بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور

دانشکده انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه

محاسبه تخمین عمر باقیمانده هدر نیروگاهی

تحقیق و تدوین

سعید همتی

استاد راهنما

دکتر سید ابراهیم موسوی ترشیزی

دی ۸۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

سپاس و منت بی پایان، خدای بزرگ را که توفیق گام برداشتن در راه کسب علم را به من عطا کرد و هم او مرا در این راه، اولین حامی و پشتیبان بود و با تقدیر و تشکر از استاد ارجمندم، آقای دکتر سید ابراهیم موسوی ترشیزی که در انجام، تکمیل و پیشبرد تحقیق اینجانب را راهنمایی و مساعدت نمودند.

و همینطور از همکاری آقایان Dr.Kown، مهندس کرمی و مهندس شامنصوری برای انتقال اطلاعات صمیمانه تشکر می نماییم.

چکیده

امروزه بسیاری از صنایع کلیدی در دنیا مانند کارخانه های مواد شیمیایی، صنایع پتروشیمی و نیروگاهها به پایان عمر طراحی خود رسیده اند در حالی که قسمت هایی از این صنایع دچار فرسودگی شده اند قسمت های دیگر همچنان قادر به ادامه کار هستند و به دلیل حساسیت و ارزش اقتصادی و هزینه بالای راه اندازی و نصب صنایع، مسایل زیست محیطی، طولانی بودن زمان ساخت و غیره باعث می شود که بحث تخمین عمر باقیمانده و استفاده بهینه از اجزا تشکیل دهنده این صنایع از اهمیت خاصی برخوردار شوند. در واقع اهمیت تخمین عمر باقیمانده زمانی پدیدار می گردد که بخواهیم از یک قطعه بیشتر از عمر طراحی استفاده کنیم.

برخی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه ها در شرایط کاری بحرانی تنش و دمای بالا قرار دارند، از جمله این اجزا، هدر بویلر نیروگاه می باشد که هدر بیشتر در اثر مکانیزم تخریبی خزش و خستگی قرار دارد.

در این تحقیق مکانیزم های خرابی هدر شناسایی شده و بارهای دمایی و فشاری اعمال شده بر یک نمونه هدر یک واحد 325 MW به همراه لیست خروجی های این واحد در یک دوره کاری از تاریخ ۱۳۷۹/۰۵/۰۴ تا ۱۳۸۸/۰۱/۲۵ جمع آوری و بارهای دمایی و فشاری بر روی هدر مدل شده در نرم افزار المان محدود ANSYS اعمال گردیده و سپس آنالیز تنش ۳ بعدی بر هدر مدل شده در ANSYS انجام شد، و مقدار تنش بحرانی ایجاد شده توسط نیروهای مکانیکی محاسبه، و محل اتصال لوله های ورودی به هدر در سطح داخلی هدر، نقاط بحرانی مشاهده شد. در نهایت، اثرات خزش و خستگی در کاهش عمر هدر مقایسه شده، و عمر باقیمانده هدر بویلر محاسبه، بررسی و ارزیابی شده است. و در پایان مقاله عدم کنترل دقیق بر روی نحوه راه اندازی و خاموشی ها و همین طور نحوه بهره برداری (تاثیر بهره برداری با ۵ درجه سانتیگراد افزایش در دمای بخار ورودی به هدر) مقایسه ای صورت گرفته و تاثیر این اثرات بر روی کاهش عمر هدر با حالت نرمال راه اندازی و خاموشی ها مقایسه ای صورت پذیرفته است.

کلمات کلیدی: هدر خروجی سوپرهیتر؛ خزش و خستگی؛ تخمین عمر.

