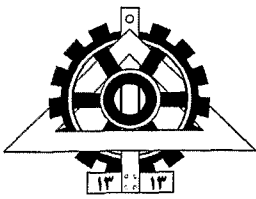


٦٧١٢٦



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده های فنی  
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

عنوان پایان نامه

بررسی تخریب ناشی از خوردگی و ترک در پره توربین و  
کمپرسور گاز از نوع سوپر آلیاژ پایه نیکل

نگارش

پوریا ذاکر صفایی

استاد راهنما

دکتر محسن صارمی

استاد مشاور

دکتر حسن فرهنگی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در  
رشته مهندسی متالورژی و مواد گرایش خوردگی و حفاظت از مواد



بهمن ماه ۱۳۸۶

۱۳۸۷ / ۳ / ۱۱

۹۳۸۲۶



## تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب پوریا ذاکر صفایی تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی این جانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: پوریا ذاکر صفایی  
امضاء دانشجو:

تقدیم به همسر م کہ هموارہ یار و یاور من بودہ است.

## چکیده

تخریب پره ها و اجزا دوار توربین و کمپرسور گازی با توجه به اهمیت بالای این تجهیزات در فرایند انتقال گاز خسارت های زیادی را به مجموعه وارد می نماید. با توجه به دمای بسیار زیاد و حضور نمک مذاب در توربین و سرعت بالای چرخش و حضور ذرات جامد در سیال ورودی به کمپرسور، وقوع اکسیداسیون و خوردگی داغ در توربین و سایش فرسایشی در کمپرسور از دلایل مهم تخریب آنها به حساب می آید. در این پژوهش رفتار اکسیداسیون پره توربین از جنس IN738-LC به روش کوره ای و رفتار خوردگی داغ آن به دو روش کوره ای و الکتروشیمیایی بررسی شد. همچنین برای افزایش مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی داغ، پوشش های نفوذی آلومینایدی و کروم آلومینایدی بر روی نمونه هایی از پره توربین گازی اعمال گردید و بررسی رفتار اکسیداسیون و خوردگی داغ آنها به دو روش کوره ای و الکتروشیمیایی انجام شد. یک قطعه تخریب شده از ایمپلر کمپرسور مورد بررسی های ترکیب شیمیایی، پراش اشعه ایکس، متالوگرافی و سختی سنجی قرار گرفت و علت تخریب آن سایش و ضعف ساختار متالورژیکی مطرح گردید. استفاده از روش الکتروشیمیایی به همراه بررسی نتایج میکروسکوپ نوری و الکترونی و نیز تغییرات وزنی نمونه طی آزمایش کوره ای نشان دهنده مقاومت خوب پوشش کروم آلومینایدی در شرایط اکسیداسیون و خوردگی داغ بود.

**کلمات کلیدی:** توربین گازی، کمپرسور گازی، خوردگی داغ، روش الکتروشیمیایی، روش کاهش وزن، سایش.

برخود لازم می دانم از زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر صارمی که همواره در تمامی مراحل انجام پروژه از مساعدتها و راهنمایی هایی ایشان استفاده نموده ام، سپاسگزاری نمایم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرهنگی که مسئولیت مشاوره این پروژه را بر عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

## فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

مقدمه

۲

۱ مقدمه

### مروری بر منابع مطالعاتی

۶

۱-۲-۱- آشنایی با توربین و کمپرسور گازی

۶

۱-۱-۲- توربین گازی

۷

۱-۱-۱-۲- آلیاژهای مورد استفاده در توربین

۱۱

۲-۱-۱-۲- پره توربین گازی

۱۲

۲-۱-۲- کمپرسور گازی

۱۴

۱-۲-۱-۲- ایمپلر کمپرسور گازی

۱۶

۲-۲- تخریب پره توربین و ایمپلر کمپرسور گازی

۱۶

۱-۲-۲- تخریب پره توربین گازی

۲۷

۱-۱-۲-۲- تعریف خوردگی داغ

۲۹

۲-۱-۲-۲- مکانیزم خوردگی داغ

۳۰

۳-۱-۲-۲- روشهای جلوگیری از خوردگی داغ

۳۷

۴-۱-۲-۲- روشهای بررسی اکسیداسیون و خوردگی داغ

۳۹

۲-۲-۲- تخریب ایمپلر کمپرسور گازی

۴۰

۱-۲-۲-۲- سایش

۴۵

۲-۲-۲-۲- فیلتراسیون سیال ورودی به کمپرسور

### مراحل تحقیق و انجام آزمایش

۴۹

۱-۳- نمونه های آزمایش

۴۹

۱-۱-۳- نمونه های پره توربین گازی

۵۰	۲-۱-۳- نمونه های ایمپلر کمپرسور گازی
۵۰	۳-۱-۳- نمونه های پوشش دار
۵۱	۲-۳- بررسی نمونه های پره توربین و ایمپلر کمپرسور گازی
۵۱	۱-۲-۳- توربین گازی
۵۲	۱-۱-۲-۳- بررسی رفتار اکسیداسیون نمونه ها
۵۲	۲-۱-۲-۳- بررسی رفتار خوردگی داغ نمونه ها
۵۵	۳-۱-۲-۳- بررسی با میکروسکوپ نوری
۵۵	۴-۱-۲-۳- بررسی با میکروسکوپ SEM
۵۶	۲-۲-۳- کمپرسور گازی
۵۶	۱-۲-۲-۳- کوانتومتری
۵۶	۲-۲-۲-۳- آنالیز XRD
۵۶	۳-۲-۲-۳- سختی سنجی
۵۶	۴-۲-۲-۳- بررسی با میکروسکوپ نوری
۵۷	۵-۲-۲-۳- بررسی با میکروسکوپ SEM

بحث و نتایج

۵۹	۱-۴- توربین گازی
۵۹	۱-۱-۴- تخریب پره توربین گازی
۵۹	۲-۱-۴- بررسی نمونه ها قبل از آرمایش خوردگی داغ و اکسیداسیون
۵۹	۱-۲-۱-۴- بررسی نمونه IN738-LC
۶۰	۲-۲-۱-۴- پوشش آلومینایدی ساده
۶۳	۳-۲-۱-۴- پوشش کروم آلومیناید
۶۵	۳-۱-۴- بررسی اکسیداسیون



عنوان

شماره صفحه

- ۶۵ ۱-۳-۱-۴- اکسیداسیون IN738-LC بدون پوشش
- ۶۸ ۱-۳-۲-۴- اکسیداسیون نمونه با پوشش آلومیناید ساده
- ۶۹ ۱-۳-۳-۴- اکسیواسیون نمونه با پوشش کروم آلومیناید
- ۷۱ ۴-۱-۴- بررسی خوردگی داغ نمونه ها به روش کوره ای
- ۷۱ ۱-۴-۱-۴- خوردگی داغ نمونه IN738- LC بدون پوشش
- ۷۶ ۱-۴-۲-۴- خوردگی داغ پوشش آلومینایدی ساده
- ۸۰ ۱-۴-۳-۴- خوردگی داغ پوشش کروم آلومیناید
- ۸۴ ۴-۱-۵- بررسی خوردگی داغ به روش الکتروشیمیایی
- ۸۴ ۱-۴-۱-۵- نمونه IN738-LC بدون پوشش
- ۸۷ ۱-۴-۲-۵- بررسی خوردگی داغ پوشش آلومینایدی ساده
- ۸۹ ۱-۴-۳-۵- بررسی خوردگی داغ پوشش کروم آلومیناید
- ۹۰ ۴-۱-۶- مقایسه رفتار اکسیداسیون نمونه ها
- ۹۱ ۴-۱-۷- مقایسه رفتار خوردگی داغ نمونه ها به روش کوره ای
- ۹۲ ۴-۱-۸- مقایسه رفتار خوردگی داغ نمونه ها به روش الکتروشیمیایی
- ۹۴ ۴-۲- کمپرسور گازی
- ۹۴ ۴-۱-۲- تخریب ایمپلر کمپرسور گازی
- ۹۷ ۴-۲-۲- بررسی جنس ایمپلر
- ۹۸ ۴-۲-۳- بررسی ساختار ایمپلر تخریب شده
- ۹۸ ۴-۲-۱-۳- بررسی ساختار توسط XRD
- ۹۹ ۴-۲-۳-۲- بررسی ساختار توسط میکروسکوپ الکترونی
- ۱۰۴ ۴-۲-۴- بررسی سختی ایمپلر کمپرسور گازی
- ۱۰۴ ۴-۲-۵- بررسی سطح شکست ایمپلر

