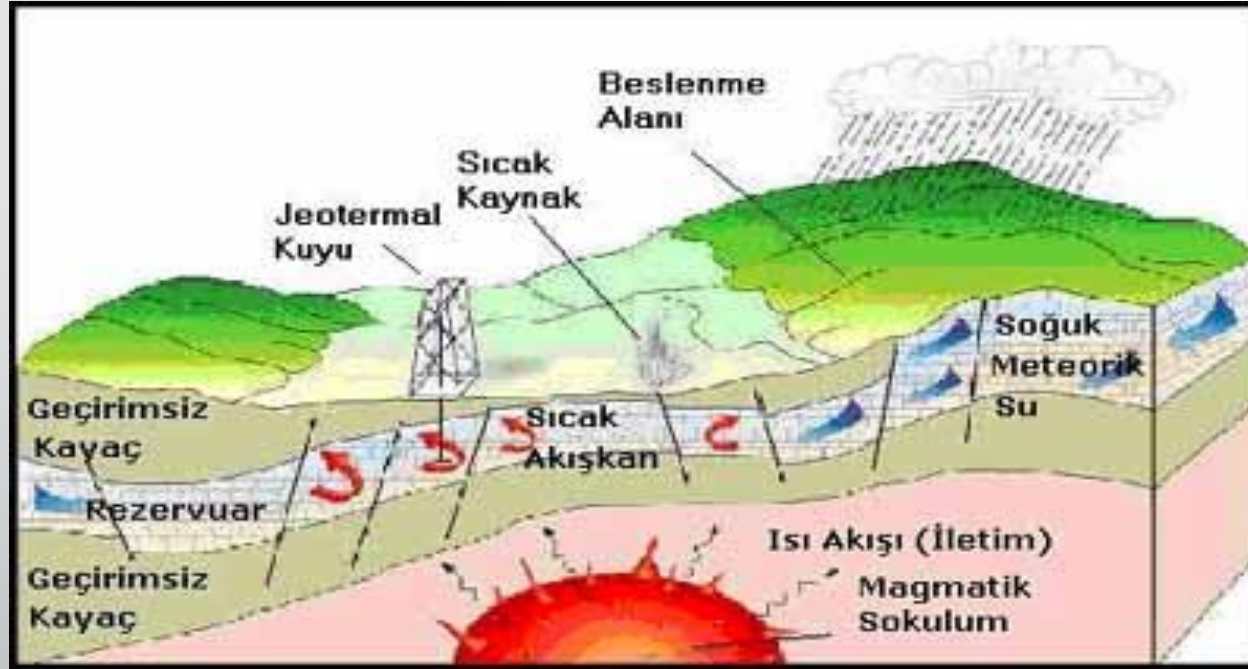


# YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ Dersi 8

- 7 JEOTERMAL ENERJİ
- 7.1 Dünyada Jeotermal Enerji
- 7.2 Türkiye'de Jeotermal Enerji
- 7.3 Jeotermal Enerjinin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri
- 7.4 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları
- 7.5 Jeotermal Enerji Uygulamaları

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU  
E-mail: onurbas@agri.ankara.edu.tr  
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

- Yunan dilinde yeryüzü anlamına gelen “**geo**” ve ısı anlamına gelen “**therme**” sözcüklerinden türemiş olan **jeotermal**, **yer ısı** olarak tanımlanabilmektedir (Ataman, 2007). Jeotermal kaynak ise, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde (Şekil 7.1), **yerkürenin merkezindeki ısının** etkisiyle bulunduğu bölgenin atmosfer sıcaklığına göre daha yüksek sıcaklıkta ve bölgesindeki yer üstünde ve yer altında bulunan sulara göre daha yüksek miktarda mineraller içeren su buharı yada sıcak sudur (Adıyaman, 2012).



Şekil 7.1 Jeotermal sistemin şematik gösterimi (Kılıç ve Kılıç, 2013)

sıcak su – su  
buharı - sıcak  
kuru kayalar

doğal ve yapay  
Termal-elektrik

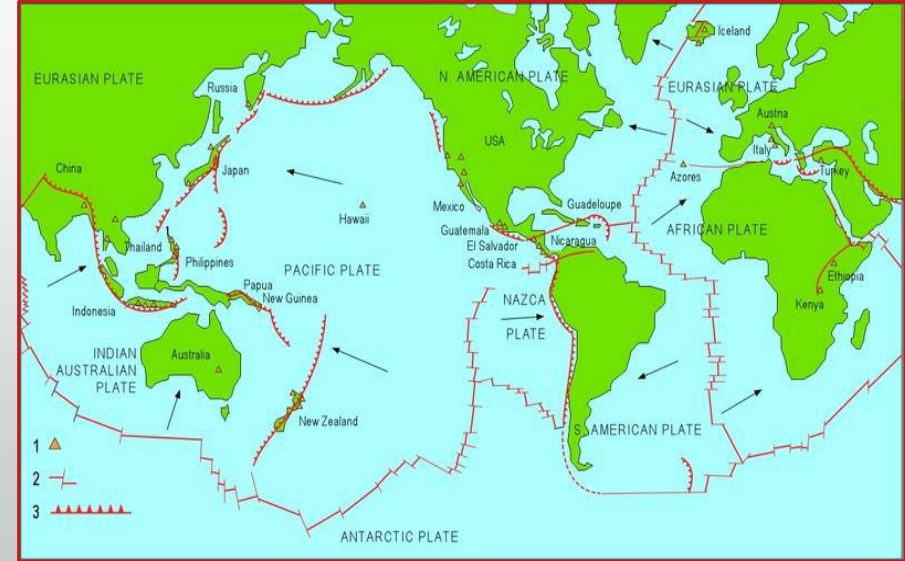
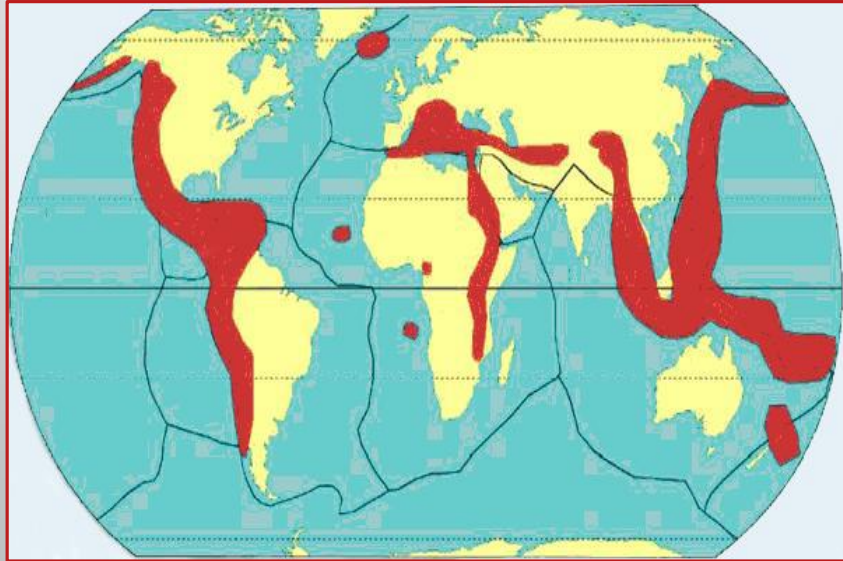
yenilenebilir ve  
sürdürülebilir olması  
için; reenjeksiyon

Kaya gazı??

