NRI-ER-871-PETPN16-00-L



رصد فناوری‌های نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها و ارائه برنامه عملیاتی نوسازی نیروگاه‌های داخل کشور

نام و نام خانوادگی مدیر پروژه: ارسلان حکمتی
نام و نام خانوادگی مجری: سهراب امینی ولاشانی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



DOI: 10.30503/nripress.2020.137

رصد فناوری‌های نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها و ارائه برنامه عملیاتی نوسازی نیروگاه‌های داخل کشور

مدیر پروژه:

ارسلان حکمتی

مجری:

سهراب امینی ولاشانی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش NRI-ER-871-PETPN16-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته

رصد فناوری‌های نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها و ارائه برنامه عملیاتی نوسازی نیروگاه‌های داخل کشور / مدیر پروژه: ارسلان حکمتی. کارفرما: / ویراستار/ سال انتشار.

۳۸۵ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. امینی ولاشانی، سهراب، مجری. ۳. طراحی و توسعه ماشین‌های الکتریکی پربازده / محورهای اصلی پروژه.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه:www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ارسلان حکمتی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر ا ست و به د ستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن ا ستفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران : -

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

پیشگفتار

نیروگاه‌های برق، عمدتاً یکی از صنایع و تأسیسات زیرساخت و گران‌قیمت کشورها در نظر گرفته می‌شوند. بااین‌وجود، عمر مفید آن‌ها با توجه به حجم بالای فرایندها و تجهیزات متحرک که در غالب نیروگاه‌های سنتی وجود دارد، چندان بالا نیست. از سوی دیگر با رشد بی‌سابقه و پرشتاب علوم و فناوری‌های مرتبط در یک سده اخیر، عمده نیروگاه‌های کشور نسبت به نمونه‌های به‌روز خود فاصله فناورانه[1] قابل‌توجهی پیداکرده‌اند. این فاصله گاه در حدی است که نیروگاه‌های موجود استانداردهای تازه تصویب‌شده را به‌سختی برآورده می‌نمایند. بنابراین، به‌منظور حفاظت از این دارایی ملی و افزایش راندمان و کارکرد در حدود این استانداردها علاوه بر بهره‌گیری از شیوه‌های تعمیر و نگهداری مدرن و مدوَن، می‌بایست با مطالعه فناوری‌های نوسازی و بهسازی مرتبط و همچنین با بررسی تجربیات به‌کارگیری این قبیل فناوری‌ها، طرح‌ها و الگوهای نوسازی و بهسازی مناسب را برای نیروگاه‌های داخل کشور تعیین نمود.

در این پروژه که به عنوان فاز صفر از طرح نوسازی نیروگاه‌ها درنظرگرفته می‌شود، ابتدا و در بخش اول به مطالعه مؤلفه‌های اصلی نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه، پروژه‌های مشابه در سطح بین‌المللی، فناوری های مورد ا ستفاده جهت نو سازی، شنا سایی فعالان و خبرگان این حوزه و برر سی ا ستانداردها، د ستورالعمل‌ها و تو صیه‌های مرتبط با نو سازی این تجهیزات و بالاخره به برر سی ابعاد اقتصادی طرح‌های نو سازی پرداخته شده ا ست. در بخش دوم، پس از شنا سایی نیروگاه‌های با پتانسیل کافی برای نو سازی، پیروی مکاتبات و اطلاع از وضعیت میدانی نیروگاه‌ها و پس از شور با حلقه خبرگان تشکیل‌شده در بخش اول طرح‌های عملیاتی نمونه و مناسب به‌منظور نوسازی هریک از این نیروگاه‌ها ارائه خواهد شد.

پروژه پیش رو مربوط به بند ۱ خدمات پروژه "رصد فناوری‌های نوسازی تجهیزات نیروگاهی و شنا سایی نخبگان و فعالان مجری جهت ارائه برنامه عملیاتی نو سازی نیروگاه‌های کشور" می‌با شد که با مدیریت آقای دکتر ار سلان حکمتی، نظارت آقایان مهندس غفوریان و مهندس ربیعی و مجری‌گری آقای مهندس سهراب امینی ولاشانی نگارش و تدوین شده است.

[1] Technological Differences

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه..... ۱
۱- فصل اول مقدمه‌ای بر موضوع ۶
۱ -۱- مقدمه ۶
۱ -۲- برنامه های نوسازی ۶
۱-۲-۱- افزایش طول عمر ۶
۱-۲-۲- افزایش توان ۶
۱-۳- پتانسیلهای نوسازی ژنراتور ۷
۱-۳-۱- سیم‌پیچی استاتور ۷
۱-۳-۲- هسته استاتور ۷
۱-۳-۳- روتور ۸
۱-۳-۴- سیستم تحریک ۸
۱-۳-۵- سیستم تهویه ۸
۲- فصل دوم مطالعات ارزیابی و امکان سنجی نوسازی نیروگاه‌هاامفصکانسنجی نوسازی نیروگاهی.. ۱۰
۲ -۱- مقدمه ۱۰
۲ -۲- ارزیابی وضعیت نیروگاه برای نوسازی ۱۰
۲-۲-۱- معیارهای ارزیابی وضعیت نیروگاه برای نوسازی ۱۲
۲-۲-۲- روشهای ارزشگذاری شاخصهای ارزیابی ۱۵
۲-۳- رویکرد سیستمی به نوسازی نیروگاه ۱۷
۲-۴- مطالعات امکانسنجی نوسازی ۱۸
۲-۴-۱- منافع و درآمدهای قابل پیش‌بینی ۱۹
۲-۴-۲- هزینه ها ۲۰

۳- ف صل سوم الگوهای نو سازی تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها الگوهای نو سازی تجهیزات الکتریک نیروگاههاسئ ۲۳
۳ -۱- مقدمه ۲۳
۳-۲- بهسازی ژنراتورها ۲۳
۳-۲-۱- ملاحظات الکتریکی سیستم ۲۶
۳-۲-۲- ملاحظات مکانیکی سیستم ۲۹
۳-۳- سیستم تحریک ۳۳
۳-۳-۱- نوسازی سیستم تحریک ۳۳
۳-۳-۲- ادوات تکمیلی ۳۴
۳-۳-۳- جایگزینی قسمتی از سیستم تحریک ۳۴
۳-۳-۴- جایگزینی کامل تجهیزات ۳۴
۳ -۴- ترانسفورماتورهای اصلی ۳۵
۳-۵- گاورنرها ۳۷
۳-۵-۱- بهبود عملکرد گاورنر ۳۷
۳-۵-۲- تبدیل گاورنر به نوع الکترونیکی ۳۸
۳-۵-۳- جایگزینی برخی از قطعات ۳۸
۳-۵-۴- جایگزینی کامل ۳۸
۳-۶- خروجیهای اصلی ژنراتور و سوئیچگیر ۳۸
۳ -۷- حفاظت از تجهیزات الکتریکی ۳۹
۳-۸- تجهیزات زمین کردن نقطه صفر ژنراتور ۴۱
۴- فصل چهارم مروری بر برخی از نوسازیهای تجهیزات الکتریک نیروگاه ۴۳
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- برخی از پروژههای نوسازی نیروگاههای خارج از کشور ۴۳

۴-۲-۱- آمریکا ۴۳
۴-۲-۲- روسیه ۴۷
۴-۲-۳- استرالیا ۴۷
۴-۲-۴- آلمان ۴۸
۴-۲-۵- برزیل ۴۹
۴-۲-۶- رومانی ۴۹
۴-۲-۷- تاجیکستان ۴۹
۴ -۳- برخی از پروژههای نوسازی توسط شرکتهای خارجی ۵۱
۴-۳-۱- شرکت ABB ۵۱
۴-۳-۲- شرکت Alstom ۵۵
۴-۳-۳- شرکت Doosan ۵۶
۴-۳-۴- شرکت ANDRITZ ۵۸
۴-۳-۵- شرکت SULERZ ۵۹
۴-۳-۶- شرکت جنرال الکتریک (GE) ۵۹
۴-۳-۷- شرکت الکتروسیلا ۶۲
۵- فصل پنجم استانداردها و دستورالعملهای کاربردی و مرتبط در فرآیند نوسازیهای تجهیزات الکتریک نیروگاهها و دستورالعملهای کاربردی و مرتبط در فرآیند نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاهها۶۶
۵-۱- مقدمه ۶۶
۵-۲- ژنراتور و الکتروموتور ۶۶
۵-۳- ترانسفورماتورها ۶۸
۵-۴- سیستمهای تحریک ۶۹
۵ -۵- نگهداری و تعمیرات (نت) ۶۹
۵-۶- سیستم عایقی ۶۹

۵-۷- سوئیچگیرها، بریکرها و مراکز کنترل موتور ۷۰
۵-۸- گاورنرها ۷۱
۵-۹- کابل و باسبارها و ۷۱
۵-۱۰- حفاظت و رلهها ۷۲
۵-۱۱- کنترل و اسکادا ۷۲
۵-۱۲- سیستم زمین ۷۲
۶- فصل ششم نتیجه‌گیری ۷۵
۷- فصل هفتم شناسایی و بررسی شرکتهای مشاور، سازندگان، تعمیر کنندگان و تامین کنندگان تجهیزات الکتریک نیروگاه و معرفی نخبگان صنعت و دانشگاه ۷۷
۷-۱- مقدمه ۷۷
۷-۲- شرکتهای مشاور در حوزه ساخت و بازسازی اساسی نیروگاه ۷۸
۷-۲-۱- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی ۷۸
۷-۲-۲- شرکت تعمیرات نیروگاهی ۷۸
۷-۲-۳- گروه مپنا ۷۹
۷-۲-۴- شرکت بهرهبرداری و تعمیراتی مپنا (O&M) ۷۹
۷-۲-۵- شرکت قدس نیرو ۸۰
۷-۲-۶- مهندسین مشاور مونتکو ایران ۸۱
۷-۲-۷- احداث و توسعه نیروگاههای سیکل ترکیبی مپنا-توسعه ۱ ..... ۸۲
۷-۲-۸- احداث و توسعه نیروگاههای سیکل ترکیبی مپنا-توسعه ۲ ..... ۸۳
۷-۲-۹- شرکت احداث و توسعه پروژه‌های ویژه مپنا-توسعه ۳ ..... ۸۳
۷-۲-۱۰- شرکت دانش بنیان مهندسی و خدمات ایفا صنعت تابا ۸۸
۷-۲-۱۱- شرکت بهرهبرداری و تعمیرات نیروگاهی صبا ۸۹
۷-۲-۱۲- شرکت سرمایهگذاری نیروگاهی ایران (سنا) ۹۰

۷-۲-۱۳- شرکت مهندسی مشاور نیروی آذربایجان (منا) ۹۰
۷-۲-۱۴- شرکت مهندسی تجهیزات صنعت آب و برق ایران ۹۱
۷-۲-۱۵- ۱دفتر خدمات فناوری سامانه‌های مهاربان شریف ۹۲
۷-۲-۱۶- شرکت مهندسین مشاور مهساب نیرو (مانیکو) ۹۲
۷-۲-۱۷- شرکت دانش بنیان بهسازان سیستمهای انرژی پویا ۹۳
۷-۲-۱۸- شرکت مهندسین مشاور نیرو ۹۴
۷-۲-۱۹- مهندسی تعمیرات انتقال نیروی تهران (متانیر) ۹۵
۷-۲-۲۰- مشانیر ۹۵
۷-۲-۲۱- شرکت پترو نیرو ماشین داتیس (تامین و تجهیز قطعات نیروگاهی) ۹۵
۷-۲-۲۲- شرکت پمکو ۹۵
۷-۲-۲۳- گروه تانا انرژی ۹۶
۷-۲-۲۴- شرکت خدمات فنی و بازرگانی تکسا نیروی کرمان ۹۷
۷-۲-۲۵- شرکت آوای نوآوران آسیا ۹۸
۷-۲-۲۶- شرکت هیربدان ۹۸
۷-۲-۲۷- گروه مهندسی ماهتاب گستر ۹۹
۷-۲-۲۸- شرکت صانیر ۹۹
۷-۲-۲۹- شرکت نصب نیرو ۱۰۰
۷-۲-۳۰- شرکت مهندسی مسینان ۱۰۰
۷-۲-۳۱- شرکت اختر برق اصفهان ۱۰۱
۷-۳- شرکتهای فعال در زمینه پایش وضعیت و عمرسنجی تجهیزات الکتریک نیروگاه ۱۰۱
۷-۳-۱- مرکز خدمات فناوری پایش وضعیت و عیب‌یابی شریف ۱۰۱
۷-۳-۲- خدمات مهندسی دلتا صنعت شریف ۱۰۲
۷-۳-۳- مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۰۲

۷-۳-۴- شرکت مهندسی ارتعاشات بهروش ۱۰۳

۷-۳-۵- دفتر خدمات فناوری عمردهی سازه‌ها و سیستم‌های الکترو/مکانیکی برنا فناور شریف ۱۰۳

۷-۳-۶- مرکز خدمات آزمایشگاهی شریف ۱۰۳

۷-۳-۷- بنیاد علوم کاربردی رازی ۱۰۴

۷-۳-۸- شرکت مهندسی ویستا پایش راد ۱۰۴

۷-۳-۹- شرکت دیده پرداز صبا ۱۰۵

۷-۳-۱۰- شرکت مهندسی تواتر سپاهان ۱۰۵

۷-۳-۱۱- شرکت تجهیز آزما پاکان (تاپکو) ۱۰۷

۷-۳-۱۲- شرکت تجهیزات آزمونهای غیرمخرب پیشرفته ۱۰۹

۷-۳-۱۳- شرکت پژواک صنعت شریف ۱۰۹

۷-۳-۱۴- شرکت فنی و مهندسی پویش (پایش وضعیت یکتا شرق) ۱۱۰

۷-۳-۱۵- شرکت بازرسی فنی و پایش خوردگی ایرسا ۱۱۳

۷-۳-۱۶- شرکت مهندسی فرا پایش باختر ۱۱۴

۷-۳-۱۷- خدمات مهندسی استاک ۱۱۴

۷-۳-۱۸- پارسی تک ۱۱۵

۷-۳-۱۹- شرکت دانش بنیان نوران حسگر صبا ۱۱۶

۷-۳-۲۰- نورا تار هوشمند ۱۱۶

۷-۳-۲۱-شرکت تسلا پیشرو ۱۱۷

۷-۳-۲۲- شرکت مهندسی پایش نیرو سوشیانس ۱۱۸

۷-۳-۲۳- شرکت البرز تدبیر کاران ۱۱۹

۷-۳-۲۴- شرکت لیان آریاتش صبا ۱۱۹

۷-۳-۲۵- آزمایشگاه توان کاوه نت ۱۲۰

۷-۴- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه نوسازی ژنراتورهای نیروگاهی و تجهیزات مربوطه ۱۲۰
۷-۴-۱- شرکت توربوژنراتور شاهرود ۱۲۰
۷-۴-۲- شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس) ۱۲۲
۷-۴-۳- گروه صنعتی فن ژنراتور ۱۲۳
۷-۴-۴- شرکت دانش بنیان رشد صنعت نیرو ۱۲۴
۷-۴-۵- - تعمیرات و بازسازی ماشینهای الکتریکی ۱۲۴
۷-۴-۶- ساخت و تعویض کویل ۱۲۴
۷-۴-۷- ساخت و تعویض هسته روتور و استاتور ۱۲۵
۷-۴-۸- تعمیر و ساخت شفت ۱۲۵
۷-۴-۹- تعویض راد و رینگ اتصال کوتاه روتور ۱۲۶
۷-۴-۱۰- ساخت، تعویض و تعمیرات انواع کلکتور ۱۲۷
۷-۴-۱۱- ساخت انواع فن و مبدلهای حرارتی ۱۲۷
۷-۴-۱۲- - تست ماشینهای الکتریکی ۱۲۷
۷-۴-۱۳- تستهای الکتریکال ۱۲۸
۷-۴-۱۴- تستهای مکانیکال ۱۲۹
۷-۴-۱۵-شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی ۱۳۰
۷-۴-۱۶- طراحی و ساخت گاورنر نیروگاه‌های آبی ۱۳۰
۷-۴-۱۷- شرح پروژه ۱۳۱
۷-۴-۱۸- طراحی و ساخت سیستم مانیتورینگ ارتعاشات و پایش وضعیت یاتاقان توربین نیروگاه آبی ۱۳۱
۷-۴-۱۹- شرح پروژه ۱۳۲
۷-۴-۲۰- توسعه سیمولاتور عمومی سیستمهای هیدرولیک گاورنر نیروگاهی ۱۳۲

۷-۴-۲۱-شرح پروژه ۱۳۲
۷-۴-۲۲- - طراحی و ساخت سامانه تست سیستم‌های کنترل نیروگاهی ۱۳۳
۷-۴-۲۳-شرح پروژه ۱۳۳
۷-۴-۲۴- شرکت دانش بنیان مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) ۱۳۳
۷-۴-۲۵- پروژه ها ۱۳۴
۷-۴-۲۶- گروه مهندسی و ساخت پارسان ۱۳۴
۷-۴-۲۷- شرکت تولیدی اطمینان بخش ۱۳۵
۷-۴-۲۸- شرکت مهندسی آریو انرژی وندا ۱۳۶
۷-۴-۲۹- شرکت الکتروبرق مجمر ۱۳۶
۷-۴-۳۰- ساخت پارمیس نقش جهان-ساپنا ۱۳۷
۷-۴-۳۱- چابک صنعت پیشگام ۱۳۷
۷-۴-۳۲- صنایع پتروشیما گستر ۱۳۸
۷-۴-۳۳- خدمات بلبرینگ سازی ایرانیان (IBC) ۱۳۸
۷-۴-۳۴- گروه صنعتی خلیج برینگ ۱۳۸
۷-۴-۳۵- شرکت نوآوران سیس صنعت مکانیک ۱۳۹
۷-۴-۳۶- شرکت خدمات مهندسی برسا ۱۳۹
۷-۴-۳۷- شرکت پارسیان بلبرینگ اکباتان ۱۴۰
۷-۴-۳۸- شرکت ماه نیرو ۱۴۰
۷-۴-۳۹- شرکت پویا ژنراتور ۱۴۱
۷-۴-۴۰- شرکت صنایع چرخدنده توس ۱۴۱
۷-۴-۴۱- شرکت نیرو ترانس ۱۴۱
۷-۴-۴۲- شرکت پایور دیزل آسیا ۱۴۱

۷-۵- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه نوسازی سیستم تحریک و راهانداز نیروگاه ۱۴۲
۷-۵-۱- شرکت خدمات نیروگاهی آهار شرق ۱۴۲
۷-۵-۲- شرکت مهندسی پردیسان رایانه سیستم ۱۴۳
۷-۵-۳- شرکت کاوش الکترونیک سپاهان ۱۴۴
۷-۵-۴- شرکت آراز تابلو توان تبریز ۱۴۴
۷-۵-۵- شرکت دانش بنیان نادین طیف نگار ۱۴۴
۷ -۶- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه نوسازی ترانسفورماتورهای قدرت نیروگاه ۱۴۵
۷-۶-۱- گروه ایران ترانسفو ۱۴۵
۷-۶-۲- پروژههای مشترک با شرکتهای بزرگ ۱۴۷
۷-۶-۳- تستهای الکتریکال ۱۴۷
۷-۶-۴- شرکت توسعه خدمات فوق تخصصی ترانسفورماتور پارس ۱۴۹
۷-۶-۵- ترانسفورماتور سازی کوشکن ۱۴۹
۷-۶-۶- انجام تعمیرات کلی و جزئی ترانسفورماتور ۱۵۰
۷-۶-۷- گروه صنعتی آریا ترانسفو ۱۵۱
۷-۶-۸- ترانسفورماتور توزیع زنگان ۱۵۳
۷-۶-۹- شرکت سرمایه‌گذاری ارس‌صبا ۱۵۳
۷-۶-۱۰- مهندسی مهر آریس توانا ۱۵۴
۷-۶-۱۱- شرکت برنا الکترونیک ۱۵۴
۷-۶-۱۲- گروه صنعتی الکتروپژواک آرین (رضا ترانس ورک) ۱۵۵
۷-۶-۱۳- تهیه و تولید کالا و خدمات نیرو (ساخت نیرو، سهامی خاص) ۱۵۶
۷-۶-۱۴- ایران ترانسفو ری ۱۵۶

۷-۶-۱۵- صنایع کیان ترانسفو ۱۵۶
۷-۶-۱۶- شرکت تولیدی فنی توس نیرو ۱۵۷
۷-۶-۱۷- مهرشید نیرو ۱۵۷
۷-۶-۱۸- شرکت دانش بنیان سامانههای پیشرفته ترانسفورماتور ارومی ۱۵۷
۷-۶-۱۹- شرکت مبدل توان نقش جهان ۱۵۸
۷-۶-۲۰- شرکت پاد انرژی ناره (پنکو) ۱۵۹
۷-۶-۲۱- شرکت الوند توان انرژی ۱۵۹
۷-۷- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه نوسازی الکتروموتور و تجهیزات جانبی آنها ۱۶۰
۷-۷-۱- شرکت دانش بنیان پژوهنده نیرو ۱۶۰
۷-۷-۲- مزایای دستگاه ۱۶۳
۷-۷-۳- شرکت دانش بنیان ارم سازان روز ۱۶۵
۷-۷-۴- شرکت دانش بنیان ارم صنعت موج گستر ۱۶۵
۷-۷-۵- شرکت دانش بنیان سهند توان گستر خبره ۱۶۶
۷-۷-۶- شرکت دانش بنیان الکتروموتور آریا ۱۶۶
۷-۷-۷- - کنترل و درایو موتور فوق سریع Agnes ۱۶۶
۷-۷-۸- - موتور الکتریکی آهنربا دائم دایرکت درایو سریmotion ۱۶۶
۷-۷-۹- - درایو الکتریکی کنترل دور موتورهای القایی و آهنربا دائم tion+ ۱۶۷
۷-۷-۱۰- خدمات فناوری توسعه سیستم‌های احتراق و انرژی (کوئنتک) شریف ۱۶۷
۷-۷-۱۱- ۷شرکت دانش بنیان گروه صنعتی نوین سازان تهران ۱۶۷
۷-۷-۱۲- تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه ۱۶۸
۷-۷-۱۳- شرکت دانش بنیان آریا الکتروموتور ۱۶۸
۷-۷-۱۴- شرکت دانش بنیان سپنتا الکترونیک طبرستان ۱۶۹

۷-۷-۱۵- شرکت دانش بنیان نیان الکترونیک ۱۶۹
۷-۷-۱۶- شرکت آرین صنعت ۱۶۹
۷-۷-۱۷- ۱شرکت الکتروژن ۱۷۰
۷-۷-۱۸- شرکت موتوژن ۱۷۰
۷-۷-۱۹- شرکت زیما ۱۷۱
۷-۷-۲۰- شرکت ماشینهای الکتریکی جوین (جمکو) ۱۷۱
۷-۷-۲۱- شرکت فنی مهندسی خدماتی آذرخش کنترل اسپادانا ۱۷۱
۷-۸- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه بازسازی سیستم حفاظت الکتریک نیروگاه ۱۷۱
۷-۸-۱- مرکز خدمات فناوری توسعه خودکفایی صنعتی شریف ۱۷۲
۷-۸-۲- شرکت دانش بنیان پارس کیان فناوری آپادانا (پکفا) ۱۷۳
۷-۸-۳- شرکت دانش بنیان مهندسین رسانش انرژی نوین (رسان) ۱۷۴
۷-۸-۴- شرکت دانش بنیان آزمایشگاه صنایع انرژی (اپیل) ۱۷۴
۷-۸-۵- شرکت ریزموج الکتریک طوس (دانش بنیان) ۱۷۵
۷-۸-۶- شرکت مِسِن انرژی قشم ۱۷۶
۷-۸-۷- ۷شرکت پارس پرداز ۱۷۶
۷-۸-۸- شرکت اپرا ۱۷۷
۷-۸-۹- شرکت الکترونیکی بردهای هوشند ایرانیان ۱۷۸
۷-۸-۱۰- شرکت دانش بینان وبکو امیرکبیر ۱۷۹
۷-۹- ۹ سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکتهای فعال در زمینه نوسازی سیستم تغذیه DC و باتریهای نیروگاهی ۱۸۰
۷-۹-۱- آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف ۱۸۰
۷-۹-۲- شرکت احداث قدرت نیرو ۱۸۱

۷-۹-۳- صنعت الکترونیک برفر ۱۸۱
۷-۹-۴- شرکت مهندسی بهساز صنیع سیستم ۱۸۱
۷-۹-۵- شرکت صنایع پرسو الکترونیک ۱۸۲
۷-۹-۶- شرکت مهندسی تحقیقات الکترونیک هیراد ۱۸۳
۷-۹-۷- شرکت پایا روش آریا ۱۸۳
۷-۹-۸- شرکت همند نیرو گسیل ۱۸۳
۷-۹-۹- مهندسی پارت افزار کارن ۱۸۳
۷-۱۰- ۱ شناسایی متخصصین، نخبگان و صاحبنظران حوزه بازسازی و تعمیرات تجهیزات الکتریک نیروگاهی ۱۸۴
۸- فصل هشتم بررسی ابعاد اقتصادی پروژههای تحقیقاتی و عملیاتی بازسازی نیروگاه در سطوح بین المللی ۲۰۳
۸-۱- مقدمه ۲۰۳
۸-۲- پروژههای تحقیقاتی و عملیاتی در حوزه بازتوانی و ارتقا نیروگاه ۲۰۳
۸-۳- بازسازی واحد تولید کننده ۲۰۵
۸ -۴- فرمولبندی GEP پیشنهادی ۲۰۶
۸-۴-۱- تابع هدف ۲۰۶
۸-۴-۲- عدم قطعیت و مدیریت ریسک ۲۰۷
۸-۵- مطالعات عددی ۲۰۸
۸-۶- مطالعه GEP تک خطی ۲۰۸
۸-۷- محاسبه منحنی رگرسیون برای ارزیابی ساده عمر مفید ۲۱۴
۸-۷-۱- محاسبه منحنی رگرسیون برای هزینه بازتوانی ۲۱۵
۸-۷-۲- جمعبندی ۲۱۹
۹- فصل نهم نتیجه‌گیری ۲۲۱

۹-۱- نتیجه گیری ۲۲۱
۱۰- فصل دهم فرآیند ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای واحدهای نیروگاهی ۲۳۱
۱۰-۱- مقدمه ۲۳۱
۱۰-۱-۱- آزمون‌های دوره‌ای روغن ۲۳۱
۱۰-۱-۲- کلیاتی در مورد روغن و فرآیند پیری آن ۲۳۱
۱۰-۲- آلودگی روغن ۲۳۴
۱۰-۲-۱- تاثیرپذیری مشخصات مختلف روغن از خطاهای ترانسفورماتور ۲۳۵
۱۰-۲-۲- ۲۳۷
۱۰-۲-۳- ۲۳۷
۱۰-۲-۴- جمع‌بندی آزمون‌های سالیانه و نحوه عیب‌یابی ترانسفورماتور انتقال بر اساس نتایج آزمون‌های روغن ۲۳۷
۱۰-۲-۵- شاخص کیفیت روغن ۲۴۴
۱۰-۲-۶- شرح آزمون‌های مختلف روغن ۲۴۴
۱۰-۳- بازبینی ظاهری ۲۵۱
۱۰-۳-۱- مقدمه ۲۵۱
۱۰-۳-۲- تانک ترانسفورماتور، اتصالات و واشرها ۲۵۲
۱۰-۳-۳- جعبه ترمینال ۲۵۳
۱۰-۳-۴- رله فشارشکن ۲۵۴
۱۰-۳-۵- رله بوخهلتس ۲۵۵
۱۰-۳-۶- سیستم خنک‌کننده ۲۵۶
۱۰-۳-۷- بازبینی‌های ماهیانه ۲۶۰
۱۰-۴- آزمون‌های الکتریکی ۲۶۱
۱۰-۴-۱- آزمون مقاومت DC سیم‌پیچ در تمام تپ‌ها ۲۶۱

۱۰-۴-۲- آزمون نسبت تبدیل ۲۶۴
۱۰-۴-۳- آزمون مقاومت عایقی سیم‌پیچ و عدد پلاریزاسیون ۲۶۵
۱۰-۴-۴- عدد پلاریزاسیون ۲۶۷
۱۰-۴-۵- آزمون مقاومت عایقی هسته ۲۶۹
۱۰-۴-۶- ۲۷۰
۱۰-۴-۷- آزمون تلفات عایقی و خازن سیم‌پیچ‌ها ۲۷۰
۱۰-۴-۸- آزمون تقسیم شار ۲۷۳
۱۰-۴-۹- آزمون جریان بی‌باری ۲۷۴
۱۰-۴-۱۰- آزمون امپدانس اتصال کوتاه (راکتانس نشتی) ۲۷۵
۱۰-۴-۱۱- آزمون ولتاژ القایی ۲۷۷
۱۰-۴-۱۲- آزمون گروه برداری ۲۷۹
۱۰-۵- سایر آزمون‌های عیب‌یابی ترانسفورماتور ۲۷۹
۱۰-۵-۱- آنالیز مشتقات فوران ۲۷۹
۱۰-۵-۲- عدد پلیمریزاسیون کاغذ ۲۸۳
۱۰-۵-۳- ترموگرافی ۲۸۴
۱۰-۶- زمان‌بندی انجام آزمون‌های دوره‌ای ۲۸۵
۱۰-۷- نتیجه گیری ۲۸۷
۱۱- فصل یازدهم-فرآیند ارزیابی وضعیت ژنراتورهای واحدهای نیروگاهی ۲۹۵
۱۱-۱- مقدمه ۲۹۵
۱۱-۲- آزمون‌های عایقی و انواع آن ۲۹۵
۱۱-۲-۱- آزمون‌های آنلاین ۲۹۵
۱۱-۲-۲- آزمون‌های آفلاین ۲۹۸
۱۱-۲-۳- انواع آزمایش‌های عایقی مخرب ۲۹۹

۱۱-۲-۴- انواع آزمایش‌های عایقی غیرمخرب ۲۹۹
۱۱-۳- آزمون اندازه گیری ضریب تلفات عایقی ۳۰۱
۱۱-۳-۱- روش تحلیل نتایج آزمون اندازه گیری ضریب تلفات عایقی ۳۰۲
۱۱-۴- آزمون IR ۳۰۴
۱۱-۴-۱- جریان‌های عبوری از عایق ۳۰۴
۱۱-۴-۲- اندیس پولاریزاسیونPI ۳۰۷
۱۱-۴-۳- تحلیل نتایج آزمون ۳۰۸
۱۱-۴-۴- بررسی تحلیلی جریان پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون ۳۱۰
۱۱ -۵- جمع بندی ۳۱۰
۱۲- فصل دوازدهم ارزیابی وضعیت سایر تجهیزات الکتریکی نیروگاه ها ۳۱۳
۱۲-۱- مقدمه ۳۱۳
۱۲-۲- ارزیابی کیفی کابل‌های فشارقوی ۳۱۳
۱۲-۲-۱- تعیین خواص مکانیکی روکش نهایی ۳۱۳
۱۲-۲-۲- آزمون پیوستگی روکش ۳۱۴
۱۲-۲-۳- غوطه‌وری در روغن سیلیکون ۳۱۴
۱۲-۲-۴- اندازه‌گیری تخلیه جزئی و آزمون استقامت عایقی ۳۱۴
۱۲-۲-۵- بررسی ظاهری کابل‌ها ۳۱۵
۱۲ -۳- سیستم تغذیه، باتری و UPS ۳۱۶
۱۲-۳-۱- دستورالعمل‌ها ۳۱۸
۱۳- فصل سیزدهم نمونه ارزیابی وضعیت نیروگاه اصفهان بر مبنای اطلاعات ارسالی نیروگاه ۳۲۱
۱۳-۱- مقدمه ۳۲۱
۱۳-۲- مشخصات واحدهای نیروگاه ۳۲۱
۱۳-۳- داده های بهره برداری ۳۲۱

۱۳-۳-۱- واحد یک ۳۲۲
۱۳-۳-۲- واحد دو ۳۲۴
۱۳-۳-۳- واحد سه ۳۲۷
۱۳-۳-۴- واحد چهار ۳۲۷
۱۳-۳-۵- واحد پنج ۳۲۷
۱۳-۴- ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای نیروگاه اصفهان ۳۲۸
۱۳-۵- نتیجه گیری ۳۲۹
۱۳-۶- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد ۳۳۲

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- درصد انتظار افزایش توان نامی ژنراتور با تغییر اجزا مختلف آن ۷
شکل ۱-۲-فهرست عوامل مؤثر در ارزیابی وضعیت نیروگاه و تجهیزات مربوطه ۱۰
شکل ۲-۲- شاخصهای ارزیابی اجزا اصلی ژنراتور و وزندهی هر یک از این شاخصها ۱۵
شکل ۲-۳- فرآیند تعیین نیاز به نوسازی نیروگاه آبی ۱۶
شکل ۲-۴ - مقادیر نامی جهت ارزیابی لزوم نوسازی ژنراتورهای نیروگاه‌های آبی ۱۷
شکل ۳-۱- مسائل و مشکلات رایج در ژنراتورهای نیروگاهی[۲] ۲۴
شکل ۳-۲- چک‌لیست بهسازی ژنراتورها – بخش اول [۱] ۲۵
شکل ۳-۳- چک‌لیست بهسازی ژنراتورها – بخش دوم[1] ۲۵
شکل ۳-۴-چک لیست بهسازی ژنراتورها – بخش سوم[1] ۲۶
شکل ۳-۵- نتایج حاصل از بهسازی و ارتقای ظرفیت یک ژنراتور ۲۶
شکل ۴-۱-نمایی از نیروگاه آبی هارتول در ایالت جوریجا آمریکا ۴۴
شکل ۴-۲- نمایی از ژنراتورهای نیروگاه آبی هارتول ۴۴
شکل ۴-۳- مؤلفه‌های مورد نوسازی در نیروگاه آبی هارتول، آمریکا ۴۶
شکل ۴-۴- نمایی از نیروگاه آبی شاستا، واقع در ایالت کالیفرنیا، آمریکا ۴۷
شکل ۴-۵- نوسازی نیروگاه‌های حرارتی Yeniköy و Kemerköy ترکیه توسط شرکت GE ۶۱
شکل ۷-۱- نمونه‌ای از دستگا بالانسر پرتابل VB95 ..... ۱۰۵
شکل ۷-۲- سیستم پایش لرزش VM4-96 ..... ۱۰۶
شکل ۷-۳- یک نمونه BALCAB 97 ..... ۱۰۶
شکل ۷-۴- یک نمونه آشکارساز خارج از مرکزی ROD ۱۰۷
شکل ۷-۵- آنالایزر دو کاناله ارتعاشات STD-3300 ..... ۱۰۹
شکل ۷-۶- دستگاه دیتاکالکتور ارتعاشات STD-510 ..... ۱۱۰
شکل ۷-۷- صداسنج و آنالایزر 3/1 اکتاو و آنالایزر Real-Time NA-28 ..... ۱۱۰
شکل ۷-۸- آنالایزرِA4300- X7 ..... ۱۱۵
شکل ۷-۹- ساخت ژنراتور AR10 متعلق به شرکت توسعه ناوگان ریلی مپنا ۱۲۱
شکل ۷-۱۰- طراحی، ساخت و راهاندازی الکتروموتور High Voltage در شرکت توربوژنراتور شاهرود ۱۲۱

شکل ۷-۱۱- بالانسینگ روتور ژنراتور نیروگاهی ۱۲۲
شکل ۷-۱۲- روتور فورج ژنراتور گازی ۱۸۵ مگاوات ۱۲۳
شکل ۷-۱۳- ژنراتور ۲۵۰ مگاولت آمپر جهت بهرهبرداری در نیروگاه غرب رود کارون ۱۲۳
شکل ۷-۱۴- عملیات بازسازی و تعویض کویل توسط پرسنل شرکت ۱۲۵
شکل ۷-۱۵- مراحل ساخت هسته روتور و استاتور ۱۲۵
شکل ۷-۱۶- مراحل تعمیر و ساخت شفت آسیب دیده ۱۲۶
شکل ۷-۱۷- تعویض راد و رینگ رتور ۱۲۶
شکل ۷-۱۸- نمونهای از ساخت انواع کلکتور توسط شرکت ۱۲۷
شکل ۷-۱۹- سیستم کولینگ الکتروموتور ۱۲۷
شکل ۷-۲۰- یک نمونه انجام تست توسط واحد کنترل کیفیت ۱۲۸
شکل ۷-۲۱-نمونهای تجهیزات تست و اندازهگیری شرکت ۱۲۹
شکل ۷-۲۲- نمونهای از مراحل انجام تستهای مکانیکال و تجهیزات اندازهگیری و تست شرکت ۱۳۰
شکل ۷-۲۳- راه اندازی و نصب سیستم گاورنر نیروگاه ۱۳۱
شکل ۷-۲۴- سیستم مانیتورینگ ارتعاشات و پایش وضعیت یاتاقان توربین نیروگاه آبی ۱۳۲
شکل ۷-۲۵- سامانه تست سیستمهای کنترل نیروگاهی ۱۳۳
شکل ۷-۲۶-مقاومت زمین طراحی شده شکل ۷-۲۷- مقاومت راهانداز و کنترل موتور شرکت پارسیان ۱۳۵
شکل ۷-۲۸- سیستم تحریک استاتیکی ماشین سنکرون ساخته شده در شرکت تولیدی اطمینان بخش ۱۳۵
شکل ۷-۲۹- نمونهای از بازسازی انواع بیرینگ ۱۳۷
شکل ۷-۳۰-ترانسفوماتور قدرت ساخت ایران ترانسفو ۱۴۶
شکل ۷-۳۱- اندازهگیری و تست پارامترها و متعلقات ترانسفورماتور ۱۴۶
شکل ۷-۳۲- متخصصین شرکت در حال تعمیـــر وبررسی قطعـات و تجهیـزات ترانسفورماتور ۱۵۱
شکل ۷-۳۳- نمونه محصولات شرکت آریا ترانسفو ۱۵۲
شکل ۷-۳۴-نمونهای از ترانسفورماتورهای فوق توزیع طراحی و تولید توسط شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان ۱۵۳
شکل ۷-۳۵- اندازهگیری مقاومت سیمپیچ توسط دستگاه مدل M1410T ساخته شده توسط شرکت مهندسی مهر آریس توانا ۱۵۴
شکل ۷-۳۶- نمونه ترانسفورماتور ساخت شرکت کیان ترانسفو ۱۵۷

شکل ۷-۳۷- تپ چنجر ۴۰۰ ولت/۱۶۰ کیلوولت آمپر شکل ۷-۳۸- رگولاتور ولتاژ توان ۲۰ کیلو ولت/۱۵۰ آمپر ۱۵۸
شکل ۷-۳۹- انجام تست عیبیابی و اقدامات اجرایی برای الکتروموتور شرکت فولاد مبارکه اصفهان..... ۱۶۱
شکل ۷-۴۰- نرمافزار جامع طراحی موتورهای الکتریکی..... ۱۶۲
شکل ۷-۴۱- مراحل طراحی و تست موتور سوئیچ رلکتانس ۱۶۲
شکل ۷-۴۲-موتور SR طراحی شده توسط شرکت پژوهنده نیرو ۱۶۳
شکل ۷-۴۳-دستگاه کاهش جریان هجومی ترانسفورمرهای قدرت ساخت شرکت پژوهنده نیرو..... ۱۶۴
شکل ۷-۴۴-رله حفاظتی ژنراتور STG..... ۱۶۵
شکل ۷-۴۵-پوسته پل بریکر کلیدهای ۲۰ کیلوولت پستهای فشارقوی ۱۷۳
شکل ۸-۱- هزینه ها در مطالعات موردی GEP تک خطی..... ۲۰۹
شکل ۸-۲- سیستم تست 24 باس استاندارد جهت مطالعات بازتوانی تحت مسئله GEP ۲۱۰
شکل ۸-۳- منحنی تغییرات کل هزینه بر حسب درجه ضریب ریسک..... ۲۱۱
شکل ۸-۴- منحنی محاسبه هزینه توربین بخار و ژنراتور بر حسب ظرفیت ۲۱۶
شکل ۱۰-۱- مقاومت سه فاز یک ترانسفورماتور در تپ‌های مختلف..... ۲۶۴
شکل ۱۱-۱- انواع جریان‌های عایقی برای یک عایق خشک..... ۳۰۶
شکل ۱۱-۲- انواع جریان‌های عایقی برای یک عایق مرطوب..... ۳۰۷
شکل ۱۲-۱- مشخصات مکانیکی استاندارد مواد روکشی کابل‌های فشارقوی ۳۱۳
شکل ۱۳-۱-نمودار آزمون Capacitance فاز های واحد۱ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی ۳۲۳
شکل ۱۳-۲- نمودار آزمون تانژانت دلتا فاز های واحد ۲ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی..... ۳۲۴
شکل ۱۳-۳- نمودار آزمون Capacitance فاز های واحد ۲ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی ۳۲۵
شکل ۱۳-۴- نمودار آزمون PI(10/60) استاتور واحد۲ ..... ۳۲۶
شکل ۱۳-۵- نمودار آزمون PI(60/15) استاتور واحد۲ ..... ۳۲۶
شکل ۱۳-۶- محتوی گاز اتان روغن ترانسفورماتورهای اصلی بر حسب تاریخ آزمون (الف) واحد اول (ب) واحد دوم (پ) واحد سوم (ت) واحد چهارم ۳۲۸

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۴-۱- پارامترهای طراحی ژنراتور نیروگاه Eraring استرالیا به ازای توان حقیقی و ضرایب قدرت مختلف ۵۷
جدول ۴-۲- ژنراتورهای نیروگاه‌های آبی نوسازی شده توسط شرکت GE در کشور کانادا..... ۶۱
جدول ۴-۳- تغییرات پارامترهای اصلی ژنراتور ۶۴
جدول ۴-۴- مقادیر اندازه‌گیری شده اصلی ژنراتور ۶۴
جدول ۵-۱- فهرست استانداردهای مرتبط با نوسازی نیروگاه و اسامی مخفف آن‌ها..... ۶۶
جدول ۷-۱- تستهای قابل انجام در شرکت پویش جهت آنالیز روغن ترانسفورماتور ۱۱۱
جدول ۷-۲ تستهای آزمایشگاه فشارقوی ایران ترانسفو مطابق با استاندارد ISO/IEC 17025..... ۱۴۷
جدول ۷-۳- پروژههای شرکت بهساز صنیع سیستم..... ۱۸۱
جدول ۷-۴- متخصصین دانشگاهی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه..... ۱۸۴
جدول ۷-۵- متخصصین فنی شاغل در صنایع مرتبط با تجهیزات الکتریک نیروگاه ۱۸۶
جدول ۷-۶- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق لوشان..... ۱۸۹
جدول ۷-۷-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایرانشهر ۱۸۹
جدول ۷-۸- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه اصفهان ۱۹۰
جدول ۷-۹- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایسین بندرعباس ۱۹۱
جدول ۷-۱۰-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه بعثت..... ۱۹۲
جدول ۷-۱۱- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، نیروگاه هسا..... ۱۹۲
جدول ۷-۱۲- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق آذربایجان..... ۱۹۳
جدول ۷-۱۳-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق سهند..... ۱۹۳
جدول ۷-۱۴- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید رجایی ۱۹۳
جدول ۷-۱۵-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شیروان..... ۱۹۷
جدول ۷-۱۶-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید مفتح ۱۹۷
جدول ۷-۱۷-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه طرشت ۱۹۹
جدول ۷-۱۸- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه یزد..... ۱۹۹
جدول ۷-۱۹-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه زاهدان..... ۲۰۰
جدول ۷-۲۰-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه خراسان ۲۰۰

جدول ۸-۱- دادههای بازسازی و بازنشستگی در سیستم تست ۲۴ باس IEEE ۲۰۸
جدول ۸-۲- سناریوهای عدم قطعیت هزینه بازتوانی ۲۱۰
جدول ۸-۳- تصمیمات سرمایهگذاری در موارد مطالعاتی ۵ و ۶ ..... ۲۱۱
جدول ۸-۴- بودجه کل توسعه و هزینه شرایط در موارد مطالعاتی ۵ و ۶ ..... ۲۱۲
جدول ۸-۵- سناریوهای عدم قطعیت هزینه بازتوانی ۲۱۲
جدول ۸-۶- تصمیمات سرمایهگذاری در موارد مطالعاتی ۷ و ۸ ..... ۲۱۳
جدول ۸-۷- سناریوهای عدم قطعیت پیش بینی بار ۲۱۳
جدول ۸-۸- تصمیمات سرمایهگذاری در موارد مطالعاتی ۹ و ۱۰ ..... ۲۱۳
جدول ۸-۹-خلاصه برنامه ارزیابی طول عمر و برنامه ارزیابی هزینه بازسازی ۲۱۵
جدول ۸-۱۰- فرمول محاسبات عمر مفید تجهیزات تولید برق ۲۱۵
جدول ۸-۱۱- فرمول پیشنهادی محاسبه هزینه برای تجهیزات نیروگاه حراراتی سیکل ترکیبی به همراه خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل ۲۱۶
جدول ۸-۱۲- خلاصه نتیجه اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر برای هر جز از تجهیزات تولید برق..۲۱۶
جدول ۸-۱۳- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۱ نیروگاه با سوخت ذغال سنگ) ۲۱۷
جدول ۸-۱۴- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۵ نیروگاه با سوخت ذغال سنگ) ۲۱۷
جدول ۸-۱۵- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۷ نیروگاه سیکل ترکیبی) ۲۱۷
جدول ۸-۱۶- نتایج محاسبات هزینه تجهیزات و مواد برای نیروگاه با سوخت ذغال سنگ ۱۰۰۰ مگاوات ۲۱۸
جدول ۸-۱۷- نتیجه محاسبات هزینه تجهیزات و مواد نیروگاه سیک ترکیبی ۵۰۴ مگاوات..... ۲۱۸
جدول ۸-۱۸- اثربخشی روش پیشنهادی از طریق مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر استاندارد خرید تجهیزات تولید برق در دو نیروگاه هدف ۲۱۹
جدول ۸-۱۹- ماتریس طبقهبندی تخمین هزینه اصلی ۲۱۹
جدول ۱۰-۱- رابطه بین مشکلات اصلی ترانسفورماتور و پارامترهای روغن [۱]. ۲۳۵
جدول ۱۰-۲- آزمون‌های روغن در حال سرویس و استانداردهای روش انجام آن‌ها [۳]. ۲۳۶
جدول ۱۰-۳- بازه‌های مربوط به آزمون‌های مختلف و اقدامات اصلاحی توصیه‌شده [۳]. ۲۳۹
جدول ۱۰-۴- حدود شاخص کیفیت روغن [۶, ۷]. ۲۴۴

جدول ۱۰-۵- تفسیر عدد PI. ۲۶۸
جدول ۱۰-۶- تفسیر مقاومت عایقی هسته ترانسفورماتورهای کارکرده مطابق IEEE C57.152 [۱۹]. ۲۶۹
جدول ۱۰-۷- تفسیر خازن اندازه‌گیری شده ترانسفورماتور بر اساس IEEE C57.152 [۱۹]. ۲۷۱
جدول ۱۰-۸-ضرایب اصلاح دمایی tanδ به دمای ^0C 20 (K_T) براساس IEEE C57.12.90 2006 [۲۳]. ۲۷۲
جدول ۱۰-۹-مقادیر معمول 2-FAL برای ترانسفورماتورهای نیروگاهی پرشده از روغن بدون بازدارنده بر اساس IEC/TR 62874:2015. ..... ۲۸۱
جدول ۱۰-۱۰- مقادیر معمول 2-FAL برای ترانسفورماتورهای نیروگاهی پرشده از روغن دارای بازدارنده بر اساس IEC/TR 62874:2015. ..... ۲۸۲
جدول ۱۰-۱۱- راهنمای کلی برای ارزیابی ترموگرافی براساس NETA ATS. ۲۸۵
جدول ۱۰-۱۲- زمان‌بندی انجام آزمون‌های الکتریکی دوره‌ای ترانسفورماتور. ۲۸۵
جدول ۱۰-۱۳- ترتیب انجام آزمون‌های الکتریکی دوره‌ای ترانسفورماتور. ۲۸۶
جدول ۱۰-۱۴- عیوب متداول ترانسفورماتور قدرت و آزمون‌هایی که قادر به آشکارکردن این عیوب هستند ۲۸۷
جدول ۱۱-۱-آزمون‌های آفلاین عایق سیم‌پیچی ژنراتورها و موتورها ۳۰۰
جدول ۱۳-۱- چک لیست آزمون‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه ۳۳۴
جدول ۱۳-۲- درصد وزنی درنظر گرفته شده برای تجهیزات الکتریکی جهت اولویت دهی نوسازی نیروگاه ۳۴۷
جدول ۱۳-۳- ارزیابی وضعیت تجهیزات الکتریک یک نیروگاه ۳۴۸
جدول ۱۳-۴- اولویت های نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاه ها ۳۴۹

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مقدمه

مطابق دستورالعمل IEEE [۱] پس از ارزیابی وضعیت هریک از نیروگاه‌های برق نتیجه ارزیابی وضعیت به یکی از چهار حالت زیر منجر می‌شود:

۱) بازنشستگی[1] واحد

۲) استمرار عملیات همچون قبل[2]

۳) بازطراحی[3]

۴) نوسازی[4]

حالات اول و دوم چنان‌که از تعریف آن‌ها واضح است، منجر به اتمام کارایی نیروگاه و یا تداوم عملکرد آن‌ها کما فی السابق خواهد بود. بازطراحی مشتمل بر محاسبات جدید و جایگزینی[5] تمام یا بخشی از تجهیزات و تأسیسات اصلی نیروگاه باهدف بهینه سازی عملکرد کلی واحد است. این در حالی است که نوسازی باهدف افزایش طول عمر واحد، ارتقای عملکرد، افزایش قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری، کاهش تعمیر و نگه‌داری و بهبود عملیات صورت می‌گیرد. این گزارش به مطالعه چهارمین وضعیت حاصل از ارزیابی، یعنی نوسازی واحدهای نیروگاهی می‌پردازد و بر نوسازی تجهیزات الکتریکی اصلی نیروگاه دلالت می‌کند. بااین‌وجود در یک طرح نوسازی جامع سایر تجهیزات و تأسیسات مکانیکی یا عمرانی (ازجمله توربین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ادوات این بخش) نیز باید مورد توجه قرار گرفته شود که در این گزارش مختصر و گذرا به آن اشاره شده است و مورد بحث نبوده است.

بخش‌بندی این گزارش عبارت است از:

بخش ۱: مقدمه‌ای بر نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها
بخش۲: مطالعات ارزیابی و امکان سنجی نوسازی نیروگاه‌ها
بخش ۳: الگوهای نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها
بخش ۴: مروری بر برخی از نوسازی‌های تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها

[1] Retirement
[2] Continue operation as-is
[3] Redevelopment
[4] Rehabilitation
[5] Replacement

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

بخش ۵: استانداردها، دستورالعمل‌ها توصیه‌های مرتبط در فرایند نوسازی تجهیزات الکتریکی نیروگاه

- تعاریف و اصطلاحات

مطابق استاندارد در این گزارش از سه کلمه «نوسازی»، «بهسازی[1]» و «ظرفیت افزایی[2]» با تعریف زیر بهره گرفته می‌شود:

«نوسازی»

فرایندی است که طی آن به‌صورت برنامه‌ریزی‌شده نسبت به‌جایگزین نمودن، اصلاح یا افزودن تجهیزات به یک نیروگاه موجود و باهدف بازیابی[3] سطح ایمنی، قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری و عملکرد تجهیز اقدام می‌شود.

«بهسازی»

منظور از بهسازی فرایند جایگزین نمودن، اصلاح یا افزودن یک یا چند تجهیز به نیروگاه موجود جهت بهبود عملکرد تجهیزات است.

«ظرفیت افزایی»

عبارت از فرایند افزایش ظرفیت تجهیزات و یا افزایش عملکرد آن‌ها (راندمان) باهدف افزایش تولید انرژی واحد است.

[1] upgrade

[2] uprate

[3] Restore

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل اول

مقدمه‌ای بر موضوع

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل اول مقدمه‌ای بر موضوع

۱-۱- مقدمه

برای دستیابی به راندمان مطلوب واحدهای حرارتی که عمر آن‌ها معمولاً از ۲۵ سال گذشته است می بایست نسبت به نوسازی تجهیزات و انجام عملیات تعمیرات و نگهداری اساسی اقدام نمود. هم‌اینک بیش از سه هزار مگاوات از تولید برق کشور توسط نیروگاه‌های فرسوده با بازده حدود ۲۲ درصد و با عمر طولانی انجام می‌شود. ازاین‌رو نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و مسائل اقتصادی پروسه‌های تعمیرات، نگهداری و نوسازی نیروگاه‌ها انکارناپذیر می‌باشد. از طرف دیگر فن‌آوری‌های جدیدی هرسال در زمینه‌های مختلف مرتبط با بحث نوسازی بخش الکتریک نیروگاه‌ها توسعه می‌یابد که نیروگاه‌های قدیمی موجود از آن‌ها بهره‌ای ندارند. این امر سبب می‌شود که بازده نیروگاه‌های فرسوده بسیار پایین‌تر از نیروگاه‌های جدید باشد.

با توجه به هزینه سنگینی که صرف ایجاد نیروگاه شده است، هر طرح اقتصادی بهینه‌سازی، نوسازی و بازسازی که منجر به بهبود عملکرد تجهیزات الکتریکی و درنتیجه افزایش عمر نیروگاه و بالا رفتن بازده آن شود باید مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۲- برنامه‌های نوسازی

برای نوسازی واحدهای نیروگاهی، اجرای دو برنامه امکان‌پذیر است:

۱-۲-۱- افزایش طول عمر

به‌طور مثال فعالیت‌هایی که برای افزایش طول عمر ژنراتورها انجام می‌گردد شامل نوسازی سیم‌پیچی استاتور، سیم‌پیچی روتور، نوسازی هسته استاتور و روتور و نوسازی سایر اجزای مکانیکی استاتور و روتور، باهدف رساندن توان خروجی ژنراتور به مقدار اولیه آن (در موقع ساخت نیروگاه) می‌باشد. بازیابی بازدهی، بازیابی ظرفیت و بازیابی ساعات آماده‌به‌کار ژنراتور از فواید نوسازی ژنراتور می‌باشد.

۱-۲-۲- افزایش توان

علاوه بر مزایای مطرح شده در بخش افزایش طول عمر، در این روش از مزایای تغییر فناوری‌ها نیز استفاده می‌گردد. افزایش ظرفیت و افزایش ساعات آماده به کار از مزایای این روش نوسازی می‌باشد. نکته: نوسازی ژنراتورها به این روش، فعالیت‌ها و همچنین مزایای روش افزایش طول عمر را در خود دارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱-۳- پتانسیل‌های نوسازی ژنراتور

بخش الکتریک نیروگاه‌ها که در این پروژه پرداخته خواهد شد شامل تجهیزات اساسی نظیر ژنراتور، سیستم تحریک، موتورهای الکتریکی، سیستم راه‌انداز SFC، و ترانسفورماتور می‌باشد. با توجه به اهمیت این تجهیزات در راندمان و بهره‌وری نیروگاه، رصد فناوری‌های نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاه، پروژه‌های بزرگ انجام‌شده در دنیا در این زمینه، و ارائه اولویت‌ها برای نوسازی بخش الکتریک نیروگاه‌ها، ضروری به نظر می‌رسد.

جدول زیر آماری است که شرکت Andritz به‌عنوان یکی از بزرگترین شرکت‌های نوسازی در زمینه نوسازی نیروگاه‌های آبی بدست آورده و درصد افزایش خروجی نامی ژنراتورهای واحدهای آبی با تعویض اجزای مختلف ژنراتور را نمایش داده است.

شکل ۱-۱- درصد انتظار افزایش توان نامی ژنراتور با تغییر اجزا مختلف آن

	approximate value
▪ Stator winding	~ 5 – 10%
▪ Stator winding + stator core	~ 7 – 15%
▪ New stator + new pole winding	~ 10 – 20%
▪ New stator + new poles	~ 10 – 25%

لازم به ذکر است که ظرفیت نامی ژنراتور می بایست با ظرفیت نامی توربین متصل به آن هماهنگ باشد. در همین راستا باید همزمان با افزایش توان نامی ژنراتور توان نامی توربین نیز افزایش یابد که این موضوع با تغییر نوع توربین و استفاده از تکنولوژی های بالاتر و با راندمان ارتقا یافته، قابل دستیابی است.

۱-۳-۱- سیم‌پیچی استاتور

مهمترین پتانسیل برای نوسازی ژنراتورهای نیروگاهی قدیمی، اصلاح سیم‌پیچی استاتور آن است. پیشرفت فناوری باعث شده است که بتوان از عایق‌هایی با ضخامت کمتر و همچنین ظرفیت تحمل دماهای بالاتر در سیم‌پیچی‌های استاتور استفاده کرد (هرچند که این امر مستلزم دانش طراحی است). بنابراین امکان افزایش توان نامی ژنراتور نیز وجود دارد. بدیهی است که هزینه و زمان انجام عملیات را باید به‌عنوان دو عامل کلیدی در تصمیم گیری برای این نوسازی در نظرگرفت.

۱-۳-۲- هسته استاتور

تلفات هسته فولادهای جدید نسبت به فولادهای مورد استفاده در ژنراتورهای قدیمی کمتر است و جایگزینی آن‌ها در ژنراتورهای قدیمی باعث افزایش بازدهی ژنراتور می‌گردد. همچنین اصلاح در ناحیه انتهایی ژنراتورهای قدیمی همراه با استفاده از صفحات شانت علاوه بر کاهش تلفات ناحیه انتهایی، باعث می‌شود که بتوان از ژنراتور در ناحیه زیر تحریک (خازنی) نیز بهره‌برداری کرد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱-۳-۳- روتور

جایگزینی کامل روتور امری است که به‌ندرت اتفاق می‌افتد ولی اصلاح سیم‌پیچی روتور و همچنین اصلاح سطح قطب‌های روتور (در ژنراتورهای آبی) باعث افزایش طول عمر ژنراتور در حدود ۳۰ سال می‌گردد. همچنین در ژنراتورهای گازی قدیمی، آب سیستم خنک‌کننده سیم‌پیچی‌های روتور از نوع شعاعی است که در اطراف هادی‌های کلاف‌های روتور و مماس به دیواره‌های شیار جاری می‌شود. در فرایند نوسازی، کلاف‌های روتور با هادی‌هایی که جریان آب خنک‌کننده از وسط آن و در راستای محوری عبور می‌کنند جایگزین می‌شود که امکان افزایش سطح مقطع مس و کاهش جریان روتور و یا افزایش توان ژنراتور را فراهم می‌کند.

۱-۳-۴- سیستم تحریک

ژنراتورها برای ایجاد میدان مغناطیسی به جریان مستقیم نیاز دارند و این جریان معمولاً از یک مجموعه تحریک بدست می آید. نوسازی فرصتی را برای سیستم‌های تحریک موجود فراهم می‌کند تا با موارد مناسب تر جایگزین شوند. این موضوع هرچند به افزایش توان خروجی منجر نخواهد شد اما به افزایش طول عمر واحد کمک شایانی خواهد نمود.

سیستم‌های تحریک استاتیک برای استفاده در ژنراتورهای آبی توان متوسط به بالا مناسب هستند. زمان پاسخ سریع و مشخصات سطح بالایی مانند PSS ها دارند. همچنین این سیستم‌ها امکان جربان‌دهی بالاتری در مقایسه با سیستم‌های تحریک دینامیک دارند (برای تمام سطوح ولتاژ و تا هزاران آمپر). در مقابل به دلیل نیاز به استفاده از جاروبک، نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتری از تحریک دینامیک دارند. تحریک دینامیک مناسب برای استفاده در ژنراتورهای آبی توان پایین تا متوسط و در جریان‌های پایین (برای ولتاژ های پایین و حداکثر جریان تا ۴۰-۵۰ (آمپر) است.

۱-۳-۵- سیستم تهویه

متناسب با تغییرات انجام شده در قسمت‌های مختلف ژنراتور که جهت نوسازی ژنراتور استفاده می‌گردد، لازم است که سیستم تهویه نیز تغییر یابد. همچنین می‌توان سیستم تهویه ژنراتورهای قدیمی را باهدف کاهش تلفات سیستم تهویه (و افزایش بازده ژنراتور) اصلاح کرد. در این حالت هدف این است که بدون افزایش دمای قسمت‌های مختلف ژنراتور، دبی هوا به کاهش یابد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل دوم

مطالعات ارزیابی و امکان‌سنجی نوسازی نیروگاهی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل دوم مطالعات ارزیابی و امکان سنجی نوسازی نیروگاه‌ها

۲-۱- مقدمه

اولین گام جهت تعیین وضعیت نیروگاه برای شرکت و یا عدم شرکت در برنامه های نوسازی، استفاده از روش های ارزیابی وضعیت است. پس از این مرحله و در صورت نیاز به نوسازی واحد، می بایست علاوه بر درنظرگرفتن تغییرات مستقیم، تأثیر تغییرات نوسازی بر مجموعه را نیز در نظرگرفت. در آخر یک مطالعه امکان سنجی با درنظرگرفتن هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم به تصمیم گیری برای نوسازی یا عدم نوسازی واحد منجر خواهد شد. در این بخش ابتدا به معرفی روش های ارزیابی واحدهای نیروگاهی، سپس رویکرد سیستمی درباره نوسازی و جوانب قابل توجه در این مورد مطرح و در پایان بخش به معرفی مختصری از الگوهای امکان سنجی در برنامه های نوسازی پرداخته می‌شود.

۲-۲- ارزیابی وضعیت نیروگاه برای نوسازی

در نوسازی تجهیزات در یک نیروگاه زمانی مناسب است که حداقل یکی از شرایط زیر در نیروگاه مشاهده شود:

- کاهش دسترسی به واحد برای تولید
- وجود پتانسیل هایی برای حفظ یا بهبود عملکرد نیروگاه
- تغییر در شرایط بهره‌برداری واحد یا نیروگاه
- امکان اتوماسیون نیروگاه
- کاهش توان تولیدی به دلایل فنی
- از کار افتادگی تجهیزات اصلی
- وجود هزینه‌های سنگین در بهره‌برداری از نیروگاه
- افزایش هزینه‌های نگهداری
- فقدان قطعات یدکی
- شرایط نامطلوب ایمنی و امنیتی

بازرسی، آزمایش و نظارت پیوسته داده‌ها از اجزاء جدایی ناپذیر در فرایند ارزیابی وضعیت است. جدول زیر موارد پیشنهادی برای ارزیابی وضعیت یک نیروگاه آبی نمونه را نشان می‌دهد. ستون سمت راست موارد کلی و ستون سمت چپ عوامل مهمتری که باید مورد توجه قرار گرفته شوند ارائه شده است.

شکل ۲-۱-فهرست عوامل مؤثر در ارزیابی وضعیت نیروگاه و تجهیزات مربوطه

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

موارد کلی مورد ارزیابی	عوامل مورد ارزیابی
شرایط بهره‌برداری در دسترس بودن آب اضافه نمودن واحدهای جدید نیاز به افزایش ظرفیت	تغییر در دبی آب در صورت امکان، احداث یک (یا چند) واحد جدید در نیروگاه می‌تواند بهره‌برداری از واحدهای موجود را محدود به زمان پیک بار کند که این کار باعث کاهش استهلاک واحدهای موجود خواهد شد و به حفظ شرایط اولیه واحدهای موجود کمک خواهد کرد. افزایش ظرفیت تولید از طریق ارتقای واحد جدید (ظرفیت افزایی) مقرون به صرفه است.
بررسی اطلاعات بهره‌برداری ی واحد ها، هد و انرژی تولیدی خروج های اضطراری اطلاعات عملکرد تجهیزات	بررسی روندهایی که منجر به نقصان عملکرد می‌شود، مانند کاهش هد مؤثر به علت افت زیاد در آبگیر و پن استاک[1] که منجر به کاهش انرژی تولیدی می‌شود. مشخص کردن قسمت‌های مشکل دار، نوع خروج های واحد، فرکانس و مدت زمان خروج ها. مقادیر بار، دبی، درجه حرارت و تمام مواردی که روی عمر مورد انتظار تجهیزات مؤثر هستند.
سی اطلاعات نگهداری و تعمرات ه های نگهداری جاری و گذشته سوابق تعمیرات	تعیین رابطه بین شرایط و عملیات نگهداری تجهیزات تعیین عوامل مشکل ساز، چنانچه تجهیز اغلب نیاز به تعمیر پیدا می‌کند. به‌طور مثال : تعمیرات مکرر رانر توربین ناشی از کاویتاسیون یا تغییر شرایط هیدرولیکی می‌تواند نشان‌دهنده نیاز برای تغییر جنس یا طراحی توربین باشد. تعمیرات مکرر یاتاقان ژنراتور می‌تواند نشان‌دهنده لزوم افزودن یک سیستم روعن کاری با فشار زیاد یا نیاز به کم کردن نیروی تراست هیدرولیکی باشد. در دسترس نبودن پی در پی واحدهای تولیدی ناشی از خرابی سیستم اتوماسیون موجود، سنسورها یا تجهیزات موجود می‌تواند بیانگر پایان عمر تجهیز یا سیستم مربوط باشد.
اطلاعات طراحی تجهیزات طول عمر، مواد کردهای طراحی و مشخصات نامی	داده های طراحی تجهیزات می‌تواند در پیش‌بینی عمر مورد انتظار مؤثر باشدو بررسی این سوال که آیا طراحی اصلی با بهره‌برداری فعلی سازگار است ؟
نقشه ها و مدارک	نقشه ها و مدارک فنی باید کامل و دقیق باشد.
بازرسی تجهیزات وضعیت عمومی تجهیز ت‌هایی که بطور آشکار مسأله دار است	ازجمله لکه های روغن، پوسیدگی، زنگ زدگی، نشت کردن، ترک خوردگی، وجود شیار و هرزشدگی نشتی، لرزش، دماهای بهره‌برداری بالا و مشکل سیستم خنک کنندگی
آزمایش تجهیزات نتایج آزمایش ها	مقایسه نتایج آزمایش قبلی با آزمایش های جدید می‌تواند تنزل کارایی و قابلیت اطمینان را نشان دهد. بعضی از این آزمایش ها در هر بخش عبارت‌اند از: توربین: آزمایش های راندمان، نسبی یا مطلق ژنراتور: ضریب تلفات عایقی و PD سوئیچ گیر: آزمایش های عایقی ترانسفورماتور: آزمایش های کیفیت روغن
ایمنی کارکنان	آیا تجهیزات می‌توانند به‌صورت کاملاً ایمن بازرسی، استفاده و نگهداری شوند و آیا الزامات ایمنی را در حال حاضر به‌طور کامل برآورده می‌کنند؟
اثرات زیست محیطی	وضعیت آلاینده ها و مواد خطرناک

[1] Penstock

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۲-۲-۱- معیارهای ارزیابی وضعیت نیروگاه برای نوسازی

الف) کاهش ضریب آماده به کار بودن[1] واحدها

کاهش ضریب آمادگی واحدها موجب افزایش هزینه و کاهش درآمد می‌شود و بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد. شرایط زیر که شاخصی برای کاهش دسترسی به واحد است را می‌توان از طریق بازبینی مدارک و مستندات نیروگاه مشخص کرد:

- عمر مفید (قابل انتظار) هرکدام از تجهیزات باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و زمان موردنیاز تعمیرات، هزینه جایگزینی و دسترسی به لوازم یدکی باید در این تجزیه و تحلیل لحاظ شود.
- خروج های ناگهانی و نرخ وقوع (فرکانس) آن بایستی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد تا علت های ریشـــه ای منجر به خروج های ناگهانی معین شـــده و عملیات اصـــلاحی که می‌تواند باعث بهبود کارایی سیستم شوند مشخص گردند.
- عملیات نگهداری تجهیزات در صورتی که بیشتر از حد نرمال است بایستی برای اتخاذ عملیات اصلاحی تعیین شوند.

ب) امکان بهبود یا اصلاح عملکرد

مشخصه‌های عملکردی تجهیزات در هنگام طراحی نیروگاه متناسب با دانش و تکنولوژی روز تعیین گردیده است. هنگام نوسازی مسلماً پیشرفت های قابل توجهی در زمینه مهندسی و ساخت توربین، ژنراتور و تجهیزات مرتبط با آن‌ها حاصل شده که با توجه به آن‌ها بهبود قابل توجه در عملکرد و توان تولیدی واحدها امکان پذیر می‌باشد. تجهیزاتی ازجمله رانر توربین و برخی اجزای دیگر به‌مرور زمان در طول بهره‌برداری افت پیدا کرده و توان و عملکرد آن‌ها کاهش می یابد.

ج) تغییر در شرایط بهره‌برداری از نیروگاه یا واحدها

تجهیزات تولید کننده نیروی الکتریکی در نیروگاه‌ها عموماً طوری طراحی شده‌اند که در یک شرایط بهره‌برداری خاص از پیش تعیین شده کارایی سیستم بهینه می‌شود. غالباً این شرایط بهره‌برداری در طول زمان می‌تواند تغییر کند که در چنین وضعیتی ترمیم تجهیزات برای بهبود کارایی در یک شرایط بهره‌برداری جدید توجیه پیدا می‌کند. هرچند که به‌طور سنتی منظور از نوسازی افزایش توان خروجی یا ظرفیت نیروگاه بوده، ولی اخیراً

[1] Availability

مشخص شده که پست های نیروگاهی که ارتباط بین نیروگاه و سیستم‌های انتقال انرژی الکتریکی را برقرار می‌کنند نیز دارای اهمیت زیادی هستند. به‌عنوان مثال در آمریکای شمالی پست های نیروگاهی ممکن است توسط یک سیستم بهره‌برداری مستقل (ISO[1]) یا شرکت برق منطقه ای (RTO[2]) بهره‌برداری شوند. هر یک از این نهادها ممکن است نیاز داشته باشند که نیروگاه به‌صورت قراردادی توان راکتیو موردنیاز شبکه را تأمین کند یا به‌صورت ذخیره گردان در اختیار شبکه باشد. این امر می‌تواند با فراهم کردن قابلیت کار در حالت کندانسور سنکرون برای واحدهای موجود تحقق یابد. تأمین این خدمات جانبی برای شبکه می‌تواند درآمد قابل توجهی را برای بهره‌برداری نیروگاه به همراه داشته باشد. موارد زیر مثال‌هایی از تغییر شرایط بهره‌برداری نیروگاه است:

- تغییرات در نحوه مصرف ورودی سیستم و امکان تولید برق از آن می‌تواند باعث نیاز به افزایش توان خروجی توربین و ژنراتور و دیگر تجهیزات مربوطه شود.
- تغییر در روش بهره‌برداری واحد می‌تواند منجر به افزایش توان خروجی شود.
- تأمین توان راکتیو توسط واحد ممکن است نیازمند یک روش هماهنگ برای تعیین قابلیت تولید توان راکتیو واحد باشد. این روش شامل ارزیابی مجدد پارامترهایی از قبیل ظرفیت نامی تولید توان راکتیو ژنراتور، کارایی و ظرفیت نامی سیستم تجریک ژنراتور و همچنین ارزیابی مجدد قدرت خروجی، ولتاژ و ظرفیت تپ فشارقوی ترانسفورماتور افزاینده واحد است.
- در واحدهای برق‌آبی تغییر در مقررات مربوط به حفاظت محیط زیست ممکن است ایجاب کند که تغییراتی در رانر توربین ایجاد یا تمهیداتی برای انحلال اکسیژن در آب برای مسیر عبور ماهی ها در نظر گرفته شود.
- رعایت مقررات مربوط به حفاظت محیط زیست نیازمند کنترل‌های متفاوتی هستند که در تجهیزات اولیه امکان پذیر نمی‌باشند.

د) اتوماسیون نیروگاه

برنامه‌های اتوماسیون نیروگاه که به‌منظور ایجاد امکان عملیات خودکار واحد یا تبدیل کنترل واحد از حالت محلی به حالت کنترل از راه دور است نیاز به ایجاد اصلاحات گسترده‌ای در تجهیزات دارد. هرچند که مبحث اتوماسیون نیروگاه فراتر از حد این گزارش است اما توصیه شده که در مطالعات امکان سنجی نوسازی در مورد کنترل از راه دور واحد و همچنین اتوماسیون واحد بررسی شود (به استاندارد IEEE Std 12496 رجوع شود)

[1] Independent System Operator

[2] Regional Transmission Organization

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ه) کاهش ظرفیت های خروجی

کلیه تجهیزاتی که دارای محدودیت تولید توان در دامنه بهره‌برداری تعریف شده هستند، برای نوسازی مناسب می‌باشند. به‌عنوان مثال:

- محدودیت جدی توربین برای عبور جریان
- ارتعا شات شدید در محدود ناهموار به علت تغییرات هد یا کاویتا سیون شدید در رانر توربین که غیرقابل تعمیر است.
- فرسایش تجهیزات در طول عمر آن‌ها که باعث کاهش ظرفیت آن‌ها می‌شود.

ز) از کارافتادگی تجهیزات مهم

توقف های غیر برنامه‌ریزی شده به علت عدم کارکرد یکی از تجهیزات مهم در حین بهره‌برداری منجر به زیآن‌های اقتصادی قابل توجه می‌شود. زمانی که عدم کارکرد یکی از تجهیزات منجر به یک خروج طولانی مدت شود، مناسب است که هم تعمیر تجهیز موجود به‌عنوان یک گزینه در نظرگرفته شود و هم به‌عنوان گزینه دیگر به تعویض آن تجهیز (با یک تجهیز مشابه با ظرفیت یکسان) توجه نمود. مثال های زیر نشان می‌دهد که ارتقای تجهیز در چه مواردی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد:

- **از کارافتادگی یکی از ترانسفورماتورهای اصلی**

تهیه یک ترانسفورماتور جدید که تلفات کم‌تری داشته باشد و قابلیت پایداری آن در هنگام خطا بیشتر بوده و طراحی آن به گونه ای باشد که برای شرایط موجود و آتی بهره‌برداری مناسب باشد.

- **از کارافتادگی توربین به‌صورتی که تعمیر آن امکان پذیر نباشد**

بهسازی رانر توربین با یک رانر که طراحی جدید و راندمان بالاتری دارد باعث بهبود عملکرد بوده و از نظر اقتصادی باعث کاهش هزینه تولید خواهد شد.

- **از کارافتادگی ژنراتور**

امکان بازپیچی سیم بندی ژنراتور به‌منظور افزایش قابلیت تولید برای هماهنگی بیشتر با قدرت خروجی توربین وجود دارد. هرچند که این امر ممکن است منجر به عدم هماهنگی بین قدرت خروجی ژنراتور و ظرفیت نامی ترانسفورماتور افزاینده شود که می‌تواند مزایای حاصل از افزایش ظرفیت نامی ژنراتور را محدود کند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۲-۲-۲- روش‌های ارزش‌گذاری شاخص‌های ارزیابی

الف) روش وزن‌دهی به شاخص‌های ارزیابی

در راستای تعیین وضعیت اجزا اصلی نیروگاه مورد بازبینی، تست و آنالیز قرار می‌گیرند. در این راستا برای هر سیستم یا تجهیز شاخصهای ارزیابی تعیین می‌شود و پس از آن با امتیاز دهی به هر یک از این شاخصها و همچنین وزن دهی به هر یک از اجزا بسته به میزان اهمیت آن قطعه درمجموعه جداولی مانند جدول نشان داده شده در زیر تکمیل می‌شود. با جمع کلیه امتیازها عددی بدست می‌آید که وضعیت سیستم یا تجهیز را بصورت قیاسی تعیین می‌کند و نشان‌دهنده وضعیت کلی آن می‌باشد. وزن دهی به اجزا کاملاً تجربی است و امتیاز دهی به شاخصها نیز با توجه به تعدد شاخصها و امکان ارزیابی هر یک از آن‌ها و بنا به تجربه تیمهای تحقیقاتی (خبرگان) صورت می‌گیرد (بطور مثال برخی از صاحبنظران معتقدند ضریب وزن دهی سیم‌پیچی روتور و تست هسته روتور در این روش می بایست هم وزن باشد).

شکل ۲-۲- شاخص‌های ارزیابی اجزا اصلی ژنراتور و وزن‌دهی هر یک از این شاخص‌ها

Generator for Unit___	Visual Condition Score	Age Score	Installed Technology Score	Operating Restrictions Score	Stator Electrical Tests	Rotor Electrical Tests	Stator Core Tests	Maintenance Requirement Score	Data Quality Score	Weighting Factors for Parts
Stator Windings						NA	NA			3.0
Stator Core					NA	NA				1.5
Rotor					NA		NA			2.5
Ventilation & Cooling					NA	NA	NA			2.0
Neutral Grounding					NA	NA	NA			0.5
Thrust Bearings					NA	NA	NA			1.0
Guide Bearings					NA	NA	NA			1.0
Generator Shaft					NA	NA	NA			1.5
Weighting Factors for Condition Parameters	1.0	2.0	1.0	1.0	3.0	2.5	1.0	1.5	Data Quality -->	*0.00*
									Generator Condition Indicator -->	*0.00*

همانطور که در جدول فوق نشان داده شده است در مورد ژنراتورها بیشترین اهمیت را سیم‌پیچی استاتور و پس از آن سیم‌پیچی روتور دارا است و این موضوع در مستندات مربوط به میزان آسیب‌های ایجاد شده در ماشین بسیار مشهود است.

ب) روش بانک جهانی

در این روش که برای واحدهای آبی توسعه داده شده است، تصمیم گیری در مورد نحوه بازسازی ژنراتورهای آبی در انتهای یک سری فعالیت تعریف شده بدست می‌آید. در این روش که در شکل ۱ بصورت دیاگرام نشان داده شده، چهار فیلتر قرار داده شده است که عبارت‌اند از:

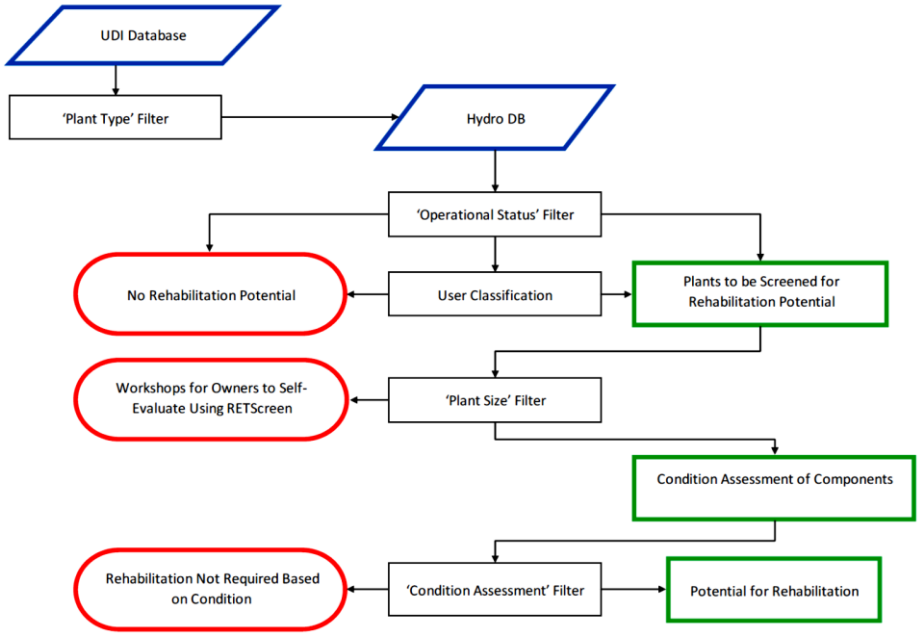
DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- فیلتر اول (Plant Type) برای این است که فقط نیروگاه‌های آبی توسط این فرآیند بررسی شود.

- فیلتر دوم (Operational Status): در این فیلتر نیروگاه آبی در یکی از سه وضعیت کارکرد تجاری، هنوز تکمیل نشده و تکمیل شده ولی هنوز استفاده نشده قرار می‌گیرد.

- فیلتر سوم (Plant Size): در این مرحله نیروگاه‌های با ظرفیت کمتر از ۱۰ مگاوات حذف می‌شوند. نیروگاه‌های با توان کمتر از ۱۰ مگاوات از طرف برخی موسسات جهانی مانند IFI[1] با جذابیت کمتر برای سرمایه‌گذاری اعلام شده است. برخی دیگر از سازمان‌ها، مقادیر متفاوتی برای حداقل توان نیروگاه اعلام کرده‌اند.

- فیلتر چهارم (Condition Assessment): در این مرحله وضعیت ژنراتور بررسی می‌شود و روش‌های ممکن برای افزایش توان[2] نیروگاه بررسی می‌گردد.



شکل ۲-۳- فرآیند تعیین نیاز به نوسازی نیروگاه آبی

در جدول زیر طول عمر و محدوده مقادیر نامی تجهیزات مهم نیروگاه‌های آبی که به روش فوق قابل تعیین وضعیت هستند، بدون توجه به شرایط کاری تجهیز، آورده داده شده است. مقادیر این جدول برای تمامی واحدها صادق نیست و مقادیر آن در اثر عوامل زیر می‌تواند تغییر نماید:

- کیفیت ساخت اولیه تجهیز

- برنامه‌های تعمیرات و نگهداری

[1] International Financial Institute

[2] Upgrade

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- الگوی کاری (میزان راه‌اندازی و ایست)

- شرایط عملکرد و بهره‌برداری

شکل ۲-۴ - مقادیر نامی جهت ارزیابی لزوم نوسازی ژنراتورهای نیروگاه‌های آبی

Plant Subsystems	Economical Lifetime (*years*)	Technical Lifetime (years)	Rapid Assessment Rating Good (<=)	Fair (<=)	Poor (>)
Electrical Installations					
Generators, transformers	25-40	30-60	**25**	45	45
High voltage switchgear, auxiliary electrical equipment, control equipment	20-25	30-40	**20**	35	35
Batteries, DC equipment	10-20	20-30	**10**	25	25
Mechanical Installations					
Turbines					
Kaplan and Francis turbines	30-40	30-60	**30**	45	45
Pelton turbine	40-50	40-70	**40**	55	55
Pump turbine and Storage pumps	25-33	25-50	**25**	33	33
Gates, butterfly valves, special valves, cranes, auxiliary mechanical	25-40	25-50	**25**	37	37
Civil Works					
Dams, canals, tunnels, caverns, reservoirs, surge chambers	60-80	80-150	**60**	100	100
Powerhouse structures, water catchment, spillway, sand traps, penstocks, steel linings, roads, bridges	40-50	50-80	**40**	65	65

۲-۳- رویکرد سیستمی به نوسازی نیروگاه

در قسمت قبل شرایط کلی که منجر به نوسازی تجهیزات مهم می‌شود مورد بازبینی قرار گرفت. مهم است بدانیم که تغییرات در پارامترهای سیستم خارجی یا ضوابط آن و یا نوسازی یک قطعه اصلی می‌تواند تأثیر مهمی بر سایر سیستم‌های نیروگاه داشته باشد. در روش سیستماتیک نوسازی باید اثرات نوسازی سیستم‌های اصلی بر دیگر سیستم ها را نیز مورد توجه قرار داد. مثالی در این زمینه در راهنمای مدرنیزه کردن نیروگاه‌های برقآبی مرکز تحقیقات نیروی الکتریکی (EPRI) مورد بررسی قرار گرفته است.

برای تشریح مطلب فرض می‌شود که بهینه سازی یک توربین برای تولید توان خروجی بیشتر از طریق بالابردن راندمان رانر آن توربین انجام شده است. چنین بهینه سازی هایی غیرمعمول نیستند ولی اثرات آن بر دیگر تجهیزات نیروگاه باید بررسی شود:

افزایش جریان آب در توربین می‌تواند بر پن استاک تأثیرگذار باشد به این صورت که جریان بیشتر آب فشارهای گذرای بیش‌تری را به پن استاک وارد می‌کند.

به دلیل تغییر در فشار آب، تنظیم و جایگزینی شیر تنظیم کننده فشار اغلب موردنیاز است.

به‌منظور بررسی امکان انتقال و تحمل قدرت گشتاور یافته، افزایش راندمان توربین نیازمند ارزیابی طراحی قطعاتی از قبیل کوپلینگ شفت، شفت توربیت، استراکچر روتور و ژنراتور می‌باشد.

- آیا افزایش قدرت خروجی توربین منجر به افزایش تولید الکتریکی می‌شود؟ به عبارت دیگر باید طراحی سیم‌پیچ‌های استاتور ژنراتور، هسته استاتور و تحریک میدان بررسی شود که آیا قابلیت تبدیل این انرژی مکانیکی افزایش‌یافته را به انرژی الکتریکی دارد یا نیاز به بهینه سازی ژنراتور نیز احساس می‌شود.
- قابلیت سیستم تحریک ژنراتور در تولید جریان لازم و کنترل ولتاژ موردنیاز (باتوجه به محدودیت های توان راکتیو) باید بررسی شود.
- ظرفیت باس داکت ژنراتور و بریکرهای مربوطه برای انتقال این جریان الکتریکی افزایش‌یافته بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ترانسفورماتورهای اصلی و خطوط انتقال مربوطه بایستی مورد ارزیابی قرار گیردند تا معین شود که آیا قابلیت تبدیل و انتقال این انرژی افزایش‌یافته را دارند یا خیر.
- ترانسفورماتورهای جریان و تجهیزات حفاظتی و اندازه‌گیری مربوطه بایستی براساس ظرفیت ارتقا یافته توربین ژنراتور مورد ارزیابی قرار گیرند. تنظیمات حفاظتی ژنراتور نیز بایستی دوباره ارزیابی شوند.
- سیستم و اجزای خنک کننده ژنراتور بایستی از لحاظ کفایت مورد ارزیابی قرار گیرند.
- اثرات زیست محیطی نیز باید درنظر گرفته شوند.

از آنجا که انجام عملیات بهسازی تجهیزات اصلی نیروگاه مستلزم خروج طولانی مدت واحد از مدار است، مسائل مربوط به رهاسازی آب و نیز سیستم انتقال برق نیز باید مورد ملاحظه قرار گیرد. دو مورد از اثرات خروجی طولانی به شرح ذیل خاطر نشان می‌گردد:

- در طول مدت بهسازی، آب باید ذخیره شده یا به نیروگاه یا واحدهای دیگر هدایت شود. اگر این امر امکان پذیر نباشد، زیان ناشی از عدم تولید انرژی باید در امکان سنجی بهسازی مورد توجه قرار گیرد.
- در زمان خروج، ظرفیت تولید شبکه و نیز درآمد حاصل از تولید برق کاهش می یابد.

باتوجه به مثال های فوق اهمیت برنامه ریزی برنامه های بهینه سازی روشن می‌شود. درواقع باید برنامه‌ریزی به نحوی باشد که کم‌ترین اثر منفی بر جریان آب و سیستم‌های قدرت مرتبط با نیروگاه وارد شود.

۲-۴- مطالعات امکان‌سنجی نوسازی

در مطالعه امکان سنجی، گزینه های مختلف باید مورد بررسی قرار گیرند تا مناسب ترین روش نوسازی نیروگاه مشخص شود ملاحظات مربوط به پرسنل پروژه و همچنین عملیات نگهداری و تعمیرات نیروگاه بایستی در این مطالعه مورد توجه قرار گیرند. گزینه های مختلف شامل تعمیر، جایگزینی، نوسازی، مدرن‌سازی و اتوماسیون تجهیزات نیز به اندازه آلترناتیو افزودن یک تجهیز با عملکرد جدید به واحد، باید مورد بررسی قرار

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

گیرند .سپس این آلترناتیوها مورد به مورد از لحاظ عملکرد فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته و تصمیم نهائی اتخاذ می‌شود.

مطالعه امکان‌سنجی یا تجزیه و تحلیل سود -هزینه ممکن است بسیار ساده یا کاملا پیچیده باشد که این موضوع به حجم پروژه، تعداد و پیچیدگی عوامل مربوطه بستگی دارد .در این مطالعه گزینه های مختلف غالبا با استفاده از روش تبدیل کل مزایا و هزینه ها به ارزش کنونی، ارزیابی شده و گزینه هایی که توجیه اقتصادی ندارند حذف خواهند شد.

برای تعیین اولیه محدوده کار، انجام مطالعات امکان‌سنجی، لازم و ضروری است. تجزیه و تحلیل امکان پذیری و امکان‌سنجی نوسازی واحد و تعیین محدوده کار با توجه به شرایط موجود، امری ضروری است، در ادامه بحث در این قسمت به جزئیات انجام مطالعات امکان‌سنجی نخواهیم پرداخت ولی تاکید ادامه بحث بر نیاز انجام این مطالعات می‌باشد.

۲-۴-۱- منافع و درآمدهای قابل پیش‌بینی

الف) افزایش توان تولیدی

مفهوم افزایش توان تولیدی، چه از نظر افزایش ظرفیت و چه از نظر افزایش انرژی الکتریکی، عملا دربرگیرنده تمام جنبه های مختلف نیروگاه می‌باشد. بعضی از روش ها برای افزایش خروجی واحد نیاز به صرف هزینه بیش‌تری نسبت به بقیه دارد و بعضی روش ها منافع بیش‌تری به همراه دارند. نیاز ما در هنگام انجام مطالعات امکان‌سنجی، تعیین آن دسته از روش‌هایی است که از لحاظ اقتصادی توجیه پذیرند. سرمایه گذاری کنونی برای مدرن سازی تجهیزات، بایستی با توجه به منافع بلند مدت حاصل از آن، سنجیده شود. به‌عنوان مثال ممکن است هزینه لازم برای سیم‌پیچی مجدد یک استاتور ۴۰ ساله بسیار قابل توجه باشد و منافع حاصل از آن ناچیز به نظر رسد ولی باید کل منافع حاصل از تجدید سیم‌پیچی استاتور را در دوره کاری جدید دستگاه به ارزش کنونی تبدیل کرده و سپس نتیجه گیری کرد.

ب) کاهش نیروی انسانی

هنگام بررسی برنامه بهسازی تجهیزات، با مقایسه تعداد پرسنل شاغل قبل از بهسازی و بعد از بهسازی در اغلب موارد کاهش چشمگیری ملاحظه می‌شود که منافع اقتصادی قابل توجهی را به همراه دارد .به ویژه هنگامی‌که نیاز به حضور پرسنل به‌صورت شبان هروزی نباشد یا یک شیفت حذف گردد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ج) استفاده بهتر از ورودی (واحدهای برقآبی)

طرح های بهسازی تجهیزات و سیستم ها فرصتی برای استفاده بهینه تر از ورودی سیستم را فراهم می‌کند. به‌طور مثال افزایش راندمان در توربین آبی و مسیرهای عبور آب مساله هایی است که باید به‌صورت منتقدانه به قصد رسیدن به منافع بلند مدت مورد بررسی قرار گی. حتی افزایش کوچکی در راندمان نیروگاه می‌تواند در طول عمر نیروگاه به منافع کلان اقتصادی منجر شود.

د) بهبود دسترس‌پذیری و ارتقای بهره‌برداری

با کاهش نرخ خروج اجباری و افزایش دسترسی به واحد که منجر به بهبود قابلیت اطمینان نیروگاه می‌شود می‌توان به منافع اقتصادی قابل توجهی دست یافت .می‌توان به چنین بهبودهایی ، ارزش مالی نسبت داد و آن را در تحلیل امکان سنجی هنگام مقایسه هزینه ها در برابر منافع لحاظ کرد.

عملیات بهره‌برداری از واحد را می‌توان با به کارگیری روش‌های کنترل مدرن، کاهش تعداد وسایل کنترل، کاهش ثبت مستندات غیرضروری یا دیگر روش ها بهبود بخشید .ضریب آمادگی واحد را می‌توان با جایگزین کردن یا تعمیر کردن دستگاهی که در خطر تخریب قرار دارد یا خراب شده است، افزایش داد. با افزایش قابلیت اطمینان، عملیات بهره‌برداری بهتر انجام خواهد شد و این امر منجر به کسب درآمدهای بالاتری برای نیروگاه می‌گردد.

یک سیستم مونیتورینگ شرایط و پارامترهای بهره‌برداری نیروگاه می‌تواند باعث شود که شرایط سیستمی نیروگاه و دستگاه های آن به‌طور دقیقی نظارت و ثبت شود که این امر باعث تغییر از روش نگهداری رویدادگرا به روش نگهداری وضعیت گرا خواهد شد.

ه) کاهش هزینه‌های مربوط به عملیات بهره‌برداری و نگهداری

استفاده از کنترل نظارتی و داده‌گیری اتوماتیک ممکن است بسیاری از عملیات دستی در نیروگاه‌های قدیمی‌تر را کاهش دهد. همچنین مانیتورینگ بهبودیافته داده‌های نگهداری و بهره‌برداری می‌تواند در مشخص کردن نیازهای نگهداری کمک کرده و خروج های اجباری را کاهش دهد.

۲-۴-۲- هزینه‌ها

در مطالعات امکان سنجی هزینه‌های مربوط به نوسازی در نظر گرفته می‌شود .این هزینه ها به چندین دسته تقسیم می‌شوند .مطالعات امکان سنجی مربوط به نوسازی نیروگاه برق‌آبی اغلب نیاز به تست تجهیزات، بررسی تلفات مسیر عبور آب، سطح آب رودخانه و میزان جریان آن دارد تا شرایط موجود پیش از تغییرات نیروگاه را لحاظ نماید.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

تعیین مقادیر مرجع پیش از اینکه بتوان ارزیابی اقتصادی را به اتمام رساند و برنامه مشخصی را تهیه کرد، ضروری است.

الف) هزینه‌های مستقیم

الف- هزینه خرید و راه اندازی تجهیزات جدید یا تغییر در تجهیزات موجود

ب- هزینه‌های طراحی، مهندسی، خرید، مطالعات زیست محیطی، نظارت بر تست ه ای کارخانه ای، راه اندازی در سایت، آموزش و غیره.

ج- بازرسی و نظارت کارگاهی

ب) هزینه‌های غیر مستقیم

الف- امور اداری

ب- کارشناسان فنی و نیازهای آن‌ها همچون دستگاه های کپی، تدارکات، روشنایی، اجاره دفتر، تلفن و کامپیوترها

ج- مدیریت عمومی

ج) هزینه‌های مربوط به سرمایه گذاری

الف- استهلاک سرمایه و ارزش بازیافتنی

ب- بازگشت سرمایه

ج- عدم امکان فروش برق در هنگام خروج واحد ناشی از برنامه نوسازی

د- مالیات ها

ه - بیمه

و هزینه تأمین مالی هنگام نوسازی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل سوم

الگوهای نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل سوم الگوهای نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها

۳-۱- مقدمه

با توجه به وضعیت هریک از تجهیزات ممکن است بهتر باشد بجای پیاده کردن و تعمیر، آن‌ها را تعویض کرد. در صورت وجود هرکدام از موارد زیر (به تنهایی یا تواماً)، توصیه می‌شود که قطعه یا تجهیز تعویض گردد.

الف- درصورت وجود صدمه فیزیکی یا فرسودگی

ب- در صورتی که قبلاً به‌صورت مکرر تعمیر شده باشد.

ج- مشخصات فنی آن جوابگوی نیاز جدید مربوطه نباشد.

د- مشخصات آن جوابگوی نیازهای سیستم نباشد.

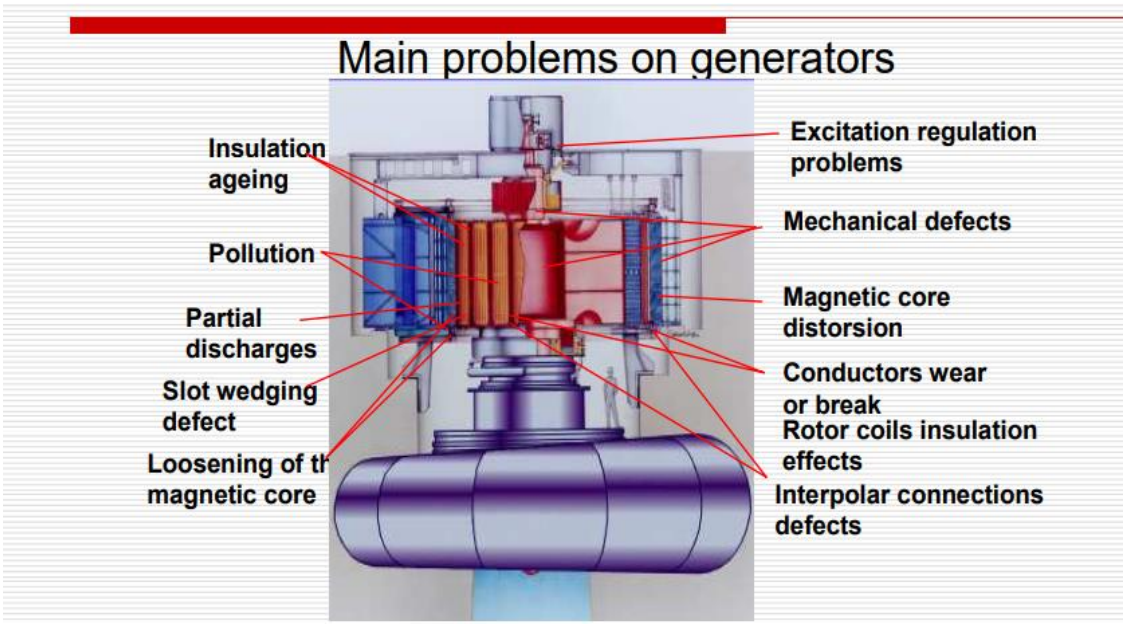
ه- دسترسی مناسبی به قطعات جایگزین تجهیز موجود نباشد.

و- از نظر الزامات ایمنی مشکل داشته باشد.

علاوه بر این پیشنهاد می‌شود که ملاحظاتی برای جایگزینی تجهیزات با توجه به عمر مفید و ساعت‌های کاری هریک، اتخاذ شود .به‌عنوان مثال در سیستم‌هایی که دارای مقره هستند، مقره ها به تدریج با گذشت زمان دچار فرسودگی و پیری می‌شوند که این امر از طریق بازرسی یا تست غیرمخرب قابل تشخیص نیست. اگر تجهیزی مورد نوسازی یا جایگزینی قرار گرفت باید برای راه اندازی آن از استاندارد (IEEE Std 1248) استفاده کرد.

۳-۲- بهسازی ژنراتورها

بهسازی ژنراتورها معمولاً شامل ارتقای ظرفیت آن‌ها می‌باشد. قطعات مشخصی از قبل حلقه‌های کلکتور، کفشک ترمز، تبادل کننده‌های حرارتی از روغن به آب یا از هوا به آب با گذشت زمان دچار فرسودگی خواهند شد. هرچند که این قطعات، از قطعات اصلی ژنراتور محسوب نمی‌شوند ولی خرابی این قطعات جانبی قطعاً اثر قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش هزینه نگه‌داری ژنراتور داشته و بهسازی ژنراتور فرصتی را برای رفع مشکلات مذکور ایجاد نماید. به‌عنوان مثال، افزودن سیستم خلأ گرد ترمز ممکن است هزینه‌های ناشی از تمیز کردن ژنراتور را کاهش دهد.



شکل ۳-۱- مسائل و مشکلات رایج در ژنراتورهای نیروگاهی[۲]

سیم‌پیچ استاتور تجهیزی است که تحت تأثیر زمان و تغییرات دما فرسوده خواهد شد. درصد زیادی از خروج‌های ناگهانی سیستم ناشی از خرابی‌های ایجادشده در سیم‌پیچ‌های استاتور می‌باشند. به خاطر پیشرفت‌های بسیار زیاد در مواد عایقی و روش‌های طراحی، استفاده از سیم‌پیچی جدید در استاتور مزایای بسیاری از قبیل افزایش قدرت، قابلیت اطمینان و طول عمر به همراه خواهد داشت.

هسته استاتور، سیم‌پیچی روتور یا هردو ممکن است در هنگام بهسازی تعویض شوند.

هسته روتور و سیم‌پیچی استاتور در ژنراتورهای قدیمی ممکن است دارای آزبست (پنبه نسوز) باشند. هنگام تعویض سیم‌پیچ‌های قدیمی یا دیگر مواد دارای آزبست باید به موارد ایمنی، زیست محیطی و مسائل مربوط به کار با این مواد کاملاً توجه نمود. در این بخش به بررسی امکان ارتقای قدرت ژنراتور با توجه به پیشرفت فن‌آوری‌های موجود در زمینه مواد عایقی خواهیم پرداخت. اغلب ژنراتورهایی که تا قبل از سال ۱۹۶۰ میلادی ساخته‌شده‌اند را می‌توان بهسازی کرده و ظرفیت خروجی آن‌ها را تا مقدار قابل توجهی افزایش داد. هرچند که طراح باید مشخصات تمامی قطعات ماشین را (همچون اولین باری که ماشین طراحی شده است) در نظر بگیرد. به‌عنوان مرجع برای انجام این کار می‌توان از استاندارد ANSI C50.10-1990 استفاده نمود. انجام هر بهسازی در ژنراتور باید شامل ارزیابی موارد سازه‌ای و مکانیکی واحد نیز باشد. جداول زیر به منظور اطمینان از بررسی تمام موارد مربوط به طراحی ژنراتور ارائه شده‌اند. برای راه‌اندازی ژنراتورهای بهسازی شده باید از استانداردهای IEEE Std 810 و IEEE Std 1095 استفاده نمود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شکل ۳-۲- چک‌لیست بهسازی ژنراتورها – بخش اول [۱]

عنوان	فوندانسیون استاتور	فریم استاتور	هسته استاتور	سیم‌پیچ استاتور	بدنه قطب روتور	سیم‌پیچ قطب روتور	سیم‌پیچ‌های دمپر	طوقه روتور	بدنه روتور	کلیدهای روتور	شفت
ل و متحدالمرکز بودن		بررسی شود	بررسی شود					بررسی شود			
وشکاری/لحیم		بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود		بررسی شود	بررسی شود		بررسی شود		
ودن حرکت شعاعی		بررسی شود						بررسی شود			
زم برای بستن و نصب	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود			بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود
و بی‌نقص بودن بتن	بررسی شود	بررسی شود									
و شکاف‌های موجود		بررسی شود			بررسی شود		بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود
های غیرهمسان			بررسی شود					بررسی شود			
ردشدگی در انشعاب‌ها			بررسی شود								
هات اسپات			بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود				
ضعیت ورقه‌ها			بررسی شود		بررسی شود			بررسی شود			
گی ناشی از سایش		بررسی شود	بررسی شود				بررسی شود			بررسی شود	
تلفات			بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود				
قاومت عایقی			بررسی شود	بررسی شود		بررسی شود					
تاژ قطع کرونا				بررسی شود							
لاس حرارتی			بررسی شود	بررسی شود		بررسی شود					
تعمیرات و سرویس	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود
تغییر شکل	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	
درت مکانیکی	بررسی شود	بررسی شود			بررسی شود	بررسی شود		بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود
ریب اطمینان	بررسی شود				بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود
ال مواد عایقی				بررسی شود		بررسی شود					
تمیز بودن		بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود

شکل ۳-۳- چک‌لیست بهسازی ژنراتورها – بخش دوم**[1]**

عنوان	یاتاقان کفگرد	هادی یاتاقان	سیستم تهویه	فوندانسیون براکت	سازه براکت
خوردگی ناشی از سایش	بررسی شود	بررسی شود			
دمای هنگام کار	بررسی شود	بررسی شود			
آنالیز مسیر متوسط مایع خنک‌کننده	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود		
تلفات	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود		
بارگذاری	بررسی شود	بررسی شود			
ضریب اطمینان	بررسی شود	بررسی شود			بررسی شود
جوشکاری					بررسی شود
قدرت مکانیکی					بررسی شود
تغییر شکل	بررسی شود	بررسی شود			بررسی شود
استفاده از هوا به‌عنوان ماده خنک‌کننده			بررسی شود		
سالم و بی‌نقص بودن بتن				بررسی شود	

تاور لازم برای بستن و نصب				بررسی شود	بررسی شود
رک‌ها و شکاف‌های موجود	بررسی شود	بررسی شود			بررسی شود
تمیز بودن	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود		
نشت روغن	بررسی شود	بررسی شود			

شکل ۳-۴-چک لیست بهسازی ژنراتورها – بخش سوم**[1]**

عنوان	سیستم تبادل حرارت	ترمزها و جک‌ها	سیستم گردش روغن با فشار زیاد	کنترل‌کننده‌ها
تمیز بودن	بررسی شود		بررسی شود	
نشتی	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	
قابلیت	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	
سوابق تعمیرات و سرویس	بررسی شود	بررسی شود	بررسی شود	
کفایت سیستم حفاظت				بررسی شود
اصلاح و بهسازی به‌منظور افزایش قابلیت			بررسی شود	

۳-۲-۱- ملاحظات الکتریکی سیستم

امروزه پیشرفت فناوری، امکان افزایش ظرفیت ژنراتورهای قدیمی موجود در نیروگاه‌ها را فراهم کرده است. پیشرفت علوم مهندسی در زمینه‌های ذیل باعث ایجاد امکان ارتقای ظرفیت ژنراتور شده‌اند:

الف- سیستم عایقی سیم‌پیچ‌های استاتور

ب- دستگاه‌های تهویه و خنک‌کننده

ج- آنالیز حرارتی

د- آنالیز رایانه‌ای

ه- بازسازی هسته استاتور

جدول زیر نتایج حاصل از بهسازی و ارتقای ظرفیت یک ژنراتور را نشان می‌دهد، در این مورد سیم‌پیچ‌های روتور و استاتور تعویض شده‌اند ولی سیستم تحریک حفظ شده است.

شکل ۳-۵- نتایج حاصل از بهسازی و ارتقای ظرفیت یک ژنراتور

مشخصات	پیش از بهسازی	پس از بهسازی
سیم‌پیچ روتور	**کلاس B – تسمه‌ای**	**کلاس F – تسمه‌ای**
سیم‌پیچ استاتور	**کلاس B – آسفالت**	**کلاس F – اپوکسی**
ظرفیت نامی	**125 MVA- 0.95 PF – 13.8 kV**	**125MVA – 0.95 PF – 13.8 Kv**

اضافه‌بار	15%	ندارد
سیستم تحریک	655 Kw – 500 V – 750 V	بدون تغییر
SCR	0.885	0.885
جریان میدان در حداکثر بار	1040 A dc	1036 A dc
حداکثر افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ روتور در بار حداکثر	80	80
حداکثر افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ استاتور در بار حداکثر	80	80
راندمان در بار حداکثر	% 98.11	% 98.39
وزن مس در سیم‌پیچی روتور	20412 kg	31480 kg
وزن مس در سیم‌پیچی استاتور	12788 kg	17092 kg
حداکثر گشتاور بار	9011250 Nm	10880250 Nm

بهسازی و ارتقای ظرفیت ژنراتور ممکن است تغییراتی را در اینرسی، رآکتانس‌ها یا ثابت‌های زمانی آن ایجاد کند. در هریک از این موارد، پارامترهای ماشین را باید با توجه به مشخصات توربین موجود مجدداً ارزیابی نمود. اعمال تغییرات در طرح توربین ممکن است منجر به ایجاد تغییراتی در سرعت توربین شود که درنتیجه باعث ایجاد تنش بیشتری بر روی قسمت‌های چرخان شده و در هنگام حذف بار الکتریکی اضافه ولتاژ را افزایش دهد.

ازآنجایی‌که جریان میدان ژنراتور با افزایش بار زیاد می‌شود، ظرفیت سیم‌پیچی روتور یا سیستم تحریک (و یا هردو) ممکن است جوابگوی نیاز جدید سیستم نباشند. در این حالت ضریب قدرت نامی ممکن است عوض شود، سیم‌پیچی روتور ممکن است تغییر یابد و یا ممکن است سیستم تحریک متناسب با نیازهای جدید عوض شود. در ادامه این بخش به بحث در خصوص اعمال موارد فوق‌الذکر بر ژنراتورهای موجود پرداخته می‌شود.

- **عایق سیم‌پیچ**

سیستم‌های عایقی جدیدتر با کلاس حرارتی بالاتر برای سیم‌پیچ‌های استاتور، ضخامت کمتر و قابلیت هدایت حرارتی بیشتری نسبت به سیستم‌های عایقی قدیمی ازجمله سیستم‌های عایقی براساس عایق آسفالت وجود دارند. چون در صورت استفاده از عایق‌های جدید با ضخامت کمتر و قابلیت هدایت حرارت بیشتر امکان استفاده از مس بیشتری در سیم‌پیچ‌ها فراهم می‌شود، لذا ظرفیت ژنراتور افزایش خواهد یافت. در سیم‌پیچ‌های تعویض شده می‌توان ابعاد هسته و نحوه طراحی آن را به‌منظور کاهش تلفات هسته (فوکو و هیسترزیس) تغییر داد.

- **سیستم تهویه ژنراتور**

تست‌های سیستم تهویه در ژنراتورهای قدیمی نشان داده‌اند که در بسیاری از این ژنراتورها طرحی برای تهویه در نظر گرفته نشده است. در بعضی از موارد عملکرد مطلوب سیستم تهویه تنها در شرایط نامی ژنراتور امکان‌پذیر است. بنابراین انجام تست‌های جریان هوا و عملکرد سیستم تهویه برای اطمینان از قابلیت سیستم تهویه در تبادل حرارت اضافی ناشی از افزایش ظرفیت ژنراتور (پس از بهسازی و ارتقا) ضروری است. این

تست‌های شامل اندازه گری جریان و فشار هوا در مناطق بحرانی ماشین می‌باشد. کارایی سیستم تهویه را می‌توان با استفاده از عوامل ذیل بهبود بخشید:

الف- افزودن طراحی مجدد پره‌های فن روتور

ب- افزودن یا طراحی مجدد مسیرهای عبور هوا برای کنترل جریان هوا

د- تبدیل یک سیستم تهویه باز به یک سیستم تهویه از نوع بسته

ممکن است کل جریان هوا مهم‌ترین پارامتر مورد بررسی نباشد. مهم این است که جریان هوای خنک‌کننده باید به‌طور مناسب و متناسب با گرمای ایجادشده در هر قسمت ژنراتور توزیع شود.

