



**T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOTERMAL ENERJİDE BÜTÜNLEŞİK KAYNAK YÖNETİMİ VE
RENEJEKSİYONUN ÖNEMİ**

ORKUN TEKE

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İSKENDERUN
OCAK - 2018**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOTERMAL ENERJİDE BÜTÜNLEŞİK KAYNAK YÖNETİMİ VE
RENEJEKSİYONUN ÖNEMİ**

ORKUN TEKE

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSKENDERUN

OCAK - 2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: Jeotermal Enerjide Bütünleşik Kaynak Yönetimi ve Reenjeksiyonun Önemi

Öğrencinin, Adı Soyadı: Orkun TEKE

Tez Savunma Tarihi: 16.01.2018

Kod No: 83

Enstitü Onayı :

Doç Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Ergül YAŞAR
Enstitü Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ergül YAŞAR
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Prof. Dr. Ergül YAŞAR

.....

Doç Dr. Tayfun Yusuf YÜNSEL

.....

Yrd. Doç Dr. Bayram Ali MERT

.....

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Orkun TEKE

ÖZET

JEOTERMAL ENERJİDE BÜTÜNLEŞİK KAYNAK YÖNETİMİ VE REENJEKSİYONUN ÖNEMİ

Fosil yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan yoğun CO₂ gazı emisyonunun yarattığı sera etkisi ve buna bağlı dünyamızın karşı karşıya olduğu tehlikelerin belki de en büyüğü olan Küresel Isınma sorununa karşı bütün ülkeler mücadele etme iradesi gösterirken, enerji alışkanlıklarını değiştirme yolunda adımlar atmaktadır. Bu adımların en önemlisi olan “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”nın kullanımı her geçen gün artmakta olup, yenilenebilir bir kaynak olan Jeotermal Enerjide bu değişim içerisinde kendine önemli bir yer edinmiştir. Çalışma kapsamında, jeotermal enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir ve verimli olarak kullanılması açısından “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” sistemi önerilmiş olup, hem ülke hem saha bazında neler yapılabileceği, olumsuzluklar, mevcut yasal durum ve bu durumun Bütünleşik Kaynak Yönetim Sistemi’ ne göre nasıl düzenlenmesi gerektiği gibi durumlar aktararak literatürde var olan örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Bütünleşik Kaynak Yönetimi Sistemi’nin vazgeçilmez bir parçası olan güncel teknolojiye ayak uydurulması hususunda “Büyük Veri ve Veri Madenciliği” detaylı olarak anlatılarak, önemi vurgulanmıştır. Jeotermal enerjinin önemli proseslerinden ve ana teması sürdürülebilir ve verimli bir kaynak yönetimi olan Bütünleşik Kaynak Yönetimi’nin ana elemanlarından olan “Reenjeksiyon” prosesi detaylı olarak anlatılarak, süreç entegrasyonu, verimliliği artırma ve teknolojiden faydalanma adına neler yapılabileceği açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın uygulama kısmında ise Nevada Jeotermal Santraline ait veriler kullanılarak, Yapay Sinir Ağları yardımıyla oluşturulan model ile hem üretim hem reenjeksiyon için geleceğe yönelik projeksiyonlar grafiklerle ortaya konmuştur. Çalışmanın sonuç bölümünde, genel bir değerlendirme yapılarak, çıktılar sunulmuştur.

2018, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Bütünleşik Kaynak Yönetimi, Reenjeksiyon, Yapay Sinir Ağları, Küresel Isınma, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

GEOTHERMAL ENERGY INTEGRATED RESOURCE MANAGEMENT AND IMPORTANCE OF REINJECTION

Countries steps to change their energy habits while are willing to fight against the problem of global warming, one of the most important hazards our world faces, which is the result of the greenhouse effect created by a large of quantities carbon dioxide gas emission from heavy fossil fuel use. Geothermal energy has important role in Increasing Renewable Energy using that the most important way. In this study, Integrated Resource Management has been proposed for using geothermal energy resources more efficient and sustainable. Try to explain, which processes can be done on both country and field basis, negative sides, current legal situation and regulations according to Integrated Resources Management. Some examples in literature are presented. Details of Big Data and Data Mining explained as a part of technologic harmony in Integrated Resource Management. Other parts include detailed information about reinjection process as one of the main parts of Integrated Resource Management. Application part of this study contains production and reinjection projection model which is made with Data of Nevada Geothermal Power Plants by artificial neural networks. In this application, future predictions about production and reinjection are presented. As a conclusion, general assessment has been made and findings are presented.

2018, 78 pages

Key Words: Geothermal Energy, Integrated Resource Management, Reinjection, Artificial Neural Networks, Global Warming, Renewable Energy

TEŞEKKÜR

Öncelikle bana her zaman güvenen, bu seviyelere gelmemde en büyük paya sahip olan ve zor zamanlarımda hep arkamda desteęini hissettięim sevgi dolu aileme teşekkür derim.

Yüksek Lisans ders ve tez sürecinde tez konusunun belirlenmesinde ve ilerlemesinde desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ergül YAŞAR'a sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu Yüksek Lisans tez çalışmasını Babam Sn. Hüsnü TEKE ve Annem Sn. Asiye TEKE'ye ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Jeotermal Sistem.....	5
1.2. Jeotermal Enerji Santralleri	7
1.2.1. Çift Fazlı Akışkan İçin Üretim Sistemleri	7
1.2.2. Binary (İkili) Elektrik Üretim Sistemleri.....	9
1.2.3. Kombine Elektrik Üretim Sistemleri	13
1.3. Jeotermal Enerjinin Dünya ve Türkiye’deki Mevcut Durumu	15
1.3.1. Dünyada Jeotermal Enerji	15
1.3.2. Türkiye’ de Jeotermal Enerji	18
1.4. Bütünleşik Kaynak Yönetimi (BKY)	20
1.5. Jeotermal Enerji’ de Bütünleşik Kaynak Yönetimi	24
1.5.1. Kaynakların Verimli Kullanımı	26
1.5.2. Denetim ve Uygulamaların Kontrol Aralıklarının Sıklaştırılması.....	27
1.5.3. Bürokrasinin Azaltılması	27
1.5.4. Çevresel Kirliliğin Önlenmesi	28
1.6. Jeotermal Reenjeksiyon.....	29
3.2. Türkiye’de Jeotermal Enerji	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	35
2.1. Dünyada Bütünleşik Kaynak Yönetimi Çalışmaları.....	35
2.2. Türkiye’de Bütünleşik Kaynak Yönetimi Çalışmaları	37
2.3. Ülkemizde Reenjeksiyonun Önemini Ortaya Koyan Uygulama Çalışmaları	39
2.4. Kızıldere Jeotermal Santrali	42
3. MATERYAL VE METHOD	46
3.1. Yasal Altyapının İncelenmesi.....	47
3.2. Büyük Veri (Big Data) ve Veri Madenciliği (Data Mining)	47
3.3. Yapay Sinir Ağları.....	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Bütünleşik Kaynak Yönetimi ve Temel Yaklaşımları.....	51
4.2. Jeotermal Reenjeksiyon.....	61
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Jeotermal Sistem.....	6
Şekil 1.2.	Çift Flaşlı Örnek Elektrik Üretim Santrali.....	8
Şekil 1.3.	Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 1.....	8
Şekil 1.4.	Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 2.....	9
Şekil 1.5.	Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 3.....	9
Şekil 1.6.	Binary Çevrim Örnek Elektrik Üretim Santrali.....	10
Şekil 1.7.	MEGE Elektrik Santrali Uygulama Şeması.....	11
Şekil 1.8.	MEGE Jeotermal Santrali- 1.....	12
Şekil 1.9.	MEGE Jeotermal Santrali- 2.....	12
Şekil 1.10.	MEGE Jeotermal Santrali- 3.....	12
Şekil 1.11.	Kombine Sistem Üretim Şeması.....	13
Şekil 1.12.	Kawereu Jeotermal Santrali- 1.....	14
Şekil 1.13.	Kawereu Jeotermal Santrali- 2.....	14
Şekil 1.14.	Kawereu Jeotermal Santrali- 3.....	14
Şekil 1.15.	Dünyada Kaynak Bazında Enerji Üretimi ve Yenilenebilir Kaynakların Dağılımı	16
Şekil 1.16.	Dünyada Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretiminin Gelişimi.....	17
Şekil 1.17.	Ülke Bazında Kurulu Güç Kapasitesi.....	17
Şekil 1.18.	Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası	19
Şekil 1.19.	Kaynak Türlerine Göre Üretim Oranı (Temmuz 2017 İtibari İle).....	20
Şekil 1.20.	İtalya Larderello Jeotermal Sahasında ki akış oranı (Reenjeksiyondan önce ve sonra)	30
Şekil 1.21.	Geysers- California Jeotermal Sahasında “Buhar Üretimi- Su Enjeksiyonu ve Enjeksiyon/Üretim” in Tarihsel Gelişimi	30
Şekil 1.22.	Jeotermal Proje Akış Diyagramı.....	31
Şekil 2.1.	A.B.D.’nin California eyaletindeki Geysers jeotermal alanının Kuzeydoğu Geysers kesiminde birimleştirilmiş (kalın beyaz çizgilerle sınırlı) olan ruhsatların dağılımı.....	37
Şekil 2.2.	Büyük Menderes Grabeni’nde Ruhsatların Dağılımı	38
Şekil 2.3.	11 MWe Santral İçin Reenjeksiyon Uygulanırsa veya Uygulanmayıp Atıksu Yüze Verilirse Rezervuarın Enerji Dengeleri.....	40
Şekil 2.4.	Tekrar Basma Uygulamasında Basınç Düşümü ve Rezervuarda Soğumayı Gösteren Şematik Görünüm	41
Şekil 2.5.	Kızılcahamam Jeotermal Alanı İçin Yapay sinir Ağı Sonuçları (Sol Şekil Boyutsuz Entalpi, Sağ Şekil İse Boyutsuz Basınç Noktalarını Göstermektedir)	42
Şekil 2.6.	Kızıldere’ de 2500 m ³ /gün reenjeksiyon debisi için elde edilen Yapay sinir Ağı Sonuçları (Sol Şekil Boyutsuz Entalpi, Sağ Şekil İse Boyutsuz Basınç Noktalarını Göstermektedir).....	42
Şekil 2.7.	Kızıldere Jeotermal Santrali.....	43

Şekil 2.8.	80 MWe Kapsamında Açılan Kuyular.....	44
Şekil 2.9.	Yüzey Donanımları ile Kızıldere Jeotermal Santrali	45
Şekil 3.1	Yapay Sinir Ağları Blok Gösterimi.	49
Şekil 3.2.	Yapay Sinir Ağları İşlem Süreci	49
Şekil 3.3.	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	50
Şekil 3.4.	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	50



1. GİRİŞ

2050 yılına kadar karbon salınımının bu hali ile devam ettiği takdirde 2 °C artacak olan dünyanın sıcaklığı ile birlikte, yaşanan doğal afetlerin karakter değiştirmesi, deniz seviyelerindeki insan hayatını tehdit edecek boyuttaki artışlar ile karşılaşmamız olası felaket senaryosunu oluşturmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) nın 2010 yılında hazırladığı “Dünya Enerji Görünümü” raporunda; Dünyanın ekolojik dengesinin korunması ve yaşanılabilir bir çevrenin devamı için ise 2050 yılına kadar sera gazı seviyesi %50 oranında azaltılması gerektiğinden bahsedilirken; dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %85’i fosil yakıtlardan karşılanmakta olduğu, uzun vadeli olarak göstergelerin değişimi incelendiğinde enerji talebinin yılda ortalama %1,8 arttığı ve ileride yapılacak yatırımların fosil yakıtlar ile enerji sağlayan sistemlere yapıldığı takdirde sera gazı seviyesinin bugünkü seviyenin %50 kadar üstüne çıkacağı tahmin edilmektedir. Günümüzün karşılanması hayati önem arz eden taleplerinden birisi olan artan enerji ihtiyacı için ülkelerin yatırımları ve kapasite geliştirme çalışmaları gelişerek devam etmektedir. Artan enerji ihtiyacının, birincil olarak fosil bazlı enerji kaynaklarından sağlanmasına bağlı ortaya çıkan “Küresel Isınma, Küresel İklim Değişikliği” gibi süreçler, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılarken daha çevreci ve sürdürülebilir kaynaklara yönelmelerini zorunlu bir hale getirmektedir. Kyoto Protokolü’nden günümüze geçen süreçte, ülkeler karbon salımları ile ilgili hedefler ve taahhütler ortaya koymuş fakat günümüzde bu hedefler farklı sebeplerden ötürü tutturulamamış, protokoller iyi niyet göstergesinden öteye geçememiştir.

Dünyamız ve küçük ölçekte ülkemizin karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan birisi olan “Küresel Isınma” probleminin karşı, bugüne kadar kullanılan enerji kaynaklarının fayda yerine zarar getirdiği açıkça ortaya çıkmıştır. Fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan CO₂ gazı sonucu dünyamızda sera etkisi oluşmuş ve güneş ışınlarının dünyada kalmasıyla sıcaklık artmaya başlamıştır. Bu gelişmeler artık yenilenebilir enerji kaynaklarının, insan sağlığı ve çevrenin sürdürülebilir geleceği açısından önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Enerji, günlük hayatımızın önemli unsurlarından biri olmak ile birlikte hem ekonomik hem sosyal etkileri ile önemli bir yere sahiptir. Enerjinin dönüştürülmesi de dolayısı ile hayatımızı ve yaşadığımız gezegenin yaşam koşullarını etkiler duruma gelmiştir. Bu yüzden ülkeler enerji politikalarını belirlerken de farklı parametreleri göz

önünde bulundurmamak zorunda kalmışlardır. Bu parametrelerden bazıları; ekonomik gelişme, enerji arzı ve güvenliği ve çevrenin korunmasıdır. Son 100 yıl içerisinde Birinci Sanayi Devrimi ve farklı gelişmelerin etkisiyle fosil yakıtların kullanımı artmış, fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan CO₂ gazı sonucu dünyamızda sera etkisi oluşmuş ve küresel sıcaklık trendi artış eğilimine girmiştir. Bütün bu gelişmeler ve dünya genelinde yapılan rezerv çalışmalarında elde edilen sonuçlar fosil yakıt bazında enerjinin geleceğini tartışılır hale getirmiştir. Yaşanan bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının, toplum sağlığı, sürdürülebilir bir gelecek ve çevre oluşturma açısından önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Enerji ihtiyacı günümüzde hızla artmakta ve enerjiye yapılan yatırımlar ile kendine yetebilmenin ülkelerin kalkınmasında aldığı etkin rol daha net ortaya çıkmıştır. Enerji, gerek firmalar, gerekse ülkeler için stratejik bir kavramdır. Ülkelerin rekabet edebilmesi, uluslar arası arenada kendilerine etkin bir yer edinebilmeleri ile kendi içlerinde vatandaşlarına sağlama çalıştığı refah seviyesi de enerji kavramı ile doğrudan ilgilidir. Baktığımız zaman ülkemizde net ithalatçı bir konumda olduğundan, ülkemizin mutlak suret ile dışa bağımlı politikaları terk ederek, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine yüzünü çevirmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir Enerji kaynağı olarak jeotermale bakmak gerekirse; Dünyamız ve küçük ölçekte ülkemizin karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan birisi olan “Küresel Isınma” probleminde karşı, bugüne kadar kullanılan enerji kaynaklarının fayda yerine zarar getirdiği açıkça ortaya çıkmıştır. Fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan CO₂ gazı sonucu dünyamızda sera etkisi oluşmuş ve güneş ışınlarının dünyada kalmasıyla sıcaklık artmaya başlamıştır. Bu gelişmeler artık yenilenebilir enerji kaynaklarının, insan sağlığı ve çevrenin sürdürülebilir geleceği açısından önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Bilinen kayıtlar insanlığın çok eski çağlardan beri jeotermal ısıyı ısıtma, pişirme ve benzeri birçok durum için kullandıklarını göstermektedir. İnsanlık için bu kadar önemli ve doğal bir kaynak olan jeotermal günümüzde popüleritesini kaybetmemiş ve gündemde kalmaya devam etmektedir. Özellikle geçmiş dönemlerde imparatorluk banyoları ve Osmanlı kültüründe ki hamam tarzı yapılarda jeotermal enerji etkileri görülebilmektedir. Ayrıca jeotermal enerji çevreci yaklaşımlar için bulunmaz bir nimet olarak karşımıza çıkmakta olup, insanlık için büyük bir önem taşımaktadır. Fazla

kullanım alanının olması ve sürekli olması en büyük avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Teke, 2013).

Türkiye açısından jeotermal enerji incelendiğinde, geleneksel enerji kaynaklarımıza (Kömür, Petrol ve Doğalgaz) istinaden daha az bir potansiyel ihtiva eden ama ülke geneline yayılım gösteren jeotermal rezervuarları ile önemli bir ekonomik potansiyel mevcuttur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2016 yılı verileri incelendiğinde "Kümülatif Elektrik Üretimi" nde jeotermal enerjinin payının %2 olduğu görülmektedir (ETKB, 2016).

Özellikle son 10 yıl içerisinde artan enerji fiyatları ve yenilenebilir enerji talebi nedeniyle jeotermal kaynakların önemi son derece artmış ve çalışmalara ayrılan kaynaklar da paralel şekilde artış göstermiştir. Bu durum, hem de arama (özellikle jeofizik) alanındaki teknolojik gelişmelerin sağladığı yeni imkanlara bağlı olarak ise, yeni dönemdeki jeotermal kaynak arama derinlikleri 1500 metreye kadar ilerlemiştir. Günümüzde yenilenebilir enerji konusunda lokomotif rolünü üstlenen gelişmiş ülkelerde 4000 metre derinliklere varabilen jeotermal sondajları açılmaktadır.

Bulunduğu bölgenin yerli enerji kaynağı olan ve kısa süreli meteorolojik olaylardan etkilenmeyen Jeotermal enerji, çıktığı rezervuardaki akışkanın sıcaklığına bağlı olarak farklı kullanımlar sunabilmektedir. Akışkan sıcaklığına göre enerji üretimi, termal kullanım veya bölgesel - tarımsal ısıtma uygulamaları ve benzeri uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

Bilindiği üzere ülkemiz, genç ve aktif bir tektonik yapıya sahip olan orojenik Akdeniz Kuşağı'nda yer almaktadır. Özellikle ülkemizde 1960'tan 1980'e kadar geç dönemde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından dönemin teknolojisinde üst seviyede bulunan aletlerle yapılan çalışmalardan sonra 1980'li yıllardan sonra ülkemizde jeotermal aramacılık daha pasif bir yapıya bürünmüş ve günümüze kadar da bu şekilde gelmiştir. Özellikle kaynak göz ardı edilerek yapılmış olan çalışmalar neticesinde "Kuyu Del - Bağla - Üretim Yap" gibi bir anlayış benimsenmiştir. Jeotermal enerji uygulamalarında verimli bir üretim isteniyorsa, rezervuarın detaylı analizlerinin yapılması, kapasitenin artırılmasına yönelik farklı çalışmaların ortaya konması gerekmektedir.

Jeotermal kaynakların keşfi ve kullanımından daha önemli olan tek şey bu kaynakların "Yönetiminin" sağlıklı olmasıdır. Çünkü yönetemediğiniz kaynağı kontrol

altında tutamazsınız. Kaynakların sürdürülebilir yönetiminin sağlanması, verimliliğin artması ve sağlıklı temeller üzerine yerleşmiş bir gelişim tablosu için iyi yönetim şarttır. Bu konuda literatürde birçok çalışma var olup, en çok dikkat çeken Yeni Zelanda hükümetinin desteği ile Luketina (2000) tarafından yapılan çalışma sonucu ortaya çıkan “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” yaklaşımıdır.

Bir jeotermal kaynağın verimli ve efektif kullanılması için en temel adımlardan birisi de “Jeotermal Reenjeksiyon” prosesi olup, farklı amaçlarla kullanılan (elektrik üretimi, ısıtma vb.) akışkanın çevreyi kirletmeden bertaraf edilmesi, yer altı stabilizasyonunun ve basıncının korunması, rezervuarın ömrünün uzatılması ve olası çökmelerin engellenmesi gibi faydalar sağlanmaktadır.

Literatür tarandığında, “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” yaklaşımı ilk olarak Luketina (2000) tarafından ortaya atılmıştır. 2025 enerji planlamasında enerji üretiminin %90’ını yenilenebilir enerjiden sağlamayı hedefleyen Yeni Zelanda’nın coğrafyası gereği en önemli enerji üretim silahı olan Jeotermal Enerji’nin kaynak bazında daha verimli kullanılarak, bugünlerde %80 bandında olan yenilenebilir güçten elektrik üretimini hedeflenen seviyeye getirebilmesi için ortaya atılmıştır. Ayrıca bu çalışma daha sonra Yeni Zelanda’da yasalaşmış ve jeotermal kaynakların hem santral bazında hem de yönetim açısından ülke bazında daha verimli kullanılması sağlanmaya çalışılmıştır. Luketina (2000) çalışmasında, santral bazında, ilk keşif süreci, rezervuar tanımlaması ve modellenmesi, santral tipi seçimi ve kurulumu, santralin işletilmesi gibi süreçler hakkında çeşitli uygulamaları, ülke bazında yönetimde ise yasal açıklıkların giderilmesi, ruhsat alanlarının dağıtımı ve mevcut kaynak kullanımının denetimleri ve iyileştirilmesine kadar birçok maddeyi içeren bu yönetim tarzını ülkesine uyarlamıştır.

Serpen vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada jeotermal kaynaklarımızın yönetimindeki sorunlar hem ülke bazında, hem de kaynak bazında ortaya konulmuştur. Sağlıksız yönetimlerin nasıl ve neden olduğu anlatılmış ve sorunlar açıklanmış ve kaynakların sürdürülebilir olarak işletilmesi açısından son derece önemlidir. “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” konusunda adımlar sistematik olarak uygulanırsa, jeotermal kaynakların çok daha sağlıklı olarak işletilebileceğini ve bu kaynakların sürdürülebilir olacağı vurgulanmıştır.

Bu çalışmada; ülkemizde son zamanlarda yatırımların hızlanması ile jeotermal kaynağın yönetiminin doğru, planlı ve sistemli bir şekilde yapılması gerekliliğinin

ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu açıdan literatürde “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” ile ülkelerin jeotermal kaynaklarını daha verimli ve doğru yönlü kullanmasını amaçlayan yönetim sistemi detaylı olarak incelenerek, ülkemiz için uygulanabilecek çözüm önerileri detaylı olarak aktarılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında, Bütünleşik Kaynak Yönetimi kavramının temel unsurlarından olan ve iki başlıkta incelenen (Ülke ve Saha Bazında Yönetim) yönetim şekillerinden ülke bazında yönetimin temel taşları olan “Mevcut yasal altyapı ve İlgili kurumların işleyişi” detaylı olarak incelenmiş olup, sorunların ve bu sorunların çözümleri hakkında öneriler sunulmuştur. Saha bazında yapılan literatür incelemeleri sonucunda ise başarılı uygulama örneği olarak Denizli Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali sunulmuştur. Çalışma içeriği sadece Bütünleşik Kaynak Yönetimi'nin detaylarını ve adımlarını anlatmak ile kalmayıp, Bütünleşik Kaynak Yönetimi'nin en temel amacı olan “Verimlilik Arttırma” safhasında yapılabilecek faydalı örneklerden Özdiler ve Sayık (2011) tarafından yapılan Balçova Jeotermal sahasında yapılan verimlilik arttırma çalışmaları sunulmuştur. Günümüz teknolojileri ve bilgi değerlendirme işlemlerinden faydalanılması adına BKY içerisinde etkin rol oynaması gereken “Big Data (Büyük Veri) ve Data Mining (Veri Madenciliği) kavramları detaylı olarak aktarılmıştır. Jeotermal kaynakların kullanımda ilerleyen dönemde uygulama alanının artacağı inanılan Yapay Sinir Ağları da çalışma kapsamında sunulmuş olup, Türkiye’ de var olan literatür örneği aktarılmıştır. İncelemeler sonucunda mevcut durum analizi yapılarak sonuçlar ve öneriler sunulmuştur. Ayrıca bu çalışmanın ana araştırma konularından olan “Jeotermal Reenjeksiyon” prosesi de detaylı olarak anlatılmış. Jeotermal kaynaklara sağladığı faydalar ortaya konmuştur.

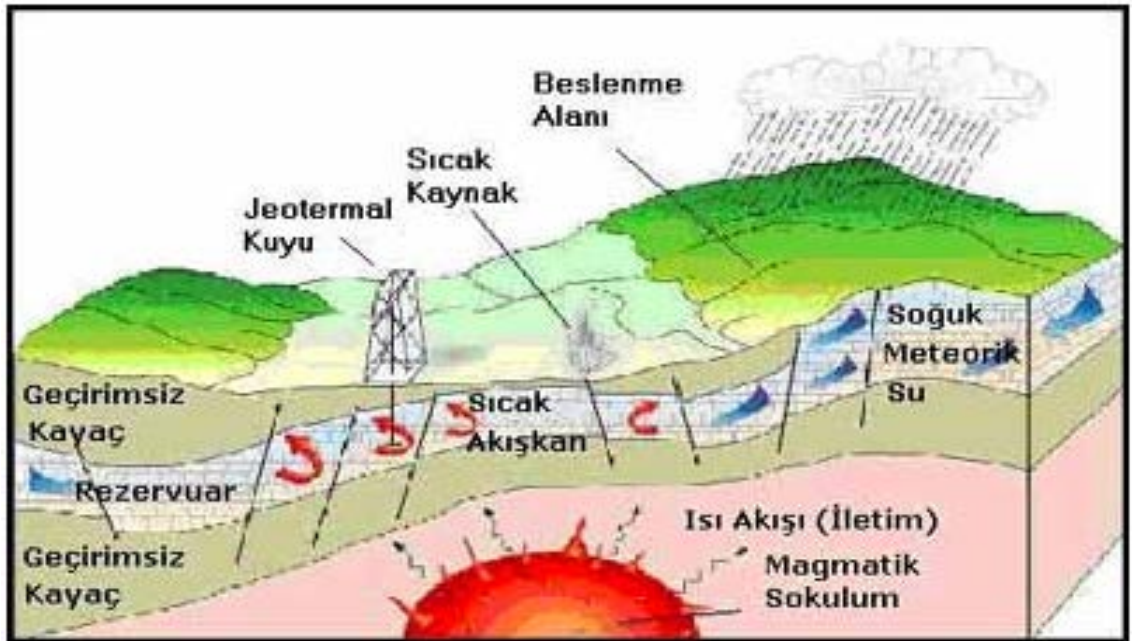
1.1. Jeotermal Sistem

Jeotermal sistemlerden bahsederken ilk düşünülmesi gereken ilk kavram “Isı” olarak belirtilebilir. Daha sonra önemli faktör, bu ısı yüklü akışkanı yukarıya taşıyacak güç olan “Basınç” tır.

