

JEOTERMAL SANTRALLARIN AKIŞKAN TOPLAMA, TAŞIMA VE GÜVENLİK TESİSATLARI

Cihan ÇANAKÇI
Cankır Kurd ÖZDEMİR

ÖZET

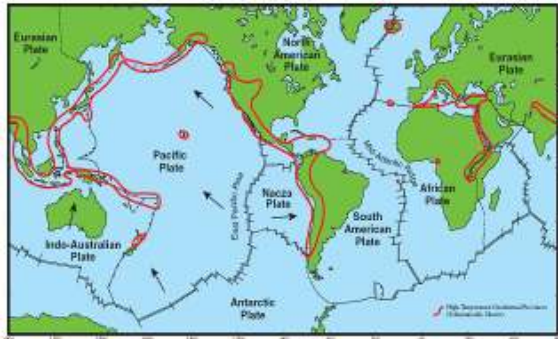
Bu çalışmada; jeotermal santrallerde elektrik üretiminin ana kaynağı olan akışkanın çıkış noktasından türbin girişine kadar olan güzergahta kullanılan taşıma ve güvenlik tesisatları incelenmiştir. Her bir tesisat birimi için kısa bilgiler verilmekte olup uygulamalar, detayları, sahada karşılaşılan zorluklar derlenerek bir örnek çalışma oluşturulmuştur. Sonuçta; jeotermal elektrik santrallerinde akışkanın taşınmasında kullanılan kuyu başı tesisatı, boru hatları, kondensatörler, güvenlik tesisatlarını genel akademik ve yerinde uygulama açısından inceleyen bir başvuru kaynağı elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji birçok kaynakta farklı şekillerde tasvir edilebilmektedir. ASHRAE Uygulamalar El Kitabı, jeotermal enerjiyi basit bir şekilde şöyle ifade eder: "Dünya kabuğundaki termal enerji, kaya ve fay, gözenek ve boşlukları dolduran akışkanın (içinde birçok çözülmüş element bulunduran su, buhar çamur) sahip olduğu termal enerji".

Jeotermal enerjinin aranması, bulunması ve kullanımı çok disiplinli bir konudur. Jeotermal enerji ile ilgili çalışan jeolog, jeofizik, kimya, makine mühendisleri vb birçok mühendislik kollarına mensup çalışanlar uydu fotoğrafları, jeolojik haritalar, kimyasal analizler, fiziksel analizler, yerçekimi ve manyetik değişim analizleri gibi derin araştırmaların içinde bulurlar. Fakat bunlara rağmen hala en kesin çözüm rezervuarda bir kuyu delinmesidir.[1]

En sıcak jeotermal bölgeler volkan ve depremlerin de çoğunlukla yer aldığı plaka sınırlarındadır. En aktif jeotermal saha ateş çemberi olarak bilinen Endonezya, Filipinler, Japonya, kuzey Amerika, güney ve orta Amerika tarafından sınırlanan bölgede yer almaktadır.



Şekil 1. a) jeotermal alanlar b) jeotermal elektrik santralleri

Plaka hareketleri, volkanik aktiviteler ve iç kesimlerdeki enerjinin yüzeye yaklaşmasına neden olur. Jeolojik yapı ve yeraltında bulunan akışkan müsait ise iletim ve taşınım ile yüzeye yaklaşan bu enerji yeryüzüne taşınabilir[2]. Şekil 1'de önemli jeotermal alanlar ve elektrik üretim santralleri gösterilmektedir.

Sadece bulunduğu yöreye özel olan jeotermal enerji çıkarıldığı noktada sıcaklığı ve kimyasal yapısına bağlı olarak birçok uygulama kullanılabilir. Elektrik üretimi, bina ve alan ısıtması, endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere, kimyasal eldesi, sera ısıtması, soğutma, su kültürü gibi farklı uygulamalara da kaynak teşkil etmektedir [2].

Jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanılması Tuscany- Larderello'da 1904 yılında ilk denemenin ardından gelişme göstermiştir. Bu rakam 1980'li yıllarda 2390 MW düzeylerine çıkmış, gelişen teknoloji ve malzeme teknikleri ile 12.000 MW sınırlarını zorlamaktadır. Bu hızlı artışın en büyük sebeplerinden biri jeotermal enerjinin çevre dostu olması yatmaktadır.

2. JEOTERMAL ELEKTRİK SANTRAL ÇEŞİTLERİ VE TESİSAT BİLEŞENLERİ

Tuscany – Larderello sahasında 1904 yılında, Prince Piero Ginori Conti ilk jeotermal elektrik üretimini gerçekleştirmiştir. Bu ilk jeneratör fabrikasındaki ampulleri yakma amaçlı kullanılmıştır. 1905 yılında bu sistemi 20 kW'a çıkarmıştır.[3]



Şekil 2. a) 1904 yılındaki ilk santral b) 2006 yılındaki ilk Türkiye'deki özel elektrik santrali

Çıkarılan jeotermal akışkanın haline bağlı olarak elektrik üretmek için farklı çevrimler kullanılır. Türbinin bir enerji kaynağını dönü hareketine çevirmesi için buhar kullanılır. Anılan buharın direk rezervuardan gelen akışkan olması durumu yada kullanılan akışkanın farklı olması durumuna göre elektrik santralleri ikiye ayrılır. Kullanılan ikili akışkanın kaynama noktası daha düşük olduğu için kısmen düşük sıcaklık rezervuarlarda kullanılabilir. Bu durumda ısı değiştiriciler birincil akışkan ile ikili akışkan arasında ısı transferini sağlarlar[3].

