افزایش راندمان و بهبود شرایط قطعات داغ با کاهش دمای ورودی توربین در نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان

اسماعیل رمضانی اقداش- * مهدی صابریان- **حمید مطیعی- ***منا مسعودی

ramezani_esmaeil@yahoo.com- *saberian.m@gmail.com-

****hamidmotiei@yahoo.com- ***mo.masoudy@gmail.com-**

شرکت مدیریت نیروگاههای گازی خراسان

Archive of SID

چکیده

توربین های گازی در مدل های متفاوت و متنوع دارای دامنه وسیعی از مشخصات عملکردی می باشند. علیرغم راندمانهای نسبتا پایین- خصوصا در توربین گاز با سیکل ساده- بدلیل ساختار فنی ، سهولت و سرعت در نصب و راه اندازی و نیز سهولت و سرعت در استارت و بارگیری آنها باعث شده تا نیروگا ههای گازی یکی از منابع عمده تولید برق در کشور محسوب شوند که حدودا نیمی از ظرفیت تولید شبکه سراسری برق را بعهده داشته و نقش اساسی در مدیریت بار شبکه خصوصا هنگام اوج مصرف و نیز بارهای جزئی ایفا می کنند. عمده این منابع تامین انرژی الکتریکی که خود نیز از مصرف کننده های عمده سوخت در کشور بشمار می روند علیرغم قابلیت تبدیل به سیکل ترکیبی همچنان به صورت گازی بهره برداری میشوند و این امر باعث شده است که توربین این قبیل واحد ها در مواقع غیر ضروری نیز با راندمان های کمتر و در دمای بالا کار کرده و منجر به پیش آمدن آسیب های جدی در قطعات داغ واحد گردد.در این مقاله با بررسی مانور انجام شده در IGV یکی از واحد های گازی نیروگاه شیروان به روند کاهشTETC و دمای ورودی توربین و به طبع آن افزایش راندمان و کاهش آسیب های پیش آمده در قطعات داغ پرداخته و ضرورت اعمال آن را بر کلیه واحد های گازی با این قابلیت بیان می کنیم.

واژه‌های کلیدی: توربین گاز- TETC- قطعات داغ- راندمان- IGV

1- مقدمه

توربین های گازی در مدل های متفاوت و متنوع دارای دامنه وسیعی از مشخصات عملکردی می باشند. علیرغم راندمانهای نسبتا پایین- خصوصا در توربین گاز با سیکل ساده- بدلیل ساختار فنی ، سهولت و سرعت در نصب و راه اندازی و نیز سهولت و سرعت در استارت و بارگیری آنها باعث شده تا نیروگا ههای گازی یکی از منابع عمده تولید برق در کشور محسوب شوند که حدودا نیمی از ظرفیت تولید شبکه سراسری برق را بعهده داشته و نقش اساسی در مدیریت بار شبکه خصوصا هنگام اوج مصرف و نیز بارهای جزئی ایفا می کنند. عمده این منابع تامین انرژی الکتریکی که خود نیز از مصرف کننده های عمده سوخت در کشور بشمار می روند علیرغم قابلیت تبدیل به سیکل ترکیبی همچنان به صورت گازی بهره برداری می شوند و این امر باعث شده است که توربین این قبیل واحد ها در مواقع غیر ضروری نیز با راندمان

www.SID.ir

های کمتر و در دمای بالا کار کرده و منجر به پیش آمدن آسیب های جدی در قطعات داغ واحد گردد.در این مقاله با بررسی مانور انجام شده در IGV یکی از واحد های گازی نیروگاه شیروان به روند کاهش TETC[1] و دمای ورودی توربین و به طبع آن افزایش راندمان و کاهش آسیب های پیش آمده در قطعات داغ پرداخته و ضرورت اعمال آن را بر کلیه واحد های گازی با این قابلیت بیان می نمائیم.