- **Jeotermal Saha:** Yeryüzünde bir jeotermal etkinliği gösteren coğrafik bir tanımdır. Eğer yeryüzünde herhangi bir etkinlik yoksa yeraltındaki jeotermal rezervuarın üstündeki alanı tanımlamakta kullanılır. Jeotermal Sistem: Yeraltındaki hidrolik sistemi bütün parçalarıyla birlikte (beslenme zonu

yeryüzüne çıkış noktaları ve yeraltındaki kısımları gibi) tanımlamakta kullanılır. Bu sistemi oluşturan parametreler;

- **Isı kaynağı:** Yüzeğe yakın tektonik kırıkların ulaşabildiği ısı anomali zonları ısı kaynağıdır (Bodvarsson, 1961).
- **Isıyı taşıyan akışkan:** Meteorolojik kökenli yağmur suları yeryüzüne düştükten sonra çatlaklı zonlardan süzülerek derinlerdeki ısınmış kayalardaki ısıyı süpürerek sığ derinliklere taşıyarak sistemin çalışan akışkanını oluşturur (Bodvarsson, 1961)..
- **Rezervuar zon:** Yukarılara doğru taşınan ısınmış akışkan, kabuk içerisinde sığ derinlikte, poroziteli ve permeabiliteli litolojik birimler ve/veya zonlar içinde depolanabilirler (Bodvarsson, 1961).
- **Örtü kaya:** Rezervuar zonda depolanan akışkanın ve ısının, enerjisini kaybetmeden korunmalı olarak kalabilmesi için bu zon ve/veya birimler üzerinde ısı ve akışkan kaybını önleyecek geçirimsiz birimler olmalıdır, bu birimlere ise örtü kaya denir (Bodvarsson, 1961).
- **Jeotermal Rezervuar:** Doğrudan işletilen jeotermal sistemin sıcak ve geçirgen kısmını tanımlar. Jeotermal sistemler ve rezervuarlar; rezervuar sıcaklığı, akışkan entalpisi fiziksel durumu, doğası ve jeolojik yerleşimi gibi özelliklerine göre sınıflandırılırlar (Bodvarsson, 1961).



Şekil 1.1. Jeotermal Sistem (ETKB, 2017)

1.2.Jeotermal Enerji Santralleri

Jeotermal enerji santrallerinin tipleri, rezervuardaki akışkan sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Rezervuardaki akışkan sıcaklığının derecesine göre “Binary (İkili) Sistem Santraller- Çift Fazlı Akışkan Sistemleri ve Kombine Sistem Santraller” dir.

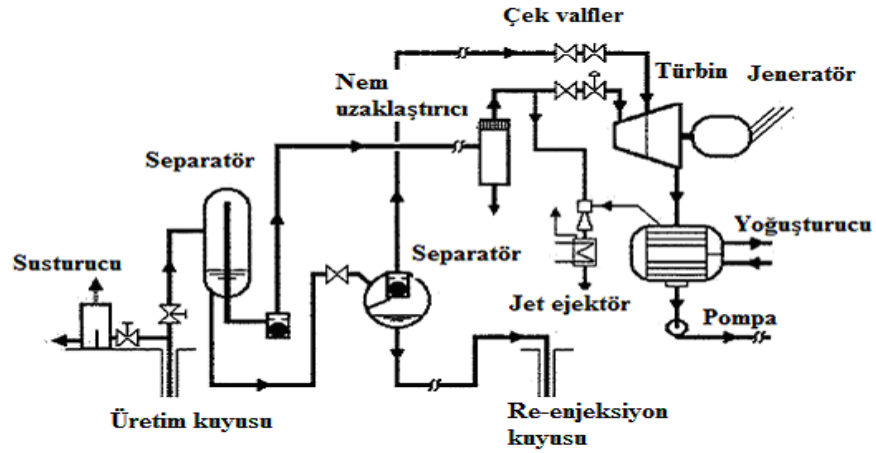
Sıvıdan ayrıştırılan buharın doğrudan türbinlere aktarıldığı santraller tek ve çift fazlı akışkanlı “flash” tipi santraller olup, operasyonel sıcaklık 180 °C ve üstü sıcaklıklardır. Ülkemiz sınırları içerisinde bulunan GÜRMAT Germencik Jeotermal Enerji Santrali ve ZORLU HOLDİNG tarafından işletilen Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali bu tip santrallerin tipik örnekleridir. Orta entalpili kaynaklar için ise operasyonel sıcaklıklar 100-180 °C civarında olup, İki Akışkanlı Santral (Binary tip) uygundur. Ülkemizin yer altı rezervuarlarının karakteristiği ve çıkan bölgelerden ötürü genellikle bu tip santraller yaygındır. Binary santrallerin en önemli özelliklerinden bir tanesi akışkanda var olan ısının pentan, izo-pentan, izo-bütan gibi ikinci tür akışkanlara aktarılması ve çevrimin tamamlanmasıdır. İkinci akışkan sayesinde enerji üretimi gerçekleşirken, türbin çıkışında bu akışkan tekrar yoğunlaştırılır ve Organik Rankin Çevrimi tamamlanır. Böylece enerji üretimi prosesi gerçekleşir.

1.2.1. Çift Fazlı Akışkan İçin Üretim Sistemleri

Sıvı hakim jeotermal kaynaklarda, sıvı buhar karışımı üretim kuyusundan çıkarıldığında ayrıştırıcılar yardımıyla buharın ayrıştırılarak turbine gönderildiği, sıvının ise formasyona reenjekte edildiği sistemlerdir. Santral yapısına göre tek veya çift ayrıştırıcı kullanılabilir. Tek ayrıştırıcı kullanılan santraller “Tek Flaşlı”, çift ayrıştırıcı kullanılanlar ise “Çift Flaşlı” olarak isimlendirilmektedir.

İki fazlı akışkanlardan daha fazla enerji elde edebilmek için iki kademeli ayrıştırma sistemiyle birlikte çift giriş basıncına sahip türbinler kullanılır. “Double Flash” olarak ifade edilen çift flaşlı sistemlerde, birinci kademe ayrışımından sonra alınan sıcak su ikinci kademe ayrıştırmadan geçirildikten sonra, elde edilen buhar daha düşük basınçlı ikinci bir turbine gönderilerek ya da aynı türbinin düşük basınçlı kademesine gönderilerek daha fazla elektrik enerjisi üretilebilir. Türbinin dışarı boşalım (egzost) kısmını atmosfer basıncının altında tutabilmek için, buhar içinde bulunan CO₂, H₂S gibi

yoğuşmayan gazların ayrıştırılması gerekmektedir. Yoğuşmayan bu gazları ayırmak için kondansörde bir pompa ya da ejektör kullanılmalıdır (Serpen, 2011).



Şekil 1.2. Çift Flaşlı Örnek Elektrik Üretim Santrali (Di Pippo, 2005)

Ülkemiz açısından önemli bir proje olan ve Aydın ilinde bulunan GÜRİŞ Holding'e ait "Germencik- Ömerbeyli JES" Büyük Menderes Grabeni' nin batısında Ömerbeyli Mevkii hudutları içerisinde kalan ve Çift Fazlı Akışkan Sistemi' ne örnek su baskın (water- dominated) bir santraldir. Ölçülen en yüksek sıcaklık 232 °C olup, MTA tarafından yapılan çalışmalarda rezervuarın 200- 215 °C civarında bir sıcaklığa sahip olduğu tespit edilmiştir. GÜRMAT, Germencik jeotermal santralının jeotermal akışkan üretimi ve atık jeotermal su enjeksiyonu için 9 adet yeni jeotermal kuyuyu 2007-2008 yılları arasında, uygun yeni sondaj teknolojileri uygulayarak açmıştır (Gürüş Holding, 2017).



Şekil 1.3. Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 1 (Gürüş Holding, 2017).



Şekil 1.4. Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 1 (Güriş Holding, 2017).



Şekil 1.5. Germencik- Ömerbeyli Jeotermal Santrali- 1 (Güriş Holding, 2017).

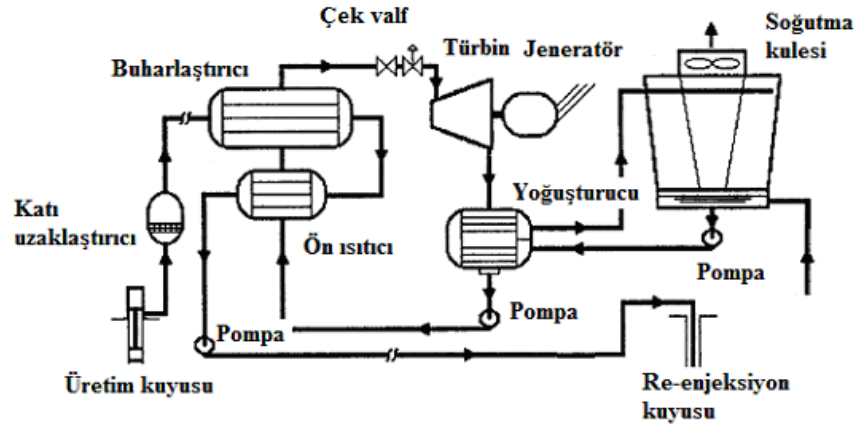
Santral için toplam 8 adet üretim kuyusundan 2530 ton/saat jeotermal akışkan üretimi yapılmakta olup, rezervuardan yılda yaklaşık 20.8 milyon metreküp jeotermal akışkan üretimi yapılması hedeflenmektedir. Bu miktarın yaklaşık 16.4 milyon metreküpü (%79) reenjeksiyon yoluyla yeniden Sahanın batı bölümünde yer alan enjeksiyon kuyularına basılmakta olup, bunun haricinde kondenserde yaklaşık 100 ton/saat kondense su da rezervuara geri basılmaktadır (Güriş Holding, 2017).

1.2.2. Binary (İkili) Elektrik Üretim Sistemleri

Düşük sıcaklık ve sıvı baskın jeotermal alanlarda, üretim kuyusundan elde edilen akışkandan elektrik üretim prosesi sırasında, jeotermal akışkandan başka bir çalışma akışkanına ısı geçişinin bir değiştirici ile sağlanması ve ikinci çalışma akışkanının da

yoğuşurma prosesi ile faz değiştirmesi sonucu ortaya çıkan artık ısının, soğutma kulesi yolu ile atılması sonucu tamamlanan bir Organik Rankin Çevrimidir.

Bahsedilen ikincil akışkan genellikle “n-pentan, izo-bütan”dır. Bu hidrokarbonların seçilmesinin nedeni, suya göre kaynama sıcaklıklarının düşük olması ve düşük sıcaklıkta enerji üretimi prosesini sağlayabilmeleridir.



Şekil 1.6. Binary Çevrim Örnek Elektrik Üretim Santrali (Di Pippo, 2005)

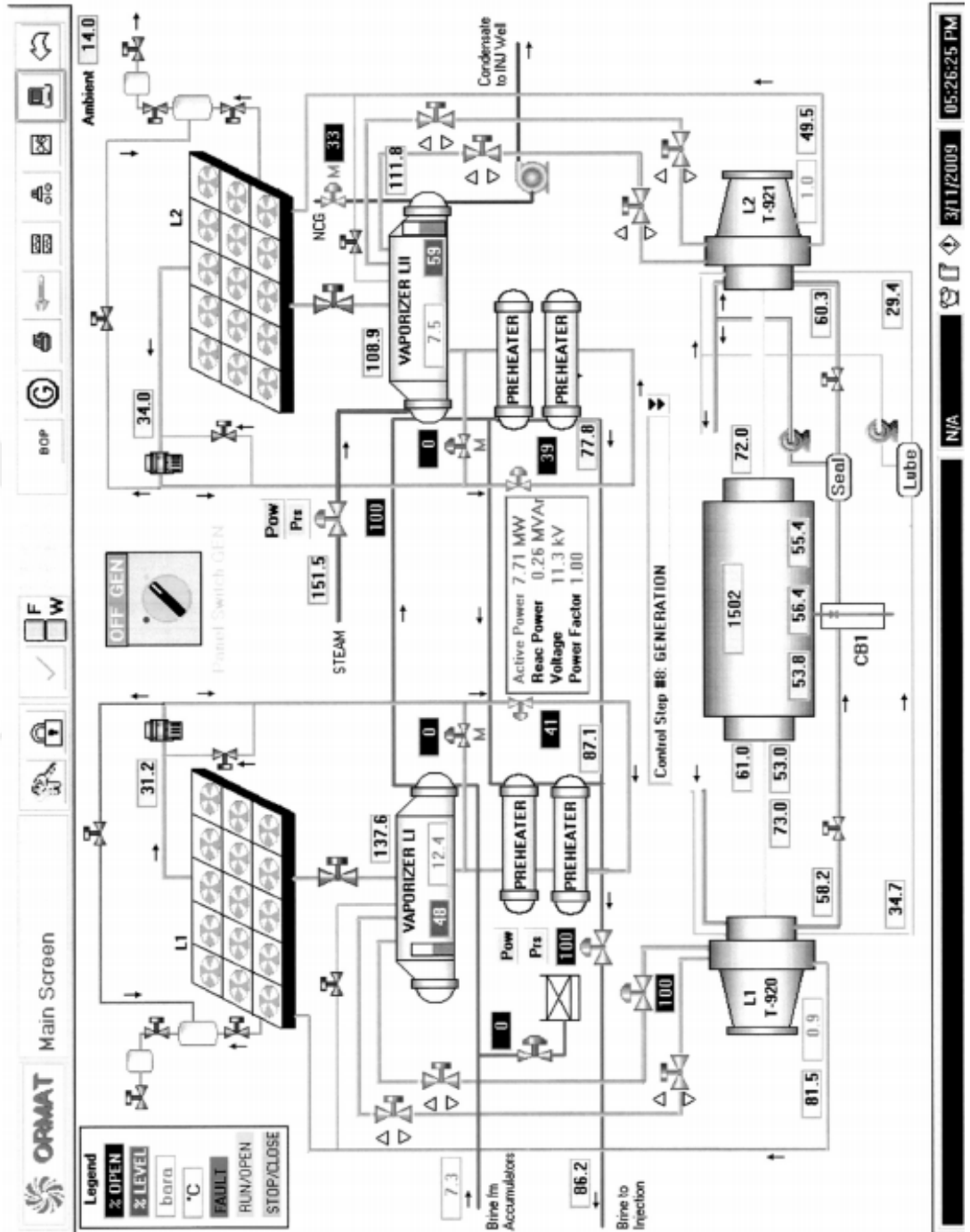
Ülkemizde Aydın- Salavatlı’ da bulunan MEGE Jeotermal Enerji Santrali Binary sistemi bulunan santrallerden bir tanesidir.

Kurulu bulunan enerji santralinin enerji üretimine ilişkin veriler (İztemir, 2011):

- Jeotermal Akışkan Isısı 160°C
- Üretim Kuyusu 2 adet
- Reenjeksiyon Kuyusu 2 adet
- Jeotermal Akışkan Kuyuları Basıncı 7 Bar
- Toplam Akış Miktarı 173 kg /sn
- Hava Soğutmalı Kondansör Isısı 171°C
- Ortalama Brüt Üretim 8500 kw/h
- Ortalama Net Üretim 7500 kw/h

Şekil 2.3’ te yer alan Elektrik Üretim Şemasında görüldüğü üzere; rezervuardan gelen sıcak su devresi; Buharlaştırıcılara (Vaporizer L1, L2) girdikten sonra, ön ısıtıcılara (Preheater) girmekte oradan ise geri dönmektedir (Enjeksiyon) buharlaştırıcılarda bulunan ikincil akışkan (Pentan) buharlaşarak, Türbinlere girmektedir. (L1, L2) burada oluşan dönme ile alternatörde elektrik üretilmektedir. İkincil akışkan (Pentan), düşük basınçlı buhar olarak, hava soğutucularına gelmekte ve

orda tekrar sıvılaşmaktadır. Sıvı penton tekrar buharlaştırıcılara gelmektedir (İztemir, 2011).



Şekil 1.7. MEGE Elektrik Santrali Uygulama Şeması (İztemir, 2011)



Şekil 1.8. MEGE Jeotermal Santrali- 1 (MB Holding, 2017).



Şekil 1.9. MEGE Jeotermal Santrali- 2 (MB Holding, 2017).

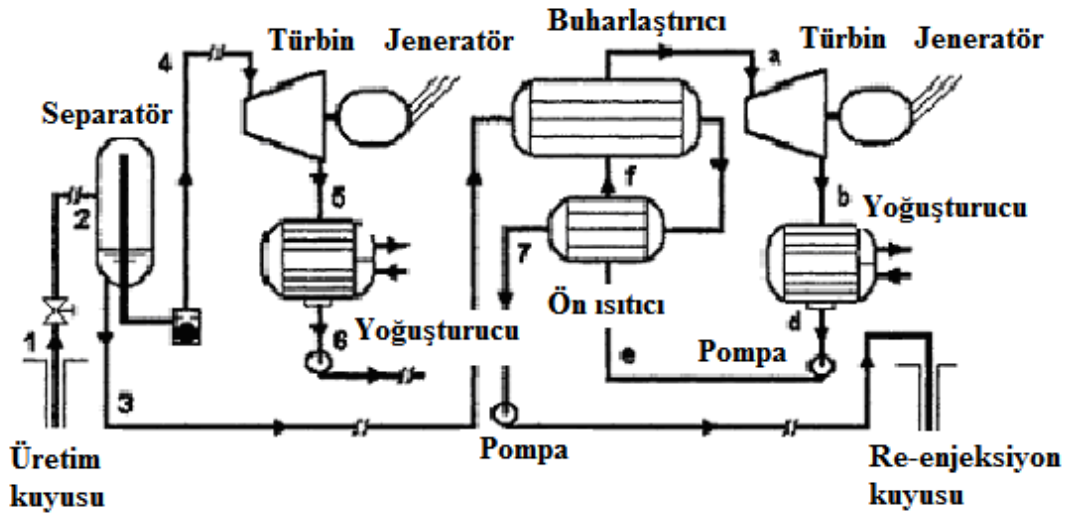


Şekil 1.10. MEGE Jeotermal Santrali- 3 (MB Holding, 2017).

1.2.3. Kombine Elektrik Üretim Sistemleri

Gelişen teknoloji ve verimlilik çalışmaları sonucunda ortaya çıkarılmış ve jeotermal kaynaklardan daha fazla enerji üretimini amaçlayan sistemler olup, kombine denmesinin sebebi, farklı tiplerdeki çevrim süreçlerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle tek ayrıştırıcı sistem ile binary sistemin birleştirilmesi ile oluşturulan sistemler en çok kullanılan türüdür. Bu sistemlere “Bottoming Binary Çevrimi” de denilmektedir.

Isısını diğer akışkana aktaran jeotermal akışkanın tekrar reenjeksiyon kuyusuna basıldığı ve ısı iletimi yapılan akışkandan elektrik üretimi yapılan sistemlerdir. Şekil 1.11’de belirtilen numaralarda 1 ve 7 numaralı yollar arasında tek ayrıştırıcı sistemden geçişi, daha sonrasında binary sistemden geçişi detaylı gösterilmektedir.



Şekil 1.11. Kombine Sistem Üretim Şeması (Di Pippo, 2005).

Yeni Zelanda’ da bulunan 100 MW kurulu güce sahip olan “Kawereu Jeotermal Santrali” nin sahip olduğu bu sistem sayesinde %98 civarında bir verimlilik düzeyi yakalamıştır.



Şekil 1.12. Kawereu Jeotermal Santrali-1 (Hawkins Cons., 2017).



Şekil 1.13. Kawereu Jeotermal Santrali- 2 (Hawkins Cons., 2017).



Şekil 1.14. Kawereu Jeotermal Santrali- 3 (Hawkins Cons., 2017).

1.3. Jeotermal Enerjinin Dünya ve Türkiye' deki Mevcut Durumu

1.3.1. Dünyada Jeotermal Enerji

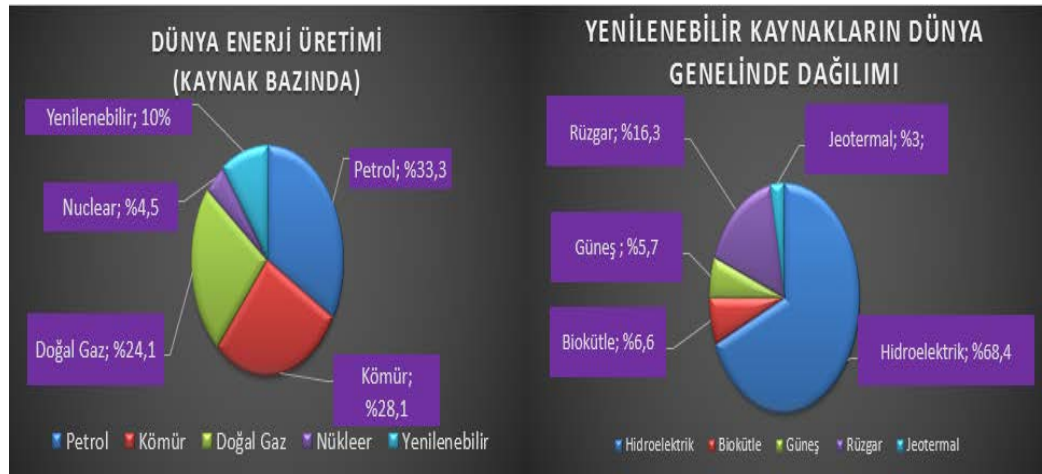
Dünya nüfusunun ve teknoloji seviyesinin artışı elektrik ihtiyacını arttırmakla beraber fosil bazlı enerjinin kullanımı ile çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bunu değiştirmek isteyen dünya ülkeleri yenilenebilir enerji yatırımlarını arttırmaya özen göstermeye çalışırken, jeotermal enerji de bu gelişmelerden olumlu yönde etkilenmektedir. Özellikle potansiyel açısından büyük avantaja sahip Yeni Zelanda, İzlanda, Amerika, İtalya, Türkiye gibi ülkeler, kendi toprakları içerisinde bulunan bu yenilenebilir kaynaktan faydalanmak adına keşif çalışmalarını hızlandırmaya çalışırken, yer üstü yatırımlarını da modern çağa uygun şekilde dizayn etmeye çalışmaktadır. Fakat Şekil 1.15 incelendiği takdirde halen günümüzde dünya genelinde enerji üretimi kaynak bazında fosil bazlı kaynaklara dayanmakta olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %10 olduğunu görülmektedir.

Jeotermal enerji dünya genelinde jeolojik açıdan avantajın büyük önem sağlamasından ötürü düzensiz ve bölge bazlı gelişimler göstermektedir. Gelecekte jeotermal kaynaklar açısından zengin Endonezya, Filipinler ve Kenya gibi ülkeler, önemli bir sıçrama ile uluslararası alanda büyüme ve enerji politikalarının sınırlarını genişletmeye hazırlanıyor. Başlıca oyuncular, ulusal enerji portföylerini çeşitlendirmek önümüzdeki yıllarda CO₂'nin küresel çıktısını önemli ölçüde düşürmek ve Paris İklim Anlaşması'nın amaçlarını gerçekleştirmek için sektörün büyük oyuncuları Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ve Inter- Amerikan Geliştirme Bankası (IADB) gibi yatırım bankalarını içeren ve jeotermal kaynaklarını verimli kullanmayan Şili gibi ülkeler ile işbirliklerine gidilmektedir. Kenya ve Endonezya gibi ülkeler ise önümüzdeki yıllarda jeotermal gelişim hedeflerini gerçekleştirerek, yeşil enerjide örnek ve önemli birer oyuncu olma yolunda ilerlemeyi amaç edinmişlerdir.

Mart ve Eylül 2016 aralığında dünya genelinde 44 adet yeni jeotermal enerji projesi geliştirilmiş olup, bu aralıkta 23 ülke 1562,5 MW'lık kurulu güç katkısı sağlamıştır. Ayrıca yeni oyuncu olma hedefindeki Hırvatistan (Velika Ciglena-Bjelovar- 10 MW), İran (Meshkin Shahr- 5 MW) ve Malezya (Kiri-Tawau- 30 MW) yeni pilot jeotermal enerji projelerini geliştirmiş olup, toplam 45 MW lık bir kurulu gücün dünya elektrik kurulu gücüne katılması planlanmaktadır. Dominik Cumhuriyeti

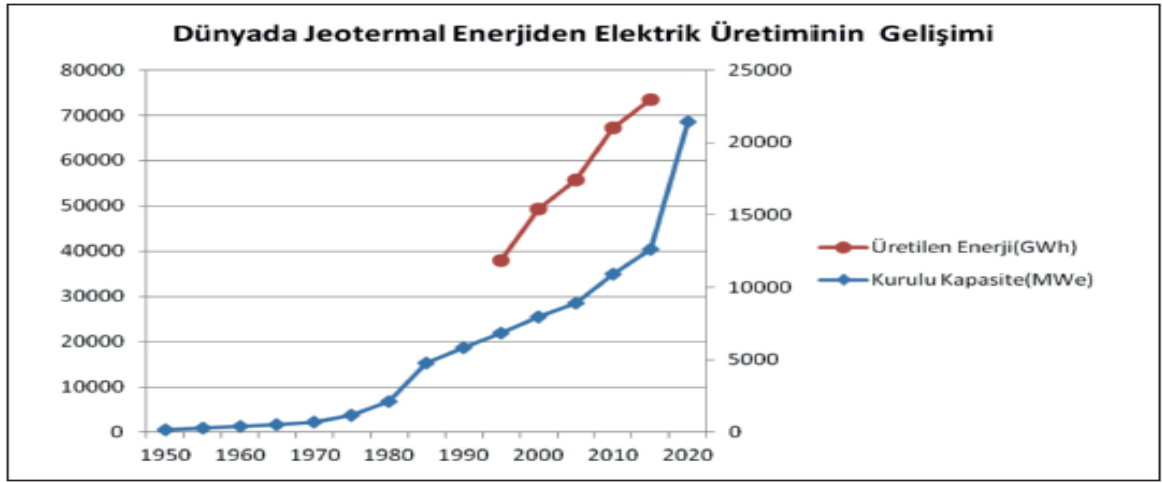
Yeni Zelanda ile ortak bir şekilde, ülkenin ilk jeotermal enerji santralini kurmak için anlaşma imzalamış durumdadır.