- **آنالیز حرارتی**

بررسی تست‌های کارایی ماشین‌های قدیمی نشان می‌دهد که بسیاری از آن‌ها با توجه به شرایط گارانتی دارای ضرایب اطمینان قابل‌توجهی برای کار در حالت دائم می‌باشند. سیم‌پیچی مجدد این ماشین‌ها با استفاده از عایق اپوکسی میکا تا ۱۵٪ حداکثر دمای مجاز قابل‌تحمل توسط ماشین در شرایط کار دائم را بهبود می‌بخشد. استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری جهت شبیه‌سازی مدل‌های انتقال حرارت مرتبط با سیم‌پیچی‌ها، دندانه، هسته و هوای سیستم تهویه با محاسبه دقیق تلفات حرارتی، این امکان را به طراح می‌دهد که دمای قسمت‌های مختلف ماشین را با دقت بسیار خوبی پیش‌بینی نماید. پیش‌بینی دقیق دمای قسمت‌های مختلف ماشین ضرایب اطمینان موردنیاز برای کار ماشین در حالت دائم را کاهش داده و این امکان را می‌دهد تا از ماشین در دمای بالاتری نسبت به شرایط گارانتی (که به خاطر عدم امکان پیش‌بینی دقیق دمای ماشین در هنگام طراحی اولیه با ضرایب اطمینان بالا در نظرگرفته شده بوده است) بهره‌برداری گردد.

سیم‌پیچ‌های اصلی ژنراتور (مربوط به طراحی اولیه) معمولاً با ضرایب اطمینان بالاتری در نظر گرفته‌شده‌اند و بنابراین دارای قابلیت انتقال جریان اضافی ناشی از بهسازی و ارتقای ژنراتور می‌باشند. به خاطر ساختار نسبتاً ساده و تنش‌های کم در هنگام کار، سیم‌پیچ‌های روتور معمولاً دچار فرسودگی قابل‌توجهی نشده و به‌ندرت در هنگام بهسازی سیستم نیاز به تعویض آن‌ها احساس می‌شود.

هنگامی‌که نیازهای حرارتی و تلفات سیستم ارتقا یافته تعیین می‌شوند، به‌منظور اطمینان از وجود ظرفیت کافی جهت انتقال گرما توسط سیستم تهویه می‌توان قابلیت این سیستم را در شرایط کار جدید، بررسی کرد. همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شده در مورد ژنراتورهای قدیمی به خاطر بالا منظور شدن ضرایب اطمینان در هنگام طراحی اولیه می‌توان دمای قابل‌تحمل توسط ژنراتور را در حالت دائم کار افزایش داد.

- **آنالیز رایانه‌ای**

روش‌های محاسبه پارامترهای الکتریکی ماشین بهبود یافته‌اند. استفاده از ابزارها و الگوریتم‌های جدید براساس تجارب کسب‌شده در سال‌های اخیر هم‌اکنون امکان‌پذیر است. هم‌اکنون می‌توان صحت یا سقم روابط و فرمول‌های موجود که به‌صورت تجربی به‌دست‌آمده بودند را با استفاده از روش آنالیز اجزای محدود بررسی کرد. تعداد و پیچیدگی شرایط و مقررات طراحی ژنراتورها افزایش‌یافته است. ممکن است به دست آوردن اطلاعات لازم جهت طراحی نیازمند بررسی و مدل‌سازی دقیق ژنراتور باشد.

۳-۲-۲- ملاحظات مکانیکی سیستم

بحث آتی در خصوص مباحث مکانیکی خواهد بود که باید در مراحل اولیه مطالعات بهسازی و ارتقای سیستم مورد بررسی و توجه قرار گیرد و همچنین در مورد مشکلاتی که طراح در هنگام بررسی این مباحث با آن‌ها درگیر است نیز بحث خواهد شد.

- **ملاحظات مربوط به طراحی مکانیکی ژنراتور**

ژنراتورهای واحدهای قدیمی از نظر مکانیکی طوری طراحی شده‌اند تا در هر شرایطی در محدوده کاری مجاز کار کنند و به خاطر عدم امکان مدل سازی دقیق ماشین (در هنگام طراحی اولیه)، در بسیاری از موارد ضرایب اطمینان آن‌ها در مقایسه با طراحی های فعلی (که بر اساس مدل سازی دقیق ماشین انجام می‌شود)، نسبتاً بزرگ در نظر گرفته شده‌اند. هنگام مرور طراحی اولیه ماشین به چهار دلیل ذیل باید این کار را با دقت انجام داد.

الف- روش‌های تحلیلی:

روش‌های پیشین طراحی ماشین محدود و بسیاری از تحلیل ها ساده بوده اند. استفاده از محاسبات رایانه ای و محاسبات پیچیده فنی که هم اکنون در طراحی ماشین ها به کار گرفته می‌شوند در آن زمان امکان پذیر نبوده است. لذا برای جبران عدم دقت در محاسبات از ضرایب اطمینان بزرگ استفاده م یشده است.

ب- مواد:

هم اکنون کیفیت مواد و روش‌های تضمین کیفیت پیشرفت کرده است. برخی مواد از قبیل مواد ریخته گری شده اهمیت قابل ملاحظه ای دارند. به‌عنوان مثال بدنه ریخته گری شده ماشین ممکن است دارای تر کهای قابل توجهی باشد که تنها به دلیل در نظر گرفتن ضرایب اطمینان بزرگ در طراحی اولیه هیچ گاه این ترک ها مساله ساز نمی‌شوند. مواد دیگر نیز ممکن است در معرض تنش های بار، شکنندگی یا خوردگی در دوره زمانی کارکرد ماشین تاکنون بوده باشند.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ج- فرآیند ساخت:

کنترل کیفیت، بازرسی، شکل دهی، روش ساخت و روش‌های کنترل تلران سهای دستگاه ها چندان پیشرفته نبوده اند.

د- تجربه:

پیش تر سوابق تاریخی و تجارب اندوخته شده در هنگام طراحی، ساخت و کارکرد ماشین در مواردی که ماشین در حالت اضافه‌بار یا اضافه سرعت کار کرده در دسترس نبوده است. اطلاعات بیش تر از کارکرد ماشین در شرایط غیر عادی به طراحان امروزی یک برتری نسبت به پیشینیان خود می‌دهد.

یک مشکل اساسی در مرور طراحی به‌منظور بهسازی و ارتقای ماشین از نظر مکانیکی در دسترس نبودن مشخصات مواد اصلی، محدوده تنش محاسبه شده، نتایج کنترل کیفیت مواد اصلی، روش ساخت و دیگر داده های ثبت شده در زمان قدیم می‌باشد. قابل تصور است که نقشه‌های مربوط به ساخت، طرح و مواد ماشین موجود باشند، هر چند که ممکن است نتوان به سادگی اطلاعاتی در خصوص اصلاحات انجام شده در نقشه هنگام ساخت، تغییرات اعمال شده در ماشین هنگام نصب، دوره بهره‌برداری و همچنین شرایط بارگذاری واقعی ماشین در طول دوره بهره‌برداری را به دست آورد.

- **اثرات ناشی از تغییر گشتاور**

تغییر در بارگذاری قطعات مکانیکی ماشین، ناشی از افزایش گشتاور می‌باشد. گشتاور به‌طور مستقیم با قدرت متناسب است و با سرعت و راندمان نسبت معکوس دارد. چون در بهسازی و ارتقای واحد های موجود، امکان افزایش ظرفیت واحد از چند درصد تا حدود ۵۰ ٪ وجود دارد لذا بررسی اثرات حاصل از تغییر گشتاور قطعات ناشی از بهسازی و ارتقای واحد حائز اهمیت است.

بایستی بین پارامترهای اصلی سیستم قدیمی و پارامترهای سیستم جدید مقایسه انجام شود. در بعضی از موارد واحد برای دوره های زمانی طولانی در شرایط اضافه‌بار کارکرده و عملکرد واحد در این شرایط اضافه‌بار نشان می‌دهد که واحد چگونه در شرایطی فراتر از شرایط نامی خود، کار م یکند. قطعاتی از ماشین که در صورت تغییر گشتاور (ناشی از بهسازی و ارتقای ظرفیت) بی شترین تاثیرپذیری را دارند عبارت‌اند از:

الف- محور:

بررسی اثرات ناشی از تغییر گشتاور محور اصلی در صورت تغییر کامل گشتاور، طراحی اصلی، پیکربندی و روش تحلیل نسبت به بررسی همین عوامل در هنگام تغییر گشتاور در بدنه ماشین آسان‌تر است. در صورت

نیاز، با استفاده از تست اولتراسونیک محور در سایت (تست میدانی) می‌توان از صحت عملکرد مکانیکی آن مطمئن شد. هنگام بررسی و مرور طراحی باید به کوپلینگ‌ها نیز دقت و توجه نمود.

ب- بدنه:

گشتاور بار کامل از طریق محور توربین به بدنه منتقل می‌گردد. روش‌های طراحی متفاوت بوده و تحلیل آن‌ها می‌تواند پیچیده باشد. می‌توان گفت که تحلیل مسائل ناشی از افزایش گشتاور در بدنه ماشین پس از بهسازی و ارتقاء از بررسی همین امر در قطعات دیگر مشکل تر و پیچیده تر است. تنش های ناشی از گشتاور، تنها بخشی از کل تنش ه ایی هستند که در بدنه ماشین توزیع می‌شوند. تنش های ناشی از نیروی گریز از مرکز، وزن قطعات و انقباض لبه ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابراین افزایش گشتاور الزاما به معنی افزایش تنش ماکزیمم در بدنه نیست.

ج- ارتباط لبه به بدنه و بدنه به محور:

این ارتباطات کل تغییر گشتاور را به بدنه منتقل می‌کنند ولی معمولاً در شرایط افزایش بار ممکن است کمی مشکل ساز باشند.

د- استاتور:

بسته به تغییرات الکتریکی ایجاد شده، گشتاور اعمالی به استاتور در حالت اتصال کوتاه ممکن است تغییر کند. هرچند که این تغییر اغلب در مقایسه با گشتاور نامی ماشین چندان قابل توجه نیست. اتصالات فریم استاتور به فونداسیون و هسته استاتور به فریم آ نرا نیز باید در مرحله مرور طراحی مورد بررسی قرار داد.

- **کشش مغناطیسی و پایداری واحد**

برخی تغییرات الکتریکی در استاتور روی پایداری عملکرد واحد موثر می‌باشد. کشش مغناطیسی غیر متعادل ما بین روتور و استاتور می‌تواند با تغییرات فاصله هوایی، تعداد و ترتیب قرار گرفتن مدارهای استاتور تغییر کند. در یک استاتور که هسته و سیم‌پیچ آن تعویض شده باشد، کشش مغناطیسی می‌تواند به‌طور قابل توجهی با مقدار قبلی آن تغییر کند. چنین تغییری می‌تواند بر یاتاقان راهنما و باری که بر محور آن اعمال می‌شود، سرعت بحرانی واحد زیر بار، تکان دینامیکی محور در هنگام کار ماشین و رفتار استاتور ماشین تاثیرگذار باشد.

- **اثرات مربوط به توربین**

برنامه بهسازی ممکن است شامل تغییر و اصلاح توربین نیز باشد. اگر بهسازی توربین قسمتی از برنامه کلی بهسازی باشد، طراح ژنراتور باید اثرات ناشی ازتغییرات احتمالی ایجاد شده را نیز در نظر گیرد. اگر سرعت نامی، حداکثر سرعت فرار، وزن توربین یا نیروی هیدرولیکی آن تغییرات قابل توجهی را در شرایط بارگذاری توربین ایجاد کنند، در این صورت نیاز به بررسی این عوامل احساس می‌شود.

تغییرات سرعت استثنا بوده و در این بحث با جزییات مورد بررسی قرار نخواهد گرفت. ایجاد تغییر در سرعت نامی یا حداکثر اضافه سرعت بر بیش تر قطعات مهم تاثیر خواهد گذاشت. اگر احتمال افزایش حداکثر سرعت یا سرعت نامی توربین متصور باشد، زمان لازم برای مرور طراحی، طولانی تر خواهد شد. حتی در صورت استفاده مجدد از توربین موجود، مشخصات توربین از قبیل نیروی هیدرولیکی، ممکن است تغییر یافته باشد. طراح باید برای مرور طراحی ژنراتور شرایط بارگذاری اولیه توربین را از سازنده آن اخذ کند.

تغییر نیروی هیدرولیکی توربین، تاثیر مستقیمی بر یاتاقان کفگرد و سازه محافظ آن دارد. از نتایج حاصل از تحلیل کامل یاتاقان موجود می‌توان برای افزایش ظرفیت بار استفاده کرد. اگر به خاطر محدودیت های ناشی از یاتاقان مجبور به انجام اصلاحاتی باشیم، با اعمال کمی تغییر در قطعات موجود قادر به گرفتن نتیجه مطلوب خواهیم بود. مقایسه مقادیر اصلی طراحی شده اولیه با شرایط بارگذاری جدید باید با دقت زیادی انجام شود. دلیل عملکرد رضایت بخش یاتاقان یک توربین در خلال سال‌های متمادی ممکن است به این خاطر باشد که هیچ گاه باری معادل شرایط طراحی اولیه به آن اعمال نشده و همواره یاتاقان در حاشیه امنیتی خوبی کارکرده باشد. سازه محافظ مکانیکی نیز باید از نظر قابلیت تحمل تنش بیش تر و حداکثر قدرت شکست مورد بررسی قرار گیرد. اثر نیروی هیدرولیکی بر تنش شعاعی محور توربین معمولاً چندان قابل توجه نیست.

تغییر دبی نامی توربین ممکن است منجر به افزایش بار سروموتورهای کنترل کننده توربین شود. سرو موتورهای ویکت گیت و سروموتورهای تیغ ههای رانر تحت تاثیر تغییر دبی نامی توربین قرار خواهند گرفت. ابعاد سروموتور، فشار هیدرولیکی قابل تولید توسط سرو موتور، سایز کردن پمپ روغن، پایپینگ سروموتور و طراحی شیر کنترل کننده گاورنر باید مجددا مورد بررسی قرار گیرد تا تعیین شود که آیا جریان و قدرت تغییر یافته توربین، نیازمند ایجاد تغییراتی در سیستم کنترل توربین خواهد بود یا خیر.

- **تمیز کردن، بازرسی و آزمایش**

تنها با سیم‌پیچی مجدد استاتور، بدون داشتن اطلاعات دقیقی از شرایط ژنراتور و کارایی آن، نمی‌توان بهسازی را به‌صورت قابل‌اطمینان انجام داد. بسیاری از بهره برداران یا سازندگان نتایج حاصل از تست‌های کارایی ژنراتور را که در هنگام نو بودن ژنراتور انجام شده، ثبت کرده اند. اگر هیچ اصلاحی در سیستم تهویه اصلی و اولیه ماشین انجام نشده باشد، نتایج حاصل از تست دمای ماشین در شرایط اولیه می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در زمینه طراحی ماشین ارتقا یافته را در اختیار طراح بگذارد. در یک ماشین قدیمی، تلفات هسته و دندانه ممکن است در اثر پیری و فرسایش عایق سیم‌پیچی ها و عایق بین ورق ههای افزایش یابد (هرچند که سایش بین ورقه ها بسیار کم است معمولاً رنگ عایق بین ورق ها بر اثر تغییرات دما خاصیت خود را از دست می‌دهد). بنابراین اگر در بهسازی اساسی ماشین قرار است مجددا از هسته قدیمی استاتور استفاده شود، تست‌های صحت عملکرد عایق هسته و تست‌های اندازه‌گیری تلفات جدید ماشین باید انجام شوند چون تلفات هسته زیادتر باعث افزایش دمای سی مپیچی خواهد شد. بحث بیش تر در این خصوص در استاندارد IEEE Std 1™ انجام شده است.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

تمیز نمودن کامل قطعات ژنراتور بخشی لازم و ضروری جهت اصلاح و ارتقای آن می‌باشد. این کار بایستی پیش از تعیین طرح ارتقای ژنراتور انجام شود تا امکان بازبینی دقیق قطعات مکانیکی ژنراتور فراهم آید. این امر به ویژه درصورتی‌که حتی یک قطعه از قطعات اصلی ژنراتور از جنس ریخته گیری شده باشد بسیار مهم است. بازرسی ژنراتور باید شامل یک بررسی کامل ظاهری قطعات ماشین مطابق جدول ۲ باشد. بهتر است برای بازرسی قطعاتی که در معرض تنش های شدید کاری قرار می‌گیرند از روش‌های دقیق تری از قبیل امواج اولتراسونیک، ذرات مغناطیسی یا رنگ ه ای نفوذ کننده جهت آشکار شدن بیشتر ترک ها استفاده شود. تحریک کننده‌های گردان و حلق ههای کلکتور نیز، باید دقیقا مورد بازرسی قرار گیرند. اگر قرار است از این قطعات به همراه سیم‌پیچ روتور بدون هیچ اصلاحی در ژنراتور ارتقا یافته شده استفاده شود، باید تست مقاومت عایقی و اندازه‌گیری مقاومت اهمی بر روی این قطعات انجام شود.

اگر تحریک کننده های استاتیک نیز در حیطه کار بهسازی ماشین قرار می‌گیرند، باید اطلاعات مربوط به ولتاژ قابل تحمل لای ها و خرابی احتمالی عایق آن از سازنده ژنراتور اخذ گردد. بهتر است به محض تکمیل کار ارتقای ژنراتور، با انجام یک سری تست، محدوده کار نامی ماشین ارتقا یافته را به‌منظور بهره‌برداری از ماشین در شرایط جدید تعیین نمود. به ویژه انجام تست‌هایی که مشخصه‌های ماشین در زمان آنالیز تخلیه جزئی و اندازه‌گیری فاصله هوایی ، طولانی بهره‌برداری را تعیین می‌کنند حائز اهمیت است. تست شیب در هنگام بهره‌برداری از ژنراتور (در صورت تعبیه تجهیزات لازم اندازگیری) از این قبیل تست‌ها می‌باشند.

۳-۳- سیستم تحریک

سیستم تحریک ژنراتور جریان لازم برای ایجاد میدان مغناطیسی را به‌منظور کنترل ولتاژ و توان راکتیو ماشین تأمین می‌کند. بسیاری از سیستم‌های تحریک که تا پیش از سال ۱۹۶۰ میلادی نصب‌شده‌اند، شامل یک تحریک‌کننده چرخان هستند که میدان اصلی ژنراتور را تغذیه کرده و یک رگلاتور نیز دارند که خروجی تحریک‌کننده پایلوت را کنترل می‌کنند. از سال ۱۹۶۰ تاکنون رایج‌ترین سیستم‌های تحریک استاتیک، سیستم‌های بوده‌اند که از رکتی‌فایرهای دارای پل تایرستوری استفاده می‌کنند. نوع دیگر سیستم تحریک رایج برای ماشین‌های کوچک‌تر پرسرعت از یک تحریک‌کننده فاقد جاروبک با یک ژنراتور چرخان AC و رکتی‌فایرهای چرخان تشکیل شده است. هر دو نوع سیستم تحریک مذکور را می‌توان به‌آسانی بهسازی نمود.

۳-۳-۱- نوسازی سیستم تحریک

دلایل موجود برای بهسازی سیستم‌های تحریک نیز مانند اغلب تجهیزات دیگر عبارت‌اند از: افزایش راندمان و قابلیت اطمینان، کارایی بهتر و نیاز کمتر به تعمیرات و نگهداری. هنگام بهسازی ژنراتورهایی که سیستم تحریک آن‌ها دارای جاروبک و حلقه لغزشی است، باید استفاده از سیستم‌های تحریک استاتیک یا بدون جاروبک موردتوجه قرار گیرد [۳]. در این صورت به خاطر حذف قطعات مکانیکی از سیستم تحریک، نیاز سیستم به تعمیرات دوره‌ای نیز کمتر شده و عملیات تعمیر و نگهداری سیستم تحریک به‌شدت کاهش می‌یابد. قطعات

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مکانیکی سیستم تحریک نیاز به بررسی مرتب و تعویض دوره‌ای قطعاتی دارند که ممکن است با گذشت زمان دیگر امکان تهیه وسایل تعویضی آن‌ها به دلیل عدم تولید این قطعات وجود نداشته باشد.

۳-۳-۲- ادوات تکمیلی

ساده‌ترین روش بهسازی سیستم‌های تحریک افزودن لوازم جانبی به تجهیزات موجود سیستم تحریک است. این روش معمولاً در مورد سیستم‌های تحریک استاتیک قدیمی به‌کاربرده شده و در بهسازی سیستم‌های چرخان کمتر از این روش استفاده می‌گردد. وسایلی که استفاده از آن‌ها به‌عنوان لوازم جانبی در این روش بهسازی مرسوم است عبارت‌اند از: محدودکننده‌های حداکثر و حداقل تحریک، جبران‌کننده افت توان راکتیو، تثبیت‌کننده سیستم قدرت[1]، رله میدان زمین[2]، نشانگر دمای استاتیک[3] و کنترل‌کننده وار[4] یا ضریب قدرت. همچنین پیشنهاد می‌شود به‌منظور پایش پارمترها توسط بهره برداران یک نمایشگر بر روی پنل تحریک نصب گردد. هرچند که این لوازم جانبی قابلیت‌های جدیدی را به سیستم اضافه می‌کنند، ولی استفاده از آن‌ها هیچ‌گاه مزایای تعویض کل سیستم تحریک یا بخشی از قسمت‌های آن را ندارد.

۳-۳-۳- جایگزینی قسمتی از سیستم تحریک

جایگزینی بخشی از تجهیزات معمولاً شامل جایگزین نمودن رگولاتور ولتاژ و تحریک‌کننده پایلوت با یک تنظیم‌کننده ولتاژ مدرن (حالت‌جامد[5]) می‌باشد که میدان تحریک‌کننده اصلی را به‌طور مستقیم تغذیه نماید. معمولاً رئوستای مربوط به میدان تحریک در این فرایند حذف می‌شود. مزایای این روش بهسازی هزینه نسبتاً کم آن، بهبود کارایی و قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد ولی در صورت استفاده از یک سیستم کاملاً استاتیک می‌توان مقدار راندمان سیستم را باز هم افزایش داد.

۳-۳-۴- جایگزینی کامل تجهیزات

یک تحریک‌کننده چرخان DC را ممکن است با یک تحریک‌کننده بدون جاروبک یا یک تحریک‌کننده استاتیک جایگزین نمود. در هر دو حالت، ممکن است در راندمان ژنراتور یک افزایش نسبی رخ دهد. هر دو حالت مذکور، مزایای از قبیل حذف شدن کموتاتور تحریک‌کننده و کاهش عملیات نگهداری آن را دارند. بهبود قابل‌توجهی که در راندمان رخ می‌دهد ناشی از حذف تلفات مکانیکی و مغناطیسی تحریک‌کننده چرخان و حذف مقاومت

[1] Power system stabilizer

[2] Field ground relay

[3] Static excitation system

[4] VAR controller

[5] Solid-state voltage regulator

متغیر مدار تحریک می‌باشد. سیستم‌های تحریک قدیمی هنگامی‌که جریانی نزدیک حد بالای طراحی اولیه از آن‌ها عبور کند ممکن است به خاطر استهلاک و فرسودگی در معرض قطعی قرار گیرند.

قابلیت در دسترس بودن سیستم‌های تحریک استاتیک نیز بسیار زیاد است. سیستم‌های تحریک از نوع چرخان، ممکن است در مقایسه با نیاز سیستم‌های کنترل کنونی زمان پاسخ طولانی داشته و در هنگام بروز خطاهای گذرا در سیستم عملکرد مطلوبی نداشته باشند. در مقابل زمان پاسخ سیستم‌های تحریک استاتیک در خطاهای گذرا مناسب بوده و می‌توان با استفاده از آن‌ها قابلیت پایداری ولتاژ سیستم را بالا برد. معایب سیستم‌های تحریک استاتیک هزینه اولیه زیاد و نیاز آن‌ها به فضای بزرگ جهت نصب می‌باشد. زمان خروج موردنیاز واحد جهت نصب یک سیستم تحریک استاتیک حداقل ۳ هفته است.

زمان پاسخ سیستم‌های تحریک بدون جاروبک، طولانی‌تر از زمان پاسخ سیستم‌های تحریک استاتیک است. یکی از مزایای سیستم تحریک بدون جاروبک، حذف حلقه لغزشی ژنراتور و عملیات مربوط به نگهداری آن است. تعبیه یک سیستم تحریک بدون جاروبک معمولاً ازنظر مکانیکی مشکلاتی را ایجاد می‌کند و به همین خاطر سیستم‌های تحریک استاتیک معمولاً به‌عنوان سیستم‌های تحریک جایگزین سیستم‌های تحریک قدیمی، بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرند.

۳-۴- ترانسفورماتورهای اصلی

بهسازی و ارتقای توان تولیدی توربین و ژنراتور در یک واحد برق‌آبی ممکن است مستلزم افزایش متناظر قدرت ترانسفورماتور اصلی واحد باشد. عوامل دیگری نیز در کنار بهسازی و ارتقای توربین و ژنراتور واحد وجود دارند که می‌توانند نیازمند بازبینی مجدد ظرفیت و پارامترهای ترانسفورماتور اصلی باشند. این عوامل شامل رشد سیستم انتقال از زمان نصب و راه‌اندازی اولیه واحد یا نیاز جدید سیستم انتقال به تولید توان راکتیو توسط واحد می‌باشند. بازبینی مجدد ترانسفورماتور اصلی واحد بایستی شامل بررسی ظرفیت نامی واحد برحسب MVA، امپدانس نامی و مشخصات تپ فشارقوی برای اطمینان از بهینه بودن قابلیت‌های تولید توان راکتیو واحد با توجه به نتایج حاصل از بررسی مطالعات جریان اتصال کوتاه در بریکرهای موجود یا جدید و سوئیچ گیر متصل به ترانسفورماتور اصلی واحد انجام شود. برای تعیین امپدانس ترانس به‌نحوی‌که قابلیت‌های ژنراتور را نیز انجام دهد استفاده از یک روش هماهنگ توصیه گردیده است. استاندارد IEEE Std C57.116 شامل دستورالعمل‌هایی در این خصوص می‌باشد.

اگر بهسازی و یا ارتقای توربین و ژنراتور واحد، ضرورت افزایش ظرفیت ترانس اصلی واحد را ایجاب کند، سیم‌پیچی مجدد ترانسفورماتور موجود واحد، روشی قابل‌اجرا برای افزایش ظرفیت ترانس می‌باشد، اما این روش به‌صرفه‌ترین روش ممکن نخواهد بود. اگر امکان استفاده از فن و پمپ روغن در سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتور از ابتدا تعبیه شده باشد، افزودن فن و پمپ روغن نیز روش دیگری است که به افزایش ظرفیت نامی ترانسفورماتور منجر خواهد شد. اگر ظرفیت نامی ترانسفورماتور با استفاده از سیم‌پیچی مجدد ترانس یا

تقویت سیستم خنک‌کننده آن افزایش یابد، بایستی قابلیت بوشینگ‌ها و ترانس‌های اندازه‌گیری جریان در تحمل میزان جریان افزوده‌شده ناشی از افزایش ظرفیت ترانس، بررسی شود.

علاوه بر این‌که نیاز به افزایش ظرفیت ترانس اصلی می‌تواند منجر به بهسازی ترانس شود، نیاز به بهبود قابلیت اطمینان ترانس اصلی نیز می‌تواند عامل دیگری باشد که منجر به بهسازی ترانس گردد. به‌عنوان مثال، ترانسفورماتورهای موجود که در آن‌ها از آب به‌عنوان ماده خنک‌کننده استفاده شده (OFWF,ODWF) را می‌توان با ترانسفورماتورهایی که سیستم خنک‌کننده قابل‌اطمینان‌تری دارند، مثلاً سیستم‌هایی که به‌طور طبیعی خنک می‌شوند (ONAN) و یا سیستم‌هایی که در آن‌ها خنک شدن روغن به‌طور طبیعی و هوا به‌طور اجباری انجام می‌شود (ONOF)، یا دیگر سیستم‌های خنک‌کننده جایگزین نمود. (به استاندارد IEEE Std C57.12.00) رجوع شود.)

هنگام ارزیابی سیستم‌های خنک‌کننده جایگزین برای استفاده در یک ترانسفورماتور افزاینده و پیش از انتخاب سیستم نهایی، باید به مشخصه‌های خاص بهره‌برداری از بعضی از این سیستم‌های خنک‌کننده توجه نمود. به‌عنوان مثال، استفاده از سیستم خنک‌کننده هوا اجباری-روغن اجباری (OFAF یا ODAF) باعث مزایای اقتصادی و کاهش حجم سیستم خنک‌کننده خواهد بود ولی در عوض محدودیتی را نیز به سیستم اعمال می‌کند به این صورت که باید همواره قسمتی از روغن خنک‌کننده سیستم، هنگامی‌که ترانس تحت بار است در مدار سیستم خنک‌کننده باشد. اگر حداقل نیاز سیستم به خنک‌کنندگی برآورده نشود، در این صورت ترانسفورماتور OFAF یا ODAF باید از مدار خارج شود تا از بروز اشکالات ناشی از دمای زیاد خودداری گردد. این محدودیت قابلیت در دسترس بودن سیستم را کاهش می‌دهد. در مواردی که برق موردنیاز واحد از طریق ترانسفورماتور اصلی تأمین شود نیز قابلیت اطمینان سیستم کاهش خواهد یافت.

در خصوص نشتی روغن از محفظه ترانس نیز باید توجه ویژه‌ای مبذول داشت. همچنین اثر زوال تدریجی روغن با گذشت زمان و محافظت سیستم در برابر آتش‌سوزی نیز بایستی موردتوجه قرار گیرد. بهسازی فرصت مناسبی برای ارزیابی روغن عایقی و بازیابی آن به‌منظور بهبود خواص عایقی است. اگر روغن ترانس حاوی مقدار بیش از مجاز ذرات PCB باشد بهتر است روغن را تعویض نموده و محفظه ترانسفورماتور را تمیز کرده و شستشو داد. در این صورت روغن تعویضی ترانسفورماتور باید طبق مقررات امحاء شود (ازجمله: IEEE Std C57.91™, IEEE Std C57.106™,).

بهسازی همچنین فرصت مناسبی برای ارزیابی مجدد و بهبود سیستم حفاظت ترانسفورماتور می‌باشد. در هنگام ارزیابی مجدد سیستم حفاظت ترانسفورماتور، باید به اثر تلفات حرارتی ناشی از سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتور در طرح حفاظتی آن توجه شود. در هنگام ارزیابی باید بین تعویض کامل ترانسفورماتور و بهسازی گسترده ترانسفورماتور موجود ازنظر اقتصادی بررسی صورت گیرد. تعویض ترانسفورماتور می‌تواند باعث افزایش ظرفیت، بهبود راندمان و قابلیت اطمینان ترانس شود.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۳-۵- گاورنرها

گاورنرهای قدیمی معمولاً دارای محرک مکانیکی – هیدرولیکی هستند. این سیستم از گاورنر هد (موتور بال هد، بال هد، دش پات، محدودکننده دریچه و مکانیسم تنظیم افت سرعت) تجهیزات تقویت‌کننده هیدرولیکی، (سوپاپ پایلوت و سوپاپ پخش‌کننده) و سیستم فشار روغن (پمپ‌های روغن، مخزن روغن، تانک فشار و کنترل‌کننده‌های مربوط به آن) تشکیل شده است. عمر مفید بعضی از قطعات گاورنر ممکن است از عمر مفید توربین (مربوط به آن گاورنر) کم‌تر باشد. در صورت وقوع هر یک از شرایط زیر باید گاورنر را برای نوسازی در نظر گرفت.

- هنگامی‌که هزینه نگهداری گاورنر بسیار زیاد شده باشد.

- هنگامی‌که تغییرات در حالت بهره‌برداری از پروژه رخ داده باشد.

- هنگامی‌که سیستم حفاظت مکانیکی بهتری موردنیاز باشد.

اگر گاورنر برای تعیین کارایی مورد تست قرار گیرد، برای بررسی نتایج جهت تعیین نیاز به بهسازی آن باید از استاندارد ASME PTC 29 استفاده کرد. گاورنرهایی که هزینه نگهداری آن‌ها زیاد شده است دارای یکی از شرایط ذیل می‌باشند:

- نیاز به تنظیم مکرر دارند.
- نرخ خرابی بالایی دارند.

- ارائه خدمات بعد از فروش توسط سازنده با مشکلاتی همراه است (قطعات یدکی گران‌قیمت شده‌اند، تأمین آن‌ها مشکل شده یا نایاب شده‌اند و یا اینکه سازنده اصلی دیگر قطعات یدکی را تأمین نمی‌کند).

بهبود عملکرد گاورنر شامل استفاده از سیستم کنترل سریع‌تر، کنترل‌های خودکار، کنترل از راه دور، کنترل متصل به بار، راندمان بالاتر، پایداری بهبودیافته یا الگوریتم کنترل غیرمعمول نیز ممکن است باعث ایجاد نیاز به بهسازی شوند. حفاظت مکانیکی بهبود یافته شامل افزودن وسایل قطع سیستم در شرایط ا ض طراری از قبیل دما، سطح یا فشار غیرمعمول می‌باشد. بحث بهسازی گاورنر در استاندارد IEEE Std 1207 ارائه شده و در صورت نیاز به بهسازی یا جایگزین نمودن یک گاورنر باید از استاندارد IEEE Std 125 نیز استفاده کرد.

۳-۵-۱- بهبود عملکرد گاورنر

یکی از ابتدایی‌ترین روش‌های بهبود عملکرد گاورنر، اضافه کردن تجهیزاتی است که عملکرد آن را راحت‌تر کند و یا حالات عملکردی جدیدی را ایجاد کند. این تجهیزات شامل کلیدهای محدودکننده سرعت برای کنترل اتوماتیک، تجهیزات مونیتورینگ از راه دور، کنترل اتوماتیک زاویه پره در توربین کاپلان، مقایسه کننده هد خالص، نشان‌دهنده خزش و وسایل حفاظت مکانیکی می‌باشند.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۳-۵-۲- تبدیل گاورنر به نوع الکترونیکی

مرحله بعدی در بهسازی گاورنر، استفاده از سیستم‌های الکترونیکی در گاورنر است. این امر شامل تعویض سیستم کنترل مکانیکی با تجهیزات الکترونیکی است که در گاورنرهای جدید یافت می‌شود. وسایلی که معمولاً باید جایگزین شوند شامل اهرم‌های شناور بالا و پایین، دشپات و لینکیج، بال هد و موتور آن، شاخص نشان‌دهنده افت سرعت موتور، و است که در سنجش سرعت کاربرد دارد. تجهیزات افزوده شده معمولاً شامل (PMG) گاهی اوقات ژنراتور مغناطیس دائم یک واسط الکتروهیدرولیک، ترانسیدوسرهای مربوط به سنجش موقعیت دریچه سد و سیگنال پسخور، کنترلر الکترونیکی یا دیجیتال گاورنر، تجهیزات سنجش سرعت، تراگردآن‌های اندازه‌گیری قدرت، تجهیزات تنظیم فشار روغن به‌صورت پایلوت و تجهیزات پیشرفته جهت فیلتر کردن روغن می‌باشد. با استفاده از سیستم‌های الکترونیکی در گاورنر معمولاً می‌توان تمام تغییرات لازم در حالت عملیاتی گاورنر را در زمان خروج نسبتاً کوتاهی انجام داد. و هزینه ناشی از بهبود عملکرد سیستم و کاهش هزینه‌های نگهداری آن را توجیه کرد. این روش معمولاً فقط در شرایطی قابل استفاده است که هزینه‌های نشای از نگهداری شیر اصلی توزیع و سیستم تأمین فشار هیدرولیک (HPSS) نسبتاً کم باشند.

۳-۵-۳- جایگزینی برخی از قطعات

جایگزینی برخی از قطعات نه‌تنها دربرگیرنده استفاده از سیستم‌های الکترونیکی در گاورنر می‌باشد بلکه شامل جایگزینی هدگاورنر و شیر اصلی توزیع نیز می‌باشد. تنها HPSS موجود و سروموتورهای اصلی تعویض نخواهند شد. هزینه ناشی از جایگزینی برخی از قطعات را نیز می‌توان با توجه به بهبود عملکرد سیستم توجیه کرد. از این روش زمانی استفاده می‌شود که هزینه نگهداری HPSS نسبتاً کم باشد.

۳-۵-۴- جایگزینی کامل

جایگزینی کامل گاورنر شامل جایگزینی (HPSS) می‌باشد. این امر معمولاً مستلزم داشتن یک سیستم عملگر فشار هیدرولیکی قوی‌تری می‌باشد که به‌نوبه خود نیاز به جایگزین نمودن سروموتور اصلی دارد. هزینه ناشی از جایگزینی کامل را می‌توان با توجه به بهبود عملکرد سیستم، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهبود حفاظت مکانیکی سیستم توجیه کرد. از این روش تنها در صورتی استفاده خواهد شد که هزینه نگهداری (HPSS) نسبتاً زیاد بوده یا حفاظت‌های مکانیکی سیستم کافی نباشند.

۳-۶- خروجی‌های اصلی ژنراتور و سوئیچگیر

خروجی‌های اصلی واحد و سوییچ گیر قسمت‌هایی هستند که معمولاً در هنگام بهسازی تجهیزات واحد مورد بررسی قرار می‌گیرند. درصورتی‌که قرار باشد ظرفیت نامی واحد افزایش پیدا کند باید بررسی قسمت‌های مذکور

را با دقت بیش‌تری انجام داد.دخروجی اصلی ژنراتور واحد ممکن است به‌صورت باس داکت یا کابل باشد. برای قطع جریان، ممکن است در کلید مدار شکن واحد از کلید پر شده با روغن، هوا – مغناطیس، خلأ، گاز SF6، یا از روش دمیدن هوا استفاده نمود. برای تشخیص کفایت سیستم موجود باید مراحل ذیل را قدم‌به‌قدم انجام داد.

الف- بازرسی سیستم برای تشخیص صدمه‌های ظاهری و قابل‌رؤیت، از قبیل نشانه‌هایی از جرقه یا زوال عایق سیستم باید انجام شود. ممکن است شرایط فیزیکی سیستم نیاز به جایگزین نمودن تجهیزات را دیکته کند.

ب- در صورت امکان تهیه و بررسی فایل تعمیرات و نگهداری دستگاه برای بررسی اینکه آیا در مدت کار سیستم خرابی در آن رخ داده است یا خیر.

ج- در صورت امکان تهیه اطلاعات درج شده بر روی پلاک دستگاه، نقشه‌ها، اطلاعات درج شده در کاتالوگ سازنده، دیتا شیت ها، گزارش‌های تست‌های مختلف و دیگر مدارکی که ممکن است حاوی اطلاعاتی در خصوص مقادیر نامی مشخصه‌های دستگاه به شرح ذیل باشند:

۱- حداکثر ولتاژ

۲- سطح BIL

۳- جریان دائمی

۴- قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه

۵- حداکثر جریانی که در کار سیستم ایجاد وقفه نماید.

د- مقادیر نامی خروجی‌های اصلی واحد و سوییچ‌گیر را با مقادیر مربوطه در ژنراتور مقایسه کنید. مطالعات اتصال کوتاه سیستم را برای تعیین سطوح خطای سیستم انجام داده و نتایج حاصل را با ظرفیت نامی تجهیزات مقایسه کنید.

۳-۷- حفاظت از تجهیزات الکتریکی

سیستم‌های رله الکتریکی به‌منظور حفاظت تجهیزات در شرایط بارگذاری غیرمعمول و شرایط بروز خطا طراحی می‌شوند. در هنگام بروز خطا، صدمه‌های احتمالی با عملکرد رله حذف شده یا کاهش می‌یابند. بنابراین حوزه عمل سیستم رله توسط هزینه تلفات احتمالی در صورت بروز خطا در سیستم و درک طراح از احتمال وقوع خطا در سیستم تعیین خواهد شد. کاربرد تمام رله‌های حفاظتی بایستی مورد بازنگری قرار گیرد. مثال‌هایی از این قبیل عبارت‌اند از:

- ترانسفورماتورهای قدرت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- تجهیزات تولید توان الکتریکی

- ترانسفورماتورهای مصرف داخلی

- سوئیچ گیر

- سیستم‌های DC

- مدارهای موتور

- مدارهای فیدر

- سیستم‌های تحریک

در هنگام بهسازی یک نیروگاه لازم است که هریک از رله‌ها و سیستم‌های حفاظتی را آنالیز کرد. بررسی و تشخیص موارد ذیل به‌خصوص در واحدهای قدیمی بسیار حائز اهمیت است:

- آیا رله‌های موجود قابل‌اطمینان، ایمن و قابل نگهداری هستند؟

- آیا با توجه به قدمت تجهیزات نیاز به استفاده از تجهیزات حفاظتی جدید در کنار سیستم موجود احساس می‌شود؟

- آیا می‌توان با استفاده از تجهیزات جدید کارایی سیستم حفاظت را بهبود بخشید؟

- آیا استانداردها و معیارهای حفاظتی رایج در زمان حال، در خصوص سیستم حفاظت واحد قدیمی صادق است؟

اگر قرار است در فرایند بهسازی ظرفیت نامی تجهیزات عوض شوند، مهم است که کاربرد رله‌ها را مورد ارزیابی مجدد قرار داد، تنظیمات رله‌ها را مجدداً محاسبه کرد، تست تجهیزات را انجام داد و مشخصات ترانس‌های اندازه‌گیری از قبیل بار، دقت اندازه‌گیری و نسبت تبدیل‌ها را مورد بازبینی قرار داد. هرچند که در واحدهای قدیمی به‌ندرت از رله رفع خطای بریکر استفاده شده ولی افزودن این رله به سیستم مطلوب بوده و این امر باید خصوصاً در نوسازی واحدهای آبی مورد توجه قرار گیرد.

رله‌های حفاظت دیجیتال دارای مزایایی از قبیل ثبت ترتیب وقوع حوادث، ثبت شکل موج خطا و استفاده از آن در تحلیل خطا و امکان پیش‌بینی خطا می‌باشند. برقراری ارتباط بین رله‌ها و سیستم کنترل از طریق یک بستر مخابراتی دیجیتال امکان انتقال اطلاعات ذخیره شده در رله‌های حفاظتی را فراهم می‌کند. بهبود سیستم تحریک ژنراتور به‌خصوص در مواردی که سیستم تحریک استاتیک موجود از ترمینال‌های ژنراتور تغذیه می‌شود، ممکن است نیاز به ارزیابی مجدد رله‌های ژنراتور را از قبیل رله‌های جریان زیاد ایجاب کند.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۳-۸- تجهیزات زمین کردن نقطه صفر ژنراتور

سیستم زمین نقطه صفر ژنراتور به‌عنوان قسمتی از مطالعات بهسازی سیستم بایستی مدنظر قرار گیرد. توصیه‌هایی که در خصوص زمین کردن نقطه صفر ژنراتور ارائه می‌شود، بستگی به نحوه اتصال ژنراتورها به سیستم دارد. زمین کردن نقطه خنثی با استفاده از امپدانس زیاد اغلب برای ژنراتورهای متصل به واحد توصیه می‌گردد. در این حالت ممکن است ژنراتور به‌طور مستقیم یا با استفاده از یک مدار شکن به ترانسفورماتور افزاینده وصل شده باشد، بنابراین هیچ مسیر اتصالی برای جریان‌های مؤلفه صفر یا ولتاژهای مؤلفه صفر برقرار نمی‌باشد. رله خطای زمین (با سیستم انتخاب‌کننده) یا مصارفی که بار حالت نامتقارن دارد از روش‌های دیگری جهت زمین کردن نقطه خنثی استفاده می‌کنند. این موارد شامل کاربردهایی که در آن ژنراتور با همان سطح ولتاژ خروجی ژنراتور به ژنراتورهای دیگر یا خطوط هوایی انتقال انرژی و سیستم‌های توزیع قدرت متصل است نیز می‌گردد.

به‌عنوان بخشی از عملیات بهسازی هنگامی‌که سیم‌پیچ‌های جدید استاتور یک ژنراتور نصب می‌شوند، اتصال نقطه خنثی و سیستم حفاظت بایستی با توجه به توصیه‌های موجود IEEE بهسازی گردد. این سیستم‌های توصیه‌شده برای به حداقل رساندن صدمه ناشی از اتصال کوتاه یک فاز به زمین ژنراتور و محدود کردن اضافه ولتاژهای گذرا در سیستم طراحی شده است.

تجهیزات سیستم زمین ژنراتورهای موجود اغلب شامل ترانسفورماتورهای جریان، مقاومت به‌صورت مستقیم در اتصال زمین ژنراتور یا در اتصال زمین ثانویه تراسفورماتور توزیع و ترانسفورماتورهای ولتاژ می‌باشد. تجهیزات حفاظت سیستم زمین شامل رله‌های ولتاژ و جریان متصل به ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری می‌باشند. جایگزین نمودن ترانسفورماتورهای دارای عایق روغن در طرح زمین کردن نقطه خنثی به‌خصوص در حالتی که این ترانس‌ها در فضای سربسته نصب شده باشند جهت اجتناب از وقوع آتش‌سوزی مطلوب است. آلوده شده است. بسیاری از ترانسفورماتورها دربرگیرنده روغنی هستند که با ترکیبات PCB آلوده شده است. انفجار این ترانسفورماتورها ممکن است باعث پخش و انتشار این مواد مضر در محیط گردد. قبل از دمونتاژ و حمل ترانس موجود از سایت، بایستی روغن ترانس را آزمایش کرده و میزان ترکیبات PCB را در آن تعیین نمود.

هرگونه بازبینی و تجدیدنظری در نحوه زمین کردن نقطه خنثی ژنراتور که تنش ولتاژ را در نقطه خنثی سیم‌پیچ استاتور ژنراتور قدیمی موجود افزایش دهد نیاز به بررسی دقیق شرایط عایقی ژنراتور در نقطه خنثی دارد. تغییر تنش ولتاژ در این نقطه ممکن است زوال عایقی سی مپیچی قدیمی ژنراتور را تسریع کرده و باعث ایجاد خطای زمین در ژنراتور گردد. زمین کردن نقطه خنثی با استفاده از مقاومت کم یا رآکتور برای فراهم نمودن امکان هماهنگی عایقی در شرایط خطای زمین اغلب در مواردی که قدرت در سطح ولتاژ ژنراتور توزیع می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت‌ها، ترانسفورماتورهای توزیع، ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری و نقشه‌های حفاظتی بایستی به‌عنوان قسمتی از فرآیند بهسازی مورد بازبینی قرار گیرند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل چهارم

مروری بر برخی از نوسازی‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه

فصل چهارم مروری بر برخی از نوسازی‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه

۴-۱- مقدمه

عمر یک نیروگاه، عمدتاً به عمر قطعات متحرک آن بستگی دارد. این قطعات به دلیل تحمل نیروهای متناوب مکانیکی و خستگی، زودتر فرسوده شده و کارایی خود را از دست می‌دهند. از طرف دیگر فن‌آوری‌های جدیدی هرسال در زمینه‌های مختلف از قبیل مواد، اندازه‌گیری، کنترل و... توسعه می‌یابد که نیروگاه‌های قدیمی موجود از آن‌ها بهره‌ای ندارند. این امر سبب می‌شود که بازده نیروگاه‌های فرسوده بسیار پایین‌تر از نیروگاه‌های جدید باشد. از طرف دیگر با توجه به هزینه سنگینی که صرف ایجاد نیروگاه شده است، هر طرح اقتصادی بهینه‌سازی، نوسازی و بازسازی که منجر به افزایش عمر نیروگاه و بالا رفتن بازده آن شود باید مورد بررسی قرار گیرد.

نوسازی‌های انجام شده در حوزه نیروگاهی را می‌توان به تفکیک شرکت مجری، محل پروژه و زمان انجام آن تفکیک نمود. در این بخش ابتدا تعدادی از پروژه‌های انجام شده در سطح جهان به تفکیک کشورها صورت می‌گیرد، سپس به بررسی تعدادی از پروژه‌های نوسازی انجام شده توسط برخی از شرکت‌های خارجی پرداخته می‌شود. در این بخش صرفاً به‌مرور تعداد مختصری از پروژه‌های نوسازی پرداخته می‌شود و معرفی فعالان و خبرگان این حوزه به‌طور مجزا در بخش ششم مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۲- برخی از پروژه‌های نوسازی نیروگاه‌های خارج از کشور

۴-۲-۱- آمریکا

الف) نیروگاه آبی Hartwell

نیروگاه آبی هارتول [۴] در شهر Hart از ایالت جورجیای آمریکا واقع شده است. این نیروگاه بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۲ ساخته شده است و در سال ۱۹۶۲ برای اولین بار در مدار قرار گرفت. نیروگاه در ابتدا از چهار ژنراتور تشکیل‌شده بود، اما با توجه به پیش‌بینی احتمالی نیاز به افزایش تولید، ژنراتور پنجم نیز در نظرگرفته شده بود که در سال در سال ۱۹۸۳ نصب شد.

چهار واحد اصلی هریک با قدرت ۶۶ مگاوات طراحی شده‌اند. به‌عبارت‌دیگر ، تحت شرایط کنترل‌شده ، هر واحد می‌تواند حداکثر ۶۶ مگاوات برق در ساعت تولید کند (واحد پنجم که بعدتر اضافه شد دارای قدرت نامی ۸۰ مگاوات است). بااین‌حال، به دلیل انجام نوسازی و تعمیرات اساسی، اخیراً قدرت تولیدی توسط چهار مولد

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

اول افزایش‌یافته است. نوسازی ظرفیت کلی نیروگاه را از ۳۴۴ مگاوات به ۴۲۲ مگاوات افزایش داد، که ۲۲٫۷٪ افزایش داشت و این معادل اضافه کردن یک ژنراتور ششم است.



شکل ۴-۱-نمایی از نیروگاه آبی هارتول در ایالت جوریجا آمریکا



شکل ۴-۲- نمایی از ژنراتورهای نیروگاه آبی هارتول

طول عمر مفید چهار ژنراتور اصلی هارتول ۳۰ سال پیش‌بینی شده بود. بنابراین، پس از ۳۷ سال خدمت، چهار مولد اصلی تحت نوسازی و تعمیرات اساسی قرار گرفتند. هر چهار مولد بیش از ۶۰،۰۰۰ ساعت زمان کار داشتند. فاز اول کار بازسازی در سال ۱۹۹۷ آغاز شده است و طی آن سه مؤلفه اصلی نوسازی شامل: تعویض

سیم‌پیچی ژنراتورها، نوسازی توربین، بهسازی و تعمیر بریکرها و ترانسفورماتورها بوده است. فاز دوم شامل مؤلفه‌های بیشتری ازجمله تعویض تمام بریکرها[1]و شینه ها[2] و موتورخانه‌ها[3] و ایستگاه‌های پمپاژ[4] بوده است.

نوسازی ژنراتور شامل جایگزینی سیم‌پیچ استاتور بوده است. با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژی، سیم‌پیچ‌های جدید می‌توانند با توان خروجی بالاتری کار نماید و درنتیجه ژنراتورها به ۱۲۹٪ توان نامی خود ارتقا پیدا کردند. از سوی دیگر در طول سال‌ها ، تماس آب با تیغه‌های توربین منجر به ایجاد لکه‌های بسیار کوچک و سایش کلی تیغه‌های توربین می‌شود (که به آن کاویتاسیون[5] گفته می‌شود). رنگ‌های قدیمی شن شویی شده و تیغه‌ها جوشکاری شده ، ماسه زده و دوباره رنگ‌آمیزی شدند. علاوه بر نوسازی توربین، بافلهای توپی[6] به توربین‌ها اضافه شد. بافل ها دستگاه‌هایی برای کشیدن هوا به داخل آب جریان یافته از توربین‌ها هستند که اکسیژن محلول را در پایین‌دست آب افزایش داده و کیفیت آب را برای ماهی‌ها بهبود می‌بخشد.

نوسازی بریکرها شامل تعویض بریکرهای هوا-قطع[7] فعلی با نوع گازی آن است. بریکرهای گازی از کارایی بالاتری برخوردار بوده و طول عمر بیشتری دارند. درحالی‌که بریکرهای هوا-قطع به تعمیر و نگهداری دوساله احتیاج دارند، بریکرهای جدید گازی فقط هر ۱۰ سال به تعمیر و نگهداری نیاز دارند. بنابراین تعمیر و نگه‌داری آن‌ها آسان‌تر و ارزان‌تر است. علاوه بر این ، بریکرهای جدید دارای نرخ جریان بالاتری بوده و مناسب استفاده برای ژنراتورهای با قدرت بالاتر نیز می‌باشند.

ترانسفورماتورها به‌طور کامل تعویض شده‌اند تا پاسخگوی افزایش برق تولید شده باشند. طی فرایند نوسازی نیروگاه، به‌جای دو مجموعه از سه ترانسفورماتور تک فاز، اکنون دو دستگاه ترانسفورماتور سه فاز وجود دارد (یک ترانس برای واحدهای ۱ و ۲ و یک ترانس برای واحدهای ۳ و ۴؛ واحد ۵ ترانس خود را دارد). هر ترانسفورماتور بین ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ گالن روغن عایق نیاز دارد.از دیگر اقدامات مرتبط با ترانسفورماتور، نصب جداکننده روغن از آب می‌باشد. جداکننده روغن از آب یک ویژگی مهار ثانویه است که در صورت نشت روغن از ترانسفورماتور، از ورود آن به رودخانه جلوگیری می‌کند. جداکننده درواقع یک منطقه نگهداری زیرزمینی است که در صورت وقوع نشتی، روغن وارد منطقه نگهداری می‌شود و در آنجا می‌تواند پمپاژ شده و به‌درستی دفع شود.

درمجموع نوسازی این واحد منجر به افزایش ۲۹/۵ درصدی ظرفیت برای واحدهای ۱ تا ۴ و یا افزایش ۲۲/۷ درصدی ظرفیت نیروگاه شده است.[۵] به‌عبارت‌دیگر ، با توجه به افزایش توان نامی، می‌توان ۲۲,۷٪ قدرت

---

1 switchyard breakers

2 buswork

3 powerhouse

4 Clemson Pumping Station

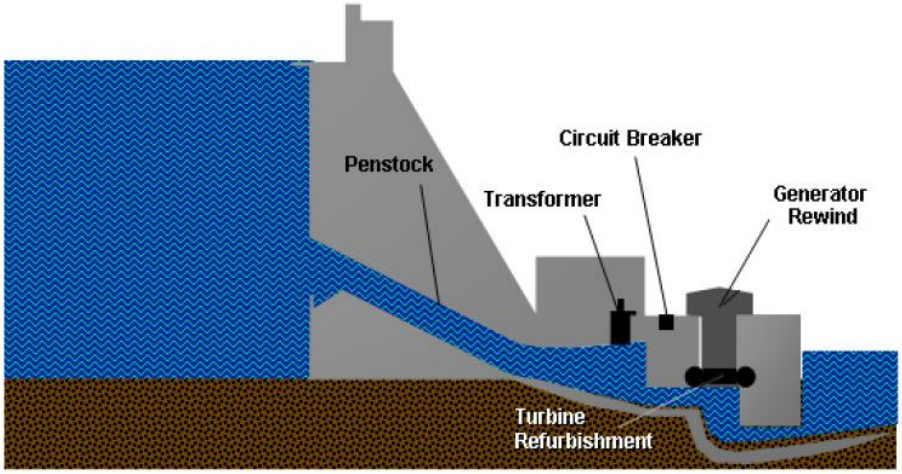
5 cavitation

6 Hub baffles

7 air circuit breaker

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

بیشتری نسبت به قبل از این نیروگاه استحصال نمود. این توان‌بخشی توان نامی ۶۶ مگاوات واحدها را به ۸۵ مگاوات رسانده است که معادل اضافه نمودن یک ژنراتور ششم است. همچنین پیش‌بینی می‌شود که درنتیجه نوسازی عمر ژنراتورها تا ۳۵ سال دیگر افزایش دهد. شکل ..... مؤلفه‌های اصلی مورد نوسازی در این نیروگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳- مؤلفه‌های مورد نوسازی در نیروگاه آبی هارتول، آمریکا

ب) نیروگاه آبی شاستا

این نیروگاه متعلق به سازمان USBR و در رودخانه ساکرامنتو، نزدیک ردینگ، کالیفرنیا، در ایالات‌متحده واقع شده است. نیروگاه هیدرولیکی شاستا در سال ۱۹۴۴ فعالیت تجاری خود را آغاز کرد و بازسازی شرح داده شده مربوط به واحدهای ۳ تا ۵ آن است. ژنراتورهای واحدهای ۳ تا ۵ (با توان نامی ۱۴۲ مگاولت آمپر) و توربین نیروگاه مشمول نوسازی شدند. نوسازی اولین ژنراتور در حدود ۱۹ ماه به طول انجامید. فعالیت‌های زیر توسط شرکت Alstom برای نوسازی این ژتراتورها صورت گرفته است[۶]:

۱- در مرحله اول با استفاده از مدارک و نقشه‌های ژنراتورها و همچنین اندازه‌گیری‌های میدانی، ابعاد قسمت‌های مختلف ژنراتور و همچنین پارامترهای عملکردی آن مانند جریان اتصال کوتاه، امپدانس سیم‌پیچی، دمای قسمت‌های مختلف ژنراتور و غیره استخراج و ثبت گردید.

۲- در مرحله دوم و با توجه به اطلاعاتی که در قسمت قبل جمع‌آوری گردیده بود، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری صورت گرفت که درنتیجه آن پتانسیل‌های نوسازی ژنراتور مشخص گردید.

۳- سیم‌پیچی مجدد استاتور انجام گرفت.

۴- پره‌های خنک‌کننده روتور نوسازی شدند، به نحوی‌که ضمن حفظ دبی هوا، تلفات بادخوری کاهش پیدا کرد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۴-۴- نمایی از نیروگاه آبی شاستا، واقع در ایالت کالیفرنیا، آمریکا

در نتیجه این نوسازی، بازدهی ژنراتور در توان خروجی ۱۴۲ به ۹۷،۸۸ درصد در دمای ۹۵ درجه افزایش یافت؛ این بازدهی برای ژنراتور قبلاً در ۷۵ مگاولت آمپر و دمای ۷۵ درجه ثبت گردیده بود. همچنین بازدهی سیستم تهویه نیز ۱۵ درصد افزایش پیدا کرد.

۴-۲-۲- روسیه

برنامه نوسازی شرکت RusHydro در روسیه از سال ۲۰۱۲ شروع شده و تا سال ۲۰۲۵ ادامه دارد، این برنامه شامل جایگزینی ۵۵٪ توربین‌ها، ۴۲٪ ژنراتورها و ۶۱٪ ترانسفورماتورهای شبکه است. این نوسازی منجر به افزایش قابل‌توجهی در قابلیت اطمینان، کارایی و امنیت در تأسیسات تولید RusHydro و افزایش ظرفیت نصب شده ۷۷۹ مگاوات در مقایسه با آغاز سال ۲۰۱۱ خواهد شد.

ازجمله پروژه‌های نوسازی انجام‌گرفته، نیروگاه برق‌آبی Zhigulevskaya است که ظرفیت هر واحد نیروگاه را از ۱۱۵ مگاوات به ۱۲۵،۵ مگاوات افزایش داده است. پس از اتمام عملیات، ظرفیت نصب شده در پروژه به ۲۴۸۸ مگاوات، یعنی ۱۴۷مگاوات افزایش داشته است.

۴-۲-۳- استرالیا

بیشتر واحدهای آبی در این کشور در نیمه عمر خود و در محدوده ۴۰ تا ۶۰ سال هستند و نیاز به نوسازی دارند [۷]. در یک نمونه از بررسی‌ها، یک ژنراتور آبی با توان ظاهری ۵۰ مگاولت آمپر نوسازی شده است؛ در فرایند نوسازی، هسته استاتور جایگزین شده که باعث کاهش تلفات هسته از ۲۹۰ کیلووات به ۱۶۰ کیلووات شده است. این کار باعث کاهش افزایش دمای هسته ژنراتور در موقع کار و همین‌طور باعث افزایش بازده ژنراتور

شده است. همچنین به ناحیه انتهایی ژنراتور و اثر تغییر هسته بر تلفات ناحیه انتهایی توجه شده است و از روش معمول پله‌ای کردن ناحیه انتهایی برای کاهش تلفات استفاده شده است. توجه شود که علاوه بر کیفیت بهتر ورقه‌های جدید مورد استفاده در هسته استاتور، ضخامت ورقه‌های جدید نیز از انواع قیمی کمتر است و همین امر باعث کاهش بیشتر تلفات هسته استاتور می‌گردد [۸].

۴-۲-۴- آلمان

الف) نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای Waldshut

این نیروگاه دارای ۴ واحد ۴۴ مگاواتی است که در سال ۱۹۴۸ ساخته شده است. دو واحد از این چهار واحد در سال ۱۹۹۲ توسط شرکت زیمنس نوسازی گردیده و از MVA ۴۴ به MVA ۵۵ افزایش توان داشته است. در فرایند نوسازی:

۱- استاتور به‌کلی تعویض شده است؛ از ورقه‌های جدید (با تلفات کمتر) در هسته استاتور استفاده شده است. همچنین سیم‌پیچی استاتور تغییر یافته (آرایش سیم‌پیچی و تغییر در جنس عایق آن) و تعداد شیارها کمتر شده است.

۲- قطب‌های روتور جایگزین شده است.

۳- سیستم تحریک دینامیک به سیستم تحریک استاتیک تغییر یافته است.

۴- سیستم خنک‌کننده جدید (از نوع هوا- آب[1]) برای ژنراتور نصب گردیده است.

در اثر این نوسازی، بازدهی ژنراتور از ۹۷,۳۳ درصد در MVA ۴۴ به ۹۸,۱۶ درصد در MVA ۵۵ رسیده است.

ب) نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای Hausern

این نیروگاه در سال ۱۹۳۱ با ظرفیت MVA ۳۲ تأسیس گردید و در سال‌های ۱۹۵۴ تا ۱۹۵۷ به MVA ۳۵ ارتقا پیدا کرد. در سال ۱۹۹۵ نوسازی مجدد در این نیروگاه صورت گرفت؛ استاتور و قطب‌های روتور به‌صورت کامل جایگزین گردید. با این تغییر توان ظاهری ژنراتور به MVA ۴۵ افزایش پیدا کرد (افزایش ۴۰ درصدی توان). علاوه بر این افزایش توان، به دلیل استفاده از مواد باکیفیت بهتر، مجموع تلفات ژنراتور kW ۲۷۵ کاهش پیدا کرد و بازده ژنراتور از ۹۶,۳۳ درصد در MVA ۳۵ به ۹۸,۴۴ درصد در MVA ۴۵ رسید.

[1] Air-to-water cooler

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۴-۲-۵- برزیل

الف) واحد آبی جریان رودخانه‌ای[1] Tres Marias کشور برزیل

این واحد در سال ۱۹۵۸ و با ظرفیت MVA ۶۸ ساخته شده و در سال ۱۹۹۰ نوسازی شده است. در فرایند نوسازی، استاتور ژنراتور کاملاً جایگزین گشته است؛ تعداد شیارهای استاتور و ابعاد آن تغییر نیافته است. در اثر تغییر عایق‌بندی سیم‌بندی‌های استاتور، ضریب فضای شیار از ۳۰ درصد به ۴۱ درصد افزایش‌یافته است. به‌این‌ترتیب توان نامی ژنراتور به MVA ۸۰ و اضافه‌بار مجاز تا سقف MVA افزایش‌یافته است. استاتور جدید به دلیل استفاده از مشخصات خاص در ساخت و نداشتن اتصالات هسته[2] از استحکام مکانیکی بالایی برخوردار است.

۴-۲-۶- رومانی

الف) نیروگاه آبی Portile De Fier I ۱۲۰۰ MW

این نیروگاه شامل شش واحد MW ۱۷۸ بوده که در خلال سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۲ راه‌اندازی شده‌اند. فعالیت‌های نوسازی این نیروگاه در سال ۱۹۹۵ آغاز گردیده و تمام اجزای نیروگاه نوسازی شده است. ژنراتورهای این نیروگاه ساخت شرکت الکتروسیلا بوده است. نتایج اندازه‌گیری‌های سیستم‌های پایش ژنراتور (تخلیه جزئی، ارتعاشات و فاصله هوایی) نشان داد که استاتور ژنراتور نیاز به بازسازی فوری دارد. لذا استاتور ژنراتورها به‌صورت کامل (شامل هسته و سیم‌پیچی) جایگزین گردید. همچنین قطب‌های روتور و استاتور ژنراتور سیستم تحریک نیز نوسازی و جایگزین گردیدند. در اثر این تغییرات، توان ژنراتورها به MW ۱۹۴ افزایش پیدا کرد [۹].

۴-۲-۷- تاجیکستان

نیروگاه برق‌آبی Nurek با GW ۳ ظرفیت تولید برق در تاجیکستان ، بزرگ‌ترین تأسیسات برق‌آبی در آسیای میانه، برای تقویت ظرفیت تولید خود در حال انجام یک برنامه بزرگ بهسازی است. این نیروگاه شامل ۹ واحد تولیدی است که بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۹ به بهره‌برداری رسیده است. پس از بیش از ۵۰ سال خدمت ، این مرکز در حال حاضر با ۷۷ درصد ظرفیت طراحی خود به دلیل تجهیزات قدیمی و عدم تعمیر و نگهداری در حال کار است.

[1] Run of river unit

[2] Core joints

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

Nurek تحت مالکیت و بهره‌برداری شرکت دولتی برق Barqi Tojik ، یک نیروگاه مهم با اهمیت استراتژیک است که بیش از ۷۰٪ از کل تولید برق تاجیکستان را تشکیل می‌دهد. پروژه توان‌بخشی فاز یک این تأسیسات ، که هزینه تقریبی آن ۲۸۵ میلیون پوند (۳۵۰ میلیون دلار) تخمین زده می‌شود، در مارس ۲۰۱۹ آغاز شد و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۳ ادامه یابد. نیروگاه برق‌آبی نورک تقریباً در ۷۰ کیلومتری جنوب شرقی دوشنبه ، پایتخت تاجیکستان ، روی رودخانه وخش واقع شده است، ساخت پروژه سد چندمنظوره توسط اتحاد جماهیر شوروی سابق در سال ۱۹۶۱ آغاز شد. نیروگاه زیرزمینی تأسیسات برق‌آبی Nurek مجهز به نه واحد توربین مولد فرانسیس شامل هشت واحد ۳۳۵ مگاواتی و یک واحد ۳۲۰ مگاواتی است. متوسط میزان برق تولیدی این تأسیسات ۱۰۲۲۳ میلیون کیلووات ساعت در سال برآورد شده است.

برق تولید شده توسط تأسیسات از طریق دو سوئیچ محل در شبکه ملی تخلیه می‌شود. تأسیسات برق‌آبی Nurekدارای یک ایستگاه تعویض ۵۰۰ کیلوولت و یک ایستگاه تعویض ۲۰۰ کیلوولت است که اخیراً موردبازسازی قرارگرفته‌اند. پروژه بازسازی مخزن سوئیچ ۵۰۰ کیلوولت در Nurek شامل جایگزینی تابلوهای برق عایق هوا با تابلوهای داخلی عایق گاز بود. پروژه توان‌بخشی نیروگاه در سال ۲۰۱۶ به پایان رسید و توسط Alstom Grid اجرا شد.

به عنوان بخشی از پروژه توان‌بخشی فاز یک، سه واحد از کل ۹ واحد تولید برق در این مرکز با ۳۸۰ مگاوات توربین فرانسیس و واحدهای ژنراتور جایگزین شده‌اند. فاز یک همچنین شامل نصب شش ترانسفورماتور خودکار، مدرن سازی ابزار نظارت بر سد ، و همچنین کارهای احیا در تونل سرریز، دروازه‌ها و سیستم بالابر برای بهبود ایمنی سد است.

شش واحد باقیمانده تولیدکننده تأسیسات قرار است در پروژه توان‌بخشی فاز دوم در تأسیسات جایگزین شود که انتظار می‌رود از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۲۸ ادامه یابد. پس از توان‌بخشی ، انتظار می‌رود ظرفیت کل تولید نیروگاه از GW۲,۶ فعلی به GW۳,۳ افزایش یابد.

پروژه‌های نوسازی نیروگاه برق‌آبی در این کشور باهدف تأمین تقاضای روزافزون برق داخلی و همچنین صادرات مازاد برق در ماه‌های تابستان به جمهوری قرقیزستان ، افغانستان و پاکستان در حال اجرا است. ازجمله نیروگاه‌های برق‌آبی دیگر که در تاجیکستان تحت بهسازی هستند، نیروگاه ۱۲۶ مگاواتی-کوآیروکوم و نیروگاه ۲۴۰ مگاواتی سربند است که قبلاً به عنوان نیروگاه Golovnaya شناخته میشد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۴-۳- برخی از پروژه‌های نوسازی توسط شرکت‌های خارجی

۴-۳-۱- شرکت ABB

الف) نوسازی نیروگاه در ابوظبی

ابوظبی بزرگترین شیخ نشین امارات‌متحده عربی است. منطقه ام‌النهار در ابوظبی مرکز فعالیت‌های صنعتی متعدد است. در این منطقه ۱۴ نیروگاه با ظرفیت تولید ۱۲۰۰مگاوات و ۱۶ واحد آب‌شیرین‌کن با ظرفیت تولید ۲۰۰ میلیون لیتر در روز در حال کار است. شرکت ABB در فاصله سال‌های ۱۹۷۶ تا۱۹۸۰ یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۴۰ مگاواتی را برای سازمان آب و برق ساخته است. این نیروگاه دارای دو توربین‌گازی GT13، دو دیگ بخار بازیاب گرما و چهار واحد آب‌شیرین‌کن است. آب‌شیرین‌کن‌ها در پایین‌دست نیروگاه واقع شده و روزانه ۸۰ میلیون لیتر آب شرب تولید می‌کنند. شرکت ABB همچنین مسئولیت تأمین سیستم‌های الکتریکی و کنترل یک نیروگاه ۱۶۰ مگاواتی واقع در غرب ام‌النهار را نیز برعهده گرفته است.

همزمان با توسعه ساختار اجتماعی- اقتصادی ابوظبی، نیاز آن به انرژی الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. برای تامین این نیاز، نه‌تنها نیروگاه‌های جدیدی باید ساخته شود بلکه از ظرفیت تولید توان موجود باید به‌طور کامل استفاده کرد. عمر بیشتر نیروگاه‌های موجود بین ۱۵ تا ۲۰ سال است و سیستم‌های بکار گرفته شده در آن‌ها قدیمی است. زمان‌های توقف آن‌ها نسبتاً طولانی و قابلیت اطمینان تولید برق آن‌ها کم شده است. علاوه بر آن تهیه قطعات یدکی نیروگاه‌ها نیز مشکل است. سازمان آب و برق از سیاست نوسازی و بازسازی مداوم نیروگاه‌ها در ام‌النهار پیروی می‌کند.

اعمال سیاست بازرسی و تعمیرات دراز مدت نیروگاه‌ها توسط سازمان آب و برق سبب شده که این نیروگاه‌ها در شرایط عالی باشند. این امر باعث شده است تا با انجام نوسازی و بازسازی، بتوان عمر نیروگاه‌ها را ۱۵ تا ۲۰ سال دیگر افزایش داد. طرح بازسازی و نوسازی به‌صورت پروژهایی توسط سازمان آب و برق در نظر گرفته شده است که برای تهیه پیشنهاد مناقصه از مهندسان مشاور استفاده شد. روش‌ها و شرایط فعلی انجام مناقصه در ابوظبی به گونه‌ای است که بررسی این پروژه‌ها و عقد قرارداد، دو تا سه سال وقت لازم دارد. بدیهی است با این زمان طولانی نمی‌توان انتظار داشت که‌اجرای پروژه سریعا شروع شود. شرکت ABB با همکاری نزدیک سازمان آب و برق ابوظبی برنامه انعطاف‌پذیری برای سرویس، بهره‌برداری و نوسازی (SOR) نیروگاه‌ها تدارک دیده است. در این برنامه پروژه‌های بازسازی و نوسازی به دو بخش تقسیم شده است. در بخش نخست تمام سخت افزارهای مورد نیاز به همراه اسناد و مدارک مهندسی مربوط، تهیه شده و بخش دوم شامل نصب و راه‌اندازی این سخت افزارهاست. بخش نخست به روش متداول سفارش و خرید قطعات یدکی توسط خود نیروگاه انجام شده است ولی بخش دوم در قالب قراردادهای تعمیرات که هر دو سال یک بار تکرار می‌شود انجام شده است [۱۰].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شیوه فوق نیاز به تعیین دقیق مشخصات تجهیزات و برنامه زمانی تحویل آن‌ها دارد. سازمان آب و برق، بستری فراهم آورده که در آن سفارش خرید و اعلام مناقصه برای عقد قرارداد تعمیرات به‌طور همزمان انجام می‌شود. اهداف اصلی برنامه و بازسازی و نوسازی به این شرح است:

- بهینه‌سازی نیروگاه و اجزای آن

- افزایش عمر نیروگاه و تجهیزات مربوط به‌آن

- کاهش هزینه بازرسی و تعمیرات

- کاهش زمان نصب و راه‌اندازی

برنامه زمانی و کنترل دقیق پروژه به نحوی که عملیات نصب و تعمیرات در همان دوره‌های بازرسی عادی و تعمیرات پیشگیرانه انجام و از وقفه‌های اضافی‌در تولید برق، اجتناب شود. در تمام قراردادهای بازسازی، مدت یک سال گارانتی پیش‌بینی شده است که پس ازراه‌اندازی به اجرا در می‌آید. در این قسمت نمونه‌ای از این طرح بازسازی و نوسازی که توسط کمپانی ABB برای دو نیروگاه سیکل ترکیبی ابوظبی به اجرا در آمده معرفی می‌شود. در این طرح سیستم کنترل گاورنر با یک سیستم کنترل جدید تعویض شده و روتور توربین‌های گازی نیز نوسازی شد [۱۱].

شرکت ABB با اجرای این طرح عمر نیروگاه‌ها را تا ۱۵ سال دیگر تضمین کرده است. نیاز ابوظبی به برق در فاصله ماه‌های ژوئن و سپتامبر، حداکثر است. در سایر ماه‌های سال، مصرف انرژی بین ۳۰ تا ۴۰ درصد این قله بار فصلی است. نیاز آب ابوظبی در طول سال تقریبا ثابت است، در نتیجه بخار تولید شده نیروگاه‌ها باید ثابت باشد. بنابراین ضریب بار توربین‌ها باید با توجه به این موضوع تنظیم شود.

-راه‌اندازی استاتیکی تجهیزات با کمترین زمان توقف

تجهیزات راه‌اندازی استاتیکی جدید در فن آوریPROCONTROLP شرکت ABB بوده و وظایفی را انجام می‌دهد که عبارتنداز:

- راه‌اندازی و گردش روتور

- قابلیت تعمیر توربین گازی، شامل اندازه‌گیری‌های لازم و تجزیه و تحلیل نتایج

- تست عملکرد سیستم کنترل، شامل برنامه کنترل توربین گازی، محرک‌های خودکار و سیستم ایمنی توربین

- ارتباط با اتاق‌های کنترل گرمایی والکتریکی

- عملکرد هشدار دهنده‌ها و قفل‌های حفاظتی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

این مرحله شامل نصب یک ترانسفورماتور جدید راه‌اندازی و اصلاح نقطه خنثی ژنراتور نیز بوده است. نصب سیستم راه‌اندازی استاتیکی ۶ هفته به طول انجامیدو مدت توقف تولید، دو هفته بوده است.

در توربین GT13 نیروگاه ام‌النهار شرقی‌که قبلاً به وسیله سیستم گاورنر مکانیکی‌کنترل می‌شده است، بسیاری از قطعات، دچار فرسودگی شده و نیاز به تعمیرات مکرر داشت. برای بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم، این گاورنرها با سیستم‌های کنترل EGATROL جایگزین شده است[۱۲].

EGATROL در سال ۱۹۸۳ به‌عنوان سیستم کنترل استاندارد توربین‌های گازیGT13 توسط ABB بکار گرفته شد. این سیستم الکتروهیدرولیکی از دو بخش تشکیل می‌شود، واحد کنترل الکتروهیدرولیکی و سیستم-های الکترونیکی مربوط و کنترل و مراقبت تمام عوامل کار توربین گازی. با تغییر سیستم کنترل به EGATROL، تعداد قطعات مکانیکی به شدت کاهش یافت و قطعات در معرض ساییدگی کلا حذف شد. برتری دیگر سیستم EGATROL نیاز به تعداد موتورهای الکتریکی کمتر است. در این سیستم، دسترسی به داده‌های فرآیندی و تعویض قطعات معیوب و فرسوده، ساده‌تر است. EGATROL بر اساس سیستمPROCONTROLP کار می‌کند و از ویژگی‌هایی برخوردار است که عبارت‌اند از:

- فناوری استاندارد که تعویض سیستم‌های فرسوده اندازه‌گیری و کنترل آن ساده است.

- کاهش ارتباط بین اجزا

- انعطاف پذیری بالا و امکان تنظیم برنامه هنگام کار

- نیاز به فضای کم

- استفاده از دستگاه‌های فرآیندهای موجود

- بهینه‌سازی با استفاده از سیستم کنترل رایانه‌ای

- مقادیر کنترل دقیق و تکرار پذیر

برای تغییر سیستم کنترل به EGATROL تنها تغییرات جزیی در سیستم موجود، لازم است. در سیستم کنترل EGATROL نیز تغییراتی داده شده تا با سیستم موجود در نیروگاه هماهنگ شود. این تغییرات در کارخانه سازنده انجام و مورد آزمایش قرار گرفته است. تعدادی حس کننده دما و فشار هم در محل نیروگاه نصب شده تا دمای محیط و ورودی به توربین و فشارهای ورودی و خروجی کمپرسور را اندازه‌گیری کند. دو سیستم EGATROL در اواخر سال ۱۹۹۷ و اویل سال ۱۹۹۸ نصب شده‌است.

ماشین‌های پیچیده همواره شامل قطعاتی است که زودتر از سایر قطعات، ساییده می‌شوند. هدف از نوسازی، افزایش طول عمر توربین گازی یا نیروگاه از طریق تعویض قطعات فرسوده‌تر و حفظ سرمایه اولیه است. اگر این قطعات به موقع عوض شوند عمر ماشین ۲۰ تا ۳۰ درصد قابل افزایش است. مهندسان شرکت ABB با

همکاری کارکنان نیروگاه توانسته‌اند با انجام یک تجزیه و تحلیل روی طول عمر باقیمانده قطعات، زمان مناسب و بهینه تعویض قطعات فرسوده را تخمین بزنند. با در نظر گرفتن پیچیدگی نیروگاه و تعداد زیاد قطعات بکار رفته،ت خمین آن‌ها معقول بوده است. چگونه می‌توان طول عمر باقی‌مانده‌را پیش‌بینی کرد؟

در روش سنتی برای پیش‌بینی عمر قطعات از تنش‌های چرخه‌ای مواد با تواتر بالا استفاده می‌شود. در این روش، خستگی ناشی از تنش‌های چرخه‌ای و دوام ترک‌ها از عواملی است که باید ثبت شود. عوامل دیگر وابسته به زمان عبارتنداز: نحوه تغییرات بار توربین و تعداد ساعت‌های کارکرد و رفتار دینامیکی نیروگاه. شرکت ABB برای پیش‌بینی عمر باقیمانده قطعات از نتایج روش تستی و روش‌های محاسباتی جدید استفاده کرد. در یکی از این روش‌ها از فرمول EOH (ساعت کار معادل) استفاده می‌شود که به وسیله آن می‌توان کاهش در عمر پره‌های توربین و قطعات دیگری که در معرض گازهای داغ قرار دارند را پیش‌بینی کرد. در این فرمول حدود دمای کارکرد، راه‌اندازی‌های سریع و عددی و شرایط گذرا مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرکت فوق، نرم‌افزاری نیز برای محاسبه عمر باقیمانده روتور توربین تهیه کرده است. در این برنامه از بار گرمایی و خستگی روتور استفاده می‌شود. طول عمر سپری شده روتوراز خستگی ناشی از تعداد راه‌اندازی‌های سریع، راه‌اندازی گرم و تعداد تریپ‌ها به دست می‌آید. تفاضل این زمان با زمان مجاز کل خستگی، عمر باقی‌مانده را می‌دهد. بر اساس این تجزیه و تحلیل پیشنهادی برای بازسازی توربین‌های گازی نیروگاه ام‌النهار شرقی ارائه شده که عبارت است از: تعویض روتور هر دو توربین و تعویض پره ثابت توربین دو. پس از خریداری این قطعات، عملیات تعویض در خلال بازرسی، تابستان ۱۹۹۷ انجام شد.

روتور توربین گازی بیشتر در قسمت توربین، آسیب دیده است و به‌جای به دور انداختن کل روتور، شرکت ABB قسمت کمپرسور روتور را بریده و به قسمت توربین یک روتور سالم جوش داده است. روتور دو تکه حاصل، می‌تواند حدود ۱۰۰ هزار ساعت دیگر کار کند. البته سطح روتور معیوب در قسمت کمپرسور باید بازرسی چشمی‌شود و معمولاً تعمیرات مورد نیاز، جزیی است.

هنگامی می‌توان بیشترین بهره را از سیستم‌های جدید نصب شده برد که کارکنان بهره‌برداری در تمام مراحل پروژه، همکاری داشته باشند. در پروژه بازسازی و نوسازی این نیروگاه سعی شده است مهندسان به ویژه در مراحل اولیه پروژه و تعیین مشخصات فنی تجهیزات، مشارکت داشته باشند. بر این اساس تست پذیرش تجهیزات سفارش داده شده توسط مهندسان نیروگاه انجام و دوره آموزش این تست‌ها نیز در مراکز آموزشی شرکت ABB برگزار شد. این دوره‌ها با بازدید مهندسان نیروگاه از نیروگاه‌های بازسازی شده دیگر همراه بوده است. بازدیدی نیز از امکانات تحقیقاتی و تولیدی شرکت ABB انجام شد. گام بعدی، انجام آزمایش‌های دقیق بسته‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تحویل شده در محل کارخانه بود. در مرحله بعد روش درست نگهداری مواد و تجهیزات تا زمان مونتاژ و راه‌اندازی، آموزش داده شد.

مهندسان نیروگاه در مرحله نصب و راه‌اندازی نیز در کنار کارشناسان شرکت ABB حضور داشته‌اند. این امر، انتقال کامل فن‌آوری را در پی دارد. در آخرین مرحله، دوره آموزشی برای کارکنان بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه برگزار شد. علاوه بر دوره‌های مذکور، سمینارهای سالانه‌ای هم برای به هنگام کردن کارکنان بهره‌برداری شرکت آب و برق ابوظبی برگزار می‌شود. مشتری می‌تواند موضوعات مورد نظر خود را در برنامه سمینار بگنجاند.

این سمینارها دو روز به طول می‌انجامد تا فرصت کافی برای تبادل نظر و طرح سوالات توسط شرکت کنندگان باشد.

در نیروگاه ام‌النهار شرقی هنوز قابلیت‌های زیادی برای بهینه‌سازی و نوسازی وجود دارد. کارهایی که تاکنون انجام شده امکان بازسازی‌های دیگر را فراهم می‌آورد. مدیریت نیروگاه برنامه‌ای برای نوسازی گام به گام در دست دارد. بخشی از این برنامه، تعویض بقیه دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل و تعمیر کلی سیستم‌های تغذیه DC در آینده است. سیستم‌های رایانه‌ای فرآیندها در واحدهای (۷ و ۸) ام‌النهار غربی نیز باید با سیستم‌های جدید شرکت ABB جایگزین شود تا تمام واحدهای ام‌النهار به یک شبکه واحد متصل شوند.

۴-۳-۲- شرکت Alstom

شرکت آلستوم فرانسه، آلستوم روسیه و شرکت واحد ساخت‌وساز انرژی روسیه (OEK) به انعقاد یک قرارداد با شرکت ژنراتوری روسیه (RusHydro) جهت نوسازی واحدهای نیروگاهی Kubansky پرداختند. مطابق این قرارداد همکاری فی‌مابین شرکت آلستوم و Rushydro که در دسامبر سال ۲۰۱۰ نوشته شد، شرکت آلستوم متعهد به انجام نوسازی تجهیزات الکتریکی و مکانیکی و نصب تجهیزات جدید در صورت نیاز شد. شرکت همکار یعنی OEK مسئولیت امور عمرانی را برعهده داشت.

زمان در نظرگرفته شده برای انجام پروژه بین ۶ تا ۱۰ سال بود. قطعات موردنیاز جهت نوسازی نیروگاه می‌توانند با همکاری دو شرکت آلستوم و Rushydro در شهر Ufa در جمهوری باشقورتستان روسیه ساخته شوند. این کارخانه مسئولیت تولید تجهیزات برق‌آبی برای نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک و همچنین تجهیزات لازم برای سیستم‌های کنترل توزیع یافته (DCS)، سیستم‌های رصد وضعیت، سیستم‌های تحریک ژنراتوری و سیستم‌های امنیتی مجموعه را بر عهده دارد. همچنین این کارخانه تجهیزات لازم برای نیروگاه‌های برق‌آبی متوسط و نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره ای را در دورنمای تولیدات خود دارد.

مجموعه نیروگاه‌های آبی کوبانسکی به‌عنوان یکی از شرکت‌های تابعه RusHydro که در رودخانه کوبان (جنوب روسیه) واقع شده و ۲۳۵ کیلومتر طول دارد ، شامل هشت نیروگاه برق‌آبی و یک نیروگاه تلمبه-ذخیره ای با ظرفیت اصلی بیش از ۴۶۰ مگاوات است. نوسازی توسط آلستوم می‌تواند ضامن افزایش ۱۰٪ در تولید باشد. (تا ۵۵۰ مگاوات).

در تابستان سال ۲۰۱۱ اولین دسته تجهیزات بزرگ تولید شده برای نیروگاه برق‌آبی به‌منظور جایگزینی با تجهیزات آسیب‌دیده راهی نیروگاه شد. بلوک‌های سنگین واحدهای جدید پروژه در مراسمی رسمی که در جریان پنجمین مجمع اقتصادی بین‌المللی برگزار شد، در کشتی‌های کلاس رودخانه-دریا در اسکله Sverdlovskaya در سن‌پترزبورگ بارگیری شدند.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

این سه مجموعه جدید از تجهیزات بزرگ از طریق دریا و رودخانه حمل می‌شوند. هر مجموعه از یک چرخ هیدرو توربین (به وزن ۱۴۵ تن ، با قطر ۶,۸۴ متر) ، یک مخزن روغن مرکزی ژنراتور[1] (با وزن ۲۱ تن ، با قطر ۶,۱ متر) و یک قاب روتور ۱۳ تن برای یک ژنراتور کمکی به قطر ۶,۰۹ متر تشکیل‌شده است. حمل اولین تجهیزات جدید ۳۵-۴۰ روز به طول خواهد انجامید.

۴-۳-۳- شرکت Doosan

در سال ۲۰۰۷ ، نیروگاه Eraring واقع در ایالت نیوولز جنوبی از کشور استرالیا و شرکت دوسان قراردادی را برای به‌روزرسانی توربین‌های HP و LP و همچنین بازسیم‌پیچی استاتور ژنراتور امضا کردند. در سال ۲۰۰۹ ، این شرکت قرارداد دیگری را برای به‌روزرسانی دیگ بخار خود امضا کرد. شرکت Doosan در سال ۲۰۱۳ نصب و آزمایش عملکرد چهار واحد را با موفقیت به پایان رساند و همه واحدها اکنون با عملکرد پیشرفته کار می‌کنند. این قرارداد بزرگ‌ترین پروژه نوسازی نیروگاه‌های خارج از کشور برای این شرکت بوده است.

ژنراتورهای اصلی Eraring بسیار خوب عمل کرده‌اند. برخی از کارها برای کاهش خوردگی شکاف گیره سیم‌پیچ انجام شده است. همچنین حلقه‌های نگهدارنده روتور ژنراتور مطابق توصیه‌های OEM به فولاد ضدزنگ ۱۸/۱۸ به‌روز شده است. براساس گزارش‌ها تعدادی از خرابی‌های گیره / سیم‌پیچ در انتهای سیم‌پیچ رخ داده که هنوز نگران‌کننده است. بودجه‌های لازم برای نزدیک شدن به جایگزینی سیم‌پیچ در اواسط عمر برای افزایش آن به ۲۰ سال دیگر در نظر گرفته شد که در کنار آن طرح‌های مختلف دیگری برای نوسازی ژنراتور در نظر گرفته می‌شود.

طراحی سیم‌پیچی جدید استاتور ژنراتور برای استحصال ۷۵۰ مگاوات و ۸۳۳ مگاولت آمپر و ضریب توان ۰/۹ است. درحالی‌که نسبت به طراحی اولیه که شامل ۶۶۰ مگاوات در توان ۷۷۶ مگاولت آمپر با ضریب توان ۰/۸۵ بود، ۱۳/۶ درصد افزایش توان اکتیو (مگاوات) تنها با افزایش ۷/۳ درصد توان ظاهری (مگاولت آمپر) صورت گرفته است. افزایش توان حقیقی خروجی، با کاهش ظرفیت مگاوار به دلیل ملاحظات اقتصادی برای جلوگیری از نیاز به ظرفیت افزایی برای رتور و ترانسورماتورهای ژنراتور بوده است.

جدول زیر پارامترهای اصلی طراحی و مقادیر آن‌ها را به ازای ترکیب‌های متفاوتی از توان حقیقی و ضرایب توان نشان می‌دهد. مقادیر هایلایت شده با رنگ زرد (و فونت ایتالیک) در ستون مربوط به توان ۷۵۰ مگاوات و ضریب توان ۰/۸۵ از حدود طراحی خارج شده و نیاز به ظرفیت افزایی در ترانسفورماتورها، باس بارها، رتور و خنک‌کاری ژنراتور را نشان می‌دهد.

[1] generator center plate oil tank

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۴-۱- پارامترهای طراحی ژنراتور نیروگاه **Eraring** استرالیا به ازای توان حقیقی و ضرایب قدرت مختلف

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

DESIGN PARAMETER	660MW AT 0.85PF	750MW AT 0.9PF	750MW AT 0.85PF
Rated MVA	776MVA	834MVA	*883MVA*
Voltage	23kV	23kV	23kV
Stator Current	19,479 A	20,935 A	*22,165 A*
No load excitation current	1,726A	1,726A	1,726A
Synchronous impedance current	3,220A	3,460A	3,664A
Excitation current	5,054A	approx. 5,178A	*Approx. 5,645A*
Excitation voltage at 100℃	403V at 100℃	approx. 413V	Approx. 450V
Synchronous reactance	2.00 pu	2.15 pu	2.27 pu
Transient reactance	0.275 pu	0.295 pu	0.315 pu
Sub-transient reactance	0.22 pu	0.235 pu	0.245 pu
Arm. hot water temperature	approx. 75 ℃	approx. 79 ℃	*approx. 83 ℃*
Field winding temperature	approx. 75 ℃	approx. 77 ℃	*approx. 83 ℃*

۴-۳-۴- شرکت ANDRITZ

این شرکت در سال ۲۰۰۸ وظیفه نوسازی و بازتوانی نیروگاه PANTABANGAN در کشور فیلیپین را بر عهده گرفت. نیروگاه نام‌برده پس از ۳۲ سال بهره‌برداری، تصمیم به نوسازی گرفت که در این راستا، با همکاری شرکت نوساز به تعویض سیم‌پیچی استاتور، سیستم تحریک، تعویض رانر توربین، جایگزینی شفت ژنراتور، گاورنر، سوئیچ گیرهای MV و سیستم توزیعAC و DC و همچنین ارتقای سیستم کنترل SCADA و استفاده از سیستم‌های کنترل و مانتورینگ آنلاین پرداخت. درنتیجه نوسازی توان واحد از ۵۱,۶ مگاوات به ۶۰,۴ مگاوات با توان ظاهری ۷۱ مگاولت آمپر به مقدار ۱۴٪ افزایش یافت. از دیگر پروژه‌های شرکت نوسازی نیروگاه Akosombo در کشور غنا بوده است که طی آن به نوسازی رانر توربین‌های آبی پرداخته و توان حقیقی مجموعه را از ۱۳۹,۵ مگاوات به ۱۷۳,۱ مگاوات افزایش داده است. همچنین در سال ۲۰۰۶ طی نوسازی نیروگاه آبی کهن‌سال Infiernillo در کشور مکزیک با تعویض یاتاقان‌های ژنراتور، رانرهای توربین‌ها و بهسازی سیستم خنک کاری به افزایش توان از ۱۶۰ به ۲۰۵ مگاولت آمپر رسیده است.

۴-۳-۵- شرکت SULERZ

نیروگاه لوچای ، با ظرفیت ۴۷ مگاوات ، بخشی از طرح برق‌آبی Breadalbane است. توسط اسکاتلند و انرژی جنوب (SSE) اداره می‌شود. طرح برق‌آبی Breadalbane از آب ذخیره‌شده در پشت ۶ سد استفاده می‌کند. بیش از ۲۰ تونل و قنات آب را به ۷ نیروگاه انتقال می‌دهند که بزرگ‌ترین ایستگاه نیروگاه لوچای است. در سال ۲۰۱۲، SSE با متخصصان Sulzer's Falkirk Service Center تماس گرفت تا علت سروصدا و ارتعاشات ژنراتور را بررسی کند. استاتور در ابتدا در دونیمه ساخته شده است. از این طرح غیرمعمول استفاده شد زیرا انتقال مواد به مکان از راه دور دشوار بود.

تحقیقات نشان داد که بین دونیمه هسته فاصله وجود دارد. این قسمت با عایق پر شده بود ، اما نوار خراب شده بود و فضای خالی به وجود آمد. هنگامی‌که ژنراتور از سرما شروع به کار می‌کند، تا رسیدن به ۵۰ درجه سانتی‌گراد مرتعش می‌شود. هسته گسترش یافته و به هم قفل می‌شود و لرزش متوقف می‌شود. یک عملیات نوسازی برای افزایش عملکرد ضروری بود. در سال ۲۰۱۵، Sulzer شروع به برچیدن ژنراتور و شروع روند چرخش کرد. با استفاده از تجهیزات بالابرنده در محل ، روتور ۵۶ تنی متریک برداشته شد تا به استاتور و سیم‌پیچ‌های آن دسترسی پیدا کند که همراه با هسته استاتور برداشته شد.

این پروژه توسط مرکز خدمات محلی در Falkirk اجرا شد. این همچنین شامل مهارت‌های مراکز خدمات دیگر ما ، ازجمله بیرمنگام ، جایی که پیشرفت‌های طراحی برای استاتور و سیم‌پیچ‌ها مهندسی و تولید شده بود. یک هسته یک‌تکه جدید ایجاد شده است تا جایگزین طرح اصلی دو تکه شود. این نصب شامل ساخت یک حلقه از صفحات در اطراف قاب استاتور بود. این اجازه می‌دهد تا از ۲۲ جک هیدرولیکی برای تحت‌فشار قرار دادن هر بسته اصلی و از بین بردن هرگونه جیب هوا استفاده شود. سیلندرها به چندمنظوره متصل شدند تا اطمینان حاصل شود که فشار مشابه به همان اندازه در اطراف هسته اعمال می‌شود. گرچه وقت‌گیر بود ، اما ساخت هسته جدید باکیفیت بالا ضروری بود. این یک مولد قابل‌اطمینان را هنگام بازگشت به سرویس تضمین می‌کند. یک ژنراتور بزرگ برای آزمایش هسته بازسازی شده به محل آورده شد. مشخص شد که در شرایط عالی است. ژنراتور دوباره راه‌اندازی شد و دوباره به کار افتاد. خروجی کلی ۱۵٪ از ۲۲ مگاوات به ۲۵/۶ مگاوات افزایش یافته است. عمر کاری ژنراتور برای ۴۰ سال دیگر تمدید شد.

۴-۳-۶- شرکت جنرال الکتریک (GE)

الف) نوسازی ۲ نیروگاه حرارتی در کشور ترکیه

نیروگاه‌های حرارتی Yeniköy و Kemerköy در وسط خلیج گکووا، ترکیه واقع شده‌اند؛ این نیروگاه‌ها به ترتیب در سال ۱۹۸۷ و ۱۹۹۵ به منظور تولید برق با استفاده از زغال‌سنگ در استان مولا، منطقه میلاس به بهره‌برداری رسیده‌اند. Yeniköy دارای ۲ واحد با مجموع ۴۲۰ مگاوات خروجی است، درحالی‌که Kemerköy

دارای ۳ واحد با مجموع ۶۳۰ مگاوات خروجی می‌باشد. این نیروگاه‌ها برق مصرفی حدود ۵۲۱ هزار خانه را تأمین نموده و تقریباً ۵٪ از انرژی ترکیه را تأمین می‌نمایند.

سال ۲۰۱۵ درمجموع ۹/۳ میلیون تن زغال‌سنگ تولید و به نیروگاه‌ها ارسال شده است [۱۳]. نسبت استفاده از ظرفیت برای Kemerköy معادل ۷۲ درصد و تولید ناخالص ۴۱۸۷ گیگاوات ساعت در همان سال محقق شده است، درحالی‌که برای Yeniköy این میزان ۷۸ درصد و ۲ هزار و ۸۶۴ GWh مورد بوده است.

ظرفیت تولید سالانه نیروگاه حرارتی Yeniköy ۲،۶۸۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلووات ساعت و متوسط ظرفیت سالانه تولید نیروگاه حرارتیKemerköy ۳،۶۸۳،۰۰۰،۰۰۰ کیلووات است و ارزش تولید سالانه خالص به‌عنوان مبنای فروش در سال ۲۰۱۶ به ترتیب ۲۵۹۳ و ۳/۶۸۷ میلیارد کیلووات ساعت می‌باشد.

در سال ۲۰۱۶، مصرف برق در ترکیه ۴/۴۴٪ افزایش یافت درحالی‌که در همان زمان، تولید برق فقط ۲/۴٪ افزایش‌یافته است. این کشور نیاز داشت تا به‌سرعت راهی برای افزایش ظرفیت انرژی ، قابلیت اطمینان و کارایی و درعین‌حال کاهش آلایندگی نیروگاه‌های خود پیدا کند. بنابراین سرمایه‌گذاری برای افزایش در دسترس بودن و تولید برق و همچنین برنامه‌های نگهداری برنامه‌ریزی‌شده باهدف اطمینان از تداوم تولید در این تأسیسات اجرا شده است.

در همان سال شرکت جنرال الکتریک، طرح Fleet 360 یا سرویس نوسازی کل نیروگاه[1] خود را برای نوسازی این دو نیروگاه ارائه داده است [۱۴]. تعویض و نوسازی کامل نیروگاه شامل تعویض پنج توربین بخار فشار بالا ، فشار متوسط و فشار کم و پنج ژنراتور Dolmel با ژنراتورهای خنک‌کننده هوا است. جنرال الکتریک همچنین پنج دیگ بخار Rafako را بهسازی نموده و پنج سیستم گوگردزدایی گاز دودکش[2] و سیستم رسوب‌دهنده الکترواستاتیک[3] را به‌روزرسانی نموده و یک سیستم کنترل توزیع یافته[4] را در این نیروگاه‌ها نصب کرده است.

نوسازی به افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها به میزان ۱۹۷٫۵ مگاوات کمک نموده است (معادل با تأمین انرژی تقریباً ۱۹۸هزار خانه). پس از نوسازی راندمان نیروگاه‌ها با ۶ درصد افزایش، به ۴۰ درصد افزایش یافته است. همچنین ادعا شده است که این نوسازی عمر مفید تجهیزات این دو واحد نیروگاهی را ۲۰ سال افزایش داده و درعین‌حال آلایندگی نیروگاه‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده است:

- کاهش NOx تولید گازهای گلخانه‌ای را به کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در نیوتن مترمکعب
- کاهش انتشار ذرات معلق به کمتر از ۴۰ میلی‌گرم در نیوتن مترمکعب
- محدودیت انتشار SOx به کمتر از ۳۲۰ میلی‌گرم در نیوتن مترمکعب

[1] total plant solutions

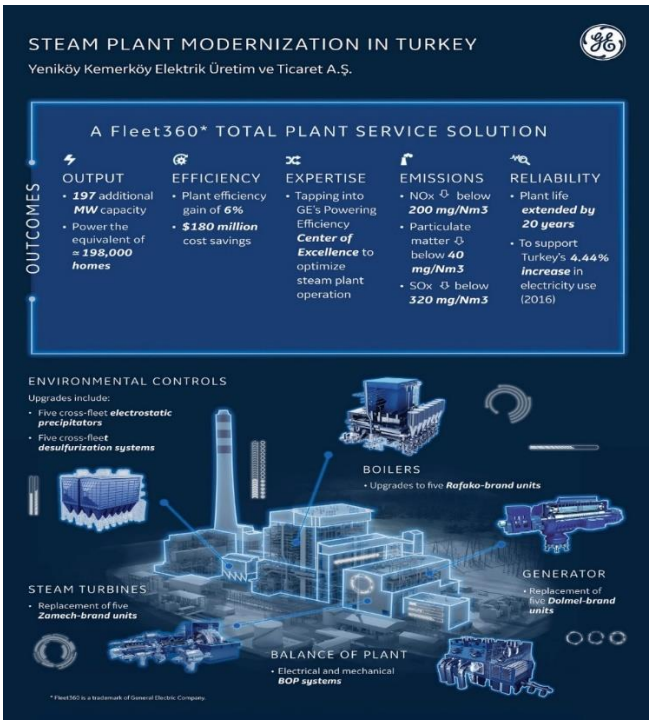
[2] flue-gas desulfurization

[3] electrostatic precipitator system

[4] distributed control system

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

با این‌وجود طبق ادعای شرکت جنرال الکتریک این آخرین همکاری بین این شرکت و نیروگاه‌های زغال‌سنگی در جهان است.



شکل ۴-۵- نوسازی نیروگاه‌های حرارتی **Yeniköy** و **Kemerköy** ترکیه توسط شرکت **GE**

ب) نوسازی نیروگاه‌های کشور کانادا

در جدول ۱۰ واحدهای نیروگاه‌های آبی نوسازی شده، باهدف افزایش توان، توسط شرکت GE در کشور کانادا آورده شده است [۱۵]. در نوسازی این واحدها توجه به نکات زیر راهگشا به نظر می‌رسد:

۱- امکان ۱۵ درصد افزایش بار ژنراتور، بدون تغییر سیستم عایق‌بندی آن وجود دارد. لازم است توجه شود که افزایش دمای ناشی از این اضافه‌بار، با کاهش عمر سیستم عایق‌بندی همراه خواهد بود.

۲- بسیاری از ژنراتورهای قدیمی برای ضریب‌های توان پایین مثل ۰٫۸ طراحی شده بودند تا امکان تحویل توان رآکتیو بیشتری داشته باشند. با توجه به این‌که امروزه واحدهای بزرگ‌تری نصب شده‌اند که توانایی تحویل توان رآکتیو بالایی دارند، این امکان فراهم شده است که بهره‌برداری با ضریب توان واحد، برای افزایش توان حقیقی تحویلی ژنراتور، صورت گیرد.

جدول ۴-۲- ژنراتورهای نیروگاه‌های آبی نوسازی شده توسط شرکت **GE** در کشور کانادا

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

Station	Original Rating	New Rating	Percent Increase
Abitibi Canyon Ontario Hydro	48.5 MVA 25 Hz	70 MVA 60 Hz	44.3 %
Sir Adam Beck Ontario Hydro	54 MVA 25 Hz	63.5 MVA 60 Hz	17.6%
Sharavathi India	99 MVA	133.65 MVA	35%
Hoover Dam USBR A5, N7	82.5 MVA	130.26 MVA	57.9%
Hoover Dam USBR N3, N4, A7, A6, Al, A2, N8	82.5 MVA	133.3 MVA	61.6%
Shasta USBR	75 MVA	128.87 MVA	71%
Bersimis II Hydro–Quebec Units 24, 25	120 MVA	168 MVA	40%
Yates Alabama Power Units 1,2	19 MVA	24.97 MVA	31.4%
Glen Canyon USBR Unit 8	125 MVA	174 MVA	39.2%

۴-۳-۷- شرکت الکتروسیلا

الف) نوسازی توربوژنراتور ۳۰۰ MW

در فرآیند نوسازی این توربوژنراتور فعالیت‌های زیر انجام گرفت:

۱- پنج لایه[1] انتهایی هسته ژنراتور جایگزین گردید؛ برای کاهش تلفات هسته در این ناحیه، قطر داخلی لایه‌ها به‌صورت پله‌ای تغییر داده شد.

۲- رینگ نگهدارنده انتهایی (Pressure Ring) بازسازی گردید؛ در این قسمت برای اطمینان از کاهش تلفات در ناحیه انتهایی، صفحه مسی بر روی رینگ نگهدارنده کشیده شد.

۳- پایدار کردن فشار پرسی برای اتصال بین ورقه‌های هسته استاتور، با استفاده از یک سری فنرهای خاص موسوم به Pressure Accumulators.

[1] Pack

در اثر این فعالیت‌ها علاوه بر افزایش طول عمر ژنراتور و افزایش ساعات آماده‌به‌کار، تلفات در ناحیه انتهایی به نیم تا یک سوم مقدار قبلی کاهش یافت و امکان بهره‌برداری از ژنراتور در حالت زیر تحریک (خازنی) فراهم گردید [۱۶].

ب) نوسازی توربوژنراتور ۴۰ MW

برای نوسازی این ژنراتور دو قطب هوا خنک، استاتور آن به دوباره ساخته شد و در بدنه و پوشش خارجی قبلی ژنراتور قرار داده شد. این توربوژنراتور به مدت ۴۰ سال در بار پایه بهره‌برداری شده بود. روتور این ژنراتور قبلاً در سال ۱۹۹۵ نوسازی گشته بود که در آن سیم‌بندی روتور با عایق‌بندی کلاس F جایگزین گردید و سیستم خنک‌کننده آن از سیستم شعاعی به‌صورت سیستم محوری تغییر یافت. در ادامه کولر خنک‌کننده جدید در بدنه استاتور جایگزین شد. همچنین retaining ring جدید از جنس GrMn18-18 جایگزین گردید. در این سال سیستم تحریک قدیمی ژنراتور که از نوع دینامیک بود با سیستم تحریک استاتیک با پل‌های تریستوری جایگزین شد.

برای نوسازی استاتور این ژنراتور:

۱- هسته قبلی که از نوع مواد دانه جهت‌دار بود، با ورقه‌های دانه غیر جهت‌دار جایگزین گردید.

۲- سیم‌پیچی دمپر(از نوع قفسه‌ای) برای استاتور، جهت کاهش نویز صوتی و رآکتانس نشتی، جاسازی گردید.

۳- تعداد شیارهای استاتور از ۵۴ عدد به ۴۸ شیار کاهش پیدا کرد. عایق‌بندی سیم‌پیچی استاتور با مواد جدید انجام گرفت.

۴- چگالی شار فاصله هوایی (برای افزایش توان ژنراتور و با توجه به نوسازی روتور که قبلاً انجام شده بود) ۱۵ درصد افزایش پیدا کرد.

در جدول‌های زیر تغییرات مشخصات فنی ژنراتور در اثر تغییرات فوق آورده شده است [۱۷].

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۴-۳- تغییرات پارامترهای اصلی ژنراتور

Generator/Parameter	Original 32 MW / 40MVA	Refurbished 42 MW / 49.4MVA
Current linear density on inner stator diameter - A	80.44 A/mm	88.3 A/mm
Flux density in air gap – no load peak value of fundamental component - B	0.74 T	0.85 T
No load excitation current – analytical calc.-I_{f0}	178*A	214** A
Stator winding leakage reactance-analytical calc. - x_s	15.80%	14.10 %
Synchronous reactance in “d” axis – numerical calc. - x_d	216.5 %	205 %

*with 26 turns per rotor slot; ** with 25 turns per rotor slot

جدول ۴-۴- مقادیر اندازه‌گیری شده اصلی ژنراتور

Generator/Parameter	Original 32 MW / 40MVA	Refurbished 42 MW / 49.4MVA
No load excitation current	199 A**	226.2 A**
Rated excitation current	550 A*	609.4 A**
Stator winding leakage reactance	17.35 %	13.30 %
Synchronous reactance in “d “ axis	222 %	202.5 %
Noise level measured at 1 m and 2 m	85-87(dBA)	86-88 (dBA)

*with 26 turns per rotor slot; ** with 25 turns per rotor slot

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل پنجم

استانداردها و دستورالعمل‌های کاربردی و مرتبط در فرآیند نوسازی‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل پنجم استانداردها و دستورالعمل‌های کاربردی و مرتبط در فرآیند نوسازی‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها و دستورالعمل‌های

۵-۱- مقدمه

در این فصل استانداردها، دستورالعمل‌ها[1] و توصیه‌نامه‌های[2] مرتبط با فرآیند نوسازی مورد بررسی قرار گرفته و به تفکیک اجزای نیروگاه بخش‌بندی شده است. فهرست مخفف‌ها و سازمان‌های متناظر با هریک به شرح جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۵-۱- فهرست استانداردهای مرتبط با نوسازی نیروگاه و اسامی مخفف آن‌ها

ANSI	**American National Standards Institute**
ASHRARE	**American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers**
ASME	**American Society of Mechanical Engineers**
CMAA	**Crane Manufactures Association of America**
EASA	**Electrical Apparatus Service Association**
EPRI	**Electric Power Research Institute**
IEC	**International Electrotechnical Commission**
IEEE	**Institute of Electrical and Electronics Engineers**
NEMA	**National Electrical Manufactures Association**
NEPA	**National Fire Protection Association**
UL	**Underwriters Laboratory**

۵-۲- ژنراتور و الکتروموتور

- ANSI C50.12 Requirements for Salient-Pole Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications[18].
- ANSI/EASA Standard AR100-2020: Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus[19].
- IEEE PRESS, Inspection of Large Synchronous Machines: Checklists, Failure Identification, and Troubleshooting[20].