- Dünyanın merkezi magma tabakasının çok sıcak olması ve ısı iletimi etkisiyle yeryüzünün alt katmanlarındaki yer sıcaklıkları daha yüksek olmaktadır. Bu sıcaklık artışı yeryüzünden aşağıya doğru inildikçe km'de ortalama 30°C olmaktadır (Coşkun, 2011).
- Jeotermal enerji de yer kabuğu katmanları arasında bulunan sıcak su veya buhardan doğrudan veya dolaylı şekilde faydalanılan enerjiyi içermektedir. Sıcak su veya buhar içermeyen "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal kaynak olarak nitelendirilmektedir. Bu kayaların da ısısından yararlanılabilmektedir (Dağıstan, 2006).
- Jeotermal kaynaklar kar, yağmur, magma suları ve deniz tarafından oluşturulmaktadır. Bu kaynakların yenilenebilir ve sürdürülebilir olması için; reenjeksiyon işleminin yapılması gerekmektedir. Herhangi bir jeotermal kaynaktan çeşitli teknolojilerle çıkarılan akışkanın kullanımından sonra kaynağına geri basılması reenjeksiyon olarak adlandırılmaktadır (Dağıstan, 2006); Adıyaman, 2012).
- Yer kabuğu içerisinde bulunan akışkan doğal ve yapay yollarla yeryüzüne çıkarılmakta ve termal olarak pek çok alanda kullanıldığı gibi elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

# 7.1 Dünyada Jeotermal Enerji

- Jeolojik olarak incelendiğinde **Dünyada pek çok jeotermal alan yer almaktadır** (Şekil 7.2). Bu alanlar **jeotermal kuşak** olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal kuşakların en önemlileri;
- Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Ekvator, Kolombiya ve Venezuela'nın yer aldığı "**And Volkanik Kuşağı**";
- Tayland, Burma, Çin, Tibet, Hindistan, Pakistan, İran, Türkiye, Yunanistan, Yugoslavya ve İtalya'nın bulunduğu "**Alp-Himalaya Kuşağı**";
- Djibuti, Etiyopya, Kenya, Uganda, Tanzanya, Malavi ve Zambiya'nın bulunduğu ve aktif olan "**Doğu Afrika Rift Sistemi**" ve
- Panama, Kosta Rika, Nikaragua, El Salvador ve Guatemela'yı içine alan "**Orta Amerika Volkanik Kuşağı**"dır.
- Bu kuşaklar içerisinde yer alan ülkeler dışında; Doğu ve Kuzey Avrupa, Meksika, İzlanda, Yeni Zelanda, Endonezya, Filipinler, Doğu Çin, Japonya, ABD ve Kanada'da da yüksek verime sahip jeotermal kaynaklar bulunmaktadır (Çetin, 2014)

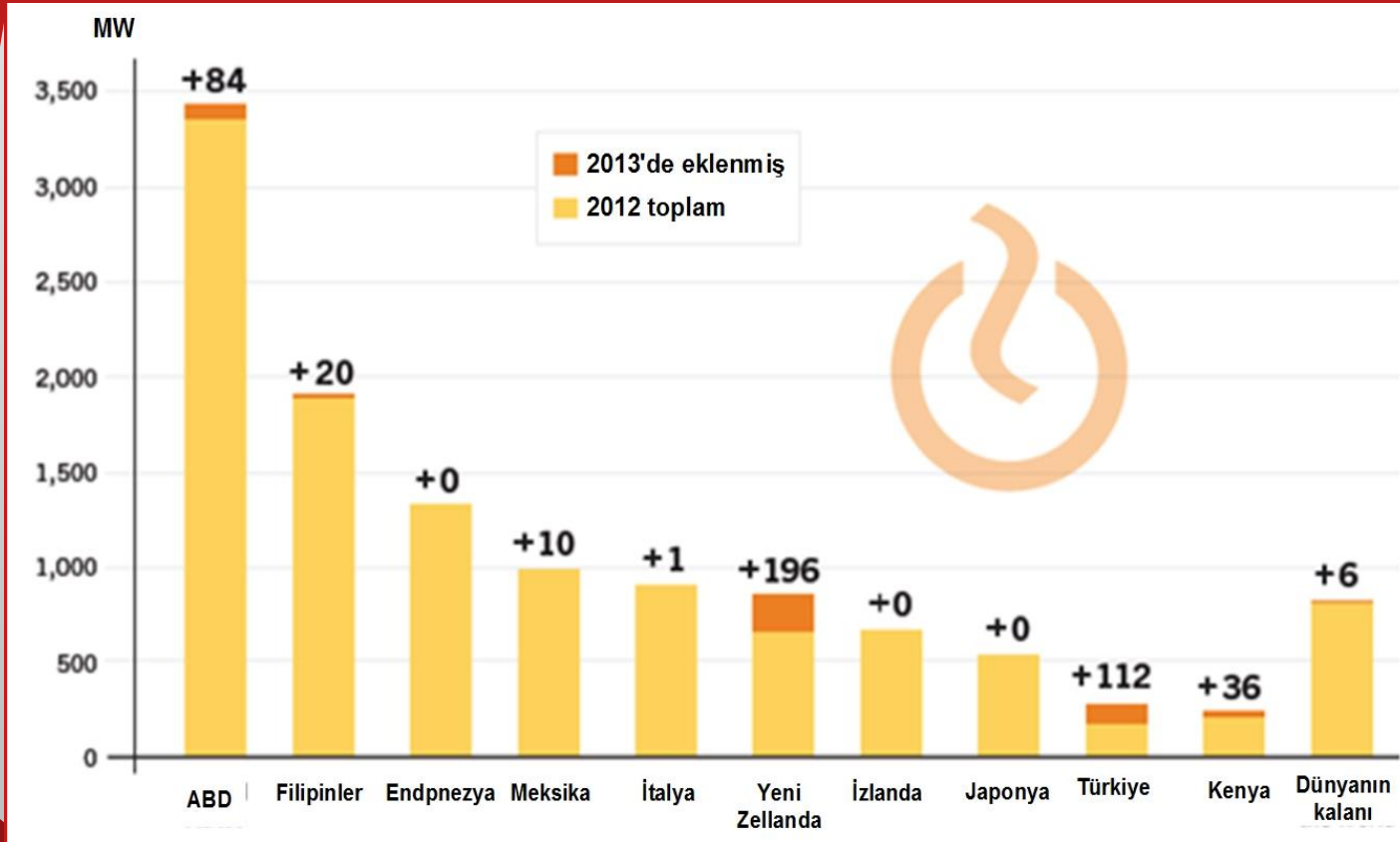


Şekil 7.2 Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar (Çetin, 2014)



- İnsanlığın ilk uygarlıklarından beri jeotermal akışkandan yararlanılmaktadır. Milattan binlerce yıl öncesinde Akdeniz Bölgesinde tekstil, cam, çanak-çömlek yapımında jeotermal akışkandan yararlanıldığı bildirilmektedir. Ayrıca Çinlilerin ve Romalıların da sıcak sulardan sıhhi ve ısıtma amaçlı yararlandıkları belirtilmektedir (Adıyaman, 2012).
- 14.yüzyılda Fransa'da köylüler doğal sıcak suyla evlerini ısıtmışlardır (Akova, 2008). Konutların ısıtılmasında 1890-1900 yıllarında Amerika'da da yararlanılmıştır. Jeotermal enerjiden yararlanılarak ilk elektrik üretimi İtalya'da 1904 yılında yapılmıştır (Uğurlu, 2006, Adıyaman, 2012).
- Dünyada ilk ticari santral de 1911'de yine aynı bölgede kurulmuştur. İkinci endüstriyel santral ise uzun bir süre geçtikten sonra, Yeni Zelanda'da 1958'de faaliyete geçmiştir. Bu santralin önemli bir özelliği de çürük buharın ilk kez kullanılmasıdır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte 1960'da Kaliforniya'da jeotermal santral, 1967'de Rusya'da ilk ikili çevrim santrali çalıştırılmıştır. Düşük sıcaklığa sahip akışkandan ilk elektrik üretimi de Alaska'da 2006'da gerçekleştirilmiştir (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- 50'li yıllardan 2000'e kadar; jeotermal enerjiden elektrik eldesinde %17, termal kullanımda ise %87 artış görülmüştür. Yine 2010 verilerine göre; 2005 sonrasında jeotermal kaynak kullanımında %60 yükselme görülmüştür (Anonim, 2012d).

