Ömer - Gecek AF-21/R-260 jeotermal kuyusunda oluşturulan girişim testinde, R-260 arama kuyusu, AF-21 ise aktif kuyu olarak işletilmiştir. R-260'da iller bankası quartz basınç ve sıcaklık algılayıcısı basınç ve sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Şekil 2.4'de AF-21 kuyusu debi, R-260 basınç ve sıcaklık-zaman grafiği gösterilmektedir. Kuyu tamamlama girişim testi savak ölçümleri 16,5 ile 17,0 cm (50,89 lt/sn) arasında değişmiştir. İlk 100 sn içerisinde R-260, AF-21'de üretimi başlatmak için gaz basılma işlemi uygulanmıştır çünkü çok erken zamanlarda R-260 kuyusunda basınç AF-21'deki gaz enjeksiyonu nedeniyle artıyor. Bu gözlem iki kuyu arasında oldukça iletken yapının olduğunu işaret etmektedir. Bir ilginç nokta da, AF21'de üretimin başlamasıyla birlikte R260'da ani sıcaklık düşümü (yaklaşık 102 °C 'de 45 °C ani bir düşüş) oluyor. Bu düşümün nedenin sıcaklık ölçüm aletinde oluşan bir problemden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca dikkat edilecek olursa, sıcaklıktaki bu ani düşümden sonra, sıcaklık algılayıcısının 102 °C statik sıcaklık değerine yaklaşık 100000 saniye (28 saat) sonra ulaştığı görülmektedir (Onur, 2011).



Şekil 2.4. AF-21 / R-260 Girişim Testi Debi, P ve T Zaman Grafiği (Onur, 2011)

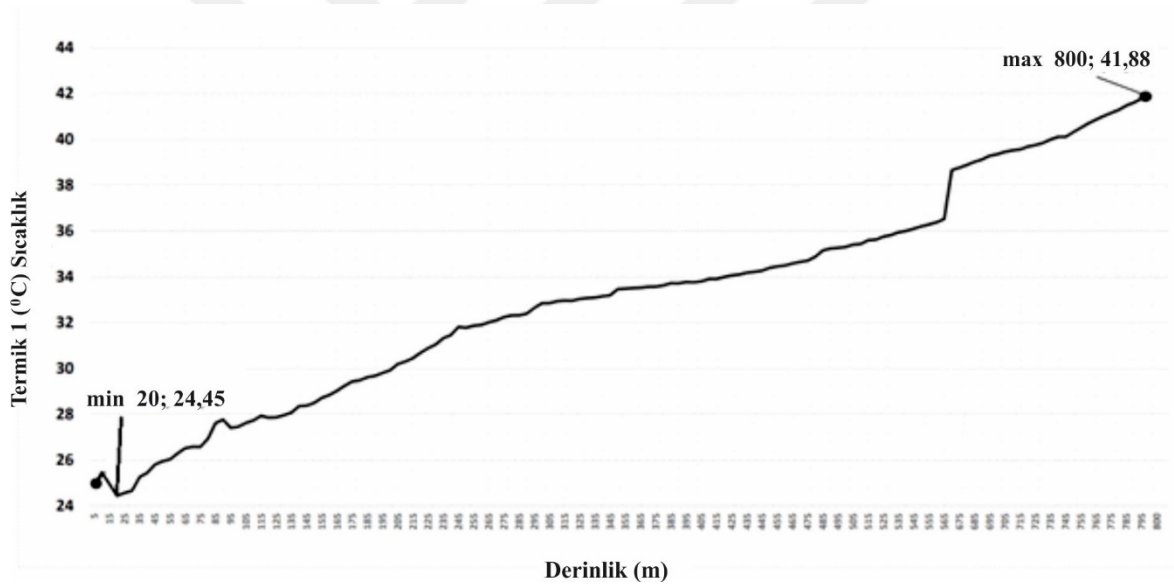
2.1.4. Balçova - Narlıdere BD-2 Kuyu Tamamlama Fall Off Testleri

Balçova - Narlıdere jeotermal sahası projesi kapsamında BD-2 kuyusunda 2000 yılında yapılan enjeksiyon / Fall of testi ve analizine ait bilgiler sunulmaktadır. BD - 2 kuyusunun derinliği 377,2 metre ve kuyu yüzeyden 348 metreye kadar koruma borusu ile teçhiz edilmiş olup 348 – 677,2 metrajları arası toplan 329,2 metre çıplaktır. TPAO tarafından mekanik Bourdon Tüpü basınç algılayıcısı ile BD - 2'de 414 metrede basınç ölçümleri alınmıştır (Satman, 2002). Test öncesinde kuyuda statik basınç değeri 513 psi ve statik sıcaklığı 87 °C 'dir. Şekil 2.5'de BD - 2 enjeksiyon / Fall-Off testi sırasındaki basınç ve debi - zaman değişim grafiği görülmektedir. Test 12 saat enjeksiyon, 12 saat Fall Off olarak tasarlanmıştır. Enjeksiyon için kullanılan suyun sıcaklığı Şekil 2.5'de 65 °C olarak belirlenmiştir (Onur, 2011).



Şekil 2.5. BD - 2 Kuyusu Enjeksiyon - Fall Of Testi Veri Modeli (Onur, 2011)

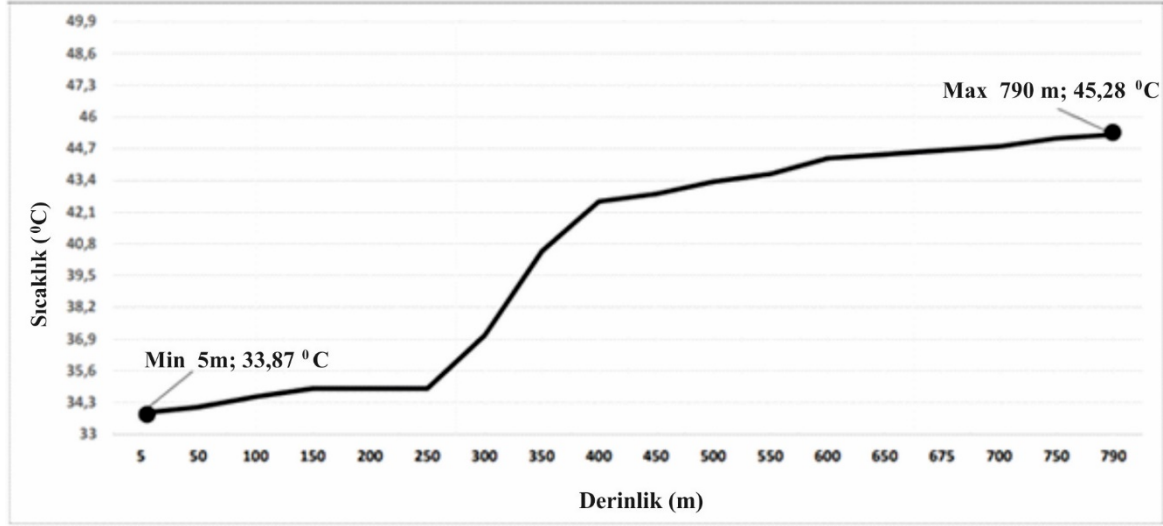
2.1.5. Elazığ Beydağı II Kuyusu Tamamlama Sıcaklık Testleri



Şekil 2.6. Statik Sıcaklığın Derinliğe Göre Profili (Yıldız, 2018)

Kuyuya ait üretime açılmadan önce elde edilen statik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5 m'de 24,86 °C değeri ile başlayan sıcaklık değerleri minimum değerine ulaştığı ilk nokta 20 m 'den itibaren ulaşarak 24,45 °C değerini göstermiştir. Kuyuya ait son derinlik olan 800 m'de ise 41,88 °C değerini göstermektedir. Şekil 2.6'da statik sıcaklığın derinliğe göre profili incelendiğinde doğrusal bir eğrinin oluşması, kuyuda çamur kaçağının minimum seviyede olduğunu gösterirken diğer taraftan da kuyu içerisinde meydana gelebilecek jeotermal akışkanın geçtiği yerlerde akışkanın içerisindeki element ve bileşiklerin uygun koşullarda çökerek mineral ve katı

bileşikler oluşturması sonucu meydana gelecek olan kabuklaşmanın olmadığını göstermektedir. Eğrinin doğrusallığının bozulması sıcaklık değerleri arasındaki farkı arttıracığı için kuyu içerisinde kabuklaşma ya da çamur kaçağının meydana geldiğini ifade etmiş olacaktır (Yıldız, 2018).



Şekil 2.7. Dinamik Sıcaklığın Derinliğe Göre Profili (Yıldız, 2018)

Kuyuya ait üretime açıldıktan sonra elde edilen dinamik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması Şekil 2.7’de gösterilen 5 m’de 33,87 °C sıcaklık değeri ile başlayan kuyu minimum sıcaklık değerine başlangıç metrajı olan 5 m’de ulaşmış olup, 790 m’de ise 45,28 °C ile en yüksek dinamik sıcaklık değerine ulaşmıştır. Dinamik sıcaklık değerleri ölçülürken kuyu içerisinde dinamik basınç ölçüsünde lineer olarak düz bir çizgi halinde uzanan basınç profili belli bir seviyeden yüzeye doğru sapma gösterir ki bu da kuyu içinde kabuklaşmanın başladığı seviye hakkında fikir verir (Yıldız, 2018).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Jeotermal Kuyular

Jeotermal alanlarda yapılan sondajı, günümüz petrol kuyularında kullanılan ve uygulanan sondaj tekniklerinin devamıdır. Jeotermal kuyular yapıcı gerçekleştirilecek sondajın amacına göre arama, üretim, geliştirme, re-enjeksiyon ve log amaçlı açılmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda açılan kuyuların programlanması sırası sondaj ve kuyu testleri ile sonlandırılır. Jeotermal kuyularla ilgili çalışmalar temel fizik, termodinamik, matematik ve hidrokimya kavramlar sistemin merkezini oluşturduğundan bunların bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda jeotermal kuyularda yapılan sondaj ve kuyu tamamlama çalışmalarında sık sık karşılaştığımız temel ve kısa tanımlamaları sıraladığımızda aşağıdaki sonuçları elde ederiz.

Sıcaklık: Bir maddenin taneciklerinin ortalama kinetik enerjilerinin ölçüsüdür. Kavramı biraz açacak olursa iki komşu cismin termik denge seviyelerinin ölçüsü olarak görülebilir. Bu kavramdan hareketle termik denge seviyesi yüksek olan cisim, diğerine göre daha sıcaktır denir. İki farklı termik dengede olan cisim temas ettirildiğinde, termik denge seviyesi yüksek olan cisimden termik denge seviyesi düşük olan cisme doğru sıcaklık akışı olur. Sıcaklık ölçüsü birimleri genel olarak °C, °K, °F ile ifade edilir (Özüdoğru,2015).

Enerji: Bir sistemin kendi hali değişirken diğer komşu sistemin halini değiştirebilme kabiliyetine denir.

Statik Durum: Jeotermal kuyularda kuyu üretim yapılmadan, kuyu kapalı (statik) durumudur.

Dinamik Durum: Jeotermal kuyularda kuyu üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken ki durumdur.

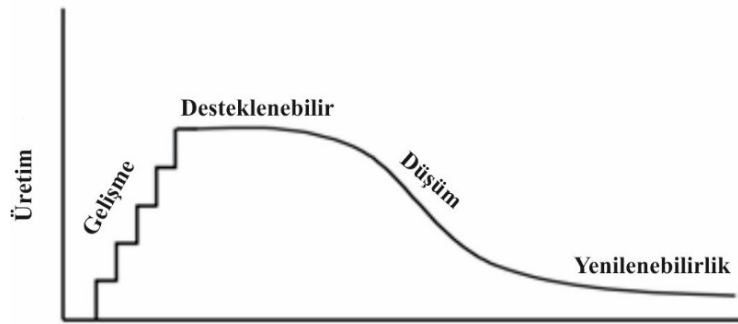
Kararsız Durum: Kuyu debisindeki değişikliğe karşılık rezervuarın tepkisidir.

Basınç: Jeotermal kuyularda kuyu içinde herhangi bir gücün, kendisine engel olan bir yüzey üzerine yaptığı zorlamanın yüzölçümü birimine düşen miktarıdır.

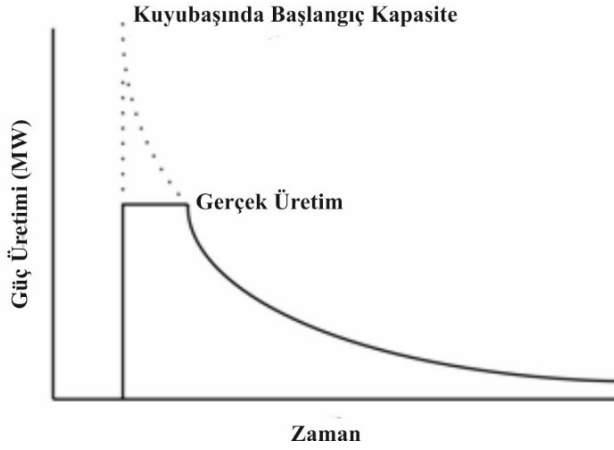
Enjeksiyon: Kaya (sert) veya toprak (yumuşak) zeminlerde var olan doğal boşluklar ile büyük yapılarda ve suni dolgularda oluşan ikincil boşlukları, basınç altında çeşitli sıvı karışımlarla doldurularak zeminin sağlamlaştırılması ve iyileştirilmesini amaçlayan sondajlara enjeksiyon sondajı denir. Karışımların basınç altında basılma işlemine de enjeksiyon denir (Gurson, 2019).

Kuyu Verimi: Akışkanın birim zamandan alınan su potansiyelidir.

Jeotermal kaynakların bir sonu olduğu için beslenme-tüketim (üretim) ilişkisi ve bu ilişki sırasında oluşan dengeler dikkate alınmadan saha işletmeye alınırsa hem ekonomik olmayan bir işletme ile karşı karşıya kalınacak, hem ülkemizde hem de dünyada örnekleri görüldüğü üzere sistem performansı ya kısmen ya da tamamen çökecektir. Bu bağlamda üretim ve zaman ilişkisi farklı bir profil izlemektedir. Şekil 3.1’de jeotermal kuyularda üretim ve zaman profili ifade edilirken Şekil 3.2’de gerçek üretim ve zaman profili gösterilmektedir (Özüdoğru, 2015).



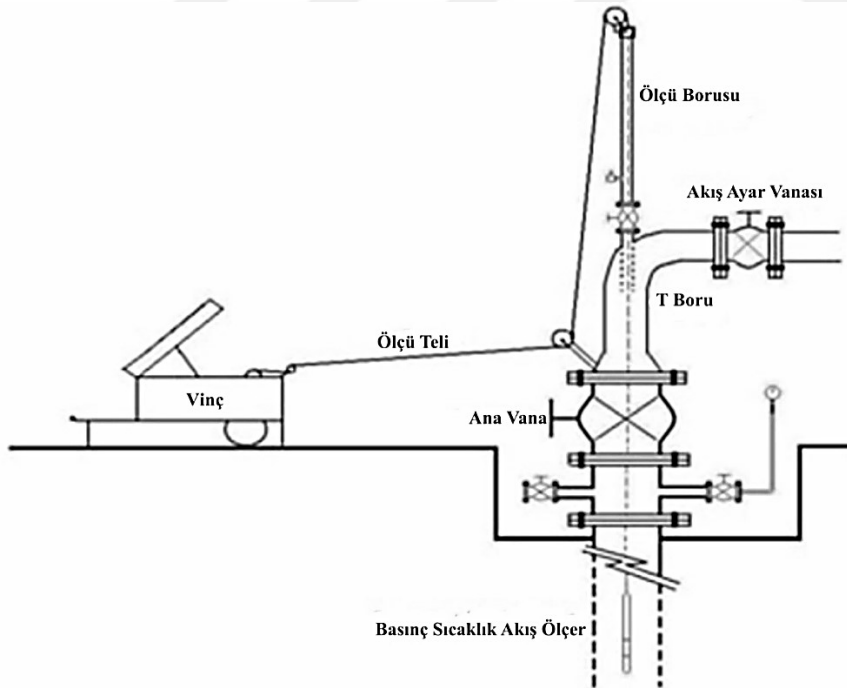
Şekil 3.1. Jeotermal Kuyularda Testler, Üretim ve Zaman Profili (Özüdoğru, 2015)



Şekil 3.2. Jeotermal Kuyularda Gerçek Üretim ve Zaman Profili (Özüdoğru, 2015)

3.1.2. Jeotermal Kuyularda Kuyu Tamamlama Testlerinde Kullanılan Donanımlar

Vinç Üniteleri: Kuyu içerisinde kullanılacak ölçüm alet ve cihazların kuyu içine indirilip çıkarılmasında kullanılır. Güç ünitesi, aktarma organları, tambur, fren sistemi, derinlik sayacı ve ağırlık göstergesinden oluşur. Kuyu içi ölçüm sisteminin şematik görünümü Şekil 3.3' de görülmektedir (Erkan, 2015).