2- بررسی سوابق و شناسایی عیب

لازم به توضیح است که نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان دارای 6 واحد گازی V94.2 با ظرفیت نامی هر واحد159 MW می باشد. از واحد های مذکور در دو واحد 3 و5 به دلیل انجام تست عملکرد[2] دمای TETC بر روی عدد 536°C تنظیم شده بود و این در حالی است که واحد های دیگر در شرایط دمایی TETC=530 °C کار می کردند. پس از گذشت 500 ساعت کارکرد معادل از زمان انجام بازدید مسیر داغ واحد 5 ، با بررسی های انجام شده ترک هایی در نازل های ردیف اول[3] مشاهده گردید(شکل 1) که این امر طبق مدارک سازنده (شکل 2)عامل تعویض نازل های فوق الذکر می باشد.(شکل 3)

[1] Turbine exhaust temperature correction
[2] PG TEST
[3] Turbine stator vane stage 1

شکل1: ترک های مشاهده شده بر روی نازل های ردیف 1 واحد 5

3	Cracks (v)	
1	Crack length < 5 % of the plate length Crack distance from edge/crack > 10 % of plate length	Leave. Corrective measure to be tak major inspection.
2	Crack length > 5 - 10% of the plate length Crack distance from edge/crack < 10 % of plate length Crack depth < 30 % of the plate thickness No danger of break out	Grind out and radius. Further correct be taken at next major inspection.
3	Crack length > 10 % of the plate length Crack depth > 30 % of the plate thickness Possibility of break out	Replace.

شکل 2: مدرک سازنده مبنی بر جهت تعویض نازل

Machine component	DIN Designation	Remarks
Rotor		
Compressor		
Front Hollow Shaft	26NiCr Mo V115	
Rotor Disks 1-16	26NiCr Mo V115	
Rotor Blades 1-2	X10 CrNi Mo V1222	Rotor Blades 1-6 coated
Rotor Blades 3-16	X20 Cr13	
Turbine		
Centre Hollow Shaft	26 NiCr Mo V115	
Rotor Disks 1-4	26 NiCr Mo V145 mod.	
Rotor Blades Stage 1	G-NiCr 16Co 8Ti Al W Mo	Inconel 738 LC Cast, coated
Rotor Blades Stage 2	G-NiCr 16Co 8Ti Al W Mo	Inconel 738 LC Cast, coated
Rotor Blades Stage 3	G-NiCr 16Co 8Ti Al W Mo	Inconel 738 LC Cast, coated
Rotor Blades Stage 4	Ni Cr 19Co 12 Mo Ti Al W	Udimet-520
Rings 1-4	26 NiCr Mo V145 mod.	
Seal Plate	NiCr 20Co 18Ti	Nimonic 90
Seal Wire	NiCr20Co18Ti	Nimonic 90
Rear Hollow Shaft	26NiCr Mo V115	
Tie Rod	26NiCr Mo V115	
Tie Rod Nut	26NiCr Mo V115	
Stator		
Compressor		
Stator Vane Carrier 1	GGG-40	Nodular Cast Iron
Stator Vane Carrier 2 and 3	GGG-40	Nodular Cast Iron
Joint Bolts	40CrMo V47	
Stator Vanes 0-16	X20 Cr13	Stator Vanes 0-3 coated
Stator Vane Rings	RSt 37-2	
Discharge Diffuser	GGG-40	Nodular Cast Iron
Turbine		
Stator Vane Carrier	GS-17Cr Mo55	
Joint Bolts	21 CrMo V57	
Stator Vanes Stage 1	G-NiCr 22Co 19Ti Al W Nb	Inconel 939 Cast, coated
Stator Vanes Stage 2	G-NiCr 22Co 19Ti Al W Nb	Inconel 939 Cast, coated
Stator Vanes Stage 3	G-NiCr 22Co 19Ti Al W Nb	Inconel 939 Cast
Stator Vanes Stage 4	G-NiCr 22Co 19Ti Al W Nb	Inconel 939 Cast
Seal Rings 2-4	X22 CrMo V121	

