



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

JEOTERMAL ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMLERİNDE ORTAM DİZAYN SICAKLIĞI

**REZA AGAHI
BREXEL**

**ALEXANDER & RENKEN, HERGEN
ATLAS COPCO GAS AND PROCESS**

**ÇİĞİR DİNER
EGESİM**

JEOTERMAL ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMLERİNDE ORTAM DİZAYN SICAKLIĞI

The Design Ambient Temperature for Geothermal Organic Rankine Cycle Power Plant

Reza AGAHI
Alexander & Renken HERGEN
Çığır DİNER

ÖZET

Hava soğutmalı organik rankin çevrimli santrallerde dizayn ortam sıcaklığı olarak geçmiş ortalama dış ortam sıcaklığının önerilmesi yaygın bir uygulamadır. Santral performansı ve güç üretimi yaz ve kış aylarındaki aşırı sıcak ve soğuk dış ortam sıcaklıklarından fazlasıyla etkilenecektir.

Bu sayfada yazarlar, geçmiş ortalama, median ve mode istatistikî sıcaklık değerleri arasındaki seçimi ve bunun yıllık toplam elektriksel güç üretimine etkisini değerlendirmiştir. Bu çalışma gerçek bir jeotermal santralden alınan kaynağa göre yapılmıştır ve bilgisayar simülasyonu analiz metodu olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ORC, Ortam ve Dizayn Sıcaklıkları

ABSTRACT

It is a common practice to recommend the historical average ambient temperature as the design ambient temperature for a geothermal Organic Rankine Cycle power plant with air cooled condensers. The plant performance and power production will be greatly influenced by the extreme summer and winter ambient temperatures.

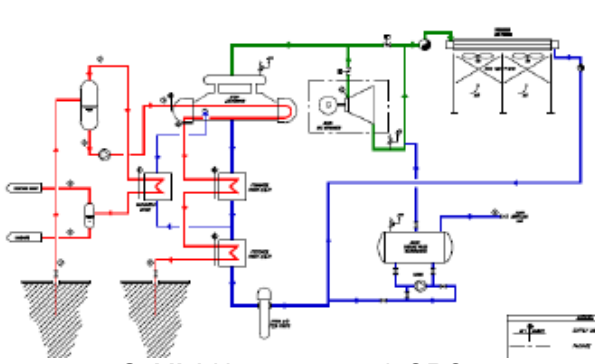
In this paper the authors evaluate a choice between the historical average, mode and median ambient temperature and its impact on the annual cumulative electrical power production in a geothermal power plant. This study is based on the actual resource data from a geothermal power plant and computer simulation is utilized as the method of analysis.

Key Words: ORC, Ambient and Design Temperatures.

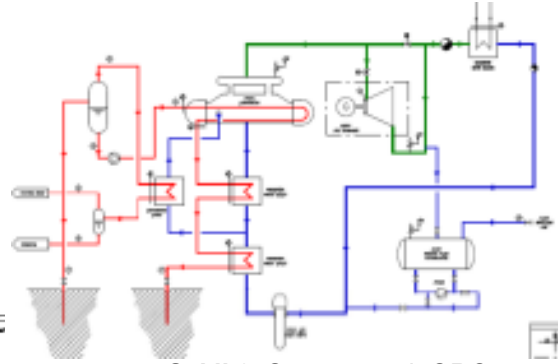
1.GİRİŞ

Düşük ve orta dereceli jeotermal kaynaklardan enerji kazanımı yükselen trendlerle talep görmektedir. Gümrük tarifeleri ve ilgili düzenlemeleri iyi yapılandırılmış ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımları, jeotermal çift çevrimli santraller formunda önemli rol oynamaktadır.

Jeotermal çift çevrimli santrallerde jeotermal kaynaktan gelen ısının çevrimi için düşük kaynama noktalı organik sıvılardan faydalanılır. Organik buhar, jeneratöre güç sağlayan türbini çalıştırır. Organik sıvı, evaporatöre verilmeden önce kondenserde soğutularak, sıvı fazına çevrilir. Şekil 1 ve 2, iki tipik jeotermal çift çevrimli santralı göstermektedir. Şekil 1, Hava soğutmalı kondenser ile jeotermal organik rankin çevrimini, Şekil 2, su soğutmalı kondenser ile jeotermal organik rankin çevrimini göstermektedir.



Şekil 1 Hava soğutmalı ORC



Şekil 2. Su soğutmalı ORC

Hava soğutmalı organik rankin çevrimli santraller için en önemli ve kritik dizayn parametrelerinden biri de çevre sıcaklığıdır. (Organik Rankin Çevriminin yapılandırılması ve hava soğutmalı kondenserin dizayn özellikleri seçilen kuru termometre sıcaklığın bağlıdır.)

Santralin bulunduğu bölge için verilerin uygun olduğu geçmiş ortalama ortam sıcaklığı, bir sonraki en iyi değerdir. Hava soğutmalı jeotermal organik rankin santrallerinin performansı hava sıcaklığı düşüğe artar, hava sıcaklığı arttıkça azalır. 2000'lerden beri Türkiye'deki organik rankin çevrimli santrallerin birçoğu Aydın bölgesindedir. Ve ilk inşa edilen santraller ortalama dış ortam sıcaklığı 18° C baz alınarak dizayn edilmiştir. Birçok santral 2013 ve 2014 yaz aylarındaki anormal hava sıcaklığı artışı ile sıcaklığın 40 derecelere ulaşması ile düşük santral performanslarından mağdur olmuşlardır. Bu deneyim, dış ortam sıcaklığının tahmini değerleri hakkında belirsizliğe yol açmıştır. Jeotermal enerji şirketleri ortam sıcaklığı konusunda kendilerini korumak amacı ile 19-20° C hatta bazı şirketler 21-22° C gibi yüksek sıcaklıkları seçmeye başladılar. Bu sayfada yazar, Organik Rankin Çevrimli santrallerin dizayn sıcaklıklarını average, median ve mode olarak tanımlanılan 3 değişik istatistikî ölçüme göre değerlendirmiştir. Aylık ortalama ortam sıcaklığı ve diğer istatistikî değerler baz alınarak yıllık toplam güç üretimi karşılaştırılıp, maximum toplam yıllık üretiminin hangi ölçüm ile belirlendiği bulunacaktır.

