



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

**JEOTERMAL KAYNAK ÖZELLİKLERİNİ
KARŞILAYACAK TEKNOLOJİ
OPERASYONLARI
TECHNOLOGY OPTIONS TO MATCH
(GEOTHERMAL RESOURCE
CHARACTERISTICS)**

**GARY BYAK
GREG GIBBES
NORIAKI KITAGUCHI
TOSHIBA**



JEOTERMAL KAYNAK ÖZELLİKLERİNİ KARŞILAYACAK TEKNOLOJİ OPERASYONLARI

Gary BYAK
Greg GIBBES
Noriaki KITAGUCH

ÖZET

Bu rapor Türkiye'deki kaynak türüne ilişkin üst düzey bir özet sağlamak ve teknolojik seçeneklerle ilgili olarak özellikle flaş teknolojisi ve kombine flaşlı/ikili çevrim (flash/binary cycles) üzerinde odaklı anahtarlar sunmaktadır. Rapor bir buhar alanının kaynak sıcaklığı, basıncı, NCG (Non-condensable gas - Yoğuşmayan Gaz) değeri ve kimyasının çevrim konfigürasyonu seçimini nasıl etkilediğini özetlemektedir. Son olarak ise Alaşehir projesi santral konfigürasyonu ve yapımına ilişkin güncellemelerle ilgili bir özet sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: flash teknolojileri, kombine flash/binary (ikili) çevrim, taşınabilir kuyu başı türbin santrali.

ABSTRACT

This paper provides a high level summary of the type of resource in Turkey and provides an outline of the technology options with a specific focus on flash technology and combined flash/binary cycles. The paper outlines how the key resource characteristics of a steam field's resource temperature, pressure, NCG and chemistry affect the choice of cycle configuration. It concludes by providing a summary of the plant configuration for the Alaşehir project and update on its construction.

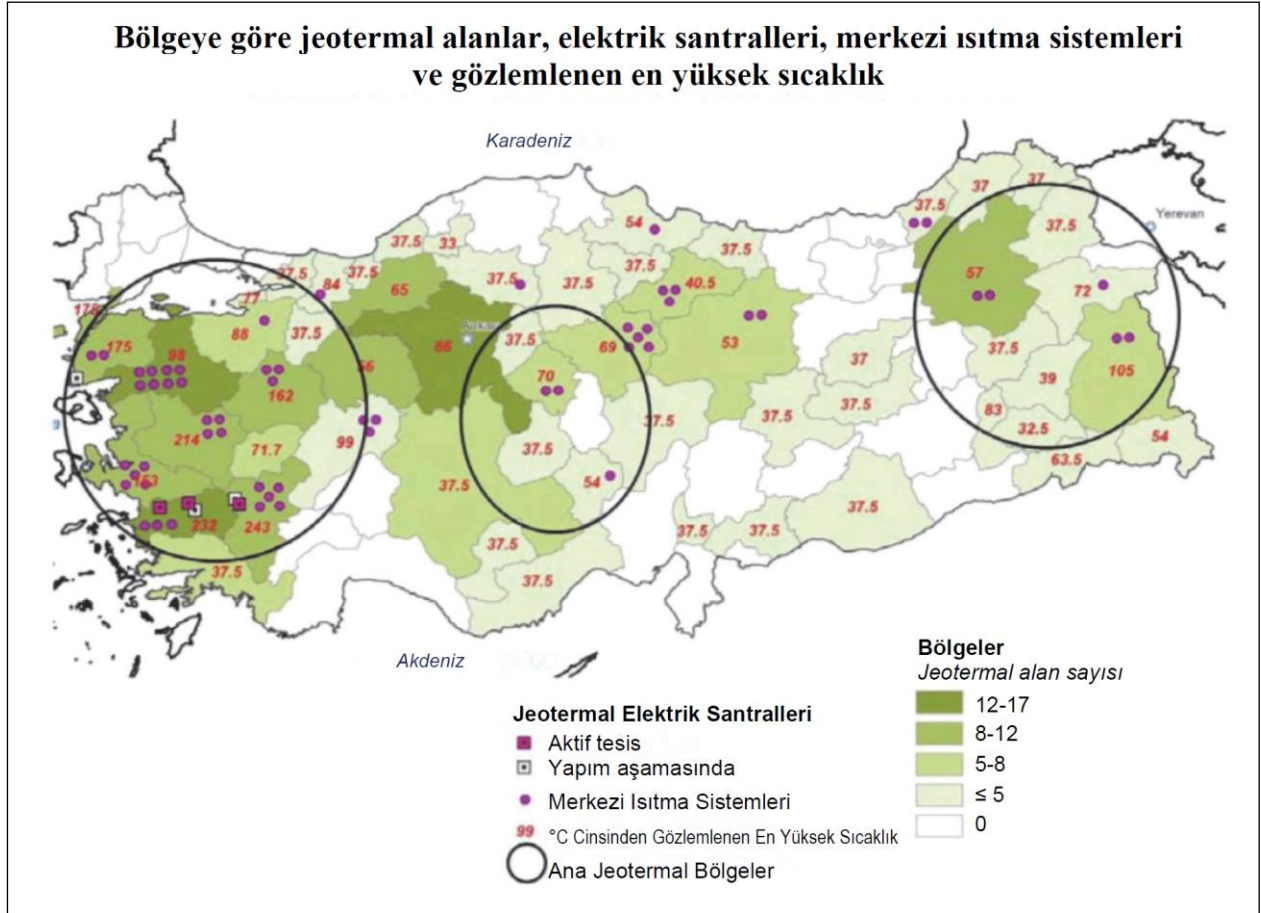
Key Words: flash technology, combined flash/ binary cycles, portable well-head turbine plant.

1. GİRİŞ: TÜRKİYE'NİN ENERJİ ÜRETİMİNE UYGUN JEOTERMAL POTANSİYELİNE GENEL BAKIŞ

Afrika ve Avrasya kıtasal çarpışmasının sonucu meydana gelen ve aktif bir sismik bölge olan Akdeniz Deprem Kuşağı'nda yer alan Türkiye, jeotermal kaynaklar açısından adeta kutsanmıştır.

Jeotermal alanlar ve doğal kaynakların çoğu, orta ve Doğu Anadolu volkanik bölgeleri kapsayan Kuzey Anadolu Fay Kuşağı boyunca uzanan Batı Anadolu genişleme bölgesindeki grabenlerde bulunmaktadır.

Aşağıdaki harita, her bir bölgede tanımlanan jeotermal alan sayısını ve bunların maksimum sıcaklıklarını göstererek Türkiye'nin jeotermal potansiyeline genel bir bakış sunmaktadır. Yapılan gözlemlere göre, ısı tutulumu yüksek ve orta düzeydeki jeotermal kaynaklar en fazla Türkiye'nin batısındaki bölgelerde yer almaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin orta ve doğu bölgeleri de ciddi sayıda orta ve düşük ısı tutumlu jeotermal kaynaklara ev sahipliği etmektedir.



Şekil 1. Bölgelere göre jeotermal kaynak istatistikleri, [1].

Korkmaz ve ark. kısa süre önce sıcaklığı orta ila yüksek düzeydeki ($T_{res} > 100^{\circ}\text{C}$) 38 sıcaklık alanını tanımlamış ve incelemiştir; bunlardan 7 tanesi 180°C 'nin üstünde, 10 tanesi ise 150°C ile 180°C arasındadır. Bilinen bu alanlar esas alındığında, orta ila yüksek sıcaklığa sahip alanlar, yaklaşık 2200MWe seviyesinde Türkiye'nin toplam jeotermal elektrik enerjisi potansiyelini oluşturmaktadır [2].

2. DÖNÜŞTÜRME TEKNOLOJİSİNE GENEL BAKIŞ

Jeotermal enerji projelerinde yaygın olarak kullanılmakta olan birçok dönüştürme teknolojisi bulunmaktadır. Bunlar genel olarak buharlı (veya flaşlı) enerji santralleri, ikili (binary) enerji santralleri veya kombine flaşlı-ikili santraller olarak sınıflandırılabilir.

2.1 Geri-basınçlı buhar türbini

Bir kondansatörden ziyade, türbinin egzoz basıncı atmosfer basıncına eşit veya daha yüksek olduğundan bu şekilde adlandırılmaktadır. Az miktarda ekstra ekipman gerektirdiğinden, bu en basit ve en ucuz dönüştürme teknolojisidir. Ancak, aynı zamanda en az verimli olandır. "Kuyu başı (well-head)" türbinler gibi erken geliştirme dönemleri veya buhardaki yoğunlaştırılmayan yüksek gaz içeriğinin kondansatörlü türbini verimsiz kılması durumunda kullanılır.

2.2 Tek-Flash Yoğuşturmalı

Tek bir bölmenin basıncından elde edilen buharla çalışan santral. Tek flaşlı enerji santralleri basit ve verimlidir. Tüm dünyada en yaygın jeotermal dönüştürme teknolojisidir [3]. Basitlik ve sadeliğin önemli olduğu veya silika çökmesi, ya da diğer etkenlerin çift flaşlı konfigürasyon kullanımını engellediği durumlar için uygundur. Buhardaki yoğuşturulamayan gaz miktarının (NCG) yüksek olduğu durumlar için uygun değildir.

2.3 Çift-Flash Yoğuşturmalı

Farklı basınç bölmeli/flaşlı iki buhar kaynağı ile çalışan santral. Çift flaşlı enerji santralleri, eşdeğer tek flaşlı santrallere göre %15-25 oranında daha fazla verim sağlayabilir. Aynı zamanda, enerji santralinin karmaşıklığı da bir şekilde artar. Bunlara ek olarak, daha düşük reenjeksiyon (tekrar basma) sıcaklıkları, tek flaşlı santrallere kıyasla silika çökmesi ihtimalini artırır. Ayrıca, üç flaşlı santraller de geliştirilmiştir.

2.4 Binary (İkili)

Isının eşanjörler vasıtasıyla jeotermal sıvıdan sağlandığı kapalı bir çevrimde ayrı bir aracı akışkan kullanan enerji santralidir. Bu çevrim sıklıkla Organik Rankine Çevrimi (ORC – Organic Rankin Cycle) olarak anılır. İkili (Binary) sistemlerde birçok farklı aracı akışkan kullanılmıştır ve özel durumlara uygun çevrim konfigürasyonları mümkündür ve tasarlanabilir. İkili sistemler genellikle kaynak sıcaklıklarının daha düşük olduğu, kuyuların serbest akış özelliğine sahip olmadığı veya flaşlı santrallerin başka nedenlerden dolayı uygun olmadığı durumlarda kullanılır [3]. İkili sistemler, yoğunlaştırıcı buhar türbinlerine kıyasla türbinin kompaktlığından yararlanır. Diğer yandan, ısı eşanjörleri (heat exchangers) ve besleme pompası gibi ekstra ekipman gerektirirler. Suyun az olduğu durumlarda ise yoğuşturma için sıcak ve kurak iklimlerde düşük yoğunlaşma performansı sağlayan hava soğutmalı kondansatör (ACC – Air-cooled Condenser) kullanılır.

