

الگوریتم تشخیص برنر معیوب در محفظه احتراق متعارف توربین گاز فریم ۹ کلاس E

ناعمه صفری^۱، غزاله احمدی^{۲*}، مهدی بقایی^۳، محمدعلی سرودی^۴، هیوا خالدی^۵

^۱ کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، واحد توسعه، دپارتمان احتراق، شرکت توربوتک، تهران، n.safari@turbotec-co.com

^۲ دکترا، فیزیک، واحد ارتقا، دپارتمان احتراق، شرکت توربوتک، تهران، gh.mollaahmadi@turbotec-co.com

^۳ کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، واحد ارتقا، دپارتمان احتراق، شرکت توربوتک، تهران، m.baghaei@turbotec-co.com

^۴ کارشناس ارشد، مهندسی هوافضا، مدیر دپارتمان احتراق، شرکت توربوتک، تهران، m.soroudi@turbotec-co.com

^۵ کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، مدیر عامل، شرکت توربوتک، تهران، h.khaledi@turbotec-co.com

*نویسنده مخاطب

چکیده

در این مقاله به شرح الگوریتم مورد استفاده در نرم افزار تشخیص برنر معیوب فریم ۹ پرداخته شده است. این نرم افزار طی پایش لحظه ای عملکرد توربین، با استفاده از تحلیل اطلاعات دمای ترموکوپل های خروجی توربین (TTX) و توان کاری و خروجی توربین از یک طرف و محاسبه ضرایب تأثیر هر برنر در تشکیل دمای خروجی از محفظه احتراق (TIT) و میزان چرخش گاز در توربین از طرف دیگر، برنر معیوب را شناسایی و گزارش می کند. به علاوه، نتایج صحت گذاری نرم افزار توسعه داده شده در تشخیص برنر معیوب با نتایج کد^۱ ActiveSwirl در چند حالت مختلف آورده شده است.

کلمات کلیدی: توسعه نرم افزار برنر معیوب، ضریب تأثیر، مپ چرخش، توربین گاز فریم ۹

مقدمه

سیستم احتراق ایده آل موتور توربین گاز، علاوه بر ارضای نیازمندی هایی اساسی مانند راندمان احتراق بالا، افت فشار اندک و اشتعال مطلوب و پایدار، باید قادر باشد که توزیع دمای یکنواخت و پایداری در ورودی توربین ارائه کند. افزایش و کاهش شدید یا متناوب دمای خروجی از محفظه احتراق می تواند از طریق اعمال تنش های حرارتی سازه ای در عمر موتور تأثیرات شایان توجهی داشته باشد. با توجه به هزینه های سنگین ناشی از بروز عیب در توربین های گاز، تشخیص عیب قبل از وقوع حوادث زیان بار و جلوگیری از وقوع چنین حوادثی امری اجتناب ناپذیر در بحث نگهداری توربین تبدیل شده است که دلیل این امر، کاهش هزینه های تعمیر^۲ و افزایش قابلیت دسترسی^۳ توربین گاز است. در نتیجه تشخیص عیوب محفظه احتراق و برنرهای آن اهمیت ویژه ای در حوزه تشخیص عیوب توربین گاز دارند. برای این منظور و نظر به دمای بالای گازهای خروجی از محفظه احتراق، از تحلیل دمای گزارش شده از ترموکوپل هایی که به صورت دایروی در خروجی توربین قرار داده شده اند، استفاده می شود. تحلیل هم زمان پروفایل دمایی این ترموکوپل ها و شرایط کارکردی توربین می تواند روش مؤثری برای تشخیص برنرهای معیوب در توربین گاز باشد. در توربین گاز چندین پارامتر نظارتی وجود دارد که در سیستم مانیتورینگ رصد می شود. بدیهی است که در صورت وجود عیب در محفظه احتراق، در این پارامترهای نظارتی تغییراتی ایجاد می شود. در جدول ۱ عیوب محفظه احتراق و تأثیری که بر پارامترهای نظارتی دارند نشان داده شده است. در این جدول شماره ۱ کمترین تأثیر و ۳ بیشترین تأثیر را نشان می دهد [۱].