- Şekil 7.3'de 2013 yılı itibariyle **jeotermal enerji kapasitesi en yüksek olan ülkeler** verilmiştir. Şekilde ülkelerin 2012 kurulu güç değerleri ve 2013 yılında kapasite artışları gösterilmektedir. 2013 yılında Jeotermal gücü en yüksek olan ülke ABD'dir. Bunu sırasıyla; Filipinler, Endonezya, Meksika, İtalya, Yeni Zelanda, İzlanda, Japonya, Türkiye ve Kenya takip etmektedir.



Şekil 7.3 Dünyada en yüksek jeotermal güç kapasitesine sahip ülkeler (2013)  
(Anonymous, 2014b)

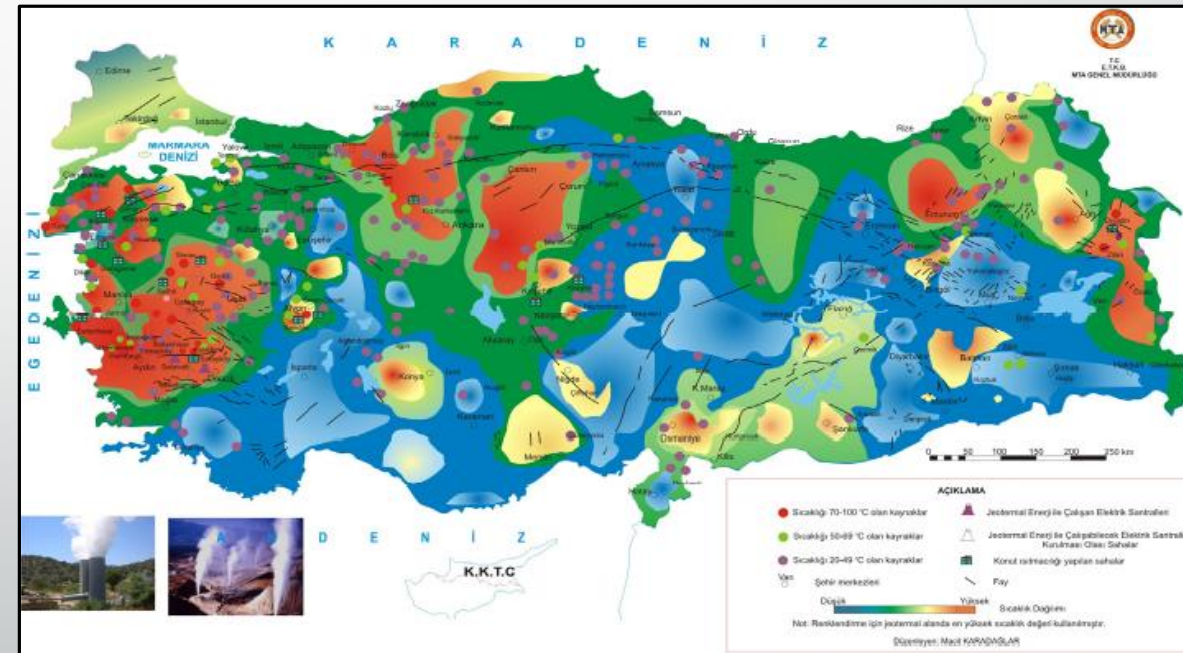
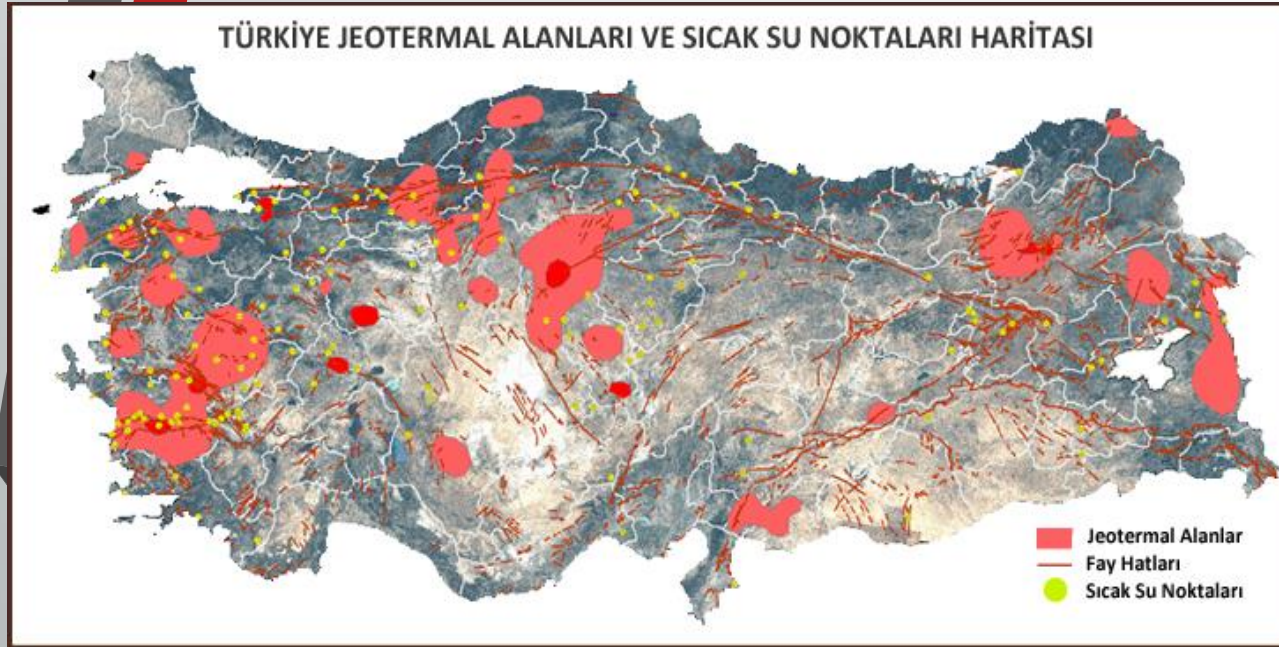
Günümüzde dünyada jeotermal kullanım kapasitesi jeotermal kullanım alanlarına bağlı olarak hızlı bir artış göstermektedir. Sondaj borularından verilen basınçlı suyun sıcak kayalardaki potansiyelle ısınması prensibine dayanan sıcak kuru kaya (hot dry rock) sistemi, dünyada şu an için ABD, İngiltere, Almanya, Fransa, İsveç ve Japonya gibi ülkelerde elektrik üretimi için kullanılmaktadır (Çiçek, 2012).

## 7.2 Türkiye'de Jeotermal Enerji

- Dünyanın önemli jeotermal kuşaklarından olan **Alp-Himalaya kuşağında bulunan Türkiye** jeotermal kaynak açısından zengin bir ülkedir. **Ülkemiz yaklaşık 31500 MW'lık jeotermal potansiyele sahiptir.** Şekil 7.4'te Türkiye'de bulunan jeotermal alanlar görülmektedir. Ülkemizde jeotermal potansiyelin en yüksek olduğu bölgeler; Marmara, Ege ve Anadolu'nun iç batı kısımlarıdır.

1000'e yakın jeotermal kaynak

elektrik enerjisi açısından verimli olan 11 jeotermal bölge



Şekil 7.4 Türkiye jeotermal alanları (Kılıç ve Kılıç, 2013)

- Ülkemizde jeotermal kaynaktan yararlanılarak gerçekleştirilen ilk ısı enerjisi kullanımı 1964'de Balıkesir-Gönen Park Otelinin ısıtılması ile başlatılmıştır. Sonraları aynı bölgede pek çok konut, sera ve otelin ısıtılması, tabakhanelerdeki sıcak su gereksiniminin karşılanması sağlanmıştır.
- Jeotermal alanların belirlenmesi ve kaynaklardan yararlanma ile ilgili çalışmaların en yoğun olduğu bölge Ege Bölgesi ve İzmir ilidir. İzmir'de 15 bine yakın konutun ısı enerjisi jeotermal kaynaklardan sağlanmaktadır (Anonim, 2012d).
- 2000 sonrasında Türkiye'de jeotermal enerji üzerine yapılan çalışmalar hızlı bir şekilde artmıştır. Jeotermal enerji ile ilgili çalışmalar 1962'den bu yana MTA (Maden Tetkik ve Arama) tarafında yürütülmektedir. Ülkemizde jeotermal uygulamaların büyük çoğunluğu doğrudan kullanımdır. Bu kapsamda termal turizm, seraların ısıtılması ve konutların merkezi ısıtılması uygulamaları yer almaktadır.



