JEOTERMAL ENERJİ

Enerji Kaynakları

Geri Dönüşü Olmayan Enerji Kaynakları

- Fosil enerji kaynakları (petrol, doğalgaz, kömür, bitümlü şist)
- Güncel organik
- İnorganik

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- Hidrolik
- Güneş
- Rüzgâr
- Jeotermal
- Medcezir (dalga enerjileri)

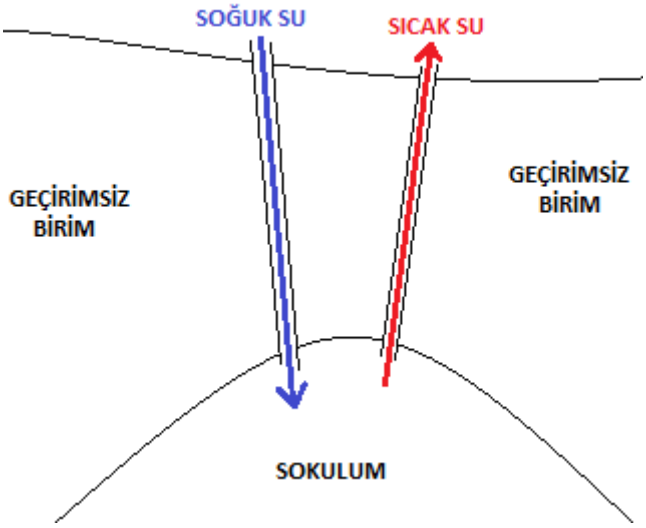
Jeotermal Kaynak

Jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli 20˚C'den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardır. Isıtma amacıyla doğrudan veya elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılan enerjiye jeotermal enerji denir.

Hidrotermal Sistemler

1. Beslenme
2. Isı kaynağı
3. Rezervuar (hazne kaya) → Kırıklı çatlaklı birimler
4. Örtü kaya → Killi birimler, filiş.

Sıcak Kuru Kaya Sistemi



Yerkürenin Isı Kaynakları

1. Yerküre içerisindeki ekzotermik kimyasal tepkimeler
2. Yerküre içerisindeki radyoaktif madde bozunumu (U^{238}, ^{U235}, Th^{232}, K^{40})
3. Fayların sürtünmesiyle oluşan enerji
4. Ergimiş kayaların soğumasıyla ortaya çıkan kristal ve katılaşma ısıları
5. Fay ve kırıklar boyunca magmadan çıkan çok sıcak su+buhar+gazların akiferler içine sızmaları (Magmatik emanasyon)
6. Güneş ışınımı

Rezervuar Derinliği Hesabı
P: Jeotermal rezervuar derinliği
P_S: Atmosferik etki
T_2:Jeotermal kaynağın sıcaklığı
T_1: Sıcak su kaynağının sıcaklığı
Jg: Jeotermal gradyan
$P = Ps \cdot (T_2 - T_1) \cdot Jg$
Çekirdeğe doğru inildikçe ortalama 33 m'de 1˚C sıcaklık artıyor. 6371 m derinlikte 5500˚C'ye ulaşıyor.

Yerkürenin Isı Kayıpları
1. Volkanizma
2. Tektonizma ve depremler
3. Kimyasal bazı tepkimeler (Isı akışı yoluyla kayıp)

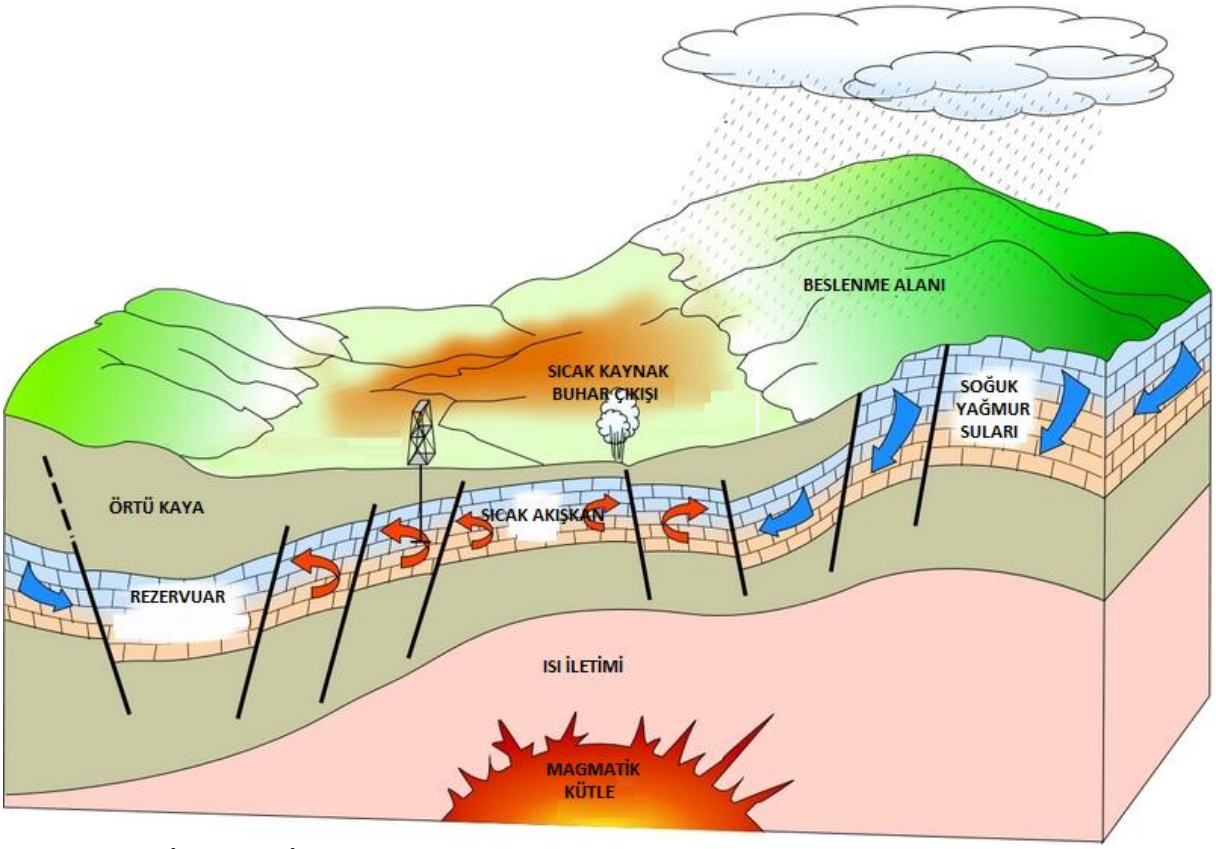
Isı İletim Şekilleri
1. **Kondüksiyon Isı İletimi**
   Cisim içindeki ısı molekülden moleküle geçerek kademeli olarak yayılır
2. **Konveksiyon Isı İletimi**
   Genelde sıvı ve gazlar yoluyla olur. Yüksek sıcaklıktaki akışkanın yoğunluğu soğuk olanlara oranla daha küçük olacağından yukarı doğru hareket ederek ısıyı taşır. Konveksiyon ısı iletimi aşağıdan yukarı doğrudur.
3. **Elektromanyetik Isı İletimi**
   Atmosfer ve boşlukta gerçekleşir. Buradaki ısı ışınım şeklinde iletilir.

Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri
1. Jeotermal enerjinin rezervleri diğer fosil kaynaklara göre sonsuz sayılabilir.
2. Diğer enerji türlerine kolayca dönüşür. (Isıtma, elektrik enerjisi veya termal enerji)
3. Ev ekonomisinde ucuzdur.
4. Bulunduğu ülkede yerli kaynak olmasıyla ve döviz tasarrufu sağlar.
5. Nükleer, petrol, kömür ve termik santrallere göre temiz enerji kaynağıdır.
6. Santrallerin bakımı kolaydır. Yüzeysel tehlikelere karşı korumalıdır.
7. Kısa süreli meteorolojik olaylardan olumsuz etkilenmez.
8. Üstün teknoloji gerektirmediğinden politik olarak ülkeyi bağımsız kılar.
9. Nükleer santrallerdeki gibi büyük ölçüde kazalar meydana gelmez.
10. Özellikle petrole nazaran bulma şansı daha yüksektir. (%50'den daha fazla)

11. Sondajlar petrol sondajlarına göre sığdır. (3000 m'ye kadar, ortalama 1500 m)
12. Arama kuyuları üretim kuyusu olabilir.
13. Yatırımları daha ucuzdur.
14. Entegre uygulama imkânları vardır. (250˚C'ye kadar elektrik, 100˚C'ye kadar ısıtma gibi)
15. Isıtmalarda genellikle ilave tesislere gerek yoktur.

Dünyada Jeotermal Kaynakların Yoğun Olduğu Bölgeler

1. Plaka sınırlarının olduğu ve özellikle dalma-batma zonlarının olduğu bölgelerde (Japonya, Filipinler, Kuzey Amerika'nın batı bölümü). Ateş çemberi olarak da bilinir.
2. Rift zonlarında
3. Sıcak noktalarda (hot-spot) → Havai
4. Tektonik hatların bulunduğu alanlarda (Alp - Himalaya kuşağı boyunca)



JEOTERMAL SİSTEMLERİN SINIFLAMASI

A. Hazne kayadaki akışkanın kökenine göre (magmatik, meteorik, jüvenil)
B. Bulundukları alanlara göre (volkanik saha, sedimanter saha)
C. Tektonik yapıya göre
D. Örtü kaya çeşidine göre
E. Sıcaklığa göre
F. Hazne kayadaki akışkana göre (sıcak su, buhar veya gaz)
G. Derinliklerine göre (hidrotermal sistem, sıcak kuru kuyu sistemleri)

A. Hazne kayadaki akışkanın kökenine göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

Magmatik Kökenli Sular: Bu sistemlerde genelde akışkanın sıvı ve gaz buharı şeklinde jüvenil kaynaklar(ilk defa çıkan sular) olduğu düşünülür.

Fosil Kökenli Sular: Fosil kökenli akışkana sahip sistemler jeolojik devirler boyunca formasyonlara hapsolmuş, tortulların çökelmesi sırasında litostatik ve metamorfizma sonucu, kaya ve minerallerin bünyelerinden atılan suların hazne kayada birikmesi şeklinde tanımlanır. Tortul kayalarda olduğu gibi meteorik de olabilir.

Hidrotermal Sistemler

1. Isı Kaynağı

Büyük bir ısı kaynağının bulunması,

- Yeterince sıcak olmaları ve birkaç 1000 m'den daha fazla derinlikte bulunmaları
- Yalnızca genç magma sokulumları büyük ölçüde ısı verebilir.

Bu gibi alanlar Genç Senozoikte gözlenir. Volkanik etkili bölgelerdir. Kuvaterner yaşlı yükselmeler ile yükselen magma, Tersiyer sonu Kuvaternerdeki çökelim bölgeleri jeotermal alanlar için önemlidir.

2. Hazne Kaya

Jeotermal sistemlerin oluşmasında önemli bir etken olarak

- derinlere süzülen yeraltı sularının yer altında depolanması,
- ısı kaynağından ısınması için hazne kayaların bulunması gereklidir.

Önemi:

★ Yeraltı sularının ısı kaynağına ulaşarak veya magmaya yaklaşarak ısınabilmesi, ısınan akışkanın termal konveksiyon akımlarla taşınması için iyi bir kanal sistemine sahip olması (fay hattı)

★ Sıcak akışkan ile doygun hazne kayadan termal konveksiyon akımlarının doğması ve böylece hazne kaya içinde taban ve tavan arasında sıcaklık farkının çok az olması

★ Sıcak akışkanın yeteri kadar depolanması için gözenekliliğin fazla olması (mermer, kireçtaşı gibi)

★ Sıcak akışkanın kaya içerisinde akabilmesi için gözeneklerin bağlantılı ve dışa açık bulunması (yani hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olması)

★ Yapılan sondajların ekonomik olabilmesi için hazne kayanın çok derinlerde olmaması

★ Jeotermal tesislerin kullanma sürelerince gerekli akışkanı karşılayacak kadar sıcak akışkanın hazne kayada bulunması ve yenilenmesi

★ Genelde hazne kayadaki sıcaklığın kaynama noktasına yakın değerlerde olması ve kırıklı, çatlaklı litolojide bulunması gerekiyor.
Örn: Wairaki → Endonezya, Matsukawa → Japonya, Larderollo → İtalya,
Denizli-Kızıldere sahasında 3 hazne kaya vardır:
1-Neojen kireçtaşı
2-Paleozoik mermer
3-Paleozoik kuvarsit

★ Hazne kayacın geniş beslenme alanlarıyla meteorik sularla hidrolik ilişki kurması bu konuda izotop incelemeleriyle suyun kökenini belirler.