[1] Guides

[2] Recommended practices

- IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing[21].
- IEEE Std 43, IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery[22].
- IEEE Std 56, IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating-Current Rotating Machinery (10,000 kVA and Larger)[23].
- IEEE Std 95, IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage[24].
- IEEE Std 112, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators[25].
- IEEE Std 113-1985(Withdrawn), IEEE Guide: Test Procedures for Direct-Current Machines[26].
- IEEE Std 114, IEEE Standard Test Procedure for Single-Phase Induction Motors[27].
- IEEE Std 115IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines Part I—Acceptance and Performance Testing Part II—Test Procedures and Parameter Determination for Dynamic Analysis[28].
- IEEE Std 117, IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound AC Electric Machinery[29].
- IEEE Std 118, IEEE Standard Test Code for Resistance Measurement[30].
- IEEE Std 275, IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Alternating-Current Electric Machinery Employing Form-Wound Preinsulated Stator Coils for Machines Rated 6900 V and Below[31].
- IEEE Std 286, IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation[32].
- IEEE Std 304™, IEEE Test Procedure for Evaluation and Classification of Insulation Systems for Direct-Current Machines[33].
- IEEE Std 399™, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis[34].
- IEEE Std 429™, IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Sealed Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Preinsulated Stator Coils for Machines Rated 6900 V and Below[35].
- IEEE Std 432™, IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp)[36].
- IEEE Std 433™, IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Voltage at Very Low Frequency[37].

- IEEE Std 434™, IEEE Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for Large High-Voltage Machines[38].
- IEEE Std 492™, IEEE Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators[39].
- NEMA MG1, Motors and Generators.9[40].
- NEMA MG2, Safety Standard for Construction and Guide for Selection, Installation and Use of Electric Motors[41].
- NEMA MG10, Energy Guide for Selection and Use of Polyphase Motors[42].
- NEMA RP1, Renewal Parts for Motors and Generators (Performance, Selection, and Maintenance)[43].
- UL 547, Thermal Protection for Motors.10[44].
- UL 1004, Electric Motors[45].

۵-۳- ترانسفورماتورها

- EASA AR 200, Guide for the Repair of Power and Distribution Transformers[46].
- IEEE Std C57.116, IEEE Guide for Transformers Directly Connected to Generators[47].
- IEEE Std 799-1987 (Withdrawn), IEEE Guide for Handling and Disposal of Transformer Grade Insulating Liquids Containing PCBs[48].
- IEEE Std C57.12.00, IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers[49].
- IEEE Std C57.12.01™, IEEE Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers Including Those with Solid-Cast and/or Resin-Encapsulated Windings[50].
- IEEE Std C57.12.56™, IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Ventilated Dry-Type Power and Distribution Transformers[51].
- IEEE Std C57.12.90™, IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers[52].
- IEEE Std C57.12.91™, IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers[53].
- IEEE Std C57.91™, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers[54].
- IEEE Std C57.94™, IEEE Recommended Practice for Installation, Application, Operation, and Maintenance of Dry-Type General Purpose Distribution and Power Transformers[55].
- IEEE Std C57.98™, IEEE Guide for Transformer Impulse Tests[56].
- UL 1561, Dry-Type General Purpose and Power Transformers[57].

۵-۴- سیستم‌های تحریک

- IEEE Std 421.1™, IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines[58].
- IEEE Std 421.2, IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems[59].
- IEEE Std 421.3™, IEEE Standard for High-Potential Test Requirements for Excitation Systems for Synchronous Machines[60].

۵-۵- نگهداری و تعمیرات (نت)

- IEC 60545, Guide for Commissioning, Operation and Maintenance of Hydraulic Turbines[61].
- IEC 60805, Guide for commissioning, operation and maintenance of storage pumps and of pumpturbines operating as pumps[62].
- IEEE Std 492™, IEEE Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators[39].
- IEEE Std 640™- 1985 (Withdrawn) IEEE Guide for Power Station Noise Control[63].
- NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance[64].
- NFPA 851, Recommended Practice for Fire Protection for Hydroelectric Generating Plants[65].
- NFPA 907MP, Manual on the Investigation of Fires of Electrical Origin.

۵-۶- سیستم عایقی

- [B71] IEEE Std 1, IEEE Standard General Principles for Temperature Limits in the Rating of Electrical Equipment and for the Evaluation of Electrical Insulation.
- [B72] ANSI C29.1, Test Methods for Electrical Power Insulators.
- [B73] ANSI C92.1, Power Systems—Insulation Coordination.
- [B74] IEEE Std 62™, IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus —Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors.
- [B75] IEEE Std C57.106™, IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment.
- [B76] IEEE Std 454™ (Withdrawn), IEEE Recommended Practice for the Detection and Measurement of Partial Discharge (Corona) During Dielectric Tests.

۵-۷- سوئیچگیرها، بریکرها و مراکز کنترل موتور

- [B93] ANSI C37.06, American National Standard—AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis—Preferred Ratings and Related Required Capabilities.
- [B94] ANSI C37.9, American Standard Test Code for Power Circuit Breakers.
- [B95] ANSI C37.12, American National Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis—Specifications Guide.
- [B96] IEEE Std 141™, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [B97] IEEE Std C37.04™, IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers.
- [B98] IEEE Std C37.09™, IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [B99] IEEE Std C37.010™, IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [B100] IEEE Std C37.011™, IEEE Application Guide for Transient Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [B101] IEEE Std C37.081™, IEEE Guide for Synthetic Fault Testing of AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [B102] IEEE Std C37.13™, IEEE Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used In Enclosures.
- [B103] IEEE Std C37.14™, IEEE Standard for Low-Voltage DC Power Circuit Breakers Used In Enclosures.
- [B104] IEEE Std C37.16™, American National Standard for Switchgear - Low-Voltage Power Circuit Breakers and AC Power Circuit Protectors—Preferred Ratings, Related Requirements, and Application Recommendations.
- [B105] IEEE Std C37.20.1™, IEEE Standard for Metal-Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear.
- [B106] IEEE Std C37.20.2™, IEEE Standard for Metal-clad and Station-Type Cubicle Switchgear.
- [B107] IEEE Std C37.20.3™, IEEE Standard for Metal-Enclosed Interrupter Switchgear.
- [B108] IEEE Std C37.29™, IEEE Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Protectors Used in Enclosures.

- [B109] IEEE Std C37.50™, American National Standard for Switchgear—Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures—Test Procedures.
- [B110] NEMA ICS2.2, Maintenance of a Motor Controller After a Fault Condition.
- [B111] NEMA ICS2.3, Instructions for the Handling, Installation, Operation and Maintenance of Motor Control Centers.
- [B112] NEMA PB1.1, General Instructions for Proper Installation, Operation, and Maintenance of Panelboards Rated 600 Volts or Less.
- [B113] NEMA PB2.1, General Instructions for Proper Handling, Installation, Operation and Maintenance of Deadfront Distribution Switchboards Rated 600 Volts or Less.
- [B114] UL 489, Molded-Case Circuit Breakers and Circuit-Breaker Enclosures, Seventh Edition.
- [B115] UL 845, Motor Control Centers.
- [B116] UL 1066, Low-Voltage AC and DC Power Circuit Breakers Used in Enclosures.
- [B117] UL 1558, Metal-Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear.

۵-۸- گاورنرها

- [B50] IEC 60308, International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines.

۵-۹- کابل و باس‌بارها و ...

- [B51] IEEE Std 82™, IEEE Standard Test Procedure for Impulse Voltage Tests on Insulated Conductors.
- [B52] IEEE Std 400™, IEEE Guide for Making High-Direct-Voltage Tests on Power Cable Systems in the Field.
- [B53] IEEE Std 402™-1974 (Withdrawn), IEEE Guide for Measuring Resistivity of Cable-Insulation Materials at High Direct Voltages.13
- [B54] IEEE Std 422™-1986 (Withdrawn), IEEE Guide for the Design and Installation of Cable Systems in Power Generating Stations.14
- [B55] NEMA VE1, Metallic Cable Tray Systems.
- [B56] NEMA WC50, Ampacities, Including Effect of Shield Losses for Single-Conductor Solid-Dielectric Power Cable 15 kV Through 69 kV (Copper and Aluminum Conductors).

- [B57] NEMA WC51, Ampacities of Cables in Open-Top Cable Trays.
- [B58] UL 1072, Medium-Voltage Power Cables.
- [B59] UL 1277, Electrical Power and Control Tray Cables with Optional Optical-Fiber Members.

۵-۱۰- حفاظت و رله‌ها

- [B60] UL 1569, Metal-Clad Cables.
- [B61] IEEE Std 242™, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- [B62] IEEE Std C37.91™, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.
- [B63] IEEE Std C37.96™, IEEE Guide for AC Motor Protection.
- [B64] IEEE Std C37.97™, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses.
- [B65] IEEE Std C37.101™, IEEE Guide for Generator Ground Protection.
- [B66] IEEE Std C37.106™, IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants.
- [B67] IEEE Std C57.13.1™, IEEE Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers.

۵-۱۱- کنترل و اسکادا

- [B118] IEEE Std 94™-1970 (Withdrawn), IEEE Standard Definitions of Terms for Automatic Control on Electric Power Systems.15
- [B119] IEEE Std C37.1™, IEEE Standard Definition, Specification, and Analysis of Systems Used for Supervisory Control, Data Acquisition, and Automatic Control.

۵-۱۲- سیستم زمین

- [B120] [B120] IEEE Std 80™, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- [B121] IEEE Std 142™, IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

- [B122] IEEE Std 367™, IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage from a Power Fault.
- [B123] IEEE Std 665™, IEEE Standard for Generating Station Grounding.
- [B124] IEEE Std 1050™, IEEE Guide for Instrumentation and Control Equipment Grounding in Generating Stations
- [B125] IEEE Std 1050™ , Correction Sheet, 7 April 1999, Corrections to IEEE Guide for Instrumentation and Control Equipment Grounding in Generating Stations.
- [B126] IEEE Std C62.92.2, IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part II—Grounding of Synchronous Generator Systems.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل ششم

نتیجه گیری

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل ششم نتیجه‌گیری

۶-۱- نتیجه‌گیری

برنامه‌های نوسازی در دو محور صورت می‌گیرد. اول فعالیت‌هایی که برای افزایش طول عمر تجهیزات صورت می‌گیرد. تجهیزات گران قیمتی مانند ژنراتورها شامل نوسازی سیم‌پیچی استاتور، سیم‌پیچی روتور، نوسازی هسته استاتور و روتور و نوسازی سایر اجزای مکانیکی استاتور و روتور، باهدف رساندن توان خروجی ژنراتور به مقدار اولیه آن (در موقع ساخت نیروگاه) می‌باشد. بازیابی بازدهی، بازیابی ظرفیت و بازیابی ساعات آماده به کار ژنراتور از فواید نوسازی ژنراتور می‌باشد.

علاوه بر مزایای مطرح شده در بخش افزایش طول عمر، در این روش از مزایای تغییر فناوری‌ها نیز استفاده می‌گردد. روش دیگر روش‌هایی مبتنی بر افزایش ظرفیت و افزایش ساعات آماده به کار می‌باشد. نکته حائز اهمیت این که، نوسازی ژنراتورها به این روش، فعالیت‌ها و همچنین مزایای روش افزایش طول عمر را در خود دارد.

در این پروژه مطالعات امکان‌سنجی نوسازی صورت گرفته است. اولین گام جهت تعیین وضعیت نیروگاه برای شرکت و یا عدم شرکت در برنامه های نوسازی، استفاده از روش‌های ارزیابی وضعیت است. پس از این مرحله و در صورت نیاز به نوسازی واحد، می بایست علاوه بر درنظرگرفتن تغییرات مستقیم، تأثیر تغییرات نوسازی بر مجموعه را نیز در نظرگرفت. در آخر یک مطالعه امکان سنجی با درنظرگرفتن هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم به تصمیم گیری برای نوسازی یا عدم نوسازی واحد منجر خواهد شد. همچنین روش‌های ارزیابی واحدهای نیروگاهی، رویکرد سیستمی درباره نوسازی و جوانب قابل توجه معرفی، و مختصری از الگوهای امکان‌سنجی در برنامه‌های نوسازی ارائه گردید. در این گزارش برخی از پروژه‌های بین‌المللی که توسط شرکت‌های مطرح صورت گرفته است ارائه گردید و در انتها استانداردهای مرتبط با حوزه بازسازی در تجهیزات الکتریک نیروگاه بیان شد.

با توجه به هزینه سنگینی که صرف ایجاد نیروگاه برآورد می‌شود، هر طرح اقتصادی بهینه‌سازی، نوسازی و بازسازی که منجربه بهبود عملکرد تجهیزات الکتریکی و در نتیجه افزایش عمر نیروگاه و بالا رفتن بازده آن شود باید مورد بررسی قرار گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل هفتم

شناسایی و بررسی شرکت‌های مشاور، سازندگان، تعمیر کنندگان و تامین کنندگان تجهیزات الکتریک نیروگاه و معرفی نخبگان صنعت و دانشگاه

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل هفتم شناسایی و بررسی شرکت‌های مشاور، سازندگان، تعمیر کنندگان و تامین کنندگان تجهیزات الکتریک نیروگاه و معرفی نخبگان صنعت و دانشگاه

۷-۱- مقدمه

در حال حاضر نیروگاه‌های بخاری قدیمی موجود در شبکه سراسری از راندمان مناسبی برخوردار نمی‌باشند. در این خصوص گزینه‌های مختلفی برای افزایش راندمان و افزایش توان خروجی این نیروگاه‌ها در دستور کار قرار دارد که می‌توان به بازتوانی کامل و بازتوانی مرحله‌ای شامل مقاوم‌سازی، بروزرسانی اشاره نمود.

در بازتوانی کامل نیروگاه‌های بخاری، با احداث واحدهای گازی جدید در کنار واحدهای بخاری موجود و استفاده از مبدل‌های جدید بازیافت حرارتی، نهایتاً واحد قدیمی بخاری به یک بلوک سیکل ترکیبی تبدیل می‌گردد. به عبارت دیگر واحدهای بخاری با استفاده از گازهای خروجی از اگزوز واحدهای گازی و بدون مصرف سوخت اضافی فعالیت می‌نمایند. در این حالت به طور متوسط راندمان واحد نیروگاهی از ۳۶٪ به ۵۰٪ افزایش خواهد یافت. همچنین در میزان سوخت مصرفی نیروگاه و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صرفه‌جویی قابل توجهی صورت می‌پذیرد. در بازتوانی مرحله‌ای که مخصوص واحدهای بخاری قدیمی است با تعویض و اصلاح تجهیزات قدیمی و احتمالاً تغییر سیستم کنترل نسبت به بازیافت قابلیت تولید و قابلیت اطمینان و همچنین راندمان واحد به شرایط نزدیک به طراحی اولیه اقدام می‌گردد.

طبق مطالعات صورت پذیرفته توسط پژوهشگاه نیرو و شرکت توانیر، نیروگاه‌های بخاری اصفهان، همدان، بعثت، شهید رجایی، توس، بیستون، لوشان، بندرعباس، تبریز، شهید منتظری و منتظرقائم، جهت بازتوانی انتخاب گردیده‌اند که با احداث واحدهای گازی جدید مجموعاً به ظرفیت عملی ۵۷۰۳ مگاوات در این نیروگاه‌ها ضمن افزایش راندمان، ظرفیت فعلی واحدهای منتخب این نیروگاه‌ها از ۳۹۹۵ مگاوات به ۸۶۹۹ مگاوات افزایش می‌یابد. همچنین در نیروگاه‌های شهید رجایی و رامین اهواز پروژه‌های بازتوانی مرحله‌ای در دست بررسی می‌باشد. نیروگاه ری نیز در سال جاری عملیات بازسازی اساسی را در برنامه کاری خود دارد. این عملیات به طور کلی صرفه‌جویی، بهره‌وری و بهبود کیفیت محیط زیست را فراهم خواهد کرد. در این فصل به معرفی شرکت‌های فعال در حوزه بازسازی و بازتوانی تجهیزات الکتریک نیروگاه خواهیم پرداخت. در این راستا، ابتدا شرکت‌های مشاور در حوزه طراحی، ساخت و بازسازی اساسی نیروگاه‌ها معرفی خواهند شد. سپس شرکت‌های فعال در زمینه پایش، طراحی، بازسازی، ساخت، نگهداری و تعمیرات تجهیزات الکتریک نیروگاه، شناسایی و ارائه خواهند شد. همچنین شرکت‌های مشاور خارجی در حوزه تعمیرات اساسی و جدول دسته‌بندی کلی شرکت‌های داخلی در حوزه تعمیرات، سرویس و بازسازی تجهیزات الکتریک نیروگاهی در پیوست ارائه شده است.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۲- شرکت‌های مشاور در حوزه ساخت و بازسازی اساسی نیروگاه

در این بخش به شناسایی، بررسی و معرفی شرکت‌های فعال در حوزه بازسازی و تعمیرات کلی تجهیزات الکتریکال و مکانیکال نیروگاه که در قالب شرکت‌های مشاور و ارائه دهنده خدمات فنی و مهندسی، بهره‌بردار و پیمانکاری فعالیت می‌کنند، پرداخته شده است.

۷-۲-۱- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، با قریب به ۱۲۹ نیروگاه دولتی و خصوصی در ۲۸ استان با ظرفیت (نامی) تولید برق ۶۸۳۸۸ مگاوات در سراسر کشور، مسئولیت ساماندهی فعالیت‌های تصدی دولت در زمینه‌ی تولید نیروی برق حرارتی متصل به شبکه انتقال و فوق‌توزیع برق کشور، راهبری شرکت‌های زیر مجموعه و برنامه‌ریزی، مدیریت توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌ها را برعهده دارد. این مجموعه با همکاری شرکت‌های زیر مجموعه سابقه اجرایی در زمینه تعمیرات تخصصی و اساسی، بازسازی، نوسازی، ساخت قطعات و تجهیزات اصلی نیروگاه و نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات نیروگاهی و صنعتی برای نیروگاه‌های گازی، بخار، سیکل ترکیبی را دارد.

۷-۲-۲- شرکت تعمیرات نیروگاهی

شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران عضو شرکت‌های تابعه شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی است که بیش از ربع قرن در زمینه مشاوره، طراحی، تعمیرات اساسی، بازتوانی و نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات نیروگاه فعالیت داشته است. این شرکت در حوزه بخش‌های مکانیک، الکتریک، بالانس، مهندسی معکوس، نصب و اورهال، تامین قطعات و تجهیزات توانایی ارائه خدمات را دارد که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

- تعمیرات اساسی و دوره‌ای انواع تجهیزات سبک و سنگین نیروگاهی به همراه تمامی تست‌های کنترلی دمونتاژ و مونتاژ انواع توربین‌های گازی و بخار با ظرفیت و کلاس‌های مختلف

- مهندسی معکوس انواع تجهیزات نیروگاهی و ساخت انواع پره توربین و قطعات سبک و سنگین

- خدمات آزمایشگاهی مواد، تعیین عمر باقیمانده، تست و عیب‌یابی مخرب و غیرمخرب مواد و قطعات

- اندازه‌گیری دقیق انواع قطعات با استفاده از آزمایشگاه‌های مجهز اندازه‌گیری دقیق CMM

- تعمیر، بازسازی، ساخت و تامین انواع قطعات نیروگاهی دوار و ثابت

- بازسازی، ساخت و تعمیرات اساسی انواع ترانس و ژنراتور با ظرفیت‌های مختلف

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- تست عملکرد انواع ترانس High Voltage در آزمایشگاه فشارقوی

- بالانس دینامیک انواع تجهیزات دوار شامل انواع توربین، کمپرسور، ژنراتور در ابعاد و اندازه‌های مختلف

- اجرای همزمان بیش از ۱۵پروژه مختلف در محل سایت کارفرماها در خارج از شرکت

برخی از پروژه‌های شرکت عبارتند از:

- تأمین ۳ کویل فشارقوی و ۶ کویل فشارضعیف ترانس اصلی واحد MVA ۴۰۰، نیروگاه رامین اهواز

- خرید یک دستگاه روتور ژنراتور ۱۵۰ مگاواتی واحد بخار GE، نیروگاه منتظر قائم

- تعمیرات اساسی ۴ دستگاه ترانسفورماتور قدرت و فوق‌توزیع، برق منطقه‌ای خوزستان

- ساخت و تعویض شینه‌های ژنراتور، نیروگاه سیکل ترکیبی قم

- تعمیرات اساسی و RI واحد ۱ گازی، نیروگاه ترکیبی خوی

- تعمیرات اساسی واحد ۱ بخار نیروگاه خوی، شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان غربی

- تعمیرات اساسی واحد ۲ بخار، نیروگاه رامین

۷-۲-۳- گروه مپنا

گروه مپنا به عنوان یک شرکت تولیدی، صنعتی و بازرگانی بین‌المللی به همراه ۴۱ شرکت زیرمجموعه خود، در زمینه طراحی و احداث نیروگاه‌های حرارتی (بخار، گازی و سیکل ترکیبی) و همچنین اجرای پروژه‌های نفت و گاز، حمل و نقل ریلی و نیز در حوزه سرمایه‌گذاری خصوصی در این صنایع به صورت پیمانکار اجرایی و سرمایه‌گذاری خصوصی در سطح بازار ایران و منطقه فعالیت می‌کند.

۷-۲-۴- شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا (O&M)

شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا از زیرمجموعه‌های گروه مپنا است که علاوه بر مشاوره و مدیریت پیمان، در حوزه بهره‌برداری، راه‌اندازی، تعمیرات اساسی و تست کارایی تجهیزات نیروگاهی فعالیت می‌نماید. در حوزه بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه‌ها برای اطمینان از عملکرد بهینه، حفظ و تقویت ظرفیت واحدها این شرکت توانایی ارائه خدمت را دارد. در حوزه راه‌اندازی شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا با راه‌اندازی ۲۳۶ واحد نیروگاهی شامل ۱۶۰ واحد گازی بزرگ، ۳۵ واحد بخار سیکل ترکیبی، ۴ واحد HRSG و ۹ واحد MGT30 و یک واحد MGT40 و ۲۲ واحد بادی، ۴ واحد آب شیرین کن و ۱ واحد پالایشگاه در داخل کشور، ۲ بلوک

سیکل ترکیبی در کشور سوریه و ۸ واحد گازی در کشور عراق مطابق با استانداردهای بین‌المللی، جز شرکت‌های توانمند در زمینه راه‌اندازی نیروگاه در کشور و منطقه است.

در راستای تعمیرات، شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا با همکاری سازندگان اصلی تجهیزات نیروگاهی توانایی تعمیرات اساسی در حداقل زمان مطابق با استاندارد بین‌المللی را دارد. این شرکت تعمیرات بیش از ۱۷۰ واحد گازی، سیکل ترکیبی و بخار را به اتمام رسانیده است. در فرآیند طراحی، ساخت تجهیزات، نصب و راه‌اندازی پروژه‌های نیروگاهی، اندازه‌گیری ظرفیت و تست کارایی تجهیزات بر اساس استانداردهای تعریف شده بعنوان آزمایش صحت و دقت انجام کلیه فرآیندها در زنجیره ارزش سازندگان نیروگاه می‌باشد. در این راستا شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا طی چندین سال کسب تجربه و دانش از همکاری با پیمانکاران بین‌المللی و با استفاده از تجهیزات و نرم‌افزارهای به روز، با آمادگی کامل کارایی تجهیزات و سیستم‌های نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی را به صورت مجزا و همچنین به صورت مجموعه (Over all) اندازه‌گیری کرده و گزارشات مربوطه را با تاییدیه موسسات بین‌المللی به کارفرما ارائه می‌کند. در مجموع ۷۲ واحد نیروگاهی کشور تائیدیه انجام تست کارایی اولیه و یا مجدد قبل و بعد از Upgrading و overhaul را از شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا دارا می‌باشند.

۷-۲-۵- شرکت قدس نیرو

شرکت مهندسی قدس نیرو با بیش از ۴۷ سال سابقه در اجرای پروژه‌های مختلف در حوزه انرژی و صنایع جانبی مرتبط با آن فعالیت دارد. در شرکت مهندسی قدس نیرو ارایه خدمات مهندسی، مشاوره و مدیریتی به کارفرمایان، بصورت تخصصی در قالب شش معاونت مهندسی مجزا، ارائه می‌شود. خلاصه خدمات شرکت قدس نیرو در زمینه‌های نیرو به قرار زیر است:

- تولید نیرو: بیش از ۵۵۰۰۰ مگاوات انواع نیروگاه‌های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی

- پست: ۴۵۰ پست فشارقوی با سطوح ولتاژ ۶۳ تا ۴۰۰ کیلوولت

- انتقال نیرو: بیش از ۲۶۰۰۰ کیلومتر خط با سطوح ولتاژ ۶۳ تا ۴۰۰ کیلوولت

- انرژی: بیش از چهل پروژه در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، نیروگاه‌های بادی، خورشیدی، CHP و ...

برخی از خدمات قابل ارائه توسط شرکت مهندسی قدس نیرو براساس توانمندی‌های شرکت و در قالب پروژه-های انجام شده و در حال انجام، شامل موارد ذیل می‌شود:

- بهینه‌سازی تاسیسات نیروگاهی و صنایع

- نظارت عالیه و کارگاهی بر اجرای طرح در مراحل مختلف

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- مدیریت پروژه و پیمان

- مطالعات امکان‌سنجی طرح‌ها، مطالعات بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای

- تهیه و تنظیم استانداردها، ضوابط و معیارهای فنی و اجرایی

- طراحی مفهومی، پایه، تفصیلی و اجرایی

- تهیه مشخصات فنی و اسناد مناقصه و برگزاری مناقصات

- بازنگری طراحی و کنترل مهندسی

- خدمات مهندسی و نظارت در دوران بهره‌برداری

- بهینه‌سازی تأسیسات تولید و انتقال نیرو

- اجرا و یا همکاری در پروژه‌های طرح و ساخت

- ارائه خدمات و نظارت O&M

- مشارکت در پروژه‌های سرمایه‌گذاری

۷-۲-۶- مهندسین مشاور موننکو ایران

مهندسین مشاور موننکو ایران با نزدیک به نیم قرن تجربه در ارائه خدمات مهندسی، مشاوره و نظارت در صنایع برق و نیروگاه، نفت و گاز و پتروشیمی، مترو و راه آهن، مخابرات، دیسپاچینگ و اسکادا، آب و فاضلاب فعالیت می‌نماید. حوزه‌های فعالیت موننکو بازه وسیعی از خدمات مهندسی، مشاوره‌ای و نظارت شامل: پروژه‌های نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و بخار، پروژه‌های بهسازی و بازتوانی نیروگاه‌ها، پروژه‌های نیروگاه‌های گازی، تاسیسات و پروژه‌های تولیدات پراکنده (شامل انرژی‌های نو)، خطوط انتقال نیرو، پست‌های فشارقوی و زمینه-های مختلف صنعتی را دربر می‌گیرد. این خدمات عبارتند از:

- نظارت بر مراحل اجرا، نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری

- خدمات فنی و مهندسی افزایش کارایی و بهبود بهره‌برداری از طریق بازسازی

- مشاوره مدیریت و مشاوره سرمایه‌گذاری

- امکان‌سنجی فنی-اقتصادی طرح‌ها و پروژه‌ها

- طراحی مفهومی، پایه و تفصیلی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- بازبینی و صحه‌گذاری مدارک

- کنترل مهندسی اسناد، فرآیندها و تجهیزات

- مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل طرح‌ها و پروژه‌ها

- تهیه و تنظیم استانداردها، ضوابط و معیارهای فنی

- مطالعات موضوعی در زمینه‌های شبکه و سیستم‌های انرژی

- توسعه طرح‌های جامع

- برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی و انتقال دانش فنی

- تهیه اسناد مناقصه و مشخصات فنی

- بررسی و ارزیابی پیشنهادها

- نظارت بر آزمون‌های آزمایشگاهی، میدانی و صنعتی

۷-۲-۷- احداث و توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مپنا-توسعه ۱

شرکت احداث و توسعه نیروگاه‌های مپنا (توسعه ۱) از شرکت‌های زیرمجموعه گروه مپنا است که ارائه دهنده خدمات مشاوره، مهندسی، تأمین و اجرا در زمینه‌های مختلف می‌باشد. حوزه‌های کاری این شرکت شامل: احداث کامل نیروگاه‌های حرارتی، BOP برق و مکانیک نیروگاه‌های حرارتی، سیستم‌های خنک‌کن (و سیستم خنک‌کن هیبریدی)، سیستم‌های فرآوری آب، دیسپاچینگ، پست، خطوط انتقال و فوق‌توزیع، نیروگاه‌های مقیاس کوچک CHP، CCHP و... است. برخی از پروژه‌های شرکت در حوزه نیرو به شرح زیر می‌باشد:

- نیروگاه گازی جنوب اصفهان، سرمایه‌گذاری (۹۵۴ مگاوات)

- نیروگاه حرارتی-خورشیدی یزد، مهندسی و اجرا (۳۰۸ مگاوات)

- نیروگاه گازی حیدریه-نجف، مهندسی و اجرا (۱۶۲ مگاوات)

- نیروگاه گازی کرمانشاه، مهندسی و اجرا (۶۴۸ مگاوات)

- نیروگاه سیکل ترکیبی اصفهان ۲، مهندسی و اجرا (۴۸۴ مگاوات)

- نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم، مهندسی و اجرا (۹۵۴ مگاوات)

- نیروگاه سیکل ترکیبی رودشور، مهندسی و اجرا (۳۴۵ مگاوات در شرایط ایزو)

۷-۲-۸- احداث و توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مپنا-توسعه ۲

شرکت احداث و توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مپنا (توسعه ۲) یکی از شرکت‌های زیرمجموعه گروه مپنا می‌باشد و نزدیک به دو دهه فعالیت رسمی در حوزه نیروگاه سیکل ترکیبی، بخش بخار و بخش گاز صنایع نیروگاهی دارد. برخی از پروژه‌های شرکت به شرح زیر می‌باشد:

- احداث و راه‌اندازی ۲۲ واحد سیکل ترکیبی

- طراحی و راه‌اندازی ۱۰ نیروگاه گازی

- سنکرون واحد اول بخار نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم

- نیروگاه سیکل ترکیبی رمیله، سنکرون واحد اول و دوم گازی نیروگاه رمیله

- نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان، تحویل موقت واحد اول بخار و مشترکات نیروگاه شیروان

۷-۲-۹- شرکت احداث و توسعه پروژه‌های ویژه مپنا-توسعه ۳

شرکت احداث و توسعه پروژه‌های ویژه مپنا (توسعه ۳) نزدیک به دو دهه سابقه ارائه خدمات در صنایع نیروگاهی دارد. این شرکت یکی از شرکت‌های عضو گروه مپنا جهت مدیریت، طراحی و مهندسی، تأمین، اجرا و تحویل پروژه‌های فرآیندی، نیروگاهی و صنعتی در داخل و خارج از کشور فعالیت می‌کند. حوزه‌های کاری این شرکت به چند دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از: تاسیسات صنعتی و یوتیلیتی، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (کلاس E و F)، نیروگاه‌های گازی، تولید برق و بخار، پست AIS/GIS و آب شیرین‌کن. پروژه‌های انجام شده این شرکت در حوزه‌های مذکور به شرح زیر می‌باشد:

*** پروژه‌های حوزه تاسیسات صنعتی و یوتیلیتی**

- پروژه یوتیلیتی فازهای ۱۵ و ۱۶ پارس جنوبی

کارفرما: شرکت سپانیر

شرح پروژه: مهندسی، خرید، کارهای ساختمانی، نصب و راه‌اندازی بخش یوتیلیتی پروژه فازهای ۱۵ و ۱۶ که حوزه کاری اصلی شرکت مپنا عبارت است از شش واحد بویلر با سوخت گاز هر کدام به ظرفیت ۱۶۰ تن در

ساعت، سیستم Cooling، سیستم تولید هوای ابزار دقیق و نیتروژن، سیستم‌های تامین آب آتش‌نشانی، آب دمین، آب شیرین، آب آشامیدنی و آب دریا، دیزل ژنراتور اضطراری و سیستم‌های برقی.

- پروژه یوتیلیتی فاز ۱ توسعه میدان گازی پارس جنوبی

کارفرما: شرکت پترو پارس

شرح پروژه: مهندسی، خرید، کارهای ساختمانی، نصب و راه‌اندازی ۴ واحد تولید برق هر یک به ظرفیت ۴۰ مگاوات، ۳ واحد تولید بخار هر یک به ظرفیت ۸۰ تن در ساعت، ۳ واحد تولید آب شیرین هر یک به ظرفیت ۸۳ متر مکعب در ساعت، ۲ واحد تولید آب دمین هر یک به ظرفیت ۴۵ متر مکعب در ساعت، ۳ واحد تولید آب آشامیدنی هر یک به ظرفیت ۸۰ متر مکعب در ساعت، ۱ واحد تولید آب سرویس به ظرفیت ۲۵ متر مکعب در ساعت، ۳ واحد تولید هوای سرویس و ابزار دقیق هر یک به ظرفیت ۳۲۴۶ متر مکعب در ساعت، ۳ واحد تولید هوای سرویس و ابزار دقیق (برقی) هر یک به ظرفیت ۳۲۴۶ نرمال متر مکعب در ساعت و یک واحد گازوییلی به ظرفیت ۱۸۵۳ نرمال متر مکعب در ساعت، ۳ واحد پمپ آب دریا (برقی) به ظرفیت ۲۳۰۰ متر مکعب در ساعت و دو واحد گازوییلی به ظرفیت ۱۰۰۰ متر مکعب در ساعت.

- پروژه توسعه یوتیلیتی پتروشیمی مبین

کارفرما: شرکت پتروشیمی مبین

شرح پروژه: نصب و راه‌اندازی ۲ واحد گازی ۱۲۳ مگاواتی و مهندسی، خرید و ساخت دو واحد بویلر بازیاب ۳۳۰ تن در ساعت.

*** پروژه‌های حوزه نیروگاه‌های گازی**

- پروژه نیروگاه گازی آبادان

کارفرما: سازمان توسعه برق ایران

شرح پروژه: مهند سی، خرید، کارهای ساختمانی، نصب و راه‌اندازی ۴ واحد تولید برق هر یک به ظرفیت ۱۲۳/۴ مگاوات نوع Frame 9، پست ۲۳۰ کیلوولت و سیستم کنترل Numeric می‌باشد.

- پروژه نیروگاه ۹۴۲ مگاواتی جنوب اصفهان

کارفرما: شرکت نیروگاه جنوب اصفهان

شرح پروژه: احداث ۶ واحد گازی هر واحد به ظرفیت ۱۵۹ مگاوات در شرایط ISO از نوع توربین V94.2 و پست ۴۰۰ کیلوولت و سوخت گاز و گازوییل.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- پروژه نیروگاه ۴۶/۸ مگاواتی خارک

کارفرما: شرکت نفت

شرح پروژه: انتقال ۲ واحد سه مگاواتی گازی را ستون (تی‌بی ۵۰۰۰) از خارک به پالایشگاه گاز فرا شبند (آغار/دالان) و نصب و راه‌اندازی آنها به منظور جایگزینی. جداسازی، جمع‌آوری، حمل دو دستگاه واحدهای ۲۳/۴ مگاواتی (فریم ۵) موجود در دالان و نصب و راه‌اندازی آن‌ها در خارک.

- پروژه نیروگاه گازی متمرکز پارس جنوبی

کارفرما: شرکت نفت و گاز پارس

شرح پروژه: مهندسی، خرید، کارهای ساختمانی، نصب و راه‌اندازی ۶ واحد تولید برق هر یک به ظرفیت ۱۵۷ مگاوات (جمعا ۹۴۲ مگاوات) و پست ۱۳۲ کیلوولت GIS.

*** پروژه‌های حوزه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی**

- پروژه نیروگاه سیکل ترکیبی گناوه

کارفرما: شرکت تولید برق گناوه مپنا

شرح پروژه: احداث یک بلوک سیکل ترکیبی شامل ۲ واحد گازی هر یک به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات و یک واحد توربین بخار به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات در شرایط ایزو (جمعا به ظرفیت ۴۸۴ مگاوات) و بخش بخار شامل ۲ واحد بویلر بازیاب (HRSG) هر یک به ظرفیت ۳۱۰ تن بخار و سیستم خنک کننده ACC.

*** پروژه‌های حوزه تولید برق و بخار**

- پروژه تولید برق و بخار پتروشیمی دماوند

کارفرما: شرکت پتروشیمی دماوند

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، کار ساختمانی، نصب، تست و راه‌اندازی ۲ واحد توربوژنراتور (هر واحد گازی به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات در شرایط ایزو، ۲ دستگاه ترانسفورماتور اصلی به ظرفیت ۲۰۰ مگاولت آمپر، دو واحد بویلر HRSG (هر کدام به ظرفیت ۳۳۰ تن در ساعت) و یک واحد بویلر کمکی به ظرفیت ۱۲۰ تن و پست برق ۲۳۰ کیلوولت GIS و تجهیزات مربوطه.

- پروژه تولید برق و بخار پتروشیمی فجر ۲

کارفرما: پتروشیمی فجر

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرح پروژه: احداث ۴ واحد گازی هر یک به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات در شرایط ایزو (جمعا به ظرفیت ۶۷۸ مگاوات) به همراه پست GIS بصورت Indoor با طراحی باس‌بار دوبل و ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت و بخش بخار آن شامل ۲ واحد بویلر بازیافت (HRSG) هریک به ظرفیت ۳۱۰ تن بخار و یک واحد بویلر کمکی به ظرفیت ۱۶۵ تن (جمعا به ظرفیت ۷۸۵ تن).

- پروژه توسعه برق و بخار دماوند

کارفرما: شرکت پتروشیمی دماوند

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تأمین تجهیزات، حمل به کارگاه، انجام امور ساختمانی، نصب و تست و راه‌اندازی ۲ واحد توربین ژنراتور هر یک به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات در شرایط ایزو به همراه مشترکات مورد نیاز.

- پروژه‌های در حال اجرا

* حوزه نیروگاه سیکل ترکیبی

- نیروگاه سیکل ترکیبی قشم

کارفرما: شرکت تولید انرژی گستر قشم

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، کارهای ساختمانی، نصب، تست و راه‌اندازی ۲ واحد توربو ژنراتور گازی (MAP2A) هر یک به ظرفیت ۱۷۰ مگاوات و یک واحد توربین بخار به ظرفیت نامی ۱۶۰ مگاوات در شرایط ISO به همراه مشترکات مربوطه.

- نیروگاه سیکل ترکیبی دوکوهه (کلاس F)

کارفرما: شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، نصب، تست و راه‌اندازی ۱ واحد توربو ژنراتور گازی به ظرفیت اسمی ۳۰۷ مگاوات به همراه ۱ واحد توربین و ژنراتور بخار به ظرفیت ۱۴۴ مگاوات، جمعاً به ظرفیت تقریبی ۴۵۱ مگاوات در شرایط ایزو، همراه با مشترکات مربوطه.

- نیروگاه سیکل ترکیبی ویس (کلاس F)

کارفرما: شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، نصب، تست و راه‌اندازی ۲ واحد توربوژنراتور گازی به ظرفیت اسمی ۳۰۷ مگاوات به همراه ۱ واحد توربین و ژنراتور بخار به ظرفیت ۲۹۲ مگاوات، جمعاً به ظرفیت تقریبی ۸۸۴ مگاوات در شرایط ایزو، همراه با مشترکات مربوطه.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- نیروگاه سیکل ترکیبی ارس (کلاس F)

کارفرما: شرکت سیکل ترکیبی پرتو انرژی آذر ارس

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به کارگاه، انجام فعالیت‌های ساختمانی، نصب، تست و راه‌اندازی یک واحد توربو ژنراتور گازی به ظرفیت اسمی ۳۰۷ مگاوات و یک واحد توربین و ژنراتور بخار به ظرفیت ۱۴۴ مگاوات، جمعاً به ظرفیت تقریبی ۴۵۱ مگاوات در شرایط ایزو به همراه بویلر بازیاب با آتش اضافی، سیستم خنک کن اصلی از نوع ACC، پست ۴۰۰ کیلوولت و سایر متعلقات.

- نیروگاه سیکل ترکیبی سهند (کلاس F)

کارفرما: شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی

مشاور نظارت عالیه: شرکت مهندسی قدس نیرو، مشاور نظارت کارگاهی: شرکت مشاور نیرو

شرح پروژه: نیروگاه سیکل ترکیبی سهند، شامل یک واحد گاز و یک واحد بخار، دارای ظرفیت گازی ۳۰۷ مگاوات و ظرفیت بخار ۱۴۴ مگاوات (مجموع ظرفیت ۴۵۱ مگاوات) و راندمان ۵۸ درصد می‌باشد.

- نیروگاه سیکل ترکیبی هنگام (کلاس F)

کارفرما: شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی

مشاور: شرکت مهندسی قدس نیرو

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، نصب، تست و راه‌اندازی نیروگاه سیکل ترکیبی با ظرفیت نامی ۹۰۶ مگاوات در شرایط ایزو، شامل دو واحد گازی از نوع توربین های کلاس F به همراه یک واحد بخار با سیستم خنک‌کن یکبار گذر

- نیروگاه سیکل ترکیبی تبریز (کلاس F)

کارفرما: شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به سایت، نصب، تست و راه‌اندازی ۱ واحد توربو ژنراتور گازی به ظرفیت اسمی ۳۰۷ مگاوات به همراه ۱ واحد توربین و ژنراتور بخار به ظرفیت ۱۴۴ مگاوات، جمعاً به ظرفیت تقریبی ۴۵۱ مگاوات در شرایط ایزو، همراه با مشترکات مربوطه.

* حوزه تولید برق و بخار

- پروژه تولید برق و بخار مکران

کارفرما: شرکت آب نیروی مکران

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرح پروژه: طراحی، ساخت، تامین تجهیزات، حمل به کارگاه، انجام فعالیت‌های ساختمانی، نصب، تست و راه‌اندازی ۲ واحد توربو ژنراتور هر یک به ظرفیت ۱۷۰ مگاوات در شرایط ایزو و دو واحد HRSG هر یک به ظرفیت ۳۴۵ تن در ساعت همراه با تجهیزات جانبی.

۷-۲-۱۰- شرکت دانش بنیان مهندسی و خدمات ایفا صنعت تابا

شرکت مهندسی و خدمات تابا نزدیک به یک دهه در زمینه مهندسی تامین و اجرای خدمات بازسازی، ارتقا، نوسازی و باز توانی تجهیزات نیروگاهی، نفت، گاز و پتروشیمی در داخل کشور و نیز کشورهای منطقه به عنوان یکی از شرکت‌های گروه تانا انرژی فعالیت می‌کند. حوزه خدمات این شرکت به شرح ذیل است:

* خدمات نوین و پیشرو در صنایع نیروگاهی، نفت، گاز و پتروشیمی

- مهندسی و ساخت رینگ و پره توربین بخار نیروگاه لوشان

- مهندسی و ساخت پره های ثابت و متحرک ردیف اول تا چهارم نیروگاه شیراز

- مهندسی و ساخت ۸ ردیف پره ثابت و متحرک توربین گاز نیروگاه لوشان

- مهندسی و ساخت یاتاقان های توربین بخار نیروگاه سیکل ترکیبی نیشابور

- مهندسی و ساخت بلیدرینگ آسک نیروگاه ری

* خدمات در حوزه سیستم‌های کنترل و ابزار دقیق

- طراحی، مهندسی و نصب و راه‌اندازی سیستم کنترل انواع توربین‌های گازی، بخار و توربوکمپرسورها

- عیب‌یابی و تعمیرات سیستم های کنترل

- سیستم کنترل توربین‌های گاز

- سیستم کنترل توربین‌های بخار

- طراحی، مهندسی و نصب سیستم کنترل گاورنر توربین‌های گازی

- طراحی، مهندسی و نصب سیستم کنترل گاورنر توربین‌های بخار

- طراحی، مهندسی و نصب سیستم کنترل گاورنر توربین‌های گازی مقیاس کوچک

- طراحی، مهندسی، نصب، راه اندازی و تامین سیستم کنترل بویلرها

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

*** پروژه های انجام شده در زمینه نوسازی تجهیزات نیروگاهی**

- مهندسی، ساخت و تامین رینگ و پره‌های ثابت و متحرک توربین بخار نیروگاه لوشان

- مهندسی، ساخت و تامین پره‌های داغ توربین‌های گازی نیروگاه لوشان

۷-۲-۱۱- شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاهی صبا

شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه صبا در حوزه مدیریت، نگهداری و بهره‌برداری از نیروگاه فعالیت می‌نماید. در حال حاضر مدیریت، نگهداری و بهره برداری از نیروگاه های شهید مدحج اهواز (زرگان) به ظرفیت (۴۱۸ مگاوات)، سیکل ترکیبی خرمشهر به ظرفیت (۹۷۲ مگاوات)، سیکل ترکیبی قم به ظرفیت (۷۱۴ مگاوات)، نیروگاه گازی چابهار به ظرفیت (۴۱۵ مگاوات)، نیروگاه سلطانیه زنجان به ظرفیت (۶۴۸ مگاوات) و نیروگاه افق ماهشهر به ظرفیت (۶۴۸ مگاوات) بر عهده این شرکت است. فعالیت‌های اصلی شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه صبا مشتمل بر موارد ذکر شده زیر می‌باشد:

- کنترل روزانه و دوره‌ای تولید نیروگاه‌ها

- تشکیل جلسات بهره‌برداری داخلی و جلسات بهره‌برداری هماهنگی با برق منطقه‌ای و شرکت توانیر

- نظارت کارفرمایی بر عملیات بهره‌برداری

- همکاری در ارزیابی و انتخاب پیمانکاران اجرائی، خدمات و تامین کنندگان کالا و قطعات

- پیش‌بینی و ارزیابی تولید سال‌های آینده

- برآورد و تخصیص بودجه مورد نیاز نیروگاه‌ها

- تامین نقدینگی لازم برای کلیه هزینه‌های مورد نیاز نیروگاه‌ها اعم از خرید، خدمات و تجهیزات

- کنترل فعالیت‌های عملیاتی نیروگاه‌ها از جمله پروژه‌های بهینه‌سازی، تعمیراتی و بازدیدها

- برنامه‌ریزی برای انجام پروژه‌های بهینه‌سازی و تعمیراتی

- برنامه‌ریزی در جهت افزایش راندمان نیروگاه‌ها، افزایش آمادگی نیروگاه‌ها، کاهش زمان تعمیرات نیروگاه‌ها و مدیریت مصرف سوخت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۲-۱۲- شرکت سرمایه‌گذاری نیروگاهی ایران (سنا)

شرکت سرمایه‌گذاری نیروگاهی ایران در حوزه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های نیروگاهی فعال است. شرکت سنا به همراه شرکت‌های زیر مجموعه، در تأمین و عرضه انرژی الکتریکی، بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه و خدمات نوین سرمایه‌گذاری خدمات ارائه می‌دهد. شرکت‌های زیر مجموعه سنا شامل:

- **تولید نیروی آذرخش**

این شرکت سرمایه‌گذار و مجری پروژه نیروگاه ۱۵۰۰ مگاواتی سیکل ترکیبی علی آباد گلستان است که با مشارکت شرکت‌های سنا (٪۶۰) و مپنا (٪۴۰) در سال ۱۳۸۴تاسیس شد. فاز اول این پروژه شامل ۶ واحد گازی ۱۶۲ مگاواتی V94.2 به ظرفیت مجموع ۹۷۲ مگاوات با سرمایه‌گذاری حدود ۳۳۴ میلیون یورو در سال ۱۳۸۹ به بهره‌برداری رسید. احداث ۳ واحد بخار به ظرفیت مجموع۴۸۰ مگاوات و تبدیل نیروگاه به سیکل ترکیبی در برنامه توسعه این شرکت است.

- **مولد نیروی خرم آباد**

سرمایه گذار و مجری نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی سیکل ترکیبی خرم آباد اولین پروژه می‌باشد.

- **تولید نیروی زاگرس**

شرکت تولید نیروی زاگرس در سال ۱۳۸۴ با هدف مشارکت، تکمیل و بهره‌برداری از نیروگاه‌های نیمه تمام نیروگاه‌های، ارومیه، اردبیل و قائن به ظرفیت اسمی مجموع ۲۸۳۵ مگاوات با ترکیب سهامداری شرکت سنا (٪۶۰) و شرکت توانیر (٪۴۰) فعالیت خود را آغاز نموده است.

- **بهره‌برداری و تعمیرات سنا**

شرکت بهره‌برداری و تعمیرات سنا در زمینه بهره‌برداری، تعمیرات دوره‌ای، تعمیرات اساسی نیروگاهها اعم از گازی، سیکل ترکیبی، بخاری و آبی و تجهیزات مربوطه در سال ۱۳۸۸ با مشارکت ۵۰ درصدی شرکت‌های سنا و مپنا شروع به فعالیت نموده است. در حال حاضر این شرکت بهره‌برداری نیروگاه علی آباد گلستان را در دست دارد.

۷-۲-۱۳- شرکت مهندسی مشاور نیروی آذربایجان (منا)

شرکت مهندسی مشاور نیروی آذربایجان چهار دهه سابقه فعالیت در امور تولید و ارائه خدمات مهندسی نیروگاههای بخاری، گازی و سیکل ترکیبی، برق‌آبی و پروژه های جانبی نیروگاه‌ها و صنایع وابسته را دارد. این شرکت علاوه بر موارد فوق، در زمینه همکاری با کارفرمایان در تهیه مشخصات فنی و انجام مذاکرات فنی، انجام مطالعات امکان‌سنجی و مکان‌یابی مناسب جهت احداث نیروگاه و خدمات نظارت عالی و نظارت کارگاهی،

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

همچنین نظارت بر ساخت و آزمایش‌های کارخانه‌ای تجهیزات خدمات ارائه می‌دهد. بخشی از خدمات شرکت در امور تولید و نیروگاه‌ها به شرح ذیل است:

- انجام خدمات مهندسی و مشاوره‌ای در زمینه‌های مختلف تولید انرژی و احداث نیروگاه‌های برق
- مطالعات امکان‌سنجی و تعیین ساختگاه‌های مناسب جهت احداث نیروگاه
- نظارت بر بهره‌برداری از نیروگاه‌های موجود
- نظارت بر تعمیرات روزانه، روتین و اساسی نیروگاه‌ها
- نظارت بر نصب و راه‌اندازی واحدهای نیروگاهی

۷-۲-۱۴- شرکت مهندسی تجهیزات صنعت آب و برق ایران

شرکت مهندسی تجهیزات صنعت آب و برق ایران از سال ۱۳۷۱ جهت ارائه خدمات نظارت و بازرسی فنی حین ساخت و نصب انواع تجهیزات هیدرومکانیکال و الکتریکال مورد استفاده در سدها، انواع الکتروپمپ‌ها، لوله‌ها، اتصالات، شیرآلات، مخازن و تجهیزات خطوط انتقال شبکه‌های آبرسانی و تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب و ابزار دقیق و در صنعت برق و شبکه‌های انتقال نیرو از قبیل انواع کلیدها، ترانسفورماتورهای قدرت، تابلوهای فشارمتوسط و ضعیف، کابل‌ها، مقره‌ها و تجهیزات جانبی مورد استفاده در آن‌ها فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت دارای شعبه‌های مختلفی در داخل و خارج از کشور جهت ارائه خدمات مهندسی می‌باشد. بخشی از خدمات این شرکت عبارتند از:

- بهینه‌سازی سد دز و نظارت بر تعمیر ژنراتور کارون ۳- سازمان آب و برق خوزستان
- خدمات بازرسی فنی تجهیزات هیدرومکانیکال و الکتریکال سدها
- بازرسی فنی بهینه‌سازی نیروگاه‌های برق‌آبی
- بازرسی جوش و آزمون‌های غیرمخرب (NDT)
- بهینه‌سازی نیروگاه اول سد شهید عباسپور- سازمان آب و برق خوزستان
- سد شرفشاه- آب منطقه‌ای کرمانشاه
- سد بختیاری- توسعه منابع آب و نیروی ایران

۷-۲-۱۵- ۱دفتر خدمات فناوری سامانه‌های مهاربان شریف

این شرکت در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف در قالب هسته پژوهشی کنترل چند متغیره و صنعتی در حال فعالیت است. این دفتر با محوریت پروژه تعویض سیستم کنترل توربین گازی میتسوبیشی واقع در نیروگاه گازی شهر ری فعالیت خود را آغاز نموده است. سامانه‌های مهاربان شریف هم‌اکنون در زمینه‌های مختلف طراحی و ساخت سیستم کنترل، ارزیابی کارایی و بهینه‌سازی سیستم کنترل، ابزاردقیق، اتوماسیون صنعتی، آموزش و مشاوره فنی کنترل فعالیت می‌نماید. در ادامه به برخی از پروژه‌های این مرکز اشاره شده است.

- **طراحی مفهومی سیستم کنترل توربین گازی** MHI-701

کارفرما: شرکت مدیریت تولید برق ری

- **طراحی و ساخت مبدل حسگر دمای مقاومتی** RTD-PT10 **به شبکه صنعتی** Modbus/RS485

کارفرما: شرکت مدیریت تولید برق ری

- **آزمون کارایی توربین گازی** MHI-701

کارفرما: شرکت مدیریت تولید برق ری

- **ارزیابی کارایی عملکرد سیکل ترکیبی با تکیه بر تیونینگ سیستم کنترل**

کارفرما: شرکت مدیریت تولید برق قم

۷-۲-۱۶- شرکت مهندسین مشاور مهساب نیرو (مانیکو)

مهندسین مشاور مهساب نیرو (مانیکو) در حوزه خدمات مهندسی، مشاوره‌ای و نظارت کارگاهی و عالیه در تمام مراحل مختلف اعم از مطالعات اولیه و امکان‌سنجی، تعیین محل، طراحی، تهیه مشخصات فنی، تهیه اسناد مناقصه خرید و نصب و راه‌اندازی، ارزیابی جهت انتخاب پیمانکارهای اصلی و نظارت بر عملیات اجرایی را فعالیت می‌کند. برخی از مهمترین خدمات این شرکت به قرار زیر است:

- انجام خدمات مشاوره برای شناسایی و تعیین شریک و سرمایه‌گذار خارجی و داخلی
- مشارکت در تهیه اسناد مناقصه و مشخصات فنی
- ارزیابی فنی واقتصادی پیشنهادهای پیمانکاران
- امکان‌سنجی و طراحی تبدیل نیروگاه بخاری به نیروگاه تولید توأم برق و حرارت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- ارزیابی فنی و اقتصادی تجهیزات با بررسی وضع موجود و سوابق بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری آن‌ها
- طراحی و خدمات مهندسی برای تأمین، نصب، راه‌اندازی ترانسفورماتورها و راکتورها
- انجام مطالعاتی، بهینه‌سازی و استانداردسازی

۷-۲-۱۷- شرکت دانش بنیان بهسازان سیستم‌های انرژی پویا

شرکت بهسازان سیستم‌های انرژی پویا در سال ۱۳۹۳ در حوزه‌های صنعتی، علمی و پژوهشی و با امکانات نرم افزاری و سخت افزاری تخصصی، از جمله نرم افزارهای شبیه‌سازی و طراحی سیکل‌های حرارتی و نیروگاهی و سخت افزارهایی چون دستگاه اندازه‌گیری میزان گازهای حاصله از سوخت و احتراق و غیره در آزمایشگاه بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران در حال فعالیت است. خدمات مهندسی و مشاوره (طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، انجام بالانس‌های حرارتی و جرمی)، تامین تجهیزات، نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری این شرکت شامل:

- سیکل‌های نیروگاه‌های بخار، گاز، سیکل ترکیبی
- تبدیل نیروگاه‌های گازی موجود به سیکل ترکیبی
- بازتوانی نیروگاه‌های بخار قدیمی (Repowering) جهت افزایش بازده نیروگاه
- راه‌اندازی واحدهای نیروگاهی و تأسیسات جانبی (یوتیلیتی) در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی
- طراحی سیستم‌های خنک‌کاری نیروگاهی
- دوگانه‌سوز کردن موتورهای دیزل‌های ایستگاهی دائم کار و اضطراری (با مصرف ۱۰۰ درصد گازوئیل) به دوگانه‌سوز (با مصرف ۱۰-۵ درصد گازوئیل و ۹۵-۹۰ درصد گاز طبیعی) در کشور
- برخی از پروژه‌های خاتمه یافته این شرکت عبارتند از:
- ارزیابی فنی و اقتصادی بازتوانی نیروگاه‌های بخار قدیمی (کارفرما: وزارت نیرو)
- محاسبات بالانس حرارتی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی (کارفرما: شرکت‌های مشاور)
- انتخاب و تهیه استاندارد نصب و بهره‌برداری سیستم‌های خنک‌کاری هوای ورودی توربین‌های گاز (کارفرما: وزارت نیرو)
- تهیه نرم‌افزار مدل‌سازی و عملکرد بویلر بازیافت سیکل ترکیبی (کارفرما: وزارت نیرو)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- انتخاب سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (کارفرما: وزارت نیرو)

۷-۲-۱۸- شرکت مهندسین مشاور نیرو

شرکت مهندسین مشاور نیرو بیش از دو دهه سابقه در ارائه کلیه خدمات طراحی، مهندسی و مشاوره‌ای در زمینه احداث و توسعه نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی، بادی و خورشیدی، تولید پراکنده، پست‌ها و خطوط انتقال نیرو، شبکه‌های توزیع نیروی برق، اتوماسیون، انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی، ساختمان و همچنین صنایع ریلی و مترو و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و خدمات مدیریت پروژه می‌باشد. همچنین این شرکت دارای تائیدیه، رتبه و گواهینامه‌های مختلفی می‌باشد که تائیدیه نظارت بر تعمیرات اساسی واحدهای گاز و بخار نیروگاه‌ها از شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. محدوده خدمات شرکت مهندسین مشاور نیرو بشرح زیر است:

- مطالعات توجیهی فنی و اقتصادی
- مطالعات امکان‌سنجی و تعیین محل
- طراحی مقدماتی، تهیه مشخصات فنی و تهیه اسناد مناقصه
- انجام تشریفات مناقصه، بررسی و ارزیابی فنی و مالی، انتخاب پیمانکار، مذاکرات قراردادی و تهیه اسناد فنی و قراردادی
- طراحی مفهومی، پایه و تفصیلی، بررسی و کنترل طراحی و نظارت عالی بر کارهای اجرایی
- مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه
- بازرسی فنی ساخت و آزمایش تجهیزات در کارخانجات سازنده
- نظارت کارگاهی بر اجرای کارهای ساختمان، نصب، تست و راه‌اندازی تا مرحله تحویل قطعی
- ارائه خدمات مهندسی در دوران بهره‌برداری و بهینه‌سازی تأسیسات نیروگاهی و صنایع
- مدیریت پروژه و پیمان
- طراحی، ساخت و اجرای پروژه‌ها بصورت EPC

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۲-۱۹- مهندسی تعمیرات انتقال نیروی تهران (متانیر)

شرکت متانیر در حوزه احداث، راه‌اندازی، بهره‌برداری، سرویس و نگهداری پیشگیرانه و تعمیرات اضطراری، بهینه‌سازی و تعمیرات اساسی کلیه تجهیزات شبکه‌های انتقال و فوق توزیع فعالیت می‌کند. این شرکت توانایی ارائه خدمات در زمینه مشاوره، مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه را دارد. خدمات این شرکت شامل بهینه-سازی و تعمیرات اساسی تجهیزات اصلی شبکه‌های برق انتقال نیرو نظیر، تجهیزات پست‌ها، ترانسفورماتورهای قدرت، بریکرها و سیستم‌های حفاظت، شبکه‌های هوایی و زمینی فوق توزیع و انتقال و تجهیزات مخابراتی. همچنین یکی از مهمترین انواع تعمیرات اساسی، تعمیر ترانسفورماتورهای قدرت در محل می‌باشد.

۷-۲-۲۰- مشانیر

شرکت مشانیر با قریب به نیم قرن تجربه در بیش از ۳۵۰۰ پروژه زیربنایی، در قالب انواع پروژه‌های مختلف برق آبی، نیروگاه‌های حرارتی، انرژی‌های پاک، بهینه‌سازی و بهره‌برداری از ظرفیت‌های نیروگاهی، خطوط انتقال نیرو، پست‌های فشارقوی، شبکه‌های توزیع، سدها و سازه‌های هیدرولیک، منابع آبی، تأمین آب شیرین، تصفیه آب و فاضلاب، آبرسانی، پایدار و بهینه‌سازی سازه‌های آبی، حمل و نقل، مهندسی ساختمان و معماری، محیط زیست، مقاوم‌سازی و پدافند غیرعامل فعالیت می‌کند.

خدمات این شرکت شامل: طراحی، مهندسی ارزش، نظارت، خرید تجهیزات، مهندسی خرید ساخت (EPC)، پیمان مدیریت (MC)، بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات، مدیریت پروژه، مشاوره قراردادی، تأمین مالی، تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات، مدیریت کیفیت، بهداشت، ایمنی و محیط زیست می‌باشد.

۷-۲-۲۱- شرکت پترو نیرو ماشین داتیس (تامین و تجهیز قطعات نیروگاهی)

شرکت پترو نیرو ماشین داتیس در حوزه مشاوره، بازسازی و ساخت انواع قطعات نیروگاهی و توربین‌های بخار و گاز فعالیت می‌کند. خدمات شرکت شامل: بازسازی قطعات نیروگاهی، آزمایشگاه متالوژی، پوشش‌دهی پلاسما و جوشکاری تحت خلاء است.

۷-۲-۲۲- شرکت پمکو

شرکت پمکو خدمات تخصصی مختلفی در زمینه مدیریت دارایی‌های فیزیکی ارائه می‌دهد. این خدمات شامل: مشاوره، خدمات اجرایی و خدمات نرم‌افزاری و آموزشی. شرح خدمات این شرکت در حوزه‌های مذکور عبارتند از:

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- انجام پروژه‌های مشاوره و همراهی با صنایع کشور در پیاده‌سازی فرایندها و روش‌های اثربخش مدیریت دارایی‌های فیزیکی به منظور بهینه‌سازی فرایندهای جاری، کاهش اتلافات و افزایش بهره‌وری و بازگشت سرمایه با همکاری مشاوران برجسته و مجرب داخلی و بین‌المللی؛
- اجرای پروژه‌های نگهداری و تعمیرات اساسی تجهیزات مختلف صنعتی و تأمین و ساخت قطعات مورد نیازشان
- تأمین نیاز سازمان‌ها به نرم‌افزار مدیریت دارایی‌ها EAM، نرم‌افزارهای هوشمند و نرم‌افزارهای تحلیل داده‌های نگهداری و تعمیرات و ارائه راه‌حل‌های صنعتی
- نظارت بر فعالیت‌های پیمانکاران نگهداری و تعمیرات و بهره‌برداری در صنایع مختلف

برخی از توانمندی‌های شرکت در قالب پروژه‌های انجام شده در ذیل ارائه شده است:

- تعمیرات دیزل ژنراتور
- تعمیر درایوهای صنعتی
- تعمیر گیربکس، کمپرسور و پمپ‌های صنعتی
- مهندسی معکوس و ساخت قطعات یدکی
- تعمیر دمنده‌ها و مکنده‌های صنعتی
- تعمیر انواع شیرهای صنعتی و انواع جت ماشین‌ها

۷-۲-۲۳- گروه تانا انرژی

این مجموعه از سال ۱۳۸۹ به عنوان پیمانکار پروژه‌های زیربنایی EPC در حوزه‌های مختلف در حال فعالیت است. خدمات گروه تانا انرژی در امور مشاوره، طراحی و احداث در حوزه‌های مختلف، عبارتند از:

- نیروگاه‌های حرارتی
- سد و نیروگاه‌های برق آبی
- تولید نیرو
- خدمات بهره‌برداری و نگهداری و خدمات پس از فروش
- صنایع ریلی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- آب و فاضلاب

- صنایع معدنی

- نفت و گاز و پتروشیمی

۷-۲-۲۴- شرکت خدمات فنی و بازرگانی تکسا نیروی کرمان

شرکت خدمات فنی و بازرگانی تکسا نیروی کرمان از سال ۱۳۸۱ در راستای ارائه خدمات مشاوره خرید و تامین تجهیزات به مراکز صنعتی به خصوص صنایع نفت گاز پتروشیمی و صنایع نیروگاهی در حال فعالیت می‌باشد. توانمندی‌های این شرکت شامل:

- ارائه مشاوره در زمینه تامین قطعات و نحوه تعمیرات

- تامین قطعات مکانیک ابزار دقیق و الکتریک واحدهای گازی، برندهای:

V94.2, SIEMENS, ANSALDO, GE (F5, F9), NUOVO PIGNONE, SGT

- تامین قطعات واحدهای تولید برق بخار SIEMENS

- تامین پکیج‌های اورهال نیروگاهی

- شناسائی-طراحی (مهندسی معکوس) ساخت قطعات در داخل و یا خارج از کشور با کیفیت برابر با سازنده اصلی با نظارت کامل مشتری

- تامین کلیه قطعات مکانیک – ابزار دقیق- الکتریک- صنایع نفت گاز پتروشیمی

همچنین این شرکت علاوه بر موارد فوق دارای نمایندگی برندهای مختلفی می‌باشد، شامل:

- نماینده فروش و خدمات پس از فروش شرکت GENERAL TURBINE SOLUTION (GTS) سازنده قطعات توربین ژنراتور

- نماینده شرکت BRAUN سازنده سنسورهای سرعت توربین و تجهیزات دوار

- همکاری مستقیم و نزدیک با شرکت‌های مطرح، شامل:

MEGGITT, ALLWEILER, HYOSUNG, SAMYANG, STEJASA, SAMSHIN, WELLAND & TUXHORN, SCHROEDAHL

- فروش و خدمات پس از فروش شرکت آرگوس سازنده انواع شیرآلات صنایع پتروشیمی و نیروگاهی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- نماینده شرکت TORISHIMA سازنده انواع پمپ‌های صنایع نفت گاز پتروشیمی و نیروگاهی

۷-۲-۲۵- شرکت آوای نوآوران آسیا

شرکت آوای نوآوران آسیا با ۹ سال سابقه و ارائه خدمات در کلیه فرآیندهای زنجیره ارزش نظیر مشاوره، مهندسی، زنجیره تامین، توانمندسازی در صنایع و حوزه‌های برق، نیروگاه، نفت و گاز و پتروشیمی، آب، شهرک‌های صنعتی را دارد. همچنین شرکت آوای نوآوران آسیا با هدف دستیابی و توسعه بازارهای صادراتی، انتقال تکنولوژی و دانش فنی و در نهایت امکان تولید مشترک، اقدام به همکاری‌های مقطعی یا بلندمدت با شرکت‌های معتبر بین‌المللی و دانش بنیان در حوزه کشورهای اسکاندیناوی و اروپای غربی نموده است. دامنه خدمات و توانمندی‌های شرکت عبارتند از:

مشاوره در طراحی، ساخت، نصب و تامین تجهیزات انواع سیستم‌های کنترل، منابع تغذیه، بریکرها و بریرها، کنتاکتورها و کلیدهای حرارتی، ترانسفورماتورها، رله‌های حفاظتی، الکتروموتور و تجهیزات ضد انفجار، سی پی یو، انواع کارت‌های شبکه، حافظه و لوگو.

۷-۲-۲۶- شرکت هیربدان

هیربدان به عنوان یک شرکت پیمانکار و مشاور مهندسی و ساخت، در طیف وسیعی از پروژه‌های نیروگاهی، نفت و گاز، پتروشیمی، انرژی‌های نو، صنایع، و یوتیلتی و آفسایت فعال می‌باشد. عمده خدمات این شرکت شامل: طراحی، مهندسی و ساخت، توسعه و سرمایه گذاری، تامین تجهیزات می‌باشد. همچنین این شرکت با سازندگان مطرح بیش از ۴۰ کشور دنیا، جهت تأمین تجهیزات پروژه‌های بزرگ در صنعت نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی تعامل دارد. برخی از پروژه‌های این شرکت در حوزه نیروگاه عبارتند از:

- بخش گازی نیروگاه سیکل ترکیبی ۵۰۰ مگاواتی پاسارگاد قشم

- احداث نیروگاه ۴۲ مگاواتی و تولید بخار – پالایشگاه بندرعباس

- نیروگاه سیکل ساده ۱۸۰ مگاوات – پارس جنوبی

- پروژه سیستم اطفاء حریق نیروگاه دماوند

- سیستم خنک کن اصلی و کمکی نیروگاه نکا

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۲-۲۷- گروه مهندسی ماه‌تاب گستر

شرکت تولیدی آرین ماه‌تاب گستر با بهره‌گیری از تجربیات متخصصین صنعت برق، از سال ۱۳۸۰ به عنوان اولین شرکت خصوصی تولیدکننده‌ی برق در حال فعالیت می‌باشد. این شرکت دارای زیر مجموعه‌های مختلفی است که در راستای مشاوره در ساخت، تامین تجهیزات و بهره‌برداری از نیروگاه‌های حرارتی، تجدیدپذیر و پروژه‌های بزگ نفت، گاز و پتروشمی توانایی ارائه خدمات را دارند. پروژه‌های این شرکت در حوزه احداث و راه‌اندازی نیروگاه‌های حرارتی شامل:

- نیروگاه رودشور

- نیروگاه شوباد – کرمان

- نیروگاه کهنوج - کرمان

- نیروگاه سرخس – خراسان رضوی

- نیروگاه کاسپین – مازندران

۷-۲-۲۸- شرکت صانیر

صانیر از سال ۱۳۷۳ به عنوان یک مجموعه معتبر مهندسی مشاور در زمینه‌های برق، آب و فاضلاب، نفت و گاز، تاکنون طی ۲۰ سال بیش از ۱۹۰ پروژه در کشورهای مختلف به انجام رسانده است. برخی از کشورهایی که شرکت صانیر با همکاری شرکت‌های معتبر داخلی و محلی موفق به انجام پروژه، تبادل انرژی یا تامین تجهیزات گردیده است، عبارتند از: آذربایجان، ارمنستان، سوریه، ترکمنستان، عراق، اقلیم کردستان، پاکستان، اتیوپی، سنگال، عمان، افغانستان، کوبا و سریلانکا. فعالیت‌های اصلی واحد مستقل تولید نیرو شامل: مهندسی، تدارکات، احداث و راه اندازی و بازسازی انواع نیروگاه‌های برق (حرارتی، گازی، سیکل ترکیبی، برقآبی و بادی)، و همچنین نظارت بر اجرای پروژه‌های نیروگاهی می‌باشد. محدوده خدمات این شرکت در حوزه‌های مدیریت پروژه‌های نیروگاهی، فنی و مهندسی، تدارکات و تامین تجهیزات، ساخت و ساز/ احداث و بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات قرار می‌گیرند.

برخی از پروژه‌های شرکت:

- احداث نیروگاه گازی – دیبیس عراق

- نیروگاه بخار ۱۲ مگاواتی – میسان عراق

- طراحی، تامین و ساخت نیروگاه ۱۵۷/۲ مگاوات – الصدر عراق

- خط و پست ۱۱۰ به ۲۰ کیلوولت – قاعه نو افغانستان

۷-۲-۲۹- شرکت نصب نیرو

شرکت نصب نیرو از سال ۱۳۷۰ در حوزه مدیریت، مشاوره، تامین کالا و اجرای پروژه‌های مختلف صنعتی و نیروگاهی فعال است. همچنین این شرکت جزء ده پیمانکار برتر ایران نیز است. خدمات این شرکت در زمینه مشاوره، مدیریت مهندسی، تامین تجهیزات، نصب و راه اندازی پروژه‌ها در حوزه‌های زیر انجام می‌شود:

- نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی)، آبی، بادی و خورشیدی و پرتابل

- خطوط انتقال نیرو پست‌های فشارقوی

- پالایشگاه‌های نفت، گاز و مجتمع‌های پتروشیمی

- ساختمان‌های اداری، صنعتی و نیروگاهی، پالایشگاهی، سازه‌های بتنی و فلزی

- مجتمع‌های صنعتی، آب شیرین‌کن، کارخانجات به ویژه در حوزه انرژی

۷-۲-۳۰- شرکت مهندسی مسینان

شرکت مهندسی مسینان از سال ۱۳۸۱ توسط گروهی از متخصصان با هدف انجام خدمات مشاوره‌ای در زمینه‌های صنعتی به خصوص صنایع نیروگاهی در حال فعالیت است. عمده فعالیت‌های این شرکت ارائه خدمات مشاوره مهندسی و مطالعاتی به شرکت‌های دولتی و خصوصی فعال در صنعت برق کشور در زمینه‌های مختلفی از جمله خدمات طراحی و مرور طراحی (طراحی مفهومی، طراحی پایه، طراحی تفصیلی)، نظارت بر تامین تجهیزات شامل ساخت و تست‌های کارخانه‌ای، نظارت بر عملیات اجرایی (عملیات ساختمانی، نصب و راه اندازی)، در زمینه‌های نیروگاه و پست می‌باشد. برخی از توانمندی‌ها و پروژه‌های شرکت عبارتند از:

- طراحی و مهندسی پروژه نیروگاه گازی ۱۵۰ مگاواتی طرح NGL3100 طرح دهلران (در حال اجرا)

- خدمات مهندسی، نظارت عالیه و نظارت کارگاهی نیروگاه سیکل ترکیبی ۴۸۵ مگاواتی هریس

- خدمات نظارت عالیه، مهندسی و نظارت کارگاهی نیروگاه سیکل ترکیبی فردوسی (کارفرما مپنا)

- خدمات نظارت عالیه مهندسی و نظارت کارگاهی نیروگاه سیکل ترکیبی پرند (کارفرما مپنا)

- نظارت عالیه و کارگاهی بر احداث و نصب و راه اندازی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (سمنگان)، پست انتقال مربوطه و ایستگاه تقلیل فشار گاز نیروگاه (کارفرما شرکت تولید نیروی برق حرارتی)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- ارائه خدمات مهندسی شامل نظارت عالیه و نظارت کارگاهی دوران بهره‌برداری نیروگاه گازی توس مپنا و پست ۴۰۰ کیلوولت مربوطه (کارفرما مپنا)

- خدمات مهندسی طراحی و مهندسی پروژه بازتوانی نیروگاه مشهد و نظارت کارگاهی

- تهیه اسناد پیش ارزیابی، اسناد مناقصه، اسناد فنی و معیارها و ارزشیابی جهت انتخاب سرمایه گذار از طریق مناقصه بین‌المللی (بخش بخار نیروگاه سیکل ترکیبی گنو) - (کارفرما شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی)

۷-۲-۳۱- شرکت اختر برق اصفهان

شرکت اختر برق اصفهان به عنوان مشاور، پیمانکار EPC و نگهداری و تعمیرات حوزه برق فعال است. این شرکت به صورت تخصصی در حوزه طراحی، ساخت و نگهداری و تعمیرات سیستم‌های تولید، توزیع و انتقال توانایی ارائه خدمات می‌کند. همچنین چندین شرکت زیر مجموعه همچون شرکت پویا نیرو، فرآیند کنترل، رایان توان و مبدل توان در زمینه مشاوره، طراحی، نظارت، نصب، تامین تجهیزات، اجرا، تست و راه‌اندازی، تعمیرات، سرویس و نگهداری و بهینه‌سازی تجهیزات پست‌ها وخطوط فشارقوی برق، مخابرات و تله‌متری و کامپیوتر در داخل و خارج کشور در حال فعایت می‌باشند.

۷-۳- شرکت‌های فعال در زمینه پایش وضعیت و عمرسنجی تجهیزات الکتریک نیروگاه

در این بخش شرکت‌های فعال در حوزه پایش وضعیت و سلامت‌سنجی تجهیزات الکتریک نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت. تجهیزات الکتریک نیروگاه نظیر "مجموعه ژنراتور، بریکرهای فشارقوی و فشارمتوسط، ترانسفورماتورهای اصلی و مصرف داخلی واحد، الکترو موتورهای فشارقوی و فشارمتوسط، سیستم تحریک و راه‌انداز، سیستم حفاظت الکتریک و سیستم تغذیه DC و باتری" می‌باشد.

۷-۳-۱- مرکز خدمات فناوری پایش وضعیت و عیب‌یابی شریف

شرکت خدمات فناوری پایش وضعیت و عیب‌یابی شریف در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف در حال فعالیت می‌باشد. این مرکز در راستای پایش وضعیت تجهیزات صنعتی و نیروگاهی قادر به انجام آنالیزهای مختلفی می‌باشد. نمونه‌ای از خدمات که توسط این مرکز ارائه می‌گردد، عبارتند از: آنالایزر چند کاناله، آنالیز ارتعاشات، آنالیز ترموگرافی، اندازه‌گیری و آنالیز جریان، همراستاسازی محورها که توسط لیزر صورت می‌گیرد. همچنین این مرکز قابلیت انجام بالانس و ارزیابی وضعیت نگهداری و تعمیرات در محل را توسط متخصصین دانشگاهی و صنعتی ارائه می‌نماید.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۳-۲- خدمات مهندسی دلتا صنعت شریف

شرکت خدمات مهندسی دلتا صنعت شریف در زمینه با پایش وضعیت، تست و بازرسی الکتریکی، اندازه‌گیری پارامترهای الکتریکی فعالیت می‌نماید. این شرکت با دارا بودن تجهیزات مختلف مانند دوربین های ترموویژن یا دوربین‌های ترموگرافی، ارتعاش سنج‌ها و تجهیزات آنالیز ارتعاشات، دستگاه‌های الاینمنت لیزری، آنالیز جریان، آنالیز صدا، آنالیز روغن، آنالیز عملکرد، ماشین بالانس‌ها در جهت نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه یا پایش وضعیت، ارائه دهنده کلیه خدمات به صورت جامع می‌باشد. اهم خدمات شرکت در زمینه با حوزه‌های ذکر شده به شرح ذیل است:

مانیتورینگ تخلیه جزئی، پایش وضعیت و عیب‌یابی هوشمند موتور و ژنراتور، تجهیزات پرتابل آنالیز جریان و عیب‌یابی موتور، عیب‌یابی آلتروسونیک نشتی الکتریکی، کرونا و عیوب برقی بخشی از خدمات شرکت خدمات مهندسی دلتا صنعت شریف می‌باشد. همچنین این شرکت دارای تجهیزات تست الکتریکی، فشارقوی و تجهیزات مدرن و هوشمند برای ارزیابی وضعیت و آنالیز مدار موتور است.

اندازه‌گیری پارامترهای الکتریکی در این مرکز توسط تجهیزات دیجیتال صورت می‌گیرد. مرکز مهندسی دلتا صنعت شریف مجهز به تجهیزات اندازه گیری دیجیتال، دوربین های تشخیص نشتی گاز و بیرینگ تستر و ارتعاش سنج الکتروموتور می باشد. در این مرکز روش آنالیز صدای آلتروسونیک جهت عیب‌یابی آلتروسونیک بیرینگ، چرخدنده گیربکس، بازرسی روانکار بیرینگ و مانیتورینگ آنلاین آلتروسونیک انجام می شود و این مرکز قابلیت بالانس و الایمنت لیزری برای شفت و کوپلینگ، تسمه و پولی و ... را داراست.

۷-۳-۳- مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران

این مرکز در ساختمان مجموعه آزمایشگاه‌های آموزشی و تحقیقاتی دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران در حال فعالیت می‌باشد. تست و پایش ترانسفورماتور، الکتروموتور و ژنراتور از فعالیت‌های اصلی این مرکز می‌باشد. همچنین این مرکز توانایی مشاوره فنی و مهندسی در زمینه با نصب و راه‌اندازی، سرویس و نگهداری، عیب‌یابی و تعمیر انواع ماشین‌های الکتریکی، تحلیل نتایج تست و پایش ماشین‌های الکتریکی، انتخاب و سایزینگ الکتروموتورها، افزایش راندمان و بهره‌وری الکتروموتورها، انتخاب و تأمین درایو الکتروموتورها، انتخاب و تأمین ادوات تست و پایش و بازرسی و تست‌های کارخانه‌ای پیش از تحویل ماشین‌های الکتریکی را دارد.

- تجهیزات فنی شرکت

دستگاه آنالیز ارتعاشات، دستگاه آنالیز جریان، دستگاه تست تخلیه جزئی، دوربین ترموگرافی، میگر و دستگاه LCR متر

برخی از پروژه‌های اخیر این مرکز به شرح ذیل است:

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- تست تانژانت دلتا، HIPOT و تخلیه جزئی یک دستگاه ژنراتور–شرکت مدیریت تولید برق مشهد
- تست FRA، الکتریکال و عایق ترانسفورماتور–نیروگاه ورامین
- تست آنالیز جریان و ارتعاشات الکتروموتو-شرکت مجتمع جهان فولاد سیرجان
- آنالیز ارتعاشات الکتروموتور بال میل خط پنجم-شرکت معدنی و سنعتی گل گهر
- تست آنالیز اثرات الکتریکی الکتروموتور-مجتمع سنگ آهن سنگان

۷-۳-۴- شرکت مهندسی ارتعاشات بهروش

شرکت مهندسی ارتعاشات بهروش در حوزه اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات، پایش وضعیت، عیب‌یابی فعالیت می‌نماید. همچنین این شرکت با بهره‌گیری از تجهیزات هوشمند توانایی انجام خدمات پایش وضعیت ماشین-های الکتریکی، آنالیز و اندازه‌گیری ارتعاشات، آنالیز و اندازه‌گیری صدا، تشخیص خطا با روش آنالیز ارتعاشات، بالانس ماشین‌آلات دوار و تست ارتعاشات به روش‌های مختلف را دارد.

۷-۳-۵- دفتر خدمات فناوری عمردهی سازه‌ها و سیستم‌های الکترو/مکانیکی برنا فناور شریف

دفتر خدمات فناوری عمردهی سازه‌ها و سیستم‌های الکترو/مکانیکی برنا فناور یک شرکت دانش‌بنیان است که در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف فعالیت می‌نماید. این مرکز در زمینهٔ پیاده‌سازی روش‌های نوین تعمیر و نگهداری و ارزیابی رفتارهای مکانیکی و افزایش عمر و قابلیت اطمینان قطعات، سازه‌ها، تجهیزات و سیستم‌های الکترو/مکانیکی در صنایع مختلف فعال است. همچنین این شرکت توانایی جوان‌سازی قطعات، تجهیزات و سیستم‌های پیچیده الکترو/مکانیکال را داراست.

۷-۳-۶- مرکز خدمات آزمایشگاهی شریف

این شرکت در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف و در حوزه پایش وضعیت و عیب‌یابی در حال فعالیت می‌باشد. روش های پایش وضعیتی که توسط این مرکز صورت می‌گیرد شامل، تست ارتعاش و شوک، انجام آزمون کشش نمونه‌های فلزی در دمای بالا و دمای محیط، انجام آزمون خستگی تحت مد چرخشی- خمشی،

رشد ترک تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی، خستگی پرچرخه بر روی نمونه واقعی، تست‌های بهبود کیفیت ماشین کاری و خواص مکانیکی با استفاده از امواج التراسونیک و اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای وارد بر قطعات.

۷-۳-۷- بنیاد علوم کاربردی رازی

بنیاد علوم کاربردی رازی از سال ۱۳۹۲ در زمینه با آزمون‌های خواص مکانیکی قطعات و بررسی علل شکست و تخمین عمر باقیمانده قطعات مختلف نیروگاهی، بررسی علل تخریب قطعات و تجهیزات صنایع، تخمین عمر باقی مانده در حال فعالیت است. این بنیاد دارای مجموعه‌ی بسیار خوبی از آزمایشگاه‌هایی نظیر متالوگرافی، میکروسکوپ الکترونی، شیمی، غیرمخرب، مکانیکی، پلیمر، خوردگی، کوانتومتری، XRF و XRD، کارگاه آماده‌سازی نمونه‌های فلزی و غیر فلزی و مجموعه امکانات آزمون‌های کاربردی کامپوننت‌های صنعتی در این حوزه می‌باشد. همچنین این بنیاد دارای نمایندگی‌های مختلفی در استان‌های کشور می‌باشد که در حوزه‌های مذکور توانایی ارائه خدمات را دارند.

این بنیاد در حوزه نیروگاهی که به عنوان یکی از صنایع پیشرفته و دارای دانش فنی پیچیده است، خدمات آزمایشگاهی گسترده‌ای را در دوره احداث و همچنین بهره‌برداری نیروگاه‌ها ارائه می‌نماید. مجموعه آزمایشگاه-های مختلف بنیاد علوم کاربردی رازی خدمات آزمایشگاهی مورد نیاز نیروگاه ها و صنایع مرتبط را در زمینه شناسایی و آنالیز ترکیب شیمیایی و خواص متالورژیکی سوپر آلیاژهای مصرفی، انجام آزمون‌های خواص مکانیکی قطعات، کنترل و ارزیابی عیوب ساختاری، تدوین شناسنامه فنی و ارائه تکنولوژی تولید قطعات، بررسی علل شکست و تخمین عمر باقی مانده قطعات مختلف نیروگاهی، انجام بازرسی و آزمون های غیرمخرب و آنالیز پرتابل در محل نیروگاه‌ها به روش های XRF و PMI (کوانتومتر پرتابل) را ارائه می‌نمایند.

۷-۳-۸- شرکت مهندسی ویستا پایش راد

شرکت مهندسی ویستا پایش راد در حوزه پایش وضعیت فعالیت میکند و خدماتی نظیر آنالیز ارتعاشات، عیب‌یابی، بالانس دینامیکی و الاینمنت انواع تجهیزات دوار (توربین، پمپ، فن و کمپرسور)، تعمیرات اساسی و راه اندازی مجدد انواع تجهیزات دوار، انجام ترموگرافی تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و فرایندی، طراحی و ساخت انواع ابزار مخصوص‌های نیروگاهی را ارائه می نماید. در ذیل به برخی از پروژه‌های این شرکت در حوزه مکانیکال صنایع نیروگاهی اشاره شده است.

- دیافراگم پالس جت
- ساخت انواع وزنه بالانس روتورهای نیروگاهی
- طراحی و ساخت برج (سکوی) اورهال روتور

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۳-۹- شرکت دیده پرداز صبا

دیده پرداز صبا در حوزه پایش وضعیت و عیب‌یابی تجهیزات دوار با استفاده از روش تحلیل ارتعاشات فعالیت می‌نماید. علاوه بر ساخت تجهیزات مدرن اندازه‌گیری، توانایی ارائه خدماتی نظیر تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تشخیص عیوب ماشین‌آلات، کاهش سطح نویز و ارتعاشات محصولات، کنترل فعال نویز و ارتعاشات، راه‌اندازی آزمایشگاه‌های نویز و ارتعاشات، انتخاب مهندسی تجهیزات را دارد.

۷-۳-۱۰- شرکت مهندسی تواتر سپاهان

این شرکت مهندسی در حوزه پایش وضعیت، عیب‌یابی، بالانس در محل، بالانس کارگاهی، همراستاسازی، آزمایشگاه آنالیز ارتعاشات در حال فعالیت می‌باشد. این شرکت با در اختیار داشتن تجهیزات پیشرفته و هوشمند در حوزه‌های مذکور توانایی ارائه خدمات را دارد. برخی از تجهیزات شرکت:

- بالانسر پرتابل VB95

دستگاه پرتابل VB95 اولین دستگاه پرتابل آنالایزر ارتعاش شرکت مهندسی تواتر سپاهان برای پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌های دوار است. همچنین از این تجهیز برای برنامه‌های پایش وضعیت لرزشی و بالانس در محل انواع توربین، ژنراتور، فن و هرگونه روتور قابل بالانس استفاده می‌گردد.



شکل ۷-۱- نمونه‌ای از دستگا بالانسر پرتابل **VB95**

سیستم پایش لرزش VM4-96

مانیتور لرزش حفاظت و پایش وضعیت دائم ماشین‌آلات حساس دوار. ساختار ماژولار برای تعمیم به هر تعداد کانال با قابلیت مدیریت حفاظت و ثبت پیوسته اطلاعات لرزشی ماشین همراه با امکانات نرم افزاری آنالیزهای عیب‌یابی و گزارش گیری‌های متنوع.

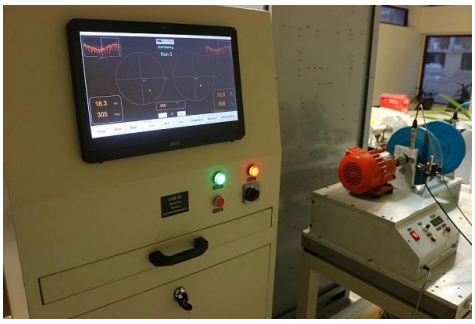
DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۲- سیستم پایش لرزش **VM4-96**

کابین بالانس BALCAB 97

اندازه‌گیری، تحلیل، محاسبات و نمایش نابالانسی در ماشین بالانس شامل دو سنسور دامنه و یک سنسور فاز برای محاسبات بالانس تک صفحه‌ای و دو صفحه‌ای قابل استفاده در ماشین بالانس‌های مختلف با امکان پرینت مستقیم تأییدیه بالانس. از این کابین می‌توان برای ارتقاء ماشین بالانس‌های قدیمی استفاده کرد.



شکل ۷-۳- یک نمونه **BALCAB 97**

آشکارساز خارج از مرکزی ROD

اندازه‌گیری خروج از مرکز مکانیکی و الکتریکی شافت برای اطمینان از عدم وجود خطای خارج از مرکز الکتریکی اندازه‌گیری‌های پروب پروکسی. قابل استفاده برای تأیید روتورهای تعمیر و بازسازی شده به منظور اطمینان از عملکرد صحیح پروب‌های پروکسی در ماشین‌های حساس.



شکل ۷-۴- یک نمونه آشکارساز خارج از مرکزی **ROD**

۷-۳-۱۱- شرکت تجهیز آزما پاکان (تاپکو)

شرکت تاپکو علاوه بر توانایی ساخت تجهیزات پایشی و آزمایشگاهی تست انواع ادوات الکتریکی و مکانیکی، ارائه دهنده خدمات در حوزه‌های مختلف نظیر، پایش وضعیت با استفاده از روش‌های ارتعاشات، ترموگرافی، صداسنجی و آنالیز جریان الکتریکی، آکوستیک و ارتعاشات، تست خواص مکانیکی و انواع تست‌های الکتریکی می‌باشد. خدمات قابل ارائه در هر کدام از حوزه‌های اشاره شده در ادامه آورده شده است. همچنین این شرکت با شرکت‌های بین‌المللی مطرح در حوزه کاری خود همکاری داشته است.

الف) پایش وضعیت ماشین¬آلات دوار از طریق ارتعاشات

- سیستم‌های حفاظتی و پایش دائمی با قابلیت اتصال انواع سنسورها
- سیستم‌های حفاظتی و پایش دائمی ۲ یا ۴ کاناله
- نرم‌افزار جامع پایش وضعیت
- سنسورهای جابجایی هوشمند (Smart Proximity Probes) با امکان کالیبراسیون و نیز تنظیم پارامترهایی نظیر: حساسیت، محدوده اندازه‌گیری، نوع تغذیه و ...
- سوئیچ‌های ارتعاشی (Vibration Switch) جهت پایش ارتعاشات و محافظت تجهیزاتی نظیر: فن‌ها، پمپ‌ها، الکتروموتورها و ....
- انواع سنسورهای سرعت ارتعاشات (Linearized Vibration Velocity Sensors)
- انواع شتاب سنج‌ها (Piezoelectric Accelerometers)
- انواع ترنسمیترهای فاصله هوایی (Air gap Transmitters)
- سنسورهای شتاب‌سنج فیبر نوری (Fiberoptic Acceleration Sensors)
- ترنسمیتر میدان مغناطیسی (Magnetic Field Transmitter)
- Runner Clearance Probes
- سیستم‌های پایش تخلیه جزئی (Partial Discharge Monitoring Systems)
- دستگاه‌های پیشرفته آنالیز ارتعاشات، دیتاکالکتور و بالانسر دستی (off-line)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- تجهیزات حرفه‌ای پایش وضعیت قابل حمل چند کاناله (تا ۳۲ کانال)
- ترنسمیترهای ارتعاشی با خروجی 4-20 mA جهت اتصال به SCADA ,PLC و ...
- دستگاه‌های پیشرفته کالیبراتور سنسورهای ارتعاش (Vibration Calibrators)

ب) پایش وضعیت از طریق ترموگراف

- انواع دوربین‌های ترموویژن (گرمانگاری)
- انواع دماسنج‌های مادون قرمز

ج) پایش وضعیت از طریق صداسنجی

- دستگاه‌های آنالایزر پیشرفته صدا (Advanced Sound Analyzers)
- دوربین آکوستیکی (Acoustic Camera) جهت مصورسازی صدا در تحلیل‌های آکوستیکی

د) پایش وضعیت از طریق آنالیز جریان الکتریکی

این تجهیزات جهت تشخیص عیوبی نظیر شکستگی میله‌های روتور، اتصال کوتاه در سیم پیچ‌های استاتور، خروج از مرکزی، خرابی بیرینگ و لقی فونداسیون در ماشین‌های دوار الکتریکی استفاده می‌شود.

ه) تست¬های الکتریکی

دستگاه‌های متنوع اندازه‌گیری الکتریکی شامل:

- دستگاه‌های تست مقاومت عایقی (میگر) تا ۱۰ کیلوولت
- ارت‌تستر (۲، ۳ یا ۴ ترمیناله) و ارت‌تستر کلمپی جهت اندازه‌گیری مقاومت مسیر زمین (Loop)
- آنالیز کیفیت توان (تک‌فاز و سه‌فاز)
- مسیریاب کابل و لوله‌های فلزی
- دستگاه کالیبراتور جریان و ولتاژ
- دستگاه‌های تست و آنالیز سیستم‌های فتوولتائیک
- دوربین‌های ترموویژن (Thermal Cameras)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۳-۱۲- شرکت تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب پیشرفته

شرکت تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب پیشـــرفته نزدیک به دو دهه است که در حوزه پایش وضعیت و نگهداری پیشگیرانه، بازرسی فنی و آزمون‌های غیرمخرب فعالیت می‌کند. این شرکت دارای تجهیزاتی جهت انجام تست و بازرسی‌ها می‌باشد که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

- دستگاه UT-TOFD آلتراسونیک

- تجهیزات ضخامت سنج آلتراسونیک فلزات

۷-۳-۱۳- شرکت پژواک صنعت شریف

شرکت پژواک صنعت شریف، به عنوان نماینده انحصاری شرکت TECHNEKON روسیه و شرکت RION ژاپن در ایران، بیش از یک دهه در زمینه ارائه روش‌های نوین در پایش وضعیت ماشین‌آلات دوار، صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی فعالیت می‌کند. خدمات قابل ارائه در این شرکت شامل: مشاوره در حوزه پایش وضعیت، ارتعاش‌سنجی، ترموگرافی، اندازه‌گیری صدا، بالانس، نصب و راه‌اندازی تجهیزات و الایمنت. برخی از تجهیزات شرکت عبارتند از:

- آنالایزر دو کاناله ارتعاشات STD-3300

این تجهیز جهت عیب‌یابی و بالانس ماشین‌آلات دوار از قبیل توربین، کمپرسور، پمپ، الکتروموتور، فن، ژنراتور می‌باشد.



شکل ۷-۵- آنالایزر دو کاناله ارتعاشات **STD-3300**

- دستگاه دیتاکالکتور ارتعاشات STD-510

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

این دستگاه برای بازرسی و آنالیز وضعیت ماشین‌ها و برای پایش ارتعاشات روزانه در تجهیزات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۷-۶- دستگاه دیتاکالکتور ارتعاشات **STD-510**

صداسنج و آنالایزر ۱/۳ اکتاو و آنالایزر NA-28 Real-Time

این تجهیز با کاربری آسان، ابعاد کوچک که قابلیت‌های کامل آنالیز و پردازش صدا را دارد.



شکل ۷-۷- صداسنج و آنالایزر **3/1** اکتاو و آنالایزر **Real-Time NA-28**

۷-۳-۱۴- شرکت فنی و مهندسی پویش (پایش وضعیت یکتا شرق)

شرکت فنی و مهندسی پویش (پایش وضعیت یکتا شرق) در حوزه پایش وضعیت فعالیت می‌کند. خدمات قابل ارائه توسط این شرکت عبارتند از:

- خدمات آزمایشگاهی تخصصی آنالیز روغن ترانسفورماتورها، تجهیزات برقی، تجهیزات مکانیکی و دوار
- ساخت، تولید و واردات دستگاه‌های آزمایشگاهی آنالیز روغن، سوخت و گریس
- تامین تجهیزات و قطعات یدکی، مواد استاندارد و مصرفی آزمایشگاهی
- ارائه خدمات مشاوره‌ای در خصوص انواع روانکار و آنالیز روغن

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

در شرکت پویش جهت آنالیز روغن ترانسفورماتورها، تست‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود که در جدول زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۷-۱- تست‌های قابل انجام در شرکت پویش جهت آنالیز روغن ترانسفورماتور

نام آزمون	روش تست/ استاندارد
اندازه‌گیری گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور (گازکروماتوگرافی GC) 8-گاز	ASTM D3612
اندازه‌گیری گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور (گازکروماتوگرافی GC) 10-گاز	ASTM D3612
عدد اسیدی کل (تیتراسیون رنگ سنجی) TAN	ASTM D974
عدد اسیدی کل (تیتراسیون پتانسیومتری) TAN	ASTM D664 IEC62021-1
گرانروی ۴۰ درجه Vis. at 40	ASTM D445 Or ISO 3104
گرانروی ۱۰۰ درجه Vis. at 100	ASTM D445 Or ISO 3104
گرانروی ۳۰ درجه Vis. at -30	ASTM D445 Or ISO 3104
اندازه‌گیری آب (کارل فیشر)	ASTM D6304 IEC 60814
ولتاژ شکست	ASTM D877 IEC60156
کشش بین سطحی	ASTM D971 ISO 6295
ضریب تلفات عایقی Resistivity DDF@90'C (Tg) & Permittivity & Delta	IEC 60247
نقطه ریزش	ASTM D97 ISO 3016
دانسیته	ASTM D4052
آلودگی آسکارل (تعیین PCB در روغن ترانس)	EPA/600/R-98/109

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نقطه اشتعال بسته	ASTM D93
رنگ	ASTM D1500
پایداری اکسیداسیون روغن کارکرده ترانس - ۱۶۴ساعت	IEC 61125C
پایداری اکسیداسیون روغن کارکرده ترانس - ۳۳۲ ساعت	IEC 61125C
پایداری اکسیداسیون روغن کارکرده ترانس - ۵۰۰ ساعت	IEC 61125C
پایداری اکسیداسیون روغن نو ترانس - ۱۶۴ساعت	IEC 61125C
پایداری اکسیداسیون روغن نو ترانس - ۳۳۲ ساعت	IEC 61125C
پایداری اکسیداسیون روغن نو ترانس - ۵۰۰ ساعت	IEC 61125C
*آنالیز عنصری روغن (۱۹ عنصر)	ASTM D6595
شمارنده ذرات	ISO4406-1989
**تراکم ذرات	BS ISO4407
سولفور خورنده	---Annex AIEC 62535 DIN 51353
Potentially Corrosive Sulfur	IEC 62535
اندازه‌گیری ترکیبات فورانی در روغن های ترانسفورماتور	IEC 61198
اندازه‌گیری آنتی اکسیدان DBPC در روغن‌های ترانسفورماتور (Inhibitor)	IEC 60666
میزان گوگرد	ASTM D4294 - IP 373 OR ISO14596
درصد وزنی رسوب و لجن	60422-Annex C
تخمین درجه پلیمریزاسیون کاغذ ترانسفورماتور	محاسباتی
تخمین میزان آب در عایق کاغذی ترانسفورماتور	Equilibrium Curve
***نقطه آتش گیری	ASTM D92
****کف	ASTM D892

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

Metal passivator	IEC 60666
تعیین کلرایدهای معدنی در روغن‌های عایقی	ASTM D878
تعیین سولفات‌های معدنی در روغن‌های عایقی	ASTM D878
وضعیت ظاهری	Visual
تعیین کلاس روغن ترانسفورماتور	IEC 60296
ایندکس کیفیت روغن	محاسباتی
درصد اشباع آب در روغن RH%	محاسباتی
*برای تپ چنجرهای تحت بار ، اکتیو پارت و بوشینگ های روغنی	
**برای تپ چنجر های تحت بار	
***برای روغن های سیلیکونی	
****برای قابلیت سازگاری در روغن ترانسفورماتورهایی که دارای پمپ روغن می‌باشند.	

۷-۳-۱۵- شرکت بازرسی فنی و پایش خوردگی ایرسا

شرکت بازرسی فنی و پایش خوردگی ایرسا در حوزه پایش وضعیت و خدمات بازرسی غیرمخرب پیشرفته در حال فعالیت است. خدمات این شرکت در حوزه بازرسی غیرمخرب پیشرفته شامل:

- بازرسی خوردگی سطح به روش C-Scan Corrosion Mapping
- بازرسی خوردگی در فولادهای زنگ نزن و ترک‌یابی به روش ECT ,ECA
- بازرسی ترک و خستگی به روش ECS
- بازرسی چشمی از راه دور (RVI)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۳-۱۶- شرکت مهندسی فرا پایش باختر

شرکت مهندسی فرا پایش باختر بیش از ده سال در حوزه ارائه خدماتی متمایز در زمینه پایش وضعیت و عیب‌یابی تجهیزات فعالیت می‌کند. این شرکت در زمینه "اجرا و استقرار" و "مشاوره" در حوزه پایش وضعیت و عیب‌یابی دارای توانمندی است. خدمات مهندسی قابل ارائه توسط این شرکت شامل:

۱- خدمات اجرای روتین برنامه جامع پایش وضعیت و عیب‌یابی تجهیزات و ماشین‌آلات

۲- خدمات بازرسی فنی و عیب‌یابی تجهیزات با استفاده از روش‌های مختلف، شامل:

- آنالیز ارتعاشات
- بازرسی ترموگرافی
- آنالیز اثرات الکتریکی
- آنالیز روغن و ذرات فرسایشی

۳- خدمات تعمیرات اصلاحی، در راستای رفع عیوب و کاهش ارتعاشات تجهیزات دوار، شامل:

- بالانس دینامیکی در محل (بالانس توربین‌های بخار و گاز، ژنراتورها، الکتروموتورها، فن‌ها و ...)
- همراستاسازی (الاینمنت) تجهیزات دوار

7-3-17- خدمات مهندسی استاک

شرکت خدمات مهندسی استاک در حوزه پایش وضعیت ژنراتور، ماشین‌های الکتریکی و تجهیزات متصل به آنها فعالیت می‌نماید. این شرکت قادر به ارائه خدمات پایش وضعیت با استفاده از روش‌های تحلیل ارتعاشات، آنالیز جریان، ترموگرافی بوده و توانایی سرویس، نگهداری و تعمیرات و ارائه گزارش عملکرد آن‌ها، و همچنین توانایی عیب‌یابی تجهیزات را داراست. در همین راستا در زمینه با روش تحلیل ارتعاشات این شرکت مجهز به دستگاه آنالایزرِ A4300- X7 می‌باشد (شکل ۳-۸)، که جز آخرین تکنولوژی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت سلامت‌سنجی و عیب‌یابی ماشین‌آلات دوار می‌باشد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۸- آنالایزرِ A4300- X7

همچنین این شرکت با استفاده از روش‌های ارتعاش‌سنجی و الایمنت در حوزه پایش وضعیت دارای توانمندی می‌باشد. تجهیزات مورد استفاده در این مرکز عبارتند از: ارتعاش‌سنجی با XT280، الایمنت پولی XT190، XT550 و XT660 یک پکج الاینمنتِ پیشرفته هستند که برای تست عیوبی که تأثیر مخرب روی الاینمنت شافت‌ها دارند مثل پیچش اسکید یا تست لقی بیرینگ کاربرد دارد.

۷-۳-۱۸- پارسی تک

شرکت پارسی تک در حوزه پایش وضعیت ماشین‌آلات دوار در حال فعالیت می‌باشد. شرح خدمات و تجهیزات این شرکت عبارت است از:

۱. پایش وضعیت ارتعاشات آنلاین

۲. آنالیز جریان

۳. آنالیز ترموگرافی با دوربین‌های مخصوص

۴. آنالایزر بیرینگ

۵. آنالیز ارتعاشات به منظور عیب‌یابی ماشین‌آلات دوار توسط آنالایزرهای جیبی ارتعاش

- آنالایزر ارتعاشات دو کاناله لئونوا امرالد

- آنالایزر ارتعاشات شش کاناله لئونوا دایموند

- شفت لیزر الایمنت

- سنسور وایرلس سه جهته ایریوس

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- استروبوسکوپ مدل 16936 (جهت اندازه‌گیری دور یا فرکانس موتورهای دوار غیرقابل دسترسی و مشاهده حرکات یا دوران تسمه‌ها و ماشین‌های در حال کار بصورت ایستا یا حرکت آهسته و برای فن‌ها، پمپ‌ها، چرخدنده‌ها و دستگاه‌های پروانه‌دار از استروبوسکوپ استفاده می‌گردد).

- استتوسکوپ مدل ELS14 (یک دستگاه علمی و ساده برای تشخیص منبع نویز در یاتاقان‌ها، چرخدنده‌ها، پمپ‌ها، کاویتاسیون، رله‌های الکتریکی و فن‌ها می‌باشد).

۷-۳-۱۹- شرکت دانش بنیان نوران حسگر صبا

شرکت دانش بنیان نوران حسگر صبا در حوزه مانیتور دائم جریان نیروگاه‌ها و طراحی و ساخت حسگرهای خاص اپتیکی در حال فعالیت است. همچنین این شرکت توانایی نصب و راه‌اندازی حسگر شدت جریان الکتریکی و تعمیر و نگهداری حسگرهای اپتیکی را دارد.

۷-۳-۲۰- نورا تار هوشمند

نورا تار هوشمند یک واحد فناور است که قادر به پایش وضعیت با استفاده از تکنولوژی فوتونیک و فیبر نوری می‌باشد. محصولات و خدمات قابل ارائه توسط این واحد فناور عبارتند از:

- پایش شدت جریان ترانسفورماتورها با استفاده از فیبر نوری
- اندازه‌گیری جریان الکتریکی بالا با استفاده از فیبر نوری
- سیستم نشت‌یابی خطوط انتقال آب، نفت، گاز با استفاده از فیبر نوری
- پایش مخازن سیالات با استفاده از فیبر نوری
- پایش سدها با استفاده از فیبر نوری
- جوش فلزات با استفاده از لیزر فیبر
- پردازش و انتقال داده‌ها در بسترهای امن کلاسیک و کوانتومی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۳-۲۱- شرکت تسلا پیشرو

تسلا پیشرو در زمینه ساخت تجهیزات پایش وضعیت و انجام تست‌های دوره‌ای برای تجهیزات نیروگاهی خدمات ارائه می‌دهد. همچنین این شرکت تجربه راه‌اندازی آزمایشگاه برای صنایع و شرکت‌های مختلف نظیر شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران را دارد. محور اصلی فعالیت‌های این شرکت شامل:

- تست الکتریکال و آلتراسونیک تخلیه جزیی انواع تجهیزات فشارقوی از جمله کابل، ترانسفورماتور، شینه و استاتور موتور و ژنراتور فشارقوی
- صدور گزارش و تحلیل عیب‌یابی تست شامل پترن‌های PRPDA و PSA و ارائه راه‌حل
- تست رطوبت FDS و آنالیز پاسخ فرکانسی FRA ترانسفورماتورهای قدرت
- تست استقامت ولتاژ فشارقوی Hipot جریان متناوب و مستقیم
- تست مکان‌یابی منبع تخلیه جزیی به روش فراصوت
- تست تانژانت دلتا، ظرفیت خازنی و تست میگر (مقاومت عایقی)
- تست اتصال حلقه و بدنه روتور (RSO)

برخی از تجهیزات شرکت تسلا پیشرو شامل:

- دستگاه پرتابل اندازه‌گیری و آنالیز تخلیه جزئی

تشخیص و تعیین مقدار تخلیه جزیی در تجهیزات فشارقوی شامل: شینه و استاتور ماشین الکتریکی فشارقوی، ترانسفورماتورهای قدرت روغنی و خشک، کابل و سرکابل‌های فشارقوی، برقگیر و مقره.