2. ORTAM SICAKLIĞI İSTATİSTİKLERİ

Birçok Web sitesi, ortalama, median, ve mode istatistikî değerlendirmesi için gerekli değerleri sağlayamamaktadır. Genellikle web siteleri ortalama, maximum ve minimum verilerini vermiştir fakat median ve mode değerlerini bulmak için hiçbir data bulunmamaktadır. Appendix I Aydın, Türkiye bölgesinin ortalama ortam sıcaklığı verilerini göstermektedir.

Aydın daki bir jeotermal enerji firması saatlik ortam sıcaklığı verilerini kaydetmiştir. Appendix II bu kayıtlı ölçümleri göstermektedir.

Ortalama, median ve mode istatistikî ölçümlerini değerlendirmek için bu datalardan faydalanılmıştır.

Tablo1: Avarage, Median ve Mode değerlerinin aylık ve yıllık ölçümleri

	Average	Median	Mode
Ocak	4	3.5	2.5
Şubat	7	6.5	5.5
Mart	13.08	12.95	11.58
Nisan	19.05	18.29	17.00
Mayıs	20.24	20.16	19.94
Haziran	26.88	26.71	24.61

Tablo1: Avarage, Median ve Mode değerlerinin aylık ve yıllık ölçümleri(DEVAMI)

Temmuz	29.30	28.85	27.09
Ağustos	28.44	27.68	26.68
Eylül	24.14	23.34	20.83
Ekim	19.29	18.35	17.46
Kasım	13.81	13.23	11.83
Aralık	6.51	6.18	4.75
Yıllık	17.64	17.14	15.81

Ocak ve Şubat ayı istatistiki ölçümleri diğer ayların ölçümlerine dayalı tahmini olarak belirlenmiştir.

3. ORC SANTRAL PERFORMANS SİMÜLASYONU

Tahmini ORC santral verileri Table 2 de olduğu gibi var sayılmıştır.

Tablo 2: Örnek çalışma için Jeotermal akışkan koşulları

Akışkan Koşulları	Birimler	Dizayn Değerleri
Sıcaklık	° C	170
Basınç	BarA	10
NCG	%	2
Akış	m ³ /hr	7,700
Reenjeksiyon sıcaklığı	° C	>70

Santralin dizayn noktasına göre 15 MW net üretmesi farzedilmiştir. Aşağıda Tablo 3 de gösterildiği gibi elektrik üretim değerleri, ortalama, median ve mode istatistiksel değerlerine göre hesaplanmıştır.

Tablo 3. Dizayn noktasına göre Jeotermal ORC Santral Performans değerleri

Dizayn Ortam Sıcaklığı	Brüt Elektrik Üretimi	Net Elektrik Üretimi	Sıvı Akışı
Average, 17.64 ° C	20,784 kw	15,000 kw	239.2 kg/s
Median, 17.14 ° C	20,744 kw	15,000 kw	236.3 kg/s
Mode, 15.81 ° C	20,732 kw	15,000 kw	231.3 kg/s

Aşağıda Tablo 4 de aylık ortalama ortam sıcaklığı baz alınarak dizayn edildiği farzedilen jeotermal ORC santralinin yıllık elektrik üretim değerleri verilmiştir.

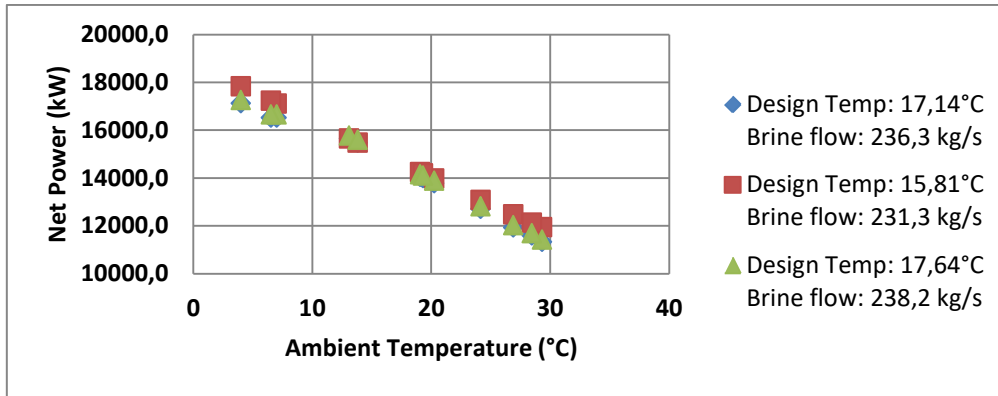
Varsayılan jeotermal ORC santralinin yıllık toplam güç üretimi Table 5 de gösterilmiştir.

Tablo 5. Yıllık Toplam Brüt ve Net Elektrik Üretimi

Dizayn Ortam Sıcaklığı	Yıllık Toplam Brüt Elektrik Üretimi	Yıllık Toplam Net Elektrik Üretimi	Sıvı Akışı	Isı Eşanjör Alanı Mode dizaynına karşılaştırma göre
Average, 17.64 ° C	141.04 Gwh	118.97 Gwh	239.2 kg/s	102.3%
Median, 17.14 ° C	139.93 Gwh	118.03 Gwh	236.3 kg/s	101.7%
Mode, 15.81 ° C	142.67 Gwh	121.26 Gwh	231.3 kg/s	100.00%