فهرست مطالب

صفحه

۱- فصل اول: مقدمه و مروری بر عملکرد هدر بویلر ۱

۱-۱- تاریخچه و پیشینه تحقیق ۳

۱-۲- موضوع تحقیق و اهداف تحقیق ۶

۱-۳- انواع بویلرها ۷

۱-۳-۱- انواع بویلرها از نظر نحوهٔ تولید بخار ۷

۱-۳-۱-۱- بویلرهای لولهٔ آتش (Fire Tube) ۷

۱-۳-۱-۲- بویلرهای لولهٔ آبی (Water Tube) ۷

۱-۳-۲- انواع بویلرها ازنظر سوخت مصرفی ۸

۱-۳-۲-۱- بویلرهای سوخت اتمی ۸

۱-۳-۲-۲- بویلرهای سوخت فسیلی ۸

۱-۳-۲-۳- انواع بویلر از نظر نحوهٔ جداسازی آب و بخار ۸

۱-۳-۲-۳-۱- بویلرهای بدون درام ۸

۱-۳-۲-۳-۱-۱-بویلرهای با فشار زیر فشار بحرانی (Sub critical) ۹

۱-۳-۲-۳-۱-۲-بویلرهای با فشار بالای فشار بحرانی (Super critical) ۹

۱-۳-۲-۳-۲- بویلرهای درام دار ۹

۱-۴-هدرها ۱۰

۱-۴-۱-هدرهای دما بالا ۱۱

۱-۴-۲-هدرهای دما پایین ۱۱
۱-۵- روش تولید در ساخت هدرها ۱۱
۲- فصل دوم ۱۳
۲-۱ خرابی در هدر ها ۱۴
۲-۲ تاثیر خزش در هدرهای دما بالا ۱۷
۲-۲-۱ درزهای طولی ۱۷
۲-۲-۲ جوش های محیطی ۱۸
۲-۲-۳ جوش های اتصالات انشعابی ۱۸
۲-۲-۴ ترک پیوندی ۲۰
۲-۳ پارامترهای موثر بر ترک بین حفره ها ۲۴
۲-۳-۱ عملکرد بویلر ۲۴
۲-۴ عوامل خرابی و تقسیم بندی خرابی ها در هدرهای دما بالا ۲۸
۲-۴-۱ خرابی های قابل تعمیر هدر ۲۹
۲-۴-۲ خرابی های غیرقابل تعمیر هدر ۳۱
۲-۵ مکانیزم های خرابی درهدرهای دما پایین ۳۲
۳- فصل سوم: پدیده خزش، خستگی و تئوری تخمین عمر باقیمانده ۳۳
۳-۱ پدیده خزش ۳۴
۳-۲ خزش و گسیختگی ناشی از تنش ۴۰
۳-۲-۱ مشکل مواد در دماهای بالا ۴۰
۳-۲-۲ آزمایش گسیختگی ناشی از تنش ۴۰

۳-۲-۳ تغییرات ساختاری حین خزش ۴۱
۳-۳ شکست خزشی ۴۲
۳-۳-۱ جوانه زنی حفره ۴۳
۳-۴ رشد ترک خزشی (Creep-Crack Growth) ۴۵
۳-۵ خستگی ۴۶
۳-۵-۱ منحنی S-N ۴۷
۳-۵-۲ خستگی کم چرخه ۴۷
۳-۵-۳ خستگی حرارتی ۴۷
۳-۶ روش های شمارش چرخه ۴۸
۳-۶-۱ روش جریان باران (Rain Flow) ۴۹
۳-۷ مقدمه ای بر تئوری تخمین عمر باقیمانده ۵۱
۳-۷-۱ مروری بر روش تخمین عمر ۵۲
۳-۷-۲ پیشینه تئوری ۵۴
۳-۷-۲-۱ روش های محاسباتی ۵۴
۳-۷-۲-۲ روش های غیر مخرب ۵۵
۳-۷-۲-۳ روش های مخرب ۵۵
۳-۷-۳ روش های محاسباتی تعیین عمر ۵۵
۳-۷-۳-۱ ارزیابی تعیین خسارت در اجزاء فاقد نقص ۵۶
۳-۷-۳-۱-۲ خستگی با تعداد چرخه کم و زیاد ۵۶

۳-۷-۳-۱-۲ پارامتر های خزش بر حسب زمان و دما ۵۷

۳-۷-۳-۱-۳ متد R5 ..... ۵۹

۳-۷-۳-۱-۴ متد API ۶۰

۳-۷-۳-۲ ارزیابی خرابی در اجزاءهمراه با نقص (شیوه های مبتنی بر مکانیکهای سطح شکسته) ۶۰