- Türkiye’de 1000’e yakın jeotermal kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde teknik ve ekonomik olarak elektrik enerjisi açısından verimli olan 11 jeotermal bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler; Aydın-Germencik (232 °C), Manisa-Salihli Göbekli (182 °C), Çanakkale-Tuzla (174 °C), Aydın-Salavatlı (171 °C), Kütahya-Simav (162 °C), İzmir-Seferihisar (153 °C), Manisa-Salihli-Caferbey (150 °C) Aydın-Yılmazköy (142 °C), İzmir-Balçova (136 °C) ve İzmir-Dikili (130 °C)’dir (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- 2016 Şubat** itibariyle Ülkemizde **21 jeotermal elektrik santrali** bulunmaktadır. Bu santrallerin toplam kapasitesi **635 MW**’dır. Bu santrallerden 2014 yılında 2251794 kWh’lık enerji sağlanmıştır. Türkiye’nin en büyük jeotermal santrali 115 (162.3) MW gücündeki Aydın’da bulunan Efeler Jeotermal Enerji Santralidir (<http://www.enerjiatlası.com/jeotermal/>)

### 2016 kasım

#### Jeotermal Enerji Santralleri Profili

<b>Aktif Santral Sayısı :</b>	31
<b>Kurulu Güç :</b>	775 MWe
<b>Kurulu Güce Oranı :</b>	% 1,01
<b>Yıllık Elektrik Üretimi :</b>	~ 4.192 GWh
<b>Üretimin Tüketime Oranı :</b>	% 1,61
<b>Şebeke Bağlantısı :</b>	31 var, 0 yok

S.	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
1)	Efeler Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Aydın	Güriş Holding	115 MW (162.3 MW)
2)	Kızıldere 2 Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Denizli	Zorlu Enerji	80 MW
3)	Pamukören Jeotermal Santrali	YEKDEM Aydın	Çelikler Enerji	68 MW
4)	Galip Hoca Germencik JES	YEKDEM Aydın	Güriş Holding	47 MW
5)	Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Manisa	Zorlu Enerji	45 MW
6)	Maren Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	44 MW
7)	Dora 3 Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Aydın	MB Holding	34 MW
8)	Greeneco Jeotermal Enerji Santrali	Denizli	Greeneco Enerji	26 MW
9)	Enerjeo Kemaliye Santrali	Manisa	Enerjeo Kemaliye Enerji Üretim	25 MW
10)	Deniz Jeotermal Enerji Santrali	YEKDEM Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	24 MW

## 7.3 Jeotermal Enerjinin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

- Jeotermal enerji; reenjeksiyon koşuluyla sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Potansiyel açısından dünyanın şanslı ülkelerinden biri olan Türkiye için jeotermal enerji pek çok üstünlük sağlamaktadır. Bu özellikler şöyle sıralanabilir:
- Jeotermal enerji pek çok sektördeki ısı uygulamaları için olumlu şartlar sağlamaktadır.
- Temiz enerji kaynağıdır. Herhangi bir çevreye zararlı emisyonu yoktur.
- Enerjide dışa bağımlı Ülkemiz için önemli bir enerji kaynağıdır.
- Konvansiyonel enerji kaynaklarına göre daha ucuz ve kullanıma hazırdır.
- Kaynağın bulunduğu yerde üretim tesislerinin kurulabilme kolaylığı vardır ve tesis alanı gereksinimi azdır.
- Hava şartlarından bağımsızdır.
- Herhangi bir risk faktörü olmadığından güvenilir bir enerji kaynağıdır (Çiçek, 2012).
- Jeotermal elektrik santrallerinin sera gazı salımı çok düşüktür. Jeotermal santrallere göre kömürle çalıştırılan termik santrallerde karbondioksit salımı 1600 kat daha yüksektir. Doğal gaz santralleri ise, jeotermalin en az 2000 katı daha fazla karbondioksit emisyonuna sahiptir (Ataman, 2007).
- Jeotermal enerjiden elde edilen elektriğin birim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuzdur. Jeotermal enerji ile çalışacak elektrik santrallerinin ilk kurulum maliyeti yüksek olsa da işletme maliyetinin düşük olması ve kullanılan kaynağın herhangi bir maliyetinin olmaması ekonomik getirisinin diğer santrallere göre yüksek olmasını sağlamaktadır (Anonim, 2006a).

- Jeotermal akışkanın sahip olduğu **mineraller su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır** (Ataman, 2007). Jeotermal akışkanın yerin alt tabakalarında çevrimiyle, tabakalarda bulunan minerallerin çözülmesi ve suyun kirlenmesi, suyun kullanıldığı yerlerde de toprak kirliliği ve tuzlanma oluşabilmektedir. Tüketilen jeotermal suyla birlikte yeraltında su çekilmesi ve üst yüzeylerde de su tutma kapasitesinin azalarak suyun daha derin yüzeylere inmesi söz konusu olabilmektedir (Uğurlu, 2006).
- Jeotermal enerji kaynaklarının kullanım sürecinde alınması gereken tedbirlerin gerçekleştirilmediği durumlarda birtakım **çevre sorunları** yaşanabilmektedir. Örneğin sıcaklık ve gürültü gibi çevre sorunlarının yanı sıra jeotermal sıvının içerisinde bulunan, cıva, arsenik, kurşun, lityum, amonyak gibi kimyasal atık maddeler ciddi çevre sorunlarına neden olabilmektedir (Akova, 2008). Jeotermal enerjinin kullanımıyla ilgili diğer bir olumsuzluk ise, bu enerji **kaynağının yerinde kullanılması gerekli olup, uzak mesafelere taşınmasının sınırlı oluşudur**. Günümüzde jeotermal enerji, yaklaşık 100 km'lik mesafeye kadar taşınabilmektedir (Gülay, 2008; Adıyaman, 2012).

## 7.4 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

- Jeotermal kaynaklar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Su yoğunluğuna göre, buhar yoğunluğuna göre ve en sık kullanılan sıcaklık değerine göre sınıflandırma gibi. **Sıcaklık derecesine göre jeotermal kaynaklar** üç grupta incelenmektedir. Bunlar;
- **Düşük sıcaklığa sahip sahalar (20-70 °C),**
- **Orta sıcaklığa sahip sahalar (70-150 °C),**
- **Yüksek sıcaklığa sahip sahalar (150 °C'den yüksek)'dir (Adıyaman, 2012).**
- Ekonomik ve teknolojik özellikler dikkate alındığında; **düşük ve orta sıcaklıktaki jeotermal alanlar ısı uygulamaları için** kullanılmaktadır. **Yüksek sıcaklıktaki alanlarda bulunan akışkandan ise; esas elektrik üretimi yanında entegre tesislerle ısı uygulamaları** şeklinde de yararlanılmaktadır. Ayrıca orta sıcaklıktaki akışkandan yararlanılarak elektrik üretiminin yapıldığı sistemler de bulunmaktadır.