3. Örtü Kaya

Hazne kayanın sıcaklığını doğal olarak kaybetmemesi için düşük geçirgenliğe sahip örtü kaya ile korunması gerekir. Kondüksiyon yönü ile ısı iletimi önlenemez. Ancak bu yolla kaybolan ısı, konveksiyonla kazanılan ısı yanında önemsizdir.

Jeotermal alanlarda izlenen fumenal ve sıcak su kaynakları hazne kayanın tümüyle korunmadığını, örtü kayanın ideal olmadığını gösterir. Petrol aramalarında da örtü vardır. Ancak jeotermal alanlarda kırıklar nedeniyle bu çeşit ısı boşalımları görülebilir.

Sondajda hazne kayaya inildiğinde, sondaj borularında oluşan basınç nedeniyle yüzeye kuyunun açılması durumunda derinlerden sıcak su ve buharın kendiliğinden yüzeye geldiğini görürüz. En önemli örtü kayaç kildir.

4. **Beslenme Alanı**
   Beslenme alanının varlığı hazne kayayı besleyecek yüzey veya yeraltı sularının bulunmasına bağlıdır. Eğer hazne kaya yeterince beslenemiyorsa jeotermal alanda açılan kuyularda başlangıçta verim yüksektir, ancak zaman içinde debi ve basınç düşümü sonucu kuyular ekonomik olmaktan çıkabilir. Ayrıca bazı durumlarda üretilen akışkan sıcaklığında da düşmeler olabilir. Bu nedenle jeotermal enerji üretimi için öngörülen tesislerin kademeli olarak yapılması ileride tesislerin kullanılamamasını önler.
5. **Hazne Kaya ile Isı Kaynağı Arasındaki Temel Kaya**
   Temel kaya 3-5 km derinlikte bulunan genellikle yeşil renkli kayaçlardan oluşan kabuktur. Büyük bir litostatik basınç altında bulunan temel kaya sıkışma nedeniyle oldukça geçirimsizdir. Kısmi çatlaklar oluşabilir ancak zamanla kapanabilir. Temel kaya içinde kondüksiyon akımları olur. Genellikle bu bölgede oluşan faylar boyunca özellikle CO_2, H_2S, H_2 ve N_2 gibi gazların hazne kayaya ulaşması sağlanır. Bunlara magmatik emanasyon gazlar denir. Konveksiyon ısı iletiminin egemen olduğu hazne kayanın taban ve tavanı arasında sıcaklık farkı çok azdır.

B. Sıcaklığa göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

Jeotermal sistemler yararlanma yönünden verimli, az verimli, sıcak kuru kuyular şeklinde ayrılabilir. Verimli sistemlerde, özellikle hidrotermal sistemler gelişmiştir. Su dolaşımı, gaz dolaşımı, su buharı dolaşımı vardır.

1. Termal Olmayan Sistemler

Her km'de jeotermal gradyan 10-40˚C arasında değişir.

2. Semitermal Sistemler

Jeotermal gradyan her km'de yaklaşık 70˚C bir artış gösterir

3. Hipertermal Sistemler

Genelde termal olmayan alanlardan birkaç defa daha fazladır. Bu alanlarda gradyan değerleri fazla olabilir. Bazı alanlarda her metrede 1˚C arttığı da görülebilir.

C. Hidrotermal sahalara göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

1. Sıcak Su Egemen Sistemler

Akışkanı basınç denetler ve basıncın azaldığı yüzeye yakın derinliklerde bir miktar buhar oluşabilir. 3'e ayrılırlar:

a) Düşük sıcaklıklı sistemler = Hazne sıcaklığı < 50˚C
b) Orta sıcaklıklı sistemler = Hazne sıcaklığı 50-150˚C
c) Yüksek sıcaklıklı sistemler = Hazne sıcaklığı > 150˚C

2. Buhar Egemen Sistemler

Genelde 150˚C'den daha yüksek olup yüzeye buhar şeklinde gelen ve 240-250˚C gibi yüksek sıcaklıkların bulunduğu sistemlerdir. Bunlardan elektrik üretimi oldukça ekonomiktir.

D. Örtü kaya çeşidine göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

1. Açık Sistemler: Örtü kayaları olmayan sistemler.
2. Kapalı Sistemler: Örtü kayaları olan sistemler.

E. Bulundukları alanlara (jeolojik yapıya) göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

1. Kuvaterner Volkanizması ile İlgili Sistemler

Bunlarda yapısal durum volkanların dizilimi ile oluşmuştur (kalderalar, yay şeklinde oluşan yapılar, tektonik yapılar).

2. Senozoik Tektoniğe Bağlı Sistemler

Bunlar rift zonlarına rastlayan sistemler, kıta içi havza sistemleri ve horst-graben yapıları.

3. Kıyı ve Platform Bölgelerinde İzlenen Sistemler

Kıta kenarlarında ve plaka sınırlarına yakın bölgelerde oluşur.

F. Derinliklerine (Isı iletim ve magmatik özelliğe) göre jeotermal sistemlerin sınıflaması

Jeotermal sistemler geniş ölçekte hidrotermal konveksiyon, sıcak magmatik ve kondüksiyon ısı iletimi egemen olarak 3 grupta toplanabilir.