- دستگاه پرتابل بازرسی نشتی و مکان‌یابی فراصوت (اندازه‌گیر تخلیه جزئی فراصوت)

قابلیت تشخیص و مکان‌یابی تخلیه جزئی داخل پست و سوئیچ‌گیرهای فشارقوی، مکان‌یابی تخلیه جزئی در شینه‌های سیم‌پیچ ماشین‌های الکتریکی فشارقوی، قابلیت تشخیص و مکان‌یابی عیوب در انواع مقره و بوشینگ خطوط شامل: ترک خوردگی، فرسودگی، شکستگی، حضور شئ خارجی در میدان، کرونا، آرک، مسیر کربنایز، آلودگی و تولید صدای قابل شنیدن از تخلیه و انتقال از طریق گوشی هدفون

- دستگاه اعمال ولتاژ فشارقوی پرتابل (دستگاه تست هایپات)

اعمال ولتاژ در تست‌های استقامت ولتاژ فشارقوی – تخلیه جزیی- تانژانت دلتا

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مزایای استفاده از این دستگاه: جلوگیری از خاموشی خارج از برنامه، کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری و افزایش قابلیت اطمینان

- خازن کوپلاژ تخلیه جزئی

این خازن‌ها طراحی شده با بالاترین استانداردهای بین‌المللی، بسیار مناسب و دقیق برای انجام تست‌های آنلاین و آفلاین تخلیه جزئی هستند. همچنین دارای استقامت الکتریکی بالا و بسیار ایمن و مناسب تمام ژنراتورهای فشارقوی می‌باشد.

برخی از پروژه‌های انجام شده و مشتریان شرکت تسلا پیشرو عبارتند از:

- تست‌های دوره‌ای تخلیه جزئی واحدهای گازی نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان
- انجام تست PD استاتور ژنراتور واحد شماره یک نیروگاه رامین اهواز
- تست بوشینگ ترانسفورماتور قدرت نیروگاه سیکل ترکیبی قم
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی کهنوج شوباد
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی کهنوج شوباد
- پتروشیمی مارون، دستگاه تست آلتراسونیک تخلیه پرتابل
- شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران، دستگاه تست آلتراسونیک تخلیه پرتابل
- شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران، دستگاه پرتابل تست الکتریکال تخلیه جزئی
- شرکت مادر تخصصی برق حرارتی، خدمات تست نیروگاهی
- شرکت توسعه خدمات فوق تخصصی ترانسفورماتور پارس

۷-۳-۲۲- شرکت مهندسی پایش نیرو سوشیانس

شرکت مهندسی پایش نیرو سوشیانس، تأمین کننده قطعات و تجهیزات نیروگاهی و صنایع نفت، گاز و ارائه دهنده محصولات پایش و مانیتورینگ عملکرد در صنایع ذکر شده است. موضوع فعالیت این شرکت عبارتست از:

- طراحی، ساخت و اجرای سیستم‌های پایش و مانیتورینگ در نیروگاه‌های بخار، گازی و سیکل ترکیبی

- مشارکت در بخش طراحی و مهندسی پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع مختلف

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- طراحی، ارتقا و اجرای سیستم کنترل بر پایه PLC در صنایع مختلف

- تأمین قطعات و تجهیزات (ابزاردقیق، برق و قطعات ماشین‌های دوار) نیروگاهی و صنایع نفت وگاز

- انجام تعمیرات اساسی (اُورهال) بخش ابزاردقیق صنایع نیروگاهی، نفت، گاز

- ارائه خدمات مشاوره مهندسی و نظارت بر طرح‌ها و طراحی نظام‌های مدیریتی

برخی از پروژه‌های شرکت عبارتند از:

- سامانه پایش عملکرد برای نیروگاه های حرارتی (سیکل ترکیبی، گازی و بخاری)

این سامانه می‌تواند پاسخ‌گوی بخش مهمی از نیازهای بخش بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات در حوزه تولید صنعت برق باشد. پانیر هم اکنون در نیروگاه زاگرس کوثر، تست آفلاین شده و دارای تأییدیه فنی از سمت این نیروگاه می‌باشد.



شکل ۱-۹: سامانه پایش وضعیت پانیر طراحی شده توسط شرکت سوشیانس

۷-۳-۲۳- شرکت البرز تدبیر کاران

شرکت فنی و مهندسی البرزتدبیرکاران از سال ۱۳۷۴ در حوزه خدمات آزمایشگاهی آنالیز روغن و ذرات فرسایشی، تحقیقات، عیب‌یابی و کنترل فرسایش تجهیزات مکانیکی و ترانسفورماتورهای قدرت در حال فعالیت است. در این شرکت بیش از ۱۰۰ نوع آزمایش در حداقل زمان ممکن انجام می‌شود و ارائه خدمات آنالیز روغن بسار سریع صورت می‌گیرد (عموما ۲۴ ساعت پس از دریافت نمونه).

۷-۳-۲۴- شرکت لیان آریاتش صبا

شرکت دانش بنیان آریاتش بیش از یک دهه تجربه در انجام تست‌های ارتعاشی، انجام تست‌های بالانسینگ، مدیریت نت، اتوماسیون صنعتی، مشاوره و طراحی برنامه‌ی تعمیرات پیشگیرانه و پیشگویانه، اجرا و بهبود برنامه‌ی تعمیرات پیشگیرانه و پیشگویانه، مشاوره پیاده‌سازی سیستم‌های نگهداری و بهره‌ور فراگیر (TPM)

در حال فعالیت است. همچنین این شرکت در زمینه انجام اتوماسیون صنعتی، بهینه سازی، مدیریت توان و انرژی، بهره برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر خدمات ارائه می‌دهد.

۷-۳-۲۵- آزمایشگاه توان کاوه نت

اولین آزمایشگاه OCM کشور با دو دهه تجربه به صورت تخصصی در حوزه پایش و آنالیز روغن و روانکارها در صنایع مختلف و تجهیزات دوار فعالیت می‌کند. همچنین در این آزمایشگاه آنالیز روغن، سوخت، گریس و ذرات فرسایشی مطابق با استانداردهای جهانی و با تجهیزات به روز صورت می‌گیرد.

۷-۴- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه نوسازی ژنراتورهای نیروگاهی و تجهیزات مربوطه

امروزه هزینه‌های گزاف احداث و راه‌اندازی نیروگاه‌های جدید و تجهیزات گران قیمت آن مانند ژنراتور، مسائل اقتصادی حاکم بر بهره‌برداری از نیروگاه‌های موجود و موانع زیست محیطی که در قبال احداث نیروگاه‌های جدید وجود دارد موجب شده است که افزایش عمر نیروگاه‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای در جهان برخوردار گردند. حفظ بازدهی بالای ژنراتورهای الکتریکی در تولید پیوسته برق در نیروگاه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. دما، کیفیت عایق‌ها و همچنین عملکرد سیستم خنک کننده، میزان تولید و عمر مفید ژنراتورها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این‌رو در راستای بازسازی این تجهیزات ارزشمند شرکت‌های فعال داخلی در حوزه طراحی، ساخت، سرویس، نگهداری و تعمیرات و نوسازی ژنراتورهای نیروگاهی در ادامه معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است.

۷-۴-۱- شرکت توربوژنراتور شاهرود

شرکت توربوژنراتور شاهرود تجربه دو دهه فعالیت در زمینه طراحی، ساخت و بازسازی انواع ماشین‌های الکتریکی فشارقوی، فشارضعیف و ژنراتورهای نیروگاهی را دارا می‌باشد. عمده خدمات قابل ارائه توسط این شرکت به چهار حوزه کاری کلی دسته‌بندی می‌شود. حوزه فنی و مهندسی که در راستای طراحی، مهندسی معکوس و مدل‌سازی الکترومغناطیسی، استاتیکی و دینامیکی ماشین‌های الکتریکی و کلیه قطعات مکانیکی الکتروموتورها با هدف عیب‌یابی و افزایش راندمان و تغییر در مشخصات خروجی این تجهیزات فعالیت می‌نمایند. حوزه ساخت ماشین‌های الکتریکی که تجربه ساخت شینه‌های ژنراتورهای نیروگاهی، ساخت انواع ترانسفورماتور با کاربردهای خاص و ساخت ماشین‌های انحصاری برای صنایع مختلف از خدمات شرکت در این حوزه می‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۹- ساخت ژنراتور **AR10** متعلق به شرکت توسعه ناوگان ریلی مپنا

همچنین این شرکت در زمینه با بازسازی و سرویس ماشین‌های الکتریکی تجارب مختلفی را دارد که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است:

- بازسازی و سرویس ماشین‌های الکتریکی AC فشارمتوسط و فشارقوی
- بازسازی و سرویس ماشین‌های الکتریکی DC
- سرویس و بازسازی انواع ترانسفورماتورهای توزیع، قدرت و همچنین ترانس‌های خاص
- بازسازی و تعمیر ترمزهای مغناطیسی مورد استفاده در صنایع نفت و گاز
- بازسازی انواع مختلف استیررهای مغناطیسی مورد استفاده در صنایع مختلف
- بازسازی تجهیزات وابسته به ماشین‌های الکتریکی دوار و استاتیک مانند شفت، فریم، پوسته، زغال، کویل و...
- بازسازی تجهیزات با کاربری خاص مانند مگنت، راکتور، انواع سلف، جداکننده مغناطیسی و...
- بازسازی اجزاء مورد نیاز ماشین‌های الکتریکی



شکل ۷-۱۰- طراحی، ساخت و راه‌اندازی الکتروموتور **High Voltage** در شرکت توربوژنراتور شاهرود

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

توربو ژنراتور شاهرود علاوه بر موارد فوق، ارائه دهنده خدمات جانبی در حوزه عیب‌یابی و پایش وضعیت دوره‌ای برای ماشین‌های الکتریکی با استفاده از روش‌های گوناگون از جمله آنالیز ارتعاشات، آنالیز پارامترهای الکتریکی، بالانس دینامیکی در محل و انجام همراستایی با تجهیزات لیزری است.



شکل ۷-۱۱- بالانسینگ روتور ژنراتور نیروگاهی

۷-۴-۲- شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)

شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس) از سال ۱۳۷۷ در زمینه با ساخت و تولید انواع ژنراتورهای نیروگاه‌های حرارتی (تا ظرفیت ۱۶۰ مگاوات)، آبی (تا ظرفیت ۲۵۰ مگاوات) و باس‌داکت‌های نیروگاهی در حال فعالیت است. این شرکت تجربه همکاری با تولیدکنندگان بین‌المللی این صنعت مثل Andritz (Eline)، Alstom GE(Canada)، Jeumont، Ansaldo، Siemens و Elin Motoren را دارد. در ادامه به بخشی از پروژه-های این شرکت در زمینه با ساخت، ارتقا و بازسازی تجهیزات نیروگاهی اشاره شده است.

الف) روتور شفت فورج شده ژنراتور ۱۸۵ مگاوات

شرکت مپنا پارس و با بهره گیری از توان شرکت فولاد اسفراین تجربه ساخت روتور با مشخصات مربوطه شامل، طول قطعه حدود ۱۱ متر، حداکثر قطر قطعه ۱۰۵۵ میلیمتر، وزن قطعه مذاب ریخته شده حدود ۱۰۰ تن و در مرحله پیش ماشین‌کاری شده ۳۸/۲ تن است. نکته حائز اهمیت در خصوص ساخت داخل این قطعه منجربه جلوگیری از خروج حداقل یک میلیون یورو ارز در سال از کشور می‌باشد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۱۲- روتور فورج ژنراتور گازی ۱۸۵ مگاوات

ب) طراحی و ساخت ژنراتور ۲۵۰ مگاولت آمپر

طراحی و ساخت این ژنراتور با هدف نصب در نیروگاه غرب کارون از سال ۱۳۹۵ در شرکت پارس آغاز گردید که در نهایت در تاریخ ۲۳ آذر ماه ۱۳۹۹ فرایند تولید آن به پایان رسید. مشخصات این ژنراتور در جدول زیر آورده شده است. نوآوری‌های بکار برده شده در طراحی این ژنراتور عبارت است از:

- استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی الکترومغناطیسی، خنک‌کاری و ارتعاشاتی
- استفاده از شبیه‌سازی‌های Multiphysics
- طراحی ماژولار این تیپ از ژنراتورهای هوا خنک



شکل ۷-۱۳- ژنراتور ۲۵۰ مگاولت آمپر جهت بهره‌برداری در نیروگاه غرب رود کارون

۷-۴-۳- گروه صنعتی فن ژنراتور

شرکت فن ژنراتور در زمینه با طراحی، ساخت، سرویس، تعمیر و بازسازی موتورهای سه فاز القایی، ژنراتورهای بادی، قطب‌های موتورها و ژنراتورهای جریان مستقیم و بازسازی کلیه ماشین‌های الکتریکی دوار فعالیت می‌کند. این شرکت همچنین در حوزه تست و تشخیص عیوب ماشین‌های الکتریکی، پایش وضعیت و نگهداری و تعمیرات ماشین‌های الکتریکی و مشاوره در زمینه با خرید این تجهیزات آمادگی ارائه خدمات را دارد. این شرکت سابقه بازسازی، تعمیر و جوان‌سازی محصولات کمپانی‌های معتبر در این زمینه را دارد که در ذیل به آن‌ها اشاره شده

است.

SIEMENS, ABB, AEG, GE, GM, SCHORCH, VEM, SKODA, GEC, ALSTOM, ASEA, BBC, LEROY SOMER, ELIN, ANSALDO, BRUSH, TOSHIBA, FUJI, MITSUBISHI, etc.

همچنین شرکت فن ژنراتور به صورت تخصصی خدمات نظیر: تعمیر و بازسازی کامل ژنراتورهای نیروگاهی، بازسازی الکتروموتورهای DC و AC، تست و اندازه‌گیری پارامترهای موتورهای القایی فشارمتوسط و فشارقوی و طراحی، ساخت و بازسازی ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت را ارائه می‌دهد.

۷-۴-۴- شرکت دانش بنیان رشد صنعت نیرو

شرکت دانش بنیان رشد صنعت نیرو، شرکتی با سه دهه تجربه در زمینه ساخت و تعمیرات اساسی انواع ماشین‌های الکتریکی است. این شرکت در حوزه تعمیرات، بازسازی و فرآیندهای انجام کار قادر به انجام تمامی مراحل تست، ایرادیابی، اورهال، تعمیر و ساخت قطعات یدکی انواع الکتروموتورها و ژنراتورهای فشارقوی و فشار ضعیف می‌باشد. فعالیت شرکت به طور کلی در دو حوزه کاری یعنی حوزه تعمیرات و بازسازی ماشین‌های الکتریکی، و حوزه تست که شامل تست‌های الکتریکال و مکانیکال است تقسیم می‌شود. خدمات ارائه شده در هر حوزه در ادامه با جزییات آورده شده است. همچنین این شرکت در حوزه بازسازی و ساخت ماشین‌های دوار جهت نیروگاه‌های آبی و حرارتی پروژه‌های بزرگی را در سابقه خود دارد.

۷-۴-۵- – تعمیرات و بازسازی ماشین‌های الکتریکی

۷-۴-۶- ساخت و تعویض کویل

در این شرکت تجهیزات کامل جهت ساخت کویل‌های فشارمتوسط و فشارقوی تا سطح ولتاژ ۱۸ کیلوولت و بدون محدودیت در سایز و توان صورت می‌گیرد. ساخت کویل‌ها در فضای تمیز و عاری ازگرد و خاک و آلودگی‌های فلزی و با استفاده از عایق‌های مرغوب تولید شده توسط برندهای مطرح اروپای غربی انجام می‌شود. جهت ساخت و جایگزینی کویل‌های جدید از تکنولوژی تزریق رزین در خلاء VPI استفاده می‌شود و در صورت نیاز امکان استفاده از تکنولوژی RESIN RICH نیز ممکن می‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۱۴- عملیات بازسازی و تعویض کویل توسط پرسنل شرکت

۷-۴-۷- ساخت و تعویض هسته روتور و استاتور

در شرکت رشد صنعت نیرو فرآیند تعمیرات و تست هسته با استفاده از روشهای نوین انجام می‌پذیرد و در صورت نیاز به ساخت و تعویض هسته، ابتدا با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تلفات هسته CORE LOSS TESTER، گرید ورق هسته استفاده شده در نمونه اصلی مشخص شده و سپس با استفاده از ورق هسته با تلفات کمتر و یا هم اندازه ی نمونه اصلی اقدام به ساخت ورق هسته ی جدید می‌شود. همچنین یکی از روش‌های بهبود دمای کاری الکتروموتور و افزایش راندمان آن استفاده از ورق‌های هسته جایگزین با تلفات حرارتی کمتر از نمونه اصلی می‌باشد که در شرکت رشد صنعت نیرو این فرآیند بدون محدودیت انجام می‌پذیرد.



شکل ۷-۱۵- مراحل ساخت هسته روتور و استاتور

۷-۴-۸- تعمیر و ساخت شفت

در این مرکز در صورت نیاز به تعمیر شفت از سطح‌سازی BUILD UP به یکی از روش‌های جوشکاری و یا متال اسپری استفاده می‌گردد و سطوح تعمیر شده مجددا با رعایت تلرانس‌های ابعادی و هندسی ماشین کاری می‌گردد. همچنین در صورت نیاز به ساخت و تعویض شفت نیز، ابتدا متریال استفاده شده در نمونه‌ی اصلی آنالیز شده و پس از مشخص شدن نوع آلیاژ و میزان سختی آن، شفت جدید با استفاده از متریال مشابه یا متریال با سطح استحکام بالاتر ساخته شده و جایگزین می‌شود. کلیه تست‌های غیر مخرب شامل تست مایع نافذ، تست ذرات مغناطیسی، تست آلتراسونیک و بازرسی‌های چشمی در حین فرآیندهای ساخت و جوشکاری با استناد به استانداردهای مرجع انجام می‌پذیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137





شکل ۷-۱۶- مراحل تعمیر و ساخت شفت آسیب دیده

۷-۴-۹- تعویض راد و رینگ اتصال کوتاه روتور

در شرکت رشد صنعت نیرو ساخت و تعویض انواع رادهای مسی و آلومینیومی بدون محدودیت در سایز و هندسه ی مقطع رادها انجام می‌پذیرد. جوشکاری راد به رینگ های اتصال کوتاه طرفین روتور با روشهای بریزینگ برای رادهای مسی و یا جوشکاری به روش GMAW یا GTAW برای رادهای آلومینیومی انجام می‌پذیرد.



شکل ۷-۱۷- تعویض راد و رینگ رتور

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۱۰- ساخت، تعویض و تعمیرات انواع کلکتور

تعمیرات و اورهال انواع اسلیپ رینگ و الکتروموتورهای اسلیپ رینگی بدون محدودیت در ولتاژ و توان مطابق با آخرین روش های استاندارد انجام می‌پذیرد و در صورت نیاز به ساخت اسلیپ رینگ جدید و جایگزینی آن با نمونه قبلی، استفاده از مواد اولیه با بالاترین درجه ی کیفی و در صورت مسی بودن رینگ‌ها با استفاده از مس بدون اکسیژن با خلوص بالا انجام می‌پذیرد.





شکل ۷-۱۸- نمونه‌ای از ساخت انواع کلکتور توسط شرکت

۷-۴-۱۱- ساخت انواع فن و مبدل‌های حرارتی

در شرکت رشد صنعت نیرو انواع فن و مبدل های حرارتی بدون محدودیت در نوع و سایز آنها طراحی و ساخته می‌شود. همچنین ارائه راهکارهای مهندسی جهت اصلاح دمای کاری الکتروموتورها با طراحی جدید و اعمال تغییرات در سیستم‌های کولینگ، بخشی از خدمات شرکت رشد صنعت نیرو به صنایع مختلف کشور می‌باشد.




شکل ۷-۱۹- سیستم کولینگ الکتروموتور

۷-۴-۱۲- - تست ماشین‌های الکتریکی

شرکت رشد صنعت نیرو با در اختیار داشتن تجهیزات تست و آزمون الکتریکال و مکانیکال، قادر به انجام انواع تایپ تست‌ها و روتین تست‌های مربوط به الکتروموتورها و ژنراتورها مطابق با استانداردهای IEC و IEEE انجام می‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۱۳- تست‌های الکتریکال

این مرکز مجهز به تجهیزات هوشمند جهت انجام تست‌های الکتریکی زیر می‌باشد.

- تست مقاومت عایقی و شاخص پولاریزاسیون
- تست فشارقوی Hi-Pot و اندازه‌گیری جریان نشتی
- تست اتصال حلقه Surge
- تست تلفات عایقی Tan Delta
- تست تخلیه جزئی Partial Discharge
- تست مقاومت اهمی، اندوکتانس و ظرفیت خازنی
- تست هسته به روش Elcid
- تست هسته به روش Loop test
- تست‌های بدون بار الکتروموتورها و ژنراتورها Free Run
- تست‌های تحت بار الکتروموتورها و ژنراتورها Load test
- آنالیز جریان



شکل ۷-۲۰- یک نمونه انجام تست توسط واحد کنترل کیفیت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۲۱-نمونه‌ای تجهیزات تست و اندازه‌گیری شرکت

۷-۴-۱۴- تست‌های مکانیکال

- کنترل آنبالانسی با استفاده از دستگاه بالانس دینامیک و بالانس مجدد در صورت نیاز
- آنالیز ارتعاشات
- ترموگرافی با استفاده از ترموویژن و ترمومترهای لیزری
- اندازه‌گیری نویز
- اندازه‌گیری کلیه ابعاد با استفاده از تجهیزات ابعاد سنجی
- تست‌های غیرمخرب و بازرسی جوش شامل بازرسی چشمی VT، تست مایع نافذ PT، تست ذرات مغناطیسی MT، تست آلتراسونیک UT
- متالوگرافی و سختی‌سنجی
- اندازه‌گیری تلرانس‌های ابعادی و هندسی مانند لنگی Runout، هم‌مرکزی Concentricity، استوانه-ای بودن Cylindricity و...
- اندازه‌گیری کیفیت سطح
- اندازه‌گیری ضخامت و چسبندگی رنگ و پوشش

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۲۲- نمونه‌ای از مراحل انجام تست‌های مکانیکال و تجهیزات اندازه‌گیری و تست شرکت

۷-۴-۱۵- شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی

شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف در حال فعالیت می‌باشد. این شرکت در زمینه با مشاوره، طراحی و ساخت ژنراتورهای سنکرون، طراحی، ساخت و نوسازی سیستم‌های کنترل نیروگاهی و صنعتی، طراحی و ساخت سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ مرکزی، طراحی و ساخت سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ ارتعاشات و اندازه‌گیری سطح روغن یاتاقان توانایی ارائه خدمات را دارد. همچنین این شرکت در رابطه با نوسازی تجهیزات الکتریکال و مکانیکال نیروگاهی پروژه‌هایی را به انجام رسانیده که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است.

۷-۴-۱۶- طراحی و ساخت گاورنر نیروگاه‌های آبی





DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۱۷- شرح پروژه

سیستم گاورنر به عنوان قلب یک نیروگاه، حساس‌ترین سیستم کنترلی آن محسوب می‌شود. گاورنرهای ساخته شده در این مرکز قابلیت کنترل در حالت‌های کاری مختلف (کنترل توان، کنترل گشودگی، کنترل جزیره‌ای، کنترل دبی و سطح) و همچنین مشارکت در کنترل فرکانس شبکه را دارا بوده و مطابق با استانداردهای IEC و IEEE طراحی و ساخته شده است. با توجه به قرار داشتن دانش طراحی و ساخت گاورنرهای نیروگاه آبی در انحصار تعداد محدودی از کشورهای جهان، دانش طراحی و ساخت گاورنر از اهمیت استراتژیک و حساسیت بالایی برای کشورمان برخوردار می‌باشد. طراحی و ساخت گاورنر ۳ واحد نیروگاه آبی آزاد کردستان برای اولین بار در ایران صورت گرفته است (۲۴-۳) و کشورمان را در جمع ۲۰ کشور صاحب تکنولوژی و دانش فنی طراحی ساخت و راه‌اندازی این نوع گاورنرها قرار داده است.



شکل ۷-۲۳- راه‌اندازی و نصب سیستم گاورنر نیروگاه

۷-۴-۱۸- طراحی و ساخت سیستم مانیتورینگ ارتعاشات و پایش وضعیت یاتاقان توربین نیروگاه آبی

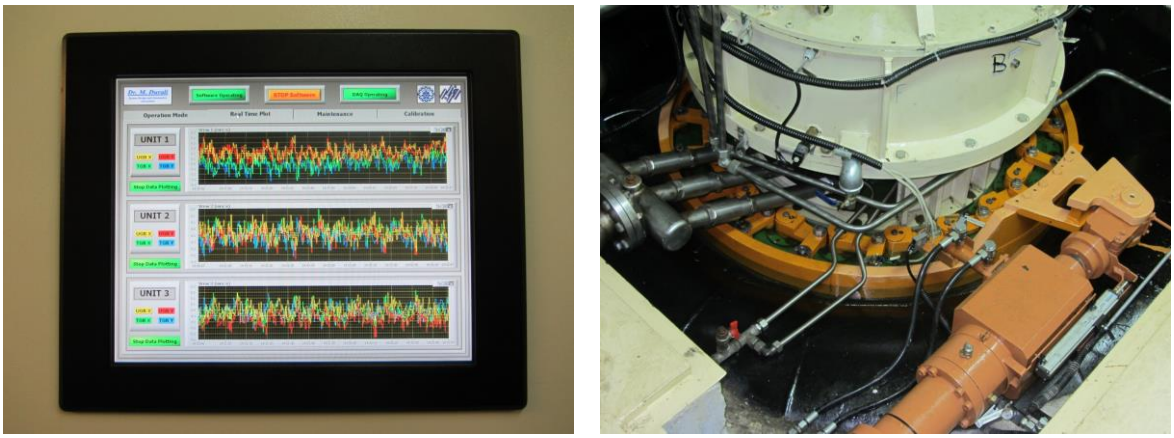


پروژه:	طراحی و ساخت سیستم کنترل و مانیتورینگ ارتعاشات و روغن نیروگاه برق‌آبی سد شهید رجایی ساری
محل اجرا:	سد شهید رجایی، مازندران، ایران
وضعیت:	بهره برداری
کارفرما:	فراب
تاریخ اجرا:	۱۳۹۱
مدیر پروژه:	سید مهدی حسینی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

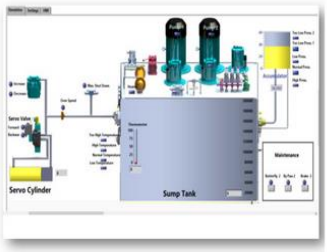
۷-۴-۱۹- شرح پروژه

در این سیستم بسته به شرایط کاری دستگاه، قابلیت مانیتورینگ ارتعاشات، دما، سطح سیال، فرکانس با دقت و سرعت بالا وجود دارد. این سیستم توانایی تهیه گزارشات مطلوب، پیش‌بینی عیوب احتمالی و ارتباط با سیستم‌های کنترل دستگاه را دارد. در شکل فلان سیستم طراحی شده نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۴- سیستم مانیتورینگ ارتعاشات و پایش وضعیت یاتاقان توربین نیروگاه آبی

۷-۴-۲۰- – توسعه سیمولاتور عمومی سیستم‌های هیدرولیک گاورنر نیروگاهی





۷-۴-۲۱- شرح پروژه

به کمک سیمولاتور عمومی سیستم‌های هیدرولیک می‌توان قبل از خرید و ساخت سیستم هیدرولیک، تجهیزات را با کلیه جزئیات آن بر روی سیمولاتور مدل کرده و از عملکرد بلند مدت آن در شرایط کاری مختلف آگاه شد. این سیستم قابلیت کوپل شدن با سیمولاتورهای صنعتی و قرارگیری در حلقه کنترلی را دارا می‌باشد.

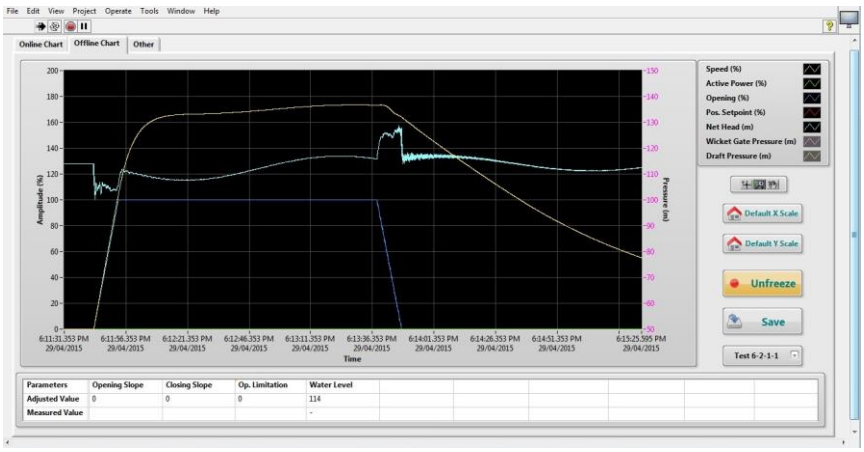
 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۲۲- - طراحی و ساخت سامانه تست سیستم‌های کنترل نیروگاهی



۷-۴-۲۳- شرح پروژه

به کمک این سامانه‌ها می‌توان تجهیزات کنترلی را قبل از نصب و یا در مراحل طراحی و توسعه به صورت سخت‌افزار در حلقه مورد آزمایش قرار داد. در نتیجه شرایط کاری مختلف را به تجهیز اعمال کرده و عکس‌العمل آن تجهیز را بررسی نمود. این سامانه بر اساس استاندارد IEC، IEEE و ASME طراحی و ساخته شده است. لازم به توضیح است که چندین نمونه از آن در پروژه‌های مختلف صنعتی کشور، مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.



شکل ۷-۲۵- سامانه تست سیستم‌های کنترل نیروگاهی

۷-۴-۲۴- شرکت دانش بنیان مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو)

شرکت دانش بنیان مکو نزدیک به دو دهه سابقه فعالیت در زمینه با طراحی، ساخت و بازسازی تجهیزات نیروگاهی را دارد. این شرکت در زمینه سیستم‌های برق و کنترل توربین‌های بخار و گاز آماده ارائه خدمت می‌باشد. مکو لیسانس شرکت زیمنس AG را برای تولید سیستم برق و کنترل توربین‌ها و ژنراتورها را داراست.

همچنین قرارداد لیسانس دیگری با شرکت سوییسی ABB برای تولید SFC، SEE و سیستم حفاظت ژنراتور منعقد نموده و توانایی ارائه خدمت در زمینه‌های فوق را دارد.

۷-۴-۲۵- پروژه‌ها

- طراحی و ساخت شبیه‌ساز ژنراتور و شبکه قدرت با استفاده از نرم‌افزارهای LabVIEW, MATLAB جهت تست دینامیکی تابلوهای تحریک

- طراحی و ساخت درایو کنترل برداری موتورهای القایی با تکنولوژیDSP
- نوسازی، برنامه نویسی و راه‌اندازی سیستم کنترل ۲ واحد توربوژنراتور ROSTON TB5000 پالایشگاه نفت جزیره لاوان
- نوسازی سیستم کنترل رگولاتورهای بویلر واحد ششم نیروگاه رامین اهواز
- طراحی، ساخت و راه‌اندازی سیستم تحریک و حفاظت ژنراتور

۷-۴-۲۶- گروه مهندسی و ساخت پارسان

شرکت دانش بنیان مهندسی و ساخت پارسان بیش از یک دهه در زمینه طراحی و تولید تخصصی مقاومت‌های صنعتی جهت حفاظت ژنراتور، ترانسفورماتور و راه‌اندازی و کنترل موتورهای القایی فعالیت می‌کند. این شرکت در راستای توانمندی‌های خود خدمات زیر را ارائه می‌نماید.

- مقاومت اتصال زمین (NGR)
- مقاومت راه‌انداز و کنترل موتور (Motor Control & Starting Resistor)
- مقاومت ترمز دینامیکی (DBR)
- فیلتر هارمونیکی (HF)
- بانک‌بار، بانک‌بار مجازی و بانک‌بار مخابراتی (Load Bank & Dummy Load Bank)
- مقاومت تستر و دشارژر باتری (Battery Testing & Discharge Resistor)
- همچنین این شرکت دانش بنیان توانایی طراحی و تولید مقاومت‌های زیر را داراست:
- مقاومت Wire Wound با ساختار سرامیک‌های مارپیچ و با قابلیت خنک شوندگی بالا

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- نوع خاص Grid Type با کاهش تنش مکانیکی حاصل از دما (تنش حرارتی)
- مقاومت‌های ترمز دینامیکی Ribbon Type فاقد جوش و با دمای کارکرد بالا
- مقاومت Edge Wound با توانایی تحمل جریان‌های بالا و مقاوم در برابر ارتعاشات



شکل ۷-۲۶-مقاومت زمین طراحی شده



شکل ۷-۲۷- مقاومت راه‌انداز و کنترل موتور شرکت پارسیان

۷-۴-۲۷- شرکت تولیدی اطمینان بخش

شرکت تولیدی اطمینان بخش در حوزه طراحی، ساخت و تولید سیستم تحریک استاتیکی ماشین سنکرون، درایوهای فشارمتوسط و فشارضعیف، منابع تغذیه سفارشی و ماژول‌های هوشمند در حال فعالیت می‌باشد. همچنین این شرکت در راستای تست و اندازه‌گیری تجهیزات سیستم‌های قدرت مجهز به آزمایشگاه های مختلفی است. آزمایشگاه شرایط محیطی جهت انجام تست ارتعاش، برودت، حرارت، رطوبت، ضربه و ... می‌باشد. همچنین این شرکت در آزمایشگاه‌های خود قابلیت انجام آزمایش استقامت عایقی، آزمایشگاه عملکرد بی‌باری و بار نامی، تست‌های میدانی، تست درایو و آزمایشگاه فشارقوی جهت تست استقامت الکتریکی فرکانس قدرت کابل رابط افشان فشارقوی و انجام تست‌های مرتبط بر اساس استانداردهای بین‌المللی را دارد. در شکل زیر نمونه سیستم تحریک استاتیکی طراحی و ساخته شده توسط این شرکت قابل نمایش است.





شکل ۷-۲۸- سیستم تحریک استاتیکی ماشین سنکرون ساخته شده در شرکت تولیدی اطمینان بخش

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۲۸- شرکت مهندسی آریو انرژی وندا

شرکت مهندسی آریو انرژی وندا در حوزه مهندسی معکوس، ساخت و تعمیر قطعات ثابت و متحرک تجهیزات دوار و ماشین‌آلات (توربین، کمپرسور، پمپ و ...)، همچنین ساخت و تعمیر قطعات روتور و استاتور با جنس انواع آلیاژ و سوپرآلیاژ از قبیل پره‌های ثابت و متحرک، شفت، دیافراگم، ایمپلر و ... برای صنایع ریلی، نیروگاهی، پالایشگاهی، پتروشیمی و نفت فعالیت می‌نماید. این شرکت در زمینه با اورهال و تعمیر نگهداری توانایی ارائه خدمات تعمیر و بازسازی تجهیزات دوار را مطابق با استاندارهای جهانی و شرکت سازنده در زمینه‌های ساخت و تعمیراتی دارا می‌باشد، شامل:

- تعمیرات اساسی ماشین‌آلات دوار
- تعمیر و بازسازی قطعات فلزی و غیرفلزی مربوط به روتور و استاتور تجهیزات دوار
- ساخت قطعات و تهیه شناسنامه فنی
- بازرسی و انجام تست‌های غیر مخرب

همچنین شرکت مهندسی آریو انرژی وندا در حوزه تعمیر، بازسازی و ساخت قطعات، مدلسازی و استخراج اصول طراحی، خواص مکانیکی و متالورژیکی مربوط به قطعات تجهیزات دوار (پره‌ها، ایمپلر، بلیسک، چرخدنده‌ها، انواع فنر، یاتاقان و ...) و بررسی رفتار دینامیکی انواع مکانیزم‌ها، تعیین پاسخ دینامیکی ماشین‌آلات دوار و رسم دیاگرام‌های کمبل مربوطه و همچنین شبیه‌سازی حرارتی و سیالاتی جهت تعیین توزیع تنش وارده در طراحی، ساخت و مهندسی معکوس تجهیزات دوار فعالیت می‌نماید.

۷-۴-۲۹- شرکت الکتروبرق مجمر

شرکت تعاونی الکترو برق مجمر در حوزه طراحی، ساخت و بهره برداری نیروگاه مقیاس کوچک تولید همزمان برق و حرارت و همچنین تامین و ارائه خدمات و سرویس به ژنراتورهای گازسوز در حال فعالیت است. همچنین این شرکت با توجه به امکان بکارگیری مولدهای (ژنراتور) گازسوز به عنوان مولدهای دائم کار قادر به تهیه و تامین انواع تابلوهای Emergency و Control متناسب با پروژه و Synchronizingجهت ارتقا؛ شیوه بهره-برداری می‌باشد. برخی از خدمات این شرکت شامل:

- تامین و ارئه خدمات و سرویس به ژنراتورهای گازسوز
- تامین مولدهای گازسوز و قطعات یدکی اورجینال
- موتور تولید گرما و برق

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- ژنراتور گاز MWM
- ژنراتور گاز MTU Gaz Genset
- مسدود کننده سوپاپ

۷-۴-۳۰- ساخت پارمیس نقش جهان-ساپنا

شرکت ساخت پارمیس نقش جهان بیش از یک دهه فعالیت در زمینه بازسازی، طراحی و ساخت بیرینگ‌های خاص صنعتی فعالیت می‌نماید. همچنین این شرکت در حوزه تعمیر و بازسازی کمپرسورها، هیترهای القایی، گیربکس های صنعتی توانایی ارائه خدمت را دارد. این شرکت در زمینه ساخت بیرینگ‌های خاص بصورت تک و تعداد و همکاری در بهینه سازی و تغییر طرح و طراحی و ساخت و تولید انواع بیرینگ‌های خاص از قبیل رولر بیرینگ، بیرینگ‌های مخروطی، اسلیو بیرینگ‌ها برای کلیه شرکت‌های تولید فولاد، مواد معدنی، غذایی، پتروشیمی، نفت و نیروگاه توانمند است.



شکل ۷-۲۹- نمونه‌ای از بازسازی انواع بیرینگ

۷-۴-۳۱- چابک صنعت پیشگام

شرکت دانش بنیان چابک صنعت پیشگام نزدیک به ۲۰ سال سابقه فعالیت در صنایع الکترونیک، نیروگاه و صنایع مختلف در حوزه اجرای عملیات نصب و راه‌اندازی ژنراتور، کوپله و مونتاژ ژنراتورهای دیزلی- گازی، طراحی، تست و تولید انواع UPS، اینورتر، شارژر صنعتی، رکتیفایر، منبع تغذیه، استابلایزر، سولارخورشیدی و تابلوهای صنعتی AC, DC با مارک CSP فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت نمایندگی UPS در برندهای SIEL-BORRY-ASTRID ایتالیا، UPS داینامیک Euro Diesel بلژیک، و دستگاه‌های دیزل ژنراتور مارک Margen ایتالیا، استابلایزرهای مارک ORTEA ایتالیا را داراست. این شرکت در انجام تعمیرات و نگهداری اینورتر سه فاز و تک فاز و DC، موتورهای الکتریکی Dc و Ac، باتری شارژر فعالیت می‌نماید.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۴-۳۲- صنایع پتروشیما گستر

صنایع پتروشیما گستر در زمینه با تجهیرات دوار فعالیت می‌کند. این شرکت به طور تخصصی در ساخت و تعمیر انواع روتور توربین‌های بخار، گازی و آبی، ساخت و تعمیر انواع پمپ‌ها و قطعات یدکی آنها، ساخت و تعمیر انواع یاتاقان‌های بابیتی، ساخت و تعمیر انواع کمپرسورها و انواع گیربکس‌ها، ساخت انواع کوپلینگ‌های فلکسی بل و خاص جهت صنایع نیروگاهی، دریایی، نفت و صنایع سنگین و... دارای توانمندی‌ها و تجهیزات لازم جهت ارائه خدمات می‌باشد.

۷-۴-۳۳- خدمات بلبرینگ سازی ایرانیان (IBC)

بلبرینگ سازی ایرانیان به صورت تخصصی در حوزه تولید انواع بلبرینگ و رولر برینگ‌های مخروطی و همچنین انواع ساچمه و رولرهای مخروطی در سایزهای مختلف، مطابق با استانداردهای بین‌المللی در حال فعالیت است. خدمات این شرکت عبارتند از: خدمات سنگ‌زنی، خدمات عملیات حرارتی، خدمات ابزارسازی، خدمات کنترل کیفی، خدمات تراش و پرس و خدمات کیج پرس. محصولات این شرکت شامل موارد زیر می‌باشد:

- رولربرینگ‌های استوانه‌ای
- رولربرینگ‌های سوزنی
- بلبرینگ‌های شیار عمیق
- برینگ‌های خاص و برینگ‌های کلاج
- تیپر رولر برینگ‌ها

۷-۴-۳۴- گروه صنعتی خلیج برینگ

گروه صنعتی خلیج بلبرینگ به صورت تخصصی در حوزه انواع بلبرینگ‌های مورد استفاده در صنایع مختلف و ملزومات جانبی این تجهیزات در حال فعالیت است. همچنین این مجموعه در زمینه تامین قطعات و تجهیزات، ارائه مشاوره فنی و مهندسی و همچنین تامین بلبرینگ‌های مورد نیاز پروژه‌ها خدمات ارائه می‌دهد. برخی از توانمندی‌های شرکت در حوزه محسابات پارامترهای برینگ‌ها، شامل:

- عمر اسمی و اصلاح شده انواع بلبرینگ‌ها
- لزجت مورد نیاز برای روانکاری‌های مختلف

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- بار معادل بر بلبرینگ‌ها
- بار حداقل بر بلبرینگ‌ها
- ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی در انواع بلبرینگ‌ها
- ممان اصطکاکی در شرایط کاری
- فرکانس‌های بلبرینگ‌ها
- عمر گریس بلبرینگ‌های آب‌بند تماسی و غیرتماسی
- محاسبه میزان جا بجایی محوری در انواع مختلف بلبرینگ‌ها
- محاسبات تلرانس‌های شفت و انطباقات ناشی از آنها در هنگام کار
- محاسبات تلرانس‌های نشیمنگاه و انطباقات ناشی از آن‌ها

۷-۴-۳۵- شرکت نوآوران سیس صنعت مکانیک

شرکت نوآوران سیس صنعت مکانیک با نام تجاری SISCO در زمینه ادوات صنعتی مشغول به فعالیت می‌باشد. این شرکت بیش از ۲۵ سال در زمینه بلبرینگ‌های صنعتی و ماشینی، یاتاقان، گریس نسوز و مشتقات این تجهیزات فعالیت دارد. این شرکت وارد کننده بلبرینگ‌های FAG و DKFL است و اکنون دارای نمایندگی رسمی شرکت SKF می‌باشد. علاوه بر این، شرکت سیسکو نماینده رسمی بلبرینگ CRAFT لیتوانی در ایران است.

۷-۴-۳۶- شرکت خدمات مهندسی برسا

شرکت خدمات مهندسی برسا در حوزه ساخت و بازسازی قطعات صنعتی فعالیت می‌کند. حوزه‌های کاری این شرکت شامل: بازسازی توربین‌های گاز زمینی و هوایی، بازسازی موتورهای الکتریکی، ساخت انواع مکانیکال سیل، بازسازی انواع شیر، ساخت شفت و انواع قالب، بازسازی انواع غلطک‌های تنگستن کارباید، ساخت روتورهای توربین بخار شامل ساخت پره‌های توربین، تعمیرات روتورهای توربین و کمپرسور و بازسازی شفت کروم سخت است. برخی دیگر از توانمندی‌های شرکت در ذیل ارائه شده است.

- بازسازی و طراحی کلیه قطعات صنعتی با روش متال اسپری
- بازسازی پوشش‌های مقاوم به سایش

- بازسازی پوشش های مقاوم به خوردگی شیمیایی
- بازسازی با انواع جوش از قبیل: TIG –MIG – SAW– SMAW.
- بازسازی یاتاقان‌ها
- بازسازی هوزینگ یاتاقان‌ها
- بازسازی قطعات سبک و سنگین
- ساخت انواع چرخدنده از یک سانتی‌متر تا ۵ متر
- بازسازی سنگ شکن‌ها، میل ماردون و...
- طراحی، ساخت و بازسازی انواع یاتاقان مربوط به صنایع گوناگون در ابعاد مختلف
- ایجاد لایه بیس بابیت به روش متال اسپری
- انجام عملیات بابیت‌ریزی به روش متال اسپری با بالاترین دقت و کیفیت سطح
- انجام عملیات ماشین‌کاری دقیق پس از بابیت ریزی (Finishing)

۷-۴-۳۷- شرکت پارسیان بلبرینگ اکباتان

این شرکت در حوزه تامین تجهیزات فعالیت می‌کند و وارد کننده تجهیزاتی نظیر: بلبرینگ، بال اسکرو، یاتاقان، ریل، واگن، شفت هارد کروم، سروو موتور، اسپیندل موتور، دنده شانه‌ای، کاسه نمد، چرخدنده، پروفیل آلومینیوم، تجهیزات پنوماتیک، اورینگ، روغن و گریس‌های صنعتی، مهره ال اسکرو می‌باشد. همچنین این شرکت با تولید کنندگان معتبر بلبرینگ مثل SKF، Koyo، Nachi و FAG همکاری می‌کند. در حوزه سروموتور نیز با شرکت‌های Delta و Yaskawa در حال همکاری می‌باشد.

۷-۴-۳۸- شرکت ماه نیرو

ماه نیرو بیش از ۳۰ سال سابقه در صنعت برق و تولید کننده ژنراتورهای صنعتی مطابق با استانداردهای بین‌المللی و استانداردهای مدنظر مشتری در حال فعالیت است. شرکت صنعتی ماه نیرو در سال ۱۳۷۰ با انتقال تکنولوژی و دانش فنی از شرکت آلمانی AVK تولید ژنراتورهای سه فاز سنکرون از قدرت ۳۰ الی ۲۵۰ کیلووات آغاز شد که در سال‌های بعد با توسعه تا قدرت ۵۳۰ KVA افزایش یافت. در کنار تولید ژنراتور، این

شرکت تولید کننده دیزل ژنراتور و پانل‌های حفاظت و کنترل است. ژنراتورهای این شرکت به همراه بهترین نوع موتورهای جهان از انواع Cummins، Volvo، Perkins، Deutz، Man عرضه می‌شوند.

۷-۴-۳۹- شرکت پویا ژنراتور

شرکت پویا ژنراتور در حوزه مشاوره، سرویس‌های تعمیراتی، تامین قطعات یدکی و تجهیزات جانبی صنعتی خدمات ارائه می‌دهد. محصولات این شرکت شامل: ژنراتور، الکتروموتور، ترانسفورماتور، عایق‌های الکتریکی، درایو، سافت استارتر، موتور دیزل، پمپ، دیزل ژنراتور، تابلو برق و بلبرینگ می‌باشد. همچنین این شرکت نماینده محصولات شرکت OME ایتالیا در ایران است.

۷-۴-۴۰- شرکت صنایع چرخ‌دنده توس

صنایع چرخدنده سازان توس در زمینه تولید انواع چرخ‌دنده‌های صنعتی از جمله چرخ‌دنده‌های ساده داخلی و خارجی، چرخ‌دنده‌های مارپیچ، چرخ‌دنده‌های مخروطی مارپیچ حلزونی، چرخ حلزون‌ها و شانه دنده‌ها. تولید و تعمیر انواع گیربکس‌های صنعتی، ارائه هرگونه مشاوره در زمینه‌های انتخاب مواد، عملیات حرارتی و طراحی انواع چرخ‌دنده‌ها و گیربکس‌های صنعتی در حال فعالیت است.

۷-۴-۴۱- شرکت نیرو ترانس

شرکت نیرو ترانس به صورت تخصصی در حوزه طراحی، تولید و نصب بوشینگ‌های خازنی و کلید قطع و وصل ژنراتور، ترانس‌های اندازه‌گیری جریان و ولتاژ فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت در زمینه با مشاوره ساخت و تامین تجهیزات توانایی ارائه خدمات را دارد.

۷-۴-۴۲- شرکت پایور دیزل آسیا

پایور دیزل آسیا با بیش از ۳۰ سال تجربه به عنوان تولید کننده دیزل ژنراتور و ژنراتور گازسوز برق، کانوپی سایلنت و تجهیزات وابسته، و نماینده دیزل‌های Perkins انگلستان در همه توان‌ها از رنج ۹ تا ۲۵۰۰ KVA در حال فعالیت می‌باشد. همچنین از دیگر محصولات این شرکت می‌توان به برندهای معتبر زیر اشاره نمود.

Cummins, STAMFORD , Meccalte , Volvo

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۵- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه نوسازی سیستم تحریک و راه‌انداز نیروگاه

بررسی وضعیت سیستم‌های تحریک و راه‌انداز نیروگاه بسیار حائز اهمیت است. پایش وضعیت و بازسازی سیستم‌های تحریک و راه‌انداز نیروگاه برای شناسایی و کنترل، جهت جلوگیری از بروز خسارات برای تجهیزات اصلی موثر و در بهینه‌سازی برنامه‌های تولید نیروگاه تاثیرگذار خواهد بود. این بخش به شناسایی و بررسی شرکت‌های فعال در حوزه طراحی، ساخت و تعمیرات این سیستم‌ها خواهد پرداخت.

۷-۵-۱- شرکت خدمات نیروگاهی آهار شرق

شرکت آهار در حوزه خدمات نیروگاهی در زمینه با طراحی و ساخت سیستم‌های تحریک و حفاظت ژنراتور فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت در زمینه سیستم‌های کنترل توربین‌های نیروگاهی، سیستم‌های کنترل بویلر، سیستم‌های کنترل توربوپمپ و توربوکمپرسور، ساخت کارت‌های الکترونیکی و سیستم‌های DCS در حال فعالیت می‌باشد. برخی از پروژه‌های این شرکت شامل:

- پروژه سیستم تحریک استاتیک بدون ترانسفورماتور واحدهای گازی ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه اصفهان معادل UNITROL600 ABB
- طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک ژنراتور بر روی واحد ۲۰ مگاوات جنرال الکتریک شماره ۲ نیروگاه قشم در سال ۱۳۹۷
- طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک ژنراتور واحد ۸۵ مگاوات میتسوبیشی شماره ۶ نیروگاه ری
- ساخت و تعویض سیستم تحریک ژنراتور واحد ۱ نیروگاه بعثت
- طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک ژنراتور بر روی واحد ۶۰ مگاوات اشکودا نیروگاه مشهد ۱۳۹۷
- طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک ژنراتور بر روی واحد ۲۵ مگاوات جنرال الکتریک نیروگاه کیش
- طراحی و ساخت کارت جامع کنترلر تحریک موتورهای سنکرون FUJI پالایشگاه بندرعباس
- طراحی و ساخت کارت‌های سیستم تحریک واحدهای Fiat نیروگاه تبریز
- طراحی و ساخت مجموعه کارت های تحریک واحدهای Westinghouse پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد
- بروزرسانی سیستم مانیتورینگ T1000 ژنراتورهای واحد ۱ و ۲ گازی GE F9 نیروگاه ترکیبی خوی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- طراحی و ساخت کارت‌های تقویت کننده ترموکوپل نیروگاه دورود
- طراحی و ساخت درایور بریکرهای ۶ کیلوولت ABB واحدهای بخار نیروگاه‌های نیشابور و شریعتی
- طراحی مدار تصحیح مقاومت‌های حرارتی ترموکوپل واحدهای گازی F5 نیروگاه مشهد
- طراحی و ساخت کارت‌های حفاظت اضافه جریان بریکرهای ۶ کیلوولت بی‌بی‌سی نیروگاه توس

۷-۵-۲- شرکت مهندسی پردیسان رایانه سیستم

شرکت مهندسی پردیسان رایانه سیستم (سهامی خاص) بیش از دو دهه است که در زمینه تحقیق، مشاوره و تولید سیستم‌های اتوماسیون صنعتی، سیستم‌های جمع‌آوری و پردازش اطلاعات و مانیتورینگ پروسه‌های صنعتی فعالیت می‌کند. از دیگر توانمندی‌های این شرکت عبارتند از:

- طراحی و ساخت سیستم‌های جمع‌آوری و پردازش اطلاعات، مانیتورینگ و کنترل
- طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری با کاربرد فن‌آوری اطلاعات (IT) در صنعت
- طراحی و اجرای پروژه‌های ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی
- طراحی و ساخت (نمونه‌سازی، مهندسی معکوس و تولید صنعتی) تجهیزات مانیتورینگ در صنایع برق، نفت، گاز و پتروشیمی
- طراحی سیستم‌های تحریک نیروگاهی
- طراحی کارت‌های الکترونیکی نیروگاهی و درایو

برخی از خدمات و محصولات قابل ارائه توسط متخصصین این شرکت شامل:

- طراحی و ساخت ABB AC Driver Trigger Board
- این برد الکترونیکی از مجموعه کارت‌های ABB DC DRIVER می‌باشد که فرمان تحریک صادر شده توسط برد پردازشگر را به IGBTها جهت تحریک موتور AC اعمال می‌کند.
- طراحی و ساخت ABB DC Driver Modem Board
- این برد الکترونیکی از مجموعه کارت‌های ABB DC DRIVER می‌باشد که ارتباط درایو با PLC از طریق شبکه Master Fieldbus را ممکن می‌سازد.
- طراحی و ساخت ALS_1 Card

این کارت ماژول منبع تغذیه، برای فراهم نمودن ولتاژ مورد نیاز سیستم تحریک توربین گازی مدل GAZ S.A.1990 از کمپانی ALSTOM می‌باشد.

۷-۵-۳- شرکت کاوش الکترونیک سپاهان

شرکت کاوش الکترونیک سپاهان نزدیک به ۱۰ سابقه فعالیت در حوزه مهندسی و ارائه خدمات را دارد. همچنین این شرکت در شهرک علمی تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در حال فعالیت است. توانمندی‌های و خدمات قابل ارائه این شرکت عبارتند از:

- طراحی و ساخت دستگاه راه‌انداز نرم موتورهای الکتریکی
- طراحی سیستم مانیتورینگ و کنترل تجهیزات و ماشین‌های صنعتی، اندازه‌گیری و ابزار دقیق
- طراحی و تولید سافت استارتر برای نیروگاه یزد
- طراحی، تولید، نصب و پشتیبانی ۳۸ دستگاه مودم جهت اتوماسیون ریکلوزر برق در استان کردستان
- طراحی، تولید و نصب ۴۰ دستگاه تنظیم بار ترانس فشار ضعیف در سطح استان اصفهان

۷-۵-۴- شرکت آراز تابلو توان تبریز

شرکت آراز تابلو توان از سال ۱۳۸۵ در زمینه اتوماسیون صنعتی شروع به کار نمود. این شرکت کار خود را با طرح اولیه سافت استارتر (راه‌انداز نرم الکتروپمپ‌ها و الکتروموتورها) آغاز نموده است و ارائه دهنده انواع سافت استارتر می‌باشد. خدمات قابل ارائه این شرکت شامل: طراحی، ساخت و راه‌اندازی سافت استارتر، نمایشگر سافت استارتر، ماژول سافت استارتر، کارت توسعه سافت استارتر در دو مدل ایزوله و بدون ایزوله، تابلو سافت استاتر، کنترلر ستاره/ مثلث، کنترلر پمپ GSM و پاورمیتر.

۷-۵-۵- شرکت دانش بنیان نادین طیف نگار

نادین طیف نگار با هدف طراحی و تولید سیستم‌های دانش بنیان مبتنی‌بر دانش الکترونیک مشغول به فعالیت است و به صورت خاص در راستای طراحی و تولید محصولات مرتبط با شاخه مهندسی ابزاردقیق و تکنولوژی رادار و آلتراسونیک خدمات ارائه می‌دهد.

همچنین این شرکت در حوزه تامین تجهیزات، توانایی ارائه محصولاتی نظیر: انواع ترانسمیتر، مانومتر و گیج-های فشار و همچنین سوئیچ‌های فشار از برند معتبر "WIKA" آلمان و همچنین انواع اینورترهای AC ،

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

درایوهای DC و سافت استارترهای برندهای معتبر "GEFRAN" ایتالیا و "DANFOSS" دانمارک و همچنین سیستم‌های کنترل "SIEMENS" آلمان را دارد.

۷-۶- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه نوسازی ترانسفورماتورهای قدرت نیروگاه

یکی از تجهیزات اصلی مورد استفاده در نیروگاه ترانسفورماتورهای قدرت هستند. عملکرد این تجهیزات ممکن است دچار تنش‌های الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و زیست محیطی شود، که این امر می‌تواند منجربه وقوع خطا در هسته و سیم پیچی این تجهیزات گردد. خطاهای ایجاد شده در ترانسفورماتور تأثیرات نامطلوبی به همراه خواهد داشت. بنابراین، پایش وضعیت و تشخیص دقیق معایب ترانسفورماتورها برای به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن مفید می‌باشد، و باعث افزایش قابلیت اطمینان و مانع خسارات اقتصادی سنگین خواهد شد. در این بخش شرکت‌های سازنده، شرکت‌های فعال در حوزه سرویس و تعمیرات این عناصر حیاتی ارائه شده است.

۷-۶-۱- گروه ایران ترانسفو

گروه ایران ترانسفو نزدیک به نیم قرن تجربه در زمینه طراحی، ساخت و تست ترانسفورماتورهای کوچک توزیع تا ترانسفورماتورهای بزرگ قدرت، ترانسفورماتورهای خاص متناسب با نیاز صنعت، تجهیزات ترانسفورماتور و همچنین انواع پست‌ها فعالیت می‌نماید. شرکت توسعه پست‌های ایران ترانسفو از زیرمجموعه‌های گروه ایران ترانسفو می‌باشد که تولید کننده متعلقات ترانس، کلیدهای تنظیم ولتاژ بی‌باری، محفظه رطوبت‌گیر، ترمومتر روغن و روغن‌نما است. در شکل زیر یک نمونه از محصولات تولیدی توسط این شرکت قابل مشاهده می‌باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۳۰-ترانسفوماتور قدرت ساخت ایران ترانسفو

شرکت مقره‌سازی صدف گستر زنجان عضو دیگر گروه ایران ترانسفو است که در زمینه با طراحی، ساخت و همچنین تست‌های روتین و تست‌های خاص مطابق با استانداردهای بین‌المللی در حوزه مقره فعالیت می‌نماید. از دیگر اعضای گروه ایران ترانسفو شرکت عایق‌های الکتریکی پارس می‌باشد که تولید کننده اجزاء سیستم عایقی ترانسفورماتورهای قدرت، توزیع و خاص از جنس پرس بورد، چوب فشرده و کاغذ عایقی می‌باشد.

در گروه ایران ترانسفو برای بررسی کیفیت محصول از تست‌های منظم دوره‌ای مکانیکی، فیزیکی، اپتیکی، مواد و الکتریکی مطابق استانداردهای IEC بهره گرفته می‌شود. نمونه‌ای از مراحل تست ترانسفورماتور در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۷-۳۱- اندازه‌گیری و تست پارامترها و متعلقات ترانسفورماتور

شرکت توسعه پست‌های ایران ترانسفو و شرکت ترانس پست پارس نیز از اعضای زیرمجموعه گروه ایران ترانسفو هستند که در زمینه طراحی، تامین تجهیزات و اجرای پست‌های فشارقوی و خطوط انتقال انژری تا سطح ۴۰۰ کیلوولت فعالیت می‌کنند.

گروه ایران ترانسفو در زمینه تعمیر و سرویس جزئی و کلی انواع ترانسفورماتورهای توزیع ، فوق توزیع و قدرت، نصب و راه اندازی انواع ترانسفورماتورهای توزیع، فوق توزیع و قدرت، مراقبت‌های حمل و نقل جاده‌ای ترانسفورماتور و انجام تست‌های پیش از راه‌اندازی و عیب‌یابی خدمات کلی و پس از فروش ارائه می‌نماید.

۷-۶-۲- پروژه‌های مشترک با شرکت‌های بزرگ

برخی از مهمترین پروژه‌هایی که منجربه انتقال تکنولوژی روز در تولید ترانسفورماتورهای قدرت با سطح ولتاژ و توان بالاتر درمجموعه ایران‌ترانسفو گردید عبارتند از:

- پروژه IPDC تحت عنوان توسعه پست‌های ایران به سفارش سازمان توسعه برق ایران که با تولید مشترک شرکت زیمنس آلمان انجام شد.
- پروژه تولید مشترک ترانسفورماتور نیروگاه آبی با توان ۱۶۰ مگاولت‌آمپر با الین اتریش به سفارش شرکت فرآب، در پروژه‌هایی نظیر نیروگاه کرخه، مسجد سلیمان، کارون، گوتوند.
- پروژه تولید مشترک ترانسفورماتورهای نیروگاهی قدرت ۲۰۰ مگاولت‌آمپر با ترانسفورماتورسازی ABB به سفارش مپنا در همکاری با شرکت آنسالدو ایتالیا.

۷-۶-۳- تست‌های الکتریکال

آزمایشگاه فشارقوی مسئول انجام تست‌های الکتریکی بر روی ترانسفورماتورهای فوق‌توزیع و قدرت مطابق الزامات استاندارد IEC 60076 می‌باشد. این آزمایشگاه مجهزترین آزمایشگاه در زمینه فعالیت خود در خاورمیانه می‌باشد. آزمایشگاه فشارقوی دارای گواهینامه DIN EN ISO/IEC 17025:2005 در سال ۲۰۰۷ از موسسه DAP آلمان (موسسه اعتباردهی آلمان برای انجام تست‌ها) است. همچنین در سال ۲۰۰۹ از طرف موسسه DAkkS آلمان اعتباردهی شده است. دامنه کاربرد گواهینامه ISO/IEC 17025 آزمایشگاه فشارقوی تست‌های زیر را پوشش می‌دهد:

جدول ۷-۲ تست‌های آزمایشگاه فشارقوی ایران ترانسفو مطابق با استاندارد **ISO/IEC 17025**

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

No.	Test Name	Standard No.	Edition date
1	Measurement of winding resistance	IEC60076-1	2011-04
2	Measurement of voltage ratio and check of phase displacement	IEC60076-1	2011-04
3	Measurement of short-circuit impedance and load loss	IEC60076-1	2011-04
4	Measurement of no-load loss and current	IEC60076-1	2011-04
5	Switching impulse test (SI)	IEC60076-3	2000-03
6	Lightning impulse test (LI)	IEC60076-3	2000-03
7	Separate source AC withstand voltage test	IEC60076-3	2000-03
8	Short-duration induced AC withstand voltage test (ACSD)	IEC60076-3	2000-03
9	Long-duration induced AC voltage test (ACLD)	IEC60076-3	2000-03
10	Tests on on-load tap-changers	IEC60076-1	2011-04
11	Check of core and frame insulation for liquid immersed transformers with core or frame insulation	IEC60076-1	2011-04
12	Determination of capacitances winding-to-earth, and between windings	IEC60076-1	2011-04
13	Measurement of dc. insulation resistance between each winding to earth and between windings	IEC60076-1	2011-04
14	Measurement of dissipation factor (tan δ) of the insulation system capacitances	IEC60076-1	2011-04
15	Temperature-rise test	IEC60076-2	2011-02
16	Determination of sound levels	IEC60076-10	2001-05
17	Measurement of the power taken by the fan and liquid pump motors	IEC60076-1	2011-04
18	Measurement of zero-sequence impedance(s) on three-phase transformers	IEC60076-1	2011-04
19	Measurement of frequency response (Frequency Response Analysis or FRA)	IEC60076-1	2011-04

شایان ذکر است که شرکت بازرگانی ایران ترانسفو نزدیک به دو دهه است که در زمینه بازاریابی و فروش محصولات برقی و صادرات محصولات داخلی فعالیت می‌نماید. محصولاتی که از طریق این شرکت به فروش می‌رسند عمدتاً شامل موارد ذیل می‌باشند:

- ترانسفورماتورهای توزیع روغنی و هرمتیک
- ترانسفورماتورهای خشک رزینی
- ترانسفورماتورهای ویژه صنایع
- ترانسفورماتور های قدرت

- پست‌های پیـش ساخـته توزیع
- تجهیـزات و لـوازم جانبـــی ترانسفـورماتور

۷-۶-۴- شرکت توسعه خدمات فوق تخصصی ترانسفورماتور پارس

این شرکت به صورت تخصصی در حوزه شناسایی و رفع مشکلات ترانسفورماتور و تجهیزات مربوطه در زمینه تولید، بهره‌برداری، تعمیرات، سرویس و نگهداری در حال فعالیت است. توانمندی‌های این شرکت شامل:

- بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و تست انواع ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی
- تدوین مدارک فنی معتبر و استانداردها در زمینه طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری انواع ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی
- راه‌اندازی بیمه تخصصی ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی ترانسفورماتور
- تلاش برای توسعه دانش فنی ترانسفورماتور و تجهیزات مربوطه
- ارتقا آزمایشگاه‌ها و دستیابی به شیوه‌های نوین تست و بازرسی مواد و تجهیزات ترانسفورماتور و راکتور
- تهیه بانک اطلاعات در زمینه ترانسفورماتور برای صنایع مختلف از طریق تجزیه و تحلیل دقیق

برخی از خدمات شرکت عبارتند از:

- آزمون‌های روغن برای ترانسفورماتور، بوشینگ، خازن، کلید روغنی و رکتیفایر
- تصفیه فیزیکی و شیمیایی روغن
- آزمون‌های الکتریکی روتین و مدرن
- افزایش ظرفیت ترانسفورماتور
- تعمیرات، سرویس و نگهداری

۷-۶-۵- ترانسفورماتور سازی کوشکن

شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن عضو گروه بزرگ ایران ترانسفو است که با هدف تولید انواع ترانسفورماتور توزیع روغنی با بازده بالا فعالیت می‌نماید. این شرکت توانایی تولید محصولات زیر را دارد:

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- طراحی و تولید ترانسفورماتورهای روغنی توزیع کم تلفات تا ولتاژ ۳۶ کیلوولت
- طراحی و تولید ترانسفورماتورهای زمین تا ولتاژ ۳۶ کیلو ولت
- طراحی و تولید ترانسفورماتور توزیع هرمتیک (با بالشتک گازی) تا ولتاژ ۳۶ کیلو ولت و توان ۵۰۰۰ کیلو ولت آمپر
- طراحی و تولید ترانسفورماتورهای خاص متناسب با نیاز صنعت و سفارش

۷-۶-۶- انجام تعمیرات کلی و جزئی ترانسفورماتور

این شرکت با بهره‌گیری از امکانات کارگاهی و آزمایشگاهی خود و کارخانجات گروه ایران ترانسفو که شامل فضای کافی و مناسب با جرثقیل سقفی، دستگاه‌های بوبین پیچی و پرس بوبین، کوره خلاء خشک کن اکتیوپارت، ابزار آلات ویژه ، آزمایشگاه فشار قوی برای تستهای کارخانه ای کامل تا ردیف ولتاژ ۴۲۰ کیلوولت و توان تا ۳۱۵ مگاولت آمپر، آزمایشگاه مجهز تست‌های روغن ترانسفورماتور و با استفاده از پرسنل متخصص و با تجربه مطابق با استانداردهای بین‌المللی آماده انجام تعمیرات جزئی و کلی ترانسفورماتورهای تولید داخل و خارجی می‌باشد. این سرویس پس از انجام بررسی های کارشناسی، در محل کارگاه تعمیرات این شرکت و یا کارخانجات تولید کننده ترانسفورماتور گروه ایران ترانسفو و یا نمایندگی های مجاز و در صورت امکان در محل نصب ترانسفورماتور در سایت قابل اجراء خواهد بود که در پایان، ترانسفورماتور با انجام تست های لازم منطبق بر استاندارد IEC و ارائه گواهی تحویل می گردد. ازجمله تعمیرات قابل انجام می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- رفع نشتی
- تعمیر یا تعویض قطعات و تجهیزات ترانسفورماتور
- تعمیر یا تعویض کلید تنظیم ولتاژ
- تعمیر یا تعویض بوبین‌های فشارضعیف و قوی
- تعویض هسته
- برقراری اتصالات قطع شده داخلی اکتیو پارت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۳۲- متخصصین شرکت در حال تعمیـــر وبررسی قطعـات و تجهیـزات ترانسفورماتور

۷-۶-۷- گروه صنعتی آریا ترانسفو

گروه صنعتی آریا ترانسفو متشکل از شرکت‌های آریا ترانسفو شرق و آریا ترانسفو قدرت به منظور تولید انواع ترانسفورماتورهای قدرت، نیروگاهی، صنایع، راکتورهای موازی، ترانسفورماتورهای توزیع و پست‌های پیش-ساخته و به کارگیری ماشین‌آلات و آزمایشگاه‌های مدرن فشارقوی فعالیت می‌نماید. تولیدات این شرکت ها در دو بخش مستقل قدرت و توزیع در فاز اول تا توان ۵۵۰ مگاولت آمپر و تا ولتاژ ۴۲۰ کیلوولت و در فاز دوم تا توان ۱۲۰۰ مگا ولت‌آمپر و تا ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت انجام می‌پذیرد. همچنین آریا ترانسفو سابقه همکاری با شرکتSMIT هلند از گروه SGB-SMIT که سابقه بیش از یکصد سال تولید و تحویل انواع ترانسفورماتورهای قدرت نیروگاهی و انتقال، صنایع و راکتورهای موازی به بازار اروپا و آمریکا را دارد. محصولات شرکت آریا ترانسفو قدرت، شامل:

ترانسفورماتورهای فوق توزیع و قدرت

در حوزه ترانسفورماتورهای قدرت محصولات شرکت تا ولتاژ ۴۲۰ کیلوولت و توان ۵۵۰ مگاولت آمپر طراحی و ساخته می‌شوند، انواع مختلف این تجهیزات به شرح ذیل است.

- ترانسفورماتورهای افزاینده نیروگاهی
- ترانسفورماتورهای شبکه انتقال
- ترانسفورماتورهای شیفت فاز
- ترانسفورماتورهای کمکی– زمین

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

راکتورهای موازی



شکل ۷-۳۳- نمونه محصولات شرکت آریا ترانسفو

ترانسفورماتورهای توزیع

- ترانسفورماتورهای روغنی کنسرواتوری
- ترانسفورماتورهای روغنی هرمتیک
- ترانسفورماتورهای خشک رزینی

راکتورهای موازی

- تا ولتاژ ۴۲۰ کیلوولت و توان ۱۰۰ مگاولت آمپر راکتیو

ترانسفورماتورهای خاص

- ترانسفورماتورهای ضدحریق
- ترانسفورماتورهای دو و چند ولتاژ
- ترانسفورماتورهای پست موبایل
- ترانسفورماتورهای کوره و یکسوساز
- ترانسفورماتورهای شیفت فاز

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۶-۸- ترانسفورماتور توزیع زنگان

شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان بیش از چهل سال سابقه به عنوان تولیدکننده در زمینه انواع ترانسفورماتورهای توزیع و فوق توزیع مطابق با آخرین استانداردهای بین‌المللی نظیر IEC، DIN، VDE، ANSI، NEMA و BS یا استانداردهای ملی در حال فعالیت و ارائه خدمات است. توانمندی‌های این شرکت عبارتند از:

ترانسفورماتور کوره، ترانسفورماتور یکسوساز، اتوترانسفورماتور، ترانسفورماتور موتور استارتینگ، ترانسفورماتور کانورتور، ترانسفورماتور تراکشن، ترانسفورماتور کمپکت، ترانسفورماتور زمین، ترانسفورماتور دوال ولتاژ، ترانسفورماتور پد مانتد، ترانسفورماتور توربین بادی، ترانسفورماتورهای توزیع با کلید تنظیم ولتاژ On-Load. همچنین تولید ترانسفورماتور فوق توزیع تا ظرفیت ۳۰ مگاولت آمپر و ولتاژ ۳۶ کیلوولت جهت تنظیم ولتاژ، امکان تعبیه کلید تنظیم ولتاژ تحت‌بار و بی‌باری وجود دارد. این شرکت مطابق با آخرین استانداردهای IEC و یا سایر استانداردهای مورد نظر کارفرما طراحی، تولید و تست می‌شوند.



شکل ۷-۳۴-نمونه‌ای از ترانسفورماتورهای فوق توزیع طراحی و تولید توسط شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان

۷-۶-۹- شرکت سرمایه‌گذاری ارس‌صبا

شرکت سرمایه‌گذاری ارس صبا در حوزه طراحی، ساخت و تعمیرات ترانسفورماتور فعالیت می‌کند. شرکت کارخانجات تولیدی نیرو ترانسفو، شرکت اروند ترانس پارس و شرکت مهندسی خدماتی صنعت برق ارس صبا از زیرمجموعه‌های گروه صنعتی و سرمایه‌گذاری ارس صبا هستند. شرکت اروند ترانس پارس بیش از دو دهه است که در زمینه ساخت انواع ترانسفورماتورهای خاص فعالیت می‌کند. این کارخانه قادر به طراحی و تولید ترانسفورماتورهایی با کاربرد مطمئن و عمر طولانی می‌باشد. شرکت کارخانجات تولیدی نیرو ترانسفو (سهامی خاص) در زمینه طراحی، ساخت و بهره‌برداری ترانسفورماتور، قطعات و لوازم یدکی ترانسفورماتور توانایی ارائه خدمات را دارد. توانمندی‌های شرکت سرمایه‌گذاری ارس صبا و زیرمجموعه به شرح ذیل است:

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ترانسفورماتورهای قدرت، ترانسفورماتورهای خشک هوا خنک، ترانسفورماتورهای رزینی، ترانسفورماتورهای زمین و تک‌فاز، ترانسفورماتورهای نمک زدا و سه سیم پیچه، راکتورهای هسته هوا و راکتورهای مخصوص کوره القایی از محصولات مجموعه شرکت‌های ارس صبا می‌باشد.

۷-۶-۱۰- مهندسی مهر آریس توانا

شرکت مهندسی مهر آریس توانا بیش از یک دهه با هدف تامین نیازهای صنعت برق کشور و در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات تست مقاومت فعالیت می‌نماید. فعالیت‌های اصلی شرکت عبارتند از: طراحی و ساخت تجهیزات اندازه‌گیری و تست ترانسفورماتورهای نیروگاهی و شبکه‌های برق.



شکل ۷-۳۵- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ توسط دستگاه مدل **M1410T** ساخته شده توسط شرکت مهندسی مهر آریس توانا

۷-۶-۱۱- شرکت برنا الکترونیک

شرکت دانش بنیان برنا الکترونیک بیش از سه دهه فعالیت در تولید تجهیزات برق و الکترونیک صنعتی، سیستم‌های حفاظت کاتدی و پایش و کنترل خوردگی دارد. این شرکت در حال حاضر محصولات و خدمات متنوعی را عرضه می‌نماید که مهمترین آن‌ها به شرح زیر است:

- ترانسفورماتور: طراحی و تولید انواع ترانسفورماتورهای خاص و سفارشی
- رله‌های الکترونیکی: تولید رله‌های الکترونیکی و نمایشگرهای دیجیتالی تابلویی
- طراحی و اجرای حفاظت کاتدی: طراحی، تامین و اجرای سیستم‌های حفاظت کاتدی (EPC)
- تجهیزات حفاظت کاتدی: تولید ترانس رکتیفایر و تجهیزات حفاظت کاتدی
- پایش خوردگی: انواع کوپن، پراب و تجهیزات پایش خوردگی
- مگادرایو: طراحی و تولید کنترل دور الکتروموتورهای ولتاژ متوسط با توان بالا (MV-VFD)

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- مقاومت‌های صنعتی: طراحی و تولید انواع مقاومت‌های صنعتی و مقاومت‌های اتصال زمین (NGR) و تابلوهای NGC
- هیترهای صنعتی: طراحی و تولید هیترهای صنعتی و ضد انفجار صنایع نفت و گاز و پتروشیمی و سایر صنایع مادر
- رکتیفایرهای قدرت بالا: طراحی و تولید انواع رکتیفایرهای خاص و توان بالا
- باتری شارژر: طراحی و تولید انواع باتری شارژر و منابع تغذیه صنعتی
- مفصل: مفصل‌های رزینی کابل
- سیستم ارتینگ و صاعقه‌گیر

۷-۶-۱۲- گروه صنعتی الکتروپژواک آرین (رضا ترانس ورک)

گروه صنعتی الکتروپژواک آرین (رضا ترانس ورک) بیش از ۳۵ سال سابقه فعالیت در حوزه تولید تجهیزات صنعت برق از جمله ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری شامل ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان فشارضعیف و فشار-متوسط (تا سطح ۳۶ کیلوولت)، ترانسفورمرهای تغذیه، سلف‌های حلقوی و انواع بوشینگ، مقره و تجهیزات جانبی ترانسفورماتور را دارد.

همچنین این شرکت دارای نمایندگی‌های در سراسر کشور جهت ارائه خدمت در نزدیک‌ترین محل ممکن را است. محصولات این شرکت مطابق استاندارد بین‌المللی IEC تولید می‌شود و مورد تایید:

- سازمان توانیر
- تائیدیه از پژوهشگاه نیرو برای ترانسفورمرهای جریان و ولتاژ فشارمتوسط
- تائیدیه از آزمایشگاه CESI برای ترانسفورمرهای جریان فشارضعیف
- تائیدیه از آزمایشگاه CPRI برای ترانسفورمرهای فشارمتوسط
- تائیدیه از دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
- شرکت SPEC (بازرگانی پتروشیمی)
- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب
- مپنا

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- شرکت برق منطقه‌ای تهران و سایر استان‌ها و شرکت‌های توزیع برق در سراسر کشور می‌باشد.

۷-۶-۱۳- تهیه و تولید کالا و خدمات نیرو (ساخت نیرو، سهامی خاص)

شرکت ساخت نیرو با سابقه‌ای نزدیک به ۳۰ سال در حوزه ساخت انواع ترانسفورماتور در حال فعالیت است. همچنین این شرکت خدمات دیگری نظیر تابلوهای برق فشارقوی و فشارضعیف، انواع پایه‌های روشنائی معابر، پایه‌های بتونی و مجری پروژه‌های روشنائی را ارائه می‌دهد.

۷-۶-۱۴- ایران ترانسفو ری

شرکت ایران ترانسفو ری در حوزه طراحی، تولید و ساخت ترانسفورماتورهای توزیع و خاص (مطابق با سفارش صنایع مختلف) و تمامی متعلقات این تجهیزات بر اساس استانداردهای بین‌المللی IEC 60076 و VDE 0532در حال فعالیت است. همچنین این شرکت در راستای بهبود عملکرد ترانسفوماتورها، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان این تجهیزات دارای توانمندی می‌باشد و آمادگی ارائه خدمات برای صنایع مختلف را دارد. بخشی از محصولات شرکت عبارتند از:

۱- ترانسفورماتور روغنی توزیع ۲۰ کیلوولت به ۴۰۰ ولت با تلفات کاهش یافته

۲- ترانسفورماتور روغنی توزیع ۱۱ کیلوولت به ۴۰۰ ولت

۳- ترانسفورماتور روغنی توزیع ۳۳ کیلوولت به ۴۰۰ ولت

۷-۶-۱۵- صنایع کیان ترانسفو

شرکت صنایع کیان ترانسفو یک شرکت خصوص در حوزه طراحی، تولید، تست و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای توزیع، فوق‌توزیع و قدرت در حال فعالیت می‌باشد. همچنین این شرکت در حوزه کاری خود دارای توانمندی-هایی نظیر: ساخت پست کمپکت ۱۲۳ کیلوولت، طراحی و تولید ترانسفورماتور کم تلفات و تولید کلید و بریکرهای GIS را دارا می‌باشد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۳۶- نمونه ترانسفورماتور ساخت شرکت کیان ترانسفو

۷-۶-۱۶- شرکت تولیدی فنی توس نیرو

شرکت توس نیرو در زمینه تولید انواع ترانسفورماتورها دارای تایید صلاحیت از شرکت توزیع نیروی برق است. همچنین این شرکت محصولاتی نظیر کات اوت فیوز ۲۰ کیلوولت، انواع تابلوهای برق، تیرهای سیمانی، پایه‌های فلزی روشنائی معابر، احداث شبکه‌های زمینی و هوای (فشارضعیف و قوی) و یراق‌آلات خطوط انتقال نیرو را طراحی و تولید می‌کند.

۷-۶-۱۷- مهرشید نیرو

شرکت مهرشید نیرو نمایندگی فروش آریا ترانسفو، علاوه بر تامین تجهیزات مربوط به ترانسفورماتور و ساخت این تجهیزات، در حوزه تعمیرات ترانسفورماتور دارای توانمندی می‌باشد. همچنین این شرکت تجهیزات جانبی و پایه روشنایی پارکی، معابر، تیر برق چدن نشکن، تیر چدن را تولید می‌نماید. خدمات قابل ارائه در حوزه تعمیرات ترانسفورماتور توسط این شرکت شامل: رفع نشتی، تعویض روغن ترانس، تعمیر و تعویض قطعات ترانس، تجهیز ترانس، تعمیر یا تعویض کلید تنظیم ولتاژ و تپ چنجر، تعمیر یا تعویض بوبین فشارضعیف یا فشارقوی، تعمیر یا تعویض هسته، بررسی اتصالات و رفع اختلالات می‌باشد. همچنین این شرکت در حوزه خدمات تست الکتریکال برای تست نسبت تبدیل، تست بی‌باری، تست مقاومت dc، تست شار و تست مگر قابلیت ارائه خدمات را دارد.

۷-۶-۱۸- شرکت دانش بنیان سامانه‌های پیشرفته ترانسفورماتور ارومی

شرکت دانش بنیان سامانه‌های پیشرفته ترانسفورماتور ارومی در حوزه طراحی و ساخت تجهیزات جانبی ترانسفورماتور نظیر: تپ چنجر و رگولاتور در حال فعالیت می‌باشد. همچنین این شرکت دانش بنیان قابلیت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

طراحی و تولید ترانسفورماتورهای جابجایی فاز، SVC، اینورتر و نرم افزارهای سیستم‌های کنترلی را داراست. نمونه‌ای از محصولات تولیدی شرکت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۷-۳۷- تپ چنجر ۴۰۰ ولت/۱۶۰ کیلوولت آمپر



شکل ۷-۳۸- رگولاتور ولتاژ توان ۲۰ کیلو ولت/۱۵۰ آمپر

۷-۶-۱۹- شرکت مبدل توان نقش جهان

شرکت مبدل توان نقش جهان به صورت تخصصی در حوزه تست و راه‌اندازی، آزمایش روغن، اورهال ترانس تا تعمیر و نگهداری در حال فعالیت است. اهم خدمات این شرکت عبارتند از:

- تست، سرویس، عیب‌یابی، مانیتورینگ
- عقد انواع قراردادهای حرفه‌ای نگهداری و تعمیرات
- مشاوره، آموزش و تدوین دستورالعمل
- تعمیرات جزئی، اساسی و اورهال
- تعویض، جایگزینی، بهینه‌سازی و آداپته نمودن قطعات جدید
- برخی از امکانات و تجهیزات شرکت:
- آزمایشگاه کامل روغن ترانسفورماتور
- دستگاه تست موبایل HV
- تجهیزات کامل تست و عیب‌یابی ترانسفورماتور از قبیل میگر، تخلیه جزئی و ...
- کارگاه مجهز اورهال ترانسفورماتور، دستگاه وکیوم، تصفیه فیزیکی روغن، همکاری جهت تصفیه شیمیایی روغن

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۶-۲۰- شرکت پاد انرژی ناره (پنکو)

شرکت پاد انرژی ۱۵ سال سابقه در زمینه های طراحی، ساخت، تعمیرات، نصب، راه‌اندازی، تست و عمرسنجی انواع ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت دارد. این شرکت علاوه بر ارائه خدمات فنی و مهندسی انواع ترانسفورماتورها، در زمینه تست و عمرسنجی کابل‌های فشارقوی نیز فعالیت داشته و اهم خدمات این شرکت عبارتند از:

- نصب و راه‌اندازی انواع ترانسفورماتورها
- انجام تست‌های پیش از راه‌اندازی شامل انواع تست‌های الکتریکی و روغن
- تعمیر، سرویس و اورهال انواع ترانسفورماتورها
- سرویس و اورهال انواع کلیدهای تنظیم ولتاژ نصب بر روی ترانسفورماتورها
- عمرسنجی کامل ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی شامل بوشینگ‌های خازنی و کلیدهای تنظیم ولتاژ
- اندازه‌گیری رطوبت مواد عایقی، سیرکولاسیون روغن و خشک‌سازی اکتیو پارت
- انجام تمامی تست‌های روغن شامل انواع تست‌های کنترل کیفی، گازکروماتوگرافی، تحلیل نتایج و انجام اقدامات پیشگیرانه بر اساس استانداردها و تجربیات عملی
- انجام تمامی تست‌های الکتریکی مدرن شامل PD, FDS and FRA
- ارائه کلاس‌های آموزشی تئوری و عملی در خصوص نصب، تست، سرویس و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت و سرویس و اورهال کلیدهای تنظیم ولتاژ
- ارائه تمامی خدمات مشاوره‌ای و نظارت
- تأمین انواع تجهیزات مورد نیاز ترانسفورماتورها شامل روغن، بوشینگ، ترمومتر، رله‌های فشارشکن و بوخهلتس، کیسه هوا (ایربگ)

۷-۶-۲۱- شرکت الوند توان انرژی

این شرکت از سال ۱۳۸۹ در زمینه تامین تجهیزات و ارائه خدمات فنی مهندسی و مشاوره‌ای، تست و تعمیرات انواع ترانسفورماتور در حال فعالیت می‌باشد. اهم خدمات این شرکت عبارتند از:

- انجام تعمیرات جزئی و اساسی ترانسفورماتورهای قدرت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- انجام آزمون‌های الکتریکی
- سرویس و اورهال انواع تپ چنجر
- انجام آزمون‌های روغن ترانسفورماتور
- تصفیه فیزیکی و شیمیایی، تعویض روغن و خشک‌سازی ترانسفورماتور
- نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت
- -پوشش رفع نشتی روغن ترانسفورماتور

۷-۷- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه نوسازی الکتروموتور و تجهیزات جانبی آن‌ها

حفظ الکتروموتورها در پیک عملکرد کاری، همواره یک چالش جدی است. موتورهای الکتریکی کاربرد گسترده-ای در بخش‌های مختلف صنایع نیروگاهی دارند. نیروی محرکه اغلب تجهیزات دوار و ادوات رفت و برگشتی نظیر: پمپ، دمنده، کمپرسور و ... معمولا از طریق انواع مختلف موتورها تامین می‌شود. بنابراین از کار افتادگی یک موتور به معنای از سرویس خارج شدن یک تجهیز و یا در برخی موارد، کل فرآیند خواهد بود. از این رو حفظ این تجهیزات از طریق بازسازی و تعمیرات منظم ضرورت دارد. شرکت‌های سازنده و تعمیرکاران الکتروموتورهای فشارمتوسط و فشارقوی در این بخش معرفی و شناسایی می‌شود.

۷-۷-۱- شرکت دانش بنیان پژوهنده نیرو

شرکت دانش بنیان پژوهنده نیرو به صورت تخصصی در حوزه طراحی، ساخت و پایش ماشین‌های الکتریکی و درایو فعالیت می‌کند. شرح خدمات این شرکت در این حوزه به شرح ذیل است:

- طراحی، آنالیز و کنترل انواع موتورهای الکتریکی (مغناطیس دائم، BLDC و سوئیچ رلوکتانس و ...)
- پایش وضعیت موتورهای الکتریکی و ترانسفورماتورها
- انجام تست‌های استاندارد دوره‌ای و دائمی بصورت Online و Off-Line
- طراحی و نصب سیستم‌های مونیتورینگ دائمی موتورها و ترانسفورماتورها
- تخمین عمر مفید ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- تدوین برنامه فنی- اقتصادی جایگزینی موتورهای الکتریکی
- عیب‌یابی و تشخیص علل سوختن موتور الکتریکی، درایو و ترانسفورماتور
- طراحی و ساخت انواع فیلترهای سینوسی، dv/dt و VPL برای درایوهای الکتریکی

پروژه‌ها

*** طراحی و ساخت سیستم عیب‌یابی هوشمند موتورهای القایی-تابان نیرو (ذوب آهن)**

شرح فعالیت

- قابلیت تشخیص شکستگی میله‌های روتور و حلقه‌ها در موتورهای القایی

*** ارائه خدمات مشاوره در زمینه ماشین‌های دوار و تجهیزات الکتریکی- فولاد مبارکه اصفهان**

شرح فعالیت‌ها

- انجام تست‌های مختلف از قبیل آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن، تانژانت دلتا، آنالیز جریان و ...
- فعالیت‌های تحقیقاتی، پروژه‌های عیب‌یابی و اقدامات اجرائی
- ارائه راهکار فازهای مطالعاتی و اجرائی توسط مشاور به تفکیک هزینه‌ها و مدت زمان مورد نیاز



شکل ۷-۳۹- انجام تست عیب‌یابی و اقدامات اجرایی برای الکتروموتور شرکت فولاد مبارکه اصفهان

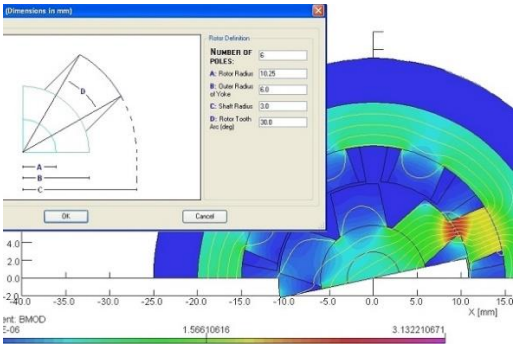
*** تهیه نرم‌افزار جامع طراحی موتورهای الکتریکی (موتورالقایی، موتور سوئیچ رلکتانس، موتور سنکرون بدون جاروبک BLDC، موتور جریان مستقیم) - دانشگاه صنعتی اصفهان**

شرح فعالیت‌ها

- تهیه طرح اولیه و آنالیز طرح

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- آنالیز حساسیت نسبت به کل پارامترهای طراحی
- اصلاح و بهبود طرح و تهیه طرح نهایی جهت ورود به FEM

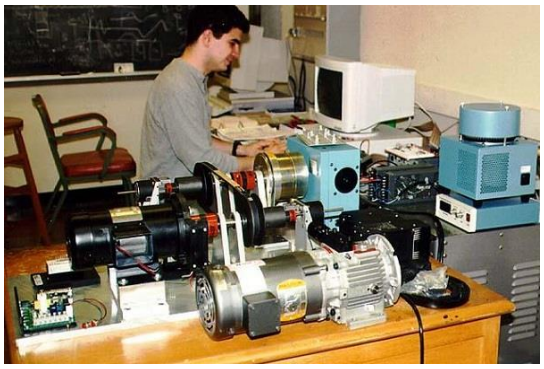


شکل ۷-۴۰- نرم‌افزار جامع طراحی موتورهای الکتریکی

* طراحی موتور سوئیچ رلکتانس - دانشگاه پوردو آمریکا

شرح فعالیت

- طراحی موتور 6000 rpm، 60 Kw برای شرکت Sundsrand آمریکا



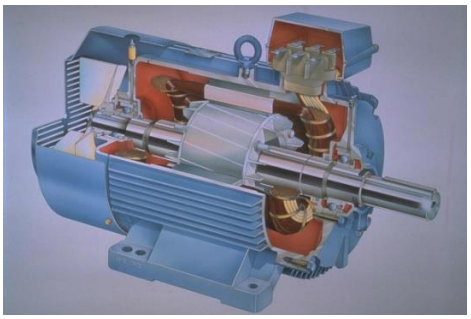
شکل ۷-۴۱- مراحل طراحی و تست موتور سوئیچ رلکتانس

* طراحی بهینه موتور SR – دانشگاه صنعتی اصفهان

شرح فعالیت

- مدل‌سازی تحلیلی و FEM موتور SR و بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۴۲-موتور **SR** طراحی شده توسط شرکت پژوهنده نیرو

*** بهینه‌سازی و بهبود عملکرد موتورهای PMDC – جنرال موتور آمریکا**

شرح فعالیت

- مدل‌سازی تحلیلی و FEM برای بهینه‌سازی موتور جریان مستقیم مغناطیس دائم

*** شبیه‌سازی و تحلیل کامپیوتری تعدادی از ماشین‌های الکتریکی القایی و تعیین پارامترهای آنها–ذوب آهن اصفهان**

شرح فعالیت‌ها

- مطالعه روشهای تعیین پارامترهای موتورهای القایی
- طراحی و تهیه یک برنامه کامپیوتری جهت محاسبه پارامترها و تهیه مدل مناسب موتور
- ساخت دستگاه اندازه گیری مناسب
- انجام اندازه گیری ها جهت ارزیابی عملکرد موتورهای فرسوده

*** دستگاه کاهش جریان هجومی ترانسفورمرهای قدرت**

۷-۷-۲- مزایای دستگاه

- کاهش جریان هجومی ترانسفورمر تا حد جریان نامی
- کاهش ضربات الکترومکانیکی به هسته و سیم پیچ ترانس
- افزایش عمر مفید ترانسفورمر

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- افزایش عمر مفید دژنکتور
- کاهش پدیده‌های کوتاه مدت ولتاژ و گذراها
- عدم نیاز به تغییر در سیستم قدرت
- ابعاد و وزن کم
- نصب سریع و آسان
- هزینه بسیار پائین نسبت به قیمت ترانسفورمر
- عدم نیاز به سرویس و نگهداری



شکل ۷-۴۳-دستگاه کاهش جریان هجومی ترانسفورمرهای قدرت ساخت شرکت پژوهنده نیرو

*** تدوین الگوریتم و تهیه نرم‌افزار تخمین عمر باقیمانده ترانس‌های قدرت – برق منطقه‌ای اصفهان**

شرح فعالیت‌ها

- دسته‌بندی عیوب بر اساس اجزاء ترانس، علل و منشاء عیب
- تعیین عوامل تاثیرگذار بر عمر ترانس و میزان تاثیر هر کدام
- بررسی روش‌های مونیتورینگ دائمی و دوره‌ای و پارامترهای اندازه‌گیری
- به دست آوردن مدل‌های ترکیبی تخمین عمر با توجه به آزمون‌های انجام شده
- تهیه نرم‌افزار هوشمند تخمین عمر بر اساس آزمون‌های انجام شده

*** تامین تجهیزات و تعویض رله حفاظتی ژنراتورهای STG – پالایش نفت امام خمینی شازند**

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرح فعالیت‌ها

- بررسی نقشه‌ها و طرح حفاظتی موجود، ارائه نقشه‌های اجرایی مورد نیاز
- تهیه رله‌ها و اجناس مورد نیاز
- نصب رله‌ها و انجام سیم کشی‌های مورد نیاز
- انجام تنظیمات رله‌ها مطابق تنظیمات موجود



شکل ۷-۴۴-**رله حفاظتی ژنراتور STG**

۷-۷-۳- شرکت دانش بنیان ارم سازان روز

ساخت و طراحی سیستم‌های برقی و الکترونیکی شامل انواع مهندسی معکوس و ساخت درایو موتور، درایو تست، درایو موتورهای بزرگ در حال فعالیت می‌باشد. همچنین این شرکت علاوه بر موارد فوق، در زمینه ساخت و طراحی مبدل‌های التراسونیک، سیستم‌های توزیع و شناسایی ID CODE، VPS، گرم کننده‌های القایی، ساخت سیستم‌های کاهنده مصرف انرژی، طراحی و ساخت انواع کارت‌های الکترونیکی، طراحی و ساخت سانترال ترانس ۱۹ ولت جهت تغذیه دوربین، ولید گارد حرارتی (محافظ گرمایی)، ساخت منبع تغذیه دستگاه CO سنج، خدمات کالیبراسیون تجهیزات الکترونیکی، نگهداری تجهیزات مخابراتی و فیبر نوری، عملیات نوسازی و تعمیرات سامانه مدیریت مصرف انرژی، تعمیرات بیرینگ گرم کن، ماژول حرارتی، پالیش اتومات توانمندی ارائه خدمات را داراست.

۷-۷-۴- شرکت دانش بنیان ارم صنعت موج گستر

شرکت دانش بنیان ارم صنعت موج گستر در حوزه طراحی و ساخت سیستم‌های کاهش مصرف و بهینه‌سازی ماشین الکتریکی، طراحی سیستم‌های کنترل و حفاظت و همچنین طراحی و ساخت درایوهای ماشین‌های الکتریکی در حال فعالیت می‌باشد. این شرکت در راستای توانمندی‌های خود پروژه‌هایی را به انجام رسانیده است که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- طراحی و ساخت سیستم درایو سروو موتور

- طراحی و تولید رگولاتور موازی
- سیستم کنترل دما
- طراحی درایو موتور الکتریکی و شبکه صنعتی در پالایشگاه پارسیان
- طراحی خطوط انتقال ۲۰ کیلوولت به مسافت ۷ کیلومتر برای پالایشگاه پارسیان

۷-۷-۵- شرکت دانش بنیان سهند توان گستر خبره

شرکت دانش بنیان سهند توان گستر خبره در مرکز رشد واحدهای فناوردانشگاه صنعتی سهند در حوزه طراحی و ساخت درایو موتورهای توان بالا و صنعتی، تولید فیلترهای اکتیو قدرت، انواع اینورتر خورشیدی، اینورترهای صنعتی، اینورترهای متصل به شبکه، درایور بردهای IGBT توان بالا و سنسور ولتاژ AC و DC فعالیت می‌کند.

۷-۷-۶- شرکت دانش بنیان الکتروموتور آریا

شرکت دانش بنیان الکتروموتور آریا نزدیک به ده سال سابقه در حوزه طراحی و ساخت درایو و موتورهای BLDC دارد. برخی از پروژهای شرکت به شرح زیر می‌باشد:

۷-۷-۷- – کنترل و درایو موتور فوق سریع Agnes

درایو Agnes برای کنترل موتورهای فوق سریع در صنایع مختلفی نظیر: ژنراتورهای همزمان برق و گرما CHP ، کمپرسورهای سرعت بالا، ماشین‌کاری‌های فوق دقیق کاربرد دارد. در شکل زیر ساختمان درایو مورد نظر نشان داده شده است.

۷-۷-۸- – موتور الکتریکی آهنربا دائم دایرکت درایو سری motion

موتور الکتریکی روتور بیرونی سری motion به منظور چرخاندن فن‌های مورد استفاده در صنعت تهویه مطبوع بکار می رود که اصطلاحا به به نام موتور BLDC معروف است

7-7-9- – درایو الکتریکی کنترل دور موتورهای القایی و آهنربا دائم tion+

درایو موتور الکتریکی tion+ به منظور کنترل موتورهای القایی (AC) و آهنربای دائم PMSM و BLDC مورد استفاده در صنعت تهویه مطبوع بکار می‌رود. به عبارتی برای کنترل پیوسته سرعت یا دبی هوای خروجی فن سیستم‌های هواسازی (AHU)، تبخیری، چیلری، فن کویل و داکت اسپیلت می‌توان از درایو کنترل دور - بهره گرفت.

۷-۷-۱۰- خدمات فناوری توسعه سیستم‌های احتراق و انرژی (کوئنتک) شریف

دفتر خدمات فناوری توسعه سیستم‌های احتراق و انرژی شریف در مرکز خدمات فناوری دانشگاه شریف در حال فعالیت است. اهم فعالیت‌های این شرکت شامل:

محفظه احتراق سیستم‌های تولید توان، طراحی و مهندسی معکوس مشعل و بویلرهای صنعتی، محفظه احتراق-های توربین گاز، آزمایش خواص سوخت‌های جدید، سیستم‌های تغذیه و کنترل سوخت‌رسانی، سیستم‌های کنترل ناپایداری احتراقی کوره‌ها (سیمان، زباله سوز، ...)، سیستم‌های پاشش، سیستم‌های کرایژنیک، تدوین آزمایش‌ها و ارتقاء استانداردها، سیستم‌های انتقال حرارتی (مبدل‌های حرارتی)، سیستم‌های آغازشگر احتراقی، سیستم‌های دینامیک گازی و هیدرولیکی (اجکتوری، سپراتورها)، سیستم‌های آکوستیکی. برخی از پروژه‌های این واحد فناور عبارتند از:

- امکان‌سنجی طراحی و تولید موتور توربینی، صها
- طراحی محفظه احتراق و ساخت موتور توربوجت به کمک یک توربوشارژ

۷-۷-۱۱- ۷شرکت دانش بنیان گروه صنعتی نوین سازان تهران

گروه صنعتی نوین سازان بطور تخصصی در حوزه جوش مقاومتی، طراحی و ساخت ماشین مخصوص و خطوط تولید اتوماتیک در حال فعالیت می‌باشد. بخش ماشین‌آلات ساختمانی و ماشین مخصوص گروه فعالیت خود را به صورت مستقل و تحت عنوان نوین سازان ستاره صنعت ادامه می‌دهد و تاکنون بیش از بیست نمونه ماشین-آلات تولید صنعتی مصالح ساختمانی و ده‌ها نونه ماشین مخصوص در صنایع مختلف را طراحی و تولید نموده است.

در حال حاضر گروه صنعتی نوین سازان از پنج شرکت نوین سازان ستاره صنعت، نوین سازان تهران، نوین پردازان قطعه، نوین نت فراگیر، و نوین سازان ارمغان تجارت تشکیل شده است. این شرکتها در راستای ارائه راه حل جامع از سوی گروه صنعتی نوین سازان برای مشتریان خود، علاوه بر طراحی و ساخت ماشین‌آلات و

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

خطوط تولید، در زمینهٔ تامین قطعات یدکی، مصرفی و نگهداری و تعمیرات فعال می‌باشند. بخشی از فعالیت-های انجام شده گروه عبارتند از:

- ده‌ها پروژه طراحی و ساخت ماشین مخصوص و اتوماسیون صنعتی برای صنایع مختلف کشور
- طراحی و ساخت ماشین های مخصوص برای صنعت فولاد کشور (امیرکبیر کاشان و فولاد مبارکه)
- طراحی و ساخت تجهیزات و ماشین‌آلات جوش اتوماتیک خطوط لوله
- طراحی و ساخت خط تولید تمام اتوماتیک و نیمه اتوماتیک رادیاتورهای پانلی
- نگهداری و تعمیرات تجهیزات خطوط تولید
- انجام خدمات پس از فروش کلیه دستگاه‌های تولیدی گروه صنعتی نوین سازان
- تامین قطعات یدکی و مصرفی دستگاه‌های تولیدی گروه صنعتی نوین سازان با کیفیت مطلوب

۷-۷-۱۲- تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه

شرکت تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه در زمینه طراحی و ساخت نمونه‌های متمایز از ماشین‌های الکتریکی DC ، سنکرون، القایی روتور سیم پیچی شده، القایی، قفس سنجابی و ماشین‌های الکتریکی خاص در حال فعالیت است. همچنین ساخت سفارشی انواع ماشین‌های الکتریکی خاص از قبیل رلوکتانسی، جریان مستقیم با تحریک آهنربای دائم، سنکرون با تحریک آهنربای دائم و ماشین‌هایی با تعداد فاز غیر معمول با توان و جریان نامی دلخواه در این شرکت امکان‌پذیر می‌باشد.

۷-۷-۱۳- شرکت دانش بنیان آریا الکتروموتور

شرکت آریاموتور با بیش از یک دهه سابقه در عرصه تولید انواع الکتروموتورهای صنعتی و سیستم‌های تهویه و خنک کننده صنعتی فعالیت می‌کند. محصولات این شرکت الکترو از توان ۱ اسب بخار تا ۱۵ اسب بخار در دو مدل چدنی و آلومینیومی عرضه می‌گردد.

همچنین این شرکت تولیدکننده انواع فن‌ها و هواکش‌های صنعتی و خانگی شامل: فن‌های (هواکش) سانتریفوژ (یوتیلیتی، دبل، فشاربالا، رادیال و کانالی)، فن‌های (هواکش) آکسیال (خانگی، دیواری، سقفی، کانالی و جت فن)، اگزاست فن سانتریفوژ سقفی و همچنین محصولات خاص شامل: فن دمنده سایدچنل، کوره هوای گرم صنعتی (هیتر)، سایکلون و سیستم تصفیه دود می‌باشد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۷-۱۴- شرکت دانش بنیان سپنتا الکترونیک طبرستان

این شرکت دانش بنیان به صورت تخصصی در حوزه طراحی و ساخت درایو موتورهای الکتریکی فعالیت می‌کند. شرح خدمات و دیگر توانمندی‌های این شرکت عبارتند از:

- طراحی و ساخت سنسور آتش بین و سیستم مانیتورینگ شعله
- طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه سوئیچینگ
- طراحی و ساخت درایورهای موتور با ولتاژ متوسط و پایین
- طراحی و ساخت مدارهای کنترل الکترونیک بر پایه TMS320F28335 (این IC یک DSP پرقدرت، از محصولات شرکت TI می‌باشد).
- طراحی و ساخت درایورهای IGTB
- طراحی و ساخت انواع IGTB بر اساس الکترونیک قدرت

۷-۷-۱۵- شرکت دانش بنیان نیان الکترونیک

شرکت دانش بنیان نیان الکترونیک با ربع قرن سابقه تخصصی در مهندسی الکترونیک و شاخه الکترونیک قدرت، در حوزه طراحی و ساخت مبدل انرژی الکتریکی در حال فعالیت است. توانمندی‌های این شرکت عبارتند از: تغذیه‌های مخابراتی، ماژول‌های مبدل، انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی و باتری وکابینت باتری. همچنین این شرکت در قالب پروژه‌های بهینه‌سازی با اعمال تغییراتی در طراحی الکتروموتور، درایو و پنل در جهت افزایش راندمان این تجهیزات در حرکت است.

۷-۷-۱۶- شرکت آرین صنعت

شرکت آرین صنعت نزدیک به چهار دهه سابقه فعالیت در حوزه طراحی و ساخت الکتروموتورهای خاص داشته است. الکتروموتورهای ساخته شده توسط این شرکت در صنایع مختلفی همچون صنایع ماشین‌سازی، صنایع غذایی، صنایع تاسیسات و ... کاربرد دارد. همچنین این شرکت بنابر سفارش مشتری توانایی طراحی و ساخت انواع مختلف الکتروموتور در ابعاد و توان‌های مختلف را دارد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۷-۱۷- ۱شرکت الکتروژن

شرکت الکتروژن به صورت تخصصی در عرصه تولید الکتروموتورهای صنعتی در حال فعالیت است. تمامی مراحل تحقیقات و طراحی، پرس کاری، دایکاست، ماشین‌کاری، سیم پیچی و مونتاژ، ساخت قالب و آزمایش‌های نهایی در داخل این شرکت صورت می‌گیرد. دیگر توانمندی‌های این شرکت در حوزه موتورهای خانگی، انواع مختلف تهویه مطبوع، موتور ماشین لباسشویی، پمپ‌های آب خنک کننده و انواع مشعل گاز و نفت در ایران است. همچنین رنج محصولات تولیدی توسط این شرکت از ۰/۰۵ کیلووات تا ۴۵ کیلووات مطابق استانداردهای بین‌المللی می‌باشد.

۷-۷-۱۸- شرکت موتوژن

کارخانجات تولیدی موتوژن به صورت تخصصی در حوزه الکتروموتور در حال فعالیت است و مجموعه کاملی از الکتروموتورهای صنعتی و خانگی را طراحی و تولید می‌کند. الکتروموتورهای صنعتی سه‌فاز و تکفاز از ۶۰ وات الی ۶۳۰ کیلووات در این شرکت تولید می‌شود. همچنین این شرکت با دارا بودن تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته تمامی مراحل تحقیقات، طراحی، ساخت و تست را در محل شرکت انجام می‌نماید. مجموعه آزمایشگاه‌های این شرکت شامل تجهیزاتی است که به برخی اشاره شده است:

- آزمایشگاه الکتروتکنیک

دینامومتر Mohilo، جهت آزمون موتورهای تکفاز و سه فاز تا ۵۵ کیلووات (حداکثر ارتفاع شفت ۲۵۰ میلی متر).

- آزمایشگاه نویز و ارتعاش

ارتعاش سنج: برای اندازه‌گیری شتاب، سرعت و جابجایی ارتعاشات در گستره ۳ هرتز تا ۱۵ کیلو هرتز.

ترازسنج صوتی: این تجهیز برای اندازه‌گیری تراز فشار صوت و یا تراز توان صوت در گستره ۲۴ تا ۱۳۰ دسی‌بل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- آزمایشگاه مترولوژی و کالیبراسیون ابزارهای مکانیکی

این آزمایشگاه شامل تجهیزات اندازه‌گیری سه بعدی، اندازه‌گیری فرم، اندازه‌گیری زبری (صافی) سطوح و دستگاه بزرگ‌نمایی می‌باشد.

۷-۷-۱۹- شرکت زیما

زیما بیش از دو دهه تجربه در زمینه‌ی طراحی و تولید ادوات الکترونیک و الکترونیک قدرت، تولید کننده انواع درایو و کنترل کننده دور موتور می‌باشد. محصولات این شرکت عبارتند از: سری پمپی، سری لیفت، سری صنعتی، سری تاچ و تجهیزات جانبی مربوطه می‌باشد. برخی از انواع مختلف تولیدات درایوهای سری صنعتی در ذیل ارائه شده است.

تکفاز: ۰/۳۷ کیلووات، ۰/۷۵ کیلووات، ۱/۱ کیلووات، ۱/۵ کیلووات، ۲/۲ کیلووات و ۳ کیلووات.

سه فاز: ۰/۷۵ کیلووات، ۱/۵ کیلووات، ۲/۲ کیلووات، ۳ کیلووات، ۴ کیلووات، ۵/۵ کیلووات، ۷/۵ کیلووات، ۱۱ کیلووات و ۱۵ کیلووات.