جدول ۱: عیوب مرسوم محفظه احتراق و تأثیر آن روی پارامترهای نظارتی (۱):
کمترین تأثیر و ۳: بیشترین تأثیر

عیوب محفظه	ترموکوپل برگشت شعله	پروفیل دمای خروجی	افت فشار ورودی به محفظه	بیشترین میانگین دمای خروجی	کمترین میانگین دمای خروجی
خورگی یا سوختگی برنر ^۴	۳	۲			
گرفتگی برنر ^۵		۱	۱		
مسدود شدن مسیر هوا ^۶				۲	
شکستگی و یا سوختگی لاینر ^۷		۱			۳
شکستگی قطعه گذار ^۸		۳			

در این مقاله به صحت گذاری و توضیح الگوریتم و کد توسعه داده شده برای تشخیص برنر معیوب در محفظه احتراق موتور فریم ۹ پرداخته شده است. در مطالعات پیشین این گروه، الگوریتم و روش تشخیص برنر معیوب محفظه احتراق موتور IGT25 نیز ارائه شده است [۳].

اطلاعات ورودی اصلی در این نرم افزار شامل دمای TTX، شرایط عملکرد توربین، ضرایب تأثیر برنرها (F_i) و مپ چرخش گاز در توربین است [۲]. ضرایب تأثیر برنرها در واقع سهم تأثیر هر برنر در پروفایل دمایی انتهای محفظه احتراق است. با توجه به وابسته بودن این تحلیل ها به نوع و هندسه محفظه احتراق و برنرها و شرایط کاری توربین گاز از جمله دور موتور، نسبت فشار، دبی هوا و سوخت و نوع شعله وابسته است، برای هر توربین گاز تحلیل منحصر به فردی لازم است. در نتیجه، در مقاله حاضر عملکرد نرم افزار توسعه داده شده برای تشخیص برنر معیوب در حالات مختلف کاری موتور فریم ۹ ارزیابی شده است.

اولین مدل موتور توربین گاز فریم ۹ توسط شرکت جنرال الکتریک در سال ۱۹۷۵ توسعه داده شد. موتور فریم ۹ کلاس E دارای ویرایش های مختلفی بوده و مدل مورد بررسی در این مطالعه موسوم به PG9171E است که از سال ۱۹۹۱ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر حدود ۵۰ دستگاه موتور فریم ۹ کلاس E در خدمت صنعت تولید برق کشور است که از جمله ویژگی های آن می توان به قابلیت انعطاف پذیری در سوخت مصرفی تا بیش از ۵۰ نوع سوخت مختلف شامل انواع سوخت های گازی و مایع متعارف و نوظهور با سطوح کیفیت مختلف اشاره کرد. این موتور با