Tablo 4 Aylık Ortam Sıcaklığına Göre, Aylık Elektrik Üretim Değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	4	7	13.08	19.05	20.24	26.88
Jeneratör verimi (%)	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Dişli kutusu kaybı (kW)	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1
Türbin verimi(%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	20435.2	19702.5	18236.9	16827.8	16550.9	15031.8
İç tüketim(kW)	2599.5	2598.7	2592.9	2582.0	2579.1	2558.9
Net Üretim (kW)	17835.7	17103.8	15643.9	14245.8	13971.8	12472.9
Dişli kutusu kaybı (kW)	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2
Türbin verimi (%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	19776.9	19184.3	18299.3	16684.4	16409.7	14543.5
İç Tüketim (kW)	2660.1	2658.6	2650.4	2640.0	2637.0	2617.8
Net Üretim (kW)	17116.7	16525.7	15648.9	14044.4	13772.7	11925.8
Dişli kutusu kaybı (kW)	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6
Türbin verimi (%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	19934.2	19337.0	18444.8	16817.2	16540.4	14659.5
İç Tüketim (kW)	2681.8	2680.2	2671.8	2661.4	2658.4	2639.0
Net Üretim (kW)	17252.5	16656.8	15773.0	14155.8	13882.0	12020.5
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	29.3	28.44	24.14	19.29	13.81	6.51
Jeneratör verimi (%)	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Dişli kutusu kaybı (kW)	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1
Türbin verimi(%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	14489.6	14681.5	15653.1	16771.9	18062.8	19821.7
İç Tüketim (kW)	2549.5	2552.9	2568.2	2581.5	2591.8	2598.7
Net Üretim (kW)	11940.1	12128.6	13085.0	14190.4	15471.0	17223.0
Dişli kutusu kaybı (kW)	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2
Türbin verimi (%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	13931.8	14204.3	15332.3	16628.9	18124.6	19182.7
İç Tüketim (kW)	2608.5	2611.6	2626.6	2639.5	2649.2	2659.2
Net Üretim (kW)	11323.3	11592.7	12705.7	13989.5	15475.4	16523.5
Dişli kutusu kaybı (kW)	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6
Türbin verimi (%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Jeneratör brüt üretim (kW)	14042.9	14317.6	15454.5	16761.3	18268.8	19335.3
İç Tüketim (kW)	2629.6	2632.8	2647.9	2660.8	2670.8	2680.9
Net Üretim (kW)	11413.3	11684.8	12806.6	14100.5	15598.0	16654.4


Şekil 3. Aylık ortalama sıcaklığına göre aylık elektrik üretimi



4. SONUÇ:

Bu çalışma ve simülasyon kısıtlı verilere ve geçmiş ölçümlere dayalıdır. Optimal dizayn ortam sıcaklığının Mode istatistiksel ölçümlerine göre olduğu belirlenmiştir. Sonuç varsayılan lokasyona ve uygulanabilir jeotermal kaynağa göre belirlenmiştir.

İstatistiksel Mode değerlerine göre dizayn ortam sıcaklığına göre, ısı eşanjör alanı daha düşük olduğu için yatırım da düşük olmaktadır.

Bu simülasyon, içeri üst akışlı radyal türbin teknolojisiyle birlikte debiyi otomatik olarak değiştiren kılavuz kanatlarına göre baz alınmıştır. Bu türbin teknolojisi, değişken geometriye sahip türbin olarak da bilinen, jeotermal ORC santrallerde yıllık toplam daha fazla güç üretebilen teknolojilerdir.

Daha fazla çalışma ve simülasyon önerilmektedir.

Kaynaklar:

[1] Tefik Kaya, An Overview on Drilling and Geothermal Energy Projects in Turkey, GRC Annual Meeting, GRC International Session, September 20 – 23, 2013, Reno, Nevada, USA

[2] Buscher, Eckerhard; Feed-in-Tariffs Blessing or Curse for Geothermal Energy? Worldwide Background and Overview, GRC Transactions, Vol 36, September 30 – October 3, 2012, Reno, Nevada, USA

[3] Weather Underground Website, <https://www.wunderground.com>

[4] Private correspondence

[1] R. Agahi and C. Spadacini. Comparison between Variable and Fixed Geometry in Geothermal Power Plants, Proceeding World Geothermal Congress 2010, 25-29 April 2010 Bali, Indonesia

APPENDIX I

AYDIN	THE AVERAGE STATISTICAL METEOROLOGICAL DATA (1950 - 2015)											
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1. AVERAGE TEMPERATURE (°C)	8.2	9.3	11.8	15.8	20.9	25.9	28.4	27.6	23.5	18.4	13.3	9.6
2. AVERAGE HIGHEST TEMPERATURE (°C)	13.2	14.7	17.9	22.5	28.1	33.3	36.1	35.7	32	26.2	19.7	14.6
3. AVERAGE LOWEST TEMPERATURE (°C)	4.3	4.9	6.7	10	14.2	18.1	20.5	20.2	16.7	12.7	8.7	5.8
4. AVERAGE INCOMING SOLAR FLUX (Hours/day)	3.5	4.2	5.3	6.1	7.5	9.2	10	9.2	8.6	6.2	4.2	3.4
5. AVERAGE RAINY DAYS	12.2	10.4	9.7	8.7	6.3	2.3	0.8	0.5	2.1	5.7	8.3	12.8
6. AVERAGE TOTAL RAIN FALL (kg/m ²)	108.6	93.8	70.4	52.9	36.5	13.5	3.9	2.3	13.1	44.2	83.9	120.9

THE HIGHEST AND LOWEST AMBIENT TEMPERATURES MEASURED FOR LONG TERM (1950 - 2015)												
THE HIGHEST TEMPERATURE (°C)	23.2	25.2	32.4	35.4	40.2	44.4	46.4	43.8	43.3	37.8	30.7	25.9
DATES MEASURED	1/18/1971	2/18/1950	3/27/1987	4/30/2013	5/31/1969	6/27/2007	7/27/1987	8/12/2002	9/1/2007	10/2/1991	11/2/2004	12/17/1957
LOWEST TEMPERATURE (°C)	-7.6	-5.4	-5	-0.8	4.6	8.4	13.4	11.8	7.6	2	-2	-5.3
DATES MEASURED	1/18/1964	2/6/1950	3/6/1987	4/10/1997	5/3/1990	6/3/1990	7/3/1971	8/31/1963	9/30/1970	10/30/1987	11/27/2004	12/19/1933