۷-۷-۲۰- شرکت ماشین‌های الکتریکی جوین (جمکو)

جمکو در زمینه تولید انواع ماشین‌های الکتریکی فعالیت می‌نماید. محصولات شرکت جمکو شامل الکتروموتورهای سه فاز صنعتی از ۱۵ کیلووات تا ۱۰ مگاوات مطابق با استانداردهای بین‌المللی می‌باشد و کلیه تست‌های لازم طبق استانداردهای معتبر جهانی و با تجهیزات پیشرفته صورت می‌گیرد. محصولات این شرکت در سه دسته فشار ضعیف، فشارمتوسط و الکتروموتورهای خاص دسته‌بندی می‌شود.

۷-۷-۲۱- شرکت فنی مهندسی خدماتی آذرخش کنترل اسپادانا

شرکت آذرخش کنترل اسپادانا به صورت تخصصی در حوزه راه‌اندازی، سرویس و تعمیرات الکتروموتور، نصب و راه‌اندازی دیزل ژنراتور فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت توانایی ارائه خدمات اجرایی، نصب و راه‌اندازی، نگهداری و تعمیرات، تامین نیروی متخصص، طراحی، نظارت، تامین کالا برای سیستم‌های برق و ابزاردقیق، اتوماسیون و کنترل و مخابرات را دارد. صنایع نیروگاهی، صنعت فولاد، نفت وگاز و پتروشیمی، سیمان، پست-های برق، خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع، صنایع معدنی، صنایع ساختمانی عمده مشتریان این شرکت را تشکیل می‌دهند.

۷-۸- سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه بازسازی سیستم حفاظت الکتریک نیروگاه

در این بخش سازندگان، تعمیرکاران و شرکت‌های فعال در حوزه سیستم حفاظت شناسایی و معرفی خواهند شد. سیستم حفاظت الکتریک نیروگاه، پس از وقوع خطا و یا بروز حالت بهره‌برداری غیرعادی، و یا خارج از

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

حد قابل قبول برای تجهیزی از شبکه، این حالات غیر عادی را تشخیص می‌دهد و سبب می‌شود حداقل رخداد خطا در نیروگاه وجود داشته باشد و در عین حال حداقل خسارت به تجهیزات نیروگاه وارد شود. نیروگاه شامل ژنراتور، ترانسفورماتور، الکتروموتور و خطوط انتقال است، که این تجهیزات نیازمند سیستم حفاظت مطمئن، جهت جلوگیری از ایجاد خطاهای شدید و گسترش آن می‌باشند. خطاهای اتصال کوتاه، اضافه بار و شرایط کاری نامتعادل برای تجهیزات نیروگاهی مطلوب نیست و باید سریعاً این وضعیت تشخیص داده شود و خطا رفع گردد. از این رو بازسازی و ارتقا و بررسی سلامت این سیستم امری ضروری تلقی می‌گردد.

۷-۸-۱- مرکز خدمات فناوری توسعه خودکفایی صنعتی شریف

این مرکز در ساختمان خدمات فناوری دانشگاه صنعتی شریف با استفاده از نخبگان صنعت و دانشگاه در حوزه ساخت تجهیزات و قطعات در حال فعالیت می‌باشد. عمده فعالیت‌های این مرکز پژوهشی، تدوین اسناد فنی ساخت قطعات و تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و الکترونیکی می‌باشد. برخی از خدمات قابل ارائه در این مرکز عبارتند از:

- انجام امکان‌سنجی قطعات مورد نیاز شرکت بهره‌برداری اعم از تعمیر، ساخت یا جایگزینی و نیز ارتقای تکنولوژی
- تدوین مشخصات فنی قطعات موجود جهت تولید داخل(TDP)
- تدوین پیشنهادات قابل اجرا در زمینه ارتقاء تکنولوژی قطعات (TRD)
- تدوین اسناد فنی جایگزینی قطعات و تجهیزات موجود (RTD)
- شناسائی و ارزیابی صلاحیت فنی و اجرائی پیمانکاران برای بندهای ۲ و ۳
- نظارت فنی بر مراحل اجرا و فرآیند ساخت و کنترل کیفی پیمانکاران
- -عیب‌یابی و ارائه راهکار جهت بهبود عملکرد

برخی از پروژه‌های شرکت در حوزه سیستم‌های حفاظت الکتریک نیروگاه شامل:

- - مطالعات فنی و کاربردی پوسته پل بریکر کلیدهای ۲۰ کیلوولت پست‌های فشارقوی

شرح پروژه

- - تهیه اسناد فنی ساخت، تدوین روش تولید، تدوین رویه‌های کنترلی و نظارت بر ساخت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۷-۴۵-پوسته پل بریکر کلیدهای ۲۰ کیلوولت پست‌های فشارقوی

۷-۸-۲- شرکت دانش بنیان پارس کیان فناوری آپادانا (پکفا)

شرکت دانش بنیان پارس کیان فناوری آپادانا (پکفا) در شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان در زمینه ساخت تجهیزات اتوماسیون صنعتی در حال فعالیت می‌باشد. فعالیت‌های اصلی این شرکت شامل: طراحی- اجرا و تامین تجهیزات پروژه های اتوماسیون صنعتی و ابزاردقیق است. همچنین این شرکت توانایی ارائه خدمات در حوزه مشاوره/ طراحی/ اجرا و نظارت عالی پروژه‌های اتوماسیون صنعتی را دارد. برخی از خدمات مهندسی شرکت عبارتند از:

- تعمیرات انواع رله‌های پست‌های فشارقوی
- طراحی و ساخت ترانسدیوسرهای ولتاژ و جریان
- طراحی و ساخت کارت‌های پردازشگر سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال مبتنی بر میکروکنترلر و پردازنده‌های DSP
- طراحی و ساخت کارت‌های الکترونیکی Data Acquisition
- طراحی نرم افزارهای مانیتورینگ صنعتی متناسب با نیازهای صنایع

این شرکت در پروژه‌های تدارکاتی و تأمین تجهیزات اتوماسیون صنعتی با تولید کنندگان معتبر دنیا به شرح زیر همکاری دارد.

SIEMENS, ABB, ROCKWELL AUTOMATION, MOVICON, BENTLY NEVADA, RITTAL, HUBA control pressure MAGNETROL, SAAB ROSEMOUNT, ENERGY SOLUTIONS, SOLARTON, ENRAF, WONDERWARE, GE FANUC, CISCO SYSTEMS , E&H , CHEMITECH , SCHAFNER , SCHNEIDER ELECTRIC , NIVELCO , VEGA , CEAG, STAHL, CORTEM, SCHUCH, AD – Vigano, COELBO, Marechal, CMP, BARTEC, Hawke, HEATEX, ,Victor, PMA ,FANTINI HONEYWELL, HOKE, ABB, Fisher, Rosemount, TRAFAG, WIKA, Foxboro, Clark – Reliance, Murphy, RENK, Siemens, Seitz, DANFOSS, Endress+Hauser, PARKER, SOLITEC, NORGRAN ,MAGNETROL , BT Toyota , AMS , Wilo , ABS , TC Fluid Control , Fisher , KSB ,

SKF , ADVANTECH , ALSTOM , GE , ELECTROMATIC , Finder , VISHAY , syscon ABB analyzer, 6642626c1 , ntcl01 , advel sps601 , K-BUS KITZ 102 202.

۷-۸-۳- شرکت دانش بنیان مهندسین رسانش انرژی نوین (رسان)

شرکت دانش بنیان مهندسین رسانش انرژی نوین (رسان) در زمینه طراحی و تولید انواع تابلوهای برق و پست‌های کمپکت، طراحی و اجراء پروژه‌های فشارمتوسط و فشارضعیف در حال فعالیت است. محصولات و خدمات قابل ارائه این شرکت شامل:

- دژنکتور خلاء و گازی SF6
- نشانگرهای خطای زمینی و هوایی
- پست کمپکت پیش ساخته تابلوهای فشار متوسط
- کمپکت تابلوهای فشارمتوسط کشویی
- انواع تابلوهای فشار ضعیف تابلوهای بانک خازنی (مدولار و ثابت)
- تابلوهای کنترل و پروسس تابلوهای چنج اور فشارمتوسط و فشارضعیف

۷-۸-۴- شرکت دانش بنیان آزمایشگاه صنایع انرژی (اپیل)

شرکت دانش بنیان آزمایشگاه صنایع انرژی (اپیل) با مشارکت دانشگاه‌های معتبر صنعتی (امیرکبیر، تهران، علم و صنعت و شهیدعباسپور) و جمعی از تولید کنندگان فعال در صنایع انرژی در حوزه انجام آزمایش‌های معتبر و دارای قابلیت ردیابی بین‌المللی در حال فعالیت است. توانمندی این شرکت در زمینه انجام آزمون‌های دوره‌ای رله و ترانسفورماتور نیروگاهی، تجهیزات حفاظت و اندازه‌گیری می‌باشد. برخی از آزمایشگاه‌های این شرکت شامل:

- آزمایشگاه رله حفاظتی
- آزمایشگاه قدرت نیروگاهی
- آزمایشگاه درجه حفاظت بدنه
- آزمایشگاه تخلیه جزئی/تانژانت دلتا
- آزمایشگاه کالیبراسیون و آزمایشگاه سیم و کابل

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

همچنین این شرکت مورد تأیید شرکت نفت، شرکت گاز، توانیر، سازمان تنظیم مقررات رادیوئی، سازمان غذا و دارو، سازمان ملی استاندارد، معاونت فناوری ریاست جمهوری و گمرکات کشور می‌باشد. در ادامه به برخی از پروژه‌های شرکت اشاره شده است:

- آزمون تجهیزات حفاظت، اندازه‌گیری و کنترل (رله، ترانس و ...)-نیروگاه ۲۰۰۰ مگاواتی رودشور
- انجام آزمون‌های تجهیزات حفاظت و اندازه‌گیری (رله، ترانس و ...)-نیروگاه لوارک
- انجام آزمون تجهیزات حفاظت، اندازه‌گیری و کنترل (رله، ترانس و ...)- نیروگاه‌های کریک ۱، ۲ و ۳
- انجام آزمون‌های رله-نیروگاه جدید کرمانشاه
- انجام آزمون‌های تجهیزات اندازه‌گیری پست‌های تحت پوشش برق تهران (۲۳ پست)
- آزمون تجهیزات حفاظت و اندازه‌گیری پست‌های طرح توسعه پالایشگاه بندرعباس

۷-۸-۵- شرکت ریزموج الکتریک طوس (دانش بنیان)

این شرکت از سال ۹۳ فعالیت خود در زمینه طراحی و تولید تجهیزات حفاظت، کنترل، اتوماسیون و اندازه‌گیری را شروع کرده است. عمده محصولات این شرکت در بهره‌برداری از پست‌های انتقال و فوق توزیع و در احداث پست‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از محصولات و خدمات شرکت شامل:

- رله‌های Trip و Close
- رله سوپرویژن تک‌فاز و سه فاز
- - سیستم آلارم مرکزی و ثبات وقایع توام و مستقل AMA 500
- سیستم آلارم چیپ AMA 80
- نشان دهنده تپ MTI 500 (قابلیت انتقال اطلاعات موقعیت تپ و درجه حرارت ترانسفورماتور با سیم)
- نشان دهنده وضعیت سکسیونر ارت نوع EPC 501 LE
- نشان دهنده وضعیت سکسیونر نوع SPC 501 LE
- نشان دهنده وضعیت بریکر نوع CPS 501 LE
- نشان دهنده وضعیت تست/سرویس بریکر ۲۰ کیلوولت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۸-۶- شرکت مِسِن انرژی قشم

شرکت مِسِن انرژی قشم از ۱۳۹۳ بعنوان یک واحد فناور در مرکز بین‌المللی رشد جزیره قشم در حال فعالیت است. این شرکت در حوزه طراحی، تولید و تامین تجهیزات، نصب و بهره‌برداری سیستم‌های اتصال زمین و حفاظت در برابر صاعقه و طراحی و مشاوره در حوزه سیستم‌های اتوماسیون صنعتی، ابزار دقیق، مانیتورینگ و کنترل خدمات ارائه می‌دهد. همچنین این شرکت در زمینه ممیزی انرژی و کاهش تلفات سابقه اجرای پروژه-های بزرگی را دارد. علاه بر موارد فوق این شرکت مشاوره و مجری پروژه‌های هوشمند سازی مصرف انرژی برق در صنایع مختلف می‌باشد.

۷-۸-۷- ۷شرکت پارس پرداز

شرکت پارس پرداز در زمینه طراحی، ساخت، نصب و سرویس و تعمیرات انواع رله‌ها نظیر: رله خطای قطع فیوز، رله سرعت بالا، رله حفاظت جریان زیاد و اتصال کوتاه، رله خطای نشتی زمین (بر اساس ولتاژ و بر اساس جریان)، رله حرارت و رله حفاظت جریان برگشتی در حال فعالیت است. همچنین این شرکت در حوزه‌های دیگر خدماتی ارائه می‌دهد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. برخی از توانمندی و محصولات این شرکت در حوزه قدرت عبارتند از:

- طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه سوئیچینگ ایزوله
- طراحی و ساخت انواع شارژر در رنجهای مختلف ولتاژ و آمپراژ
- طراحی و ساخت انواع Converter (Dc to Dc & Ac to Dc)
- طراحی و ساخت انواع اینورتر
- طراحی و ساخت انواع BLDC
- طراحی و تولید انواع رله‌های الکترونیکی و صنعتی (کنترل ولتاژ ، جریان، حرارت، فشار و سطح) و ...
- طراحی و ساخت انواع تابلوهای کنترل، فرمان، توزیع و پست تا ۲۰ کیلوولت

برخی دیگر از توانمندی‌های این شرکت در حوزه کنترل شامل:

- طراحی و ساخت انواع مختلف سیستمهای کنترل برنامه‌پذیر هوشمند PLC و DCS با استفاده از قطعات و لوازم شرکت‌های معتبر اروپایی، آمریکایی و ژاپنی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- طراحی و ساخت سیستم کنترل مجتمع توسط PLC به عنوان جمع کننده اطلاعات، کنترل فرامین، ارتباط و انتقال اطلاعات بر روی PC جهت نمایش و اعمال فرامین
- انواع مختلف کنترلر و میکروکنترلهای صنعتی جهت سیستمهای مکانیکی و پنوماتیکی
- طراحی و ساخت انواع سیستم کنترل توربین‌های گازی جنرال الکتریک (MARK VI, V, II)
- طراحی و ساخت انواع سیستم کنترل توربین‌های گازی سولزر (SIEMENS S5)
- طراحی و ساخت انواع ECU
- طراحی و ساخت انواع سیستم‌های کنترل دیزل ژنراتورهای MTU و...
- طراحی و پیاده‌سازی انواع نرم‌افزار کنترل و گرافیکی، کاربر درسیستم‌های کنترل و میکروکنترل
- طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزار کنترل و رابط گرافیکی سیستم‌های مجتمع کنترل برنامه‌پذیر

۷-۸-۸- شرکت اپرا

این شرکت در حوزه طراحی و ساخت تستر برای تجهیزات مورد استفاده در صنایع برق و انرژی خدمات ارائه می‌دهد. محصولات این شرکت در حوزه سخت افزاری و نرم افزاری شامل: تستر رله، تستر قطعات الکترونیک و مبدل‌های VGA می‌باشد.

- تستر قطعات الکترونیک

از جمله تستر های آماده ارایه توسط شرکت به شرح ذیل می باشد:

- تستر رله

این تستر امکان تست همزمان ۸ رله در نمونه آماده را دارا می‌باشد و انواع تست از جمله تست عملکردی، حرارتی، برودتی، مقاومتی، Burn-in را برای رله‌ها انجام می‌دهد و توانایی ذخیره‌سازی کلیه اطلاعات را دارد.

- تستر خازن

این تجهیز توانایی تست ظرفیت خازن‌های الکترولیت و غیر الکترولیت به صورت تک تا حداکثر ۱۰ قطعه به صورت همزمان و ۲۰ قطعه به صورت باند ریل قرار گرفته داخل فیکسچر مربوطه را داراست.

- تستر UJT

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

تستر UJT که اولین تستر این نوع قطعه در ایران محسوب می‌شود امکان تست همزمان ۱۰ قطعه را دارا می‌باشد و کلیه اطلاعات پس از تست را در LCD روی پنل تستر نمایش می‌دهد.

- تستر تریستور

این تستر که قابلیت تست انواع تریستور را داراست دارای بخش تست قدرت تریستور نیز می‌باشد که پارامترهای قدرت تریستور را علاوه بر عملکرد سوئیچینگ تست و در صفحه نمایش ارائه می‌نماید.

- تستر مقاومت

این تستر که به منظور تست تکی (حداکثر ۱۰ قطعه) و رولی مقاومت طراحی شده است توانایی تست مقاومت بدون نیاز به خارج نمودن پایه مقاومت‌ها از رول را داراست.

- تستر دیود

این تستر که به منظور تست تکی (حداکثر ۱۰ قطعه) و رولی دیود طراحی شده است توانایی تست دیود بدون نیاز به خارج نمودن پایه مقاومت‌ها از رول را داراست.

- مبدل‌های VGA

شرکت اپرا در زمینه نوسازی تجهیزات مونیتورینگ دست به تولید مبدل‌های با کیفیت و بدون اغتشاش تصویری VGA زده است. این مبدل‌ها امکان اتصال سرورهای سازگار با مونیتورهای قدیمی به صفحات نمایش امروزی را فراهم ساخته‌اند.

۷-۸-۹- شرکت الکترونیکی بردهای هوشند ایرانیان

شرکت الکترونیکی بردهای هوشمند ایرانیان در حوزه ابزار دقیق و مانیتورینگ سیستم‌های صنعتی در حال فعالیت است. همچنین این شرکت قادر به تامین انواع تجهیزات ابزار دقیق در برندهای معتبر شامل موارد ذیل است:

Advantech Meggitt, Foxboro, Fisher Rosemount, Siemens, Honeywell.

برخی از خدمات و محصولات این شرکت عبارتند از:

- طراحی و ساخت کارت‌های کنترلی و حفاظتی، کارت‌ها و پنجره‌های آلارم
- اجرای پروژه‌های اتوماسیون فرآیندهای صنعتی مبتنی بر سیستم‌های DCS
- اجرای پروژه‌های مانیتورینگ با اتصال به لوپ کنترل واحد از طریق پروتکل‌های ارتباط داده‌ای

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- انجام خدمات فنی مهندسی، مشاوره و نظارت در زمینه اتوماسیون و مانیتورینگ سیستم‌های صنعتی
- بهینه‌سازی و به روز کردن سیستم‌های کنترل قدیمی
- تولید و ساخت، نصب و راه‌اندازی تجهیزات ابزاردقیق و همچنین سیستم‌های کنترل
- تامین تجهیزات، نصب و راه‌اندازی تعمیرات و بهینه‌سازی انواع ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت
- پیاده‌سازی نرم‌افزارهای کنترل و مانیتورینگ
- طراحی و ساخت ثبت کننده‌های داده (Logger)
- اجرای فعالیت‌های مختلف نصب و راه‌اندازی تجهیزات الکتریکی، کنترل، ابزاردقیق و مکانیکال
- تامین تجهیزات ابزار دقیق
- طراحی، تامین تجهیزات، نصب و راه‌اندازی انواع پست‌های انتقال
- طراحی، تامین تجهیزات و نصب خطوط انتقال در سطوح ولتاژی مختلف

۷-۸-۱۰- شرکت دانش بنیان وبکو امیرکبیر

شرکت دانش بنیان وبکو امیرکبیر از سال ۱۳۹۳ به منظور تولید دستگاه تستر رله زیر نظر دانشگاه صنعتی امیرکبیر در حال فعالیت می‌باشد. تستر رله مدل AMT105 یک راه‌حل عمومی برای تست انواع رله و تجهیزات حفاظتی است. این دستگاه با داشتن امکانات زیر، قابلیت مورد نیاز برای تست رله‌های متنوع و تجهیزات حفاظتی گوناگون را دارد:

- قابلیت‌های مرتبط با با تست رله‌های حفاظتی و تجهیزات اندازه‌گیری
- قابلیت انجام تست‌های کلید و سکسیونر
- تست اندازه‌گیری زمان باز و بسته شدن تجهیزات حفاظتی
- تست حداقل ولتاژ عملکرد کلید قدرت
- انجام تست‌های گذرا
- تست انواع رله‌های الکترومکانیکی، استاتیکی و نیومتریک

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۹- ۹ سازندگان، تعمیرکاران، تامین‌کنندگان و شرکت‌های فعال در زمینه نوسازی سیستم تغذیه DC و باتری‌های نیروگاهی

یکی از مهمترین قسمت‌ها در نیروگاه‌ها، سیستم‌های تغذیه DC و باتری‌ها می‌باشند. اختلال و ضعف در سیستم تغذیه DC از یک سو سبب افزایش و پیچیده‌تر شدن مشکلات بهره‌برداری واحدها می‌شود، از طرف دیگر عواقب خطای عملکرد نیروی انسانی به هنگام مانور می‌تواند بسیار زیانبار باشد. این سیستم جهت تغذیه تجهیزات هوشمند و حساس نیروگاه نظیر: رله‌های حفاظتی، سیستم‌های کنترلی، مدارهای قطع و وصل کلید قدرت، AVR، روشنایی اضطراری و ... کاربرد دارند. در این بخش به بررسی و شناسایی شرکت‌های فعال در حوزه ساخت، بازسازی و تعمیرات این سیستم‌ها پرداخته شده است.

۷-۹-۱- آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف

این شرکت بیش از یک دهه در حوزه طراحی و حل مشکلات منابع تغذیه فشارقوی اعم از DC، AC و پالسی در حال فعالیت است. دامنه فعالیت‌های این شرکت شامل: طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه DC ولتاژ بالا و توان بالا، طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه پالسی ولتاژ بالا و توان بالا، طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه با دقت ولتاژ بسیار بالا، محاسبه و بهبود قابلیت اطمینان انواع منابع تغذیه، طراحی و ساخت انواع کانورترهای DC به DC و DC به AC (اینورتر)، طراحی و ساخت انواع توانسفورمرهای ولتاژ بالا و فرکانس بالا، تست عایقی و تحلیل انواع خطا می‌باشد. برخی از پروژه‌های این شرکت عبارتند از:

- تست استاندارد فشارقوی عایق‌های الکتریکی بر طبق استاندارد IEC
- استانداردسازی اندازه‌گیری دقیق گذرای HV
- اندازه‌گیری استاندارد نویز هدایتی بر طبق استاندارد IEC
- شبیه‌سازی مشکلات منابع تغذیه
- تست حفاظت منابع تغذیه
- تست حرارتی منابع تغذیه
- تست کیفیت ولتاژ منابع تغذیه
- تست عمر منابع تغذیه
- روش‌های کنترل جدید مدولاتور

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۹-۲- شرکت احداث قدرت نیرو

شرکت احداث قدرت نیرو در چهار حوزه اصلی پیمانکاری برق و تاسیسات، تابلوهای برق فشارمتوسط، تابلوهای برق فشارضعیف و پست‌های پیش‌ساخته کمپکت در حال فعالیت می‌باشد. خدمات و محصولات این شرکت در حوزه‌های مذکور به شرح ذیل است:

- تامین UPS، شارژرهای صنعتی، مشاوره در زمینه تهیه دیزل ژنراتور، نصب و راه‌اندازی آن
- سرویس تعمیر و نگهداری پروژه‌های بزرگ صنعتی و نصب و راه‌اندازی انواع تابلوهای برق
- خدمات برق و ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی

۷-۹-۳- صنعت الکترونیک برفر

شرکت صنعت الکترونیک برفر در پارک فناوری پردیس مستقر است و بیش از ۳۰ سال در زمینه طراحی، ساخت و تولید انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت از جمله منابع تغذیه سوئیچینگ، اینورترها و شارژرهای صنعتی و همچنین مبدل‌های DC به DC مشغول به فعالیت می‌باشد.

۷-۹-۴- شرکت مهندسی بهساز صنیع سیستم

شرکت مهندسی بهساز صنیع سیستم، از سال ۱۳۷۵ با تمرکز بر روی سیستم‌های کنترل الکترونیکی صنایع و به خصوص نیروگاه‌های کشور جهت انجام خدمات مهندسی در زمینه تعمیر و بازسازی قطعات داغ توربین‌های گازی و انواع موتورهای توربینی و همچنین ساخت قطعات پرمصرف این نوع توربین‌ها در حال فعالیت می‌باشد. بطور کلی بخش‌های فعالیت این شرکت شامل: احداث نیروگاه‌های گازی و CHP مقیاس کوچک، طراحی و ساخت سیستم‌های الکترونیک و ابزار دقیق، بخش مکانیک و خدمات مهندسی و همچنین ساخت ربات‌های صنعتی است. برخی از پروژه‌های این شرکت در حوزه‌های مذکور عبارتند از:

جدول ۷-۳- پروژه‌های شرکت بهساز صنیع سیستم

ردیف	شرح فعالیت	محل اجرا	تایید کننده
۱	ساخت کارت‌های باتری شارژر نیروگاهی	نیروگاه منتظر قائم	نیروگاه منتظر قائم
۲	طراحی و ساخت انواع کارت‌های الکترونیکی نیروگاهی	نیروگاه	شرکت

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

		منتظر قائم	توانیر
۳	بازسازی کارت‌های الکترونیکی پیشرفته MX4	لوله‌سازی ماهشهر	گروه صنعتی سدید
۴	طراحی و ساخت انواع بردهای الکترونیکی	شرکت هپکو	شرکت توانیر
۵	طراحی و ساخت انواع قطعات مکانیکی نیروگاهی	نیروگاه شهید رجایی	شرکت توانیر
۶	بازسازی کارت‌های الکترونیکی دستگاه آلتروسونیک خطوط لوله‌سازی	لوله‌سازی ماهشهر	گروه صنعتی سدید
۷	طراحی و ساخت انواع بردهای الکترونیکی پیشرفته	نیروگاه فارس	شرکت توانیر

۷-۹-۵- شرکت صنایع پرسو الکترونیک

شرکت صنایع پرسو الکترونیک به عنوان تولید کننده UPS و تولید کننده رک شارژر در کنار تولید، ارائه دهنده خدمات UPS و سرویس و نگهداری منابع تغذیه نیز می‌باشد. برخی خدمات شرکت شامل:

- طراحی و ساخت یو.پی.اس‌های Line Interactive با توان‌هایی از 500 VA تا 3 KVA.
- طراحی و ساخت یو.پی.اس‌های Online از ۱ کیلوولت آمپر تا ۱۰۰ کیلوولت آمپر
- طراحی و ساخت یو.پی.اس‌های ماژولار تا توان ۶۰ کیلوولت آمپر
- ساخت رک‌ها و شارژرهای مخابراتی کم‌ظرفیت و پرظرفیت با تکنولوژی Switched Mode تا ۶ هزار آمپر با فریم‌های داخلی و خارجی با پروتکل‌های محافظتی متغیر تا سقف IP55
- پشتیبانی از شارژر صنعتی با مصارف اصلی در صنایع پتروشیمی، نفت و نیروگاه‌ها
- اینورترهای ماژولار مخابراتی با سطح پیشرفته طراحی و تولید تا توان ۱۸ کیلوولت آمپر
- طراحی و تولیدکننده تابلو برق مستقیم و متناوب با پروتکل‌های محافظتی متغیر تا IP44
- طراحی و ساخت کابینت باتری و رک مخابراتی با پروتکل‌های محافظتی متغیر

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- طراحی و تولید رک مخابراتی و محصولات تلفیقی مانند یو.پی.اس، اینورتر، مبدل و رکتیفایر با کاربری خاص و مطابق با اعلام نیاز مشتریان

۷-۹-۶- شرکت مهندسی تحقیقات الکترونیک هیراد

هیراد بیش از دو دهه سابقه فعالیت در زمینه طراحی، تولید و عرضه یو پی اس، اینورتر، شارژرهای تجاری و صنعتی را دارد. خدمات قابل ارائه توسط این شرکت شامل: UPS دفتری و صنعتی از 600 VA تا 400 KVA بصورت تکفاز و سه فاز، شارژرهای صنعتی و مخابراتی، UPSهای لاین اینترکتیو سینوسی و شبه سینوسی ، اینورترهای صنعتی تا توان 100 KVA، درایو آسانسور، رکتیفایر کانورتر، اینورترهای خورشیدی، استابلایزر، ترانس‌های خشک کم ولتاژ و ولتاژ بالا رزینی می‌باشد.

۷-۹-۷- شرکت پایا روش آریا

شرکت پایا روش آریا نزدیک به دو دهه در حوزه تخصصی و فنی سیستم‌های مانیتورینگ، اتوماسیون صنعتی، مخابرات و کنترل فرآیندها و IT در حال ارائه خدمات می‌باشد. محصولات این شرکت عبارتند از: RTU، PLC، Battery Charger، رله‌های حفاظتی، مالتی پلکسر و کارت‌های الکترونیکی برای منابع تغذیه.

۷-۹-۸- شرکت همند نیرو گسیل

شرکت همند نیرو گسیل قریب به ۲۰ سال در زمینه UPS، شارژر صنعتی، باتری و ... فعالیت دارد. این شرکت در زمینه UPS نمایندگی GE سوییس و در زمینه باتری نمایندگی انحصاری باتری‌های Hoppecke آلمان و Leoch چین (تحت لیسانس آمریکا) در ایران و منطقه را داراست.

۷-۹-۹- مهندسی پارت افزار کارن

مجموعه مهندسی پارت افزار کارن در زمینه طراحی و مهندسی، تأمین تجهیزات، نصب و راه اندازی، نگهداری و تعمیرات محصولاتی نظیر باتری شارژرهای صنعتی و اتوماسیون صنعتی، یکسوسازهای ولتاژ بالا و یکسوسازهای آمپر بالا در حال فعالیت است. این شرکت به عنوان نماینده شرکت Castlet انگلیس در ایران و تأمین کننده تجهیزات برق و ابزاردقیق و اتوماسیون صنعتی از برند زیمنس است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۷-۱۰- ۱ شناسایی متخصصین، نخبگان و صاحب‌نظران حوزه بازسازی و تعمیرات تجهیزات الکتریک نیروگاهی

در این بخش شناسایی خبرگان حوزه نگهداری و تعمیرات و نوسازی بخش‌های الکتریکی نیروگاه از بین متخصصین دانشگاهی، شرکت‌ها، صنایع، و برندهای مطرح و فعال در حوزه مذکور مورد بررسی قرار گرفته بر مبنای زمینه‌های فعالیت طبقه‌بندی شده است. به جهت بررسی دقیق‌تر، متخصصین دانشگاهی، صنعت و متخصصین فعال در نیروگاه‌ها به تفکیک در جدول‌های مجزا ارائه شده است.

- **متخصصین دانشگاهی**

در جدول ۱-۴ متخصصین و نخبگان دانشگاهی که در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه در حال فعالیت هستند ارائه شده است.

جدول ۷-۴- متخصصین دانشگاهی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

متخصص	محل اشتغال	تجهیزات الکتریک نیروگاه						
		پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
رسول حجی	دانشگاه صنعتی شریف	*						
مهدی بهزاد	دانشگاه صنعتی شریف	*						
مهدی رمضانی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*	*		*	*		
بابک فاضل بخششی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*	*			*		
عباس صفری	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*				*		
ابوالفضل واحدی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*	*			*		
اسلام سرخوش	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*			*			
غلامرضا کاظمی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*	*			*		
حمید کریمی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*	*			*		
نامی محمودی	مرکز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران	*			*			
محمدرضا حائری‌یزدی	دانشگاه تهران	*	*			*		
داوود یونسیان	دانشگاه علم و صنعت ایران	*						
حمید احمدیان	دانشگاه علم و صنعت ایران	*						
محمد دورعلی	دانشگاه صنعتی شریف	*	*	*		*		
مسعود آریان پور	دانشگاه صنعتی شریف							*
محمدتقی احمدیان	دانشگاه صنعتی شریف	*						
مهدی وکیلیان	دانشگاه صنعتی شریف	*	*		*	*		
هاشم اورعی	دانشگاه صنعتی شریف		*			*		
حسین مختاری	دانشگاه صنعتی شریف	*					*	
سعید ادیب نظری	دانشگاه صنعتی شریف	*						
محمد فرشچی	دانشگاه صنعتی شریف	*	*			*		
مهدی معلم	دانشگاه صنعتی اصفهان		*			*		
شهریار کابلی	دانشگاه صنعتی شریف	*	*		*	*		*
امین نوبختی	دانشگاه صنعتی شریف	*						
بیژن فرهانیه	دانشگاه صنعتی شریف	*						
محمدرضا اجتهادی	دانشگاه صنعتی شریف	*						

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۲	مهرداد عابدی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر		❊			❊		
۲	جعفر میلی منفرد	دانشگاه صنعتی امیرکبیر		❊			❊		
۲	جواد شکراللهی مغانی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر		❊			❊		
۲	سید مجتبی آقا میرسلیم	دانشگاه صنعتی امیرکبیر		❊			❊		
۲	غلامحسین ریاحی دهکردی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر		❊			❊		
۲	حسین عسگریان ابیانه	دانشگاه صنعتی امیرکبیر						❊	
۲	صادق واعظزاده	دانشگاه تهران		❊			❊		
۲	جواد فیض	دانشگاه تهران		❊			❊		
۲	حمید لسانی	دانشگاه تهران		❊			❊		
۲	محمدتقی نبوی رضوی	دانشگاه تهران		❊			❊		
۲	شاهرخ فرهنگی	دانشگاه تهران		❊			❊		
۲	مهدی داورپناه	دانشگاه تهران	❊	❊		❊	❊		
۲	عباس شولایی	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	ابوالفضل واحدی	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	حسین حیدری	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	داود عبر خابوری	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	علیرضا جلیلیان	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	سید سعید فاضل	دانشگاه علم و صنعت ایران		❊			❊		
۲	علی مصطفی‌نژاد	دانشگاه شهید بهشتی		❊			❊		
۲	ابراهیم افجه‌ای	دانشگاه شهید بهشتی		❊			❊		
۲	حمید جوادی	دانشگاه شهید بهشتی		❊			❊		
۲	محمدرضا نقاشان	دانشگاه شهید بهشتی		❊			❊		
۲	شهریار کابلی	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	محمود فتوحی فیروزآباد	دانشگاه صنعتی شریف	❊						
۵	فرزاد تهامی	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	هاشم اورعی میرزمانی	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	مصطفی پرنیانی	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	محمدرضا ذوالقدری	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	حسین مختاری	دانشگاه صنعتی شریف		❊			❊		
۵	کریم عباس زاده	دانشگاه خواجه نصیر		❊			❊		
۵	صادق شاملو	دانشگاه خواجه نصیر		❊			❊		
۵	شکراله شکر کجوری	دانشگاه خواجه نصیر		❊			❊		
۵	احمد رادان	دانشگاه خواجه نصیر		❊			❊		
۶	محمد اردبیلی	دانشگاه خواجه نصیر		❊			❊		
۶	محمدرضا بسمی	دانشگاه شاهد		❊			❊		
۶	جلال نظرزاده	دانشگاه شاهد		❊			❊		
۶	ابراهیم فرجاه	دانشگاه شیراز		❊			❊		
۶	حیدر صامت	دانشگاه شیراز						❊	
۶	تیمور قنبری	دانشگاه شیراز						❊	
۶	اکبر رهیده	دانشگاه صنعتی شیراز		❊			❊		
۶	محمد مردانه	دانشگاه صنعتی شیراز		❊			❊		
۶	آرش کیومرثی	دانشگاه اصفهان		❊			❊		
۶	پیمان معلم	دانشگاه اصفهان		❊			❊		
۷	بهزاد میرزائیان دهکردی	دانشگاه اصفهان		❊			❊		
۷	اسماعیل همدانی گلشن	دانشگاه صنعتی اصفهان						❊	
۷	مرتضی سقائیان نژاد	دانشگاه صنعتی اصفهان		❊			❊		
۷	محمد ابراهیمی	دانشگاه صنعتی اصفهان		❊			❊		
۷	محمد منفرد	دانشگاه فردوسی مشهد		❊			❊		
۷	علی اصغر قدیمی	دانشگاه اراک		❊			❊		
۷	ابوالفضل حلوایی نیاسر	دانشگاه کاشان		❊			❊		

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

زهرا مروج	دانشگاه سمنان	❋			❋		❋	
مجتبی بابایی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره) شهر ری		❋			❋		
سید احسان عبداللهی	دانشگاه نوشیروانی بابل		❋			❋		
غلامرضا عرب مارکده	دانشگاه شهرکرد		❋			❋		
فرزاد رضوی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین						❋	
محمد شاهیده پور	دانشگاه ایلینویز آمریکا	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
فرخ امینی‌فر	دانشگاه ایلینویز آمریکا	❋						
متین فرهومندی	دانشگاه ایلینویز آمریکا	❋						
سید محمد شهرتاش	دانشگاه علم و صنعت ایران	❋					❋	
فرهاد حق‌جو	دانشگاه شهید بهشتی	❋	❋		❋	❋	❋	
عباس حسنی	دانشگاه شهید بهشتی						❋	
همایون صادقی	دانشگاه تبریز	❋						
حمید مهدیقلی	دانشگاه صنعتی شریف	❋						
سیامک کاظم‌زاده	دانشگاه صنعتی شریف	❋						
مسعود آسایش	پژوهشگاه نیرو	❋						
ارسلان حکمتی	پژوهشگاه نیرو	❋	❋		❋	❋		
عباس روحانی	دانشگاه شهید بهشتی	❋						

• متخصصین صنعت

در جدول ۷-۵ متخصصین و صاحب نظران شاغل در صنایع مرتبط با تجهیزات الکتریکی نیروگاه که در شرکت‌های مختلف در حال فعالیت هستند ارائه شده است.

جدول ۷-۵- متخصصین فنی شاغل در صنایع مرتبط با تجهیزات الکتریک نیروگاه

متخصص	محل اشتغال	تجهیزات الکتریک نیروگاه						
		پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
علیرضا حسنی اصل	شرکت پژوهنده نیرو	❋	❋			❋	❋	
مجتبی اخوات	شرکت تسلا پیشرو	❋	❋		❋	❋		
علیرضا مسعودی	شرکت البرز تدبیر کاران	❋	❋		❋	❋		
محمدعلی طاهری پور	شرکت توربو ژنراتور شاهرود							
محسن طرزطلب	شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی							
محمدصادق میرغفوریان	شرکت برنا الکتریک							
حسین یکتا مقدم	شرکت او آز							
مهدی صاحب الزمانی	شرکت کیا الکتروپارت							
محمد اکبری سیار	سازمان بهره‌وری انرژی ایران							
طاهر رحیمی	شرکت موتوژن					❋		
غلامرضا عبدی رحمانی	شرکت موتوژن					❋		
حجت‌الله صدقی	شرکت توربرو ژنراتور شاهرود							
علی اخوان	جهاد دانشگاهی علم و صنعت							
بشیر مهدی ابراهیمی	Karma Automotive- California-US	❋	❋			❋		
کامبیز علی‌نژاد	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)							
مهمدرضا شاکری	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)							
محمدعلی پرتونیا	شرکت رشد صنعت نیرو							
بهزاد اسمعیل نژاد مقدم	شرکت فن ژنراتور							
حسن ابراهیمی راد	پژوهشگاه نیرو							
روح الله کافی موسوی	صنایع شهید قربانی							

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۲۱	رویا محمدی	صنایع ماشین‌های الکتریکی جوین (جمکو)							
۲۲	حبیب‌الله عباسی	صنایع شهید قربانی							
۲۳	محمدباقر سپه کار	صنایع شهید قربانی							
۲۴	هادی کریمی	جهاد دانشگاهی خواجه نصیر							
۲۵	حسن زمانی	جهاد دانشگاهی خواجه نصیر							
۲۶	عباس نظری	جهاد دانشگاهی خواجه نصیر							
۲۷	آرش بهمنیار	توربو کمپرسور نفت							
۲۸	توحید آصفی	پارک فناوری پردیس							
۲۹	امید احمدی نصرآبادی	پارک فناوری پردیس							
۳۰	امین میرزاباقی	شرکت صنعتی ماه نیرو							
۳۱	مازیار ترقی	موسسه یوتاب هوشینه							
۳۲	رامین امیری	شرکت صنعت الکترونیک ایرانیان							
۳۳	فریبرز عشرت آبادی	شرکت آرمان انرژی (بهینه پردازان شرق)							
۳۴	علی نیکبخت	شرکت دانش بنیان مهندسی و خدمات ایفا صنعت تابا							
۳۵	مهندس هاشمی	شرکت دانش بنیان کوشا هوشمند کرمان							
۳۶	حسین میرزایی	شرکت دانش بنیان مهندسین رسانش انرژی نوین						❋	
۳۷	غلامرضا نعمتی	شرکت مسن انرژی قشم						❋	
۳۸	حسین فرعونی شمیلی	شرکت مسن انرژی قشم						❋	
۳۹	رضا نقدی روزبهانی	شرکت ارم سازان روز		❋			❋	❋	❋
۴۰	ابوالفضل بهرام‌پور	شرکت نورا تار هوشمند	❋	❋		❋	❋		
۴۱	سید مهدی حسینی	شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی	❋	❋			❋		
۴۲	بهروز جلالی	شرکت مهندسی اسپادان کهربا							
۴۳	سید امیرحسین شبیری	مرکز خدمات فناوری توسعه خودکفای صنعتی شریف	❋						
۴۴	سعید محرمی	مرکز خدمات فناوری توسعه خودکفای صنعتی شریف	❋						
۴۵	دکتر رضایت	مجتمع خدمات فناوری دانشگاه شریف		❋			❋		
۴۶	مهندس اختردانش	مجتمع خدمات فناوری دانشگاه شریف		❋			❋		
۴۷	مهندس برنجیان	مجتمع خدمات فناوری دانشگاه شریف		❋			❋		
۴۸	صداق محسن زاده	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۴۹	عباس احمدی	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۵۰	الهیار معظمی	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۵۱	افشین کشتکار	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۵۲	علیرضا ضیاء الدینی	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۵۳	ابراهیم احمدی	آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
۵۴	فرزاد رحیمی موگویی	مرکز توسعه محصول صنعتی شریف							
۵۵	سید محمدرضا موسوی	مرکز توسعه محصول صنعتی شریف							
۵۶	عین اله صالحی	شرکت تعمیرات نیروگاهی							
۵۷	اصغر حکیمی	شرکت تعمیرات نیروگاهی							
۵۸	یحیی طائفی اقدم	شرکت تعمیرات نیروگاهی							
۵۹	عباس علی آبادی	گروه مپنا							
۶۰	امید بسطامی	گروه مپنا							
۶۱	فرح جعفرنژاد	گروه مپنا							
۶۲	سید محمدرضا شریفی	مپنا O&M							
۶۳	ایرج غریبی	مپنا O&M							
۶۴	مجید نصر	مپنا O&M							
۶۵	مهدی خواجه گی	مپنا O&M							
۶۶	علی اسماعیلی	مپنا O&M							
۶۷	مجید جامی	مپنا O&M							
۶۸	ونداد رستگار	مپنا – عسلویه							
۶۹	مجید بهمنی	مهندسی و ساخت توربین مپنا (توگا)							
۷۰	ابراهیم فرج‌نژاد	مهندسی و ساخت توربین مپنا (توگا)							

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

علیرضا شیرانی	مونتکو ایران							
سید محمدرضا حسینی	مونتکو ایران							
حمید زمانیان	مونتکو ایران							
علی فتحی	صنایع پتروشیما گستر		❋			❋		
عباس الفتی	شرکت دانش بنیان تکین لیان پارس	❋						
علی شکرریز	شرکت مهندسی مهر آریس توانا	❋	❋		❋	❋		
عبدالمحمد رازانی	شرکت مهندسی تجهیزات صنعت آب و برق ایران	❋	❋		❋	❋	❋	
فرشید رعایت صنعتی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
علیرضا مسعودی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
عباس روحانی بسطامی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋	❋	❋	❋	❋		
هوشنگ رستمیان	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋	❋			❋		
جاوید تقی زاده	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
محمد ریاحی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋	❋			❋		
حسین سالم باغی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
محمدعلی صنیعی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
جبارعلی ذاکری	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
ابوذر جمشیدوند	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
علیرضا معینی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
سعید رمضانی	دانشگاه امام حسین (ع)	❋						
محمدعلی رضوانی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋	❋			❋		
کاظم حکمت	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
کاظم دژانگاه	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
حجت احمدی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋	❋			❋		
علی زواشکیانی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
صفر شاسفند	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
فریدون احمدی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
علی حاج شیرمحمدی	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
احمد پارسیان شرق	انجمن نگهداری و تعمیرات ایران	❋						
حمید اسکندری	شرکت مدیریت شبکه برق ایران	❋					❋	
محمدعلی دوزبخشیان	شرکت مدیریت شبکه برق ایران	❋						
پیمان جعفریان	شرکت مدیریت شبکه برق ایران	❋					❋	
ابوالفضل حسنی	برق منطقه‌ای خراسان	❋					❋	
افسر عباس‌زاده	شرکت مهساب نیرو (مانیکو)							
اکبر گزین	شرکت نیرو ترانس							
الهام صادقی‌نیا	شرکت هیربدان							
مجتبی تاجیک	شرکت نصب نیرو							
منصور سعیدی	شرکت صانیر							
آرش آقایی‌فر	شرکت الوند توان انرژی	❋			❋			
کمال بشکار	شرکت الوند توان انرژی	❋			❋			
محمود ملکی دشتی	شرکت اختر برق اصفهان							
جواد مصدق‌زاده	شرکت اختر برق اصفهان	❋					❋	
ابراهیم اسماعیلیان	شرکت اختر برق اصفهان	❋					❋	
صادق براتی	شرکت اختر برق اصفهان	❋			❋			

- **متخصصین به تفکیک نیروگاه و شرکت‌های تولید نیروی برق**

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

در این بخش نخبگان و متخصصین فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه به تفکیک شرکت‌های تولید نیروی برق و نیروگاه‌ها بررسی و به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۷-۶- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق لوشان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**مهرداد علی غلامی**	**الکتروموتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه**	**مدیر دفتر فنی تولید**	**نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های مربوط به الکتروموتور طراحی مدارات کنترل و فرمان الکتروموتور راه‌اندازی و انجام تست‌های سایتی از جمله اولیه و ثانویه ژنراتور، ترانسفورماتور، سیستم تحریک و سیستم راه‌انداز نصب، راه‌اندازی و تست‌های رله‌های حفاظتی پست و ژنراتور و ترانسفورماتور نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های شارژ و دشارژ باتری‌خانه نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های سوئیچگیر و ماشین‌های DC**

جدول ۷-۷-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایرانشهر

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**نوید عرب‌نژاد**	**الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه**	**رئیس اداره شیفت بهره‌برداری رئیس اداره تعمیرات الکتریک**	**تعمیر انواع الکترو موتورهای ۴۰۰ و ۶ کیلوولت و تعویض بلبرینگ و سرویس نصب و راه اندازی تعداد ۷۲ عدد درایو ۱۳۲ کیلوولت مربوط به برج‌های خنک کن اورهال ۴ واحد نیروگاه سرویس و تست های الکتریک تعمیر و نگهداری تحریک و نصب یونترال ۵۰۰۰، ABB, ZAT و اشکودا رله‌های آلستوم تعمیر و نگهداری ترانس های ABB با ظرفیت ۲۰ و ۵۰ مگاولت‌آمپر باتری های ۵۰۰ آمپر ساعت ۲ ولتی و ۲ ولتی ۱۸۰۰ آمپر ساعت باس ۴۸ ولت سیستم شارژ UPS وارتا**

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۷-۸- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه اصفهان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**امید آقامحمدی ورنوسفادرانی**	**الکتروموتور**	**مسئول الکتریک کارشناس الکتریک**	
۲	**عبدالحسین جمالی هندری**	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	مسئول اتاق فرمان رئیس اداره تعمیرات تجهیزات فشار قوی	تست و راه‌اندازی الکتروموتور تعمیر و تست‌های الکتریکی ژنراتور تست و تنظیم رله‌های حفاظتی ژنراتور، ترانسفورماتور و الکتروموتور تست‌های الکتریکی و راه‌اندازی ترانسفورماتور تست، عیب‌یابی و مانیتورینگ ژنراتورها و موتورهای الکتریکی تعمیرات مربوط به ذغال‌ها و رینگ‌های لغزنده
۳	**امیرحسین زارع چاوشی**	الکتروموتور ژنراتور سیست حفاظت ترانسفورماتور	کارشناس الکتریک رئیس اداره تعمیرات تجهیزات حفاظت و رلیاژ	تست و راه‌اندازی الکتروموتور تست‌های الکتریکی ژنراتور تست و تنظیم رله‌های حفاظتی ژنراتور، ترانسفورماتور و الکتروموتور تست‌های الکتریکی و راه‌اندازی ترانسفورماتور
۴	**مهدی غیور نجف‌آبادی**	الکتروموتور	تکنسین تعمیرات الکتریک کارشناس تعمیرات تجهیزات فشار ضعیف	
۵	مهدی	الکتروموتور	بهره برداری	تست و راه‌اندازی و تعمیرات

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

	قنبریان علویجه		الکتریک -واحدهای ۳۲۰ مگاواتی رئیس اداره فشار ضعیف	موتورهای فشار ضعیف

جدول ۷-۹- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایسین بندرعباس

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**علیرضا ملایی کشکویی**	**الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور**	**مدیریت تولید برق خلیج فارس** **نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین**	تست، راه‌اندازی و تعمیرات روتین الکتروموتور تست و راه‌اندازی ژنراتور تست‌های ثانویه سیستم حفاظت تعمیرات روتین و تست حفاظت ترانسفورماتور
۲	**فرخ ناظر گهکانی**	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	سرپرست تعمیرات الکتریک نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین کارشناس الکتریک نیروگاه گازی خلیج	تعمیرات الکتریکی و سیم‌پیچی الکتروموتور تعمیرات روتین ژنراتور تست‌های ثانویه سیستم حفاظت تست‌ها و تعمیرات روتین

			فارس	ترانسفورماتور
۳	مقداد بهرام‌زاده	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	مهندس شیفت نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین کارشناس الکتریک امور مهندسی و برنامه‌ریزی	نصب، راه‌اندازی و پایش الکتروموتور بهره‌برداری و پایش ژنراتورهای هواخنک و تست‌های روتین آشنایی با حفاظت‌های موجود در نیروگاه و رله‌های UM۷ و UT۷ زیمنس بهره‌برداری، تصفیه فیزیکی روغن، تست‌های روغن و گازکروماتورگرافی ترانس

جدول ۷-۱۰-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه بعثت

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**رضا قهرمانی**	**الکتروموتور** **درایو** **ژنراتور** **سیستم تحریک** **سیستم راه‌انداز** **سیستم حفاظت** **ترانسفورماتور** **باتری‌خانه**	**مدیر امور الکتریک** **مدیر پروژه سیستم تحریک**	**تعمیرات و نگهداری موتورهای LV و MV** **سرپرست کارگاه نصب درایوهای واحد ۱ و ۲** **مدیر پروژه و ناظر تعمیرات ژنراتور واحدهای بخاری نیروگاه** **مدیر پروژه سیستم تحریک واحد ۲** **نصب سافت استارتر چاه های عمیق نوسازی حفاظت باس MV نیروگاه و نصب رله‌های نیومریکال** **مدیر پروژه و ناظر تعمیرات اساسی ترانسفورماتورهای نیروگاهی** **تعویض باتری‌های دوست باتری‌خانه**

جدول ۷-۱۱- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، نیروگاه هسا

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**قربانعلی حیدری**	**سیستم‌های کنترل و حفاظت**	**کارشناس ابزار دقیق**	

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۷-۱۲- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق آذربایجان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**محمد قویدل وحید**	**الکتروموتور - درایو**	**کارشناس دفتر فنی تولید**	

جدول ۷-۱۳-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق سهند

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**سولماز بابایی عجبشیر**	**سیستم پایش سیستم حفاظت**	**کارشناس کنترل و ابزار دقیق کارشناس فنی**	

جدول ۷-۱۴- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید رجایی

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**میثم درخشان**	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک ترانسفورماتور	- عضو کارگروه تخصصی برق و کنترل نیروگاه رامین - عضو کمیته الکتریک نظام پیشنهادها نیروگاه رامین - عضو تیم ممیزی و ارزیابی داخلی سیستم‌های مدیریتی و مدل‌های تعالی سازمانی نیروگاه رامین - عضو تیم ممیزی داخلی نیروگاه شهید رجایی	
۲	**حمیدرضا نظری**	الکتروموتور سیستم تحریک	- کارشناس بخش R&D شرکت موج نیکان - کارشناس تعمیرات الکتریک	

		سیستم DC باتری‌خانه	نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی	
۳	محمد آقاداداش‌پور	الکتروموتور سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور باتری‌خانه	- مدیر امور تعمیرات الکتریک نیروگاه بخار - رئیس اداره تعمیرات توربوژنراتور و بویلر الکتریک	- سرویس و نگهداری الکتروموتور - نصب و راه‌اندازی سافت‌استارتر برای الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت - تست رله‌های حفاظتی - تست‌های الکتریکی ترانسفورماتور - تست ظرفیت باتری‌ها
۴	حمیدرضا صفایی‌زاده	ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- مدیر امور تعمیرات الکتریک نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی - عضو و دارای پروانه اشتغال بکار پایه یک سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین - عضو کمیته تخصصی الکتریک ستاد شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی - عضو کمیته تخصصی الکتریک نظام پیشنهادات شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیسیون معاملات و مناقصات شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته فنی بازرگانی	

			شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته ممیزی داخلی شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته تخصصی الکتریک آموزش شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته ایمنی شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته قطعات استراتژیک شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی	
۵	مرتضی زمزمی	سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- کارشناس الکتریک نیروگاه بخار شهید رجایی - مهندس پایه دو نظام مهندسی ساختمان استان قزوین	
۶	فرزاد رحمتی	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم پایش سیستم حفاظت	- کارشناس الکتریک اداره تعمیرات الکتریک شرکت مهندسی نیروی تهران (مهنیرو) - معاون اداره تعمیرات الکتریک ولتاژ بالا و حفاظت و تحریک نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی - کارشناس ارشد الکتریک معاونت مهندسی و برنامه ریزی نیروگاه سیکل ترکیبی شهید	- تست‌های الکتریکی و عیب‌یابی الکتروموتور - آشنایی با نصب و راه‌اندازی و نحوه عملکرد درایو - تست‌های الکتریکی و عیب‌یابی ژنراتور - عیب‌یابی سیستم تحریک - عیب‌یابی سیستم

		ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	رجایی - رئیس گروه الکتریک نیروگاه بخار شهید رجایی - رئیس گروه الکتریک نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی شهید رجایی - عضو هیأت مدیره انجمن علمی مهندسین برق و الکترونیک ایران – شاخه قزوین - عضو علی البدل هیأت مدیره و کارشناس پایه یک سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین - عضو هیأت مدیره انجمن صنفی کارفرمایی مهندسان برق و الکترونیک استان قزوین - مشاور حفاظت فنی وزارت تعاون، رفاه و امور اجتماعی - کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران-نظارت بر اجرای استاندارد در رشته تخصصی برق و الکترونیک - کارشناس رسمی دادگستری در رشته برق، ماشین و تأسیسات کارخانجات - عضو کمیته پیشنهادها در شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته تحقیقات و مدیریت دانش در شرکت مدیریت	پایش از طریق تحلیل منحنی ارتعاش و ترموگرافی - نصب و تست سیستم حفاظت - تست‌های الکتریکی ترانسفورماتور - نصب، راه‌اندازی و عیب‌یابی سیستم DC - نصب، راه‌اندازی، احیاءسازی باتری‌های نیکل-کادمیوم

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

			تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته فنی الکتریک شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی	

جدول ۷-۱۵-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شیروان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**مهدی شاکری**	**الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه**		

جدول ۷-۱۶-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید مفتح

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**ابوالفضل کاظم‌پور**	الکتروموتور درایو ژنراتور	- مدیر فنی شرکت الیاف صنعتی ایران - تعمیرات الکتریک نیروگاه	- تعمیرات و نگهداری الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت و ۶/۶ کیلوولت

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

		سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	شهید مفتح	- کنترل دور الکتروموتورهای جریان متناوب و مستقیم - حفاظت‌های ژنراتور - عیب‌یابی و تست سیستم‌های تحریک ژنراتور - سیستم‌های راه‌انداز الکتروموتورهای جریان مستقیم و متناوب - تست و تنظیم انواع رله‌های حفاظتی - تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت - آشنایی با شارژر و اینورترها - آشنایی با انواع باتری‌ها و تعمیرات و نگهداری آن‌ها
۲	**حسنعلی شالودگی**	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- کارشناس تعمیرات الکتریک - کارشناس معاونت مهندسی	
۳	**رضا اسکندرزاده**	الکتروموتور ترانسفورماتور	- کارشناس الکتریک نیروگاه شهید مفتح	
۴	**محمدرضا فرخ‌زادی**	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- کارشناس تعمیرات توربوژنراتور - رئیس اداره تعمیرات توربوژنراتور و بویلر	

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

		سیستم DC باتری‌خانه		
۵	**نبی شعبانی**	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه		

جدول ۷-۱۷-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه طرشت

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**امیرحسین حسن آهی**	**الکتروموتور ترانسفورماتور**	**- رئیس اداره شیفت بهره‌برداری - معاون مهندسی و برنامه‌ریزی نیروگاه طرشت**	

جدول ۷-۱۸- متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه یزد

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	**وحید مروستی**	**الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش ترانسفورماتور باتری‌خانه**	**- کارشناس بهره‌برداری مولدهای گاز و بخار نیروگاه یزد - کارشناس مهندسی بخش الکتریک نیروگاه یزد**	
۲	**حمید تقوی**	**سیستم پایش ترانسفورماتور**	**- شرکت مدیریت تولید برق یزد - شرکت برق منطقه‌ای یزد**	
۳	**علی موحدنسب**	**الکتروموتور درایو سیستم تحریک سیستم DC**	**- شرکت الکتروکویر - نیروگاه یزد معاونت مهندسی - معاونت بهره‌برداری**	
۴	**محمد فلاح‌نژاد**	**سیستم تحریک سیستم حفاظت**	**- کارشناس نظارت الکتریک دفتر مهندسی نیروگاه یزد**	

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۵	مهدی دهقانی	باتری‌خانه		
۶	محمد حیدری	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش	- کارشناس مسئول تعمیرات الکتریک	
۷	مهدی خادمی	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- شرکت الکتروکویر یزد - کارشناس بهره‌برداری - کارشناس تعمیرات الکتریک	
۸	مسعود غفوریان	الکتروموتور سیستم پایش	- کارشناس مسئول تعمیرات الکتریک - مدیر امور تعمیرات الکتریک	
۹	سیدروح‌الله میرنژاد	ژنراتور سیستم تحریک ترانسفورماتور	- کارشناس دفتر مهندسی - کارشناس بهره‌برداری	

جدول ۷-۱۹-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه زاهدان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	پیمان پودینه	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور	-کارشناس مسئول تعمیرات دوره‌ای الکتریک - رئیس گروه الکتریک و ابزار دقیق دفتر فنی ستاد	- انواع الکتروموتورهای نیروگاه بخاری ایرانشهر - انجام اورهال استاتور و روتور ژنراتور - سیستم تحریک دینامیک و استاتیک - بهینه‌سازی و تعویض رله های قدیمی با رله های نیومریکال - تست‌های PM ترانس‌های اصلی و مصرف داخلی نیروگاه‌ها

جدول ۷-۲۰-متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه خراسان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	مهدی مظلومی گل	الکتروموتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- تکنسین الکتریک در شرکت نصب و تعمیرات نیروگاه‌های خراسان - تکنسین الکتریک در شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا	

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

			- کارشناس الکتریک شرکت مدیریت تولید برق نیروگاه‌های گازی خراسان	
۲	مهدی شرفی	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور باتری‌خانه	- کارشناس تعمیرات الکتریک - کارشناس دفتر فنی و نظارت	
۳	محمد احمدی‌فر	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- کارشناس فنی شرکت مهام شرق - رئیس اداره تعمیرات الکتریک	
۴	عباس جوکار	الکتروموتور سیستم پایش ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- تکنسین الکتریک - کارشناس الکتریک شرکت مدیریت تولید نیروگاه‌های گازی خراسان	

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل هشتم

بررسی ابعاد اقتصادی پروژه‌های تحقیقاتی و عملیاتی بازسازی نیروگاه در سطوح بین‌المللی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل هشتم بررسی ابعاد اقتصادی پروژه‌های تحقیقاتی و عملیاتی بازسازی نیروگاه در سطوح بین‌المللی

۸-۱- مقدمه

روش‌های بازتوانی به عوامل فیزیکی زیادی بستگی دارد، از جمله این عوامل می‌توان به انواع واحدهای تولید و مکان آن‌ها، مباحث اقتصادی، سیستم‌های نظارتی و محدودیت‌های خطوط انتقال اشاره کرد [۱]. با توجه به محرمانه بودن اطلاعات شرکت‌ها در خصوص پروژه‌های بازسازی، اطلاعات خیلی دقیقی از این پروژه‌ها در دسترس نیست. اما با بررسی منابع و مقالات موجود مقدار تقریبی به دست آمده از نتایج تحلیلی و مطالعات اقتصادی می‌تواند مبنای مناسبی برای برآورد اقتصادی در نظر گرفته شود. در این فصل هزینه‌های اقتصادی پروژه‌های انجام شده در کشورهای مختلف ارائه شده است.

۸-۲- پروژه‌های تحقیقاتی و عملیاتی در حوزه بازتوانی و ارتقا نیروگاه

بسیاری از پروژه‌های توانبخشی تا حدی ناشی از نیاز شدید به افزایش انعطاف‌پذیری سیستم قدرت (به عنوان مثال، افزایش عملکرد دینامیکی، افزایش قابلیت ramping، بهبود عملکرد واحد تولیدی تحت شرایط چرخه تولید) در عملیات بازار برق است. انتخاب واحد فرسوده برای بازتوانی نیز تحت تأثیر عوامل عملکرد شبکه قدرت از جمله شرایط عملیاتی سایر واحدهای تولیدی در یک نیروگاه برق، مشخصات بار روزانه و معیارهای بهره-برداری، سایت نیروگاه و محدودیت‌های شبکه و نیازهای بازار برق انجام می‌شود.

در روند بازتوانی، قطعات و لوازم جانبی خاص واحدهای فرسوده مانند سایت‌های فیزیکی و ساختمان‌های اداری، مجوزهای بهره‌برداری، محل اپراتورهای بهره‌برداری و نگهداری و همچنین مواردی مانند سیستم‌های سوخت و خنک کننده، و دسترسی به جاده‌ها و امکانات حمل و نقل، اغلب حفظ می‌شود که می‌تواند در هزینه بازتوانی کاهش قابل توجهی ایجاد کند. با استناد به منابع غیر رسمی ۳ الی ۵ میلیارد دلار سرمایه جهت بازسازی نیروگاه‌های ایران مورد نیاز خواهد است که در صورت تعلل در اقدامات لازم، پیش‌بینی می‌شود این مبلغ از رقم تخمینی فراتر خواهد رفت.

در مرجع [۲] بازتوانی نیروگاه برق بولائوس در پایتخت جیبوتی به ارزش ۲۰/۳۹ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ صورت گرفته است. این پروژه شامل خرید یک دیزل ژنراتور جدید با ظرفیت نصب شده ۱۴ مگاوات، همراه با تأمین قطعات یدکی برای افزایش جریان برق از چهار ژنراتور قدیمی است. با استناد به مرجع [۳] در نوامبر ۱۹۹۷، بانک ۲۷/۸ میلیون دلار وام جهت تأمین اعتبار برای بازسازی دو واحد ۳۰۰ مگاواتی نیروگاه اختصاص داده است. این نیروگاه گازی ۳۰۰۰ مگاواتی ۲۷ درصد ظرفیت تولید برق کشور را تشکیل می‌دهد که معادل یک چهارم کل تولید برق را کشور است. هزینه کل پروژه ۴۵/۱ میلیون دلار آمریکا برآورد شده است.

همچنین این پروژه توسط وزارت نیرو، صنعت و برق این کشور (MPIE)، که مسئول تولید، انتقال و توزیع برق می‌باشد، اجرا شده است. اصلی‌ترین مزیت این پروژه کاهش مصرف سوخت و افزایش تولید نیروگاه می‌باشد.

در مرجع [۴] شرکت ABB یک قرارداد بازسازی و ارتقا برای نیروگاه آبی در برزیل منعقد کرده است. ارزش این قراردا ۲/۵ میلیون دلار می‌باشد. طبق این قرار ABB جهت افزایش قابلیت اطمینان این نیروگاه اقداماتی را انجام خواهد داد.

مرجع [۱] برنامه‌ریزی توسعه تولید از طریق بازسازی واحدهای تولید کننده فرسوده را مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله بیان شده است که واحدهای تولید کننده فرسوده به تدریج بازدهی، قابلیت اطمینان و تداوم اقتصادی (تولید مقرون به صرفه) خودر را از دست می‌دهند. همچنین این واحدها به مرور از سطح مجاز انتشار کربن در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت خارج می‌گردند. بازنشستگی یا از مدار خارج کردن به طور سنتی یک گزینه مناسب در مطالعات برنامه‌ریزی توسعه تولید (GEP[1]) برای مدیریت واحدهای فرسوده در نظر گرفته می‌شود. در حالیکه، توان‌بخشی چنین واحدهایی از نظر اقتصادی نیز می‌تواند برای سیستم قدرت مفید باشد و حتی در بعضی موارد با توجه به معیارهای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری خاص از سایر گزینه‌ها نیز بهتر عمل نماید. در این مقاله از مدل بهینه‌سازی GEP با در نظر داشتن گزینه بازنشستگی و بازتوانی برای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری واحد تولید کننده استفاده شده است. روش GEP پیشنهادی از مقدار در معرض ریسک مشروط به عنوان یک شاخص ریسک برای در نظر گرفتن هزینه توان‌بخشی و عدم قطعیت پیش‌بینی بار استفاده شده است. برای بررسی میزان اثربخشی روش برنامه‌ریزی پیشنهادی سیستم قدرت، از سیستم تست ۲۴ باس IEEE استفاده و نتایج ارائه شده است. البته نویسندگان این مقاله اذعان داشته‌اند که مدل‌سازی توانبخشی واحدهای تولید کننده فرسوده هرگز به عنوان یک گزینه مناسب برای کاهش هزینه کل GEP در ادبیات سیستم قدرت مورد توجه قرار نگرفته است.

این مقاله یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دو مرحله‌ای جهت توسعه GEP پیشنهاد داده است که در آن واحدهای فرسوده که فرآیند تولید آن‌ها به تدریج با افزایش هزینه مواجه شده و انجام فرآیند توجیه اقتصادی ندارند بهتر است مشمول بازنشستگی شوند. در چنین مواردی، توانبخشی با توجه به GEP برای واحدهای تولیدی خاصی که ممکن است هزینه و دردسر بازسازی کمتر و با مشخصات بازتوانی متناسب باشد، پیشنهاد و انجام خواهد شد.

شاخص مقدار در معرض ریسک مشروط برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های مالی و فنی پروسه بازسازی برای GEPاعمال می‌شود. در مرجع [۱] با استفاده از هزینه‌های توان‌بخشی و عدم قطعیت پیش بینی بار، چندین سناریو در نظر گرفته شده است.

1- Generation Expansion Planning

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۸-۳- بازسازی واحد تولید کننده

واحدهای تولید کننده به نگهداری و تعمیرات معمول نیاز دارند و باید در دوره‌ای از طول عمر مفید خود بازسازی یا بازنشسته شوند. در عمل فرسایش، خوردگی، خستگی و فشارهای غیر منتظره دلایل اصلی کوتاه شدن عمر واحدهای تولیدی است. با پیری و فرسایش نیروگاه‌های حرارتی، که متشکل از مجموعه بزرگی قطعات الکتریکی و مکانیکی هستند، به دلیل افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و تعمیر، هزینه تولید انرژی افزایش می‌یابد. با کاهش قابلیت اطمینان، واحدهای تولید کننده فرسوده دچار خسارات بیشتری می-شوند.

در روند بازنشستگی، بخش‌های خاصی از واحدهای تولیدی بازنشسته، می‌تواند تفکیک و در قالب حفظ دارایی فیزیکی نگهداری شوند و درآمد حاصل از آن در واحدهای تولیدی جدید سرمایه گذاری گردد. افزایش طول عمر واحدهای فرسوده در روند توانبخشی با شناسایی عوامل محدود کننده بالقوه و کاهش نگرانی‌هایی که می‌توانند عمر واحد تولید کننده فرسوده را کاهش دهند یک راهکار کاملا عملی است. به طوریکه اگر گزینه توانبخشی انتخاب شود، واحدهای تولید کننده فرسوده به طور اساسی مورد بازسازی قرار می‌گیرند و پس از اتمام فرآیند دوباره در نیروگاه‌ها استفاده می‌شوند.

قطعات قابل احیا (کمتر آسیب دیده) در واحدهای تولید کننده فرسوده که به معرض بازنشستگی رسیده‌اند، می‌توانند به عنوان الگو جهت مقایسه در عملیات بازسازی مورد استفاده قرار گیرند. در فرآیند توانبخشی تجهیزات سیستم قدرت شامل توربین، دیگ‌های بخار، مشعل، شیرآلات کنترلی، لوله‌ها، ژنراتورها، تابلوها، کندانسورها و تجهیزاتی نظیر آن‌ها به منظور افزایش بهره‌وری سیستم قدرت می‌توانند به کار گرفته شوند. توربین‌ها جز تجهیزات برجسته در چرخه تولید انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی هستند. این تجهیزات دارای پتانسیل بالقوه جهت افزایش بهره‌وری کل نیروگاه از طریق بهبود ساختار در تیغه‌ها و همچنین استفاده از مقاطع بزرگ برای تخلیه بخار می‌باشند.

طول عمر بویلرها در مقایسه با توربین کم است. این مسئله منجربه جایگزین نمودن کامل بویلر یا بویلر با بازیافت حرارتی می‌شود. از این‌رو، لوله‌کشی اتصالات بین بویلرهای جدید با بازیافت حرارتی دارای چرخه آب در پروژه‌های توانبخشی نیروگاه در نظر گرفته می‌شوند. کاهش فشار کندانسور و بروزرسانی شیرهای کنترل می‌تواند باعث تقویت بیشتر انعطاف پذیری نیروگاه و بهبود شرایط کلی فرآیند چرخه تولید نیروگاه شوند [۵].

رقابت در بازارهای انرژی، قانون کاهش انتشار کربن، کمبود سوخت و افزایش قیمت از جمله عواملی است که اهمیت این فعالیت اقتصادی (بازتوانی) را برجسته می‌کند [۶، ۷]. در این راستا، توانبخشی واحدهای فرسوده می‌تواند اهداف عملیاتی خاص مانند افزایش راندمان واحد، ظرفیت، قابلیت اطمینان، طول عمر، توسعه و انعطاف پذیری در مصرف سوخت، کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی و جلوگیری از هزینه‌هایی که می‌تواند خسارات اقتصادی در سیستم‌های قدرت را افزایش دهد. طرح اولیه واحد فرسوده (به عنوان مثال، گزینه واحد ذغال سنگ) با توجه به پیشرفت‌های فن‌آوری و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک نیز یکی از جنبه ها اساسی تصمیم برای بازتوانی و ارتقا نیروگاه می‌باشد. بر این اساس، متوسط هزینه تولید برق نقش اساسی در

جنبه‌های اقتصادی توانبخشی ایفا می‌کند. با این حال لازم به ذکر است در برخی از این موارد، فرمول پیشنهادی مدل ارائه شده در مرجع [۱] به راحتی قابل توسعه است تا محدودیت های اضافی مربوط به نقش GEP در بهینه‌سازی و توان بخشی را در برگیرد.

۸-۴- فرمول‌بندی GEP پیشنهادی

هدف یک شرکت تولید کننده در بازسازی بازار انرژی الکتریکی، به حداکثر رساندن سود بازار بیش از افق برنامه‌ریزی تولید با در نظر داشتن بهره‌برداری، نگهداری و تعمیر و توانبخشی واحدهای زیرمجموعه است. با این حال، هدف یک سیستم بهره‌بردار مستقل (ISO[1]) در مسئله برنامه‌ریزی بهینه سیستم قدرت این است که هزینه کل عملکرد سیستم قدرت را از طریق تعهد، کنترل و نظارت واحدهای موجود در یک سیستم قدرت با شبکه محدود به حداقل برساند [۸]. در [۱]، بازتوانی به عنوان یک تصمیم مناسب در برنامه‌ریزی معرفی می‌شود و روابط ریاضی آن در فرمول‌بندی مسئله برنامه‌ریزی بهینه سیستم قدرت ارائه شده است.

۸-۴-۱- تابع هدف

روش GEP پیشنهادی به عنوان تابع هدف در افق برنامه‌ریزی جهت به حداقل رساندن هزینه کل سیستم ارائه شده است. عملکرد تابع هدف GEP شامل سرمایه گذاری، بهره‌برداری و نگهداری و هزینه‌های بازتوانی و همچنین مقدار نجات از خطر نابودی واحد تولیدی در رابطه ۱ بیان شده است. هزینه کل سرمایه گذاری و سرمایه گذاری پولی برای ساخت واحدهای جدید در رابطه ۲ نشان ارائه شده است. هزینه‌های کل بهره‌برداری و نگهداری شامل سوخت، هزینه‌های بهره برداری و نگهداری واحدهای حرارتی از رابطه ۳ قابل محاسبه می‌باشد.

رابطه ۴ هزینه توانبخشی کل، از طریق محاسبات هزینه تعمیرات اساسی یک واحد است که هزینه‌های بهره-برداری و نگهداری آن در حال افزایش می‌باشد، در حالیکه کارایی واحد به شدت کاهش یافته است. مقدار کل میزان جلوگیری از تخریب یک واحد در پایان طول عمر بهره‌برداری در رابطه ۵ آورده شده است. ضریب ارزش خالص فعلی، مقدار ارزش پولی آینده واحد تولیدی برای ارائه مقایسه‌ای منصفانه در میان گزینه‌های مختلف اطلاعات GEP با در نظر داشتن ارزش فعلی آن تبدیل می‌کند که از رابطه ۶ به دست می‌آید. مسئله GEP موضوعی است که محدودیت‌هایی برای برنامه‌ریزی، بهره‌برداری، توانبخشی و بازنشستگی واحدهای تولیدی در یک سیستم قدرت با محدودیت شبکه ایجاد می‌کند.

$$Min \quad TC = TIC - TSV + TRC + TOMC \qquad (۱)$$

1- independent system operator

$$TIC = \sum_{y=2}^{NY} \sum_{c \in I_{gh}^{C}} k_y \times IC_{cy}(x_{cy} - x_{c(y-1)}) \quad (۲)$$

$$TOMC = \sum_{Sc=1}^{NSc} \sum_{y=1}^{NY} \sum_{b=1}^{NB} \sum_{e \in I_{gh}^{E}} k_y \times OC_{eby} \times PG_{ebySc}^{E} \times DT_{by} + \sum_{y=1}^{NY} \sum_{e \in I_{gh}^{E}} k_y \times MC_{ey} + \sum_{y=1}^{NY} \sum_{c \in I_{gh}^{C}} k_y \times MC_{cy} + \sum_{Sc=1}^{NSc} \sum_{y=1}^{NY} \sum_{b=1}^{NB} \sum_{c \in I_{gh}^{C}} k_y \times OC_{cby} \times PG_{cbySc}^{C} \times DT_{by} \quad (۳)$$

$$TRC = \sum_{Sc=1}^{NSc} \sum_{y=2}^{NY} \sum_{e \in I_{gh}^{Eo}} k_y \times RC_{eySc}(Z_{ey} - Z_{e(y-1)}) \quad (۴)$$

$$TSV = \sum_{Sc=1}^{NSc} \sum_{y=2}^{NY} \sum_{e \in I_{gh}^{Eo}} k_y \times SV_{eySc}(w_{ey} - w_{e(y-1)}) \quad (۵)$$

$$K_y = \frac{1}{(1+d)^{y-1}} \quad (۶)$$

۸-۴-۲- عدم قطعیت و مدیریت ریسک

- مدل‌سازی عدم قطعیت بازتوانی

عدم قطعیت هزینه بازتوانی مربوط به موضوعاتی مانند زمان پروسه بازسازی و نرخ تورم، راه‌حل GEP را به یک موضوع چالش برانگیز در سیستم‌های قدرت تبدیل می‌کند. به علاوه، لیست تجهیزات در نظر گرفته شده برای بازسازی ممکن است طی مراحل انجام فرآیند بازتوانی تغییر کند. در مجموعه سناریوهای مدنظر در مرجع [۱] از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای نمایش پارامترهای عدم قطعیت تولید استفاده شده است. هزینه عدم قطعیت بازسازی با تابع توزیع احتمال گوس مدل شده است که به عنوان مقدار متوسط و معیار انحراف از مقدار استاندارد مطرح است.

$$PDF(rc) = \frac{1}{\sqrt{2\,\pi\,\sigma_{rc}^{2}}} \exp\left[-\frac{(rc - \mu_{rc})^{2}}{2\,\sigma_{rc}^{2}}\right] \quad (۷)$$

- مدیریت ریسک در بازتوانی

در بازتوانی واحدهای تولیدی، برای حفظ هزینه در محدوده‌های مشخص روش GEP باید مقدرا ریسک در محاسبات در نظر گرفته شود. مدیریت ریسک بین بهینه‌سازی عملکرد هدف و خطرات مربوط به آن با در نظر گرفتن پارامترهای عدم قطعیت بازتوانی، تعامل ایجاد می‌کند.

$$min \quad TC = TIC + TOMC - TSV + (1+\beta) \times TRC_{sf} + \beta \times \left\{ \eta + \left[\frac{1}{1-\alpha} \right] \times \sum_{Sc=1}^{NSc} \pi_{Sc} n_{Sc} \right\}, (Sc = 1, 2, 0000, NSc) \quad (۸)$$

۸-۵- مطالعات عددی

سیستم‌های تست ۲۴ باس IEEE اصلاح شده برای نشان دادن کاربرد مدل GEP پیشنهادی جهت بازتوانی با در نظر داشتن عدم قطعیت استفاده شده است. افق برنامه‌ریزی برای مسئله GEP، ۱۵ ساله در نظر گرفته شده است که هر سال به سه بلوک بار مختلف شامل زمان پیک، میان‌باری و کم‌باری تقسیم می‌شود.

هزینه تولید در هر بلوک بار برای هر سناریو محاسبه می‌شود. زیرا راه‌حل GEP سالانه انجام می‌شود. در جدول ۴-۱ داده‌های بازتوانی و بازنشستگی برای واحدهای فرسوده در سیستم ۲۴ باس IEEE ارائه شده است. همان طور که نشان داده شده است، نرخ کاهش ۱۰٪ و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری سالانه به ترتیب ۱۰٪ و ۷٪ افزایش می‌یابد. بار اوج اولیه ۲۸۵۰ مگاوات است که سالانه ۳,۵ درصد افزایش می‌یابد. نرخ تورم برای هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بازتوانی و مقادیر نجات از نابودی ۵٪ است. ظرفیت تولید واحدهای فرسوده سالانه ۳٪ کاهش می‌یابد.

جدول ۸-۱- داده‌های بازسازی و بازنشستگی در سیستم تست ۲۴ باس **IEEE**

Worn-out unit (bus)	Rehabilitation Price ($/KW)	Rehabilitation Lead Time (year)	Salvage Value ($/KW)
E_6 (16)	100	3	500
E_7 (18)	200	1	220
E_8 (21)	300	1	150
E_9 (22)	100	2	180
E_{10} (23)	200	3	250

۸-۶- مطالعه GEP تک خطی

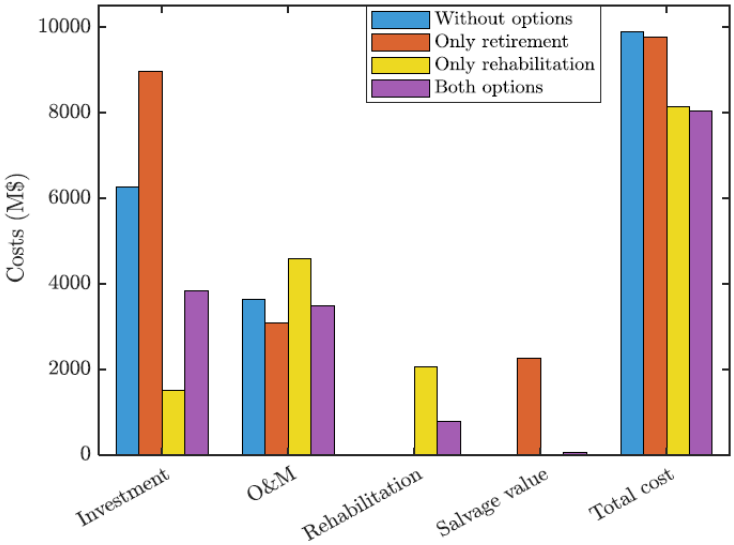
در اینجا، ما محدودیت‌های سیستم انتقال و همه عدم قطعیت‌ها را کم می‌کنیم. چهار مورد زیر برای تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی GEP در یک محیط تک باس مورد مطالعه قرار گرفته است:

- مطالعه موردی اول: GEP بدون هیچگونه گزینه بازنشستگی یا بازتوانی
- مطالعه موردی دوم: GEP با گزینه بازنشستگی
- مطالعه موردی سوم: GEP با گزینه بازتوانی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- مطالعه موردی چهارم: GEP با هر دو گزینه بازنشستگی و بازتوانی

شکل ۲-۱ نتایجی را نشان می‌دهد که GEP در مطالعه مورد چهارم کمترین هزینه کل را داشته است. مطالعه موردی دوم نیاز به سرمایه گذاری بیشتر برای واحدهای جدید برای تأمین تقاضا دارد. در مطالعه موردی دوم، کل عملیات و هزینه نگهداری برای واحدهای تولیدی جدید کمتر است. در مطالعه موردی سوم، کل هزینه کل بهره‌برداری و نگهداری بیشتر است.



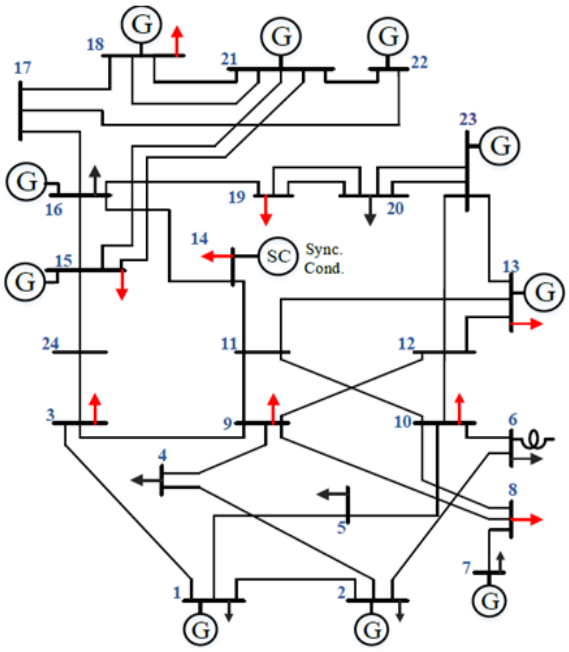
شکل ۸-۱- **هزینه‌ها در مطالعات موردی GEP تک خطی**

همچنین شکل ۲-۱ نشان می‌دهد که هزینه سرمایه گذاری در مطالعه مورد سوم کمترین است، زیرا بازتوانی واحدهای فرسوده در مقابل سرمایه گذاری در واحدهای جدید در نظر گرفته می‌شود. شکل ۲-۲ سیستم تست بازتوانی ۲۴ باس IEEE را نشان می‌دهد که توسط پیکان‌های قرمز محل میزان بیشترین تقاضا مشخص شده است.

- مطالعه موردی پنجم: GEP بدون ریسک با عدم قطعیت هزینه بازتوانی

- مطالعه موردی ششم: GEP و شاخص مقدار ریسک‌پذیر با عدم قطعیت هزینه بازتوانی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



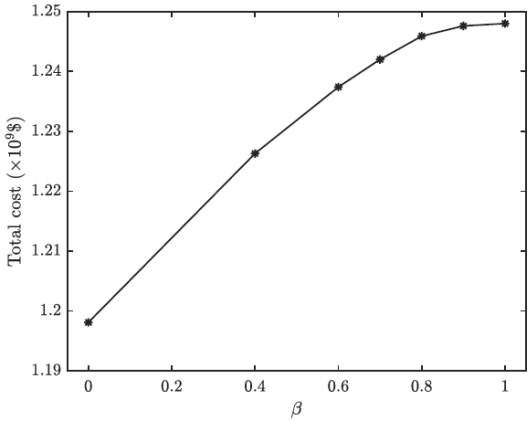
شکل ۸-۲- **سیستم تست 24 باس استاندارد جهت مطالعات بازتوانی تحت مسئله GEP**

جدول ۲-۲ سناریوها و احتمالات آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۲- **سناریوهای عدم قطعیت هزینه بازتوانی**

سناریوها	تغییرات هزینه بازتوانی	احتمالات
سناریو برای واحد منتخب ۱	۱/۱۳	۰/۱۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۲	۰/۸۹	۰/۱۶۸
سناریو برای واحد منتخب ۳	۰/۶۰	۰/۲۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۴	۰/۴۰	۰/۱۸۹
سناریو برای واحد منتخب ۵	۱/۲۰	۰/۱۶۹

شکل ۲-۳ تغییرات هزینه کل را بر حسب درجه ضریب ریسک (β) نشان داده است. این منحنی نشان می‌دهد که درجه ضریب ریسک بالا، منجربه افزایش هزینه کل خواهد شد. از آنجا که وقتی ضریب ریسک بزرگتر از ۰/۸ باشد شدت کمتری دارد، در مطالعه موردی ششم این مقدار ۰/۸ لحاظ شده است.



شکل ۸-۳- **منحنی تغییرات کل هزینه بر حسب درجه ضریب ریسک**

جدول ۳-۲ راه‌حل‌های GEP در موارد پنج و شش را نشان می‌دهد که به ترتیب دو مجموعه ۵ واحدی و ۶ واحدی به عنوان کاندید برای سرمایه گذاری با در نظر داشتن فاکتورهای سال نصب و در مکان‌های مختلف ارائه شده است. طبق این جدول سرمایه گذاری در C_1 در ۱ سال انجام شده است. با این حال، با در نظر داشتن زمان پروسه ساخت و ساز واحد، تولید انرژی در سال ۵ اتفاق افتاده است.

جدول ۸-۳- **تصمیمات سرمایه‌گذاری در موارد مطالعاتی ۵ و ۶**

Candidate unit	**Capacity (MW)**	**IC ($K/MW)**	**OC ($K/MWy)**	**MC ($K)**	**CLT (y)**	**Bus, year (h, y)**	
						B= 0	***B=0.8***
C1	150	100	1500	400	4	(11, 1)	(11, 1)
C2	200	70	2100	350	3	(2, 1)	(5, 1)
C3	350	250	2400	500	5	(15, 2)	(14, 2)
C4	100	400	2400	500	2	-	(2, 7)
C5	180	180	1800	340	6	(10, 1)	(10, 1)
C6	270	220	2200	480	3	(14, 6)	(20, 4)

در این جدول:

IC: هزینه سرمایه گذاری واحد منتخب

OC: هزینه بهره‌برداری واحد

MC: هزینه نگهداری و تعمیرات واحد

CLT: زمان پروسه ساخت و ساز

در جدول ۸۲-۴ و در ستون دوم هزینه‌های کل بودجه توسعه سالانه (TEB) نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۸-۴- بودجه کل توسعه و هزینه شرایط در موارد مطالعاتی ۵ و ۶

Year (y)	TEB ($M)	*B= 0*			*B= 0.8*		
		TIC ($M)	TRC ($M)	TSV ($M)	TIC ($M)	TRC ($M)	TSV ($M)
1	320	184.20	0	232.5	184.20	0	232.5
2	280	275.62	0	0	275.62	0	0
3	180	0	0	0	0	0	0
4	150	0	0	0	۲۰۴/۹۳	0	0
5	210	0	0	0	0	0	0
6	360	222.75	0	0	0	0	0
7	200	0	0	0	156.00	417.72	0
8	160	0	98.589	0	0	0	0
9	100	0	0	0	0	0	0
10	280	0	282.38	0	0	0	0
11	98	0	438.17	0	0	109.54	0
12	155	0	0	0	0	0	0
13	145	0	0	0	0	0	0
14	70	0	0	0	0	0	0
15	90	0	0	0	0	0	0

در این جدول:

TEB: کل بودجه توسعه

TIC: کل هزینه سرمایه‌گذاری

TRC: کل هزینه بازسازی

TSV: کل مقدار حفظ دارایی فیزیکی (نجات یافته از خطر نابودی)

- مطالعه موردی هفتم: مسئله GEP بدون ریسک با هزینه بازتوانی نامشخص جدید

- مطالعه موردی هشتم: شاخص مقدار مسئله GEP ریسک پذیر با هزینه بازتوانی نامشخص جدید

جدول ۸-۵ سناریوها و احتمالات آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۵- **سناریوهای عدم قطعیت هزینه بازتوانی**

سناریوها	تغییرات هزینه بازتوانی	احتمالات
سناریو برای واحد منتخب ۱	۰/۶۰	۰/۱۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۲	۰/۸۹	۰/۱۶۸
سناریو برای واحد منتخب ۳	۱/۱۳	۰/۲۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۴	۰/۴۰	۰/۱۸۹
سناریو برای واحد منتخب ۵	۱/۲۰	۰/۱۶۹

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۸-۶ راه‌حل‌های GEP در موارد هفت و هشت را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۶- **تصمیمات سرمایه‌گذاری در موارد مطالعاتی ۷ و ۸**

Candidate unit	Capacity (MW)	IC ($K/MW)	OC ($K/MWy)	MC ($K)	CLT (y)	Bus, year (h, y)	
						B= 0	***B=0.8***
C1	150	100	1500	400	4	(11, 1)	(11, 1)
C2	200	70	2100	350	3	(13, 1)	(8, 1)
C3	350	250	2400	500	5	(15, 2)	(14, 2)
C4	100	400	2400	500	2	(19, 6)	-
C5	180	180	1800	340	6	(11, 1)	(21, 4)
C6	270	220	2200	480	3	(2, 6)	(6, 5)

- مطالعه موردی نهم: مسئله GEP بدون ریسک با هزینه‌های عدم قطعیت بازتوانی و پیش بینی بار

- مطالعه موردی دهم: شاخص مقدار مسئله GEP ریسک‌پذیر با هزینه‌های عدم قطعیت بازتوانی با در نظر داشتن عدم قطعیت پیش بینی بار

در جدول ۸-۷ سناریوهای عدم قطعیت پیش بینی بار ارائه شده است.

جدول ۸-۷- **سناریوهای عدم قطعیت پیش بینی بار**

سناریوها	تغییرات هزینه بازتوانی	احتمالات
سناریو برای واحد منتخب ۱	۱/۰۵	۰/۱۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۲	۰/۹۷	۰/۱۶۸
سناریو برای واحد منتخب ۳	۱/۰۳	۰/۲۸۷
سناریو برای واحد منتخب ۴	۰/۹	۰/۱۸۹
سناریو برای واحد منتخب ۵	۰/۹۴	۰/۱۶۹

جدول ۸-۸ راه‌حل‌های GEP در موارد مطالعاتی نهم و دهم را نشان داده است.

جدول ۸-۸- تصمیمات سرمایه‌گذاری در موارد مطالعاتی ۹ و ۱۰

Candidate unit	Capacity (MW)	IC ($K/MW)	OC ($K/MWy)	MC ($K)		CLT (y)	Bus, year (h, y)	
							B= 0	***B=0.8***
C1	150	100	1500	400		4	(11, 1)	(11, 3)
C2	200	70	2100	350		3	(8, 1)	(6, 1)
C3	350	250	2400	500		5	(6, 2)	(14, 2)
C4	100	400	2400	500		2	(18, 4)	(6, 7)
C5	180	180	1800	340		6	(10, 3)	(13, 1)
C6	270	220	2200	480		3	(18, 1)	(8, 3)

با توجه به نتایج ارائه شده در مرجع [۱] بازنشستگی و بازتوانی به واحدهای تولید کننده فرسوده اعمال می‌شود که با هزینه‌های بالاتر بهره‌برداری و نگهداری و عملکرد پایین‌تر در حال فعالیت هستند. در این مقاله یک مدل

بهینه‌سازی ریاضی GEP با گزینه‌های بازنشستگی و بازتوانی ارائه شده است. محدودیت‌های فیزیکی واحدهای موجود و جدید، محدودیت‌های مالی و بودجه‌ای، محدودیت‌های سیستم انتقال و عدم اطمینان مربوط به هزینه بازتوانی و پیش بینی بار در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

شاخص مقدار در معرض ریسک مشروط برای مدیریت عدم قطعیت قیمت توانبخشی مورد استفاده قرار می-گیرد. مطالعات موردی مختلفی برای اثبات اثربخشی مدل پیشنهادی GEP ارائه گردید. تجزیه و تحلیل تطبیقی برای کل هزینه و همچنین هزینه‌های توانبخشی، بهره‌برداری و نگهداری و مقادیر حفظ از نابودی در موارد با و بدون ریسک مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل GEP پیشنهادی در حالی که نیازهای سرویس بار را برآورده می کند، کمترین هزینه برای بازسازی را نیاز دارد. همچنین مشاهده گردید که اگر تمام تصمیمات مربوط به بازسازی و بازنشستگی در نظر گرفته شود، ۱۷,۵ درصد در هزینه کل پروژه کاهش خواهد داشت. به علاوه، تأثیر شاخص مقدار در معرض ریسک مشروط در تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن سناریوی پرخطر بسیار محدود شده و ریسک کلی پروژه کاهش خواهد یافت.

در مرجع [۹] که در سال ۲۰۱۷ و در مجله شرکت دولتی توان الکتریکی کره جنوبی موسوم به (کِپکو) که در حوزه ساخت و بهره‌برداری نیروگاه فعالیت دارد، چاپ شده است. این مقاله در مورد اجرای پروژه ROMM[1]، که یکی از پروژه‌های توسعه محسوب می‌گردد، ارائه و مورد بررسی قرا گرفته است. نویسندگان اذعان داشته‌اند که دقت تشخیص وضعیت فعلی نیروگاه حرارتی فرسوده بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی، هنگامی که متخصصین برای بازدید پیش از عملیات اجرای پروژه ROMM از نیروگاه بازدید مراجعه می‌کنند، بیشتر نیروگاه‌های هدف در حال بهره‌برداری هستند، این موضوع می‌تواند یک عامل تداخلی مهم برای دقت تشخیص وضعیت فعلی نیروگاه‌ها باشد. بنابراین، برای حل چنین عاملی، بر اساس دانش فنی ۳۰ ساله شرکت کپکو در این زمینه، این مقاله یک منحنی رگرسیون برای ارزیابی ساده از زمان عمر مفید و محاسبه هزینه بازتوانی ارائه کرده است، که ممکن است به عنوان مرجع نسبتاً خوبی برای تشخیص نسبی وضعیت نیروگاه مدنظر، حتی در حین بهره‌برداری نیروگاه مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۷- محاسبه منحنی رگرسیون برای ارزیابی ساده عمر مفید

جدول زیر خلاصه‌ای کوتاه از منحنی رگرسیون می‌باشد که طول عمر باقیمانده را در حین کار از منبع اصلی محاسبه می‌کند. اجزای اصلی در نیروگاه حرارتی فرسوده و جزئیات توسعه مربوطه با منحنی رگرسیون جهت محاسبه هزینه، با در نظر داشتن ظرفیت برای تجهیزات اصلی ارائه شده است.

1- Rehabilitation, Operation, Maintenance & Management

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۸-۹-**خلاصه برنامه ارزیابی طول عمر و برنامه ارزیابی هزینه بازسازی**

مورد	جزییات
منحنی رگرسیون برای ارزیابی طول عمر	- منحنی رگرسیون نرخ طول عمر مصرف برای اجزای اصلی برساس ساعت کارکرد - تجهیزات هدف: ۴۴ تجهیز قدرت از جمله سوپرهیتر انتهایی برای بویلر
منحنی رگرسیون برای ارزیابی هزینه جهت بازسازی	- منحنی رگرسیون محاسبه هزینه برای تجهیزات تولید توان توسط ظرفیت نیروگاه حرارتی - تجهیزات هدف: ۷ تجهیز و مولفه از جمله ژنراتور بخار بازیابی حرارت

جدول ۸-۱۰- **فرمول محاسبات عمر مفید تجهیزات تولید برق**

Components	Classification	Coal Power [Generation-Subcritical]	Coal Power [Generation-Supercritical]	Combined Cycle
Final Superheater Header	Header	y=41.663ln(x)-446.06	y=44.172ln(x)-469.73	-
	Header R2	0.617	0.762	-
	Stub Tube	y=48.894ln(x)-529.3	y=47.73ln(x)-507.97	y=44.672ln(x)-463.39
	Stub Tube R2	0.6084	0.7785	0.7768
Final Reheater Header	Header	y=39.536ln(x)-420.1	y=33.654ln(x)-347.94	y=35.927ln(x)-362.61
	Header R2	0.594	0.7735	0.783
	Stub Tube	y=41.967ln(x)-445.65	y=35.289ln(x)-362.75	y=34.074ln(x)-337.37
	R2	0.6378	0.7539	0.7955
Rotor	High Pressure	y=53.46ln(x)-592.23	y=38.248ln(x)-407.84	y=23.004ln(x)-222.19
	High Pressure R2	0.6077	0.8789	0.6206
	Intermediate Pressure	y=49.322ln(x)-543.32	y=28.264ln(x)-293.05	y=11.081ln(x)-86.291
	Intermediate Pressure R2	0.648	0.5124	0.303
Inner Casing	High Pressure	y=45.579ln(x)-492.48	y=41.733ln(x)-445.41	y=13.233ln(x)-107.53
	High Pressure R2	0.5469	0.7675	0.7581
	Intermediate Pressure	y=46.719ln(x)-511.88	y=35.3ln(x)-369.05	y=9.8423ln(x)-71.147
	Intermediate Pressure R2	0.7411	0.865	0.4002
Diaphragm	Diaphragm	y=45.222ln(x)-489.77	y=20.695ln(x)-207.25	y=17.98ln(x)-164.77
	R2	0.6579	0.328	0.9319
MSV	MSV	y=36.264ln(x)-378.96	y=50.044ln(x)-543.69	y=6.9868ln(x)-25.577
	R2	0.7252	0.8435	0.5195
CRSV	CRSV	y=31.977ln(x)-327.94	y=44.438ln(x)-477.41	y=6.3924ln(x)-23.036
	R2	0.6236	0.8379	0.8801
Main Steam Pipe	Elbow Pipe	y=34.235ln(x)-353.53	y=49.923ln(x)-542.63	y=55.001ln(x)-608.28
	Elbow Pipe R2	0.6027	0.9407	0.7402
	Y-Piece	y=41.729ln(x)-441.11	y=40.492ln(x)-425.52	y=37.164ln(x)-390.91
	Y-Piece R2	0.5056	0.8183	0.6562
High Temperature Reheater Steam Pipe	Elbow Pipe	y=34.218ln(x)-353.09	y=36.538ln(x)-386.23	y=47.78ln(x)-524.47
	Elbow Pipe R2	0.5958	0.6002	0.7842
	Y-Piece	y=30.72ln(x)-306.18	y=35.919ln(x)-376.01	y=52.754ln(x)-572.26
	Y-Piece R2	0.7228	0.6224	0.9138

y : Life time Consumption rate (unit:%), x : Operation hours (unit: hour)

۸-۷-۱- محاسبه منحنی رگرسیون برای هزینه بازتوانی

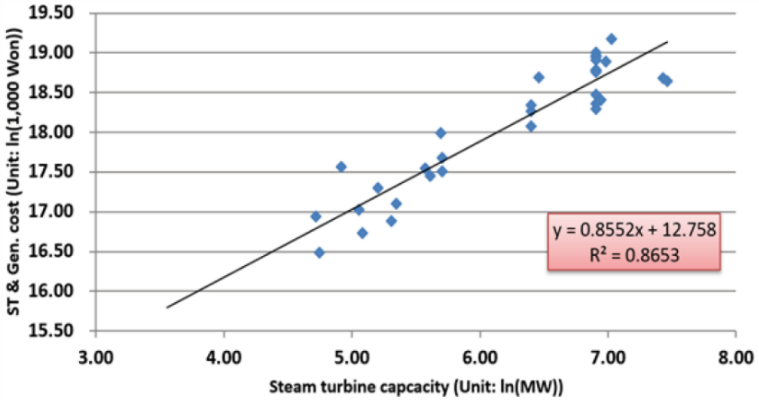
در این مرجع [۹] روشی که برای تخمین هزینه بازتوانی ارائه شده شامل دو مرحله می‌باشد، شامل:

مرحله اول: جمع‌آوری اطلاعات هزینه برای تجهیزات و مواد مصرفی در نیروگاه حرارتی و نیروگاه سیکل ترکیبی با ظرفیت‌های متنوع.

مرحله دوم: ارائه جمع هزینه خرید صورت گرفته در مرحله اول برای تجهیزات و مواد مصرفی نیروگاه‌های متنوع با طرح پراکندگی متناسب با ظرفیت و بررسی اطلاعات هزینه جهت استخراج منحنی رگرسیون.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

با توجه به اطلاعات هزینه تجهیزات و مواد مصرفی در نیروگاه حرارتی و نیروگاه سیکل ترکیبی، از ۳۰ سال تجربه تامین تجهیزات توسط شرکت KEPCO استفاده شده است، این اطلاعات با هدف قرار دادن ۶۹ واحد در کل ۲۵ نیروگاه تأمین شده است. داده‌های هزینه برای ۳۴ واحد در ۷ نیروگاه حرارتی و ۳۵ واحد در ۱۸ نیروگاه سیکل ترکیبی، جهت اطلاعات پایه برای محاسبه منحنی رگرسیون در نظر گرفته شده است. شکل زیر نمونه محاسبه هزینه توربین بخار و ژنراتور بر حسب ظرفیت را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۴- **منحنی محاسبه هزینه توربین بخار و ژنراتور بر حسب ظرفیت**

مقادیر R^2 در فرمول توسعه یافته بین ۰/۵ و ۰/۹۴ متغیر است، به جز مورد روتور فشار متوسط در تولید برق سیکل ترکیبی (R^2 =0/303)، غلاف داخلی فشار متوسط در تولید ترکیبی (R^2 = 0/4002) و دیافراگم در تولید فوق بحرانی توان (R^2 = 0.328) است. در جدول فلان زیر فرمول محاسبه هزینه برای هر جز از تجهیزات نیروگاه حرارتی سیکل ترکیبی و خلاصه‌ای از نتایج تجزیه و تحلیل ارائه شده است. همچنین جدول فلان جزییات اثربخشی فرمول‌های پیشنهادی را ارائه کرده است.

جدول ۸-۱۱- فرمول پیشنهادی محاسبه هزینه برای تجهیزات نیروگاه حراراتی سیکل ترکیبی به همراه خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل

(Cost Unit: 1,000 KRW, Capacity Unit: MW)

Name of Equip.	Calculation Formula	ANOVA		
		R2	p-Value	
			Y Intercept	X Coefficient
HRSG	Cost=exp(0.8045×Ln(ST Capacity)+13.126)	0.7965	4.64E-13	1.46E-06
ST	Cost=0.6943×[exp(0.8552×ln(ST Capacity)+12.758)]	0.8653	4.00E-25	1.35E-14
ST-Gen.	Cost=0.3056×[exp(0.8552×ln(ST Capacity)+12.758)]	0.8653	4.00E-25	1.35E-14
GT	Cost=0.8419×[exp(0.661×ln(GT Capacity)+14.511)]	0.8391	2.57E-14	6.32E-07
ST-Gen.	Cost=0.1580×[exp(0.661×ln(GT Capacity)+14.511)]	0.8391	2.57E-14	6.32E-07
Auxiliary	Cost=exp(0.5232×ln(Power Plant Entire Capacity)+14.057)	0.6168	6.74E-11	0.0005
I&C	Cost=exp(0.1457×ln(Power Plant Entire Capacity)+14.84)	0.4618	7.37E-06	0.4354

جدول ۸-۱۲- خلاصه نتیجه اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر برای هر جز از تجهیزات تولید برق

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

Type of Power Generation	Error Range for Real Value	No. of Verification Target	No. of Excessive Error	Excessive Error Rate(%)
Coal Power Generation -Subcritical	-1.23～40.9%	14	1	7.1
Coal Power Generation -Supercritical	-17.1～5.7%	15	2	13.3
Combined Cycle Power Generation	-15.0～27.5%	14	3	21.4

※ Consider it as the excessive number of error if the error rate exceeds ±15% compared to the real value.

مقدار ضریب X فرمول خطی همچنین مقدار Y رهگیری بسیار کم است، به طوری که منحنی رگرسیون مربوطه بسیار قابل اعتماد محاسبه شده است. با تکرار فرآیند فوق، یک فرمول محاسبه هزینه طبق جدول ۲-۱۱ با توجه به ظرفیت هر یک از تجهیزات نیروگاه سیکل ترکیبی به دست آمده است. هر دو مقادیر R^2 و p در فرمول محاسبه شده نمایش داده شده است. برای همه تجهیزات به جز مورد I&C (ابزار دقیق و کنترل)، مقادیر R^2 بین ۰/۶۱۶۸ و ۰/۷۹۶۵را نشان می‌دهد. مقادیر p مقادیر عددی بسیار کمی است.

جدول ۸-۱۳- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۱ نیروگاه با سوخت ذغال سنگ)

Components	Classification	Calculation Formula (%)	Real Values (%)	Error Rate (%)	Power plant that uses real values
Final S/H Header	Header	64.9	60.0	8.1	○ "Y" Coal Fired Power Plant Unit 1 - Year of Precision Diagnosis: 2001 - Equivalent Operation Hour: 211,893 hrs
	Stub Tube	70.3	70.0	0.4	
Final R/H Header	Header	64.8	60.0	8.0	
	Stub Tube	69.0	65.0	6.2	
Rotor	HP	63.4	45.0	40.8	
	IP	61.6	60.0	2.7	
Inner Casing	HP	66.5	60.0	10.8	
	IP	-	-	-	
Diaphragm		64.8	60.0	8.0	
MSV		65.8	65.0	1.2	
CRSV		64.2	65.0	-1.2	
MSP	Elbow	66.3	65.0	2.0	
	Y-Piece	70.6	65.0	8.6	
High Temp. R/H Steam	Elbow	66.6	65.0	2.5	
	Y-Piece	70.6	65.0	8.6	

جدول ۸-۱۴- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۵ نیروگاه با سوخت ذغال سنگ)

Components	Classification	Calculation Formula (%)	Real Values (%)	Error Rate (%)	Power plant that uses real values
Final S/H Header	Header	46.5	52.0	-10.6	○ "H" Coal Fired Power Plant Unit 5 - Year of Precision Diagnosis: 2013 - Equivalent Operation Hour: 118,986 hrs
	Stub Tube	49.8	58.0	-14.1	
Final R/H Header	Header	45.4	52.0	-12.7	
	Stub Tube	49.7	58.0	-14.3	
Rotor	HP	39.2	40.0	-2.0	
	IP	37.3	45.0	-17.1	
Inner Casing	HP	42.3	40.0	5.7	
	IP	43.5	50.0	-13.0	
Diaphragm		34.6	40.0	-13.5	
MSV		41.2	45.0	-8.4	
CRSV		41.9	50.0	-16.2	
MSP	Elbow	40.8	40.0	2.0	
	Y-Piece	47.7	50.0	-4.6	
High Temp. R/H Steam	Elbow	40.8	45.0	-9.3	
	Y-Piece	43.8	45.0	-2.7	

جدول ۸-۱۵- نتایج اثربخشی فرمول محاسبه طول عمر تجهیزات تولید برق (واحد ۷ نیروگاه سیکل ترکیبی)

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

Components	Classification	Calculation Formula (%)	Real Values (%)	Error Rate (%)	Power plant that uses real values
Final S/H Header	Header	-	-	-	
	Stub Tube	51.0	40.0	27.5	
Final R/H Header	Header	74.8	88.0	-15.0	
	Stub Tube	77.5	88.0	-11.9	
Rotor	HP	57.9	53.0	9.2	○ "I" Combined Cycle Power Plant Unit 7
	IP	48.6	47.0	3.4	
Inner Casing	HP	53.6	55.0	-2.5	- Year of Precision Diagnosis: 2013
	IP	48.7	50.0	-2.6	- Equivalent Operation Hour: 193,935 hrs
Diaphragm		48.7	55.0	-11.5	- Except, 110,126 hr is applied to the stub tube of final superheater header.
MSV		58.5	50.0	17.0	
CRSV		54.8	50.0	9.6	
MSP	Elbow	61.4	50.0	22.8	
	Y-Piece	61.6	60.0	2.7	
High Temp. R/H Steam	Elbow	57.3	50.0	14.6	
	Y-Piece	70.0	70.0	0.0	

در جدول‌های بعدی محاسبات هزینه تجهیزات و مواد در دو نیروگاه با با سوخت ذغال سنگ و نیروگاه سیکل ترکیبی ارائه شده است.