⁴ Eroded/Burned Fuel Nozzle

⁵ Clogged Fuel Nozzle

⁶ Obstructed Air Passage

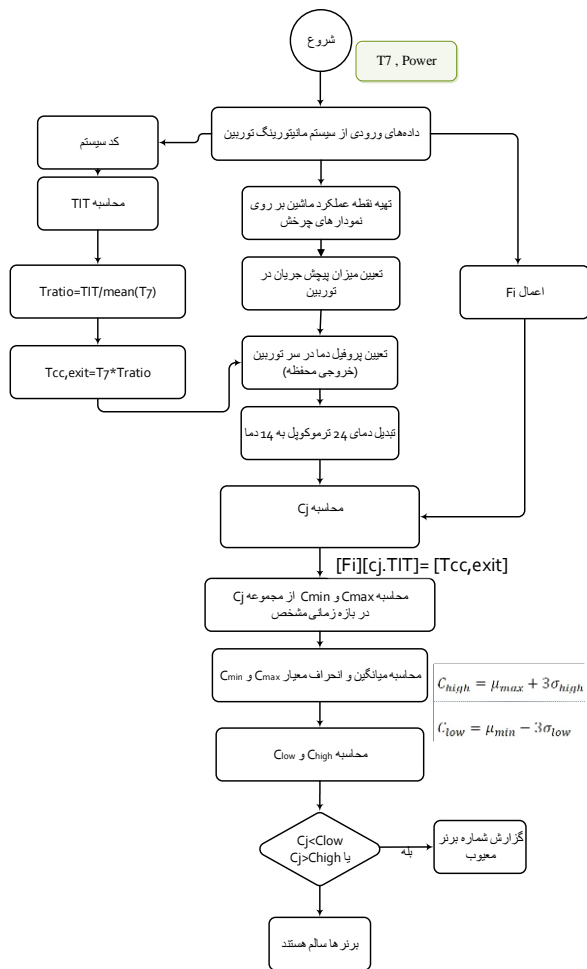
⁷ Cracked Combustor Liner

⁸ Cracked Transition Piece

^۱ نرم افزار توسعه داده شده General Electric برای توربین های تولید این شرکت

² Maintenance

³ Availability



شکل ۲: فلوجارت تدوین نرم‌افزار تشخیص برنر معیوب

سیستمی، دمای TIT در توان توربین محفظه محاسبه می‌شود. این دما به عنوان دمای حالت سالم در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر با استفاده از مپ چرخش جریان در توربین، مقدار زاویه چرخش جریان از خروجی محفظه تا انتهای توربین محاسبه می‌شود [۲].

برای تمامی ۱۴ برنر در محفظه فریم ۹ در هر زاویه داریم:

$$T_4^{profile}(\theta) = \sum_{i=1}^{14} F_i(\theta) T_i(\theta) \quad (1)$$

که در آن مقدار دمای خروجی هر برنر و $T_4^{profile}$ پروفیل دمای خروجی از محفظه و F_i ضریب تأثیر هر برنر می‌باشد. مقدار ضریب تأثیر برنر ۱ روی زاویه‌های مختلف را به صورت رابطه (۲) نام‌گذاری می‌کنیم:

$$F_1(\theta_1) = F_1, F_1(\theta_2) = F_2, \dots, F_1(\theta_{14}) = F_{14} \quad (2)$$

تأثیر تمامی برنرها در پروفیل دمای خروجی مشابه یکدیگر بوده و فقط یک چرخش پررودیک را خواهیم داشت، بنابراین می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} F_1(\theta_1) &= F_2(\theta_2) = \dots = F_{18}(\theta_{14}) = F_1 \\ F_1(\theta_2) &= F_2(\theta_3) = \dots = F_{18}(\theta_1) = F_2 \\ F_1(\theta_3) &= F_2(\theta_4) = \dots = F_{18}(\theta_2) = F_3 \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

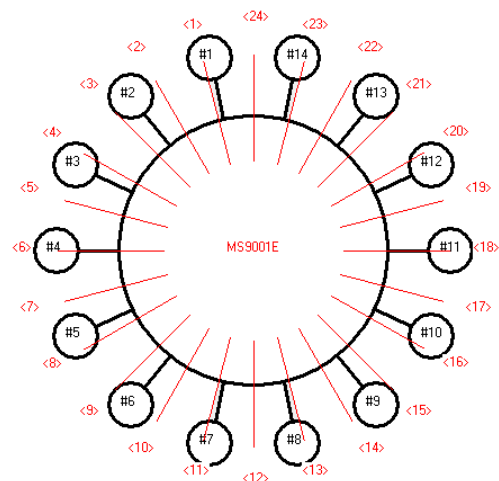
رابطه (۳) به علت چرخش برنرها می‌باشد، به این معنی که تأثیر برنر ۱۴ در θ_1 برابر با تأثیر برنر ۱ روی θ_2 یعنی F_2 و تأثیر برنر ۱۳ روی θ_1 برابر با تأثیر برنر ۱ روی θ_3 یعنی F_3 و به همین ترتیب برای تمام برنرها می‌توان رابطه فوق را نوشت. بنابراین با ۱۴ ضریب $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{14}$ و ...

توان ۱۲۳ مگاوات (در شرایط کاری بار کامل و شرایط محیطی ایزو)، دارای محفظه احتراقی از نوع کن-انیولار^۱ با ۱۴ عدد محفظه در یک پوسته^۲ واحد است. سیستم احتراق موتور توربین گاز مورد نظر از نوع تک‌نازله و شعله‌ی آن از نوع دیفیوژنی است.