شکل 3: مشخصات نازل های ردیف اول

www.SID.ir

پس از مشاهده ترک های موجود در نازل های ردیف اول ابتدا شناسنامه قطعات بررسی شده و مشخص گردید که نازل های نصب شده بر روی واحد 5 همان نازل های باز و بازسازی شده واحد 3 می باشند، همچنین مشابه این مورد در واحد چهار نازل های باز و بازسازی شده واحد 2 نصب گردیده بود. با مقایسه نازل های واحد 4 و 5 که هر دو توسط یک شرکت باز سازی شده بودند مشخص گردید که علی رغم کارکرد کمتر نازل های واحد 5 به نسبت واحد 4، موارد آسیب دیدگی در نازل های واحد 5 بیشتر می باشد.(شکل 5-1و2 و جدول 1)

شکل 5-1: نازل آسیب دیده واحد 5

شکل 5-2: نازل واحد 4

unit number	turbine stator vane stage 1		EOH
	total	damaged	
4	46	0	32000
5	46	16	28000

جدول 1- EOH[4] و تعداد نازل های معیوب

همانطور که از پیش بیان شده است تنها تفاوت موجود در واحد های 2و3 و همچنین 4و5، تفاوت در دمایTETC می باشد که این امر خود نشان دهنده تفاوت دمای ورودی توربین در این واحد ها ست. به عبارت دیگر واحد 3و 5 به نسبت دیگر واحدها در دمای بالاتری بهره برداری می شود.

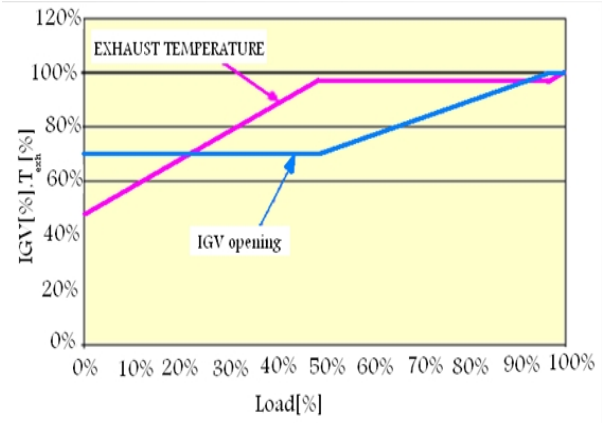
3-اقدامات انجام شده و راهکارهای پیشنهادی

اولین اقدامی که در این خصوص انجام شد پایین آوردن دمای TETC در دو واحد 3و5 بود که به این ترتیب دمای بهره برداری کاهش یافت. در مرحله بعد با بررسی واحدهای V94.2 و در نظر گرفتن دیگر واحد های گازی که با داشتن گزینه IGV off قابلیت کاهش هرچه بیشتر دمای ورودی توربین را دارند به ارائه راهکاری در خصوص بهینه سازی هر چه بیشتر در این واحد هاپرداختیم.از آنجائی که در واحدهایV94.2 در زمان راه اندازی سیکل ترکیبی، از خروجی اگزوز برای بویلر سیکل بخار استفاده خواهد شد، سیستم کنترل این واحدها به گونه ای طراحی شده است که دمای خروجی اگزوز در بارهای مختلف ثابت بماند. به عبارت دیگر در واحد 5 دمای خروجی اگزوز از بار Base تا بار حداقل(در حدود 60MW) در 536 درجه سانتی گراد ثابت می ماند. با توجه به اینکه در بیشتر مواقع واحدها در کنترل فرکانس مشارکت داشته و به تبع در بار کمتر از بار base قرار دارند ، ثابت و بالا نگه داشتن دمای خروجی اگزوز نه تنها مفید نبوده بلکه باعث صدمات چشمگیری در قطعات داغ سیستم می شود.(شکل6)

[4] ساعت کارکرد معادل

Archive of SID

www.SID.ir



شکل6- وضعیت مشارکت IGV در واحدهای V94.2

با بررسی های انجام شده که در ذیل مختصرا به آن می پردازیم، دمای خروجی اگزوز در حدود 26 درجه در واحد 5 کاهش یافت که نتایج مثبت آن کاملا مشهود می باشد:

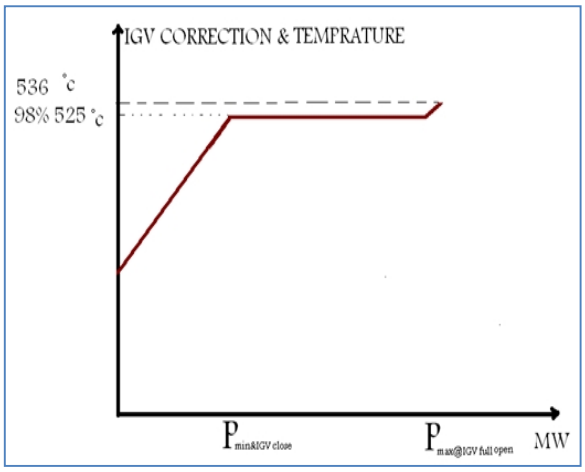
در واحدهای V94.2 ایتمی به نام IGV CORRECTION وجود دارد که به صورت درصدی از TETC می باشد و با مقدار دهی به آن می توان زمان باز شدن IGV را بر اساس دمای خروجی اگزوز تنظیم نمود.

مثال:

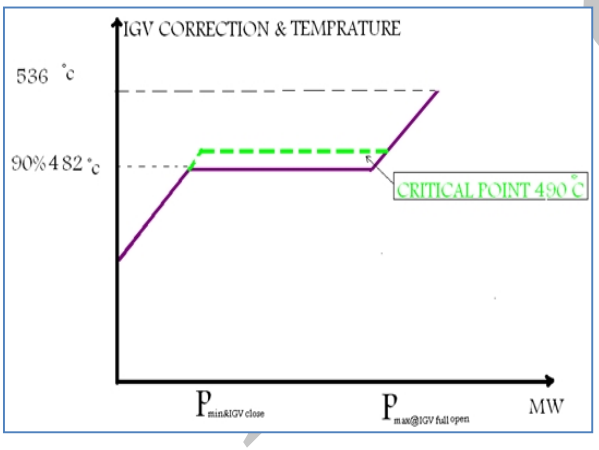
TETC = 530 ‘C
IGV CORRECTION = 98%
So IGV will be opened at = 519.4 °c

که این عدد در کلیه واحد ها بر روی 98% تنظیم شده بود. در اولین اقدام مقدار IGV CORRECTION به 90% تغییر داده شد.(شکل 8)

با انجام این تغییر، دمای خروجی اگزوز پائین آمد. با توجه به اینکه دمای چنج شعله ی پریمیکس به دیفیوژن در490 درجه سانتی گراد تنظیم شده است، در طول بهره برداری(از بار حداقل تا حدود 110 مگاوات) با شرایط ایجاد شده دمای خروجی اگزوز همواره کمتر از دما چنج بود. بنابراین امکان بهره برداری با شعله پریمیکس وجود نداشت و واحد با مشعل دیفیوژن بهره برداری میگردید. این موضوع علاوه برآسیب به قطعات داغ واحد، از لحاظ زیست محیطی نیز مخرب بود.



شکل7- وضعیت مشارکت IGV با IGV correction 98%



شکل8- وضعیت مشارکت IGV با IGV correction 90%

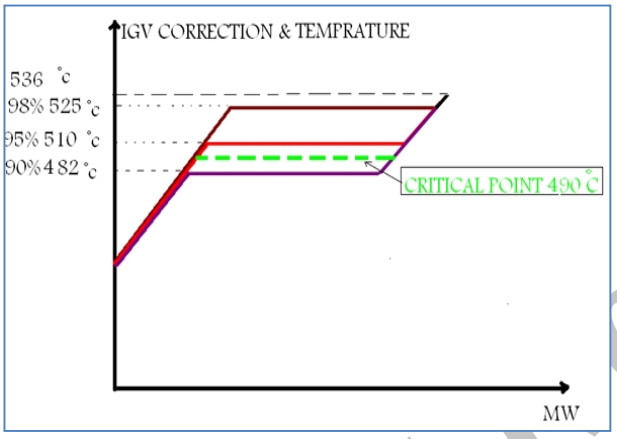
جهت استمرار بهره برداری در مود پریمیکس و کاهش تبعات زیست محیطی آن ، با در نظر گرفتن دمای چنج 490 درجه ، دمای 510 درجه را برای مشارکت IGV مناسب دیده و برای ایجاد این دما، درصد IGV CORRECTION بر روی 95% تنظیم گردید.(این تغییرات بر روی واحد 5 و با TETC برابر 536 درجه انجام شد). (شکل 9)