- Direk buhar (Direct steam plants)
- Flaş buhar (Flash steam plants)
- İkili akışkan (Binary plants)

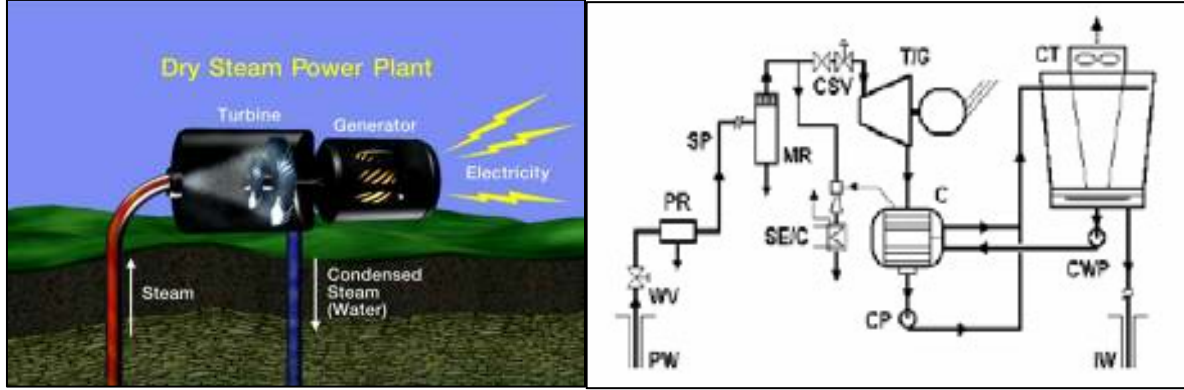
2.1 Direk Buhar Santralleri (Direct-Steam plants)

Buhar etken rezervuarlarda kuru, doymuş ya da aşırı ısınmış buharın direk olarak türbinde kullanıldığı çevrimlerdir. En basit ve en ekonomik jeotermal çevrim yoğunlaşmaz kuru buhar çevrimidir (Şekil 1). Bu çevrimde, jeotermal kuyudan çıkarılan buhar bir türbinden geçtikten sonra atmosfere atılır. Türbinin çıkışı doğrudan atmosfere açık olduğundan buhar, türbini atmosfer basıncında terk eder.

Bu çevrimin avantajı kondenser olmadığı için santralin yapım ve işletme masraflarının kondenserli santrallere göre daha az olmasıdır.

Buhar bir boru hattı ile türbin odasına gelir ve direk olarak türbine verilir. Kuyu başlarında katı parçaların akışkandan ayrılması için seperatörler kullanılabilir. Ayrıca buhar hatlarında kondens ve drenaj kanalları bulunmalıdır. Türbin güvenliği için en son noktada son pislik tutucu kullanılır.

Direk buhar çevrimli bir santrale ait akım şeması ve bir fotoğraf Şekil 3'te gösterilmektedir.

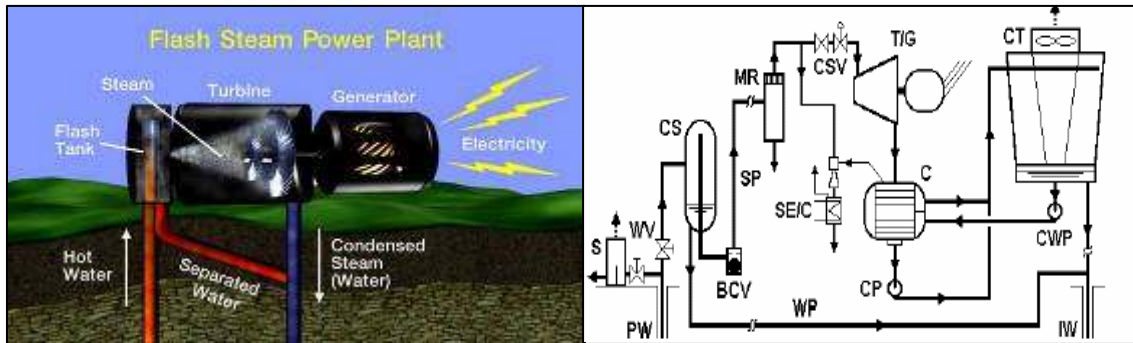


Şekil 3. Direk buhar çevrimi (seperatörler gösterilmemiştir) [1]

2.2 Flaş buhar Santralleri (Flash Steam Plants)

En sık karşılaşılan rezervuar tipi iki fazın da beraber bulunduğu rezervuarlardır. Özellikle artezyen kuyularda su ve buhar karışımına rastlanır. Çıkarılan jeotermal akışkan genellikle doymuş sıvı-buhar karışımıdır. Bu durumlarda buhar yüzdesi yeterince yüksekse buhar sıvıdan ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilirken kalan sıvı yeraltına enjekte edilir.

Buhar yüzdesinin düşük olduğu veya jeotermal akışkanın tamamen sıvı fazında olduğu durumlarda püskürtmeli buhar çevrimleri kullanılır. Püskürtme odasında jeotermal akışkanın basıncı düşürülür. Yeraltında çıkarılan jeotermal akışkanın sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda püskürtme işlemi birden fazla tekrarlanabilir. İlk püskürtmeden sonra elde edilen buhar türbine gönderildikten sonra kalan sıvının basıncı veya sıcaklığı hala yüksek ise bu sıvı ikinci bir püskürtme havuzunda tekrar püskürtülür (Şekil 4).



Şekil 4. Flaş buhar elektrik santrali basit akım şeması,[3]

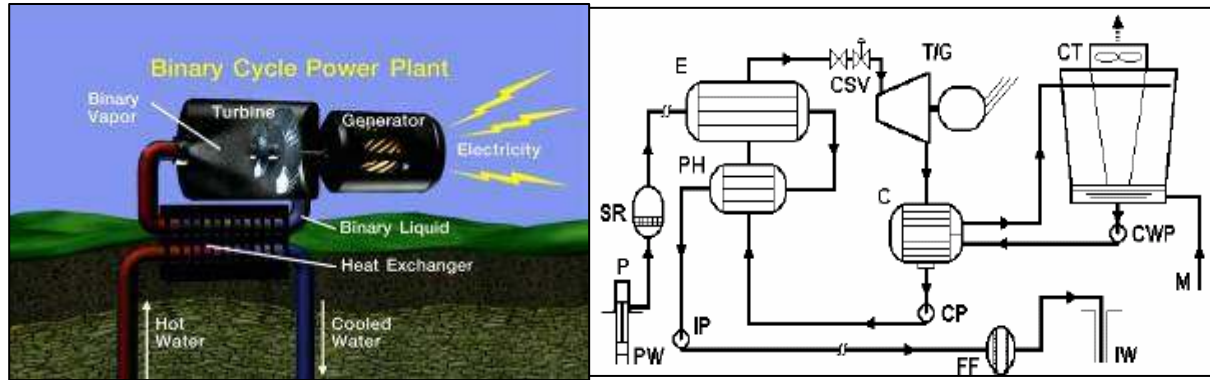
2.3 Çift Akışkanlı Santraller (Binary Plants)

Düşük sıcaklıkta (genellikle 150°C 'nin altı) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ikili çevrim diye adlandırılan bir çevrim kullanılır (Şekil 5). Bu çevrimde türbinden geçen aracı akışkan jeotermal buhar değil fakat ikili akışkan adı verilen ve kaynama sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığından çok daha düşük olan bir akışkandır. Jeotermal akışkan santralin hareketli parçalarına temas etmez sadece çevrimin ısı kaynağını oluşturur.[5] Önemli bir tarihi not: tarihte ilk santraller ikili akışkanlı çevrimlerdir. 1900'lü yıllarda korozyon ve malzeme problemleri nedeniyle kullanılan ilk ikili akışkan temiz su olmuştur[3].