در بخش دوم این مقاله علاوه بر تشریح الگوریتم تشخیص نرم‌افزار تشخیص برنر معیوب، ضرایب تأثیر و مپ چرخش جریان در توربین در بارهای مختلف برای موتور فریم ۹ ارائه شده است. با توجه به اینکه محفظه احتراق موتور فریم ۹، از نوع کن-انیولار است، هر برنر بیشترین تأثیر را در زاویه مقابل خود دارد. بخش سوم مقاله به صحت‌گذاری نرم‌افزار توسعه داده شده در حالت‌های مختلف برنرهای معیوب می‌پردازد. در این بخش به شکل عامدانه دمای TTX ورودی به کد تغییر داده شده است و نشان داده شده که نتایج به دست آمده از نرم‌افزار با نتایج به دست آمده از کد ActiveSwirl همخوانی دارد. این صحت‌گذاری در سه حالت انجام شده و در نهایت در بخش انتهایی به جمع‌بندی مقاله منتج خواهد شد.

نرم‌افزار تشخیص برنر معیوب

در شکل ۱ نمایی از برنرها و ترموکوپل‌های توربین گاز فریم ۹ در جهت جریان ارائه شده است. محفظه احتراق این موتور شامل ۱۴ برنر کن-انیولار بوده و ۲۴ ترموکوپل وظیفه گزارش دمای خروجی از توربین را بر عهده دارند.



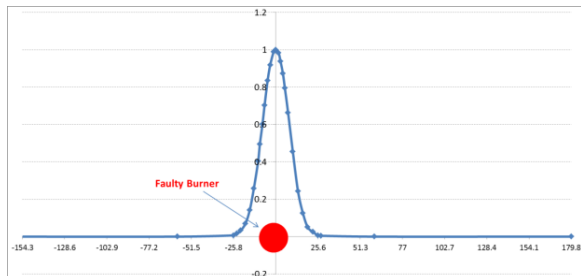
شکل ۱: شماره‌گذاری برنرها و ترموکوپل‌ها در محفظه فریم ۹ در جهت جریان

در این الگوریتم جهت شناسایی برنر معیوب، مستقیماً از اطلاعات ثبت شده در سیستم داده‌برداری توربین استفاده می‌شود [۳]. داده‌های ورودی الگوریتم دمای ۲۴ ترموکوپل خروجی و توان دوربین بوده که برای محاسبه دمای TIT در حالت سالم، تعیین میزان چرخش جریان در توربین، محاسبه و اعمال ضرایب تأثیر (F_i) برنرها و در نهایت محاسبه ضریب عیب هر برنر (C_j) مورد استفاده قرار می‌گیرند. فلوجارت نرم‌افزار تشخیص برنر معیوب در شکل ۲ ارائه شده است.

نرم‌افزار تشخیص برنر معیوب با استفاده از داده‌های واقعی توربین، برنر معیوب را تعیین می‌کند. برای این منظور این نرم‌افزار با سیستم مانیتورینگ توربین ارتباط برقرار کرده و دماهای ترموکوپل و توان توربین را دریافت می‌کند. سپس با توجه به شرایط کارکرد توربین با استفاده از کد

¹ Can-annular
² Casing

در صورتی که C_j در محدوده معیار پذیرش حد بالا C_{high} و حد پایین C_{low} باشد، وضعیت برنر مورد نظر (برنر j) مناسب بوده و دچار عیبی نشده است. در صورتی که در زمان خاصی این پارامتر خارج از محدوده پذیرش C_{high} و C_{low} باشد، در این زمان عیبی در برنر رخ داده است. ضرایب تأثیر برنرها در محفظه فریم ۹ در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به اینکه محفظه فریم ۹ از نوع کن-انیولار می‌باشد، هر برنر در روبروی خودش در انتهای محفظه بیشترین تأثیر را در دما دارد.