۳-۷-۳-۲-۱ نسبت نرخ رشد ترک ناشی از خستگی ۶۱

۳-۷-۳-۲-۲ نرخ رشد شکاف ناشی از خزش ۶۲

۴- فصل چهارم: تحلیل ها؛ بررسی، بحث و ارزیابی نتایج ۶۶

۴-۱ روش بررسی تحلیل در پروژه ۶۷

۴-۱-۱آنالیزحرارتی ۶۸

۴-۱-۲ آنالیز حالت پایدار حرارتی ۶۸

۴-۱-۳ آنالیز گذرای حرارتی ۶۸

۴-۱-۴ آنالیز کوپل حرارتی ۶۸

۴-۱-۵ آنالیز خستگی در ANSYS ۶۹

۴-۲ هندسه هدر، مدل و المان مناسب برای مدل هدر در نرم افزار ۷۱

۴-۳ شرایط بار گذاری بر روی هدر ۷۲

۴-۴ شرایط مرزی ۷۴

۴-۵ خواص مواد ۷۴

۴-۵-۱ ثوابت مربوط به پارمترهای رفتار خزشی در جدول تعیین خواص نرم افزار ANSYS ۷۵

۴-۶ نتایج تحلیل خروجی از نرم افزار ANSYS، بحث و بررسی پیرامون نتایج حاصله ۷۵

۴-۶-۱ آنالیز کوپل،کسر عمر خرابی ها و ارزیابی تخمین عمر هدر با بارگذاری نرمال ۷۵

۴-۶-۲ راه اندازی نیمه سریع و سریع ۸۴

۴-۶-۳ راه اندازی برای حالت افزایش ۵ در جه ای دمای ورودی هدر ۹۲

۴-۷ نتیجه گیری ۹۷

۴-۸ پیشنهادها برای تحقیقات آتی ۹۸

پیوست الف خواص فیزیکی ۹۹

پیوست ب لیست خروجی های یک واحد **325 MW** از ۱۳۷۹/۰۵/۰۴ تا ۱۳۸۸/۰۱/۲۵ ..... ۱۰۳

فهرست منابع و مراجع ۱۰۸

« فهرست جداول »

جدول(۱-۱) آلیاژهای مورد استفاده در ساخت هدرها .....۱۲.....

جدول(۲-۱). مکانیزم تخریب و بازرسی های متداول در بویلر .....۱۵.....

جدول (۲-۲). خرابی های رایج در اجزاء مختلف بویلر .....۱۶.....

جدول (۲-۳). تکنیک های مختلف غیر مخرب قابل استفاده در اجزاء بویلر .....۱۶.....

جدول (۲-۴). نتایج بازرسی ۳۷۶ هدر در رابطه با ترک پیوندی .....۲۴.....

جدول (۲-۵). نتایج بازرسی هدر خروجی .....۲۵.....

جدول (۲-۶) مکانیزم ایجاد خسارت و موقعیت این خسارات در ۶۲ هدر دما بالا .....۳۱.....

جدول(۴-۱). نتایج تحلیل خستگی **ANSYS** برای ۳ راه اندازی سرد، گرم داغ با بارگذاری .....۸۲.....

جدول (۴-۲). نتایج تحلیل خزش. .....۸۲.....

جدول (۴-۳). نتایج تحلیل خستگی **ANSYS** برای ۳ راه اندازی سرد، گرم و داغ، بارگذاری با حالت نیمه سریع .....۸۹.

جدول (۴-۴). نتایج تحلیل خستگی **ANSYS** برای ۳ راه اندازی سرد، گرم و داغ، بارگذاری با حالت سریع. .....۸۹.

جدول(۴-۵). نتایج تحلیل خزش برای ۳ راه اندازی سرد، گرم و داغ، بارگذاری با حالت نیمه سریع. .....۸۹.

جدول(۴-۶). نتایج تحلیل خزش برای ۳ راه اندازی سرد، گرم و داغ، بارگذاری با حالت سریع. .....۹۰.

جدول (۴-۷). نتایج کسر عمر خستگی خروجی از **ANSYS** برای راه اندازی های سرد، گرم و داغ، بارگذاری با افزایش ۵ درجه ای دمای ورودی هدر. .....۹۴.....

جدول(۴-۸). نتایج کسر عمر خزشی برای راه اندازی های سرد، گرم و داغ حالت بارگذاری افزایش ۵ درجه ای دمای ورودی هدر. ۹۵

جدول ب.۱: لیست خروجی های یک واحد **325 MW** از ۱۳۷۹/۰۵/۰۴ تا ۱۳۸۸/۰۱/۲۵ .....۱۰۳.....

« فهرست شکل ها »

شکل(۱-۱). یک نمونه هدر ورودی و خروجی با سوپرهیترهای متصل به آن .....۱۰.....

شکل (۲-۱). نمایش قسمتی از میدان لیگامنت محیطی قایقی شکل از یک هدر که برای تست متالوگرافی برداشته شده. ۱۸

شکل (۲-۲). انواع ترک های اصلی در جوش های انشعابی هدر .....۱۹.....