İkili akışkanın seçiminde birçok alternatif vardır. Kapalı çevrim (Organik Rankine Cycle-ORC) termodinamik olarak doğru akışkan seçimi en önemli kriterdir. Bu seçimde güvenlik ve işletme maliyetleri de göz ardı edilmemelidir. İzobütan, İzopentan, pentan ve R-114, jeotermal ikili çevrim santrallerinde yaygın olarak kullanılan ikili akışkanlardır.

Eğer ikili akışkan (su ve amonyak yada lityum bromür gibi) karışım olarak seçilirse (Kalina Çevrimi) buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları değişken olacaktır. Toplam sistem veriminde yükselmeye neden olan bu çevrimde kontrol sistemi daha karışık bir hal almaktadır. [3].

İkili akışkanlı bir çevrime ait şematik çizimler Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Çift akışkan çevrimli şematik akış diyagramı[6]

Tablo 2. Diyagramlar için kısaltmalar

BCV - ball check valve	Küresel vana	C - condenser	Kondenser
CP - condensate pump	Kondens pompası	CS - cyclone separator	Siklon seperatör
CSV - control and stop valves	Kontrol vanası	CT - cooling tower	Soğutma Kulesi
CW - cooling water	Soğutma kulesi	CWP - cooling water pump	Soğ. Su pompası
E - evaporator	Buharlaştırıcı	F - flasher	Flaş
FF - final filter	Son Filtre	IP - injection pump	Enjeksiyon Pompası
IW - injection wells	Enjeksiyon kuyusu	M - make-up water	Takviye su
MR - mositure remover	Çamur uzaklaştırıcı	P - well pump	Kuyu Pompası
PH - preheater	Ön ısıtıcı	PW - production wells	Üretim Kuyusu
R - recuperator	Rekuperatör	S - silencer	Susturucu
SE/C - steam ejector/condenser	Buhar enjektörü/kondenser	SH - superheater	Kızdırıcı
SP - steam piping	Buhar borusu	SR - sand remover	Kum filtresi
T/G - turbine/generator	Türbin/Jeneratör	TV - throttle valve	Kelebek Vana
WP - water piping	Su Borusu	WV - wellhead valves	Kuyubaşı vanası

3. JEOTERMAL MEKANİK TESİSAT BİLEŞENLERİ

Kullanılan çevrime bağlı olmakla birlikte genel tesisat bileşenleri Tablo 3'te verilmektedir. Fiziksel hasarların meydana gelmesinde en önemli tesisat bileşenler kuyu ve bağlantılı olan boru tesisatlarıdır.

Tablo 3. Jeotermal elektrik santrallerin ana ekipmanları [3].

Ekipman	Kuru Buhar	Tek Flaş	Çift Flaş	İkili Binary
Buhar ve veya akışkan temini				
Kuyuyu Pompası	Yok	Yok (Belki)	Yok (Belki)	Var(Belki)
Kuyubaşı vanası ve kontrol vanası	Var	Var	Var	Var
Susturucu	Var	Var	Var	Yok
Kum partikül uzaklaştırıcı	Var	Yok	Yok	Var
Buhar Borusu	Var	Var	Var	Yok
Buhar siklon filtresi	Yok	Var	Var	Yok
Flash tankı	Yok	Yok	Var	Yok
Termal su borusu	Yok	Var	Var	Var
Termal Su Pompası	Yok	Belki	Belki	Belki
Son çamur separatörü	Var	Var	Var	Yok
Isı Değiştiriciler:				
Buharlaştırıcılar	Yok	Yok	Yok	Var
Yoğuşturucular	Var (Yok)	Var (Yok)	Var	Var
Türbin –Jeneratör & Kontrolleri:				
Buhar Türbini	Var	Var	Var	Yok
Organik Buhar türbini	Yok	Yok	Yok	Var
Çift Giriş Türbini	Yok	Yok	Var	Yok
Kontrol sistemi	Var	Var	Var	Var
Santral Pompaları:				
Kondens	Var (Yok)	Var (Yok)	Var	Var
Soğutma Kulesi	Var (Yok)	Var (Yok)	Var	Var
Termal su enjeksiyon	Yok	Yok (belki)	Var (Yok)	Var
Yoğuşmayan gaz uzaklaştırma sistemi:				
Buhar jet atıcıları	Var	Var	Var	Yok
Kompresör	Belki	Belki	Belki	Yok
Vakum pompası	Belki	Belki	Belki	Yok
Soğutma Kuleleri:				
Islak tip	Var (Yok)	Var (Yok)	Var	Belki
Kuru tip	Yok	Yok	Yok	Belki

Var = Genellikle kullanılan; yok = genellikle kullanılmayan

Belki = bazı koşullar altında kullanılan

3.1. Kuyu Başı Tesisatları

Buhar ve akışkan temini sistemleri içinde kuyu başı sisteminin yerleşimi ve projelendirilmesi önem arz etmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere kuyu başı tesisatında oluşacak gerilmeler, uzamalar göz önüne alınarak projelendirilmelidir. Aksi takdirde uzama flanş bağlantılarının açılmasına, buhar ve su kaçağına neden olacaktır.



Şekil 6. Bir Kuyubaşı sistemi aksel kompansatör ve casing borusunun uzaması.

Kuyubaşı yerleşim planı, ileride kuyuda yapılması olası temizlik ve bakım işlerine müsaade edecek şekilde tasarlanmalıdır. Tesisatların sökülüp tekrar monte edilmesi hem işgücü hem de maliyetli olacağından kuyuya bir sondaj aracının yaklaşık takım indirecek mesafede yaklaşım sınırları belirlenmeli tesisatlar buna göre organize edilmelidir.



Şekil 7. Bir kuyubaşı sistemi yerleşim planı.

