

# بررسی و مطالعه عیب داخلی راکتور روغنی سری کوره قوس الکتریکی با استفاده از آنالیز DGA

عبدالحسین دریس، محمد خضابی و مهران نشیبی  
شرکت فولادخوزستان

ممکن در درون محدودیتهای سیستم است. یکی از زمینه های مورد علاقه نصب و راه اندازی راکتور سری به عنوان مکمل در مدار کوره برای بهینه سازی عملیات تولید مذاب می باشد. این راکتورها به طور معمول بین باس فشار قوی مدار کوره و ترمینال اولیه ترانسفورماتور کوره نصب می شود.

وظایف راکتور سری در کوره قوس الکتریکی در زمان ذوب اولیه سیکل حرارتی است. یکی دیگر از وظایف راکتور به عنوان راکتور اشباع به صورت کنترل دینامیکی راکتانس با تغییر شرایط قوس می باشد. مهمترین وظایف راکتور سری در سیستم های کوره قوس بهبود و تثبیت قوس، کاهش شکستگی الکتروود و از بین رفتن و کاهش حرارت ذوب، افزایش توان متوسط کوره و همچنین کاهش فلیکر ولتاژ می باشد.

شناسایی ضعف ها در مراحل اولیه پیدایش و اقدام مناسب جهت برطرف کردن آنها امری مهم می باشد. شناسایی اشکالات و ضعف ها در سایت های صنعتی معمولاً با استفاده از اندازه گیری ها و آزمایشهای خاص دوره ای صورت می گیرد.

امروزه سیستمهای مختلفی بر مبنای پدیدههای فیزیکی و شیمیایی ناشی از تخریب و یا تجزیه مواد مورد استفاده در ترانسفورماتور و یا راکتور روغنی مورد بررسی قرار گرفته اند، برخی از این روشها عبارتند از:

تحلیل پاسخ فرکانسی (FRA) تجزیه و تحلیل گازهای محلول در روغن (DGA)، اندازه گیری تخلیه جزئی (PD)، مونیورینگ تپ چنجر، مونیورینگ حرارتی روغن و اکتیو پارت می باشد.

چکیده - وضعیت و شرایط تجهیزات الکتریکی سیستم های قدرت از مهمترین عوامل در کارکرد مناسب، پایدار و با ضریب اطمینان بالا می باشد. ردیابی اشکالات و ضعف ها در سایت های صنعتی معمولاً با استفاده از اندازه گیری ها و آزمایش های خاص دوره ای صورت می گیرد. یکی از اهداف اساسی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، ردیابی ضعف ها در مراحل اولیه پیدایش و اقدام مناسب جهت برطرف کردن آنها می باشد. عیوبی که در داخل ترانسفورماتور رخ می دهد، باعث تخریب عایق و تولید گازهای مختلف در روغن می شود. در این تحقیق روشهای مختلف تحلیل وضعیت روغن راکتور بررسی شده و با توجه به روش های مطرح شده چگونگی عیب یابی و ارائه روشی نوین در راکتور کوره قوس کارخانه فولاد خوزستان تشریح شده است.

کلیدواژه- راکتور، گاز کروماتوگرافی، آنالیز گازهای محلول (DGA)، روغن، مقاومت DC سیم پیچ

## ۱. مقدمه

تقاضای بالای محصولات فولادی سبب شده که فولادسازان جهت تولید تجهیزات فلزی، لوازم خانگی و سایر محصولات با ظرفیت و سطوح فوق العاده ای اقدام کنند.

به موجب رشد صنعت فولاد مبنی بر مطالبات تولیدکنندگان و به منظور بدست آوردن حداکثر تولید، تجهیزات موجود خود را بهینه سازی می کنند. هدف اکثر طراحان تاسیسات کوره قوس الکتریکی تولید حداکثر قدرت

## ۲. تحلیل وضعیت راکتور مبتنی بر تست مشخصات روغن

عملکرد قابل اطمینان روغن عایقی معدنی در یک سیستم عایقی وابسته به ویژگیهای اساسی روغن می باشد. روغن های معدنی در حال کار بدلیل شرایط بهره برداری دچار کاهش کیفیت می شوند. در بسیاری از کاربردها، روغن عایقی در تماس مستقیم با هوا قرار دارد لذا در معرض اکسیداسیون قرار می گیرد. [1]

دمای بالا، کاهش کیفیت روغن را سرعت می بخشد. حضور فلزات یا ترکیبات فلزی ارگانیک یا هردوی آنها به عنوان کاتالیز برای اکسیداسیون عمل میکنند. [2]