شکل (۲-۳). یک نمونه ترک پیوندی در هدر دما بالا .....۲۰.....

شکل (۲-۴). ترک طولی در دیواره داخلی .....۲۱.....

شکل (۲-۵) ترک طولی بزرگ در سطح داخلی داخلی .....۲۱.....

شکل (۲-۶) رشد ترک طولی .....۲۱.....

شکل (۲-۷) تحلیل المان محدود برشی از هدر .....۲۲.....

شکل (۲-۸). الگوهای سوپرهیترهای ثانویه الف.شعاعی ب.غیرشعاعی ج:شعاعی/غیرشعاعی .....۲۵.....

شکل (۲-۹). اختلاف دمای میان بخار ورودی از لوله های مختلف سوپرهیتر .....۲۷.....

شکل (۲-۱۰). تغییر دمای پای لوله های سوپرهیتر با بار .....۲۸.....

شکل (۲-۱۱). نقاط مستعد جهت ایجاد ترک .....۲۸.....

شکل (۳-۱). خزش در چهار کلاس از طراحی بسیار مهم .....۳۵.....

شکل (۳-۲). منحنی کرنش برحسب زمان تحت بار ثابت **F** و درجه حرارت ثابت **T** .....۳۷.....

شکل (۳-۳). منحنی های خزشی از طریق تست تک محوری (**uniaxial**) .....۳۸.....

شکل (۳-۴). نمودار تغییرات نرخ خزش بر حسب کرنش .....۴۱.....

شکل (۳-۵) : مکانیزم جوانه زنی مرزدانه ای .....۴۲.....

شکل (۳-۶). الف) حفره زایی در مرزدانه ها ب) مکانیزم هایی که منجر به ترک خوردگی در لبهٔ مرزدانه ها شده ..۴۳.

شکل (۳-۷). سیر تکاملی خرابی در اثر خزش برای قطعات دما بالا و عملیات سرویس دهی مطابق با این روند ۴۴

شکل (۳-۸). نمایش شکل خزشی سطوح در هنگام رشد ترک ۴۶

شکل(۳-۹). مثالی از شمارش چرخه ها به روش جریان باران ۵۰

شکل (۳-۱۰). نمودار جریانی تشخیص خرابی خزش-خستگی ۵۳

شکل (۳-۱۱). حساسیت نرخ خستگی به نرخ کرنش ۵۷

شکل(۳-۱۲). شماتیک یک منحنی **S-N** برای مواد ۵۸

شکل(۳-۱۳). شماتیک یک منحنی گسیختگی تنشی (به سبب خزش) برای مواد ۵۸

شکل (۳-۱۴). نمودار جریانی برای ارزیابی خرابی خزش-خستگی در اجزای بدون نقص. ۶۰

شکل (۳-۱۵). نمودار جریانی برای ارزیابی خرابی خزش-خستگی قطعات همراه با نقص. ۶۲

شکل(۴-۱). الف) نمایش ۳ بعدی مدل ۱/۲ هدر به همراه مش بندی آن با ۳۶۵۸ گره و ۶۴۵ المان؛ ب) نقشه ابعادی هدر به همراه لوله های خروجی از آن ۷۱

شکل (۴-۲). هندسه المان **SOLID226** ۷۲

شکل(۴-۳). دمای برحسب زمان برای راه اندازی های سرد، گرم، داغ یک واحد **325 MW**، ورودی به **ANSYS** ۷۳

شکل(۴-۴). فشار برحسب زمان برای راه اندازی های سرد، گرم، داغ یک واحد **325 MW**، ورودی به **ANSYS** ۷۳

شکل های (۴-۵). شرایط مرزی وارد بر هدر ۷۴

شکل(۴-۶). بار دمایی اعمال شده به مدل هدر در راه اندازی سرد، گرم و داغ در حالت بارگذاری نرمال به عنوان ورودی به **ANSYS** ۷۷

شکل (۴-۷). توزیع تنش معادل وون میسزز نقاط بحرانی برحسب زمان برای راه اندازی سرد، گرم و داغ ۷۷

شکل (۴-۸). کانتور تنش ون میسزز برای دمای ثابت ۵۴۰ درجه سانتیگراد، برای راه اندازی سرد با تنش معادل **64.1 MPa** برای گره های بحرانی مشخص در سطح درونی و داخل سوراخ های خروجی از هدر. ۷۸