3.2. Boru Hatları

Jeotermal enerji ile ilgili, ister doğrudan ister dolaylı kullanım olsun, boru tesisatı tesislerdir. Boru hatları tıkanma, korozyon, ısıl gerilmeler, kaynak hataları, yalıtım eksikleri, malzeme hataları boru hattının güvenliğini direkt tehdit eden unsurlardır. Jeotermal enerji üretim sistemlerinde boru hatları ısının üretim sistemleri içinden ve jeotermal uygulamalara taşınması amacıyla döşenirler. Bir güç üretim sistemi içindeki boru hatları, herhangi bir fosil yakıtla çalışan bir enerji üretim biriminden farklı değildir.

Boru hattı güzergâhının yerleştirilmesi aşağıdaki sistematikte gerçekleştirilir.[7]

- Sahanın coğrafik özelliklerini ortaya çıkarmak için hava fotogrametresi uygulanır. Kontur haritalarıyla birlikte bir ön güzergâh ile üretim donanımlarının yer seçimi yapılır.
- Boru hattındaki akışkan kimyası, sıcaklık ve basıncı su taşımaya uygun boru malzemesi seçilir.
- Boru hattı güzergâhı analitik ve inşaat işlerini azaltacak ve dolayısıyla da maliyeti düşürecek şekilde seçilir.
- Ön seçimi yapılan hat üzerinde bir ön gerilim analizi çalışması yapılmalı ve genişleme dirsekleri ile sabitleyicilerin yerleri belirlenmelidir.

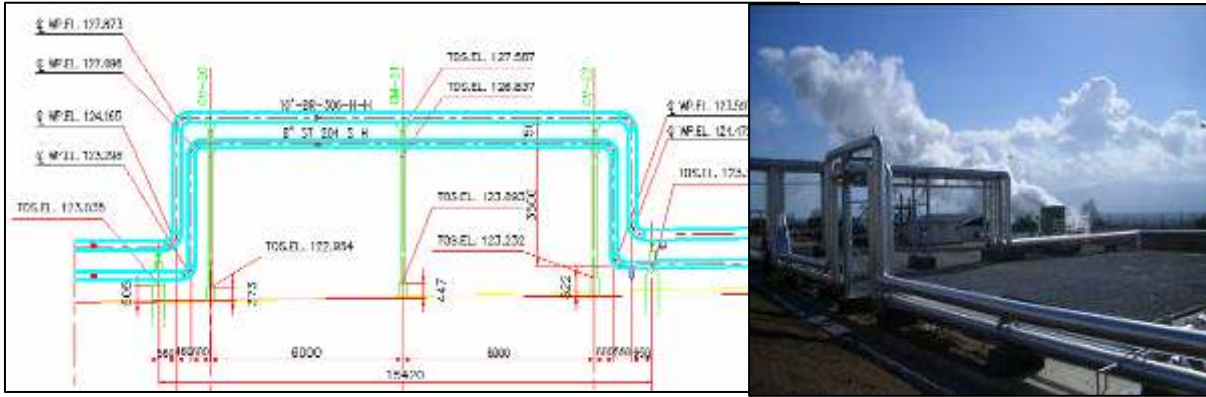
- Belirlenen bu hat üzerinde topoğrafik çalışma yapılır ve son aşama olan döşeme yöntemi, için projeler hazırlanır. Boru eğimleri belirlenir, kondens ile buharın aynı yönde akışına dikkat edilir.
- Tasarım yükü belirlendikten sonra boru çapı, sürtünme basınç kayıpları, pompalama gereksinimleri belirlenir.

3.2.1. Boru Hattı Malzemesi

Jeotermal uygulamalarda akışkan genellikle agresiftir. Kullanılan tüm ekipmanların teknik özelliklerinin yanı sıra malzeme özellikleri de önem kazanmaktadır. Teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı termal akışkan ile çalışacak ekipmanın malzeme açısından seçiminde tam anlamıyla uygun malzeme bulmak kolay olmaz. Bu nedenle, belli bir malzemenin artıları ve eksileri dikkate alınarak seçim yapılır. Jeotermal enerji üretim donanımları malzemesinin seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınmaktadır.

- Korozyon,
- Erozyon,
- Mukavemet,
- Isıl genleşme ve ısı iletkenlik,
- Bulunabilme,
- Maliyet verimliliği.

Karbon Çeliği: St37 çelik malzemeden imal edilen genellikle büyük çaplarda spiral kaynaklı borular iç ve dış tesisatlarda ekonomikliği nedeniyle en çok kullanılan borulardır. Bu tip borular kaynakla birleştirilir ve ara birleşme yerleri izole edilerek dış ortamdan korunur. Çelik borulardaki en büyük dezavantaj sıcaklık ile oluşan genleşme ve bunun sonucu boru hattında meydana gelen gerilmelerdir. Bu gerilmelerin alınması amacıyla özel imal edilmiş kompensatörler ya da doğal genleşme elemanları (L,Z,U parçaları) kullanılır. Ayrıca çelik borular hidrolik hesaplamalarda pürüzlü boru olarak kabul edilir ve ortalama pürüzlülük 0.045 mm 'dir.



Şekil 8. Çelik borularda uygulanan bir U genleşme parçasının imalat resmi

Boru Çapı Hesabı: Boru çapları esas olarak akışkanın basınç ve hızı yanında sermaye maliyetine göre belirlenir. Düşük hızlar basıncı düşürürken maliyeti artırır, yüksek basınçlar ise yatırım maliyetini düşürürken. İşletme maliyetini artırır. Bu nedenle bir optimizasyon çalışması yapılmalıdır.

Boru çaplarının belirlenmesinde mühendisler tarafından çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Hatta, bazen doğru dürüst hesap yapılmadan, boru çapı seçilmektedir. Böylece, bir yandan ekonomik olmayan tasarım gerçekleşmekte, öte yandan da boru hattından istenen kapasitenin sağlanmasında önemli riskler ortaya çıkmaktadır. Aşağıda, uygulanan ve önerilen bazı yöntemler kısaca açıklanacaktır.