www.SID.ir

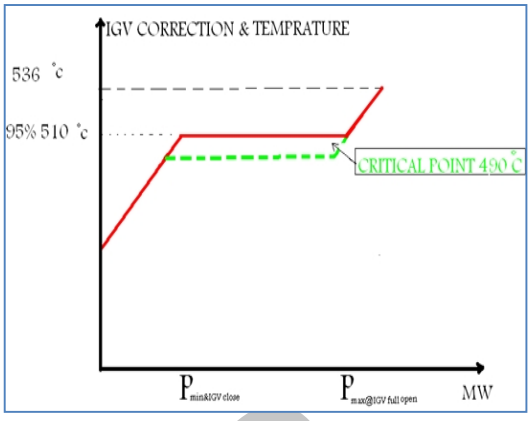
4- نتایج

4-1- کاهش دمای ورودی توربین و سلامت هر چه بیشتر قطعات داغ

با یک مقایسه سر انگشتی اهمیت این کاهش دما در خروجی اگزوز کاملا روشن می شود به این صورت که اختلاف 6 درجه بیشتر در خروجی اگزوز واحدهای 3 و 5 منجر به ترک های بسیاری در نازل ها شده است(536 درجه در مقابل 530 درجه) حال با این کاهش 25 درجه ای می تواند تاثیر شگرفی بر روی سلامت قطعات داغ داشت.(شکل11)

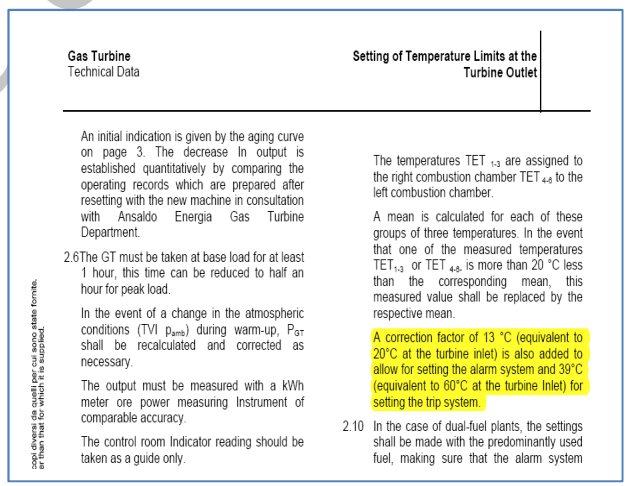


شکل 11- کلیه حالت های بارگیری



شکل9- وضعیت مشارکت **IGV با IGV correction 95%**

همانطور از نمودار بر می آید با شرایط ایجاد شده در طول بهره برداری دمای خروجی اگزوز نسبت به قبل 25 درجه کمتر بوده و شعله نیز پریمیکس می باشد که با مراجعه به مدارک شرکت سازنده این 25درجه کاهش در خروجی اگزوز در بار BASE معادل 39 درجه سانتی گراد در ورودی توربین می باشد.(شکل 10)



Gas Turbine
Technical Data

Setting of Temperature Limits at the Turbine Outlet

An initial indication is given by the aging curve on page 3. The decrease In output is established quantitatively by comparing the operating records which are prepared after resetting with the new machine in consultation with Ansaldo Energia Gas Turbine Department.

2.6 The GT must be taken at base load for at least 1 hour, this time can be reduced to half an hour for peak load.

In the event of a change in the atmospheric conditions (TVI p_{amb}) during warm-up, P_{GT} shall be recalculated and corrected as necessary.

The output must be measured with a kWh meter ore power measuring Instrument of comparable accuracy.

The control room Indicator reading should be taken as a guide only.

The temperatures TET $_{1-3}$ are assigned to the right combustion chamber TET $_{4-5}$ to the left combustion chamber.

