

JEOTERMAL ELEKTRİK SANTRALLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ VERİMLİLİKLERİ

Dr. Nurdan YILDIRIM ÖZCAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

Yaşar Üniversitesi

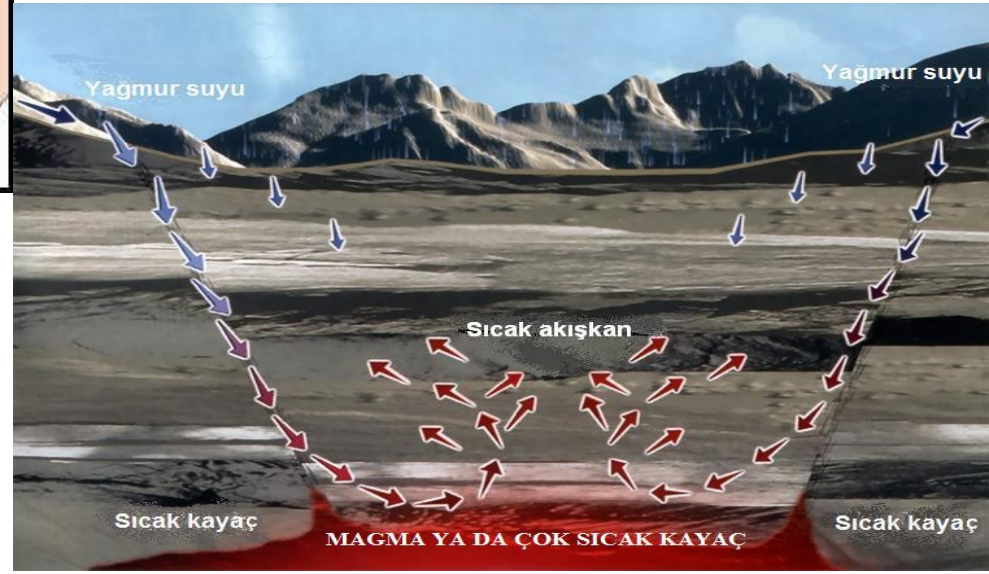
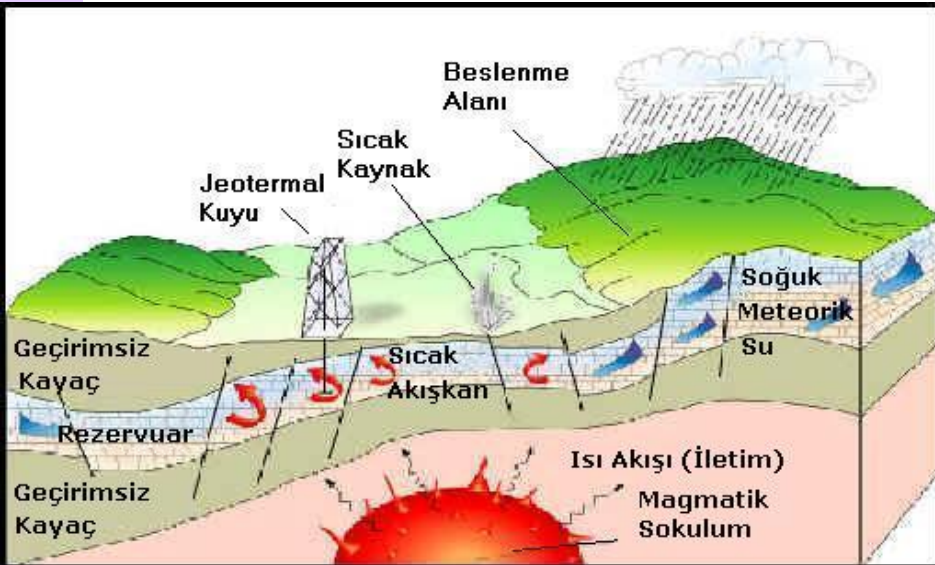
İÇERİK

- Jeotermal Enerji ve Elektrik Üretimi
- Dünya ve Tr Jeotermal Elektrik Üretimi Verileri
- JES Modelleme
- JES Enerji ve Ekserji Analizleri
- Performans İyileştirme Yöntemleri
- Sonuçlar

JEOTERMAL ENERJİ NEDİR?

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısıdır.

Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır.



JEOTERMAL ENERJİNİN GELECEĞİ

ABD, Enerji Bakanlığı desteği ile yapılan çalışmada:
“The Future of Geothermal Energy”,(Tester, 2006).

ABD’ de

3-10 km arasındaki ısı rezervi-14 milyon exajul(EJ);

% 1 i elde edilebilirse , 140 000 EJ

2005 senesi ABD toplam enerji tüketimi = 100 EJ

JEOTERMAL ENERJİNİN GELECEĞİ

17 Kasım 2014, Kaliforniya

24-Hour Renewables Production

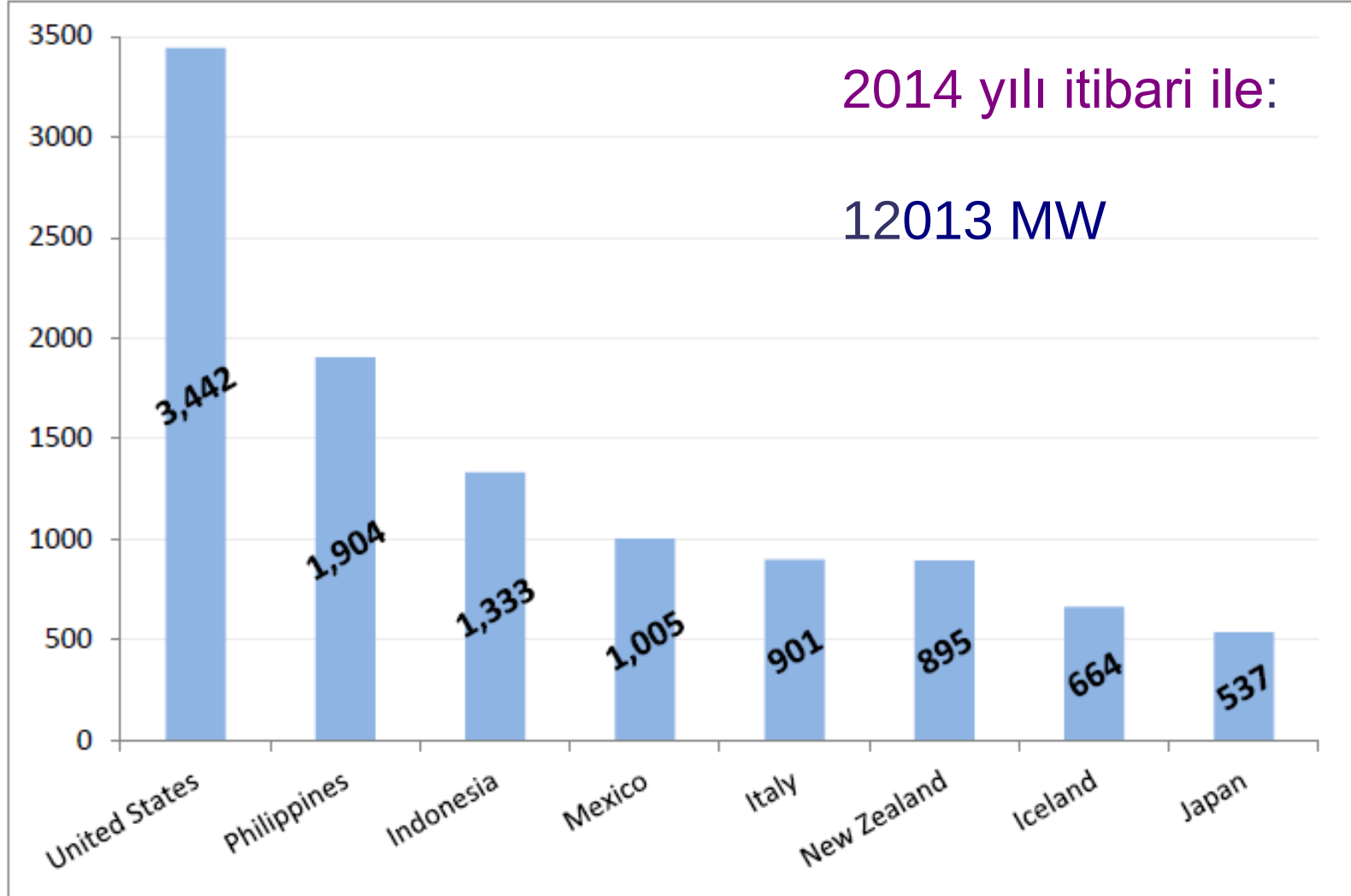
Renewable Resources	Peak Production Time	Peak Production (MW)	Daily Production (MWh)
Solar Thermal	9:34	505	2,862
Solar	11:51	3,779	25,575
Wind	0:45	3,213	25,106
Small Hydro	19:06	175	1,861
Biogas	22:20	186	4,413
Biomass	20:34	314	7,267
Geothermal	20:14	1,092	26,062
Total Renewables			93,147

Total 24-Hour System Demand (MWh):

526,685

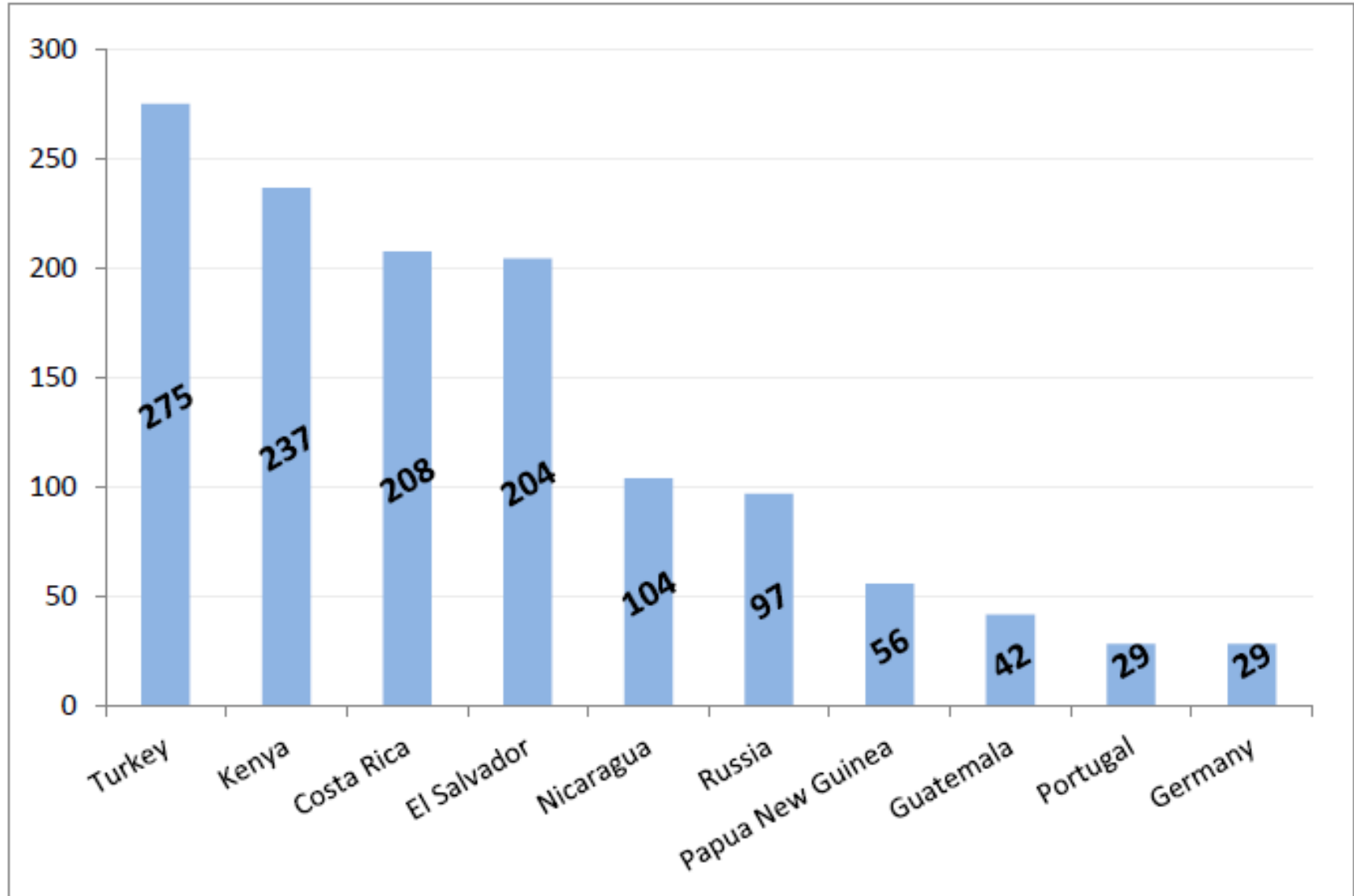
DÜNYA JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM KAPASİTELERİ

