

# JEOTERMAL SANTRALLARDA PERFORMANS GÖZLEMİ

**Macit TOKSOY**  
**Umran SERPEN**  
**Niyazi AKSOY**

## ÖZET

Çift akışkanlı (binary) jeotermal enerji santrallerinin tasarımına esas olan giriş verilerinin (dış hava sıcaklığı, jeotermal akışkanın termofiziksel özellikleri) seçimi ve işletme sürecindeki değişimleri, bu santrallerin performanslarını etkiler. Santralin ekonomik ve teknik fizibilitesini etkileyen tasarım giriş verilerinin seçiminde titizlikle durulmalıdır. İşletme sürecinde ise güvenli bir işletme ve üretim gözlemi dışında söz konusu veriler (1) santral tasarım performansının testi, (2) santralin başlangıç performansına göre değişimlerin gözlemi ile sistem arıza ve bakım analizlerinin yapılması ve (3) sistem performansını yükseltme çalışmalarının başarısının belirlenmesinde referans noktası oluşturmak amaçlarıyla belli periyotlarda ölçülen bu büyüklükler ile ölçülen büyüklüklerden türetilmiş büyüklükler gözlemin yanında bir veri tabanında saklanmalıdır. Bu bildiriye Salavatlı DORA-1 Jeotermal Santrali'nde oluşturulan veri tabanına dayalı performans testleri ve değerlendirmeleri sunulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik yasal düzenlemeler ve bu düzenlemelerle getirilen teşvikler jeotermal enerji santralleri yatırımlarına olan ilgiyi daha canlı hale getirmiştir. Aydın Salavatlı sahasında 2006 yılında işletmeye alınan bir çift akışkanlı jeotermal santralin (Salavatlı DORA-1) arkasından 2 santralında yapımının sürdüğü görülmektedir.

Birçok çift akışkanlı jeotermal elektrik santralında yeterli miktarda soğutma suyu bulunmadığı için çevrimin düşük sıcaklık kaynağı olarak dış hava kullanılır. Böylece dış hava sıcaklığı, jeotermal akışkanın miktarı, basıncı, sıcaklığı gibi fiziksel özelliklerin yanında santral tasarımının önemli bir parametresi haline gelir. İyi tanımlanmış jeotermal sahalarda, kısa zaman dilimlerinde jeotermal sahanın özelliklerinde ne monotonik ne de periyodik değişimler beklenmez. Ancak hava sıcaklığı doğal olarak hem gün içinde hem de yıl boyunca değişir. Yıllık ortalama dış hava sıcaklığına göre tasarımı yapılan santralin performansı (enerji üretimi) da değişen hava sıcaklığı ile birlikte değişiklik sergiler.

Tanımlanan jeotermal saha özelliklerine ve yıllık ortalama hava sıcaklığına göre tasarımı yapılan bir jeotermal enerji santralında, güvenli bir işletme ve santral performansını takip etme amaçlarıyla söz konusu termofiziksel özelliklerin değişimi sürekli olarak gözlenir. Ancak;

1. santral tasarım performansının testi
2. santralin başlangıç performansına göre değişimlerin gözlemi ile sistem arıza ve bakım analizlerinin yapılması ve
3. sistem performansını yükseltme çalışmalarının başarısının belirlenmesinde referans noktası oluşturmak

amaçlarıyla belli periyotlarda ölçülen bu büyüklükler ile ölçülen büyüklüklerden türetilmiş büyüklükler gözlemin yanında bir veri tabanında saklanmalıdır.

Santral tasarım performansının testi, tanımlanan jeotermal saha özelliklerine ve yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak tasarımı yapılan santralin, tasarım giriş verilerinden değişik hava sıcaklığının ve jeotermal akışkan değerlerinin (akışkan kalitesi, debisi, sıcaklığı ve basıncı) farklı olduğu herhangi bir zamandaki performansının, tasarım şartlarındaki değerinin belirlenmesi işlemidir. Böylece santral tasarımının denetlenmesi mümkün olur.

Bir jeotermal santral, pek çok dinamik (türbinler, pompalar, akış kontrol elemanları vs) ve statik bileşenlere (çeşitli ısı değiştirgeçleri, akışkan taşıyıcı hatlar, buharlaştırıcılar vs) sahiptir. Bu bileşenlerin özgül performansları da korozyon, kabuklaşma, aşınma, ayar kaçıklıkları gibi nedenlerle işletme esnasında değişir. Bu değişimler de santral performansını etkiler. Santralin herhangi bir zaman veya zaman dilimindeki performansının, performans testi ile belirlenmiş başlangıç performansı ile karşılaştırılması ile, sistem bileşenlerinin performans değişimlerinin etkileri takip edilebilir ve buna bağlı olarak gerekli tedbirler alınabilir.

Çalışan bir santralda, performansı yükseltmek amacıyla yeni bileşenler ve sistemler kullanılabilir, kontrol edilebilir parametreler (akışkan basınçları ve debileri) değiştirilebilir. Söz konusu yenileştirme çabalarının sonuçlarının değerlendirilmesi için, bu değişimlerden sonra elde edilen performansın yine performans testi ile belirlenmiş başlangıç performansı ile karşılaştırılması ya da değişim öncesi performansı ile karşılaştırılması ile mümkündür.