شماره صفحه

عنوان

۱۰۹

۴-۲-۶- بررسی ذرات ساینده ایمپلر

۱۱۱

۴-۲-۶-۱- آنالیز XRD بر روی ذرات ساینده

۱۱۲

۴-۲-۷- جمع بندی دلایل تخریب ایمپلر کمپرسور گاز

نتیجه گیری

۱۱۶

۵-۱- نتیجه گیری

۱۱۷

۵-۲- پیشنهادات

۱۱۹

منابع و مراجع

## فهرست جداول

۸	جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی برخی سوپرآلیاژهای کاربردی در توربین
۱۹	جدول ۲-۲- انواع ذرات موجود در هوا
۴۰	جدول ۳-۲- دلایل شکست برخی ایمپلر ها و راههای حذف آن
۵۱	جدول ۱-۳- ترکیب و درصد پودر مورد نیاز برای پوشش دهی
۵۵	جدول ۲-۳- ترکیب شیمیایی محلول اچ ماربل
۵۷	جدول ۳-۳- ترکیب شیمیایی محلول اچ پیکرال
۶۰	جدول ۱-۴- آنالیز شیمیایی IN738-LC.
۹۷	جدول ۲-۴- ترکیب شیمیایی استاندارد فولاد ۹-۱۴CrMoV
۹۷	جدول ۳-۴- ترکیب شیمیایی ایمپلر کمپرسور گازی
۱۰۴	جدول ۴-۴- سختی نمونه های مختلف از ایمپار تخریب شده

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- شماتیکی از یک توربین گازی ۶
- شکل ۲-۲- پروفیل‌های مختلف در توربین گازی ۸
- شکل ۳-۲- تغییرات عناصر آلیاژی آلیاژهای پایه نیکل طی سالهای مختلف ۹
- شکل ۴-۲- میکرو ساختار سوپر آلیاژ پایه نیکل ۱۰
- شکل ۵-۲- پره های توربین گازی با ابعاد گوناگون ۱۱
- شکل ۶-۲- شماتیکی از انواع کمپرسور ۱۳
- شکل ۷-۲- ساده ترین شکل ایمپلر با پره شعاعی مستقیم ۱۴
- شکل ۸-۲- سطح مقطع یک ایمپلر ۱۵
- شکل ۹-۲- ایمپلر باز و ایمپلر بسته در یک کمپرسور گریز از مرکز ۱۵
- شکل ۱۰-۲- آسیب پره کمپرسور توربین گازی در اثر ذرات خارجی و برخورد آنها با لبه پره ۱۷
- شکل ۱۱-۲- آسیب پره کمپرسور در اثر خزش ۱۹
- شکل ۱۲-۲- آسیب پره توربین در اثر خستگی ۲۱
- شکل ۱۳-۲- شماتیک منحنی آرینیوسی اکسیداسیون آلیاژهای شامل  $Cr + Al$ ،  $Al$ ،  $Cr$  ۲۲
- شکل ۱۴-۲- نمونه سمت چپ نمونه بدون پوششش، نمونه سمت راست نمونه با پوشش ۳۲
- شکل ۱۵-۲- شماتیک تغییرات دما نسبت به فاصله در یک پره توربین گازی با پوشش TBC ۳۶
- شکل ۱۶-۲- نیروهای تاثیر گذار بر روی ذره در تماس با سطح جامد ۴۱
- شکل ۱۷-۲- زاویه برخورد ذرات به سطح ۴۲
- شکل ۱۸-۲- مکانیزمهای مختلف سایش ۴۲
- شکل ۱۹-۲- تاثیر زاویه حمله بر سرعت سایش مواد ترد و نرم ۴۳
- شکل ۲۰-۲- نرخ سایش بر حسب اندازه ذرات ساینده در گاز ۴۶
- شکل ۱-۳- نمایی از نمونه های مورد آزمایش ۴۹