Figure 3: Established Geothermal Power Markets Nameplate Capacity (MW)



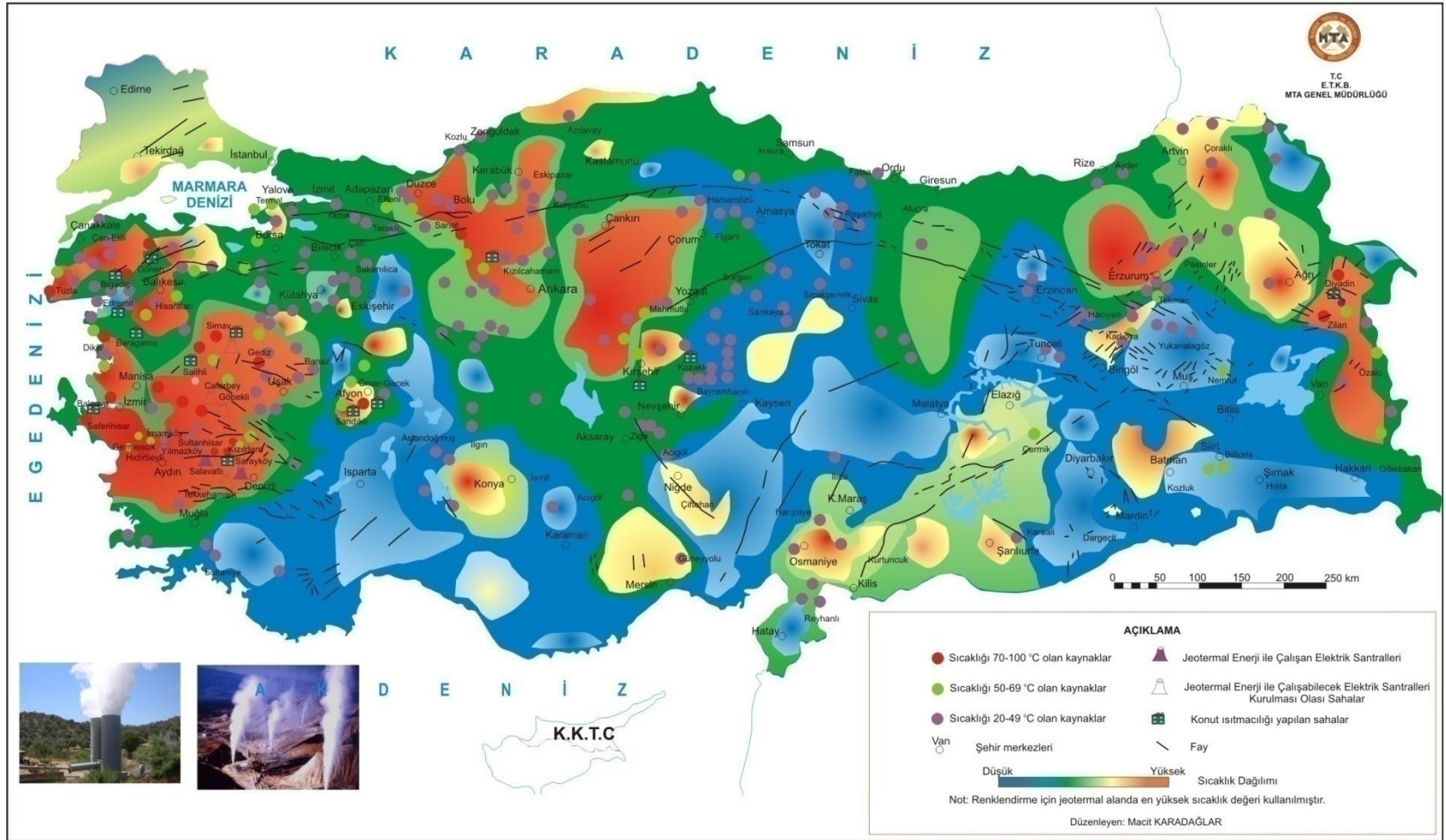
DÜNYA JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM KAPASİTELERİ

Figure 4: Developing Geothermal Power Markets Nameplate Capacity (MW)



TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL ALANLAR

Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası



1000 civarında sıcak ve mineralli su kaynağı mevcut.

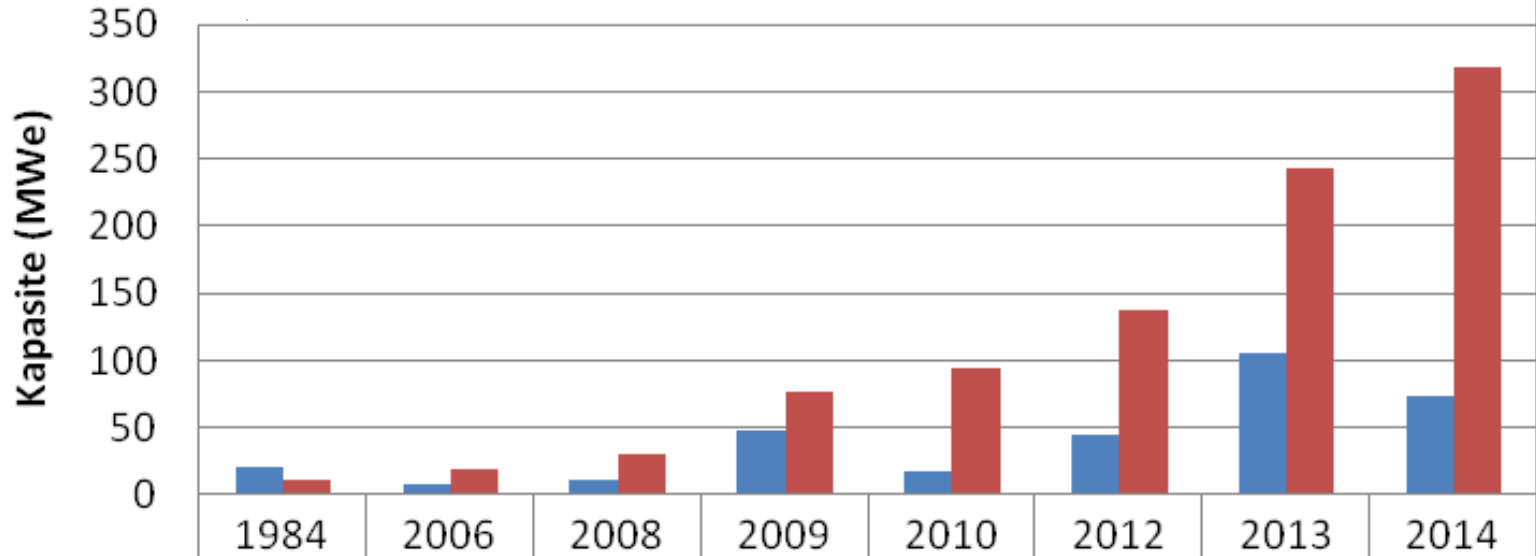
Bunlardan **270** tanesi (genellikle orta ve düşük sıcaklıklı) MTA tarafından ortaya çıkarılmış.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Saha adı	Sıcaklık (°C)	Saha adı	Sıcaklık (°C)
Manisa-Alaşehir-Köseali	287	Kütahya-Simav	162
Manisa Alaşehir X	265	Aydın-Umurlu	155
Manisa-Salihli-Caferbey	249	İzmir-Seferihisar	153
Denizli-Kızıldere	242	Denizli-Bölmekaya	147
Aydın-Germencik-Ömerbeyli	239	Aydın-Hıdırbeyli	146
Manisa-Alaşehir-Kurudere	214	İzmir-Dikili-Hanımınçiftliği	145
Manisa-Alaşehir-X	194	Aydın-Sultanhisar	145
Aydın-Yılmazköy	192	Aydın-Bozyurt	140
Aydın-Pamukören	188	Denizli-Karataş	137
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	188	İzmir-Balçova	136
Manisa-Salihli-Göbekli	182	İzmir-Dikili-Kaynarca	130
Kütahya-Şaphane	181	Aydın-Nazilli-Güzelköy	127
Çanakkale-Tuzla	174	Aydın-Atça	124
Aydın-Salavatlı	171	Manisa-Salihli-Kurşunlu	117
Denizli-Tekkehamam	168	Denizli-Sarayköy-Gerali	114

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Türkiye İşletmedeki Jeotermal Elektrik Santral Kapasiteleri



2014 YILI TOPLAM KURULU GÜÇ :317.4 MWe

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Tesis Adı	Tesis İli	Tesis İlçesi	İşletmedeki Kapasite (MWe)
Kızıldere II JES	DENİZLİ	SARAYKÖY	80
Deniz (Maren II) JES	AYDIN	GERMENCİK	24
Çelikler Pamukören Jeotermal Ele	AYDIN	KUYUCAK	45,02
Gümüşköy JES	AYDIN	GERMENCİK	13,2
Dora III JES	AYDIN	SULTANHİSAR	17
Maren Santrali	AYDIN	GERMENCİK	44
Kızıldere JES	DENİZLİ	SARAYKÖY	15
Dora-2 Jeotermal Enerji Santrali	AYDIN	SULTANHİSAR	9,5
Tuzla	ÇANAKKALE	AYVACIK	7,5
Germencik	AYDIN	GERMENCİK	47,4
Kızıldere	DENİZLİ	SARAYKÖY	6,85
Salavatlı	AYDIN	SULTANHİSAR	7,951
TOPLAM			317,421

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu - 11/01/2015 tarihi itibari ile
Türkiye verileri

Lisans Durumu	Adet	Kurulu Güç Kapasitesi (MWe)
Yürürlükte- İşletmede	12	317.4
Yürürlükte-İnşa halinde	14	415.4
Uygun bulunan	4	110
İnceleme-Değerlendirme	3	11
TOPLAM	33	853,8

Gelecek için projeksiyon:

2023 yılına kadar; Jeotermal santrallerde 600 MW

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ



Kızıldere JES, Denizli



Gürmat JES, Aydın



Pamukören Jeotermal Enerji



Dora-2 JES, Aydın

Yoğuşmayan Gazlar

- Yoğuşmayan gazlar jeotermal akışkanların doğal bileşenleridir.
- Karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), hidrojen (H_2), azot (N_2), amonyak (NH_3), civa (Hg), bor buharı (B), radon (Rn) ve metan (CH_4) gibi hidrokarbonlardır.