Hidrotermal konveksiyon sistemi. Burada sıcak su ve buhar egemendir. Sıcak magmatik sistem 2'ye ayrılır. Bunlardan birincisi genellikle 10 km derinde ve daha fazla derinliklerde 600˚C'den fazla sıcaklıklardaki ergimiş magma sistemidir. Ancak günümüz teknolojisinde bu sistemden yararlanmak mümkün değildir. Diğeri ise 300-400˚C olan daha sığ derinliklerde gerçekleşir. Bunlardaki ısıyı çekebilmek için kuyu açılmakta ve su enjekte edilmektedir. Başka bir kuyudan da buharı alınır.

Jeotermal Araştırmalarda Amaçlar Nelerdir?

1. Jeotermal yörelerin saptanması (ekonomik açıdan düşünüldüğünde, normal gradyanın üzerinde bir gradyan olup olmadığı araştırılması)
2. Bu alanların semitermal veya hipertermal olup olmadığının araştırılması
3. Jeotermal alanlarda hidrojeolojik koşulların saptanması hazne kaya, örtü kaya, beslenme alanları, hazne kaya gözenekliliği, geçirimliliği ve diğer özellikler inin araştırılması
4. Hipertermal alanlarda buhar veya sıcak su egemen olup olmadığının belirlenmesi
5. Termal alanların yerinin, yayılımının, hazne kaya derinliğinin, sıcaklığının, veriminin, beslenme alanlarının, açılacak kuyuların yerlerinin belirlenmesi
6. Sıcak akışkanların jeokimyasal özellikleri, kabuklaşma, çevre kirlenmesi ve ekonomik tuz çökeller gibi özelliklerinin belirlenmesi
7. Bu çalışmalar sonunda jeotermal alanın ısı miktarı, potansiyeli ve öngörülen termal tesislerin kapasitesinin saptanması
8. Başarılı veya başarısızlık durumlarında araştırma ve açılacak kuyuların masraflarının belirlenmesi.

JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR

Jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal , jeofizik, sondaj, test ve bunlara ilişkin ekonomik yapılabilirlik (fizibilite) çalışmaları gerekiyor. Aşamaları:

1. Kaynak toplama (o belgedeki teknik araştırmalar)
2. Uzaktan algılama ve hava fotoğrafları
3. Jeoloji çalışmaları
4. Hidrojeoloji ve jeokimya çalışmaları
5. Jeofizik çalışmaları
6. Gradyan arama ve üretim kuyularının açılması
7. Fizibilite raporu

1) Kaynak Toplama ve Eski Çalışmaların İncelenmesi, Değerlendirilmesi

- ☞ İncelenecek alanı haritada belirledikten sonra çalışılacak alanın kaynağının toplanması
- ☞ 1/20.000'lik, 1/10.000'lik haritalar üzerinden değerlendirilmesi
- ☞ Daha önceki yapılmış maden yatakları araması
- ☞ Kuyu logları
- ☞ Alterasyon zonlarının çalışıp çalışmadığı
- ☞ Bölgenin iklim koşulu
- ☞ Lojistik olarak nasıl gidilip nerede kalınacağı
- ☞ Daha önce o bölgede yapılmış kimyasal analiz sonuçlarının belirlenmesi
- ☞ Bölgede yapılmış tüm jeofizik bilgileri
- ☞ Bölgenin depremsellikteki konumu bilinmelidir.

2) Uzaktan Algılama ile Araştırma

- Özellikle fay hatlarının belirlenmesi
- Formasyonlar ve alterasyon zonları gibi jeolojik ve hidrojeolojik araştırmaların vazgeçilmez yöntemidir.
- Arazi üzerindeki bitki örtüsü
- Tabaka konumları
- Kıvrım eksenleri
- Fay atımları
- Yamaç eğimleri
- Arazinin tektonik ve litolojik haritası
- Akarsu ağının gösterilmesi
- Volkan domları, akıntılar ve kalderalar
- Kar tutmayan yerlerin tespiti

3) Jeoloji Araştırmaları

- Termal alanın jeolojik sınırlarını belirleme, üç boyutlu yapısını ortaya koyma
- Jeotermal alanın yapısal ve tektonik haritalarının yapılması, bu haritalarda genç ve yaşlı fayların hatları, kesişme yöreleri, kırık ve çatlaklar, tabaka eğimleri, kıvrımlar, kıvrım eksenleri ve dalımları, gerilme ve sıkışma tektoniğine bağlı oluşan graben sistemleri, bindirmeler, tektonik basınç yönleri gibi genel çalışmalar yapılır.
- Jeolojik haritalarla farklı litolojik çökellerin veya volkanitlerin ayırtlanması ve yaşlarının belirlenmesi
- Genelleştirilmiş stratigrafi kesiti hazırlanarak örtü kaya ve hazne kayanın belirlenmesi ve ısı kaynağının araştırılması
- Örtü, hazne kayaların izopak haritaları ve jeotermal alanların blok ve panel diyagramlarının çizilmesi
- Arazide bozunmamış ve hidrotermal alterasyon zonlarından alınan örneklerin mineralojik ve petrografik incelenmesi gibi çalışmalar.

4) Hidrojeoloji ve Jeokimya Araştırmaları

- Jeotermal alanlarda, beslenme alanı dâhil meteoroloji istasyonu bulunmuyorsa yağış ve sıcaklığın ölçülebileceği uygun yöntemleri belirlemek
- Örtü ve hazne kayaların gözenekliliği ve geçirgenliği hakkında bilgi edinmek
- Beslenme alanları ve yeraltı suları akım yönünü belirlemek
- Sıcak ve soğuk sular arasındaki ilişkileri belirlemek
- Sıcak suların yüzeye çıkış şekli ve çıkış yörelerini belirlemek
- Havzanın hidrojeolojik bütçesini hazırlamak
- İzotop yöntemleri ile sıcak suların kökenleri, yaşı ve sıcaklıkları hakkında bilgi edinmek (İzotop araştırmaları O_{18} ve O_{16} oranları ve Dötoryum ilişkileri beslenmenin nereden geldiğini bulmaya yardımcı olur. Magmatik mi yoksa jüvenil mi olduğuna bakılır.
- Kimyasal jeotermometrelerle hazne kaya sıcaklıklarını tahmin etmek
- Yüzeye erişen sıcak suların kimyasal analizinde hazne kayadaki suların kimyasal yapılarını belirlemek
- Suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerini incelemek
- Yüzeyde izlenen buhar veya sıcak suların debileri ve sıcaklık ölçümleriyle elde edilecek minimum enerjiyi tahmin etmek