شکل (۴-۹). نمای از بیرون هدر ۷۹

شکل(۴-۱۰). ترک طولی بزرگ در سطح داخلی داخلی ۸۰

شکل (۴-۱۱). منحنی لارسون-میلر برای 2.25Cr1Mo ۸۱

شکل (۴-۱۲). سهم خرابی های خزش و خستگی و عمر باقیمانده ۸۳

شکل(۴-۱۳). مقایسه اثر خستگی در راه اندازی های سرد، گرم و داغ برای یک راه اندازی. ۸۳

شکل (۴-۱۴). مقایسه اثر خستگی و خزش در کاهش عمر. ۸۴

شکل(۴-۱۵). توزیع دمای برحسب زمان اعمالی به هدر، ورودی به ANSYS، برای سه حالت بارگذاری نرمال، نیمه سریع و سریع برای راه اندازی سرد. ۸۵

شکل (۴-۱۶). توزیع تنش معادل وون میسزز نقاط بحرانی برحسب زمان برای راه اندازی سرد، در حالت بارگذاری نرمال، نیمه سریع و سریع ۸۵

شکل (۴-۱۷). توزیع تنش معادل وون میسزز نقاط بحرانی برحسب زمان برای راه اندازی گرم، در حالت بارگذاری نرمال، نیمه سریع و سریع ۸۶

شکل (۴-۱۸). توزیع تنش معادل وون میسزز نقاط بحرانی برحسب زمان برای راه اندازی داغ، در حالت بارگذاری نرمال، نیمه سریع و سریع ۸۶

شکل (۴-۱۹). کانتور تنش ون میسزز برای دمای ثابت ۵۴۰ درجه سانتیگراد، برای راه اندازی سرد، ، بارگذاری با حالت نیمه سریع با تنش معادل 64.9 MPa برای گره های بحرانی مشخص در سطح درونی و داخل سوراخ های خروجی از هدر. ۸۷

شکل (۴-۲۰). کانتور تنش ون میسزز برای دمای ثابت ۵۴۰ درجه سانتیگراد، برای راه اندازی سرد، بارگذاری با حالت سریع با تنش معادل 65.6 MPa برای گره ای بحرانی مشخص در سطح درونی و داخل سوراخ های خروجی از هدر. ۸۷ .....

شکل (۴-۲۱). مقایسه نتایج کلی درصد خرابی ها برای بارگذاری های نرمال، نیمه سریع و سریع ۹۱

شکل (۴-۲۲). توزیع تنش های وون میسزز برحسب زمان خروجی از ANSYS، برای راه اندازی سرد بار گذاری

با افزایش دمای ۵ درجه ای ۹۲

شکل (۴-۲۳). توزیع تنش های وون میسزز برحسب زمان خروجی از ANSYS، برای راه اندازی گرم بار گذاری

با افزایش دمای ۵ درجه ای ۹۳

شکل (۴-۲۴). توزیع تنش های وون میسزز برحسب زمان خروجی از ANSYS، برای راه اندازی داغ بار گذاری

با افزایش دمای ۵ درجه ای ۹۳

شکل (۴-۲۵). کانتور تنش معادل وون میسزز در دمای ثابت ۵۴۵ درجه سانتیگراد برای راه اندازی سرد با افزایش دمای ۵ درجه ای دمای ورودی، با تنش معادل 70.8 MPa. ۹۴

شکل(۴-۲۶). مقایسه نتایج خرابی های خزش خستگی برای دو حالت نرمال و افزایش ۵ درجه ای دمای ورودی به هدر در هر ۳ راه اندازی ۹۵

شکل(۴-۲۷). مقایسه نتایج تخمین عمر باقیمانده برای حالات مختلف بارگذاری بررسی شده. ۹۶

شکل الف.۱: دانسیته بر حسب دما ۹۹

شکل الف.۲: ظرفیت گرمای ویژه بر حسب دما ۱۰۰

شکل الف.۳: مدول الاستیسیته بر حسب دما ۱۰۰

شکل الف.۴: نسبت پواسون بر حسب دما ۱۰۱

شکل الف.۵: ضریب انبساط حرارتی بر حسب دما ۱۰۱

شکل الف.۶: رسانایی گرمایی بر حسب دما ۱۰۲

فصل اول

مقدمه و مروری بر عملکرد هدر بویلر

مقدمه و مروری بر عملکرد هدر بویلر

مقدمه

روش های ارزیابی عمر باقیمانده برای قطعاتی که در مواقع خرابی آنها منجر به خاموشی واحدها (نیروگاه، کارخانه و ...) برای زمان طولانی می شوند، بسیار مفید است. در واحدها، برخی قطعات غیر حساس وجود دارد که در صورت خسارت حین کار می توان آنها را تعمیر کرد و واحد تا نوبت بعدی خاموشی به کار خود ادامه دهد. اما برخی تجهیزات حساس و حیاتی مثل پره های توربین، مخازن تحت فشار بویلر ها و غیره در صورت خسارت به کل مجموعه آسیب رسانده و عملکرد واحد را تحت تاثیر قرار می دهند.