Yoğuşmayan Gazlar

Etkileri

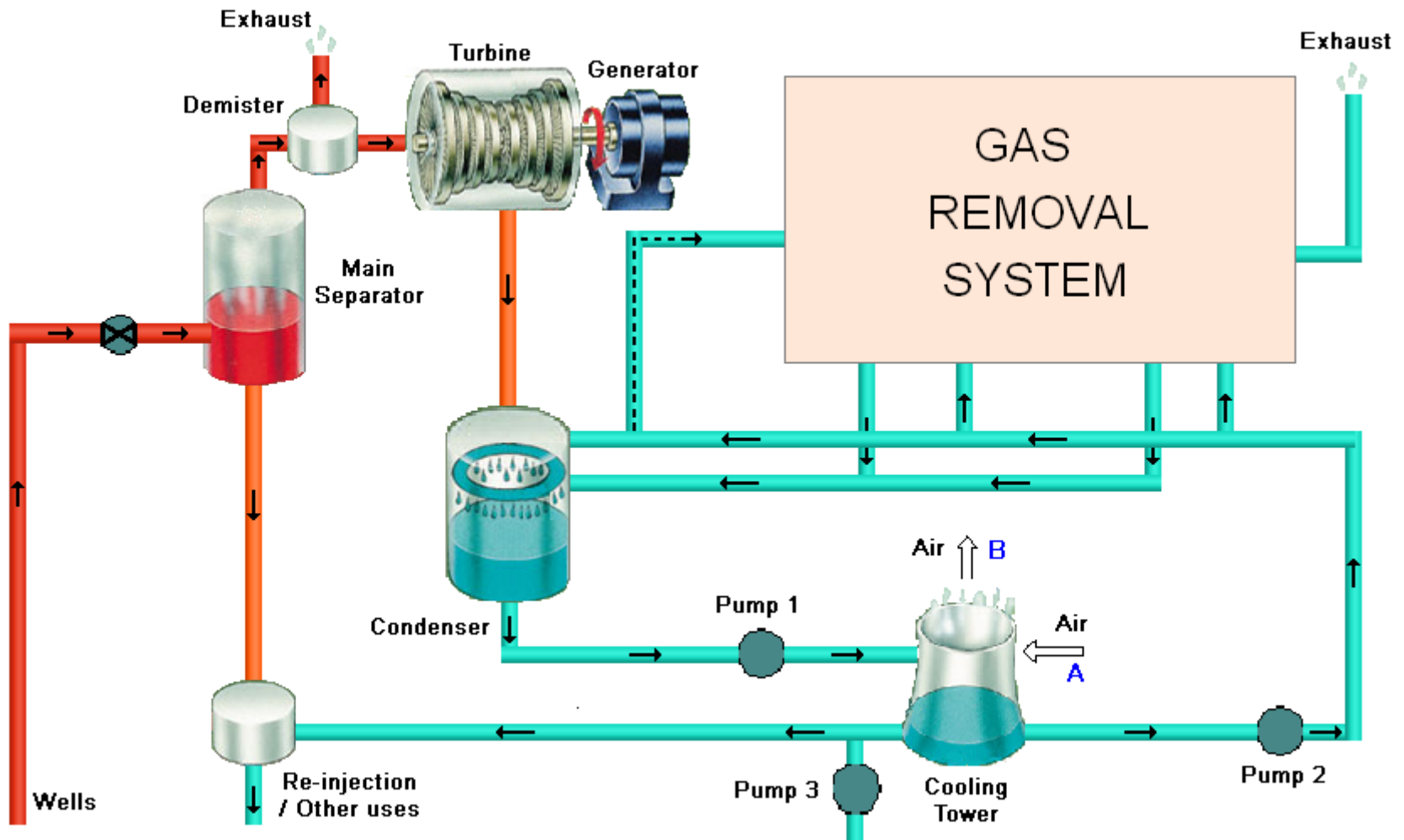
- Yoğuşmayan gazların kondenserde birikmesi nedeniyle basıncın yükselmesi, dolayısıyla türbinin ürettiği enerji miktarının azalması,
- Türbinden geçen buhar debisinin bir kısmını, buhardan düşük spesifik enerjiye sahip yoğuşmayan gazların oluşturması nedeniyle türbinin daha az enerji üretmesi,
- Yoğuşmayan gazların yüzey tip kondenserlerde borular etrafında direnç yaratarak ısı geçişini azaltmaları,
- Yoğuşmayan gazları kondenserden uzaklaştırmak için kullanılan gaz alma sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin fosil yakıtlı santrallarda kullanılanlara göre daha yüksek olması,
- CO_2 ve H_2S gibi korozif gazların suda çözünmesi, buhar ve yoğuşkan ile temas eden ekipman ve borularda korozyona neden olmaları,
- H_2S gazının atmosfere salındığında yarattığı genel çevresel etkiler,
- Türbin beslemesinde ve santral çevresinde yüksek H_2S konsantrasyonunun korozif etkilerinden dolayı oluşan ekipman hasarları ve yapılarda dış korozyon,
- Türbinde kirlilik (fouling).

Yoğuşmayan Gazlar

- Yoğuşmayan gaz oranı (f); buhar içerisinde ağırlık yüzdesi olarak bulunan yoğuşmayan gaz miktarını ifade edilir.

Jeotermal Saha	Yoğuşmayan gaz oranı (% ağırlık)
Kızıldere, Türkiye	10-21
Larderello, İtalya	10
Broadlands, Ohaaki, Yeni Zelanda	3-6
Geysers, ABD	0.5-2
Wairakei, Yeni Zelanda	0.2
China Lake, California, ABD	0.2
Puna field, Hawaii	0.1
Palinpinon, Filipinler	1.3
Tongonan, Filipinler	3
BacMan, Filipinler	5

JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

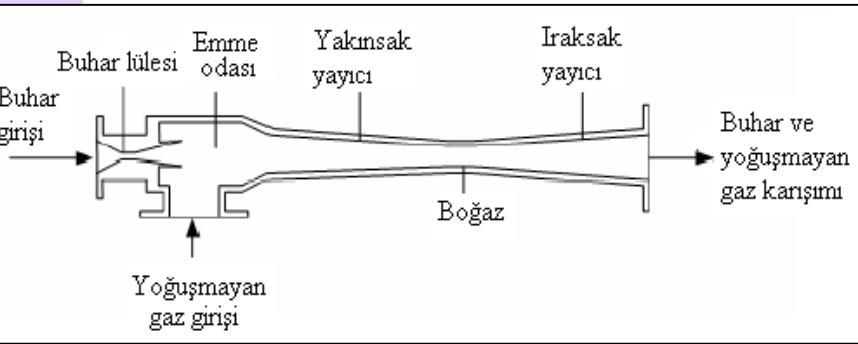


JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

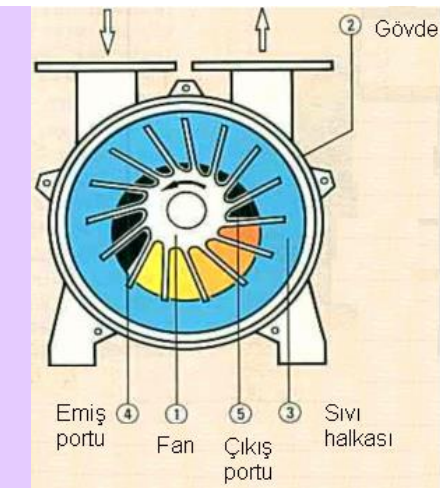
YOĞUŞMAYAN GAZ ALMA SİSTEMLERİ

Türbin sonrası GAS

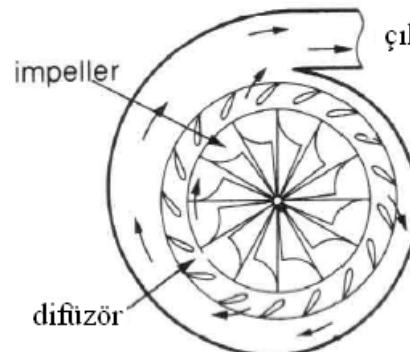
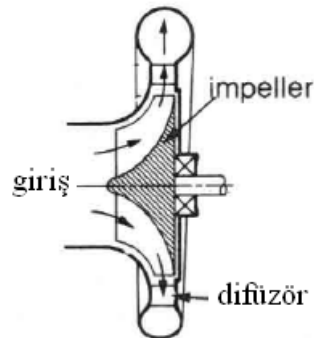
Buhar Jet Ejektörü (BJE).



Sıvı halkalı Vakum Pompası (SHVP).

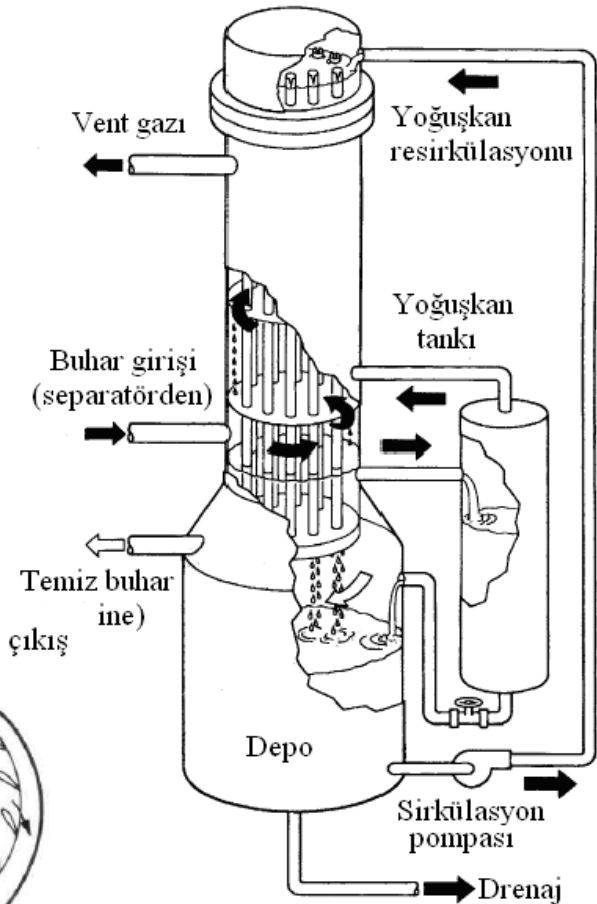


Kompresör (KS)



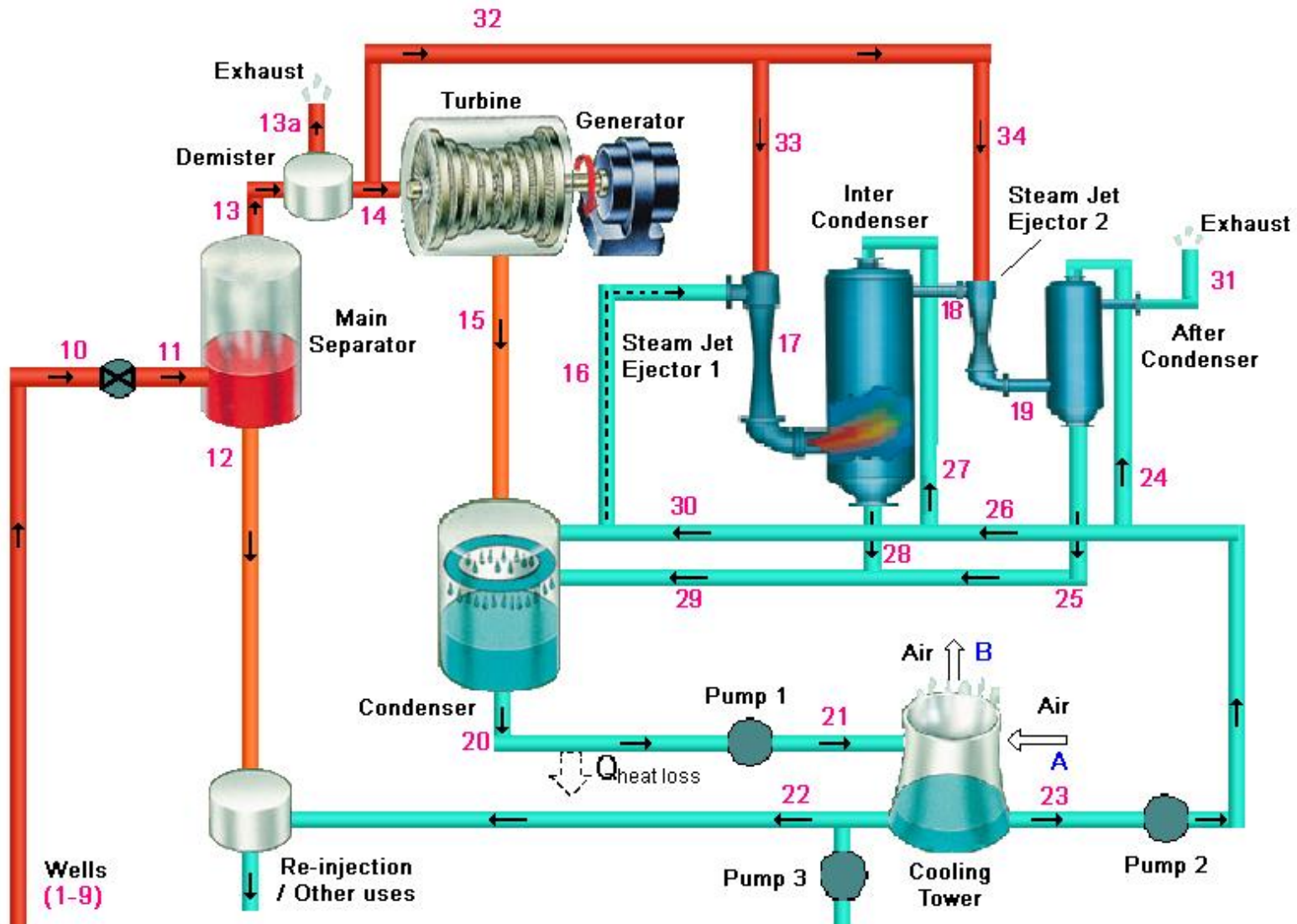
Türbin öncesi GAS

Reboyer (RS).