اکسیداسیون باعث تغییر در رنگ، تشکیل ترکیبات اسیدی و در مراحل پیشرفته باعث تشکیل لجن می شود همچنین سایر خرابیهای داخل راکتور را میتوان بواسطه تغییرات در خصوصیات روغن پایش نمود. [2]

علت تولید گاز شکستن پیوندهای شیمیایی بین اتم های ساخته شده از مولکولهای هیدروکربنی است. شکستن پیوندهای شیمیایی بوسیله انرژی آزاد شده از طریق خطا در راکتور می باشد. [4]

آنالیز گازهای حل شده در روغن بعنوان یکی از روش های آشکارسازی خطا در راکتور پذیرفته شده است. گازهای ناشی از خطا بواسطه تخریب روغن و مواد عایقی جامد ایجاد می شوند. نرخ تخریب روغن و سلولز بطور قابل توجهی با وجود خطا در داخل راکتور افزایش می یابد که گازهای مهم تولید شده عبارتند از:

هیدروژن ( $H_2$ )، مونوکسید کربن ( $CO$ )، دی اکسید کربن ( $CO_2$ )، متان ( $CH_4$ )، اتان ( $C_2H_6$ )، اتیلن ( $C_2H_4$ )، استیلن ( $C_2H_2$ )، دی اکسید کربن، اکسیژن، نیتروژن و همچنین رطوبت می توانند از هوا جذب شوند اگر به نحوی که روغن در معرض هوا باشد یا مخزن ترانس نشستی پیدا کند. [3]

این گازها با دستگاه گاز کروماتوگرافی قابل اندازه گیری هستند، روش کاری این دستگاه بدین صورت است که گاز محلول در روغن جداسازی شده و گاز از ستون جداسازی عبور می کند. با توجه به مکانیزم داخلی مواد مختلف در آن شناسایی می شوند. افزایش مقادیر گازها بیش از ۱۰ درصد مقدار طبیعی در یک ماه نشان دهنده یک خطای فعال می باشد. پایش وضعیت رشد در بروز انواع خطاهای مختلف جهت تشخیص زود هنگام خطاها اهمیت دارد. بنابراین برای جلوگیری از خطای حادث می توان قبل از وقوع خطا اقدامات پیشگیرانه انجام داد. [3]

طبق آزمایشات صورت گرفته می توان گفت که تولید هر یک از این گازها در روغن نشان دهنده چه پدیده ای است. بطور متعارف پذیرفته شده است، که گاز هیدروژن در نتیجه کرونا روی روغن یا سلولز تولید می شود.

تخلیه جزئی باعث تولید هیدروژن و متان با مقدار کمی اتیلن و اتان میشود. متان و اتان از گرمایش حرارتی با دمای پایین تر روغن تولید می شود و گرمایش حرارتی دما بالا اتیلن، هیدروژن، و به میزان کمتری متان و اتان تولید می کند.

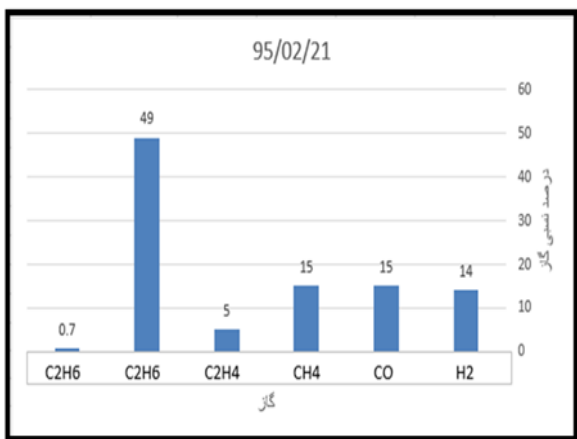
استیلن فقط در دمای خیلی بالا و در حضور قوس تولید می شود. تخریب حرارتی روغن تولید گاز  $CO_2$  و تخریب حرارتی سلولز تولید، گاز  $CO$  می کند. قوس الکتریکی مقدار زیادی هیدروژن و استیلن با مقدار کمتری اتان و متان و اتیلن تولید می کند. [1]

## ۳. مطالعه موردی: عیب یابی راکتور کوره قوس

در این بخش روش انجام شده برای عیب یابی یک دستگاه راکتور ۳۳ کیلو ولت روغنی شرکت فولاد خوزستان تشریح شده است. در این راکتور نتایج تست های گاز کروماتوگرافی برای چندین دوره در جدول (۱) آورده شده است. براساس روش های ارائه شده جهت تحلیل گازهای محلول در روغن، وضعیت نشانگر وقوع خطای حرارتی با دمای کمتر از ۵۰۰ سانتیگراد بود. شکل (۳)(۴)(۵)(۶)