دانستن این مطلب در مورد تخمین عمر مفید یک قطعه برای جلوگیری از تخریب قطعه حین کار و طراحی زمان های جایگزین برای قطعه مورد نظر امری ضروری است. همچنین می توان یک فاصله زمانی دقیق برای بازرسی، تعمیر و افزایش عمر قطعه مورد نظر بدست آورد. تا به این ترتیب هزینه های قطعات مصرفی را کاهش داد.

عمر مفید برای یک قطعه را به صورت زیر می توان تعریف کرد:

عمر باقیمانده پس از پایان عمر طراحی + عمر طراحی = عمر مفید

در واقع تخمین عمر باقیمانده زمانی مطرح می شود که بخواهیم از یک قطعه بیشتر از عمر طراحی آن استفاده کنیم [۱،۲].

البته گاهی به دلیل شرایط خاص بهره برداری ممکن است عمرمفید از عمر طراحی کمتر باشد.

اغلب در مورد قطعه ای که عمر طراحی آن مورد ارزیابی و تخمین قرار گرفته، بسته به نتایج حاصل از بازرسی آن یکی از کارهای زیر انتخاب می شود:

۱ - واحد (نیروگاه، کارخانه و ...) به کار خود ادامه می دهد و قطعه می تواند در سرویس بماند.
۲ - واحد به کار خود ادامه می دهد ولی بازرسی در یک دوره معین تکرار شود.
۳ - قطعه نیاز به تعمیر دارد و پس از تعمیر قابل استفاده است.
۴ - قطعه باید سریع تعمیر اساسی یا تعویض شود [۳،۴].

برای ارزیابی عمر باقیمانده قطعات در حالت کلی شناخت و ارزیابی های زیر صورت می گیرد

- **بررسی ماده:** شناسایی جنس، بررسی خواص ماده اولیه، شناخت تکنولوژی ساخت قطعه و عملیات تکمیلی احتمالی و بررسی خواص قطعه پس از ساخت.
- **شناسایی شرایط بهره برداری، عوامل موثر بر عمر آن:** شامل زمان و چرخه های کاری، شرایط کاری و تغییرات آن در حین بهره برداری، سابقه تعمیرات و بهره برداری ....
- **آزمایشات ابعادی و غیر مخرب:** اندازه گیری ابعادی قطعه (در قطعاتی همچون پره توربین گازی)، آشکار سازی ترک های سطحی، بررسی حفره دار شدن، سایش، خوردگی یا خسارت ناشی از برخورد شی خارجی، شناسایی رسوبات پسماند، آزمایشات وزن.
- **ارزیابی تحلیلی:** شامل مشخص کردن تنش و دمای واقعی کاری است. برای این کار می توان از تحلیل المان محدود و روشهای بر پایه مکانیک شکست و توابع تنش کمک گرفت.
- **آزمایشات مخرب مواد:** آنالیز ماده، آزمایش متالو گرافی، آزمایشات مکانیکی (سختی، کشش، ....)، تحلیل تنش و در صورت نیاز تست های خزش و خستگی.
- **تحلیل عمر:** شامل تحلیل عمر کلی قطعه، ارزیابی عمر باقیمانده قطعات مستعمل و مدل سازی و برنامه ریزی کامپیوتری [۲،۵].

در نهایت پس از بررسی نتایج بدست آمده یکی از چهار تصمیم فوق الذکر اتخاذ می شود تا از وارد شدن آسیب جدی به واحد جلوگیری شود.

۱-۱- تاریخچه و پیشینه تحقیق

بحث عمر باقیمانده تجهیزات نیروگاهی به عنوان یک موضوع محوری در برنامه ریزی کلان کشوری های صنعتی به دلیل جنبه های اقتصادی و اجتماعی آن مطرح می باشد و محققین و دانشمندان بسیاری از کشور های مختلف جهان در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی مشغول فعالیت در این زمینه می باشند و حساسیت و پیچیدگی آن به قدری است که به عنوان یک تکنولوژی و با نام برآورد عمر باقیمانده نام می برند.