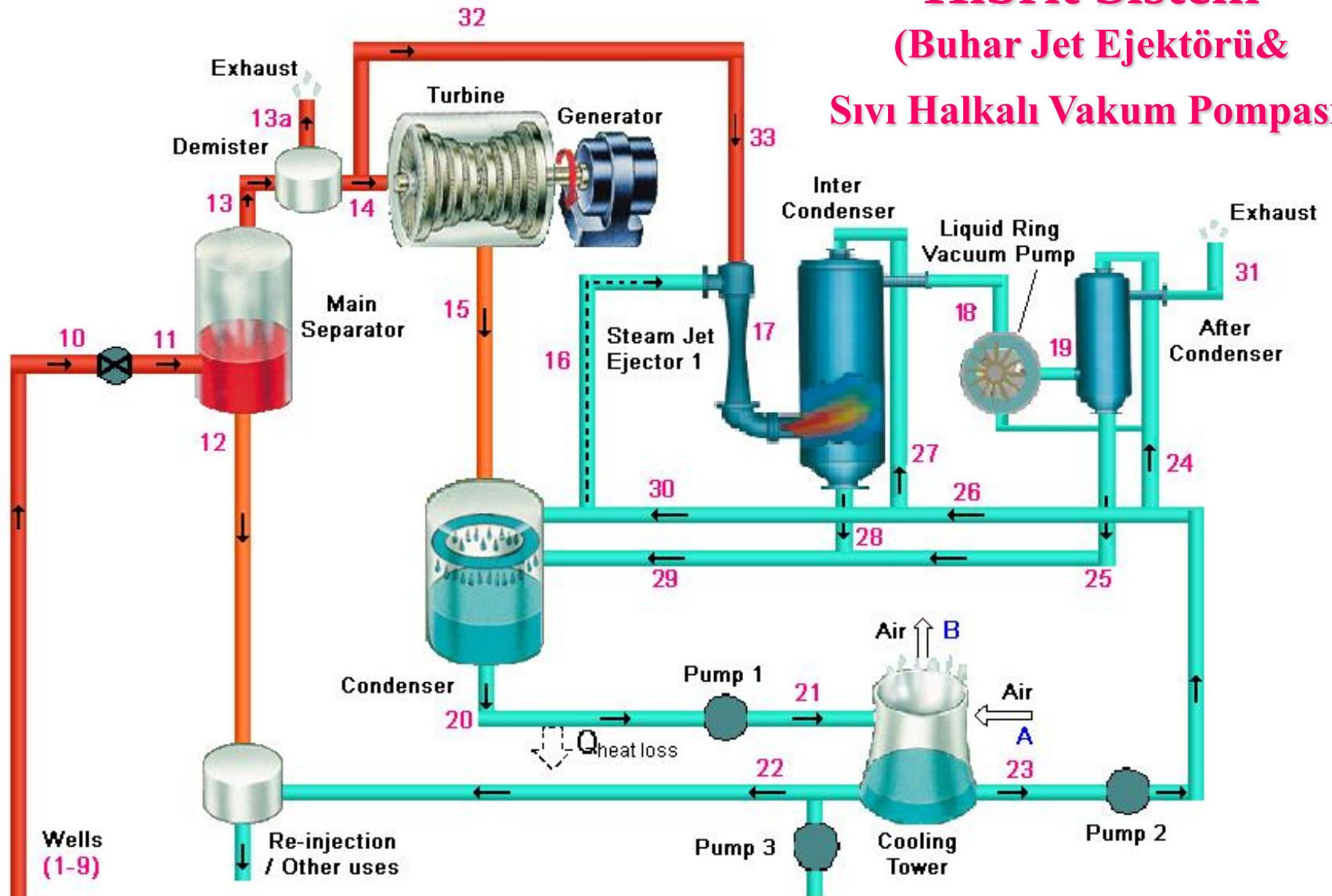
JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Buhar Jet Ejektörü Sistemi



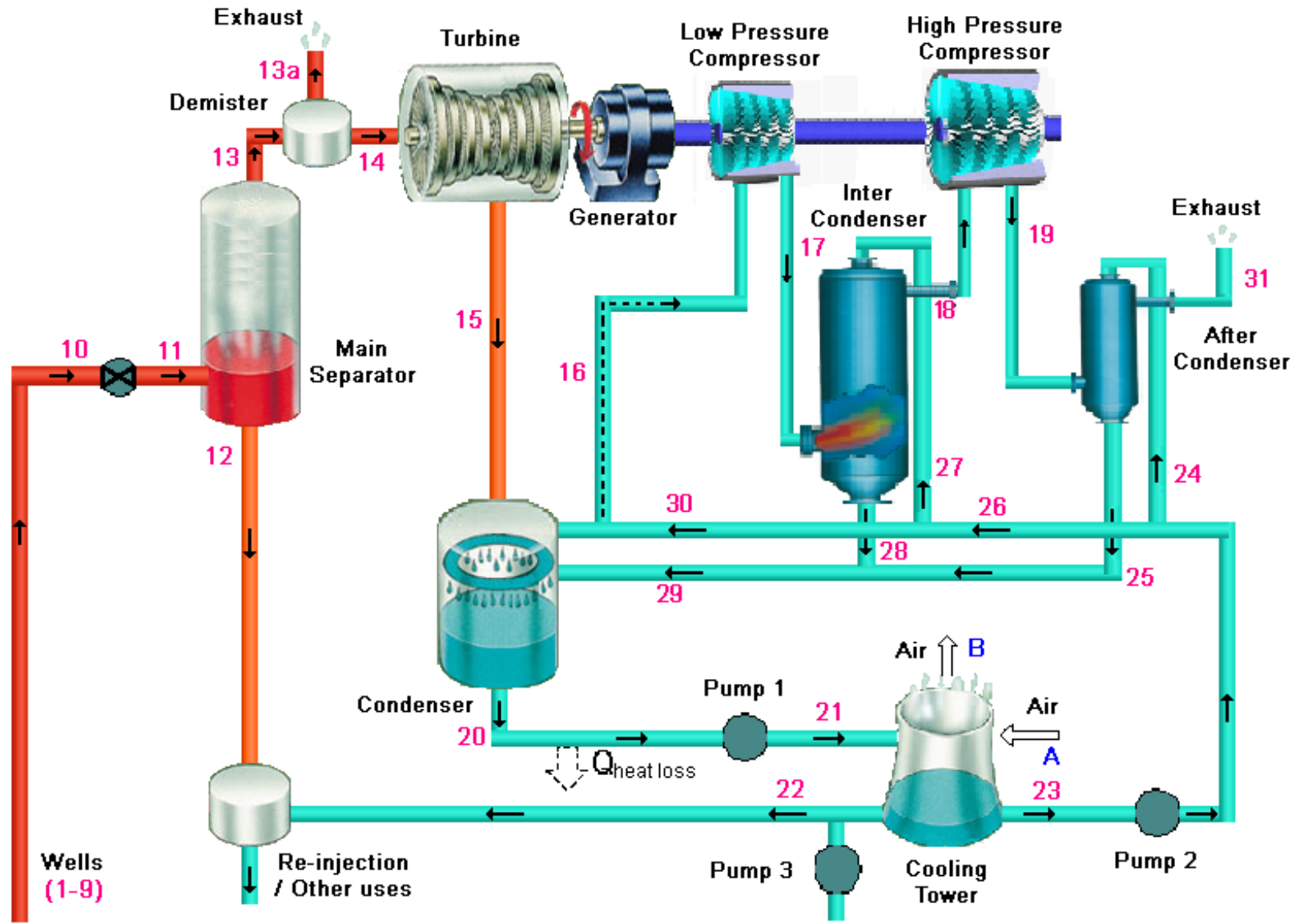
JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Hibrit Sistem (Buhar Jet Ejektörü & Sıvı Halkalı Vakum Pompası)



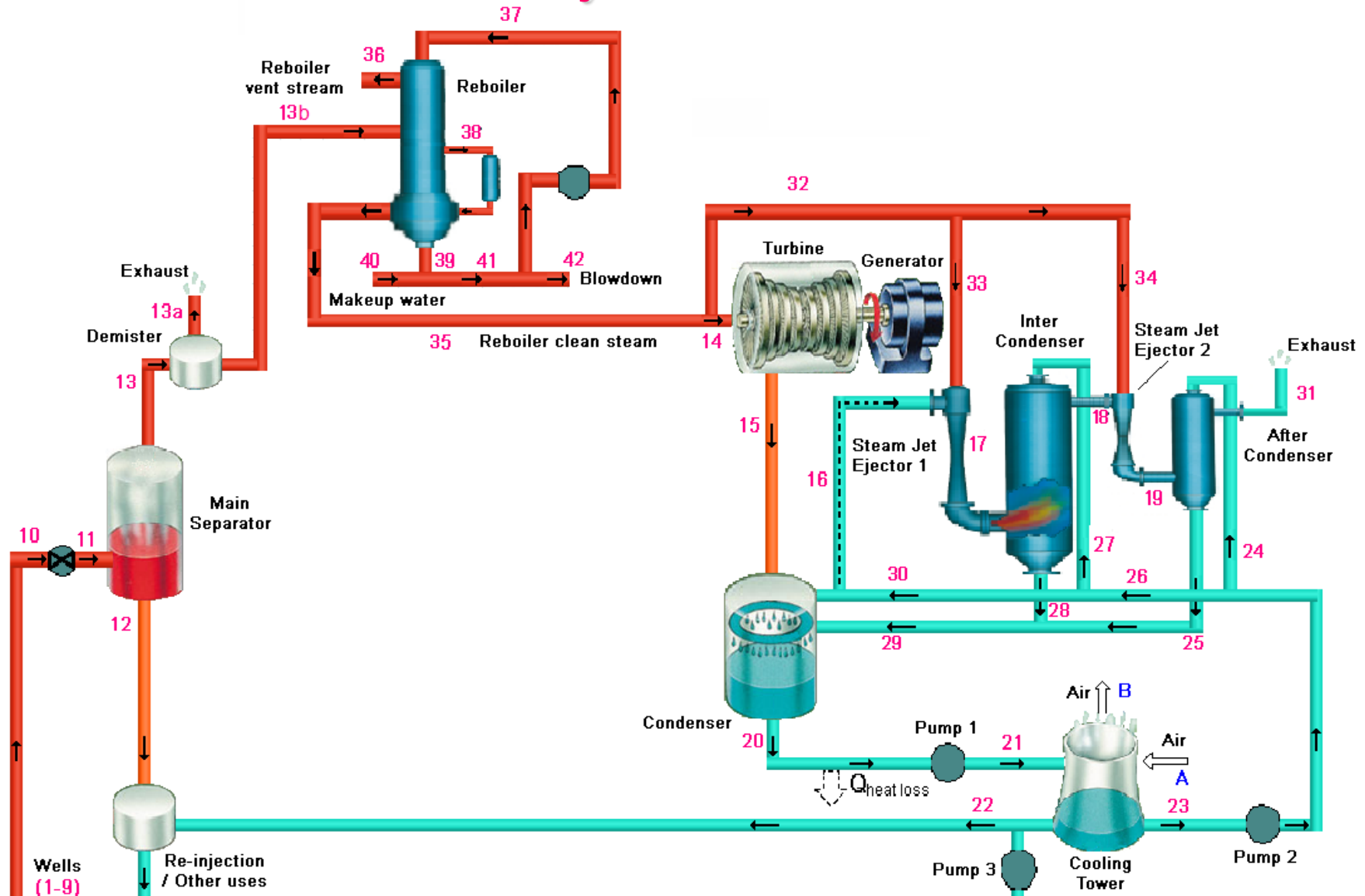
JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Kompresör Sistemi



JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Reboiler Sistemi

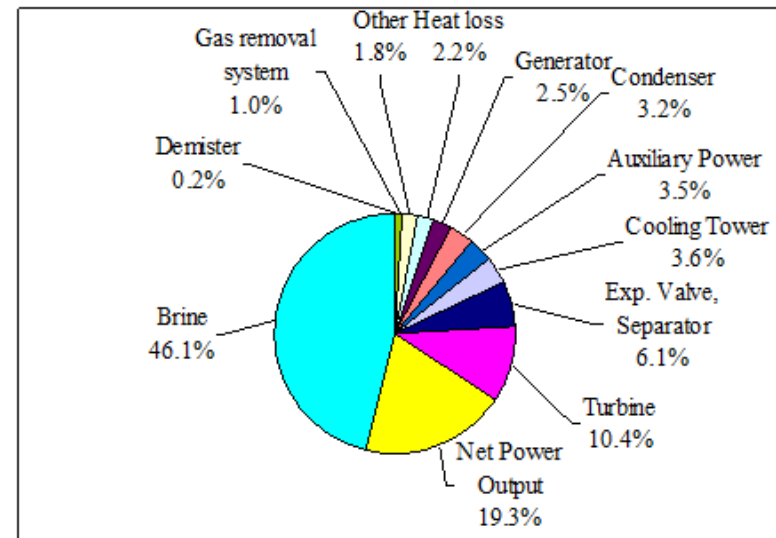
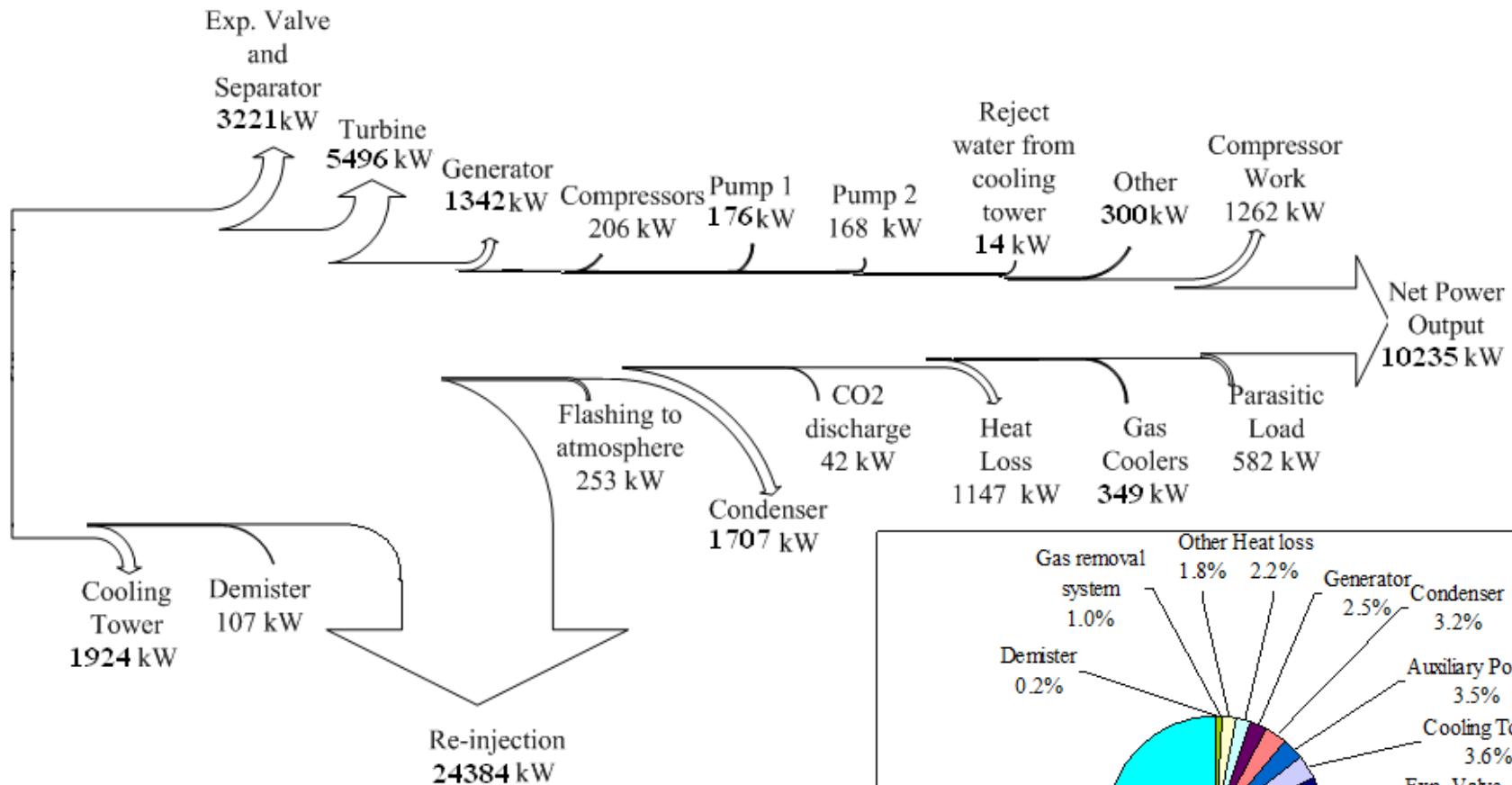


JES MODELLEME, Temel Denklemler

Mass Balance	$\dot{m} = \dot{m}_l + \dot{m}_s + \dot{m}_{NCG}$ $f = \dot{m}_{NCG} / (\dot{m}_s + \dot{m}_{NCG})$ $\sum (\dot{m})_{in} = \sum (\dot{m})_{out}$
Energy Balance	$\dot{m}.h = \dot{m}_l.h_l + \dot{m}_s.h_s + \dot{m}_{NCG}.h_{NCG}$ $\dot{Q} - \dot{W} = \sum (\dot{m}.h)_{out} - \sum (\dot{m}.h)_{in}$
Exergy Balance	$\dot{Ex}_{in} = \dot{Ex}_{out} + \dot{Ex}_{destroyed}$ $\dot{Ex}_{out} = \dot{Ex}_{desired} + \dot{Ex}_{waste}$ $\dot{Ex} = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)]$ $\eta_{Ex} = \frac{\dot{Ex}_{desired}}{\dot{Ex}_{in}}$
Economical Analysis	$NPV = \sum_{n=k+1}^t \frac{B_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^k \frac{C_n}{(1+i)^n}$ $NPV = \sum_{n=k+1}^t \frac{B_n}{(1+IRR)^n} - \sum_{n=0}^k \frac{C_n}{(1+IRR)^n} = 0$

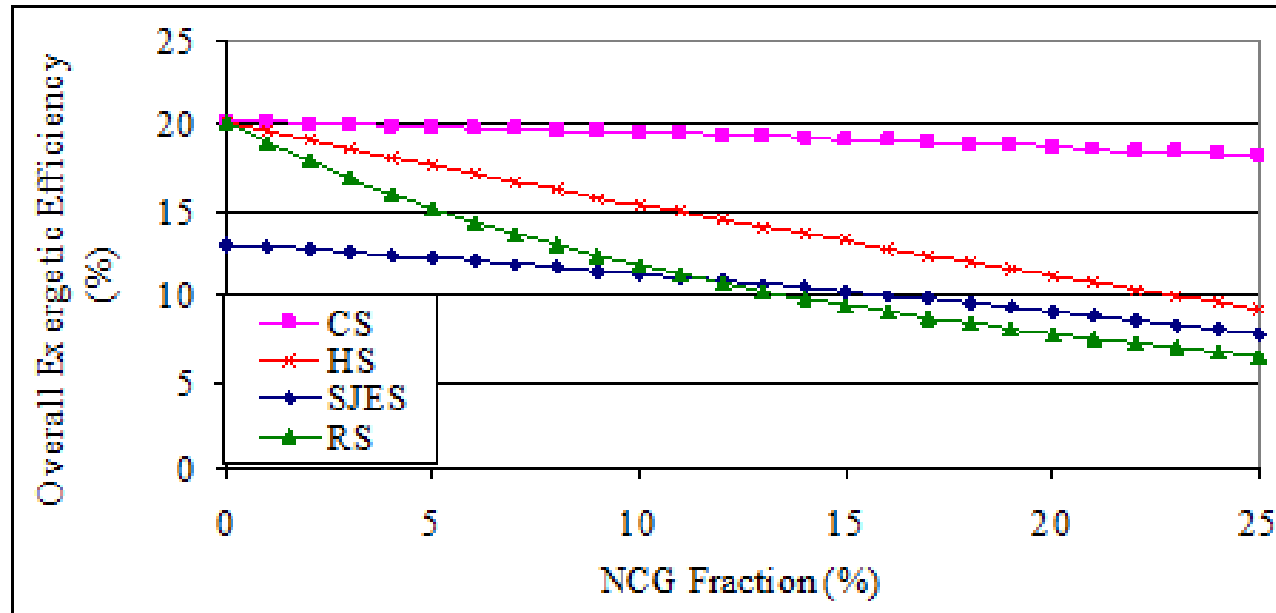
JES EKSERJİ ANALİZİ

Kompresör GAS Sistemli JES



JES EKSERJİ ANALİZİ

YGO Etkisi



YGO'ndaki %1'lik artış

Ekserji verimindeki düşüş oranları

0.4% for CS,

2.2 % for HS,

2.7% for SJES and

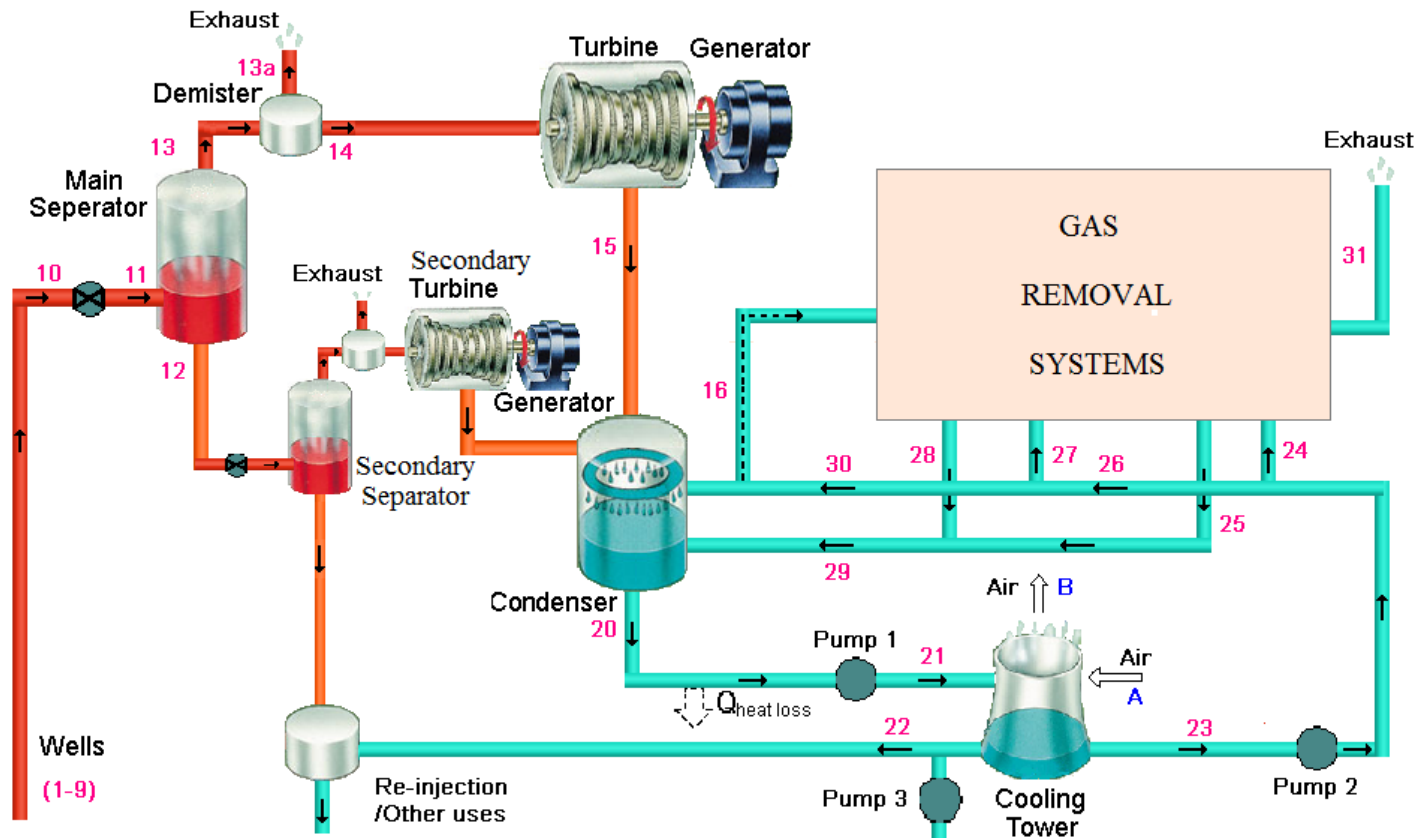
2.3% for RS.