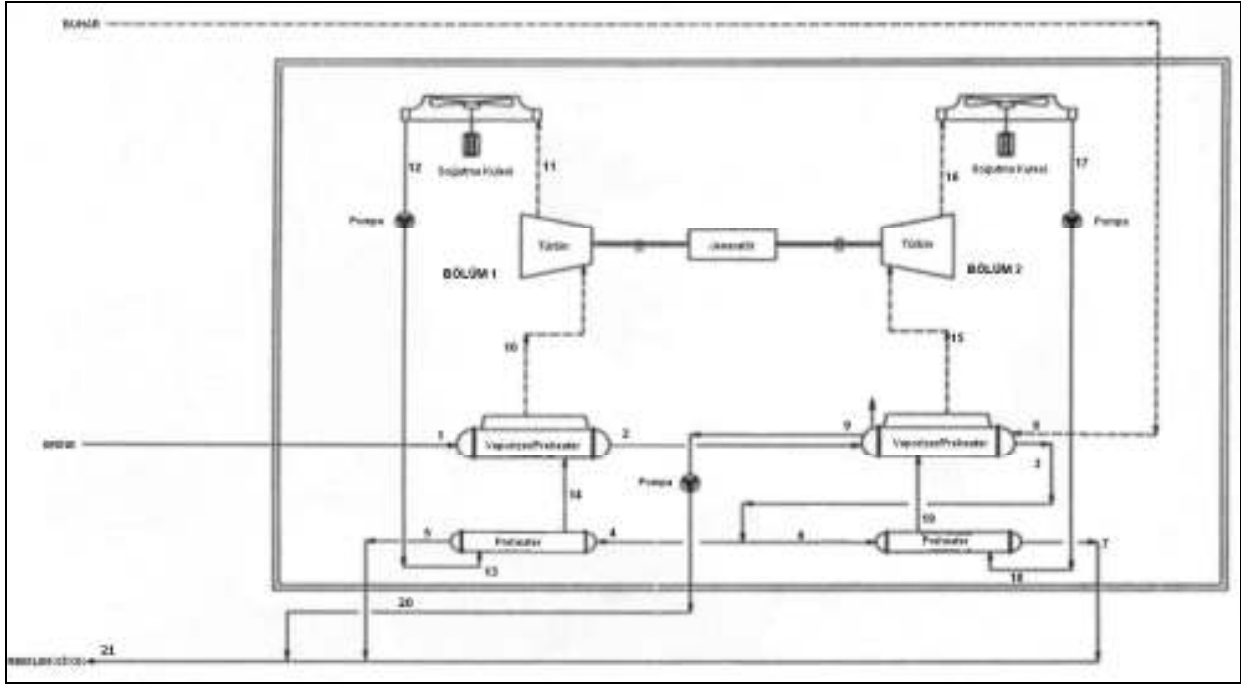
Yukarıda verilen ve açıklanan üç nedenle, jeotermal santrallarda performans testinin yapılması ve performansın ve performansı belirleyen değişkenlerin sürekli kaydedilmesi, bir başka deyişle performans gözlemi önemli bir işletme fonksiyonudur. Bu bildiride Salavatlı DORA-1 Jeotermal Santralında yapılan performans gözlem çalışmaları ve değerlendirmeleri üzerinde durulmuştur.

## 2. DORA – 1 JEOTERMAL ENERJİ SANTRALI : SİSTEM

Dora-1 Jeotermal Elektrik Santralı(JES), Aydın-Salavatlı Jeotermal Sahasında kurulmuş, Türkiye'nin ilk çift basınçlı iki akışkanlı (dual pressure binary cycle) jeotermal elektrik santralıdır. Santral sahadaki iki kuyudan (AS-1 ve ASR-2) üretilen iki fazlı jeotermal akışkanla (jeotermal akışkan - su (brine) ve buhar) beslenmektedir. Santralin genel şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Birincil akışkan (iki kuyudan üretilen jeotermal akışkan) kuyubaşında buhar ve sıcak su (brine) olarak ayrıştırılmaktadır. Akışkanlar basınçlı çevrimin buharlaştırıcısında daha sonra da düşük basınçlı çevrimin buharlaştırıcısında dolaştıktan sonra, her iki çevrimin ön ısıtıcılarına girmektedir. Ön ısıtıcıları terk eden jeotermal akışkan geri basım (re-enjeksiyona) hattına verilmektedir. Üretim kuyuları başında sıvı fazdan ayrılan buhar da, ayrı bir hatla düşük basınçlı çevrimin buharlaştırıcısında yoğunlaştırıldıktan sonra geri basım hattına gönderilmektedir (Şekil1).

Her iki çevrimde ön ısıtıcılardan ve evaporatörlerden geçtikten sonra buharlaşan ikincil (organik) akışkan (n-pentane) türbinlerde iş yaptıktan sonra, kondensere gönderilmekte, yoğunlaşan ikincil akışkan kondens pompaları ile tekrar ön ısıtıcılara basılmaktadır.

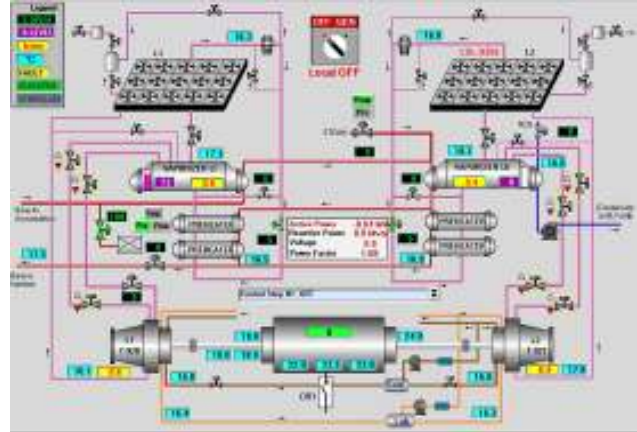


Şekil 1. Çift basınçlı iki akışkanlı jeotermal elektrik santrali genel şeması.

Şekil 2'de santralin genel görünüşü, Şekil 3'de ise çeşitli noktalarda akışkan özelliklerini, üretim değerlerini gösteren santralin SCADA sistemine bağlı kontrol sistemi ana ekranı verilmiştir. Bu ve benzeri ekranlarda görüntülenen termozifiksel büyüklükler, GEOPERFORM [1] merkezi veri tabanına aktarılmakta ve analizler için kullanılmaktadır.



Şekil 2. Santralin genel görünüşü.



Şekil 3. Santral ana kontrol ekranı.

## SANTRAL TASARIM PARAMETRELERİ

Bir santralin büyüklüğünü (üretim kapasitesini), cinsini ve çevrim özelliklerini belirleyen büyüklükler kullanılabilir ısı kaynaklarının termofiziksel özellikleridir. DORA-1 santrali için yüksek sıcaklıktaki kaynak, jeotermal kuyulardan sağlanan akışkandır. Kuyuların termofiziksel ve kimyasal özellikleri ile üretim ve geri basım debileri, üretim yöntemi sahanın geliştirilmesi aşamasında belirlenmiş ve santral tasarımında bu parametreler kullanılmıştır. Düşük sıcaklıktaki kaynak ise dış ortam havasıdır. Santral için seçilen tasarım parametreleri, değişim aralıkları ve bu parametrelere göre santralin öngörülen üretim değerleri aşağıdaki Tablo 1 ve 2'de verilmiştir [2].

Tablo 1'deki ilk beş tasarım parametresinden üçü (brine debisi, brine sıcaklığı ve buhar debisi) ile santral performansı arasındaki ilişki aynı yönlüdür. Bu üç parametre arttıkça veya azaldıkça, santral üretimi de artmakta veya azalmaktadır. Diğer iki parametre (hava sıcaklığı ve NCG yüzdesi) ile performans arasındaki ilişki ise ters yönlüdür.