2.5 Kombine Flash - Binary

Bazı durumlarda ikili bir çevrim ile flaşlı bir santrali birleştirmek, santral performansını önemli derecede artırabilir. Örneğin, ilk olarak flaşlı bir enerji santrali kurulabilir ve daha sonra, finansal durumlar elverdiğinde, flaş sürecinden deşarj olan sıcak tuzlu sudan yararlanmak için ikili bir çevrim eklenebilir. Diğer bir tipik kombinasyon ise egzozdan çıkan buhardaki enerjiyi kullanan ikili sistem ve geri basınçlı buhar türbini birleşimidir. Bu kombinasyon, buhardaki NCG (non-condensable gas – yogusmayan gaz) miktarı yüksek olduğunda, %100 tekrar basma gereken durumlarda veya modüler bir yaklaşım uygun olduğunda fayda sağlar.

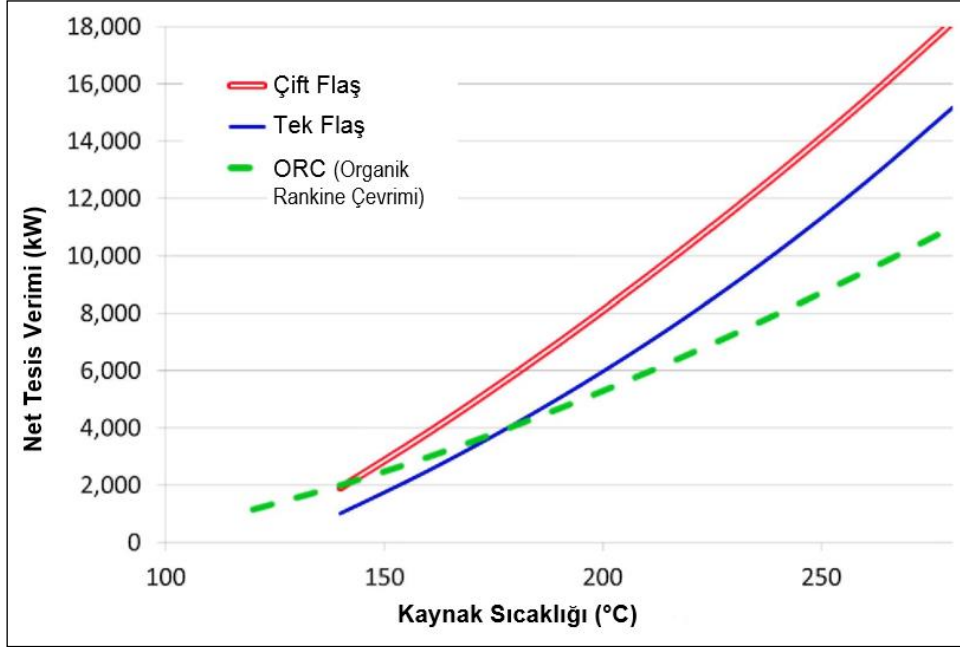
2.6 Teknoloji karşılaştırması

Performanslarını karşılaştırmak üzere, her bir dönüştürme teknolojisi belli bir kaynak sıcaklığı aralığında aynı sınır koşullar kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon varsayımlarına ilişkin detaylar Ek 1'de yer almaktadır.

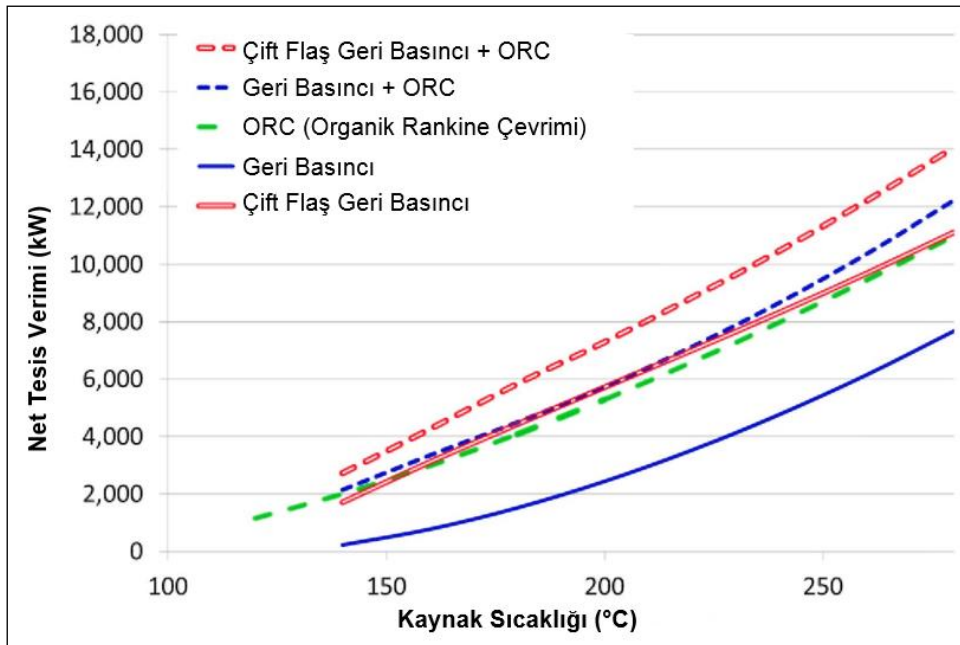
Şekil 2 buhardaki yoğunlaşmayan gaz (NCG) miktarının düşük olduğu projeler için uygun olan Tek Flaşlı (yoğuşturma), Çift Flaşlı (yoğuşturma) ve İkili sistemin karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil 3 buhardaki yoğunlaşmayan gaz (NCG) miktarının yüksek olduğu projelere uygun beş farklı konfigürasyonun karşılaştırmasını göstermektedir.

Jeo-sıvıdaki yoğunlaşmayan gaz (NCG)'nin düşük olduğu durumlarda, yoğuşturucu buhar türbinleri (condensing steam turbines) kullanılabilir (tekli veya çoklu flaş konfigürasyonları).

Yoğuşmayan gazın (NCG) yüksek olduğu durumlarda, gazı bir kondansatörden çıkarmak kullanışlı değildir; dolayısıyla, onun yerine geri basınçlı bir buhar türbini kullanılabilir. Tek başına geri basınçlı bir buhar türbininin verimi düşüktür; dolayısıyla, ikinci bir flaşla bir yoğuşturma türbini veya ikili enerji sistemi ya da her ikisinin kombinasyonu eklenerek güçlendirilebilir. Bu şekilde, yüksek yoğuşmayan gazlı (NCG) bir projenin verimi, geleneksel düşük yoğuşmayan gazlı (NCG) ve tek flaşlı santrallerle kıyaslanabilir duruma getirilebilir veya bunların da üzerine çıkarılabilir.



Şekil 2. Temel (Düşük yoğuşmayan gazlı (NCG)) Konfigürasyonların Karşılaştırılması.



Şekil 3. Yüksek yoğuşmayan gazlı (NCG) Konfigürasyonların Karşılaştırılması.

Şekil 2 ve Şekil 3, salt bir ikili enerji sistemine (ORC) ilişkin durumu göstermektedir. İkili bir santral için olası ikili çevrim konfigürasyonları ve aracı akışkan türlerinin genişliği göz önünde bulundurulduğunda,



bu eğri yalnızca yaklaşık ve temsili olarak görülmelidir. İkili Enerji sistemleri genellikle düşük kaynak sıcaklıkları konusunda Flaşlı sistemlere rakip olur.

3. DÖNÜŞTÜRME TEKNOLOJİSİ SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Jeotermal kaynak özellikleri, enerji dönüştürme sistemi seçiminde bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Aşağıdaki parametreler bir kaynakla ilgilidir:

- Kaynak Sıcaklığı
- Üretim kuyusu akış özellikleri
- Sıvı kimyası
 - Çözünmüş Gaz içeriği
 - Kireçlenme potansiyeli
 - Aşınma potansiyeli
- Yukarıdaki parametrelerin zamanla değişimi

Kaynak sıcaklığı enerji santrali performansını ve kârlılığını etkiler. Dönüştürme verimi hem flaşlı hem de ikili sistemler için jeo-sıvı (geo-fluid) sıcaklık tutulumu ile yakından ilgilidir. İkili santraller herhangi bir sıcaklıktaki kaynağı kullanabilirken, flaşlı enerji santralleri karakteristik olarak yalnızca 160-170°C ve üstü sıcaklıklar içindir. Daha düşük sıcaklığa sahip kaynaklar, kuyunun serbest akış özelliğine sahip olmasına yetecek kaldırma kuvvetine sahip olmayabilir. Bu durumda, kuyu-içi pompalar kullanılmaktadır. Buna ek olarak, yüksek kireçlenme potansiyeli bulunan jeo-sıvılar flaşlı sistemleri kullanışsız kılabilir; bu durumda ikili bir enerji sistemi tercih edilebilir.

Deneyimler, kaynak özelliklerinin zaman içinde değiştiğini göstermektedir. Kuyu başı basıncının artması veya azalması, yoğunlaşmayan gazların (NCG) düzeylerindeki sık görülen düşüşler ve kaynak sıcaklığı düşüşleri gibi değişimler meydana gelebilir. Dönüştürme teknolojisi seçimi yapılırken bu değişiklik ihtimalleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak dönüştürme teknolojisi seçimi, çevresel kısıtlamalar, kimyasal kısıtlamalar (korozyon ve/veya kireçlenme), performans, başlangıç maliyeti, sürdürülebilirlik ve devam eden işletim maliyeti de dahil birçok faktörü kapsayan karmaşık bir değerlendirmedir.

4. TOSHİBA'NIN JEOTERMAL ÜRÜN PORTFÖYÜ VE TEKNOLOJİ ÇERÇEVESİ

4.1 Ürün Portföyü

Toshiba, tüm buhar basıncı aralığını kapsayan bir buhar türbini ürün serisine ve farklı kaynak özellikleri konusunda zengin bir bilgi birikimine sahiptir.