5) Jeofizik Çalışmaları

- Hipertermal alanlarda sondaj yerlerinin saptanması
- Hazne kaya derinliği
- Sistem tipinin belirlenmesi

gibi sorunları çözer. Bu araştırmalar:

a. Jeotermal sıcaklık ölçümleri
b. Jeoelektrik (rezistivite) yöntemi
c. Jeomanyetik yöntem
d. Gravite ölçümleri
e. Sismik ölçümlerdir.

a) Sıcaklık Ölçümleri

Dünyadaki ısı akışı ortalaması 1,5 µcal/cm^2/s'dir. Ekonomik yönden ilginç jeotermal sistemlerde bu ısı akışının yüzlerce katına eşit ısı akışı vardır. Jeotermal enerji için açılan kuyular 1500-2000 m'de ekonomik olacağını düşünürsek jeotermal gradyan 20˚C/100m önemli artış gösteren yerlerde seçilmesi önem taşır. Jeotermal alan araştırırken genelde yüzey ve sığ kuyular, jeotermal gradyan kuyularıdır.

Sığ kuyularda yapılan ölçümler, yüzeysel meteorolojik etkiler altındadır. Yağış ve topoğrafya etkendir.

Yeraltı suları akımı

Derinlerdeki ısı akımını taşıması nedeniyle jeotermal ölçümünü etkiler. Yeraltı sularının hareketleri de bu kuyulardaki ölçümlerde önem taşır. Gradyan ölçümler iki etken etkisinde kalır:

- Kayaların ısı iletkenliğinin değişmesi
- Yer yer gözlenen konveksiyon akımı

b) Jeoelektrik (Rezistivite) Yöntemi

Örtü kayanın rezistivite değerini verir. Elektriksel araştırma tekniği özellikle klorca zengin ve elektriksel iletkenliği yüksek sıcak suların araştırmalarında kullanılır.

Sıcaklık → Rezistiviteyi düşürür. Jeotermal alanda önemlidir.
Tuzluluk → Rezistiviteyi artırır.

Bu yöntemle hazne kayadaki sıcak su yayılımı ve bazı yapısal ve litolojik birimlerin rezistivite değeri; kaya ve su içinde elektriği ileten iyonların derişimine, kaya gözenekliliğine ve sıcaklığa bağlıdır.

c) Jeomanyetik Yöntem

Volkanik kayaçlar genellikle yüksek manyetik duraylılığa sahiptir. Ancak jeotermal etkinliğin artması ile manyetik duraylılık azalır. Çünkü kaya içinde bulunan manyetik minerali bozunmaya uğrar. 3 nedenle farklılık büyük olur:

- Manyetik farklılığı olan iki kaya yüzeyi derinliğine,
- İki kaya arasındaki manyetik farklılığa,
- İki kaya ortamı arasındaki geometrik boyutlara bağlıdır.

Ucuz ve kısa zamanda yapılan ölçümdür. Volkanik ve manyetik etkinliği düşük kayaçların bozunum zonluğu düşük yerlerde olur. Derinlerdeki sıcak magma sokulumların belirlenmesinde de yardımcı olur.

d) Gravite Yöntemi

Gravitemetre, termal alanların oluştuğu grabenlerin sınırlarını ve tabandaki volkanik ve tortul kayaları belirlemede kullanılır. Bu yapısal çöküntüler negatif gravite olarak tanımlanır. 20-40 miligal arasındadır.

Jeotermal açıdan pozitif gravite çöküntüleri oranında daha önemsizdir. Pozitif gravite gömülü volkanik veya sokulum kayaçlarını yorumlamada kullanılır ve gravite anomalileri çöküntü içindeki sınırların saptanmasında yararlıdır. Ayrıca ucuz bir yöntemdir.

e) Sismik Ölçümler

Yeraltındaki malzeme değişimi farklı derinliklerdeki elastik hızda oluşan değişimleri tespit eder. Bu elastik hız ender olarak sıcaklık ve gözeneklilikten etkilenir. Eğer örtü kaya ile hazne kaya arasında titreşim hızı fazla ise bu iki kayanın sınırlandırılması mümkündür. Genellikle düz topoğrafyada kullanılır. Tortul örtü olan alanlarda kullanılır.

Jeotermal Kuyu Açılışında Yapılan Çalışmalar ve Nedenleri

Yöntem	Ölçüm Nedeni
Sıcaklık Ölçümü	Kuyuların gerçek sıcaklığını ve kuyunun açılması ile meydana gelen sıcaklık değişimlerini gözlemek.
Elektrik Log Alımı	Kuyu içinde rezistivite değerlerini belirlemekle farklı kuyularda jeolojik formasyonlar arasında ilişkiyi sağlamak (Korelasyon)
Isı Akışı Ölçümleri	Kuyuda sıcak ve soğuk akışkanların kuyuya giriş noktalarının ve hızlarının belirlenmesi.
Eğim Ölçümü	Kuyu eksen yönünün ve gerçek konumunun belirlenmesi
Basınç Ölçümü	Jeotermal rezervuarın belirlenmesi ve verim tahmini
Kuyu Tabanından Akışkan ve Kayaç Örneği Alınması	Jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal verilerin elde edilmesi

Kuyu ölçümlerinden elde edilen bilgiler ışığında hazne kaya olabilecek formasyonlardan karot örneği alınarak gözeneklilik, geçirgenlik, termal iletkenlik ölçümleri ve temel hidrotermal alterasyonların mineralojik ve petrografik incelemelerinin yapılması gerekir.
İlk açılacak kuyu lokasyonu derindeki sistem hakkında en fazla bilgi verebilecek şekilde seçilmelidir.
Bir sahada en az 3 derin kuyu ile sistemin modeli hakkında bilgi edinilebilir.
Hipertermal sahalarda sondajlar 500m – 1000m arasındadır. Sahanın konumuna göre daha derin bölgeler seçilebilir. Bazı durumlarda yönlü sondaj yapılır.