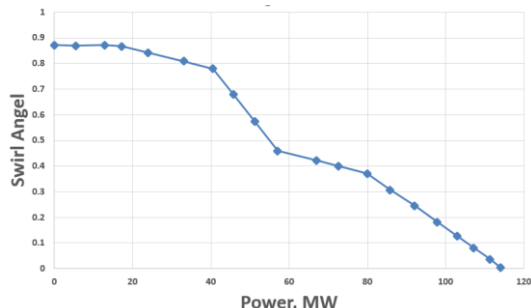


شکل ۳: ضرایب تأثیر برنر در محفظه فریم ۹

جدول ۲: مقادیر ضرایب تأثیر F_i در برنرهای محفظه فریم ۹

Burner No.	F_i	Normalized F_i
1	1	0.714286
2	0.2	0.142857
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0.2	0.142857

مپ بی‌بعد چرخش جریان در توربین فریم ۹ در شکل ۴ نشان داده شده است. مپ نشان داده شده در جهت جریان می‌باشد. این مپ در واقع میزان چرخش گاز در توربین را نشان می‌دهد و در توان‌های مختلف توربین مقادیری متفاوت دارد. به عنوان مثال در محدوده ۸۰ MW تا ۱۰۰ MW از مقدار ۷۰ درجه تا صفر درجه متغیر است و تغییرات به صورت خطی می‌باشد.



شکل ۴: مپ بی‌بعد چرخش جریان در توربین فریم ۹

صحنه‌گذاری

می‌توان تأثیر تمامی برنرها را در پروفیل دمای خروجی محفظه اعمال نمود.

با چیدمان ضرایب در تشکیل رابطه (۱)، ماتریس ضریب تأثیر برنرها به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$[F_i] = \begin{bmatrix} F_1 & F_{14} & \dots & F_2 \\ F_2 & F_1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & F_{14} \\ F_{14} & F_{13} & \dots & F_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

به علت وجود ۱۴ برنر و ۱۴ زاویه خروجی در محفظه احتراق، ماتریس ضرایب تأثیر برنرها در خروجی محفظه $[F_i]$ یک ماتریس 14×14 می‌باشد. به علت چرخش برنرها، در ستون اول ماتریس، ضرایب F_1 تا F_{14} در ستون دوم F_1, F_{14}, F_{13} و ... در ستون سوم به صورت F_1, F_{14}, F_{13} F_{16} و به همین ترتیب تا ستون ۱۴ ادامه دارد. به این ترتیب ماتریس $[F_i]$ ساخته می‌شود.

برای به دست آوردن ضریب تأثیر هر برنر در هر زاویه کافی است مقدار افزایش دما در آن زاویه محاسبه شود.

$$F_i(\theta) = \frac{T_{faulty}(\theta) - T_{healthy}(\theta)}{T_{healthy}(\theta)} \quad (3)$$

که در آن i ، شماره برنر و θ زوایای روبروی برنرها در خروجی محفظه می‌باشد.

البته باید در نظر داشت که مجموع تأثیر برنرها در TIT در زاویه مشخص باید با TIT برابر باشد، بنابراین برای حصول به این نتیجه باید ضرایب تأثیر به دست آمده را نرمال کرد. برای این منظور از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$F_{i,n}(\theta) = \frac{F_i(\theta)}{\sum F_i(\theta)} \quad (4)$$

مقدار انحراف برنرها از حالت نرمال C_j با استفاده از تخمین در فضاهای برداری با روش کمترین خطای مربعات (پیوست الف)، به شکل تخمین \hat{C}_j به صورت رابطه (۵) ارائه می‌شود [۴]:

$$[\hat{C}_j] = \text{inv}([F_i]^T [F_i]) \times ([F_i]^T \times \frac{[T_{profile}]}{[TIT]}) \quad (5)$$