2017 içerisinde başlamış olan İzlanda Orka HS Derin Jeotermal Sondaj Çalışması, dünya genelinde jeotermal enerji konusunda bütün ezberleri bozarak, jeotermal enerji için dönüm noktası olmuştur. Yer altında bulunan jeotermal akışkanlardan maksimum anlamda faydalanmak adına, 5000 metre hedefi ile başlanan sondaj çalışmasında, Thor adı verilen sondaj ekipmanı ile yerkabuğundan hedef olan 5 kilometre'lik mesafeye iniş planlanmıştı. Saha ise ülkenin önemli jeotermal yataklarından olan Reykjanes bölgesi seçilmişti. Bu Proje, İzlanda' da Süperkritik Seviyede bulunan jeotermal kaynakların, teknik uygunluğu ve ekonomikliği açısından üretilmesinin mümkünliğini araştırıyor. Projeye rehberlik eden sondaj, 2009 yılında Faz-1 olarak adlandırılan ve başarısızlıkla sonuçlanan, Kuzey Doğu İzlanda Krafta Volknik Kalderasında süperkritik seviyeye ulaşmayı amaçlayan ve istenilen hedefe ulaşamayan IDDP-1 sondajı idi. Beklenmedik koşullar ile karşılaşılan sondajda, ilerleme sırasında 2.1 Km civarında 900 °C riyolit magma ile karşılaşıldı. Projenin sonunda, 453 °C lik kafa başı buhar sıcaklığı ile 35 MWe lik bir kurulu güç sağlandı. Proje 4626 m' ye kadar ulaşmış durumda. Bugüne kadar projenin İzlanda için maliyeti yaklaşık olarak 2 milyar Krone (yaklaşık 18 milyon dolar) civarındadır. Buna karşılık, İzlanda'daki jeotermal üretim yapılan geleneksel üretim kuyuları 500-700 milyon Krone (4.4-6.8 milyon \$) aralığındadır.



Şekil 1.15 Dünyada Kaynak Bazında Enerji Üretimi ve Yenilenebilir Kaynakların Dağılımı (IEA, 2016).

Dünya'daki jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi gidişine bakılınca, 2016 yılı sonu itibariyle Jeotermal Enerji kurulu gücü %3,4 (440 MW) artış göstermiş ve 13,4 GW seviyesine ulaşmıştır. Jeotermal enerji, rüzgar veya güneş enerjisinden daha yüksek bir yük faktöründe (enerji kaynağının aralıksız olmasından ziyade kesintisiz olması) çalıştığı için, jeotermal elektrik enerjisi kapasitesi MW başına önemli miktarda daha fazla elektrik üretmektedir. Bununla birlikte, jeotermal güç için gerekli jeolojik koşullar, kalkınmanın nispeten az sayıda ülkede yoğunlaştığını göstermekte olup, ülke kurulu güçleri de bu veriyi destekler niteliktedir.



Şekil 1.16 Dünyada Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretiminin Gelişimi
(Bertani, 2015)

Ülke	Kurulu Kapasite(MWe)
ABD	3450
Filipinler	1870
Endonezya	1340
Meksika	1017
Yeni Zelanda	1005
İtalya	916
İzlanda	665
Türkiye	635
Kenya	594
Japonya	519
Diğerleri	1142

Şekil 1.17. Ülke Bazında Kurulu Güç Kapasitesi (Bertani, 2015)

1.3.2. Türkiye’ de Jeotermal Enerji

Türkiye, enerji kaynakları açısından incelendiğinde, özellikle fosil yakıtlar bakımından (petrol ve doğal gaz rezervleri açısından) dünya ölçeğine göre fakir sayılabilecek bir ülkedir. Bu durum; enerji ihtiyacının yerli kaynaklarla karşılanamaması problemini doğurmasından ötürü her yıl arz güvenliğini sağlamak için enerji ithalatı yoluna gidilmektedir. Kendi öz kaynaklarından ürettiği enerji, harcadığı enerjiden az olan ülkeler için “Enerjide Dışa Bağımlı” tanımı yapılmaktadır. Enerji ihtiyacının %29- 30 civarını yerli kaynaklarından sağlayabilen ülkemiz; kaynakların çeşitlendirilmesi, araştırma geliştirmelerinin yapılması, üretimin ve üretimde verimliliğin artırılması ve yönetiminin sağlıklı yapılmasını gerçekleştiremediği sürece “Dışa Bağımlı Ülke” sınıfından kolay kolay kurtulamayacaktır.

Ülkemiz jeolojik ve coğrafik konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal açıdan dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Ülkemizin her tarafında yayılmış 1.000 adet civarında doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklarda birçok jeotermal kaynak mevcuttur. Enerji kaynağı olarak jeotermal enerji, elektrik üretimde 1913’ten bu yana kullanılmaktadır. Jeotermal enerji temiz, ucuz ve yenilenebilirdir ve alan ısıtma ve sıcak su temininde, CO₂ ve kuru buz üretim proseslerinde, ısı pompalarında, endüstriyel proseslerde ve elektrik üretimde, vb. sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin jeotermal potansiyeli teorik olarak 31.500 MWt olup potansiyel oluşturan alanların % 78’i Batı Anadolu’da, % 9’u İç Anadolu’da, %7’si Marmara Bölgesinde, % 5’i Doğu Anadolu’da ve % 1’i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın % 90’ı düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, %10’u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. Jeotermal kaynaklar yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bugün için jeotermal enerji kaynaklı elektrik üretimi, ısıtma (sera ve konut), sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Jeotermal Enerji uygulamalarında ilk elektrik üretimi 1975 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından kurulan ve 0,5 MWe güce sahip Denizli ilinin Sarayköy ilçesindeki Kızıldere Santrali ile başlatılmıştır.

Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2016 yılı verilerine göre 12,8 GWe düzeyindedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Filipinler,

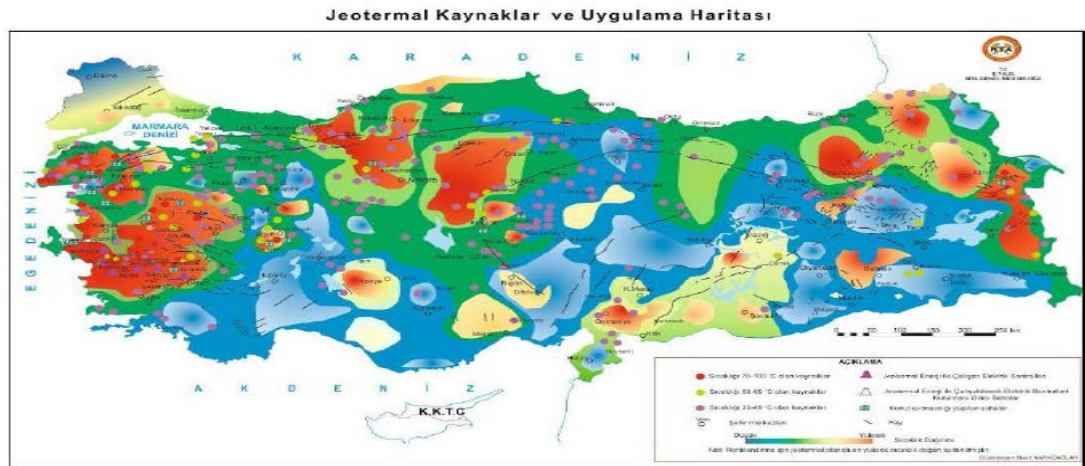
Endonezya, Meksika ve Yeni Zelanda şeklindedir. Elektrik dışı kullanım ise 70.329 MWt olup, Dünya'da doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk beş ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve İzlanda'dır.

Jeotermal kaynakların arama ve ortaya çıkarılması çalışmaları MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1962 yılında başlatılarak bugüne kadar getirilmiş olup 287,5 °C sıcaklığa kadar ulaşan yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar keşfedilmiştir.

1990'lı yıllarda uygulanan politikalardan dolayı durma noktasına gelen jeotermal enerji arama çalışmalarına 2005 yılında hız verilmiş ve sondajlı jeotermal enerji aramaları 2.000 metre seviyesinden 28.000 metre seviyesine çıkarılmış ve jeotermal enerji aramaları için sağlanan ödenek ise yaklaşık 10 katına yükselmiştir.

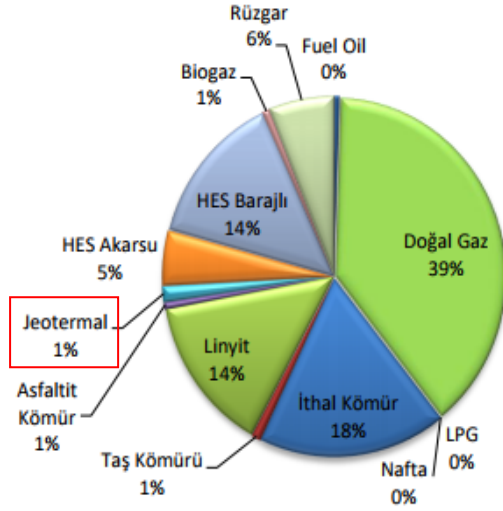
2005 yılından itibaren Bakanlığımız desteğiyle, mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranması çalışmalarına ağırlık verilmesi sonucunda 3.100 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi, ilave olarak yapılan 223.000 metre sondajlı arama tamamlanarak, ilave 1.900 MWt ısı enerjisi artışı sağlanmış ve keşfedilmiş jeotermal saha sayısı da 234'e ulaşmıştır. Bugüne kadar yapılan ve toplam sondaj uzunluğu 383.000 metre olan 613 adet arama çalışması neticesinde doğal çıkışlar dahil 5.000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir.

Arama yatırımlarının yanı sıra devreye alınan mevzuat ile birlikte yatırımcıların önü açılmış olup jeotermal arama, geliştirme ve yatırım çalışmaları hızlanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde ülkemiz toplam jeotermal ısı kapasitesi (görünür ısı miktarı) 15.500 MWt'e ulaşmıştır (ETKB, 2017).



Şekil 1.18 Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası (MTA, 2017)

Kaynak Türlerine Göre Üretim Oranı (%)



	Temmuz 2016	Temmuz 2017	Haziran 2017
Doğal Gaz	%33	%39	%35
HES (Barajlı)	%20	%14	%14
HES (Akarsu)	%6	%5	%10
İthal Kömür	%16	%18	%17
Linyit	%13	%14	%14
Taş Kömürü	%1	%1	%1
Fuel Oil	%1	%0	%0
Rüzgâr	%7	%6	%5
Jeotermal	%1	%1	%2

Şekil 1.19. Kaynak Türlerine Göre Üretim Oranı (Temmuz 2017 İtibari İle)
(ETKB, 2017)

Türkiye 2016 sonu rakamları incelendiğinde Mevcut Yatırımlar/ Net Kapasite Eklmeleri/ 2016 yılı toplam üretimi sınıflamasında ve ısıtmada net kullanım alanında Dünya 2. si durumundadır.

1.4. Bütünleşik Kaynak Yönetimi (BKY)

Bütün Kaynak Yönetim Sistemleri, eldeki kaynakların daha verimli kullanılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla ortaya çıkmıştır. Bütün kaynak yönetimleri ve planlamaları ortaya atılırken iki ana amaç tanımlanmıştır; bunlardan birincisi “Sürdürülebilirlik” ikincisi ise “Verimliliği Arttırmak” tır. BKY’ nde asıl amaç, kaynağı etkileyen tüm süreç ve yapıları bir bütün olarak ele almak ve değerlendirmektir. Kaynak yönetimi ve planlaması dinamik bir süreç olarak görülmekte ve uygulamalar buna göre şekillendirilmektedir.

BKY sürecinde hedef kesinlikle “Her zaman daha fazla üret!” değildir. Asıl hedef Sürdürülebilirlik iken ona destek olarak “Verimliliği Arttırmak” olarak gerçekleşecektir. Bunların dışında temelde yatan amaç, kaynağı tam anlamıyla “Keşfetmek” ve kaynağın faydalarını tam anlamıyla ortaya koyabilmek ve geleceğe yönelik aksiyonlar ile her türlü duruma karşı hazırlıklı olmaktır. BKY sürecinde alınacak kararlar, bütün parametrelerin incelenmesi ile gerçekleşir. Bu yüzden

çağımızın popüler konularından “Data Mining” adı verilen “Veri Madenciliği” ve “Big Data” olarak tabir edilen “Büyük Veri” çalışmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Elde edilen verilerin depolanması ve bu depolanan verilerin sınıflandırılarak saklanması büyük önem arz etmektedir. Fakat işletilen süreçle ilgili her gün karşılaşılan değişkenlikler, elde edilen verinin boyutunun, türünün ve miktarının değişmesine yol açar. Böylelikle veri sınıflama yeterliliklerinin değişmesi ile istenilen zamanda, ihtiyaç duyulan veriye ulaşmak zorlaşır. Tam burada ortaya çıkan “Data Mining” bilgiye ulaşmayı ve bilgiyi maden olarak düşünerek, cevhere ulaşma işidir. Veri Madenciliğinin adımları;

- Veri Ayıklama (Gürültülü, Tutarsız ve İhtiyaç Duyulmayan Gereksiz Veriler İçin)
- Veriyi Bütün Hale Getirme (Birden Çok Veriyi Birleştirme)
- Veri Seçimi (Analiz Aşaması)
- Veriyi Dönüştürme (Verinin Madencilğe Hazır Hale Getirilmesi)
- Madencilik Faaliyeti (Uygun Veri İçin Akıllı Yöntemleri Uygulama Aşaması)
- Veri Örüntüsünün Değerlendirilmesi (Ölçütlere Göre Elde Edilen Veri Örüntüleri)
- Bilgiyi Sunma

Veri madenciliği, elde var olan veri yığının içerisinde, bilinmeyen ancak potansiyel olarak kullanışlı olabilecek bilginin çıkarılması işlemidir. Bu işlem gerçekleştirilirken, kümeleme, özetleme, yapılan değişikliklerin ayrıştırılması ve sapma tespiti gibi bilgisayar mahareti içeren teknik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Asıl anlamıyla veri madenciliği, veri yığını içerisinde var olan düzensizliği giderme ve yığının içerisinde işe yarayabilecek potansiyeli var olan veriyi yarı otomatik veya otomatik olarak, teknolojik aletler maharetiyle ortaya çıkarma işlemidir. Çeşitli filtreleme ve istatistiksel yöntemler içeren bu kavram, aslında geleneksel istatistikten bazı yönleriyle farklılık göstermektedir. Veri madenciliğinde, ana rol veriye ihtiyaç duyandır. İstedığı gibi yönlendirmeler yapılabilir ve bu yönlendirmelere göre amaç veri örüntüsüne ulaşmaya çalışır.

Veri madenciliğini istatistiksel bir yöntemler serisi olarak görmek mümkün olabilir. Ancak veri madenciliği, geleneksel istatistikten birkaç yönde farklılık gösterir.

Veri madenciliğinde amaç, kolaylıkla mantıksal kurallara ya da görsel sunumlara çevrilebilecek nitel modellerin çıkarılmasıdır.

Veri madenciliği sahası, istatistik, makine bilgisi, veri tabanları ve yüksek performanslı işlem gibi temelleri de içerir. Veri madenciliği konusunda bahsi geçen geniş verideki geniş kelimesi, tek bir iş istasyonunun belleğine sığamayacak kadar büyük veri kümelerini ifade etmektedir. Yüksek hacimli veri ise, tek bir iş istasyonundaki ya da bir grup iş istasyonundaki disklere sığamayacak kadar fazla veri anlamındadır. Dağıtık veri ise, farklı coğrafi konumlarda bulunan verileri anlatmaktadır (Şenbabaoğlu, 2014).

Veri Madenciliğinden elde edilen bilgilerin tek başına değerlendirilerek, kararların sadece bu yolla alınması çok sağlıklı değildir. BKY süreçlerinde isminden de anlaşılacağı gibi “Bütünleşik” süreçler yer alır. Bu yüzden “Big Data” da işin içine mutlaka entegre edilmelidir.

İnsanoğlu elinde hep veri olan bir varlık idi, bunları ya bir şekilde depolamaya çalışıyordu ya da fazlasını gereksiz görüp göz ardı ediyordu. İnsanoğlu internet, bilgisayar gibi teknolojilerin yaygınlaşması ile artık daha yoğun bir veri bombardımanına tutulduğundan, buna karşı bir ayırım yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunların içinde de artık işe yarar veri sayısı çok fazla ve göz ardı edilemeyecek kadar değerli olduğu tespit edilmiştir. Big data, geleneksel veri uygulamalarının yakalama, muhafaza etme, yönetme ve analiz etmesi için oldukça yüksek, kompleks ve dinamik veridir.

Günümüzde bilgi toplumunun unsurlarını hayatın neredeyse her noktasında karşımıza çıkmaktadır. Herkes bir akıllı telefona, akıllı televizyona ve bilgisayarlara sahip olup, bütün şirketlerde bilgi teknolojisi konusunda yönetimi sağlayan birimlere sahiptir. Baktığımız zaman, elimizdeki teknolojik materyaller yaygın bir kullanıma sahip olsa da bilginin kendisi bu kadar görünür bir yapıya sahip değildir. Bilgisayar gibi bilgi derleyici sistemler bile hayatımıza girdikten belli bir süre sonra bize bilgi anlamında hatırı sayılır kakılar koymaya başlamış ve gelişim böylece sağlanmıştır. Gelişimin sağlanması ile bilgi miktarı artmış ve bilgiye erişim hızlı bir hal almıştır. Hatta insanlık tarihi boyunca üretilen veri miktarı, son yıllarda üretilen veri miktarının altında kalmıştır. Bu durum bile günümüzde nasıl bir teknolojik gelişmenin olduğu, ortaya çıkan veri yığınlarının miktarını ve gelişme adına bu veri ile başa çıkma yollarının

mutlak suret ile belirlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Büyük Veri geniş kullanım alanına ilk başta astronomi ve genetik alanlarında sahip olmuş, daha sonra bütün alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut alışkanlıklarımızdan biri haline gelen Google’ da buna verilebilecek en önemli örneklerdendir. Büyük Veri, doğru analiz metodu ile sektör süreçlerine entegre edildiğinde, stratejik kararların alınmasına, daha iyi bir yönetim anlayışına ve inovasyonların gelişmesine olanak sağlayacaktır. Baktığımız zaman günümüzde sadece 2016 yılında 16 zetabayt veri üretilmekte olduğu tahmin edilmektedir.

“Büyük Veri” yi oluşturan 5 temel etmen vardır.

- Çeşitlilik (Veriyi Bütünleşik Hale Getirmek Gerekir)
- Hız (Büyük Verinin Oluşma Hızı Gelişen Teknoloji İle Artmaktadır)
- Verinin Büyüklüğü (IDC İstatistiklerine Göre 2020’de Ulaşılabilecek Veri Miktarı, 2009’un 44 Katı Olacağı Göz Önünde Bulundurulmalı)
- Doğrulama (Veri Akışı Sırasında “Güvenilir” Bilgiyi Ayıklamak Gerekir)
- Değer Yaratma (Verinin İşlenmesi ve Yorumlanmasından Daha Önemli Olan Kısım Verinin Değer Yaratmasıdır)

BKY süreci tam anlamıyla bir “Veri Toplama ve Veriyi Anlamlandırarak Katma Değer Sağlama” hedefi doğrultusunda ilerlemektedir. Bu süreç içerisinde “Uyum-Çatışma – Uzlaşma - Danışma” adımları mutlak suret ile olmalıdır. Fikirlerin bir araya getirilmesi ile çeşitli adımlar atılarak, uyumun maksimum seviyeye getirilmesi, var olan çatışmaların ve fikir ayrılıklarının en aza indirgenmesi ile uzlaşma sürecinin sağlanması sonucu danışarak daha iyiye ulaşmak hedeflenmektedir.

Bu yaklaşım oluşturulurken, mevcut uygulama sektöründeki ilgili bütün faktörler göz önüne alınarak analizler ve değerlendirmeler şekillendirilmektedir.

Bütünleşik Kaynak Yönetiminde Yaklaşım;

- Strateji Üretimi,
- Araştırma,
- Düzenleyici ve Önleyici Faaliyetlerin Belirlenip Düzenlenmesi,
- Planlama,
- Uygulamaların izlenmesi ve sonuç odaklı yönlendirilmesi (İzleme-Monitoring)

adımlarını içermektedir.

Strateji Üretimi; Geleceğe yönelik hedeflerin ortaya konduğu ve bu hedeflere nasıl ulaşılabileceği konusunda yolları çizmeye çalışma sürecini ifade eder. Genel anlamda, bir amaca ulaşmak adına eylem birliği sağlamaktır.

Araştırma; diğer kaynak yönetim sistemlerinde de olduğu gibi en önemli ve yoğun bilgi toplama sürecinin yaşandığı kısımdır. Yönetilecek kaynak hakkında gerekli verilerin elde edilmesi, mevcut durumun analiz edilmesi, faydalı örnek araştırmalarının yapılması ve benzeri faaliyetlerin toparlanarak analiz edilmesidir.

Düzenleyici ve Önleyici Faaliyetlerin Belirlenip Düzenlenmesi; analiz edilen verilere istinaden ortaya çıkan olumsuzlukların ortadan kalkması veya istenmeyen durumları düzenleme ve önleme adına yapılabilecek faaliyetlerin ortaya konmasıdır.

Planlama; araştırma kısmı sonucunda varılan kararın uygulama sürecinde ihtiyaç duyulan takvimin çıkarılmasıdır. Hedeflenen bitiş tarihine kadar yapılacak olan uygulamaların detaylı olarak bir takvime oturtulması, kaynak yönetiminde ciddiyet ve disiplinin sağlanması açısından çok önemlidir. Bu aşamada, hedefe yönelik yapılacak çalışmalar için gereken süreler detaylı olarak tespit edilir ve çalışmalar arası geçiş süreci bir takvime bağlanır.

İzleme; Takvime oturtulan düzenleyici ve önleyici faaliyetlerin takip edildiği kısımdır. İleriye dönük yeniden alınabilecek aksiyonlar adına çok önemlidir. Alına bir önleyici veya düzenleyici faaliyetin işe yarayıp yaramadığı konusunda fikir edinmek adına, faaliyetin uygulandığı sürecin takibi esastır.

Yaklaşımın en önemli özelliklerinden birisi, bahsedilen bütün adımlarda süreklilik esastır. Güncel teknolojik, siyasi, ekonomik, bilimsel gelişmelerin takip edilerek, yaklaşımın her adımında güncellenebilir olması ve aksiyonların alınması sırasında esneklik paylarının bırakılması gerekmektedir.

1.5. Jeotermal Enerji’ de Bütünleşik Kaynak Yönetimi

Bütün enerji kaynakları için geçerli olan kurallardan bir tanesi olan “Kaynağı Verimli ve Sürdürülebilir Kullanma” prensibi, jeotermal enerji için de büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir olarak kullanım ile hem rezervuarın korunması hem sürdürülebilir bir işletme altyapısının hazırlanması sağlamak elzemdir.

Yaklaşımın temelinde yatan kısımlar;

- Kaynakların Verimli Kullanımı (Sürdürülebilir İşletmeler Oluşturma),

- Denetimlerin Sıklaştırılması ve Uygulamaların Kontrol Aralıklarının Sıklaştırılması,
- Bürokrasinin Azaltılması (Yeni Yatırımcıların Ülkeye Gelmesini Sağlamak Adına),
- Başarı Örneklerinin Oluşturulması ve Bu Örneklerin Hem Teknik Hem İdari Verilerinin Paylaşılması,
- Çevre Kirliliğinin Önlenmesi şeklindedir.

Jeotermal Kaynak Yönetiminde Hedefler;

- İşletme maliyetini en alt seviyeye çekmek,
- Enerji üretimini en üst seviyeye çıkarmak,
- Sürekli enerji üretimini sağlamak,
- Çevre etkilerini en alt seviyeye indirmek,
- Çökme ve korozyon etkileri gibi çalışma sorunlarını önlemek,
- Ülkemizin enerji politikasına bağlanmak olabilmektedir (Serpen vd. 2013).

Jeotermal kaynak yönetiminde genel olarak uygulanan yönetim seçenekleri aşağıda verilmektedir:

- Üretim stratejisinin değişimi (üretim artması/eksilmesi).
- Geri basma stratejisinde değişim.
- Ara kuyular olarak adlandırılan (in-fill wells) ek kuyuların delinmesi.
- Kuyu tamamlama şekillerinin değişmesi.
- Yeni üretim veya geri basma alanlarının aranması.

Bir jeotermal rezervuarın yönetimi, jeotermal sistem hakkındaki uygun bilgilere dayanır. Başarılı bir jeotermal yönetim programı için gerekli bilgiler aşağıda sunulmaktadır (Serpen vd. 2013):

- Rezervuarın hacmi, geometrisi ve sınır koşulları hakkındaki bilgiler.
- Geçirgenlik, gözeneklilik, yoğunluk, ısı kapasite ve iletkenlik gibi rezervuar kayaç özellikleri hakkındaki bilgiler.
- Sıcaklık ve basınç dağılımı gibi rezervuardaki fiziksel koşullar hakkındaki bilgiler.

Bu bilgiler, rezervuarın arama ve işletme aşamalarında sürekli toplanırlar. Başlangıç verileri yüzey aramadan, diğer bir deyişle, jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal verilerden

sağlanır. Daha sonra, sondaj sırasında log ve testler ek bilgiler sağlar. Bunun üzerine “kavramsal jeolojik model” kurgulanır. Jeotermal sistemlerin doğası ve özellikleri hakkında en önemli veriler, uzun dönem üretime tepkilerin dikkatle izlenmesiyle” elde edilir. Matematik modeller bu veriler üzerine bina edilerek, yönetimin karar seçeneklerinin sağlayacağı gelecekteki üretimler tahmin edilebilir. Bundan ötürü, işletme sırasında dikkatli bir rezervuar gözlemi (monitoring) başarılı bir kaynak yönetimi programının elzem olan kısmıdır. Eğer jeotermal sistemin anlaşılması ve algılanması uygunsa, gözleme rezervuardaki değişimlerin önceden görülmesini sağlar. Üretim (elektrik üretim veya ısı) kapasitesinin azalması gibi arzu edilmeyen değişiklikler ve kuyuda veya yüzey donanımlarında çökme veya korozyon gibi çalışma sorunları önceden algılanır (Serpen vd. 2013).