Yönlü Sondajın Amacı

1. Basamak faylardaki çok sayıda üretim zonunu kesmek ve kuyu başına üretim miktarını artırmak.
2. Vadilerde, sondaj yapılması zor alanlarda kuyu açabilmeye imkân sağlar.
3. Milli parklarda veya orman alanlarında tahribatı önlemek amacıyla bize ayrılan bölümde sondaj yapılmasını sağlar.
4. Yüzey ekipman ve taşıma boruları gibi malzemelerin olmaması.
5. Piezometrik seviye düşükse topoğrafya avantaj sağlar.

Arama üretim kuyuları sonucu yapılan raporlara göre önce ön fizibilite hazırlanır. Bu raporlara göre sahanın kapasitesi belirlenir ve bu kapasiteye uygun diğer üretim ve reenjeksiyon kuyuları da seçilerek santral inşaatına geçilir.

REENJEKSİYON

Üretilen jeotermal akışkanların kullanıldıktan sonra tamamının veya kalan bölümünün yeraltı jeolojik formasyonlara geri gönderilmesi ve basılmasıdır.

Reenjeksiyonun 2 amacı vardır:

1. Jeotermal rezervuarda basıncı korumak.
2. Jeotermal akışkan içinde yer alan erimiş maddelerin herhangi bir çevre kirliliği yaratmasını önlemek.

Jeotermal akışkanların reenjeksiyonu

Bir bölgede reenjeksiyon yapabilmek için öncelikle hidrotermal modelin kurulması gerekir.

Reenjeksiyon yapılırken sorulması gereken sorular şunlardır:

- ☞ Enjeksiyon sağlanabilir mi?
- ☞ Enjekte edilen su nereye gitmektedir?
- ☞ Enjeksiyon kuyusunun yakınında bulunan diğer iletim kuyularına etkisi nedir?

Burada yapılan reenjeksiyonda:

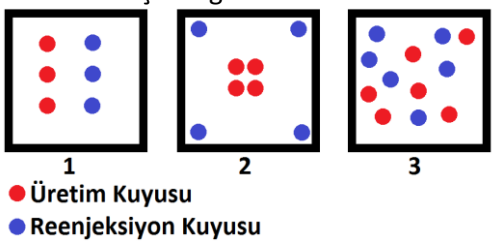
- ➢ Belirli miktarda basınç artışının sağlanması veya su seviyesinde görülen düşüşün yavaşlatılması
- ➢ Sıcak reenjeksiyonda jeotermal suyun tekrar dolaşımının sağlanarak üretim alanında görülen sıcaklık düşmesinin engellenmesi
- ➢ Çevrenin, yeraltı ve yerüstü suyunun ve toprağın kalitesinin korunması

- Yer çökmesi ve kaymaların önlenmesi
- Reenjeksiyon kuyuları ve taşıma hatlarına yapılacak yatırımın ekonomik olması

amaçlanmaktadır.

Reenjeksiyon Şekilleri

1. Birbirinden ayrı iki bölgede kuyuların açılması
2. Orta bölümde üretim, uzak köşelerde reenjeksiyon kuyularının açılması
3. Karışık dağılım



Üretim kuyusu ile reenjeksiyon kuyusu arasındaki mesafeyi belirleyen etmenler

1. Üretim kuyularının kapasiteleri
2. Sıcaklık ve buhar oranı
3. Yüksek geçirgenliğe sahip zonların bulunması
4. Enjekte edilen suyun sıcaklığı
5. Enjekte edilen toplam su miktarı

Türkiye'de Reenjeksiyon

Türkiye'de ilk başlarda reenjeksiyona fazla önem verilmedi ancak sonradan Denizli'de başlanıldı. 2007'de çıkan yasayla zorunlu hale getirildi. (Çanakkale Tuzla, Balıkesir Göne, İzmir Balçova, Afyon Ömer Gecek, Ankara Kızılcahamam)

Türkiye'de Jeotermal Enerji Aramaları

1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan sıcak ve mineralli sular envanteriyle başladı. 1967 yılında MTA ve Birleşmiş Milletler Kalkına Programı (United Nations Development Programme) ortak projesi kapsamında sağlanan hibe ile Denizli-Kızıldere sahasında jeoloji, jeofizik, hidrojeoloji, jeokimya çalışmalarıyla 1968 yılında kuyu açılmıştır.

540 m derinlikteydi. 198 ˚C'lik rezervuar tespit edildi. Bunu takiben sahada 16 kuyu açıldı ve 212 ˚C'ye varan rezervuar sıcaklıkları tespit edildi. 500 MW'lık bir deneme santrali kuruldu. Sera tesisleri kuruldu (1000m^2). Buradaki olumlu sonuçlara göre T.E.K (TEAŞ) 20 MW'lık bir santral kurdu.

1986'da buhar içinde bulunan CO_2 kullanımı için bir tesis kuruldu ve yılda 220 bin ton kapasiteli sıvı CO_2 üretimi gerçekleştirildi. Daha önce sıvı karbondioksit kireçtaşı yakılmasıyla üretiliyordu. Jeotermal ile bu üretim kolaylaşmış oldu. Bu arada Sarayköy ilçesinin ısıtılması sağlandı. Sağlık ve turizm açısından da tesisler kuruldu. (Bunlara entegre kullanım(en ekonomik kullanım) adı veriliyor.)