Doğrudan tahrikli türbinleri farklı buhar türbini türlerini kapsamakta ve boyutları 20 ile 200 MW arasında değişmektedir; üretim ise aşağıda gösterildiği üzere tekli, çiftli, üçlü ve dördü akışlar için farklılık göstermektedir. Çalışma basıncı kuru buhar, tek, çift ve üç flaşlı/bölmeli buhar gibi farklı buhar türleri arasında 1 ila 30 bara arasında değişmektedir.

Toshiba markalı tüm jeotermal türbinler, özellikle kontamine jeotermal akış ortamı gibi zorlu çalışma ortamına uygun bir itici buhar yoluna sahiptir.

Bu türbin serisinin sahip olduğu bazı kilit özellikler şu şekildedir:

4.1.1 Tek akış (Single Flow)

Nominal maksimum 70 MW'lık bir üretim sağlayabilen tek veya çok flaşlı tasarıma sahip olabilecek büyük tek silindirli ve tek akış kızaklı fabrika birleştirme birimi. Kompakt bir enerji santrali düzenlemesine olanak tanıyan aksel bir egzoz kullanabilir.

4.1.2 Çift akış (Double Flow)

Nominal maksimum 140 MW'lık bir üretim sağlayabilen tek veya çok flaşlı tasarıma sahip olabilecek tek silindirli aranjman.

4.1.3 Üçlü Akış (Triple Flow)

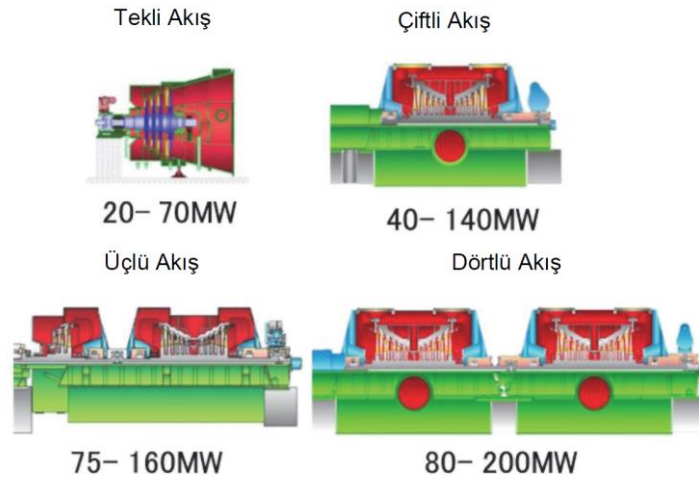
Yüksek basıncın (HP) çift akışlı silindire, düşük basıncın (LP) ise tek akışlı silindire bağlandığı çift flaşlı projelerde kullanılan iki silindirli düzenek. Bu düzenekte, sabit yüksek basınç (HP) ve düşük (LP) basıncına sahip geleneksel denilebilecek çift akışlı flaş türbinlerinde eşsiz bir avantaj sağlar. Benzersiz özelliklerinden bir tanesi, birim çalışırken silika çökmesi yönetimine yönelik düşük basınç (LP) asit dozlama sistemi ile ilgili bir sorun meydana gelmesi halinde, düşük basınç (LP) bölümündeki basıncı yükseltme imkanı bulunuyor olmasıdır. Ayrıca, kaynak ömrü boyunca yüksek basınç(HP)/düşük basınç (LP) oranı ile makineye giden akışı etkileyebilecek değişiklikler meydana gelmesi durumunda, düşük basınç (LP) bölümü basıncı, yüksek basınç (HP)/düşük basınç (LP) oranı ve akışı yeniden optimize etmek ve verimi yeniden kazanmak üzere düşük basınç (LP) bölümü basıncı kolayca ayarlanabilir. Nominal maksimum 160 MW'lık aşağı veya yukarı yönlü bir egzoz olarak yapılandırılabilir.

4.1.4 Dörtlü Akış (Four Flow)

Tek veya çok-flaşlı tasarıma sahip olabilecek ve nominal maksimum 200 MW çıkışlı aşağı ya da yukarı yönlü bir egzoz olarak yapılandırılabilir iki silindirli aranjman.

4.1.5 Özel Konfigürasyonlar

Türbinin geri basınç silindiri ile yoğunlaştırma silindirine sahip olduğu kombine flaşlı/ikili santraller için tek silindirli düzenek. Yukarı yönlü bir egzoz olarak ve/veya yoğunlaştırma akışı için aksel bir tasarıma konfigüre edilebilir; aksel tasarım kompakt bir enerji santrali düzeni sağlar.



Şekil 4. Tipik buhar türbini konfigürasyonları.

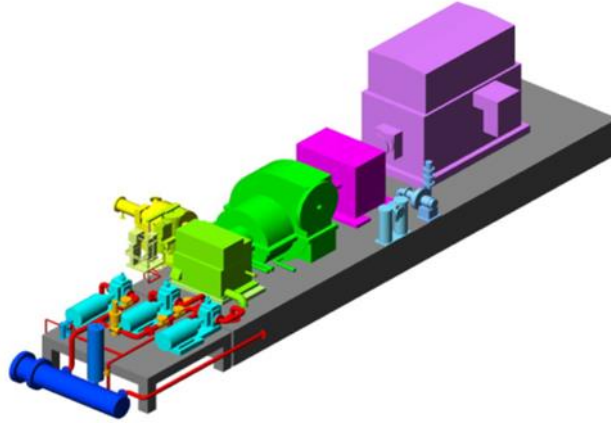
4.1.6 Kuyu Başı (Well-head)

Toshiba, kuyu başı operasyonlara uygun, 40 ft konteyner boyutundaki modüller halinde kolayca taşınabilen daha küçük boyutlu modüler buhar türbini jeneratör birimleri konusunda tecrübe sahibidir. Bunlar dişli donanımlı tahrik makineleridir ve yardımcı elemanlar ve birim kontrol sistemi ile tam bir paket halinde gelir. Birim boyutu 2 ile 12 MW arasında değişmekte olup, giriş basıncı 2 ile 10bara arasında farklılık göstermektedir. Gerek yoğuşturucu, gerekse geri basınçlı birimler için çıkış aralığında birkaç türbin şasesi bulunmaktadır; birimden geçen maksimum buhar akışı ise 30 kg/s debisinden fazla değildir.

Geçici bir geri basınç paketinin sahip olduğu basitlik ve taşınabilirlik, ilk kaynak gelişimi aşamalarında erken yerel jenerasyon sağlamak amacıyla ve daha da önemlisi, sürekli akış testi ile kaynağın kapasitesi, davranışı ve sürdürülebilirliğine ilişkin daha bilinçli değerlendirmeler yapılabileceği için, kolay yer değişimine olanak tanır. Dolayısıyla, optimum düzeyde daha uzun süreli santral konfigürasyonu sağlanabilir.

Ayrıca, birden fazla şase ile seçili buhar alanı basıncında düşük verimi nedeniyle herhangi mevcut bir jeotermal tesise bağlanmamış düşük basınçlı kuyular için bile yüksek verimli çözümler sunulabilir.

Son olarak, bu modüler buhar türbinleri, yüksek yoğuşmayan gazlar (NCG) veya diğer etkenler dolayısıyla kaynak özelliklerinin zorunlu kıldığı durumlarda ikili bir enerji sistemiyle kullanılabilir.



Şekil 5. Örnek Kuyu Başı Türbin Santrali Planı

4.2 Teknoloji Çerçevesi

Toshiba'nın buhar türbini jeneratörleri yüksek dayanıklılık ve uzun süreli verimlilik özellikleri ile bilinir; bunlar aşağıdaki tasarım ve yapı özellikleri ile elde edilmektedir:

- İki parçalı yatay gövde
- Yüksek tahrikli verim kanat profili
- İspatlanmış sabit kanat
- Sağlam çark (solid rotor)

Toshiba markalı türbinlerinin yüksek düzeyde kullanılabilirlik ve uzun kullanım ömrü konusunda kalitesi kanıtlanmıştır. Santral sahibi tarafından ilk gövde açma incelemesi işlemlerinden sırasıyla 8 ve 10 yıl önceki dönemlerde faaliyete geçirilmiş olan Geysers CALPINE Birimleri 11 ve 14, verilebilecek en güncel örneklerden biridir. Bu birimler ilk olarak 1970'li yılların ortalarında kurulmuş ve 2002'de düşen rezerv buhar basıncının performansını optimize etmek üzere yeniden tasarlanmış bir buhar yolu ile modernize edilmiştir. Bu modernizasyonda ayrıca, türbin inceleme/bakım sürelerini uzatmak ve makine dayanıklılığını artırmak için yeni geliştirilmiş anti-erozyon/korozyon teknolojileri de kullanılmıştır. 8 yıllık çalışmanın ardından ilk olarak açılan Birim 11'de minimal düzeyde erozyon/korozyon görülmüştür. Bu durum



operatörlere, Birim 14'ü 2012'deki ilk açma işlemi öncesinde 2 yıl daha kullanabilme güvenini vermiştir. İç inceleme yine, 10 yılın sonunda minimal düzeydeki erozyon ve korozyon ile modernizasyon teknolojilerinin etkililiğini göstermiştir.

Toshiba jeotermal türbinleri aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Dünya lideri jeotermal türbin tedarikçisi
- Alanında 45 yılı aşkın tecrübe
- Kapsamlı laboratuvar ve alan araştırmaları
- Mevcut birimleri yeniden derecelendirme, modifikasyon ve dönüştürmede başarılı deneyimler

Toshiba jeotermal türbinleri çark-ve-diyafraam yapılı tahrik tasarımına dayanır. Küçük kanatlı giriş kademeleri (düşük reaksiyon) sızıntıyı minimize etme amacını taşımaktadır; daha sonraki kademelerde daha uzun kanatlarda akış paternini optimize etmek üzere tahrik/reaksiyon birleşiminden oluşur.

Tahrik kademelerinin dönen kanatlarda daha az miktarda basınç düşüşüne sahip olması itibariyle kanatları sızıntıya karşı nispeten duyarsızlaştırmasından dolayı, bu durum sızıntıya karşı daha az duyarlı olmanın getirdiği aşağıdaki avantajları sağlamaktadır. Bu nedenle kanat ucu sızıntısı, reaksiyon tasarımına kıyasla tahrik tasarımında çok daha düşüktür. Çark-ve-diyafraam (wheel-and diaphragm) tasarımı nozül conta alanında önemli derecede daha küçük çark çapına ve fazla sayıda conta dişine olanak tanır; bu da reaksiyon tasarımına göre daha düşük nozül sızıntısı sağlar. Düşük sızıntı contalarda ıslak ve aşındırıcı buharın yol açacağı erozyona/korozyona karşı daha yüksek koruma potansiyeli sağlar; bu, sürdürülebilir jeotermal türbin performansı için hayati önem taşır.