1.5.1. Kaynakların Verimli Kullanımı

Kısıtlı kaynaklara sahip bir alanda “Teknik Verimlilik” her zaman fayda sağlamıştır. Teknik Verimlilik ile karar vericilerin (devlet, şirketler vb.) karar alma aşamalarında önlerini daha net görmeleri ve kararlarını alırken mevcut teknolojinin maksimum seviyede kullanımı ile en uygun çalışma yönteminin bulunması sağlanabilir.

Kaynakların verimli kullanımının analizi, üretim kapasitesi ile yapılan üretim arasındaki ilişkiyi neticesinde oluşturulabilir. Jeotermal enerji kaynak verimliliği, eldeki üretim altında olan kaynakların mevcut durumu ve kapasitelerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılarak verimliliği arttırmak için çözüm üretilmesi işlemi şeklinde gerçekleştirilebilir. Öncelikle belirlenmesi gereken var ise verimsizliğin araştırılmasıdır. Verimsizliği yaratan, bilimsel ve teknolojik üretimden uzak olma, yanlış planlama, yasal boşluklar vb. sebeplerden olabilmektedir. Verimsizlik sebebinin tespitinden sonra çözümün oluşturulması ve verimliliğin artış miktarı mutlak suret ile takip edilmelidir.

Verimlilik hesabını yaparken; Standart veya iyi uygulamalar ile oluşan girdinin, genel proses çıktısına oranı kullanılır. Bu hesaptan da anlaşılabilceği gibi, verimlilik miktarını arttırmak için iyi uygulamalar ve iyileştirmeler ile oluşturulan girdinin arttırılması gerekmektedir.

1.5.2. Denetim ve Uygulamaların Kontrol Aralıklarının Sıklaştırılması

BKY sürecinin önemli adımlarından biri olan “Sürdürülebilirlik” kavramının sağlıklı yürütülebilmesi için denetim ve uygulamaların kontrol aralıklarının sıklaştırılması çok önemlidir.

Uygulayıcı ülkenin jeotermal mevzuatı ve kontrol amaçlı getirdiği yasal yükümlülükler büyük önem arz etmektedir. Kontrol ve denetim, süreci her daim diri tutacak yegane durumdur. Bu yüzden yasal mevzuat çerçevesinde denetim uygulamaların güvence altına alınması çok önemlidir.

Ülke kaynaklarında denetim ve uygulamaların takibi, yasa koyucu tarafından, milli menfaatler ve kaynaklardan en verimli şekilde kullanım göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Ülke bazında, yönetici olan devletin bu faaliyetleri yürütmesi adına “Yasal Düzenlemeler” yapması ve ilgili kurumların denetimlerini sıklaştırırken teknik personelin yeterliliğini sağlaması şarttır.

Saha bazında takip ise yasa koyucuya ek olarak işletmecinin faaliyetlerini kendi iç kontrolünde denetlenmesi ile sağlanır. Jeotermal enerjin taşınması çok maliyetli ve sürdürülemez olduğundan, çıktığı yerde tüketilmesi esastır. Bu yüzden santrallerin tasarlanırken, rezervuarın yapısı, üretim ve reenjeksiyon kuyularının yerlerinin belirlenmesi, gerekli testlerin yapılması ve santral kurulum sürecinden sonra “İzleme-Monitoring” saha bazında takip işlemlerinin içerisinde yer almaktadır.

1.5.3. Bürokrasinin Azaltılması

Yatırımcıların yatırım yapmasını kolaylaştırmak ve enerji üretiminde kaynakların birincil enerji arzına sokulmasında, yatırımcıyı teşvik etmek ve belli çerçevede işlerini kolaylaştırmak büyük önem taşır. Yatırımcının devlet sürecinde gereksiz bürokrasi yüzünden vakit kaybetmesi ve kaynağın değerlendirilmemesi milli menfaatler açısından her ülke adına istenmeyen bir durumdur.

Kamu içerisindeki yetki devirlerinin iyi planlanması ve siyasi güç ile uzmanlık gücü arasındaki ilişkinin iyi yönetilmesi bürokrasinin azaltılması konusunda kritik bir faktördür.

Bürokrasi genellikle yetki ve sorumluluklar açısından akış şemalarının düzgün oluşturulmaması ve yönetimde merkeziyetçi bir politika izlemenin sonucunda ortaya çıkmaktadır. BKY sürecinde de bürokrasinin azaltılması, kaynağın verimli ve

sürdürülebilir kullanılabilmesinin yanında, kaynak işletmek isteyen yatırımcıların teşvik edilmesi açısından da önem taşımaktadır. BKY sürecinin ana hedefi bürokrasiyi azaltarak, yatırımların artması ve milli servetin, milletin refahı için kullanılmasını sağlamaktır.

1.5.4. Çevresel Kirliliğin Önlenmesi

Yaşadığımız çevreyi korumak her şeyden önce bir insanlık vazifesidir. İnsanoğlu ihtiyaçlarını giderirken, doğayı korumayı kendine amaç edinmelidir. Özellikle fosil bazlı kaynakların enerji üretiminde kullanılmasının çevreye nasıl zarar verdiği ve insanlığın başına “Küresel Isınma” gibi bir olguyu musallat ettiği ortadadır. Bu yüzden çevreci enerji kaynaklarına dönüş büyük önem arz etmektedir. Jeotermal enerji çevreci ve yenilenebilir bir kaynak ve diğer elektrik üretim santrallerinden karbon emisyonu açısından daha avantajlı olmasına rağmen, kontrol altına alınmadığı takdirde, en büyük çevre düşmanı haline gelebilmektedir. Her geçen gün artan jeotermal enerji kurulu gücü ve tesisler ile kuyu başlarından ve santrallerden yükselen yoğun buharlar ve artan jeotermal faaliyetler çevrenin konusunda hassasiyet oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Jeotermal akışkanlar rezervuarın kimyasal özelliklerine göre yüksek kimyasal madde içermektedir. Kükürt, silika, arsenik, çeşitli metal içerikleri (Sodyum, Alüminyum vb.) ve bor gibi maddeler bulunabilmektedir. Bu maddelerin doğaya kontrolsüz salımı büyük çevresel felaketlere yol açabilmektedir.

Ayrıca jeotermal enerji çalışmalarında var olan çevresel riskler sadece suyun kimyasal içeriği değildir. Kontrolsüz çekim ve birbirine çok yakın kuyuların açılmasına bağlı arazi çökmeleri, kuyularda patlama olması ile çevreye akışkan ve buharın yayılması sonucu hem çevre hem insan hayatına olan etkileri, heyelan ve sismik tetiklemelere yol açabilmesi gibi farklı sorunlarda mevcuttur. Bu yüzden BKY sürecinde, kaynağın tüm yönleriyle ele alınması ile çevresel kirliliğinde en yüksek seviyede önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Çevresel Kirliliğin Önlenmesi adına hem yasal hem teknik çözümler bulunması gerekliliğini içeren BKY yaklaşımı ile daha temiz bir çevrede temiz enerji üretimi hedeflenmektedir.

1.6. Jeotermal Reenjeksiyon

Farklı amaçlar için kullanılan jeotermal akışkanların kimyasına göre içerdiği maddeler yüzünden kullanımından sonra doğaya salınması çevreci bir yaklaşım değildir. Bu bakımdan tekrar yer altına enjekte edilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, yer altında rezervuarın basıncının korunması, su dengesinin kaybolmaması, doğal beslenme ihtiyacını minimuma indirilmesi, çökmelerin engellenmesi ve sürdürülebilir kullanım amacıyla reenjeksiyon prosesinin yapılması bir zorunluluktur.

Reenjeksiyon, jeotermal rezervuarlara ek bir sıvı şarjı sağlar ve üretim nedeniyle oluşan basınç düşüşüne karşı koymasına yardımcı olur. Böylece rezervuar ömrüne olumlu yönde katkı sağlar. Reenjeksiyon, çoğu zaman, jeotermal rezervuarların üretim kapasitesini arttırarak bu proses ile ilişkili yatırım ve işletme maliyetlerinin kaçınılmaz olarak artmasına karşı koyacaktır. Literatür ve uygulama örnekleri incelendiğinde de jeotermal sistemlerin enerji üretim potansiyelini arttırmada ekonomik bir proses olması muhtemeldir. Reenjeksiyon, aynı zamanda tüm EGS (geliştirilmiş veya jeotermal sistem) operasyonlarının önemli bir parçasıdır.

Reenjeksiyon prosesi başlı başına tasarlanması gereken bir proses olduğundan, dikkatle ele alınması gerekir. Yanlış yapılan reenjeksiyon uygulamaları, rezervuara zarar verebilecektir. Yani verimlilik ve sağlıklı üretim sağlama hedefi varken, aksine verimsiz ve sağlıksız bir üretim şekli ortaya çıkabilecektir. Tasarım işleminde su basılan bölgenin jeolojisi, hidrolojisi, mineral çökmesi, basılan suyun çekilen su ile kimyasal bileşimlerinin takibi, basılan ve üretilen suyun sıcaklıklarının periyodik ölçümleri gibi işlemler öncelikli olarak düşünülmeli ve uygulama bu parametrelere göre gerçekleştirilmelidir.

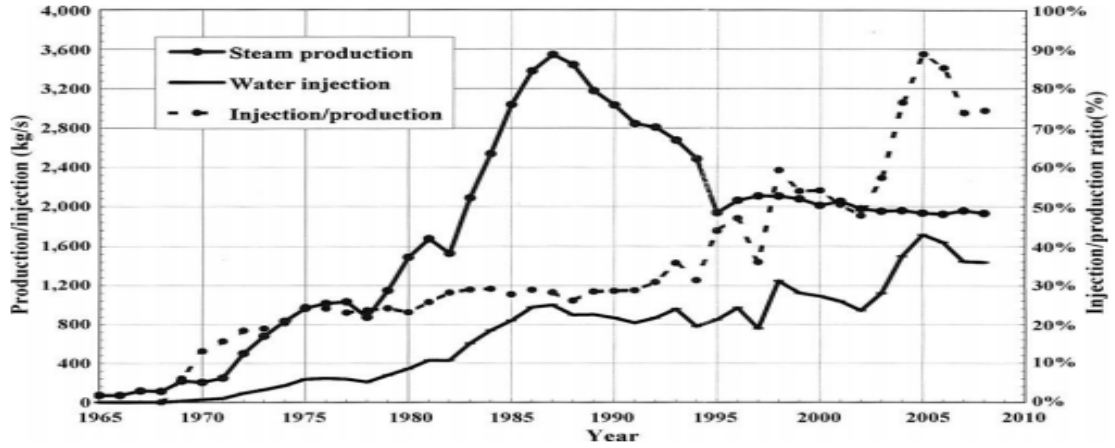
Jeotermal reenjeksiyonun temelleri 1960' lı yıllarda atılmaya başlanmıştır. Düşük ve orta entalpili sahalarda kendine uygulama yeri bulan reenjeksiyon prosesi, 1969 yılında ilk defa yüksek entalpili bir sahada uygulanmaya başlamıştır. El Salvador' da bulunan Ahuachapan jeotermal santralinde uygulanan reenjeksiyon faaliyeti daha sonra durdurulmuş ve 20 yıl aradan sonra tekrar başlatılmıştır.

İtalya' da bulunan Larderello Jeotermal Sahasında ise 1974 yılında başlayan reenjeksiyon çalışmaları sonucunda rezervuar basıncının korunduğu, buhar üretiminde önemli bir miktarda artış olduğu ve dolayısıyla enerji üretiminde ki reenjeksiyonsuz döneme göre önemli bir düzelme sağlandığı ölçümler ile görülmüştür (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. İtalya Larderello Jeotermal Sahasında ki akış oranı (Reenjeksiyondan önce ve sonra) (Capetti vd. 1995)

Amerika Birleşik Devletleri sınırları içerisindeki Kaliforniya Gayzerlerinin bulunduğu alanda 1970 yılında başlayan reenjeksiyon çalışmalarının sonucunda operasyon sorumluları rezervuar performansının yükseldiğini ve elektrik üretiminde yaşanan düşüşün ise önemli derecede yavaşladığını fark etmişlerdir (Şekil 1.21)

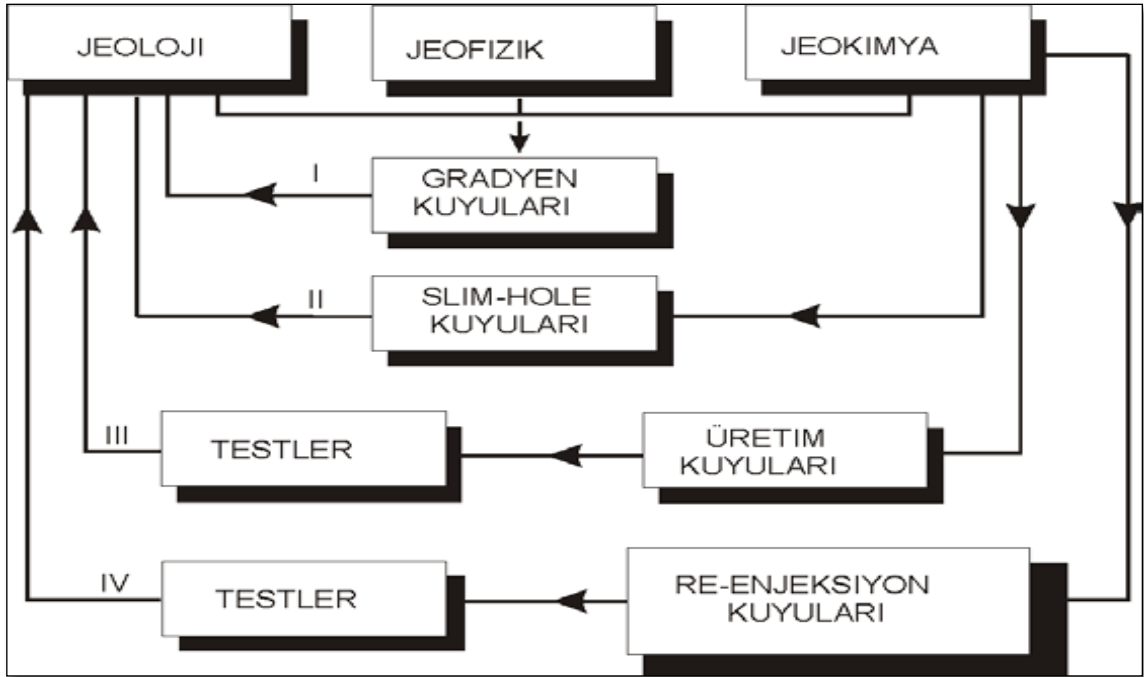


Şekil 1.21. Geysers- California Jeotermal Sahasında “Buhar Üretimi- Su Enjeksiyonu ve Enjeksiyon/ Üretim” in Tarihsel Gelişimi (Goyal ve Conant, 2010)

Jeotermal sahalarda reenjeksiyonun rezervuarda iyileştirme ve verimlilik sağladığına dair birçok yayın literatürde yer almaktadır. Steffanson (1997) tarafından 8

ülkeyi kapsayan 20 alanda yapılan çalışmalar, Axelsson ve Gunnlaugsson (2000) tarafından 15 ülkeyi kapsayan 29 alanda yapılan çalışmalar gibi literatürde jeotermal reenjeksiyonun olumlu yanlarını kanıtlayan çalışmalar bulunmaktadır.

Jeotermal reenjeksiyon, bir jeotermal rezervuardan üretilen suyun bir kısmını veya tamamını geri jeotermal sisteme geri döndürmeyi içerir. Yeniden enjeksiyon, birkaç jeotermal operasyonda atık su bertaraf yöntemi olarak başlatılmış ancak daha sonraki yıllarda giderek daha yaygın hale gelmiştir. Şimdiye kadar reenjeksiyon, bütünlük kaynak yönetiminin önemli bir parçası olduğu kadar sürdürülebilir ve çevre dostu jeotermal kullanımın da önemli bir parçası olarak görülmektedir (Axelsson, 2012). Reenjeksiyon, jeotermal rezervuarın üretim nedeniyle basınç düşüşüne karşı koyar ve rezervuar kayalarından konvansiyonel iyileştirme sayesinde daha fazla termal enerjiyi üretmeyi sağlar. Bu nedenle, reenjeksiyon çoğu durumda jeotermal rezervuarların üretim kapasitesini arttıracak ve bu da reenjeksiyon ile ilgili yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına engel olacaktır. Çoğu durumda, jeotermal sistemlerin enerji üretim potansiyelini artırmanın ekonomik bir yolu olması muhtemeldir. Reenjeksiyon olmasa idi, kütle ekstraksiyonu ve dolayısıyla enerji üretimi, birçok santralde veya termal alanda farklı sorunlar olurdu. Yeniden enjeksiyon, aynı zamanda tüm geliştirilmiş veya mühendislik yapılan jeotermal sistem operasyonlarının önemli bir parçasıdır (Şekil 1.22).



Şekil 1.22. Jeotermal Proje Akış Diyagramı (Özüdoğru ve Babür, 2001)

Projelerde ilk adım, jeolojik çalışmalardır. Jeotermal sahalarda, jeolojiye en büyük yardımcı unsurlar, arazide var olan doğal buhar çıkışları, fümerol, gayser ve hidrotermal alterasyonlardır. Jeolojik etütlere yardımcı bilim dalları ise jeofizik ve jeokimyadır. Tüm bu çalışmaların birlikte değerlendirilmesi sonucu, yeraltı sıcaklık gradyenini tespit etmeye yönelik, sığ derinlikte ve dar çaplı gradyen kuyuları açılır. Bu kuyulardan alınan sıcaklık ölçümüne göre yer altı sıcaklık gradyeni ($^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$) ve sıcaklık dağılım haritaları çıkarılarak, sahada olası jeotermal kaynağın saptanmasına yönelik derin ve dar çaplı (slim-hole) kuyular açılır. Slim-hole kuyularında yapılacak testler ile sahada rezervuar özelliklerinin tespitine yönelik çok önemli bulgulara ulaşılr. Bu kuyulardan sıcaklık, basınç, debi, jeokimyasal yapı ve uygulanacak rezervuar testleri (build-up, draw-down, tracer testleri, izotop analizleri) ile saha ve rezervuar hakkında çok önemli bilgiler elde edilir. Slim-hole kuyuları sonrası mevcut jeoloji, jeofizik ve jeokimyasal verilere, test sonuçlarının da eklenmesiyle, üretim kuyu yerleri ve sayısı kararlaştırılır. Rezervuar koşulları daha net bilinebildiğinden, kuyu kazı ve teçhiz planlamaları daha emniyetli ve doğru yapılacaktır. Sahada kazılan kuyuların testleri, rezervuar ve akışkan parametrelerini daha çok belirginleştirecektir. Slim-hole ve üretim kuyularından sonra yapılan testlere ek olarak yapılan girişim (interference) testleri ile (elde edilen diğer verilerde dikkate alınarak) ek üretim kuyu yerleri (make-up wells) ile re-enjeksiyon kuyu yerleri saptanır (Özüdoğru ve Babür, 2003).

Reenjeksiyon kolay bir proses olmayıp, iyi tasarlanması ve araştırma aşamasının uygun metotlar ile yürütülmesi esastır. Modelleme çalışmalarının yapılarak, elde edilen verilerden 3 Boyut Modellerin oluşturulması ve reenjeksiyon en uygun yerin tespiti konusunda çalışılmalıdır.

Reenejeksiyon prosesi uygulanırken, uygun yere suyu basamama, aşırı debi ile akışkanın rezervuara gönderilmesi, enjekte edilen suyun üretim zonuna tahmin edilenden daha hızlı ulaşması ve üretim zonunu soğutması, buhar kuyularında üretimin kesilmesi, akışkan kimyasının değişmesi, yer altı su akifer bölgelerinde kirlilik oluşması gibi olumsuzluklarda ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerin çözümü içinde bahsedilen modelleme çalışmaların yapılması esastır. Özellikle enjekte edilen akışkanın üretim zonuna iniş hızı ve zamanına dikkat edilmelidir. Aşırı hızlı incek olan akışkan ısı cepheyi olumsuz etkileyecektir ayrıca üretim yapılan zonun aşırı soğumasını sağlayarak güç düşümüne sebebiyet verecektir.

Reenjeksiyon prosesinde karşılaşılmaması muhtemel sorunları incelemek gerekirse;

- **Üretim Kuyularında Sıcaklık Düşümü (Cooling):** Kuyular arası mesafenin doğru ayarlanmaması, soğuyan suyun kısa bir döngü içerisinde, yeterince ısınmadan tekrar üretim kuyusuna gelmesi sonucu oluşan bir durumdur. Bu durumu engellemek için detaylı rezervuar araştırması ve ilgili akış ve kuyu testlerinin yapılması zorunludur. Filipinler’ de bulunan “Palinpinion” santralinde PN 26 Üretim Kuyusunda aylara bağlı düşüş değerleri net olarak gözlemlenebilmiş ve reenjeksiyon prosesi tekrardan yapılmak zorunda kalmıştır.
- **Silika Birikmesi:** Santrallerde var olan yer altı ve yer üstü tesisat borularının içerisindeki akışkanın yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa düştüğü seviyelerde, SiO₂ çökmesi ile oluşan ve ileri boyutta boru tıkanmalarına yol açan durumun gözlenmesi şarttır.
- **Korozyon:** Genel anlamıyla, tesisatta kullanılan metal ve alaşımların, akışkan veya farklı çevresel etkilerle kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeleri sonucu bozulmaya uğramalarıdır. Jeotermal akışkanlar silika, kalsit sülfat ve kalsiyum florid ile doymuş halde bulduklarından, sıcaklık ve basınçta meydana gelen değişimler, denge halindeki bu doymuş çözeltinin kabuklaşma eğilimini arttırmaktadır.

Genellikle çatlaklı kayalar içerisinde akışın enjeksiyon kuyusunun etrafında simetrik ilerlemesi beklenmez. Akışkanın bazı yönlerde daha hızlı ilerleyeceği göz önüne alınmalıdır. Dolayısıyla enjeksiyon ve üretim kuyuları arasında güvenilir bir aralığın olması gerekmektedir. Bu aralıklar, ancak sağlıklı basınç girişim ve özellikle de izleyici testleri ile rezervuardaki akış yollarının tanımlanmasından sonra belirlenebilmektedir. Reenjeksiyon olayında yanıtlandırılması gerekli en önemli sorulardan birkaçı arasında; suyun basılması için kaç kuyu kullanılacağı, pompa gerekip gerekmeyeceği ve suyun nereye basılacağı sayılabilir. Basılan suyun debisi biliniyorsa, ısıl kirlenmeyi önlemek için rezervuarından daha düşük sıcaklıktaki suyun üretim bölgesinden ne kadar uzakta bir kuyudan veya kuyulardan basılması gerektiği reenjeksiyon uygulanmasında incelenmesi gerekli en önemli konu olmaktadır. Enjeksiyon kuyularının yerlerinin seçiminde belirli bir sistematik yerleşim programı uygulanmalı, kuyuların gelişigüzel yerleştirilmesinden sakınılmalıdır. Kuyunun

mümkün olduğunca üretim sahasının dışında tutulması doğru bir yaklaşımdır. Enjeksiyon kuyusu ile yakınındaki üretim kuyuları arasında bir akış kanalı oluşturabilecek çatlak veya kırık yapının olmamasına dikkat edilmelidir. Reenjeksiyon planlamasında en önemli parametrelerden birisi de kuyu sayısıdır. Enjeksiyonun mümkün olduğunca çok sayıda kuyudan yapılmasında yarar vardır. Enjeksiyon debisi küçük tutularak, basılan soğuk akışkanın rezervuarda daha çabuk ısınması sağlanırken, formasyonda ısıl kirlenmeden kaynaklanan olası olumsuz etkiler minimum düzeyde tutulabilir. Doğal olarak, enjeksiyonda kullanılan kuyu sayısı arttıkça maliyette yükselecektir. Dolayısıyla, basılacak toplam miktar, kuyu sayısı ve maliyet arasında bir optimizasyona gitmek en akılcı yaklaşım olmaktadır. (Satman, 2005).

Jeotermal reenjeksiyonun doğru yapılması için “Rezervuar Modellemesi” nin doğru yapılması hayati önem taşımaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Dünyada Bütünleşik Kaynak Yönetimi Çalışmaları

Literatür incelendiğinde, jeotermal enerji kaynakları için BKY ilk olarak Luketina (2000) tarafından ortaya atılmıştır. Jeotermal Enerji için BKY yaklaşımı Luketina (2000) tarafından adeta bir yol haritası niteliğinde 2025 enerji planlaması için ortaya konmuştur. Bu plan, Yeni Zelanda' nın enerji üretiminin %90'ını yenilenebilir enerjiden sağlamasını hedeflemektedir. Jeotermal Enerji' nin kaynak bazında daha verimli ve sürdürülebilir kullanımının sağlanarak, günümüzde, genel enerji üretiminin %80'i civarında olan yenilenebilir enerjiden güç üretiminin 2025 hedeflerine ulaşması amaçlanmıştır. Bölüm 1.6' da bahsedilen adımlar ve hedefleri içeren jeotermal enerjide BKY yaklaşımı için Yeni Zelanda' da yapılan çalışma literatürde bir ilk niteliği taşımaktadır.

Kontrolsüz çekim, üretimin beslenmeden yüksek değerde olması, yakın kuyuların açılması gibi etmenlerle oluşan arazi çökmesi problemlerine karşı, rezervuarın detaylı jeolojik ve jeofizik özelliklerinin ortaya konulması sağlanmalıdır. Kuyular arası mesafeye dikkat edilmelidir. Rezervuarın basıncının korunması hayati önem taşımaktadır. Luketina (2000) BKY' ni ortaya atarken, etkin rezervuar yönetme ve işletmenin önemini vurgulamaktadır (Luketina, 2000).