Tabloda verilen hava sıcaklığı, Aydın İli için verilen yıllık ortalama hava sıcaklığıdır. Hava sıcaklığı düşük kaynak sıcaklığı olması nedeniyle santral verimini etkileyen en önemli tasarım parametresidir. Gerek yıllık değişimi, gerek günlük değişimi santralin performansını da etkileyecektir. Bu etkileşim, test süresi içindeki 48 saatlik bir aralık için Şekil 4'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, beklenildiği gibi, hava sıcaklığı ile santral üretim performansı arasında ters bir ilişki söz konusudur.

Hava sıcaklığı dışındaki diğer giriş parametrelerinin, (jeotermal akışkanı üretiminin kısılması gibi) işletmecinin müdahalesi dışında, değişmesi söz konusu değildir. Bunların değişmesi, genel olarak, jeotermal kaynağın işletme stratejisine (sürdürülebilir vs) ve jeotermal sistemde uzun zamanda meydana gelebilecek değişikliklere bağlıdır.

Tablo 2'den görüleceği üzere, öngörülen tasarım giriş parametrelerinde santralin brüt olarak 7350 kW, net olarak da minimum 6500 kW enerji üretmesi beklenilmektedir.

**Tablo 1.** DORA-1 tasarım parametreleri.

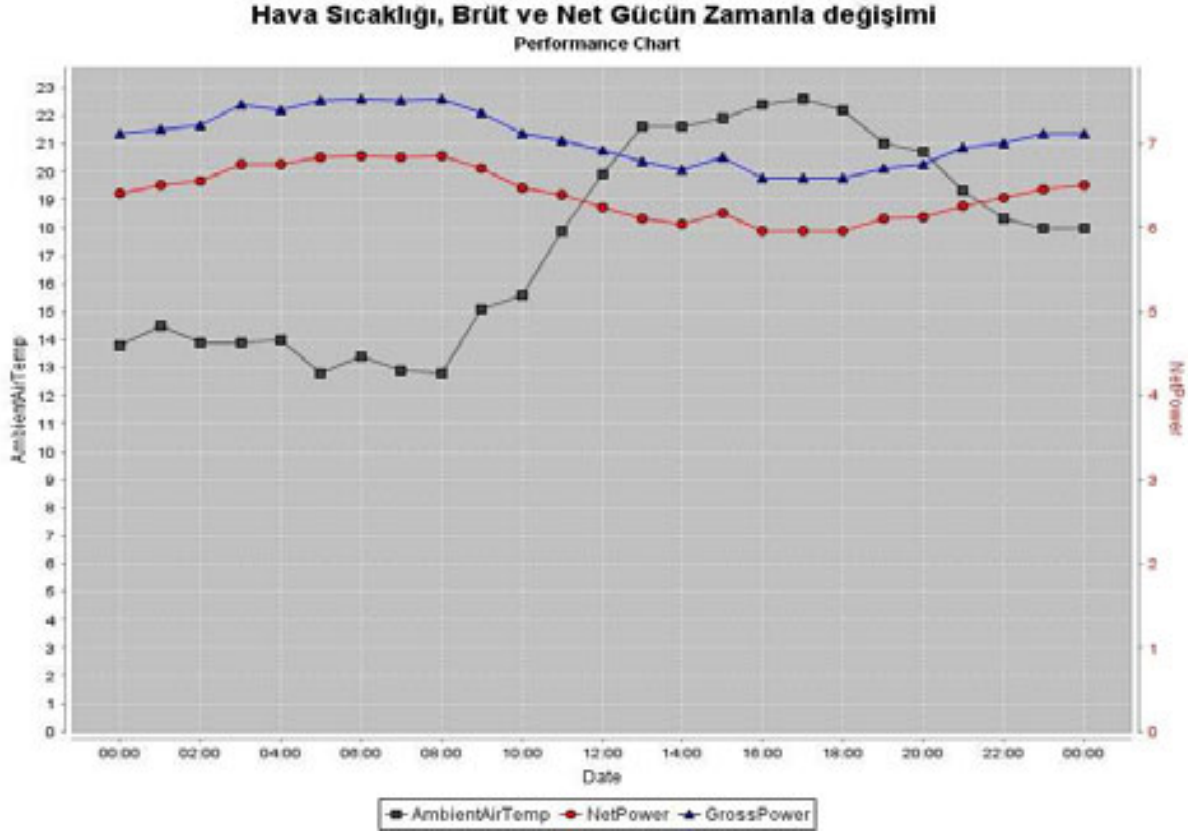
Tasarım Giriş Parametreleri ve Değişim Aralıkları			
Tasarım Parametreleri		Tasarım Parametreleri Değişim Aralıkları	
Dış hava tasarım sıcaklığı	17,1 °C	Dış Hava sıcaklığı değişim aralığı	0 – 40 °C
Brine <sup>1</sup> debisi	542,65 t/saat	Brine debisi değişim aralığı	% 80 – % 110
Buhar debisi (NCG <sup>2</sup> dahil)	22,45 t/saat	Buhar debisi değişim aralığı	% 80 – % 110
Brine giriş sıcaklığı	157,9 °C	Brine giriş sıcaklığı değişim aralığı	150 – 166 °C
NCG / Buhar yüzdesi	% 33,6	NCG yüzdesi değişim aralığı	% 29 – % 39
Santralin deniz seviyesinden yüksekliği	120 m		
Tasarım rüzgar hızı	35 m/sn		

<sup>1</sup> Sıvı fazdaki jeotermal akışkan

<sup>2</sup> NCG: Buhar içindeki yoğunlaşmayan gazlar (Non Condensable Gases)

**Tablo 2.** Santral tasarım performansı.

Generatör çıkışındaki brüt güç <sup>3</sup> , kW	7350
Garanti edilen net güç,kW	6500
Voltage , kV	11 ± % 5
Frekans, Hz	50 ± 1

**Şekil 4.** Dış hava sıcaklığı ile santral net gücünün değişimi.

### 3. SANTRAL PERFORMANS DÜZELTME FAKTÖRLERİ

Santral performansının herhangi bir anda tasarım değerlerine uygun olup olmadığını belirlemek üzere, Tablo 1'de verilen değişim aralıklarında geçerli olmak üzere, tasarım parametrelerinin değişiminin performans üzerine etkisini belirleyen düzeltme faktörleri ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $F_5$ ) grafikler ve analitik eşitlikler halinde, yapımcı firma tarafından verilmiştir[1,2]. Bu grafikler veya eşitlikler, herhangi bir andaki santral performansının (anlık net güç,  $P_{net}$ ), tasarım şartlarındaki parametrelere göre değerinin (düzeltilmiş net güç,  $P_{cnet}$ ) ne olduğunun bulunmasında kullanılmaktadır. Anlık net güç ile düzeltilmiş net güç arasındaki ilişki,

<sup>3</sup> Gross Power

$$P_{cnet} = \frac{P_{net}}{F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5} Z_1 \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

eşitliğiyle verilmiştir. Bu eşitlikte  $Z_1$  brüt güç ölçüm cihazının belirsizlik katsayısıdır.