HIGHEST RAIN FALL (kg/m ²)	93.8
--	------

1/4/2009

HIGHEST WIND SPEED (km/h)	106.2
---------------------------	-------

4/19/1969



APPENDIX II

Saatlik ortam sıcaklığı Ocak-Aralık 2016

DAYS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
00:00 / 08:00	1:00	9.8	3.4	7.5	11.5	11.1	7.8	7	6.6	3.4	3.7	4	5	7	7	0
	2:00	9.5	2.4	7.8	11.1	11	7.6	6.3	4.8	4.2	5	5	5	7	5	0
	3:00	8	2.5	7.6	10.9	10.7	8	6.8	5	2.7	3.2	5	5	8	5	0
	4:00	5.8	1	7.3	10.5	10.9	7.1	6.9	4.9	2.5	2.2	6	5	8	5	0
	5:00	5.5	1.2	7.1	10	10.5	6.7	5.4	5.4	2.6	2.4	5	3	7	3	0
	6:00	4.8	1.4	7.1	10.1	9.7	6.6	5.3	5.1	2.7	2	5	3	7	2	0
	7:00	5	0	7.4	9.9	10.1	5.5	5	5.2	2.1	1.1	4	4	8	2	0
	8:00	3.9	0	8.2	9.3	9.8	4.8	4.7	6.1	2.6	1.5	2.5	6	8	1.7	0
08:00 / 16:00	9:00	4.5	4	7.8	9	9	4.7	5	7	2.4	3.7	5.2	4.2	8	2.6	1
	10:00	7.33	4.4	8	10	11	7.3	5	8	3.5	4.3	7.5	5.5	8.4	5	2.5
	11:00	9	6.5	10	12	13	9.1	8	10	5.9	8.4	8	6	10.3	7.2	2.7
	12:00	10.7	8.2	13	12	13	11.1	9	12	8.2	9.2	10.5	7.6	13.3	7.1	3.9
	13:00	10.9	8.9	14	14	15	12.3	11	12	9.7	11.1	12.2	8.2	14	8.2	5.8
	14:00	10.8	9	16	15	16	13.5	14	13	10.7	12.6	14.2	8.6	14.4	8.4	7.4
	15:00	10.6	9.5	17	15	18	14	14	13	11.8	13.4	16	10.1	14.5	8.6	9.6
	16:00	11.2	10.1	16	15	18	14	14	14	12.4	14.5	16.2	11	12.3	10	9.1
16:00 / 24:00	17:00	9.7	10	15.9	14.7	16	14	13.9	12.7	12.1	14.1	16	11.7	11.6	9.2	8.2
	18:00	10.2	8.9	14.8	14.1	14	13	12.2	11.3	8.1	12.1	13.5	10.7	10.9	8.2	5
	19:00	8.6	7.7	14	13.3	12.6	10	11	7.9	7.5	10.4	10.9	9.8	10.7	7	3.8
	20:00	6.5	7.6	13	12.2	11	9	9.5	6.7	6.7	8	9.3	9.1	10.3	5.7	4
	21:00	7.8	8.2	13	12	10	8	10	6.2	5.5	7.1	8.6	9.4	10	5.6	2.8
	22:00	5	6.9	13.2	12.2	9.2	7	8.7	4.9	5.9	6.4	8	8.5	9.1	5.2	2.7
	23:00	4.4	7.2	12.6	11.8	8.6	7	7.1	5.2	4.7	4.9	7.3	8.5	8.5	4.5	3.5
	0:00	3.7	8.3	13	11.2	7.9	7	5.7	4.5	6.1	4.6	7.5	7.8	7	3.9	3.8

DAYS		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00 / 08:00	1:00	3	3.1	2.5	0	0	0	7.6	6	3	3.3	4.8	3	2	2.3	3	-0.5
	2:00	3	3	1	0	0	1.1	7.2	5.7	4	3.6	4.8	1.97	2.2	2.6	2.8	-1
	3:00	3	2.9	0	0	0	-0.1	7.6	5.6	3	2.8	4.9	1.9	1.5	2.6	2.6	-1.5
	4:00	3	1.7	0.2	0	0	1.6	7.5	4.9	3	2.6	4.8	1.5	1.7	2.9	2	-1.7
	5:00	3	2.5	0	0	0	-1	7	5.5	4	1.7	5	0.5	1.5	2.4	1.6	-2
	6:00	2	0.6	0	0	0	0.1	7.5	4.4	4	2.7	1.9	0	0.8	2.3	0.7	-1.5
	7:00	2	1.3	0	0	0	-0.5	7.3	3.1	3	1.3	1.6	0.5	0.5	1.6	0.2	-1.8
	8:00	0	2.7	0	0	0	-0.5	7.5	4.6	3	2.8	1	-1	0.7	2	-0.4	-1.6
08:00 / 16:00	9:00	3.4	1.7	0.5	0	0	0.3	7.7	3.2	3.4	3	3.4	5	1.85	1.85	0.46	-1.1
	10:00	4.9	4.3	3	2	0	5.2	9	3.3	6.99	4.1	5.4	6.55	1.62	1.62	2.49	1.91
	11:00	7.9	6.9	6	3.5	0.4	7.5	9.2	5.2	8.1	6.8	6.1	8.5	2.4	2.4	5.6	1.74
	12:00	10.2	8.2	6.5	4.2	4.9	9.3	8.9	8.4	11	8.3	6.5	9.5	3.9	3.9	6.83	5.8
	13:00	11.1	8.9	7.8	7.3	8.3	10.8	8.4	9.8	12	9.1	7.2	10.7	3.6	3.6	8.51	4.6
	14:00	11.2	9	7.4	7.1	9.4	10.1	7.5	10.26	12.3	10.5	9.99	11.7	3.9	5.15	9.2	5.3
	15:00	11.8	9.5	9.2	7.8	10.1	9.9	7.8	10.8	11.8	11.2	11	12.4	5	5	9.5	5.7
	16:00	11.3	9.3	8.2	7.8	10	9.6	7.6	11.1	11.9	11.4	11.7	12.3	4.46	6	8.85	5.9
16:00 / 24:00	17:00	10.9	8	8	10	10	9	7.5	10.3	11.4	10.8	9.8	10.8	4	5.7	7.4	6
	18:00	10.5	8	8	7	7	9	7	8.5	12.7	9.5	9.1	10.5	4.5	5.8	5.9	4.8
	19:00	8.3	7.8	7.8	4	6	8	7	9.8	11.7	7.7	7.8	9.6	3.9	4.9	5.4	3.4
	20:00	5.4	6.3	6.3	3	3	7	6	6	10.3	6.4	7	5.6	3.6	5.1	5	2.2
	21:00	5.6	5.9	3.5	3	3	7	6	6	9.3	6	8.5	4.7	3.5	5.6	4.3	1.7
	22:00	5.8	5.6	2	1	2	7	6	6	9.1	4.7	6.5	1	3.1	4.4	4	1.7
	23:00	5.1	2.3	2.6	2	1	7	6	6	8.5	5.5	5.3	2.3	3.1	3.6	1.5	1.2
	0:00	4.5	2.6	2.5	2	3	7	7	7	8.6	6.1	4.2	1	3.1	2.8	0	1.5