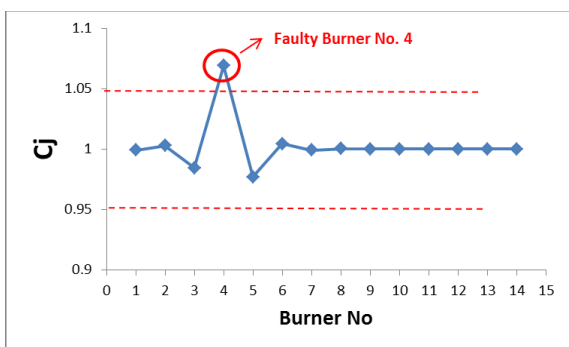
مقدار C_j ها که در واقع ضرایب برازش منحنی دمای خروجی محفظه به منحنی تأثیر هر برنر در دمای خروجی است، محاسبه می‌شوند. این ضریب مقدار انحراف از دمای TIT را نشان می‌دهد. اگر این عدد یک باشد، به معنی انطباق بر شرایط طراحی است و عدد بالای یک، یعنی برنر گرم‌تر از حالت طبیعی^۱ بوده و سوخت ورودی بیشتر از میانگین است و به عبارت دیگر برنر دچار سایش یا خوردگی شده است. عدد پایین‌تر از یک به معنی سردتر از حالت طبیعی^۲ بوده و برنر دچار گرفتگی شده است و در نتیجه سوخت کمتر از حالت طبیعی به برنر رسیده است. در ادامه گزارش، \hat{C}_j را با نماد C_j نشان می‌دهیم. این مقادیر در پنجره بازه زمانی مشخص (مثلاً ۱ ساعت) به صورت آماری تجزیه و تحلیل شده و وضعیت برنرها تعیین می‌شود. حد بالا C_{high} و حد پایین C_{low} از رابطه‌های (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند.

$$C_{high} = \mu_{max} + 3\sigma_{high} \quad (6)$$

$$C_{low} = \mu_{min} - 3\sigma_{low} \quad (7)$$

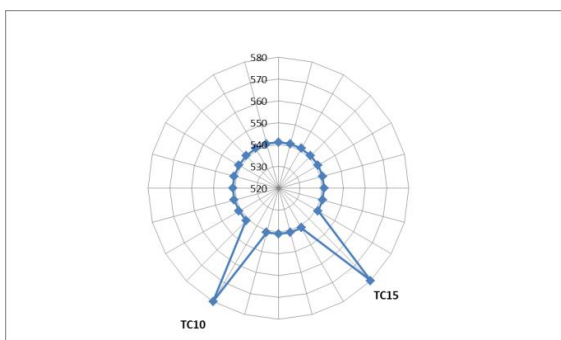
که در روابط بالا μ_{min} و μ_{max} به ترتیب مقادیر میانگین C_{max} و C_{min} ها بوده و σ_{high} و σ_{low} به ترتیب انحراف استاندارد C_{max} و C_{min} ها می‌باشد.

¹ Overfire
² Underfire

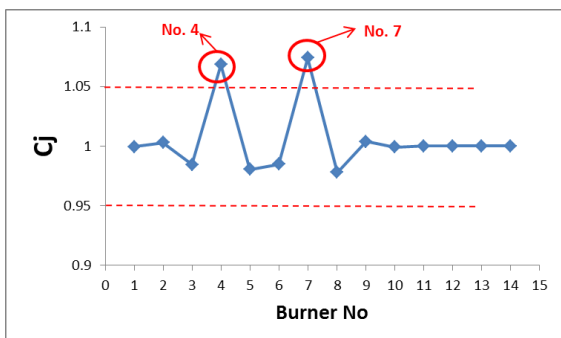


شکل ۷: نتایج برنر معیوب ارائه شده، گزارش عیب در برنر شماره ۴

در حالت دوم فرض شده است که دو ترموکوپل شماره ۱۰ و ۱۵ دمای نابرابری با بقیه دارند. پروفیل دمای وارد شده به کد در شکل ۸ آورده شده است. نتیجه به دست آمده از کد توسعه داده شده در شکل ۹ برنرهای شماره ۴ و ۷ می باشد؛ که با نتیجه ActivewSwirl ارائه شده در جدول ۳ یکسان است.