#### 4. ÖNGÖRÜLEN PERFORMANS TESTLERİ

Kabul testlerinde yapılması öngörülen üç türlü test vardır. Bunlar Trip, Performans ve Kapasite testleridir. Trip Testi, santralin emniyetli ve güvenilir bir şekilde çalışabilirliğini içeren gösteren testtir. Bu test, türbin yağlama sisteminde dışarıdan (sanal olarak) yaratılan düşük basınç sinyaline karşı, sistemin emniyetli bir şekilde durması ve daha sonra da çalıştırma prosedürlerine göre tekrar işletmeye geçilmesidir.

Performans Testi, santralin en az 48 saat boyunca kararlı bir konumda çalıştırılmasını ve bu zaman dilimi içinde her 15 dakikada bir jeotermal akışkan şartlarının ve santral gücünün her 15 dakikada bir ölçülmesi ve ölçülen büyüklüklere dayalı olarak performans hesaplarının yapılması şeklinde tanımlanmıştır. 15 dakikada bir ölçülen değerlerden oluşan veri tabanı ve düzeltme faktörleri kullanılarak santralin tasarım şartlarına indirgenmiş (düzeltilmiş) net gücü hesaplanmakta ve garanti edilen net güç ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Performans testi esnasında aşağıdaki Tablo 3'de verilen parametrelerin ölçümleri yapılmaktadır.

**Tablo 3.** Performans testinde ölçülen büyüklükler.

Performans Testi Başlangıç tarihi, saati, dakikası
Başlangıç noktasına göre geçen zaman
Buhar besleme basıncı
Buhar debisi
Buharın NCG içeriği
AS – 1 kuyusu brine debisi
ASR – 2 kuyusu brine debisi
Brine santral giriş sıcaklığı
Dış hava sıcaklığı
Brüt (gross) güç
Yardımcı (parasitic) güç

Brüt (gross) güç ile yardımcı (parasitic) güç arasındaki fark santralin net güç üretimini vermektedir. Performans testleri sonuçlarının değerlendirilmesinde belirsizlik (uncertainty) analizleri de öngörülmüştür.

Kapasite testi, performans testleri esnasında veya başka bir zamanda dört saatlik bir periyotta alınan ölçümleri kullanarak, kapasite fazlalığı (Capacity Excess, CE) veya kapasite azlığı (Capacity Deficiency, CD) değerlerinin belirlenmesidir.

Dört saatlik zaman dilimi için,

$$P_{ndc} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} P_{cnet,i} \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

eşitliğiyle ortalama net kapasite (net deliverable capacity) hesaplandıktan sonra kapasite azlığı (CD) değeri,

$$P_{ndc} < 6500 \text{ için } CD = 6500 - P_{ndc} \quad (3a)$$

$$P_{ndc} > 6500 \text{ için } CD = 0 \quad (3b)$$

eşitlikleriyle, kapasite fazlalığı (CE) değeri

$$P_{ndc} > 6500 \text{ için } CE = P_{ndc} - 6500 \quad 4a)$$

$$P_{ndc} < 6500 \text{ için } CE = 0 \quad (4b)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır.

## 5. PERFORMANS VE KAPASİTE TESLERİ SONUÇLARI

### 6.1. Performans Testleri Sonuçları

Performans testleri 5 Temmuz 2006 günü saat 14.45'de başlatılmış ve 10 Temmuz 2006 saat 00:15'e kadar sürdürülmüştür. Toplam 105,5 saat'lik test süresi içinde ulusal elektrik ağında (enterkonekte sistem) elektrik kesilmesi nedeniyle yaklaşık 1,5 saatlik bir devreden çıkma söz konusu olmuştur.