THE DESIGN AMBIENT TEMPERATURE FOR GEOTHERMAL ORGANIC RANKINE CYCLE POWER PLANT

Reza AGAHI
Alexander & Renken HERGEN
Çığır DİNER

ABSTRACT

It is a common practice to recommend the historical average ambient temperature as the design ambient temperature for a geothermal Organic Rankine Cycle power plant with air cooled condensers. The plant performance and power production will be greatly influenced by the extreme summer and winter ambient temperatures.

In this paper the authors evaluate a choice between the historical average, mode and median ambient temperature and its impact on the annual cumulative electrical power production in a geothermal power plant. This study is based on the actual resource data from a geothermal power plant and computer simulation is utilized as the method of analysis.

Key Words: Key Words: ORC, Ambient and Design Temperatures.

ÖZET

Hava soğutmalı organik rankin çevrimli santrallerde dizayn ortam sıcaklığı olarak geçmiş ortalama dış ortam sıcaklığının önerilmesi yaygın bir uygulamadır. Santral performansı ve güç üretimi yaz ve kış aylarındaki aşırı sıcak ve soğuk dış ortam sıcaklıklarından fazlasıyla etkilenecektir.

Bu sayfada yazarlar, geçmiş ortalama, median ve mode istatistiki sıcaklık değerleri arasındaki seçimi ve bunun yıllık toplam elektriksel güç üretimine etkisini değerlendirmiştir. Bu çalışma gerçek bir jeotermal santralden alınan kaynağa göre yapılmıştır ve bilgisayar simulasyonu analiz metodu olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ORC, Ortam ve Dizayn Sıcaklıkları

1.Introduction

Energy recovery from geothermal resources with medium to low temperature [1] is in demand and the number of projects are on an upward trend. The countries with a well-established feed in tariff (FIT) and associated regulations have enjoyed significant investments in renewable energy in the form of geothermal binary cycle power plants [2].

A geothermal binary cycle power plant utilizes a low boiling organic fluid (binary fluid) to exchange heat with the geothermal resource. A slightly super-heated organic vapor drives an expander that in turn drives a generator. The organic fluid rejects the remaining heat in a condenser before being pumped back into the evaporator. Figures 1 and 2 depict two typical geothermal binary cycle power plants; Figure 1 is a Geothermal Organic Rankine Cycle (ORC) power plant with air cooled condenser (ACC) and Figure two is a Geothermal ORC power plant with water cooled condenser (WCC).

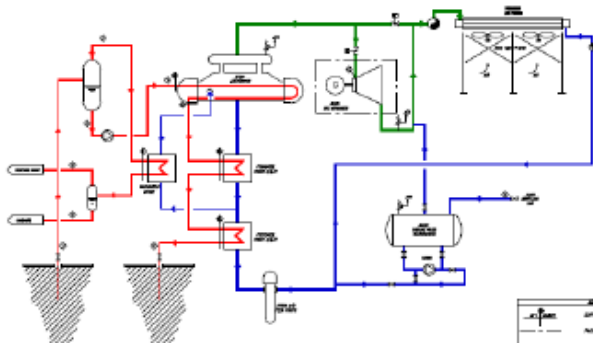


Figure 1. Process Flow Diagram for a Geothermal ORC Power Plant with ACC

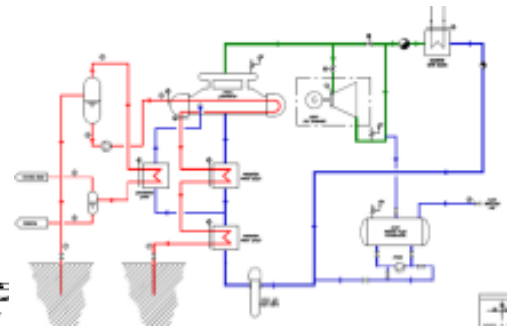


Figure 2. Process Flow Diagram for a Geothermal ORC Power Plant with WCC

One of the most important and critical design parameters for a geothermal ORC power plant with ACC is the ambient temperature (i.e., what numerical value should be used to configure the ORC and to prepare design specification for the ACC).

The historical average ambient temperature for the location of the plant has been considered as an ideal input. The historical average ambient temperature for a nearby area where the data is available is the next best value. Performance of a geothermal ORC power plant with ACC increases with cooler ambient conditions and decreases with warmer ambient temperature.

Many geothermal ORC power plants have been established in Aydin Valley, Turkey, since mid-2000. The earlier plants were all designed based an average ambient temperature of 18°C. Several plants suffered from poor performance and power production during summer of 2013 and 2014 when the ambient temperature was abnormally high and reached a maximum of 40°C [3].

This experience caused uncertainty about the assumed design value for the ambient temperature. Geothermal energy companies became moderately conservative and specified 19-20°C and a few companies went to the extreme and demanded 21-22°C for the design ambient temperature.