Bu özellikler en çok, nispi sızıntının en yüksek olduğu kısa kanat yükseklikli jeotermal türbinlerin giriş kademeleri için önemlidir. Tahrik tasarımının çalışma sırasında oluşabilecek artmış conta boşluğuna daha duyarsız olması ile sürekli verim elde edilir; bu şekilde daha uzun vadeli bir sürekli yüksek verim çözümü temin edilir.

Doğal olarak, reaksiyon tasarımına göre kademe başına daha fazla iş yapılabileceğinden, tahrik tasarımında daha az sayıda kademe bulunmaktadır. Daha az sayıda kademe ile kademeler arasında/içinde geniş kanatlı nozül ve kanat kullanımına yetecek aralık ve drenaj için geniş boşluk elde edilir. Geniş kanatlı nozül (nozzle) ve kanatlar (blades), kireç birikimi ve/veya yüzey sertleşmesine bağlı olası bozulmaya daha az duyarlıdır. Daha düşük sayıda kademe ile reaksiyon kanadına kıyasla daha sağlam bir tahrik kanadı gereklidir. Dolayısıyla, yapısı gereği daha kalın ve yekpare bir tasarım ile korozyon yorulması, gerilim korozyonu çatlaması ve erozyona karşı daha dayanıklıdır.

Son olarak, daha sağlam kanat ve nozüller (blades and nozzles) jeotermal buhar ataklarına karşı daha dayanıklı olduğundan, tahrik tasarımının yapısal tasarım özellikleri daha fazla sürdürülebilirliği de beraberinde getirir. Daha az sayıda kademe olduğundan, nozül ve kanat temizliği ile incelemesine yönelik kontrollerde daha verimli bir bakım uygulanabilir. Ayrıca, iki parçalı yatay gövdesiyle nozül diyafraamın yapısı, reaksiyon tasarımının sabit kanatlarına göre daha kolay sökme-takma imkânı sağlar ve dolayısıyla hizmet kesilme süresini minimuma indirir.

5. ALAŞEHİR PROJESİ ANAHLATLARI VE GÜNCELLEMELER

Alaşehir Jeotermal Projesi, Türkiye'nin batısında yer alan Manisa ilinde yer almaktadır. Bu proje hibrit bir Flaş-İkili enerji santrali olup, jeo-sıvı içindeki yüksek NCG için optimize edilmiştir. Şu anda Zorlu Enerji tarafından yapımı sürmektedir. Tesis Mayıs 2015'te hizmete girecektir.

Aktarma Organı Ana Ekipman Sağlayıcıları: Buhar türbini ve kondansatör - Toshiba

İkili (Binary) Enerji Sistemi – TAS

Buhar Türbini Verimi 29.500kW

İkili Sistem Verimi 10.000kW

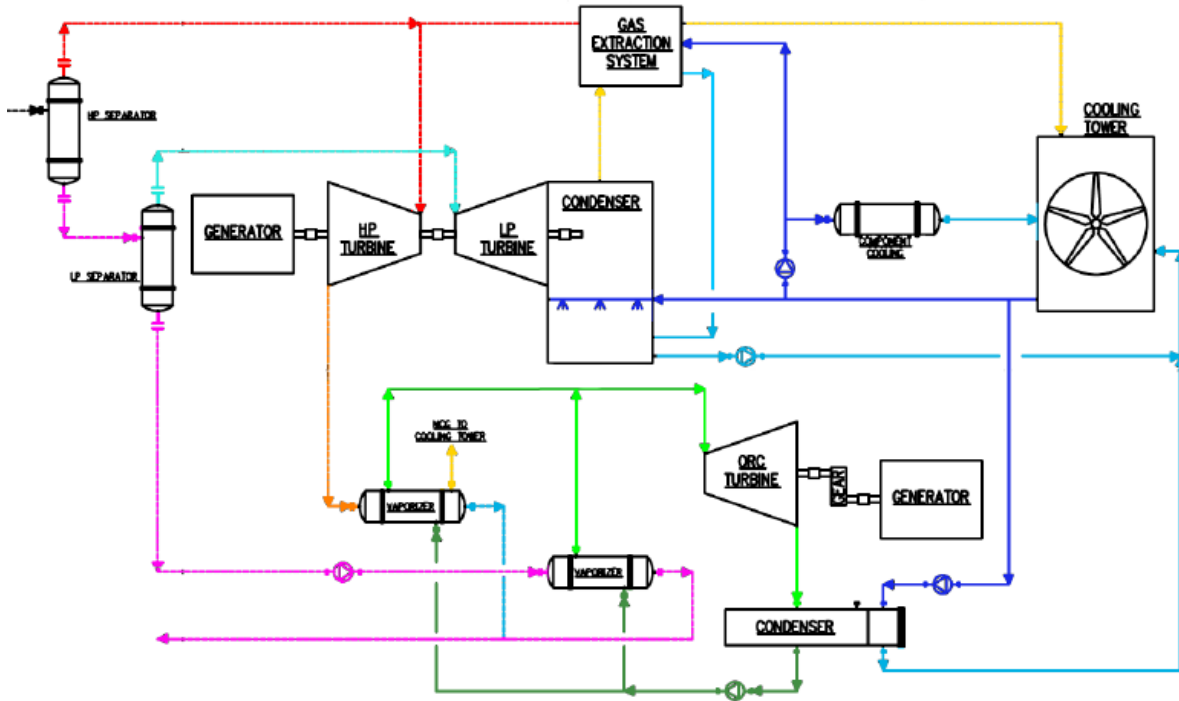
Kaynak Sıcaklığı	Yaklaşık 190 °C
Flaş konfigürasyonu	Çift flaşlı – Yüksek basınç (HP) buhar, geri basınç türbinine, düşük basınç (LP) buhar, yoğunlaştırma türbinine tek çarklı, çift akışlı (Yüksek ve düşük basınç)
Buhar Türbini konfigürasyonu	Direkt temas
Buhar Türbini Kondansatörü	7 bara / 1,2 bara
Bölme/Flaş basınçları	Yüksek basınç türbini egzoz akımı
İkili sistem ısı kaynakları	Düşük basınç bölümü tuzlu su
İkili sistem aracı akışkanı	R-134a
Soğutma	Flaşlı ve ikili (binary) sistemler için ortak soğutma sistemi Islak soğutma kulesi, mekanik çekme

Şekil 6 enerji santralinin genel süreç akışını göstermektedir.

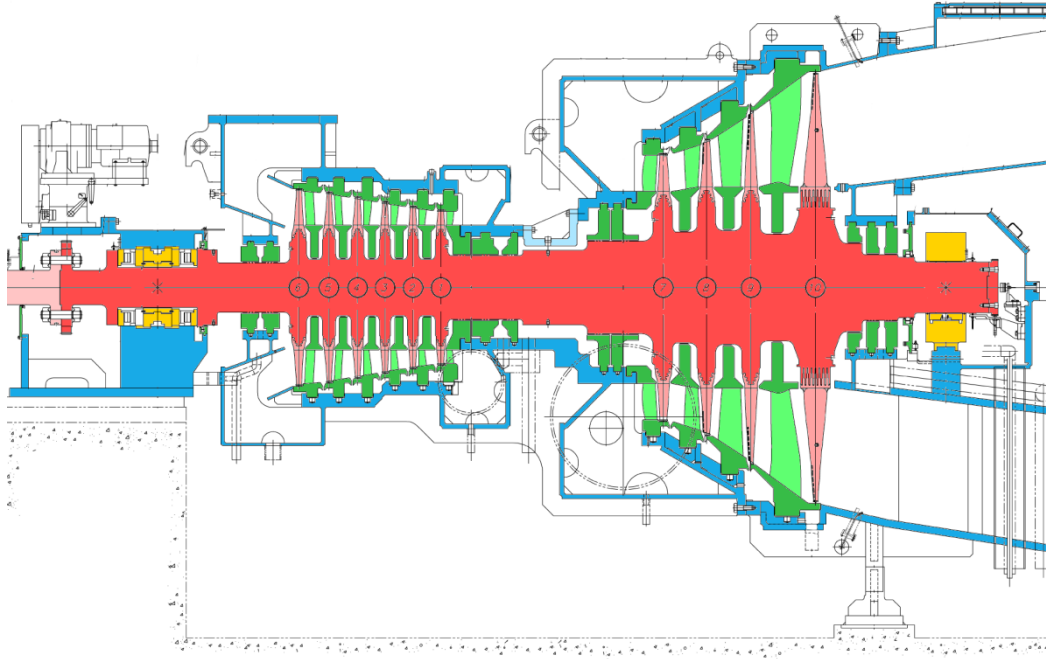
Şekil 7 iki akışlı Yüksek-düşük basınç buhar türbininin çapraz kesit görünümünü göstermektedir.

Şekil 8 nakliye öncesi fabrikadaki buhar türbinini göstermektedir

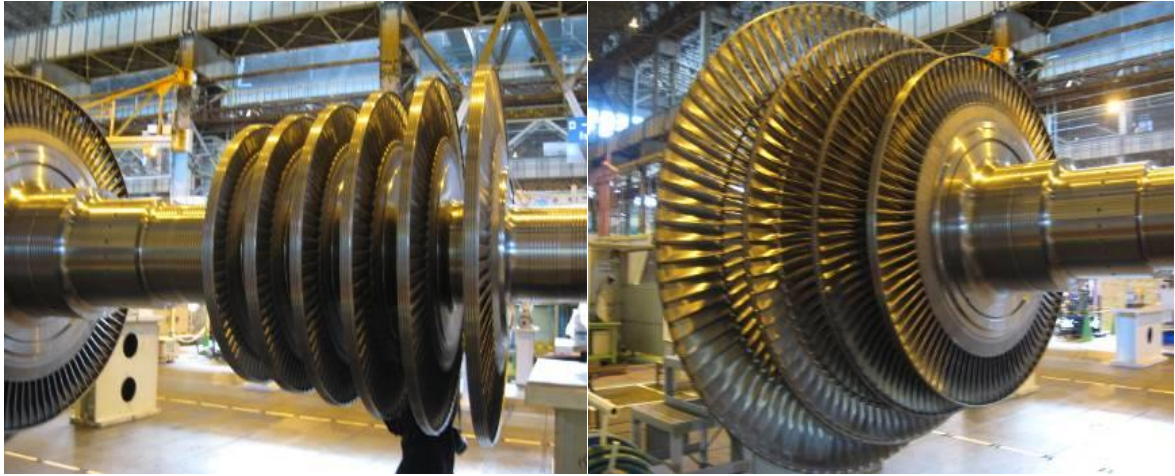
Şekil 9 Alaşehir tesisindeki Buhar türbinini göstermektedir.