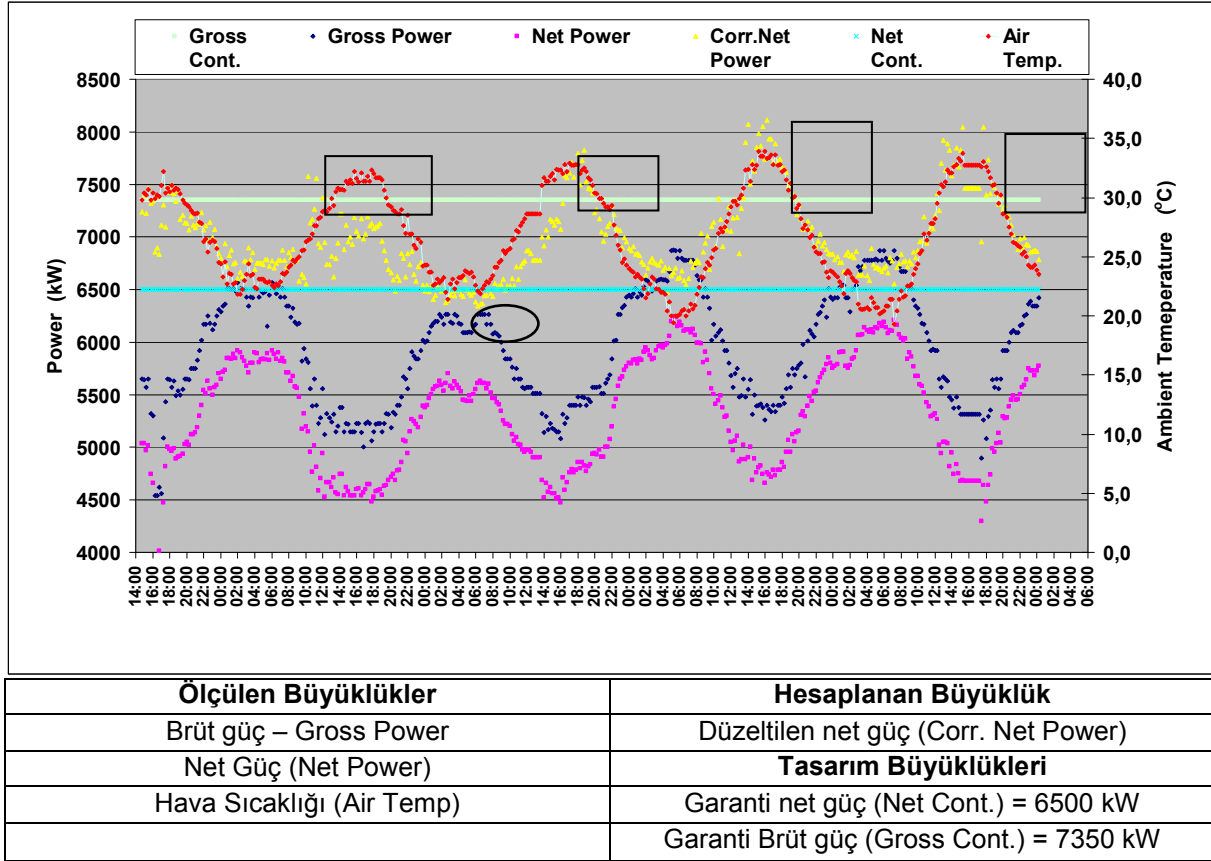
Performans testi süresince Tablo 3'de verilen büyüklükler 15 dakikalık periodlarla, işletme ve kontrol bilgisayarındaki ilgili görüntülerin (main screens) kopyalanması suretiyle kaydedilmiştir. Tablo 3 de yer alan yardımcı güç yanında doğrudan net güç değerleri okunmuştur. Hesaplamalarda bu değer net güç ( $P_{net}$ ) olarak kullanılmıştır. Her an için düzeltme faktörleri ilgili parametreler kullanılarak hesaplanmış, eşitlik 1 kullanılarak, düzeltilmiş net güç ( $P_{cnet}$ ) bulunmuştur. Ancak eşitlik 1'deki  $Z_1$  belirsizlik değeri hesaplanmamış ve 1 değeri kullanılmıştır. Şekil 5'de ölçülen (brüt güç-gross power, net güç-net power, hava sıcaklığı) ve hesaplanan (düzeltilmiş net güç-corrected net power) değerlerinin test süresince değişimi görülmektedir. Şekil 5'de ayrıca kontratta yer alan brüt-gross güç(Gross Cont.) ile garanti edilmiş net güç(Net Cont.) sınırları da çizilmiştir.

Şekil 5'den görüleceği üzere genellikle düzeltilmiş net güç, garanti edilen net gücün üzerindedir. Bazı saatlerdeki değerler ise (elips içine alınmış noktalar) garanti edilen değer (6500 kW) altında kalmaktadır. Bu noktalarda düzeltilmiş güç, garanti edilmiş güçten maksimum %2,51 ortalama %1,01 daha küçüktür.

Şekil 5'de göze çarpan ikinci husus düzeltilmiş net gücün bazı anlarda santral tasarım brüt değerinde (7350 kW) üzerinde olmasıdır (dikdörtgen içine alınmış noktalar).

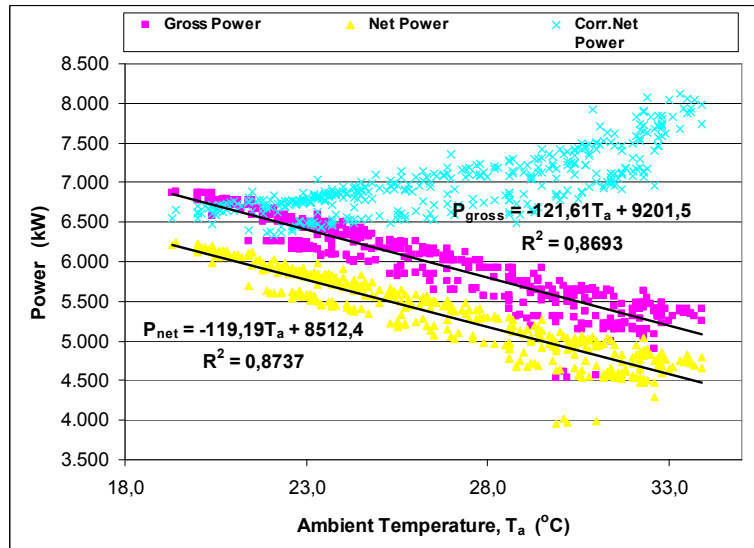
Değişik parametrelerin (hava sıcaklığı, brine debisi ve brine sıcaklığı) net güç, brüt güç ve düzeltilmiş net güç üzerindeki etkilerini görmek amacıyla veri tabanı kullanılarak Şekil 5-6 de verilen grafikler düzenlenmiştir.

Şekil 6'da, üç büyüklüğün (brüt güç, net güç, ve düzeltilmiş net güç) dış hava sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Test süresi içinde, beklenildiği gibi, net güç ve brüt güç dış hava sıcaklığıyla çok güçlü olarak bir biçimde lineer olarak değişmektedir.



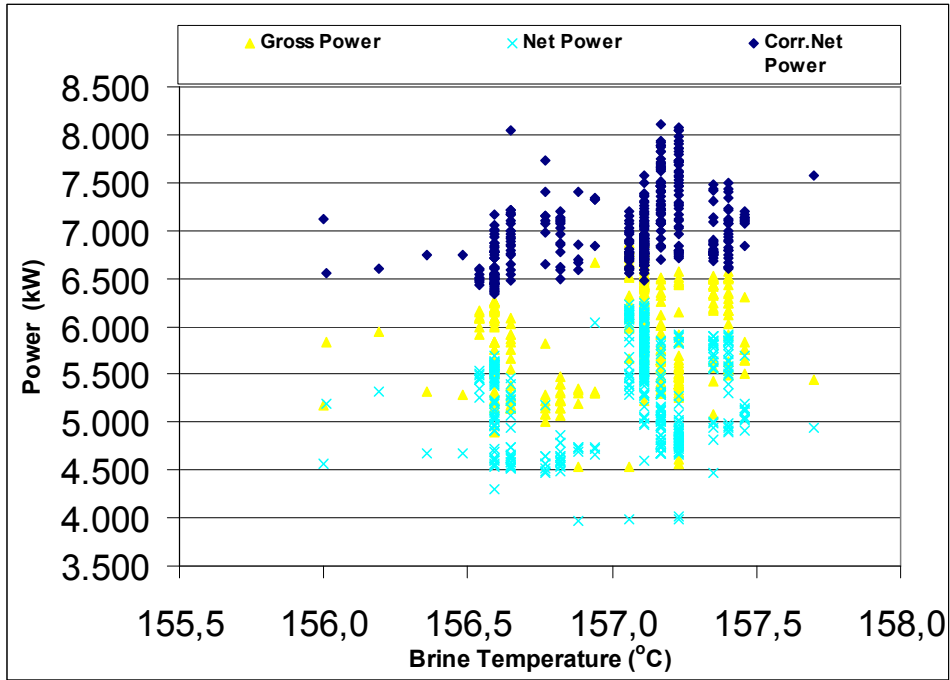
Şekil 5. 105,5 saatlik test süresi içinde ölçülen ve hesaplanan değerlerin değişimi.