جدول ۸-۱۶- نتایج محاسبات هزینه تجهیزات و مواد برای نیروگاه با سوخت ذغال سنگ ۱۰۰۰ مگاوات

(Cost Unit: 1,000 KRW)

Names of Equipment	Calculation Formula	Cost
Boiler	Cost=274,024×(ST Capacity/1,018)^0.72	270,527,278
ST	Cost=0.6944×[exp(0.8552×Ln(ST Capacity)+12.758)]	88,699,281
Generator	Cost=0.3056×[exp(0.8552×Ln(ST Capacity)+12.758)]	39,041,334
Auxiliary	Cost=CA × (Total Capacity of Power Plant/1,018)^b	261,070,301
	Total	659,338,194

* a and b are original values of 43 auxiliary equipment

جدول ۸-۱۷- نتیجه محاسبات هزینه تجهیزات و مواد نیروگاه سیک ترکیبی ۵۰۴ مگاوات

(واحد گاز: ۳۲۱ مگاوات، واحد بخار: ۱۸۳ مگاوات)

(Cost Unit:1,000 KRW)

Names of Equipment	Calculation Formula	Cost
HRSG	Cost=exp(0.8045×ln(ST Capacity)+13.126)	33,165,861
ST	Cost=0.6943×[exp(0.8552×ln(ST Capacity)+12.758)]	20,757,176
Generator(ST)	Cost=0.3056×[exp(0.8552×ln(ST Capacity)+12.758)]	9,136,352
GT	Cost=0.8419×[exp(0.661×ln(GT Capacity)+14.511)]	76,581,149
Generator(GT)	Cost=0.1580×[exp(0.661×ln(GT Capacity)+14.511)]	14,378,140
Auxiliary	Cost=exp(0.5232×ln(Total Capacity of Power Plant)+14.057)	33,020,922
I&C	Cost=exp(0.1457×ln(Total Capacity of Power Plant)+14.84)	6,897,223
	Total	193,936,823

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۸-۱۸- اثربخشی روش پیشنهادی از طریق مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر استاندارد خرید تجهیزات تولید برق در دو نیروگاه هدف

(Cost Unit:1,000 KRW)

Types	Capacity (MW)	Calculated Cost	Standard Cost	Error	Standard Value Source
Coal Power	1,000	6593.4	6002.1	-9.9%	The Electric Power Economy [10]
Combined Cycle	503	1939.4	1736.9	11.7%	Monthly of Electrical Technology & Info. [11]

با توجه به جدول ۸-۱۸ و بررسی حاصل از مقایسه دو نیروگاه و مقایسه با هزینه‌های واقعی خرید تجهیزات می توان به این نتیجه رسید که میزان اختلاف محاسباتی مقدار تلرانس ۱۰ درصد به دست آمده است. به منظور بررسی میزان خطا دقیق اختلاف و اثربخشی این راه‌حل، در جدول ۲-۱۹ نتایج انجمن AACE ارائه شده است.

جدول ۸-۱۹- ماتریس طبقه‌بندی تخمین هزینه اصلی

	Primary Characteristic	Secondary Characteristic			
Estimate Class	Level of Projection Definition	End Usage	Methodology	Expected Accuracy Range [a]	Preparation Effort [b]
Class5	0%~2%	Screening or Feasibility	Stochastic or Judgment	4~20	1
Class4	1%~15%	Concept Study or Feasibility	Primarily Stochastic	3~12	2~4
Class3	10%~40%	Budget, Authorization, or Control	Mixed, but Primarily Stochastic	2~6	3~10
Class2	30%~70%	Control or Bid/Tender	Primarily Deterministic	1~3	5~20
Class1	50%~100%	Check Estimate or Bid/Tender	Deterministic	1	10~100

[a] If the range index value of "1" represents +10/-5%, then an index value of 10 represents +100/-50%

[b] If the cost index value of "1" represents 0.005% of project costs, then an index value of 100 represents 0.5%

با توجه به نتایج حاصل از مرجع [۹] یک فرمول محاسبه برای ارزیابی زمان و فرآیند توسعه، نتیجه و روند تأیید فرمول محاسبه برای هزینه بازسازی برای پروژه واحدهای فرسوده مورد بررسی قرار گرفته است. در قسمت فرمول محاسبه برای ارزیابی طول عمر در شرایط جدا نکردن قطعات اصلی (در حالت بهره‌برداری) نیروگاه ارائه شد که می‌تواند نرخ طول عمر مصرف با در نظر داشتن ساعات کارکرد محاسبه شود.

۸-۷-۲- جمع‌بندی

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حالت توقف تولید و جداسازی نیروگاه جهت عملیات بازسازی، با افزایش ۱۵ درصدی هزینه‌ها مواجه شده است. به این ترتیب که ۷/۱ درصد برای نیروگاه با سوخت ذغال تحت شرایط بحرانی کم، برای نیروگاه با سوخت ذغال سنگ تحت شرایط فوق بحرانی ۱۳/۳ درصد و برای نیروگاه سیکل

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ترکیبی ۲۱/۴ درصد اختلاف وجود دارد. به طور کلی محاسبه ارزیابی زمان کارکرد و فرمول محاسبه هزینه بازسازی به ابزاری توسعه یافته برای پروژه‌های بازسازی مورد استفاده خواهد بود.

در روند بازنشستگی، بخش‌های خاصی از واحدهای تولیدی بازنشسته، می‌تواند تفکیک و در قالب حفظ دارایی فیزیکی نگهداری استفاده شوند و درآمد حاصل از آن در واحدهای تولیدی جدید سرمایه گذاری گردد. افزایش طول عمر واحدهای فرسوده در روند توانبخشی با شناسایی عوامل محدود کننده بالقوه و کاهش نگرانی‌هایی که می‌توانند عمر واحد تولید کننده فرسوده را کاهش دهند یک راهکار کاملا عملی است.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل نهم

نتیجه‌گیری

فصل نهم نتیجه‌گیری

۹-۱- نتیجه‌گیری

هدف اصلی پروژه حاضر بررسی شرکت‌ها، نخبگان و متخصصین در جهت نوسازی تجهیزات اساسی الکتریک نیروگاه نظیر ژنراتور، ترانسفورماتورهای اصلی و مصرف داخلی واحد، الکتروموتورهای فشارقوی و فشارمتوسط، بریکرهای فشارقوی و فشارمتوسط، سیستم تحریک و راه انداز، سیستم حفاظت الکتریک و سیستم تغذیه DC و باتری می‌باشد.

در این پروژه ابتدا شرکت‌های مشاور در حوزه طراحی، ساخت و بازسازی اساسی نیروگاه‌ها معرفی گردید. سپس شرکت‌های فعال در زمینه پایش، طراحی، بازسازی، ساخت، نگهداری و تعمیرات تجهیزات الکتریک نیروگاه، شناسایی و ارائه شد. همچنین شرکت‌های مشاور خارجی در حوزه تعمیرات اساسی و جدول دسته‌بندی کلی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرکت‌های داخلی در حوزه تعمیرات، سرویس و بازسازی تجهیزات الکتریک نیروگاهی در پیوست جمع‌بندی و ارائه شده است.

همچنین با توجه به حساسیت و اهمیت موضوع در مرحله بررسی تجارب جهانی و نبود اطلاعات دقیق و برخی جزئیات اقتصادی، اما با بررسی منابع موجود می‌توان به این نتیجه رسید که با توجه به هزینه سنگینی که صرف ایجاد نیروگاه شده است، هر طرح اقتصادی بهینه‌سازی، نوسازی و بازسازی که منجر به بهبود عملکرد تجهیزات الکتریکی و در نتیجه افزایش عمر نیروگاه و بالا رفتن بازده آن شود باید مورد بررسی قرار گیرد.

در روند بازنشستگی، بخش‌های خاصی از واحدهای تولیدی بازنشسته، می‌تواند تفکیک و در قالب حفظ دارایی فیزیکی نگهداری استفاده شوند و درآمد حاصل از آن در واحدهای تولیدی جدید سرمایه گذاری گردد. افزایش طول عمر واحدهای فرسوده در روند توانبخشی با شناسایی عوامل محدود کننده بالقوه و کاهش نگرانی‌هایی که می‌توانند عمر واحد تولید کننده فرسوده را کاهش دهند یک راهکار کاملا عملی است.

عملیات بازسازی با انتخاب استرتژی مناسب در بعضی مقالات و گزارش‌های موجود بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه بوده است که نتایج آن در فصل دوم ارائه گردید. در نگاه کلی این عملیات موجبات صرفه‌جویی، بهره‌وری و بهبود کیفیت محیط زیست را فراهم خواهد کرد.

پیوست

پیوست

برخی از شرکت‌های مشاور خارجی در حوزه طراحی، ساخت و تعمیرات اساسی و همچنین پایش وضعیت تجهیزات نیروگاهی در این بخش ارائه شده است:

۱- شرکت روتک – روسیه

زمینه فعالیت: ساخت و تعمیرات تجهزات کنترلی، پمپ، ادوات صنعتی و پایش وضعیت تجهیزات دوار

۲- شرکت سولرز – سوئیس

زمینه فعالیت: بهسازی تاسیسات بالانس پرسرعت، پایش وضعیت، ساخت تجهیزات نیروگاهی

این شرکت متخصص تولید و عرضه انواع پمپ‌های صنعتی و ارائه راه‌حل‌های مهندسی و پشتیبانی از تجهیزات دوار صنعتی است. سولزر در مجموع شبکه‌ای جهانی متشکل از ۱۸۰ مرکز ارائه خدمات فنی مهندسی و پشتیبانی در اختیار دارد. سولزر در زمینه تعمیرات ژنراتور و ارائه خدمات پس از فروش به مشتریان توربین، کمپرسور، پمپ، موتور و جعبه دنده دارای سابقه و تخصص قابل توجهی است.

۳- شرکت نیدک – لیتوانی

زمینه فعالیت: تعمیرات و ساخت تجهیزات قدرت، ابزار دقیق

۴- شرکت پی‌جی ان ال– اندونزی

متخصص ارائه خدمات تامین و نگهداری تجهیزات دوار برای صنعت نفت، گاز و پتروشیمی

۵- شرکت کپکو – کره جنوبی

زمینه فعالیت: شرکت دولتی توان الکتریکی کره جنوبی موسوم به کِپکو در حوزه ساخت و بهره‌برداری از نیروگاه فعالیت می‌کند.

۶- شرکت پاور ماشین – روسیه

زمینه فعایت: ارتقاء نیروگاه حرارتی

۷- شرکت گما – آمریکا

زمینه فعالیت: مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه

۸- شرکت نیروگاهی ساسک پاور - کانادا

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

زمینه فعالیت: مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه، بازتوانی و تعمیرات اساسی

۹- شرکت ABB

زمینه فعالیت: بازتوانی، تعمیرات اساسی، مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه

۱۰- جنرال الکتریک

زمینه فعالیت: بازتوانی، تعمیرات اساسی، مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه

۱۱- شرکت سامانه‌های نیروگاهی میتسوبیشی هیتاچی

زمینه فعالیت: بازتوانی، تعمیرات اساسی، مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه

۱۲- زیمنس - آلمان

زمینه فعالیت: بازتوانی، تعمیرات اساسی، مهندسی، تامین و ساخت نیروگاه

۱۳- شرکت EDCL

زمینه فعالیت: خدمات مشاوره، فنی و مهندسی و مدیریت پروژه‌های نیروگاهی

۱۴- شرکت AFRY

زمینه فعالیت: خدمات مشاوره، فنی و مهندسی و مدیریت پروژه‌های نیروگاه حرارتی

۱۵- شرکت ILF

زمینه فعالیت: بازتوانی، تعمیرات و نگهداری، ساخت نیروگاه

۱۶- کمپانی MC-monitoring

این کمپانی سوئیسی سازنده سیستم های پایش وضعیت ارتعاشات ماشین آلات دوار و همچنین ارائه کننده سیستم‌های پایش تخلیه جزیی تجهیزات فشارقوی نظیر ژنراتورها، موتورها، ترانسفورماتورها، کابل‌ها، سوئیچگیرها و... می‌باشد.

۱۷- کمپانی walter+bai ag

این کمپانی با حدود ۵۰ سال تجربه سازنده رنج وسیعی از دستگاه‌ها و سیستم‌های تست خواص مکانیکی مواد می‌باشد. یکی از برتری های این کمپانی نسبت به سایر رقبا دارا بودن تیم مهندسی قوی در طراحی و ساخت دستگاه‌های خاص مطابق با نیاز مشتریان است.

۱۸- کمپانی Metra Mess-und Frequenztechnik MMF

این کمپانی آلمانی در سال ۱۹۴۴ تحت نام Unis توسط Richard Weber تاسیس و در سال ۱۹۵۴ تغییر نام داد. این کمپانی با بیش از نیم قرن سابقه در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاشات فعالیت می‌نماید. برخی از محصولات این شرکت عبارتند از:

- دستگاه اندازه‌گیری و پایش ارتعاشات سازه‌های بزرگ
- تجهیزات پایش آنلاین ارتعاشات ماشین آلات دوار
- سوئیچ های ارتعاشی جهت پایش ارتعاشات و محافظت تجهیزاتی نظیر: فن‌ها، پمپ‌ها، الکتروموتورها
- سیستم اندازه‌گیری و تحلیل ارتعاشات
- دستگاه‌های پرتابل اندازه‌گیری ارتعاشات ماشین آلات دوار
- پیشرفته ترین دستگاه های کالیبراتور سنسور های ارتعاش
- انواع شتاب سنج‌ها
- ترنسمیترهای سرعت ارتعاشات

در جدول زیر شرکت‌های معرفی شده در فصل سوم به صورت کلی دسته‌بندی و ارائه شده است.

جدول الف- دسته‌بندی کلی شرکت‌های فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه به تفکیک نوع فعالیت

نام شرکت یا سازمان	حوزه فعالیت شرکت‌ها							
	مشاور و مجری	پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی	*	*	*	*	*	*	*	*
شرکت تعمیرات نیروگاهی	*	*	*	*	*	*	*	*
گروه مپنا	*	*	*	*	*	*	*	*
شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا (O&M)	*	*	*	*	*	*	*	*
شرکت قدس نیرو	*							
شرکت مهندسین مشاور موننکو ایران	*							
شرکت احداث و توسعه نیروگاه‌های سیک ترکیبی مپنا-توسعه ۱	*							
شرکت احداث و توسعه نیروگاه‌های سیک ترکیبی مپنا-توسعه ۲	*							
شرکت احداث و توسعه پروژه‌های ویژه مپنا-توسعه ۳	*							

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرکت دانش بنیان مهندسی و خدمات ایفا صنعت تابا	❊							
شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاهی صبا	❊							
شرکت سرمایه‌گذاری نیروگاهی ایران (سنا)	❊							
شرکت مهندسی مشاور نیروی آذربایجان (منا)	❊							
شرکت مهندسی تجهیزات صنعت آب و برق ایران	❊				❊		❊	
دفتر خدمات فناوری سامانه‌های مهاربان شریف	❊							
شرکت مهندسین مشاور مهساب نیرو (مانیکو)	❊				❊			
شرکت دانش بنیان بهسازان سیستم‌های انرژی پویا	❊							
شرکت مهندسین مشاور نیرو	❊							
مهندسی تعمیرات انتقال نیروی تهران (متانیر)	❊	❊			❊			
مشانیر	❊	❊						
شرکت پترو نیرو ماشین داتیس (تامین و تجهیز قطعات نیروگاهی)	❊							
پمکو	❊							
گروه تانا انرژی	❊							
شرکت خدمات فنی و بازرگانی تکسا نیروی کرمان	❊							
شرکت آوای نوآوران آسیا	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊
شرکت هیربدان	❊							
گروه مهندسی ماه‌تاب گشتر	❊							
شرکت صانیر	❊							
شرکت نصب نیرو	❊							
شرکت مهندسی مسینان	❊							
شرکت اختر برق اصفهان	❊							
مرکز خدمات فناوری پایش وضعیت و عیب‌یابی شریف		❊						
خدمات مهندسی دلتا صنعت شریف		❊	❊			❊		
کز تست و پایش ماشین‌های الکتریکی دانشگاه علم و صنعت ایران		❊	❊		❊	❊		
شرکت مهندسی ارتعاشات بهروش		❊	❊		❊	❊		
دفتر خدمات فناوری عمردهی برنا فناور شریف		❊						
مرکز خدمات آزمایشگاهی شریف		❊						
بنیاد علوم کاربردی رازی		❊						
شرکت مهندسی ویستا پایش راد		❊	❊				❊	
شرکت دیده پرداز صبا		❊	❊			❊	❊	
شرکت مهندسی تواتر سپاهان		❊	❊				❊	

نام شرکت یا سازمان	حوزه فعالیت شرکت‌ها							
	مشاور و مجری	پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
شرکت تجهیز آزما پاکان (تاپکو)		❊	❊		❊	❊		
شرکت تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب پیشرفته		❊						
شرکت پژواک صنعت شریف		❊	❊			❊		
شرکت فنی و مهندسی پویش (پایش وضعیت یکتا شرق)		❊			❊			
شرکت مهندسی فرا پایش باختر		❊	❊		❊	❊		
خدمات مهندسی استاک		❊	❊			❊		
پارسی تک		❊	❊			❊	❊	
شرکت دانش بنیان نوران حسگر صبا		❊						
نورا تار هوشمند		❊						
شرکت تسلا پیشرو		❊	❊		❊	❊		
شرکت مهندسی پایش نیرو سوشیانس		❊	❊			❊		
شرکت البرز تدبیر کاران		❊	❊		❊	❊		
شرکت لیان آریاتش صبا		❊						
آزمایشگاه توان کاوه نت		❊			❊			

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شرکت توربوژنراتور شاهرود		❊	❊		❊	❊		
شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)			❊					
گروه صنعتی فن ژنراتور		❊	❊		❊	❊		
شرکت دانش بنیان رشد صنعت نیرو		❊	❊			❊		
شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی		❊	❊			❊		
شرکت دانش بنیان مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو)			❊	❊		❊	❊	
گروه مهندسی و ساخت پارسان			❊	❊	❊	❊	❊	
شرکت تولیدی اطمینان بخش		❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊
شرکت مهندسی آریو انرژی وندا			❊			❊		
شرکت الکتروبرق مجمر			❊					
ساخت پارمیس نقش جهان-ساپنا (بیرینگ)			❊			❊		
چابک صنعت پیشگام			❊			❊		❊
صنایع پتروشیما گستر			❊			❊		
خدمات بلبرینگ سازی ایرانیان								
گروه صنعتی خلیج برینگ								
شرکت نوآوران سیس صنعت مکانیک (بلبرینگ)								
شرکت خدمات مهندسی برسا						❊		
شرکت پارسیان بلبرینگ اکباتان								
شرکت ماه نیرو			❊			❊	❊	
شرکت پویا ژنراتور			❊	❊	❊	❊		
شرکت صنایع چرخ‌دنده توس								
شرکت نیرو ترانس			❊		❊	❊	❊	
شرکت پایور دیزل آسیا			❊					
شرکت خدمات نیروگاهی آهار شرق				❊				
شرکت مهندسی پردیسان رایانه سیستم				❊				
شرکت کاوش الکترونیک سپاهان				❊				
شرکت آراز تابلو توان تبریز				❊				
شرکت دانش بنیان نادین طیف نگار				❊				
گروه ایران ترانسفو					❊			
شرکت توسعه خدمات فوق تخصصی ترانسفورماتور پارس					❊			
ترانسفورماتور سازی کوشکن					❊			

نام شرکت یا سازمان	حوزه فعالیت شرکت‌ها							
	مشاور و مجری	پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
گروه صنعتی آریا ترانسفو					❊			
ترانسفورماتور توزیع زنگان					❊			
شرکت سرمایه گذاری ارس صبا					❊			
شرکت مهندسی مهر آریس توانا					❊			
شرکت برنا الکترونیک					❊	❊	❊	❊
گروه صنعتی الکتروپژواک آرین (رضا ترانس ورک)					❊			
تهیه و تولید کالا و خدمات نیرو (ساخت نیرو)					❊			
ایران ترانسفو ری					❊			
صنایع کیان ترانسفو					❊			
شرکت تولیدی فنی توس نیرو					❊			
مهرشید نیرو					❊			
شرکت دانش بنیان سامانه‌های پیشرفته ترانسفورماتور ارومی		❊			❊			
شرکت مبدل توان نقش جهان		❊			❊			
شرکت پاد انرژی ناره (پنکو)		❊			❊			
شرکت الوند توان انرژی					❊			

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام شرکت یا سازمان	حوزه فعالیت شرکت‌ها							
	مشاور و مجری	پایش وضعیت	ژنراتور	سیستم تحریک و راه‌انداز	ترانسفورماتور	الکتروموتور	حفاظت الکتریک	سیستم تغذیه DC و باتری
شرکت دانش بنیان پژوهنده نیرو		❋	❋		❋	❋		
شرکت دانش بنیان ارم سازان روز						❋		❋
شرکت دانش بنیان ارم صنعت موج گستر						❋		
شرکت دانش بنیان سهند توان گستر خبره						❋		
شرکت دانش بنیان الکتروموتور آریا						❋		
خدمات فناوری توسعه سیستم‌های احتراق و انرژی (کوئنتک) شریف						❋		
شرکت دانش بنیان گروه صنعتی نوین سازان تهران						❋		
تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه						❋		
شرکت دانش بنیان آریا الکتروموتور						❋		
شرکت دانش بنیان سپنتا الکترونیک طبرستان						❋		❋
شرکت دانش بنیان نیان الکترونیک						❋		❋
شرکت آرین صنعت						❋		
شرکت الکتروژن						❋		
شرکت موتوژن						❋		
شرکت زیما						❋		
شرکت ماشین‌های الکتریکی جوین (جمکو)						❋		
شرکت فنی مهندسی خدماتی آذرخش کنترل اسپادانا			❋			❋		
مرکز خدمات فناوری توسعه خودکفایی صنعتی شریف							❋	
شرکت دانش بنیان پارس کیان فناوری آپادانا (پکفا)							❋	
شرکت دانش بنیان مهندسین رسانش انرژی نوین (رسان)							❋	
شرکت دانش بنیان آزمایشگاه صنایع انرژی (اپیل)					❋		❋	
شرکت دانش بنیان ریزموج الکتریک طوس							❋	
شرکت مسن انرژی قشم							❋	
شرکت پارس پرداز							❋	❋
شرکت اپرا		❋					❋	
شرکت الکترونیکی بردهای هوشمند ایرانیان					❋		❋	
شرکت دانش بنیان وبکو امیرکبیر							❋	
آزمایشگاه خدمات فناوری الکترونیک قدرت فشارقوی شریف					❋		❋	❋
شرکت احداث قدرت نیرو								❋
صنعت الکترونیک برفر								❋
شرکت مهندسی بهساز صنیع سیستم							❋	❋
شرکت صنایع پرسو الکترونیک								❋
شرکت مهندسی تحقیقات الکترونیک هیراد								❋
شرکت پایا روش آریا							❋	❋
شرکت همند نیرو گسیل								❋
شرکت مهندسی پارت افزار کارن								❋

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت و ژنراتورها از تجهیزات اصلی، کلیدی و ارزشمند شبکه برق بوده که نقش مهم و بارزی در حفظ امنیت و پایداری شبکه برق کشور دارند. باتوجه به ارزش ریالی قابل توجه این تجهیزات مهم، نگهداری و بهره‌برداری مطلوب از آن‌ها دارای اهمیت ویژه می‌باشد.

اگرچه کتب، مقالات و استانداردهای متعددی در زمینه تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری ترانسفورماتورهای قدرت و ژنراتورها وجود دارد اما تنوع، گستردگی مطالب و عدم دسترسی عموم بهره برداران نیروگاه ها به چنین مراجعی همواره یکی از موانع اصلی در افزایش سطح دانش عمومی و بهره‌برداری مطلوب و بهینه در این زمینه بوده است.

ارزیابی کیفی و کمی تجهیزات اصلی یک نیروگاه اعم از ترانسفورماتور، ژنراتور و سایر تجهیزات الکتریکی نیروگاه در این گزارش پوشش داده شده است. ضمن ارزیابی‌ها، مزایا و محدودیت‌های هر روش آزمون، روابط، جداول و یا مقادیر مورد نیاز برای رسیدن به یک نتیجه‌گیری وضعیت نیز ارائه شده است. در نهایت یک چک لیست جامع از مجموعه تست‌های لازم برای ارزیابی وضعیت نیروگاه ها ارائه شده است. روش ارزیابی کلی یک نمونه (نیروگاه اصفهان) در قالب یک فصل شرح داده شده است که برای سایر نیروگاه‌ها قابل استفاده خواهد بود. این چک لیست امکان مقایسه وضعیت عملکردی نیروگاه‌های کشور و در نتیجه تصمیم‌گیری راحت‌تر برای رسیدگی یا نوسازی واحدهای آن‌ها را فراهم می‌سازد.

فصل دهم

فرآیند ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای واحدهای نیروگاهی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل دهم فرآیند ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای واحدهای نیروگاهی

۱۰-۱- مقدمه

در این فصل به آزمون‌های دوره‌ای ترانسفورماتور پرداخته می‌شود. در ابتدا آزمون‌های دوره‌ای روغن، سپس فرآیند بازبینی ظاهری و در نهایت آزمون‌های الکتریکی معمول توضیح داده می‌شود. در قسمت آزمون‌های الکتریکی به آزمون‌های خاص عیب‌یابی نیز اشاره خواهد شد. آزمون تحلیل گازهای محلول در روغن و همچنین آزمون‌های خاص مربوط به تجهیزات جانبی مثل بوشینگ و تپ‌چنجر نیز در گزارش پوشش داده شده است.

۱۰-۱-۱- آزمون‌های دوره‌ای روغن

۱۰-۱-۲- کلیاتی در مورد روغن و فرآیند پیری آن

روغن معدنی استفاده گسترده‌ای در تجهیزات فشارقوی به عنوان عایق و همچنین خنک‌کننده دارد. به طور کلی می‌توان سه کارکرد اصلی را برای روغن در ترانسفورماتور برشمرد:

تنش الکتریکی هنگام کار را تحمل کند. برای تحمل تنش الکتریکی یا میدان الکتریکی، روغن بایستی ولتاژ شکست بالا و ضریب تلفات عایقی ($\tan\delta$) کمی داشته باشد.

در پایین‌ترین دمای کاری نیز به صورت آزادانه در تجهیز به گردش درآید و خنک‌سازی را انجام دهد. برای برآورده ساختن نیازمندی خنک‌سازی، روغن بایستی گران‌روی و نقطه ریزش پایینی داشته باشد.

با خاصیت عایقی و خنک‌سازی کافی، خاموش‌شدن قوس را تضمین کند. برای نیازمندی خاموش‌سازی قوس، روغن بایستی نقطه اشتعال بالا، ولتاژ شکست زیاد و گران‌روی پایینی داشته باشد.

در کنار خواصی که در بالا گفته شد، روغن بایستی مقاومت مناسبی در برابر اکسیداسیون داشته باشد تا از کارکرد طولانی مدت آن اطمینان حاصل شود. روغن در ترانسفورماتور و تحت شرایط کاری تخریب و پیر می‌شود. منظور از پیرشدن روغن، آن است که کیفیت آن کاهش یافته و مشخصات مناسب آن تضعیف می‌شود. این در حالی است که عملکرد مطمئن ترانسفورماتور به وضعیت روغن وابسته است و لذا کنترل شرایط روغن در طول عمر کاری ترانسفورماتور الزامی است.

فرآیندهای متفاوتی روغن را پیر می‌کنند و برخی از این فرآیندها نیز به یکدیگر وابسته هستند. این فرآیندها عبارتند از: اکسیداسیون، آلوده شدن توسط آب و ذرات فیبر، تخلیه الکتریکی یا قوس، اضافه دمای نقطه‌ای یا

کلی. در این قسمت دو مورد اصلی یعنی اکسیداسیون و آلودگی روغن جهت آشنایی به اختصار شرح داده می‌شوند. تاثیر تخلیه و اضافه دما در بحث مربوط به اندازه‌گیری گازهای محلول پوشش داده خواهد شد.

۱۰-۱-۲-۱- اکسیداسیون روغن

اکسیداسیون در کلیه تجهیزاتی که در آن روغن در تماس با هوا قرار دارد رخ می‌دهد. در چنین تجهیزاتی، اکسیداسیون روغن به تدریج و در نتیجه طی سال‌ها انجام می‌شود. در صورتی که دمای کاری روغن افزایش یابد، اکسیداسیون روغن نیز تسریع می‌شود. همچنین در حضور کاتالیزورهایی نظیر فلز و ترکیبات فلزی، اکسیداسیون به صورت شتاب یافته رخ می‌دهد. اثر کلی اکسیداسیون بر روی روغن شامل تیره کردن روغن، تولید آب و اسیدها است و در شدیدترین حالت منجر به تولید لجن[1] در روغن می‌شود. در این بین تولید آب و اسیدها می‌توانند باعث خوردگی سطوح فلزی شده (بالاخص در بالای سطح روغن) و مواد دارای عایق سلولزی را تخریب کنند. نتیجه تخریب عایق سلولزی کاهش استقامت مکانیکی سیم‌پیچ و ترانسفورماتور و شکست الکتریکی احتمالی است.

در صورتی که روغن به حد بالایی از اکسیداسیون برسد، ترکیبات غیر محلول در آن تولید می‌شوند که منجر به تولید لجن در روغن می شود. لجن تولید شدن در مرحله اول بسته به نوع روغن در آن حل می شود اما با رسیدن به حد اشباع، لجن شروع به ته‌شنین شدن می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت که لجن در روغن نفتانیک حل می‌شود و در روغن پارافینی نسبتا نامحلول است [۱]. لجن ته‌نشین شده در اثر دما افزایش ضخامت می‌دهد و معمولا در نواحی خنک‌تر مخزن، هسته، سیم‌پیچ‌ها، سیستم خنک‌کننده و سایر قسمت‌ها بیشتر قابل تشخیص است. لجن می‌تواند باعث انسداد داکت‌های روغن شده و میزان خنک‌سازی ترانسفورماتور را کاهش دهد. افزایش دمای روغن و سیم‌پیچ و به دنبال آن اکسیداسیون روغن افزایش یافته و شکست الکتریکی محتمل خواهد بود.

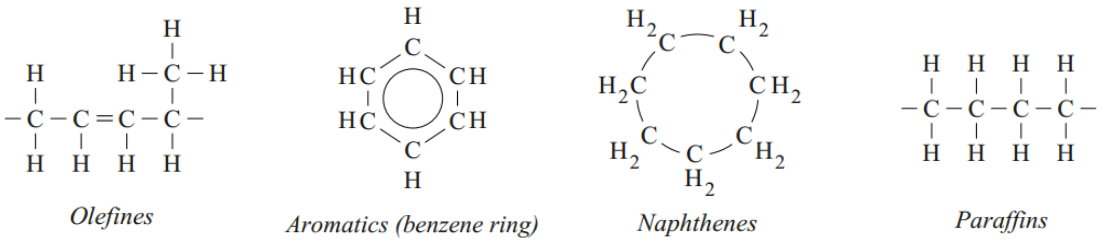
نشانه‌های اولیه اکسیداسیون روغن با پایش رنگ و ظاهر روغن انجام می‌شود. انجام منظم آزمون اسیدیته روغن، کنترل سطح رطوبت در روغن و همچنین بازبینی ظاهری برای تشخیص نشانه‌هایی از لجن بر روی سطوح داخلی ترانسفورماتور از دیگر مواردی است که نشان‌گر اکسیداسیون روغن است و می‌تواند به عنوان عامل شناسایی به کار رود. آزمون $\tan\delta$ و کشش بین‌سطحی روغن نیز می‌تواند در تشخیص ابتدایی محصولات قطبی ناشی از اکسیداسیون کمک‌کننده باشد.

برای درک بهتر فرآیند اکسیداسیون توجه به تغییرات شیمیایی مولکول‌های روغن می‌تواند مفید باشد. ماده پایه روغن می‌تواند در چهار گروه تقسیم‌بندی شود: پارافین‌ها، نفتان‌ها، ترکیبات آروماتیک و الفین‌ها. این ترکیبات در

[1] Sludge

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

شـــکل (۱-۱) نمایش داده شـــده‌اند. به طور کلی دو مشـــخصـــه می‌توان بین این چهار نوع روغن تشـــخیص داد. روغن‌هایی که زنجیره‌ای هستند مثل پارافین که زنجیره بلند دارد مانع جاری شدن روغن در دمای پایین می شوند. بنابراین روغن‌هایی که برای کار در دمای پایین مناسب هستند، درصد بیشتری ترکیبات حلقوی دارند. از سوی دیگر، وجود پیوند دوگانه در مولکول روغن باعث می‌شـــود که این پیوند بتواند با ســـایر ترکیبات از جمله اکســـیژن واکنش نشان داده و سبب پیری تسریع شده روغن شود. بنابراین گزینه‌ای که هر دو ویژگی منا سب را دا شته با شد یعنی حلقوی باشـــد و فاقد پیوند دوگانه نیز باشـــد از ارجحیت برخوردار اســـت و این به معنی روغن بر پایه نفتان اســـت. به همین دلیل است که استفاده روغن بر پایه نفتان در کشور توصیه می‌شود.



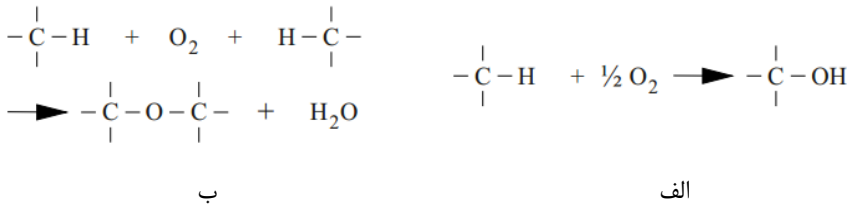
شکل (۱-۱): مواد پایه انواع روغن [۲]

در مواردی که نیاز به ســـرریز روغن وجود دارد و روغن مورد اســـتفاده در ترانســـفورماتور (از نظر پایه) مشـــخص نباشد، بایستی پایه روغن توسط آزمون مشخص شود و روغن با همان پایه به ترانسفورماتور اضافه شود. آزمون‌هایی که برای روغن سرریز لازم است همانند آزمون‌هایی است که برای روغن نو الزامی است. در کنار این آزمون‌ها انجام آزمون پایداری در مقابل اکسیداسیون نیز توصیه می‌شود. نحوه تزریق روغن نیز همانند روغن نو است.

در بالا مشخص شد که مولکول روغن به طور عمده از کربن و هیدروژن ساخته شده است و در حالت معمولی نیز غیرقطبی است. اما در اثر اکسیداسیون، مولکول به صورت قطبی در می‌آید. دو مکانیسم عمده اکسیداسیون در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است. در (الف) مولکول اکسیژن با روغن واکنش می‌دهد و یک گروه OH در مولکول

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ایجاد می‌کند. لذا مولکول از تقارن خارج شده و قطبی می‌شود. حضور چنین ترکیباتی باعث افزایش tanδ می‌شود و به همین دلیل است که گفته شد tanδ می‌تواند در تشخیص زودهنگام اکسیداسیون روغن موثر باشد.



ب الف

شکل (۱-۲): دو مکانسیم اکسیداسیون روغن [۲].

مکانیسم (ب) نیز قابل توجه است. در این مکانیسم اتم اکسیژن به صورت یک پل بین دو مولکول روغن عمل می‌کند و در کنار آن مولکول آب تولید می‌شود. پیوند خوردن دو مولکول روغن توسط اکسیژن سبب می‌شود که وزن مولکول افزایش یابد و سنگین‌تر شود. به این مکانیسم در شیمی کراس‌لینک گفته می شود. با ادامه کراس لینک مولکول‌های روغن، زنجیره‌های سنگین و بلندی از روغن تشکیل می‌شود که قابلیت انحلال کمی در روغن دارد. این مولکول سنگین با قابلیت انحلال کم همان لجن است. جالب است که با تجمیع لجن بر روی یکدیگر، فرآیند کراس‌لینک می‌تواند ادامه پیدا کند و یک توده چگال تشکیل شود. همین توده است که با قرار گرفتن در مسیر داکت روغن می‌تواند خنک‌سازی ترانسفورماتور را دچار اخلال کند. در آخر باید دانست که تولید لجن نیز بر tanδ تاثیر گذاشته و باعث افزایش مقدار آن می‌شود و لذا tanδ می‌تواند به عنوان یک نشان‌گر اکسیداسیون به کار رود.

۱۰-۲- آلودگی روغن

روغن در ترانسفورماتور با سایر مواد در تماس است و در نتیجه می‌تواند آلوده شود. به طور کلی، حضور مواد خارجی در روغن به عنوان آلودگی شناخته می شود. بعضی از این آلودگی‌ها می‌توانند مشخصات الکتریکی روغن را تحت تاثیر قرار دهند.

آلودگی روغن با رطوبت می‌تواند در اثر اکسیداسیون روغن یا تخریب سلولز در تجهیز و یا تنفس روغن حین عملیات تعمیر و نگهداری انجام شود. آب در روغن می‌تواند تا حدی حل شود که این میزان بستگی به دما و همچنین میزان اسید روغن دارد. اگر میزان آب از این مقدار بیشتر شود، روغن از آب اشباع شده و در نتیجه آب به صورت قطره یا فاز بخار به وجود می‌آید. آب به شکل محلول روغن ممکن است مشخصات الکتریکی روغن را تغییر دهد یا تغییر ندهد. اما آب محلول در حضور سایر آلودگی‌ها به خصوص ذرات فیبر گونه، می‌تواند تحمل الکتریکی

روغن را به طرز قابل توجهی کاهش دهد. در صورتی که دمای ترانسفورماتور به سرعت کاهش یابد، خطر تشکیل آب آزاد بیشتر است از این جهت که میزان قدرت انحلال آب در روغن به طور ناگهانی کاهش می‌یابد.

در ترانسفورماتور که دارای کاغذ عایقی است، رطوبت هم در روغن و هم در کاغذ وجود دارد. چنان‌که پیش‌تر نیز گفته شد، عمده آب موجود در ترانسفورماتور در عایق کاغذی است و این نسبت معمولا بیش از ۹۹٪ کل آب موجود در ترانسفورماتور است. میزان بالای رطوبت در ترانسفورماتور یکی از مواردی است که عمر عایق کاغذی و در نتیجه عمر ترانسفورماتور را کاهش می‌دهد. بنابراین، پایین نگه داشتن رطوبت در ترانسفورماتور حائز اهمیت است. پایش میزان رطوبت توسط آزمون‌های دوره‌ای منظم اندازه‌گیری رطوبت میسر است.

آلودگی روغن با ذرات و فیبرها می‌تواند ناشی از مواد درون خود ترانسفورماتور باشد یا ناشی از محصولات تخریب خطاهایی مثل تخلیه و یا به دلیل نفوذ مواد در حین تعمیر و نگهداری. شکست الکتریکی و یا تخلیه در روغن نیز می‌تواند گازهای مختلف، کربن و ذرات فلزی تولید کند. از آن‌جا که آلودگی ذرات و یا فیبر خصوصا در حضور رطوبت تحمل الکتریکی روغن را کاهش می‌دهد، از آزمون ولتاژ شکست روغن می‌توان برای تشخیص وجود آلودگی استفاده کرد. آلودگی‌ها همچنین می‌توانند تلفات عایقی روغن را افزایش دهند.

۱۰-۲-۱- تاثیرپذیری مشخصات مختلف روغن از خطاهای ترانسفورماتور

مناسب است که مشخص شود کدام یک از خطاهای موجود در ترانسفورماتور در روغن خود را نشان می‌دهند و کدام یک تاثیری در روغن ندارند. سیگره جدولی را ارائه کرده است که در یک نگاه تاثیر پذیری روغن از خطاهای مختلف را نشان می‌دهد [۱]. این اطلاعات در جدول (۱-۱) نشان داده شده است.

جدول ۱۰-۱- رابطه بین مشکلات اصلی ترانسفورماتور و پارامترهای روغن [۱].

	مشکلات ترانسفورماتور								
	اضافه حرارت			تخلیه جزئی			آسیب به آب‌بندی		
پارامترهای روغن	دمای هسته	اتصالات	سیم‌پیچ / مشکلات خنک‌سازی	روغن	کاغذ	سطح کاغذ و روغن	مشکل در ممبران	نشتی روغن	نفوذ رطوبت
اسیدیته/ IFT	H 1, 2	H 1, 2	H 1, 2	L	L	L	L 2	L	H 2
رنگ	H 1, 2	H 1, 2	H 1, 2	L	L	L	L 2	L	L

مقدار رطوبت	L	L	H 5, 6	L	H 5, 6	L	H 5, 6	M	H 8
ولتاژ شکست	L	M 3, 12	H 4, 6, 12	H 11	M	H 5, 6, 12	M 6	M 7	H 8
tanδ	H 1 , 2	H 1, 2	H 1, 2	L	L	L	L 2	L	H 9
محتوای گاز	H 1 , 10	H 1, 10	H 1, 10	H 1, 10	H 1, 4, 10	H 1, 4, 10	H 7	M 10	L 7

تاثیر مشکل بر روی پارامتر روغن	مشکلات ترانسفورماتور		
H = تاثیر زیاد	۱- تخریب روغن	۵- پیری کاغذ	۹- تولید رسوب
M = تاثیر متوسط	۲- پیری روغن	۶- تولید آب	۱۰- تولید گاز
L = تاثیر کم	۳- کربنیزه شدن روغن	۷- هوای حل‌شده	۱۱- حباب
	۴- تخریب کاغذ	۸- رطوبت آزاد	۱۲- ذرات

جدول به درک این موضوع که برای تشخیص چه مشکلات محتملی چه آزمون‌هایی بایستی انجام شود بسیار کمک می‌کند. برای مثال، جدول فوق نشان می‌دهد که تخلیه جزئی تاثیر بسیارکمی بر tanδ دارد و بنابراین تجویز آزمون tanδ در حالتی که ترانسفورماتور مشکوک به تخلیه جزئی است، مفید فایده نخواهد بود.

در ادامه این گزارش ابتدا به نحوه تحلیل نتایج و دسته‌بندی کیفیت روغن بر اساس نتایج آن پرداخته می‌شود. سپس آزمون‌های مختلف روغن به صورت مختصر تشریح می‌شوند.

پیش از ادامه باید این نکته ذکر شود که در استانداردهای آمریکایی روش انجام آزمون‌های روغن به طور معمول بر اساس دستورالعمل‌های ASTM است در حالی که در استانداردهای اروپایی بیشتر بر اساس روش IEC است. جدول (۱-۲) به طور خلاصه بیان می‌کند که بر اساس استاندارد IEC 60422 هر یک از آزمون‌های روغن بایستی طبق چه استانداردی انجام شود [۳]. این جدول معیار انجام آزمون‌ها در کشور می‌باشد.

جدول ۱۰-۲- آزمون‌های روغن در حال سرویس و استانداردهای روش انجام آن‌ها [۳].

نام آزمون	روش انجام	نام آزمون	روش انجام
رنگ و ظاهر	ISO 2049	ولتاژ شکست	IEC 60156

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مقدار رطوبت	IEC 60814	اسیدیته	IEC 62021-1 یا IEC 62021-2
tanδ و مقاومت مخصوص	IEC 60247	محتوای بازدارنده‌ها	IEC 60666
رسوب و لجن	ضمیمه C از IEC 60422	کشش بین سطحی	ASTM D971 EN 14210
ذرات (تعداد و اندازه)	IEC 60970	پایداری در برابر اکسیداسیون	IEC 61125
نقطه اشتعال	ISO 2719	سازگاری	IEC 61125
نقطه ریزش	ISO 3016	چگالی	ISO 3675
گران‌روی	ISO 3104	PCB	IEC 61619
محتوای دی‌بنزیل دی‌سولفید (DBDS)	IEC 62697-1	محتوای منفعل‌کننده‌ها	ضمیمه B از IEC 60666:2010
سولفور خورنده	IEC 62535 ASTM D1275, Method B DIN 51353		

۱۰-۲-۲-

۱۰-۲-۳-

۱۰-۲-۴- جمع‌بندی آزمون‌های سالیانه و نحوه عیب‌یابی ترانسفورماتور انتقال بر اساس نتایج آزمون‌های روغن

بر اساس نظر استانداردهای مختلف [۳, ۴] و همچنین تجربیات داخلی و نظر متخصصان، زمان‌بندی انجام آزمون و انواع آزمون برای ترانسفورماتورها به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

آزمون‌های زیر بایستی برای همه ترانسفورماتورهای انتقال به صورت سالیانه انجام شوند:

- آزمون ولتاژ شکست
- مقدار رطوبت

- عدد اسیدیته
- کشش بین‌سطحی (IFT)

تبصره ۱: در صورتی که روغن ترانسفورماتور از روز اول دارای منفعل‌کننده (passivator) بوده است، آزمون محتوای منفعل‌کننده‌ها (passivator content) بایستی به صورت سالانه انجام شود.

برای ترانسفورماتورهای با سن بالای ۲۰ سال، آزمون فوران بایستی هر سه سال یک‌بار انجام شود.

تبصره ۲: آزمون‌های فوق حداقل آزمون‌هایی است که به صورت سالیانه توصیه می‌گردد. انجام سایر آزمون‌های تکمیلی منوط به نظر متخصصین است.

تبصره ۳: بازه زمانی که در بالا مشخص شده است مربوط به زمانی است که ترانسفورماتور فاقد مشکل است و همه مقادیر اندازه‌گیری‌شده در بازه‌ای که در جدول (۱-۳) مشخص شده است قرار دارند. در صورتی که مقادیر اندازه‌گیری‌شده آزمون‌ها از حد تعیین‌شده فراتر رود، بازه زمانی آزمون با نظر متخصصین مربوطه ممکن است کمتر اتخاذ شود. همچنین ممکن است آزمون‌های دیگری در مورد ترانسفورماتورهای مشکوک توسط مختصص الزام گردد.

حدود تعیین‌شده برای آزمون‌های فوق توسط استاندارد IEC 60422 که معیار کشور نیز می‌باشد، در جدول (۱-۳) داده شده است. در صورتی که همه مقادیر در محدوده قرار داشته باشند، وضعیت ترانسفورماتور عادی است.

تبصره ۴: در صورتی که نتایج هر یک از آزمون‌ها خارج از حد تعیین‌شده باشد، اولین اقدام انجام مجدد آزمون جهت اطمینان از نتیجه به دست آمده است. پیش از اطمینان از صحت نتیجه انجام اقدامات بعد ممکن است مفید نبوده و موجب هدررفت سرمایه شود.

در صورتی که نتایج آزمون‌ها خارج از حد تعیین‌شده باشد (و صحت نتیجه نیز توسط تکرار تایید شده باشد)، بایستی آزمون‌های تکمیلی انجام شود و بر اساس مجموع نتایج آزمون‌ها سعی در عیب‌یابی ترانسفورماتور صورت گیرد. انجام همه آزمون‌ها با یکدیگر ممکن است به جواب سریع‌تر منجر شود اما هزینه زیاد دارد. بهتر است که با توجه به وضعیت نتایج کسب‌شده آزمون‌های تکمیلی مناسب اتخاذ شود. جدول (۱-۳) راهنمای مناسبی برای آزمون‌های تکمیلی و همچنین اقدامات اصلاحی در صورت بالا بودن مقادیر هر یک از آزمون‌ها (ی اصلی و تکمیلی) ارائه می‌دهد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۱۰-۳- بازه‌های مربوط به آزمون‌های مختلف و اقدامات اصلاحی توصیه‌شده [۱] [۳].

آزمون	حدود توصیه‌شده الف، ب			اقدامات توصیه شده
	خوب	متوسط	ضعیف	
ولتاژ شکست (kV)	> 70	60 - 70	< 60	**خوب:** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه **متوسط:** نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر. سایر پارامترها نظیر رطوبت، محتوای ذرات و همچنین tanδ/مقاومت عایقی و عدد اسیدیته را بررسی کنید. **ضعیف:** تصفیه فیزیکی روغن. به عنوان جایگزین، اگر به دلیل اینکه سایر پارمترها پیری شدید روغن را نشان می‌دهند اقتصادی‌تر باشد، روغن را تعویض یا تصفیه شیمیایی کنید. فرآیند رطوبت‌زدایی (خشک‌کردن) نیز بایستی انجام گردد.
نکات: اکیدا توصیه می‌گردد که ولتاژ شکست روغن بعد از تصفیه فیزیکی به بالاتر از 70 kV برسد.				
مقدار رطوبت (mg/kg در دمای کاری ترانسفورماتور)	< 15	15 - 20	> 20	**خوب:** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه **متوسط:** نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر. سایر پارامترها نظیر ولتاژ شکست، محتوای ذرات و همچنین tanδ/مقاومت عایقی و عدد اسیدیته را بررسی کنید. **ضعیف:** منبع رطوبت را بیابید. تصفیه فیزیکی روغن. به عنوان جایگزین، اگر به دلیل اینکه سایر پارمترها پیری شدید روغن را نشان می‌دهند اقتصادی‌تر باشد، روغن را تعویض یا تصفیه شیمیایی کنید. فرآیند رطوبت‌زدایی نیز بایستی انجام گردد. در این حالت بایستی به میزان آبی در عایق جامد باقی می‌ماند توجه ویژه داشت.
نکات: مقدار مقدار رطوبت همیشه بایستی همراه با مقدار ولتاژ شکست در نظر گرفته شود. در صورتی که در مورد مقدار رطوبت شک وجود داشته باشد، گرفتن نمونه در دمای متفاوت از ترانسفورماتور توصیه می‌شود.				

[۱] این جدول از استاندارد IEC 60422 برداشته شده است اما با توجه به تجربه متخصصان بعضی از حدود آن متناسب با شرایط کشور تغییر داده شده است.

حدود قید شده مربوط به مقادیر آماری ۹۰٪ هستند. این حدود همچنین مربوط به دمای کاری ترانسفورماتور هستند. تعادل بین عایق جامد و مایع در دمای پایین‌تر از $40\ ^0C$ قابل اطمینان نیست. همچنین در ترانسفورماتورهای پربار با دمای روغن بالاتر از $70\ ^0C$ استفاده از فرآیند اصلاحی توضیح‌داده شده در بخش مربوط به مقدار رطوبت توصیه می‌شود.

بنابراین مقادیر داده شده در این جدول مربوط به زمانی است که روغن در دمای بین $40\ ^0C$ تا $70\ ^0C$ نمونه‌برداری شده است. در دمای پایین‌تر از $40\ ^0C$ استفاده از این مقادیر قابل اطمینان نیست و در بالاتر از $70\ ^0C$ رطوبت بایستی مطابق پیوست (الف) اصلاح گردیده و سپس مقایسه شود.

اسیدیته (mg_{KOH}/g_{oil})	< 0.10	0.1- 0.15	> 0.15	***خوب:*** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
				متوسط: نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر. وجود رسوب و لجن را بررسی کنید. در صورتی که روغن دارای بازدارنده باشد و به وضعیت متوسط رسیده باشد، این احتمال وجود دارد که مقاومت خود در برابر اکسیداسیون را از دست داده است.
				ضعیف: زمانی که مقدار اسیدیته از 0.15 فراتر می‌رود، تصمیمی بایستی اتخاذ شود که چه زمانی تصفیه شیمیایی انجام شود و یا در صورتی که اقتصادی‌تر باشد و بقیه آزمون‌ها نیز پیری شدید روغن را نشان دهند، روغن تعویض گردد.

کشش بین سطحی (mN/m)	روغن دارای بازدارنده			***خوب:*** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
	> 28	22 – 28	< 22	***متوسط:*** نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر.
	روغن بدون بازدارنده			***ضعیف:*** وجود رسوب و لجن را بررسی کنید.
	> 25	20 – 25	< 20	

رنگ و ظاهر	شفاف و بدون آلودگی قابل رویت		تیره و یا کدر (دارای ذرات)	تصمیم بایستی بر اساس سایر آزمون‌ها اتخاذ شود.
tanδ در $90\ ^0C$ در فرکانس 40 Hz تا 60 Hz (برحسب درصد)	< 10%	10 - 20%	> 20%	***خوب:*** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
				متوسط: نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر. سایر پارامترهای را کنترل کنید.
				ضعیف: روغن را تصفیه شیمیایی کنید. به عنوان جایگزین، اگر به دلیل اینکه سایر پارمترها پیری شدید روغن را نشان می‌دهند اقتصادی‌تر باشد، روغن را تعویض کنید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

مقاومت مخصوص ($G\Omega m$)	در دمای $20\ ^0C$			***خوب:*** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
	> 200	20 – 200	< 20	
	در دمای $90\ ^0C$			***متوسط:*** نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کمتر. سایر پارامترهای را کنترل کنید.
	> 10	3 – 10	< 3	***ضعیف:*** روغن را تصفیه شیمیایی کنید. به عنوان جایگزین، اگر به دلیل اینکه سایر پارمترها پیری شدید روغن را نشان می‌دهند اقتصادی‌تر باشد، روغن را تعویض کنید.

محتوای بازدارنده‌ها	بزرگ تر از ۶۰٪ مقدار اولیه	بین ۴۰ تا ۶۰٪ مقدار اولیه	کمتر از ۴۰٪ مقدار اولیه	***خوب:*** ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
				متوسط: (زمانی که اسیدیته کمتر از $0.08\ mg_{KOH}/g$ و کشش بین سطحی بزرگ‌تر از $28\ mN/m$ باشد) با استفاده از بازدارنده‌ها و بر اساس تجربیات، روغن را مجددا به سطح اول از بازدارنده‌ها برسانید.
				ضعیف: به استفاده از روغن و کنترل کیفیت آن مانند یک روغن بدون بازدارنده ادامه دهید. روغن را تصفیه شیمیایی کرده و یا تعویض کنید.
نکات: این موضوع مختص روغن‌های دارای بازدارنده است. با تولیدکننده روغن مشورت کنید.				

محتوای غیرفعال‌کننده‌ها (mg/kg)	> 70 و پایدار (نرخ کاهش کمتر از 10 mg/kg در سال)	50 – 70 یا < 70 با نرخ کاهش بزرگتر از 10 mg/kg در سال)	< 50 و با نرخ کاهش بزرگتر از 10 mg/kg در سال	***خوب:*** افزایش بازه زمانی اندازه‌گیری قابل قبول است.
				متوسط: ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
				ضعیف: منبع خورندگی را با تعویض روغن رفع کنید و یا با حذف ترکیبات خورنده به وسیله تصفیه مناسب روغن. به عنوان یک راه‌حل کوتاه‌مدت می‌توان مقدار غیرفعال‌کننده را حداقل تا حد 100 mg/kg افزایش داد.
نکات: روغن‌های با سن بالا، خصوصا روغن‌های فاقد بازدارنده، احتمال بالاتری در کاهش سریع غیرفعال‌کننده‌ها دارند.				

رسوب و لجن (%)	روغن بایستی فاقد رسوب یا لجن معلق باشد. مقادیر کمتر از 0.02 % وزنی قابل صرف‌نظر هستند.	در صورت وجود رسوب، روغن را تصفیه فیزیکی کنید. در صورت وجود لجن معلق، روغن را تصفیه شیمیایی کنید. در صورتی که اقتصادی‌تر است و سایر آزمون‌ها نیز دیکته می‌کنند، روغن را تعویض کنید.
نکات: آزمون را تنها زمانی انجام دهید که اسیدیته یا tanδ نزدیک به حدود تعیین‌شده هستند.		

سولفور خورنده	غیرخورنده		خورنده	در مورد روغن‌های خورنده: – تحلیل ریسک انجام دهید. – میزان خورندگی روغن را با افزودن غیرفعال‌کننده‌های روغن کاهش دهید (مثل مشتقات triazole) – منبع خورندگی را با تعویض روغن رفع کنید و یا با حذف ترکیبات خورنده به وسیله تصفیه مناسب روغن. (***پ*** را ببینید)
نکات: لزوم اقدامات اصلاحی بایستی به دقت با انجام تحلیل ریسک مشخص شود (بر اساس بروشور سیگره شماره ۳۷۸ سال ۲۰۰۹ [۵]). پس از غیرفعال‌کردن روغن، کنترل غلظت غیرفعال‌کننده به صورت منظم الزامی است. در صورتی که مقدار غیرفعال‌کننده به صورت مداوم در حال کاهش است، منبع خورندگی را مطابق با اقدامات اصلاحی رفع کنید.				

ذرات (تعداد و اندازه)	جدول (۱–۴) را ببینید.	در صورتی که ولتاژ شکست و مقدار رطوبت از حدود قابل قبول (محدوده خوب) تجاوز کند و تعداد ذرات برای هر ابعادی بزرگ‌تر از حد تعیین‌شده است، روغن را فیلتر کنید.
نکات: مقادیر ذرات بر اساس ارزیابی آماری مشخص شده است (جدول (۱–۴)).		

نقطه اشتعال	حداکثر کاهش ۱۰٪	تجهیز ممکن است نیاز به بازبینی داشته باشد. به بررسی بیشتر نیاز است.
نکات: آزمون معمول نیست. ممکن است زمانی که بوی غیرعادی پس از رخ دادن خطای داخلی یا پر کردن ترانسفورماتور استشمام شود نیاز به انجام این آزمون باشد.		

الف: مطمئن شوید که نمونه‌برداری به درستی انجام شده است و شیر نمونه‌برداری پیش از گرفتن نمونه مطابق دستورالعمل نمونه‌برداری تمیز شده باشد. همچنین دقت کنید که فاصله زمانی بین نمونه‌گیری و انجام آزمون در آزمایشگاه کوتاه (حداکثر سه روز) بوده باشد.

ب: هیچ اقدامی نبا ید تنها بر مبنای یک نتیجه و یک مشخصه انجام شود. همه نتایج بایستی با تکرار آزمایش تایید شوند خصوصا در حالتی که نتایج در مقایسه با نتایج قبلی متناقض به نظر برسد.

پ: در صورتی که نتیجه آزمون خورندگی مثبت باشد و DBDS هم در روغن موجود باشد، توصیه‌های بروشور سیگره شماره ۳۷۸ سال ۲۰۰۹ را برای اقدام اصلاحی مناسب دنبال کنید.

ت: در صورتی که روند افزایشی در ذرات مشاهده گردد ممکن است لازم شود تا ذرات فلزی و سایر اجزای حل‌شده در روغن مشخص شوند.

جدول (۱-۴): حدود معمول ذرات اندازه‌گیری شده در روغن ترانسفورماتورهای قدرت مطابق با **IEC 60970** [۳]

مطابق با کلاس‌های ISO 4406 سال ۱۹۹۹	مطابق با کلاس ISO 4406 سال ۱۹۸۷	حداکثر تعداد در هر 100 ml		تعیین آلودگی	نکات
		5 µm (برابر با 6 µm(c))	15 µm (برابر با 14 µm(c))		
تا 10/8/5	تا 8/5	250	32	آلودگی زمینه	تمیزی مورد نیاز برای ظروف نمونه‌برداری که با حلال تمیز پر شده باشند.
11/9/6 تا 13/10/7	9/6 تا 10/7	1 000	130	پایین	تمیزی روغن در هنگام آزمون‌های کارخانه‌ای و راه‌اندازی ترانسفورماتور
14/11/8 تا 17/15/12	11/8 تا 15/12	32 000	4 000	خوب	سطح آلودگی معمول برای ترانسفورماتورهای در حال کار
18/16/13 تا 19/17/14	16/13 تا 17/14	130 000	16 000	متوسط	سطح آلودگی که در تعداد قابل توجهی از ترانسفورماتورهای در حال کار دیده می‌شود.
20/18/15 و بالاتر	18/15 و بالاتر			ضعیف	سطح آلودگی نادر که به طور معمول نشان‌گر وضعیت غیرعادی در تجهیز است.

در عمل، مقادیر مربوط به حالت خوب و متوسط مربوط به ترانسفورماتور در حال کار می شود و دو سطر اول در یک ترانسفورماتور در حال کار وجود ندارد.

اعداد ستون اول و دوم، کلاس‌های تعریف‌شده در ISO هستند.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۲-۵- شاخص کیفیت روغن

شاخص کیفیت روغن (OQIN[1]) که به صورت کشش سطحی تقسیم‌بر عدد اسیدیته تعریف می‌شود می‌تواند برای ارزیابی کیفیت روغن نیز استفاده شود. این ضریب به عنوان شاخص اکسیداسیون و شاخص عددی مایر هم شناخته می‌شود. جدول (۱-۵) رتبه‌بندی وضعیت روغن را بر اساس این شاخص نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۴- حدود شاخص کیفیت روغن [۶, ۷].

وضعیت روغن	محدود شاخص کیفیت
خوب	300 – 1500
تقریبا خوب	271 – 600
مرزی (متوسط)	160 – 318
بد	45 – 159
خیلی بد	22 – 44
به‌شدت بد	6 – 21

لازم به ذکر است که این شاخص در بروشور سیگره بدون ذکر محدوده مورد اشاره قرار گرفته است و علت آن نیز در بخش مربوط به کشش سطحی این گزارش بیان شده است. محدوده این شاخص هنوز در هیچ یک از استانداردها آورده نشده است و صرفا جنبه کمکی دارد.

۱۰-۲-۶- شرح آزمون‌های مختلف روغن

۱۰-۲-۶-۱- ولتاژ شکست

ولتاژ شکست توانایی روغن در تحمل میدان را مشخص می‌کند و برای کارکرد درست تجهیز اولویت اصلی است. ولتاژ شکست به دمای نمونه‌برداری به شدت وابسته است [۳]. مقدار ولتاژ شکست روغن تنها در صورتی

[1] Oil Quality Index Number

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

دارای اهمیت است که روغن در دمای کاری ترانسفورماتور نمونه‌برداری شده باشد. اگر دمای روغن هنگام نمونه‌گیری کمتر از $20\ ^0C$ باشد و در هنگام آزمون، دمای نمونه روغن به بالاتر از $20\ ^0C$ رسیده باشد، نتایجی که از ترانسفورماتور به دست می‌آید خوش‌بینانه است (نتایج بالاتر از مقدار واقعی).

روغن تمیز و خشک به صورت ذاتی ولتاژ شکست بالایی دارد. آب آزاد و ذرات جامد خصوصا در حضور رطوبت می‌توانند باعث کاهش ولتاژ شکست شوند. علت آن است که ذرات جامد با جذب رطوبت تا حد مناسبی هادی می‌شوند و سپس به دلیل ضریب گذردهی نسبی بالای آب جذب نقاط با ولتاژ بالا می‌شوند. سپس به دلیل هدایت، نقاط با میدان شدید را جابه‌جا کرده به نحوی که ذرات مانند یک قطار کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. در صورتی که این ذرات به طور کامل مابین دو الکترود قرار گیرند باعث شکست روغن می‌شوند. با توجه به موضوعات بالا می‌توان گفت که اندازه‌گیری ولتاژ شکست در وهله اول نشان دهنده حضور آلودگی نظیر رطوبت و ذرات است. مقدار ولتاژ شکست پایین می‌تواند نشان‌دهنده حضور آلودگی باشد هرچند مقدار بالای ولتاژ شکست الزاما به معنای عدم وجود آلودگی‌ها نیست.

مطابق IEC 60422 ولتاژ شکست واحدهای رزرو که مدت‌ها از مدار خارج بوده‌اند بایستی در فواصل کوتاه‌تر تحت نظارت و بررسی قرار گیرد تا زمانی که ترانسفورماتور به حالت پایدار خود برسد.

۱۰-۲-۶-۲- مقدار رطوبت

بسته به دما و میزان رطوبت و وضعیت روغن، رطوبت می‌تواند بر ولتاژ شکست روغن، عایق جامد و همچنین نرخ پیری عایق جامد و مایع تاثیر بگذارد. به همین دلیل رطوبت تاثیر مهمی بر وضعیت عملکرد ترانسفورماتور و عمر آن دارد. مراجع عمده رطوبت عبارتند از: ورود رطوبت از جو و همچنین تخریب و پیری عایق. رطوبت به دو شکل در روغن ترانسفورماتور یافت می‌شود: به شکل محلول در روغن و به صورت آب هیدارت دارای پیوند با مولکول‌های قطبی. ذرات فیبرگونه سلولزی نیز می‌توانند با رطوبت پیوند برقرار کنند.

تغییر اندک دما می‌تواند میزان محتوای آب حل‌شده در روغن را به شدت تغییر دهد در حالی که تاثیر اندکی بر میزان آب موجود در عایق کاغذی دارد. به همین دلیل، برای مقایسه ترانسفورماتورهای مختلف از نظر میزان رطوبت و یا برای تعیین روند تغییرات رطوبت، لازم است که مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده به یک دمای خاص اصلاح شود. این دما به دلایل عملی برابر 20^0C انتخاب شده است. نبایستی فراموش کرد که در صورت عدم وجود تعادل بین کاغذ و رطوبت، نمی‌توان از میزان رطوبت روغن به رطوبت موجود در کاغذ رسید.

علی‌رغم آن‌چه که در بالا گفته شد برای رسیدن به نتایج معنی‌دار در هنگام پیداکردن روند افزایش یا کاهش مقدار رطوبت، ترانسفورماتور بایستی در حال کار باشد و پیش از گرفتن نمونه به تعادل رطوبتی رسیده باشد. همچنین، نمونه‌گیری در دماهای مختلف و تحلیل همزمان ولتاژ شکست و مقدار رطوبت اطلاعات بیشتری در مورد وضعیت رطوبت ترانسفورماتور به دست می‌دهد [۳]. به عنوان آخرین نکته بایستی توجه داشت که

استفاده از روش پاسخ فرکانسی عایق (طیف‌سنجی حوزه فرکانس FDS[1]) به نتایج معتبرتری در مورد رطوبت موجود در کاغذ منجر خواهد شد. در مورد آزمون FDS به صورت مجزا توضیح داده خواهد شد.

۱۰-۲-۶-۳- عدد اسیدی یا اسیدیته

اکسیداسیون روغن باعث تولید محصولات اسیدی شده و به تدریج عدد اسیدی روغن افزایش می‌یابد. اسیدها و سایر محصولات جانبی اکسیداسیون، همراه با آب و آلودگی‌های جامد، بر روی مشخصات عایقی و همچنین سایر مشخصات روغن تاثیر گذاشته و باعث افزایش نرخ تخریب عایق کاغذی نیز می‌شوند. همچنین اسیدها می‌تواند باعث خوردگی قسمت‌های فلزی در ترانسفورماتور شوند [۳]. نرخ افزایش اسیدیته روغن در حال کار می‌تواند نشان‌گر مناسبی برای تعیین شدت پیری روغن باشد. اگر روغن وارد مراحل پیشرفته پیری شده باشد اسیدیته بالاتر از 0.1 mg/g خواهد بود [۱]. کشش بین سطحی نشان‌گر حساس‌تری در مراحل اولیه پیری روغن است. معمولا عدد اسیدی به عنوان یک راهنمای کلی برای تعیین زمان تعویض یا تصفیه شیمیایی روغن به کار می‌رود. اما زمانی که عدد اسیدی به 0.1 mg/g رسیده باشد، کاغذ نیز از پیری روغن تاثیر پذیرفته است که اثر آن در عدد پلیمریزاسیون عایق کاغذی دیده می‌شود. به بیان دیگر ممکن است زمانی که عدد اسیدی به حدی می‌رسد که نشان‌گر مناسبی باشد، عایق کاغذی آسیب دیده باشد. به همین دلیل معمولا کشش بین سطحی، مراحل اولیه پیری را بهتر نشان می‌دهد.

در مورد روغن‌های دارای بازدارنده، در صورتی که مقدار بازدارنده کافی باشند نبایستی افزایشی در مقدار اسیدیته دیده شود.

۱۰-۲-۶-۴- کشش بین سطحی[2]

کشش بین سطحی (IFT[2]) بین روغن و آب روشی برای تعیین میزان آلودگی‌های قطبی حل‌شونده و محصولات جانبی پیری روغن است. این مشخصه در مراحل اولیه پیری تقریبا سریع تغییر می‌کند اما زمانی که پیری در مرحله میانی است تغییرات آن کند می‌شود. لذا به عنوان نشان‌گر پیری در مراحل اولیه، کشش بین سطحی بر سایر روش‌ها ترجیح دارد. در نقطه مقابل، اسیدیته در مراحل اولیه به کندی تغییر می‌کند اما در مراحل نهایی تغییرات سریعی دارد. با توجه به این که این دو نشان‌گر به صورت مکمل عمل می‌کنند یک شاخص اکسیداسیون یا OQIN تعریف می‌شود که برابر مقدار کشش بین سطحی تقسیم‌بر مقدار اسیدیته است. شاخص اکسیداسیون، شاخص مفیدتری است چرا که این شاخص با پیری روغن تناسب بیشتری دارد. برای ترانسفورماتورهای پربار، تخریب و پیری مواد با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و از IFT می‌توان به عنوان ابزاری برای تشخیص پیری استفاده کرد.

---

[1] Dielectric frequency response – Frequency domain spectroscopy (FDS)

[2] Interfacial Tension

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

لازم به ذکر است که گرچه آزمون IFT در استاندارد به عنوان آزمون‌های تکمیلی معرفی شده است اما با توجه به اینکه مراحل اولیه پیری روغن را نشان می‌دهد و همچنین می‌تواند تاییدی بر صحت یا خطای آزمون اسیدیته باشد، از این جهت با پیشنهاد متخصصان در زمره آزمون‌های روتین روغن قرار داده شده است.

در تفسیر نتایج IFT بایستی جانب احتیاط حفظ شود. تغییر سریع IFT می‌تواند نشانه‌ای از مشکلات سازگاری بین روغن و برخی از مواد درون ترانسفورماتور مثل واشرها یا ناشی از آلودگی تصادفی در هنگام پر کردن روغن باشد. جهت کنترل این موارد می‌توان سایر پارامترهای روغن نظیر مشخصات الکتریکی را اندازه‌گیری کرد.

در مورد تراز سفورماتورهای پربار، تخریب مواد سریع‌تر است و کشش بین سطحی ابزاری برای تشخیص این تخریب محسوب می‌شود.

۱۰-۲-۶-۵- رنگ و ظاهر روغن

تغییر رنگ روغن می‌تواند نشانه مستقیمی از آلودگی روغن باشد. همچنین تغییر رنگ به طور معمول ناشی از اکسیداسیون روغن است. علاوه بر دو مورد فوق، وجود ذرات کربن نیز باعث تیره‌شدن روغن می‌شوند. بنابراین، توجه به رنگ روغن یکی از ساده‌ترین کنترل‌هایی است که می‌تواند برخی از عوامل پیش‌گفته را آشکار سازد.

در صورتی که ظاهر روغن به صورت ابرآلود و یا دارای ذرات باشد، می‌تواند نشانه‌ای از آب آزاد، لجن غیرمحلول، ذرات کربن، ذرات الیاف گونه و یا سایر آلودگی‌ها باشد.

۱۰-۲-۶-۶- تانژانت دلتا و مقاومت مخصوص

این دو پارامتر به حضور آلودگی‌های قطبی قابل حل و محصولات ناشی از پیری روغن بسیار حساس هستند. تغییرات در میزان آلودگی‌ها می‌تواند با اندازه‌گیری این دو پارامتر کنترل شود حتی اگر مقدار آلودگی بسیار کم باشد. مقدار $\tan\delta$ بالا می‌تواند نشان‌گر حضور محصولات اکسیداسیون، رطوبت و یا ذرات هادی باشد. واضح است که افزایش مقدار $\tan\delta$ یا کاهش مقاومت مخصوص روغن بر روی $\tan\delta$ یا مقاومت مخصوص ترانسفورماتور نیز تاثیر می‌گذارد. معمولا لازم نیست که هر دو آزمون $\tan\delta$ و مقاومت مخصوص بر روی روغن انجام شود و از بین این دو آزمون $\tan\delta$ معمول‌تر است. البته سیگره قید می‌کند که در هنگام تصفیه و بازیابی روغن، مقاومت مخصوص در مقایسه با کشش بین سطحی، اسیدیته و ضریب تلفات عایقی کندترین و آخرین پارامتری است که به مقدار قابل قبول افزایش می‌یابد.

مقاومت مخصوص و $\tan\delta$ به دما وابسته هستند و بایستی به یک مقدار دمایی اصلاح شوند. در صورت اندازه‌گیری مقاومت مخصوص یا $\tan\delta$ در دمای پایین یعنی دمای محیط و یک دمای بالاتر نظیر $90\ ^0C$ اطلاعات بیشتری در مورد وضعیت روغن قابل استخراج است. مطابق IEC 60422 در صورتی که مقدار $\tan\delta$ هم در دمای $90\ ^0C$ و هم در دمای محیط مناسب باشد، وضعیت روغن خوب است. در صورتی که مقدار $\tan\delta$

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

در $90\ ^0C$ مناسب بوده و در دمای محیط مقدار قابل قبولی نداشته باشد، روغن وضعیت ضعیفی دارد. در صورتی که مقدار $\tan\delta$ در هر دو دما مناسب نباشد، می‌تواند نشان‌گر آلودگی شدید روغن باشد.

۱۰-۲-۶-۷- پایداری در برابر اکسیداسیون

پایداری در برابر اکسیداسیون توانایی روغن در به تعویق انداختن اکسیداسیون است زمانی که به صورت همزمان در معرض اکسیژن، تنش حرارتی و یک کاتالیزور مس قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری پایداری اطلاعات کلی در مورد تخمین عمر روغن در اختیار می‌گذارد. این مشخصه به صورت مقاومت در برابر تشکیل ترکیبات اسیدی، لجن و ترکیبات آن و مقاومت در برابر تغییر $\tan\delta$ تحت شرایط مشخص تعریف می‌شود.

پایداری در برابر اکسیداسیون می‌تواند مطابق روش C در استاندارد IEC 61125:1992 تعیین شود. البته بایستی توجه کرد که حدود تعیین‌شده در این استاندارد مربوط به پایداری روغن‌های نو هستند و تفسیر نتایج مربوط به روغن‌های کارکرده ممکن است سخت باشد. پایداری در برابر اکسیداسیون گاهی به عنوان آزمون برای روغن‌های نو پیش از برق‌دار کردن ترانسفورماتور توصیه می‌شود.

این مشخصه به طور عمده به فرآیند پالایش روغن بستگی دارد. روغن به صورت طبیعی ترکیباتی دارد که به عنوان بازدارنده در برابر اکسیداسیون عمل می‌کنند. روغن‌هایی که تنها بازدارنده‌های طبیعی دارند به عنوان روغن‌های بدون بازدارنده[1] دسته‌بندی می‌شوند. در نقطه مقابل، بازدارنده‌های مصنوعی نیز می‌توانند به روغن اضافه شوند تا پایداری در مقابل اکسیداسیون را افزایش دهند. در روغن ترانسفورماتور به طور عمده از بازدارنده‌های گروه فنول استفاده می‌شود و عمده‌ترین بازدارنده‌ها DBPC[2] و DBP[3] هستند. البته باید توجه داشت که میزان تاثیر بازدارنده‌ها با ترکیب شیمیایی پایه روغن تغییر می‌کند.

روغن‌های دارای بازدارنده روند اکسیداسیون متفاوتی نسبت به روغن‌های بدون بازدارنده دارند. در روغن‌های دارای بازدارنده و در ابتدای عمر کاری، ترکیبات بازدارنده مصرف می‌شوند اما مقدار کمی محصولات اکسیداسیون تولید می‌شود. پس از مصرف بازدارنده‌ها، شدت اکسیداسیون به طور عمده با پایداری روغن پایه در برابر اکسیداسیون تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه هم فرآیند پیری و هم تصفیه روغن می‌توانند میزان بازدارنده‌ها را کم کنند، توصیه می‌شود که میزان بازدارنده‌ها پس از هر بار تصفیه روغن حتما کنترل شود [۱]. روش مرجع برای پایش مصرف

[1] Uninhibited Oil

[2] 2,6-di-tert-butyl-paracresol

[3] 2,6-di-tert-butyl-phenol

بازدارنده‌ها اندازه‌گیری میزان غلظت آن‌ها بر اساس IEC 60666 است. مقدار بازدارنده‌ها نیز بایستی در فواصل زمانی منظم کنترل شود. این فواصل به دمای کاری ترانسفورماتور و میزان بار آن بستگی دارد.

۱۰-۲-۶-۸- رسوب و لجن

رسوب مواد غیر محلولی هستند که در روغن حضور دارند. رسوبات شامل موارد زیر هستند:

۱- محصولات اکسیداسیون و پیری مواد عایقی جامد و مایع

۲- ذرات جامدی که از ترانسفورماتور به روغن وارد می‌شود مثل کربن، فلز و اکسیدهای فلزی

۳- فیبرها و سایر مواد خارجی که می‌تواند منشا متفاوتی داشته باشد.

لجن نیز که قبلا توضیح داده شد، محصول نهایی پیری عایق‌های جامد و مایع است که از پلیمریزاسیون روغن ایجاد می‌شود. لجن تا حدی در روغن حل می‌شود که به مشخصات روغن و دمای آن بستگی دارد. در بالاتر از مقدار اشباع، لجن ته‌نشین شده و به رسوبات اضافه می‌شود. لجن و رسوبات می‌توانند مشخصات الکتریکی روغن را تحت تاثیر قرار داده و یا باعث کاهش میزان خنک‌کنندگی ترانسفورماتور شوند و بدین ترتیب نرخ تخریب حرارتی مواد عایقی را افزایش دهند. معمولا توصیه می‌شود که میزان رسوب و لجن پیش از ارسال نمونه روغن برای فرآیند اکسیداسیون اندازه‌گیری شود.

۱۰-۲-۶-۹- تعداد ذرات

حضور ذرات در روغن ممکن است منشاءهای متفاوتی داشته باشد. خود ترانسفورماتور ممکن است از فرآیند ساخت دارای ذرات باشد و یا روغن ممکن است در اثر حمل و نقل یا انبارش نادرست دارای ذرات شده باشد. خوردگی و پیری روغن و مواد جامد می‌تواند ذراتی را در طول عملکرد ترانسفورماتور ایجاد کند. اضافه‌حرارت نقطه‌ای بالاتر از $500\ ^0C$ می‌توان ذرات کربن تولید کند. ذرات کربن تولیدشده در تپ‌چنجر نیز ممکن است به دلیل نشتی به روغن اصلی وارد شده و آن را آلوده کنند. یکی از منابع معمول ذرات فلزی، خوردگی یاتاقان‌های پمپ روغن است.

میزان تاثیر ذرات معلق بر روی استقامت عایقی روغن به طبیعت آن‌ها (فلز، فیبر یا لجن) و میزان مقدار رطوبت بستگی دارد. در مورد ذرات معلق بسیار مهم است که فرآیند نمونه‌برداری روغن به دقت انجام شود چرا که نمونه‌های روغن می‌تواند در هنگام نمونه‌گیری از ترانسفورماتور آلوده شود.

برخی از عیوب ترانسفورماتورهای قدرت در گذشته به ذرات نسبت داده شده است [۳]. اندازه‌گیری ولتاژ شکست به تنهایی برای تشخیص مشکل کافی نیست و لذا اندازه‌گیری محتوای ذرات در برخی مراجع توصیه شده است [۸, ۹].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۲-۶-۱۰- نقطه اشتعال

دمای نقطه اشتعال روغن ممکن است در اثر تخلیه الکتریکی در روغن و یا تحمل دماهای خیلی بالا به مدت طولانی کاهش یابد. در حقیقت کاهش نقطه اشتعال نتیجه تولید مقادیر قابل توجه هیدروکربن‌های با وزن مولکولی سبک در حین شکست الکتریکی روغن است. البته ورود حلال‌های سبک نیز می‌تواند باعث کاهش نقطه اشتعال شود.

۱۰-۲-۶-۱۱- نقطه ریزش

اندازه‌گیری نقطه ریزش در جهت تعیین توانایی روغن در جاری‌شدن در دماهای پایین انجام می‌شود. شواهدی در راستای اینکه این پارامتر از پیری معمول روغن تاثیر می‌پذیرد وجود ندارد. تغییرات در نقطه ریزش به طور معمول به عنوان نتیجه سرریز با روغنی از نوع متفاوت تعبیر می‌شود.

۱۰-۲-۶-۱۲- چگالی

چگالی می‌تواند برای تعیین نوع روغن مفید باشد. در نواحی سرد، چگالی روغن می‌تواند برای مشخص کردن اینکه آیا روغن برای کار در شرایط آن محیط مناسب است یا خیر مفید باشد. با این وجود، چگالی عامل مهمی در مقایسه کیفیت نمونه‌های متفاوت روغن نیست. همچنین شواهدی وجود ندارد که نشان دهد چگالی از پیری معمول روغن تاثیر می‌پذیرد. چگالی مایع عایقی معمولا نسبت به چگالی آب سنجیده می‌شود و به آن چگالی نسبی یا وزن مخصوص[1] می‌گویند. وزن مخصوص می‌تواند نشان‌گر نوع روغن باشد و یا نشان دهد که روغن به شدت با یک مایع دیگر آلوده شده است.

۱۰-۲-۶-۱۳- گران‌روی

گران‌روی یک عامل کنترلی مهم در انتقال حرارت روغن است. گران‌روی روغن تمایل دارد که با پیری و اکسیداسیون روغن افزایش یابد. البته باید دانست که پیری و اکسیداسیون طبیعی روغن اثر قابل توجهی بر گران‌روی ندارد. تنها در شرایط تخلیه کرونای شدید و اکسیداسیون شدید است که ممکن است افزایش گران‌روی رخ دهد. گران‌روی همچنین به دما وابسته است.

[1] Specific gravity

۱۰-۲-۶-۱۴- PCB

PCB یک ماده پایدار است که مشخصات الکتریکی و حرارتی مناسبی دارد. استفاده از این ماده به دلیل مشکلات زیستی از ۱۹۸۶ ممنوع اعلام شد. محتوای PCB در روغن نو بایستی اندازه‌گیری شود تا تایید شود که روغن بدون PCB است. همچنین در صورتی که احتمال آلودگی روغن به دلیل مثلا استفاده از دستگاه تصفیه مشترک داده شود، آزمایش PCB بایستی انجام شده و در صورتی که مقدار آن از حد تعیین‌شده بیشتر باشد، بایستی اقدام مناسب جهت تصفیه صورت گیرد. همچنین آزمون PCB بایستی بر روی روغن نو انجام شود تا اطمینان حاصل شود که روغن آلوده به PCB نیست.

۱۰-۲-۶-۱۵- خورنده‌ها و غیرفعال کننده‌ها

تجربیات بین‌المللی نشان داده‌اند که در شرایط خاص مثل دمای کاری بالا، بار زیاد و اکسیژن کم (تجهیزات آب‌بندی‌شده) ممکن است سولفید مس (Cu_2S) در عایق جامد ایجاد شود. وجود این ترکیب هادی می‌تواند باعث بروز عیب در ترانسفورماتور شود. روش آزمون جدیدی در IEC 62535 پیشنهاد شده است که تشخیص سولفور بالقوه خورنده نام گرفته است و برای تعیین وجود Cu_2S در ترانسفورماتور استفاده می‌شود. همچنین DBDS نیز دارای خاصیت خورندگی نسبت به سطوح مسی در دمای معمول کاری ترانسفورماتور است و ممکن است در شرایط خاصی باعث ایجاد سولفید مس شود. در میان ترکیبات خورنده مس، DBDS اصلی‌ترین نقش را در مشکل خورندگی دارد.

ا ضافه کردن غیرفعال‌کننده فلز یک روش برای کاهش خطر سولفور خورنده ا ست. مقدار معمول 100 mg/kg (0.01% وزنی) غیرفعال کننده برای جلوگیری از واکنش مس با سولفور خورنده به روغن اضافه می‌شود. غیرفعال‌کننده‌ها علاوه بر کنترل واکنش‌های سولفور خورنده در بهبود پایداری در برابر اکسیدا سیون نیز نقش دارند. میزان غیرفعال‌کننده‌ها بایستی به صورت منظم در طول دوره کار ترانسفورماتور کنترل شود.

۱۰-۳- بازبینی ظاهری

۱۰-۳-۱- مقدمه

منظور از بازبینی ظاهری ترانسفورماتور، بازرسی بیرون آن به منظور کنترل وضعیت آن است. بازبینی ظاهری اطلاعات مهمی در مورد وضعیت ترانسفورماتور به دست می‌دهد. برای مثال، شیرهایی که در وضعیت اشتباه قرار گرفته‌اند، رادیاتورهای دارای مشکل، مشکل در نشان‌گرهای دما و سطح روغن و همچنین پمپ‌ها و فن‌های با نویز بالا. نشتی روغن که می‌تواند به آلودگی محیط زیست و از دست رفتن عایق ترانسفورماتور منجر شود

در بازبینی ظاهری دیده می‌شود. در این بخش به مهم‌ترین نکاتی که در بازبینی ظاهری بایستی به آن توجه کرد پرداخته می‌شود. بسیار مهم است که پرسنل در جهت انجام یک بازبینی موثر آموزش ببینند و دارای تخصص شوند.

لازم به ذکر است که در هنگام انجام بازبینی، دفتر ثبت دما، جریان، فشار و ... را نیز بررسی کرده و اطمینان حاصل کنید که ثبت داده‌ها به درستی در حال انجام است. عدم تغییر دما یا فشار به صورت فصلی یا در طول شبانه‌روز می‌تواند نشانه‌ای از خرابی سنسور مربوطه باشد و بایستی مشخص گردد [۱۰].

۱۰-۳-۲- تانک ترانسفورماتور، اتصالات و واشرها

ترانسفورماتور را جهت مشاهده نشتی روغن بررسی کنید. نشتی روغن می‌تواند در اثر خرابی واشرها باشد. خصوصا در زمانی که ترانسفورماتور سرد می‌شود، واشرها ممکن است منقبض شوند. چنین نشتی‌هایی می‌توانند با استفاده از موادی مانند اپوکسی رفع شوند. در این موارد بایستی با افراد خبره و در صورت امکان سازنده مشورت شود. در صورت مشاهده نشتی روغن به نشان‌گر سطح روغن جهت اطمینان از وجود روغن کافی در کنسرواتور نیز توجه کنید.

همچنین بدنه را برای پیدا کردن قسمت‌هایی که به شدت خورده شده‌اند و یا دارای زنگ‌زدگی هستند بازبینی کنید. به قسمت‌های پایینی بدنه توجه بیشتری کنید. در قسمت‌های که خورده شده‌اند بایستی بعد از پاکسازی محل خوردگی به تشخیص میزان خوردگی و ضخامت لایه از بین رفته اقدام نمود. بر این اساس و بسته به معیارهای استانداردهای مرتبط با نوع پوشش بدنه، بایستی نسبت به برس سیمی و رنگ دوباره و یا تعویض تانک اقدام نمود.

وضعیت رنگ تانک و قسمت‌های دیگر را خصوصا در قسمت اتصالات جوش داده شده بررسی کنید. در صورت مشاهده خرابی رنگ و یا تَرَک، اقدامات اصلاحی بایستی انجام گردد.

پیچ‌های در دسترس قسمت‌های مختلف را بررسی کنید. در صورتی که پیچ‌ها شل شده باشند بایستی مجددا محکم شوند.

سیم اتصال زمین را بررسی کنید. در صورتی که خوردگی بر روی سیم مشخص باشد، بایستی اقدامات لازم جهت ترمیم یا تعویض آن انجام شود.

به رنگ اتصالات مختلف در بیرون ترانسفورماتور توجه کنید. تغییر رنگ می‌تواند نشانه افزایش دمای موضعی باشد. در این حالت، علت اضافه دما بایستی مشخص شده و رفع گردد [۱۱].

کانال سیم‌ها و کابل‌ها را جهت اطمینان از محکم بودن خود کانال و سیم و کابل‌ها کنترل کنید. همچنین مسیرهای کابل که آب‌بندی هستند بایستی فاقد رطوبت باشند [۳].

از سالم‌بودن واشرها اطمینان حاصل کنید. واشرهایی که دارای ترک‌خوردگی و پوسیدگی هستند بایستی تعویض شوند. در هنگام تعویض واشر، دستورالعمل سازنده بایستی دنبال گردد. از به کار بردن واشرهای قدیمی پرهیز کنید. شش ماه بعد از تعویض واشر مجددا آن را بررسی کنید تا از مناسب بودن اتصال اطمینان حاصل شود [۳].

در مورد تانک ترانسفورماتور موارد زیر را نیز کنترل کنید:

- کنترل چرخ های ترانسفورماتور (در صورت نصب‌بودن)، گریس کاری آنها در صورت لزوم و کنترل عامل نگهدارنده چرخ‌ها
- کنترل وضعیت ریل و فونداسیون از نظر ترک و شکستگی یا نشست
- کنترل پیچ و مهره‌ها یا کفشک‌های نگهدارنده و سایر تجهیزاتی که در جهت استحکام ترانسفورماتور در برابر زلزله نصب شده‌اند
- کنترل تراز بودن ترانس
- کنترل صدا و لرزش

در ارتباط با معیارهای لرزش و صدا، استانداردهای توانیر و ملاک های اندازه گیری آن بر حسب شرایط نصب، نوع پست، نزدیکی یا دوری از مناطق شهری و ... توصیه می گردد. مطابق این استاندارد، معیار اندازه گیری شدت صدای ترانسفرمر در حالت های مختلف بارگیری قابل استخراج می باشد: اعم از روشن یا خاموش بودن فن ها، پمپ های سیستم های کولینگ، برق دار کردن ترانسفورماتور در حالت بی باری، بارگیری کامل در حالت های هارمونیکی و معمولی شبکه و یا بعضا اضافه بارگیری های ناگهانی و یا بعد از تعمیرات اساسی و یا جابجایی ترانسفورماتور در محل نصب.

۱۰-۳-۳- جعبه ترمینال

۱- جعبه ترمینال، جعبه‌های کنترل و جعبه رله‌ها جهت مشاهده شبنم یا قطره آب کنترل کنید. در صورت مشاهده به کمک یک دستمال پارچه‌ای تمیزِ خشک، درون محفظه را خشک کرده و عملکرد درست گرم‌کننده‌های درون جعبه‌ها را بررسی کنید.

۲- آب‌بندی همه جعبه ترمینال‌ها را در مقابل ورود آب بررسی کنید. محکم بودن اتصالات و کابل‌های رابط را نیز کنترل کنید.

۳- داخل جعبه ترمینال را جهت یافتن خوردگی بررسی کنید [۱۲]. خوردگی در صورت وجود بایستی با برس سیمی تراشیده شده و مجددا رنگ‌آمیزی شود.

۴- در جعبه ترمینال‌ها همه کلیدها، قسمت‌های ارسال فرمان و چراغ‌ها را مطابق نقشه یک به یک فعال کرده و از عملکرد درست آن‌ها اطمینان حاصل کنید. تیغه کنتاکت‌ها را در صورت نیاز تعمیر یا تعویض کنید.

۵- کابل‌ها و سیم‌ها را از نظر خوردگی و زدگی بررسی کنید.

۶- داخل تابلو، ترمینال‌ها و اتصالات را از گرد و غبار و زنگ پاک کنید.

۷- باکس کابل (cable box) سیم‌پیچ سوم بایستی مجهز به رطوبت‌گیر (سیلیکاژل) باشد. اگر سیم‌پیچ سوم فاقد باکس است و از آن استفاده نیز نمی‌شود، سربوشینگ‌ها بایستی با نوار Raychem تا بشقاب دوم زیر سوزنی عایق‌پیچی شود تا فواصل عایقی به درستی رعایت شود.

۱۰-۳-۴- رله فشارشکن

گاهی به دلیل خطای داخلی و خصوصا در هنگام بروز قوس، روغن اطراف سیم‌پیچ تبخیر شده و با تولید حجم قابل توجهی از گاز، فشار درون ترانسفورماتور افزایش قابل توجهی خواهد یافت. در صورتی که این فشار تخلیه نشود تانک ترانسفورماتور ممکن است دچار پارگی شده و روغن به بیرون بریزد. رله فشارشکن وظیفه تخلیه فشار در چنین حالتی و همچنین خروج ترانسفورماتور از مدار را بر عهده دارد. در مورد رله فشارشکن موارد زیر بایستی مدنظر باشد:

هر سال در هنگام آزمون‌های دوره‌ای و همچنین در اولین فرصت پس از عبور جریان اتصال کوتاه از ترانسفورماتور (خطای داخلی یا خارجی) رله فشارشکن را بررسی کنید که آیا عملکرد داشته است یا خیر. کنترل رله فشارشکن بایستی از ارتفاع انجام شود چرا که عملکرد آن ممکن است از زمین قابل رویت نباشد. کنترل رله فشارشکن بایستی زمانی انجام شود که ترانسفورماتور بی‌برق است.

هر سال مدار تریپ را به صورت دستی کنترل کنید. بررسی کنید که با فعال‌سازی مدار، فرمان قطع به قسمت درست ارسال می‌شود.

در صورتی که هنگام کار، رله فشارشکن عملکرد داشته باشد اکیداً نبایستی ترانسفورماتور را برق‌دار کرد. تا زمانی که آزمون‌های مفصل جهت تعیین علت عملکرد و رفع موارد مربوطه انجام نشده باشد برق‌دار کردن ترانسفورماتور ممنوع است. این کار ممکن است انفجار و عیب ترانسفورماتور را در پی داشته باشد.

هر سه سال در هنگام انجام آزمون‌های دوره‌ای اطراف رله فشارشکن را جهت پیدا کردن نشتی روغن بررسی کنید. در صورتی که نشتی روغن موجود باشد، رله فشارشکن در حال نشت است و بایستی نشتی روغن برطرف شود.

در صورتی که رله فشارشکن رنگ شده باشد، بایستی در اولین خروج ترانسفورماتور از مدار عملکرد آن کنترل شود. هنگامی که رله رنگ خورده باشد، ممکن است میله‌ای که قرار است حرکت کند و با حرکت خود راه خروج گاز با فشاربالا را به بیرون تانک باز کند، به دلیل رنگ به قسمت رله چسبیده باشد و حرکت نکند. بهتر است کنترل شود که آیا با فشار دست میله در حد $1 - 2\ mm$ حرکت دارد یا خیر. در مورد رله‌های فشارشکنی که بالاتر از ۳۰ سال عمر دارند، توصیه می‌شوند که رله تعویض شود.

۱۰-۳-۵- رله بوخهلتس

سالیانه موارد زیر را کنترل کنید:

۱- شیر ارتباط رله بوخهلتس را بررسی کنید که باز باشد.

۲- با بلند کردن درپوش دریچه رله، مقدار گاز درون آن را بررسی کنید. در صورتی که گاز به اندازه کافی جمع شده باشد بایستی فرمان آلارم پیش‌تر فعال شده باشد. در صورتی که ترانسفورماتور مدت‌زمانی در حال کار بوده است و گاز در رله بوخهلتس به اندازه‌ای تولید شده که فرمان آلارم صادر شده باشد، بایستی نمونه روغن از ترانسفورماتور تهیه شده و جهت انجام آزمون DGA ارسال شود. برای این منظور به فصل نمونه‌گیری و تحلیل DGA مراجعه کنید. دقت شود که وجود گاز در رله معمولا نشان‌دهنده یک عیب بزرگ در ترانسفورماتور است. لذا اکیداً توجه کنید که علت تولید گاز بایستی مشخص و رفع شود و پیش از آن برق‌دار کردن ترانسفورماتور مجاز نیست. همچنین در صورت مشاهده چنین حالتی، از ریست کردن رله خودداری کنید چرا که نمونه گاز جمع‌شده در رله بوخهلتس نیز حاوی اطلاعات مهمی در مورد خطای بالقوه درون ترانسفورماتور است.

۳- فرمان آلارم و تریپ رله بوخهلتس را به صورت دستی (به کمک اهرم تعبیه شده) فعال کرده و اطمینان حاصل کنید که این فرمان‌ها در قسمت مناسب دریافت شده است. در صورت امکان اجازه دهید تا با صدور فرمان کلید قدرت عمل کرده و صحت کامل فرآیند را کنترل کنید. در غیر این صورت به کمک یک اهم‌متر می‌توان از عملکرد سوئیچ آلارم و تریپ اطمینان حاصل کرد.

۴- هر سه سال به کمک یک پمپ دستی مقداری هوا به محفظه بالای رله تزریق کنید و در حین این کار تغییر سطح و عملکرد قسمت تعلیق را بررسی کنید [۱۶]. دقت کنید که در لحظه مناسب فرمان آلارم فعال شود. در نهایت با فشردن ضامن تخلیه، هوا را تخلیه و رله را ریست کنید.

۵- در مورد رله بوخهلتس دقت کنید که برخی از رله‌های بوخهلتس دارای کنتاکت‌های از جنس جیوه هستند. با توجه به سمی‌بودن جیوه و خطر آن برای انسان، بایستی احتیاط لازم در مورد این کنتاکت‌ها انجام شود [۸].

۱۰-۳-۶- سیستم خنک‌کننده

۱۰-۳-۶-۱- فن‌ها

موارد زیر بایستی یک ماه بعد از بارگیری ترانسفورماتور و هر سال انجام شود:

۱- فن‌ها بایستی مورد بازبینی ظاهری و آزمون قرار گیرند.

۲- فرمان عملکرد همه فن‌ها باید به صورت دستی فعال گردد. در این حالت بایستی عملکرد مناسب همه فن‌ها بررسی شود. فن بایستی به نرمی و با حداقل لرزش کار کند [۳]. در این حالت به نویزهای ناشی از یاتاقان فن‌ها و همچنین پره‌های شل‌شده دقت کنید. چنین فن‌هایی بایستی تعمیر شوند. یاتاقان‌های دارای مشکل توسط ترموگرافی نیز قابل تشخیص هستند.

۳- فن‌ها را جهت یافتن پره‌های آسیب‌دیده بررسی کنید. همچنین پره‌های کثیف را بایستی تمیز کرد.

۴- فن‌ها در صورتی بهترین بازده را خواهند داشت که در هوای خنک کار کنند. بنابراین فن‌ها بایستی هوای خنک را به رادیاتور بدمند نه اینکه هوای گرم را از رادیاتور بکشند. این موضوع یعنی جهت درست حرکت هوا را هنگام کار فن‌ها کنترل کنید.

۵- به نویزهای فن‌ها توجه نمایید. استاندارد IEC حد مجازی برای این نویز ارائه نداده است. در این مورد بایستی به استاندارد NEMA-TR1 مراجعه کرد. نویز فراتر از سطح نویز مجاز نشانه وجود مشکل در فن است که بایستی برطرف شود.

۶- در حالت عادی و در کنترل روزانه در صورتی که متوجه شدید که یکی از گروه‌های فن در حال کار است اما یکی از فن‌های این گروه کار نمی‌کند، فن دچار مشکل شده است و بایستی تعمیر شود. همچنین، اگر در یک روز گرم و در حالی که ترانسفورماتور بار قابل توجهی دارد فن‌ها کار نمی‌کنند، این می‌تواند نشانه مشکل در سیستم خنک‌کننده باشد.

۷- یاتاقان فن‌ها بایستی به صورت سالیانه گریس‌کاری شوند [۱۱].

۸- فن‌ها در حالتی بهترین عملکرد را دارند که تیغه‌ها تمیز باشند. تیغه‌ها و بدنه موتور بایستی به صورت سالیانه تمیز شوند.

توجه ۱: پیش از انجام هر کاری بر روی فن‌ها از قطع بودن منبع تغذیه اطمینان حاصل کنید، زیرا ممکن است محافظ حرارتی بی‌متال منبع تغذیه را وصل نموده و پروانه را به گردش درآورد [۱۷].

توجه ۲: برخی از سازنده‌ها محدودیت‌هایی بر روی تعداد دفعات راه‌اندازی مکرر دستگاه (مثلا سه بار در ساعت) دارند که بایستی هنگام انجام آزمون‌های دوره‌ای نیز مد نظر باشد [۱۸].

توجه ۳: دقت کنید که بعد از انجام سرویس دوره‌ای مجددا فن‌ها را بر روی حالت اتوماتیک قرار دهید.

۱۰-۳-۶-۲- پمپ‌ها

یک ماه پس از بارگیری ترانسفورماتور و سالیانه موارد زیر را بررسی کنید:

۱- پمپ‌ها بایستی مورد بازبینی ظاهری قرار گیرند.

۱) فرمان پمپ‌ها را به نحوی فعال کنید که همه پمپ‌ها شروع به کار کنند. جریان موتور پمپ‌ها را در هر سه فاز با یک آمپرمتر چنگکی دقیق اندازه‌گیری کنید. این موضوع می‌تواند نشان دهد که آیا فلوی روغن در همه فازها یکسان است و همچنین در صورتی که یاتاقان‌ها دچار خوردگی یا کثیفی شده باشند موتور جریان بیشتری می‌کشد. داده‌های جریان را به دقت برای مقایسه بعد ثبت کنید خصوصا اگر فلومتر روغن موجود نباشد.

۲) در صورتی که جریان یکی از موتورها کم باشد می‌تواند نشانه کم بودن فلوی روغن باشد. در این حالت همه شیرها را چک کنید تا اطمینان حاصل کنید که کاملا باز هستند. از علت‌های دیگر کاهش فلوی روغن می‌تواند شل بودن پروانه پمپ و یا تجمیع لجن در مسیر پمپ باشد.

۳) جریان بیشتر یکی از موتورها می‌تواند نشانه آن باشد که گردش پمپ با اصطکاک بیشتری در حال انجام است. در این حالت به نویزها و صداهای غیرمعمول پمپ دقت کنید. در صورت وجود صدای غیر معمول حین کار، وضعیتِ حرکت پروانه، تمیزی یاتاقان بایستی بررسی شود و اقدامات لازم جهت مرتفع کردن این موضوع انجام شود.

۴) در صورتی که جهت حرکت پمپ اشتباه باشد همچنان روغن به مقدار اندکی پمپ خواهد شد. در این حالت اما جریان موتور از حالت بار کامل کمتر ا ست و ممکن ا ست پمپ نیز با سر و صدا کار کند. در این حالت بایستی از چرخش پمپ‌ها در جهت صحیح نیز اطمینان حاصل شود.

۵) در صورتی که مسیر پمپ روغن دارای فلومتر نیز با شد، بایستی فلومترها را نیز برای صحت عملکرد مورد بازبینی قرار داد. همچنین ممکن است فلومتر فرمان آلارم نیز داشته باشد که بایستی با فعال کردن دستی، صحت عملکرد آن را بررسی کرد.

۶) در سمت مکنده پمپ‌ها اگر واشرها مناسب و محکم نباشند، امکان کشیده شدن هوا به داخل ترانسفورماتور وجود دارد. واشرها خصوصا در سمت مکنده پمپ‌ها بایستی مورد بازبینی قرار گیرند و در صورتی که آسیب ظاهری در آن‌ها دیده می شود تعویض شوند. ورود هوا به روغن معمولا در آزمون DGA با افزایش سطح اکسیژن و نیتروژن قابل تشخیص است.

۷) اتصالات پمپ‌ها را به دنبال نشانه‌های نشت روغن بررسی کنید [۱۵]. در صورت وجود نشتی، بایستی مشکل مرتفع گردد.

۱۰-۳-۶-۳- رادیاتورها

۱- یک ماه پس از بارداری و به صورت سالیانه موارد زیر بایستی انجام شوند:

۲- همه شیرهای اتصال رادیاتورها را کنترل کرده و اطمینان حاصل کنید که در حالت باز هستند.

۳- ترانسفورماتور در حال کار را با تکنولوژی مادون قرمز ترموگرافی کنید. همه رادیاتورها بایستی حدود دمایی یکسان داشته باشند. رادیاتورهایی که به صورت نیمه کار می‌کنند، خنک‌تر از سایر رادیاتورها هستند. تفاوت دمایی بین رادیاتورها، در صورت وجود، تا حدودی با دست نیز قابل تشخیص است. در صورت مشاهده چنین حالتی، علت آن بایستی رفع گردد. در صورتی که شیر رادیاتور در حالت باز باشد، علت ممکن است وجود لجن یا آلودگی در مسیر رادیاتور باشد که راه آن تمیز کردن داخل رادیاتور است. بایستی اکیدا توجه کرد که در صورت مشاهده لجن در داخل رادیاتور، این امکان وجود دارد که خود ترانسفورماتور نیز دارای لجن شده باشد که بایستی با آزمون روغن از عدم حضور آن اطمینان حاصل کرد.

۴- نبایستی اجازه داد که ترانسفورماتور با خنک‌سازی ناقص به کار خود ادامه دهد. مشکلات خنک‌سازی خصوصا رادیاتورهایی که به درستی عمل نمی‌کنند بایستی در اسرع وقت مرتفع شوند.

۵- در صورتی که گرد و خاک قابل توجهی روی رادیاتور نشسته باشد، بازده انتقال حرارت کاهش می‌یابد [۱۱]. برای جلوگیری از وقوع چنین حالتی، رادیاتورها بایستی سالیانه از بیرون کاملا تمیز شوند [۳].

۶- قسمت‌های مختلف رادیاتور را به دنبال یافتن زنگ‌زدگی بررسی کنید. در صورت وجود زنگ‌زدگی، قسمت زنگ زده بایستی با برس سیمی تراشیده شده و رادیاتور مجددا رنگ زده شود [۱۱].

۷- انتهای بالایی رادیاتورها و همچنین محل‌های جوش را برای اطمینان از عدم نشت روغن کنترل کنید [۸].

۱۰-۳-۶-۴- مبدل‌های حرارتی

در ترانسفورماتورهایی که مبدل حرارتی دارند و تبادل حرارت بین روغن و آب انجام می‌شود، یک ماه بعد از بارگیری و به صورت سالیانه موارد زیر بایستی مدنظر باشند:

پمپ‌ها را مطابق آنچه گفته شد بررسی کنید.

محفظه مبدل حرارتی را به دنبال نشتی در سیستم لوله‌کشی کنترل کنید. در صورت وجود نشتی، سیستم لوله‌کشی بایستی تعمیر گردد.

در صورتی که در نتایج آزمون‌های روغن آب آزاد دیده می‌شود و واشرها همه در وضعیت مناسبی هستند، این امکان وجود دارد که مبدل حرارتی دچار مشکل شده باشد و آب از مبدل وارد ترانسفورماتور شده است. در این صورت سیستم مبدل حرارتی بایستی با فشار بالا جهت یافتن نشتی مورد آزمون قرار گیرد. برای این کار بایستی به دستورالعمل سازنده مراجعه کرد. در صورت وجود نشتی، مشکل حتما بایستی پیش از برگشتن ترانسفورماتور به مدار مرتفع شود. همچنین در صورتی که نشتی وجود داشته باشد، روغن ترانسفورماتور از نظر رطوبت بایستی مورد آزمون قرار گیرد و در صورت لزوم ترانسفورماتور خشک شود.

میزان رسوب درون لوله‌های آب را در صورت امکان بررسی کنید. در صورتی که رسوب قابل توجهی مشاهده گردد، لوله‌ها بایستی تمیز شوند.

علاوه بر موارد ذکرشده، چک کردن وضعیت ترمومترها یا همان دماسنج‌ها و انجام تست‌های دمایی به صورت آنلاین و آفلاین در روغن و سیم‌پیچ‌ها، چک کردن وضعیت کنسرواتور اعم از نشان‌گر روغن، رطوبت‌گیر،

دیافگرام و فشار نیتروژن آن و همچنین چک‌کردن رله ایربگ در صورت موجود بودن در ارزیابی ظاهری ترانسفورماتور توصیه می‌شود.

۱۰-۳-۷- بازبینی‌های ماهیانه

بازبینی‌های زیر مطابق IEEE C57.93 بایستی حداقل به صورت ماهیانه توسط بهره‌بردار انجام شود [۳]:

۱) کنترل همه نشان‌گرهای سطح روغن شامل تانک اصلی، کنسرواتور و بوشینگ.

۲) ثبت دمای سیم‌پیچ و دمای بالای روغن (مقدار لحظه‌ای و حداکثر ثبت‌شده). ریست کردن همه نشان‌گرهای حداکثر دما. دقت شود که این مورد جدا از فرآیند معمول ثبت بار و درجه حرارت ترانسفورماتور است.

۳) ثبت فشار نیتروژن ترانسفورماتورهایی که تحت گاز نیتروژن پرفشار قرار دارند. بررسی فشار کپسول نیتروژن متصل به ترانسفورماتور در صورت وجود.

۴) کنترل رنگ سیلیکاژل.

۵) بررسی رله فشارشکن برای کنترل این موضوع که آیا عملکرد داشته است.

۶) بررسی بوشینگ‌ها برای یافتن چترک‌های شکسته یا لب‌پر شده و آلودگی.

۷) کنترل برق‌گیرها برای یافتن چترک‌های شکسته یا لب‌پر شده و آلودگی.

۸) کنترل وضعیت کلی واحد شامل رنگ، اتصالات و نشتی روغن.

۹) کنترل و ثبت بار ترانسفورماتور، ولتاژ سه فاز و جریان نوترال.

۱۰) راه‌اندازی فن‌ها و کنترل صحت عملکرد.

۱۱) راه‌اندازی پمپ‌های روغن و کنترل فلومترها.

توجه: بهتر ا ست پمپ‌ها به صورت گروه به گروه فعال شده و کنترل شوند تا همه پمپ‌ها همزمان در حال کار نباشند.

در صورت مشاهده هرگونه مشکل در موارد فوق بایستی بررسی‌های بیشتر و اقدامات اصلاحی انجام گردد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۴- آزمون‌های الکتریکی

در این بخش آزمون‌های الکتریکی نگهداری و عیب‌یابی سیم پیچ اصلی ترانسفورماتور توضیح داده می‌شود. بایستی ذکر گردد که برخی از این آزمون‌ها به صورت دوره‌ای انجام می‌گیرد و برخی دیگر از آزمون‌ها مختص به عیب‌یابی ترانسفورماتور و مربوط به زمانی هستند که ترانسفورماتور مشکوک به مورد خاصی باشد. این موارد با تشخیص فرد خبره و متخصص توصیه می‌شود. برخی راهنمایی‌های کلی در مورد اینکه هر آزمون چه زمانی انجام شود به صورت مختصر در توضیح آن آزمون آورده داده شده است.