- Genel olarak **jeotermal enerji kullanımı** iki grupta toplanmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2013):
- **Doğrudan kullanım:**
  - a. Endüstriyel amaçlı kullanım,
  - b. Isıl amaçlı kullanım.
- **Dolaylı (elektrik enerjisi üretimi) kullanım.**
- Jeotermal enerjinin kullanıldığı alanlar kaynaktaki akışkan sıcaklığına bağlı olarak Çizelge 7.1'de görülmektedir.
- Dünyanın 45 ülkesinde termal turizm şeklinde jeotermal kaynaktan yararlanılmaktadır. Termal turizm içerisinde; kaplıcalar, spa merkezleri, termal kür merkezleri, banyo- yüzme uygulamaları yer almaktadır. On ülkede tarımsal ürün kurutma uygulaması ve Amerika, İsviçre, Japonya, İzlanda ve Arjantin'de de yollarda kar çözme çalışmalarında jeotermal kaynaktan yararlanılmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- Jeotermal akışkandan endüstriyel uygulamalarda da yararlanma olanağı bulunmaktadır (Çizelge 7.2).

- **Çizelge 7.1** Jeotermal enerjiden yararlanma olanakları (Lindal Divagramı) (Kılıç ve Kılıç, 2013)

Sıcaklık (°C)	Jeotermal Akışkanın Kullanım Alanları
180°C	Elektrik enerjisi üretimi, amonyak absorpsiyonu ile soğutma, yüksek konsantrasyonda buharlaştırma, kağıt sanayi
170°C	Elektrik üretimi, ağır su ve hidrojen sülfid prosesleri, diatomik malzeme kurutma
160°C	Konvensiyel güç üretimi, kereste ve balık kurutma
150°C	Konvensiyel güç üretimi, Bayer yöntemi ile alüminyum eldesi
140°C	Konvensiyel güç üretimi, tarım ürünlerinin hızlı kurutulması
130°C	Konvensiyel güç üretimi, şeker rafinasyonunda buharlaştırma
120°C	Distilasyon ile temiz su eldesi, tuz elde edilmesi, şeker sanayi, damıtma prosesleri
110°C	Çok yönlü buharlaştırma, yün yıkama ve kurutma, çimento kurutulması
100°C	Meyve, sebze ve küspe kurutma
90°C	Hacim ısıtılması
80°C	Lityum bromür yöntemi ile soğutma
70°C	Endüstri proses suyu
60°C	Sera, ahır, kümes ısıtılması
50°C	Mantar yetiştirme
40°C	Toprak ısıtma
30°C	Yüzme havuzları, turizm, sağlık amaçlı banyolar
20°C	Balık çiftlikleri

- **Çizelge 7.2** Jeotermal enerjinin endüstriyel kullanım alanları (Kılıç ve Kılıç, 2013)

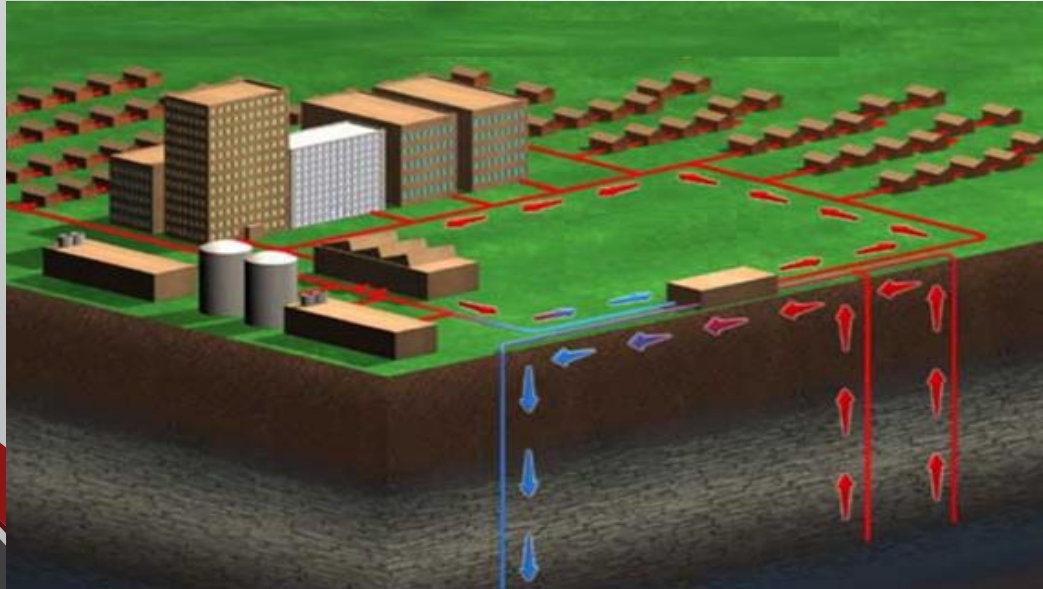
UYGULAMA	SICAKLIK (°C)	DURUM
- Konut Isıtması	50-80	Ülkemiz ve Dünyada Yaygın Kullanım
- Kimya Endüstrisi NaHCO <sub>3</sub>	120	Potansiyel Kullanım
* Boksitten Alüminyum	150	Potansiyel Kullanım
* Desalinasyon	120	Pilot Tesis, Şili
* Kükürt Madenciliği	120	Potansiyel Kullanım
* Beton Proses ve Kurutma	110	İzlanda'da Tesis
* Diatomit Kurutması	170	İzlanda'da Tesis
* Karbondioksit	100	Ülkemizde
* Jeotermal Sudan Yan Ürün	120	Borik Asit, Lityum, Arsenik
- Petrol Rafinasyonu	175-250 (%20)	Potansiyel Kullanım
	150-175 (%40)	
	125-150 (%40)	
- Gıda Prosesi		
* Kurutma	120-140	Potansiyel Kullanım
* Şeker Rafinasyonu	130	
- Kağıt Endüstrisi	175-200 (%70)	Tesis, Yeni Zelanda
	150-175 (%30)	
- Tarım		
* Ekin Kurutma	60	Tüm Dünyada
* Sera	60	Dünyada ve Ülkemizde
* Balık Üretimi	20	Japonya' da Tesis

- Jeotermal akışkandan yararlanılarak kimyasal madde üreten ülkeler örnek olarak Meksika, Filipinler, Japonya, Amerika ve İtalya verilebilir. Bu ülkelerde potasyum klorür, amonyum sülfat, döteryum oksit, amonyum bikarbonat ve borik asit gibi kimyasallar jeotermal akışkanlardan elde edilmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- 
- Jeotermal kaynağın dolaylı kullanım şekli elektrik üretiminde görülmektedir. Elektrik eldesi için; kaynaktan sondajlarla çıkarılmış yüksek sıcaklıktaki su, kuru ve yaş buhardan yararlanılmaktadır. Jeotermal santrallerde buhar türbinleri döndürerek jeneratörde elektrik enerjisi üretilmesini sağlamaktadır. Yaş buhar basıncı düşürülerek atık suyu alınmakta, kızgın kuru buhar ise direk olarak türbinlere gönderilebilmektedir. Çalışma sonrası kalan akışkan entegre tesislerde ısı amaçlı tekrar kullanılabilceği gibi, re-enjeksiyon işlemi de yapılabilmektedir.

# 7.5 Jeotermal Enerji Uygulamaları

## 7.5.1 Konut Isıtması (Merkezi Isıtma Sistemi)

- Jeotermal uygulamalarda en yaygın görülen kullanım konut ısıtmasıdır. Kaynaktan alınan jeotermal akışkan ekonomiklik durumuna bağlı olarak ısıtma işleminin uygulanacağı alanlara taşınmaktadır. Sistem merkezi ısıtma şeklinde de düzenlenebilmektedir.
- Jeotermal akışkanın taşınması özel izolasyonlu borular aracılığı ile yapıldığında  $0.1-0.3$  °C/km sıcaklık kaybı olmaktadır. Ekonomik ve teknolojik özelliklere bağlı olarak akışkanın kilometrelerce mesafeye taşınabilmesi de mümkün olabilmektedir (Çetin, 2014).
- Jeotermal akışkanın kullanıldığı bir merkezi ısıtma sistemi Şekil 7.5'de görülmektedir. Kuyulardan alınan akışkan ana hat üzerinden ısıtma işleminin yapılacağı merkeze gönderilmektedir. Burada eşanjörler yardımıyla akışkanın ısısı ısıtma sistemindeki sirkülasyon suyuna verilerek jeotermal akışkan kaynağına re-enjeksiyon edilmektedir. Aynı akışkanın farklı uygulamalar için de kullanılması olasıdır. Jeotermal akışkan yardımıyla ısıtılmış sirkülasyon suyu merkezden şebekeye verilerek pompalar yardımıyla konutlara iletilmesi ve binaların içerisinde dolaşımı sağlanmaktadır. Bu jeotermal kaynaklı sistem evlerde kullanılan kalorifer sistemlerine benzemekle birlikte en önemli farkı; jeotermal sistemin sürekli, kalorifer sisteminin ise kesintili çalışmasıdır (Anonim, 2012d).