Şekil 7 ve 8’de yine net, brüt ve düzeltilmiş net gücün sırasıyla brine sıcaklığına ve brine debisine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Her iki şekil incelendiğinde, değişkenler arasında, serbest değişkenlerin test süresi içindeki değişim aralığında, düzenli bir ilişkiden bahsetmek ve bir yorum yapmak mümkün değildir.

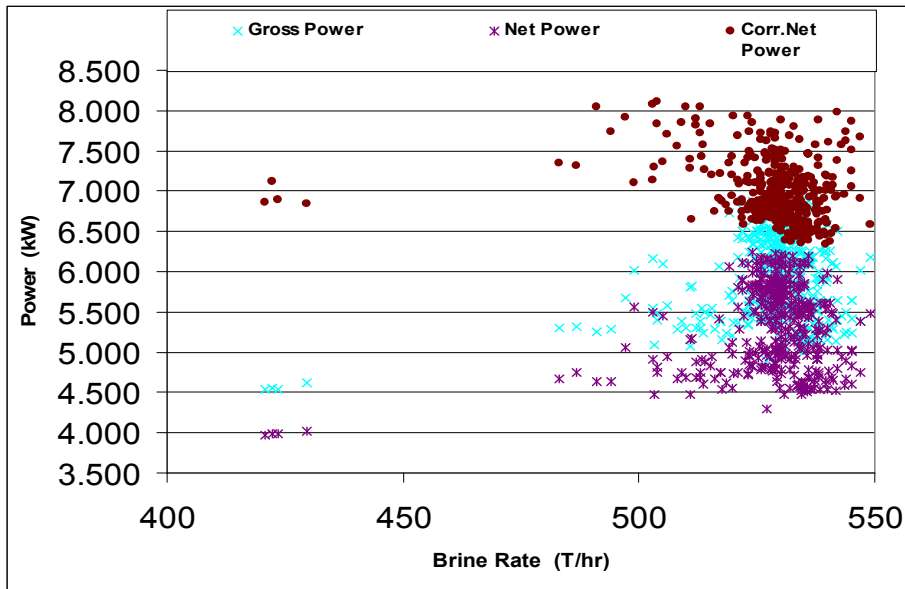


Şekil 6. Brüt, net ve düzeltilmiş net gücün dış hava sıcaklığı ile değişimi.





Şekil 7. Brüt, net ve düzeltilmiş net gücün brine sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 8. Brüt, net ve düzeltilmiş net gücün brine debisi ile değişimi.

## 6.2. Kapasite Testi Sonuçları

105,5 saatlik test süresi, dört saatlik periyodlara ayrılarak, her bir periyod için kapasite testi uygulanmış, 3 ve 4 nolu eşitlikler kullanılarak kapasite azlığı (CD) ve kapasite fazlalığı (CE) hesaplanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki Tablo 4'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere 22 periyodun ikisinde kapasite eksikliği, diğerlerinde kapasite fazlalığı söz konusudur.

Kapasite eksikliğinin söz konusu olduğu periyodlar, Şekil 5'deki düzeltilmiş net gücün, garanti edilmiş net güçten küçük olduğu zamanları içine alan periodlardır. CE>0 olan 20 periodda ortalama kapasite fazlalığı 550 kW dır. CD>0 olan periodlardaki eksiklik göz önüne alınırsa, ortalama fazlalık 500 kW olmaktadır.

**Tablo 4.** Kapasite testi sonuçları (değerler kW olarak verilmiştir).

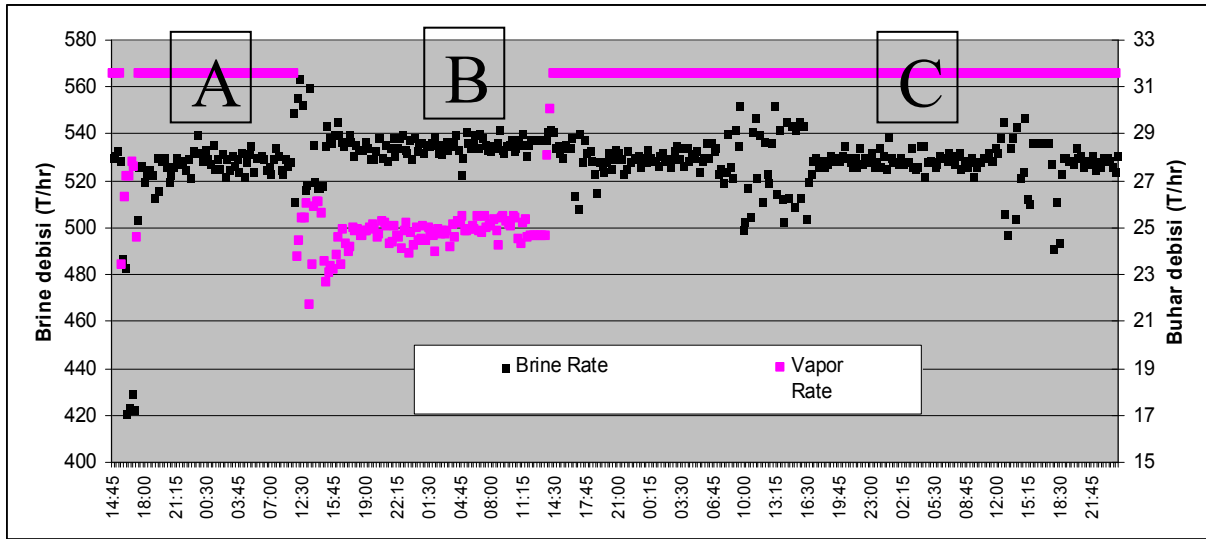
P <sub>ndc</sub>	CD	CE	P <sub>ndc</sub>	CD	CE
7.249	0	749	6872	0	372
7.156	0	656	6671	0	171
6.818	0	318	6912	0	412
6.768	0	268	7434	0	934
6.964	0	464	7730	0	1230
6.913	0	413	7025	0	525
6.647	0	147	6758	0	258
6.474	26	0	6722	0	222
6.465	35	0	6981	0	481
6.733	0	233	7669	0	1169
7.332	0	832	7389	0	889