Dünyada genel olarak BKY sisteminin her adımının uygulandığı Yeni Zelanda' nın haricinde örnek bulunmamaktadır. Literatürde farklı alanlarda yapılan çalışmalar, birbirinden bağımsız olarak BKY sisteminin adımlarına güzel örnekler teşkil etmektedir.

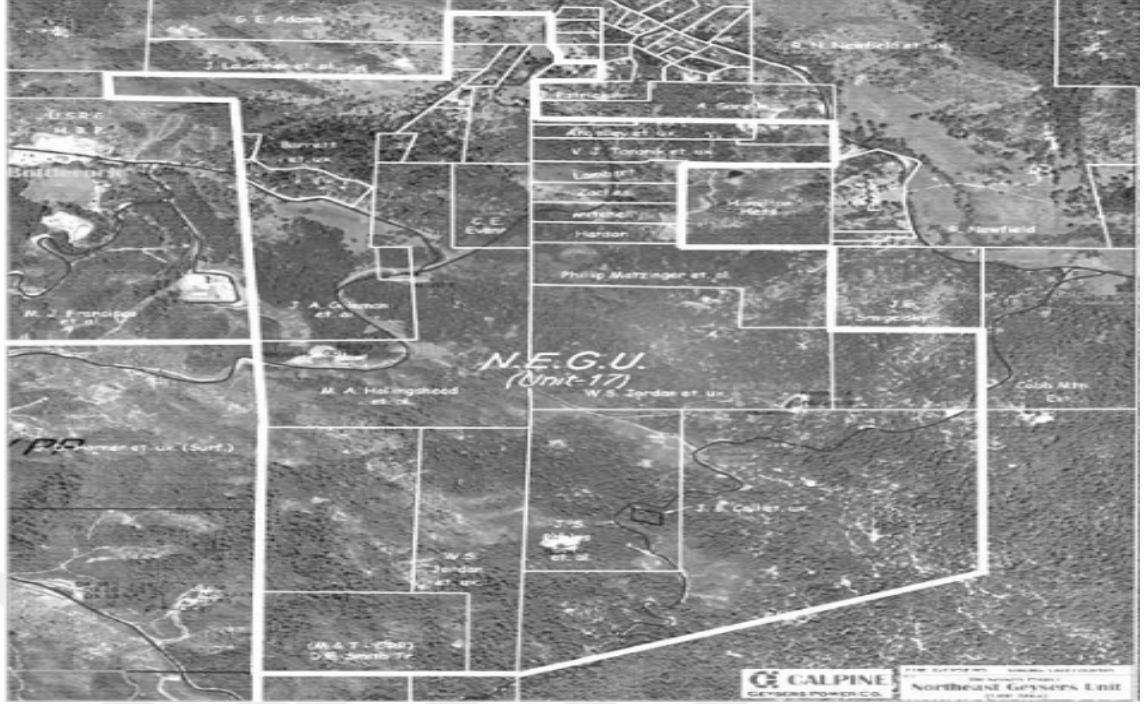
Bölüm 1.6' da aktarılan BKY adımlarının detayları hakkında literatür incelendiğinde;

Parametrik (Aigner, 1977 ve Meeusen ve Broeck, 1977) ve parametrik olmayan (Charnes, 1977 ve Barnes, 1978) yaklaşımlar ile Stokastik Sınır Yaklaşımının ortaya atılarak, kullanıma geçirildiği görülmektedir. Bu yaklaşımlar içinde bir parametrik olmayan yaklaşım olan “Veri Zarflama Analizi (Foster, 1962)” yöntemi üretim fonksiyonunun genel bir özeti ile girdi çıktıları arasındaki ilişkinin korelasyonunu ortaya koymaktadır. Bu da Bölüm 1.5 de bahsettiğimiz “Veri Madenciliği” ve “Big Data”

kavramlarının altlığını oluşturmaktadır. Böylece toplam teknik verimlilik ve enstrüman kullanımının etkinliği ölçülebilir bir hale gelmektedir. Çalışmalar ile BKY' nin bir ayağı olan kaynakların verimli kullanılmasının adına verileri sağlıklı tutma ve sağlıklı işleyebilmenin önemi ortaya konmuştur.

Badur (2011) tarafından yapılan çalışmada, kaynakların plansız ve bilinçsiz kullanımda nasıl problemlerin oluşacağına dair saptamalar ortaya konmuştur. Wairekai Jeotermal Alanı ve Amerika Birleşik Devletleri' nde bulunan San Andreas fay sistemi üzerinde 19 adet jeotermal enerji santraline sahip, dünyanın en büyük jeotermal sahası, sürdürülebilirlik açısından geçmiş performanslarının kıyaslaması ile incelenerek performans kayıplarının nelere bağlı olduğunun tespiti aktarılmıştır. 1958 yılında kurulan Wairakei Elektrik Santrali ilk yirmi yılında rezervuarda akışkan çekiminden kaynaklanan yaklaşık 20 barlık bir düşüş meydana geldiği bildirilmiş ve sahada meydana gelen çökme sonucunda, bütün santralin durdurulduğu ve tamir işleminin üç gün sürdüğü aktarılmıştır. atık suyun %40'ının nehre boşaltılmakta, %50'sinden fazlası re-enjeksiyon yapıldığı belirtilmiştir. San Andreas bölgesinde ise 1960 yılında 12 MWe kapasiteli bir ünite ile üretime başlandığı, 1987 yılında ise buhar üretiminin 112 milyar kg ve elektrik üretiminin 1500 MWe ile zirve değerine ulaştığı, ancak bundan sonra Geysers alanında hızlı bir üretim düşüşünün gözlemlendiği aktarılmıştır. Bulunan çözüm yollarının yeterli olmaması ve artık geri dönülemez bir hasar oluştuğu için günümüzde üretimin %100' ünden fazla reenjeksiyon yapılsa bile üretilen akışkanın hiçbir zaman eski değerlere ulaşmayacağına anlaşılmakta olduğu bildirilmektedir. Plansız ve bilinçsiz kullanımın, verimli kullanım haricinde, çevresel felaketlere de yol açabileceğini ortaya koyan çalışmada, bilinçsiz çekilen suların dere yataklarına verilmesinin oluşturduğu zararlar ortaya konmaktadır (Badur, 2011) (Khan, 2009) (Allis ve Barker, 1982) (Lawless vd. 2003) (White, 2005) (Broomley ve Currie, 2003).

Yasal altyapının kurulması ve sağlıklı ruhsat dağılımı alanında Amerika Birleşik Devletleri' nin jeotermal ile ilgili ruhsat dağılımını içeren yasaları literatürde yer almaktadır. Talkington (2014) tarafından yapılan çalışmada Geysers Jeotermal alanında var olan ruhsat dağılımını göstermiş ve planlı ruhsatlaşma ile mevcut kuyuların birbirini etkilemesinin önüne geçilmesi ve havzanın korunmasının amaçlandığını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.1 A.B.D.'nin California eyaletindeki Geysers jeotermal alanının Kuzeydoğu Geysers kesiminde birleştirilmiş (kalın beyaz çizgilerle sınırlı) olan ruhsatların dağılımı (Talkington, 2014), (Mihçakan, 2015)

2.2. Türkiye' de Bütünleşik Kaynak Yönetimi Çalışmaları

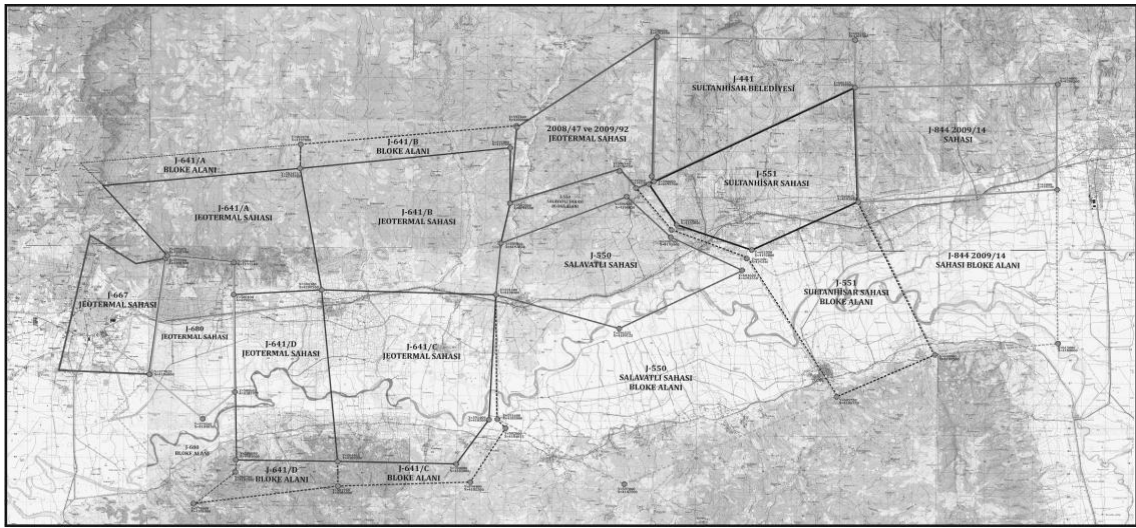
Ülkemiz için de uygulamada olmayan bu yönetim sistemi ilk kez Serpen vd. (2013) tarafından yapılan çalışma ile ortaya konmuş ve Yeni Zelanda örneğine atıf yapılarak sunulmuştur. Ülkemizde Bütünleşik Kaynak yönetimini tüm yönleri ile içeren tek literatür örneği olan bu çalışma, bu yönüyle büyük önem arz etmektedir. Çalışma ile Türkiye'deki jeotermal enerji kaynaklarının daha sağlıklı yönetilebilmesi için öneriler sunulmuş ve BKY adımları bazında örnek çalışmalar sunulmuştur. Jeotermal kaynaklarımızın yönetimindeki sorunlar hem ülke, hem de kaynak bazında ortaya konulmuş, sağlıksız yönetimlerin nasıl ve neden olduğu anlatılmış ve sorunlar açıklanmıştır. "Bütünleşik Kaynak Yönetimi" konusunda adımlar sistematik olarak uygulanırsa, jeotermal kaynakların çok daha sağlıklı olarak işletilebileceğini ve bu kaynakların sürdürülebilir olacağı vurgulanmıştır. (Teke ve Yaşar, 2017) tarafından yapılan çalışmada, daha sonrasında bu çalışmayı pekiştirmiş ve sorunlara atıflarda bulunmuştur.

BKY adımlarından “Kaynakların Verimli Kullanımı” adına Özdiler ve Sayık (2011), Balçova Jeotermal Sahasında yaptıkları çalışmada, 5 sene içerisinde tesiste farklı verimlilik artışlarını araştırmışlardır. Tesiste fiili kapasite artışı, arıza ve patlak sayılarında düşüş, bakım onarım- işçilik- hammadde gibi harcamaları minimum seviyelere çekilmesi, kuyu statik seviyelerinde ciddi artışın tespiti, ısı merkezlerine yapılan yıllık kaçak su takviye miktarı ortalaması 137 m³/saat den 14 m³/saatlere kadar düşürülmesinin sağlandığını (Balçova ısı merkezi yıllık kaçak su takviye miktarı ortalaması 83 m³/saatlerden 7 m³/saatlere kadar düşmesi) ve izleme sisteminin kurulduğunu aktarmışlardır. İşletmenin daha verimli hale gelmesi sağlanarak sistemin ve rezervuarın ömrü garanti altına alındığı bildirilmiştir (Özdiler ve Sayık, 2011).

Denetim Faaliyetleri ve Yasal Altyapının incelenmesi hususunda literatürde Mihçakan (2015), Serpen vd. (2013), Kuyumcu (2007) tarafından yapılan literatür çalışmaları ve Resmi Gazete yayınları ile Bakanlık Yönetmelikleri tarafından yapılan çalışmalar mevcuttur.

Kuyumcu (2007), petrol ve doğalgaz sondajlarında kullanılan malzeme ve materyalin kanuni eksikliklerden ötürü jeotermal tarafına kaydırılmadığı ve eldeki milli değerlerin kullanılmadığını aktarır iken, kanun ile yurt içi dolaşıma giren malzemelerin jeotermal kuyuları içinde kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Serpen vd. (2013), kaynakların kamuya ait olan işletme haklarının devrinde büyük problemlerin yaşandığı ve ülkemizde “Vahşi Paylaşım” denen rastgele ruhsat alanı paylaşımı yapıldığını ortaya koymaktadır.



Mihçakan (2015), komşu ruhsatların birbirini etkilediğini ve jeotermal rezervuarın geri dönüşü olmayan bir noktaya geldiğini bildirerek, 100 yıl önce Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan yanlış bir uygulamanın bugün hala ülkemizde uygulandığı ve bu yanlıştan vazgeçilmediğini, bu durumdan bütün tarafların zararlı çıktığını aktarmaktadır.

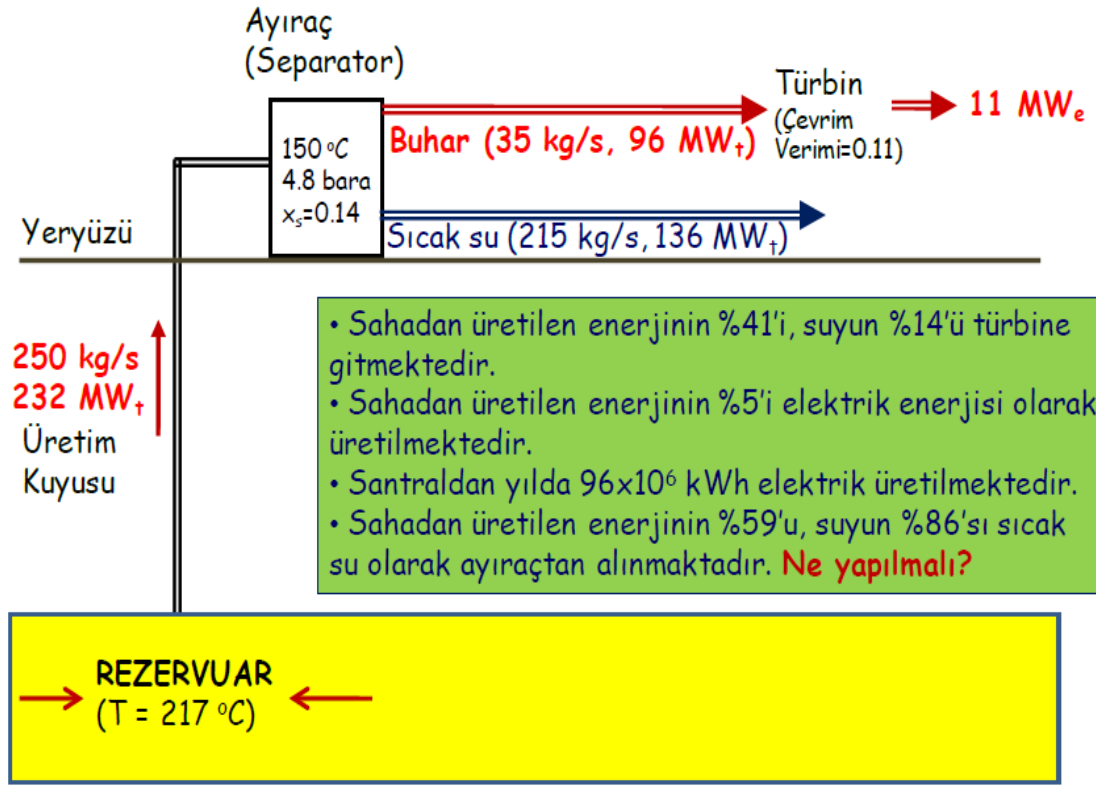
Ülkemizde şu anda uygulanmakta olan 03/06/2007 tarihinde Resmi Gazete' de yayımlanan 5686 Sayılı "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" dur. Bu Kanunun uygulanması için gerekli ilgi ve usuller ise 11/12/2007 tarihinde Resmi Gazete' de yayımlanan "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği" ile düzenlenmiştir. Yönetmelik 2007' de başlayan serüvenine 30/05/2014' te Resmi Gazete' de yayımlanan "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile değiştirilerek devam ettiği resmi Gazete sayılarından anlaşılmaktadır.

2.3. Ülkemizdeki Reenjeksiyonun Önemi Ortaya Koyan Uygulama Çalışmaları

Jeotermal sahalarda reenjeksiyonun rezervuarda iyileştirme ve verimlilik sağladığına dair birçok yayın literatürde yer almaktadır. Steffanson (1997) tarafından 8 ülkeyi kapsayan 20 alanda yapılan çalışmalar, Axelsson ve Gunnlaugsson (2000) tarafından 15 ülkeyi kapsayan 29 alanda yapılan çalışmalar gibi literatürde jeotermal reenjeksiyonun olumlu yanlarını kanıtlayan çalışmalar bulunmaktadır.

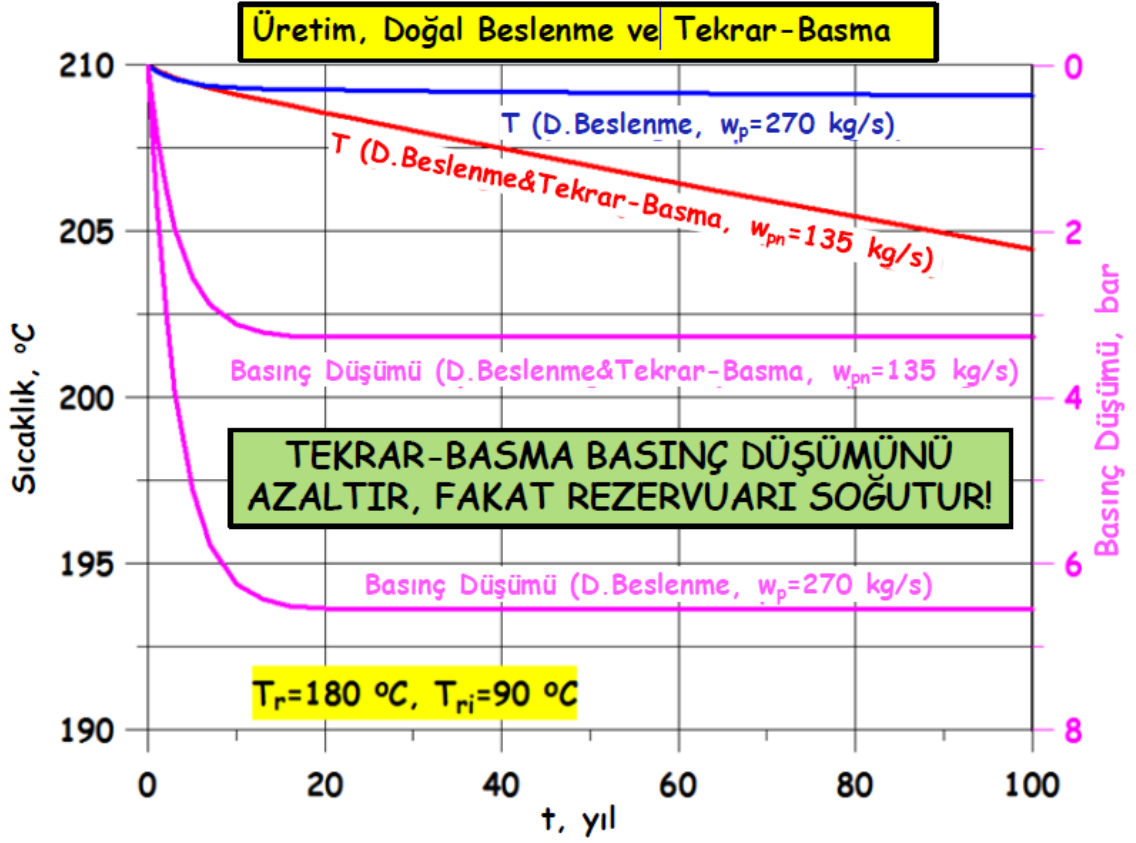
Satman (2010) tarafından yapılan çalışma ile doğal beslenmenin yeterli olmadığı alanlarda, jeotermal akışkan reenjeksiyonu ile rezervuarın basıncını dengeleme, ısı kaynağı kayacın ısısından daha fazla faydalanma ve enerji üretimini artırma adına reenejeksiyon prosesinin gerekliliğini basit bir örnek ile açıklamıştır.

Örnek jeotermal rezervuarı için rezervuardan 217 °C sıcaklıkta 250 kg/s debide ve 232 MWt akışkan üretildiği varsayılmaktadır. Çevrim verimi 0.11 olan 11 MWe güçte türbine ayırdıktan 35 kg/s debide 96 MWt ısı debide su buharı alındığı varsayılmıştır.



Şekil 2.3. 11 MWe Santral İçin Reenjeksiyon Uygulanırsa veya Uygulanmayıp Atıksu Yüzeyle Verilirse Rezervuarın Enerji Dengeleri (Satman, 2010)

Tekrar-basma uygulanmaması durumunda buhar ayrışımından sonra kalan ısı yeryüzünde çevreye verilir. Rezervuardan üretilen toplam ısının yaklaşık %41'i, suyun %14'ü türbine giderken, üretilen ısının %59'u artık ısı olarak bulunduğu, söz konusu %59'luk ısı, tekrar-basma uygulanmasıyla rezervuara döndürülmüş olacağı, tekrar-basma uygulaması rezervuar enerjisini önemli oranda korur ve sahadan yapılacak yararlı enerjinin üretim potansiyelini arttıracakı vurgulanmıştır. Yararlarından dolayı, yüzeyde kullanılmayan suyun çevreye verilmesi herhangi bir sorun doğursun veya doğurmasın, sahanın işletilmesinde tekrar-basma uygulamasının gerekli olduğunun önemi belirtilmiştir (Satman, 2010).

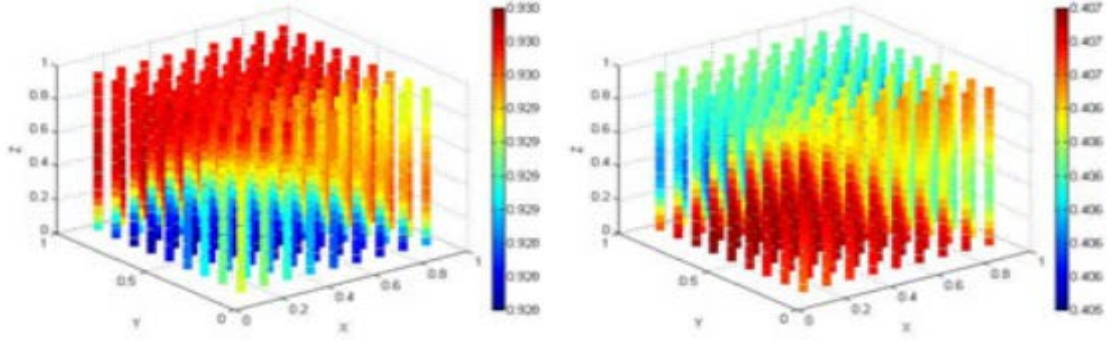


Şekil 2.4. Tekrar Basma Uygulamasında Basınç Düşümü ve Rezervuarda Soğumayı Gösteren Şematik Görünüm (Satman, 2010)

BKY sürecinde teknolojinin entegrasyonunun ne kadar önemli ve kestirim açısından nasıl faydalar sağladığını gösteren Akın ve Parlaktuna (2007)'nin çalışması ile, hem Kızılcahamam jeotermal alanı hem de Kızıldere Jeotermal alanında yapay sinir ağlarını kullanarak, uygun geri basma noktalarının bulunmasını hedeflenmiştir. Yapay sinir ağı uygulamasında, geri yayımlı bir girdi, iki ara ve bir çıktı katmanından oluşan bir yapı ve ara katmanlarda 20'şer düğüm kullanıldığı belirtilen çalışmada, girdi olarak reenjeksiyon kuyusu x, y, z koordinatları ve reenjeksiyon debisi girilmiş, yapay sinir ağı parametreleri olan momentum ve öğrenme hızı değerleri 0.5 olarak kullanılmış olduğu belirtilmiştir. Çıktı değeri ise her sahada reenjeksiyon 10 yıl sonrasında kuyularda gözlemlenen basınç ve entalpi değerlerinin ortalaması olarak verilmiştir (Akın ve Parlaktuna, 2007).

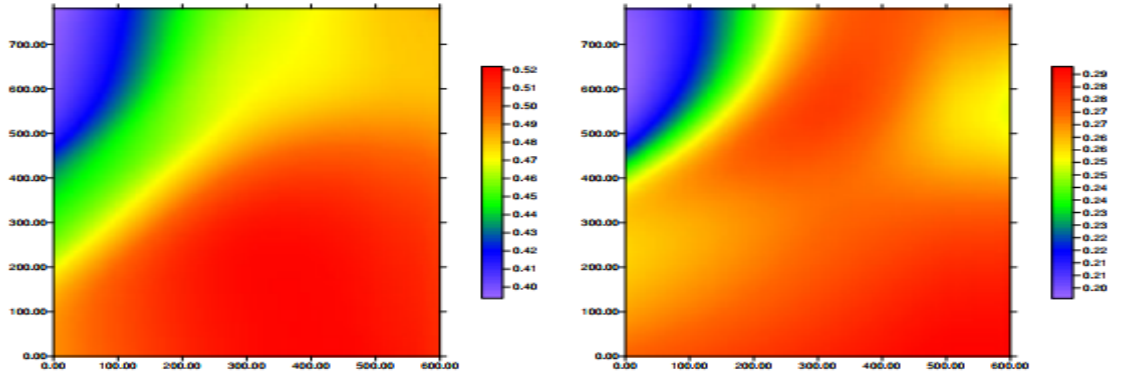
Çalışma sonucunda; Kızılcahamam sahasında reenjeksiyon sahanın batı ve güney batısında sığ bölgelere yapılırsa entalpi düşümü diğer bölgelere oranla daha az olacağı. Öte yandan reenjeksiyon sahanın derin güney doğu kısmına yapılırsa basınç düşümünün

daha az olacağı belirtilmiştir. Ayrıca; Kızıldere sahası için en uygun reenjeksiyon bölgesi Tekkehamam bölgesine (güney fay zonuna yakın bir bölge) olarak belirlenmiş ve basınç düzeyini korumak için yüksek reenjeksiyon debisiyle lokasyonun seçilmesinin daha iyi sonuç verdiği görülmekte olduğu bildirilmiştir (Akın ve Parlaktuna, 2007).