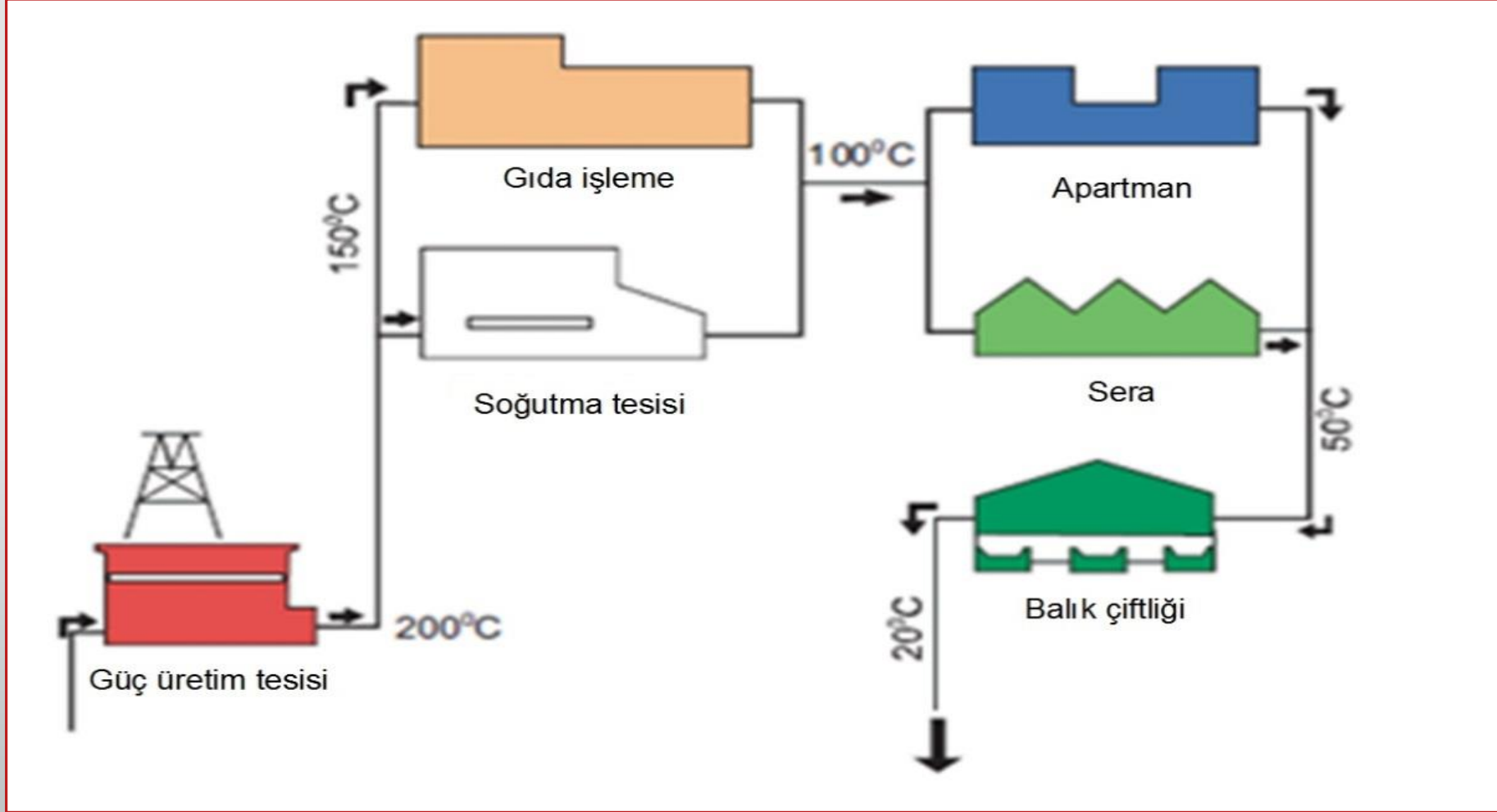


video1

Şekil 7.5 Jeotermal merkezi ısıtma sistemi (Anonim, 2012d)



Şekil 7.6'da jeotermal enerjiden çok amaçlı kullanımı sağlayan bir örnek gösterilmiştir. Burada jeotermal kaynaktan alınan  $200^{\circ}\text{C}$ 'deki akışkan ilk olarak gıda işleme ve soğutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu alandan çıkışta  $100^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa düşen akışkandan binaların ve seraların ısıtılmasında yararlanılmaktadır. Isıtma işlemi sonucu sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye düşen akışkan balık havuzlarına gönderilmektedir. Havuz çıkışında  $20^{\circ}\text{C}$ 'deki akışkan kaynağına bırakılmaktadır.