۱۰-۴-۱- آزمون مقاومت DC سیم‌پیچ در تمام تپ‌ها

۱۰-۴-۱-۱- کلیات

آزمون مقاومت DC سیم‌پیچ به منظور یافتن عیوبی مانند شل‌شدگی هادی‌ها، اتصال بد کنتاکت‌های تپ‌چنجر و مواردی از این دست انجام می‌گردد. در صورتی که در آزمون DGA گازهای کلیدی اتان یا اتیلن باشند، انجام آزمون مقاومت DC توصیه می‌شود. همچنین در صورتی که نتیجه تحلیل DGA نقاط داغ باشد، آزمون مقاومت DC مفید است چرا که یکی از مواردی که باعث ایجاد دمای بالا در ترانسفورماتور می‌شود، اتصال بد هادی‌ها است. این‌ها مواردی است که انجام آزمون به طور خاص به منظور عیب‌یابی مدنظر است.

مهم‌ترین علت انجام این آزمون در حالت عادی ترانسفورماتور مشخص شدن جرم کنتاکت تپ‌چنجر است. منظور از جرم کنتاکت، لایه‌ای است که بر روی کنتاکت در اثر کلیدزنی در طول زمان ایجاد می‌شود و باعث افزایش مقاومت اتصال و در نتیجه نقطه داغ می‌گردد. بهتر است در هر شرایطی که ترانسفورماتور برای سرویس تپ‌چنجر از مدار خارج شده است، این آزمون نیز انجام شود تا لازم نباشد ترانسفورماتور برای انجام این آزمون به تنهایی از مدار خارج شود.

برای اطمینان از سلامت سیم‌پیچ، مقاومت اندازه‌گیری‌شده می‌تواند با سایر فازها و یا مقاومت اندازه‌گیری‌شده در کارخانه مقایسه شود. مطابق IEEE C57.152 در هر یک از این دو مقایسه، در صورتی که مقدار تفاوت در مقاومت‌ها (در مقایسه با کارخانه یا فازهای دیگر) کمتر از ۵٪ باشد، وضعیت ترانسفورماتور مناسب ارزیابی می‌شود [۱۲, ۱۹].

در حالتی که اتصال ترانسفورماتور ستاره باشد، مقاومت بایستی در هر فاز بین ترمینال سیم‌پیچ تا نوترال اندازه‌گیری شود. در مورد اتصال مثلث، مقاومت بایستی از ترمینال یک فاز تا ترمینال فاز دیگر اندازه‌گیری شود. در ترانسفورماتور با اتصال ستاره، در صورتی که نوترال در دسترس نباشد اما نوترال زمین شده باشد، مقاومت بین ترمینال هر فاز تا زمین بایستی اندازه‌گیری شود. دقت شود که چون مقادیر اندازه‌گیری‌شده

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

بایستی با مقادیر کارخانه‌ای مقایسه شود. در صورتی که هدف مقایسه مقاومت بین فازهای مختلف باشد، اصلاح دمایی احتیاج نیست چرا که هر سه سیم‌پیچ در یک دما قرار دارند (مگر آن‌که ترانسفورماتور در حال سرد شدن باشد و آزمون بلافاصله بعد از بی‌برقی در حال انجام باشد). اما در صورتی که مقایسه با آزمون کارخانه‌ای مدنظر باشد، از آن‌جا که مقاومت در کارخانه معمولا در دمای $75\ ^0C$ گزارش می‌شود، مقاومت اندازه‌گیری‌شده در محل بایستی به این دما تبدیل شود.

۱۰-۴-۱-۲- نکات کلیدی آزمون مقاومت DC

در انجام آزمون مقاومت DC بایستی به نکات زیر نیز توجه کرد (مطابق IEEE C57.152):

آزمون مقاومت DC بایستی بعد از آزمون جریان بی‌باری (تحریک)، FRA و راکتانس نشتی انجام شود. علت آن است در حین آزمون، پس‌ماند مغناطیسی در هسته ایجاد می‌شود که نتایج سه آزمون گفته‌شده را مخدوش می‌کند.

جریان‌های استفاده‌شده برای اندازه‌گیری، در صورتی که سازنده مقداری را مشخص نکرده باشد، نبایستی از 15% جریان نامی ترانسفورماتور تجاوز کند. در غیر این صورت ممکن است سیم‌پیچ گرم شده و مقاومت آن حین آزمون عوض شود. توصیه سازنده در رعایت حد جریان تزریقی بر مقدار ذکرشده در اینجا اولویت دارد.

برای اطمینان از اینکه هسته ترانسفورماتور و اندوکتانس سیم‌پیچ اشباع شود، جریان بایستی از مقداری بزرگ‌تر باشد. برای این منظور توصیه می‌شود که جریان بزرگ‌تر از 1.2 برابر پیک جریان مغناطیس‌کنندگی باشد [۲۱]. این موضوع در ترانسفورماتورهای بزرگ که سیم‌پیچ با تعداد دور کم دارند، مثل سیم‌پیچ فشارضعیف ترانسفورماتورهای نیروگاهی، حائز اهمیت بیشتری است. در این حالت منبع تغذیه بایستی قوی باشد تا بتواند جریان لازم برای اشباع هسته را تامین کند.

استاندارد IEEE C57.152[1] کشور آمریکا توصیه می‌کند که جمع مقاومت سه فاز نیز در گزارش قید گردد. در مورد اتصال ستاره، جمع سه اندازه‌گیری برابر جمع مقاومت فازهاست. در مورد اتصال مثلث (اندازه‌گیری ترمینال به ترمینال) جمع سه مقاومت اندازه‌گیری‌شده ضرب در 1.5 برابر مقاومت مجموع است.

[1] IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۴-۱-۳- سایر تپ‌ها

پس از اندازه‌گیری مقاومت DC در یک تپ، بایستی تپ تغییر داده شود و مقاومت DC سایر تپ‌ها نیز اندازه‌گیری شود. در این مورد، نکات زیر مد نظر است:

۱- مطابق FIST، اندازه‌گیری اول بایستی روی تپی باشد که ترانسفورماتور در آن قرار داشته است (پیش از بی‌برق کردن).

۲- با تغییر تپ، پس از پایدار شدن ولتاژ و جریان، مقدار مقاومت باید قرائت شده و به تفکیک تپ‌ها ثبت گردد. برای هر تپ، مقاومت بایستی در محدوده ۵٪ از مقاومت سایر فازها در همان تپ باشد.

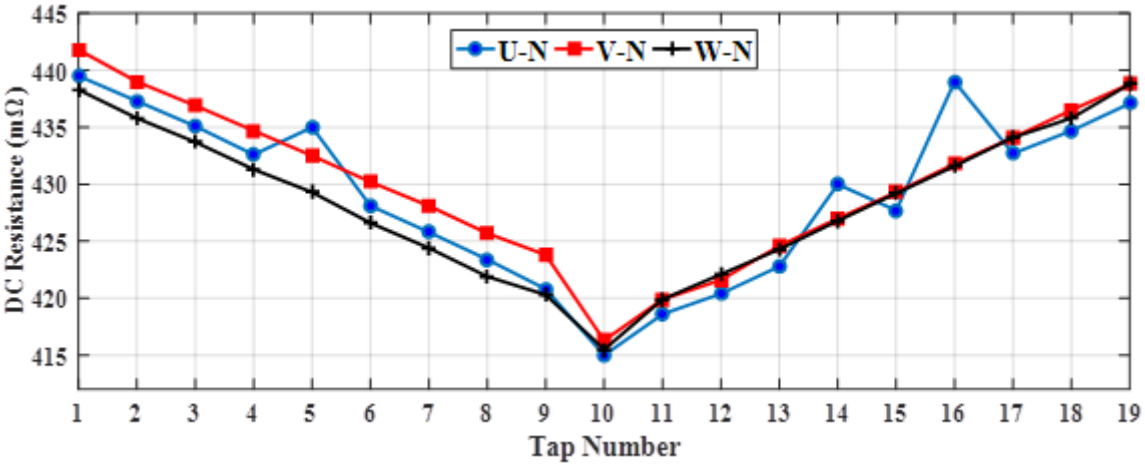
۳- در هنگام تغییر تپ، به آمپرمتر بایستی دقت شود. صفر شدن جریان آمپرمتر در حین تغییر تپ، نشان دهنده عدم پیوستگی تپ‌چنجر است که یک مشکل در تپ‌چنجر محسوب می‌گردد و بایستی تعمیر گردد.

۴- مقادیر ثبت‌شده بایستی به دقت برای مقایسه سال‌های بعد بایگانی و نگهداری شود.

۱- در هر زمانی که کار با تپ‌چنجر در آزمون وجود دارد، بهتر است که تغییرات تپ به صورت دستی انجام شود. همچنین نبایستی هنگام برق‌دار کردن (یعنی در پایان آزمون)، تپ بر روی پایین‌ترین یا بالاترین موقعیت قرار داده شود چون ممکن است به دلیل مشکلی در عملکرد مکانیسم، در اولین حرکت به تپ‌چنجر آسیب وارد شود.

۲- مناسب است که مقدار مقاومت تپ‌ها بر اساس شماره تپ در یک نمودار رسم شده و مقدار مقاومت تپ‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شود. روند تغییرات مقاومت با شماره تپ بایستی منظم باشد و عدم وجود این حالت نشان‌گر اتصال بد کنتاکت تپ‌چنجر در تپ مورد آزمایش است. توجه شود که با توجه به نوع تپ‌چنجر ممکن است مقاومت به طور کلی افزایشی (کاهشی) باشد و یا دارای یک مقدار حداقل در تپ وسط باشد. ترسیم مقدار مقاومت بر اساس شماره تپ در مورد یک تپ‌چنجر به عنوان نمونه در شکل (۱-۳) نمایش داده شده است. چنان‌که دیده می‌شود روند تغییرات مقاومت فاز V و W منطقی است اما فاز U در تپ‌های ۵، ۱۴ و ۱۶ منطقی نیست و بایستی بررسی بیشتری صورت گیرد. چنین روندی در مورد تپ‌چنجرها می‌تواند برخی عیوب معمول آن‌ها را مشخص سازد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۱۰-۱- مقاومت سه فاز یک ترانسفورماتور در تپ‌های مختلف.

۱۰-۴-۲- آزمون نسبت تبدیل

۱۰-۴-۲-۱- کلیات

نسبت تبدیل مطابق تعریف نسبت مقدار ولتاژ موثر سمت فشارقوی به مقدار ولتاژ موثر سمت فشارضعیف در حالت بی‌باری ترانسفورماتور است. این آزمون به طور عمده برای تشخیص اتصال حلقه انجام می‌گردد و می‌تواند قطعی سیم‌پیچی یا اتصال غلط تپ‌چنجر را نیز مشخص کند. همچنین مطابق IEEE C57.152 در صورتی که جریان اتصال کوتاه قابل توجهی از ترانسفورماتور عبور کرده باشد، انجام این آزمون پیش از برگرداندن ترانسفورماتور به مدار توصیه می‌شود. در حالت دوم آزمون بایستی در تپی انجام گیرد که هنگام عبور جریان اتصال کوتاه، ترانسفورماتور در آن تپ قرار داشته است. همچنین در صورتی که تفسیر DGA خطا را به عنوان نقطه داغ معرفی کند انجام این آزمون توصیه می‌شود. علت آن است که اگر اتصال حلقه اتفاق افتاده باشد، جریان قابل توجهی در حلقه به گردش در می‌آید و باعث ایجاد نقطه داغ موضعی می‌شود.

این آزمون بایستی در هنگام راه‌اندازی ترانسفورماتور نیز انجام شود. در هنگام راه‌اندازی، نسبت تبدیل بایستی در همه تپ‌های تپ‌چنجر تحت بار و آفلاین انجام گیرد اما در آزمون‌های دوره‌ای، انجام این آزمون در همه تپ‌های تپ‌چنجر تحت بار کفایت می‌کند و احتیاجی به کنترل تپ‌های آفلاین نیست.

مطابق IEEE C57.152 نتایج آزمون نسبت تبدیل مطلق بوده و بایستی با مقادیر ذکر شده در پلاک مقایسه گردد. مقدار نسبت تبدیل در همه تپ‌ها بایستی در بازه 0.5% از مقدار درج شده بر روی پلاک باشد. در غیر این صورت ترانسفورماتور نیاز به بررسی دارد.

تبصره: در صورتی که تپ‌چنجر بر روی سیم‌پیچ فشارضعیف قرار داشته باشد، ممکن است به دلیل تعداد کم حلقه‌ها (نسبت به سمت فشارقوی) نسبت تبدیل در همه تپ‌ها در بازه 0.5% از مقدار پلاک قرار نداشته باشد.

در این حالت در صورتی که مقدار اختلاف بیش از 0.5% در هر سه فاز به طور مشابه تکرار شود و نسبت تبدیل در پایین‌ترین و بالاترین تپ در محدوده 0.5% باشد ترانسفورماتور بدون مشکل ارزیابی می‌شود.

۱۰-۴-۲-۲- نکات کلیدی آزمون نسبت تبدیل

در انجام آزمون نسبت تبدیل بایستی به نکات زیر نیز توجه کرد (مطابق IEEE C57.152):

۱- آزمون بایستی به صورت تک‌فاز انجام شود. بنابراین لازم است که آزمون نسبت تبدیل در سه‌فاز به تفکیک انجام گیرد.

تبصره: در صورتی که اتصال ترانسفورماتور ستاره باشد و نوترال در دسترس نباشد، آزمون نسبت تبدیل بایستی به صورت سه‌فاز انجام شود چون با تزریق تک‌فاز ممکن است نقطه نوترال در ولتاژ برابر نصف مقدار تغذیه‌شده تثبیت نشود.

۲- در صورتی که ترانسفورماتور به صورت بانک باشد، بایستی در گزارش آزمون، دیاگرام اتصالات استفاده شده و همچنین رابطه‌ای که برای تغییر نسبت تبدیل به حالت سه‌فاز استفاده شده است ارائه گردد.

۳- دقت ولتمترهای مورد استفاده بایستی متناسب با دقت 0.5% مورد نیاز نسبت تبدیل باشد.

در مورد ترانسفورماتورهایی که سیم‌پیچ coarse و fine در تپ‌چنجر دارند بایستی نحوه تغییرات از پایین‌ترین تپ تا بالاترین تپ نیز مورد دقت قرار گیرد که افزایش (یا کاهش) نسبت تبدیل از پایین‌ترین تا بالاترین تپ دارای یک روند باشد.

۱۰-۴-۳- آزمون مقاومت عایقی سیم‌پیچ و عدد پلاریزاسیون

۱۰-۴-۳-۱- کلیات

هدف از این آزمون، که به آزمون مگر نیز معروف است، اندازه‌گیری مقاومت عایقی بین سیم‌پیچ‌ها تا زمین و بین سیم‌پیچ‌ها با یکدیگر به منظور یافتن نقاط دارای مشکل عایقی است. برای مثال زمانی که ترانسفورماتور مشکوک به بالابودن مقدار رطوبت باشد، انجام آزمون مگر توصیه می‌شود. همچنین در صورتی که اتصال سیم‌پیچ به زمین، اتصال کوتاه بین سیم‌پیچ‌ها و یا مسیر به شدت کربنیزه بین سیم‌پیچ و زمین (یا دو سیم‌پیچ) وجود داشته باشد، مقاومت اندازه‌گیری شده کوچک بوده و به صفر نزدیک است. مطابق IEEE C57.152 اندازه‌گیری مقاومت عایقی کوچک بایستی توسط سایر آزمون‌ها مثل $\tan\delta$ سیم‌پیچ، عدد پلاریزاسیون و یا مقدار رطوبت تایید شود.

مقایسه مقاومت عایقی اندازه‌گیری‌شده با مقدار قبلی یا مقدار کارخانه‌ای اهمیت بالاتری از مقدار مطلق آن دارد. گرچه مقدار مطلق در برخی مراجع داده شده است اما توصیه آن است که مقاومت با مقدار کارخانه‌ای مقایسه شود. تغییر قابل توجه بین مقدار اندازه‌گیری‌شده و اندازه‌گیری قبلی بایستی مورد بررسی قرار گیرد. IEEE C57.152 توصیه می‌کندکه مقاومت عایقی به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و رسم شود. تغییرات مقدار مقاومت در طول زمان حائز اهمیت است و تغییرات زیاد بایستی مورد بررسی قرار گیرد و علت آن مشخص شود. دقت به نحوه تغییرات در طول زمان روند کاهش مقاومت عایقی را می‌تواند به خوبی نشان دهد.

۱۰-۴-۳-۲- اصلاح دمایی

دما تاثیر قابل توجهی بر روی مقاومت عایقی دارد. به طور کلی، انجام آزمون در دمای بالاتر منجر به مقاومت عایقی کمتری می‌شود. از آن‌جا که ضریب اصلاح دقت بالایی ندارد، IEEE C57.152 ذکر می‌کند که هنگام آزمون دمای روغن و سیم‌پیچ بایستی نزدیک به دمای مرجع ($20\ ^0C$) باشد.

می‌توان گفت که هر ده درجه افزایش دما، مقاومت عایقی را نصف می‌کند. به طور دقیق، در صورتی که دمای اندازه‌گیری $20\ ^0C$ نباشد، از جدول (۱-۶) می‌توان برای تبدیل مقاومت عایقی اندازه‌گیری‌شده به دمای $20\ ^0C$ استفاده کرد [۲۲]. به این منظور، مقدار مقاومت اندازه‌گیری‌شده بایستی در ضریبی که از جدول (۱-۶) استخراج می‌شود، مطابق رابطه زیر، ضرب شود. در رابطه زیر، IRT مقاومت عایقی اندازه‌گیری‌شده در دمای T، KT ضریب اصلاح استخراج‌شده از

جدول (جدول (۱-۶) و IR2$0^o$ مقاومت عایقی اصلاح‌شده به دمای 20^0C است.

$$IR_{20^\circ} = IR_T \times K_T$$

جدول (۱-۶): ضریب اصلاح دمایی مقاومت عایقی (K_T).

دمای اندازه‌گیری	ضریب اصلاح
0	0.25
5	0.36
10	0.50
15	0.74
20	1.00
25	1.40
30	1.98
35	2.80
40	3.95

5.60	45
7.85	50
11.20	55
15.85	60
22.40	65
31.75	70
44.70	75

۱۰-۴-۳-۳- نکات اساسی

نکات زیر بایستی هنگام آزمون مقاومت عایقی مدنظر باشد:

۱- منظور از مقاومت عایقی، مقاومت اندازه‌گیری شده در زمان یک دقیقه است.

۲- هنگام انجام آزمون، بوشینگ ترانسفورماتور بایستی خشک و تمیز باشد. در غیر این صورت عدد مقاومت عایقی ممکن است کوچک‌تر از مقدار واقعی اندازه‌گیری شود.

۱۰-۴-۴- عدد پلاریزاسیون

۱۰-۴-۴-۱- کلیات

طبق تعریف عدد پلاریزاسیون (PI) نسبت بین مقاومت عایقی در ۱۰ دقیقه به مقاومت عایقی در ۱ دقیقه در ولتاژ ثابت است:

$$PI = \frac{R_{10'}}{R_{1'}}$$

بنابراین در هنگام اندازه‌گیری مقاومت عایقی با ثبت مقدار مقاومت در ۱۰ دقیقه و ۱ دقیقه و تقسیم این دو مقدار اندیس پلاریزاسیون محاسبه می‌شود. عدد پلاریزاسیون پایین‌تر می‌تواند نشانه تخریب عایق یا رطوبت بالا باشد. نکته مهم PI آن است که مواردی که بر اندازه‌گیری مقاومت عایقی تاثیر می‌گذارند مثل رطوبت یا دما برای هر دو اندازه‌گیری (یک و ده دقیقه) یکی است و لذا خطاهای فوق در آن تاثیر قابل توجهی ندارد.

تفسیر عدد PI به صورت جدول (۱-۷) است. پایه این جدول مطابق IEEE C57.152 است اما مطابق تجربه متخصصین و سایر مراجع جمع‌بندی شده است [۱۱]. منظور از خطرناک و ضعیف حالتی است که بایستی آزمون‌های تکمیلی جهت عیب‌یابی انجام شود. از جمله در صورتی که هیچ یک از آزمون‌های معمول عیب را

تشخیص ندهند، انجام آزمون ولتاژ القایی توصیه می‌شود. برای آزمون‌های تکمیلی و عیب‌یابی ترانسفورماتور بایستی توصیه‌های متخصصین دنبال شود.

جدول ۱۰-۵- تفسیر عدد **PI**.

عدد پلاریزاسیون	وضعیت عایق
< 1.0	خطرناک
$\geq 1.0 - 1.1$	ضعیف
$> 1.1 - 1.25$	سوال‌برانگیز
$> 1.25 - 2$	قابل قبول
> 2	خوب

۱۰-۴-۴-۲- نکات

۱- عدد PI در مورد ترانسفورماتورهای نو نبایستی استفاده شود. عدد پلاریزاسیون مایع عایقی همیشه نزدیک به ۱ است. بنابراین، ممکن است عدد پلاریزاسیون ترانسفورماتوری که در آن مایع عایقی هدایت کمی دارد (مثل روغن نو) کم باشد هرچند سیستم عایقی بدون مشکل است.

۲- بایستی توجه داشت که در قسمت‌هایی که چندان از لحاظ عایقی مهم نیست (مانند عایق بین سیم‌پیچ فشارضعیف تا زمین یا ثالثیه تا زمین) ممکن است از عایق‌های نه چندان مرغوب استفاده شده باشد. وجود چنین عایق‌هایی باعث خراب شدن عدد پلاریزاسیون می‌شود و به همین دلیل توصیه می‌شود که عدد پلاریزاسیون با مقدار کارخانه‌ای نیز مقایسه شود. در صورتی که مقدار PI در کارخانه کم بوده است، کم بودن PI اندازه‌گیری‌شده نبایستی به عنوان مشکل در عایق تعبیر شود.

۳- هنگام اندازه‌گیری مقاومت عایقی به منظور محاسبه عدد پلاریزاسیون، عدد مقاومت عایقی بایستی در هر سه زمان 15 ثانیه، 60 ثانیه و 10 دقیقه ثبت شود. علت آن است که ممکن است در ادامه اندازه‌گیری، دستگاه پس از گذشت چند دقیقه به حالت Out of range برود و عدد مقاومت عایقی در 10 دقیقه به دلیل بسیار بزرگ بودن قابل اندازه‌گیری نباشد. در چنین حالتی، تقسیم مقاومت عایقی در 60 ثانیه به 15 ثانیه معیار قرار خواهد گرفت. در ABB ذکر شده است که عدد پلاریزاسیون که از تقسیم 60 ثانیه به 15 ثانیه به دست می‌آید نبایستی کمتر از عدد 1.3 باشد. در چنین حالتی بایستی به نظر متخصصین خبره مراجعه کرد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۴-۵- آزمون مقاومت عایقی هسته

۱۰-۴-۵-۱- کلیات

مطابق IEEE C57.152 این آزمون بایستی به صورت منظم انجام شود. توصیه می‌شود که این آزمون همراه با سایر آزمون‌های الکتریکی انجام شود. هدف این آزمون ارزیابی عایق هسته ترانسفورماتور است. همچنین در صورتی که ترانسفورماتور مشکوک به زمین شدن هسته در نقطه دوم باشد، این آزمون بایستی صورت گیرد.

در حالت عادی، هسته ترانسفورماتور تنها از یک نقطه زمین می‌شود. در صورتی که به صورت اتفاقی نقطه دومی زمین شود، جریان گردشی قابل توجهی در هسته و از طریق زمین ایجاد می‌شود. علت ایجاد این جریان، القای ولتاژ در اثر شار پراکندگی است. این جریان که از هسته، اتصال زمین اصلی و اتصال زمین ناخواسته عبور می‌کند منجر به ایجاد نقطه داغ درون ترانسفورماتور می‌شود و در نتیجه گاز تولید می‌کند. بنابراین، در صورتی که آزمون DGA وجود نقطه داغ را نشان دهد و نتیجه آزمون مقاومت DC مناسب بودن اتصالات و تپ‌ها باشد، جریان گردشی هسته می‌تواند علت تولید گاز باشد و لذا آزمون مقاومت عایقی هسته به منظور اطمینان از عدم زمین‌بودن هسته در نقطه دوم باید انجام گیرد. همچنین بایستی توجه کرد که در ترانسفورماتورهای بزرگ، معمولا کانال‌هایی برای خنک‌سازی در هسته تعبیه می‌شود و بسته‌های طرفین کانال‌های خنک‌کننده از یک نقطه به یکدیگر وصل می‌شوند. در صورتی که این بسته‌ها در نقطه دیگری نیز به یکدیگر متصل شوند، آنگاه مشابه حالت قبل جریان گردشی قابل توجهی ایجاد می‌شود که باعث ایجاد نقطه داغ و تولید گاز می‌شود.

به غیر از مورد فوق، توجه به روند تغییرات مقاومت عایقی هسته در طول زمان به ارزیابی عایق هسته و همچنین تشخیص پیری زودهنگام آن در صورت وجود کمک می‌کند. انجام این آزمون پیش از برق‌دار کردن ترانسفورماتور و همچنین در صورت ایجاد تغییراتی در ترانسفورماتور، که ممکن است عایق هسته را تحت تاثیر قرار دهد، توصیه می‌شود.

پس از اندازه‌گیری میزان مقاومت عایقی هسته تا زمین، ارزیابی می‌تواند مطابق جدول (۱-۸) که در IEEE C57.152 آورده شده است انجام شود.

جدول ۱۰-۶- تفسیر مقاومت عایقی هسته ترانسفورماتورهای کارکرده مطابق **IEEE C57.152** [۱۹].

مقدار مقاومت عایقی	وضعیت ترانسفورماتور
$> 100\ M\Omega$	عادی
$10 - 100\ M\Omega$	نشان‌گر تخریب عایق
$< 10\ M\Omega$	نیاز به بررسی

۱۰-۴-۶-

۱۰-۴-۷- آزمون تلفات عایقی و خازن سیم‌پیچ‌ها

۱۰-۴-۷-۱- کلیات

آزمون tanδ و خازن معمولا به صورت همزمان انجام می‌شود. علت آن است که تغذیه ac و اندازه‌گیری جریان شارژ برای اندازه‌گیری tanδ الزامی است و لذا مقدار خازن نیز همزمان قابل اندازه‌گیری است. آزمون tanδ به عنوان یکی از موثرترین روش‌های ارزیابی یک سیستم عایقی مثل ترانسفورماتور شناخته می‌شود و لذا می‌توان گفت که یک آزمون مهم در برنامه نگهداری ترانسفورماتور است [۱۹]. همان‌طور که اندازه‌گیری tanδ و خازن همزمان انجام می‌شود، برای ارزیابی دقیق‌تر عایق ترانسفورماتور، هر دو مقدار خازن و tanδ بایستی با هم مورد توجه و مقایسه قرار گیرد. هر زمان که نتایج آزمون مقاومت عایقی بد بود، انجام آزمون tanδ توصیه می‌شود.

آزمون tanδ به طور کلی مشخص می‌کند که آیا عایق مرطوب و یا آلوده شده است یا خیر. با آلوده شدن یا آسیب دیدن عایق، مقدار tanδ آن تغییر می‌کند. موارد دیگری که باعث تغییر tanδ می‌شود عبارتند از: کربنیزه شدن عایق، بوشینگ آسیب‌دیده، آلودگی عایق با ذرات هادی و هسته با زمین معیوب یا باز شده. مقدار tanδ معمولا بر حسب درصد گزارش می‌شود.

از سوی دیگر، در صورتی که سیم‌پیچ به صورت مکانیکی جابه‌جا شده باشد، مقدار خازن سیم‌پیچ تغییر خواهد کرد و لذا مقدار خازن می‌تواند چنین جابه‌جایی‌هایی را مشخص سازد. هر سیستم عایقی را می‌توان به صورت دو الکترود و یک عایق بین آن‌ها تصور کرد که تشکیل یک خازن می‌دهند. برای مثال، سیم‌پیچ فشارقوی و فشارضعیف دو الکترود هستند و بین آن‌ها عایقی وجود دارد و لذا یک خازن بین این دو سیم‌پیچ قابل تعریف است. مقدار این خازن به وضعیت هندسی سیم‌پیچ‌ها و همچنین عایق بین آن‌ها بستگی دارد. به همین دلیل است که جابه‌جایی فیزیکی سیم‌پیچ‌ها باعث تغییر خازن می‌شود.

از آن‌جا که مقدار خازن بستگی به هندسه سیم‌پیچ دارد، مقدار آن از یک مورد به مورد دیگر متفاوت است و لذا مقایسه خازن بایستی با مقدار اندازه‌گیری شده از همان ترانسفورماتور در قبل باشد. بهترین مورد، آن است که خازن‌های اندازه‌گیری‌شده در ابتدای کار ترانسفورماتور به عنوان مرجع انتخاب شوند. در صورتی که دسترسی به این داده‌ها وجود نداشته باشد، اولین اندازه‌گیری موجود می‌تواند مرجع مقایسه باشد. همچنین در صورتی که هیچ‌گونه اندازه‌گیری وجود نداشته باشد، توصیه می‌شود که در اولین دوره نگهداری ترانسفورماتور، خازن‌ها اندازه‌گیری شده تا به عنوان مبنا برای بعد قابل استفاده باشد. بر اساس میزان تغییرات خازن‌ها نسبت به مقدار مرجع می‌توان در مورد وضعیت ترانسفورماتور اظهارنظر کرد. معیار تعیین‌شده توسط IEEE C57.152 در جدول (۱-۹) خلاصه شده است.

جدول ۱۰-۷- تفسیر خازن اندازه‌گیری شده ترانسفورماتور بر اساس **IEEE C57.152** [۱۹].

تغییرات نسبت به مقدار مرجع	وضعیت ترانسفورماتور
< 5%	عادی
5% - 10%	نیاز به بررسی بیشتر. بایستی آزمون‌های دیگر انجام شوند تا مشکل و شدت آن مشخص شود.
> 10%	خطرناک. ترانسفورماتور نبایستی به مدار برگردد.

از سوی دیگر چون tanδ به ابعاد بستگی ندارد، می‌توان یک مقدار کلی برای ترانسفورماتورها در نظر گرفت. البته در این حالت نیز مقایسه با مقدار اندازه‌گیری قبلی مفید است چرا که افزایش پیوسته tanδ در سال‌های متمادی می‌تواند نشان‌دهنده تشدید مشکل در ترانسفورماتور باشد. مطابق IEEE C57.152 مقادیر tanδ بزرگ‌تر از 1% برای ترانسفورماتورها قابل قبول نیست. در صورتی که مقدار tanδ یک ترانسفورماتور از این مقدار بیشتر باشد، بایستی مطابق توصیه کارشناسان خبره عمل کرد. لازم به ذکر است که این مقدار مربوط به دمای $20\ ^0C$ هستند و لذا برای مقایسه، مقدار اندازه‌گیری شده tanδ بایستی به دمای $20\ ^0C$ اصلاح شود. از آن‌جا که حد ترانسفورماتور نو 0.5% است، IEEE C57.152 توصیه کرده است که مقادیر tanδ بین 0.5% تا 1% احتیاج به آزمون‌های اضافی دارد تا اطمینان حاصل شود که مشکل موجود در ترانسفورماتور در حال گسترش نیست. در این مورد نیز نظر کارشناسان ملاک عمل خواهد بود.

۱۰-۴-۷-۲- ۱ اصلاح دمایی

دما تاثیر قابل توجهی بر روی عدد tanδ دارد. به طور کلی هرچه دما بالاتر باشد، مقدار tanδ بزرگ‌تر خواهد بود. علت آن است که روغن با افزایش دما گران‌روی کمتری خواهد داشت و مولکول‌های آن راحت‌تر در فرآیند پلاریزاسیون شرکت می‌کنند و لذا tanδ بزرگ‌تر خواهد شد. به صورت تجربی به ازای هر ده درجه افزایش دما، مقدار tanδ به میزان 25% بزرگ‌تر خواهد شد. به جهت مقایسه، دمای $20\ ^0C$ به عنوان مرجع انتخاب شده است. بنابراین بایستی مقادیر اندازه‌گیری‌شده tanδ به دمای $20\ ^0C$ اصلاح شوند. ضرایب اصلاح به دمای $20\ ^0C$ (K_T) در جدول (۱۰-۸) آورده شده است. برای اصلاح، بایستی مقدار اندازه‌گیری‌شده در دمای T بر K_T تقسیم شود تا عدد tanδ در دمای $20\ ^0C$ محاسبه شود:

$$\tan\delta_{20^\circ} = \frac{\tan\delta_T}{K_T}$$

جدول ۱۰-۸-ضرایب اصلاح دمایی **tanδ** به دمای **$20\ ^0C$** (**K_T**) براساس **IEEE C57.12.90 2006** [۲۳].

دمای اندازه‌گیری	ضریب اصلاح
10	0.80
15	0.90
20	1.00
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
55	2.18
60	2.42
65	2.70
70	3.00

بایستی توجه داشت که ضرایب فوق خطا دارند و هرچه دما به $20\ ^0C$ نزدیک‌تر باشد، خطای اصلاح tanδ کمتر است. به همین دلیل توصیه می‌شود تا این آزمون بعد از سرد شدن ترانسفورماتور انجام شود تا دما هر چه بیشتر به $20\ ^0C$ نزدیک باشد.

۱۰-۴-۷-۳- ۱- نکات

نکات زیر بایستی هنگام آزمون خازن و tanδ مدنظر باشد:

در حالت معمول، مقدار tanδ ترانسفورماتور نبایستی با تغییر ولتاژ آزمون (برای مثال از 2 kV به 10 kV) تغییر قابل توجه داشته باشد. رشد tanδ با ولتاژ آزمون می‌تواند نشانه کربنیزه‌شدن مسیرهای عایقی در ترانسفورماتور باشد [۱۱].

اگر ترانسفورماتوری دارای تپ‌چنجری باشد که مجهز به مقاومت بای‌پس (Bybass Resistor) است، هنگام انجام آزمون، موقعیت تپ‌چنجر نباید بر روی تپ خنثی باشد. علت آن است که در تپ خنثی

ممکن است سیم‌پیچ تپ از طریق مقاومت بای‌پس به سیم‌پیچ اصلی متصل باشد که نتایج آزمون را مخدوش می‌کند.

۱۰-۴-۸- آزمون تقسیم شار

۱۰-۴-۸-۱- کلیات

هدف از انجام آزمون تقسیم شار، بررسی مسیرهای مغناطیسی و همچنین سلامت سیم‌پیچ‌ها از نظر اتصال حلقه است. این آزمون به صورت تک‌فاز انجام می‌شود و مقادیر ولتاژ اندازه‌گیری‌شده در هر آزمون با یکدیگر مقایسه می‌شوند. بنابراین مقایسه آن بر اساس ولتاژهایی است که در هر آزمون اندازه‌گیری می‌شود. معیار پذیرش به شکل زیر است:

۱- هنگامی که ولتاژ به ساق وسط اعمال می‌شود، مقدار اندازه‌گیری‌شده در دو ساق دیگر (طرفین) می‌بایست برابر باشد.

۲- هنگامی که ولتاژ به ساق کناری اعمال می‌شود، ولتاژ ساق وسط بایستی بزرگ‌تر از ساق کناری باشد.

۳- در هر دو حالت فوق، جمع ولتاژهای اندازه‌گیری‌شده بایستی تقریبا با ولتاژ اعمال‌شده برابر باشد.

دقت شود که موارد فوق مربوط به یک ترانسفورماتور با هسته سه ستونه است و در ترانسفورماتورهای چهار یا پنج ستونه و یا از نوع shell، الگوهای فوق متفاوت هستند. بنابراین، در هنگام تحلیل نتایج این آزمون بایستی به ساختار هسته توجه داشت.

۱۰-۴-۸-۲- نکات

در انجام آزمون تقسیم شار بایستی به نکات زیر توجه داشت:

۱- هنگام انجام آزمون بهتر است تپ در بالاترین موقعیت به نحوی باشد که کل سیم‌پیچ در مدار باشد.

۲- در هنگام آزمون بایستی اتصالات ترانسفورماتور یادداشت شود و هنگام تحلیل بایستی به این اتصالات دقت کرد.

۳- نتایج آزمون تقسیم شار از وضعیت پس‌ماند هسته متاثر می‌شود. به همین دلیل بهتر است پیش از انجام آزمون، پس‌ماند هسته گرفته شود تا هسته بدون پس‌ماند باشد. همچنین مناسب است که این آزمون قبل از آزمون مقاومت DC که باعث ایجاد پس‌ماند در هسته می‌شود انجام گیرد.

۱۰-۴-۹- آزمون جریان بی‌باری

۱۰-۴-۹-۱- کلیات

هدف از انجام آزمون جریان بی‌باری که به عنوان آزمون تحریک تک‌فاز نیز شناخته می‌شود، بررسی مشخصات مدارباز سیم‌پیچ ترانسفورماتور است. این آزمون به طور کلی مشکلات بزرگ در مدار مغناطیسی ترانسفورماتور (مثل اتصال کوتاه شدید در ورق‌های هسته)، مشکلات در سیم‌پیچ‌های موازی با تعداد دورهای یکسان، بعضی مشکلات شیلد و همچنین دورهای اتصال کوتاه‌شده در یک سیم‌پیچ را مشخص می‌سازد.

مقدار جریان بی‌باری به ابعاد ترانسفورماتور و مشخصات مغناطیسی آن بستگی دارد و لذا بین واحدهای مختلف متفاوت است. بنابراین اساس مقایسه در یک ترانسفورماتور مقایسه بین فازها و دقت به الگوی ایجاد شده است. مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در گذشته نیز مفید است.

الگوهای زیر در ترانسفورماتور معمول است:

۱- جریان دو فاز بزرگ‌تر از جریان فاز سوم است. این موضوع در ترانسفورماتورهای سه‌ستونه اتفاق می‌افتد. چه در اتصال مثلث و چه ستاره چنین حالتی رخ می‌دهد. جریان فازی که کمتر است معمولا حدود 0.8 جریان دو فاز دیگر است. حتی اگر هنگام آزمون سیم‌پیچ مثلث، ترمینال فاز سوم زمین نشود همچنان همین الگو مشاهده خواهد شد.

۲- جریان در هر سه فاز برابر است. این حالت زمانی رخ می‌دهد که ترانسفورماتورها به صورت بانک باشند (سه ترانسفورماتور تک‌فاز).

۳- جریان‌های برابر در فازهای مختلف (در هر یک از دو حالت فوق) بایستی با یکدیگر مقایسه شوند. در صورتی که جریان بی‌باری کمتر از 50 mA باشد اختلاف مقدار جریان‌های دو فاز کناری در حالت ۱ و ۲ یا سه فاز در حالت بانک ترانسفورماتور بایستی کمتر از 10% باشد. در حالتی که جریان بی‌باری بزرگ‌تر از 50 mA باشد، اختلاف قابل قبول بین فازهای مشابه 5% است. مقادیر اختلاف بالاتر از این اعداد بایستی توسط آزمون‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرد [۱۲].

دقت شود که در حالتی که ترانسفورماتور چهارستونه یا پنج‌ستونه یا از نوع shell باشد، الگوها متفاوت خواهد بود.

۱۰-۴-۹-۲- نکات

نکات زیر بایستی در آزمون جریان بی‌باری مدنظر باشد:

- منبع تغذیه بایستی ایزوله باشد.
- از آن‌جا که پس‌ماند مغناطیسی باعث تغییر جریان بی‌باری می‌شود، پس‌ماند هسته ترانسفورماتور پیش از این آزمون بایستی گرفته شود. از آن‌جا که این پس‌ماند به طور عمده در آزمون اندازه‌گیری مقاومت DC سیم‌پیچ ایجاد می‌شود، توصیه می‌گردد که آزمون بی‌باری قبل از آزمون مقاومت DC انجام شود.
- در این آزمون بایستی اتصال سیم‌پیچ ترانسفورماتور، دیاگرام اتصالات مدار، موقعیت تپ‌چنجر و مقدار جریان و ولتاژ در هر مرحله ثبت شود.
- جریان‌های بی‌باری بایستی تا حد امکان در ولتاژ منبع یکسان قرائت شوند. در هنگام مقایسه جریان‌ها بایستی به ولتاژ منبع در تغذیه سه‌فاز توجه کرد.
- داده‌های اندازه‌گیری‌شده بایستی برای مقایسه‌های بعدی بایگانی شوند.

۱۰-۴-۱۰- آزمون امپدانس اتصال کوتاه (راکتانس نشتی)

۱۰-۴-۱۰-۱- کلیات

هدف از انجام این آزمون به طور معمول تشخیص آسیب فیزیکی سیم‌پیچ ترانسفورماتور است. هنگامی که جریان اتصال کوتاه از سیم‌پیچ ترانسفورماتور عبور می‌کند، تنش‌های الکترومکانیکی شدید به سیم‌پیچ وارد می‌شود که در نتیجه آن ممکن است سیم‌پیچ دچار تغییر شکل مکانیکی شود. سیم‌پیچ تغییرشکل‌یافته ممکن است بدون مشکل در حالت عادی کار کند اما استقامت آن در مقابل نیروهای اتصال کوتاه تضعیف شده و لذا احتمال بالاتری وجود دارد که در جریان اتصال کوتاه بعدی ترانسفورماتور بلافاصله دچار عیب بزرگی شود. به کمک این آزمون می‌توان تغییرات مکانیکی سیم‌پیچ را تشخیص داد. انجام این آزمون در حالتی که ترانسفورماتور مشکوک باشد و با نظر متخصصین مربوطه توصیه می‌شود. همچنین مناسب است که نتایج این آزمون در کنار آزمون‌های دیگری که به تغییر شکل حساس هستند مثل تحلیل پاسخ فرکانسی و خازن سیم‌پیچ

ارزیابی شود. موارد دیگری چون قطع‌شدگی مسیرهای موازی در ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ نیز نتیجه این آزمون را تحت تاثیر قرار می‌دهد و لذا قابل تشخیص است.

مسیر شار نشتی شامل فاصله هوایی و هسته ترانسفورماتور است اما رلوکتانس هسته در مقابل رلوکتانس فاصله هوایی قابل صرف‌نظر کردن است. بنابراین راکتانس نشتی را به طور عمده رلوکتانس فاصله هوایی تعیین می‌کند و از آن‌جا که این رلوکتانس خطی است، بنابراین راکتانس نشتی بایستی در جریان‌های مختلف یک مقدار ثابت داشته باشد. لذا مقدار اندازه‌گیری‌شده در پست با مقدار اندازه‌گیری‌شده در کارخانه قابل مقایسه است. به دلیل اینکه فضای بین دو سیم‌پیچ مقدار راکتانس نشتی را تعیین می‌کند، تغییر شکل فیزیکی سیم‌پیچ که باعث تغییر حجم بین دو سیم‌پیچ می‌شود، باعث تغییر راکتانس نشتی شده و در این آزمون قابل تشخیص است.

بایستی توجه داشت که در کارخانه، آزمون به صورت سه‌فاز و در جریان نامی انجام می‌شود و متوسط راکتانس نشتی سه فاز گزارش می‌شود. این در حالی است که در محل نصب، آزمون معمولا به صورت تک‌فاز و با جریان کمتر انجام می‌شود. بنابراین و با درنظرگرفتن خطای تجهیزات، مقدار اندازه‌گیری‌شده در در محل نصب با مقدار کارخانه اندکی متفاوت خواهد بود. با این وجود مقدار قیدشده بر روی پلاک ترانسفورماتور به عنوان امپدانس درصد یا امپدانس اتصال کوتاه می‌تواند معیاری برای مقایسه داده‌های اندازه‌گیری‌شده در در محل نصب باشد. در صورتی که اندازه‌گیری‌های قبلی موجود باشند، مقایسه با آن‌ها ارجحیت دارد.

دقت شود که بین امپدانس اتصال کوتاه و راکتانس نشتی تفاوت وجود دارد چرا که امپدانس اتصال کوتاه علاوه بر راکتانس نشتی شامل مقاومت سیم‌پیچ نیز می‌باشد اما برای ترانسفورماتورهای قدرت با صرف‌نظر از مقاومت سیم‌پیچ می‌توان این دو مقدار را تقریبا برابر فرض کرد.

مطابق IEEE C57.152 در ترانسفورماتورهای سه‌فاز، مقدار راکتانس نشتی اندازه‌گیری شده متوسط سه‌فاز بایستی در محدوده 3% از مقدار پلاک باشد. در ترانسفورماتورهای به صورت بانک نیز، مقدار اندازه‌گیری‌شده در هر فاز بایستی در محدوده 3% از مقدار پلاک باشد. در صورتی که مقدار اندازه‌گیری‌شده از مرحله قبل موجود باشد، مقدار راکتانس اندازه‌گیری‌شده نبایستی بیش از 2% نسبت به مقدار مرجع تفاوت داشته باشد [۱۲].

۱۰-۴-۱۰-۲- نکات

نکات زیر بایستی در اندازه‌گیری امپدانس‌درصد رعایت شود:

۱- در این آزمون بایستی اتصال ترانسفورماتور، دیاگرام اتصالات و ولتاژ و جریان هر مرحله ثبت شود.

۲- برای ترانسفورماتوری که دارای سه سیم‌پیچ مستقل باشد، اندازه‌گیری می‌تواند بین سطوح مختلف ولتاژی به ترتیب انجام شود (امپدانس اولیه-ثانویه، ثانویه-ثالثیه و اولیه-ثالثیه) و سپس راکتانس نشتی سیم‌پیچ‌ها به تفکیک از این سه اندازه‌گیری می‌تواند محاسبه شود. اتوترانسفورماتور با سیم‌پیچ سوم دقیقا مشابه یک ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه بایستی اندازه‌گیری شود.

۳- در صورتی که ترانسفورماتور دارای تپ‌چنجر آفلاین یا آنلاین باشد، آزمون بایستی در تپی انجام شود که بر روی پلاک قید شده است.

۴- داده‌های اندازه‌گیری بایستی برای مقایسه در آینده به نحو مناسب بایگانی شود.

۵- این آزمون جایگزین آزمون خازن و جریان بی‌باری نیست بلکه مکمل این دو آزمون محسوب می‌شود.

۶- هادی‌هایی که برای اتصال کوتاه استفاده می‌شوند بایستی کوتاه بوده و سطح مقطع کافی داشته باشند تا مقاومت قابل توجهی را به مدار اضافه نکنند.

۱۰-۴-۱۱- آزمون ولتاژ القایی

۱۰-۴-۱۱-۱- کلیات

در آزمون ولتاژ القایی که معمولا با اندازه‌گیری PD انجام می‌شود، ولتاژی بیشتر از مقدار نامی بر روی سیم‌پیچ‌ها ایجاد می‌شود تا عایق بین سیم‌پیچ‌ها با یکدیگر، عایق بین سیم‌پیچ تا زمین و عایق حلقه‌ها با یکدیگر مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون که در کارخانه به عنوان آخرین آزمون انجام می‌شود، این اطمینان را ایجاد می‌کند که ترانسفورماتور می‌تواند تنش‌های کاری معمول را برای مدت طولانی تحمل کند. در محل نیز گاهی انجام این آزمون مورد نیاز است تا این اطمینان حاصل شود که سیستم عایقی ترانسفورماتور بدون عیب بوده و می‌تواند بدون خطر وضعیت عادی را تحمل کند.

انجام این آزمون معمولا در مواردی توصیه می‌شود که هیچ یک از آزمون‌های دیگر نمی‌توانند با قطعیت سلامت ترانسفورماتور را تایید کنند. از جمله مواردی که انجام آزمون ولتاژ القایی توصیه می‌شود عبارتند از:

- پس از تعمیر ترانسفورماتور در محل
- برای یافتن عیب
- زمانی که نتیجه DGA، وضعیت تخلیه جزئی را مشخص می‌کند
- پس از معیوب شدن برخی تجهیزات جانبی مثل بوشینگ، تپ‌چنجر و ...

- زمانی که صدای غیرمعمول قوس از داخل ترانسفورماتور شنیده می‌شود
- زمانی که ترانسفورماتور تریپ می‌خورد و به خصوص با عملکرد رله‌هایی نظیر دیفرانسیل و فشار ناگهانی همراه است
- زمانی که سایر آزمون‌های عایقی مثل tanδ، مقاومت عایقی یا آزمون‌های کیفیت روغن مشکلی را نشان می‌دهند و نوع عیب با انجام آزمون‌های مختلف مشخص نشده است.
- به طور کلی، در زمان مشکوک بودن ترانسفورماتور، لازم است آزمون‌های متعددی انجام شود که از جمله آن‌ها آزمون ولتاژ القایی است.

معیار پذیرش آزمون آن است که ترانسفورماتور بدون مشکل، ولتاژ ایجاد شده را در مدت معین تحمل کند. بر اساس استاندارد IEEE Std 62-1995[1] بهتر است برای مدت زمان نیم ساعت تا یک ساعت ولتاژ نامی ($U_n / \sqrt{3}$ فاز به زمین) بر روی ترانسفورماتور باشد و سپس برای مدت زمان یک دقیقه این ولتاژ به 125% مقدار نامی ($1.25 \times U_n / \sqrt{3}$ فاز به زمین) رسانده شود. پس از مدت‌زمان یک دقیقه ولتاژ به مقدار نامی ($U_n / \sqrt{3}$ فاز به زمین) کاهش داده می‌شود و ترانسفورماتور بایستی برای مدت زمان دو ساعت در این ولتاژ باقی بماند. پس از سپری شدن این زمان ولتاژ تا مقدار صفر کاهش داده می‌شود.

در صورتی که همراه با آزمون تخلیه جزئی نیز اندازه‌گیری شود، برای پذیرش همچنین مقدار تخلیه جزئی اندازه‌گیری شده بایستی از حدود تعیین شده کمتر باشد. مطابق IEEE C57.152 مقدار تخلیه جزئی بزرگ‌تر از 500 pC نشان‌دهنده مشکل عمده در ترانسفورماتور است. در صورتی که مقدار تخلیه جزئی از حد مشخص‌شده بالاتر باشد، می‌توان از روش‌های متفاوتی برای تشخیص علت و محل تخلیه استفاده کرد. این موارد عبارتند از: اندازه‌گیری تخلیه در سطوح مختلف ولتاژ، توجه به الگوی تخلیه جزئی یا PRPD، مکان‌یابی PD به روش صوتی و مکان‌یابی به روش UHF.

۱۰-۴-۱۱-۲- نکات

برای انجام این آزمون نکات زیر بایستی مدنظر باشد:

۱- با توجه به اینکه اندازه‌گیری تخلیه جزئی به همراه این آزمون انجام می‌شود، لازم است تمهیدات برای کاهش تخلیه زمینه انجام شود تا آن‌چه که اندازه‌گیری می‌شود مربوط به تخلیه داخلی ترانسفورماتور

[1] IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors

باشد. در غیر این صورت، تخلیه بر روی زمین وجود خواهد داشت که تشخیص وضعیت ترانسفورماتور را مشکل می‌کند.

۲- مقدار تخلیه جزئی بایستی در هنگام افزایش ولتاژ، در کاهش ولتاژ و و نیز در بالاترین ولتاژ قرائت شود.

۱۰-۴-۱۲- آزمون گروه برداری

منظور از گروه برداری ترانسفورماتور اختلاف فازی است که بین اولیه (فشارقوی) و ثانویه (فشارضعیف) ترانسفورماتور ایجاد می‌شود. این زاویه که مضربی از ۳۰ درجه است معمولا با یک عدد بین صفر تا ۱۱ بیان می‌شود که این عدد از تقسیم مقدار واقعی درجه اختلاف فاز بر ۳۰ درجه تعیین می‌شود. این عدد معمولا بعد از ذکر اتصال ترانسفورماتور قید می‌شود، مانند YNd11، و به آن گروه برداری ترانسفورماتور گفته می‌شود. در محاسبه گروه برداری یا اختلاف فاز، بردار ولتاژ فشارقوی مرجع است و اختلاف فاز سمت فشارضعیف نسبت به آن به دست می‌آید.

گروه برداری در موارد متعددی اهمیت دارد که یکی از آن‌ها موازی کردن ترانسفورماتورها با یکدیگر است که بایستی گروه برداری آن‌ها نیز یکی باشد. آزمون گروه برداری بایستی پیش از راه‌اندازی در محل پست انجام شود. تا زمانی که اتصالات ترانسفورماتور تغییر نکرده باشد گروه برداری آن ثابت خواهد بود و نیاز به انجام این آزمون نیست. اما در صورتی که ترانسفورماتور تعمیر شده و اتصالات آن از داخل باز شده باشد یا در هنگامی که اتصالات بانک ترانسفورماتور جهت انجام آزمون‌های دوره‌ای باز می‌شود، انجام آزمون گروه برداری برای اطمینان از درستی اتصالات توصیه می‌شود. لازم به ذکر است که گروه‌های برداری معمول‌تر در ایران عبارتند از صفر (اتوترانسفورماتور)، ۱، ۵، ۷ و ۱۱. پس از اندازه‌گیری اختلاف فاز و تعیین گروه برداری، این گروه بایستی با عدد قید شده روی پلاک مقایسه شود و مغایرتی نداشته باشد.

۱۰-۵- سایر آزمون‌های عیب‌یابی ترانسفورماتور

۱۰-۵-۱- آنالیز مشتقات فوران

کاغذ به طور عمده از سلولز (حدود ۹۰٪) تشکیل شده است و سلولز زنجیره‌ای از مولکول‌های گلوکز است که توسط اتم‌های اکسیژن به یکدیگر متصل شده‌اند. زمانی که کاغذ فرآیند پیری را طی می‌کند، پیوندهای این زنجیره شکسته می‌شود. محصولات مستقیمی که تولید می‌شوند به طور عمده CO و CO_2، رطوبت، اسیدهای

ارگانیک و مولکول‌های آزاد گلوکز هستند. در اثر واکنش‌های ثانوی، مولکول‌های گلوکز تبدیل به ترکیبات آروماتیکی می‌شوند که به نام مشتقات فوران شناخته می‌شوند. به همین دلیل با اندازه‌گیری مشتقات فوران در روغن می‌توان تا حدودی به وضعیت پیری عایق کاغذی پی برد. به طور معمول زمانی که نتایج DGA درگیر بودن کاغذ در خطا را نشان می‌دهد (با نسبت CO_2/CO) انجام آزمون فوران برای اطمینان بیشتر در مورد دخیل بودن کاغذ در خطا توصیه می‌شود.

پنج نوع عمده از مشتقات فوران در روغن عبارتند از:

- 2-furfuraldehyde (2FAL)
- 5-hydroxy-methyl 2-furfuraldehyde (5H2F)
- 2-acetylfuran (2ACF)
- 5-methyl 2-furfuraldehyde (5M2F)
- 2-furfuryl-alcohol (2FOL)

به جز 2FAL سایر ترکیبات در روغن ناپایدار هستند و به مرور زمان به مواد دیگر و 2FAL تبدیل می‌شوند [۳, ۱۹, ۳۱]. به همین دلیل، در بین ترکیبات فوق تنها 2FAL در حال حاضر برای تشخیص وضعیت کاغذ استفاده می‌شود. بایستی ذکر شود که مجموع مشتقات فوران نیز می‌تواند برای عیب‌یابی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین دقت شود که ترکیبات فوران معمولا بسیار کم است و ممکن است به جای ppm برحسب ppb[1] بیان شود.

مزیت روش تحلیل مشتقات فوران در آن است که این ترکیبات توسط خود روغن نمی‌توانند تولید شوند و محصول پیری کاغذ هستند. به همین دلیل است که این ترکیبات معیار قضاوت در مورد وضعیت کاغذ قرار گرفته‌اند. نکته بسیار مهم آن است که مطابق IEEE C57.152 یکی از ترکیباتی که به عنوان حلال در فرآیند پالایش در اروپا استفاده می‌شود می‌تواند منشا تولید فوران خصوصا در روغن نو باشد. به همین دلیل بسیار اهمیت دارد که قضاوت فقط بر مبنای مقدار مطلق مشتقات فوران انجام نشود.

گرچه IEEE C57.152 تلویحا ذکر می‌کند که غلظت ترکیبات فوران معمولا کمتر از 0.5 ppm است اما برشور ۴۹۴ سیگره صراحتا ذکر می‌کند که امکان تعیین یک حد آستانه برای ترکیبات فوران برای تشخیص وضعیت پیری کاغذ امکان‌پذیر نیست. علل این موضوع را می‌توان به صورت زیر فهرست کرد:

۱- تولید مشتقات فوران به شرایط محیطی مثل رطوبت، دما و اکسیژن بستگی دارد.

۲- تولید مشتقات فوران به مقدار کاغذ و نوع آن بستگی دارد. همچنین در اضافه دمای عمومی و اضافه‌دمای نقطه‌ای تولید فوران متفاوت است.

[1] Part per billion

۳- غلظت مشتقات فوران در روغن به توانایی کاغذ در نگهداری این مشتقات بعد از تشکیل بستگی دارد.

۱- مشتقات فوران در ترانسفورماتور در یک حالت تعادل بین کاغذ و روغن قرار دارند و بین این دو در رفت و آمد هستند. نسبت تعادل نیز به شدت به دما، رطوبت، اکسیژن، اسیدیته روغن، نوع کاغذ و حتی طراحی تجهیز بستگی دارد.

۲- ظاهرا تولید مشتقات فوران به حضور یا عدم حضور بازدارنده‌ها در روغن نیز بستگی دارد.

۳- فیلتر کردن مکرر روغن نیز ممکن است باعث افزایش ترکیبات فوران شود. علت آن است که فیلترها معمولا از الیاف گیاهی ساخته می‌شود که ورود آن‌ها به روغن باعث افزایش ترکیبات فوران می‌گردد.

۴- به اختصـار می‌توان گفت که به دلیل اینکه غلظت ترکیبات فوران به عوامل بسـیاری بسـتگی دارد، تعیین یک حد آستانه برای آن به منظور عیب‌یابی امکان پذیر نیست.

گزارش علمی IEC/TR 62874:2015 در ضمیمه A، مطالعاتی را گزارش کرده است که بر روی حدود ۴۰۰۰ واحد ترانسفورماتور با عمرهای مختلف انجام شده است. نتیجه این مطالعه در جدول (۱-۱۱) و جدول (۱-۱۲) آورده شده است. منظور از 90 و 98 آن است که 90% یا 98% ترانسفورماتور مقادیری کمتر از آن‌چه که در جدول قید شده است داشته‌اند. خود این گزارش تاکید می‌کند که این مقادیر نبایستی به عنوان حد آستانه در نظر گرفته شود و صرفا جهت اطلاع از حدود فوران ذکر شده است. مقادیری که در جدول با خط تیره نشان داده شده‌اند به دلیل کم بودن داده‌ها محاسبه و گزارش نشده‌اند.

جدول ۱۰-۹-مقادیر معمول **2-FAL** برای ترانسفورماتورهای نیروگاهی پرشده از روغن بدون بازدارنده بر اساس **IEC/TR 62874:2015**.

عمر ←		**کمتر از ۱ سال**		**۱ تا ۱۰ سال**		**۱۰ تا ۳۰ سال**		**بیشتر از ۳۰ سال**	
صدک ↓		Conc.	Rol.	Conc.	Rol.	Conc.	Rol.	Conc.	Rol.
90		<0.05	<0.01	0.3	0.04	2.0	0.30	3.0	-
98		<0.05	<0.01	1.0	0.10	4.0	0.70	6.0	-
منظور از .Conc مقدار غلظت بر حسب mg/kg (ppm) و منظور از Rol مقدار رشد بر اساس mg/kg/y (ppm در سال) است.									

جدول ۱۰-۱۰- مقادیر معمول **2-FAL** برای ترانسفورماتورهای نیروگاهی پرشده از روغن دارای بازدارنده بر اساس **IEC/TR 62874:2015**.

عمر ←	**کمتر از ۱ سال**		**۱ تا ۱۰ سال**		**۱۰ تا ۳۰ سال**		**بیشتر از ۳۰ سال**	
صدک ↓	Conc.	Rol.	Conc.	Rol.	Conc.	Rol.	Conc.	Rol.
90	-	-	0.10	-	0.80	0.25	-	-
98	-	-	0.15	-	1.50	0.60	-	-
منظور از .Conc مقدار غلظت بر حسب mg/kg (ppm) و منظور از Rol مقدار رشد بر اساس mg/kg/y (ppm در سال) است.								

IEEE و سیگره راهکارهای زیر را برای استفاده از روش مشتقات فوران توصیه می‌کنند:

۱- بهتر است به جای استفاده از مقدار مطلق ترکیبات، به نرخ افزایش آن‌ها توجه شود. به این ترتیب می‌توان بهتر در مورد وضعیت پیری کاغذ اظهار نظر کرد.

۲- برای استفاده از مقادیر مطلق بهترین حالت آن است که از یک بانک اطلاعاتی مربوط به ترانسفورماتورهای مشابه و موجود استفاده شود. به بیان دیگر، در صورتی که متوسط مشتقات فوران در ترانسفورماتورهای غیرمشکوک مشخص باشد بهتر می‌توان در مورد مقدار مطلق مشتقات فوران اظهار نظر کرد.

۳- تصمیم‌گیری نباید بر مبنای تنها یک اندازه‌گیری انجام شود و در صورت شک حتما بایستی اندازه‌گیری تکرار شود.

در نهایت لازم به ذکر است که اندازه‌گیری مشتقات فوران بایستی مطابق با IEC 61198 و یا استانداردهای ASTM D923 و ASTM D5837-2012 انجام شود [۳۳-۳۵].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۵-۲- عدد پلیمریزاسیون کاغذ

کاغذ به طور عمده از سلولز تشکیل شده است که یک زنجیره خطی از مولکول‌های گلوکز است. عدد پلیمریزاسیون یا DP[1] متوسط تعداد مولکول‌های گلوکز در زنجیره‌های سلولز کاغذ است. با پیرشدن کاغذ زنجیره‌های سلولز شکسته شده و DP کاهش می‌یابد. به همین دلیل می‌توان DP را معیاری از پیری کاغذ در نظر گرفت.

با پیر شدن کاغذ، الیاف سلولز کوتاه‌تر شده و کاغذ استقامت مکانیکی خود را از دست می‌دهد. DP برای کاغذ نو عددی بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ است که در فرآیند خشک‌کردن مقداری کاهش می‌یابد و سپس با پیر شدن کاغذ عدد آن کوچک‌تر می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که استقامت مکانیکی کاغذ در بازه DP ۹۵۰ تا ۵۰۰ تقریبا ثابت است اما در بازه ۵۰۰ تا ۲۰۰ به صورت خطی با DP کاهش می‌یابد. زمانی که DP به عددی حدود ۲۰۰ یا ۱۵۰ کاهش می‌یابد، گفته می‌شود که کاغذ به پایان عمر خود رسیده است [۱۲]. البته باید ذکر گردد که مطابق تحقیقات میدانی مشخص شده است که تعداد قابل توجهی از ترانسفورماتورهایی که بدون مشکل در حال کار هستند DP کوچک‌تر از ۱۵۰ دارند [۳۶].

فرآیند تعیین DP در IEC 60450 و ASTM D4243-86 ذکر شده است. فرآیند معمولا به این صورت است که کاغذ در یک محلول حل شده رقیق می‌گردد و سپس DP بر اساس گران‌روی محلول تعیین می‌شود. بایستی توجه کرد که تعیین DP می‌تواند خطاهای متفاوتی به همراه داشته باشد که برخی از آن‌ها در زیر بیان شده‌اند [۳]:

۱- دمای محیط. در صورتی که در هنگام حل کردن کاغذ دمای محیط بالاتر از $20\ ^0C$ باشد، انحلال کامل کاغذ رخ نمی‌دهد.

۲- قرار گرفتن در معرض هوا. محلول تهیه شده نسبت به اکسیژن حساس است. زمانی که محلول در معرض هوا قرار می‌گیرد DP اندازه‌گیری‌شده کاهش می‌یابد.

۳- پلیمر زمانی که برای مدت طولانی تکان داده می‌شود از لحاظ مکانیکی پیر می‌شود. همین موضوع در محلول و با لرزشی که توسط دستگاه ایجاد می‌شود اتفاق می‌افتد و لذا DP اندازه‌گیری شده به سرعت تکان دادن محلول نیز بستگی دارد.

۴- گرفتن روغن و تعیین رطوبت. برای تعیین وزن دقیق کاغذ، روغن بایستی از کاغذ به طور کامل گرفته شود. همچنین مقدار رطوبت بایستی به دقت تعیین شود که این موارد نیز باعث بروز خطا در تعیین DP می‌شود.

[1] Degree of polymerization

۵- موارد فوق نشان می‌دهند که خطاهای متفاوتی در اندازه‌گیری DP رخ می‌دهد و لذا تصمیم‌گیری بر اساس آن بایستی با احتیاط انجام شود.

برای تعیین DP، یک نمونه کاغذ از ترانسفورماتور احتیاج است که این نمونه بایستی از داخل ترانسفورماتور گرفته شود. هرگز فقط برای نمونه‌گیری از کاغذ ترانسفورماتور را باز نکنید. تنها در صورتی که ترانسفورماتور برای علت دیگری باز شده و روغن آن تخلیه شده و تنها در صورت لزوم از کاغذ نمونه برداری کنید. فرآیند نمونه‌برداری به این صورت است که یک نمونه کاغذ به اندازه تقریبی $1\ cm^2$ از محلی مناسب در بالاترین قسمت فاز وسط گرفته می‌شود [۱۲]. به صورت کلی در یک ترانسفورماتور سه‌فاز، محلی که دارای بالاترین دمای متوسط است قسمت بالایی فاز وسط است و لذا کاغذ در این قسمت بیشتر پیر می‌شود. در صورتی که این کار قابل انجام نباشد می‌توان نمونه را از قسمت فوقانی یکی دیگر از فازها گرفت. گاهی لازم است برای اطمینان از عدم ایجاد مشکل در ترانسفورماتور، عایق قسمتی که نمونه‌گیری شده است با نوار کاغذی مناسب تقویت شود.

۱۰-۵-۳- ترموگرافی

ترموگرافی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند برخی از عیوب حرارتی ترانسفورماتور را بدون خارج‌کردن آن از مدار نشان دهد. این عیوب می‌توانند مواردی مثل افزایش مقاومت الکتریکی اتصالات، جریان گردشی، کاهش سطح روغن، مسدودشدن رادیاتورها، مشکلات تپ‌چنجر و ... باشد. بهتر است ترموگرافی به صورت سالیانه انجام شود. همچنین بعد از آزمون‌های نگهداری و در مواردی که اتصالات ترانسفورماتور باز شده و مجددا بسته شده است، مناسب است ترموگرافی انجام شود تا اطمینان حاصل شود که اتصالات به درستی برقرار شده‌اند. همچنین توصیه می‌شود که در هنگام انجام آزمون جهش حرارتی در کارخانه درخواست شود تا یک تصویر حرارتی از ترانسفورماتور تهیه شود. این تصویر می‌تواند برای مقایسه در آینده به کار گرفته شود. لازم به ذکر است که می‌توان از ترمومترهای لیزری که به صورت نقطه‌ای نیز دما را اندازه‌گیری می‌کنند استفاده کرد. در این صورت می‌توان دمای چندین نقطه مهم را اندازه‌گیری کرده و معیار مقایسه قرار داد.

توصیه می‌شود که تصویربرداری توسط افرادی که تجربه میدانی این کار را دارند انجام شود. همچنین دقت شود که ترموگرافی بایستی هنگامی که ترانسفورماتور در حال بارگیری است انجام شود و بهتر است اندازه‌گیری زمانی صورت گیرد که بار ترانسفورماتور قابل توجه است. همچنین مناسب است که ترموگرافی به صورت سالیانه قبل از پیک بار تابستانه انجام شود.

ATS جدولی را ارائه کرده است که می‌تواند به عنوان یک راهنمای کلی در ترموگرافی مدنظر قرار گیرد. این معیار که در جدول (۱-۱۳) نشان داده شده است در استاندارد IEEE C57.152 نیز ذکر شده است [۱۹, ۳۷].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۱۰-۱۱- راهنمای کلی برای ارزیابی ترموگرافی براساس **NETA ATS**.

اقدام مناسب	تفاوت دما (ΔT) براساس مقایسه بین تجهیزات مشابه در بارگیری یکسان (^{0}C)	تفاوت دما (ΔT) براساس مقایسه بین تجهیزات و دمای محیط (^{0}C)
وضعیت عادی یا خطای احتمالی. نیاز به بازبینی	1 – 10	1 – 3
نشان‌دهنده عیب احتمالی. تعمیر زمانی که شرایط اجازه دهد	11 – 20	4 – 15
رصد وضعیت تا زمانی که اقدام اصلاحی قابل انجام باشد.	21 – 40	> 15
عیب قابل توجه، تعمیر در اسرع وقت*	> 40	> 15
* برای برخی از تجهیزات دارای روغن، ممکن است مواردی باشد که افزایش قسمت بالای روغن تا ^{0}C 65 بیشتر از محیط عادی باشد.		

۱۰-۶- زمان‌بندی انجام آزمون‌های دوره‌ای

در جدول (۱-۱۴)، زمان‌بندی انجام آزمون‌های دوره‌ای آورده شده است. لازم به ذکر است که این زمان‌بندی مربوط به ترانسفورماتور با وضعیت عادی است و در حالتی که ترانسفورماتور مشکوک به عیب باشد ممکن است لازم باشد که انواع مختلفی از آزمون‌ها به دفعات تکرار شوند. لازم به ذکر است که در استاندارد IEEE C57.152 بازه انجام آزمون‌ها سه تا پنج سال تعیین شده است و در دستورالعمل ۷۴-۴۰۵ وزارت نیرو (سال ۸۱) بازه زمانی انجام آزمون‌های پنج سال تعیین شده است. در نهایت با نظر متخصصین و با توجه به شرایط ایران، بازه زمانی سه سال برای ایران انتخاب شده است. همچنین، ترتیب مناسب انجام آزمون‌های الکتریکی دوره‌ای در جدول (۱-۱۵) آورده شده است.

جدول ۱۰-۱۲- زمان‌بندی انجام آزمون‌های الکتریکی دوره‌ای ترانسفورماتور.

نام آزمون	بازه زمانی انجام آزمون
مقاومت DC سیم‌پیچ در تمامی تپ‌ها	سه ساله و در موارد مشکوک* (و همزمان با سرویس تپ‌چنجر)
نسبت تبدیل در تمامی تپ‌ها	سه ساله و در موارد مشکوک
جریان بی‌باری (همراه با نسبت تبدیل)	سه ساله و در موارد مشکوک
مقاومت عایقی سیم‌پیچ و عدد پلاریزاسیون	سه ساله و در موارد مشکوک
مقاومت عایقی هسته	سه ساله و در موارد مشکوک
آزمون ضریب تلفات عایقی (tanδ) و خازن سیم‌پیچ	سه ساله** و در موارد مشکوک
تقسیم شار	سه ساله و در موارد مشکوک
امپدانس اتصال کوتاه (راکتانس نشتی)	در موارد مشکوک
اضافه‌ولتاژ القایی	در موارد مشکوک
تخلیه جزئی	در موارد مشکوک
تحلیل پاسخ فرکانسی	در موارد مشکوک
پاسخ عایقی (FDS یا DFR)	در موارد مشکوک
گروه برداری	بعد از تغییر اتصالات ترانسفورماتور

* در موارد مشکوک، آزمون‌ها بایستی با نظر متخصصان مربوطه انجام گیرد.

** در مواردی که نتایج آزمون مقاومت عایقی مناسب باشد، احتیاجی به انجام آزمون tanδ سیم‌پیچ نیست (در شرایطی که ترانسفورماتور مشکوک نباشد).

جدول ۱۰-۱۳- ترتیب انجام آزمون‌های الکتریکی دوره‌ای ترانسفورماتور.

ترتیب آزمون	نام آزمون
۱	مقاومت عایقی سیم‌پیچ و عدد پلاریزاسیون
۲	مقاومت عایقی هسته
۳	آزمون ضریب تلفات عایقی (tanδ) و خازن سیم‌پیچ
۴	نسبت تبدیل در تمامی تپ‌ها و جریان بی‌باری
۵	تقسیم شار
۶	مقاومت DC سیم‌پیچ در تمامی تپ‌ها

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۰-۷- نتیجه گیری

بر اساس منحنی تغییرات مقادیر پارامترهای روغن و محتوی گازی آن، ارزیابی وضعیت روغن بر اساس روش ارائه شده در این فصل امکانپذیر است؛ جهت داشتن اطمینان بیشتر از این نتیجه‌گیری‌ها، با مقایسه وضعیت این ترانسفورماتورها با ترانسفورماتورهای دیگر، از پایگاه اطلاعاتی شرکت ترانسفورماتور صنعت پارس استفاده شد. این شرکت، با توجه به تجربیات زیادی که در بررسی ترانسفورمانورهای نیروگاه‌های مختلف کشور دارد، دارای نرم‌افزار تحلیل داده‌های آزمون‌های روغن ترانسفورماتور است که بر اساس اطلاعات پایگاه داده جمع‌آوری شده این شرکت و به کمک شبکه عصبی طراحی شده است؛ این نرم‌افزار، نتایج آزمون ورودی به آن را با نتایج آزمون تعداد زیادی ترانسفورماتور دیگر با استفاده از شبکه‌های عصبی مقایسه می‌کند و بر اساس همبستگی موجود بین این نتایج، ارزیابی بهتر از وضعیت ترانسفورماتور ارائه می‌دهد.

در جدول زیر عیوب متداول ترانسفورماتور قدرت و آزمون‌هایی که قادر به آشکارکردن این عیوب هستند به تفضیل ارائه گردیده اند.

جدول ۱۰-۱۴- عیوب متداول ترانسفورماتور قدرت و آزمون‌هایی که قادر به آشکارکردن این عیوب هستند

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
سیم‌پیچ	اتصال حلقه *	عبور جریان قابل توجه از حلقه‌های اتصال کوتاه‌شده افزایش دمای موضعی و تولید گاز	مقاومت DC سیم‌پیچ نسبت تبدیل تقسیم شار جریان بی‌باری تحلیل گازهای محلول در روغن (DGA)
	اتصال بد سیم‌پیچ به نقطه زیر بوشینگ *	افزایش دمای موضعی و تولید گاز	مقاومت DC سیم‌پیچ DGA
	از دست رفتن فشار روی سیم‌پیچ (کاهش فشار پرس‌رینگ) و شل شدن آن	از دست رفتن قدرت تحمل اتصال کوتاه احتمال آسیب قابل توجه در اتصال کوتاه بعدی	تحلیل پاسخ فرکانسی (FRA) راکتانس نشتی (امپدانس درصد)
	تغییر شکل مکانیکی سیم‌پیچ * شامل: تغییر شکل شعاعی، جابه‌جایی محوری،	از دست رفتن قدرت تحمل اتصال کوتاه احتمال آسیب قابل توجه در اتصال کوتاه بعدی	اندازه‌گیری خازن سیم‌پیچ راکتانس نشتی (امپدانس درصد) FRA

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
	شکستگی اسپیرهای شعاعی، خم‌شدن سیم‌پیچ بین اسپیسرها، تغییر فاصله بین دیسک‌ها، پیچش حلزونی، کج‌شدن هادی‌ها در اثر نیرو از حالت عمودی،	احتمال اتصال کوتاه الکتریکی به دلیل آسیب‌دیدن عایق	
	قطع بودن سیم‌پیچ (بریده شدن هادی)	وقوع تخلیه در محل قطع و تولید گاز به هم ریختن تعادل سه فاز	نسبت تبدیل جریان بی‌باری DGA
	قطع یکی از مسیرهای موازی سیم‌پیچ	افزایش جریان سیم‌پیچ‌های دیگر افزایش دمای موضعی و تولید گاز وقوع تخلیه در محل قطع	مقاومت DC سیم‌پیچ جریان بی‌باری راکتانس نشتی (امپدانس درصد) DGA
	اتصال لایه‌های موازی سیم دریل (CTC) به یکدیگر	افزایش دمای موضعی و تولید گاز	DGA
	اتصال کوتاه سیم‌پیچ به زمین اتصال کوتاه بین فازها	تخلیه با قدرت زیاد و احتمال انفجار عملکرد رله‌ها بلافاصله پس از برق‌دار شدن ترانسفورماتور	مقاومت عایقی
سیم‌پیچ	گروه برداری نادرست (خصوصا به صورت موازی با ترانسفورماتور دوم)	عبور جریان گردشی شدید از ترانسفورماتور افزایش دما و تولید گاز	آزمون گروه برداری
هسته	زمین‌شدن هسته از دو نقطه *	عبور جریان گردشی قابل توجه از هسته و مسیر جریان زمین افزایش دمای موضعی و تولید گاز امکان ذوب شدن مسیر اصلی اتصال هسته به زمین	مقاومت عایقی هسته DGA
	تخریب عایق بین هسته تا زمین	احتمال زمین شدن هسته از نقطه دوم	مقاومت عایقی هسته

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
	بازشدن زمین هسته یا بد زمین شدن آن	ولتاژ گرفتن هســـته و وقوع تخلیه جزئی	تانژانت دلتای سیم‌پیچ تخلیه جزئی DGA
	اتصال بین ورق‌های هسته یا اتصال بین بسته‌های طرفین کانال‌های خنک‌کنندگی هسته	افزایش تلفات فوکو افزایش دمای موضعی و تولید گاز	جریان بی‌باری (در صورت شدید بودن اتصال) DGA
سیستم عایقی	ورود رطوبت به ترانسفورماتور *	افزایش نرخ پیری کاغذ کاهش ولتاژ شکست روغن احتمال ایجاد حباب بخار آب در بارگذاری اضطراری	مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون تانژانت دلتای سیم‌پیچ مقدار رطوبت در روغن آزمون FDS ولتاژ شکست[1]
	تخلیه جزئی در کاغذ *	آسیب‌دیدن کاغذ و احتمال گسترش به تخلیه با انرژی بالا تولید گاز	تخلیه جزئی DGA آنالیز مشتقات فوران میزان CO_2 و نسبت CO_2 به CO
	پیری شدید سیستم عایقی کاغذ و روغن *	کاهش ولتاژ شکست احتمال بروز اتصـــال کوتاه داخلی و بروز تخلیه	مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون تانژانت دلتای سیم‌پیچ آنالیز مشتقات فوران عدد پلیمریزاسیون کاغذ عدد اسیدی روغن کشش بین سطحی روغن ولتاژ شکست

[1] ولتاژ شکست، مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون به صورت هماهنگ در اثر رطوبت تغییر می‌کنند، یعنی در هر سه آزمون اثر آن دیده می‌شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
			نسبت بین کشش سطحی و عدد اسیدی
سیستم عایقی	کاهش استقامت عایقی روغن	کاهش ولتاژ شکست احتمال بروز اتصال کوتاه داخلی و بروز تخلیه	ولتاژ شکست روغن[1]
	ورود آلودگی به روغن (مثل رنگ، ذرات هادی یا ذرات کربنی)	کاهش ولتاژ شکست احتمال تولید گاز احتمال تخریب عایق	تانژانت دلتای روغن تانژانت دلتای سیم‌پیچ آزمون ذرات معلق در روغن
	تولید لجن در روغن	ایجاد گاز کاهش ولتاژ شکست و احتمال وقوع اتصال کوتاه داخلی انسداد مسیر خنک‌سازی روغن، ایجاد نقطه داغ موضعی و تولید گاز	آزمون لجن روغن DGA آزمون پایداری در برابر اکسیداسیون
	سولفور خورنده	اکسیدکردن هادی‌های مسی و آسیب دیدن کاغذ	آزمون سولفور خورنده آزمون فوران[2]
تپ‌چنجر	اتصال بد کنتاکت‌های تپ‌چنجر (خصوصا تشکیل جرم شدید روی کنتاکت‌ها) *	افزایش دمای موضعی، تولید گاز احتمال خوردگی کنتاکت در اثر حرارت	مقاومت DC سیم‌پیچ
	نیاز به اعمال نیروی بیشتر در برخی تپ‌ها جهت تغییر تپ	امکان عملکرد ناقص تپ‌چنجر پیری و فرسودگی مکانیزم مکانیکی تپ‌چنجر	عملکرد دستی تپ‌چنجر اندازه‌گیری جریان موتور مکانیزم
	اتصال نادرست سربندی تپ‌چنجر	وقوع جریان گردشی عدم تعادل سه‌فاز	نسبت تبدیل

[1] انجام آزمون‌های ذرات معلق و رطوبت می‌تواند به تشخیص علت کاهش استقامت عایقی روغن کمک کند.

[2] درصورتی که آزمون فوران، پیری کاغذ را نشان دهد اما این پیری با تولید گاز همراه نباشد، یکی از احتمالات وجود سولفور خورنده در ترانسفورماتور است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
سایر	جدا شدن رنگ داخلی تانک یا رادیاتور	امکان زنگ‌زدگی بدنه داخلی تولید گاز کاهش ولتاژ شکست روغن و افزایش تلفات آن به دلیل آلودگی	تانژانت دلتای روغن DGA آزمون ذرات معلق
	فلوت‌شدن شیلد	ولتاژ گرفتن شیلد و ایجاد تخلیه جزئی و تولید گاز	تخلیه جزئی DGA
سیستم خنک سازی	بسته شدن مسیر روغن در سیم‌پیچ[1]	افزایش دمای موضعی و تولید گاز پیری تسریع‌شده کاغذ	DGA آزمون لجن در روغن
	عدم عملکرد فن یا پمپ *	افزایش دمای سیم‌پیچ و تولید گاز پیری تسریع‌شده کاغذ	ترموگرافی (دوربین ترموویژن) بازبینی ظاهری
	افزایش اصطکاک یاتاقان فن یا پمپ	کشیدن جریان بیشتر از تغذیه داغ کردن و آسیب دیدن سیم‌پیچ موتور فن	اندازه‌گیری جریان موتور فن یا پمپ بازبینی ظاهری
	جهت اشتباه فلوی هوا در پره‌های رادیاتور	کاهش خنک‌سازی ترانسفورماتور افزایش دمای ترانسفورماتور پیری تسریع‌یافته کاغذ	ترموگرافی بازبینی ظاهری
	آب‌بندی نبودن واشر پمپ *	مکش گازهای جوی به داخل ترانسفورماتور عملکرد اشتباه رله بوخهلتس افزایش نرخ پیری سیستم عایقی	بازبینی ظاهری DGA
	بسته بودن شیر رادیاتور *	کاهش خنک‌سازی ترانسفورماتور افزایش دمای ترانسفورماتور پیری تسریع‌یافته کاغذ	ترموگرافی بازبینی ظاهری
کنسرواتور	سوارخ شدن کیسه هوا	ورود رطوبت و گاز های جوی به روغن	عملکرد رله بالتشک هوا (ایربگ) بازبینی ظاهری

[1] در ترانسفورماتورهای قدیمی متداول است. در صورت وجود ممکن است احتیاج به شست و شوی اکتیوپارت باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
		افزایش پیری سیستم عایقی عملکرد اشتباه نشان‌گر سطح روغن	
	کاهش سطح روغن کنسرواتور	احتمال بدون روغن ماندن اکتیوپارت و بروز اتصال کوتاه داخلی	بازبینی ظاهری
بوشینگ	اتصال کوتاه بین فویل های خازنی بوشینگ	تنش افزایش یافته در سایر قسمت‌های بوشینگ امکان انفجار بوشینگ	اندازه‌گیری خازن بوشینگ
	پیری و تضعیف سیستم عایقی بوشینگ	کاهش ولتاژ شکست احتمال بروز تخلیه داخلی و آسیب به بوشینگ	تانژانت دلتای بوشینگ
بوشینگ	وجود ترک در عایق رزینی بوشینگ	کاهش سطح روغن بوشینگ و خطر بروز تخلیه احتمال ورود آلودگی، رطوبت و گاز از روغن ترانسفورماتور و تضعیف عایق داخلی بوشینگ	بازبینی ظاهری
	وجود ترک در پوشش (لعاب) چینی بوشینگ	نشتی روغن کاهش سطح روغن در بوشینگ و خطر اتصال کوتاه در قسمت‌های بدون روغن	بازبینی ظاهری
	کاهش سطح روغن بوشینگ	احتمال بدون روغن ماندن اکتیوپارت بوشینگ و بروز اتصال کوتاه داخلی	بازبینی ظاهری ترموگرافی
	بازماندن درپوش تست‌تپ	بروز جرقه در محل تست‌تپ امکان بروز تخلیه داخلی و آسیب به بوشینگ	بازبینی ظاهری
	آلودگی شدید سطح بوشینگ *	تخلیه خزشی در سطح بوشینگ احتمال اتصال کوتاه فاز به زمین	بازبینی ظاهری
	فلوت‌شدن کرونا رینگ (گلدانی) زیر بوشینگ	ولتاژ گرفتن گلدانی و ایجاد تخلیه جزئی و تولید گاز	تخلیه جزئی DGA

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

محل بروز خطا	نوع عیب	پیامد	آزمون‌هایی که عیوب را مشخص می‌کنند
نشان‌گرها	عملکرد نادر ست ترمومترهای سیم‌پیچ یا روغن	احتمال بروز اضافه‌دما در تراز سفورماتور و آسیب دیدن سیستم عایقی	بازبینی ظاهری آزمون ترمومترها

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل یازدهم

فرآیند ارزیابی وضعیت ژنراتورهای واحدهای نیروگاهی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل یازدهم-فرآیند ارزیابی وضعیت ژنراتورهای واحدهای نیروگاهی

۱۱-۱- مقدمه

در این فصل انواع آزمون‌های عایقی انجام شده بر ژنراتورهای نیروگاهی معرفی می‌گردد و روش‌های تحلیل نتایج این آزمون‌ها مورد بررسی قرار می گیرد. در این گزارش، از نتایج این آزمون‌ها و خروجی روش‌های تحلیل ارائه شده در این فصل، برای ارزیابی وضعیت عایق ژنراتورهای نیروگاه ها استفاده خواهد شد.

۱۱-۲- آزمون‌های عایقی و انواع آن

مهم‌ترین مبحث ارزیابی وضعیت تجهیزات فشار قوی، آزمایش عایق این تجهیزات است. این آزمایش‌ها که به انواع مختلف دسته‌بندی می‌شوند، به منظور تعیین کیفیت عایق و همچنین، مشخص کردن پارامترهای الکتریکی سیستم عایقی ژنراتور انجام می‌شوند. از دید روش انجام آزمایش‌های عایقی، این آزمایش‌ها به دو دستهٔ آنلاین و آفلاین تقسیم می‌شود که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱۱-۲-۱- آزمون‌های آنلاین

اگر تجهیزی مانند ژنراتور بدون این که از مدار خارج شود و در هنگام کار تحت آزمایش و آزمون قرار گیرد، نوع آزمایش را آنلاین می‌گویند. مهم‌ترین آزمون‌های آنلاین که بر روی ژنراتورها انجام می‌شود، در ادامه شرح داده می‌شود.

۱۱-۲-۱-۱- اندازه گیری تخلیه جزیی

یکی از اصلی‌ترین عواملی که در عملکرد صحیح ماشین‌های الکتریکی تأثیر دارد سیستم عایقی آن‌ها است، به طوری که غالبا عمر مفید ماشین‌های الکتریکی نیز معادل عمر سیستم عایقی آن‌ها تعیین می‌شود. به همین دلیل، پایش وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار اهمیت زیادی دارد. در حین وقوع پالس‌های تخلیه جزئی بر روی سطح یا درون عایق‌های الکتریکی، الکترون‌های پر انرژی و یا یون‌های پر شتاب به ماده عایقی برخورد می‌کنند که این امر منجر به واکنش‌های شیمیایی و نهایتاً تخریب عایق می‌شود.

به همین دلیل پایش وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار با استفاده از اندازه‌گیری تخلیه جزئی امری ضروری است. اما اندازه‌گیری آنلاین مشکلاتی مانند تداخلات الکتریکی، حجم زیاد داده‌ها و تفسیر اطلاعات را

دارد با حل سه مشکل گفته شده می‌توان از مزایای متعددی که اندازه‌گیری آنلاین تخلیه جزئی دارد، مانند پایش بر اساس وضعیت (CBM[1]) و زمان‌بندی هوشمند تعمیرات (PdM[2])، استفاده کرد.

۱۱-۲-۱-۲- اندازه گیری ارتعاشات

اندازه‌گیری و تحلیل ارتعاشات، اصلی ترین روش برای مراقبت وضعیت و عیب یابی ماشین آلات و تجهیزات دوار است. علم ارتعاشات (مشتمل بر اندازه‌گیری و تحلیل ارتعاش) کاربردهای زیادی در صنعت دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- طراحی دینامیکی ماشین آلات و سازه‌ها (تحلیل روتور دینامیک – آنالیز مودال)
- آزمون‌های کنترل کیفیت
- آزمون پذیرش تجهیزات پس از نصب (Acceptance Testing)
- طراحی سیستم‌های کنترل و ایزوله کردن ارتعاشات
- پایش وضعیت، حفاظت فنی و عیب‌یابی ماشین آلات

آنالیز ارتعاشات، ابزار اصلی شناسایی عیوب و مراقبت از ماشین آلات در دنیا بوده. به طور کلی دو نوع نیروی استاتیکی و دینامیکی در ماشین آلات وجود دارد. نیروهای ارتعاش‌زا از نوع نیروهای دینامیکی هستند که بر اثر وجود کاستی‌هایی در ماشین ایجاد می‌شوند. برخی از زمینه‌های بروز کاستی (اختلاف از حالت ایده‌آل) عبارتند از:

- محدودیت‌های طراحی
- محدودیت‌های ساخت
- اشکال در نصب اولیه
- اشکالات بهره‌برداری
- بروز اشکالات در حین تعمیرات و ...

[1] Condition Based Maintenance

[2] Predictive Maintenance

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

از آنجایی که رسیدن به حالت ایده‌آل امکان‌پذیر نیست، همیشه تا حدی لرزش و ارتعاش در ماشین آلات وجود دارد که مجاز شمرده می‌شود. اما با گذشت زمان و بر اثر بروز اشکالات بعدی، بعضاً ارتعاشات، نسبت به حد مجاز افزایش می‌یابد که با آنالیز و انجام اقدام اصلاحی مناسب، می‌توان وضعیت را به حالت قبل بردوارد. برخی از منابع ایجاد ارتعاشات در تجهیزات، عبارتند از:

- ناهم محوری
- تماس یا سایش اجزا و قطعات متحرک و ثابت
- نیروهای آیرودینامیکی،
- هیدرودینامیکی و
- الکترومغناطیسی

همچنین، برخی عیوب قابل شناسایی از طریق آنالیز ارتعاشات عبارتند از :

- ناهم محوری
- خرابی بیرینگ
- فونداسیون معیوب
- اشکالات الکتریکی

بدیهی است برای تشخیص بهینه عیوب فوق، لازم است از آزمون‌های ارتعاشی مختلف مانند طیف فرکانسی ارتعاشات، منحنی شکل موج ارتعاش، زاویه فاز ارتعاش و ... استفاده شود. هر یک از این آزمون‌های ارتعاشی و روش‌های تحلیل ارتعاشات، دارای توانمندی و کاربرد خاص خود می‌باشد.

برخی از روش‌های رایج تحلیل ارتعاشات در کاربردهای مختلف و به ویژه موضوع پایش وضعیت تجهیزات دوار عبارتند از:

- تحلیل مقدار کلی ارتعاشات
- پارامترها و مشخصه‌های بیرینگ‌های غلتشی مانند BP، BCU، SEE، Crest،K-Factor، Peak Value
- آنالیز طیف فرکانسی (آنالیز FFT یا Spectrum)
- تحلیل شکل موج زمانی ارتعاش

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- آنالیز Envelope
- تحلیل زاویه فاز
- آنالیز Orbit

۱۱-۲-۱-۳- اندازه گیری شارمغناطیسی فاصه هوایی

انواع روش‌های اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی را می‌توان به دو دسته زیر در نظر گرفت :

- روش‌های اندازه گیری غیر مستقیم
- روش‌های اندازه گیری مستقیم

در روش غیر مستقیم سیگنال‌های زیر اندازه گیری می‌شود :

- جریان و ولتاژ استاتور
- جریان و ولتاژ شفت

در روش مستقیم نیز شار فاصله هوایی بصورت مستقیم توسط حس گرهای اثر هال و یا SC[1] اندازه گیری و توسط سیستم اکتساب اطلاعات ثبت می‌شود. یک حسگر اثر هال مبدلی است که در پاسخ به تغییرات میدان مغناطیسی خروجی ولتاژ نشان می‌دهد. با اعمال میدان‌های مغناطیسی نسبتاً بزرگ ولتاژ خروجی در محدوده چند میکروولت می‌باشد. برای ارتقا حساسیت حسگر و گرفتن خروجی مطلوب با بیشترین دقت و با حداقل خطای هیسترزیس باید از تقویت کننده، رگولاتور ولتاژ و مدارهای سوییچینگ منطقی استفاده کرد. این حسگرها با توجه به محدوده فاصله هوایی در ماشین‌های الکتریکی از تنوع بالایی برخوردار هستند.

۱۱-۲-۲- آزمون‌های آفلاین

این گروه از آزمون‌ها که گسترهٔ وسیعی از روش‌های سنجش پارامترهای عایق مانند IR ,PDCA[2], PI[3],، $\tan\delta$ ، Hipot, C, PF[4] و ... را می‌پوشاند به آزمون‌های آفلاین معروف هستند. مزیت اصلی آزمون‌های آفلاین

[1] Search Coil

[2] -Polarization and Dipolarization Current Analyses

[3] -Polarization Index

[4] -Power Factor

در این است که آزمون‌ها را می‌توان در شرایط ولتاژی، دمایی مختلف انجام داد و با توجه به نمودار تغییرات آن نسبت به ولتاژ و دما بررسی جامع‌تری از وضعیت عایق به دست آورد.

آزمایش عایقی فشار قوی از دید ماهیتی به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- آزمون‌های مخرب ۲- آزمون‌های غیرمخرب. در آزمایش‌های مخرب، احتمال آسیب به عایق دستگاه وجود دارد. در انجام این آزمایش‌ها باید دقت داشت که تجهیزات فشار قوی در طول کار خود تحت چه تنش‌هایی قرار می‌گیرند. این تنش‌ها مبنای آزمایش‌های مخرب عایقی هستند. در آزمایش‌های غیرمخرب، عایق دستگاه‌های سالم نبایستی تخریب شود.

همچنین آزمون‌های مخرب که به پیدا کردن نقایص کلی و بزرگ در عایق منجر می‌شود، تنها در حالت آفلاین می‌تواند صورت بگیرد. درمقابل مشکل اصلی این روش، این است که مدت زمانی در حدود ۶-۳ سال باید صبر کرد تا بتوان آزمون مرحله بعد را در شرایطی که به طور مثال ژنراتور یک واحد نیروگاهی برای تعمیرات ازمدار خارج شده است، انجام داد. این در صورتی است که وجود روند تغییرات نتایج آزمون از اصلی‌ترین موارد برای تحلیل داده‌های آزمون می‌باشد.

اصلی‌ترین مزیت آزمون‌های آنلاین بر آفلاین این است که اطلاعات و داده‌های منتجه از آزمون، شرایط و کیفیت عایق را تحت تنش واقعی موجود در زمان کار ماشین بیان می‌کنند [۱۲-۱۶].

۱۱-۲-۳- انواع آزمایش‌های عایقی مخرب

آزمایش‌های عایقی مخرب از جهت نوع ولتاژ اعمالی به چند گروه زیر تقسیم می‌شود [۱۲]:

- ولتاژ متناوب
- ولتاژ مستقیم
- ولتاژ ضربه (صاعقه)
- ولتاژ کلیدزنی نمایی
- ولتاژ کلیدزنی نوسان‌کننده
- ولتاژ مخلوط شامل دو یا چند نوع ولتاژ از انواع بالا

۱۱-۲-۴- انواع آزمایش‌های عایقی غیرمخرب

آزمایش‌های عایقی غیرمخرب آزمایش‌هایی هستند که باعث تخریب عایق نمی‌شوند. این آزمایش‌ها یا با ولتاژ فشار ضعیف انجام می‌شوند و یا ولتاژ آزمایش درحدی نیست که باعث تخریب عایق شود. آزمایش یک دستگاه

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

با ولتاژ نامی یا کمتر از آن نباید باعث تخریب عایق شود. این آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری مقاومت عایقی تجهیزات، اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی، اندازه‌گیری جریان پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون و اندازه‌گیری تخلیه جزئی می‌شود.

جدول ۱۱-۱-آزمون‌های آفلاین عایق سیم‌پیچی ژنراتورها و موتورها

ردیف	نام آزمون	توضیح	استاندارد	هدف و عیوب قابل تشخیص
۱	سنجش مقاومت عایقی IR	مقاومت عایقی بعد از یک دقیقه اعمال ولتاژ DC سنجیده می‌شود	IEEE43-2013	پیدا کردن آلودگی شدید و آسیبهای جدی و رطوبت زیاد
۲	اندیس پولاریزاسیون PI	$PI = IR_{10'} / IR_{1'}$	IEEE43-2013	مشابه بالا و تخمین حدود استرس ها و تلفات عایقی
۳	سنجش جریان پولاریزاسیون و دیپلاریزاسیون	اندازه‌گیری و رسم منحنی تغییرات جریان پولاریزاسیون و دیپلاریزاسیون در زمانی بالاتر از ۲۰۰۰ ثانیه تحت یک میدان الکتریکی DC و پس از قطع آن	استاندارد خاصی ندارد + مقادیر ولتاژ اعمالی از IEEE43-2013	مشابه بالا و پیداکردن انواع استرس حدود آن و محل آلودگی
۴	سنجش ضریب تلفات عایقی $\tan\delta$ و C	با استفاده از پل شرینگ و دیگر پلهای ترانسفورمری با اندازه‌گیری جریان عبوری از عایق تحت یک ولتاژ AC. و رابطه $\tan\delta = \frac{I_R}{Ic}$	IEEE286-2000	با توجه به مقدار $\tan\delta$ و شیب تغییرات آن (tip-up) می‌توان رطوبت عدم پخت درست و استرسهای حرارتی را تشخیص داد
۵	تخلیه جزئی آفلاین(PD)	در ولتاژ نامی مقدار پالس PD مستقیماً خوانده می‌شود	IEEE1434	مشکلات بیشماری را بالاخص در ناحیه سیم‌پیچی مشخص می‌کند و نشان‌دهنده میزان حفره‌های درون عایق می باشد
۶	DC ramp	جریان نشتی عایق نسبت به ولتاژ که با نرخ $1-2\ KV/\min$	IEEE95-2002	ترک و یا شکافهای عایق اصلی به ویژه تشخیص در سیستمهای ترموپلاستیک و بعضی پلی استرها

در دستگاه‌های مختلف ممکن است که آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های غیرمخرب دیگری نیز به یافتن عیوب احتمالی کمک کنند. در **Error! Reference source not found.**) آزمون‌های آفلاین که بر روی سیم‌پیچی استاتور ژنراتورهای نیروگاهی صورت می‌گیرد به همراه عیوبی که می‌توانند تشخیص دهند و همچنین استانداردهای مربوط به آن‌ها آورده شده است [۱۴-۱۵].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۱-۳- آزمون اندازه گیری ضریب تلفات عایقی

آزمون $\tan\delta$ (D.F[1]) به عنون یک ابزار برای نشان دادن وضعیت عایق و وضعیت حفره‌های درون عایق به مثابه آزمون P.D. (با قابلیت کمتر) در دو مرحلهٔ پیش از تولید و پس از تولید به عنوان آزمون‌های دوره‌ای نیروگاهی انجام می‌شود.

بطور معمول و براساس استاندارد IEEE 286 این آزمون در چند ولتاژ مختلف انجام می‌شود و منحنی تغییرات آن براساس ولتاژ رسم می‌شود. مقدار ولتاژ و تغییرات آن بستگی به قیاس با استاندارد دارد و یا بر اساس دستورالعمل آزمون ارائه شده توسط سازنده انتخاب می‌شود. ولی معمولاً و مطابق با استاندارد ذکر شده پله اولیه $0.2U_N$ انتخاب می‌شود و تا $1.2U_N$ نیز آزمون انجام می‌شود.

اختلاف D.F نسبت به اختلاف ولتاژ در یک پله را tip-up می‌نامند، بطور مثال:

$$tip-up = D.F_{0.8U_N} - DF_{0.2U_N} \qquad (۱-۲)$$

مقدار tip-up می‌تواند بیانگر مقدار حفره‌های موجود در عایق باشد. با استفاد از مدارات اندازه‌گیری $\tan\delta$، می‌توان خازن عایق را نیز اندازه‌گیری کرد. مقدار این خازن می‌تواند بطور مستقیم بیانگر مقدار حفره‌های موجود در عایق و همچنین مقدار P.D. آن باشد. با یونیزه شدن هوای درون حفره‌ها، اتصال کوتاهی در درون حفره ایجاد می‌شود که باعث حذف خازن حفره از مجموع خازنهای سری و موازی موجود درون عایق خواهد شد و در نتیجه باعث کم شدن فاصله بین دو الکترود می‌شود که با توجه به رابطه ظرفیت خازن، باعث افزایش مقدار خازن خواهد شد.

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad (۲-۲)$$

اگر همزمان در هزاران حفرهٔ درون عایق تخلیه رخ دهد، اثر قابل توجهی در مقدار ظرفیت خازنی دارد. P.D زمانی که عایق تحت استرس الکتریکی بالا قرار بگیرد رخ می‌دهد و در نتیجه در ولتاژهای پایین اثری از خود نشان نمی‌دهد. اگر ظرفیت خازنی در ولتاژهای بالا (که تحت تأثیر P.D است) را اندازه بگیریم و مقدار C در ولتاژهای پایین را از آن کم کنیم می‌توانیم تأثیر P.D را اندازه بگیریم. خازن در ولتاژ پایین که معمولاً $0.2U_N$ است را C_{LV} و خازن در ولتاژ بالا که در حدود ولتاژ فاز به زمین یا $0.58U_N$ است را $C_{H.V}$ می‌نامیم و ΔC را با استفاده از رابطهٔ (۲-۳) اندازه‌گیری می‌کنیم.

[1] Dissipation Factor

$$\Delta C = \frac{C_{H.V} - C_{LV}}{C_{LV}} \qquad (۳-۲)$$

یکی از منابع خطا در اندازه‌گیری میزان ΔC آن است که لایه رنگ نیمه هادی که در انتهای سیم‌پیچی، برای جلوگیری از تخلیه در آزمون‌های H.V بر روی عایق شینه قرار می‌گیرد تا توزیع میدان الکتریکی را بر روی سطح انتهای سیم‌پیچی یکنواخت کند، نسبت به ولتاژ مقاومت الکتریکی متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در ولتاژهای بالا به صورت یک فلز عمل می‌کند و باعث افزایش سطح خازن و در نتیجه باعث افزایش خازن می‌شود. برای جلوگیری از تأثیر این موضوع بررسی ΔC در طول زمان و رسم تغییرات آن بر روی منحنی نسبت به زمان بهترین پیشنهاد است.

از جمله محدودیتهای موجود در آزمون سنجش میزان خازن این است که مقدار ΔC، میزان حفره‌های موجود در عایق را مشخص می‌کند ولی تعیین این موضوع که این میزان حفره از مجموع تعداد زیادی حفره ریز به وجود آمده یا از یک حفرهٔ بزرگ، بسیار مشکل و بعید است. البته باید بیان کرد که یک حفرهٔ بزرگ تأثیر تخریبی بیشتری نسبت به تعداد زیادی حفرهٔ کوچک خواهد داشت [۱۳].

۱۱-۳-۱- روش تحلیل نتایج آزمون اندازه گیری ضریب تلفات عایقی

در ادامه برخی از گزاره هایی که در مراجع مختلف برای تحلیل نتایج حاصل از اندازه گیری ضریب تلفات عایقی مورد استفاده قرار گرفته شده است، بیان خواهد شد و پس از آن، نتیجه بررسی بر روی نتایج حاصل از آزمون آورده خواهد شد.

این آزمون نیز مانند آزمون مقاومت عایقی نیاز به نمودار تغییرات در طول دورهٔ چند ساله دارد تا بتوان آن را به درستی تحلیل کرد. موارد زیر مواردی است که می‌توان در نتیجه یک آزمون دید.

۱- یک tip-up منفی در نمودار $\tan\delta$ برحسب ولتاژ (اگر عامل اصلی را تلفات P.D در عایق بدانیم) می‌تواند وقتی رخ دهد که در تمام حفره‌های درون عایق در پله پایین ولتاژ، تخلیه رخ دهد و در هنگام افزایش ولتاژ حفرهٔ اضافی دیگری وجود نداشته باشد که باعث تخلیه جزئی و تلفات شود [۳۸].

۲- شکل منحنی $\tan\delta$ نشانگر درصد هوایی قابل یونیزه شدن در حفره‌های عایق است [۳۸].

۳- مقدار tip-up چگالی حفره‌های درون عایق و سایر تلفات یونیزاسیون مانند کرونا و یا تخلیه‌های الکتریکی در ضخامت عایق را مشخص می‌کند[۳۸].

۴- تغییر سریع $\tan\delta$ مشخص‌کننده حفره‌های زیاد درون عایق است[۳۸].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۵- در ولتاژ پایین $\tan\delta$، آلودگی در سیم‌پیچی و tip-up آن، مقادیر حفره در عایق را نشان می‌دهند[۳۸].

۶- تفاوت بزرگ بین $\tan\delta$ در ولتاژ پایین مشخص‌کنندهٔ آلودگی انتهای سیم‌پیچی است[۳۸].

۷- Tip-up منحنی نشان‌دهنده تورق (طبله) و یا آلودگی با ذرات روغنی است[۳۸].

۱- افزایش $\tan\delta$ در طول دورهٔ زمانی بیانگر افزایش تعداد حفره‌های درون عایق و همچنین افزایش تلفات یونیزاسیون در عایق است که نتیجهٔ نهایی آن زوال عایقی است [۳۸].

۲- اگر D.F در طول زمان (دوره‌های چند ساله) ثابت باشد یعنی عایق دچار پیری بر اثر دما نشده است و آلودگی شدید نیز وجود ندارد به این مفهوم که تمیزکاری های مناسبی در طول دوره های تعمیرات انجام گردیده است [۳۸].

۳- اگر D.F افزایش داشته باشد می‌توان این نتیجه را گرفت که عایق دمای بیش از حد را تحمل کرده و یا توسط رطوبت و ناخالصی‌ها از نوع رسانا، آلوده شده است [۳۸].

۴- اگر D.F افزایشی در حدود ٪۱ یا بیشتر از مقدار اولیه داشته باشد تخریب شدیدی در عایق رخ داده است [۳۸].

۵- اگر در اندازه‌گیری همزمان C و D.F در حالی که D.F افزایش دارد مقدار خازن کاهش یافته باشد آسیب حرارتی جدی رخ داده است ولی اگر هر دو افزایش داشته باشند می‌توان با احتمال خوبی آلودگی به رطوبت را بیان کرد [۳۹].

۶- در عایق‌های جدید مانند epoxy-mica، ΔC باید کمتر از 1% باشد درحالیکه این مقدار برای سیستم‌های عایقی قدیمی تر مانند Asphaltic-mica در حدود 3-4% است [۴۰].

۷- یک نشانه مشخص آسیب حرارتی به عایق کاهش ٪۱ از مقدار C در طول هر سال است [۴۰].

۸- اگر عایق در طول زمان خیس شده باشد مهمترین مشخصه این آسیب افزایش ٪۵ مقدار C نسبت به دورهٔ قبلی آزمون است [۴۰].

۹- اگر آسیب حرارتی بر روی عایق مرطوب صورت گیرد آزمون سنجش C دیگر توانایی پاسخگویی به این موضوع را ندارد [۴۰].

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۱-۴- آزمون IR

گسترده‌ترین آزمون Off Line عایقی که بر روی عایق سیم‌پیچی تمامی ماشین‌های الکتریکی انجام می‌شود، آزمون سنجش مقاومت عایقی[1] است. سابقه اجرای این آزمون به سال ۱۹۰۳ باز می‌گردد، به دوره ای که اولین دستگاه آزمون سنجش وضعیت عایقی در شرکت مگر[2] ساخته شد. این آزمون که در مراحل اجرائی انجام آن بسیار ساده است و می‌تواند موارد بسیاری از جمله آلودگی‌ها و رطوبت و ... را در یک عایق نشان دهد به طوری که به عنوان پیش‌نیاز آزمون‌های Hi pot ، توصیه می‌شود که نتیجه آزمون IR مطابق با استاندارد IEEE 43-2000 تائید شده باشد [۱۴].

آزمون IR میزان مقاومت الکتریکی عایق را مابین هادی مسی و نقطه صفر یا بدنه ماشین الکتریکی نشان می‌دهد. میزان ایده‌آل برای این مقاومت حدی است که از برقراری جریان الکتریکی مابین سیم‌پیچی و بدنه جلوگیری کند. در عمل و با توجه به مشخصات عایق مقدار این پارامتر عایقی (IR) بی‌نهایت نیست و همیشه مقداری جریان از عایق عبور می‌کند. این جریان همانطور که در فصل قبل نیز عنوان شد با ایجاد تلفات و گرم کردن عایق باعث تخریب عایق توسط P.D و در برخی موارد شکست الکتریکی و حرارتی می‌شود. میزان مقاومت الکتریکی عایق با اعمال یک ولتاژ DC بر روی عایق و اندازه‌گیری جریان عبوری از عایق و با توجه به رابطه V=I.R سنجیده می‌شود.

میزان مقاومت عایقی در میدان AC را به صورت آنلاین در برخی از پژوهش‌های جدید، با استفاده از اندازه‌گیری مقدار جریان نشتی عبوری از عایق، مورد بررسی قرار داده‌اند، که این مقدار با مقدار IR_{dc} متفاوت است [۱۵].

با توجه به اهمیت انواع جریان‌های عایقی موجود در زمان آزمون IR، در زیر مولفه های جریان پلاریزاسیون عایق معرفی و روابط حاکم بر آن‌ها تشریح شده است.