Şekil 2.5. Kızılcahamam Jeotermal Alanı İçin Yapay Sinir Ağı Sonuçları (Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir.

(Akın ve Parlaktuna, 2007)



Şekil 2.6. Kızıldere’ de 2500 m³/gün reenjeksiyon debisi için elde edilen Yapay Sinir Ağı Sonuçları: Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir (Akın ve Parlaktuna, 2007).

2.4. Kızıldere Jeotermal Santrali

Jeotermal enerjide BKY yolunda temel çatısını oluşturan “Başarı Örneklerinin Oluşturulması ve Bu Örneklerin Hem Teknik Hem İdari Verilerinin Paylaşılması” sürecinde ulusal ve uluslararası olmak üzere farklı faydalı çalışmalardan bahsetmek gerekir ise Türkiye’ nin elektrik üretim amaçlı ilk keşfedilen jeotermal alanı olan

Kızıldere Jeotermal Alanı 1984 yılında faaliyete geçmiş ve Eylül 2008’de özelleştirme kapsamında Kızıldere-1 santralinin işletme hakları da dahil olmak üzere Kızıldere jeotermal sahasının kullanım haklarının 30 yıl süreyle Zorlu Enerji Grubu’na devredilmesi süreci tamamlanmıştır. Bu tarihten itibaren ilgili firma tarafından yatırımlar hızlandırılarak, santralin çalışma sürecindeki verimsizlik nedenlerinin ortadan kaldırılması hedeflenerek, santral bazında kaynak yönetimi gerçekleştirilmiştir.

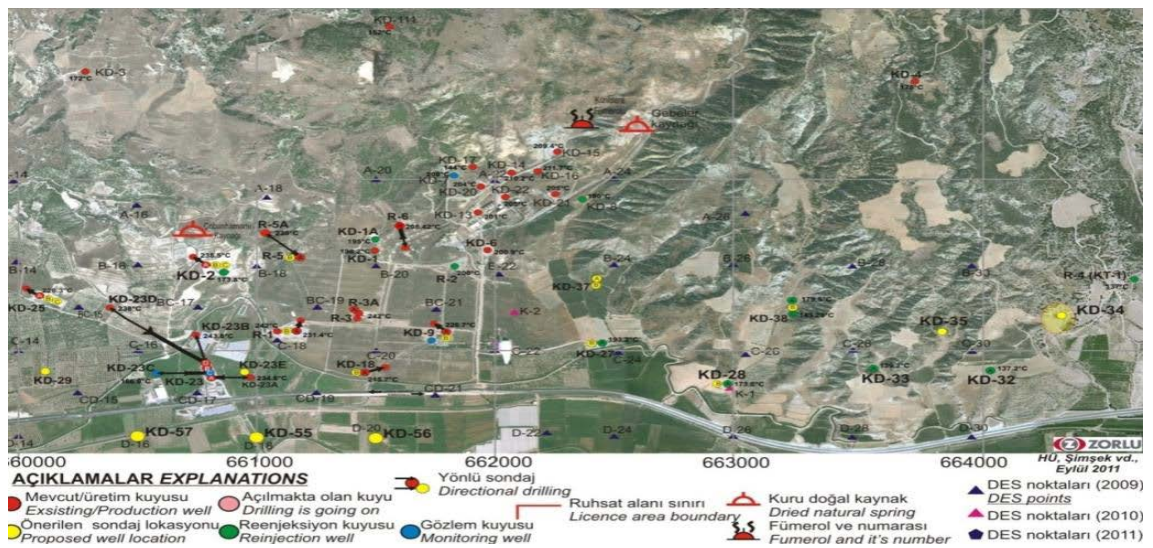


Şekil 2.7. Kızıldere Jeotermal Santrali (Zorlu Enerji, 2017)

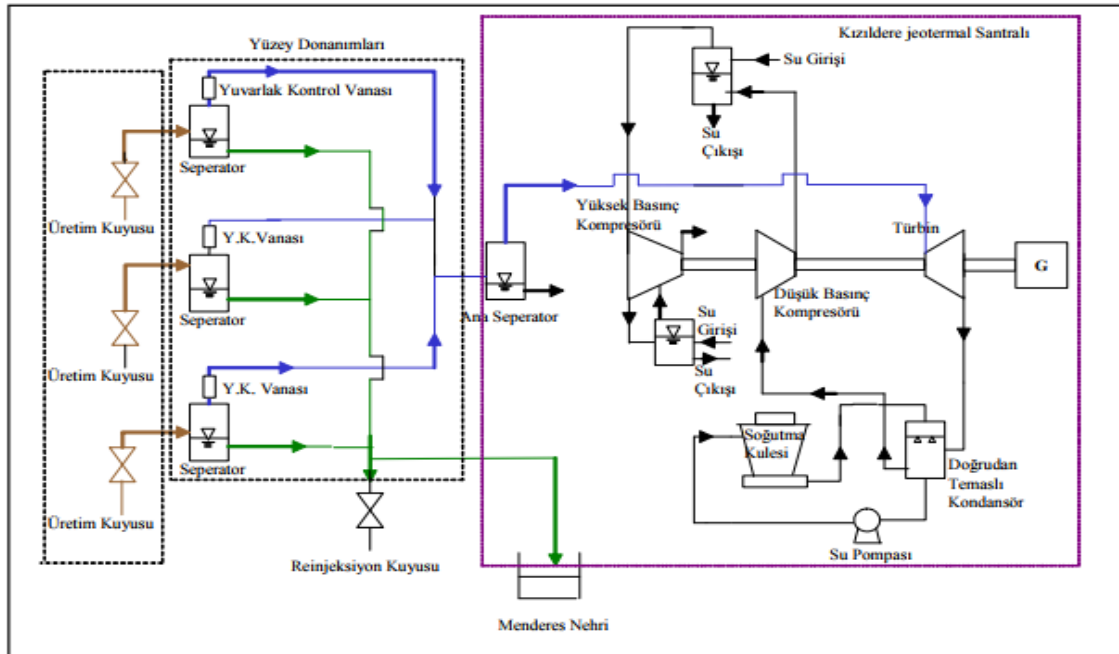
Kızıldere II Jeotermal Santrali 2013 yılında 250 milyon dolar yatırımla tamamlanarak faaliyete girmiştir. Santralin, 60 MW’lık ilk fazının resmi kabulü 31 Ağustos 2013 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılmış ve elektrik satışına başlanmıştır. 20 MW’lık ikinci fazının kabul işlemleri ise 31 Ekim 2013 tarihinde tamamlanmıştır. Kızıldere II Jeotermal Santrali’ nin 650 ton/saat jeotermal buhar ile yıllık 470 milyon kWh elektrik kapasitesine sahip buhar türbini için gerçekleştirilen ihaleyi Sumitomo Corporation ve Fuji Electric kazanmıştır. 12 ay süren fizibilite çalışmaları, 25 ay süren ve 42 bin 810 metre derinliğe ulaşan 20 adet kuyu sondajı, 600 kişilik bir ekibin, 20 ay süren çalışması ile hayata geçirmiştir. Proje kapsamında açılan 20 kuyunun 10 adedi üretim, 10 tanesi de reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Kızıldere jeotermal sahasının reenjeksiyon yoluyla beslenmesi için kaynağın korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması kapsamındaki faaliyetler halen devam etmektedir. Bu doğrultuda 10 adet aktif reenjeksiyon kuyusuna jeotermal akışkan basılıyor (Zorlu Enerji, 2017). Sahada, çevre yönetmeliklerine uygun şekilde, ‘Tehlikeli Atık Geçici Depolama Alanı’ mevcut olup, oluşan atıkların açıkta kalması önlenerek, bertaraf sürecine gönderilmek üzere lisanslı kamyonlar gelene kadar

depolanması sağlanmaktadır. BKY sürecinin tüm adımlarını içeren Kızıldere-II Jeotermal Santrali, Türkiye’ de bu yönetim sisteminin santral bazında uygulanabilirliğinin en önemli örneğidir.

Haklıdır ve Güney (2013) tarafından yapılan Kızıldere Faz-II’ nin çalışması incelendiğinde Bütünleşik Kaynak Yönetimi’ nin adımları net olarak uygulanmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle daha önce yapılan jeolojik, jeofizik, jeokimyasal ve rezervuar ile ilgili çalışmalar incelenmiş olup, veri eksikliği olan alanlarda gerekli çalışmaların yapılması sağlanarak yeni sondaj lokasyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Derinlikleri 1100-2872 m arasında değişen 20 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Proje kapsamında Türkiye’ de ilk defa yönlü kuyu işlemi başarılı olarak uygulanmıştır. Daha sonra, kuyularda oluşabilecek kabuklaşmayı engellemek maksadıyla kurulacak sistemin ön mühendislik çalışması yapılarak kuyularda kurulacak inhibitör sistemlerinin üretim süreci boyunca kuyulardaki derinlik tayini için, farklı kuyularda, farklı üretim debilerinde uzun ve kısa süreli basınç düşümleri göz önünde bulundurularak simule edilmiştir. Alınan ilk verilerden sahanın batısı üretim zonu, doğusu reenjeksiyon alanı olarak tespit edilmiştir. Testler sonrasında elde edilen bilgiler ışığında rezervuar ısı kapasite hesabı yapılarak, türbin ve elektrik santrali tasarım parametreleri belirlenmiştir. Tüm bu verilerden yola çıkarak “üçlü flaş sistemi” 60 MWe gücü ve bunun yanı sıra flashlar arasındaki ısı yardımı ile ek 20 MWe “binary” sistemle kombine ve toplam gücü 80 MWe (Şekil 2.8.) olan yeni bir santralin yapılması öngörülmüştür.



Ayrıca Serpen vd. (2007) tarafından yapılan çalışma ile santralin 23 Yıllık Performansı incelenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak santraldeki enerji üretim yapısı donanımlar ile birlikte verilmiş olup (Şekil 2.9), ardından detaylar aktarılmıştır. Geçmiş dönemde var olan teknolojik yetersizlik açısından ortada var olan “Binary” çevrim teknolojisinden faydalanamama ve çift flaşlı yöntemde, düşük basınçla çalışmadan dolayı oluşabilecek aşırı çökeltme probleminden kaçmak için tek flaşlı çevrim uygulandığı belirtilmiştir. Santral günümüzde bu verilen bilgilerin haricinde kurulan Faz 2 ve Faz 3 santraller ile “Binary” teknolojisini kullanmaktadır. Santral bu yönüyle, BKY sürecinde teknolojik uyumluluğu sağlayarak, verimli üretim yolunda önemli bir adım atmıştır. Ayrıca detaylı modelleme çalışmaları sayesinde 150°C civarında olan su sıcaklığında derecesi düşürülerek reenjeksiyon yapılan suyun olası rezervuarı soğutma problemlerine karşı önlemler alınmıştır. Santral 2 ve 3. Fazlar devreye alınmadan önce detaylı jeofizik ve jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca çalışmada vurgulanan 2 önemli husus bulunmaktadır. Bunlar “Jeotermal santrallerin sadece bir santral olarak değerlendirilmesinin yanlış olduğu ve rezervuar ile birlikte düşünülmesi” ve “CO₂ içeren sahaların verimli işletilebilmesi adına mutlaka başlangıçtan itibaren reenjeksiyon prosesinin planlanması gerektiği” dir.



Şekil 2.9. Yüzeysel Donanımları ile Kızıldere Jeotermal Santrali

(Serpen ve Türkmen, 2007)

3. MATERYAL VE METHOD

Tez çalışması kapsamında öncelikli olarak detaylı literatür taraması yapılmış olup ilgili dokümanlardan BKY süreci, dünya ve ülkemizdeki mevcut durum, BKY sürecinin işleyişi ve uygulayıcı ülkede işlemesi adına ne gibi çalışmaların yapılması gerekliliği, teknolojik altyapının oluşturulması adına “Büyük Veri (Big Data) ve Veri Madenciliği (Data Mining)” konusunda ve reenjeksiyon prosesi hakkında detaylı bilgi edinilmiştir. Gelişen dünyada var olan teknolojik donanım gereksiniminin hem ülkesel hem santral bazında sağlayacağı faydalar literatür örnekleri ile ortaya konmuş ve derlenmiştir. Daha sonrasında ilgili yasal mevzuatın detaylı incelemesi yapılarak BKY sürecini güven altına alabilecek yasal değişikliklerin nasıl yapılabileceği konusunda fikir üretmek adına detaylı bilgiler edinildi. Mevcut literatürde var olan saha olumsuzluklarının yanında, İzmir bölgesinde Alaşehir jeotermal sahası, Aydın Salavatlı jeotermal sahası ve Kızıldere jeotermal sahası ile ilgili hem oradaki yasa koyucu adına çalışan yetkililerden hem de özel sektör temsilcilerinden hem teknik hem idari bilgiler edinilerek elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu araştırma bulgularına ulaşılmış ve sonuçlar değerlendirilerek, tartışılmıştır.

3.1.Yasal Altyapının İncelenmesi

Bölüm 1.6.2.’ de aktarılan bilgilerin ışığında yasal altyapının incelenmesi çalışmanın ana önceliklerinden bir tanesi olmuştur. Bu aşamada yasal altyapıdan bahsetmek gerekir ise;

Ülkemizde şu anda jeotermal enerji kaynakları ile ilgili olarak uygulanmakta olan yasal altyapı 03/06/2007 tarihinde Resmi Gazete’ de yayımlanan 5686 Sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” ndan ibarettir. Bu Kanunun uygulanması için gerekli ilgi ve usuller ise 11/12/2007 tarihinde Resmi Gazete’ de yayımlanan “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği” ile düzenlenmiştir. Yönetmelik 2007’ de başlayan serüvenine 30/05/2014’te Resmi Gazete’de yayımlanan “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile değiştirilerek devam etmektedir. Yasal altyapının, literatürde var olan ve 2. Bölümde verilen çalışmalarla birlikte incelenmesi ile yasal altyapının yeterliliği ölçülmeye ve eksiklikler

saptanmaya çalışılır iken bir yandan da yasa ve yönetmeliklerin içerdiği teknik hükümlerin “Bilimsel Dayanağı”nın tespiti hedeflenmiştir.

3.2. Büyük Veri (Big Data) ve Veri Madenciliği (Data Mining)

Çağın petrolü olarak isimlendirilen Big Data temel anlamda, çok geniş ve karmaşık olan, geleneksel veri işleme yazılımlarının başa çıkamadığı veri kümeleri olarak isimlendirilir. Veri madenciliği ise isminden de anlaşılacağı üzere, bir çok karmaşık ve yığın halindeki veri örüntüsü içerisinde istediğiniz veriye ulaşmanızı sağlamak adına oluşturulan teknolojik çalışmaları ifade eder. Teknolojinin gelişimi, üretilen bilginin çoğalması ve komplike bir hal alması ile verileri yakalama, arama, paylaşma, sorgulama, gizliliğini sağlama gibi zorluklar karşımıza çıkmaktadır. Bölüm 1.5’te detaylı tanımları verilen bu kavramların BKY sürecine entegrasyonunun faydalı olup olmayacağı anlaşılmaya çalışılmış olup, jeotermal enerji santrallerinin de her geçen gün artan ve bir yığın haline gelen verilerinin bu kavramlar sektöre tam anlamıyla entegre edildiğinde faydaları anlaşılmaya çalışılmıştır.

3.3. Yapay Sinir Ağları

Günümüzde teknolojinin hızlı gelişimi ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşması sonucu bütün sektörlerde olduğu gibi, enerji sektöründe de bilgi ve bu bilgilerin derlenerek sonuca ulaşılması işlemleri hızlanmıştır.

Bilgiye ulaşma ve buradan sonuca gitmenin yanında, ileriye dönük tahminler ve öngörüler yapmakta, işletme açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle jeotermal santraller için, üretim- üretim planlaması ve santralin sürdürülebilirliği sağlanmak zorunda olduğundan, geleceğe yönelik aksiyonların alınması adına, bu tip mevcut bilgiye dayalı sağlıklı tahminlerin yapılması şarttır.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile günümüzde bu tip tahminler yüksek tutarlılıklarla yapılmakta olup, ilk olarak hava tahminlerinde kullanılan ama daha sonra kullanım kolaylığının anlaşılması ile yaygın bir hal alan Yapay Sinir Ağları ile gelecek projeksiyonları verinin kalitesi ve türüne göre başarılı bir şekilde yapılabilmektedir.

Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN), insan beyninin çalışma ilkesinden esinlenerek geliştirilmiş, birbiriyle paralel çalışan, birbirine bilgi gönderen ve bilgi alan bir organizasyonlardan oluşmaktadır. Problem çözümü amacıyla kullanılan iş

elemanları (yapay sinir hücreleri), bir ağ şeklinde birbirine bağlanmıştır. Hücreler arasındaki bilgi akışı bağlantı değerleri ve ilişkilerle gösterilmektedir. Sistemin öğrenme yeteneği ve zeki davranışı, bağlantı değerlerinin kullanılmasıyla sağlanmaktadır (Tekin, 2009).

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan, öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor ve mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilmektedir (Öztemel, 2012).

Fikrin ortaya atılması 1980' li yıllarda "Makine İnsan Gibi Düşünebilir mi?" sorusuna istinaden ortaya çıkmıştır. 1990' lı yıllarda ise artık iyice yaygın bir kullanım alanına ulaşan Yapay Sinir Ağları büyük bir gelişme göstermiştir. Yapay Zeka denen kavramın alt başlıklarından bir tanesidir. İnsan benzeri öğrenme açısından diğer alt başlıklara göre bir adım önde olup, çözülmeye çalışılan insan beyninin sırları açığa kavuşturulmuş ve daha da gelişmesi beklenmektedir.

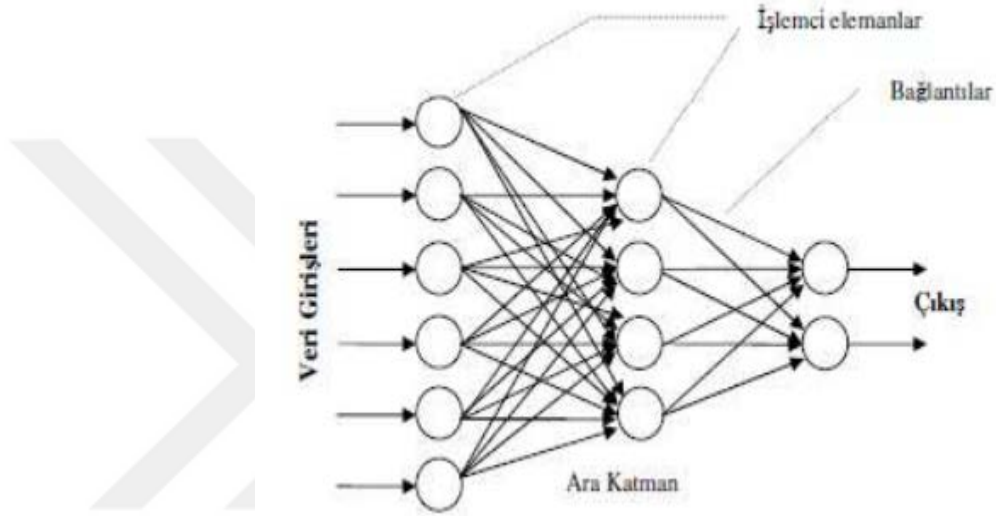
İnsan türünün sahip olduğu "Biyolojik Sinir Sistemi" içerisindeki elemanlar aynı şekilde aktarılmıştır. Nöronlar- İşlemci eleman, Dendrit- Toplama Fonksiyonu, Hücre Gövdesi- Transfer Fonksiyonu, Aksonlar- Yapay Sinir Ağı Çıkışı, Sinapslar ise Ağırlıklar olarak nitelendirilmiştir (Koç vd, 2004).

Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri;

- "Makine Öğrenmesi" ni sağlarlar. Olay öğrenmesini gerçekleştirip, benzer olaylar karşısında, öğrendikleri gibi benzer kararlar vermeye çalışırlar.
- Örneklemeler ile öğrenmeyi gerçekleştirirler.
- Eğitilmeleri, daha sonrasında performanslarının test edilmesi şarttır.
- İnsan doğasına en yakın bilişsel süreçtir.
- Kendisine öğretilenden yola çıkarak, görmediği olaylardan da sonuçlar çıkartabilir.
- Geleneksel sistemler eksik bilgi ile çalışmazken, yapay sinir ağlarında böyle bir problem yoktur.



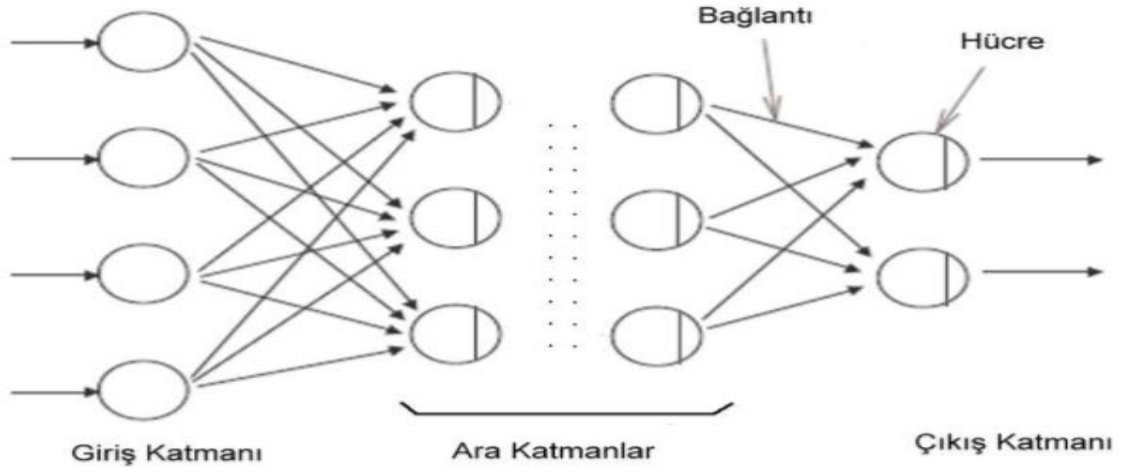
Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağları Blok Gösterimi



Şekil 3.2 Yapay Sinir Ağları İşlem Süreci

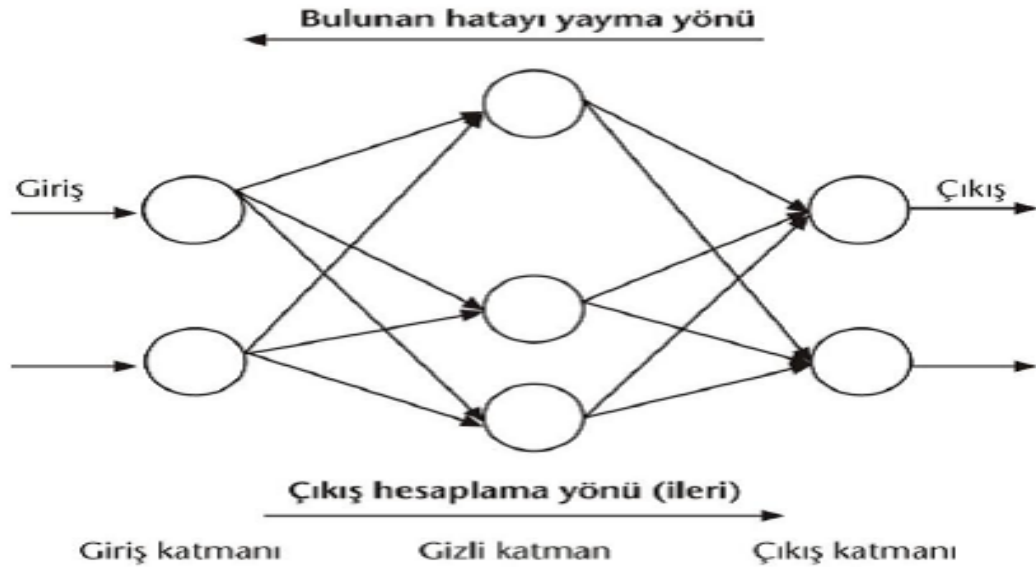
İleri Beslemeli Ağlar: İleri beslemeli yapay sinir ağında, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan ara (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, ara ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı yapay sinir ağının, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. En çok bilinen algoritma olan geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip yapay sinir ağların eğitiminde etkin olarak kullanılmaktadır. Ağa, hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar (beklenen çıktılar) verilmektedir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir. Daha sonra

gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı sonuçlar ve çözümler üretebilmektedir (Öztemel, 2012).



Şekil 3.3. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (Öztemel, 2012)

Geri Beslemeli Ağlar: Geri beslemeli Yapay Sinir Ağları (YSA)' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Aşağıda bulunan Şekil 19' da iki katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir (Kabalıcı, 2015).



Şekil 3.4. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (Kabalcı, 2015)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma kapsamında hem teorik hem uygulamalı çalışmalar yapılmış olup, literatür taraması, yasal altyapının incelenmesi, sektör paydaşlarından alınan geribildirimler ve teorik çalışmalar sonucunda elde edilen araştırma bulguları sunulmuştur.

4.1. Bütünleşik Kaynak Yönetimi ve Temel Yaklaşımları

BKY' yi diğer kaynak yönetim sistemlerinden ayıran en önemli husus; kaynağın bütün elamanları ile birlikte bir bütün olarak ele alınması ve olabilecek muhtemel bir aksilikte müdahale şansı ile bütünlüğün korunmasının kolay olmasıdır. Bölüm 1.5' te detaylı olarak aktarılan BKY yaklaşımları ile sürecin bütün olarak takibi sağlanmaktadır. Ayrıca BKY yapısı ve gereklilikleri dolayısıyla, uygulayıcıyı sürekliliğe ve sürdürülebilirliğe zorlarken, güncel teknolojilerin entegrasyonu ve bilimsel gelişmelerin takip edilmesini zorunlu kılmaktadır. Böylece artan veri trafiği ve yoğunluğun arttığı günümüzde teknolojinin ve bilişimin sunduğu nimetlerden faydalanmayı gerektirmektedir. Big Data ve Data Mining uygulamalarının sürece entegrasyonunun, sektörün veriyi sınıflama ve istediği veriye ulaşması adına çok faydalı olduğu anlaşılmaktadır.