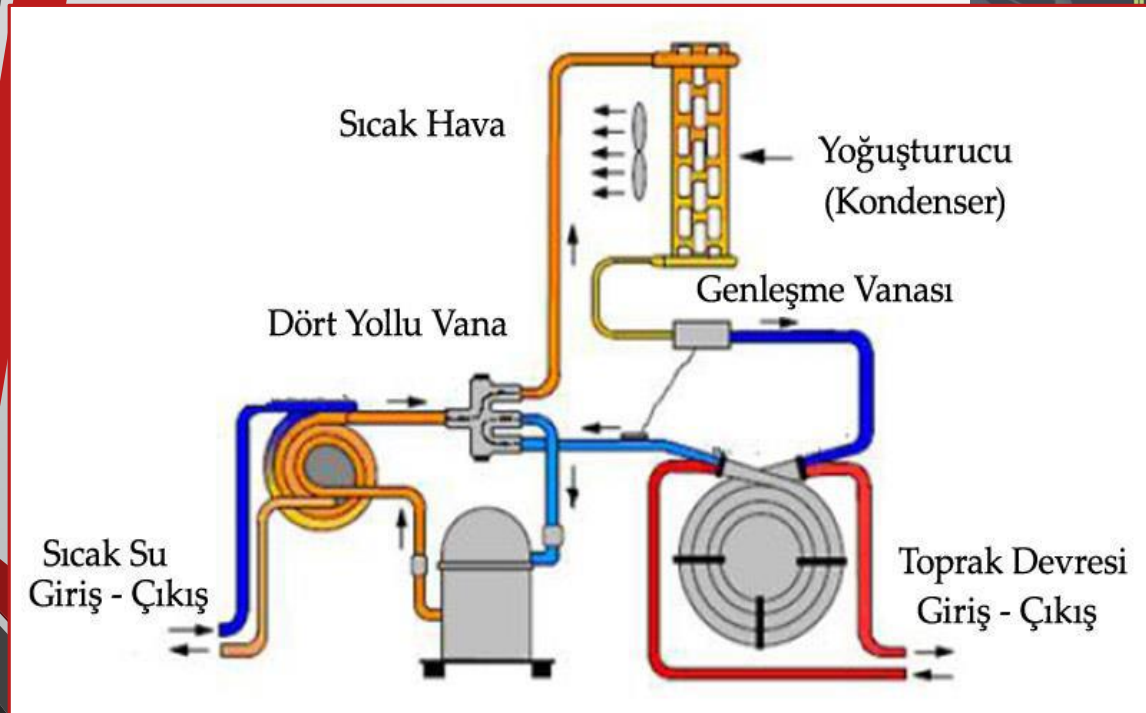


**Şekil 7.6** Jeotermal enerjinin çok amaçlı kullanım aşamaları (Turkenburg, 2013)

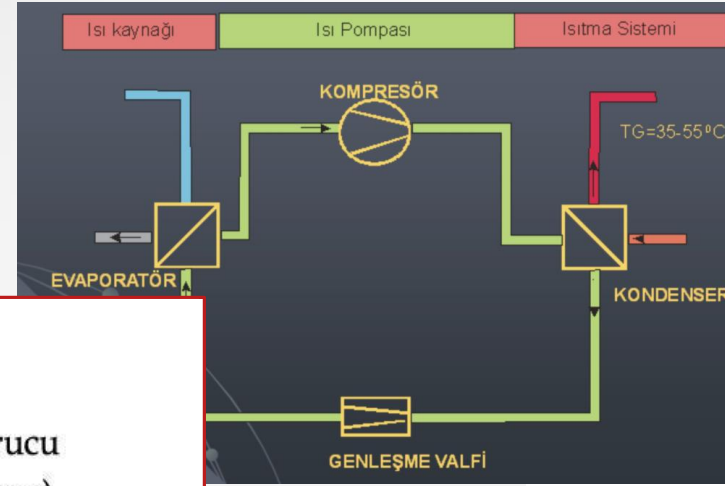
## 7.5.2 Yer ve su kaynaklı ısı pompası

- Jeotermal kaynaklı ısı pompasının (Ground Source Heat Pump) çalışması yeryüzünün alt katmanlarında derinliklere göre değişmekle birlikte katmanlarda sıcaklığın sabit olması prensibine göre gerçekleşmektedir. Bu tür ısı pompalarının dizaynında alandaki jeolojik ve hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesi önem taşımaktadır. Isı pompası uygulamaları iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir (Çetin, 2014):
  - 1. Düşük sıcaklıkta ve yeryüzüne çıkmış olan akışkan ısı taşıyıcı olarak kullanılmaktadır.
  - 2. Yerin alt katmanlarında yer altı suyu az olan yada bulunmayan kayaçların ısısından faydalanılmaktadır. Bu sistemlerde 100-200 m gerekirse kapasiteyi arttırmak için daha da derinlerde sondaj kuyuları açılmaktadır.

- Jeotermal kaynaklı ısı pompaları sıcak su eldesi, ortam ısıtılması yada soğutulması amacıyla kullanılabilir (Şekil 7.7, Şekil 7.8). Yeraltından elde edilen  $-5$  ve  $10$  °C sıcaklığı alarak  $35-55$  °C ye kadar ısı sağlayabilir. Sıcaklık aralığı ne kadar az ise enerji etkinliği daha iyi kabul edilir. Yazın soğutma, kışın ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir. Bu dönüşüme sahip ısı pompaları Avrupa'da sadece ısıtma amaçlı olmasına rağmen Japonya ve Kuzey Amerika'da hem soğutma hem de ısıtma amaçlı üretilmektedir (Çetin, 2014).



Şekil 7.7 Yer kaynaklı ısı pompasının (a) çalışma prensibi ve (b) ısıtma amaçlı çalıştırılması (Çetin, 2014)



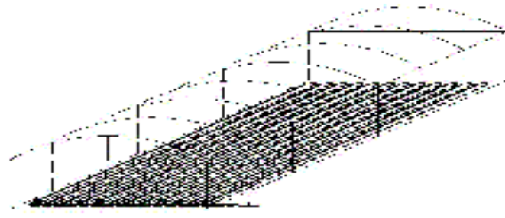
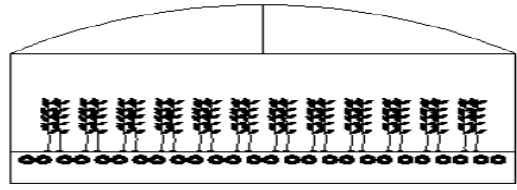
Şekil 7.8 Yer kaynaklı ısı pompasının soğutma amaçlı çalıştırılması (Çetin, 2014)

## 7.5.3 Sera Isıtması

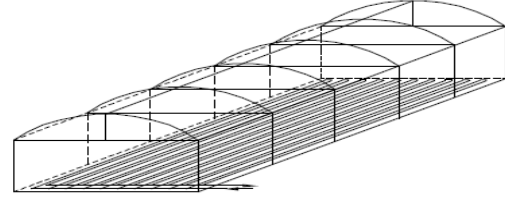
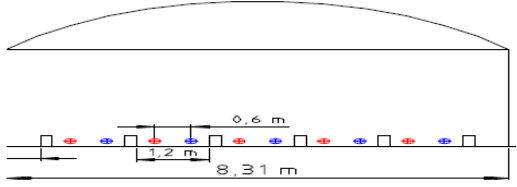
- Jeotermal kaynaktan yararlanılarak seraların ısıtılması Ülkemizde de yaygın uygulanan çalışmalardan birisidir. Bu sistemler seralarda kullanılan ısıtma sisteminin yapısına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 7.9). Bu sistemler;
- **Toprağın ısıtıldığı sistemler,**
  - **Sera zeminine yerleştirilmiş sistemler,**
  - **Havanın ısıtıldığı sistemler,**
  - **Isıtılan havanın fanla taşındığı sistemler,**
  - **Kombine sistemlerdir (Anonim, 2012d).**

Jeotermal akışkandan sera ısıtılması için en uygun kaynaklar; **25-60°C** arasındaki düşük sıcaklıklı, derin olmayan yüzeysel kaynaklardır. Bu kaynakların kazı, işletme, pompalama ve bakım maliyetleri daha düşük olmaktadır. Bu uygulamada dikkat edilmesi gereken önemli bir özellik de jeotermal akışkanın içeriğindeki kimyasal bileşenlerdir. Bu bileşenler korozyona neden olabilmektedir. Bazı durumlarda sera içerisinde normal su dolaşımını sağlanarak jeotermal akışkanın ısı dolaşım suyuna da aktarılabilir (Anonim, 2012d).

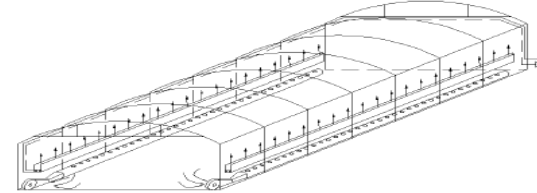
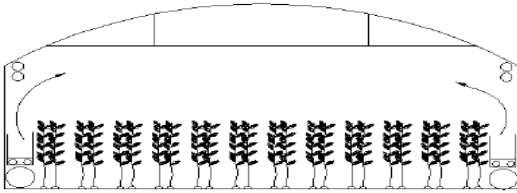




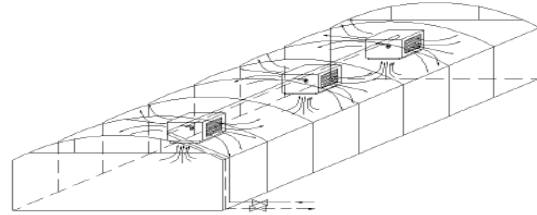
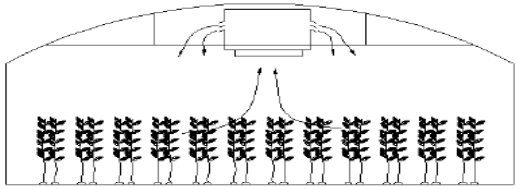
a) Toprak ısıtma sistemi