Şekil 3.3. Jeotermal Kuyu İçi Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü (Erkan, 2015)

Basınç, Sıcaklık ve Akış Ölçer: Kuyu içindeki basınç ve sıcaklık ölçümleri jeotermal koşullara uygun olarak yapılmış özel cihazlarla yapılmaktadır. Ülkemizde kullanılan cihazlarla ilgili bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Jeotermal Kuyularda Kullanılan Basınç ve Sıcaklık Cihazları (Erkan, 2015)

Cihaz modeli	Algılayıcı tipi	Doğruluk	Çözünürlük	Basınç kapasitesi (psi)	Sıcaklık kapasitesi (°C)
KPG	Bourden tüpü	0,2 %	0,05 %	1500-5200	400
KTG	Bi- metal	-/+1°C	0,05%	-	300
RPG-3	Bourden tüpü	0,2 %	0,05 %	1500-2200	260
K8HTEMERGE					
Sıcaklık	RTD	- / + 0,2 °C	0,01 °C	5000	300(6saat)
Basınç	Piezoresistive	- / + 0,024%	0,0003%	5000	300(6saat)
K10HTEMERGE					
Sıcaklık	RTD	- / + 0,015 °C	0,02 °C	5000	300(6saat)
Basınç	Piezoresistive	- / + 0,05%	0,0003 %	5000	300(6saat)
Akış ölçer	Reed Svitch		0,25-0.8	5000	300(6saat)
K8 S. UNİT					
Basınç	Silicon Kristal	- / + 0,024%	0,0003 %	10000	-
PS					
Basınç	Qartz	- / + 0,01 %	0,0001 %	1000	-

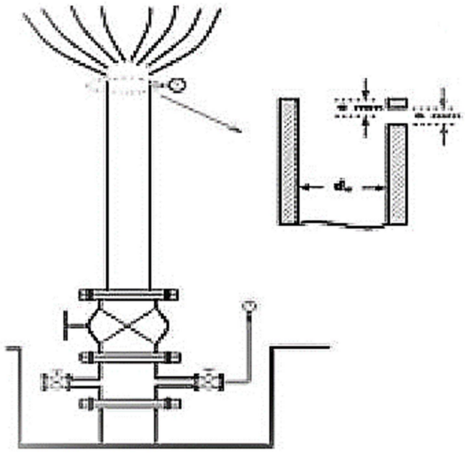
Mekanik aletlerle farklı sürelerle sahip saatleri kullanmak mümkündür. Kullanılan saatlerin maksimum süreleri 3 saat, 6 saat, 12 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat, 120 saat ve 180 saat şeklinde değişmektedir. Saat süreleri testin süresine göre değerlendirilir. Basınç elementleri (KPG-RPG) çoklu helisel bourden tüpü prensibi ile çalışmaktadır. Sıcaklık elementleri (KTG) ise iki ayrı tipte imal edilmektedir (Li, 2019). KTG LV tipleri KPG ile aynı prensipte çalışırken, KTG BM tipleri sıcaklığa farklı reaksiyon gösteren birleştirilmiş iki metalin sıcaklık karşısında oluşturduğu dönme hareketi prensibi ile çalışırlar. Basınç ve sıcaklık elementleri test yapılacak kuyuda karşılaşılabilecek basınç ve sıcaklığa uygun olarak seçilirler (Erkan, 2015).

Ölçü Borusu : Kuyuda yapılacak ölçümlerde veya işlemlerde kullanılacak alet ve cihazların kuyuya indirilip çıkarılmaları esnasında basınç altında bekletildiği haznedir (Erkan, 2015).

Yüzey Üretim Boruları: Akışkanın kuyu başındaki ana vanadan seperatör veya susturucu yatay olarak yönlendirilmesini sağlarlar (Purwanto, 2018).

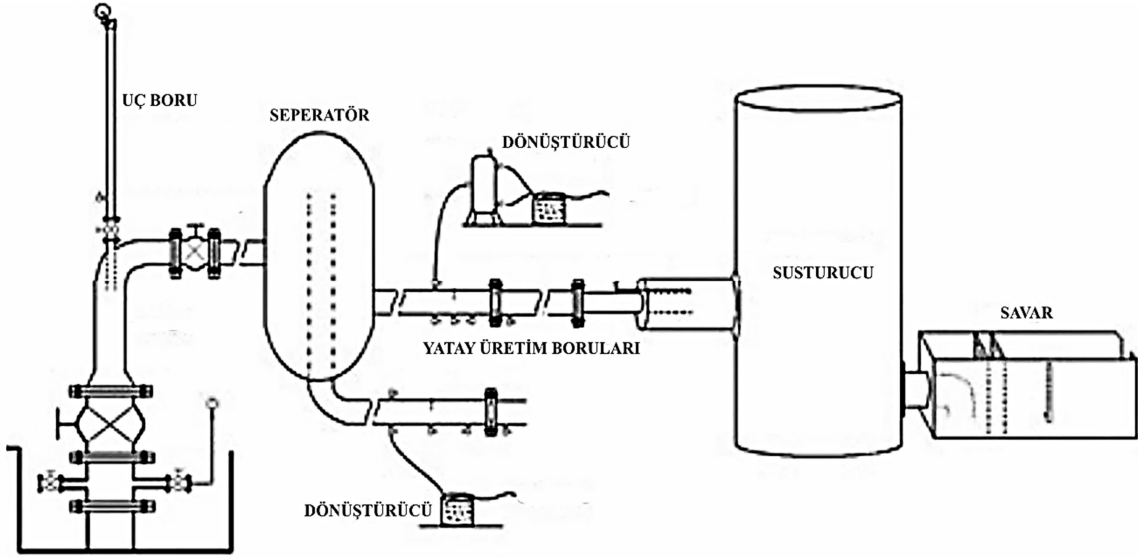
Uç Boru: Üretim, entalpi hesaplarının uç boru yöntemi ile hesaplanacağı durumlarda uç boru basıncı ölçümünde kullanılır (James, 1970).

Şekil 3.4.'de borunun kendisi ve çıkış yüzeyi düzgün olmalı, boru içi çığı hesaplamalarda kullanılacağından hassas olarak ölçülmelidir (Bayram Erkan, 2015).



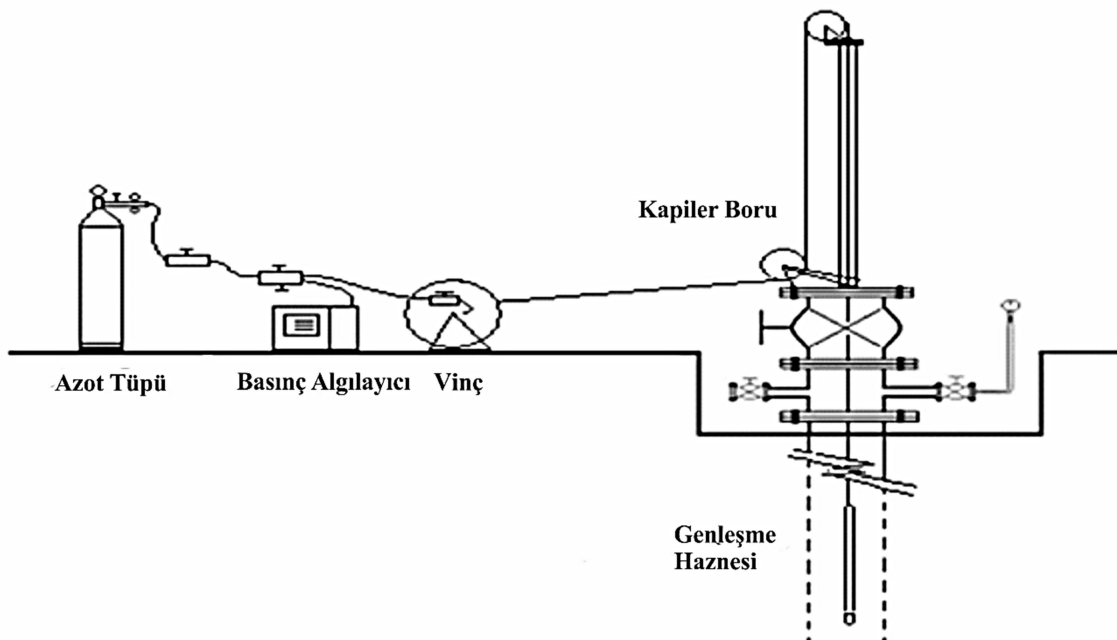
Şekil 3.4. Dikey Üretimde Uç Borunun Şematik Görünümü (Erkan, 2015)

Seperatör, Orifist, Susturucu (Silencer), Savak Sistemleri: Jeotermal kuyudan su ve buhar karışımlarının belirli basınçta su ve buhar olarak ayrıştırılmasında seperatörler kullanılır. Ayrışmanın atmosferik koşullarda yapıldığı üstü açık seperatörler ise susturucu (silencer) olarak bilinirler (B. Erkan, 2015).



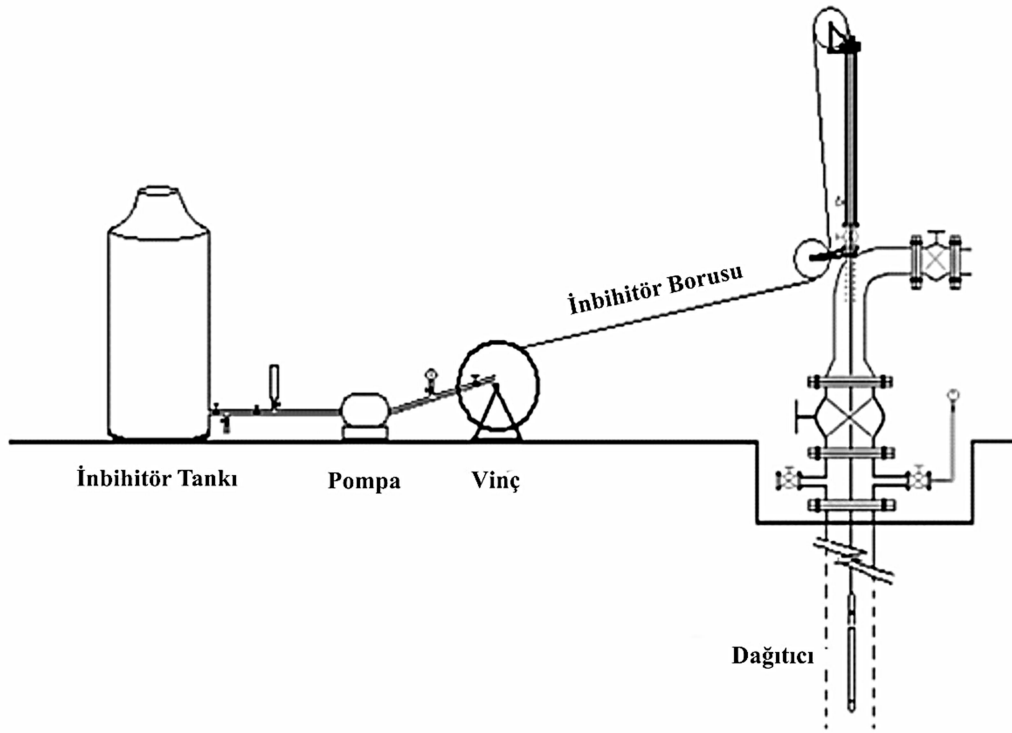
Şekil 3.5. Genelleştirilmiş Kuyu Başı Üretim Sistemi (Erkan, 2015)

Girişim Testi Sistemleri: Girişim (Interference) testinde aktif kuyu veya kuyuların (üretim ve enjeksiyon) gözlem kuyularında yaratmış olduğu basınç ve buna bağlı su seviyesi değişimi izlenir. Aktif kuyularda normal üretim veya enjeksiyon sistemleri kurulu iken gözlem kuyularında basıncı veya su seviyesini izleyecek sistemler kurulur (Erkan, 2015). Girişim testi basınç gözlem sistemleri yüzey sistemi, kuyu içi sistemi ve borular olmak üzere Şekil 3.6'da gösterildiği gibi üç ana bölümden oluşmaktadır. Sistem kuyu içinde belirlenen derinliğe indirilerek yüzey sistemi, boruların içi ve genişleme haznesi azot gazı ile doldurulur (Umam, 2018).



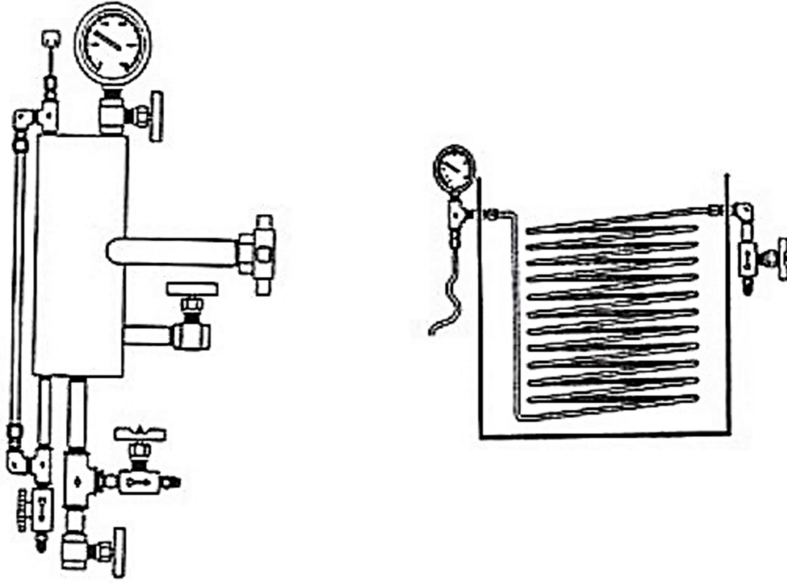
Şekil 3.6. Jeotermal Kuyularda Kullanılan Girişim Testi Sistemi (Erkan, 2015)

İnhibitör Basma Sistemleri: Jeotermal kuyularda akışkanın oluşturduğu çökmeleri, kabuklaşmayı önlemek amacı ile kullanılan inhibitörler kuyu içinden inhibitör basma sistemleri ile basılmaktadır. Kuyu cidarında meydana gelen CO₂ çökmesi ile kuyunu geleceğini etkilemektedir (Sedighi, 2019). Bu sebebe bağlı olarak da elektrik üretiminde kullanılan jeotermal sahalarımızın tamamında rezervuar suyu çözülmüş karbondioksit (CO₂) içermektedir (Satman, 2019). Şekil 3.7’de yüzey sistemi basit olarak kuyu başında bulunan ölçü borusu, boru çapına uygun makara ve sızdırmazlık başlığı, boruları kuyuya indirip çıkarmakta kullanılacak vinç ünitesi, boruların yüzeyde kalacak ucuna bağlanan yüzey basınç vana ve bağlantıları ile inhibitör tankı, pompası, çek valf, debi kalibrasyonu için ölçekli boru, filtreler ve basınç manometresinden oluşmaktadır (Erkan, 2015).



Şekil 3.7. İnhibitör Basma Sistemleri (Erkan, 2015)

Gaz Oranı Ölçüm ve Numune Alma Sistemleri: Jeotermal kuyulardan üretilen akışkanlar genellikle yoğunlaşmayan gazlar içerirler (Yang, 2019). Jeotermal akışkan içerisinde bulunan yoğunlaşmayan gazların (CO₂, H₂S, NH₄) toplam akışkan içerisindeki oranının doğru olarak belirlenmesi rezervuar mühendisliği, kuyu içi akış ve üretim hesaplamaları, kurulacak tesisle ilgili hesaplamalar ve jeokimyasal hesaplamalar açısından büyük önem taşımaktadır (Geologia, 2006).



Şekil 3.8. Mini Seperatör ve Yoğuşturucu (Geologica Inc, 2006)

Kuyu İçi Çap Belirleme Ekipman Sistemleri: Kuyuların üretim borusu çapında olan azalmaların belirlenmesi amacı ile kullanılır. Genellikle kabuklaşma olan kuyularda kabul kalınlığının ve derinliğinin belirlenmesinde kullanılır (Erkan, 2015).

İzleyici Testi Ekipmanları: Enjeksiyon testlerinde ve çalışmalarında rezervuar parametrelerinin saptanması amacı ile izleyici testleri yapılmaktadır. İzleyici testinde genel olarak tekrar basma kuyularından akışkanla birlikte basılan izleme maddelerinin üretim kuyuları ve varsa doğal çıkışlardan geliş miktarları sürekli olarak izlenir (Erkan, 2015).

Manometreler, Termometreler, Barometreler, Kronometreler: Kuyu başı basıncı, yatay üretim borusu basıncı, orifist basınçları, seperatör basıncı, yoğuşturucu çıkış basıncı ve uç basıncı ölçmekte kullanılan, değişik ölçme aralık ve hassasiyetlerine sahip gliserinli, şoklara dayanıklı manometreler kullanılır (Erkan, 2015).

3.2. Metot

3.2.1. Jeotermal Kuyularda Kuyu Tamamlama Testleri

Sıcaklık Ölçüm Testleri: Jeotermal kuyularda kuyu tamamlama sıcaklık testleri, jeotermal enerji sistemlerin üretim çalışmalarında gerekli olan temel sistemlerden biridir. Sıcaklık ölçüleri sondaj esnasında alınmaya/ölçülmeye başlanılır ve işletme aşamasında da belirli aralıklarla alınmaya devam edilir (Thakkar, 2019). Sondaj esnasında alınan sıcaklık ölçüleri sondaj ile ilgili kararların alınmasında kullanıldığı gibi daha sonraki değerlendirmelerde de kullanılır. Kuyu tamamlandıktan sonra farklı aşamalarda kuyu kapalı durumda iken statik sıcaklık, kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken de dinamik sıcaklık değerleri ölçülür (Erkan, 2015). Temelde sıcaklık ölçüm testleri sonucunda ara muhafaza borusunun indirileceği derinliğin belirlenmesi veya kuyu programında belirlenen son derinliğe yaklaşırken kuyu dibinin durumunu öğrenilmesi amacıyla sıcaklık testleri yapılması, jeotermal sondajlarda standart bir uygulama haline gelmiştir (Energy, 2019).

Kuyu aktifken alınan çamur sıcaklık değerlerinden veya kuyuya indirilen çeşitli ölçüm aletlerinden statik sıcaklığı bulunur. Kuyu üretime açıldıktan sonra da dinamik sıcaklık ve basınç değerleri ölçülür (Tan, 1996).

Statik Sıcaklık Ölçüm Testi: Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan, kuyu kapalı iken statik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek amacı ile yapılabildiği gibi belirli bir derinlikteki sıcaklık değerini gözlemek amacı ile yapılabilir. Sondaj esnasında geçilen formasyonların sıcaklık değerleri hakkında bilgiler elde etmek amacı ile statik sıcaklık ölçüleri alınmaktadır. Ara muhafaza borusunun indirileceği derinliğin belirlenmesinde, muhafaza borusu arkasına alınacak seviyeler hakkında bilgi edinilmesinde, kuyuya devam edilip edilmeyeceğine karar verilmesinde sondaj esnasında alınan sıcaklık ölçüleri kullanılmaktadır (Erkan, 2015).

Dinamik Sıcaklık Ölçüm Testi: Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek amacıyla yapılır. Üretim halinde ölçü alınırken üretim debisi sabit ve test aleti kuyuya rahatlıkla indirilip çıkartılabilecek seviyede tutulmalıdır. Üretim halinde alınan dinamik sıcaklık ölçümlerinde elde edilen kuyu içi sıcaklık profillerinden, farklı sıcaklıklara sahip rezervuar seviyelerinin olup olmadığı, varsa farklı seviyelerin sıcaklık veya kuyu içi karışım

sıcaklıkları, kuyu içi faz değişimleri ve derinlikleri belirlenmektedir (Erkan, 2015). Dinamik sıcaklık ölçüleri sonucunda elde edilecek olan derinlik sıcaklık profilinde belli bir seviyeden yüzeye doğru sapma göstermesi durumunda kuyudaki kabuklaşmanın başladığı seviyeler hakkında bilgiler sunar (Energy, 2019).