In this paper the authors evaluate an ORC power plant that is designed with one of the three statistical measures of Average, Median and Mode of the ambient temperature. The annual cumulative power production will be calculated based on the monthly Average ambient temperature and compared to determine which measure, if any, provides the maximum cumulative production.

2. AMBIENT TEMPERATURE STATISTICS:

Review of several websites that provide ambient weather data did not produce the required statistics to evaluate the statistical measures of Average, Median and Mode. Most websites have detailed historical data for average, Maximum and Minimum but nothing for Median or Mode. Appendix I represent a typical data of Average ambient temperature for Aydin, Turkey.

Fortunately, one geothermal energy company in Aydin Valley had data for hourly ambient temperature measurements from March through December 2016⁽⁴⁾. Appendix II shows a sample of the recorded data.

This data was utilized to evaluate the statistical measures for Average, Median and Mode as shown in Table 1 below.

Table 1. Monthly and Annual Statistical Measures of Average, Median and Mode, 2016

	Average	Median	Mode
January	4	3.5	2.5
February	7	6.5	5.5
March	13.08	12.95	11.58
April	19.05	18.29	17.00
May	20.24	20.16	19.94
June	26.88	26.71	24.61
July	29.30	28.85	27.09
August	28.44	27.68	26.68
September	24.14	23.34	20.83
October	19.29	18.35	17.46
November	13.81	13.23	11.83
December	6.51	6.18	4.75
Annual	17.64	17.14	15.81

The statistical measures for January and February were obtained by extrapolation from the measured data for the other months.

3. ORC POWER PLANT PERFORMANCE SIMULATIONS:

We assumed a hypothetical geothermal ORC power plant with the resource data depicted in Table 2.

Table 2. Geothermal Brine Conditions for Study Case

Brine Conditions	Units	Design Values
Temperature	° C	170
Pressure	BarA	10
NCG's	%	2
Flow	m ³ /hr	7,700
Reinjection Temperature	° C	>70

It was assumed that the plant should produce 15 MW net at the design point. The design gross electrical power values for this plant utilizing the above calculated statistical Average, Median and Mode for the design ambient temperature are shown in Table 3 below.

Table 3. Geothermal ORC Power Plant Performance at the Design Point

Design Ambient Temperature	Gross Electrical Power Production	Net Electrical Power production	Brine Flow
Average, 17.64 ° C	20,784 kw	15,000 kw	239.2 kg/s
Median, 17.14 ° C	20,744 kw	15,000 kw	236.3 kg/s
Mode, 15.81 ° C	20,732 kw	15,000 kw	231.3 kg/s

The annual electrical power production for this hypothetical geothermal ORC power plant based on the monthly average ambient temperature is depicted in Table 4 below.

Table 4. Monthly Electrical Power Production based on the Monthly Ambient Temperature

	January	February	March	April	May	June
Average Ambient Temp (°C)	4	7	13.08	19.05	20.24	26.88
Generator Eff (%)	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Gear Box losses (kW)	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1
Est. Exp. Eff (%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	20435.2	19702.5	18236.9	16827.8	16550.9	15031.8
Internal Cons. (kW)	2599.5	2598.7	2592.9	2582.0	2579.1	2558.9
Net Output (kW)	17835.7	17103.8	15643.9	14245.8	13971.8	12472.9
Gear Box losses (kW)	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2
Est. Exp. Eff (%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	19776.9	19184.3	18299.3	16684.4	16409.7	14543.5
Internal Cons. (kW)	2660.1	2658.6	2650.4	2640.0	2637.0	2617.8
Net Output (kW)	17116.7	16525.7	15648.9	14044.4	13772.7	11925.8
Gear Box losses (kW)	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6
Est. Exp. Eff (%)	83.0	83.5	86.0	85.0	85.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	19934.2	19337.0	18444.8	16817.2	16540.4	14659.5
Internal Cons. (kW)	2681.8	2680.2	2671.8	2661.4	2658.4	2639.0
Net Output (kW)	17252.5	16656.8	15773.0	14155.8	13882.0	12020.5
	July	August	September	October	November	December
Average Ambient Temp (°C)	29.3	28.44	24.14	19.29	13.81	6.51
Generator Eff (%)	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Gear Box losses (kW)	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1	370.1
est. Exp. Eff (%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	14489.6	14681.5	15653.1	16771.9	18062.8	19821.7
Internal Cons. (kW)	2549.5	2552.9	2568.2	2581.5	2591.8	2598.7
Net Output (kW)	11940.1	12128.6	13085.0	14190.4	15471.0	17223.0
Gear Box losses (kW)	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2	371.2
Est. Exp. Eff (%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	13931.8	14204.3	15332.3	16628.9	18124.6	19182.7
Internal Cons. (kW)	2608.5	2611.6	2626.6	2639.5	2649.2	2659.2
Net Output (kW)	11323.3	11592.7	12705.7	13989.5	15475.4	16523.5
Gear Box losses (kW)	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6	371.6
Est. Exp. Eff (%)	82.5	83.0	84.0	85.0	86.0	83.0
Gen.Gross Output (kW)	14042.9	14317.6	15454.5	16761.3	18268.8	19335.3
Internal Cons. (kW)	2629.6	2632.8	2647.9	2660.8	2670.8	2680.9
Net Output (kW)	11413.3	11684.8	12806.6	14100.5	15598.0	16654.4

The annual cumulative power production for this hypothetical geothermal ORC power plant is shown in Table 5.

Table 5. Annual Cumulative Gross and net Electrical Power Production

Design Ambient Temperature	Annual Cumulative Gross Electrical Power Production	Annual Cumulative Net Electrical Power production	Brine Flow	Heat Exch. Area Compared to the Mode's Design
Average, 17.64 °C	141.04 Gwh	118.97 Gwh	239.2 kg/s	102.3%
Median, 17.14 °C	139.93 Gwh	118.03 Gwh	236.3 kg/s	101.7%
Mode, 15.81 °C	142.67 Gwh	121.26 Gwh	231.3 kg/s	100.00%

Figure 3 shows the plot of average monthly performance.