شکل ۸: اعمال دماهای TET با یک انحراف در ترموکوپل شماره ۱۰ و ۱۵

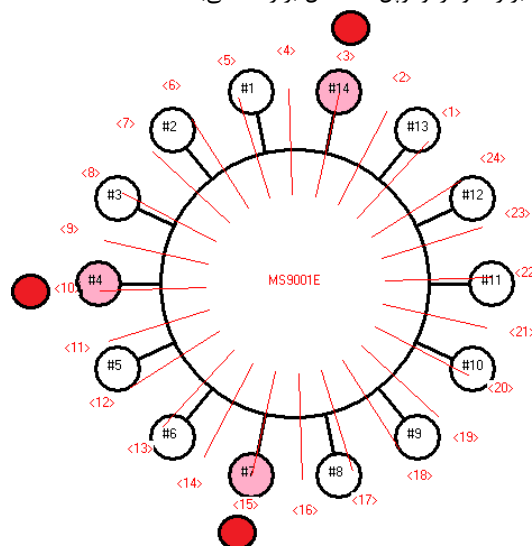


شکل ۹: نتایج برنر معیوب ارائه شده، گزارش عیب در برنر شماره ۴ و ۷

در حالت سوم فرض شده است که سه ترموکوپل شماره ۱۰، ۱۵ و ۳ دمای نابرابری با بقیه دارند. پروفیل دمای وارد شده به کد در شکل ۱۰ آورده شده است. نتیجه به دست آمده از کد توسعه داده شده در شکل ۱۱ برنرهای شماره ۴، ۷ و ۱۴ می باشد؛ که با نتیجه ActivewSwirl ارائه شده در جدول ۳، یکسان است.

در این بخش به صحنه گذاری نرم افزار توسعه داده شده تشخیص برنر معیوب برای محفظه احتراق موتور فریم ۹ پرداخته شده است. در اولین قدم، عمده در دمای ترموکوپل ها انحراف زیادی ایجاد شده و اطلاعات آن به کد توسعه داده شده وارد شده است. در قدم بعد، برنرهای معیوب گزارش شده با نتیجه حاصل از کد ActiveSwirl مقایسه شده است.

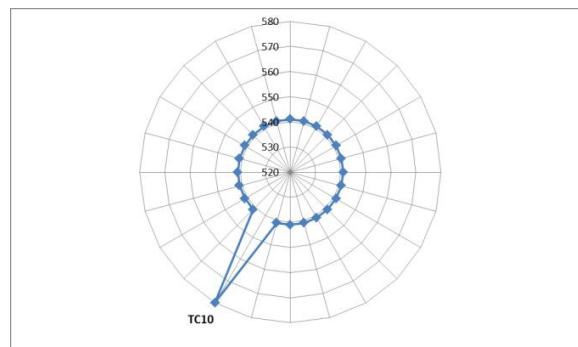
در شکل ۵ نمایی از نتیجه نرم افزار ActiveSwirl برای توربین فریم ۹ در بار ۸۵ MW نشان داده شده است. حالت های در نظر گرفته شده برای صحنه گذاری روی شکل نشان داده شده است. همان طوری که دیده می شود در این توان کاری توربین، ترموکوپل ۱۰، معادل برنر ۴، ترموکوپل ۱۵ معادل برنر ۷ و ترموکوپل ۳ معادل برنر ۱۴ می باشد.



شکل ۵: نتیجه نرم افزار ActiveSwirl در شرایط کاری توربین (۸۵MW)

برای صحنه گذاری، سه حالت مختلف فرض شده در جدول ۳ آورده شده است. در حالت اول ترموکوپل شماره ۱۰ دمای نابرابری با بقیه دارد. پروفیل دمای وارد شده به کد در شکل ۶ آورده شده است. نتیجه به دست آمده از کد توسعه داده شده در شکل ۷ برنر شماره ۴ می باشد. که با نتیجه ActiveSwirl که در جدول ۳ ارائه شده است یکسان است. جدول ۳: حالات مختلف در صحنه گذاری نرم افزار توسعه داده شده محفظه فریم ۹

نتیجه ActiveSwirl	شماره ترموکوپل	حالت
۴	۱۰	حالت اول
۷ و ۴	۱۵ و ۱۰	حالت دوم
۱۴ و ۷ و ۴	۱۵ و ۱۰، ۳	حالت سوم



شکل ۶: اعمال دماهای TET با یک انحراف در ترموکوپل شماره ۱۰

مراجع

1. Angello, L., 2002, "Advanced Monitoring to Improve Combustion Turbine (CT)/Combined Cycle (CC) Reliability, availability and Maintainability (RAM)", Semiannual Report, University of North Texas, United States.

2. Medina, P., Saez, D., Roman, R., 2008, "On Line Fault Detection and Isolation in Gas Turbine Combustion Chambers", Berlin, Germany: ASME Turbo Expo, GT2008.