Su Kaybı Testleri: Statik (kuyu kapalı iken) ölçülerin bitiminde kuyudaki beslenme zon ve/veya zonlarının saptanmasına yönelik olarak su kaybı testine geçilir. Sondaj sırasında meydana gelen çamur kaçağı ve/veya kaçaklarını baz alarak kaçak zonlarının belirlenmesi güç ve yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü çamur kaçağının tek noktadan mı yoksa matkabın ilerlediği zon boyunca mı oluştuğu çoğu zaman tam olarak kestirilememektedir. Bu testlerde kuyuya önce kuyu hacminin yaklaşık 1,5 katı kadar su basılarak kuyu iyice soğutulur. Daha sonra kuyuya değişik denilerde su basılırken kuyu boyunca sıcaklık ölçüleri alınır (Özüdoğru, 2015).

Temel olarak su kaybı testi sırasıyla;

1. Kule pompalanan ile en düşük debide temiz su basılır.
2. 2/3 varil/dk debi ile su pompalanırken Amerada sıcaklık elementi kuyuya indirilip 50 m. aralıklarla tabana kadar 2.sıcaklık ölçüsü alınır.
3. Statik sıcaklık değerleri 25 m'de bir aralık ile ;6 varil/dk debi ile su basılırken sıcaklık ölçüsü alınır.
4. Alınan bu sıcaklık ölçüleri değerlendirilerek, gerek görülürse pompa debisi 10 varil/dk ya arttırılarak aynı işlem tekrarlanır.

Yukarıda yapılan işlemlerde, değişik debilerde su enjeksiyonu sırasında sıcaklık ölçüleri alınarak, bu değerlerin bir grafik üzerinde korelasyonu ile yüksek permeabiliteye sahip zonların tespiti amaçlanır (Tan, 1996).

Üretime Açılma Yöntemleri ve Testleri: Kuyudan yapılabilecek maksimum ve optimum üretim debilerini saptanması, değişik kuyu başı ve/veya kuyu dibi basınçlarındaki debilerin ve entalpinin belirlenmesi, maksimum üretim basıncının saptanması gibi amaçlarla üretim testleri yapılmaktadır (Erkan, 2015).

Uç Basınç (Lip Pressure) Testi: Russel James tarafından deneysel olarak geliştirilmiş çok yönlü kullanılabilen bir basit yöntemdir (James, 1965).

Sondaj çalışmalarının tamamlanmasından sonra kuyu tamamlama testlerine başlanmadan kuyunun ilk üretim testi genellikle bu yöntem ile gerçekleştirilir (Nie, 2019). Üretim esnasında kuyuda bulunan çamur ve kırıntılar atılarak aynı zamanda kuyunun kendini temizlemesini sağlar. Çevre koşulların uygun olması durumunda dikey veya dikeye yakın üretim gerçekleştirilir. Bu durumda uç boru direk ana vanaya bağlanır (B. Erkan, 2015). Saha çalışmalarında çoğunlukla kullanılan birimlerle toplam akışkan debisi hesaplamakta eşitlik kullanılmaktadır (James, 1970).

$$M_t = 4.10^5 \cdot \frac{P_c^{0,96} \cdot d_c^2}{h_0^{1,102}} \quad (3.1)$$

M_t : Toplam Akışkan Debisi, (ton/saat)

h_0 : Akışkanın Entalpisi, (kj/kg)

P_c : Ölçülerin Uç Basıncı, (psia)

d_c : Uç Boru İç Çapı, (metre)

Susturucu (Silencer) - Savak Testi : Bu yöntemde susturucuya gelen akışkan atmosferik koşullarda su ve buhar fazlarına ayrılmaktadır. Buhar susturucunun üst kısmından atmosfere atılırken su susturucunun alt kısmına bağlanan savağa yönlendirilir. Savaktan geçen suyun debisi savak formüllerinden hesaplanır. Savakta ölçülen suyun debisine susturucudaki buharlaşma miktarı eklenerek kuyunun toplam üretim miktarı bulunur. Susturucudan ayrılan buhar oranı hesaplanırken, atmosferik koşullardaki suyun ve buharın entalpi değerleri ile kuyudan üretilen akışkanın entalpi değerleri kullanılır (Erkan, 2015).

$$(W_w) \cdot Q = k \cdot b \cdot h^{3/2} \quad (3.2)$$

W_w : Savaktaki Su Debisi, kg/sn

Q : Su Debisi, m³/dak

k : Savak Ebadı ve Geçen Su Yüksekliği ile Değişen Genişlik, m

b : Savak Genişliği, m.x

h : Savaktan Geçen Su Yüksekliği, m

$W_w \cdot Q =$ Hacimsel Debi

Bulunan sonuç 60'a bölünerek birim m³/saate çevrilir.

Savak Formülü için Savak Akış Debi Sabiti k değeri ;

$$K = 1.071 + \frac{0,177}{h} + 142 \frac{h}{D} - 275 \sqrt{\frac{(B - b)h}{DB}} + 204 \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (3.3)$$

hesaplandıktan sonra toplam üretim formülü aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$M = \frac{2.258W}{2.675 - h_0} \quad (3.4)$$

M : Akış Debisi, kg/sn

W : Su Debisi, kg/sn

h_0 : Entalpi, kJ/kg

M-W : Buhar Miktarıdır.

Buhar oranı ayrıca $X = h_0 - h_f / h_{fg}$ formülü ile gösterilmektedir (Jeotermal akışkanın atmosfere başladığı kabul edilmekte olup 100 °C'de suyun entalpisi h_f , buharın entalpisi h_g , karışım entalpisi) (Tan, 1996).

Uç Boru, Susturucu (Silencer) - Savak Testi: Daha önce bahsedilen susturucu-savak yönteminin benzeri olup, bu yöntemden farklı olarak susturucu girişinde uç borunun kullanılmasıdır (Bagheri, 2019). Sistemin bu şekilde dizayn edilmesi susturucu-savak yöntemi ile hesaplanan üretime ek olarak uç boru yöntemi ile üretimin hesaplanabilmesinin yanında entalpi değerinin de olanak sağlamasıdır (Erkan, 2015).

$$M_t = M_w \cdot \frac{2.257}{2.676 - h_0} \quad (3.6)$$

$$\frac{M_w}{P_c^{0,96} \cdot d_c^2} = 177,23 \frac{(2.276 - h_0)}{h_0^{1,102}} \quad (3.5)$$

Elde edilen eşitlikle entalpi değeri direk çözülemediğinden, çözüm; deneme yanılma, grafik yöntemi, yaklaşık çözüm veya bilgisayar yöntemi ile bulunmaktadır. Entalpi değeri belirli bir hata payı basitleştirilmiş bir bağıntı ile de bulunabilmektedir (Donaldson,1982).

Orifist - Uç Boru Testi : Bu sistemde yatay botu hattında uç borudan önce orifist kullanılmaktadır.

$$h_0^{1,102} = 191.464 \cdot \frac{P_c^{0,96}}{Y_{TP}} \cdot \left(\frac{d_c}{d_m}\right)^2 \cdot \sqrt{(1 - \beta^4)} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{h_0 - h_w}{L}\right)^{1,5} \cdot (v_s - v_w) + v_w}{\varphi_{TP}}} \quad (3.7)$$

P_c : Uç Basınç, bar

Y_{TP} : İki Faz Genleşme Katsayısı

d_c : Uç Boru İç Çapı, m.

d_m : Orifist İç Çapı, m.

φ_{TP} : Yatay Boru İç Çapı, m.

β : d_m/φ_{TP}

v_w : Suyun Özgül Hacmi, m³/kg

v_s : buharın Özgül Hacmi, m³/kg

h_w : Suyun Entalpisi, kJ/kg

L : Buhar - Su Entalpisi, kJ/kg

Hesaplamalar için özel formüller ;

$$B = \frac{d_m}{D} \quad (3.8)$$

$$Y_{TP} = r^{2/k} \cdot \sqrt{\left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot \left(\frac{1 - r^{k1/k}}{1 - r}\right) \cdot \left(\frac{1 - B^4}{1 - B^4 r^{2/k}}\right)} \quad (3.9)$$

$k = 1.13$ sabit katsayı (Donmuş Buhar İçin). Formülde YTP yerine konularak deneme yanılma ile bulunan h_0 Entalpi değeri,

$$W = \frac{224.000 \cdot P_c^{0,96} \cdot d_c^2}{h_0^{1102}} \quad (3.10)$$

W-Akışkan debisi l b/saat cinsinden alınmaktadır. Buhar miktarı ise kuruluk oranı ;

$$X = \frac{h_0 - h_f}{L} \quad (3.11)$$

Görüleceği gibi h_0 'ın yüksek değerlerinde üretim debisi azalmakta, buhar miktarı artmakta, düşük değerlerinde ise üretim debisi artmakta buhar oranı azalmaktadır (Tan, 1996).

Dikey Olarak Üretime Açılması : Kuyu başına bağlanan dikey boru ile gerçekleştirilen üretim sistemidir. Kuyu üretime açılırken ve kapatılırken vana tur sayısı ile birlikte kuyu başı basıncı ve manometrede okunan uç basınç kaydedilir (Tan, 1996).

$$\text{Mass} = \frac{224.000 \cdot P_c^{0,96} \cdot d_c^2}{h_0^{1,102}} \quad (3.12)$$

Burada;

Toplam Kütle (Mass) : lb/saat

Uç Basınç (P_c) : psia

Uç Boru İç Çapı (d_c) : inç

Akış Entalpisi (h_0) : BTU/lb

Entalpi değeri kuyudan daha sonra alınan rezervuar zonu sıcaklık değerine göre alınır. Yani rezervuar seviyesindeki sıcaklık değerinin kuyu başına aynen geldiği kabul edilmektedir.

Basınç Ölçüm Testleri : Jeotermal kuyularda önemli parametrelerden birisi de basınçtır. Basınç ölçümleri de sondaj esnasında alınmaya başlanır ve işletme aşamasında da belirli aralıklar alınmaya devam edilir. Kuyu kapalı iken statik durumda, kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda ve bu ikisinin beraber uygulandığı durumlarda yapılan ölçümlerin bütünüdür (Erkan, 2015). Bu testler ile hem kuyuların verimlilik ve performansları hem de rezervuar sisteminin sınırları ve akış özellikleri hakkında bilgiler elde edilir (Earlougher, 1977). Kuyu basınç testlerinden elde edilen bilgiler ve bu bilgilerin derinlik/basınç profil modellerinin kullanılmasıyla aşağıda sıralanan sorulara yanıtlar verilebilir;

- Rezervuarda yerinde basınç değişimleri nedir?
- Kuyuların verimlilikleri ve kuyu içi basınç profili?
- Kuyular arası hidrolik iletişim var mıdır?

Statik Basınç Ölçüm Testleri : Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan kuyu kapalı iken statik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapıldığı gibi belirli bir derinlikteki basınç değişimini gözlemek amacı ile de yapılabilir.

Sondaj esnasında oluşacak herhangi bir kaçak veya geliş, gerçek formasyon basıncını ölçmek için uygun ortam oluşturur. Çamur kaçağı veya akışkan geliş kuyu ile rezervuar arasında bir bağlantı kurulduğunun göstergesidir. Kaçağın veya gelişin olduğu derinlik biliniyorsa, sirkülasyon kesilerek kuyudaki çamur yoğunluğu, kuyudaki çamurun statik seviyesi veya kuyu basıncı değerlerinden formasyon basıncı hesaplanabilir. Ancak kuyudaki akışkanın yoğunluğu tam olarak belirlenemediğinden rezervuar basıncını belirli bir hata payı bulunabilir. Kuyudaki kaçak seviyesinden alınacak basınç ölçümü ile gerçek rezervuar basıncı saptanabilir. Basınç ölçümü kaçak oluşumundan hemen sonra tijlerin içinden yapılabilir (Erkan, 2015).

Dinamik Basınç Ölçüm Testleri : Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapılır. Üretim halinde ölçü alınırken üretim debisi, sabit ve test aleti kuyuya rahatlıkla indirilip çıkartılabilecek seviyede olmalıdır. Üretim halinde alınan dinamik basınç ölçümlerinden elde edilen kuyu içi basınç profillerinden kuyu içi faz değişimleri ve derinlikleri saptanmaktadır (Erkan, 2015).

Kararsız Basınç Ölçüm Testleri: Kararsız basınç testlerinde kuyu debisinde yapılan değişikliğe karşılık rezervuarın tepkisi olarak kuyu dibi basıncında meydana gelen değişim kaydedilir. Testler esnasında basınç aleti debi değişimine bağlanılmadan ana geçirgen seviyenin karşısına indirilir ve stabil bir basınç değeri elde edilecek kadar kısa beklemeden sonra debi değişimi yapılır. Tek kuyulu kararsız basınç testlerinde debi değişiminin olduğu kuyuda basınç değişimi ölçülürken, çok kuyulu kararsız basınç testlerinde basınç değişimi farklı kuyularda ölçülmektedir (Erkan, 2015).

Enjeksiyon Testleri: Kuyuya sabit debide su basılması sırasında kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği testtir. Debinin belirli zaman aralıklarında sabit olmak koşulu ile değiştirildiği çok debili testler de yapılmaktadır. Basılacak suyun temini ve kuyu başında depolanması ile su basmakta kullanılacak pompanın debi ve basınç kapasitesi testin süresini ve enjeksiyon debisini belirleyen önemli faktörlerdir. Genel olarak kuyu tamamlama testleri kapsamında su kaybı testinden sonra yapıldıklarından, testte; çamur pompaları ve tankları kullanılır (Erkan, 2015).

Test sırasında uygulanacak işlemler;

1. Kule pompalanan ile en düşük debide (en az kuyu hacmi kadar) su basılarak, kuyunun soğuması gerçekleştirilir.
2. Water Loss (Su Kaybı) sonucu saptanan, suyun en çok girdiği zonun karşısına Amerada basınç elementi indirilir ve indeks edilir.
3. Basınç elementi permeabiliteli zon karşısında iken, öncesinde belirlenen debi ile zamana göre kayıt altına alınarak kuyuya su pompalanır.

Test sonucu elde edilen veriler kuyu içerisinde değişik ve giderek artan debilerde basınç değişiminin, basınç kayıt kartından okunması ve zamana bağlı bu basınç artışlarının grafikte değerlendirilmesi sonucu permeabilite ve üretim hakkında fikirler elde edili (Tan, 1996).

Enjeksiyon testleri kendi içerisinde Tek ve Çift Debili olmak üzere iki ana yoldan yapılmaktadır.

Çok Debili Enjeksiyon Testi: Tek debili enjeksiyon testinin ardından yapılan çok debili enjeksiyon testinde kuyuya değişik debilerde soğuk su basılarak rezervuarın bünyesine su alma kapasitesi tespit edilir. Bu test sonucu rezervuar geçirgenliğine ait ilk bakir değerler elde edilir. Üretim aşamasında zaman zaman tekrar edilen bu testle üretimin rezervuar geçirgenliğini ne derece etkilediği gözlenir. Çok debili enjeksiyon testi ile elde edilen değere enjektive endeksi denir (Özüdoğru, 2015).

$$EE = \frac{Q}{P_i - P_{wf}} \quad (3.12)$$

EE : Enjektive Endeksi (lt/sn/kg/cm²)

Q : Kuyuya Basılan Akışkan Debisi (lt/san)

P_i : Enjeksiyon Basıncı (kg/cm², Bar)

P_{wf} : Rezervuar Derinliğinde Beslenme Noktası Basıncı (kg/cm², Bar)

Basınç Düşüm Testi (Fall-Off) : Kuyuya yapılan sabit debideki enjeksiyonun durdurulması ile kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği testtir. Enjeksiyon testi sonunda ve basma/tekrar basma (reenjeksiyon) kuyularında enjeksiyon çalışmalarına herhangi bir nedenle ara verilmesi esnasında ya da enjeksiyondan sonraki basınç değişimini incelemek için yapılırlar. (Erkan, 2015).

1. Seçilen zonda belirli bir aralıklar ile basınç elementi yerleştirilir.
2. 2-3 varil/dk debide en az 3 saat süre ile su enjekte edilir.
3. Su basma işlemi bitince, 3 saat Pressure Fall-Off zamanı için beklenilir.
4. Aynı işlem 6 ve 9 varil/dk debilerle, basınç elementi yeniden indirilerek işlem tekrarlanır (Tan, 1996).

Basınç Yükselim Testi (Pressure Build-Up) : Basınç azalım testinin tersine sabit debide üretim yapan kuyunun üretimini durdurularak kuyu dibinde oluşan basınç yükselmesinin değerlendirildiği testtir. Bu testte de benzer şekilde kuyu üretim yaparken basınç aleti yüksek geçirgenlikle seviyenin karşısına gelecek şekilde indirilir ve kısa beklemeden sonra kuyu kapatılır (Erkan, 2015).

1. Kuyu kapatmadan önceki üretim ve kuyu başı basıncı,
2. Kuyu kapatıldıktan sonraki kuyu başı basınç değerleri,
3. Basınç aletinin ön görülen derinliğe indiği ve çekildiği başladığı zamanlar,
4. Kuyu kapatma başlangıç ve kapanış zamanları kaydedilmelidir (Özüdoğru, 2015).

Girişim Testi (Interference): Girişim testi çok kuyulu testlerden olup, bu testte üretim veya enjeksiyonun yapıldığı aktif kuyu veya kuyular ile basınç değişiminin izlendiği gözlem kuyu veya kuyuları beraber kullanılır. Üretimin ve/veya enjeksiyonun gözlem kuyularındaki tepkileri kaydedilir. Kuyular arası etkileşimin belirlenmesi, tek kuyu testleri ile elde edilen kuyu civarı rezervuar parametreleri yerine rezervuarın daha geniş bölgelerine ait parametrelerin bulunması, rezervuar heterojenliklerinin saptanması ve yapılacak modelleme çalışmalarına temel oluşturacak verilerin saptanması amacı ile girişim testleri yapılmaktadır (Erkan, 2015).

Inhibitör Testleri: Kuyularda ve yüzey hatlarında meydana gelen CaCO₃ çökmesi, su baskın jeotermal sahaların işletilmesinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Kabuklaşmanın önlenmesi için kimyasal madde (inhibitör) basma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Testler esnasında bir veya daha fazla inhibitör kullanılabilir (Erkan, 2015).