بررسی و مطالعه عیب داخلی راکتور روغنی سری کوره قوس الکتریکی با استفاده از آنالیز DGA

چهارمین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور ۱۳۹۶ - تهران، ایران



شکل ۲: منحنی درصد افزایش نسبی گاز

افزایش گاز CO<sub>2</sub> و نسبت CO<sub>2</sub>/CO بزرگتر از ۳ و بالا بودن گاز اتان به میزان ۴۹ درصد و متان حدود ۱۵ درصد نشان می‌دهد گازها ناشی از تجزیه حرارتی روغن بوده و آرک در ناحیه کاغذ ایجاد نشده است. شکل (۲) با توجه به تحلیل گازها و اشاره به این مورد که گاز اتان جزء گازهای فلز داغ است که در مجاورت قسمت های فلزی تولید می‌شود. به نظر می‌رسد ضعف می‌تواند در صورت لوزی در ناحیه اتصالات لخت راکتور ایجاد شود. بنابراین تنها نقطه ای که دارای پتانسیل خرابی بوده تپ چنجر است، جهت رسیدن به تحلیل دقیق تر نسبت به انجام تست DC اقدام گردید، مطابق جدول (۲) نتایج تست افزایش مقادیر مقاومت را نشان می‌دهد.

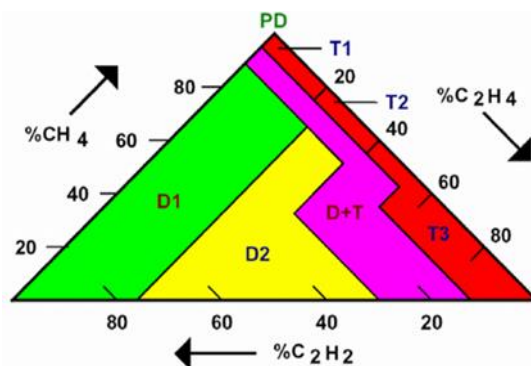
جدول ۲: مقادیر تست مقاومت DC سیم پیچ راکتور

TAP	R1(mΩ)		R2(mΩ)		R3(mΩ)	
	اندازه گیری	مقدار کارخانه	اندازه گیری	مقدار کارخانه	اندازه گیری	مقدار کارخانه
1	0.413	0.448	0.72	0.352	0.642	0.298
2	4.3	3.97	3.96	3.87	3.8	3.81
3	4.4	4.57	4.57	4.5	4.41	4.4
4	5.96	5.22	5.85	5.12	7.26	5.054

در روش درنبرگ نسبت گازهای کلیدی قابل احتراق CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>، C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>، C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>، C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> که به ترتیب ۰.۱۴، ۰.۰۴۹، ۰.۰۶۵ بدست آمده است که این مقادیر گازها تخریب حرارتی و کرونا را اثبات می‌کند.

با توجه به تحلیل راجرز نسبت های CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>، C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> و CH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> که به ترتیب مقادیر ۰.۱۴، ۱.۰۶، ۰.۱۰۸ به دست آمده است که این مقادیر گازها خطای حرارتی و تخلیه انرژی همراه با قوس را اثبات می‌کند.

بنابراین از روش دقیق مثلث دوال گازهای CH<sub>4</sub>، C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> و C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> محاسبه شد و به ترتیب مقادیر ۳.۵، ۲۴، ۷۱ درصد حاصل شد که در ناحیه T2 می‌باشد که خطای حرارتی مابین ۳۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد به اثبات می‌رسد. مطابق شکل (۱)