JES EKSERJİ ANALİZİ

Components	CS		SJES		HS		RS	
	(kW)	(%)	(kW)	(%)	(kW)	(%)	(kW)	(%)
Exergy at wellhead	52915	100	52915	100	52915	100	52915	100
Exergy Losses of main equipments	38524	72.8	34447	65.1	36679	69.3	40353	76.3
Expansion valve+Separator	3221	6.1	3221	6.1	3221	6.1	1174	2.2
Brine	24384	46.1	24384	46.1	24384	46.1	33339	63.0
Demister	107	0.2	107	0.2	107	0.2	41	0.1
Turbine	5496	10.4	2767	5.2	4252	8.0	2941	5.6
Generator	1342	2.5	676	1.3	1038	2.0	673	1.3
Condenser	1707	3.2	859	1.6	1321	2.5	930	1.8
Cooling Tower	1924	3.6	2063	3.9	1999	3.8	1065	2.0
Pumps	344	0.6	370	0.7	358	0.6	190	0.4
Reject to atmosphere or river	309	0.6	307	0.6	308	0.6	3236	6.1
Heat loss	1147	2.2	1233	2.3	1194	2.3	637	1.2
Other	300	0.6	1683	3.2	328	0.6	907	1.7
NCG removal system	556	1.0	9165	17.3	5059	9.6	1735	3.3
Auxiliary Power	1844	3.5	614	1.2	1899	3.6	389	0.7
Net Power Output	10235	19.3	5466	10.3	7447	14.1	5667	10.7

PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

İki- Flaşlı JES



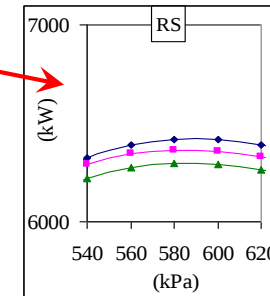
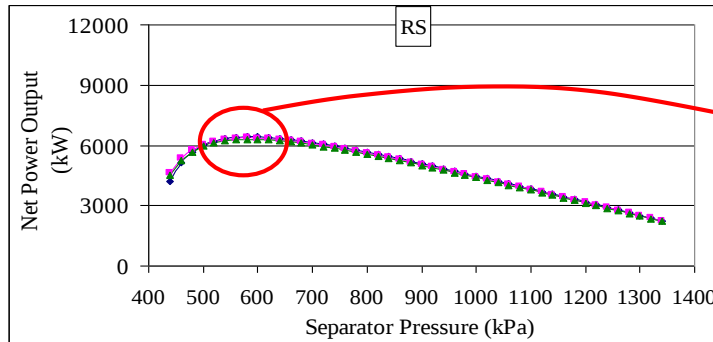
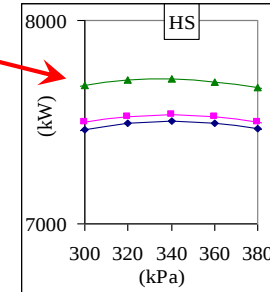
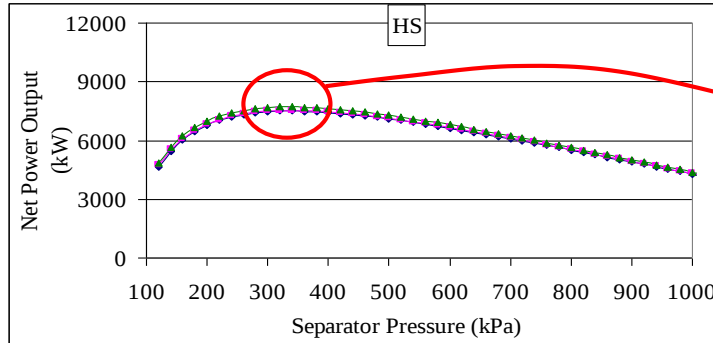
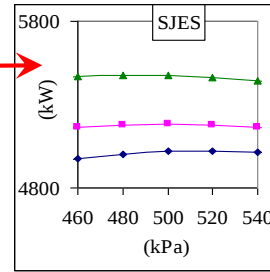
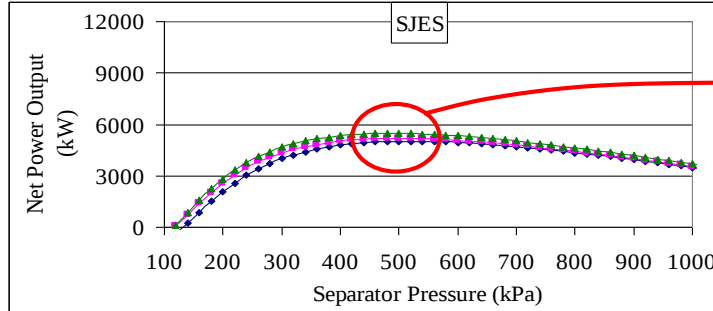
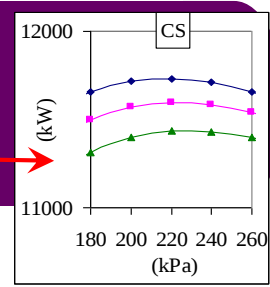
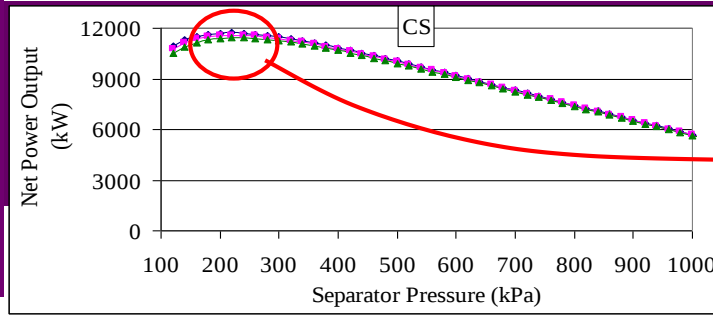
PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

İki- Flaşlı JES

NCG Removal System	Single-Flash Design (kW)	Double-Flash Design (kW)	Increment	
			(kW)	(%)
CS	10235	14887	4652	45.5
SJES	5466	12268	6802	124.4
HS	7447	12818	5371	72.1
RS	5667	12914	7247	127.9

PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

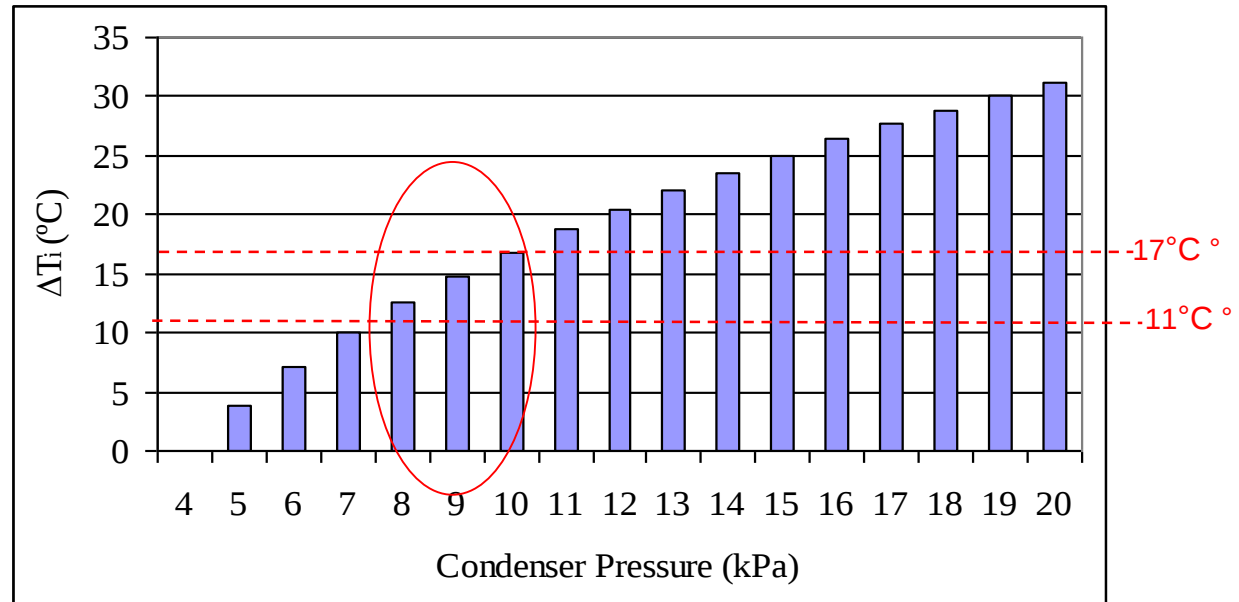
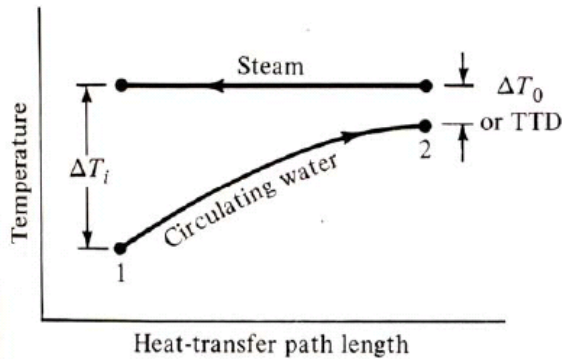
Separatör ve Kondenser Basıncı



— Condenser Pressure=8 kPa — Condenser Pressure=9 kPa — Condenser Pressure=10 kPa

PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kondenser Basıncı



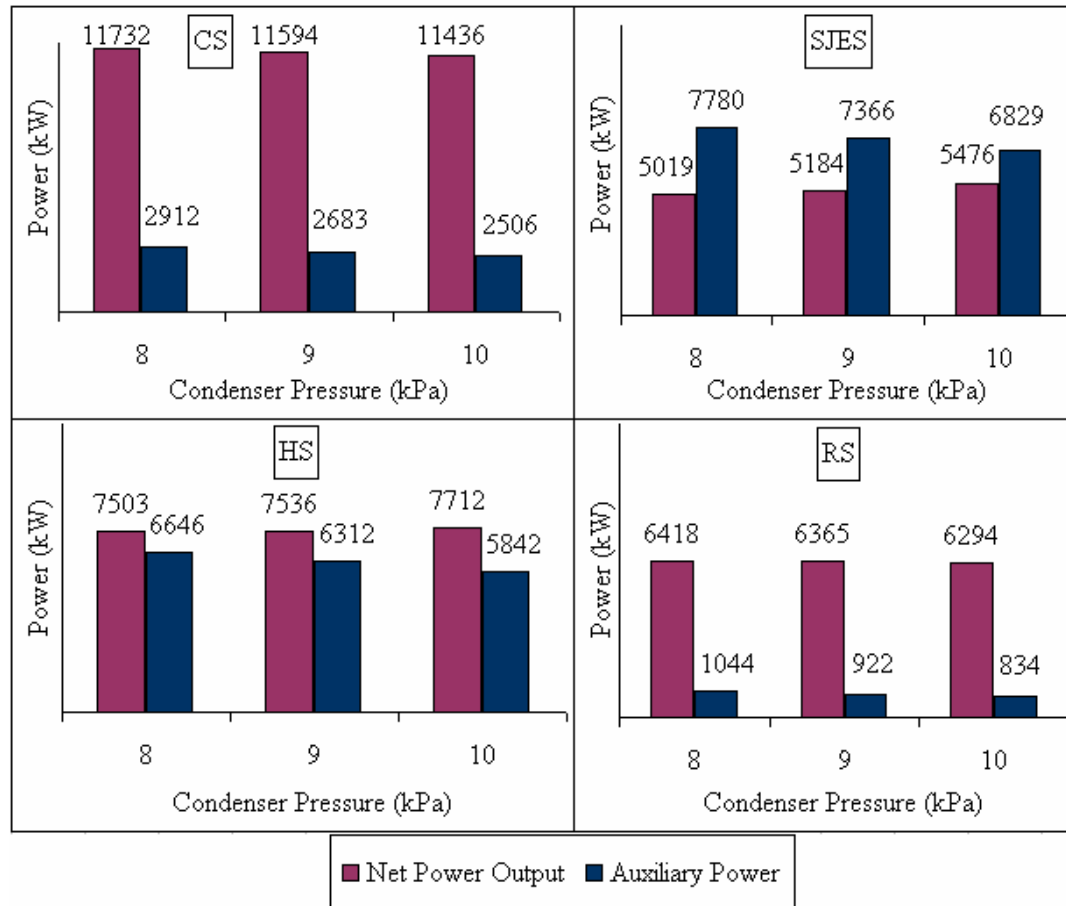
PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kondenser Basıncı

CS, RS

Net Güç
Üretimi

İç
Tüketim



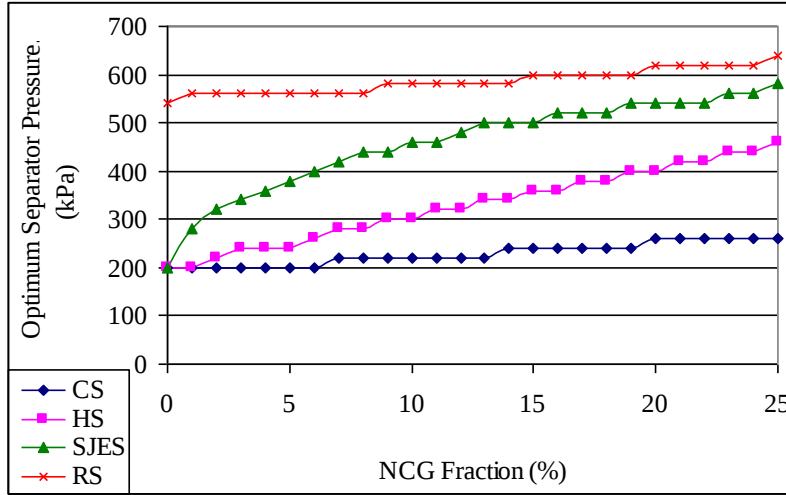
SJES, HS

Net Güç
Üretimi

İç
Tüketim

PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Optimum ve İşletme Koşullarının Karşılaştırılması



YG Oranı: 13%

Optimum separatör basıncı

CS : 220 kPa

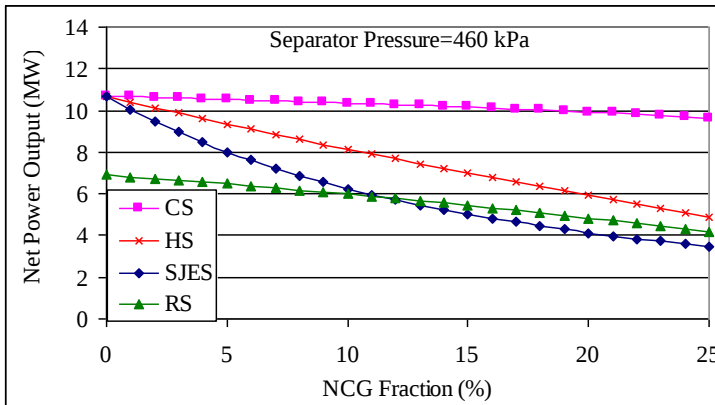
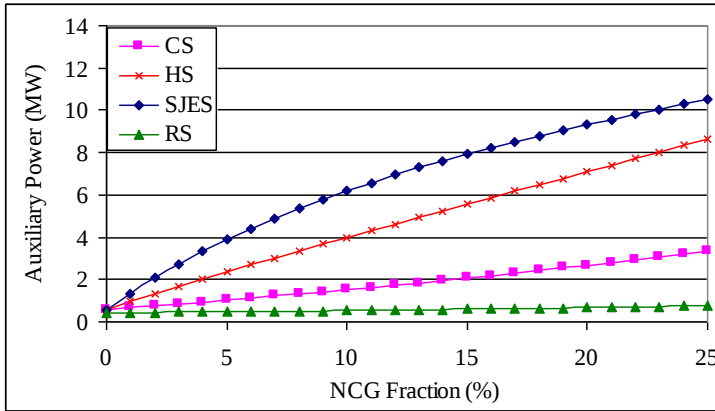
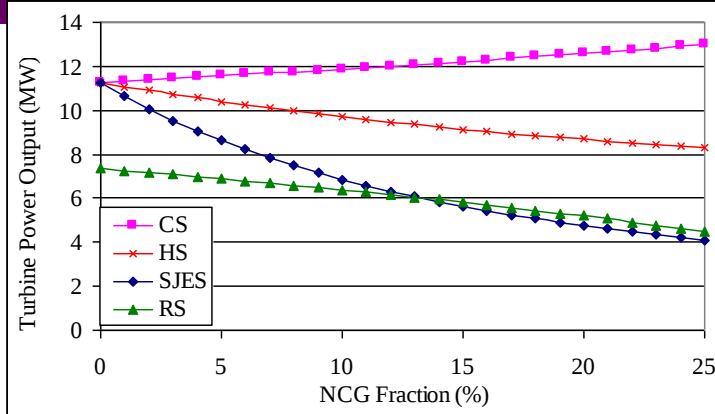
SJES : 500 kPa

HS : 340 kPa

RS : 580 kPa

YG Gaz Alma Sistemi		CS	SJES	HS	RS
İşletme	İç Tüketim (kW)	1844	7279	4936	569.2
	Net Güç Üretimi (kW)	10235	5466	7447	5667
Optimum Separatör and Kondenser Basınçları	İç Tüketim (kW)	2506	6829	5843	834
	Net Güç Üretimi (kW)	11436	5476	7712	6294
Fark	İç Tüketim (%)	35.9	-6.2	18.4	46.5
	Net Güç Üretimi (%)	11.7	0.2	3.6	11.1

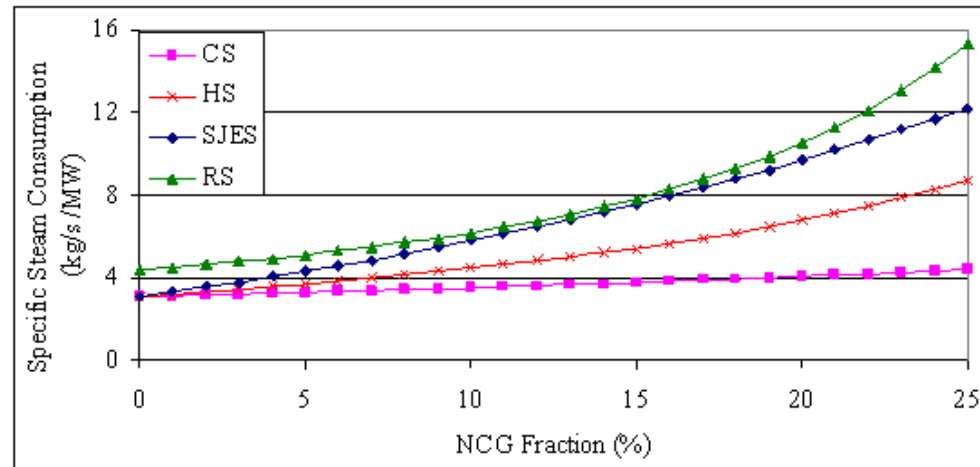
PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ



YG Oranı Etkisi

YG Oranındaki 1% artış ile net güç üretimindeki düşüş oranları

0.4% for CS,
2.2 % for HS,
2.7% for SJES and
2.3% for RS.