İzleyici Testleri: Rezervuar basıncının korunması, ısılı enerji üretiminin potansiyelinin artırılması, sıcak ve kirletici kimyasal maddeler içeren atık suyun ortadan kaldırılması gibi nedenlerle tekrar basma (reenjeksiyon) işlemleri günümüzde hemen hemen tüm jeotermal sahalarda uygulanmaktadır (Erkan, 2015).



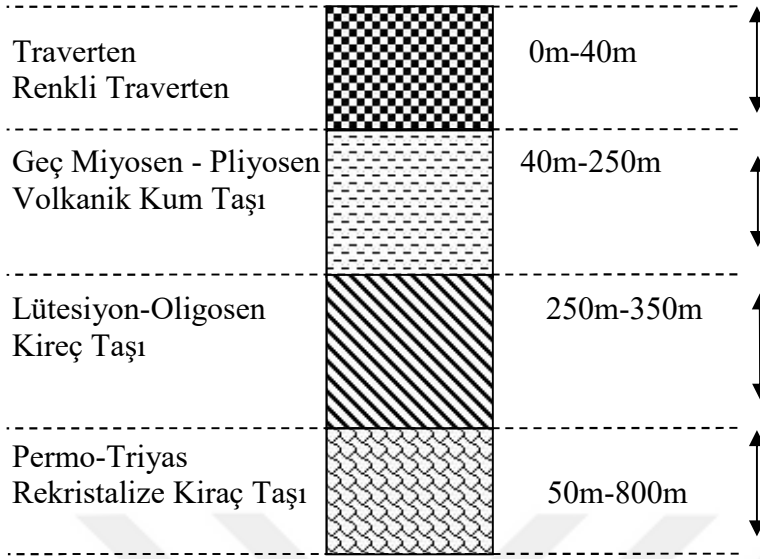
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Elazığ Karakoçan Jeotermal Kuyusu

Çalışma alanı Elazığ İli, Karakoçan ilçesi, Kızılca Köyü ve çevresinin içerisine alan, 2017 yılında Elazığ İl Özel İdaresi tarafından alınan Elazığ-Karakoçan-Kızılca AR. 07 no.lu jeotermal kaynak arama ruhsat sahasındaki jeotermal sistemin araştırılması, potansiyelinin ortaya çıkarılması ve ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla Elazığ-Karakoçan ilçesinin yaklaşık 8 km kuzey batısında, 800 metre derinliğinde jeotermal sondaj gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanı, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) sistemi içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında sınırlı sayıda birim gözlenmektedir. Proje kapsamında yapılan EKK-1 sondaj çalışmaları sırasında yüzeyde gözlenen birimlerin yanı sıra çalışma alanı dışında yüzeyleyen bazı birimler de kesilmiştir. Bu bağlamda, sondajda ilerleme işlemleri sırasında stratigrafik olarak alttan üste doğru Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri, Lütesiyen - Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Solhan Formasyonu ve Kuvarterner yaşlı Travertenler kesilmiştir. Kesilen birimlerde Solhan formasyonunun örtü kaya, Kırkgeçit Formasyonunun (sığ zon) ve Keban Metamorfiklerinin (derin zon) rezervuar kaya olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında yapılan jeoloji, jeofizik ve hidrokimyasal çalışmaları sonucunda, 800 metre derinliğine sahip bir sondaj operasyonu gerçekleştirilmiştir. Sondajdan sığ zondan artezyenik olarak 23 l/s. 35°C sıcaklığında, derin zondan artezyenik olarak 12 l/s. 42 °C sıcaklığında üretime açılması durumunda artezyenik olarak 35 l/sn. 37,2 °C sıcaklığında akışkan elde edilmiştir. Kuyu test çalışmaları kapsamında yapılan amerada ölçüsüne göre dinamik sıcaklık 43,25 °C ve dinamik basınç 73,45 bar, enjeksiyon endeksi 137,5 t/h/bar, üretim endeksi ise 27,14 t/h/bar olarak ölçülmüştür.

Yapılan üretim testlerine EKK-1 kuyusu için alınan kuyu içi ölçümlere bakıldığında nispeten daha soğuk sığ bir zonun ve daha sıcak derin bir zonun varlığı görülmüştür. Alınan kuyu içi sıcaklık ölçüleri jeotermal gradyanın derinlere doğru arttığı göstermiştir. Bu bağlamda bölgede yapılacak daha derin bir sondaj ile sahanın potansiyelinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.1. EKK-1 Kuyu Formasyonu

Çizelge 4.1. EKK-1 Kuyu Sıcaklık ve Basınç Test Ölçümlerinde Kullanılan Cihaz Modelleri (Erkan, 2015)

Cihaz Modeli	Doğruluk ve Çözünürlük	Sıcaklık ve Basınç Kapasitesi
KPG (Bourden Tüpü)	0,05% ve 0,2%	400°C ve 1500-5200 psi
KTG (Bi-Metal)	-/+ 1 °C ve 0,05%	300°C
RPG-3 (Bourden Tüpü)	0,2% ve 0,05%	260°C ve 1500-2200 psi
Sıcaklık (RTD)	-/+ 0,2°C	300°C (6 Saat) ve 5000 psi

Kuyu içindeki sıcaklık ölçümleri jeotermal koşullara uygun olarak yapılmış özel cihazlarla yapılmaktadır. Son yıllara kadar mekanik cihazla kullanılırken gelişen teknoloji ile birlikte elektronik cihazlar da kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde ve EKK-1 Jeotermal Kuyusunda kullanılan cihazla ilgili bazı bilgiler Çizelge 4.1'de sıralanmıştır.



Resim 4.1. EKK-1 Jeotermal Kuyusu

4.2. Elazığ EKK-1 Jeotermal Kuyusunda Uygulanan Kuyu Tamamlama Testleri

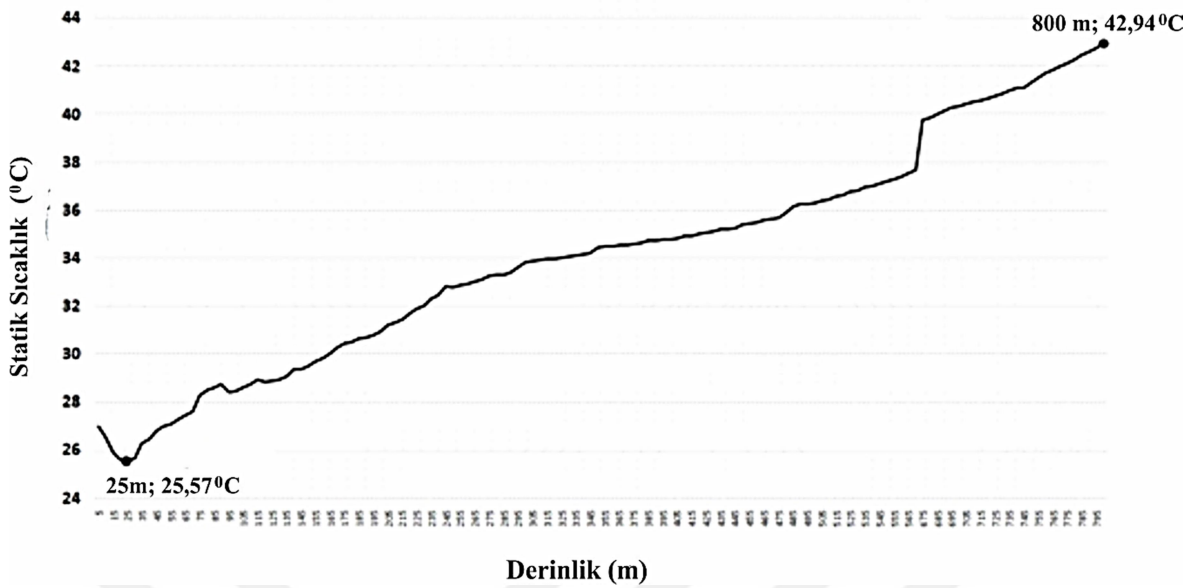
4.2.1. Sıcaklık Testleri

Elazığ - Karakoçan jeotermal kuyusunda gerçekleştirilen kuyu tamamlama sıcaklık testlerinde kuyuya ait statik ve dinamik sıcaklık değerleri derinliğe göre incelenmiş olup, elde edilen profiller neticesinde sıcaklığın hangi seviyelerde değiştiği ve kuyu içerisinde sıcaklığa bağlı oluşabilecek kabuklaşma, kaçak seviyeleri hakkında fikirler elde edilmiştir. Türkiye Asya ve Avrupa arasında önemli jeolojik yapıların olduğu olarak bilinen tektonik olarak aktif olan Alp Himalaya kuşağında yer almaktadır (Kındap, 2019). Bu bağlamda yapılan sıcaklık ölçümler hassas ölçüm olarak değerlendirilmiş ve statik sıcaklık ölçümleri her 5 metrede gerçekleştirilirken, dinamik sıcaklık değerleri her 50 metrajları arasında gerçekleştirilmiştir.

Statik Sıcaklık Testleri : Elazığ Karakoçan kuyusuna ait her 5 metrede ölçümü gerçekleştirilen statik sıcaklık değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. EKK-1 Kuyu Statik Sıcaklık ve Derinlik Değerleri

Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (°C)
5	26,98	195	30,81	385	34,73	675	39,77
10	26,57	200	30,92	390	34,72	680	39,89
15	25,88	205	31,20	395	34,78	685	40,03
20	25,60	210	31,31	400	34,77	690	40,13
25	25,57	215	31,45	405	34,81	695	40,29
30	25,67	220	31,69	410	34,91	700	40,36
35	26,27	225	31,89	415	34,91	705	40,46
40	26,45	230	32,05	420	35,00	710	40,53
45	26,81	235	32,33	425	35,07	715	40,57
50	24,00	240	33,46	430	35,11	720	40,69
55	27,04	245	32,82	435	35,19	725	40,76
60	27,30	250	32,78	440	35,23	730	40,85
65	28,52	255	32,87	445	35,27	735	41,00
70	29,59	260	32,91	450	35,40	740	41,12
75	30,58	265	33,02	455	35,46	745	41,12
80	31,94	270	33,11	460	35,50	750	41,32
85	28,62	275	33,25	465	35,59	755	41,51
90	28,77	280	33,32	470	35,66	760	41,71
95	28,41	285	33,33	475	35,71	765	41,87
100	28,46	290	33,40	480	35,88	770	42,02
105	28,63	295	33,65	485	36,16	775	42,16
110	28,74	300	33,85	491	36,24	780	42,30
115	28,94	305	33,86	495	36,27	785	42,49
120	27,86	310	33,94	500	36,31	790	42,62
125	28,87	315	33,97	505	36,41	795	42,78
130	28,96	320	33,96	510	365,44	800	42,94
135	29,08	325	34,04	515	36,60		
140	29,36	330	34,08	520	36,63		
145	29,38	335	34,10	525	36,76		
150	29,50	340	34,16	530	36,83		
155	29,72	345	34,20	535	36,95		
160	29,85	350	34,47	540	37,01		
165	30,03	355	34,49	545	37,11		
170	30,25	360	34,51	550	37,21		
175	30,44	365	34,53	555	37,29		
180	30,49	370	34,57	560	37,39		
185	30,63	375	34,58	565	37,53		
190	30,68	380	34,63	670	37,67		



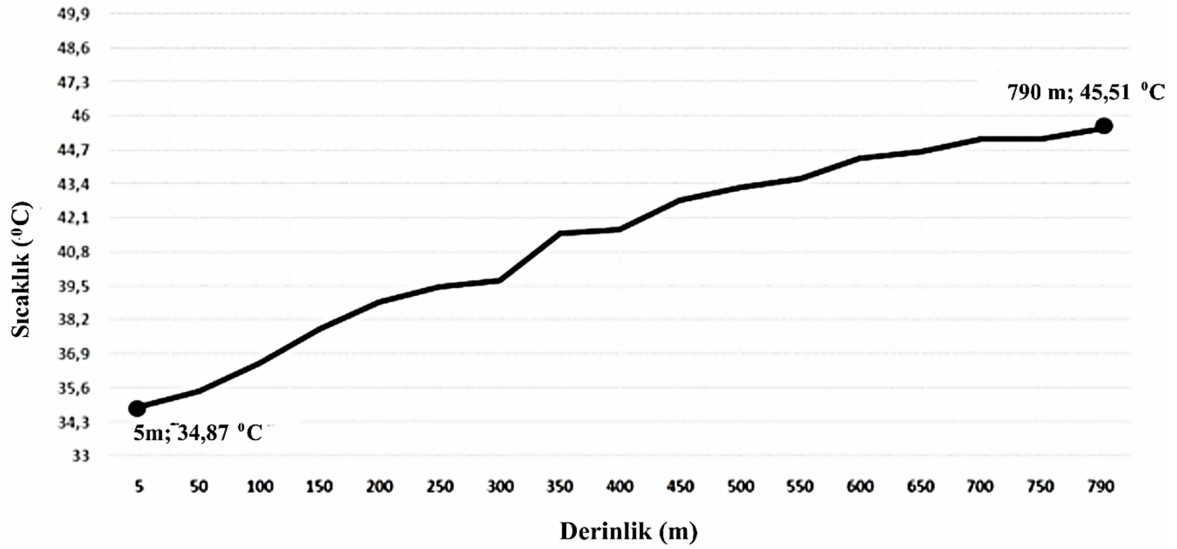
Şekil 4.2. EKK-1 Statik Sıcaklık – Derinlik Profili

Kuyuya ait üretime açılmadan önce Şekil 4.2’de gösterilen statik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5 m’de 26,98 °C sıcaklık değeri ile başlayan kuyu minimum sıcaklık değerine 25 m’de 25,57 °C sıcaklık değeri ile ulaşmıştır. Bu değer kuyuya ait son derinlik olan 800 m’de ise maksimum sıcaklık değeri 42,94°C olarak ölçülmüştür. Gösterilen grafiğin doğrusallığı kuyuda herhangi bir çamur kaçağın fazla olmayışı ya da kabuklaşmanın önemli bir boyutta olmadığını göstermektedir.

Dinamik Sıcaklık Testleri: Elazığ EKK-1 kuyusunda her 50 metrede yapılan saatlik dinamik sıcaklık ve basınç ölçümlerinden elde edilen veriler aşağıdaki Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

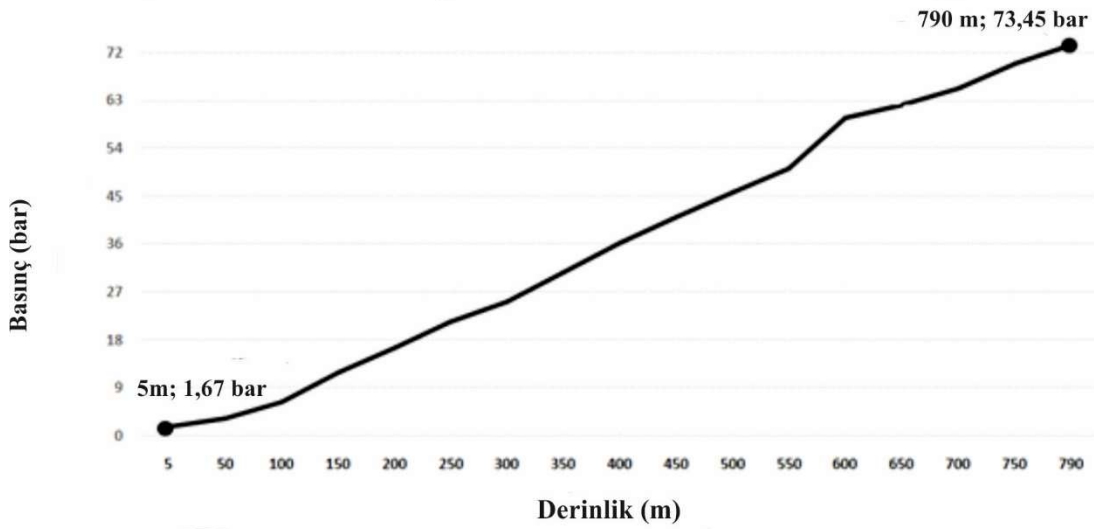
Çizelge 4.3. EKK-1 Kuyu Dinamik Sıcaklık ve Basınç Değerleri

Derinlik	Dinamik Sıcaklık (°C)	Dinamik Basınç (bar)
5	34,87	1,67
50	35,12	3,19
100	36,54	6,30
150	37,88	11,80
200	38,88	16,45
250	35,88	21,33
300	38,05	25,16
350	41,50	30,71
400	41,65	36,12
450	42,78	41,02
500	43,27	45,67
550	43,59	50,12
600	44,39	59,74
650	44,63	62,06
700	45,12	65,15
750	45,12	69,75
790	45,51	73,45



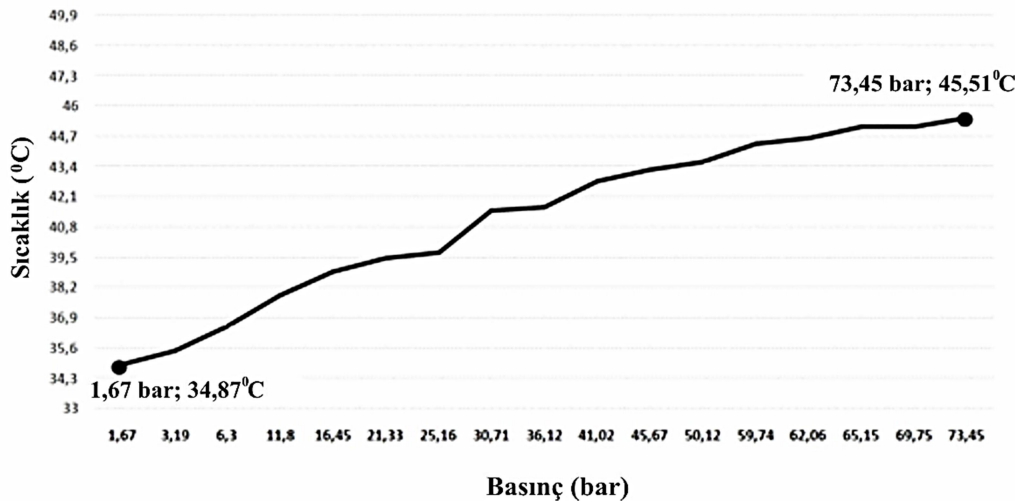
Şekil 4.3. EKK-1 Dinamik Sıcaklık – Derinlik Profili

Kuyuya ait üretime açıldıktan sonra elde edilen dinamik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması Şekil 4.3’de yapıldığında 5 m’de 34,87 °C sıcaklık değeri ile başlayan kuyu minimum sıcaklık değrine aynı metraj olan 5 m’de ulaşarak 790 m’de 45,51 °C sıcaklık değeri ile de en yüksek dinamik sıcaklık değrine ulaşmıştır. Dinamik sıcaklık değerleri ölçülürken kuyu içerisinde dinamik basınç ölçüsünde lineer olarak düz bir çizgi halinde uzanan basınç profili belli bir seviyeden yüzeye doğru sapma gösterir ki bu da kuyu içinde kabuklaşmanın başladığı seviye hakkında fikir verir (Bhatia, 2014).