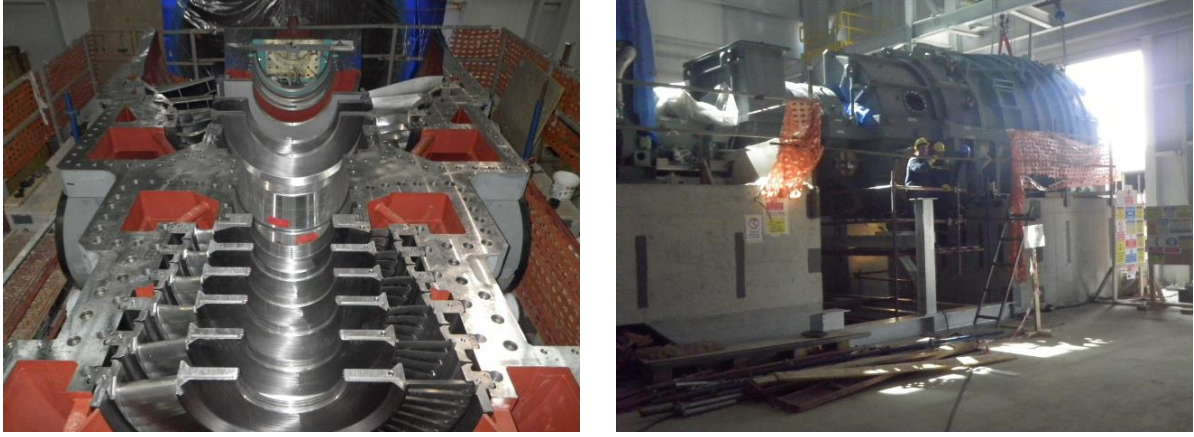
Şekil 6. Alaşehir santrali genel akış şeması.



Şekil 7. Alaşehir buhar türbini çapraz kesit.



Şekil 8. Fabrikadaki Alaşehir buhar türbini çarkı.



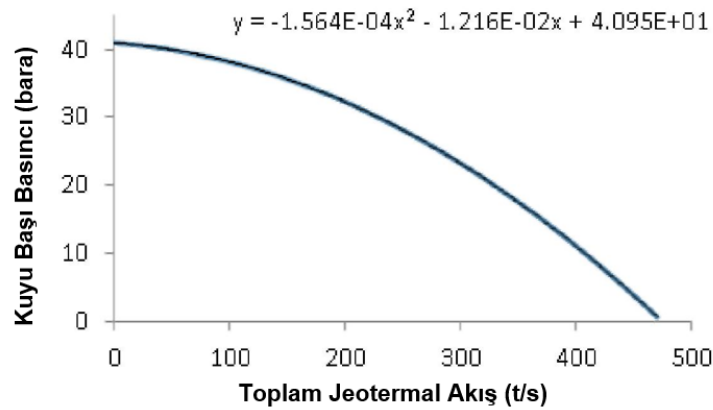
Şekil 9. Temel üzerindeki Alaşehir buhar türbini.

REFERENCES

- [1] Black & Veatch, *Assessing the Geothermal Market in Turkey*, European Bank for Reconstruction and Development, 2011.
- [2] Korkmaz E.D., Serpen U., Satman A. *Geothermal boom in Turkey: Growth in identified capacities and potentials*, Renewable energy, Elsevier, 2014.
- [3] DiPippo R. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, 3rd Ed. Elsevier, 2012.

EK 1: ENERJİ SANTRALİ KONFIGÜRASYON SİMÜLASYONU, SINIR KOŞULLARI VE VARSAYIMLAR

Şekil 2 ve Şekil 3'teki tablolar, adil karşılaştırma amacıyla keyfi olarak seçilmiş sabit jeo-sıvı akış özellikleri ve birtakım kaynak sıcaklıklarına göre tahmini, net santral verimlerini göstermektedir. Akış özellikleri aşağıda Şekil 10'da gösterilmektedir:



Şekil 10. Teknolojik karşılaştırma için kullanılan Jeo-sıvı akış özellikleri.

Ana simülasyon parametreleri aşağıdaki listede yer almaktadır:

**Çevresel Parametreler**

Kuru Termometre Sıcaklığı	25 °C
Yaş Termometre Sıcaklığı	20 °C
Soğutma suyu sıcaklığı (Islak soğutma kulesi)	24 °C
Atmosfer Basıncı	0,995 bara

Flaş Ekipmanı

Buhar turbo-jeneratörü izentropik verimi	%85
Soğutma kulesi fanı elektrik tüketimi	ısı miktarı (kW) / 300
Dolaşım Su pompası başlığı / pompa / motor verimliliği	28m / %85 / %95
Direkt temas kondansatörü TTD / Gaz soğutucu yaklaşımı	3 °C / 3 °C
Geo-sıvıdaki NCG (Düşük NCG Olguları)	%0,2
Geo-sıvıdaki NCG (Yüksek NCG Olguları)	%3,0
Gaz Çıkarma Sistemi (GES)	Hibrit, ejektör/LRVP
GES Kondansatörler arası basınç	0,25 bara
Tahrik buharı tüketimi	Gereken emme kütle akışı ve mevcut tahrik buharı baz alınarak hesaplanmıştır
LRVP izotermal sıkıştırma verimi	%40

İkili Sistem Ekipmanı

Tekrar basma sıcaklığı (ikili sistem için)	Kaynak Sıcaklığı (°C) x 0,44
İkili çevrim türü	tekli basınç, alt kritik
İkili sistem modelleme metodu	Etkili Carnot-çevrimi verimi
İkili sistem ısı kaynakları	Jeotermal tuzlu su ve mevcut olan durumlarda Geri basınçlı türbin egzoz buharı HP buhar egzozu Sıcaklığı – 4 °C
İkili sistem Carnot-çevrimi yüksek sıcaklığı	Veya $T_{re-inj} + (T_{brine} - T_{re-inj}) \times 0,4 - 4$ Burada T_{re-inj} Tekrar Basma Sıcaklığını T_{brine} ise en düşük flaş drenaj sıcaklığı veya Rezerv Sıcaklığını ifade eder
İkili sistem Carnot-çevrimi düşük sıcaklığı	38 °C (Islak soğutma kulesi kullanılması halinde) Veya 45 °C (Hava soğutmalı kondansatör kullanılması halinde)
İkili sistem Carnot-çevrimi verimi	%50

Göz Önünde Bulundurulmuş Ek Yükler

- Dolaşım suyu pompaları
- Soğutma kulesi veya Hava Soğutmalı Kondansatör fanları
- Tekrar basma pompaları
- Sıvı halka vakum pompaları
- Ejektörler tarafından tüketilen tahrik buharı



TECHNOLOGY OPTIONS TO MATCH GEOTHERMAL RESOURCE CHARACTERISTICS

Gary BYAK
Greg GIBBES
Noriaki KITAGUCHI

ABSTRACT

This paper provides a high level summary of the type of resource in Turkey and provides an outline of the technology options with a specific focus on flash technology and combined flash/binary cycles. The paper outlines how the key resource characteristics of a steam field's resource temperature, pressure, NCG and chemistry affect the choice of cycle configuration. It concludes by providing a summary of the plant configuration for the Alasehir project and update on its construction.

Key Words: flash technology, combined flash/ binary cycles, portable well-head turbine.

1. INTRODUCTION: OVERVIEW OF TURKEY'S GEOTHERMAL POTENTIAL SUITABLE FOR POWER GENERATION

Turkey is blessed with considerable geothermal resource as it is located on the seismically active Mediterranean Earthquake Belt which results from the continental collision of the African and Eurasian plates.

The majority of the geothermal fields and natural springs are located along the major grabens situated in the West Anatolian extensional province, along the Northern Anatolian Fault Zone, central and Eastern Anatolia volcanic regions.

The map below presents an overview of Turkey geothermal potential showing the number of identified geothermal fields within each of the provinces and their maximum temperature. As observed the highest density of high to medium enthalpy geothermal resources occurs in several provinces of western Turkey. Certain areas of central and eastern Turkey also host a significant number of medium to low enthalpy geothermal resources.

Korkmaz et al. recently identified and analysed 38 medium to high temperature fields ($T_{res} > 100^{\circ}\text{C}$), of which 7 fields are above 180°C and a further 10 are between 150°C and 180°C . Based on these currently known fields medium to high temperature fields, they estimate the total geothermal electrical power potential for Turkey at about 2200MWe [2].

Geothermal fields, power plants, districting heating systems, and maximum observed temperature by province

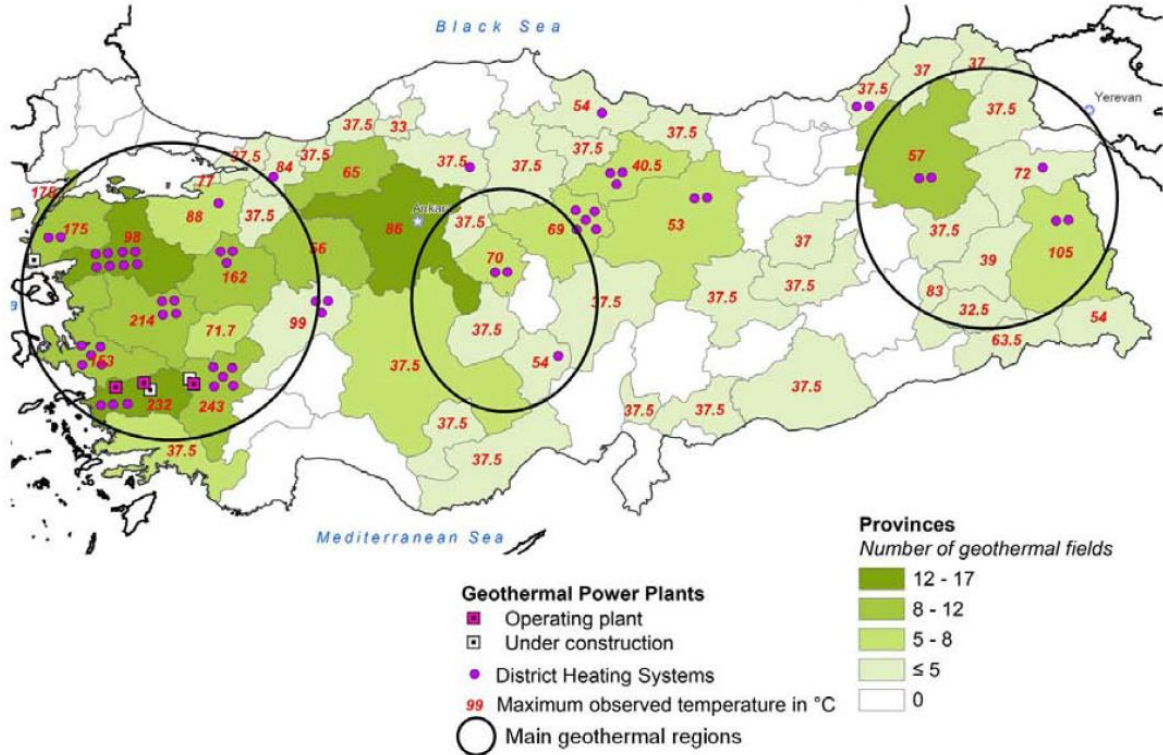


Figure 1. Geothermal Resource Statistics by Province, [1].