Jeotermal enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve verimli kullanımı adına BKY uygulamalarının sistematik olarak devreye alınması ile jeotermal kaynakların çok daha sağlıklı ve ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlayacak şekilde kullanılacağı görülmektedir. Bu sistematığın temelinde yer alan “Kaynakların Verimli Kullanımı- Denetimlerin Sıklaştırılması ve Uygulamaların Kontrol Aralıklarının Sıklaştırılması- Bürokrasinin Azaltılması- Başarı Örneklerinin Oluşturulması ve Bu Örneklerinin Hem İdari Hem Teknik Verilerinin Paylaşılması- Çevre Kirliliğinin Önlenmesi” gibi adımlar sektörde bütün paydaşları birlikte geliştirecek ve ülke genelinde fayda sağlayacak uygulamalardır.

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda denetimlerin olmaması ve yasal boşluk bırakılması özellikle jeotermal enerji açısından çok tehlikelidir. Özellikle ülkemizde bu konuda Manisa Alaşehir civarında yaşanan patlama (Blow-up) olayı örnek olarak gösterilebilecektir.

Ülke bazında yönetici olarak BKY sürecine entegrasyonda ana irade olan yasa koyucunun oluşturduğu mevcut yasalar ile süreci idare edemediği açık ve net ortaya çıkmaktadır. Çıkan yasa ve yönetmelikler sürekli yamanarak süreç tamamen günü kurtarma çabasına döndürülmüştür.

Yasa ve uygulama yönetmeliğine göre, yasaya bağlı faaliyetlerde jeotermal sistemin ve kaynağın korunması, israf edilmemesi ve çevrenin korunması esastır. Bu ilke doğrultusunda, her işletme ruhsatı sahibinin işletme faaliyetine başlamadan önce koruma alanları çalışması (etüdü) yaptırması zorunlu olup, çalışmaya ait rapor İdare tarafından MTA Genel Müdürlüğü'nün olumlu görüşü alındıktan sonra onaylanır. İşletme ruhsatı verilmiş her ruhsat sahası için, sahada bir yıl içinde yapılan tüm jeotermal kaynak arama, işletme ve geliştirme faaliyetlerini kapsayan ve gerekçeleri ile açıklayan bir faaliyet raporu düzenlenir. Yasaya ve uygulama yönetmeliğine göre, jeotermal kaynak arama ve işletme ruhsatı verilmiş ruhsat sahaları için İdare'de tutulan bir sicil oluşturulur. Sicilde sahaya ait tüm ruhsat bilgileri, alan ölçüleri, koordinatlar, sahaya ve kapsadığı jeotermal kaynağa ilişkin haklara ait devir, ihtiyati haciz, ihtiyati tedbir, rehin, ipotek, kira vb sözleşmeler ile hakların sona erme koşulları işlenir. Sicilde ayrıca, yıllık faaliyet raporlarında da belirtilen ve sahada yeraltındaki jeotermal kaynağa ait tüm jeolojik ve jeofizik bilgiler, sahada açılmış kuyularda alınmış kuyu içi loglarından kuyu tamamlama kayıtlarına ve kuyu akaçlama (drenaj) alanlarından statik

ve dinamik kuyu basınç, sıcaklık ve basırim (enjektivite) testi kayıtlarına kadar tüm bilgiler ile, kuyu(lar)dan yapılan sıvı ve gaz üretimine ait sıcaklık ve akış debisi bilgileri yer alır. Sicil ilgili herkese açık olup, haklar ancak sicile işlenmiş ise hüküm ve sonuç doğurur. Yasanın yürürlüğe girmesinden önce jeotermal kaynak arama ruhsatları ve bunu izleyen keşif sonrası işletme ruhsatları verilirken, özellikle aynı jeotermal kaynak üzerinde konuşlanacak biçimde verilen işletme ruhsat sahalarının yeraltındaki jeotermal kaynağın alansal yayılımına uyumları ile bu komşu ruhsat sahiplerinin kaynak payı ve bu kaynaktan yararlanma haklarını doğrudan etkileyecek olan çoğul komşu ruhsat alanlarının boyut ve geometrik yapıları göz ardı edilmiştir. Ne var ki, yasanın yürürlüğe girmesinden sonra dikkate değer düzeyde artan ve diğer ruhsat alanları arasında ve/veya çevresinde irili ufaklı ve rastgele belirlenmiş sınırlar içinde geometrik olarak Şekilsiz sahalar için arama ve işletme ruhsatı verilerek aynı uygulama sürdürülmüştür. Önceden ruhsat verilmiş sahalar da geliştirilerek üretime konulunca, aynı kaynaktan yararlanma ve pay alma hakkı anlaşmazlıkları baş göstermiştir Bu hak çelişkilerini yaşayan ruhsat sahibi saha işletmecileri, yüzyıl önce A.B.D.'de petrol ve doğal gaz sahası işletmecilerinin benzeri soruna çözüm olarak giriştikleri ve sonradan yanlış olduğu anlaşılan bir uygulamaya başvurarak, komşu ruhsatlardaki kuyuların yarattığı olumsuz etkiyi gidermek üzere, kendi ruhsat sınırlarına yakın deldikleri ve normalde gereksiz denge (offset) kuyuları ile üretim veya basım yapmışlardır. Bütün komşu (mücavir, sınırdaş) ruhsat sahipleri aynı yönteme başvurunca, yeraltındaki jeotermal kaynak hasara uğratarak ziyan edilmiş, sonuçta tüm tarafların hep birlikte zarar ettikleri bir durum ortaya çıkmıştır (Mihçakan, 2015).

Yasanın detaylı incelemesi yapıldığında ise ortaya çıkan bir diğer durum ise drenaj aralığı, kuyular arası mesafeni hangi bilimsel veri ve çalışmaya bağlı olarak bulunduğu belli olmayıp, bilgi paylaşımı konusunda var olan belirsizlik ve sektör paydaşlarının var olan bilgilerden nasıl faydalanabileceğinin açıklanmamasıdır. 24/09/2013 gün ve 28775 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Değişiklik Yönetmeliğinde" İlgili yürürlükte olan Yönetmeliğin 23. Maddesinin 6. Fıkrasına; **"Birbirine mücavir arama ve/veya işletme ruhsatlı sahalarda ruhsat sahiplerinin sınırlara 1000 metreden yakın yerlerde gradyan, reenjeksiyon kuyusu, üretim amacıyla yaptıkları kuyu açma talepleri ile ilgili olarak idare tarafından izin verilmeden önce uzman kuruluşlar ve/veya üniversitelerden görüş alınır. Uzman**

kuruluş ve/veya üniversiteler tarafından, mahallinde yapılacak jeolojik etüt ve gerektiği takdirde diğer ek etütlere yönelik hazırlanacak rapor ile; enerji üretimi amaçlı sahalarda 250 metreden az olmamak; enerji dışı sahalarda da 100 metreden az olmamak kaydıyla, birbirine sınır olan söz konusu her iki ruhsatta kuyular arası girişimi önlemek ve sürdürülebilir üretimi sağlamak için sınırlardan itibaren kuyu açılmayacak mesafe belirlenir. İdarece sınırlardan itibaren belirlenen bu mesafeler içerisinde kuyu açma taleplerine izin verilmez.” hükmü eklenmiştir (Resmi Gazete, 2013).

Bu yönetmelik değişikliğinin de yeterli olmadığı görüldüğünden 30/05/2014 tarihinde 29015 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Değişiklik Yönetmeliği” ile **“Uygulama Yönetmeliğinin 6. Maddesinin 5. fıkrasının ikinci cümlesinden sonra gelmek üzere, “Birbirine karşılıklı en yakın kenarları arasındaki mesafe 1000 metreden az olan alanlara ruhsat verilmez” hükmü** konulmuştur (Resmi Gazete, 2014).

Ayrıca 2013’ te eklenen 23. Maddenin 6. Fıkrası; “Arama ve/veya işletme ruhsatlı alanlarda, yönlü sondaj tekniği ile açılacak olan tüm üretim/reenjeksiyon kuyuları ile ruhsat sınırına 500 metre mesafe içinde açılacak üretim ve/veya reenjeksiyon kuyuları için kuyu içi koordinat ölçüleri alınır ve Ek-14 form düzenlenir. Bu form, kuyunun tamamlanmasını müteakiben sondaj kulesinin kuyudan ayrılma tarihinden itibaren 30 gün içinde idareye bildirilir ve sicil dosyasına eklenir. Kuyu içi koordinatları ile ruhsat sınırı arasındaki mesafe 100 metreden az olamaz. Bu formun süresi içerisinde verilmemesi ve/veya bu mesafenin ihlal edilmesi durumunda kuyuda üretim/reenjeksiyon faaliyetlerine idarece izin verilmez. Ancak ruhsat sahiplerinin aynı olması durumunda veya ruhsat sahiplerinin anlaşma sağlaması halinde ve bu anlaşmanın yazılı metnini İdareye bildirmesini müteakip sicile işlenmesi koşulu ile mesafeye ilişkin şartlar aranmaz. Arama ve/veya işletme ruhsatlı alanlardaki reenjeksiyon kuyularının, komşu ruhsat alanındaki üretim kuyularına zarar vermemesi esastır.” şeklinde değiştirilmiştir (Resmi Gazete, 2014).

Yönetmelik değişikliklerinde bahsedilen mesafe sınırlamalarının hangi fiziksel veya bilimsel dayanağa istinaden verildiği açıklanmamaktadır. Çok açık ve net olarak tespit edilebilen bir şey var ki Gediz, Büyük Menderes Havzası gibi “Vahşi Paylaşımın” olduğu alanlarda kuyuların birbirini etkilememesi, mevcut ruhsat

haritasına bakıldığında imkansız görünmektedir. Özellikle grabenin ortasında kalan bölge detaylı incelendiğinde, az bilinen bölgeler, bloke alan olarak bağlanmış fakat hali hazırda işletilen kaynaklar arasında (Salavatlı- Sultanhhisar dışında) bir bloke alan konulmamış olması büyük bir handikap olarak göze çarpmaktadır. Bazı jeotermal kaynaklar, morfolojinin hiçbir zaman düzgün olmamasına karşın, Yılmazköy- Umurlu ve Germencik-Erbeyli ve Ömerbeyli-Erbeyli de olduğu gibi, düz bir çizgi ile ikiye ayrıldığından gelecekte ihtilaflar ortaya çıkabilecektir. Gediz Grabeni için yapılan çalışmalar incelendiğinde daha kötü bir tablo ortaya çıktığı görülmektedir. Bu bölgede delinmek istenen bazı kuyular, başka ruhsat alanlarına girdiği için durdurulmuştur. Bu tür durumlar havzada sık karşılaşılan bir problemdir. Burada, ruhsatların birbirini etkilememesinin mümkün olmadığı ve ilerleyen dönemde daha büyük problemlere yol açacağı yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Zaten mevcut işletmelerin sürekli dile getirdiği ve enerji basınına yansıyan sıkıntıları da bunu kanıtlar niteliktedir. Bu yaklaşımın bir an önce terk edilerek, bilimsel dayanağı olan ve ruhsat paylaşımının vahşi olarak yapılmasını önleyici düzenlemeler devreye sokulmalıdır. 2014 yılında Yönetmelikte yapılan değişiklik ile ruhsat verilme aşamasında, ruhsat verilecek alanların birbirine karşılıklı en yakın kenarları arasındaki mesafe 1000 metreden az olan alanlara ruhsat verilmeyeceği hükmü ile geçmişteki vahşi dağılımın gelecek uygulamalarda önlenmesi, kuyu verimlerinin birbirini etkilememesi ve kaynağın verimli kullanılması hedeflenmiştir. Fakat geçmişte verilen ruhsatların birbirlerini etkilememesi imkansız olarak görüldüğünden, BKY sürecine uyum aşamasında baştan sona ele alınacak bir Jeotermal Enerji Ruhsat Reformu'na gerek duyulmaktadır.

Sahalar ile ilgili teknik çalışmaların yapılması aslında çokta zor değildir. Mevcut yasaya göre firmalar her sene “Proje Termin Planı- Koruma Alanı Çalışması- Faaliyet Raporları ve Ruhsat Sicilleri” teslim etmektedir. Bu raporların düzgün hazırlanması sağlandığı takdirde, ülke bazında bir veri tabanı oluşturulması için önemli bir adım atılacağı kuşku götürmez bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü elde edilen bu veri tabanından genel olarak sahanın jeolojik modelinin çıkarılması, rezervuar yapısının tanımlanması ve modellenmesi gibi çalışmalar yapılarak, yeni verilmesi muhtemel ruhsatlar için alan belirlenmesi kolaylaşacak, vahşi paylaşım terk edilecek ve hak anlaşmazlıkları ortadan kalkacaktır. Burada da yine çalışma içerisinde sıkça bahsedilen

“Veri Madenciliği ve “Big Data” nın BKY içerisinde ne kadar önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Ayrıca 2014 yılında yürürlüğe giren 6360 Sayılı Yasa ile “Arama Ruhsatı” verme yetkisi Valilikler bünyesinde kurulan “Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlıkları (YİKOB)”na verilmiştir. İl bazında İdarelerin yönetmelikleri yanlış veya eksik yorumlanması ile ortaya çıkan farklı uygulamalar (harçlar, süreler vb.) günümüzde yatırımcıyı zorlamakta ve yormaktadır. İl bazlı grup değerlendirmeleri yerine “Havza” bazlı değerlendirmeler yapılmalı olup, bu yetkinin de MİGEM’e verilmesi Bütünleşik Kaynak Yönetimi açısından faydalı olacaktır. Yine aynı yönetmelikte denetimler ile alakalı olarak yer verilen ifadelere ise sirayet edilmediği yukarıda bahsedilen örneklerle ve geçmişte yaşanan olaylara bakıldığında ortaya çıkmaktadır.

Mesafelerin belirlenmesi hususunda yazılmak için yazılmış rakamlar yerine, fiziki ve matematiksel hesaplamaların içinde yer aldığı bilimsel bir yöntem izlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada belirli basınç testleri ve mevcut kuyuların “Monitoring” yani İzleme sürecine tabii tutulması gerekebilir.

Bir diğer uygulama problemi olan ve 2007 yılında çıkan 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Hakkında Kanun” ile Maden Tetkik ve Arama Kurumu’na verilen arama ve işletme ruhsatı verme yetkisi, 2013 yılında Uygulama Yönetmeliğinde değişiklik yapılarak Maden İşleri Genel Müdürlüğü’ ne devredilmiştir. Bu değişiklik yapılana kadar MTA, sektörde hem oyuncu hem denetleyici rolü üstlenmekteydi. Bu da özel yatırımcı için büyük bir motivasyon eksikliği ve rekabet edilemez bir ortamın oluşması demektir. Fakat, yetkilerin tamamı ile MİGEM’ e devredilmesi ve MTA’ da b işlerle ilgilenen yetkin personelin MİGEM’ e devredilmesi gerekirken MTA’ nın sektörde daha önemli ve araştırmacı bir oyuncu olması teşvik edilmelidir.

Ayrıca ülkemizde materyal kullanımının artması ve teminin kolaylaşması adına 6326 sayılı Petrol Kanunu’ nda 112. Madde ile sağlanan petrol sektörüne yönelik gümrük imtiyazlarının, 5686 sayılı Kanun’a da uygulanması büyük önem arz etmektedir. Böylece makine ekipmana ulaşma kolaylığı sağlayan yatırımcıların işleri hızlanır iken, ülkemiz yer altında var olan potansiyelinden daha fazla faydalanabilecektir. Geçmiş dönemde petrol sondajları için ülkeye getirilen malzemelerin mevcut durumda mevzuata göre jeotermal sondajlarda kullanılmıyor

olması BKY sürecine geçişte düzenlenmeli ve 5686 sayılı Kanun buna göre revize edilmelidir. Böylece yurt içinde yatırımcılar arasında bu materyallerin transferi sağlanarak, atıl durumda bulunan materyallerin kullanımı ve ekonomiye kazandırılmaları gerçekleştirilmelidir.

Türkiye’de “Bürokrasi” den maalesef her alan gibi jeotermal enerji sektörü de payını almaktadır. Yatırım yapmak isteyen firmaların ihale veya ihale öncesi işlemlerde karşılaştığı bürokratik engeller yatırım yapmaları konusunda ikileme düşmelerine yol açmaktadır. Özellikle kurumlar arası iletişimsizlik ve birlikte çalışmadan yoksunluk yatırımcıyı kaçırmaktadır.

Kanun ve yönetmelikler çerçevesinde işlem gereksinimi doğuran ve dağınık görev dağılımları sebebiyle görüşlerine ihtiyaç bulunan fazla sayıda kamu kurumu bulunmaktadır. Bu çok başlı yapılaşma, kurumlar arasında iletişim eksikliği, bilginin yeterli iletilmemesi, mevzuatın farklı yorumlamalar içine sokulması, karar verme ve işlemi sonuçlandırma sürecinin farklılıklar göstermesine neden olmaktadır. Bu tür bir yaklaşımda yatırımcıyı yatırım yapmaktan uzaklaştırmaktan başka bir işleve yaramamaktadır. Bu yüzden BKY’ nin ülke genelinde uygulanması aşamasında merkezi yönetim tarafından atılması gereken en önemli adım kurumsal idari bir yapının kurularak çok başlılıktan tek başlılığa geçişi sağlamaktır. Böylelikle yatırımcının şevkinin artacağı ve aslında kullanması gayet karlı olan jeotermal kaynakların yatırımcı ve ülke açısından hem ekonomik hem sosyal faydalarının ortaya çıkarılması sağlanacaktır. Ayrıca sağlayacağı katma değer ile bizim gibi potansiyeli yüksek bir ülkenin enerji politikaları ve stratejilerinin hedefe ulaşmasında önemli rol oynayacaktır.

Çevresel risklerin azaltılması konusu BKY yaklaşımının ortaya çıkmasının temel prensiplerinden biridir. Ülkemiz açısından durum incelendiğinde, hem yasal hem teknik çözümler alınmak zorunluluğu görülmektedir. Özellikle Jeotermal akışkanların kirliliğini düzenleyen ve denetlenmesini sağlayan bir yasa acil suret ile çıkarılmalıdır. Böylece BKY kapsamında, kaynağın yönetimi ve denetimi daha da kolaylaşacaktır. Teknik çözümlerden bahsetmek gerekir ise; öncelikle tatlı su akiferlerinin kirlenmemesi adına, kuyular açılırken çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Kuyu kaplamalarında oluşabilecek sızıntılar sondaj aşamasında dikkatle izlenmelidir. Ayrıca reenjeksiyon için açılan kuyularda da dikkatli olunmak zorundadır. Kuyunun teçhizi sağlam yapılmalıdır

ki, reenjekte edilen sıvının da herhangi bir akifere karışmasının engellenebilmesi sağlansın.

Aydın Çevre Kurultayı Sonuç Raporu kapsamında özellikle Menderes Havzası için en önemli kirleticinin “Jeotermal Kökenli Reenjekte Edilmeyen Sular” olduğu özellikle belirtilmiş ve mevcut kanun ile yönetmeliklerde değişiklik yapılması talep edilmiştir (AÇK, 2016). Kontrolsüz çekim ve birbirine çok yakın kuyuların açılmasına bağlı arazi çökmeleri, kuyularda patlama olması ile çevreye akışkan ve buharın yayılması sonucu hem çevre hem insan hayatına olan etkileri, heyelan ve sismik tetiklemelere yol açabilmesi gibi farklı sorunlarda mevcuttur. Çevresel etkiler ayrı bir yasal düzenleme ile korunmalıdır. Türkiye’de maalesef jeotermal akışkanların çevresel kirliliği ile alakalı olarak özel bir yasa bulunmamaktadır. Sadece jeotermal santrallerde ve işletmelerde reenjeksiyon prosesi zorunlu kılınmıştır. Fakat açılan yanlış ve plansız kuyular ile çevresel kirlilik devam etmektedir.

Yüzey sularına etki incelendiğinde ise literatürde Doğdu ve Bayarı (2002) nın yaptığı çalışma ile Akarçay (Afyon) Havzasında jeotermal kökenli kirlenme incelenmiş, jeotermal atık suyun doğrudan akarsuya verilmesi sonucunda doğal koşullarda Ca-HCO₃ karakterinde olan su kompozisyonu Na-HCO₃ karakterine dönüşmekte olduğu diğer yandan, doğal koşullarda oldukça düşük olan ağır metal ve iz element derişimlerinin de jeotermal su katkısına bağlı olarak belirgin biçimde arttığı tespit edilmiştir. Jeotermal deşarj suyunun akifere geri-basılması (re-enjeksiyon) □ çözüm seçeneklerinden birisini oluşturmaktadır tespiti yapılmıştır (Doğdu ve Bayarı, 2002).

Gaz emisyonları proses tasarımı aşamasında değerlendirilmesi, buhar ve flaş tesislerinde, yoğunlaştırucuda basınç birikmesini ve bu nedenle meydana gelen güç kaybını engellemek amacı ile, sıvıda bulunan doğal oluşumlu yoğunlaşmayan gazlar uzaklaştırılması gerekliliği vardır. Salınan yoğunlaşmayan gazlardan H₂S’in bertaraf edilmesi için kimyasal arıtma ve/veya yıkama yapılabilmekte veya yoğunlaşmayan gazlar rekompresyon uygulandıktan sonra enerji tesisinden çıkan sıvı ile birlikte yer altına enjekte edilebileceği, böylece çevresel bir felaketin önlenebileceğini çalışmalar ortaya koymaktadır. Tabi bu çözümlerin uygulanması daha fazla enerji gerektirdiği için, tesisin idamesi için gereken enerji artmakta ve tesis çıkış gücü ve verimliliği düşmektedir. Fakat bu sorunda ikili sistem santrallerde ısıyı, kaynak akımdan, ikincil aracı akışkan akım sistemi kullanarak aldığı için önlenilmektedir (AMÜ, 2015).

İzmir’ de bulunan Jeotermal Isıtma uygulamalarında da maalesef Plansız ve Düzensiz Yapılaşma” kaynakları olumsuz etkilemektedir. Bölgede günümüzde oluşabilecek bir felaketin boyu dahi kestirilememektedir. Bölgenin Düşük- Orta Entalpili sahalarından en önemlisi olan ve İzmir’ de jeotermal ısıtma ile evlerin ısıtıldığı ve termal turizm için faydalanılan Balçova Jeotermal sahasının en verimli noktaları geçmiş senelerde hem Büyükşehir Belediyesi’ nin hem de ilçe belediyesinin riskleri göz ardı etmesiyle yapılaşmaya açılmış olup, sürdürülebilirlik ve verimli kullanım adına kaynağa çok büyük bir darbe vurulmuştur. Böylece yapılaşma alanları içinde kalan daha önce açılmış eski kuyulara maalesef sondaj kulesi ile erişim imkanı ortadan kalkmıştır. Bakıldığı zaman Balçova Jeotermal Sahası Bölgesel Isıtma Projesi 20.000 Konutu ısıtır iken 3- 3.5 milyon m² lik bir ısıtma alanına sahiptir. Bu yüzden buralarda BKY entegrasyonu ile geçmişte yapılan yanlışların düzeltilmesi ve kaynakların daha verimli ve sürdürülebilir olması için çalışmalar yapılırken, mevcut kaynağın durumu da korunmalıdır.

Ayrıca yine İzmir’de Dikili ilçesinde farklı alanlarda aynı rezervuardan farklı kuyularda, farklı miktarlarda su çekiminin olduğu bölgeler bulunmaktadır. Burada kuyuların birbirlerine uzaklıkları yasada belirtilen mesafelerin yakınından geçmemektedir. Bu bölgede Dikili Belediyesi ve İzmir Valiliği gibi kamu kurumlarının da kuyularının bulunması ise tezatlığı daha ilginç bir boyuta taşımaktadır. İşte BKY sürecinde bütünleşik bir kaynak yapılaşması öngörüldüğünden, optimizasyonun, verimliliğin ve sürdürülebilirliğin sağlanması için kaynağı korunması için ortak işletme stratejisi gündeme gelecektir. Hak sahiplerinin kabulünün sağlanacağı ortak bir işletme yolu bulmak elzem bir ihtiyaçtır.

Ayrıca, jeotermal açısından büyük potansiyel ihtiva eden Ege Bölgesi’nde kaynakların sağlıksız ve verimsiz yönetimi, hatta hiçbir kaynak yönetim sisteminin uygulanmamasından ötürü tehlike çanları çalmaktadır. Maalesef geçmiş yıllarda Manisa İline bağlı, Alaşehir İlçesinde kontrolsüz bir kuyu akışı sonucu, formasyonun yırtılması ile yaklaşık 100 metre çapında bir patlama ve çamur fişkirmaları ile geniş bir alanda yarattığı büyük hasar da “BKY” nin ne kadar büyük bir ihtiyaç olduğunun en büyük göstergelerinden biridir.

Kaynağın verimsiz kullanılmasının ve ülke bazında yönetimin iyi olmamasının yanında saha bazında da yanlışlıkların olduğu net olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle

santral tipi seçiminde yapılan yanlışlıklar ve santral kurulacakken bütün bilimsel çalışmaların yapılmaması yada yapılmak için yapılması zaten düzgün bir paylaşıma tabi tutulmayan ve geri dönülemez bir duruma düşmesi büyük olasılık olan rezervuarlarımızı daha sıkıntılı bir duruma düşürmektedir. BKY süreci ülke bazında düzenlemelerin yanında saha bazında da yapılacak iyileştirmeleri içeren bir bütün olduğundan saha bazında da yapılan çalışmalar açısından büyük fayda sağlayacaktır. Böylece multidisipliner çalışmalar ile rezervuarın yapısı, modeli, sınır koşulları, üretim ve reenjeksiyon alanları, fiziksel parametreleri (gözeneklilik, ısı kapasite, yoğunluk vb.) ile sıcaklık ve basınç dağılımları ortaya çıkarılabilecek ve bu rezervuara en uygun santral tipinin seçilmesi sağlanacaktır. Ayrıca bu çalışmalar ile ileriye dönük üretim projeksiyonları ve rezervuarın gelecekte gösterebileceği karakter hakkında da fikir yürütülebilecektir.