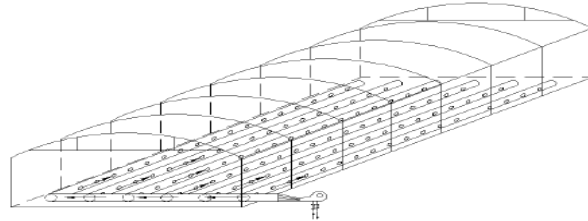
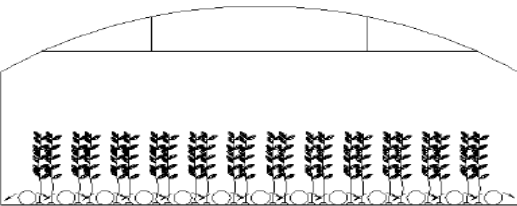
b) Sera zeminine yerleştirilen ısıtma sistemi



c) Zorlanmış hava akımı ve konvektörle ısıtma sistemi



d) Fan ve konvektör üniteleriyle hava ısıtma sistemi



e) Dağıtma kanallarıyla hava ısıtma sistemi

**Şekil 7.9** Jeotermal enerjiyle sera ısıtma sistemleri (Anonim, 2012d)

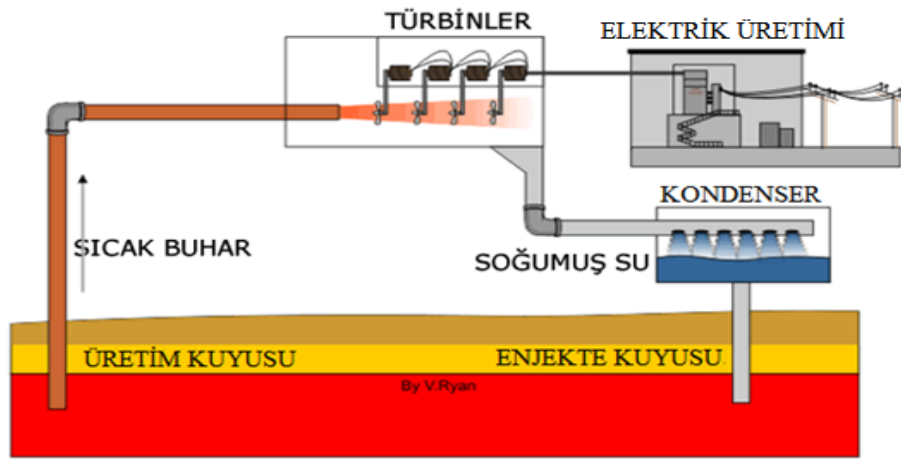
## 7.5.4 Jeotermal enerjiden elektrik üretimi

- Jeotermal enerji santralleri, **termik santrallerdeki buhar türbinlerine benzer şekilde** çalışmaktadır. Bunlarda akışkan çevrime girmektedir; termik enerji santrallerinde ise çeşitli yakıtlar kullanılmaktadır. Jeotermal elektrik üretimi akışkanın özelliklerine göre üç ayrı sistemde gerçekleştirilmektedir:
- **1. Kuru buhardan elektrik üreten santraller:** En basit santrallerdir. Kızgın buhar sıcaklığı yaklaşık **1500 °C**'dedir. Buhar direk olarak türbinlere verilmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- **2. Yaş buhardan elektrik üreten (flaş buhar) santraller:** Kaynaktan alınan akışkanın seperatörlerden geçirilmesiyle basıncı düşürülür ve **buhar-su ayrılır**. Buhar türbinlerde elektrik üretimi için kullanılır (Çetin, 2014). Bu tip üretim için akışkan sıcaklığının en az **1800°C** olması gerekir. Çürük buhar santrali de denilen bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2013).
- **3- Binary cycle (iki elemanlı çevrim) santralleri:** Günümüzde en yaygın kullanılan ve **düşük sıcaklıklarda çalışabilen jeotermal** santrallerdir. Yaklaşık **570 °C'nin altındaki** sıcak jeotermal akışkan ikinci bir akışkanın ısıtarak buharlaştırılmasını gerçekleştirir. Buharlaşan ikinci akışkan türbinlerde kullanılır (Kılıç ve Kılıç, 2013).

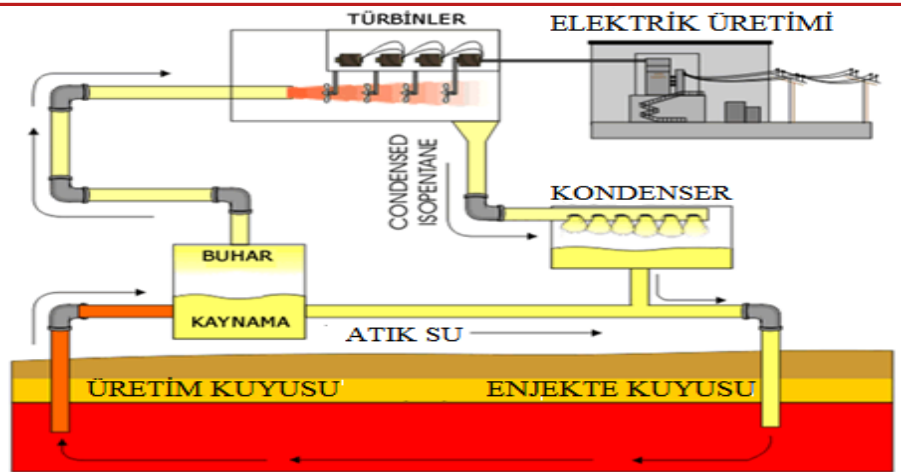
- Kuru buhardan elektrik üreten bir santralin çalışması Şekil 7.10'da şematize edilmiştir. Bu santraller Japonya, Endonezya, ABD- Geysers ve İtalya-Larderello'da doymuş veya kuru buhar üretilerek çalıştırılmaktadır.

Yer altından çıkarılan akışkan çoğunlukla buhar halinde değil, doymuş buhar-sıvı şeklindedir (Şekil 7.11) Karışım halindeki akışkan içerisinde buharın miktarı fazla ise buharın ayrıştırılması yapılır ve ayrılan su kaynağa geri gönderilir. Buhar miktarının düşük, sıvı miktarının yüksek olduğu jeotermal akışkan ise püskürtmeli buhar çevriminde kullanılır. Bu amaçla kısılma vanaları kullanılmaktadır. Püskürtme işlemi sonunda, basıncın düşmesiyle jeotermal sıvınının bir kısmı buharlaşır, bunun yanında akışkanın sıcaklığı da düşer (Anonim, 2012d).

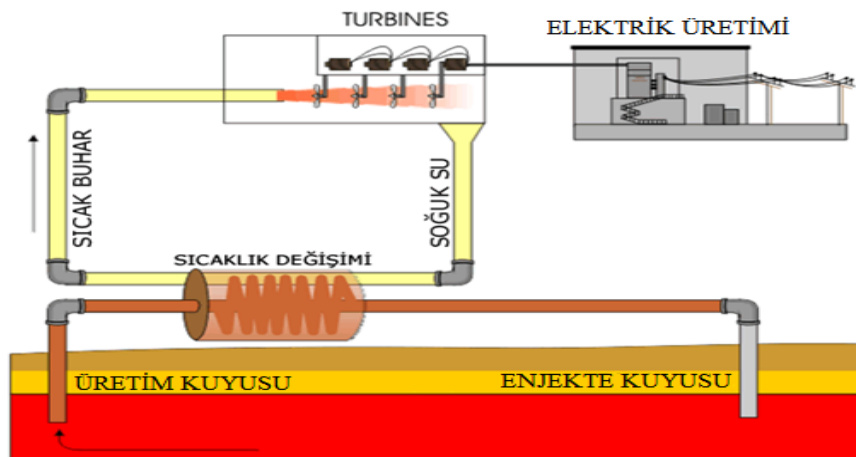
Şekil 7.12'de basit bir ikili çevrim (Binary cycle) jeotermal elektrik santrali şeması görülmektedir.



Şekil 7.10 Kuru buhardan elektrik üretimi (Anonim, 2012d)



Şekil 7.11 Çift kademeli buharlaştırma (Anonim, 2012d)



Şekil 7.12 İkili çevrim santralleri (Anonim, 2012d)