2. OVERVIEW OF CONVERSION TECHNOLOGY

There are several conversion technologies in common use for geothermal power projects. They can be broadly classified as either - steam (or flash) power plants, binary power plants or combined flash-binary plants.

2.1 Back-pressure steam turbine

It's so called because the turbine exhausts to atmospheric pressure or higher, rather than to a condenser. This is the simplest and cheapest conversion technology, as little extra equipment is required. It is also the least efficient. It is suitable for early stage developments, such as "well-head" turbines, or cases where high non-condensable gas content in the steam makes a condensing turbine impractical.

2.2 Single-Flash Condensing

It operates on steam from a single separation pressure. Single flash power plants are simple and have good efficiency. They are the most common geothermal conversion technology globally [3]. They are suitable when simplicity is important, or silica scaling or other considerations would prevent the use of a double flash configuration. They are not suitable for high non-condensable gas in the steam.

2.3 Double-Flash Condensing

It's a power plant operating on two sources of steam separated/flushed at two different pressures. Double flash power plants can achieve outputs 15-25% higher than an equivalent single flash power plant. At the same time, the power plant complexity increases somewhat. Furthermore, lower re-injection temperatures make silica scaling more likely compared with single flash plants. Triple flash plants have also been developed.

2.4 Binary

It's a power plant utilising a separate working fluid, in a closed cycle, with heat supplied via heat exchangers from the geothermal fluid. The cycle is often called organic Rankin Cycle (ORC). Many different working fluids have been used in Binary systems, and many different cycle configurations are possible, and can be designed to suit each special case. Binary systems tend to be used where resource temperatures are lower, wells are not free-flowing or flash plants are problematic for other reasons [3]. Binary systems benefit from the compactness of the turbine compared to condensing steam turbines. On the other hand, they require additional equipment such as heat exchangers and feed-pump. In cases where water is scarce, condensing is achieved with an air-cooled condenser (ACC), which suffers low condensing performance in hot, dry climates.

2.5 Combined Flash - Binary

In some cases, pairing a binary cycle with a flash power plant can significantly improve plant performance. For example, a flash power plant may be built first, then a binary cycle may be added later when finances permit, to utilise the hot brine discharged from the flash process. Another typical combination is a back-pressure steam turbine combined with a binary system utilising the energy in the exhausted steam. This is beneficial for cases with high NCG in steam, or where 100% re-injection is required, or where a modularised approach is desirable.

2.6 Technology comparison

To compare the performance of conversion technologies, each was simulated over a range of resource temperatures using the same boundary conditions. Details of the simulation assumptions can be found in Appendix 1.

Figure 2 shows a comparison of Single Flash (condensing), Double Flash (condensing) and Binary, all of which are suitable for projects with low NCG in steam.

Figure 3 shows a comparison of five different configurations suitable for projects with high NCG in steam.

Where the NCG in the geo-fluid is low, condensing steam turbines can be used (either single or multiple flash configurations)

In cases of high NCG, it becomes impractical to extract the gas from a condenser, so a back-pressure steam turbine may be used instead. The output of a stand-alone back-pressure steam turbine is low, so it can be improved by adding a condensing turbine with a second flash, or by adding a binary power system, or a combination of both. In this way, output of a high NCG project can be made comparable or even exceeding a traditional low NCG single flash plant.

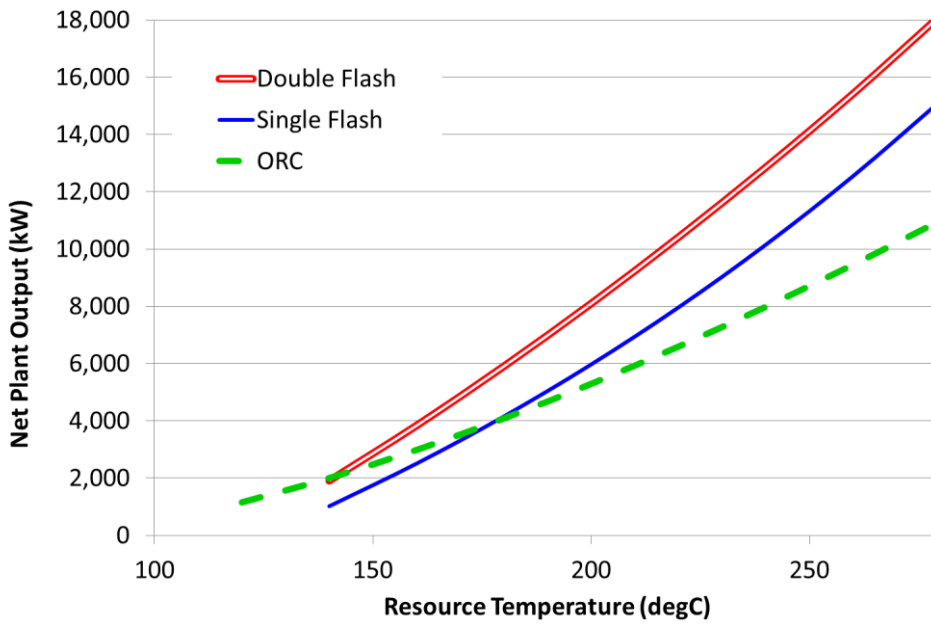


Figure 2. Comparison of Basic (Low NCG) Configurations.

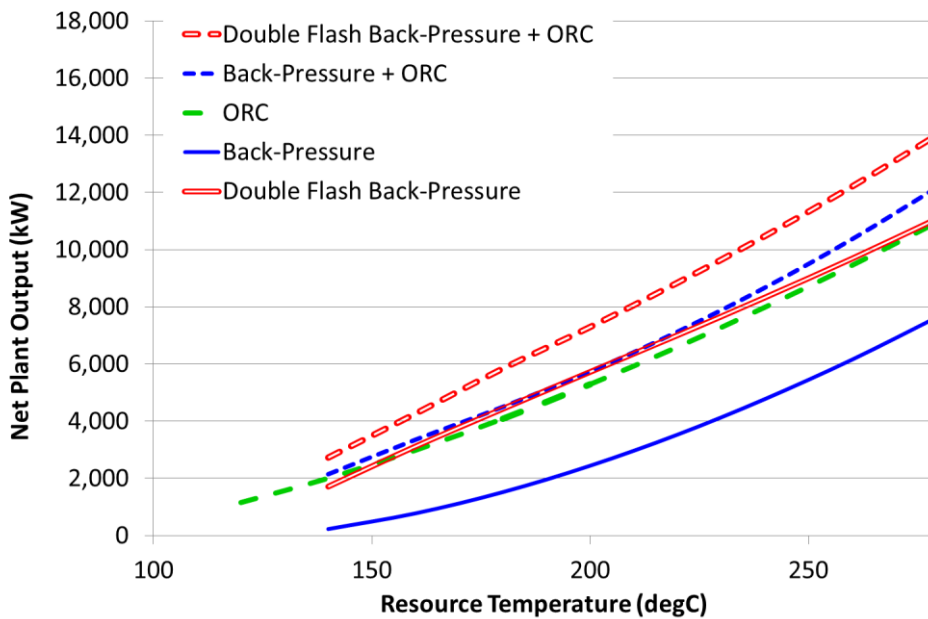


Figure 3. Comparison of High NCG configurations.

Figure 2 and Figure 3 both show the case of a pure binary power plant (ORC). Given the wide range of possible binary cycle configurations and working fluids for a binary plant, this curve should be considered as approximate and representative only. Binary Power systems typically become competitive with Flash systems for lower resource temperatures.



3. FACTORS AFFECTING THE CHOICE OF CONVERSION TECHNOLOGY

Geothermal resource characteristics place constraints on the choice of power conversion system. The following parameters describe a resource:

- Resource temperature
- Production well flow characteristics
- Fluid chemistry
 - Dissolved Gas content
 - Scaling potential
 - Corrosion potential
- How the above parameters may change with time

Resource temperature affects the power plant performance and profitability. Conversion efficiency is strongly tied to the geo-fluid enthalpy for both flash and binary systems. While binary plants can use a resource of any temperature, flash power plants are traditionally specified only where the resource temperature is above about 160-170°C. Lower temperature resources may have insufficient buoyancy to make the well free-flowing. In this case, down-well pumps have been used. Furthermore, geo-fluid with high scaling potential may make flashing undesirable, in which case a binary power system may be preferable.

Experience has shown that resource characteristics may change with time. Well-head pressures may rise or fall, NCG levels often decrease, resource temperature may decline etc. The choice of conversion technology should consider the possibility of these changes.

Ultimately the choice of conversion technology is a complex assessment of many factors, including environmental constraints, chemical constraints (corrosion and/or scaling), performance, initial cost, maintainability and ongoing operating cost.

4. TOSHIBA'S GEOTHERMAL PRODUCT PORTFOLIO AND TECHNOLOGY OUTLINE

4.1 Product Portfolio

Toshiba has a steam turbine product range covering the full range of steam pressures and has a wealth of experience over a wide range of resource characteristics.

For its direct drive turbines, the size ranges from 20 to 200 MW with various steam turbine types and output ranges for the single flow, double flow, triple flow and four flow as shown below. Operating pressure range from 1 to 30 bara and various types of steam such as dry steam or single double and triple flash/separated steam.