نخستین بار در سال ۱۹۰۰ میلادی کمیته سلطنتی لندن (Royal commission) با تحقیق پیرامون موضوع افت استحکام فولادهای ریل های مورد استفاده در راه آهن اهمیت تخمین عمر مفید قطعات را مد نظر قرار داد. امروزه در کشور های صنعتی بویژه آمریکا، انگلیس، کانادا، آلمان، ایتالیا تکنولوژی ارزیابی عمر باقیمانده از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد که این موضوع بخوبی در کنفرانس های متعدد بر پا شده از سوی این کشور ها نمود پیدا کرده است.

در این راستا، تحقیقات صورت گرفته برای این منظور بدین ترتیب می باشد:

ولر (Wohler) تحقیقات سیستماتیک شکست خستگی را در طول دوره ۱۸۶۹-۱۸۵۲ در برلین هدایت کرد. کار او منجر به مشخص شدن رفتار خستگی در مدت عمر برحسب دامنه تنش یعنی منحنی (S-N) شد، که بسیاری از پیش بینی ها ی عمر خستگی امروزه بر اساس آن انجام می شود [۳۳].

منسون (Manson) و رابرت (Robert) (۱۹۸۱) روشی را به منظور تعیین عمر خستگی حرارتی یک دیسک دوار که در معرض بارگذاری حرارتی قرار داشت را ارائه نمودند . شرایط بارگذاری را بسیار شبیه به آزمایش های صورت گرفته بر روی دیسک های موجود در موتورهای جت در نظر گرفتند. دامنه تغییرات کرنش بر اساس سیکل های بارگذاری حرارتی و مکانیکی محاسبه شده بودند و یک عمر خستگی را بر این اساس پیش بینی کردند [۳۴].

درسال ۱۹۸۲ شرکت Babcock & Wilox (B&W) اولین بررسی بر روی هدرهای خروجی سوپرهیتر را به خاطر ترکی که در دهانه های تعدادی از هدرهای مشتریانش مشاهده کرده بود آغاز کرد. بررسی ها برای تعیین علت اصلی مشکلات این هدر ها آغاز شدند. تعدادی برنامه از طرف موسسه تحقیقاتی (EPRI) برای معین کردن دلایل آسیب هدر، روش های بررسی و تکنیک های تحلیل که می توانست در ارزیابی و نگهداری از بویلرهای کمک کند، ارائه شد [۸].

در سال ۱۹۸۵، ورتمن (Wortman)، لایندبلوم (Lindblom)، تیپلر (Tipler)، استونس (Stevens)، فلوایت (flewitt) به ترتیب با مطالعه حفره های خزشی روی نمونه های کارکرده از جنس Nimonic، Nimonic 108، INC738، 100ZN738LC مبادرت به پیشگویی عمر قطعات مورد نظر کردند. تکنیک بکار برده شده توسط این محققان عبارت بوده از مقایسه درجه حفره خزشی در نمونه کارکرده با یک کاتالوگ مرجعی که از یک نمونه کار نکرده توسط یکسری داده های آزمایشگاهی بدست آمده است [۳۵].

در سال ۱۹۸۶، کاستیلو (Castilo)، کول (Koul) و توسکانو (Toscano) با استفاده از نرخ کرنش مرحله دوم ($\varepsilon^{\bullet}_{s}$) به تخمین عمر گسیختگی پره های از جنس IN738LC پرداختند. همچنین در سال ۱۹۸۸، کاستیمو و کول با مطالعه روی خسارتهای ریز ساختاری روی پره های توربین از جنس IN738LC و انجام یکسری آزمایشات تنش گسیختکی، به تخمین عمر پره توربین ها پرداختند . همچنین در این زمینه شرکت های بزرگی مانند BABCOCK ALSTHOM، ANSALDO,ABB فعالیت های وسیعی انجام داده و تجارت فراوانی کسب کرده اند [۳۶].

گیون (Givens) (۱۹۹۶) یک روش برای آنالیز تنش و کرنش مخازن تحت فشار و پوسته استوانه ای چند لایه ارائه داد. او برای ارائه این روش برای نخستین بار برای مدل المان محدود از برنامه کامپیوتری آنالیز المان محدود ANSYS استفاده کرد. که سپس نتایج تنش و کرنش را برای مخزن در معرض فشار داخلی و پوسته استوانه در معرض فشار داخلی و بار محوری، را استخراج کرد. که نتایج حاصل ۵۰٪ با نتایج آزمایش شده خطا داشت [۳۷].