Şekil 4.4. EKK-1 Dinamik Basınç – Derinlik Profili

Elde edilen dinamik basıncın derinliğe göre karşılaştırılması Şekil 4.4’de yapıldığında 5 m’de dinamik basınç değeri 1,67 bar ile başlayan kuyu maksimum dinamik basınç değrine 790 m’ de 73,45 bar olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5. EKK-1 Dinamik Sıcaklık – Basınç Profili

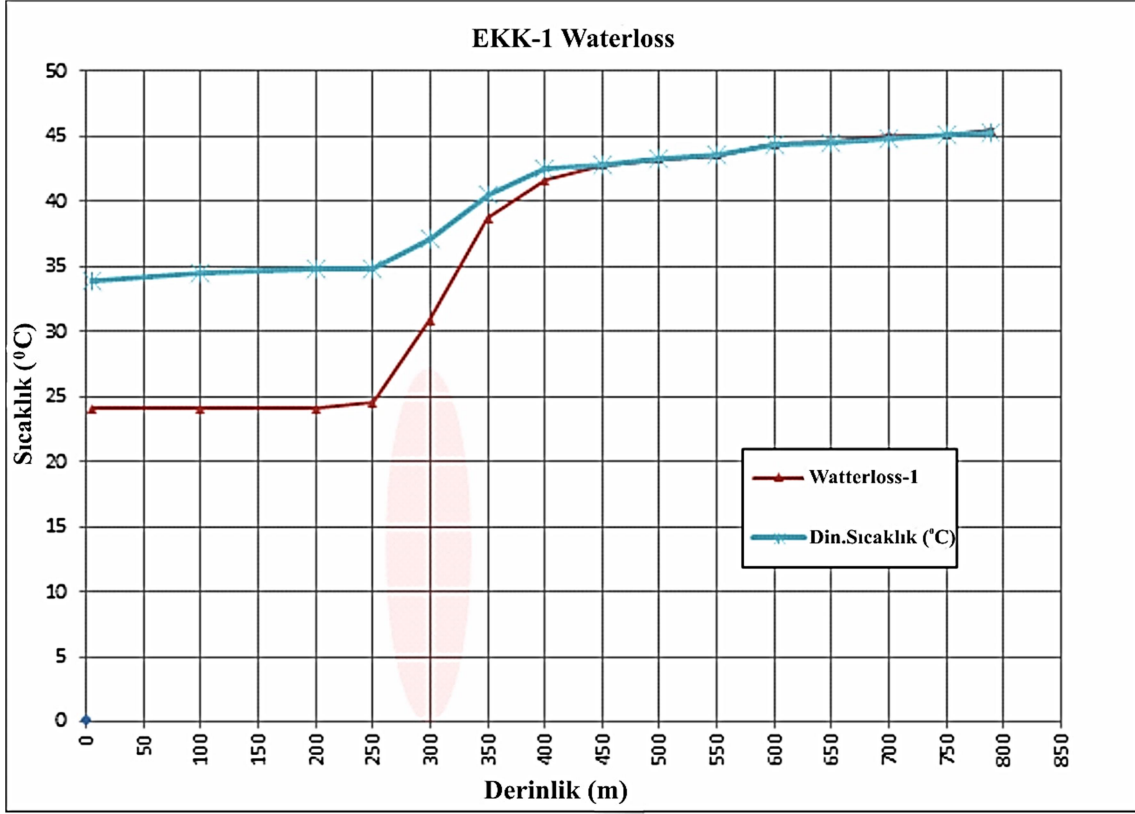
Kuyuya ait elde edilen dinamik basıncın dinamik sıcaklığına göre karşılaştırılması Şekil 4.5’de yapıldığında 5 m’de dinamik sıcaklığın 34,87 °C değeri ile başlayan noktada basıncın 1,67 bar, kuyu maksimum basınç değerine 73,45 bar ile ulaştığında dinamik sıcaklık 45,51 °C olarak ölçülmüştür.

4.2.2. Su Kaybı Testleri:

Elazığ - Karakoç kuyusunda gerçekleştirilen su kaybı testi için kuyuya yaklaşık 5 lt/sn debi ile 36 ton (21 °C) soğuk su basılarak kuyu içi soğutma işlemi uygulanmıştır. Su basılmaya devam ederken kuyu içi sıcaklık ölçüleri alınarak kuyudaki anlık veriler Çizelge 4.4’de işlenmiştir. Ayrıca, ölçü alınması sırasında aynı debide 54 ton su daha basılmıştır. Toplamda ise su kaybı testi boyunca 90 ton soğuk su basılmıştır.

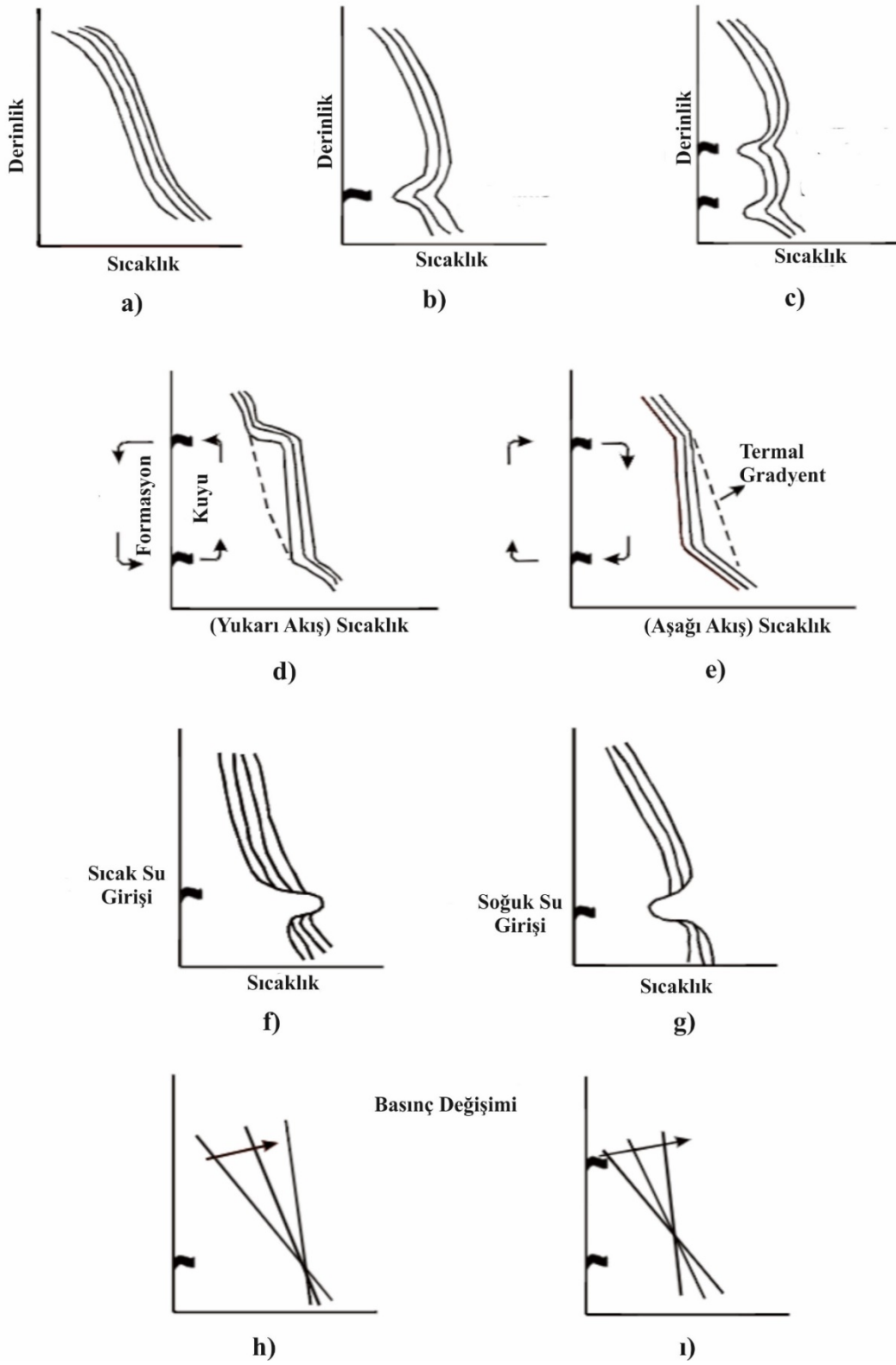
Çizelge 4.4. EKK-1 Kuyu Jeotermal Kuyusu ve Su Kaybı – Derinlik Değerleri

Kuyu :	EEK-1
Test :	Su Kaybı Testi
5	24,04
100	24,04
200	24,04
250	24,57
300	30,82
350	38,70
400	41,65
450	42,78
500	43,27
550	43,59
600	44,39
650	44,63
700	45,12
750	45,12
790	45,51
Derinlik	790



Şekil 4.6. EKK-1 Su Kaybı Zon Profili

Su basma kesildiğinde geçirgen zon veya zonun (250 - 300 metreler arasında) tekrar kuyu içine ısı akışı başlayacağından kuyuda ısınma oluşur ve bu seviyelerde ısınma daha fazla ve hızlı olacaktır. Su kaybı testi ile tespit edilen beslenme zonu seviyesi (0-250 metreler arası) ileri aşamada yapılacak rezervuar restleri için ölçü alınacak yer olacaktır. . Bu metrajların altında tabana kadar hiçbir şekilde su kaçmadığı ve herhangi bir geçirgen bir zon olmadığı Şekil 4.6'da EKK-1 jeotermal kuyusunda gerçekleştirilen su kaybı sıcaklık profilinde gözlemlenmiştir. Yeraltı suyu seviyesi ve kimyası çeşitli faktörlere bağlıdır (Çeliker, 2019). Su kaybı testleri ile belirlenen bu seviyeler, diğer testler ile beraber değerlendirilerek kararsız basınç testlerinde bekleme seviyesi olarak ve asitleme gibi operasyonlarda asit basma seviyesi olarak kullanılır. Su Kaybı Testinde, ısınma sırasında oluşan Şekil 4.7'de eğrilerden a, b ve c görsellerinden geçirgen zonların saptanması gerçekleştirilirken d ve e görsellerinden yukarı ve aşağı akış sıcaklık analizleri yapılmaktadır. Sıcak ve soğuk su girişine bağlı olarak gerçekleşen değişim (f ve g) ise h ve 1 görsellerindedir.



Şekil 4.7. Su Kaybı Testinde Isıtma Sırasındaki Eğriler

4.2.3. Çok Debili Enjeksiyon Testleri

Kuyuda çok debili enjeksiyon testi için, su kaybı testi ölçülerinde belirlenen geçirgen zon olan 280 metre seviyesine basınç ölçü aleti indirilir. İndirildikten sonra 10 dakikalık bekleme süresinden sonra kuyuya ardı ardına 4,85 l/sn ve 7,62 l/sn (17,5 ve 27,5 t/h) olacak şekilde iki farklı debide soğuk su basılarak rezervuar seviyesindeki basınç değişimi ölçülmek suretiyle çok debili enjeksiyon testi gerçekleştirilmiştir.

Su enjeksiyonu sırasında kuyuda karşı basınç gözlemlenir ve rezervuar seviyesinde basınç artışı (değişimi) gözlenir. Çizelge 4.5’de gözlem sonucu basınç artışı (değişimi) çok düşük olduğu tespit edilirken, geçirgenliğin çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Çok debili enjeksiyon testinin sonuçlarına göre Enjeksiyon İndeksi;

$$E.E = Q / (P_i - P_{wf}) \text{ eşitliğinden.} \quad (13)$$

EE : Enjektive endeksi (lt/sn/kg/cm²), (lt/san/bar,...)

Q : Kuyuya basılan akışkanın debisi (lt/san, t/h)

P_i : Enjeksiyon Basıncı (kg/cm²), (bar)

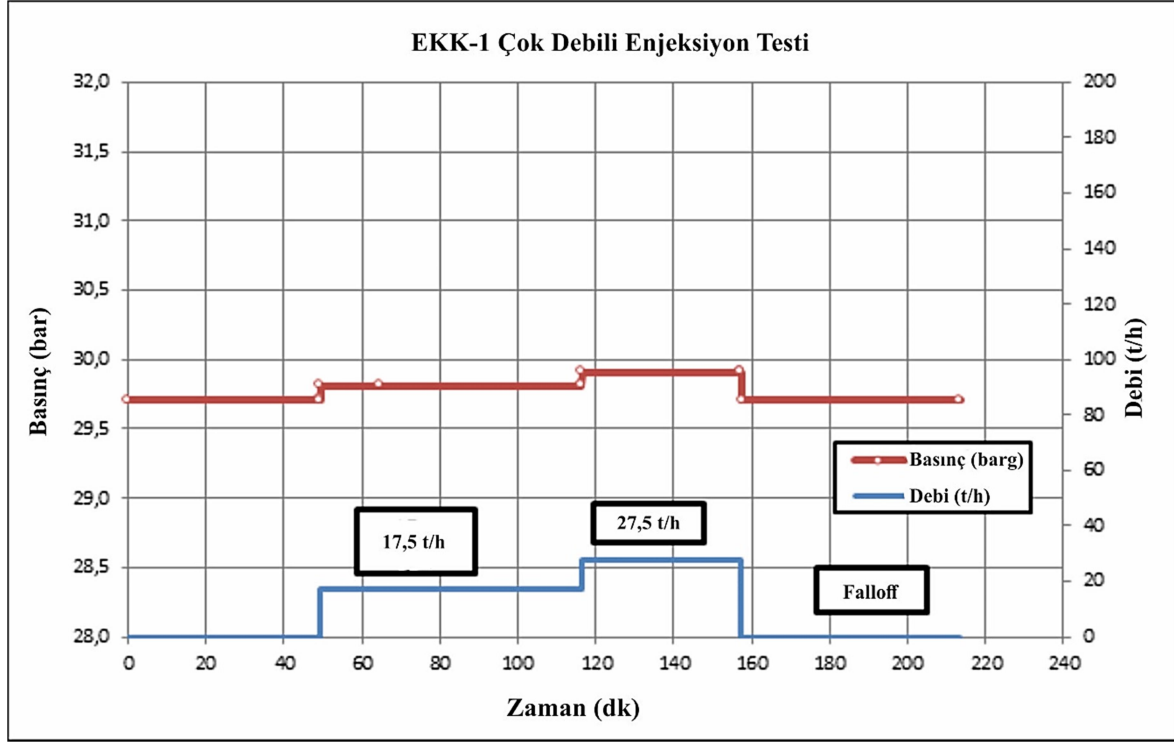
P_{wf} : Rezervuar Derinliğinde Beslenme Noktası Basıncı (Bar, kg/cm²)

$$EE1 = [17,5 \text{ (t/h)}] / [(29,81 - 24,40)] = 3,23 \text{ t/h/bar}$$

$$EE2 = [27,5 \text{ (t/h)}] / [(29,91 - 24,40)] = 4,99 \text{ t/h/bar}$$

Çizelge 4.5. EKK-1 Kuyu Çok debili Enjeksiyon Basınç ve Debi değerleri

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)	Durum
0,00	29,71	0,0	280 metrede Bekleme
49,27	29,71	0,0	
49,27	29,71	17,5	1. Debi
49,47	29,81	17,5	
64,90	29,81	17,5	
116,23	29,81	17,5	
116,23	29,81	27,5	2. Debi
116,53	29,91	27,5	
157,24	29,91	27,5	
157,24	29,91	0,0	Falloff
157,53	29,71	0,0	
213,43	29,71	0,0	



Şekil 4.8. EKK-1 Üretim Zonundaki Çok Debili Enjeksiyon ve Basınç Profili

Bu test ile su basılması sırasında oluşan basınç değişimi Şekil 4.8’de değerlendirildiğinden üretim kuyularında çok kullanılsa da tekrar/basma kuyuların tasarım ve işletilmesi için esas parametrelerden biri olan Enjeksiyon İndeksi, bu test sonucu belirlenmektedir.

4.2.4. Üretim Test Çalışmaları

EKK-1 Jeotermal Kuyu testleri öncesi kuyu temizlenmesi ve geliştirilmesi adına 50 saat artezyenik olarak üretim yapılmış ve kuyu temizlenmiştir. Kuyuda 250 - 300 metreler arasında artezyenik olarak ortalama 23 t/h. ile debi ile enjeksiyon test ölçümü yapılmıştır. Kuyu başı üretim sıcaklığı 35,0 °C ölçülmüştür. Kuyunun en yüksek taban statik sıcaklığı 42,94 °C, 250 - 300 metreler arasındaki üretim zonu dinamik sıcaklıkları 35,88 - 38,05 °C arasında değişmektedir. Kuyunun enjeksiyon endeksi E.E1 =3,23 t/h/bar, E.E2 =4,99 t/h/bar olarak hesaplanmıştır. Kuyuda dinamik halde 1,6 bar seviyelerine yükselen kuyu başı basıncı üretim sırasında 1,7 bar değerlerine yükselmiştir.

Yapılan üretim ve test çalışmalarında kuyu içerisinde iki farklı zonda (Sığ Bölge 250-300 metreler arası ve Derin Bölge ise 650-500 metreler arası) iki farklı üretimin olduğu görülmüştür. Üretim zonlarını kapatmamak adına lineer borular eklenerek kuyu ağzına kadar uzatılarak 9 5/8" casingler ile üretim sağlanmıştır.