- شکل ۳-۲- نحوه تهیه نمونه از ایمپلر کمپرسور گاز ۵۰
- شکل ۳-۳- منحنی سیکل آزمایش اکسیداسیون ۵۲
- شکل ۳-۴- منحنی آزمایش بررسی خوردگی داغ ۵۳
- شکل ۳-۵- نمایی از پیل الکتروشیمیایی مورد استفاده در آزمایشهای خوردگی داغ ۵۴
- شکل ۴-۱- پره توربین گازی تخریب شده ۵۹
- شکل ۴-۳- تصویر میکروسکوپ نوری از پوشش آلومینایدی ساده ۶۱
- شکل ۴-۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش آلومیناید ساده ۶۱
- شکل ۴-۴- تصویر آنالیز نقطه ای عنصری پوشش آلومینایدی ساده ۶۱
- شکل ۴-۵- نمودار فازی Ni - Al ۶۲
- شکل ۴-۶- تصویر آنالیز نقطه ای عنصری منطقه نفوذی در پوشش آلومینایدی ساده ۶۳
- شکل ۴-۷- تصویر میکروسکوپ نوری از پوشش کروم آلومیناید ۶۴
- شکل ۴-۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش کروم آلومیناید. ۶۴
- شکل ۴-۹- تصویر آنالیز نقطه ای عنصری در پوشش کروم آلومیناید ۶۴
- شکل ۴-۱۰- تصویر آنالیز نقطه ای عنصری در منطقه نفوذی پوشش کروم آلومیناید ۶۵
- شکل ۴-۱۱- منحنی تغییرات وزن- زمان نمونه بدون پوشش در طی ۷۲۰ ساعت آزمایش اکسیداسیون ۶۶
- شکل ۴-۱۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه بدون پوشش بعد از ۱۰۰ ساعت اکسیداسیون سیکلی ۶۷
- شکل ۴-۱۳- میکروسکوپ نوری نمونه بدون پوشش بعد از ۴۰۰ ساعت اکسیداسیون سیکل با بزرگنمایی ۲۰۰ ۶۷
- شکل ۴-۱۴- منحنی تغییرات وزن- زمان نمونه با پوشش آلومینایدی ساده در طی آزمایش اکسیداسیون ۶۹
- شکل ۴-۱۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش آلومینایدی ساده بعد از ۶۰۰ ساعت اکسیداسیون. ۶۹
- شکل ۴-۱۶- منحنی تغییرات وزن- زمان نمونه با پوشش کروم آلومیناید در طی آزمایش اکسیداسیون ۷۰
- شکل ۴-۱۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش کروم آلومیناید بعد از ۵۰۰ ساعت اکسیداسیون ۷۰
- شکل ۴-۱۸- منحنی تغییرات وزن نمونه بدون پوشش با زمان در آزمایش خوردگی داغ ۷۲

- شکل ۴-۱۹- تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه بدون پوشش را بعد از ۴۸۰ ساعت خوردگی داغ ۷۲
- شکل ۴-۲۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه بدون پوشش را بعد از ۴۸۰ ساعت خوردگی داغ ۷۳
- شکل ۴-۲۱- آنالیز نقطه ای عنصری در منطقه پایینی جبهه خوردگی ۷۴
- شکل ۴-۲۲- آنالیز خطی عنصری نمونه بدون پوشش پس از ۱۲۰ ساعت خوردگی داغ ۷۵
- شکل ۴-۲۳- آنالیز خطی عنصری نمونه بدون پوشش بعد از ۱۷۶ ساعت خوردگی داغ ۷۵
- شکل ۴-۲۴- نمودار تغییرات وزنی پوشش آلومینایدی ساده در آزمایش خوردگی داغ ۷۶
- شکل ۴-۲۵- تصویر میکروسکوپ نوری پوشش آلومینایدی ساده را بعد از ۴۰۰ ساعت خوردگی ۷۷
- شکل ۴-۲۶- آنالیز خطی عنصری نمونه با پوشش آلومینایدی ساده بعد از ۴۵۰ ساعت آزمایش خوردگی داغ ۷۸
- شکل ۴-۲۷- آنالیز نقطه ای عنصری پوشش آلومینایدی ساده بعد از ساعت آزمایش خوردگی داغ ۷۹
- شکل ۴-۲۸- آنالیز خطی عنصری نمونه با پوشش آلومینایدی ساده بعد از ۶۵۰ ساعت آزمایش خوردگی داغ ۸۰
- شکل ۴-۲۹- تغییرات وزن نمونه با پوشش کروم آلومیناید در آزمایش خوردگی داغ ۸۱
- شکل ۴-۳۰- تصویر میکروسکوپ نوری پوشش کروم آلومیناید بعد از ۵۰۰ خوردگی داغ ۸۲
- شکل ۴-۳۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به خوردگی داغ پوشش کروم آلومیناید بعد از ۵۰۰ ساعت ۸۲
- شکل ۴-۳۲- آنالیز خطی عنصری بعد از ۴۰۰ ساعت خوردگی داغ ۸۳
- شکل ۴-۳۳- آنالیز عنصری پوشش کروم آلومیناید بعد از ۵۰۰ ساعت خوردگی داغ ۸۳
- شکل ۴-۳۴- آنالیز خطی عنصری پوشش کروم آلومیناید بعد از ۶۴۰ ساعت خوردگی داغ ۸۴
- شکل ۴-۳۵- منحنی پلاریزاسیون آندی نمونه بدون پوشش ۸۶
- شکل ۴-۳۶- آنالیز خطی عنصری نمونه اینکونل بدون پوشش بعد از خوردگی داغ به روش الکتروشیمیایی ۸۶
- شکل ۴-۳۷- منحنی پلاریزاسیون آندی نمونه با پوشش آلومینایدی ساده. ۸۸
- شکل ۴-۳۸- آنالیز خطی عنصری پوشش آلومینایدی ساده بعد از آزمایش الکتروشیمیایی ۸۸
- شکل ۴-۳۹- منحنی پلاریزاسیون آندی نمونه با پوشش کروم آلومیناید ۸۹
- شکل ۴-۴۰- آنالیز خطی عنصری پوشش کروم آلومیناید بعد از آزمایش الکتروشیمیایی ۹۰