Tesis planlamalarında genelde “ekonomik” akış hızının standart değerleri veya izin verilen basınç gradyanlarından yola çıkılabilir. Tablo 4’te değişik akışkanlar için akış hızının seçimiyle ilgili önerilen değerler gösterilmiştir. Akış hızının çok yüksek seçilmesi, basınç kaybının ve böylece işletme giderlerinin artmasına yol açar. Bu, tesisin kullanımı boyunca önemli bir harcama demektir. Diğer bir deyişle, şayet akış hızı az seçilirse, daha küçük çaplı bir boru kullanılacaktır. Bu durum, malzeme, yalıtım, imalat, montaj ve boru taşıtırma giderlerinin önemli ölçüde artması demektir.

Tablo 4. Buhar hatları için önerilen ekonomik hız değerleri.

AÇIKLAMA		HIZ(m/s)
Düşük basınç	<10 bar	15-20
Orta basınç	10-40 bar	20-40
Yüksek basınç	40-125 bar	30-60
Buhar hattı (Turbo pompalar)		10-15

Literatürde basınç kaybının belirlenmesi için sayısız çalışmalar ve hatta büyük tesisler için önemli bir çabanın gerektiği her bir hesaplama şekli için çeşitli hesaplama yöntemleri mevcuttur. Bazı işletmelerde basınç kaybının bilinmesi durumunda boru çapı E 1 yardımıyla hesaplanabilir. Bununla beraber, gerçek uygulamada deneyimli tasarım mühendisi boru hattının boyutlandırılması için, büyük tesisler için bile, kısa bir çalışma yapar. Bu çalışmanın hızı, hesaplarda bulunan bir karakteristikten, başka bir deyişle basınç kaybının (Δp), iç çapın (D_i) beşinci üssüyle orantılı olmasından dolayı kısadır.

Böylece, belirli herhangi bir borulama sistemindeki bir çap için basınç kaybı belirlendiği zaman, bu basınç kaybını beşinci üssün oranıyla diğer çaplara eşit olarak dağıtmak mümkündür. Sürtünme katsayısındaki (f) değişiklikler, çeşitli standart boru çapları için ihmal edilebilir. Ancak, tam iç çapları kullanılmalıdır.[8]

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{E.1}$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{for } Re \leq 2100 \text{ (la min ar flow)} \quad Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{for } 5000 \leq Re \leq 10^8 \text{ (turbulent flow) and } 10^{-4} \leq \frac{e}{D} \leq 10^{-2}$$

Burada;

- H : Basınç kaybı, m
- V : Akış hızı (m/s)
- Q : Debi
- g : Yer çekimi ivmesi (9,81 kg.m/s²)
- f : Sürtünme katsayısı
- L : Boru uzunluğu, m

3.2.2.Boru Kanal Hesabı

Borular, çok çeşitli ve büyük toprak yüklerine maruz kalmaktadırlar. Bu yükler altında düşey çaplarının %20’si oranında küçülüp yatay çaplarının %20’si oranında büyümedikçe gerçek bir çökmeden bahsedilmez. Ancak iç kaplama malzemesinin borudan ayrılması ve mekanik birleştirme noktalarının su sızdırmaması yönünden deformasyonların sınırlı tutulması gerekir. Bir kanal içindeki borulara gelen yükler iki başlık altında incelenebilir:

Toprak yükleri: Kazılmış kanallar içine boru yerleştirildikten sonra üstünün tekrar doldurulması ile oluşan dolgu yüküdür. Bir metre boru üzerindeki toprak yüküne ilişkin hesaplama E 2'de verilmektedir.

$$P_0 = C \cdot \gamma \cdot D \cdot B \quad \text{E 2}$$

Burada;

- Po : Toprak yükü (N/m)
 C : Toprak yükü katsayısı
 γ : Toprak Özgül ağırlığı (N/m³)
 B : Hendek genişliği, m
 D : Boru dış çapı, m

Hendek için C katsayısı

$$C = \frac{1 - e^{-2K\mu \frac{H}{B}}}{2K\mu} \quad \text{E 3}$$

- H : Dolgu yüksekliği, m
 B : Hendek Genişliği, m

K : Dolgu hendek çeperleri arasında sürtünme katsayısı $K = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$ Tablo 5

- φ : Toprak içi sürtünme katsayısı

Tablo 5. Topraklar için zemin yoğunluk ve sürtünme katsayısı.

Zemin Türü	Özgül Ağırlık N/m ³	Φ	K	M
Kireçli	19600	18°	0,53	0,33
Kuru Killi	15700	22°	0,45	0,41
Nemli Killi	19600	12°	0,65	0,21
Kuru Gevşek Toprak	12750	12°	0,65	0,21
Kuru Sıkışık Toprak	17200	15°	0,59	0,26
Dağınık Toprak	15700	31°	0,32	0,60
Çok Kompakt Toprak	18150	32°	0,31	0,62
Nemli Sıkışık Toprak	19600	33°	0,29	0,65
Çakıllı	17200	25°	0,40	0,47
Kumlu Çakıl	16700	26°	0,39	0,49
Kuru İri Killi	15700	14°	0,61	0,25
Nemli İri Killi	20700	22°	0,45	0,41
Çamur	15700	25°	0,40	0,47
Çakıl Taşı	17200	37°	0,25	0,75
Kuru Kum	14700	31°	0,32	0,60
Sıkışık Kum	17200	33°	0,29	0,65
Nemli Kum	18700	34°	0,28	0,67
İri Çakıllı	15700	37°	0,25	0,75

Trafik yükü: Borular üzerine binen toprak yüküne ek olarak, sürekli ve aralıklı yükler söz konusudur. Bu yüklerin hesaplanmasında Boussinesq formülü kullanılmaktadır. E 4

$$P_t = \frac{3 \cdot Q_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

E 4

Burada;

P_t : Trafik yükü (N/m)
 Q_t : Tekerlek yükü (N)
 D : Boru dış çapı (m)
 H : Dolgu Yüksekliği (m)

Tablo 6. Taşıt tekerlek yükü değerleri

Sınıflar	Toplam Yük (kN)	Tekerlek Başına Maksimum Yük (kN)
Ağır Trafik	600	100
Orta Trafik	450	75
Orta Trafik	300	50
Hafif Trafik	120	20
Hafif Trafik	60	20
Otomobil	30	10

Boruların kum yastıklaması ile ısıl genleşmelerden doğan flambaj etkisi giderilmiş olur. Ayrıca boru ile toprak arasındaki sürtünme kuvveti de borunun uzamasına engel olarak doğal kompanzasyona yardımcı olacaktır.