A mean is calculated for each of these groups of three temperatures. In the event that one of the measured temperatures TET$_{1-3}$ or TET $_{4-5}$ is more than 20 °C less than the corresponding mean, this measured value shall be replaced by the respective mean.

A correction factor of 13 °C (equivalent to 20°C at the turbine inlet) is also added to allow for setting the alarm system and 39°C (equivalent to 60°C at the turbine Inlet) for setting the trip system.

2.10 In the case of dual-fuel plants, the settings shall be made with the predominantly used fuel, making sure that the alarm system

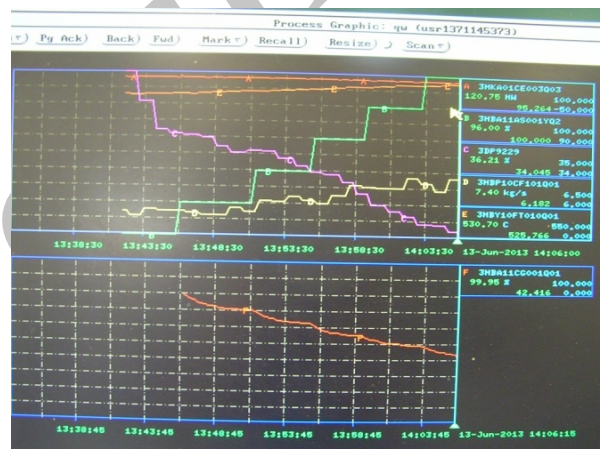
شکل 10- مدرک سازنده مبنی بر دمای ورودی توربین بر اساس دمای خروجی اگزوز

Archive of SID

www.SID.ir

4-2- افزایش راندمان

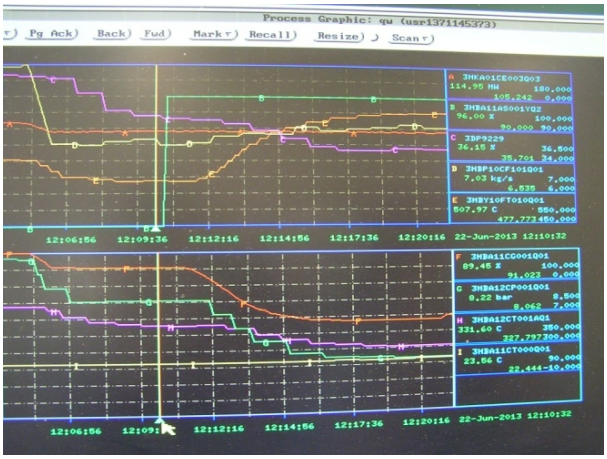
این کاهش دما علاوه بر تاثیرات مثبت بر سلامت قطعات افزایش راندمان را نیز در بر داشته است.در شکل 12 نمودار B (سبز رنگ) درصد IGV CORRECTION را نشان میدهد . که از 90% به 100% افزایش داده شده است . کاملا روشن است که با افزایش اعمال شده علیرغم ثابت بودن توان تولیدی(نمودارA) مصرف گاز(نمودار D-زرد رنگ) روندی رو به افزایش داشته و به تبع راندمان (نمودار E)نرخی کاهنده دارد.



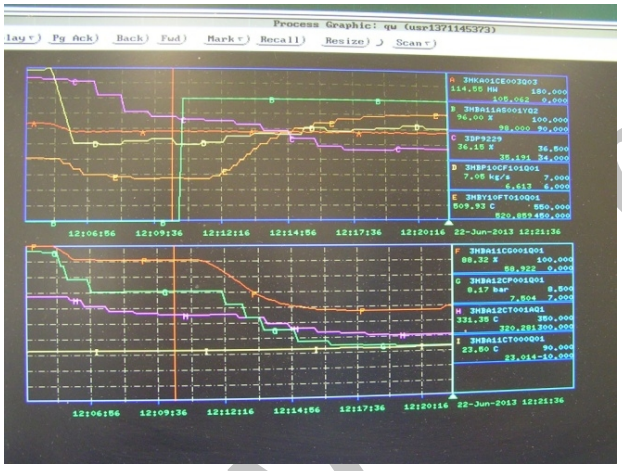
شکل 12- افزایش راندمان و کاهش مصرف سوخت

این موضوع به طریق دیگری نیز قابل اثبات است.همانطور که در شکل 13 نشان داده شده است، توان تولیدی 105 مگاوات، درصدIGV CORRECTION 90% دمای خروجی کمپرسور 320.8° C و فشار خروجی آن 8.062 BAR می باشد.