## 6. ÖLÇÜMLERİN GÜVENİLİRLİĞİ VE BELİRSİZLİK ANALİZİ

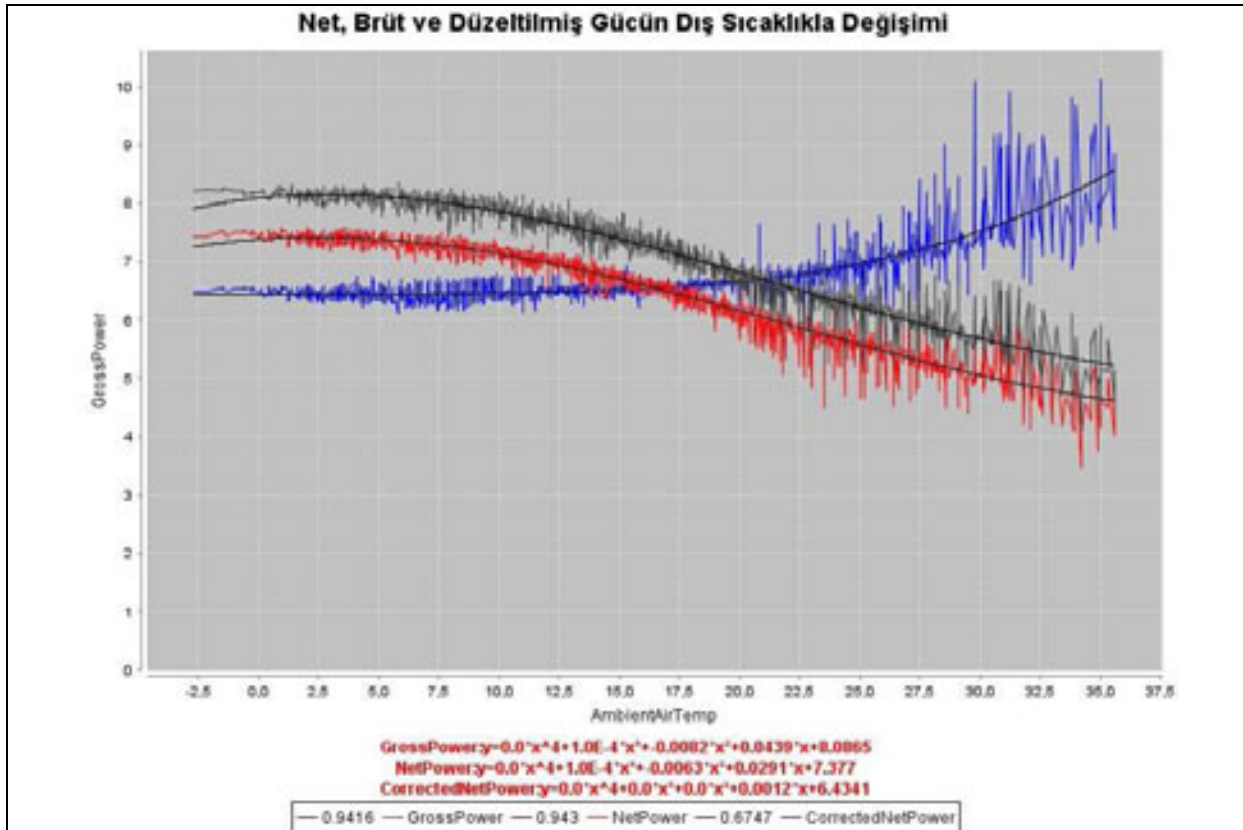
Yapımcı firmanın oluşturduğu kabul testleri (Final Acceptance Performance Tests) işlemlerine göre, 105,5 saat boyunca sürdürülen testler, performans testleri için öngörülen test süresinin (48 saat) yaklaşık olarak iki katından biraz fazladır. Önceki bölümden görüleceği üzere bu süre içindeki belli bir zaman diliminde, sistemin kabul şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Ancak bu sonuçlar tam olarak güvenilir sonuçlar değildir. Bunun en büyük nedeni giriş parametrelerinin ölçümündeki hatalardır.

Özellikle buhar debisinin ölçülmesinde büyük hataların olduğu görülmektedir. Mevcut olan sistemde, buhar debisini öngörülen değişim aralığı içinde (22,45 t/saat, %80 -%110) tutmak üzere ayarlandığında, geçen-okunan debinin doğru olup olmadığı konusunda büyük bir kuşku vardır. Bunun ötesinde, buhar hattı tam açıldığında, ki testlerin büyük çoğunluğu tam açık halde yapılmıştır, okunan değer 31.57 t/saat gibi bir değerinde kalmaktadır. Bir başka deyişle geçen buhar debisinin ne olduğu bilinmemektedir. Şekil 9'da test boyunca buhar ve brine debilerinin değişimi gösterilmiştir. Testin başlangıcı (Şekil 9: A), buhar hattının tam açıktır. Okunan buhar debisi, buhar debisi düzeltme faktörü için verilen değişim aralığından büyük olduğu için, operatörden buhar hattının kısıp debinin 22-24 t/saat arasında tutulması (Şekil 9 B) istenmiştir. Testler bu değerlerde sürdürülürken, vana açıklıklarından buhar debisinin okunan değerde olamayacağı değerlendirmesi yapılmıştır. Daha sonra tekrar buhar hattı tam açık hale getirilmiştir(Şekil 9:C). Bu durumda göstergeden yine sabit 31.57 t/saat değer okunmaya başlanmıştır.

Sonuçları yukarıda 5. Bölümde aktarılan tasarım şartlarına indirgeme hesaplarında, buhar debisine ait F faktörü hesaplanırken 31.57 t/saat değer kullanılmıştır. Ancak 31,57 t/saat değer düzeltme faktörü için verilen eşitliğin geçerli olduğu değişim aralığında bir değer değildir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar güvenilir değildir. Bu değere bağlı olarak hesaplanan NCG yüzdesi de doğru olarak hesaplanamamakta ve nihai olarak düzeltilmiş net gücün hesabında kullanılan NCG'ye ait düzeltme faktörlerinde gerekli hassasiyette hesaplanması mümkün olmamaktadır.