3.2.3. Boru Açıklığı, Sabitleyicileri ve Mesnetler

Boru destek ve askılarının statik halde ve işletme esnasında ortaya çıkabilecek bütün yük ve gerilmelere dayanabilecek şekilde tasarımının yapılması gereklidir. Boru hatlarında desteksiz olan açıklık ne kadar fazla olursa o kadar tasarruf yapılabilir. Bunu kontrol eden en önemli parametre, borunun periyodik yüklere tepkisidir. Boru açıklığının doğal frekansı, sismik ve rüzgar yükünün rezonans frekansına karşı kontrol edilir. Bu frekans, büyük sorunları önlemek için sismik ve rüzgar frekanslarından büyük olmalıdır. Normal olarak olayı sismik kontrol eder ve tipik sismik periyot 0.1 sn'dir. Boru açıklığı, izin verilen eğilme gerilmesi ve sapmaya karşı da kontrol edilmelidir. İçinden su geçen borular için boru açıklığına bağlı oluşan gerilmeler literatürde çeşitli diyagramlar halinde bulunabilir.

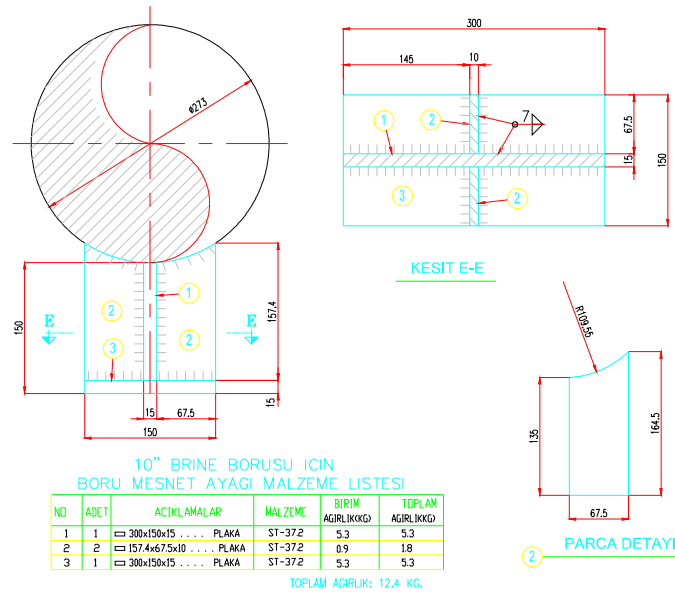
Tablo 7. Çelik borularda destekler arası maksimum yatay açıklık (mm).

DN	150	200	250	300	350	400	450	500
Su dolu boru	5150	5750	6700	7000	7600	8200	8500	9150

Çeşitli yükler altında boruyu yere güvenli bir şekilde bağlamak için kullanılırlar. Bu amaçla dijit ve esnek sabitleyiciler kullanılır. Sabitleyici pozisyonları, ısıl genleşme dolayısıyla oluşan sabitleyici kuvvetleri birbirini nötrleyecek şekilde belirlenir.

Mesnetler belirlenen aralıklarla boruyu taşımak üzere kullanılırlar. Değişik mesnet tiplerinin kullanım yerleri aşağıda verilmektedir:

- Düşey destek için Y tipi mesnet kullanılır.
- Yanal hareketleri sınırlamak için kılavuz (Gudde) mesnetler kullanılır.
- Eksenel hareketi engellemek için Y ve kılavuz mesnetlerle birlikte hat durdurucu (Lice stop) mesnetler kullanılır.
- Kuyu başlarının uzamasına karşın, yüzey donanımlarını koruyabilmek amacıyla ve boruya destek için, yukarıya doğru sabit kuvvet sağlayan sabit yük desteği (constant weight support) kullanılır.
- Sismik ve dinamik yüklerin önemli olduğu yerlerde bunları sönmölemek amacıyla şok emiciler (shock absorber) kullanılır.



Şekil 9. DN 250 boru sabit detayı

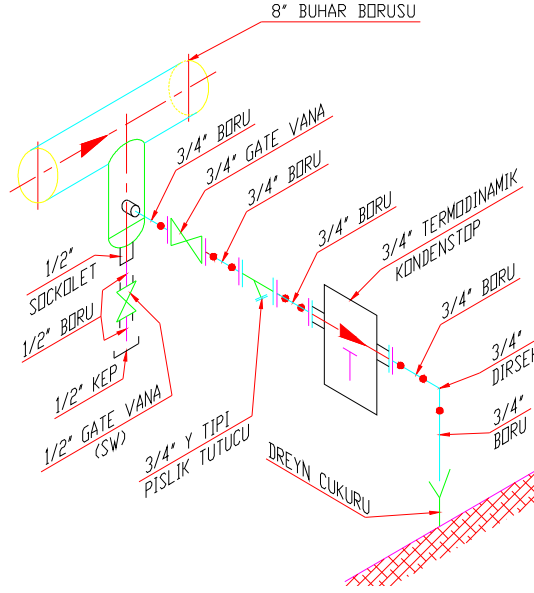
3.2.4. Birleştirme ve Kaynak

Çelik borular kaynak işleminde ilk önce kök argon dolgu selülozik daha sonra da selülozik yada bazik elektrot uygulanmaktadır. Bunun başlıca nedeni rutil elektrot ile yapılan kaynak dikişlerinin korozyona mukavemetinin az olmasıdır. Yapılan kaynağın röntgen çekimi yapılarak kaynak kalitesi belirlenebilir. Ayrıca dış yüzeyde 2 mm derinliğe kadar uygulanabilen penetrant ve manyetik testlerde kaynak dikişi hakkında istenilen bilgiyi yüzeysel de olsa verebilmektedirler. Kaynak işlemini müteakip bölüm bölüm veya tüm hatta hidrolik teste tabii tutulur.

Borular mümkün olduğunca yuvarlanarak yatay pozisyonda kaynak edilir. Üst üste gelen pasolarda ark tutuşturma ve elektrot bitim noktaları aynı çevresel pozisyonda olmalıdır. Çok pasolu kaynakta her pasodan sonra curuf, sıçrıntı ve diğer yabancı maddeler dikkatle temizlenmelidir. Kök paso üstü diğer pasodan önce taşlanmalıdır.

3.2.5. Kondens Uzaklaştırma Sistemleri (Kondenstop)

Uzun buhar hatlarında sıcaklığın ve basıncın düşmesi neticesinde bir miktar yoğunlaşma olması kaçınılmazdır. Oluşan kondensin boru hatlarına zarar vermemesi için hattan uzaklaştırılması gerekmektedir. Jeotermal buhar hatlarında termodinamik tip kondenstoplar iyi izole edilmeleri durumunda en uygun çözüm olmaktadır.