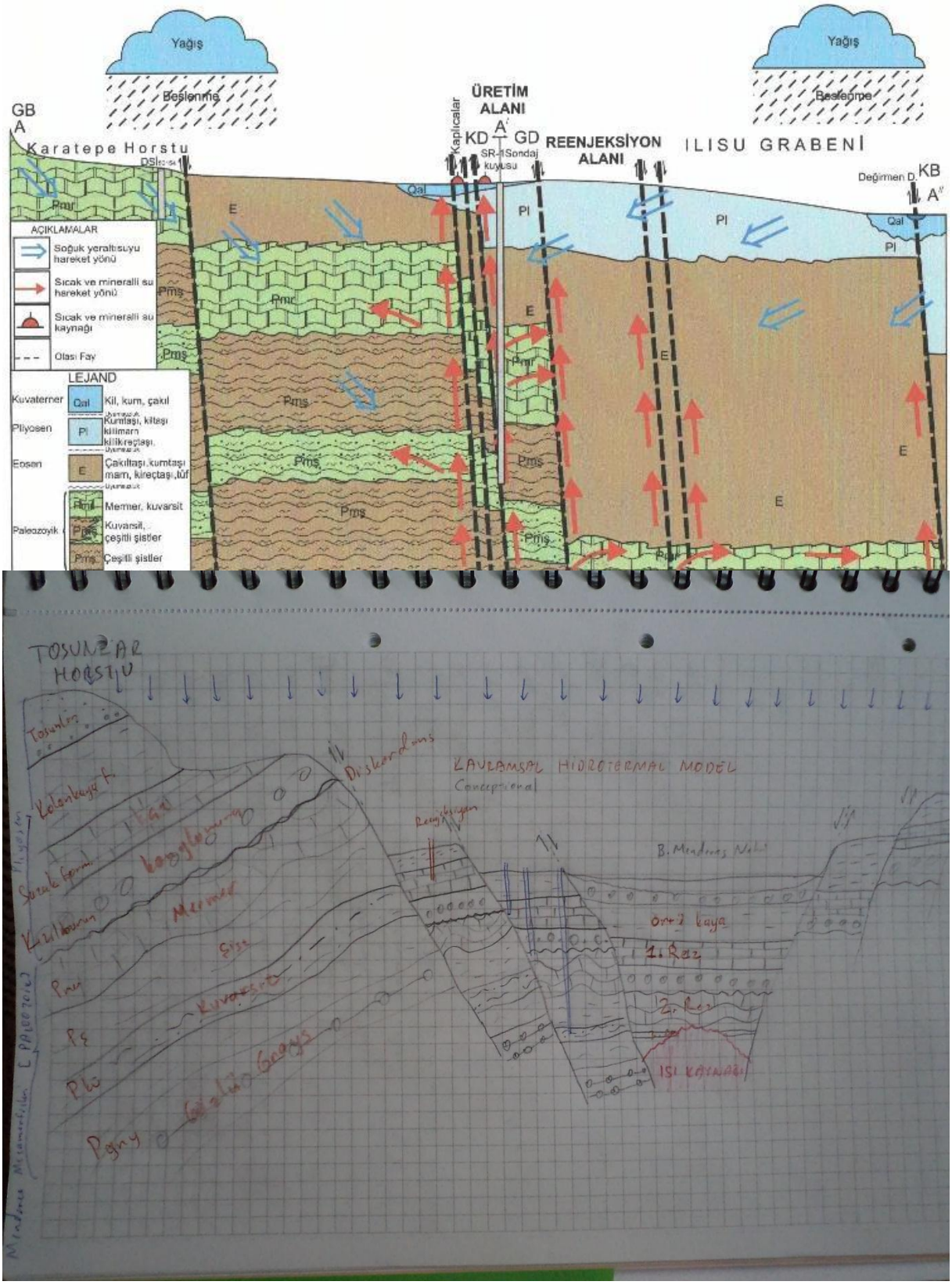
1982 yılında Aydın-Germencik sahası 232 ˚C, Çanakkale Tuzla sahası 176 ˚C rezervuarları keşfedildi ve bunlardan da elektrik üretimi sağlandı.

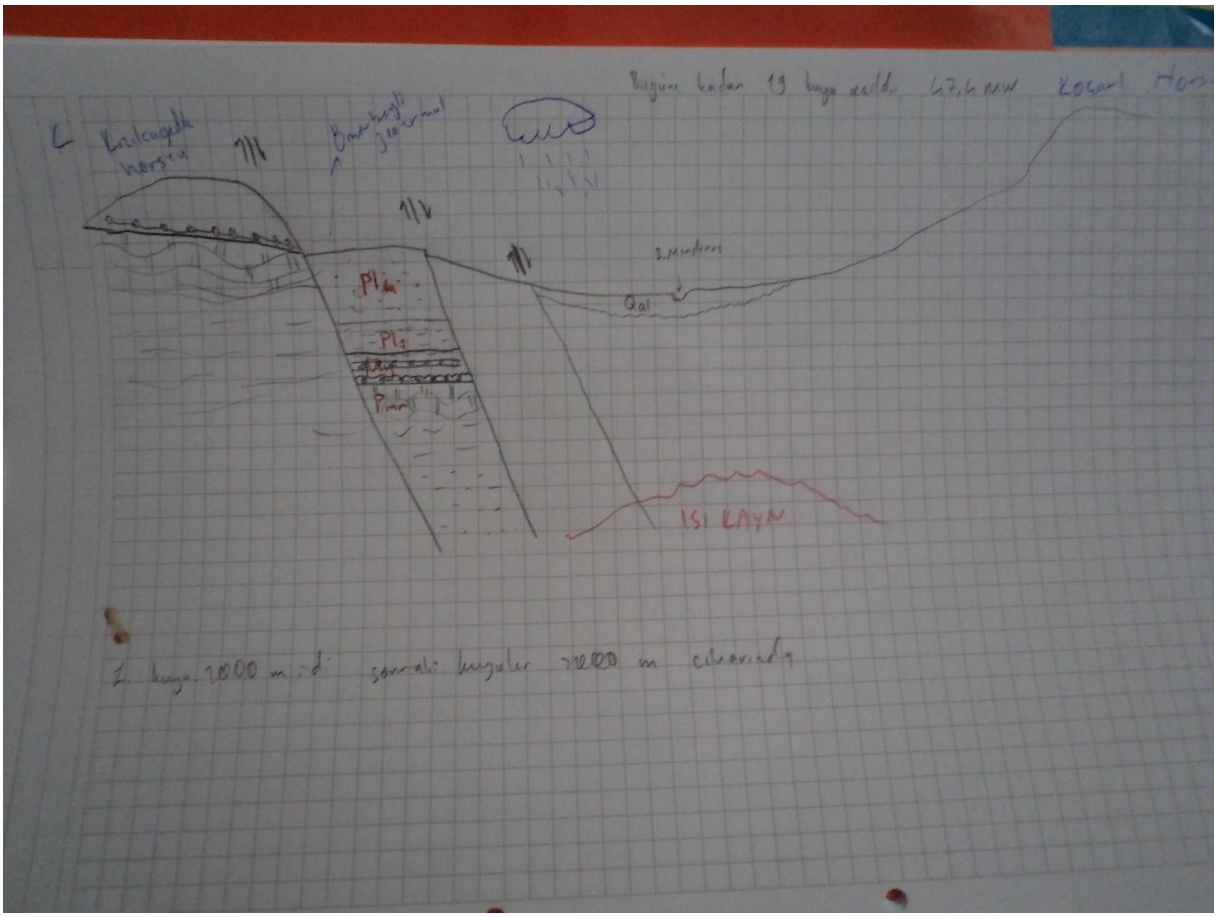
Türkiye'de en büyük santrali Aydın-Germencik'te kuruldu. Öte yandan iki il merkezi (Afyon ve Kırşehir) ile ilçe merkezleri şu anda jeotermal enerjiyle ısıtılmaktadır.