این در حالی است که در شکل 14 با اینکه درصد IGV-CORRECTION به 98% تغییر داده شده توان تولیدی همچنان 105 مگاوات ثابت بوده ه و دما و فشار کمپرسور 320° C ، 7.5 BAR کاهش یافته است که طبق قوانین حاکم بر توربینهای گازی ، راندمان حدود 1% کاهش می یابد.



شکل 13- توان تولیدی و فشار کمپرسور



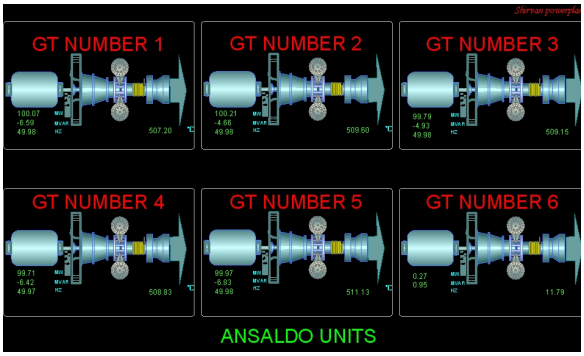
شکل 14- توان تولیدی و فشار کمپرسور

www.SID.ir

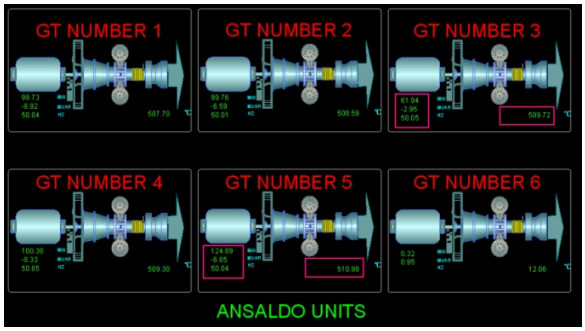
3-4-ثابت بودن دمای TETC از بار حداقل تا بار بیس

برای نشان دادن ثابت بودن دمای TETC از بار حداقل تا بار نزدیک به بار بیس ترندی از دو حالت گرفته شده است بدین صورت که در ترند شکل 15 بار واحدهای یک تا پنج حدود 100 مگاوات ثابت است و دمای TETC واحدها بین 507 °C تا 511 °C متغیر می باشد ولی در ترند شکل 16 بار واحد سه 62 مگاوات و دمای TETC آن ۵۰۹ °C ، ولی بار واحد پنج 125 مگاوات و دمای TETC آن 511 °C است یعنی از بار 62 مگاوات تا بار 125 مگاوات تقریبا دمای TETC ثابت مانده است.

در حال حاضر در ایران حدود 60 واحد V94.2 وجود دارد که بدون سیکل بخار بهره برداری می شوند با انجام تغییراتی که در این مقاله به آن اشاره شده است می توان علاوه بر افزایش حدود 1 درصدی راندمان هر واحد، عمر باقی مانده قطعات داغ را نیز افزایش داد که در شرایط کنونی کشور بسیار حائز اهمیت می باشد.



شکل 15- توان تولیدی یکسان



شکل 16- توان تولیدی متفاوت

مراجع

[1] V94.2 Gas Turbine Performance Test Manuals

[2]Shirvan power plant O&M. Manuel

[3]Shirvan power plant training Manuel

[4] Frank J.Brooks, GE Gas Turbine Performance Characteristics, GE Power System

[5] منا مسعودی، حسین اصغری فریاد، مطالعه موردی تاثیر شرایط اقلیمی بر رفتار عملکردی توربین گاز، اولین کنفرانس نیروگاههای برق، اسفند

[6] Boyce Mehrwan P, Gas Turbine Engineering Handbook, Golf Professional Publishing, 2002

Archive of SID

www.SID.ir