میروشنیک و همکارانش (۱۹۹۷) اقدام به تخمین عمر باقیمانده لوله های بخار آب با استفاده از استاندارد TRD آلمان نمودند و در مقایسه با نتایج حاصل از المان محدود به خطای ۲۲.۴٪ رسیدند [۳۸].

کینگ (۱۹۹۹)، کارشناس ارشد شرکت Babcock، به بررسی مشکلات و عوامل خرابی هدرها و لوله های یک نمونه بویلر از مشتریان شرکت پس از ۱۵ سال خرید از شرکت پرداخت. او در این تحقیق با توسط تست های متالورژیکی به مطالعه بر روی اجزاء ذکر شده پرداخت و در آخر مشکلات موجود را لیست کرد و برای قطعات عمر باقیمانده و زمان بندی منظمی برای بازرسی ها پیش بینی و پیشنهاد کرد.

وانگ (Wang) (۲۰۰۰) از روش المان محدود برای تخمین عمر قالب ها بکار رفته در ریخته گری استفاده کرد ، در آن تحلیل تعداد سیکل حرارتی قبل از بپایان رسیدن عمر سطح قالب شکسته شد. وانگ همچنین برهمکنش میان فرآیندهای مکانیکی و حرارتی را بوسیله آنالیز کوپل تنش و حرارت را بررسی کرد [۳۹].

کوون (Kwon) (۲۰۰۶) با اندازه گیری ترک موجود در دهانه یک هدر در یک زمان ثبت شده و مشخص، هدر با ترک موجود را در نرم افزار المان محدود ABAQUS مدل کرده و سایز ترک بحرانی ناشی از خستگی و خزش که منجر به شکست قطعه می شود را یافته و از این طریق عمر باقیمانده برای هدر موجود را تخمین زد [۴۰].

هدف از تخمین عمر باقیمانده حداکثر استفاده ممکن از عمر مفید می باشد. تخمین عمر باقیمانده یک قطعه زمانیکه ماکزیمم بار (با در نظر گرفتن همه شرایط خارجی ممکن) کوچکتر از مینیمم استحکام آن (با در نظر گرفتن متغیرهای وابسته به جنس) باشد، بی معنی است، چرا که در چنین شرایطی عمر طراحی می تواند نامحدود باشد ولی در صورتیکه عاملی مثل خزش می تواند باعث گردد که این نامساوی برقرار نشود و احتمال واماندگی قطعه وجود دارد و عمر آن نیز محدود می شود. اغلب طراحان با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان مناسب، قطعات مورد نظرشان را طراحی می کنند که غالباً این عامل ایمنی، حاشیه امن مناسبی را برای انواع واماندگی ها نمی تواند تامین کند. از طرفی عواملی از قبیل طراحی یا ساخت ضعیف و یا شرایط بهره برداری نامطلوب می تواند باعث شود که عمر تجهیزات کمتر از عمر طراحی آن باشد. یعنی حتی قبل از رسیدن به عمر طراحی نیز نیاز به ارزیابی عمر قطعات حساس وجود دارد که در نیروگاه ها می توان فعالیت های اجرائی مورد نیاز برای این کار را در فاصله زمانی تعمیرات اساسی یا دوره ای برنامه ریزی کرد و از این طریق خسارت های ناشی از مشکلات ذکر شده را به میزان قابل توجهی کاهش داد. اما غالباً اهمیت تخمین عمر باقیمانده زمانی پدیدار می گردد که سعی شود از تاسیسات بیشتر از عمر طراحی شان استفاده شود، این مطلب در مورد تجهیزات دما بالا از اهمیت بسزایی برخودار است.

مسائل اقتصادی، طولانی بودن زمان ساخت نیروگاه های جدید و مباحث زیست محیطی از جمله دلایل توجه به ارزیابی عمر باقیمانده تجهیزات نیرو گاهی می باشد. بنابراین هدف از افزایش عمر قطعه، اطمینان از عملکرد بالاتر از عمر مفید برای جلوگیری از خرابی نابهنگام قطعه زودتر از عمر مفید است. بر این اساس است که معمولاً عمر کارکرد عملی می تواند اغلب بیش از عمر طراحی باشد.