۳. رسولی، ن.، باقری، ی.، ملاحسن زاده، ا.، خالدی، ه.، ۱۳۹۲، "شناسایی برنر معیوب در محفظه احتراق توربین گاز الگو"، دومین همایش ملی توربین گاز، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

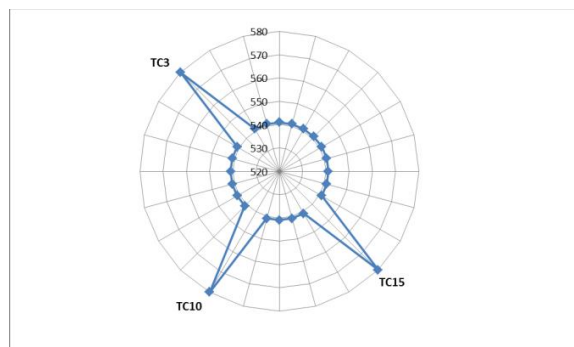
۴. صادق زاده، س.، "جبر خطی کاربردی با نرم افزار MATLAB"، دانشکده کنترل سیستم ها، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۲.

پیوست الف

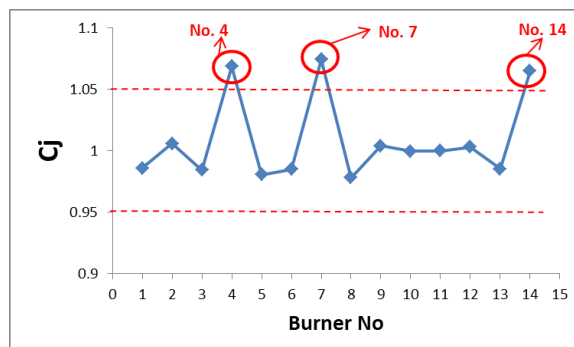
در دستگاه معادلات $Ax = B$ ، خطا به صورت $\varepsilon = b - Ax$ تعریف می شود. اگر \hat{x} به صورتی تعریف شود که $\|\varepsilon\| = \|A\hat{x} - B\|$ کوچک ترین خطای ممکن باشد، در این صورت \hat{x} را جواب حداقل مربعات می گویند. قابل اثبات می باشد که در دستگاه مختصات $Ax = B$ (سازگاری الزام نمی باشد)، \hat{x} پاسخ منحصر به فرد حداقل مربعات است و به صورت زیر به دست می آید:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} (A^T b)$$

برای اثبات این مسئله در ریاضیات فضاهای برداری به مرجع ۴ به فصل چهارم با نام "متعامد سازی و مسئله حداقل مربعات" مراجعه نمایید [۴].



شکل ۱۰: اعمال دماهای TET با یک انحراف در ترموکوپل شماره ۱۰، ۳ و ۱۵



شکل ۱۱: نتایج برنر معیوب ارائه شده، گزارش عیب در برنر شماره ۴، ۷ و ۱۴

نتیجه گیری

در این گزارش به بررسی کد توسعه داده شده برای تشخیص برنر معیوب برای محفظه فریم ۹ پرداخته شده است. الگوریتم مورد استفاده در نرم افزار توضیح داده شده است و صحت گذاری روش با استفاده از نتایج کد ActiveSwirl شرکت جنرال الکتریک در سه حالت مختلف ارائه شده است. کد توسعه داده شده از طریق ارتباط با نرم افزار مانیتورینگ لحظه به لحظه دمای TTX های گزارش شده را می خواند و سپس بر اساس الگوریتم ارائه شده برای هر برنر ضریب عیب C_i محاسبه می شود. در شکل ۱۲ نمایی از بخش تشخیص برنر معیوب در نرم افزار مانیتورینگ محفظه فریم ۹ نشان داده شده است. همان طوری که دیده می شود به طور لحظه ای در بالای صفحه سمت چپ، منحنی دمای ترموکوپل ها و در سمت راست پروفیل قطبی آن ها ترسیم می شود. همچنین به طور هم زمان در پایین صفحه سمت چپ، C_i ها برای هر برنر در طول زمان ترسیم می شود و در سمت راست وضعیت هر برنر در سه حالت گرم، سالم و سرد گزارش می شود.



شکل ۱۲: نمایی از نتایج کد تشخیص برنر معیوب محفظه فریم ۹