۱۱-۴-۱- جریان‌های عبوری از عایق

از یک عایق تحت یک میدان الکتریکی DC، چهار دسته جریان زیر عبور می‌کند. هر یک از این جریان‌ها معرف وضعیت خاصی از عایق هستند و میزان آن‌ها در تحلیل داده‌های آزمون می‌تواند راهنمای خوبی برای نوع خسارت وارده به عایق باشد.

[1] Insulation Resistance

[2] Megger

۱۱-۴-۱-۱- جریان خازنی IC[1]

جریانی که برای شارژ خازن حاصل از وجود عایق بین هادی مسی سیم‌پیچی و بدنه استاتور یا روتور برقرار می‌شود، را جریان خازنی می‌نامند. این جریان به صورت نمایی کاهش می‌یابد و در حدود ۲۰-۱۰ ثانیه اول اعمال میدان الکتریکی DC خارجی به صفر کاهش می‌یابد. میزان این خازن در ژنراتورها کوچک در حدود 10nf است ولی در هیدروژنراتورهای بزرگ تا حدود 1μF نیز بالا می‌رود [۱۵].

۱۱-۴-۱-۲- جریان هدایتی I_G[2]

جریانی است که بر اثر عبور الکترون‌ها و یا یون‌های آزاد بین دو الکترود ایجاد می‌شود. این جریان در عایق‌های جدید (Polyester/epoxy-mica) صفر است مگر در مواردی که عایق مرطوب باشد. در حالتی که مقدار این جریان زیاد باشد (میزان مقاومت عایقی بسیار پائین) در عایق مشکلی به وجود آمده است. میزان I_G ثابت است و با افزایش دما و افزایش رطوبت افزایش می‌یابد.

۱۱-۴-۱-۳- جریان پراکندگی سطحی I_L[3]

این نوع جریان بر روی سطح عایق و در قسمت انتهایی سیم‌پیچی ایجاد می‌شود. میزان این جریان ثابت نیست و با افزایش دما و رطوبت میزان آن افزیش می‌یابد. اگر دمای محیط در حد نقطه شبنم[4] باشد لایه‌ای از رطوبت بر روی شینه قرار می‌گیرد که باعث کاهش مقاومت سطحی می‌شود.

۱۱-۴-۱-۴- جریان جذبی یا پولاریزاسیون I_A و I_{pol}

جریانی که بر اثر پولاریزاسیون مولکول‌های عایق ایجاد می‌شود جریان جذب یا جریان پولاریزاسیون نامیده می‌شود. هنگامی که یک میدان الکتریکی خارجی بر یک عایق اعمال می‌شود در قطب‌های موجود در عایق که به صورت پراکنده قرار گرفته‌اند در راستای میدان هم‌جهت می‌شوند این یکسو شدن‌ها باعث تولید جریانی در عایق می‌شود که با گذشت زمان و هم‌جهت شدن تمامی مولکولها و دو قطبی‌ها براساس رابطه ۲-۴ به سمت صفر میل می‌کند.

$$I_{pol} = K\ t^{-n} \qquad (۴-۲)$$

[1] geometric capacitance current

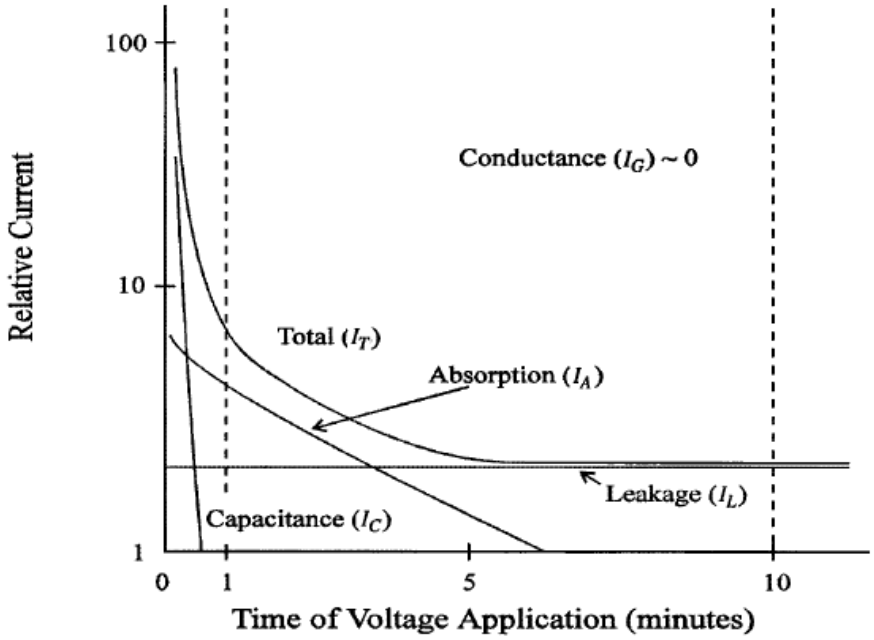
[2] conductance cureent

[3] surface leakage current

[4] Dew Point

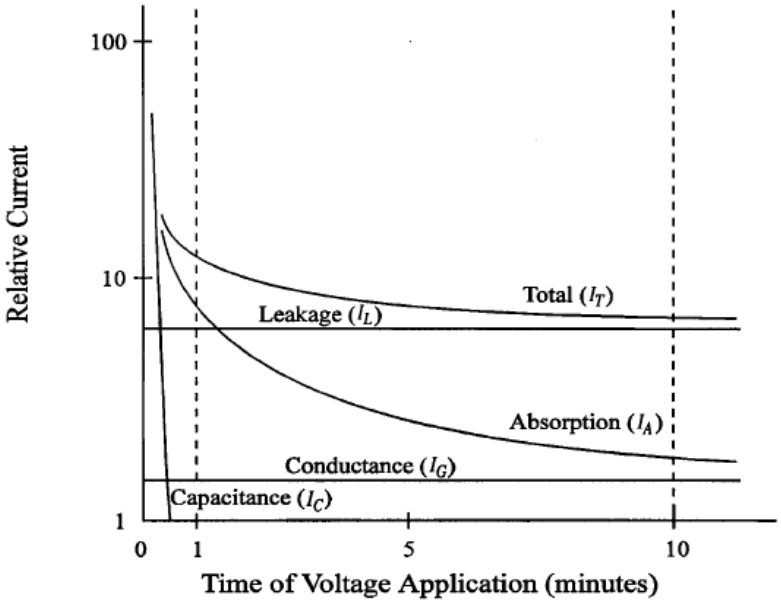
میزان این جریان برای عایق‌های خشک در شرایط خوب ممکن است تا ساعت‌ها صفر نشود ولی در عایق‌های قدیمی این جریان در ۱۵-۱۰ دقیقه اولیه و برای عایق‌های جدید مانند Polyester/epoxy-mica در حدود ۴ دقیقه اول به صفر نزدیک می‌شود.

مجموع ۴ جریان فوق جریان کل عبوری ازعایق I_t را شکل می‌دهند و از تقسیم ولتاژ اعمالی بر جریان I_t میزان مقاومت عایقی به دست می‌آید. همانطور که در **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌شود این میزان مقاومت با گذر زمان تغییر می‌کند ولی همانطور که گفته شد، پس از گذشت ۱ دقیقه با حذف کامل جریان I_C مقدار مقاومت تنها از جریان I_G و I_A و I_{pol} به دست می‌آید که حالتی توان افزایش می‌یابد. اگر میزان I_G و I_L به دلایلی نظیر آلودگی و رطوبت بسیار بزرگ باشد تغییرات I_t در مدت زمان کوتاهی به ثباتی نزدیک به مقدار $I_L + I_G$ خواهد رسید. ولی اگر عایق سالم خشک و تمیز باشد I_t در طولانی مدت از تغییرات I_{pol} پیروی می‌کند. **Error! Reference source not found.** و **Error! Reference source not found.** جریان را در دو حالت عایق خشک و عایق با آلودگی بسیار مرطوب را نشان می‌دهد [۱۶].



شکل ۱۱-۱- انواع جریان‌های عایقی برای یک عایق خشک

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۱۱-۲- انواع جریان‌های عایقی برای یک عایق مرطوب

۱۱-۴-۲- اندیس پولاریزاسیون PI[1]

راه حل مفید برای حذف شرایط دمایی که در بیشتر موارد استفاده می‌شود، به دست آوردن مقدار اندیس پولاریزاسیون می‌باشد. اندیس پولاریزاسیون (PI) مقدار رشد مقاومت عایقی را در یک دمای ثابت به دست می‌دهد. PI که از تقسیم کردن دو مقدار IR در دو زمان مختلف، به دست می‌آید. از آنجایی که ضریب تصحیح دما برای هر دو ثابت است میزان PI نسبت به دما مشتقل خواهد بود.

برای این منظور پس از اعمال ولتاژ DC بر عایق مقاومت عایقی در دو زمان ″15 و ″60 و یا ′1 و ′10 اندازه گرفته می‌شود و پس از تقسیم این دو مقدار، P.I به دست می‌آید. از آنجائی که در زمان ۱ دقیقه میزان جریان $I_C=0$ است و در t=10 min مقدار IR معمولاً ثابت شده است بهتر است که PI از رابطه زیر اندازه‌گیری شود.

$$PI = \frac{IR_{10'}}{IR_{1'}} \qquad (۵-۲)$$

در این حالت اگر عایق کثیف باشد با افزایش جریان جذبی، مقاومت عایقی در حین آزمون کاهش می‌یابد [۱۷].

[1] Polarization Index

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۱-۴-۳- تحلیل نتایج آزمون

در این بخش برخی از گزاره های محتمل از نتایج آزمون‌های IR و PI آورده شده است. بررسی و آنالیز نتایج داده‌های آزمون IR و PI و همچنین اندازه‌گیری جریان پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون به تاریخچه ماشین و نوع ماشین و نتایج آزمون‌های قبلی و شرایط محیطی وابستگی کامل دارد. بدین منظور آزمون‌ها باید در طول چند دوره مختلف انجام شود و روند تغییرات آن‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. نکات زیر مجموعه‌ای از موارد هستند که می‌توان با استناد به هر یک از آن‌ها مشکلات موجود در عایق را مورد بررسی قرار داد.

۱- اگر مقدار IR پائین و ثابت باشد. یعنی جریان کلی بالا و ثابت است که خود بیانگر وجود جریان های هدایتی و پراکنرگی سطحی (I_L و I_G) بسیار بزرگ خواهد بود. به طوری که اثر تغییرات I_{pol} را از بین برده است. در این شرایط عایق به احتمال بسیار زیاد مرطوب یا آلوده است. اگر پس از تمیز کردن و خشک کردن آن تغییری در مقاومت مشاهده نشود عایق دارای ایراد کلی است و باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرد در این حالت انجام دیگر آزمون‌ها مانند P.D پیشنهاد شده است. [۴۲]

۲- اگر مقاومت عایقی بالا و متغیر باشد یعنی میزان I_{pol} تاثیری بسیار در جریان کل دارد و این به شرطی به دست می‌آید که $I_G=0$ و I_L ثابت و کم باشد در این صورت تغییرات I_{pol} باید تحت بررسی بیشتر قرار گیرد در این وضعیت انجام آزمون آنالیز جریان پولاریزاسیون و دیپولاریزاسیون گزینه خوبی خواهد بود.

۳- اگر کاهش سریع در IR و PI نسبت به آزمون‌های قبلی دیده شود عواملی مانند آلودگی سطحی، رطوبت و آسیبهای عایقی مانند ترک تاثیرگذار خواهد بود. [۴۱]

۴- اگر PI در دمای بالای ۶۰ درجه پائین باشد آزمون باید دوباره و در دمایی پائین‌تر از ۴۰ درجه ولی بالای دمای نقطه شبنم انجام شود. [۴۲]

۵- اگر IR پائین باشد از آنجایی که احتمال آسیب به عایق وجود دارد توصیه می‌شود آزمون Hipot بر روی آن انجام نشود و همچنین بارگیری مجدد از ماشین باید بعد از بررسی دقیق‌تر صورت پذیرد. تنها در حالتی که در روند انجام آزمون‌های قبلی نیز همیشه مقدار IR کم باشد می‌توان با ریسک کمتری از ماشین استفاده مجدد کرد. [۴۱]

۶- در شرایط یکسان اگر IR دارای افزایش ثابتی در آزمون‌های مختلف باشد (به طور مثال کاهش در جریان پولاریزاسیون در طول عمر ماشین) می‌تواند بیانگر تجزیه مواد اتصال دهنده عایق باشد. این موضوع به خصوص در مواد عایقی از نوع ترموپلاستیک (مانند asphaltic-mica و sheldac mica fodium) بیشتر قابل بررسی است. [۴۱]

۷- در مواردی که میزان مقاومت IR بسیار بالا باشد (IR>5GΩ) برای صرفه‌جویی در زمان دیگر نیاز به آزمون IR نیست. [۴۲]

۸- اگر سیم‌پیچی استاتور یک ماشین قدیمی‌باشد ولی با این حال PI بسیار بزرگی داشته باشد احتمال آسیبهای حرارتی در عایق وجود دارد. در این حالت به خاطر این نوع آسیب ساختار طبیعی عایق از بین می‌رود. به طور مثال اگر مواد Asphalt در سیستم عایقکاری asphaltic-mica آن قدرت گرم شود تا خارج از عایق جریان یابد، جریان‌های پولاریزاسیون جریان یافته در عایق تغییر می‌کند.

۹- با افزایش سن مائشین PI کاهش می‌یابد وقتی پس از تمیز کردن نیز تغییر چندانی در مقادیر آن دیده نمی‌شود. این موضوع از پیری عایق نشأت می‌گیرد و در نتیجه تاثیر طول عمر را می‌توان در نتیجه این آزمون به خوبی دید. [۴۳]

۱۰- با وجود این که IR و PI بالا تائید کننده حالت خشک سیم‌پیچی است و عدم وجود ترک در عایق را مشخص می‌کند اما لزوماً نشان دهنده وضعیت خوبی عایق نیست و باید نتیجه این آزمون را با دیگر آزمون‌ها مانند P.D ، tan δ ، C و ... تائید کرد. [۴۳]

۱۱- اگر در PI شاهد کاهشی در حدود ۲۵٪ نسبت به دوره‌های قبلی باشیم توصیه می‌شود که عایق تمیز گردد. [۴۲]

۱۲- اگر مقدار PI بدون آنکه تغییری در شرایط عایق از نظر رفع آلودگی یا رطوبت ایجاد کنیم به میزان ۲۰٪ رشد داشته باشد عایق دارای مشکلی است که باید مورد بررسی قرار بگیرد، بعبارت دیگر مقدار PI نباید خود به خود افزایش بیابد.[۴۲]

۱۳- مقادیر زیر ۲ برای PI مربوط به عایق‌های بسیار کثیف است و در مظان شدید آلودگی با آب و بسیار خطرناک است. در این حالت به دلیل شدت جریان پراکندگی بر روی عایق احتمال شکست الکتریکی بسیار زیاد است. [۴۳]

۱۴- مقادیر PI بین ۲ تا ۴ نشان دهنده شرایط خوب عایق است. [۴۳]

۱۵- مقادیر PI بالای ۴ نشان از خشکی بیش از حد عایق دارد و بسیار خطر ناک است [۴۳].

۱۶- مقادیر PI بالا به ویژه در سیستمهای اپوکسی می‌تواند نشان‌دهنده وجود تورق در سیستم عایقی باشد. [۴۳]

۱۷- اگر جریان پراکندگی بر روی عایق سیمئپیچی بعد از ۱ دقیقه کم با شد PI بزرگتر از ۲ خواهد شد و تجربه نشان داده است مشکلات حاصل از شکست الکتریکی حاصل از آلودگی سیم‌پیچی رخ نخواهد داد.

۱۱-۴-۴- بررسی تحلیلی جریان پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون

بصورت کلی می‌توان بیان کرد که غیرخطی بودن در یک عایق خوب بسیار کم است و به همین ترتیب می‌توان عنوان کرد که غیرخطی بودن بزرگتر در مواقعی اتفاق می‌افتد که عایق پیر، آسیب دیده و یا فرسوده باشد. این موضوع با رسم منحنی تغییرات جریان پلاریزاسیون نسبت به زمان بصورت لگاریتمی خود را نشان خواهد داد.

۱- در صورتیکه شیب ثابت باشد ولی جریان افزایش داشته باشد نشان دهنده افزایش تنش الکتریکی بر روی عایق است.

۲- با افزایش دما ثابتهای زمانی کاهش می یابد و یا بعبارتی با افزایش دما حرکت دو قطبی‌های موجود در عایق و همچنین درجه جهت‌گیری دو قطبی‌ها افزایش می‌یابد و به همین ترتیب فعالیت پروسه پولاریزاسیون و در نتیجه تلفات عایقی افزایش می‌یابد

۳- افزایش رطوبت در پروسه‌های پولاریزاسیون جهتی تاثیر افزاینده دارند و بیشتر در زمآن‌های زیاد خود را نشان می‌دهند. دلیل این امر قطبی بودن مولکولهای آب است.

۴- تنشهای ترموالکتریکی باعث افزایش جریان پولاریزاسیون و دیپولاریزاسیون به خاطر افزایش پدیده‌های پولاریزاسیون سریع در عایق می‌شوند از اینرو در زمآن‌های بزرگتر از ۱۰۰ ثانیه رفتار عایق با افزایش تنش ترموالکتریکی تفاوتی نمی کند اما در زمآن‌های کم با افزایش روبرو می‌شوند. البته لازم بذکر است در زمان‌های کم با توجه به کم شدن رطوبت تنش ترموالکتریکی باعث کم شدن جریان های پلاریزاسیون می‌شوند.

۵- رطوبت بیشتر در بازه فرکانس‌های پائین (زمان بزرگ) تاثیرگذار است در حالی که تاثیر پیری بیشتر در بازه فرکانس بالا (زمان کم) خواهد بود [۲۲].

۱۱-۵- جمع بندی

در این فصل انواع آزمون‌های آنلاین و آفلاین که برای تشخیص وضعیت ژنراتورهای نیروگاهی مورد استفاده قرار می گیرد، معرفی گردید. تحلیل نتایج آزمون‌های آفلاین در کنار استفاده از نتایج آزمون‌های آنلاین در تعیین وضعیت ژنراتور بسیار متداول می‌باشد. با توجه به اهمیت سیستم عایقی ژنراتور، اکثر آزمون‌های ارزیابی وضعیت ژنزاتورها بر مبنای سنجش وضعیت عایق است. بررسی روند تغییرات شاخص‌های عایقی، نظیر مقاومت عایقی، تلفات عایقی ($\tan\delta$)، خازن و اندیس پلاریزاسیون، می‌تواند اطلاعات مفیدی از وضعیت ژنراتور ارایه دهد. در فصول بعدی، تحلیلی از وضعیت ژنراتورهای یک نیروگاه نمونه، بر اساس نتایج آزمون‌های آفلاینی که در زمان اورهال بر روی واحد انجام شده است، ارایه خواهد شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل دوازدهم

ارزیابی وضعیت سایر تجهیزات الکتریکی نیروگاه ها

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل دوازدهم ارزیابی وضعیت سایر تجهیزات الکتریکی نیروگاه ها

۱۲-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی و آزمون‌های سایر تجهیزات موجود در نیروگاه از جمله کابل‌های فشارقوی، رله‌های حفاظتی و سیستم تغذیه شامل مجموعه باتری‌ها و UPS نیروگاه پرداخته شده است.

۱۲-۲- ارزیابی کیفی کابل‌های فشارقوی

۱۲-۲-۱- تعیین خواص مکانیکی روکش نهایی

این بررسی شامل اندازه‌گیری مقاومت کششی[1] و درصد افزایش طول[2] است. مقاومت کششی بیانگر حداکثر نیرو بر واحد سطح نمونه به هنگام پارگی در اثر اعمال بار به دو سوی نمونه است. ازیاد طول نمونه‌های مورد آزمون در نقطه پارگی بیانگر مقدار کشسانی مواد پلیمری به کار رفته در روکش نهایی کابل می‌باشد. مواد روکشی مورد استفاده در کابل‌های فشار قوی از خانواده پلی اتیلن و PVC می‌باشند که الزام استانداردی مقاومت کششی و درصد افزایش طول در نقطه پارگی برای کاربرد آن‌ها به عنوان روکش نهایی کابل‌های فشار قوی نو مطابق **.Error! Reference source not found**) می‌باشد. پس از گذشت چندسال به عنوان مثال ۲۵ سال بهره‌برداری به دلیل گرمایش عایق در طی بهره‌برداری عایق از تردی و شکنندگی بیشتری برخوردار خواهد شد و طبیعتا مشخصات مکانیکی آن‌ها مقداری تغییر خواهد کرد.

شکل ۱۲-۱- مشخصات مکانیکی استاندارد مواد روکشی کابل‌های فشارقوی

material	Minimum standard requirement N/mm2	
	Tensile strength N/mm2	Elongation %
PVC(flexible)	12.5	150
PE(low density)	10.0	300
PE(high density)	12.5	300

[1] Tensile strength

[2] Elongation at break

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۲-۲-۲- آزمون پیوستگی روکش

هدف از تعریف و اجرای این آزمون بررسی روش نهایی به لحاظ نداشتن سوراخ، شکاف و شکستگی‌های طولی و عرضی مویی و ظریفی است که عمدتا با بررسی‌های چشمی قابل تشخیص نیستند. این آزمون با اعمال ولتاژ $25KV$ DC به مدت یک دقیقه مابین آخرین لایه فلزی زیر روکش و سطح بیرونی آن انجام می‌شود. برای استفاده از سطح بیرونی روکش به عنوان یک الکترود جهت اتصال یکنواخت سطح روکش به زمین الکتریکی، سطح روکش به گرافیت آغشته می‌شود. استقامت روکش دربرابر ولتاژ اعمال‌شده بیانگر عدم وجود مسائل یادشده در روکش نهایی است.

۱۲-۲-۳- غوطه‌وری در روغن سیلیکون

کریستال‌های XLPE به واسطه اشباع در روغن سیلیکون در دمای بالای حدود ۱۵۰ درجه سانتی گراد شفاف شده و لذا به کمک این تکنیک می‌توان با چشم غیر مسلح داخل عایق و سطوح مرزی نیمه‌هادی‌های داخلی و بیرونی را به وضوح رویت کرده و مشکلاتی مانند ناهمواری سطح نیمه‌هادی‌های داخلی، لختی نیمه‌هادی داخلی، وجود حباب و ناخالصی در داخل عایق را به سادگی تشخیص داد. نیمه‌هادی‌های بکاررفته در دو طرف عایق اصلی، نقش بسیار مهمی در توزیع یکنواخت میدان الکتریکی در عایق ایفا میکنند. از این رو جهت بررسی خواص الکتریکی آن‌ها، مقاومت الکتریکی حجمی در دو مرحله قبل و بعد از پیری مصنوعی کابل اندازه‌گیری میشود. فرایند پیری مصنوعی با نگهداری نمونه در داخل کوره با دمای 100درجه سانتیگراد و به مدت ۱۶۸ ساعت انجام می‌گیرد. مقاومت حجمی برای نیمه‌هادی داخلی تا $1000\ \Omega.m$و در نیمه‌هادی خارجی قبل و پس از پیری مصنوعی تا $500\ \Omega.m$در کابلهای نو مجاز است. نتایج آزمون‌های انجام‌شده نشانگر آن است که در محدودهٔ الزام استاندارد برای کابل‌های نو در هر دو وضعیت قبل و پس از پیری، مقدار مقاومت حجمی کاهش پیدا می‌کند.

۱۲-۲-۴- اندازه‌گیری تخلیه جزئی و آزمون استقامت عایقی

در فرآیند ساخت سیستم عایقی کابل‌های فشارقوی، وجودناخالصی‌ها، غیریکنواختی و ناهمگنی عایقی و مهمتر از همه حضور حفره‌های کوچک گازی در داخل آن گاهاً اجتناب ناپذیر است. این حفره‌ها میتوانند اثرات مخربی بر عملکرد عایق و کاهش طول عمر کابل و در نهایت وقوع شکست الکتریکی در کابل‌ها شوند. این آزمون از پراهمیت‌ترین آزمونهای کابل‌های فشارقوی است که بصورت روتین برای تمام متراژهای تولیدشده انجام می‌گیرد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۲-۲-۵- بررسی ظاهری کابل‌ها

در بررسی ظاهری نمونه‌ها، روکش نهایی، سیستم عایقی و همینطور شکل ظاهری هر لایه به جهت سازگاری با دیگر لایه‌ها مورد مطالعه قرار میگیرد. معمولا با وقوع اتصال کوتاه در شبکه‌های کابلی فشارقوی و جاریشدن جریان اتصال کوتاه چند ده کیلوآمپری به سیستم زمین، عایق اصلی کابل در نقطهٔ اتصالی کربنیزه شده و اطلاعات چندانی از آن حاصل نمیشود. اما در برخی موارد، بررسی دو طرف نقطهٔ اتصالی از هر سمت به طول ۲ متر بسیار مفید واقع خواهد شد. شدت آسیب واردشده به سایر لایه‌های روی عایق بسته به زمان ماندگاری جریان اتصال کوتاه و مقاومت سیستم زمین متفاوت است.

در صورتی که در بررسی لایه به لایه نمونه کابل، آثار تخلیه جزئی و دمای بالا در حد ذوب سیم‌ها مشاهده شود، این فرسایش را می‌توان به گونه‌های متفاوتی تفسیر نمود که دو نمونه از آن به قرار زیر است:

۱- نفوذ آب با املاح خورنده به درون پوسته کابل (به دلیل سوراخ بودن پوسته کابل یا نفوذ آب از محل سرکابل یا مفصل در زمان نصب) سبب اکسیداسیون شیلد (اسکرین) مسی کابل شده که این موضوع بویژه در شرایطی که شیلد کابل در هر دو طرف آن زمین شده باشد و جریان گردشی شدیدی ایجاد نماید سبب ایجاد دمای بالا در اسکرین‌های سالم شده و آنها را با سرعت بیشتری اکسید و نهایتاً ذوب نماید. حرارت ایجاد شده در چنین محل‌هائی سبب فرسودگی عایق اصلی کابل در اثر تنش حرارتی وارده به آن شده و علاوه بر این، به لایهٔ نیمه‌هادی صدمه وارد نموده و میدان الکتریکی را دچار اعوجاج و ناهمگنی نماید. نتیجهٔ این پروسه، تُردی و شکنندگی عایق کابل، تخلیه سطحی و تنش حرارتی بوده که بویژه در حضور رطوبت محیطی، شرایط را برای ایجاد درخت رطوبتی و قوس الکتریکی فراهم می‌آورد.

۲- وجود جریان گردشی شدید (در نتیجه زمین‌کردن اسکرین‌های دو سر کابل) سبب ایجاد تنش حرارتی (بویژه در مکان‌هایی که قطر اسکرین کم بوده و یا در طی پروسه ساخت دچار ناپیوستگی شده است) در کابل شده، عایق بیرونی را که از ضخامت کمی برخوردار است دچار ضایعه نموده و شرایط را برای نفوذ رطوبت یا آب به همراه املاح به درون کابل فراهم آورده و پروسه‌های همانند بند قبل را ایجاد نموده است. در هر حال، بروز چنین پدیده‌هایی میتواند در اثر عوامل زیر باشد:

أ) اشکال در فرآیند ساخت کابل

ب) عدم انتخاب صحیح کابل (وابسته به شرایط محیطی و بارگذاری)

ت) عدم دقت در نصب یا تعمیر

ث) عدم زمین کردن درست شبکه کابلی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۲-۳- سیستم تغذیه، باتری و UPS

باتری ها یک منبع تغذیه برای عملکرد موفقیت آمیز دستگاه های سوئیچینگ و کنترل در سیستم در زمان از دست رفتن برق را تامین می کنند. UPS نیز که یک نوع بانک باتری محسوب می‌شود یک منبع تغذیه الکترونیکی است که وظیفه اصلی آن، تامین بدون وقفه ی توان مورد نیاز بار مصرفی می باشد.

باتری‌ها همیشه باید در شرایط مطلوبی قرار داشته باشد و باید طور منظم تعمیر و نگهداری شود. اگر بازرسی یا آزمایش باتری به طور منظم انجام نشـود، بسـیاری از مشـکلات بوجود می آیند که می تواند باعث کاهش عمر کار باتری شود. برخی از این مشکلات در زیر ذکر شده است:

- عدم تهویه مناسب
- بدتر شدن اتصالات و نشتی
- تغییر ولتاژ از سلول به سلول
- تنظیمات شارژر باتری
- آسیب به سلول

آزمایش باید مطابق با دو نکته انجام شود. در مرحله اول تضمین می کند که باتری ها از صلاحیت های تولید کننده و مصرف کننده برخوردار هستند و دوم اینکه یک نقطه مرجع برای مقایسه برای آزمایش های بعدی را فراهم می کند. در اینجا آزمایش را می توان به دو زیر گروه تقسیم کرد:

تست عملکرد باتری

آزمایش صلاحیت

آزمایش عملکرد داده های مربوط به وضعیت فعلی باتری، ولتاژ کار، ظرفیت و غیره را ارائه می دهد و همچنین اطلاعاتی در مورد هر مشکلی در باتری که برای پاسخگویی به کار سیستم مورد نیاز است فراهم می کند.

آزمایش صلاحیت انجام می شود تا اطمینان حاصل شود که آیا ظرفیت باتری کافی برای برای پاسخگویی به نیاز سیستم است.

تعمیر و نگهداری مورد نیاز شامل آزمایش های دوره‌ای و نگهداری‌های دوره ای است. تعمیر و نگهداری شامل بازرسی بصری، اندازه گیری دمای مخصوص وزن و خوانش ولتاژ سلول خاص ، تمیز کردن و بازیابی اتصالات ترمینال و غیره می باشد. برخی از روش‌های متداول آزمایش و تست باطری عبارتند از:

بازرسی بصری – شامل یافتن محل ترک ، نشت ، خوردگی در صورت وجود.

ولتاژ شناور- بررسی کنید که باتری در هیچ یک از ترمینال ها زمین نشده باشد. در عوض ، باید با هر دو ترمینال داری ولتاژ شناور شارژ باشد.

اندازه گیری وزن مخصوص وزن مخصوص باتری سالم باید در دامنه ۱،۱۹ تا ۱،۲۷ باشد. زیرا وزن مخصوص یک راه عالی برای شناخت وضعیت شارژ باتری است.

تست شارژ یا تخلیه – آزمایش باتری یا شارژ باتری را می توان با دانستن مقدار جریان در آن لحظه انجام داد. اگر مقدار جریان در حال افزایش است ، آنگاه وضعیت شارژ و بالعکس خواهد بود.

تست دما – دمای باتری باید در سطح مشخصی حفظ شود ، زیرا عمر باتری با افزایش دما کاهش می یابد. از روش تصویربرداری حرارتی برای یافتن نقاط داغ در داخل باتری استفاده می شود که نشان دهنده فشار زیاد حرارتی در سلول های باتری است.

امپدانس تست – با خراب شدن باتری ، مقاومت باتری افزایش می یابد ، در حالی که رسانایی کاهش می یابد.

حالت شارژ (SOC) این نشان می دهد که چه مقدار انرژی در باتری باقیمانده است.

حالت سلامت (SOH) این توانایی باتری را برای ارائه جریان در صورت لزوم برای تأمین اندازه گیری می کند.

در باتری‌های UPS این امر که نمی‌توان هر کدام از شش پیل باتری را سرویس کرد یک ایراد است و این ایراد به ویژه هنگامی که تست باتری مطرح باشد چشمگیرتر می‌شود. تاکنون، دقیق‌ترین و معتبرترین تست وضعیت با استفاده از چگالی‌سنج باتری (hydrometer) انجام شده است. با این فرآیند سریع و آسان چگالی نسبی (وزن مخصوص) هر پیل تست می‌شود. الکترولیت به یک لوله‌ی شیشه‌ای کشیده می‌شود که یک توپ مدرج را شناور می‌کند. هرچه توپ بالاتر شناور بماند بار بیشتر است. انجام این کار با یک باتری درزگیری شده غیرممکن است و به فرآیندهای دیگر نیاز است.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۲-۳-۱- دستورالعمل‌ها

۱- ولتاژ باتری را تست کنید. صفحه‌ی مدرج ولت‌سنج را بر روی ولت‌های DC (جریان مستقیم) مستقیم تنظیم کنید. سیم‌های ولت‌سنج را بر روی قطب‌های مثبت و منفی باتری قرار دهید. ولتاژ را بخوانید. ولتاژ باید بیشتر از ۱۲/۶ ولت و کمتر از ۱۴/۰ ولت باشد.

۲- باتری را شارژ کنید. تست شارژ شدید را انجام دهید. سیم‌های مثبت و منفی باتری را در قطب‌های باتری وارد کنید و شارژ را برای شارژ سریع یا قوی تنظیم کنید. ولتاژ را با ولت‌سنج بخوانید. اگر مقدار ولتاژ به سرعت بالا برود و از ۱۴/۰ ولت بیشتر شود و به ۱۷/۰ ولت برسد بدین معنی است که باتری نمی‌تواند این ولتاژ را داشته باشد و معیوب است. باتری را عوض کنید.

۳- تست شارژ آهسته را انجام دهید. به مدت چند ساعت و به آهستگی باتری را شارژ کنید. به صورت دوره‌ای باتری را کنترل کنید. اگر باتری در حال حباب زدن و فوران کردن (قی کردن) باشد و اسید باتری بر روی سرپوش پاشیده باشد یعنی باتری معیوب است و باید تعویض شود.

۴- تست بار را انجام دهید. به مدت چند ساعت و در صورت امکان در طول شب باتری را به آهستگی شارژ کنید. اگر باتری تمام تست‌های دیگر را گذرانده است و تمیز و خشک می‌باشد و ولتاژ آن صحیح است، یک دستگاه تست بار را به آن وصل کنید و درجه را بخوانید. سوزن باید در منطقه سبز باشد. دکمه گردان تست بار را بچرخانید. انجام این کار به جریان اجازه می‌دهد تا به پیل کربنی وارد شود و در آنجام به حرارت تبدیل شود. این کار را به اندازه‌ی زمانی که برای روشن کردن خودرو مورد نیاز است انجام دهید. سوزن باید در منطقه‌ی سبز باقی بماند. دو یا سه بار دیگر این تست را انجام دهید. سوزن باید هر بار در منطقه‌ی سبز بماند. اگر سوزن در منطقه‌ی قرمز باشد باید باتری را تعویض کنید.

گاها در قابلیت‌های UPS با آیتم‌هایی چون امکان تست اتوماتیک روبرو می‌شویم. تست اتوماتیک UPS یا باتری عبارت است از یک تست پیشگیرانه به همراه یک آلارم، با هدف تشخیص باتری‌های ضعیف و آسیب‌دیده. این تست معمولا در بازه‌های زمانی برنامه‌ریزی شده انجام می‌شود. این تست به روش‌های مختلف می‌تواند انجام شود، به عنوان نمونه با استفاده از دکمه‌های تعبیه شده بر روی پنل جلوی دستگاه، با استفاده از نرم‌افزارهای مدیریتی UPS یا NMS و یا با استفاده از کارت‌های مدیریت شبکه‌ای UPS مانند SNMP Card. UPS در حالت تست، حالت قطع برق را شبیه سازی می‌کند و خروجی خود را از باتری تامین می‌نماید. اگر به هر دلیل باتری‌ها دچار مشکل باشند UPS بلافاصله روی برق سوییچ می‌کند تا خروجی خود را از برق شهر تامین نماید. در هر صورت UPS موظف است نتیجه عمل تست را به اطلاع برساند. آلارم صوتی، نمایش از طریق هشداردهنده‌های نوری(LED)، LCD و نرم‌افزار از جمله ابزارهایی هستند که UPS از طریق آن وضعیت و نتیجه تست را اعلام می‌نماید. معمولا UPSها داری سه نوع تست هستند:

۱- تست لحظه‌ای که UPS برای چند ثانیه مثلا ۳ تا ۵ ثانیه در حالت تست قرار می‌گیرد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۲- تست تا زمان خالی شدن باتری که مادامی که شارژ باتری رو به اتمام باشد UPS در حالت تست می‌رود. قطعا قبل از پایان شارژ کامل UPS به حالت نرمال برمی‌گردد تا از قطع کامپیوترها و بارهای متصل به UPS جلوگیری شود. انجام این تست ضمن آن‌که باعث می‌شود عملکرد UPS در زمان قطع برق و استفاده از باتری تست شود، به علاوه به کاربر نشان می‌دهد در چنین شرایطی UPS برای چه مدت back up یا زمان برق‌دهی دارد. توصیه می‌شود در این حالت قبل از تست باتری‌ها به طور کامل شارژ شوند.

۳- تست برای مدت زمانی خاص که در این حالت کاربر قبل از انجام تست، مدت زمانی را بر حسب ثانیه، دقیقه یا ساعت تعریف می‌کند تا متوجه شود که آیا UPS مورد تست توانایی برق‌دهی در این مدت زمان را دارد یا خیر.

در ضمن از طریق انجام تنظمیاتی بر روی UPS و یا از طریق نرم‌افزار آن می‌توان زمان انجام تست را به صورت روزانه، هفتگی، ماهیانه و یا در زمان خاصی زمان‌بندی نمود تا این عملیات به طور خودکار تست و گزارش شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل سیزدهم

نمونه ارزیابی وضعیت نیروگاه اصفهان بر مبنای اطلاعات ارسالی نیروگاه

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

فصل سیزدهم نمونه ارزیابی وضعیت نیروگاه اصفهان بر مبنای اطلاعات ارسالی نیروگاه

۱۳-۱- مقدمه

یکی از مسائلی که می‌تواند بر وضعیت ژنراتور تاثیر زیادی بگذارد و روند تخریب اجزاء ژنراتور، به خصوص عایق شینه‌های آن را تسریع نماید، دمای عملکردی ژنراتور و عملکرد سیستم خنک کاری آن است؛ به عبارتی نیاز است که بررسی شود که آیا ژنراتور در محدوده‌های مجاز دمایی آن بهره‌برداری می‌شود؟

با توجه به فقدان اطلاعات مربوط به دمای قسمت‌های مختلف ژنراتور، تحلیل عملکرد حرارتی ژنراتور به صورت غیر مستقیم و با استفاده از منحنی قابلیت توان، مقادیر توان اکتیو و راکتیو و همچنین فشار گاز هیدروژن سیستم خنک کاری صورت می‌پذیرد.

۱۳-۲- مشخصات واحدهای نیروگاه

نیروگاه اصفهان از ۵ واحد شامل دو واحد ۳۲۰ مگاواتی، یک واحد ۱۲۰ مگاواتی و دو واحد ۳۷,۵ مگاواتی تشکیل شده است. این نیروگاه از نیروگاه‌های اصلی و قدیمی در ایران می‌باشد که عمر برخی تجهیزات آن به حدود ۲۵ سال پیش می‌رسد. تا کنون باتوجه به وقوع حوادثی جدی احتیاج به تعویض برخی تجهیزات اصلی نیروگاه و یا تعمیر اجباری مثل ترانسفورماتور یکی واحدها شده که از این جهت احتیاج به اقدامات نگهداری‌ها و چکاپ‌های منظم و دقیق است.

۱۳-۳- داده‌های بهره‌برداری

اطلاعاتی که از طرف نیروگاه در اختیار پژوهشگاه نیرو قرار گرفت، شامل تست شیت‌های مختلف فشارقوی، فشار ضعیف، رلیاژ و تغذیه واحدها در طول بازه زمانی اخیر کارکرد نیروگاه در سال‌های پراکنده از ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ است. با توجه به فقدان داده های مربوط به دمای قسمت‌های مختلف ژنراتورمانند توان اکتیو، توان راکتیو و فشار گاز هیدروژن چهار واحد نیروگاه برای بررسی وضعیت سیستم خنک کاری ژنراتور امکان مشاهده روند تغییرات فشار گاز هیدروژن و منحنی قابلیت ژنراتورها فراهم نبوده. در این قسمت، اطلاعات ارائه شده، به تفکیک هر واحد، بررسی می‌شود.

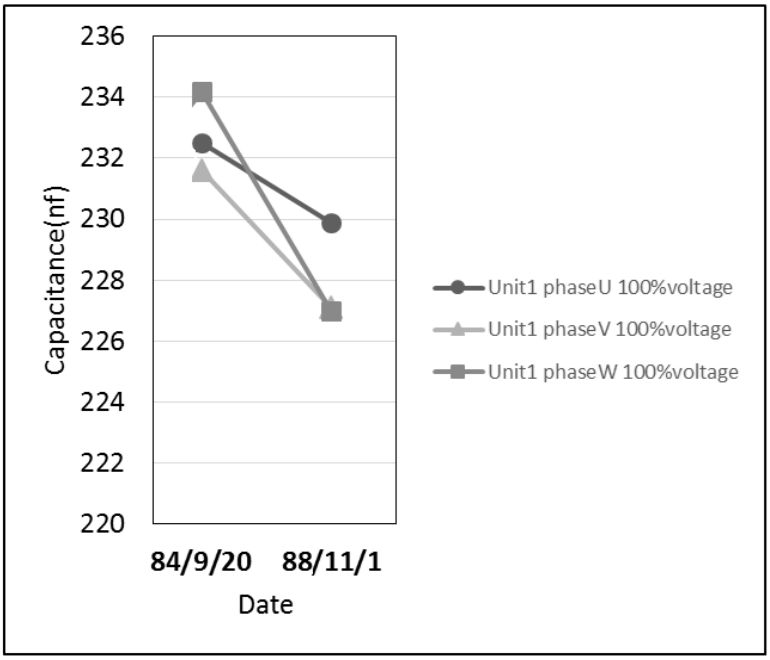
 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۳-۳-۱- واحد یک

واحد یک دارای یک ترانس اصلی (MT1) با نسبت تبدیل 13.8 KV/63 KV و قدرت 44.75 MVA می‌باشد. در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ اورهال کلی از ترانس شامل موارد وضعیت ظاهری، کنترل بوشینگ‌ها، بازدید اتصالات، کنترل فن‌ها، رله بوخهلتس، نشان‌گر سطح روغن، تپ‌چنجرها، رطوبت‌گیر، هیتر و ترموستات و همچنین مکیروسوئیچ روشنایی گزارش شده است که همه موارد کنترل شد و در وضعیت مناسب بودند. اورهال باسبار ۲,۴ کیلوولتی واحد ۱ شامل موارد وضعیت ظاهری شمش‌های باسبار، تغییر رنگ باسبار بر اثر گرما، اتصال کلیدها با باسبار، کنترل مقره‌ها و عایق‌ها، تست مقاومت عایقی هر هادی نسبت به زمین با دستگاه مگر و کنترل اتصالات و گلندهای ورودی به پانل‌ها و نهایتا گردگیری محفظه باسبار نیز چک شد و همه موارد در وضعیت مناسب بودند. اورهال بریکرهای واحد ۱ اعم از بریکرهای ۲/۴ یا ۶/۳ کیلوولتی شامل موارد سرویس کلی بریکر و سلول مربوطه، کنتاکت‌های قطع و وصل، جرقه‌گیرها و دمنده‌ها، موتورشارژ و شارژ دستی، سوکت رابط فرمان، CTها، کلیدها، رله‌ها، لامپ‌ها، هیتر و ترموستات، تغذیه‌های AC و DC و نهایتا تست پوزیشن و شرایط مربوطه نیز بازرسی شد و مورد خاصی وجود نداشت. تست مقاومت عایقی برق‌گیر ۶۳ کیلوولت واحد ۱ نیز انجام شده که در محدوده مناسب قرار داشت. برای ژنراتور واحد۱ تست لقی گوه‌های استاتور انجام شده که تعدادی گوه با لقی کم و ۶ گوه با لقی زیاد وجود داشته است. واحد ۱ همچنین دارای یک یونیت ترانس (UT1) با نسبت تبدیل 13.8 KV/2.4 KV و قدرت 3.75 MVA، یک ترانس اکسایتر (ET1) با نسبت تبدیل 13.8 KV/419 V و قدرت 435 KVA برای تحریک ژنراتور و همچنین دو ترانس یونیت کمکی (AUX3 وAUX1) و دو ترانس لایتینگ برای تامین روشنایی محوطه داخلی واحد با نسبت تبدیل 2.4 KV/400 V و به ترتیب با قدرت‌های 1000 KVA و 112.5 KVA می‌باشد. نوع روغن ترانس اصلی واحد DIALA B، یونیت ترانس DIEKAN BTA SINA و ترانس‌های اکسایتر و کمکی SILICONE می‌باشد. تست دی‌الکتریک روغن برای ترانس‌های واحد ۱ انجام شده و میانگین ولتاژ شکست آن‌ها برای چند مرحله تست نوشته شده است. معیار پذیرش به صورت حدودی برای ترانس‌های بزرگ به این شرح است: میانگین ولتاژ بالای ۷۰ کیلوولت وضعیت مطلوب، بین ۵۰ تا ۷۰ کیلوولت وضعیت متوسط و زیر ۵۰ کیلوولت احتیاج به بررسی است. برای ترانس‌های کوچک زیر ۴۰ کیلوولت احتیاج به بررسی است. با این تفاسیر وضعیت روغن ترانس‌های اصلی و کمکی مناسب و روغن ترانس اکسایتر متوسط ارزیابی می‌شود. جهت ارزیابی فشارضعیف واحد، اورهال موتورهای مختلف واحد ۱ شامل موارد بازدید ظاهری موتور، وضعیت فوندانسیون، کنترل روتور، مقاومت عایقی، مقاومت سیم‌پیچ، وضعیت سیم‌پیچی استاتور، وضعیت بلبرینگ، لاستیک‌های کوپلینگ، آمپر بی‌باری و بهره‌برداری، ترمینال باکس و جهت چرخش صورت گرفته و مواردی که احتیاج به اقدام داشته، سرویس گردیده، آچارکشی شده و یا تعویض گردیده است. در ادامه ارزیابی فشار ضعیف همچنین تست رله ترمیک موتورهای فشارضعیف AC انجام شده و اطلاعات جریان کار موتور، دامنه رله ترمیک، تنظیم رله، جریان عملکرد رله و زمان عملکرد سکسیونر ثبت شده است. در صورتی که مقاومت عایقی کلیه فازها با زمین با مگر با ولتاژ متناسب بسیار زیاد یا بی‌نهایت باشد اشکالی وجود ندارد. البته زمان عملکرد و قطع نیز نباید تاخیر

داشته باشد. در قسمت رلیاژ نیز تست رله‌های مختلف موجود واحد شامل رله‌های دیفرانسیل و ... با تنظیمات متناسب از لحاظ عملکرد صورت گرفته است.

به منظور چکاپ سیستم UPS نیز گزارش تست باطری‌ها در دو بازه زمانی بررسی شد. ظرفیت باتری‌ها $420\ AH$ و ولتاژ کل محاسبه شده است. تست شارژ و دشارژ نیز انجام شده است. پس از قطع شارژر و تخلیه، از کلیه سل‌های باطری‌ها غلظت و ولتاژ گرفته شده است. در نهایت همه اتصالات با برس تمیز و سرویس شده و اطراف قطب‌ها روغن کاری شده است. ژنراتور واحد ۱ یک ژنراتور $37.5\ MW$ است. متاسفانه اطلاعات پلاک یا مشخصات نامی ژنراتور موجود نبود اما تست‌های مقاومت عایقی و ضریب پلاریزاسیون و مقاومت اهمی سیم پیچی روتور و استاتور و تست ظرفیت خازنی روی ژنراتور صورت گرفته است. اندیس پلاریزاسیون در سه فاز ژنراتور حدود ۲/۸ بود که مناسب است. مقدار مقاومت استاتور هم در دمای محیط در سه فاز حدود ۶/۵ مگا اهم بود که مقداری کم به نظر می‌رسد اما با مقایسه با ژنراتور سایر واحدها که در همین محدوده هستند مناسب ارزیابی می‌شود (دلیل این امر آبگذر بودن واحد می باشد). تست شیت تانژانت دلتای ژنراتور نیز بررسی شد و اعداد برای سه فاز برای ولتاژ تست حدود ۵ کیلوولت ۰،۰۱ بودند که مطلوب است. در ولتاژهای بالا به دلیل تخلیه جزئی اعداد تانژانت دلتا خیلی زیاد می‌شود. دیتاهای امپدانس و مقاومت اهمی روتور نیز ثبت شده اما به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق ژنراتور قابل ارزیابی نیستند چون این پارامترها حالت مقایسه‌ای دارند و باتوجه به هر ژنراتور متفاوتند. در ادامه باتوجه به دیتاهای تست‌های ظرفیت خازنی نمودار زیر جهت ارزیابی وضعیت رسم شده است.



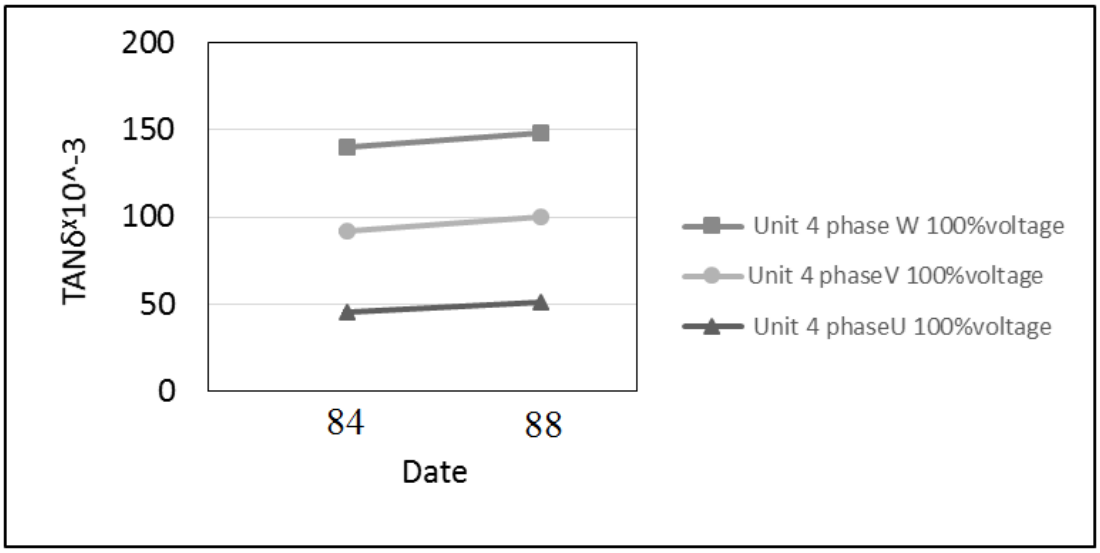
شکل ۱۳-۱-نمودار آزمون **Capacitance** فاز های واحد۱ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی

در واحد ۱ و در بازه ۴ ساله سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۸۸ حدود ۳ درصد کاهش ظرفیت خازنی بر روی کلیه فازها اندازه گیری شده است. روند تغییرات ظرفیت خازنی فاز W نسبت به دو فاز دیگر شدیدتر بوده است. این امر می تواند نشان از تنزل خواص عایق و افت کیفیت عایق سیم پیچ های استاتور باشد.

۱۳-۳-۲- واحد دو

واحد دو مانند واحد یک دارای یک ترانس اصلی واحد (MT2) با نسبت تبدیل 13.8 KV/63 KV و قدرت 44.75 MVA می‌باشد. این واحد همچنین دارای یک یونیت ترانس (UT2) با نسبت تبدیل 13.8 KV/2.4 KV و قدرت 3.75 MVA، یک ترانس اکسایتر (ET2) با نسبت تبدیل 13.8 KV/419 V و قدرت 435 KVA برای تحریک ژنراتور و همچنین یک ترانس یونیت کمکی (AUX2) و یک ترانس لایتینگ برای تامین روشنایی محوطه داخلی واحد با نسبت تبدیل 2.4 KV/400 V و به ترتیب با قدرت‌های 435 KVA و 112.5 KV می‌باشد. ژنراتور واحد دو نیز 37.5 MW است. اطلاعات اورهال کلی واحد ۲ در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ موجود بود. تست‌های فشار قوی، فشار ضعیف و رلیاژ نیز مانند واحد یک انجام شده بود و بررسی شد.

نتایج آزمون تانژانت دلتا بر روی ژنراتور واحد ۲ در حالت ۱۰۰٪ ولتاژ نامی به تفکیک فاز در ادامه آورده شـــده است.

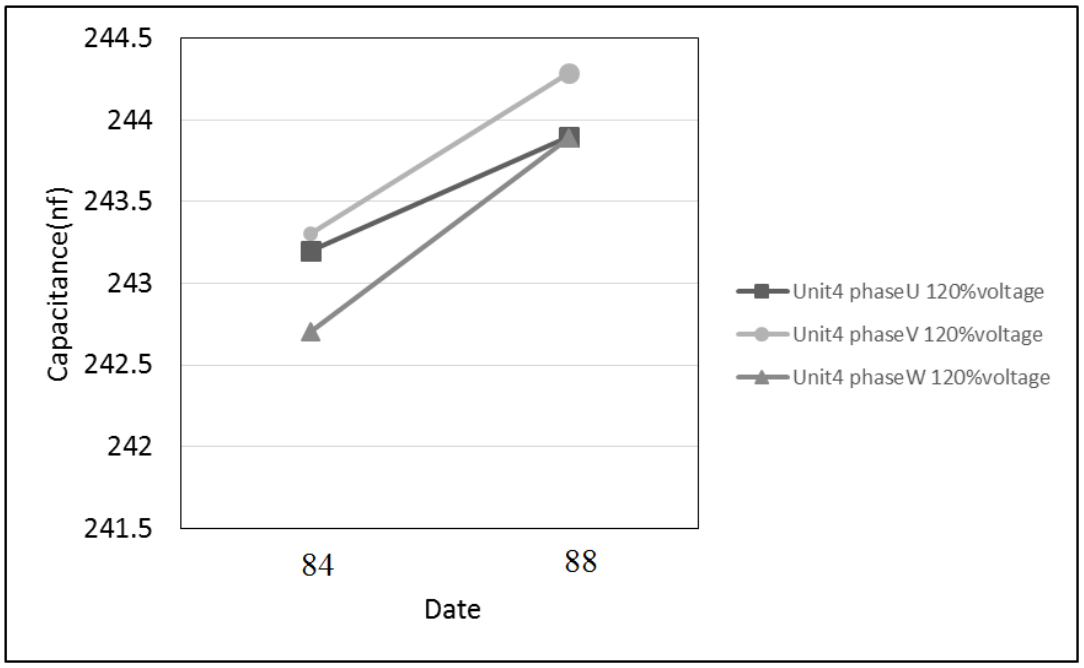


شکل ۱۳-۲- نمودار آزمون تانژانت دلتا فاز های واحد ۲ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

در آزمون‌هایی که در حالت ۱۰۰٪ ولتاژ نامی انجام شده اند، درکلیه فازهای استاتور ژنراتور واحد ۱ افزایش نسبی تانژانت دلتا در بازه سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۸۸ مشهود است که ناشی از روند پیری عایقی و وقوع تنش های حرارتی و عایقی به ژنراتور می‌باشد. پیامد این امر، افزایش تعداد حفره‌های درون عایق، تورق و یا آلودگی با ذرات روغنی و همچنین افزایش تلفات یونیزاسیون در عایق می‌باشد که نتیجهٔ نهایی آن زوال عایقی است.

نتایج آزمون اندازه گیری ظرفیت خازنی بر روی ژنراتور واحد ۲ در حالت ۱۰۰٪ ولتاژ نامی به تفکیک فاز در ادامه آورده شده است.

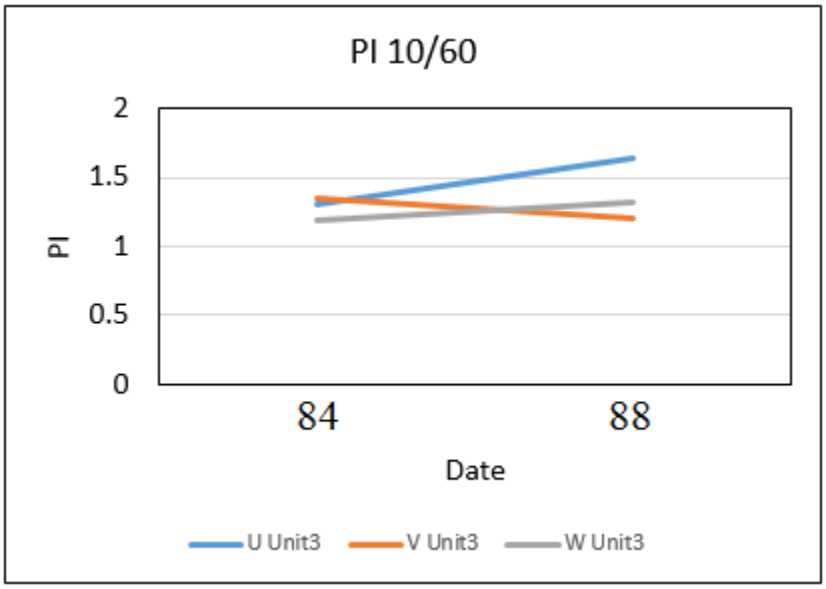


شکل ۱۳-۳- نمودار آزمون **Capacitance** فاز های واحد ۲ در ۱۰۰٪ ولتاژ نامی

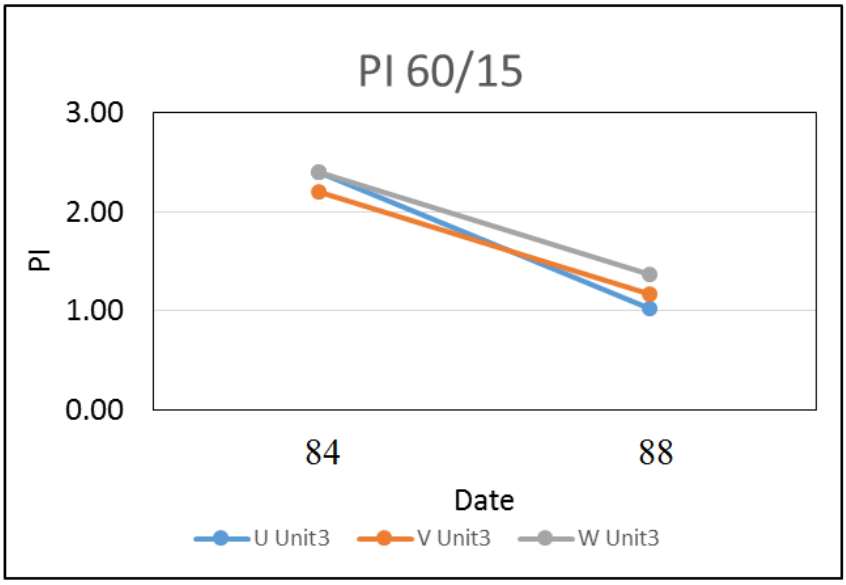
واحد ۲ بلحاظ روند تغییرات ظرفیت خازنی در بازه مورد اندازه گیری رفتار مناسب نشان داده است (حدود ۱ درصد افزایش ظرفیت خازنی در کلیه فازها در بازه ۴ ساله).

شاخص پولاریزاسیون استاتور برای ژنراتور واحد ۲ در دوره های اندازه گیری شده در نمودار زیر ارائه گردیده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.137



شکل ۱۳-۴- نمودار آزمون **PI(10/60)** استاتور واحد۲



شکل ۱۳-۵- نمودار آزمون **PI(60/15)** استاتور واحد۲

با توجه به تغییرات شاخص پلاریزاسیون، مشخص است که برای ژنراتور واحد ۲ ضریب PI زیر ۲ می‌باشد که حاکی از شرایط عایقی نامطلوب است. از منحنی تغییرات ضریب PI برای ژنراتور واحد ۲ می‌توان نتیجه گیری کرد که این ضریب طی دو مرحله اندازه گیری بیش از ۵۰ درصد افت نشان داده است فلذا با توجه به دستورالعمل ارائه شده بایستی نسبت به تمیز کردن و بهبود شرایط کارکرد عایق سیم‌پیچی استاتور اقدام گردد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۳-۳-۳- واحد سه

واحد سه دارای یک ترانس اصلی واحد (MT3) با نسبت تبدیل 13.8 KV/63 KV و قدرت 150 MVA می‌باشد. این واحد همچنین دارای یک یونیت ترانس (UT3) با نسبت تبدیل 13.8 KV/6.3 KV و قدرت 12 MVA، دو ترانس ایزوله (LTOB , LTOC) با نسبت تبدیل 400 / 400 و قدرت 125 KVA برای زمان‌هایی که لازم است شبکه جدای از زمین اصلی کار کند که در قسمت ۶ کیلوولت واحد ۳ نصب شده‌اند، و همچنین ترانس‌های کمکی مختلف (ATOF , AT3B) با نسبت تبدیل‌های 6 KV/400 V و 6.3 KV/400 V و به ترتیب با قدرت‌های 630KVA و 800 KVA می‌باشد. ترانس AT3B در قسمت کولینگ تاور واحد ۳ نصب شده است. اورهال کلی واحد ۳ در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۸ موجود بود. تست‌های فشار قوی، فشار ضعیف و رلیاژ نیز مجددا مانند قبل انجام شده بود و بررسی شد. در مجموعه تست‌های فشارقوی فرم کالیبراسیون سوئیچ‌ها نیز موجود بود که تست‌های الکتریکی و مکانیکی را پاس کرده بود. در مجموعه تست‌های فشار ضعیف تست شیت رله ترمیک و مغناطیس موتورهای فشار ضعیف AC مربوط به پمپ‌های گازوئیل، کلوز سیکل، گلند کندانسورو روغن‌کاری فید پمپ و سایر تست نیز موجود بود که بررسی گردید.

۱۳-۳-۴- واحد چهار

واحد ۴ دارای یک ترانس اصلی واحد (MT)، دو یونیت ترانس (UT1A , UT1B)، یک ترانس اکسایتر (ET1) و همچنین ترانس‌های کمکی مختلف که در جاهای متفاوتی از جمله پشت اتاق ۳۸۰ ولت، در قسمت کولینگ تاور، زیر بویلر یا چاه فلمان و ... نصب شده‌اند، می‌باشد. اورهال کلی واحد ۴ در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ موجود بود. تست‌های فشار قوی، فشار ضعیف و رلیاژ نیز مجددا مانند قبل انجام شده بود و بررسی شد.

۱۳-۳-۵- واحد پنج

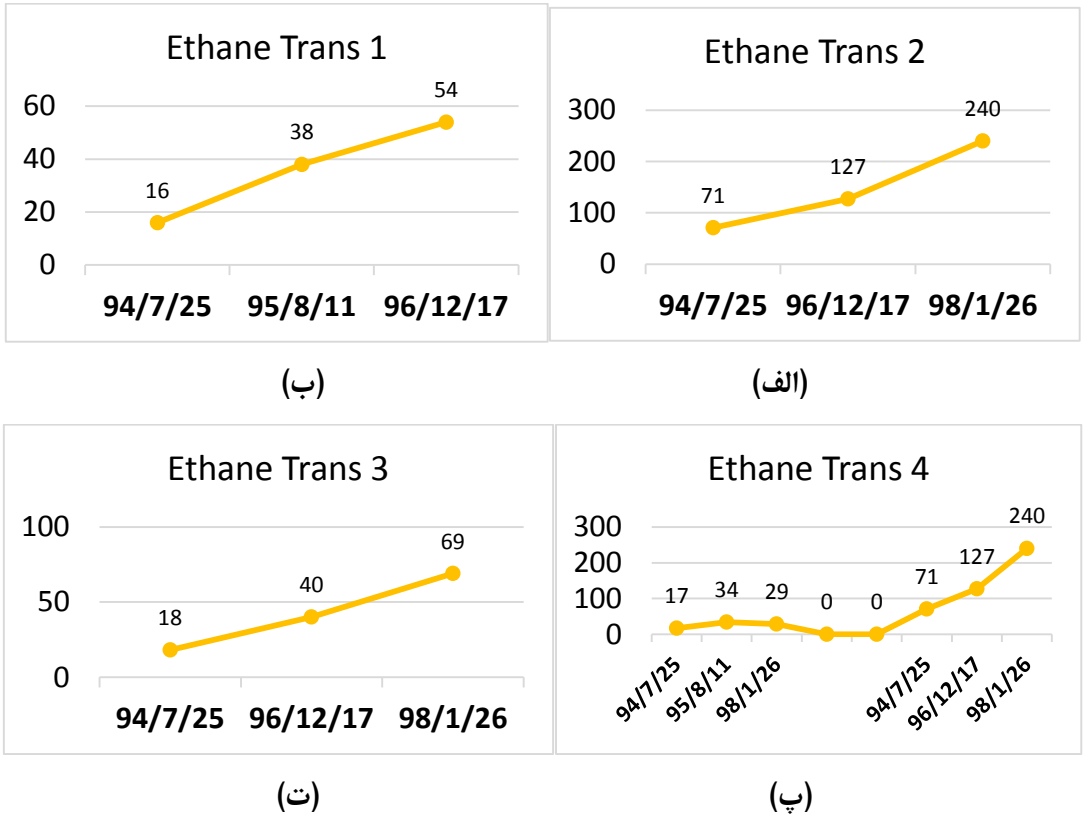
واحد ۵ دارای یک ترانس اصلی واحد (MT2)، دو یونیت ترانس (UT2A , UT2B)، دو ترانس اکسایتر (ET2A , ET2B) و همچنین ترانس‌های کمکی مختلف می‌باشد. اورهال کلی واحد ۵ در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ موجود بود. تست‌های فشار قوی، فشار ضعیف و رلیاژ نیز مجددا مانند قبل انجام شده بود و بررسی شد. در مجموعه تست‌های فشارقوی فرم کالیبراسیون سوئیچ‌ها نیز موجود بود که تست‌های الکتریکی و مکانیکی را پاس کرده بود. در مجموعه تست‌های فشار قوی تست شیت مربوط به ۲۸ نوع بریکر متفاوت با مشخصات

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جریان نامی، ولتاژ نامی، فرکانس نامی و حداکثر جریان قطع های مختلف و همچنین مانند قبل تست لقی گوه‌های استاتور ژنراتور موجود بود که بررسی گردید.

۱۳-۴- ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای نیروگاه اصفهان

در ارزیابی کلیه برگه‌های آزمون ترانسفورماتور در نیروگاه مشخص شد که تنها آزمون‌های ارزیابی وضعیت روغن انجام شده و آزمون‌های دیگر، نظیر آزمون تخلیه الکتریکی و آزمون پاسخ فرکانسی انجام نپذیرفته‌اند و هیچ نتایجی در این ارتباط موجود نیست. نتایج آزمون در هر زمینه، شامل ۱ تا ۴ مورد نتیجه آزمون در بازه زمانی سال ۹۴ تا ۹۸ است و روند تغییرات هر مورد از این اطلاعات موجود استخراج شده است. با تحلیل کلیه آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی ترانسفورماتورهای اصلی واحدهای نیروگاه اصفهان، رفتار پارامترهای اساسی مطابق منحنی‌های زیر، استخراج شده است.



شکل ۱۳-۶- محتوی گاز اتان روغن ترانسفورماتورهای اصلی بر حسب تاریخ آزمون (الف) واحد اول (ب) واحد دوم (پ) واحد سوم (ت) واحد چهارم

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

با توجه به اطلاعات موجود و بررسی‌های انجام شده در این گزارش، جمع‌بندی در مورد عملکرد ژنراتورها و ارزیابی از وضعیت ترانسفورماتورهای نیروگاه اصفهان ارائه می‌شود و در ادامه، چند پیشنهاد برای ایجاد امکان ارزیابی بهتر وضعیت عملکرد ژنراتورها و ترانسفورماتور نیروگاه ارائه می‌شود.

۱۳-۵- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات انجام شده، می‌توان گفت:

۱- بر اساس سوابق نیروگاه، واحدها تریپ‌های زیادی را تجربه کرده‌اند؛ که به معنی همان تعداد راه‌اندازی واحد است. این راه‌اندازی‌ها روی بویلر، توربین و ترانسفورماتور تاثیر مخرب دارند؛ به عبارتی، هر تریپ در نیروگاه، تعمیرات اساسی را جلوتر می‌اندازند. با توجه به اطلاعات تعمیرات اساسی ارائه شده توسط نیروگاه، زمان‌بندی مناسب، منظم و محاسبه شده‌ای بر مبنای وضعیت تجهیزات و با در نظر گرفتن ساعات کارکرد معادل (متناسب با تعداد راه‌اندازی های سرد، گرم و داغ) لحاظ نشده است.

۲- ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورها نشان می‌دهد که روغن برخی ترانسفورمرها، عموما به دلیل سر ریز روغن‌های بی کیفیت و عدم ارزیابی وضعیت مناسب و اقدامات اصلاحی، بایستی در زمانی کوتاه تعویض و یا تصفیه گردد. در غیر این صورت ممکن است صدمات جدی به این ترانسفورماتورها وارد آید.

۳- یکی از نواقص اطلاعات موجود ، عدم دسترسی به دمای اجزای مختلف ژنراتور است. برای ارزیابی بهتر عملکرد ژنراتور رصد مداوم دمای قسمت‌های مهم ژنراتور (هسته، سیم‌پیچی‌ها و اجزای سیستم خنک کاری) ضرورت دارد.

۴- آزمون تخلیه جزیی از مهمترین آزمون‌های غیر مخرب در تشخیص عیب عایقی در تجهیزات فشارقوی به شمار می‌آید که به دو صورت آفلاین و آنلاین انجام می‌شود. از آنجا که هنگام انجام آزمون به صورت آنلاین، ماشین از نظر الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و ... تحت شرایط واقعی است، لذا این نوع آزمون، اطلاعات بیشتری در مقایسه با آزمون‌های آفلاین در اختیار قرار می‌دهد. شایان ذکر است که در گذشته برای بیشتر نیروگاه‌ها، آزمون تخلیه جزئی هنگامی انجام می‌شد که ترانسفورماتور از مدار خارج بود، در این حالت به کمک یک منبع ولتاژ خارجی، سیم پیچی را انرژی‌دار می‌کردند و تخلیه جزئی توسط یک حسگر یا پروب اندازه‌گیری می‌شد. این نوع اندازه‌گیری تخلیه جزئی معایبی به همراه دارد، مهم‌ترین عیب، مربوط به مساله قطع تولید است، زیرا که برای انجام این آزمون، ترانسفورماتور باید حداقل یک روز از مدار خارج باشد، یا یک روز به زمان خروج از مدار افزوده شود. عیب عمده دیگر، این است که انواع مشخصی از تخلیه جزئی، در حالتی که ترانسفورماتور در این حالت قرار دارد، امکان بروز پیدا نمی‌کنند و بنابراین در این شرایط، امکان تشخیص تعدادی از عیوب عایقی وجود ندارد.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱- به طور کلی ضرورت‌ها و دلایل استفاده از سیستم‌های اندازه گیری آنلاین تخلیه جزئی در ماشین‌های الکتریکی فشار قوی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: ارزیابی وضعیت عایق تحت شرایط عملکرد نامی، سادگی، ایمنی و ارزانی تهیه و بکارگیری دستگاه مورد نیاز برای انجام اندازه‌گیری‌ها در مقایسه با هزینه‌های تمام شده برای تعمیر و آماده به کار کردن ترانسفورماتور آسیب دیده و کاهش هزینه‌های تعمیرات. همچنین، آزمون تخلیه‌جزئی به صورت آنلاین، قابلیت اندازه‌گیری به صورت متناوب و در بازه‌های کوتاه مدت و به صورت پیوسته را ممکن می سازد.

فلذا پیشنهاد می‌شود که آزمون تخلیه جزئی آنلاین، به صورت متناوب بر روی ترانسفورماتورهای نیروگاه انجام شود و نتایج آن ثبت شود.

از آزمون اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی یا FRA[1] برای شناسایی عیوب سیم‌پیچی و هسته ترانسفورمرها استفاده می‌شود. ترانسفورماتور قدرت را می‌توان به عنوان یک شبکه پیچیده الکتریکی، متشکل از خازن، سلف و مقاومت در نظر گرفت و معمولا پاسخ فرکانسی یک سیستم حکم اثر انگشت را برای آن سیستم را دارد. از آنجایی که تغییرات هندسی در داخل و بین عناصر این شبکه، موجب تغییر پاسخ فرکانسی آن می‌شود، بنابراین، تفاوت بین پاسخ فرکانسی ترانسفورماتورها در دو زمان مختلف (یا دو دستگاه مشابه)، نشان از تغییرات موضعی یا الکتریکی اجزای داخلی آن دارد. معمولا برای تشخیص خطاهای زیر از آزمون FRA استفاده می‌شود:

- تشخیص تغییر شکل دادن سیم‌پیچی‌ها (در اثر عواملی مانند اتصال کوتاه، حمل و نقل) شامل:

- تغییر شکل محوری و شعاعی سیم‌پیچی‌ها
- جابجایی بین سیم‌پیچی‌های فشار قوی و فشار ضعیف
- فروپاشی ناشی از تخلیه جزئی
- دورهایی از سیم پیچی اگر اتصال کوتاه و یا مدار باز شوند
- شکسته شدن اتصالات داخلی بین سیم پیچ ها
- مشکل در اتصالات داخلی

- خطاهای مربوط به هسته ترانسفورماتور شامل:

- خطای زمین هسته

[1] Frequency Response Analysis

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

- جابجایی هسته

با این مقدمه، پیشنهاد می‌شود که آزمون اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی، بر روی ترانسفورماتورهای نیروگاه اصفهان انجام شود و در هر مرحله نتایج آن ثبت شود.

۶- با توجه به اینکه مهم‌ترین رکن ارزیابی وضعیت تجهیزات نیروگاهی، بررسی روند تغییرات شاخص‌های مختلف آن‌ها است، لذا پیشنهاد می‌شود جهت مستندسازی نتایج آزمون‌های مختلف که تاکنون بر روی ترانسفورماتورهای هر واحد انجام شده است، اقدامات لازم انجام شود.

۷- برای ارزیابی وضعیت سیستم باتری‌ها و UPS نیروگاه به جای استفاده از تست‌هایی که نیاز به خارج کردن بانک باتری یا UPS از مدار دارند که این می‌تواند موجب قطعی و خاموشی برای مدتی شود از دستگاه مانیتورینگ آنلاین باتری استفاده شود. استفاده از این دستگاه امکان شناسایی به موقع سوراخ، شکاف یا خرابی آن تک سلول از مجموعه باتری را به راحتی فراهم می‌آورد و باعث جلوگیری از دست رفتن کل مجموعه بانک باتری و به طبع از دست رفتن سیستم تغذیه مورد نیاز یا پشتیبان نیروگاه می‌شود. شرکت الکتروپردیس فنی جنوب یک نمونه بسیار کارآمد از این دستگاه را با تحقیقات گسترده از پارامترهای صحت و سلامت باتری تولید و با هزینه مناسب ارائه می‌نماید.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

۱۳-۶- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد

در این پروژه ارزیابی وضعیت کلی تجهیزات الکتریکی نیروگاه ها مد نظر بوده و قطعا و یقینا ارزیابی دقیق از وضعیت هر تجهیز الکتریکی بطور خاص نیازمند مطالعات میدانی دقیق، جمع آوری داده های کامل، تکمیل آزمون ها، و تحلیل مفصل نتایج این آزمون ها می باشد. ارزیابی دقیق کل تجهیزات الکتریک هر نیروگاه در قالب پروژه ای مستقل قابل انجام می باشد.

در این پروژه جهت ارزیابی وضعیت کلی تجهیزات الکتریک نیروگاه ها از منابع اطلاعاتی زیر استفاده گردیده است:

- نامه درخواست ارسال مستندات آزمونها، حوادث، تعمیرات و سوابق ارزیابی وضعیت تجهیزات الکتریک به کلیه نیروگاه های مورد نظر کارفرما ارسال گردیده و پیگیری های بعدی در چند مرحله انجام پذیرفته است. از ۳۷ نیروگاه مورد نظر نیروگاه هایی که مدارک و مستندات خود را در پاسخ به نامه فوق الذکر ارسال نموده اند عبارتند از: نیروگاه اصفهان، نیروگاه شهید مفتح، نیروگاه لوشان و نیروگاه سیکل ترکیبی یزد.

- مستندات و مدارک موجود در مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته در ارتباط با ارزیابی وضعیت ژنراتورها و موتورهای برخی نیروگاه ها و نتایج اندازه گیری های انجام شده (تخلیه جزیی و جریانهای پلاریزاسیون و ...)

- مشاوره با کارشناسان بهره برداری و کارشناسان فنی نیروگاه ها و کسب اطلاعات از آخرین وضعیت تجهیزات الکتریکی و نتایج آخرین آزمون های ارزیابی وضعیت انجام شده بصورت شفاهی و یا درخواست ارسال مدارک تصویری

- مشاوره با خبرگان و متخصصین مجرب حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ها و کسب اطلاع از وضعیت کلی تجهیزات الکتریک هر نیروگاه

به منظور سهولت در ارزیابی کلی وضعیت نیروگاه‌ها و جهت اولویت دهی پروسه های نوسازی در تجهیزات الکتریکی نیروگاه ها یک چک‌لیست آزمون های رایج ارزیابی وضعیت به تفکیک تجهیز الکتریکی تهیه گردیده است. در این جدول محدود مجاز هر پارامتر آزمون از استانداردهای مربوطه استخراج و ارائه گردیده است، جدول (۵-۱). بر مبنای مقدار پارامتر آزمون های انجام شده در نیروگاه، یک امتیاز درصدی به هر تجهیز الکتریکی هر واحد نیروگاهی اختصاص داده شد. در نهایت بر مبنای درصد وزنی و اهمیت اختصاص داده شده به تجهیزات الکتریک- مطابق جدول (۵-۲) و بر مبنای نظر ناظرین پروژه و نخبگان نیروگاهی- اولویت نوسازی

 DOI: 10.30503/nripress.2020.137

هر واحد نیروگاهی محاسبه گردید. اولویت نوسازی کل نیروگاه بصورت میانگین اولویت هر واحد در نظر گرفته شده است.

پروسه ارزیابی وضعیت هر واحد نیروگاهی و در نهایت ارزیابی وضعیت کل نیروگاه مطابق جدول (۵-۳) انجام پذیرفته است. در این جدول، هر سلول جدول نشانگر ارزیابی وضعیت درصدی تجهیز الکتریکی مربوطه می باشد و عددی در بازه ۰-۱۰۰ می باشد. ضرایب w_k نیز ضرایب وزنی جدول (۵-۲) برای هر تجهیز الکتریکی می باشند.

رابطه محاسبه وضعیت کلی نیروگاه مطابق رابطه (۵-۱) ارائه گردیده است.

$$w_1.G_{av}+w_2.E_{av}+w_3.T_{av}+w_4.M_{av}+w_5.DC_{av}+w_6.B_{av}+w_7.C_{av}+w_8.P_{av}+w_9.N_{av} \qquad (۱-۵)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۱۳-۱- چک لیست آزمون‌های تجهیزات الکتریک نیروگاه

نام تجهیز: ترانسفورماتور		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون های روغن	ولتاژ شکست	> 60 kv		
	مقدار رطوبت	<15 mg/kg		
	اسیدیته	< 0.10 mgKOH/goil		
	کشش بین سطحی	> 25 or 28 mN/m		
	رنگ روغن	شفاف و بدون آلودگی قابل رویت		
	تانژانت دلتا	<10%		
	مقاومت مخصوص	> 200 GΩ @20°		
	اکسیداسیون			
	رسوب و لجن	< 0.02%		
	تعداد ذرات			
	نقطه اشتعال	حداکثر کاهش 10%		
	نقطه ریزش			
	چگالی			
	گران‌روی			
	PCB			

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

	سولفور خورنده	روغن خورنده یا غیرخورنده		
	DBDS			
	غیرفعال کننده‌ها			
آزمون‌های الکتریکی	مقاومت DC سیم‌پیچ	اختلاف در مقایسه با فازهای دیگر یا کارخانه $\Delta R < 5\%$		
	نسبت تبدیل	در همه تپ‌ها در بازه 0.5% مقدار درج‌شده بر روی پلاک		
	مقاومت عایقی سیم‌پیچ	عدد مطلق ملاک نیست و بایستی با مقادیر قبلی مقایسه شود (کاهش زیاد نداشته باشد)		
	عدد پلاریزاسیون	>1.25		
	مقاومت عایقی هسته	$>100\ \mathrm{M\Omega}$		
	تلفات عایقی $(\tan\delta)$	$<1\%\ @20^{\circ}$		
	خازن سیم‌پیچ	تغییرات نسبت به مرجع $<5\%$		
	تقسیم شار	$V_1+V_2=V_3$ $V_1=V_2$ or $V_1>V_2$		
	جریان بی‌باری	$I_1, I_2>I_3$ or $I_1=I_2=I_3$ if $I_{nl}<50$ mA ; $\Delta I<10\%$ if $I_{nl}>50$ mA ; $\Delta I=5\%$		
	امپدانس اتصال کوتاه یا راکتانس نشتی	مقدار پلاک X_l □ 3% $\Delta X<2\%$		

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

	ولتاژ القایی	باید در مدت معین قادر به تحمل ولتاژ $1.25Un/\sqrt{3}$ in 1min اعمال شده باشد		
	تخلیه جزئی	< 500 pC		
	پاسخ فرکانسی	مقایسه با مرجع		
	گروه برداری	باید محاسبه و باعدد روی پلاک مغایرت نداشته باشد		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: ژنراتور		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	مقاومت عایقی روتور	به اندازه کافی بزرگ باشد		
	مقاومت عایقی استاتور	به اندازه کافی بزرگ باشد		
	مقاومت عایقی کلی	بزرگتر از مقدار حداقل $R_m = kV + 1$		
	شاخص پلاریزاسیون	$1 < PI < 5$		
	جریان نشتی	جریان نشتی نسبت به ولتاژ باید یک خط با شیب تقریبا ثابت باشد		
	تلفات عایقی	$0.5\% < PF < 1\%$		
	ولتاژ بالا DC	$V = 1.7V_{rms}$;f=50Hz in 1-5 min		
	ولتاژ بالا AC			
	تخلیه جزئی	مقایسه با الگوهای متفاوت موجود		
	مقایسه ولتاژ ضربه	مقایسه با الگوهای موجود (میزان سلف هر فاز را نیز می‌توان محاسبه کرد $f = 1/(2\pi/\sqrt{LC})$ (		

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

	ارتعاش و رزونانس	هسته و فریم و سرسیم‌پیچی‌ها نباید شل باشد و ارتعاش داشته باشد و سبب وقوع رزونانس شود		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: موتور		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	مقاومت اهمی			
	مقاومت عایقی	$>10\ \mathrm{M\Omega}$		
	جریان‌گردابی یا فوکو هسته	عدم وجود تغییرات قابل توجه در جریان گردابی (با دوروش ارسال و دریافت یا امپدانس)		
	استقامت دی‌الکتریکی	$2E+1000V$; E: line to line rms rated voltage		
	اتصال حلقه (surge)	$V_2 = 2.86V_L$ V_L=line to line rms rated voltage		
	تلفات عایقی	$\tan\delta 0.2U_n \le 10^{-4}\times 100$ *or* ; 6<V<6.6 kV $\tan\delta \max\Delta \le 10^{-4}\times 40$		
	تخلیه جزئی	مقایسه با الگوهای موجود		
	اندوکتانس سیم‌پیچ			
	ترموگرافی	عدم تغییر در الگوی توزیع دمای سطحی و وجود نقاط داغ		
	ارتعاشات	ارتعاش در دوره‌های مختلف یادداشت و نسبت به قبل و محدوده استاندارد ارتعاش توسط سازنده مقایسه شود		

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)	

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: سیستم تحریک		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	سیگنال کوچک	دامنه اغتشاشات کوچک		
	سیگنال بزرگ	مقایسه با الگوهای معمول باتوجه به مودهای غیرخطی و دامنه اغتشاشات بزرگ		
	استاتیک	یادداشت و محاسبه ضریب بهره،پارامتر جبران‌کننده، منحنی اشباع تحریک		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: سیستم تغذیه DC و باتری (UPS)		مشخصات تجهیز:		
آزمون ها	ظرفیت باتری			
	نگهداری شارژ			
	شارژ و دشارژ			
	مقاومت داخلی باتری			
	جریان نشتی			
	زمان انتقال			
	THD			
	رگولاسیون خروجی			
	راندمان			
	مربوط به تابلوهای LVDC			
	ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)			

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: بریکر		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	عایقی مدار کمکی و کنترل	تحمل ولتاژ 2000 V in 1 min		
	اضافه ولتاژ	$I < I_{leakage}$, $0 < V <$?$100kV$ in 1min in f=50Hz		
	مقاومت مداراصلی	$< 1.2R_T$		
	مگر			
	عملکرد مکانیکی	$0.7V_{control} < V < 1.1V_{control}$ for open $0.8V_{control} < V < 1.1V_{control}$ for close 5 times		
	فشار گاز خلأ یا SF6	< 3 ppm in 8 hr		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: کابل فشارقوی		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	مقاومت کششی	PVC or PE_{HD} : 12.5 N/mm^2 PE_{LD} : 10 N/mm^2		
	افزایش طول	PVC : 150% PE_{LD} or PE_{HD} : 300%		
	پیوستگی روکش	روکش نهائی باید در برابر اعمال ولتاژ $25kV$ DC in 1 min استقامت داشته باشد		
	تخلیه جزئی	< 5 pC		
	استقامت عایقی	تحمل ولتاژ بین $0 - 2.5U_{ph}$ در فرکانس قدرت حدود ۳۰ دقیقه دامنه تخلیه جزئی در ابتدا و انتهای آزمون تقریبا یکسان باشد		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: سیستم زمین		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون ها	مقاومت زمین	باید اندازه‌گیری شود و با مقدار بهینه محاسبه شده متناسب با نیروگاه مقایسه شود		
	اتصـــــال و همبندی	وصل باشند		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

نام تجهیز: سیستم حفاظت		مشخصات تجهیز:		
بر اساس محدوده استاندارد و مجاز نمره‌دهی شود		مجاز	اندازه‌گیری‌شده	۰- ۱۰۰
آزمون‌ها	حفاظت الکتریکی ترانسفورماتور	مطابق عملکرد رله‌ها		
	حفاظت الکتریکی ژنراتور	مطابق عملکرد رله‌ها		
	حفاظت الکتریکی موتور	مطابق عملکرد رله‌ها		
ارزیابی کلی از وضعیت تجهیز (۰-۱۰۰)				

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۱۳-۲- درصد وزنی درنظر گرفته شده برای تجهیزات الکتریکی جهت اولویت دهی نوسازی نیروگاه

ردیف	تجهیز	درصد وزنی
۱	ژنراتور	۰/۳
۲	ترانسفورماتور	۰/۲
۳	موتور	۰/۱
۴	سیستم تحریک	۰/۱
۵	سیستم حفاظت	۰/۲
۶	سیستم تغذیه DC و باتری (UPS)	۰/۰۲۵
۷	بریکر	۰/۰۲۵
۸	کابل فشارقوی	۰/۰۲۵
۹	سیستم زمین	۰/۰۲۵

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

جدول ۱۳-۳- ارزیابی وضعیت تجهیزات الکتریک یک نیروگاه

	ژنراتور	سیستم تحریک	ترانسفورمرها	موتورها	سیستم DC و باتری	بریکر	کابلها	سیستم حفاظت	سیستم زمین
واحد ۱	G1	E1	T1	M1	DC1	B1	C1	P1	N1
واحد ۲	G2	E2	T2	M2	DC2	B2	C2	P2	N2
واحد ۳	G3	E3	T3	M3	DC3	B3	C3	P3	N3
واحد ۴	G4	E4	T4	M4	DC4	B4	C4	P4	N4
میانگین اولویت تجهیز	G_{av}	E_{av}	T_{av}	M_{av}	DC_{av}	B_{av}	C_{av}	P_{av}	N_{av}
اولویت کل نیروگاه	$w_1.G_{av}+w_2.E_{av}+w_3.T_{av}+w_4.M_{av}+w_5.DC_{av}+w_6.B_{av}+w_7.C_{av}+w_8.P_{av}+w_9.N_{av}$								

در نهایت بر اساس تحلیل اطلاعات ارسالی وضعیت تجهیزات نیروگاه ها، اطلاعات موجود در آرشیو مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته، امتیازات در نظر گرفته شده بر اساس این اطلاعات و نیز نظرات کارشناسان بهره برداری نیروگاه ها و خبرگان نیروگاهی مشرف به وضعیت تجهیزات الکتریک نیروگاه ها، اولویت های نوسازی نیروگاه های مدنظر بشرح جدول زیر استخراج گردیده است.

جدول ۱۳-۴- اولویت های نوسازی تجهیزات الکتریک نیروگاه ها

عنوان سایت	نتیجه ارزیابی وضعیت کلی نیروگاه	الویت سرویس و تعمیرات بر حسب منطقه و سوابق موجود
شرکت مدیریت تولید برق ری	**۳۷**	**۱**
شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان	**۴۰**	**۲**
شرکت تولید و بهره‌برداری سد و نیروگاه دز	**۴۴**	**۳**
شرکت مدیریت تولید برق بعثت	**۴۵**	**۴**
شرکت مدیریت تولید برق بیستون	**۴۷**	**۵**
شرکت مدیریت تولید برق خلیج فارس	**۴۸**	**۶**
شرکت مدیریت تولید برق تبریز	**۵۰**	**۷**
شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس	**۵۳**	**۸**
شرکت مدیریت تولید برق سیستان و بلوچستان (ایرانشهر)	**۵۴**	**۹**
شرکت مدیریت تولید برق اهواز (رامین)	**۵۷**	**۱۰**
شرکت مدیریت تولید برق اصفهان	**۵۹**	**۱۱**
شرکت مدیریت تولید برق مشهد	**۶۱**	**۱۲**
شرکت مدیریت نیروگاههای گازی خراسان	**۶۲**	**۱۳**
شرکت مدیریت تولید برق یزد	**۶۳**	**۱۴**
شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان شرقی	**۶۵**	**۱۵**
شرکت مدیریت تولید برق فارس	**۶۷**	**۱۶**
شرکت مدیریت تولید برق طوس	**۷۰**	**۱۷**
شرکت مدیریت تولید برق زرند	**۷۳**	**۱۸**

DOI: 10.30503/nripress.2020.137

عنوان سایت	نتیجه ارزیابی وضعیت کلی نیروگاه	الویت سرویس و تعمیرات بر حسب منطقه و سوابق موجود
شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان غربی	۷۵	۱۹
شرکت مدیریت تولید برق شهید بهشتی لوشان	۷۶	۲۰
شرکت مدیریت تولید برق کردستان	۷۷	۲۱
شرکت مدیریت تولید برق غرب	۷۸	۲۲
شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی	۷۹	۲۳
شرکت مدیریت تولید برق شازند اراک	۸۲	۲۴
شرکت مدیریت تولید برق کرمان	۸۳	۲۵
شرکت مدیریت تولید برق گیلان	۸۵	۲۶
شرکت مدیریت تولید برق شهید مفتح	۸۷	۲۷
شرکت مدیریت تولید برق نکا	۸۸	۲۸

مراجع

[1] M. Farhoumandi, F. Aminifar, M. Shahidehpour, "Generation Expansion Planning Considering the Rehabilitation of Aging Generating Units", IEEE Transactions on Smart Grid, 2020.

[2] https://opecfund.org/operations/list/boulaos-power-plant-rehabilitation project.

[3] Power Plant Rehabilitation Project Summary of the Operation Performance Evaluation Review January 2004.

[4] R. Tawney, K. James, A. Bonner, and A. M. Elgawhary, "Economic and performance evaluation of combined cycle repowering options". American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, pp. 457-464, 2002.

[5] A. J. Conejo, R. García-Bertrand, and M. Díaz-Salazar, "Generation Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 984–992, 2005.

[6] H. Pandžić, A. J. Conejo, I. Kuzle, and E. Caro, "Yearly Maintenance Scheduling of Transmission Lines within a Market Environment," IEEE Trans. Power Syst., vol. 27, no. 1, pp. 407–415, 2012.

[7] J. H. Roh, M. Shahidehpour, and Y. Fu, "Market-Based Coordination of Transmission and Generation Capacity Planning," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 22, no. 4, pp. 1406-1419, Nov. 2007.

[8] \https://new.abb.com/news/detail/47308/abb-wins-contract-to-upgrade-copel hydroelectric-power-plant-in-brazil.

[9] Jung-Seob Hyun, Doo-Young Kim, Kwang-Won Hwang, Min-Gyu Park, "Development of Lifetime Assessment and Rehabilitation Cost Calculation Methods for Overseas ROMM Project', KEPCO Journal on Electric Power and Energy, Vol. 3, No. 2, December 2017.

[10] The Electric Power Economy, "BORYEONG Thermal Power Plant, Units 7 & 8 completed on 17th", 2009. Available: http://www.

[11] Monthly of Electrical Technology & Information, "KOMIPO, INCHEON Combined Cycle Power Plant Completed, 30 billion won saved", 2006. Available: http://www.energy.co.kr/atl/view/ asp?a_ id=795.

1. IEEE Guide for the Rehabilitation of Hydroelectric Power Plants, *IEEE Std 1147-2005 (Revision of IEEE Std 1147-1991),* pp. 1-63, 2006.

2. A. H. Africa, "Refurbishment of Hydro Power Plants," ed: Alstom Hydropower Africa.

۳. ا. ف. ا. صدری حمیدرضا , حمیدی پرتو , و ص. جهانگیر, "امکان‌سنجی فنی - اقتصادی پروژه‌های نیروگاهی؛ دیدگاه‌ها و راهکارها," نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق, تهران, ۱۳۸۳.

4. U. A. C. o. Engineers. (2010). Hartwell Powerplant Rehabilitation. Available: https://www.sas.usace.army.mil/About/Divisions-and-Offices/Operations Division/Hartwell-Dam-and-Lake/Hydropower/Hartwell-Powerplant Rehabilitation/
5. U. S. E. I. Administration. (2005). Existing Electric Generating Units in the United States Available: http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/page/eia860.html
6. T. K. e. a. B. Michel, "Rehabilitation of Hydro Generating Units," Power Russia2006.
7. M. M. Znidarich, "Hydro Generator Stator Cores Part 1 – Constructional Features and Core Losses," presented at the Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08), 2008.
8. W.-D. Blecken, "Applying new technology in the upgrading or uprating of generators," ed. Germany: Power Generation Group (KWU), Siemens AG, 1997.
9. L. Bleier, "A Complete electromechanical Upgrading Package for the 1200 MW Kaplan Power Plant Portile De Fier I," presented at the Hydro Vision N.C. USA, 2000.
10. ABB. *Automation. Evolution. Solution.* Available: https://new.abb.com/power-generation/solutions/power-plant-automation
11. P. Online. *TC2000PLUS Gas Turbine Control System*. Available: https://www.poweronline.com/doc/tc2000plus-gas-turbine-control-system-0001
12. P. Online. *EGATROL - Gas Turbine Control Solution*. Available: https://www.poweronline.com/doc/egatrol-gas-turbine-control-solution-0001
13. L. E. Generation. (2016). *YENIKÖY KEMERKÖY THERMAL POWER PLANTS*. Available: http://www.limak.com.tr/sectors/energy/energy-generation/operational-thermal-power-plants/yenikoy-kemerkoy-thermal-power-plants
14. G. E. Power. (2 .(۰۱۶*Efficiency Increase and Emissions Reduction at Two Power Plants in Turkey*. Available: https://www.ge.com/power/case-studies/yenikoy
15. M. G. Johnson, "Recent Generator Uprate Case Studies," presented at the IEEE Conference, 1999.
16. T. Paspalovski, "Replacement (reconstruction) of the active steel end zone of the turbogenerator," presented at the Global Virtual Conference, 2013.
17. K. Celic, Z. Haznadar, and S. Berberovic, "Turbogenerator refurbishment with up-rating based on embedding stator damper winding and modern electromagnetic materials," in *2007 IEEE International Electric Machines & Drives Conference*, 2007, pp. 1003-1007.
18. G. Mottershead and J. R. Michalec, "American National Standard for rotating electrical machinery," in *Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference (Cat. No.01CH37264)*, 2001, p. 105.
19. E. A. S. Association, "Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus," in *EASA AR100-2020*, ed.
20. *Inspection of Large Synchronous Machines: Checklists, Failure Identification, and Troubleshooting*: Wiley-IEEE Press, 1996.
21. "IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing," *ANSI/IEEE Std 4-1978*, p. 0_1, 1978.
22. "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery," *IEEE Std 43-2013 (Revision of IEEE Std 43-2000)*, pp. 1-37, 2014.
23. "IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating-Current Rotating Machinery (10,000 kVA and Larger)," *ANSI/IEEE Std 56* ,۱۹۷۷-pp. 1-24, 1977.
24. "IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage," *IEEE Std 95-2002 (Revision of IEEE Std 95-1977)*, pp. 1-56, 2002.

25."IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators," *IEEE Std 112-2017 (Revision of IEEE Std 112-2004)*, pp. 1-115, 2018.

26."IEEE Guide: Test Procedures for Direct-Current Machines," *ANSI/IEEE Std 113-1985*, pp. 1-38, 1984.

27."IEEE Standard Test Procedure for Single-Phase Induction Motors," *IEEE Std 114-2001*, pp. 1-37, 2002.

28."IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines Part I—Acceptance and Performance Testing Part II—Test Procedures and Parameter Determination for Dynamic Analysis," *IEEE Std 115*) ۲۰۰۹-*Revision of IEEE Std 115-1995)*, pp. 1-219, 2010.

29."IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound AC Electric Machinery," *IEEE Std 117-2015 (Revision of IEEE Std 117-1974)*, pp. 1-34, 2016.

30."IEEE Standard Test Code for Resistance Measurement," *IEEE Std 118-1978*, pp. 1-20, 1978.

31."IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Alternating-Current Electric Machinery Employing Form-Wound Preinsulated Stator Coils for Machines Rated 6900 V and Below," *IEEE Std 275-1992*, pp. 1-14, 1992.

32."IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation," *IEEE Std 286-2000*, pp. i-29, 2001.

33."IEEE Test Procedure for Evaluation and Classification of Insulation Systems for Direct-Current Machines," *ANSI/IEEE Std 304-1977*, pp. 1-20, 1977.

34."IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book)," *IEEE Std 399-1997*, pp. 1, 1998, 488.

35."IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Sealed Insulation Systems for Ac Electric Machinery Employing Form-Wound Preinsulated Stator Coils for Machines Rated 6900 V and Below," *IEEE Std 429-1994*, p. i, 1994.

36."IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 Hp to Less Than 10 000 Hp)," *IEEE Std 432-1992*, p. 0_1, 1992.

37."IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery with High Voltage at Very Low Frequency," *IEEE Std*) ۲۰۰۹-۴۳۳ *Revision of IEEE Std 433-1974)*, pp. 1-30, 2010.

38.C. A, "IEEE Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machines Rated 2300 V and Above," *IEEE Std 434-2006 (Revision of IEEE Std 434-1991)*, pp. 1-19, 2007.

39."IEEE Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators," *IEEE Std 492-1999*, pp. 1-70, 1999.

40.N. E. M. Association, " Motors and Generators," vol. NEMA MG-1, ed, 2016

41.N. E. M. Association, "Safety Standard For Construction And Guide For Selection, Installation And Use Of Electric Motors And Generators," vol. NEMA MG 2-2014, ed.

42.N. E. M. Association, "Energy Management Guide for Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors," vol. NEMA MG 10, ed, 2017.

43.N. E. M. Association, " Renewal Parts for Motors and Generators (Performance, Selection and Maintenance)," vol. NEMA RP 1, ed, 1987.

44.U. L. I. (UL), "UL Standard for Safety Thermal Protectors for Motors," vol. UL 547, ed, 1993.

45.U .L. I. (UL), "UL Standard for Safety Electric Motors," vol. UL 1004, ed, 2006.

46.E. A. S. Association, "Guide For The Repair Of Power And Distribution Transformers," vol. EASA AR200, ed, 2011Number

47."IEEE Guide for Transformers Directly Connected to Generators," *IEEE Std C57.116-2014 (Revision of IEEE Std C57.116-1989)*, pp. 1-48, 2014.

48."IEEE Guide for Handling and Disposal of Transformer Grade Insulating Liquids Containing PCBs," *ANSI/IEEE Std 799-1987*, p. 0_1, 1987.

49."IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers," *IEEE Std C57.12.00-2015 (Revision of IEEE Std C57.12.00-2010)*, pp. 1-74, 2016.

50."IEEE Standard for General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers," *IEEE Std C57.12.01-2015 (Revision of IEEE Std C57.12.01-2005)*, pp. 1-52, 2015.

51."IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Ventilated Dry-Type Power and Distribution Transformers," *ANSI/IEEE Std C57.12.5* ,۱۹۸۶-۶pp. 1-20, 1986.

52."IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers," *IEEE Std C57.12.90-2015 (Revision of IEEE Std C57.12.90-2010)*, pp. 1-120, 2016.

53."IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers," *IEEE Std C57.12.91-2011 (Revision of IEEE Std C57.12.91-2001)*, pp. 1-94, 2012.

54."IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators," *IEEE Std C57.91-2011 (Revision of IEEE Std C57.91-19* ,(۹۵pp. 1-123, 2012.

55."IEEE Recommended Practice for Installation, Application, Operation, and Maintenance of Dry-Type Distribution and Power Transformers," *IEEE Std C57.94-2015 (Revison of IEEE Std C57.94-1982)*, pp. 1-29, 2016.

56."IEEE Guide for Transformer Impulse Tests," *IEEE Std C57.98-2011 (Revision of IEEE Std C57.98-1993)*, pp. 1-92, 2012.

57.U. L. I. (UL), "Standard for Dry-Type General Purpose and Power Transformers," vol. 1561, ed, 2011.

58."IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines," *IEEE Std 421.1-2007 (Revision of IEEE Std 421.1-1986)*, pp. 1-33, 2007.

59."IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems," *IEEE Std 421.2-2014 (Revision of IEEE Std 421.2-1990)*, pp. 1-63, 2014.

60."IEEE Standard for High-Potential Test Requirements for Excitation Systems for Synchronous Machines," *IEEE Std 421.3-2016 (Revision of IEEE Std 421.3-1997)*, pp. 1-19, 2016.

61.I. E. Commission, "Guide for commissioning, operation and maintenance of hydraulic turbines," vol. IEC 60545:1976 ed, 1976.

62.I. E. Commission, "Guide for commissioning, operation and maintenance of storage pumps and of pump-turbines operating as pumps," vol. IEC 60805, ed, 1985

63."IEEE Guide for Power-Station Noise Control," *IEEE Std 640-1985*, p. 0_1, 1985.

64.N. F. P. Association, "Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance," vol. NFPA 70B, ed, 2019.

65.N. F. P. Association, "Recommended Practice for Fire Protection for Hydroelectric Generating Plants," vol. NFPA 851, ed, 2010.

66. [۱] CIGRE Technical Brochure 445: Guide for Transformer Maintenance, 2011.

67. [۲] A. Küchler, High Voltage Engineering: Fundamentals-Technology-Applications. Springer, 2017.

68. [۳] S. Chakravorti, D. Dey, and B. Chatterjee, "Recent trends in the condition monitoring of transformers," Power Systems Springer-Verlag: London, UK, 2013.

69. [۴] FIST 3-30: TRANSFORMER MAINTENANCE., 2000.

70. [۵] CIGRE Technical Brochure 378: Copper Sulphide in Transformer Insulation, 2009.

71. [۶] P. K. Pandey, H. Singh, M. Rao, and R. Jarial" ,Emerging Trends in Diagnosis and Condition Assessment of Power Transformers Based on Health Index," in 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET'2014), London (UK), 2014.

72. [۷] "CIGRE Technical Brochure 296: RECENT DEVELOPMENTS IN DGA INTREPRETATION, Joint Task Force D1.01/A2.11 ", ed. 2006.

73. [۸] IEC, "IEC 60475:2011, Method of sampling insulating liquids," ed, 2011.

74. [۹] "ASTM D923 - 15, Standard Practices for Sampling Electrical Insulating Liquids".

75. [۱۰]"IEC 6059, Mineral oil-filled electrical equipment in service - Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis," ed, 2015.

76. [۱۱]S. D. Myers, J. J. Kelly, and R. H. Parrish, A guide to transformer maintenance. Transformer Maintenance Institute.۱۹۸۱ ,

77. [۱۲]"FACILITIES INSTRUCTIONS, STANDARDS, AND TECHNIQUES, VOLUME 3-31 (FIST 3-31): TRANSFORMER DIAGNOSTICS," 2003.

78. [۱۳]"IEC 60567: Oil-filled electrical equipment - Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases - Guidance," 2011.

79. [۱۴]"FACILITIES INSTRUCTIONS, STANDARDS, AND TECHNIQUES", VOLUME 3-30 (FIST 3-30): TRANSFORMER MAINTENANCE, 2000.

80. [۱۵]M. Duval and L. Lamarre, "The duval pentagon-a new complementary tool for the interpretation of dissolved gas analysis in transformers," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 30, no. 6, pp. 9-12, 2014.

81. [۱۶]"IEEE Std C57.104-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991), IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers," 2009.

82. [۱۷]Y. Du, M. Zahn, B. Lesieutre, A. Mamishev, and S. Lindgren, "Moisture equilibrium in tranformer oil paper systems," IEE Electrical Insulation, vol. 15, no. 1.

83. [۱۸]W. Wattakapaiboon and N. Pattanadech, "The state of the art for dissolved gas analysis based on interpretation techniques," in 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2016, pp. 60-63: IEEE.

84. [۱۹]"IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, andReactors," IEEE Std C57.152-2013, pp. 1-121, 2013.

85. [۲۰]IEC 60076-1: Power transformers - Part 1: General, 2011.

86. [۲۱]Å. Carlson and A. Zürich, Testing of power transformers: routine tests, type tests and special tests. Pro Print, 2003.

87. [۲۲]MEGGER, "Megger guide to electrical insulation testing," ed: Megger, 2006.

88. [۲۳]"IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers," IEEE Std C57.12.90-2006, pp. 1-94, 2006.

89. [۲۴]IEC 60270, High-voltage test techniques - Partial discharge measurements, 2000 (2015AMD).

90. [۲۵]"IEEE Recommended Practice for Partial Discharge Measurement in Liquid-Filled Power Transformers and Shunt Reactors," IEEE Std C57.113-2010 (Revision of IEEE Std C57.113-1991), pp. 1-47, 2010.

91. [۲۶]"IEEE Guide for the Detection, Location and Interpretation of Sources of Acoustic Emissions from Electrical Discharges in Power Transformers and Power Reactors," IEEE Std C57.127-2018 (Revision of IEEE Std C57.127-2007), pp. 1-72, 2019.

92. [۲۷]IEC 60076-18: Power transformers - Part 18: Measurement of frequency response, 2012.

93. [۲۸]"IEEE Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil-Immersed Transformers," IEEE Std C57.149-2012, pp. 1-72, 2013.

94. [۲۹]CIGRE TECHNICAL BROCHURES 342: Mechanical-Condition Assessment of Transformer Windings using Frequency Response Analysis (FRA), 2008.

95. [۳۰]"IEEE Guide for Dielectric Frequency Response Test," IEEE Std C57.161-2018, pp. 1-76, 2018.

96. [۳۱]CIGRE TECHNICAL BROCHURES 494: Furanic Compounds for Diagnosis, 2012.

97. [۳۲]e. a. M. L. Convener (۲۰۱۲) .Furanic Compounds for Diagnosis. ELECTRA. 73-79 .

98. [۳۳]IEC 61198: Mineral insulating oils - Methods for the determination of 2-furfural and related compounds, 1993.

99. [۳۴]ASTM, "ASTM D5837 - 12: Standard Test Method for Furanic Compounds in Electrical Insulating Liquids by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)".

100. [۳۵] ASTM D923 - 15: Standard Practices for Sampling Electrical Insulating Liquids.

101. [۳۶] J. Fabre and A. Pichon, "Deteriorating processes and products of paper in oil. Application to transformers," CIGRÉ paper, vol. 137, p. 18, 1960.

102. [۳۷] I. E. T. Association, "Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems," ANSI/NETA ATS, p. 38, 2009.

103. [۳۸] "TESTING FOR STATOR WINDINGS Power Factor Testing and Partial Discharge Monitoring", E. Duarte, Doble Engineering and V. Warren, Iris Power Engineering, Iris Rotating Machine Conference, June 2003, Santa Monica, CA

۱۰۴. [۳۹] گزارش "دستورالعمل تحلیل اندازه‌گیری online تخلیه جزئی برای تعیین عیوب عایقی ماشینهای الکتریکی"، علیرضا سلطانی خسروشاهی، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۳

105. [۴۰] "ELECTRICAL INSULATIONFOR ROTATING MACHINES Design, Evaluation, Aging,Testing, and Repair", G.C. STONE, E.A. BOULTER, I. CULBERT, H. DHIRANI, IEEE Press Series on Power Engineering

106.

107. [۴۱] "ELECTRICAL INSULATIONFOR ROTATING MACHINES Design, Evaluation, Aging,Testing, and Repair", G.C. STONE, E.A. BOULTER, I. CULBERT, H. DHIRANI, IEEE Press Series on Power Engineering

108. [۴۲] IEEE43–2000, "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"

109. [۴۳] "An online ground wall and phase-to-phase insulation quality assessment technique for AC-machine stator winding", B. Lee, J. Yang, K. Younsi and R. M. Bharadwaj, IEEE Transactions on Ind. Appl. Vol. 42, 2006

110. [۴۴] IEC 60840 :2011, Edition 4.0, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (URmR=36 kV) up to150 kV (URmR=170 kV)- Test methods and requirements.

۱۱۱. [۴۵] مجتبوی، نسیم و یعقوبی، مریم،۱۳۹۲،ارزیابی کارایی نیروگاه ها و ارائه یک روش رتبه بندی با استفاده از نرم افزار GAMS ، سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی،تهران،https://civilica.com/doc/305497