BKY geçişi ile santrallerde üretim stratejileri değişerek, verimli bir üretim yapısına geçilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca üretime ek olarak, üretimi etkileyen temel elemanlardan olan reenjeksiyon stratejisinin de değişmesi ile sürdürülebilirlik ve rezervuarın ömrü artacaktır. Test ve izleme (monitoring) işlemlerinin üretim sürecine entegrasyonu ile oluşabilecek olumsuzluklara karşı aksiyonlar anında alınabilecek ve verimsizlik veya hasar oluşturabilecek prosesler anında ortadan kaldırılabilecektir. Bu olumlu yaklaşımlar ile işletme maliyetleri en aza indirgenecek, enerji üretimi olabildiğince maksimum seviyelere çekilecektir. Böylece sürdürülebilir ve verimli enerji üretimi hedefi yakalanmış olacaktır. Ülkemizin enerji politikasına katkı sağlanırken, halkın refah seviyesini arttırma adına da net enerji ithalatçı ülkemizin kanayan yarasına jeotermal enerji açısından çözüm olunacaktır.

Yapılan araştırmalar ve literatür incelemeleri sonucunda işletme anlamında BKY sürecine ne yakın entegrasyonu sağlayan santral olarak Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali gösterilebilmektedir. Tesisin kuruluş aşamasında sahanın detaylı jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal araştırmaları yapılırken, en uygun reenjeksiyon ve üretim alanları bilimsel yöntemlere bağlı kalınarak saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca kurulacak santralin yapısı, daha önceden yapılan teknik çalışmalar sonucu bilimsel yöntemlerle seçilmiş ve ortaya verimli ve sürdürülebilir bir yapıya sahip santral çıkarılmıştır. BKY sürecinin adımlarından bir tanesi olan “Başarı Örneklerinin Oluşturulması ve Bu Örneklerin Hem Teknik Hem İdari Verilerinin Paylaşılması” adımı gereği santralin

verilerinin paylaşılması ve akademik çalışmalarda daha çok yer alması diğer yatırımcılar ve jeotermal enerji kaynakları ile ilgilenenler için büyük bir bilgi eksikliğini giderecektir.

Araştırmalar sonucunda Türkiye'nin jeotermal enerji kaynakları iyi yönetilemediği, gelişigüzel bir biçimde idare edildiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, milli servetimiz olan bu kaynaklarımız ile ilgili herhangi bir yönetim sistemimiz de bulunmamaktadır. Bu yüzden, mevcut jeotermal kaynaklarımız verimsiz ve sürdürülemez olarak kullanılmaktadır. Rastgele yönetilen kaynaklarımız çoğunlukla verimlerini yitirmiş ve bazı bölgelerde (Bigadiç, Balçova, Afyon vb.) tükenme noktasına gelmiştir. Önemli bir milli servet olan bu kaynağımızın bir bütün olarak yönetilmesi adına "Bütünleşik Kaynak Yönetimi" çerçevesi içerisinde değerlendirmek zaruridir. Bütünleşik Kaynak Yönetimi, kaynağı, bütün elamanları ile bir bütün olarak ele aldığından tercih edilmelidir. Böylece jeotermal enerji yönetiminde bütün elemanlar kontrol altında tutulabilecek ve aksaklıklara anında müdahale edilirken bütünlükte bozulmamış olacaktır. Bu yüzden araştırmalar sonucunda ülkemiz için Bütünleşik Kaynak Yönetim esaslarının jeotermal enerji kaynaklarının sürdürülebilir ve verimli olarak kullanılmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

4.2. Jeotermal Reenjeksiyon

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulara göre, reenjeksiyon prosesi başlı başına düşünülmesi gereken ve kaynağın sürdürülebilirliği, rezervuarın yapısının korunması için hayati bir öneme sahiptir. BKY sürecinin temelini oluşturan "Verimlilik ve Sürdürülebilirlik" kavramlarının ikisine de etkisi olan bu proses BKY sürecinin en önemli ve düşünülmesi öncelikli elemanlarından bir tanesidir. Tasarım işleminde su basılan bölgenin jeolojisi, hidrolojisi, mineral çökmesi, basılan suyun çekilen su ile kimyasal bileşimlerinin takibi, basılan ve üretilen suyun sıcaklıklarının periyodik ölçümleri gibi işlemler öncelikli olarak düşünülmesi ve uygulama bu parametrelere göre gerçekleştirilmelidir.

Bölüm 1.7' de detayları aktarıldığı gibi jeolojik- jeofizik- jeokimyasal çalışmaları içeren multidisipliner bir çalışma ürünü ortaya çıkarılmalı, rezervuarın 3D modellerinin oluşturulması, su basılacak uygun yerlerin belirlenmesi, suyun üretim zonuna hesaplanandan daha kısa sürede ulaşarak üretim zonunu soğutmasının engellenmesi,

akışkan kimyasının değişmesi, yer altı akiferlerin kirletilmesi gibi durumların önüne geçilmelidir. Yapılacak teknik çalışmalar ile yer altı ısı cephenin etkilenmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

Üretim kuyularında sıcaklığın düşmesi, silika birikmesi, korozyon gibi jeotermal reenjeksiyonda karşılaşılması muhtemel sorunlardır. Bu sorunların en aza indirgenmesi kuyu açımından önce yapılacak olan teknik ve mühendislik çalışmalarını içeren proseslerle mümkün olacaktır. Yani rezervuarın modellenmesi iyi yapılmalı ve mevcut jeoloji iyi bilinmelidir.

BKY Sürecinde jeotermal akışkan reenjeksiyonunun saha bazında yönetim açısından hayati önem taşıdığı görülmektedir. Ülkemizde yasal olarak zorunlu hale getirilen jeotermal reenjeksiyon uygulanıyor olmasına rağmen teknik ve mühendislik çalışmaları göz ardı edilerek yapıldığı için kayalarda büyük bir verimsizlik oluşturmaktadır. Verimlilik ve çevresel kirliliği önlemek için açılan kuyuların rezervuarı soğuttuğu, yer altı ve üstü su kaynaklarını kirlettiği yapılan çalışmalarda ulaşılan bilgilerdendir.

Bölüm 2.3' de bahsedilen Satman (2010) tarafından yapılan çalışma ile doğal beslenmenin yeterli olmadığı alanlarda, jeotermal akışkan reenjeksiyonu ile rezervuarın basıncını dengeleme, ısı kaynağı kayacın ısısından daha fazla faydalanma ve enerji üretimini arttırma adına reenjeksiyon prosesinin gerekliliğini basit bir örnek ile açıklamıştır. Ayrıca, Steffanson (1997) tarafından 8 ülkeyi kapsayan 20 alanda yapılan çalışmalar, Axelsson ve Gunnlaugsson (2000) tarafından 15 ülkeyi kapsayan 29 alanda yapılan çalışmalar gibi literatürde jeotermal reenjeksiyonun olumlu yanlarını kanıtlayan çalışmalar incelendiğinde, BKY sürecinde jeotermal reenjeksiyonun hayati bir eleman olduğu açık olarak tespit edilebilmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Geleceğe ayak uydurmak ve eldeki imkanları geliştirerek, verimli ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak hem kendimiz, hem geleceğimiz için artık gereklilik değil bir zorunluluk haline almıştır. Bu yüzden, geleceğe ayak uydurmak ve mevcut verimsiz süreçlerin ortadan kaldırılması adına, teknolojik gelişmeler takip edilmeli, bilgisayar teknolojileri daha aktif kullanılmalı ve haliz hazırda uygulanan yöntemlerin, analizler ile iyileştirilme olanaklarının ortaya konması çok büyük önem arz etmektedir. Bu aşamada ölçülebilir veriler ile çalışmak ve eldeki kaynakları yönetebilmek günümüz dünyasında önemli hale geliyor ve her gün artan, değişen ve evrilen bilgi dağarcığının daha iyi değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koyduğu görülmektedir.

Özellikle “Veri Madenciliği (Data Mining)” ve günümüzün petrolü olarak adlandırılan “Büyük Veri (Big Data)” gibi kavramların yönetim sistemleri içerisinde entegrasyonu sayesinde daha elle tutulur, ölçülebilir, takip edilmesi kolay bilgiye erişim sağlanmaktadır. Çünkü kaynak yönetimlerinde felsefe çok net ve ortadadır: “Takip edemediğiniz kaynağı yönetemezsiniz”.

Özellikle enerji kullanımının arttığı ayrıca “Küresel İklim Değişikliği ve Küresel Isınma” gibi olgulara karşı ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçiş yolunda ilerlemesi ile Dünya’da 2016 yılı sonu itibariyle kurulu gücü %3,4 (440 MW) artış göstermiş, 13,4 GW seviyesine ulaşmış olan ve Türkiye’ nin potansiyel ve kurulu güç bakımından dünyada ilk 10’ da olduğu yenilenebilir bir kaynak olan jeotermal enerjinin önemi büyük ölçüde artmıştır. Yer altının bize sunduğu önemli nimetlerden biri olan jeotermal sistemler açısından, jeolojik avantajı sayesinde zengin durumda olan ülkemizde dünyanın gidişatına ayak uydurarak, jeotermal potansiyelini ortaya çıkarmalı ve kullanımda olan kaynaklarının ise sürdürülebilirliğini sağlamalıdır.

Türkiye’ de günümüzde benimsenen “Kuyu Del- Bağla- Üretim Yap” gibi bir anlayışın geleceğinin olmadığı aksine, gelecekte var olabilecek potansiyel kaynaklarımızı da yok ettiği şüphe götürmez bir gerçektir. Bu yüzden öncelikli olarak kaynağın ele alınış biçimi ve yönetimi değiştirilmelidir.

Çalışma kapsamında, “Bütünleşik Kaynak Yönetimi” prensibi Türkiye’ de jeotermal enerjinin verimli ve gelecekte sürdürülebilir olmasının sağlanması amacıyla önerilmiştir. Bu yönetim sistemi; kaynağı etkileyen tüm süreç ve yapıları bir bütün

olarak ele almak ve değerlendirmektir. Kaynak yönetimi ve planlaması dinamik bir süreç olarak görülmekte ve uygulamalar buna göre şekillendirilmektedir. Jeotermal kaynaklar için ilk defa Yeni Zelanda’ da Luketina (2000) tarafından ortaya atılan bu yönetim sistemi yasa haline getirilmiş ve günümüzde uygulanmaktadır. Ülkemizde de ilk defa literatüre Sepen vd. (2003) tarafından yapılan çalışma ile kazandırılmıştır. “Kaynakların Verimli Kullanımı- Denetimlerin ve Uygulamaların Kontrol Aralıklarının Sıklaştırılması- Bürokrasinin Azaltılması- Başarı Örneklerinin Oluşturulması ve Verilerinin Paylaşılması- Çevre Kirliliğinin Önlenmesi” bu yönetim sisteminin temel esaslarıdır.

Strateji Üretme- Araştırma- Düzenleyici ve Önleyici Faaliyetlerin Belirlenerek Düzenlenmesi- Planlama ve İzleme ana adımlarından oluşan Bütünleşik Kaynak Yönetimi jeotermal enerji açısından ele alındığında “Ülke Bazında Yönetim” ve “Saha Bazında Yönetim” basamaklarını içermektedir.

Ülke bazında yönetimin temelinde var olan yasal altyapı ve denetim faaliyetleri açısından yapılması gerekenler ivedilikle yapılmalıdır. Kaynakların kamuya ait olan işletme haklarının devredilmesinde var olan rastgele ve vahşi paylaşım tarzından vazgeçilmelidir. Yönetmelik değişikliklerinde bahsedilen mesafe sınırlamalarının hangi fiziksel dayanağa istinaden verildiği açıklanmamaktadır. Görülen bir şey var ki Gediz, Büyük Menderes gibi Vahşi Paylaşımların olduğu alanlarda kuyuların birbirini etkilememesi imkansız görünmektedir. Sürekli yamayan “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği” günümüz şartlarında teknik incelemeler yapılarak baştan yapılandırılmalı ve bütünleşik kaynak yönetimi esasları göz önünde bulundurularak uygulamaya geçirilmelidir.

Kurumların arasında var olan yetki savaşlarına son verilmelidir. Eşit rekabet koşullarının sağlanabilmesi açısından MTA’nın hem rakiplerini hem de kendisini denetler durumdan çıkarıldığı ortamda, görüş verme ve uygulamaya dair yetkilerin de MİGEM tarafından yürütülmesi gerekmektedir. Kaynağı bir bütün olarak görebilmek için kaynağı yönetecek süreçler bir bütünlük arz etmelidir.

Ülkemizde kamu bürokrasisinin sorunlarının çözülmesi elzem bir ihtiyaçtır. Temel olarak; yetkilerin üst basamaklarda toplanması, otorite hiyerarşisinin katı olması, gizlilik, siyasi ve idari güç ile uzmanlık gücü arasındaki çatışma, kuralların fazlalığı, takdir yetkisinin daraltılması, rekabetin yokluğu ve bu sebeplerden kaynaklanan

verimsizliğe dayanan problemlerin çözümü adına ilgili paydaşların birlikte hareket etmesi ve aksiyonların bir an önce hayata geçirilmesi şarttır. Yatırımcının muhatap olduğu bir çok kamu kurumu bulunmaktadır. Bunların sayısı azaltılmalıdır. Bütünleşik ve kapsamlı bir yol haritası çizilmelidir. Bürokrasi ve her kurumdaki keyfi uygulamalar ile ilgilenmek istemeyen yatırımcı ilgisini başka alanlara kaydırmakta ve ülkemizin potansiyeli değerlendirilememektedir.

Çevresel Kirliliğin Önlenmesi adına hem yasal hem teknik çözümler alınmak zorundadır. Özellikle Jeotermal akışkanların kirliliğini düzenleyen ve denetlenmesini sağlayan bir yasa acil suret ile çıkarılmalıdır.

Saha bazında bütünleşik kaynak yönetimi sürecinde ise yapılması gereken birçok faaliyet vardır. Öncelikli olarak jeotermal enerjinin çıkarıldığı alandan fazla uzaklara taşınabilmesi mümkün değildir. Bu yüzden çıkarıldığı bölgede kullanımının esas olduğu bilinmelidir. Rastgele yönetilen kaynaklarımız maalesef günümüzde verimsizliğe itilmiş ayrıca rezervuarlarda var olan akışkan miktarları da kayda değer ölçülerde azalmıştır.

Jeotermal rezervuarlar uygun teknik ve bilimsel çalışmalar ile incelenmeli ve kuyu yerleri bu çalışmalardan elde edilecek sonuçlara göre en doğru yerler için tespit edilmelidir. rezervuarın 3D modellerinin oluşturulması, su basılacak uygun yerlerin belirlenmesi, suyun üretim zonuna hesaplanandan daha kısa sürede ulaşarak üretim zonunu soğutmasının engellenmesi, akışkan kimyasının değişmesi, yer altı akiferlerin kirlenmesi gibi durumların önüne geçilmelidir. Rezervuarın hacmi, geometrisi, sınır koşulları ve diğer geçirgenlik vb. fiziksel parametrelerinin ortaya konması, buna göre planlamanın yapılması zorunludur. BKY Sürecinde jeotermal akışkan reenjeksiyonun, saha bazında yönetim açısından hayati önem taşımaktadır. Ülkemizde yasal olarak zorunlu hale getirilen jeotermal reenjeksiyon, uygulanıyor olmasına rağmen teknik ve mühendislik çalışmaları göz ardı edilerek yapıldığı için kayalarda büyük bir verimsizlik oluşturmaktadır. Verimlilik ve çevresel kirliliği önlemek için açılan kuyuların rezervuarı soğutması ve tatlı su akiferlerini kirlenmesinin önüne geçilmelidir.

Ülkemiz, potansiyelinin yüksek olduğu jeotermal kaynakların kullanımı ve bu kaynakların sürdürülebilirliğine verilen zararların önlenmesi adına Bütünleşik Kaynak Yönetim Sisteminin Entegrasyonu acil bir ihtiyaçtır. Yerleşim yerlerinde kalan jeotermal alanlar (Muhtemel oluşabilecek çöküntüler vs.), birbirini etkileyen, yakın açılmış kuyular, kontrolsüz çekim ve sayılabilecek birçok verimsiz ve zararlı yöntem

Bütünleşik Kaynak Yönetimi içerisinde, kaynağın bir bütün ve her yönü ile ele alınmasının sağlayacağı avantajlar ile ortadan kaldırılacak, böylece kaynağın sürdürülebilirliği ve verimli kullanımı sağlanarak, katma değer yaratılacaktır.

Çalışma kapsamında yapılan incelemeler ve diğer uygulamalar itibari ile Bütünleşik Kaynak Yönetim Sistemi' nin ülkemiz için uygun olduğu ve kaynakların sürdürülebilir ve verimli kullanılmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Yurtdışında belirli bölgelerde uygulamaları bulunan bu kaynak yönetim sistemine ülkemizin entegrasyonu, kaynakların geleceğimizde maksimum kapasite ile faydalanılmasını sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Aigner, D.J., Lovell, C.A., Schmidt, P., 1977. "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Functions" **Journal of Economy, Vol: 6**, p. 21-37.
- Akın, S., Parlaktuna, M., 2007. "Jeotermal Sahalarda Yapay Sinir Ağları Kullanılarak En Uygun Geribasım Lokasyonunun Bulunması", **TESKON**, İzmir-Türkiye.
- Allis, R.G., Barker, P.F., 1982. "Update on Subsidence at Wairakei" **Proceeding 12th New Zealand Geothermal Workshop**, p. 365-370.
- Axelsson G., Gunnlaugsson E., 2000. "Long-Term Monitoring of High- and Low Enthalpy Fields Under Exploitation" **International Geothermal Association, WGC 2000 Short Courses**, 28-30 May, Kokonoe, Kyushu District, Japan.
- Axelsson, G., 2012. "Role and Management of Geothermal Reinjection", **Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells Presentation**, Santa Tecla- El Salvador, 11-17 March.
- Aydın Çevre Kurultayı Sonuç Bildirgesi**, 2016.
- Bertani, R., 2015. "Geothermal Power Generation in the World 2011-2014 Update Report", **Proceeding World Geothermal Congress**.
- Bodvarsson G., 1961. "Physical Characteristics of Natural Heat Sources in Iceland" **Proceeding United Nations Conf. On New Sources of Energy, Vol. 2: Geothermal Energy**, p. 82-89, Roma ,United Nations, New York.
- Bromley, E.Y., Currie, S.A., 2003. "Analysis of Subsidence at Crown Road, Taupo; A Consequence of Declining Groundwater" **25th New Zealand Geothermal Workshop**, Taupo, New Zealand.
- Badur, Ö., 2011, "Jeotermal Alanlarda Çökme- Depremsellik ve SAR Girişimölçer Çalışmaları", **Jeotermal Enerji Semineri, TESKON**.
- Capetti, G., Parisi, L., Ridolfi, A., and Stefani, G., 1995. "Fifteen Years of Reinjection in the Larderello Valle Secolo Area: Analysis of the Production Data" **Proceedings World Geothermal Congress**, Florence, Italy.
- Charnes, A., Cooper, A.W., Rhodes, E., 1978. "Measuring the Efficiency of Decision-Making Units" **European Journal Oper. Res.** , Vol: 2, p. 429-444.
- Di Pippo, R., 2005. "Geothermal Power Plants Principles", **Applications and Case Studies, Elsevier**, Dortmund, Massachusetts-USA.
- Doğdu, M.Ş., Bayarı, C.S., 2002. "Akarçay Havzası'nda (Afyon) Jeotermal Kökenli Kirlenme: 1. Akarçay Nehri'nde Su ve Sediman Kirliliği", **Yer bilimleri Dergisi**, No: 25, p. 21-33.

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016 Verileri; İnternet Erişim; www.etkb.gov.tr
Erişim Tarihi: 24.05.2017.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017 Verileri; İnternet Erişim; www.etkb.gov.tr
Erişim Tarihi: 22.10.2017.
- Foster, M.D., 1962. “Interpretation of the Composition and Classification of the Chlorites” **US. Geological Surv. Prof. Pap.** 114-A
- Goyal, K.P., Conant, T.T., 2010. “Performance History of The Geysers Steam Field, California, USA. **Geothermics**, Vol: 39, p. 321–328.
- Gürüş Holding- Gürmat 2017 Verileri, İnternet Erişim: <http://www.gurmat.com.tr>
Erişim Tarihi: 22.11.2017.
- Haklıdır F. T., Güney, A., 2013. “Kızıldere Jeotermal Sahasında Gerçekleştirilmekte Olan Kapasite Arttırma Çalışmaları”, **Jeotermal Enerji Semineri TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Hawkins Construction Comp. 2017 Verileri; İnternet Erişim:
<https://hawkins.co.nz/projects/kawerau-geothermal-power-station>
Erişim Tarihi:24.11.2017
- International Energy Agency 2016 Data: www.iea.org
Erişim Tarihi: 15.07.2017.
- İztemir, M. H., 2011. “Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi ve Aydın- Salavatlı Sahası Elektrik Üretim Santrali” **Makine Mühendisleri Odası Süreli Yayınları**, Syf: 9-15, İzmir- Türkiye
- “Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri” **Adnan Menderes Üniversitesi Rektörlüğü Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları**, Yayın No: 1, 2015.
- Kabalıcı, E., 2015. “Yapay Sinir Ağları” **Esnek Hesaplama Yöntemleri-II Ders Notları**.
- Khan M.A., 2009 . “Geysers Jeotermal Sahası, Re-enjeksiyon Başarı Hikayesi”, **Teskon Bildiri Kitabı**, p. 269- 276.
- Koç, M. L., Balas C. E., Arslan, A., 2004. “Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları İle Ön Tasarımı” **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi**, No:15(4), p. 3351-3375.
- Kuyumcu Ç. Ö., 2007. “Jeotermal Enerji Düzenlemeleri Hakkında Öneriler”, **BM Holding Web Sayfası** Erişim: <http://bmholding.com.tr/tr/>,
Erişim Tarihi: 29.08.2017.

- Lawless, J., Okada, W., Terzaghi, S., Ussher, G., White, P.J., Gilbert, C., 2003. "Two Dimensional Subsidence Modelling at Wairakei-Tauhara Geothermal New Zealand. **Geothermal Resources Council Transactions** Vol: 27, p. 761-764.
- Luketina, K.M., 2000. "New Zealand Geothermal Resource Management-A Regulatory Perspective", **Proceedings World Geothermal Congress**, p. 751-756, Kyushu Tohoku, Japan.
- Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, 2017 Verileri; İnternet Erişim; www.mta.gov.tr
Erişim Tarihi: 31.08.2017.
- MB Holding 2017 Verileri, İnternet Erişim: <http://www.megeelektrik.com.tr>
Erişim Tarihi: 22.11.2017.
- Meeusen, W., Van Den Broeck, J., 1977. "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Errors", **International Economics Review**, Vol: 18, p. 435-444.
- Mihçakan, İ.M., 2015. "Türkiye' de Aynı Jeotermal Kaynaktan Yararlanma Anlaşmazlıkları ve Yönetmelikte Birleştirme Önerisine İlişkin Değişiklikler" **Jeotermal Enerji Semineri, TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Öngür T., 2008. "Jeolojik Sahalarda Jeotermal ve Jeofizik Arama İlke ve Stratejileri" **Jeotermal Enerji Sempozyumu, TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Özdiler, U., Sayık, T., 2011, "Balçova-Narlidere Jeotermal Saha İşletmesi", **Jeotermal Enerji Semineri, TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Öztemel, E., 2012. "Yapay Sınır Ağları", **2. Baskı, Papatya Yayıncılık**, İstanbul.
- Özüdoğru S., Babür, E., 2001, "Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-Enjeksiyon Kuyuları", **Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı**, MMO Yayın No: 270.
- Resmi Gazete Yayınları, İnternet Erişim: www.resmigazete.gov.tr
Erişim Tarihi: 09.09.2017.
- Satman, A., 2005. "Reenjeksiyon (Tekrar Basma)" **Jeotermal Enerji Semineri, TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Satman, A., 2010. "Sustainability of a Geothermal Reservoir", **World Geothermal Congress**, Bali- Indonesia.
- Schönberger, V., Cukier, K., 2013. "Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think" **Academic Press**, Boston- USA.
- Serpen, U., 2011. "Jeotermal Güç Santralleri Ders Notları, **İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü**, İstanbul- Türkiye.
- Serpen, U., Öngür, T., AKSOY, N., 2013. "Jeotermal Kaynakların Sağlıksız Yönetimi", **Jeotermal Enerji Semineri TESKON**, İzmir- Türkiye.

- Serpen, U., Türkmen, N., 2007. “Kızıldere Jeotermal Santralinin 23 Yıllık Performansının Değerlendirilmesi” **Jeotermal Enerji Semineri, TESKON**, İzmir- Türkiye.
- Şenbabaoğlu, Y., 2014. “İş Dünyası İçin Veri Bilimi”, **Online Ders Notları**, İstanbul Akademi.
- Stefansson, V., 1997. “Geothermal Re-Injection Experience”. **Geothermics**, 26, 99–130.
- Talkington, K., 2014. “Elements of Geothermal Leases - Part 1”, **38th Geothermal Resources Congress Annual Meeting**, Geothermal Resources Council, Portland, Oregon, USA.
- Teke, O., 2013. “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ar-Ge Stratejilerinin Değerlendirilmesi, **Mühendis ve Makine Dergisi**, Sayı: 640(54), p. 54-62.
- Teke, O., Yaşar, E., 2017. “Geothermal Energy and Integrated Resource Management In Turkey”, **Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources Vol: 3** p. 1-10.
- Tekin, M., 2009. “Üretim Yönetimi” **Cilt: 1, 6. Baskı**, Günay Ofset, Konya.
- Zorlu Enerji 2017 Verileri, İnternet Erişim: www.zoren.com.tr
Erişim Tarihi: 05.06.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1989 yılında İstanbul’ da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi İzmir’ de tamamlamasının ardından Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nü 2007 yılında kazandı. Üniversiteden 2013 yılında “Onur Derecesi” ile mezun oldu. Öğrencilik yaşamı ve sonrasında birçok ulusal ve uluslararası kongreye bildiri sunucusu olarak katıldı. Öğrencilik döneminde 4 (Dört) adet, sonrasında 2 adet olmak üzere toplam 6 (Altı) makalesi ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlandı. Toplamda 5 (Beş) adet ulusal teknik proje ödülü bulunmaktadır. Çalışma alanları “Enerji ve Enerji Politikaları- Yapay Zeka- Uzay Madenciliği” olan yazar özel sektör deneyimlerinin ardından şu anda Hatay Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi’ nde Jeofizik Mühendisi olarak çalışmaktadır.