EKK-1 sondajı sırasında kuyuda 350 metre derinlikten kuyu bitiş derinliği olan 800 metre derinliğe kadar HCL asitleme operasyonu ile geliştirilebilecek yoğun mermer, dolomit kireçtaşı ve kalkıştler kesilmiştir. Ayrıca 670 - 720 ve 770 - 800 metreler arasında yoğun limonitleşmeler ve jeotermal kökenli olabilecek pirit taneleri gözlenmiştir. Bu bağlamda söz konusu umut vadeden seviyeler asitleme operasyonu ile geliştirebileceği öngörülmüştür. Asit basma operasyonu sırasında, asitin formasyon ile temasından hemen sonra kuyu başı basıncının düştüğü gözlenmiştir. Sonrasında basılan asit karışımı 45m³'lük su ile rezervuar zonunun içerisine ötelenmiştir. Yaklaşık 12 saat sonra kuyu üretime açılmıştır. Bu duruma ek olarak, yaklaşık 2 saatlik üretimden sonra kuyuya tekrardan 8m³ lük HCL asit basılmıştır. II. Asitleme operasyonundan sonra hedeflenen seviyeler ile basılan asidin etkileşime geçmesi için kuyu başı tekrardan 24 saat süreyle kapatılmıştır ve beklemeye geçilmiştir. Yapılan operasyonlardan sonra kuyu üretime açılmıştır. 250 - 300 metreler arasında yapılan üretim yanal artezyenik üretimdir. Kuyu tabanından yapılan üretim ise dikey artezyenik üretim şeklindedir. Üretim çalışmaları sırasında iki üretim zonu hem aynı anda, hem de ayrı ayrı açılarak üretim değerleri gözlenmiştir. Üretim zonları ayrı ayrı açıldığında 250 - 300 metreler arasında yer alan sığ zonun 23 l/sn artezyenik debide, 35,0 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan gelişi gözlenmiştir. 650 – 800 ma üretim yapan derin zonun 12 l/sn artezyenik debide, 45 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan gelişi gözlenmiştir. İki üretim zonu aynı anda üretime açıldığında üretim değerlerinin kaydedilmesi amacı ile iki zon aynı anda üretime açılmıştır. Yaklaşık 10 saatlik üretimden sonra toplam artezyenik debi değerimiz 35 l/sn, üretim sıcaklığımızın ise 37,2 °C değerinde sabitlendiği gözlemlenmiştir.

4.3. Delphi ile Program Veri Tabanı ve EKK-1 Kuyusu ile Eşleştirilmesi

Gelişen teknoloji ile birlikte gerek makineleşme gerekse bilgisayara dayalı programlamalar ile sonuçların hızlı bir şekilde elde edilip ve analiz edilmesi oldukça önem kazanmaktadır. Birçok sektörde olduğu gibi yeraltı kaynaklarının araştırılması konusunda da teknolojik gelişmeler ve bilgisayar programlama dili oldukça önem arz etmektedir. Program,

bilgisayarda belirli bir amacı gerçekleştirmek için geliştirilmiş yöntemlerin ve verilen, bilgisayar donanımının yerine getirebileceği, uygulayabileceği bir biçimin ifadesidir. Bu bağlamda geliştirilen yazılım dillerinden biri olan Delphi ile oluşturulmuş algoritmalar sayesinde “Kuyu Analiz” programı ile günümüz teknolojik gelişmelerden faydalanarak hızlı ve pratik hesaplamalar, yorumlamalar ve grafikler elde etmemize olanak sağlamaktadır. Program kapsamında jeotermal kuyularda uygulanan Sıcaklık, Basınç ve Enjeksiyon Testlerinin grafiksel olarak hesaplanmaları ve bu grafik – bulgulara dayalı yorumlanmış raporların anında çıktısını alabilmemize olanak sağlamaktadır. Uygulanabilirlik açısından oldukça sade kullanıcı ara yüzünün olması ve Delphi ile işlenmiş yazılım diline sahip olması ayrıca her zaman güncel ve gelişime açık tutmasını sağlamaktadır.

4.3.1. Programa Giriş



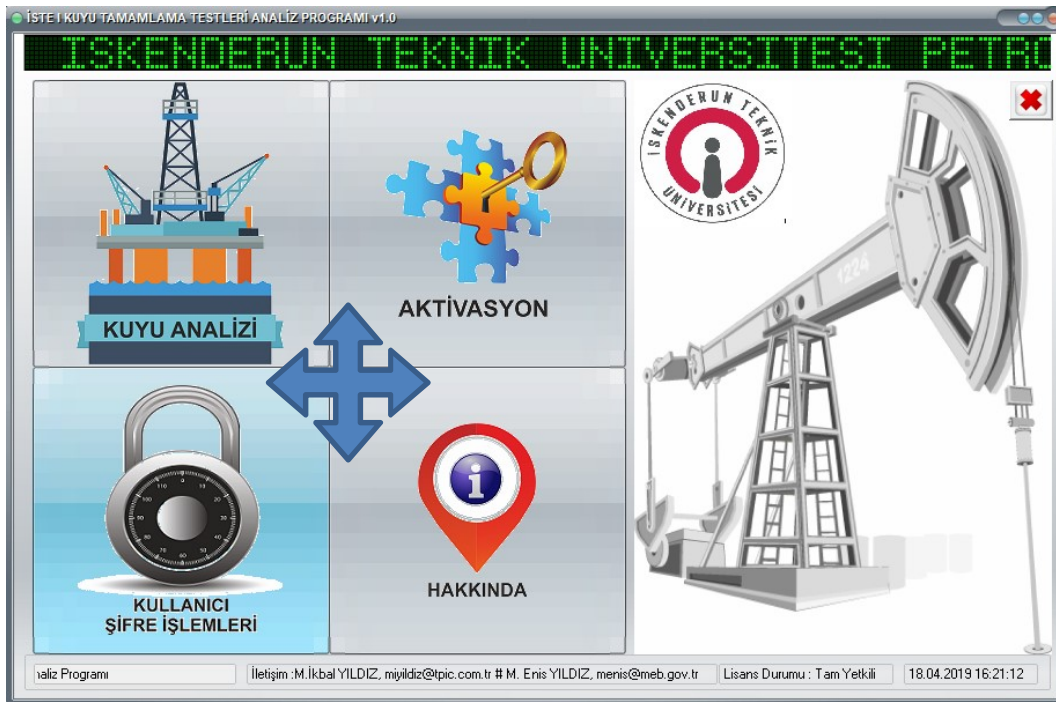
Resim 4.2. İSTE Analiz Programı Giriş Ekranı

Oil Project.exe ile yapılandırılmış exe dosyası ile Resim 4.2’de İskenderun Teknik Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen kuyu tamamlama testleri analiz programının ana giriş arayüz bölmesine geçiş sağlanır. Bu ekranda kullanıcı panelinin temel ara yüzü ve kullanıcıya özel yapılandırılabilen şifre ve aktivasyon komutları vardır. Her kullanıcıya özel olarak üretilebilen şifre ve kullanıcı adı kombinasyonu ile elde edilen kuyu verileri her zaman “Well Data Base” ile veri tabanında saklanmış ve korunmuş olur. Kayıt edilen her kuyu analiz verileri bir sonraki kuyu analizine kadar korunur ve isteğe göre silinir/kayıt altında tutulmaya devam edilir. Böylece her kuyu için bir önceki kuyu ile program sonucu

elde edilen veriler karşılaştırma imkanı sunarken ayrıca yeraltı kaynaklarının araştırılması konusunda önem arz eden jeotermal sondajlarının temel prensibine uyan gelişebilirlik prensibini de yerine getirmiş olmaktadır.

Temel ara yüz Şekil 4.2’de gösterilen giriş ekranı ile karşılaştıktan sonra giriş butonu ile program başlatılır ve yine sağ üst bölmedeki “X” butonu ile programdan çıkış sağlanır.

4.3.2. Kullanıcı Paneli

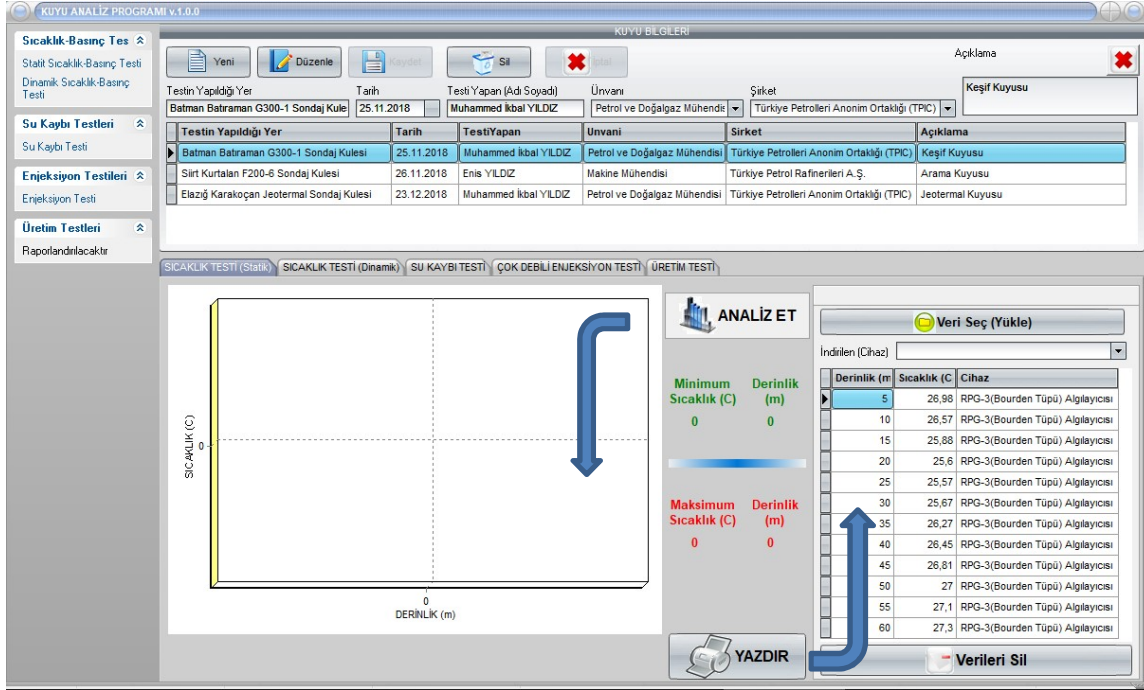


Resim 4.3. İSTE Analiz Programı Panel Ekranı

Giriş ekranı sonrası kullanıcıya ait özelleşebilen Resim 4.3’deki “Kullanıcı Panel” ekranında;

1. Hakkında, programa ait tüm yasal hakların mevcut olduğu temel açıklamaların bulunduğu sekmedir.
2. Kullanıcı Şifre İşlemleri, giriş ekranına ait kullanıcılara özel olarak belirlenen şifre kombinasyonlarının belirlendiği veya değiştirildiği özel sekmedir.
3. Aktivasyon, programa ait sürümlerin versiyonuna bağlı olarak içerisinde barındıran kuyu tamamlama analiz testlerin ve uygulamaların kullanımını sınırlı/sınırsız hale getiren sekmedir.
4. Kuyu raporlandırmaların ve yapılacak testlerin bulunduğu ana sekmedir.

4.3.3. Analiz ve Raporlama Paneli



Resim 4.4. İSTE Analiz Programı Analiz Ekranı

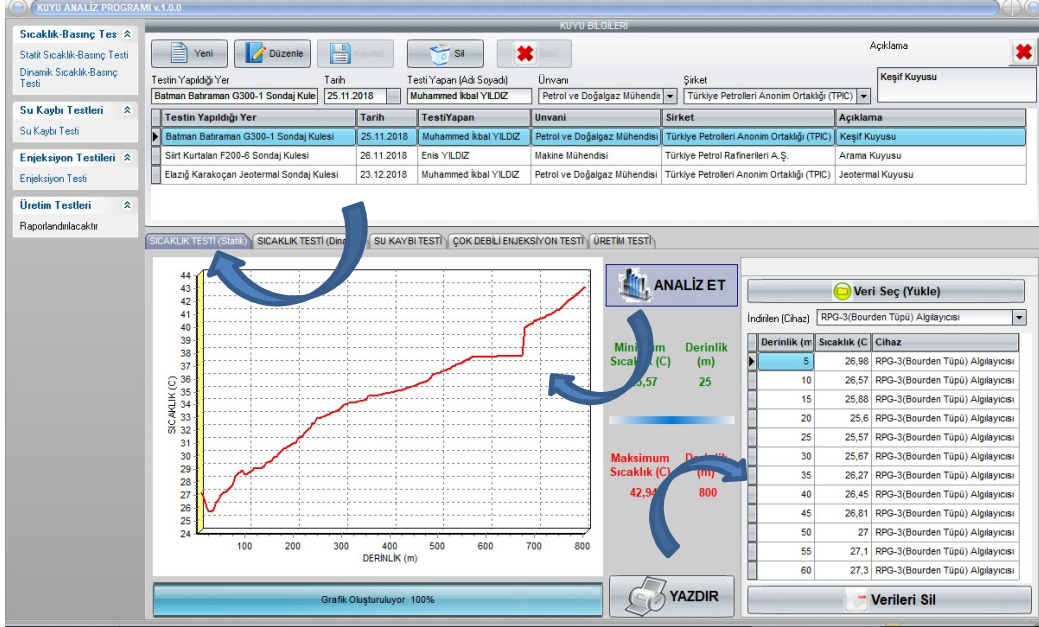
Analiz ve Raporlama Resim 4.4’de ekranı ile programa dayalı esas hesaplamaların ve elde edilen grafikler sonucu raporların oluşturulduğu ana sekmelerin bütünüdür. Her lokasyon ya da kuleye özel olarak gerçekleştirdiği hesaplama modelinin yanında ara yüz açısından kolay ulaşılabilirlik kapsamında kullanıcıya özel ve hızlı olanaklar sunmaktadır.

Sol üst bölmede Jeotermal Kuyularda kuyu tamamlama kapsamında gerçekleştirilen testler yer alırken sağ üst bölmede lokasyona ait yerleşke, tarih, personel bilgilendirmeleri ve açıklamalar ile her lokasyona/kuleye özel olarak sıralanmakta ve veri tabanına kaydedilir. Kaydedilen bilgiler veri tabanında analiz edilerek geçmişe dönük karşılaştırmalar ile raporlar sunabilmektedir.

Yapılacak olan kuyu tamamlama testlerine göre hazırlanmış olan veri seç butonu ile Microsoft Excel’de hazırlanan ve tanımlanan parametreleri program içerisine taşıyarak işletilmesini sağlamaktadır. İşletilen her parametreye karşılık olarak yapılan teste özgü grafikler, tablolar ve raporlamalar oluşturulmaktadır.

4.3.4. Sıcaklık ve Basınç Testi Uygulaması

Statik Sıcaklık – Basınç Testi ve Eşleştirilmesi:



Resim 4.5. İSTE Analiz Programı Statik Sıcaklık – Basınç Ekranı

Statik Sıcaklık – Basınç Testi Resim 4.5'deki sekmesi ile uygulanacak olan testin giriş menüsü ile beraber uygulanacak adımlar başlıca;

1. Sağ buton bölmesinden kuyuya indirilen/ indirilecek sıcaklık ve basınç ölçüm cihaz seçimi gerçekleştirilir.
2. Cihazın elde ettiği veriler Microsoft Excel ortamına aktarılarak program için uygun formata çevrilir ve veri seç butonu ile parametreler program eklenir.
3. Yönlendirilen parametrelere bağlı olarak Analiz Et botunu ile her bir parametreye karşılık gelen değerler grafiksel olarak tanımlanarak kuyu testine ait temel veriler sunulur.
4. Statik sıcaklık ve basınç testleri için önem arz eden maksimum – minimum sıcaklık ve basınç değerleri ara yüz ekranında tanımlanırken kuyu testine ait raporlama dili "Yazdır" butonu ile rapor çıktısı alınır.
5. Yazdırılan grafiksel değerler kuyuya ait yorumlamalar ve değişkenlere göre tarih, saat, şirketin adı ve personel bilgilerini de içeren pdf formatında raporlama diline çevirir.



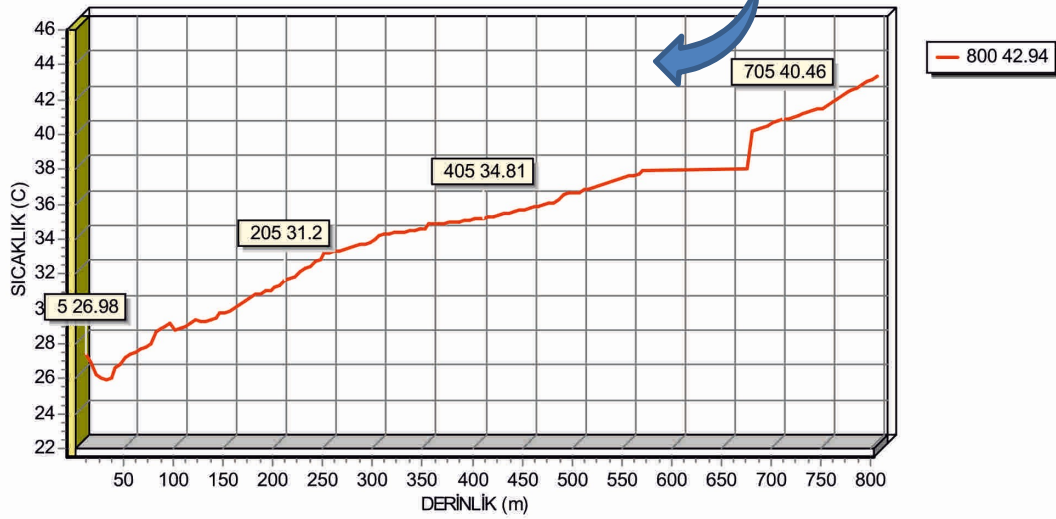
T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test : Statik Sıcaklık Testi

Tarih : 25.11.2018

Lokasyon Bilgisi : Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

İndirilen Cihaz: RPG-3(Bourden Tüpü) Algılayıcısı



STATİK SICAKLIK - DERİNLİK GRAFİĞİ

Kuyuya ait üretime açılmadan önce elde edilen statik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5. metrede 26.98 C ile başlayan kuyu, sıcaklık değerleri arasında minimum değerine 25. metreden itibaren ulaşarak 25.57 C olarak ölçülmüştür. Bu değere karşılık kuyuya ait maksimum statik sıcaklık değeri, son derinlik olan 800. metrede 42.94 C olarak ölçülmüştür. Gösterilen grafiğin doğrusallığı kuyuda herhangi bir çamur kaçığının fazla olmayışı yani önemli bir boyutta olmadığını göstermektedir.