Şekil 10. DN 250 Boru kondenstop bağlantı detayı.

3.3. Seperatörler

Flaş buhar yöntemini kullanarak suyun içerisinde erimiş halde bulunan gazların ayrıştırılmasını sağlayan ekipmanlardır. Belirli bir basınç altındaki su doyma basıncının altındaki bir basınca genişletilirse açığa çıkan enerji sayesinde sıcak su içerisindeki gazlarla beraber buharlaşır. Bu buhara flaş buhar denir. Örneğin 7 bar basınçtaki kondensin entalpisi 721.4 kJ/kg'dır. 0 bar basınçteki doymuş suyun entalpisi 419 kJ/kg'dır. Eğer 7 bar basınçtaki kondens 0 bar basınçta serbest bırakılırsa $721.4 - 419 = 302.4$ kJ/kg değerinde bir enerji açığa çıkar. Bu enerji suyun bir kısmını buharlaştırır. 0 bar buharın buharlaşma entalpisi 2257 kJ/kg'dır. Buna göre $302.4/2257 = 0.134$ 'dür. Netice olarak 7 bar'dan 0 bar basınca indirilen suyun %13.4'lük bir kısmı buharlaşmaktadır. Şekil 14.'de daha düşük basınçlara indirilen suyun buharlaşma oranları verilmiştir.

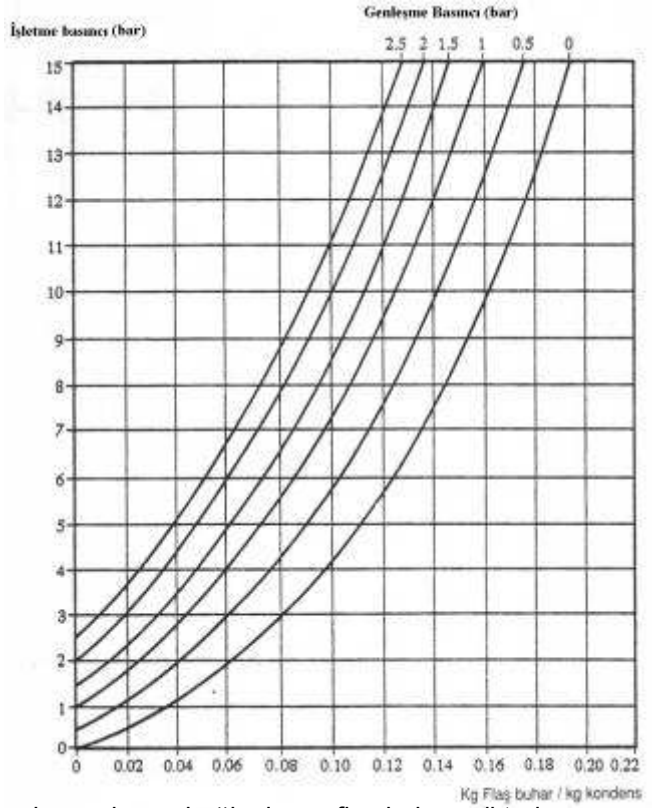
3.4. Güvenlik Tesisatları

Sıcak malzeme teması, ekipman arızası, düşme, kuyuda yapısal değişiklikler, su koçu, korozyon, termal gerilmeler bu tesisatlar için risk teşkil etmektedir. Gerekli mühendislik önlemleri alınarak bu riskler en alt düzeye indirilmelidir.

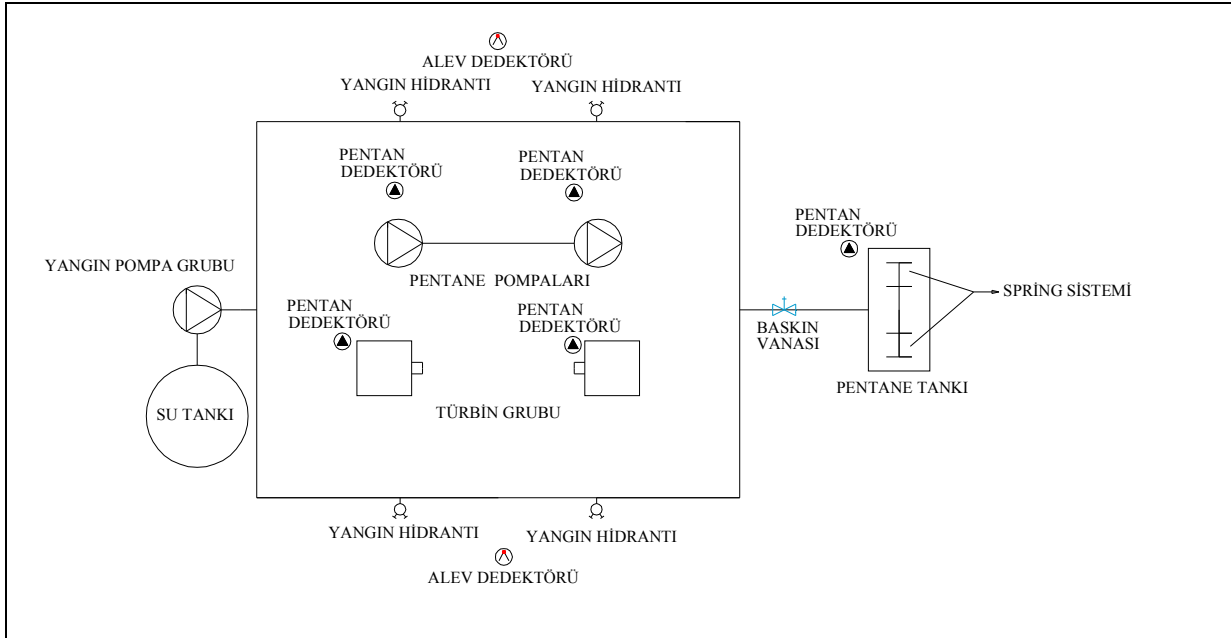
- Kritik tesisat çit, uyarı işaretleri ve geçiş kontrolü ile koruma altına alınması
- Boru hattı uzunluğu minimize edilmesi
- Yerüstü yada gömülü boruların karşılaştırılması ve uygun olanın seçilmesi
- Yerleşim alanlarına, yollara yakınlık belirli mesafelerde tutulması
- Zemin etütleri yapılması
- Yangın güvenlik sisteminin kurulması

Dikkat edilmesi gereken hususlardır.