Şekil 9. Test süresi içinde buhar ve (sıvı) jeotermal akışkan debilerinin değişimi.



Şekil 10. Net, brüt ve düzeltilmiş güc değerleri; 6 Eylül 2006 – 15 Şubat 2007.

6 Eylül 2006 – 15 Şubat 2007 tarihleri arasında alınmış 2663 saatlik ölçüm değerleri ile GEOPERFORM programı kullanılarak yaratılan veri tabanı ve analiz ile elde edilmiş net, brüt ve düzeltilmiş gücün sıcaklıkla değişimi ve dördüncü derece polinomlar olarak korelasyonları Şekil 10'da verilmiştir.

Şekilde görülen dağılımda dikkati çeken özellik, düzeltilmiş güç değerlerinin tasarım dış sıcaklığının (17.1 °C) altındaki değerlerde net güç tasarım değerine yakın değerlerde, ancak, beklenen bu davranışın aksine, 17.1 °C üstündeki sıcaklıklarda, artan sıcaklıkla artan eğilimde tasarım net gücünün (6,5 MWh) üstünde değerlere ulaşmasıdır. Düzeltilmiş gücün hesaplanmasında kullanılan diğer özelliklerin (değişimlerinin çok küçük olduğu dikkate alınır, düzeltilmiş gücün hesaplanması için önerilen teorik esaslı polinomun 17.1 °C üstündeki dış hava sıcaklıkları için çok hassas olmadığı sonucuna varmak mümkündür.

## SONUÇ

- a. Bir jeotermal santralde (1) santral tasarım performansının testi, (2) santralin başlangıç performansına göre değişimlerin gözlemi ile sistem arıza ve bakım analizlerinin yapılması ve (3) sistem performansını yükseltme çalışmalarının başarısının belirlenmesinde referans noktası oluşturmak amaçlarıyla belli periyotlarda ölçülen bu büyüklükler ile ölçülen büyüklüklerden türetilmiş büyüklükler gözlemin yanında bir veri tabanında saklanmalıdır.
- b. Santral tasarım performans testi, santralin çalışmaya başladığı anda, son ayarları yapıldıktan sonra tasarım performansı ile tasarımın uygulanmasından sonra gerçekleşen performans arasındaki farkların belirlenmesi açısından yapılması zorunlu bir testtir.
- c. Santral tasarım performansı ile yapılan test sonucunda elde edilen sonuçlar, santralin ortalama performansını göstermez. Çünkü, santral çalışmaya başladığı anda tüm ısı transferi yüzeyleri temizdir ve tasarım esnasında kabul edilen kirlilik faktörlerine henüz ulaşılmamıştır. Ayrıca performansa doğrudan veya dolaylı etki eden bileşen performansları da, santralin çalışmaya başladığı anda en üst seviyelerindedir. Çalışma süresi arttıkça beklenen yüzey kirlilikleri ve bileşenlerde performans düşüklüğü olacaktır. Bunların etkileri ile performansta da düşmeler gözlenecektir.
- d. Saatlik ölçümlerle oluşturulan veri tabanı ile bu verilere dayanarak yapılan analizlerin güvenilirliği, yapılan ölçümlerin güvenilirliği ile doğrudan ilgilidir. Santralin kurulması aşamasında fiziksel özelliklerin ölçülmesi kalibrasyonu yapılmış ve hassasiyetleri belirlenmiş ölçüm aletleri ile yapılmalı ve bu özelliklere dayalı belirsizlik analizi performans analizlerinin bir parçası olmalıdır.. Aksi halde ölçüm aletlerinin hassasiyet sınırları içinde kalabilecek sonuçlar aşırı yorumlanabilir.
- e. Uzun yıllar boyunca oluşturulan veri tabanlarına dayalı analizlerle (çoklu regresyon analizleri) çalışan santralin gerçek analitik karakteristiklerinin (örneğin net gücünün dış hava sıcaklığı gibi değişkenlere bağlılığının) belirlenmesi mümkün olur. Bu karakteristiklere bağlı olarak arıza ve bakım öngörümüleri gerçekleştirilir.
- f. Salavatlı DORA – 1 santrali için düzeltilmiş gücün (ve ilgili faktörün) dış hava sıcaklığının 17,1 °C üzerindeki hava sıcaklıkları için Şekil 9'da gösterilen değişimi üzerinde durulmalıdır.
- g. Çok uzun zaman dilimlerinde çok sayıda ölçülen büyüklüklerin oluşturacağı veritabanları ancak uygun yazılımlarla analiz edilebilir. Bu çalışmada GEOPERFORM programı başarıyla kullanılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] GÜLGEZEN, G., SUMER, E.C., AYTAÇ, S., TOKSOY, M. Jeotermal Santrallarda Performans Gözlemi için Veri Tabanı Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi için Bir Program: GEOPERFORM. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri, 2007.
- [2] ORMAT. "Salavatlı Geothermal Project Final Acceptance Performance Tests". 2005

## ÖZGEÇMİŞ

### Macit TOKSOY

1949 İlkurşun (Ödemiş-İzmir) doğumlu. 1972 de İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Makina Mühendisi olarak mezun oldu, 1976 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde doktorasını tamamladı. 1972 yılından 1999 yılına kadar Ege Üniversitesi'nde, Dokuz Eylül Üniversitesi'nde, North Carolina Eyalet Üniversitesi'nde çeşitli pozisyonlarda akademisyen olarak çalıştı. 1981 – 1983 döneminde Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Başkanlığını yaptı, 1999 – 2003 yıllarında İzmir İli Jeotermal Enerji Yüksek Danışma Kurulu Başkanlığını yürüttü. Dokuz Eylül Üniversitesinde, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde ve YÖK'te çeşitli kademelerde yöneticilik yaptı ve idari görevler yaptı. 1999 yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitü'sünde akademik hayatına devam ediyor. 100'ün üzerinde makale ve bildirinin yazarı. Evli ve İki çocuklu. <http://likya.iyte.edu.tr/mechweb/turkce/personel/personel.htm>

### Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.

### Niyazi AKSOY

1962 Gümüşhane doğumludur. İTÜ Petrol Mühendiliği Bölümünden 1984 yılında mezun olduktan sonra, 1984-1994 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü jeotermal projelerinde sondaj ve test mühendisi olarak çalıştı. 1995 yılında DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu'na geçti. 2001 yılında DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji ABD'de doktorasını tamamladı. Halen, DEÜ'de yardımcı doçent olarak öğretim üyeliği ve bazı jeotermal projelerinde danışmanlık yapmaktadır.