Muhammed İkbal YILDIZ
Petrol ve Doğalgaz Mühendisi
Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

Resim 4.6. İSTE Analiz Programı Statik Sıcaklık – Derinlik Test Raporu

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapor kapsamında;

Jeotermal kuyularda uygulanan Resim 4.6'da statik sıcaklık testi için kuyuya ait üretime açılmadan önce elde edilen statik sıcaklık değer değişimleri ve derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5 m'de 26,98 °C sıcaklık değeri ile başlayan kuyu minimum değere 25 m'de ulaşarak 25,57 °C sıcaklık değeri ölçülmüştür. Bu değer kuyuya ait son derinlik olan 800 m'de ise maksimum sıcaklık değeri 42,94 °C olarak ölçülmüştür. Gösterilen grafiğin doğrusallığı kuyuda herhangi bir çamur kaçağın fazla olmayışı ya da kabuklaşmanın önemli bir boyutta olmadığını göstermektedir.

Raporda elde edilen her parametreler yüklenecek olan veri tabanına göre özel farklılık göstermekte olup raporda uygulanan yorumlama değişecek her parametreye göre değişkenlik göstermektedir.

Dinamik Sıcaklık – Basınç Testi ve Eşleştirilmesi :

The screenshot displays the 'KUYU ANALİZ PROGRAMI v.1.0.0' software interface. The main window is titled 'KUYU BİLGİLERİ' and contains a table of test data. The table has columns for 'Testin Yapıldığı Yeri', 'Tarih', 'Testi Yapan (Adı Soyadı)', 'Unvanı', 'Şirket', and 'Açıklama'. The data row shows a test conducted on 25.11.2018 at 'Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi' by 'Muhammed İkbâl YILDIZ', a 'Petrol ve Doğalgaz Mühendisi' at 'Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)', with the location 'Keşif Kuyusu'.

Below the table, there are three empty graphs for data visualization: 'BASINÇ (bar)' vs 'DERİNLİK (m)', 'SICAKLIK (C)' vs 'DERİNLİK (m)', and 'SICAKLIK (C)' vs 'BASINÇ (bar)'. Each graph has a circular arrow icon indicating a refresh or update function.

To the right of the graphs, there are three 'ANALİZ ET' buttons, each with a printer icon. Below these, there is a 'Veri Seç (Yükle)' button and a data table with columns 'Derinlik(m)', 'Sıcaklık(C)', 'Basınç(bar)', and 'Cihaz'. The table contains data for depths from 5m to 550m, with corresponding temperature and pressure values. A blue double-headed arrow is positioned over the 'Sıcaklık(C)' and 'Basınç(bar)' columns. At the bottom right, there is a 'Verileri Sil' button.

Resim 4.7. İSTE Analiz Programı Dinamik Sıcaklık – Basınç Ekranı



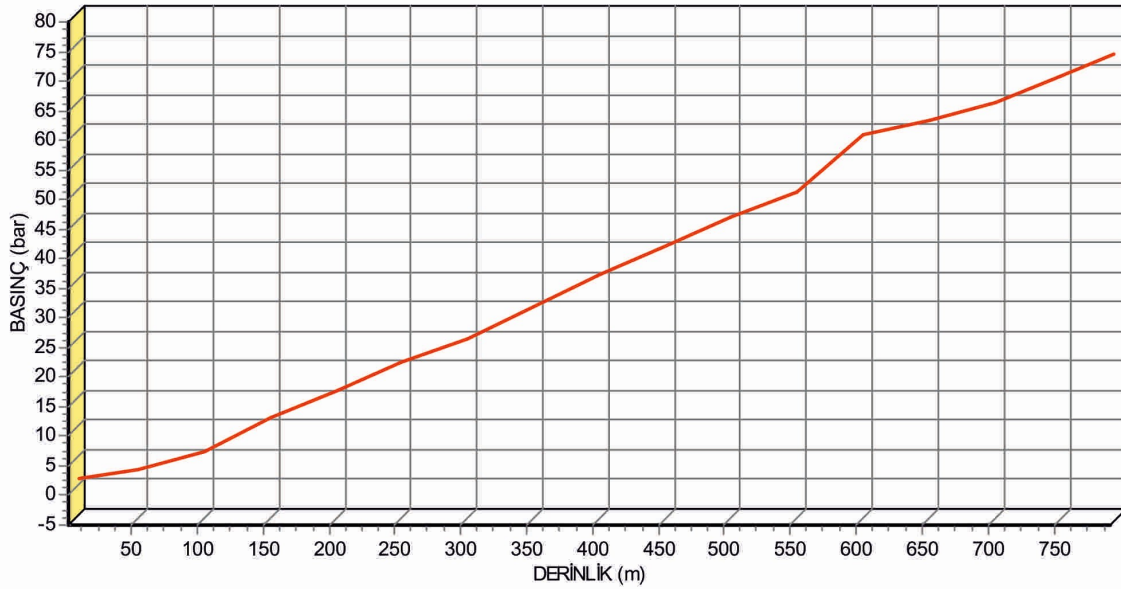
T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test :Dinamik Sıcaklık Testi

Tarih :25.11.2018

Lokasyon Bilgisi :Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

İndirilen Cihaz: RPG-3(Bourden Tüpü) Algılayıcısı



DİNAMİK BASINÇ - DERİNLİK GRAFİĞİ

Elde edilen dinamik basıncın derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5. metrede 1.67 bar ile başlayan kuyu, maksimum basınç değerine 790. metreden itibaren ulaşarak 73.45 bar olarak ölçülmüştür.

Muhammed İkbal YILDIZ
Petrol ve Doğalgaz Mühendisi
Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

Dinamik Sıcaklık – Basınç Testi sekmesi ile uygulanacak olan testin giriş menüsüne ile beraber uygulanacak adımlar kapsamında;

1. Resim 4.7’de gösterilen sağ buton bölgesinden kuyuya indirilen/ indirilecek sıcaklık ve basınç ölçüm cihaz seçimi gerçekleştirilir.
2. Cihazın elde ettiği veriler Microsoft Excel ortamına aktarılarak program için uygun formata çevrilir ve veri seç butonu ile parametreler program eklenir.
3. Yönlendirilen parametrelere bağlı olarak Analiz Et butunu ile her bir parametreye karşılık gelen değerler grafiksel olarak tanımlanarak kuyu testine ait temel veriler sunulur.
4. Dinamik sıcaklık ve basınç testleri için önem arz eden maksimum – minimum sıcaklık ve basınç değerleri ara yüz ekranında tanımlanırken kuyu testine ait raporlama dili “Yazdır” butonu ile rapor çıktısı Resim 4.8’de gösterildiği gibi elde edilir.

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapora kapsamında;

Dinamik basıncın derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5 m’de 1,67 bar ile başlayan kuyu maksimum basınç değerine 790 m’de 73,45 bar olarak ölçülmüştür.

Raporda elde edilen her parametreler Şekil 4.9’da yüklenecek olan veri tabanına göre özel farklılık göstermekte olup raporda uygulanan yorumlama değişecek her parametreye göre değişkenlik göstermektedir.



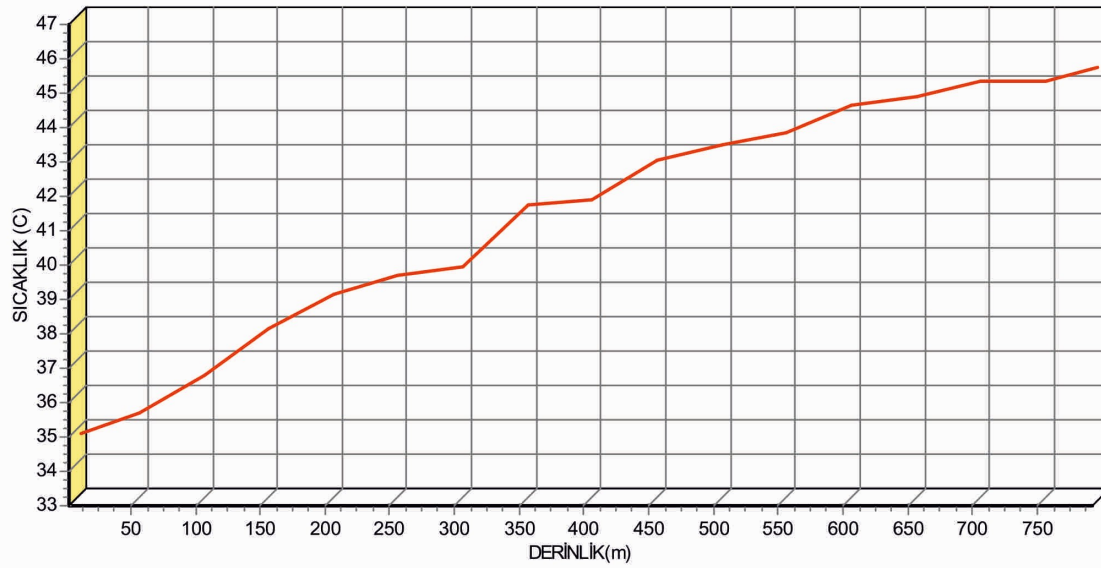
T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test :Dinamik Sıcaklık Testi

Tarih :25.11.2018

Lokasyon Bilgisi :Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

İndirilen Cihaz: RPG-3(Bourden Tüpü) Algılayıcısı



DİNAMİK SICAKLIK - DERİNLİK GRAFİĞİ

Elde edilen dinamik sıcaklığın derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5. metrede 34.87 C ile başlayan kuyu, maksimum sıcaklık değerine 790. metrede 45.51 C olarak ölçülmüştür.

Muhammed İkbal YILDIZ
Petrol ve Doğalgaz Mühendisi
Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapor kapsamında;

Dinamik sıcaklığın derinliğe göre karşılaştırılması yapıldığında 5 m'de 34,87 °C sıcaklık değeri ile başlayan kuyu maksimum sıcaklık değerine 790 m'de 45,51 °C sıcaklık değeri olarak ölçülmüştür.

Raporda ve Resim 4.10'da elde edilen parametreler oluşturulacak olan veri tabanına özel farklılık göstermekte olup raporda uygulanan yorumlama değişecek her parametreye göre değişkenlik göstermektedir.

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapor kapsamında;

Kuyuya ait elde edilen dinamik basıncın dinamik sıcaklığa göre karşılaştırılması yapıldığında 5. metrede 34,87 °C sıcaklık değeri ile başlayan noktada basıncın 1,67 bar, kuyu maksimum basınç değerine 73,45 bar ile ulaştığı dinamik sıcaklık 45,51 °C değeri ölçülmüştür. Dinamik sıcaklık değerleri ölçülürken kuyu içerisinde dinamik basınç ölçüsünde lineer olarak düz bir çizgi halinde uzanan basınç profili belli bir seviyeden yüzeye doğru sapma gösteri ki bu da kuyu içinde kabuklaşmanın başladığı seviye/metraj hakkında fikir vermektedir.

Raporda ve Resim 4.10'da elde edilen parametreler yüklenecek olan veri tabanına özel farklılık göstermekte olup raporda uygulanan yorumlama değişecek her parametreye göre değişkenlik göstermektedir.



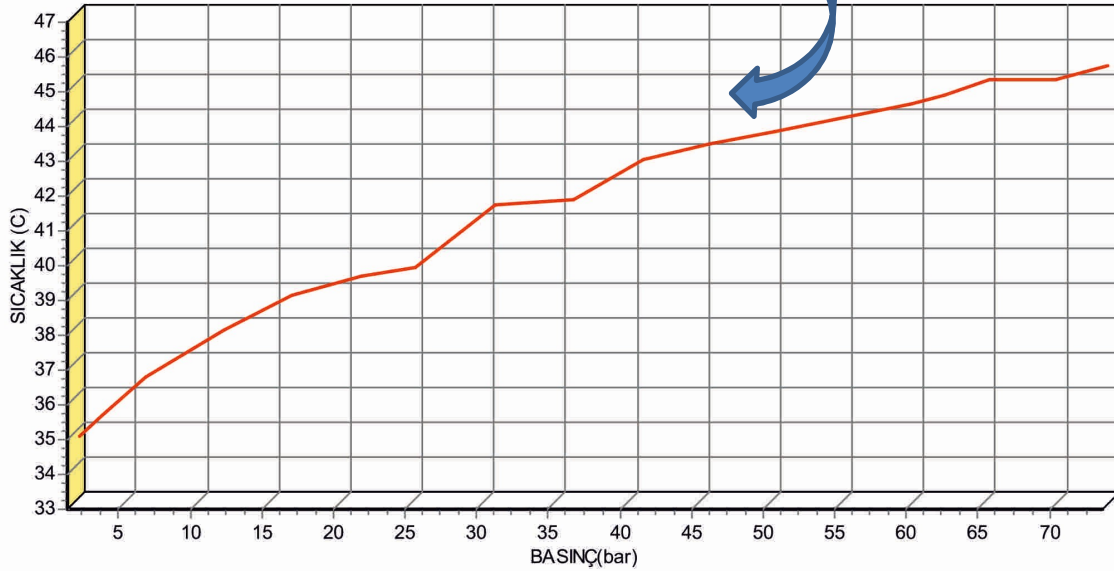
T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test :Dinamik Sıcaklık Testi

Tarih :25.11.2018

Lokasyon Bilgisi :Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

İndirilen Cihaz:RPG-3(Bourden Tüpü) Algılayıcısı



DİNAMİK SICAKLIK - BASINÇ GRAFİĞİ

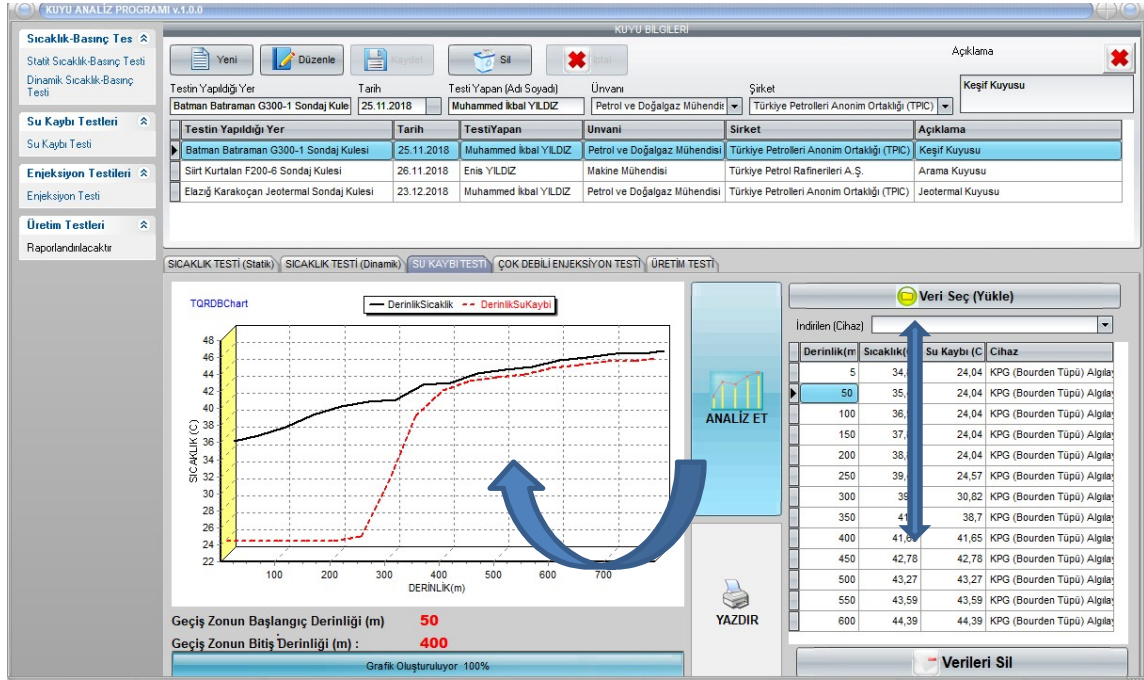
Kuyuya ait elde edilen dinamik basıncın dinamik sıcaklığına göre karşılaştırılması yapıldığında 5. metrede 34.87 C ile başlayan noktada basıncın 1.67 bar, kuyu maksimum basınç değerine 73.45 bar ile ulaştığında dinamik sıcaklık 45.51C olarak ölçülmüştür.

Dinamik sıcaklık değerleri ölçülürken kuyu içerisinde dinamik basınç ölçüsünde lineer olarak düz bir çizgi halinde uzanan basınç profili belli bir seviyeden yüzeye doğru sagma gösterir ki bu da kuyu içinde kabuklaşmanın başladığı seviye hakkında fikir verir.



Muhammed İkbal YILDIZ
Petrol ve Doğalgaz Mühendisi
Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

4.3.5. Su Kaybı Testi Uygulaması



Resim 4.11. İSTE Analiz Programı Su Kaybı Test Ekranı

Su Kaybı Testi sekmesi ile uygulanacak olan testin giriş menü kapsamında;

1. Sağ buton Resim 4.11’de bölmesinden kuyuya indirilen/ indirilecek sıcaklık ve basınç ölçüm cihaz seçimi gerçekleştirilir.
2. Cihazın elde ettiği veriler Microsoft Excel ortamına aktarılarak program için uygun formata çevrilir ve veri seç butonu ile parametreler program eklenilir.
3. Yönlendirilen parametrelere bağlı olarak “Analiz Et” botunu ile her bir parametreye karşılık gelen değerler grafiksel olarak tanımlanarak kuyu testine ait temel veriler sunulur.
4. Su Kaybı testleri için önem arz geçiş zonlarının başlangıç ve bitiş değerlerinin ara yüz ekranında tanımlanırken kuyu testine ait raporlama dili “Yazdır” butonu ile Resim 4.12’deki gibi çıktısı elde edilir.
5. Yazdırılan grafiksel değerler kuyuya ait yorumlamalar ve değişkenlere göre tarih, saat, şirketin adı ve personel bilgilerinin de içeren pdf formatında raporlama diline çevirir.