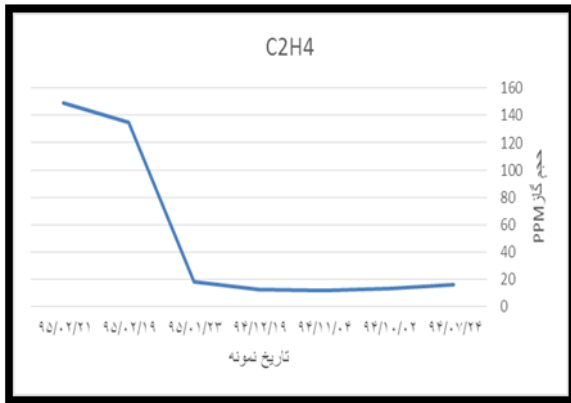
شکل ۱: تحلیل خطا توسط مثلث دوال

جدول ۱: مقادیر گازهای محلول در روغن

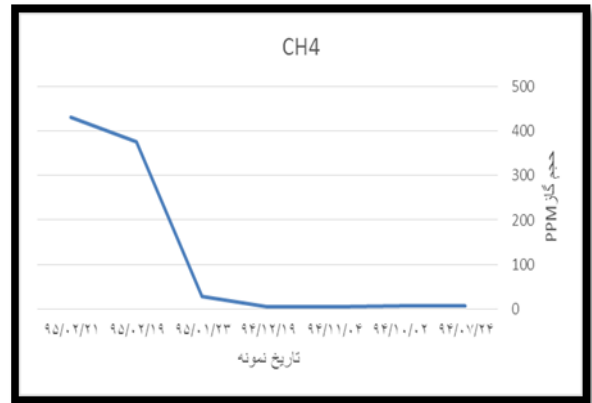
مقدار گازهای	C2H2	C2H6	C2H4	CH4	CO2	CO	O2	H2	تاریخ نمونه برداری
تعداد باقی مانده									
631	2.9	90	16	7.4	3338	483	40036	31	94/07/24
591	1.6	72	13	6.6	3218	480	38540	18	94/10/02
533	2.3	154	11.4	5	2747	348	20768	12	94/11/04
438	1.5	54	12.5	5.5	2756	355	24069	9.8	94/12/19
559	2.2	124	18	38	2693	363	26120	24	95/01/23
2488	16	1255	135	376	2661	356	21440	350	95/02/19
2787	21	1374	149	430	2925	408	24470	405	95/02/21

## بررسی و مطالعه عیب داخلی راکتور روغنی سری کوره قوس الکتریکی با استفاده از آنالیز DGA

چهارمین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور ۱۳۹۶ - تهران، ایران

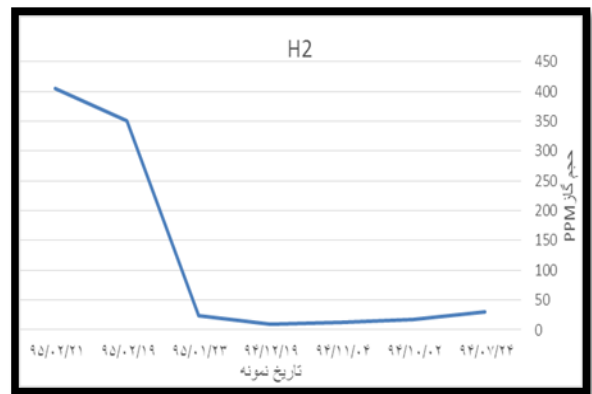


شکل ۶: نمودار افزایش اتیلن



شکل ۳: نمودار افزایش متان

سپس جهت اطمینان بیشتر از وضعیت عایقی راکتور با تست مقاومت عایقی و تست ضریب تلفات عایقی (TAN Delta) بررسی گردید که نتایج آن در جدول (۳) (۴) ارائه شده است. مقادیر بدست آمده در تست تانژانت دلتا برای راکتور نرمال است.



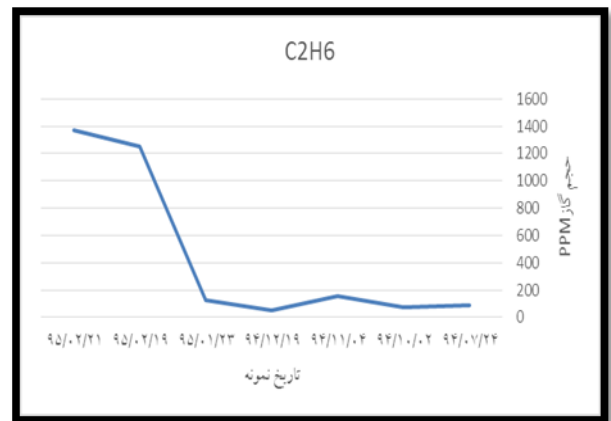
شکل ۴: نمودار افزایش هیدروژن

جدول ۳: مقادیر تست تانژانت دلتا

TEST LEAD CONNECTION	MEASURES CAPACITANCE SYMBOL	TEST MODE	C (nf)	DF (%)
HIGHT VOLTAGE CABLE	HV	C H-E	5.297	0.34

جدول ۴: مقادیر تست مقاومت عایقی

	H1-E	H2-E	H3-E	H1-H2	H2-H3	H1-H3
ولتاژ میگر	5000	5000	5000	5000	5000	5000
مقاومت عایقی R15	9.55	9.65	16.2	15.9	22.5	23.8
مقاومت عایقی R60	10.5	12	18.9	18.2	26.1	28.6
R60/R15 (PI)	1.09	1.24	1.16	1.14	1.16	1.2