All Toshiba geothermal steam turbines utilise an impulse steam path which is especially suited to the harsh operating environment of contaminated geothermal steam.

Some of the key features across this turbine range are as follow:

4.1.1 Single flow

Large single cylinder, single flow skid mounted factory assembly unit that can be a single or multi flash design with a nominal maximum output of 70 MW. It can utilise an axial exhaust which enables a compact power-house arrangement.

4.1.2 Double flow:

Single cylinder arrangement that can be a single or multi flash design with a nominal maximum output of 140 MW.

4.1.3 Triple flow

Two cylinder arrangement that is used on double flash projects where the higher pressure (HP) is connected to the double flow cylinder and the low pressure (LP) is connected to the single flow cylinder. This arrangement has a very unique advantage over say the traditional double flow double flash turbine that has fixed HP & LP pressures. Its unique features are while the unit is in operation there is an ability to raise the LP separation pressure in the event there is an issue with the LP acid dosing system to manage silica scaling. Also over the life of the resource in the event of a change that affects the HP/LP ratio and flow to the machine the LP separation pressure can be easily adjusted to re optimise the HP/LP ratio and flows and regain output. It can be configured as a downward or upward exhaust with a nominal maximum output of 160 MW.

4.1.4 Four flow

Two cylinder arrangement that can be a single or multi-flash design and can be configured as a downward or upward exhaust with a nominal maximum output of 200 MW.

4.1.5 Special configurations

Single cylinder arrangement for combined flash/binary plants where the turbine consists of a backpressure cylinder and condensing cylinder. It can be configured as upward exhaust and/or for the condensing flow with an axial design which enables a compact power house arrangement to be achieved.

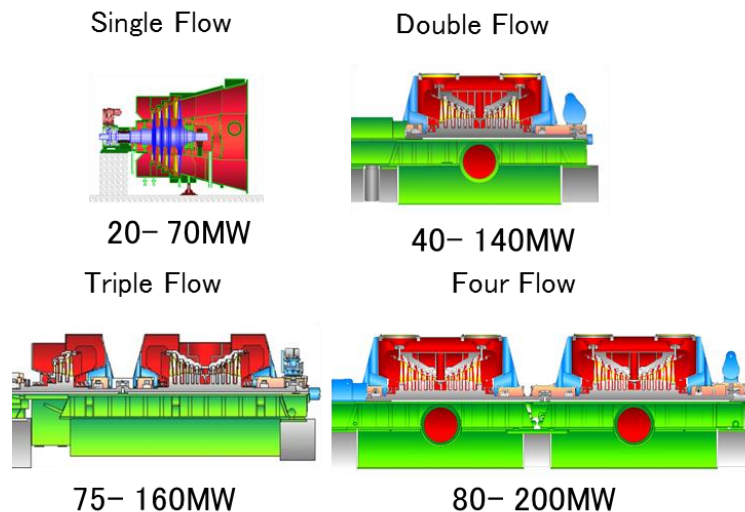


Figure 4. Typical Steam Turbine configurations.

4.1.6 Well- head

Toshiba has experience in smaller sized, modular steam turbine generator units suitable for well-head operation which are designed to be easily transportable in modules sized to 40ft containers. They are a geared impulse machine and come as a package complete with ancillaries and unit control system. The unit size range is from 2 to 12 MW where the inlet pressure range is from 2 to 10bara. Within the output range there are number of turbine frames for both condensing and backpressure units with the maximum steam flow through the unit no greater than 30 kg/s.

The simplicity and transportability of a temporary backpressure package enables it to be deployed in the initial stages of a resources development to provide early local generation but more importantly as sustained flow test can be carried out a more informed assessment on the capacity, behaviour and

sustainability of the reservoir can be determined. Therefore a more optimal permanent plant configuration can be made.

Also with several frames a high efficiency solution can be proposed even for low pressure wells that have not been connected into an existing geothermal facility due to its low productivity at the chosen steam field pressure.

Finally, these modular steam turbine units can be used in combination with a binary power system where the resource characteristics dictate due to high NCG or other considerations.

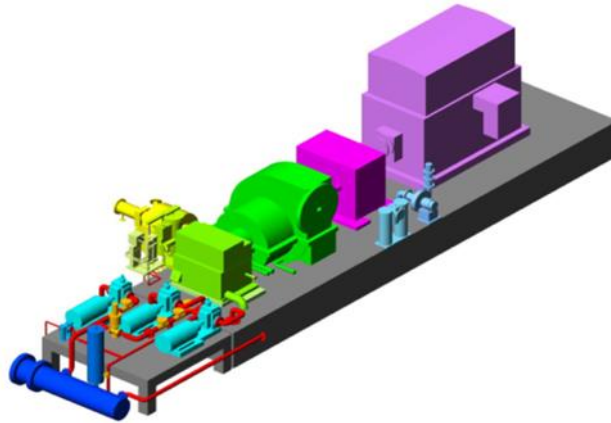


Figure 5. Example Well head Turbine Plant Layout.

4.2 Technology outline

Toshiba's steam turbine generators are recognised for their high reliability and high-sustained efficiency which are achieved by the following design and construction features:

- Horizontal split casing
- Impulse high efficiency blading profile
- Proven blade fixture
- Solid rotor

Toshiba turbines have proven high availability and long life. A recent geothermal example is at the Geysers CALPINE Units 11 and 14 which were operated by their owner for 8 and 10 years respectively before first casing opening inspection. These units had initially been installed in the mid-late 1970's and were upgraded in mid-2002 with a re-designed steam path to optimize performance at declining reservoir steam pressure. The upgrade also utilized newly developed anti-erosion/corrosion technologies, with the goal of extending the duration between turbine inspection/overhaul and increasing machine reliability.

Initial opening of Unit 11 after 8 years operation revealed minimal erosion/corrosion. This good condition gave the operators confidence to continue operating unit 14 for a further 2 years before its first opening in mid-2012. Again, internal inspection proved the effectiveness of the upgrade technologies with minimal erosion and corrosion after 10 years.

Toshiba geothermal turbines have the following features

- World leading supplier of geothermal turbines
- Over 45 years of field experience
- Extensive laboratory and field Investigations
- Successful experiences in conversion, modification and re-rating of existing units

Toshiba geothermal turbines are based on impulse design with wheel-and-diaphragm construction.

The inlet stages with small blade height are (low reaction) to minimize leakage, where the latter stages are impulse/reaction mixed to optimize flow pattern and efficiencies in the longer blades.

This provides the following advantages of being less sensitive to leakage as the impulse stages have low pressure drop across the rotating blades, which makes them relatively insensitive to leakage. The blade tip leakage is therefore, much less for an impulse design than for a reaction design. The wheel-and-diaphragm design allows a significantly small rotor diameter at nozzle packing area and a large number of packing teeth resulting in less nozzle leakage than reaction design. This reduced leakage leads to higher potential to protect against erosion/corrosion attack in seals by the wet and corrosive steam, which is crucial for sustained performance of geothermal turbines.

These aspects are most important for the inlet stages of geothermal turbines with short blade height, where relative leakage is largest. Sustained efficiency is achieved as the impulse design is less sensitivity to the effects of increased packing clearances that might occur in operation which assures a more sustained long term higher efficiency solution.

Inherently there are fewer stages in an impulse as more work per stage can be done than in a reaction design. With fewer stages there is sufficient space between/within stages to allow utilization of wide chord nozzles and blades, as well as wide spacing for drainage. The wide chord nozzles and blades are less sensitive to the potential degradation of the steam path due to scale deposits and/or surface roughening. With fewer stages a more robust impulse blade is required in comparison to a reaction blade. Therefore with an inherently thicker and stiffer design they are more resistant to corrosion fatigue, stress corrosion cracking and erosion.

Finally the inherent design features of an impulse design lends itself to better maintainability as the more robust blades and nozzles are less sensitive to the geothermal steam attack. As there are fewer numbers of stages a more productive maintenance practice can be implemented during overhauls for the cleaning and inspection of nozzles and blades. Also with a horizontal split casing the nozzle diaphragm construction is much easier to disassemble and reassemble than stationery blades of reaction design and thereby minimising the outage time.

5. OUTLINE AND UPDATE ON THE ALAŞEHİR PROJECT

Alaşehir Geothermal Project is located in the province of Manisa in Western Turkey. It is a hybrid Flash-Binary power plant, optimised for the high NCG in the geo-fluid. It is currently under construction by Zorlu Enerji. Commissioning starting May 2015.

Powertrain Main Equipment Supplier:	Steam turbine and condenser - Toshiba Binary Power System – TAS
Steam turbine output	29,500kW
Binary System output	10,000kW
Resource temperature	Approx. 190 °C
Flash configuration	Double flash, HP steam to backpressure turbine, LP steam to condensing turbine
Steam Turbine configuration	single rotor, two flows (HP and LP)
Steam Turbine Condenser	Direct contact
Separator/Flash pressures	7bara / 1.2bara
Binary system heat sources	HP turbine exhaust steam LP Separated brine
Binary system working fluid	R-134a
Cooling	Common cooling system for flash and binary systems Wet cooling tower, mechanical draft

Figure 6 shows the overall process flow of the power plant.

Figure 7 shows the cross section view of the two-flow HP-LP seamt turbine.