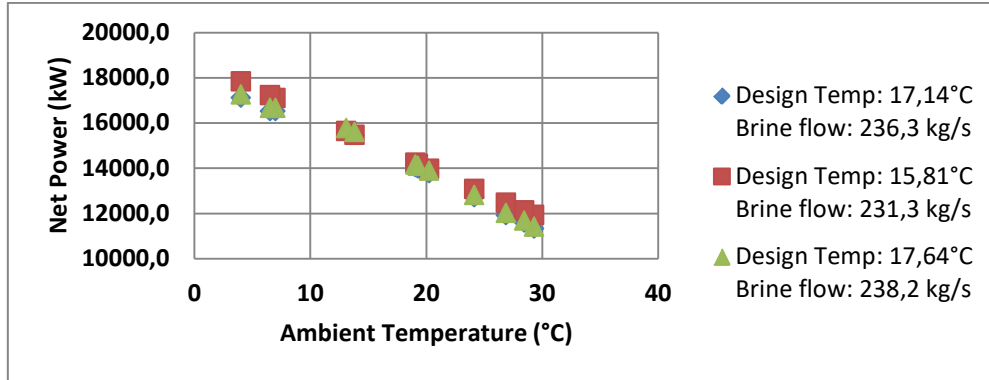


Figure 3. Monthly Electrical Power Production Rate based on Monthly Average Temperature

4. CONCLUSIONS:

This study and simulation is based on limited data and historical measures. It shows that an optimal design ambient temperature for this geothermal ORC power plant is the Statistical Mode of the ambient temperature data. Needless to say that the outcome is for the assumed location and the applicable geothermal resource.

The CAPEX will be lower for the Statistical Mode of the ambient temperature design due to the lower required heat exchanger area.

It should also be noted that the simulation is based on a power plant that is configured with inflow radial turbine with variable inlet guide vanes. This turbine technology is known as the variable geometry turbine and shown to produce more cumulative power compared with the other turbine technologies available in the geothermal ORC market⁽⁵⁾.

More studies and simulations are recommended.

APPENDIX I

THE AVERAGE STATISTICAL METEOROLOGICAL DATA (1950 - 2015)												
AVDIN	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1. AVERAGE TEMPERATURE (°C)	8.2	9.3	11.8	15.8	20.9	25.9	28.4	27.6	23.5	18.4	13.3	9.6
2. AVERAGE HIGHEST TEMPERATURE (°C)	13.2	14.7	17.9	22.5	28.1	33.3	36.1	35.7	32	26.2	19.7	14.6
3. AVERAGE LOWEST TEMPERATURE (°C)	4.3	4.9	6.7	10	14.2	18.1	20.5	20.2	16.7	12.7	8.7	5.8
4. AVERAGE INCOMING SOLAR FLUX (Hours/day)	3.5	4.2	5.3	6.1	7.5	9.2	10	9.2	8.6	6.2	4.2	3.4
5. AVERAGE RAINY DAYS	12.2	10.4	9.7	8.7	6.3	2.3	0.8	0.5	2.1	5.7	8.3	12.8
6. AVERAGE TOTAL RAIN FALL (kg/m ²)	108.6	93.8	70.4	51.9	36.5	13.5	3.9	2.3	13.1	44.2	83.9	120.9

THE HIGHEST AND LOWEST AMBIENT TEMPERATURES MEASURED FOR LONG TERM (1950 - 2015)												
THE HIGHEST TEMPERATURE (°C)	23.2	25.2	32.4	35.4	40.2	44.4	46.4	43.8	43.3	37.8	30.7	25.9
DATES MEASURED	1/18/1971	2/18/1950	3/27/1987	4/30/2013	5/31/1969	6/27/2007	7/27/1987	8/12/2002	9/1/2007	10/2/1991	11/2/2004	12/17/1937
LOWEST TEMPERATURE (°C)	-7.6	-5.4	-5	-0.8	4.6	8.4	13.4	11.8	7.6	2	-2	-3.3
DATES MEASURED	1/18/1964	2/6/1950	3/6/1987	4/10/1997	5/5/1990	6/3/1990	7/3/1971	8/31/1963	9/30/1970	10/30/1987	11/27/2004	12/19/1953

HIGHEST RAIN FALL (kg/m ²)	93.8
	1/4/2009
HIGHEST WIND SPEED (km/h)	106.2
	4/19/1969

Appendix II Hourly Ambient Temperature, January to December 2016

DAYS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
00:00 / 08:00	1:00	9.8	3.4	7.5	11.5	11.1	7.8	7	6.6	3.4	3.7	4	5	7	7	0
	2:00	9.5	2.4	7.8	11.1	11	7.6	6.3	4.8	4.2	5	5	5	7	5	0
	3:00	8	2.5	7.6	10.9	10.7	8	6.8	5	2.7	3.2	5	5	8	5	0
	4:00	5.8	1	7.3	10.5	10.9	7.1	6.9	4.9	2.5	2.2	6	5	8	5	0
	5:00	5.5	1.2	7.1	10	10.5	6.7	5.4	5.4	2.6	2.4	5	3	7	3	0
	6:00	4.8	1.4	7.1	10.1	9.7	6.6	5.3	5.1	2.7	2	5	3	7	2	0
	7:00	5	0	7.4	9.9	10.1	5.5	5	5.2	2.1	1.1	4	4	8	2	0
	8:00	3.9	0	8.2	9.3	9.8	4.8	4.7	6.1	2.6	1.5	2.5	6	8	1.7	0
08:00 / 16:00	9:00	4.5	4	7.8	9	9	4.7	5	7	2.4	3.7	5.2	4.2	8	2.6	1
	10:00	7.33	4.4	8	10	11	7.3	5	8	3.5	4.3	7.5	5.5	8.4	5	2.5
	11:00	9	6.5	10	12	13	9.1	8	10	5.9	8.4	8	6	10.3	7.2	2.7
	12:00	10.7	8.2	13	12	13	11.1	9	12	8.2	9.2	10.5	7.6	13.3	7.1	3.9
	13:00	10.9	8.9	14	14	15	12.3	11	12	9.7	11.1	12.2	8.2	14	8.2	5.8
	14:00	10.8	9	16	15	16	13.5	14	13	10.7	12.6	14.2	8.6	14.4	8.4	7.4
	15:00	10.6	9.5	17	15	18	14	14	13	11.8	13.4	16	10.1	14.5	8.6	9.6
	16:00	11.2	10.1	16	15	18	14	14	14	12.4	14.5	16.2	11	12.3	10	9.1
16:00 / 24:00	17:00	9.7	10	15.9	14.7	16	14	13.9	12.7	12.1	14.1	16	11.7	11.6	9.2	8.2
	18:00	10.2	8.9	14.8	14.1	14	13	12.2	11.3	8.1	12.1	13.5	10.7	10.9	8.2	5
	19:00	8.6	7.7	14	13.3	12.6	10	11	7.9	7.5	10.4	10.9	9.8	10.7	7	3.8
	20:00	6.5	7.6	13	12.2	11	9	9.5	6.7	6.7	8	9.3	9.1	10.3	5.7	4
	21:00	7.8	8.2	13	12	10	8	10	6.2	5.5	7.1	8.6	9.4	10	5.6	2.8
	22:00	5	6.9	13.2	12.2	9.2	7	8.7	4.9	5.9	6.4	8	8.5	9.1	5.2	2.7
	23:00	4.4	7.2	12.6	11.8	8.6	7	7.1	5.2	4.7	4.9	7.3	8.5	8.5	4.5	3.5
	0:00	3.7	8.3	13	11.2	7.9	7	5.7	4.5	6.1	4.6	7.5	7.8	7	3.9	3.8