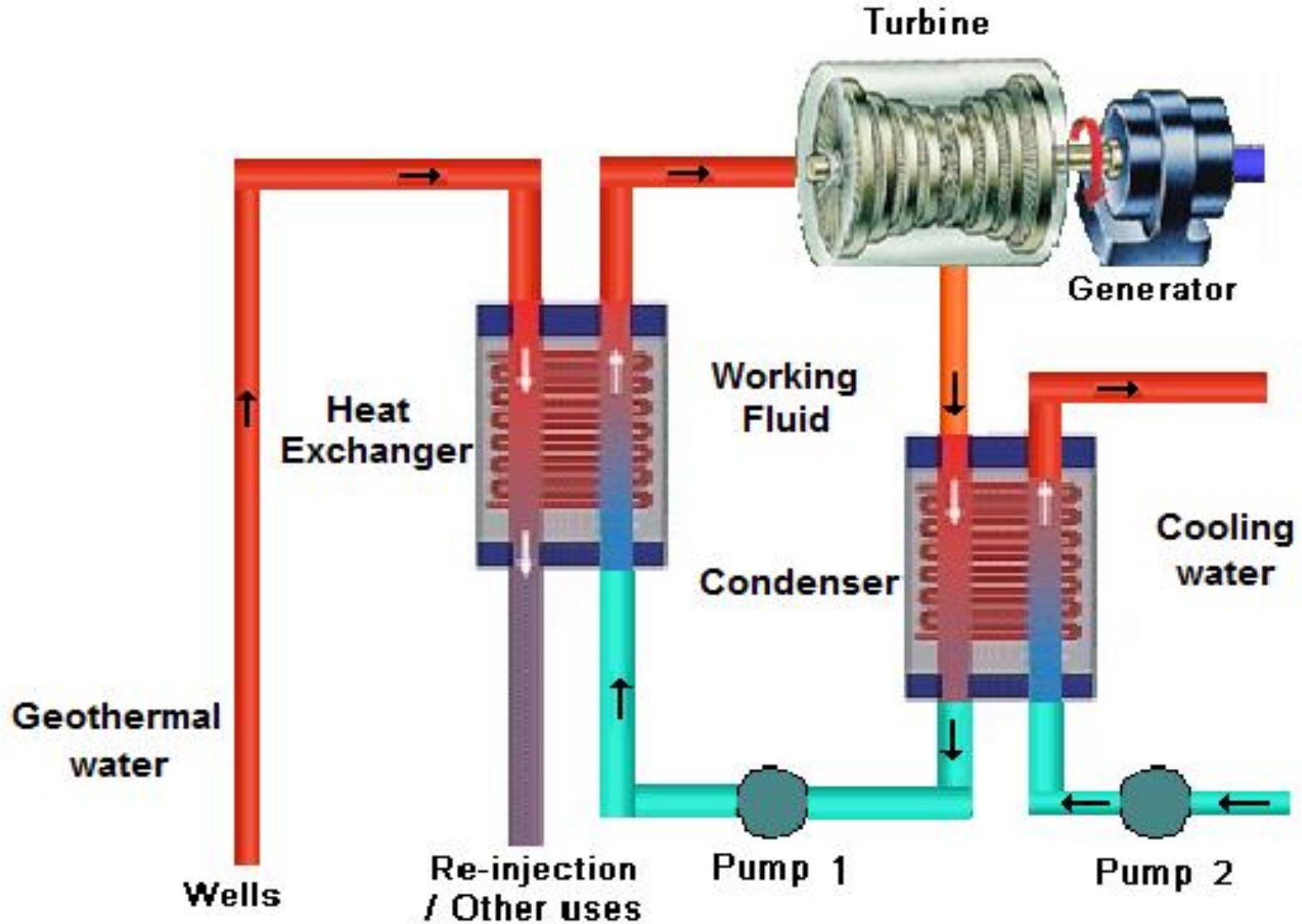


YG Oranındaki %1'lik artış

1.73% for CS, 7.38% for HS,
10.07% for RS and 11.94% for

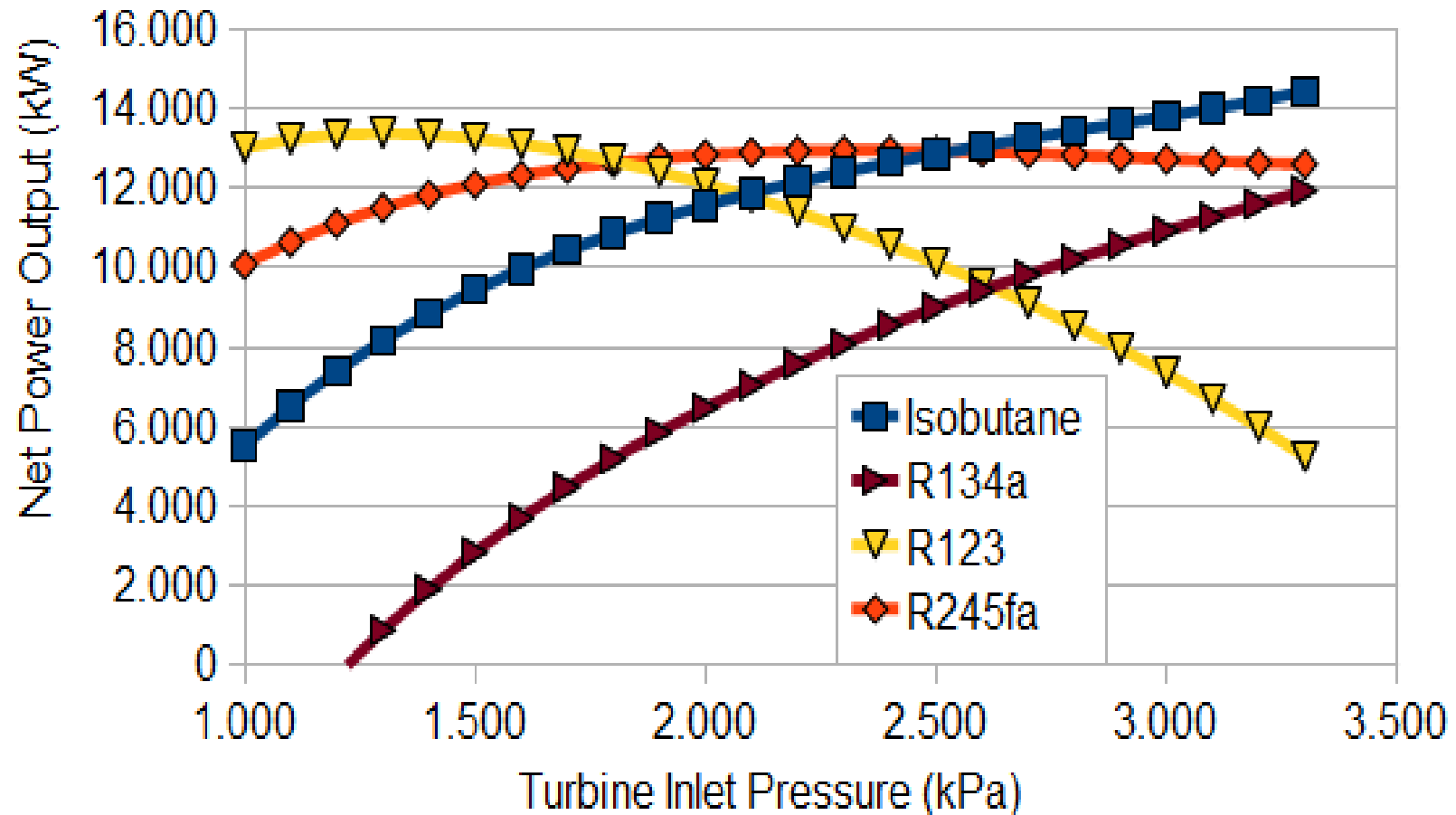
PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

İKİ ÇEVİRİMLİ (BINARY) JES



PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

BINARY JES



Working fluid: Isobutane,

Turbine Inlet Pressure: 3300 kPa

PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

İZLANDA

Yüzölçümü: 104.000 km²

57.9 %
Toplam nüfusu

Ortalama Şubat: -0.4°C

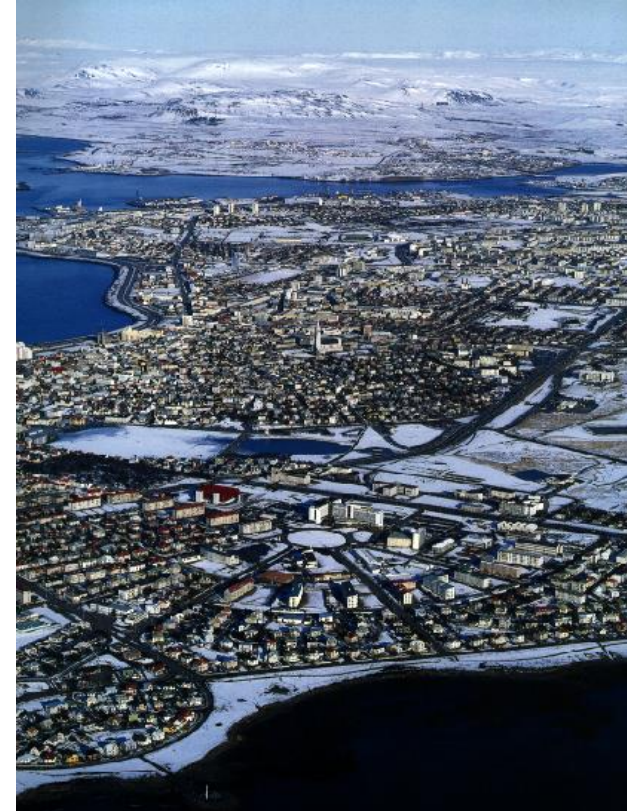
yıllık ortalama: 5°C

Ortalama Temmuz: 11.2°

İzlanda'da yerleşim
yerlerinin % 87'si
ısıtılıyor

Reykjavik bölgesel ısıtma
sistemi (şehrin % 99'u)

CO₂ emisyonu yıllık 1.9
milyon ton civarında
düşmüş.



JEOTERMAL EĞİTİM PROGRAMI

<http://www.unugtp.is/en>



HOME ABOUT UNU-GTP ACTIVITIES ADMISSION FELLOWS PUBLICATIONS GALLERY

UNU Fellows 2002



Back row from left: Yin Heng (China), Kizito M. Opondo (Kenya), Sergio Castro (Costa Rica), Nurdan Yildirim (Turkey), Katarzyna Zwarycz (Poland), A. Caner Sener (Turkey), Marek Hajto (Poland), Halle T. Kebede (Ethiopia), Yin Lihe (China), Xu Youshi (China), Roberto E. Renderos (El Salvador).

Front row: Paul K. Ngugi (Kenya), Vytautas Puronas (Lithuania), Muluken Tessema (Ethiopia), Giorgi Vardigoreli (Georgia), Dmitriy Y. Kuzmin (Russia), Fessaha Tareke (Ethiopia), Fan Xiaoping (China).

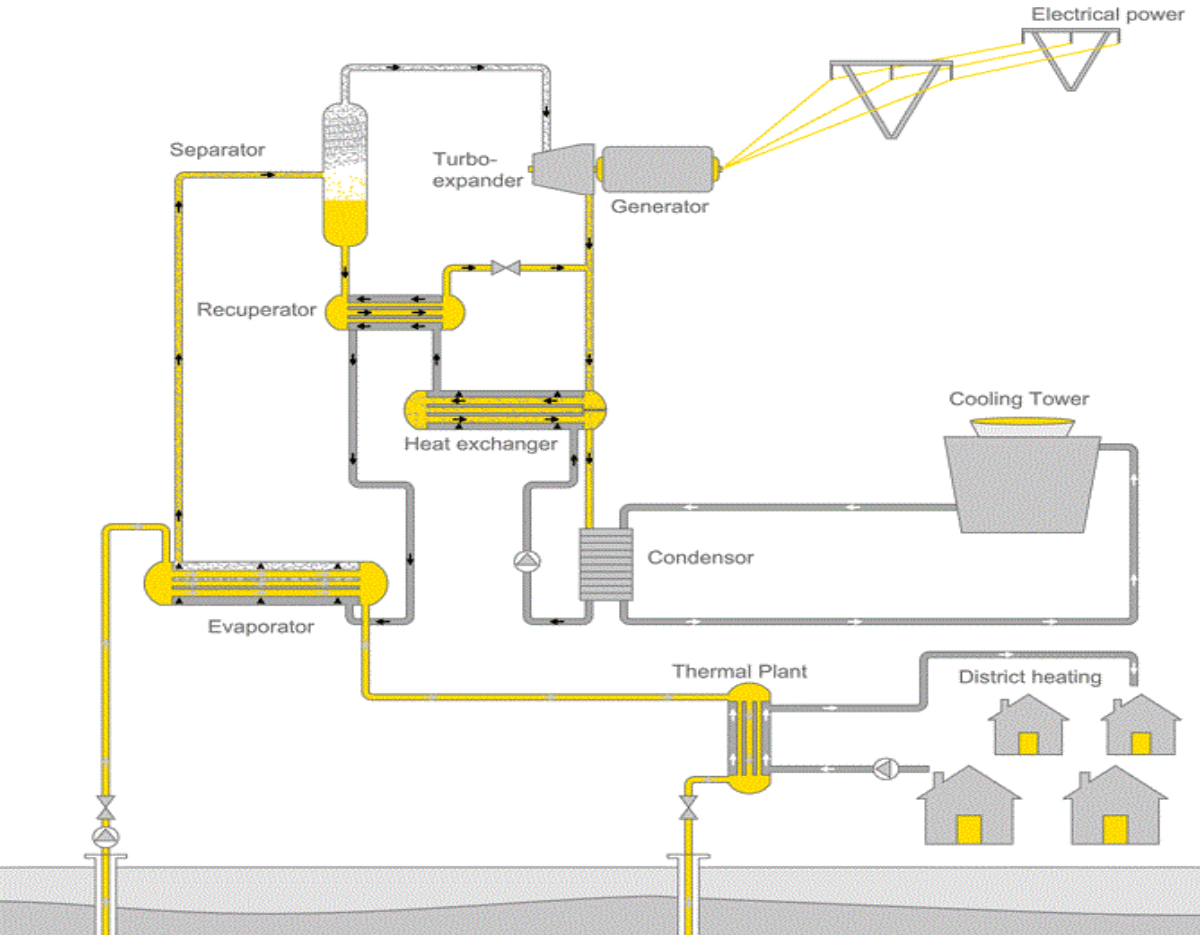
The photo was taken in the tropical greenhouse at the Icelandic Horticultural College, Reykjavik, Iceland.



PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ



PERFORMANS İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ



Kalina Çevrimi

Husavik Jeotermal Santrali,
İzlanda,

2000, 2 MW
(%80 elektrik talebi 2500
kişilik kasaba)

124 °C, 90 kg/s

20 km jeotermal kuyu

80 °C , bölgesel ısıtma
sistemi ve sıcak su

Yün, ağaç kurutma,
Süt pastörizasyonu,
Karides çiftliği,
Sera,
Kar eritme

SONUÇLAR

Tahmini jeotermal potansiyelin şu an %4 civarını kullanmaktayız.

Kombine kullanımlar ile jeotermal enerjinin kullanımındaki verimliliği arttırmalıyız.

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yüksek kapasite faktörüne (%95) sahip olan, elektrik üretimine ek olarak ısı uygulamalarda da kullanılabilen, çevre dostu jeotermal enerjinin kullanımını teşvik ederek bu oranın artmasını sağlamalıyız.



TEŞEKKÜRLER

nurdan.yildirim@yasar.edu.tr