Şekil 12'te ikincil akışkan olarak pentan gazını kullanan bir santralde uygulanması gereken güvenlik sisteminin şeması verilmiştir.



Şekil 11. a) Jeotermal Seperatör b) İşletme basınçlarına bağlı oluşan flaş buhar miktarları



Şekil 12. Örnek bir elektrik santrali yangın güvenlik sistemi akım şeması.

Genelde ikili çevrimlerde kullanılan pentane gazı, yanıcı bir gaz olduğundan dolayı olası bir sızıntının belirlenmesi önem taşır. Pentan gazı havadan ağır olduğundan dolayı santral tabanına yayılır, bu yüzden pentan dedektörleri yer seviyesine monte edilir. En büyük sızıntı olasılığı olan bölgeler pentan pompaları, türbinler ve pentan tankı olduğu için dedektörler bu ekipmanlara yakın monte edilir. Alev dedektörleri algılama açısı ve mesafesine göre yine türbin, pentane tankı ve pentan pompalarını direk görecektir şekilde monte edilir. Pentan tankı üzerine spring sistemiyle ekstra koruma sağlanırken, suyun donma olasılığı olan bölgelerde spring sistemi öncesinde baskın vanası (deluge valve) kullanılması gerekmektedir. Ring dizaynında monte edilen yangın sisteminin hidrantları tüm santrali kapsayacak sayıda yerleştirilir. Dikkat edilmesi gereken bir başka konu da santralin konumudur. Çevresinden daha düşük kotta kurulumu gerçekleşen bir santralde, olası bir sızıntıda pentan gazı tamamen santral alanında birikmektedir. Bunun önlenmesi için genel rüzgar yönü belirlenip büyük çaplarda (Ø2000 – Ø3000) süpürme kanalları inşaa edilmeli ve pentanın santral sahasından tahliyesi sağlanmalıdır. Çekilecek olan elektrik kabloları ve iletişim kabloları, bunları pano ve vanalara bağlayan rekorlar olası bir arki engellemek için exproof olmalıdır. Santralin dışı, santrale en yakın uzaklığı 30 metre olacak şekilde güvenlik çiti ile çevrilmeli, ateşle yaklaşılmaması gerektiğini belirten panolar gerekli yerlere konulmalıdır.

İşletme aşamasında sistem içi güvenlik de büyük önem taşımaktadır. Dizayn sadece çalışma durumuna göre değil, hesaplanamayan ani basınç artım ve düşümlerinin sisteme zarar vermeyeceği şekilde yapılmalıdır. Santralin stabil çalışma koşulunu sağlamak için her ne kadar akümülatör tankı kullanılsa da kuyudan ya da sistemden kaynaklanan ani basınç artışlarında yeterli dengelemeyi sağlayamamaktadır. Gerek boruların gerek de eşanjör ve vanaların zarar görmesini engellemek için güvenlik drenaj hattının bulunması gerekmektedir. Emniyet vanalarının ani basınç artışların da büyük debileri geçirmede zorlanması, uzun süreli kullanımlarda jeotermal akışkanın korozif etkisiyle özelliğini yitirmesi nedeniyle rupture disc (patlama disk) kullanılması uygundur.

SONUÇ

Jeotermal elektrik santralleri hakkında özet bilgiler ile kullanılan tesisat bileşenlerinin tasarım kriterleri irdelenmiştir. Akışkan taşıma ve toplama sistemleri (Kuyubaşı tasarımı, boru hatları, kompanzasyon yöntemleri, kondensroplar, seperatörler) hakkında uygulamada karşılaşılan problemler anlatılmıştır. Tasarımcıya bir başvuru kaynağı oluşturmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] The Need Project, Secondary energy infobook, Retrieved January, 2005, from <http://www.need.org.robo.cop.fi/energy/geo/howit.htm>, Retrieved June, 2004.
- [2] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) Applications Handbook (SI), U.S.: ASHRAE Books & Store, (1991),
- [3] Di Pippo, R. Small geothermal power plants: Design, performance and economics, GHC Bulletin 1999, 1 – 8.
- [5] DESIDERI, U., BIDINI, G. "Study of possible optimization criteria for geothermal power plants". Energy Convers. Mgmt. (30), (1997),
- [6] www.geothermal.marin.org/GEOpresentation/sld059.htm
- [7] SERPEN, Ü.,2001"Jeotermal Enerjinin Doğası" Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, MMO yayın No:2001/270
- [8] ÇANAKÇI, C., "Jeotermal Bölge Isıtma Sistemleri: Balçova Örneği" Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Cihan ÇANAKÇI

29/01/1977 tarihinde Bursa'da doğdu. 2000 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2003 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji Bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarını tamamladı. 2000-2003 tarihleri arasında Balçova Jeotermal Enerji San. Ve Tic Ltd. Şti'nde proje müdürlüğü, 2004 yılında özel bir mühendislik şirketinde proje mühendisliği, 2005 yılında GC Jeotermal Müh. Ltd. Şti kurucu ortağı olarak çalıştı. 2006 yılında SFM&Hochtief FM şirketinde Proje Geliştirme ve Marketing departman müdürlüğü yaptı. Halen Nisan 2006'da kurduğu Pozitif Enerji Müh. Ltd. Şti ile enerji sektörüne proje, danışmanlık ve taahhüt hizmetleri vermektedir.

Cankır Kurd ÖZDEMİR

15/02/1979 tarihinde Ankara'da doğdu. 2001 yılında D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji A.B.D.'de yüksek lisans çalışmalarını tamamladı. 2001-2002 tarihleri arasında Balçova Jeotermal Enerji San. Ve Tic Ltd. Şti'nde proje mühendisi, 2002-2004 yıllarında İntek Pompa Ltd. Şti.'de proje mühendisi, 2004-2007 yılları arasında sırasıyla Aydın-Salavatlı Jeotermal Elektrik Santrali kurulumunda ve Denizli-Sarayköy Jeotermal Elektrik Santrali kurulumunda Sinerji Mekanik Ltd.Şti'nde şantiye şefi olarak çalıştı. Halen Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi 2007 revize projesinde şantiye şefi olarak görev yapmaktadır.