Figure 8 shows the setm turbine in the factory, just prior to shipment

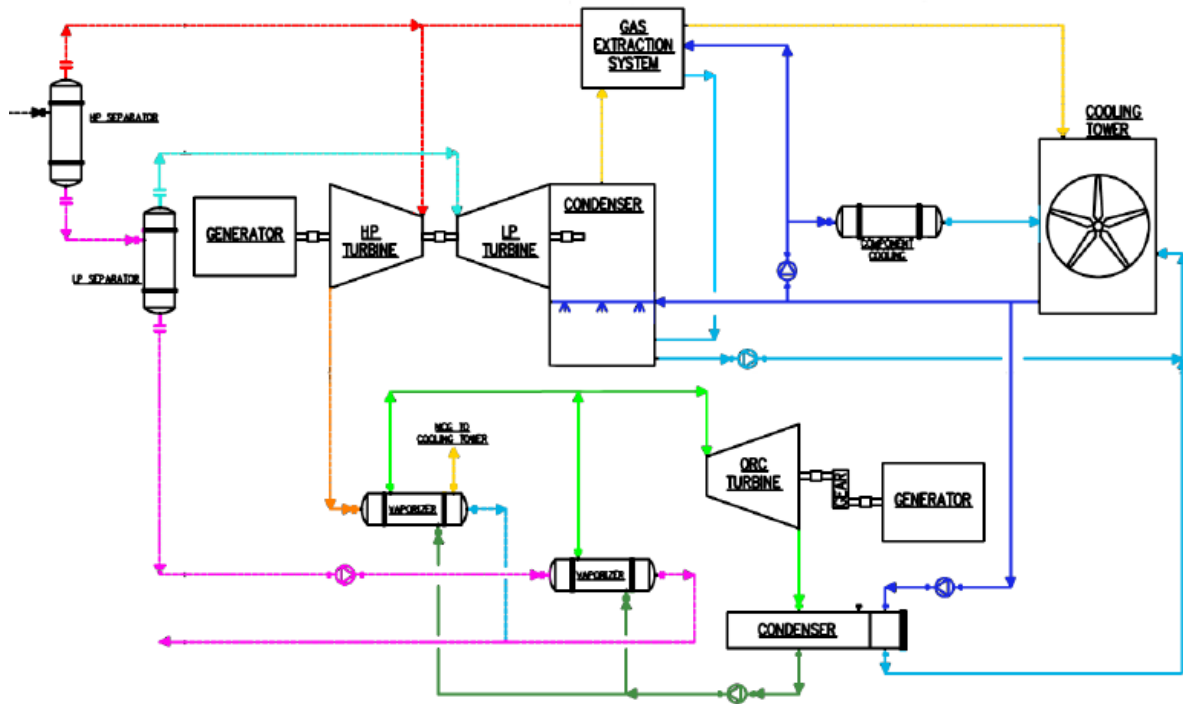


Figure 6. Overall flow schematic of Alaşehir.

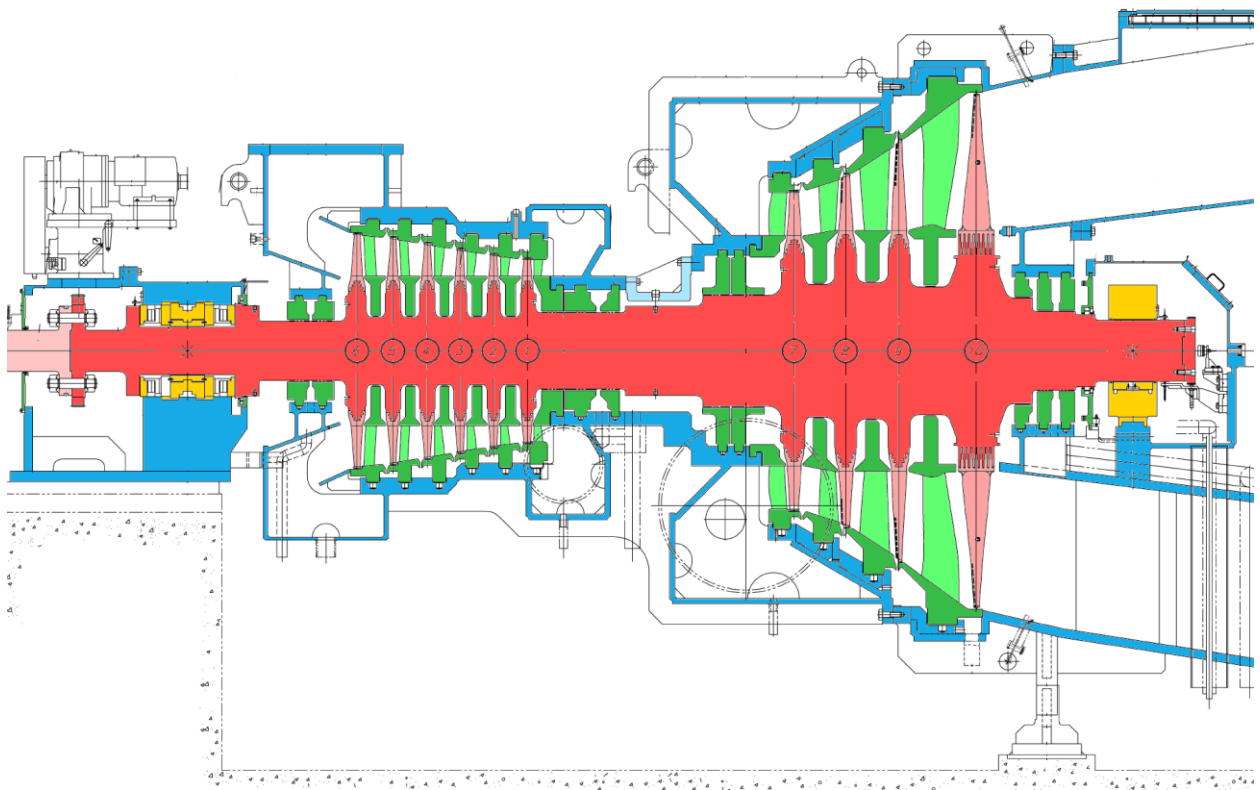


Figure 7. Alaşehir Steam Turbine cross-section.

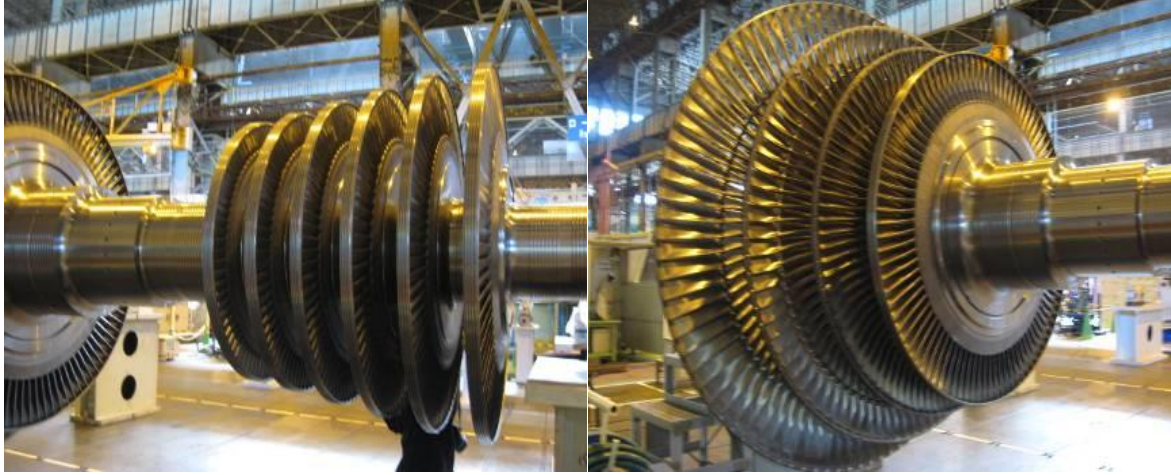


Figure 8. Alaşehir steam turbine rotor in the factory.

REFERENCES

- [1] Black & Veatch, *Assessing the Geothermal Market in Turkey*, European Bank for Reconstruction and Development, 2011.
- [2] Korkmaz E.D., Serpen U., Satman A. *Geothermal boom in Turkey: Growth in identified capacities and potentials*, Renewable energy, Elsevier, 2014.
- [3] DiPippo R. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, 3rd Ed. Elsevier, 2012.

APPENDIX 1: POWER PLANT CONFIGURATION SIMULATION BOUNDARY CONDITIONS AND ASSUMPTIONS

The charts shown in Figure 2 and Figure 3 show estimated net plant output for a range of resource temperatures and a fixed geo-fluid flow characteristic, arbitrarily chosen for the purpose of fair comparison. The flow characteristic is shown below in Figure 9.

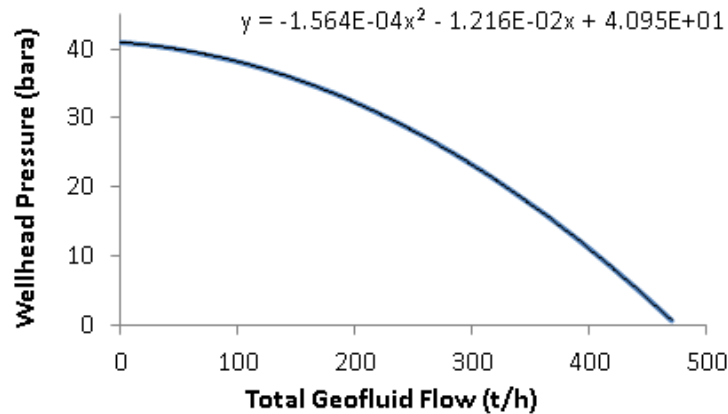


Figure 9. Geo-fluid flow characteristic used for technology comparison.



The main simulation parameters are given in the list below:

Environmental Parameters

Dry Bulb Temperature	25 degC
Wet Bulb Temperature	20 DegC
Cooling water temperature (case of wet cooling Tower)	24 degC
Atmospheric Pressure	0.995bara

Flash equipment

Steam turbo-generator isentropic efficiency	85%
Cooling tower fan power consumption	Heat duty (kW) / 300
Circulating Water pump head / pump / motor efficiency	28m / 85% / 95%
Direct contact condenser TTD / Gas cooler approach	3 degC / 3 degC
NCG in geo-fluid (Low NCG Cases)	0.2%
NCG in geo-fluid (High NCG Cases)	3.0%
Gas extraction system (GES)	Hybrid, ejector/LRVP
GES Intercondenser pressure	0.25bara
Motive steam consumption	Calculated based on required suction mass flow and available motive steam pressure
LRVP isothermal compression efficiency	40%

Binary Equipment

Re-injection temperature (for binary system)	Resource Temperature (DegC) x 0.44
Binary cycle type	single pressure, sub-critical
Binary system modelling method	Effective Carnot-cycle efficiency
Binary system heat sources	Geothermal brine and Backpressure turbine exhaust steam where available
Binary system Carnot-cycle hot temperature	HP steam exhaust Temp – 4degC Or $T_{re-inj} + (T_{brine} - T_{re-inj}) \times 0.4 - 4$ Where T_{re-inj} is Re-injection Temperature T_{brine} is lowest flash drain temperature or Reservoir Temperature
Binary system Carnot-cycle cold temperature	38 degC (Case of wet Cooling tower) Or 45 degC (Case of air-cooled condenser)
Binary system Carnot-cycle efficiency	50%

Auxiliary Loads considered

- Circulating water pumps
- Cooling tower or Air Cooled Condenser fans
- Re-injection pumps
- Liquid ring vacuum pumps
- Motive steam consumption of ejectors