Sarayköyü, Kozatlı, Kızılcahamam, Sandıklı, Simav, Edremit, Sorgun, Salihli, Gönen ve Bigadiç.

200 civarında termal tesis bulunmaktadır ve 2005 yılı Dünya Jeotermal Kongresi Türkiye'de düzenlenmiştir.

Yozgat - Sarıkaya Jeotermal Alanın Hidrotermal Modeli




Pl
Pl
Qal
ISI KAYN

KAYNAK

Doğal yolla, sondaj veya kuyularla jeotermal akışkan veya doğal mineralli su, gaz veya bunların birlikte elde edildiği yer.

JEOTERMAL KAYNAK

Jeolojik yapıya bağlı olarak yerkabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki sulara göre daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak çıkan veya çıkarılan su, buhar ve gazlar ile yeraltına insan düzenlemeleri vasıtasıyla gönderilerek yerkabuğu veya kızgın kuru kayaların ısısı ile ısıtılarak su, buhar ve gazların elde edildiği yer,

DOĞ. MİNERALLİ SU

Yerkabuğunun farklı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak oluşan bir veya daha fazla kaynaktan yeryüzüne kendiliğinden çıkan ya da çıkartılan, mineral içeriği ve diğer bileşenleri ile tanımlanan; tedavi, şifa amaçlarıyla da kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri adlarla anılan soğuk ve sıcak doğal sular

JEOTERMAL ALAN

Yapılan bilimsel ve teknik çalışmalarla sınırları belirlenen ve üzerinde jeotermal kaynak veya jeotermal kaynakla birlikte doğal mineralli suların bulunduğu alan

JEOTERMAL SİSTEM

Jeotermal alan oluşumunu sağlayan; beslenme alanı, akışkan, ısı kaynağı, rezervuar ve/veya zonu, örtü kaya ve boşalım alanının tümünü kapsayan, jeotermal kaynak ve/veya doğal mineralli suların çıktığı ve/veya üretildiği, kendine özgü jeolojik yapısı, hidrojeolojik ve kimyasal özellikleri olan sistem

JEOTERMAL REZERVUAR

Sıcaklık ve jeokimyasal açıdan doğal bir denge içinde bulunup bir bütünlük ifade eden, değişik şekillerde dışardan beslenen yarı açık veya kapalı sıcak su ve/veya buhar üretim ortamı

DEŞARJ

Jeotermal akışkanın kullanımından sonra reenjekte edilemeyen kısmının veya tamamının çevre kirliliğine neden olmayacak şekilde başka alıcı ortamlara gönderilmesini,

SONDAJ

Jeotermal akışkanları aramak, üretmek, kullanım sonrası reenjekte etmek, rezervuarı gözlemlemek veya test etmek için bilimsel yöntemler ve uygun araçlar kullanılarak, gereken derinlik ve çapta yeryüzünden kaynağa doğru jeolojik takip ile delik kazma ve açma işlemi ile jeotermal rezervuar oluşturmak için akışkan enjekte etmek için kuyu açma işlemi

AKIŞKAN

Kaynaklardan elde edilen su, gaz ve buharı

KAPTAJ

Akışkanın doğal olarak ve/veya bilimsel yöntemler ve uygun araçlar kullanılarak rezervuardan yeryüzüne ulaşmasından itibaren kirlenmesinin önlenerek ve korunarak daha sağlıklı şekilde değerlendirilebilmesi için kullanım öncesi özel teknikle yapılan toplama havuzlarında, galeri ve/veya kuyularda biriktirilmesi işlemi

KORUMA ALANI

Kaynak ve bunların bağlı olduğu jeotermal sistemin; bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla sahanın jeolojik, hidrojeolojik yapısı, iklim koşulları, zemin cinsi ve tipleri, drenaj sahası sınırı, kaynak ve kuyu çevresindeki yerleşim birimleri, endüstri tesisleri, çevrenin topografik yapısı gibi unsurlara bağlı olarak belirlenmiş önlemler alınması gereken, içerisinde yapılan faaliyetlerin kontrol ve denetime tâbi olduğu ve gerektiğinde yapılaşma ve arazi kullanım faaliyetleri kısıtlanabilir alanlar

BLOKE ALAN

İşletme ruhsatı verilmiş bir jeotermal kaynaktan yapılan üretim faaliyetlerinin etkilenmemesi için işletme ruhsatı sahibi dışındaki talep sahiplerine kapatılmış ve işletmeye açılmayacak alanlar

ENJEKSİYON

Akışkanların, yapay yöntemlerle jeolojik formasyonlara gönderilmesi

REENJEKSİYON

Üretilen jeotermal akışkanların yapay yöntemlerle kullanıldıktan sonra tamamının veya kalan kısmının üretildikleri jeolojik formasyonlara geri gönderilmesi/basılması