DAYS		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00 / 08:00	1:00	3	3.1	2.5	0	0	0	7.6	6	3	3.3	4.8	3	2	2.3	3	-0.5
	2:00	3	3	1	0	0	1.1	7.2	5.7	4	3.6	4.8	1.97	2.2	2.6	2.8	-1
	3:00	3	2.9	0	0	0	-0.1	7.6	5.6	3	2.8	4.9	1.9	1.5	2.6	2.6	-1.5
	4:00	3	1.7	0.2	0	0	1.6	7.5	4.9	3	2.6	4.8	1.5	1.7	2.9	2	-1.7
	5:00	3	2.5	0	0	0	-1	7	5.5	4	1.7	5	0.5	1.5	2.4	1.6	-2
	6:00	2	0.6	0	0	0	0.1	7.5	4.4	4	2.7	1.9	0	0.8	2.3	0.7	-1.5
	7:00	2	1.3	0	0	0	-0.5	7.3	3.1	3	1.3	1.6	0.5	0.5	1.6	0.2	-1.8
	8:00	0	2.7	0	0	0	-0.5	7.5	4.6	3	2.8	1	-1	0.7	2	-0.4	-1.6
08:00 / 16:00	9:00	3.4	1.7	0.5	0	0	0.3	7.7	3.2	3.4	3	3.4	5	1.85	1.85	0.46	-1.1
	10:00	4.9	4.3	3	2	0	5.2	9	3.3	6.99	4.1	5.4	6.55	1.62	1.62	2.49	1.91
	11:00	7.9	6.9	6	3.5	0.4	7.5	9.2	5.2	8.1	6.8	6.1	8.5	2.4	2.4	5.6	1.74
	12:00	10.2	8.2	6.5	4.2	4.9	9.3	8.9	8.4	11	8.3	6.5	9.5	3.9	3.9	6.83	5.8
	13:00	11.1	8.9	7.8	7.3	8.3	10.8	8.4	9.8	12	9.1	7.2	10.7	3.6	3.6	8.51	4.6
	14:00	11.2	9	7.4	7.1	9.4	10.1	7.5	10.26	12.3	10.5	9.99	11.7	3.9	5.15	9.2	5.3
	15:00	11.8	9.5	9.2	7.8	10.1	9.9	7.8	10.8	11.8	11.2	11	12.4	5	5	9.5	5.7
	16:00	11.3	9.3	8.2	7.8	10	9.6	7.6	11.1	11.9	11.4	11.7	12.3	4.46	6	8.85	5.9
16:00 / 24:00	17:00	10.9	8	8	10	10	9	7.5	10.3	11.4	10.8	9.8	10.8	4	5.7	7.4	6
	18:00	10.5	8	8	7	7	9	7	8.5	12.7	9.5	9.1	10.5	4.5	5.8	5.9	4.8
	19:00	8.3	7.8	7.8	4	6	8	7	9.8	11.7	7.7	7.8	9.6	3.9	4.9	5.4	3.4
	20:00	5.4	6.3	6.3	3	3	7	6	6	10.3	6.4	7	5.6	3.6	5.1	5	2.2
	21:00	5.6	5.9	3.5	3	3	7	6	6	9.3	6	8.5	4.7	3.5	5.6	4.3	1.7
	22:00	5.8	5.6	2	1	2	7	6	6	9.1	4.7	6.5	1	3.1	4.4	4	1.7
	23:00	5.1	2.3	2.6	2	1	7	6	6	8.5	5.5	5.3	2.3	3.1	3.6	1.5	1.2
	0:00	4.5	2.6	2.5	2	3	7	7	7	8.6	6.1	4.2	1	3.1	2.8	0	1.5

KAYNAKLAR

- (1)Tevfik Kaya, An Overview on Drilling and Geothermal Energy Projects in Turkey, GRC Annual Meeting, GRC International Session, September 20 – 23, 2013, Reno, Nevada, USA
- (2).Buscher, Eckerhard; Feed-in-Tariffs Blessing or Curse for Geothermal Energy? Worldwide Background and Overview, GRC Transactions, Vol 36, September 30 – October 3, 2012, Reno, Nevada, USA
- (3) Weather Underground Website, <https://www.wunderground.com>
- (4).Private correspondence
- (5).R. Agahi and C. Spadacini. Comparison between Variable and Fixed Geometry in Geothermal Power Plants, Proceeding World Geothermal Congress 2010, 25-29 April 2010 Bali, Indonesia