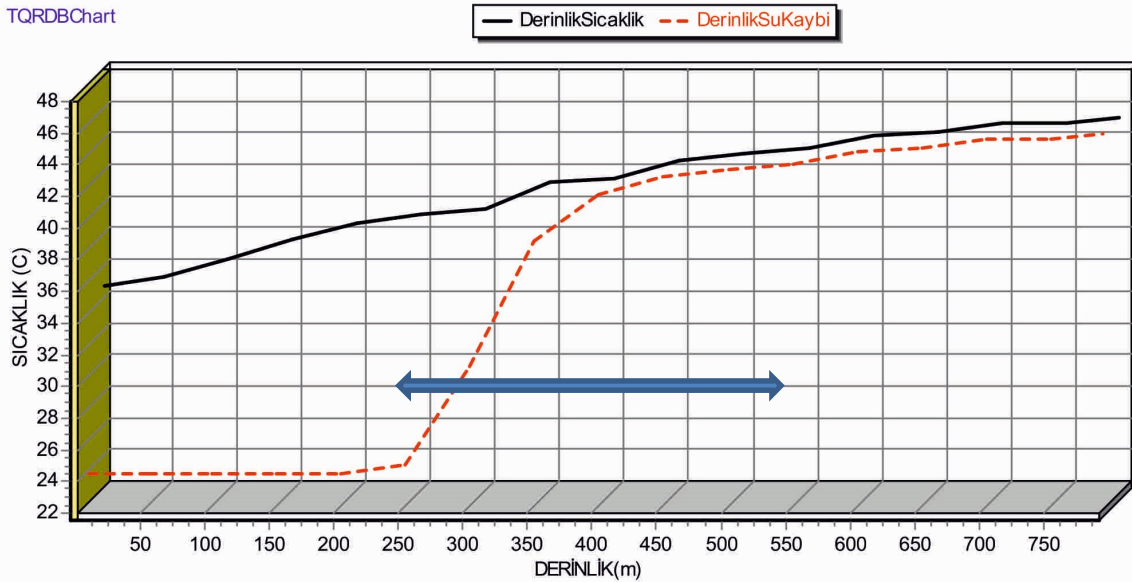
T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test : Su Kaybı Testi

Tarih : 25.11.2018

Lokasyon Bilgisi : Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

TQRDBChart



SU KAYBI TESTİ GRAFİĞİ

Kuyuda gerçekleştirilen su kaybı testi için toplamda 90 ton su basılmıştır. Su basımı kesildiğinde geçirgen zon olan 50 - 400 metreler arasında kuyu içine ısı akışı başlayacağından kuyuda ısınma oluşur. Su kaybı ile tespit edilen beslenme zonu ileri aşamada yapılacak olan rezervuar testleri için ölçü alınacak yer olacaktır.

Muhammed İkbal YILDIZ

Petrol ve Doğalgaz Mühendisi

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapor kapsamında;

Kuyuda gerçekleştirilen su kaybı testi ve Şekil 4.12’de gösterilen sistem için toplamda 90 ton su basılmıştır. Su basımı kesildiğinde geçirgen zon olan 50 – 400 metrajlar arasında kuyu içine ısı akışı başlayacağından kuyuda ısınma oluşur. Su kaybı ile tespit edilen beslenme zonu ileri aşamada yapılacak olan rezervuar testleri için ölçü alınacak yer (zon) olacaktır. Raporla elde edilen her parametreler yüklenecek olan veri tabanına göre özel farklılık göstermekte olup raporda uygulanan yorumlama değişecek her parametreye göre değişkenlik gösterir.

4.3.6. Çok Debili Enjeksiyon Testi Uygulaması

Çok Debili Enjeksiyon Testi sekmesi ile uygulanacak olan testin giriş menüsü kapsamında;

1. Resim 4.13’de sağ buton bölmesinden kuyuya indirilen/ indirilecek sıcaklık ve basınç ölçüm cihaz seçim gerçekleştirilir.
2. Yönlendirilen parametrelere bağlı olarak veri seç/yükle butonu ile her bir parametreye karşılık gelen değerler grafiksel olarak tanımlanarak kuyu testine ait temel veriler sunulur.
3. Çok debili enjeksiyon testleri için önem arz eden üretim endeksi değerleri ve bu değerler karşılık gelen basınç değerlerinin karşılaştırmasıdır. Ara yüz ekranında tanımlandıktan sonra s kuyu testine ait raporlama dili “Yazdır” butonu ile çıktısı elde edilir.
4. Yazdırılan grafiksel değerler kuyuya ait yorumlamalar ve değişkenlere göre tarih, saat, şirketin adı ve personel bilgilerini de içeren pdf formatında raporlama diline çevirir.

Testin Yapıldığı Yer	Tarih	TestiYapan	Unvani	Sirket	Açıklama
Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi	25.11.2018	Muhammed İbkal YILDIZ	Petrol ve Doğalgaz Mühendisi	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPC)	Keşif Kuyusu
Sirt Kurtalan F200-6 Sondaj Kulesi	26.11.2018	Enis YILDIZ	Makine Mühendisi	Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.	Arama Kuyusu
Elazığ Karakoçan Jeotermal Sondaj Kulesi	23.12.2018	Muhammed İbkal YILDIZ	Petrol ve Doğalgaz Mühendisi	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPC)	Jeotermal Kuyusu

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)	Geçiş Zonu Baş. Değeri (C)	Enjektive Endeksi
0	29,71	0	24,57	0
49	29,71	0	24,57	0
49	29,71	17,5	24,57	3,4
49	29,81	17,5	24,57	3,33
65	29,81	17,5	24,57	3,33
116	29,81	17,5	24,57	3,33
116	29,81	27,5	24,57	5,24
17	29,91	27,5	24,57	5,14
57	29,91	27,5	24,57	5,14
157	29,91	0	24,57	0
158	29,71	0	24,57	0
213	29,71	0	24,57	0

Resim 4.13. İSTE Analiz Programı Çok Debili Enjeksiyon Test Ekranı

Uygulanan veriler ışığında elde edilen rapor kapsamında,

Kuyuda gerçekleştirilen Çok Debili Enjeksiyon testi ile su basılması sırasında kuyu içinde oluşan basınç değişimi değerlendirildiğinden üretim kuyularında çok kullanılsa da tekrar/basma kuyuların tasarım ve işletilmesi için esas parametrelerden biri olan enjektive indeksi ile üretim verimliliği analiz edilmektedir. Enjeksiyon Endeksi hesaplamalarında veri tabanında baz aldığı Enjeksiyon İndeksi;

$E.E = Q / (P_i - P_{wf})$ eşitliğinden;

EE : Enjektive endeksi (lt/sn/kg/cm²), (lt/san/bar,...)

Q : Kuyuya basılan akışkanın debisi (lt/san, t/h)

P_i : Enjeksiyon Basıncı (kg/cm²), (bar)

P_{wf} : Rezervuar Derinliğinde Beslenme Noktası Basıncı (Bar, kg/cm²)

Eşitlikten ve Resim 4.13'den yola çıkarak, enjeksiyon indeksi parametresi elde edilmektedir. E. Endeksi parametresine ulaşmak için mutlaka su kaybı testlerinin tamamlanmış ve geçiş zonlarının belirlenmiş olması gerekmektedir. Resim 4.14'deki raporda elde edilen her parametre yüklenecek olan veri tabanına özeldir..



T.C. İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
KUYU TAMAMLAMA TEST RAPORU

Uygulan Test :Çok Debili Enjeksiyon Testi

Tarih :25.11.2018

Lokasyon Bilgisi :Batman Batıraman G300-1 Sondaj Kulesi

ÇOK DEBİLİ ENJEKSİYON TESTİ VERİLERİ

<u>Zaman(dk)</u>	<u>Basınç(Bar)</u>	<u>Debi(t/h)</u>	<u>Geçiş Zonu Başlangıç Değeri(C)</u>	<u>Enjektive Endeksi</u>
0	29.71	0	24.04	0
49	29.71	0	24.04	0
49	29.71	17.5	24.04	3.08
49	29.81	17.5	24.04	3.03
65	29.81	17.5	24.04	3.03
116	29.81	17.5	24.04	3.03
116	29.81	27.5	24.04	4.76
117	29.91	27.5	24.04	4.68
157	29.91	27.5	24.04	4.68
157	29.91	0	24.04	0
158	29.71	0	24.04	0
213	29.71	0	24.04	0

Muhammed İkbal YILDIZ

Petrol ve Doğalgaz Mühendisi

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPIC)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanı Elazığ İli, Karakoçan İlçesi, Kızılca Köyü ve çevresini içerisine alan, 2017 yılında Elazığ İl Özel İdaresi tarafından alınan Elazığ - Karakoçan - Kızılca AR. 07 no.lu jeotermal kaynak arama ruhsat sahasındaki jeotermal sistemin araştırılması, potansiyelinin ortaya çıkarılması ve ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla Elazığ - Karakoçan ilçesinin yaklaşık 8 km kuzeybatısında 800 metre derinliğinde jeotermal sondaj gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanı, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) sistemi içerisinde yer almaktadır. Proje kapsamında yapılan EKK-1 sondaj çalışmaları sırasında yüzeyde gözlenen bitimlerin yanı sıra çalışma alanı dışında yüzeyleyen bazı birimler de kesilmiştir. İlerleme durumuna göre stratigrafik olarak alttan üste doğru Permo - Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri, Lütesiyen - Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçir Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Solhan Formasyonu ve Kuvaterner Yaşlı Travertenler kesilmiştir. Kesilen birimlerde Solhan formasyonunun örtü kaya, Kırkgeçir Formasyonunun (sığ zon) ve Keban Metamorfiteilerinin (derin zon) rezervuar kaya olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında yapılan çalışmalar neticesinde y: 0583530, x: 417300, z:1116 m noktasında 800 metre derinliğinde bir adet sıcak su sondajı yapılmıştır. Sondajdan sığ zondan artezyenik olarak 23 l/s. 35 °C sıcaklığında, derin zondan artezyenik olarak 12 l/s. 42 °C sıcaklığında artezyenik olarak 35 l/sn. 37,2 °C sıcaklığında akışkan elde edilmiştir. Kuyu test çalışmaları kapsamında yapılan amerada ölçüsüne göre dinamik sıcaklık 43,25 °C ve dinamik basınç 73,45 bar, enjeksiyon endeksi 137,5 t/h/bar, üretim endeksi ise 27,14 t/h/bar olarak ölçülmüştür.

Yapılan üretim testlerine ve alınan kuyu içi ölçümlere bakıldığında EKK-1 kuyusunda nispeten daha soğuk sığ bir zonun ve daha sıcak derin bir zonun varlığı görülmüştür. Kuyu içi sıcaklık ölçüleri jeotermal gradyanın derinlere doğru arttığını göstermiştir. Bu bağlamda bölgede yapılacak daha derin bir sondaj ile sahanın potansiyelinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Borland Delphi programlama diline dayalı oluşturulan veri tabanı yazılım dili ile beraber yeraltı kaynaklarının araştırılmasında kullanılan teorik çalışmalar anında rapor diline çevrilebilmektedir. Ayrıca kolay ara yüzü ile birçok kuyuya ait çoklu veri tabanı özelliği ile birden farklı kuyuları karşılaştırma ve analiz etme imkanını sunması ile beraber bir sonraki versiyonlarında mali fiyatlandırmalar eklenerek güncel bilgilerle mevcut EKK-1 kuyusu için olabilecek litoloji tanımlamalarına göre 15" - 17 ½" arası çaplarda su sondaj kuyusu açılması birim fiyatları tablosu (517 TL - 9.58 TL) ile mali açıdan da hesaplamalar geliştirilebilir (İller Bankası, 2019). Henüz ilk versiyon aşamasında olan bu programın geliştirilebilir olmasının yanında sunduğu var olan bütün işletim sistemlerine (Windows, MacOS vb.) uygunluğu açısından da erişim sağlamaktadır.



KAYNAKLAR

1. Onur, M. (2005). Jeotermal Rezervuarlarında Kuyu Basınç Testleri ve Analizi. 12(2), 167-205
2. Erkan, B. (2007). Jeotermal Santraller için Kısa ve Uzun Süreli Kuyu Testleri. 17 (1-2), 33-57
3. Erdoğan, Y., Yıldız, M.İ. (2018). Temperature Tests in Elazığ Beydagi II Geothermal Drilling Well and Investigation of Temperature and Pressure Profiles Based on Depth. 18(19), 893-902
4. Özüdoğru, S. (2005). Jeotermal Kuyu Tamamlama Testleri ve Saha Uygulamaları. Jeotermal Enerji Semineri, 32 (1-2), 79-97
5. Satman, A., Serpen, U., Onur, M. (2002). İzmir Balçova – Narlıdere Jeotermal Sahasının Rezervuar ve Üretim Performansı, Proje Raporu.
6. Sondaj, G. (2019). Enjeksiyon Sondajları, Erişim Tarihi: 23.05.2019 <http://www.gur-son.com.tr/haber/enjeksiyon-sondajlari>
7. James, R. (1970). Factors Controlling Borehole Performance. U.N. Symp. Geothermics Spec. Iss. (2) 2-1502
8. Geologia, INC. (2006). Long Term Flow Testing Program. Geothermal Resource Development for Aydın Province, Turkey.
9. Eney, G. Dinamik Sıcaklık Basınç Ölçümü, Erişim Tarihi : 23.05.2019 <http://www.gseenergy.com/hizmetler/kuyu-tamamlama-testleri/dinamik-sicaklik-basinc-olcumu>
10. Tan, C. (1996). Türkiye Jeotermal Enerji Gereksinimi ve Ege Bölgesi Jeotermal Alanlarında Sondaj ve Test Uygulamaları. Sondaj Sempozyumu. ISBN 9753395-178-7
11. James, R. (1965). Metering of Steam – Water Two Phase Flows by Sharp Edged Orifices. Proc. Inst. Mech. Eng. Dep. Volume 180-549
12. Grant, M.A., Donaldson, I.G. (1982). Geothermal Reservoir Engineering, Academic Press. 4 (7) 1-92
13. Earlougher, R.C. (1977). Advances in Well Test Analysis. Society of Petroleum Engineering, Dallas
14. Bağcı, E. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Üretimi, Tüketimi ve Cari İşlemler Dengesi İlişkisi. R&S – Research Studies Anatolia Journal. Vol: 2, Issue:4, pp: 101-117
15. Purwanto, E.H. (2018). Geothermal Drilling in Indonesia : a Review of Drilling Implementation, Evaluation of Well cost and Well Capacity. The 6th Indonesia International Geothermal Exhibition (IIGCE). pp: 122-140

16. Umam, M.F. (2018). Drilling Manpower and Equipment Transfer from Petroleum to Geothermal Industry. The 6th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGE). pp : 117-121
17. Satman, A. (2019). Türkiye’de Jeotermal – Güncel Bakış. Jeotermal Enerji Semineri. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir. pp : 1-15
18. Kındap, A. (2019). Yerkirenin Gücü: Jeotermal. Dünya Enerji Konseyi. pp: 1-34
19. Çeliker, M. (2019). İspendere Mineralli ve Termal Suların Hidro-Kimyasal ve İzotopik İncelenmesi. Maden Teknik ve Aram Dergisi. Vol: 158, pp: 317-331
20. İller Bankası. (2019). İçme ve Kullanma Suyu Sondaj İşleri, Jeotermal Sondaj İşleri ile Jeotermal Kuyu Test ve Ölçüm İşleri Birim Fiyatı, Ankara. Erişim Tarihi : 2.07.2019 <http://www.ilbank.gov.tr/dosyalar/BirimFiyatCetvelleri/2019>
21. Li, X. (2019). Study on Wellbore Temperature of Riserless Mud Recovery System by CFD Approach and Numerical Calculation. KeAI Global Impact. Science Direct In Press. Vol : 5, pp : 33-48
22. Sedighi, M. (2019). Removal of Petroleum Asphaltenes by Improved Activity of NIO Nanoparticles Supported on green AIPO-5. Science Direct In Press. Vol : 72, PII : S2405-6561(19)30026-4
23. Yang, Y. (2019). Charectiristics and Main Controlling Factor of Formation Geothermal Drilling. Science Direct In Press. Vol : 296, PII : S2405-6561(18)30147-0
24. Thakkar, A. (2019). A Comprehensive review of the Appliication of Well Cementing. Science Direct In Press. Vol : 48, PII : S2405-6561(18)30155-X
25. Nie, R. (2019). Reserarch on Conversion time between lost circulation and overflow fort he fractured stratum. Science Direct In Press. School of Engineering, Southwest Petroleum University, Nanchong, 63700, China.
26. Bagheri, S. (2019). Prediction of New Perforation Intervals in a Depleted Reservoir to Achieve the Maximum Productivity : A case stufy pf PNN. Science Direct In Press. Vol : 96, PII : S2405-6561(18)30001-4

EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında “.exe” uzantılı dosyalar olarak verilmiştir.)



EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında “.exe” uzantılı dosyalar olarak verilmiştir.)



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIZ, Muhammed İkbal
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.12.1991, Batman
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (507) 509 77 58
 e-mail : miyildiz@tpic.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	2016
Tezsiz Yüksek Lisans	Çukurova Üniversitesi / B Sınıf İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı	2018
İngilizce Hazırlık	Çukurova Üniversitesi / Yabancı Diller Yüksek Okulu	2016

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Turkish Petroleum International Company (TPIC)	Mühendis

Yayınlar

1. Yıldız, M.I. (2015) Relationship between Petroleum and Environment. IPETGAS and SPE Student Paper Contests. Ankara. pp : 102-116
2. Erdogan, Y., Yıldız, I. (2017) Optimization of Petroleum Drilling Bits. International Iskenderun Bay Symposium, Hatay. pp : 76-118
3. Erdogan, Y., Eser, O., Yıldız, I. (2018) Correlation Rate of Penetration with the WOB, RPM, FR, MW of Rotary Drilling. Natural and Engineering Science, USA. pp: 378-385
4. Erdogan, Y., Yıldız, I. (2018) Temperature Tests in Elazığ Beydağı II Geothermal Drilling Well and Investigation of Temperature and Pressure Profiles based on Depth. 3rd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep. pp : 58-96

DİZİN

A

Abstract · II
Analiz · 43, 44, 45, 47, 50

B

Basınç · 2, 3, 4, 11, 16

C

CD · 59, 60

Ç

Çizelge · 11, 27, 29, 31, 33, 36

D

Doğrudan Aktarma · 3, 4, 6

E

EKLER · 36
Eşitlik · 20, 21

F

Formül · 18, 19, 20, 21, 22

G

Giriş · 1, 15, 16, 43, 44

H

Hidrokimyasal · 31

İ

İSTE · 43, 44, 45

K

Kaynak · 60, 62
Kılavuz · 44

L

Literatür · 2, 3, 4, 5, 19

N

Numaralandırılma · 20, 21, 28

O

Ondalık Sayılar · 32, 33, 38, 40

Ö

Özet · 66
Özgeçmiş · I

P

Pdf · 54, 55, 56, 58
Program · 4, 47

R

Resimler · 28, 39, 40, 41, 49, 54

S

Simgeler ve Kısaltmalar · IX
Sonuç ve Öneriler · 55

Ş

Şekil · 3, 4, 33, 34, 35, 36

T

Teşekkür · III

Ü

Üretim · 10, 16, 33, 45, 57



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