شکل ۵: نمودار افزایش اتان

## بررسی و مطالعه عیب داخلی راکتور روغنی سری کوره قوس الکتریکی با استفاده از آنالیز DGA

چهارمین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور ۱۳۹۶ - تهران، ایران

جدول ۵: مقادیر تست مقاومت DC سیم پیچ بعد از تعویض تپ چنجر

TAP	R1(mΩ)		R2(mΩ)		R3(mΩ)	
	اندازه گیری	مقدار کارخانه	اندازه گیری	مقدار کارخانه	اندازه گیری	مقدار کارخانه
1	0.51	0.52	0.36	0.41	0.33	0.35
2	4.58	4.61	4.42	4.49	4.36	4.42
3	5.26	5.3	5.12	5.22	5.03	5.11
4	6.02	6.06	5.87	5.94	5.79	5.87

### نتیجه گیری:

در این مقاله با توجه به اهمیت پایداری شبکه برق و جایگاه راکتور در این مسئله، ضرورت بررسی وضعیت روغن های عایقی بحث شد. در این راستا انواع مختلف تست های روغن ذکر گردیده و جایگاه هر کدام در بحث عیب یابی راکتور بررسی شد. از طرفی روش تحلیل بر پایه تست مشخصات الکتریکی، فیزیکی و شیمیایی و گازهای محلول در روغن تشریح شده و انواع روشهای مختلف عیب یابی مبتنی بر آن ذکر شد.

در انتها نیز روش های انجام شده در جهت عیب یابی راکتور کوره پاتیلی پست فولاد خوزستان بررسی شده و نحوه استفاده از تست های مختلف و نتایج آنها در جهت عیب یابی راکتور تشریح گردید.

[1] IEEE std, IEEE Guide for the interpretation of Gases Generated in oil-Immersed transformers, IEEE std C57.104-1991.

[2] IEC 60422: Mineral Insulating oils In Electrical Equipment Supervision and Maintenance Guidance.

[3] International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 5, May 2013.

[4] Mineral Oil Impregnated electrical equipment in Service: Guide to the interpretation of dissolved and free gasses analysis" IEC 60599, 1999

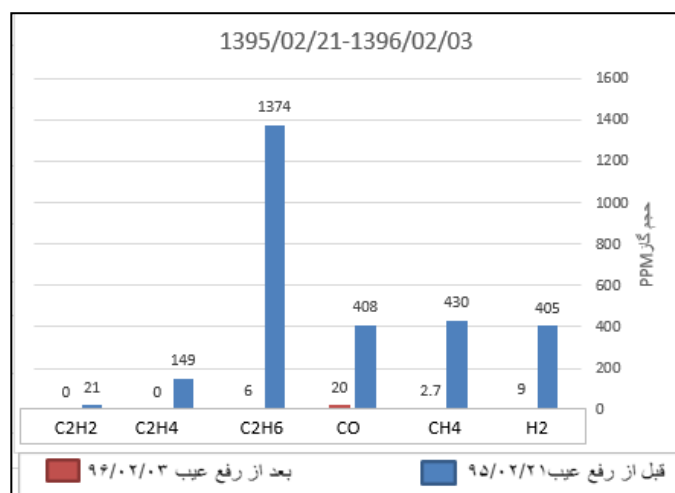
[5] Fluids For electro technical Applications unused mineral oils for transformers and switchgear , IEC 60296, 2003

در ادامه ی کار با توجه به نتایج تست های انجام شده خصوصاً روند افزایش گازها و تغییرات مقاومت DC، در جلسه ای با حضور کارشناسان، گزارشی مبنی بر تشخیص اشکال در تپ چنجر اعلام گردید. پس از تخلیه ی روغن و بازدید داخلی معلوم شد که کنتاکت های تپ چنجر سولفاته و معیوب مطابق شکل (۶) باعث رشد گازهای فلز داغ شده است.



شکل ۶: محل سولفاته شدن کنتاکت های تپ چنجر

پس از تعویض کنتاکتهای تپ چنجر باز هم تست DGA و مقاومت DC سیم پیچ بر روی راکتور انجام شد که نتایج آن همانطور که در جدول (۵) و شکل (۷) قابل مشاهده است، کاملاً نرمال و بیانگر رفع عیب است. شایان ذکر است که قبل از گسترش خطا و بروز حادثه رفع عیب انجام شد.



شکل ۷: نمودار حجم گازها بعد از رفع عیب