- شکل ۴-۴۱- منحنی تغییرات وزن- زمان نمونه ها در طی آزمایش اکسیداسیون ۹۱
- شکل ۴-۴۲- منحنی تغییرات وزن- زمان نمونه ها در طی آزمایش خوردگی داغ ۹۲
- شکل ۴-۴۳- منحنی پلاریزاسیون آندی نمونه بدون پوشش و پوشش دار ۹۳
- شکل ۴-۴۴- روتور کمپرسور گازی تخریب شده ۹۴
- شکل ۴-۴۵- شماتیکی از قسمتهای مختلف روتور ۹۵
- شکل ۴-۴۶- ایمپلر تخریب شده کمپرسور گازی بعد از ۴۰۰۰ ساعت کارکرد ۹۶
- شکل ۴-۴۷- شماتیکی از ایمپلر تخریب شده و قسمتهای مختلف آن. ۹۶
- شکل ۴-۴۸- ترک ایجاد شده بر روی دیسک اصلی ایمپلر ۹۷
- شکل ۴-۴۹- الگوی پراش اشعه X بر روی ایمپلر کمپرسور گازی ۹۸
- شکل ۴-۵۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی ایمپلر سمت چپ نمونه اچ شده- سمت راست نمونه اچ نشده ۹۹
- شکل ۴-۵۱- آنالیز نقطه ای عنصری ایمپلر در قسمتهای مختلف ۱۰۰
- شکل ۴-۵۲- توزیع ناپیوستگی ها در قطعه ایمپلر کمپرسور گازی ۱۰۰
- شکل ۴-۵۳- تصویر میکروسکوپی الکترون برگشتی ناپیوستگیها ۱۰۱
- شکل ۴-۵۴- آنالیز نقطه ای عنصری در منطقه مشخص شده ۱۰۱
- شکل ۴-۵۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی برگشتی و ثانویه ناپیوستگیهای موجود در ایمپلر ۱۰۲
- شکل ۴-۵۶- آنالیز نقطه ای عنصری در منطقه مشخص شده ۱۰۲
- شکل ۴-۵۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ناخالصی موجود در ایمپلر ۱۰۳
- شکل ۴-۵۸- آنالیز نقطه ای عنصری ناخالصی موجود در ایمپلر ۱۰۳
- شکل ۴-۵۹- سطح تخریب شده ایمپلر کمپرسور گازی ۱۰۵
- شکل ۴-۶۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح تخریب شده ۱۰۵
- شکل ۴-۶۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ردهای سایش ۱۰۶
- شکل ۴-۶۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ایجاد ترک در کنار آخال ها و تخلخل ها ۱۰۶

- شکل ۴-۶۳- برداشت مواد در اثر سایش در ایمپلر کمپرسور ۱۰۹
- شکل ۴-۶۴- ذرات جامد موجود در فیلتر کمپرسور گازی ۱۱۰
- شکل ۴-۶۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات جامد موجود در سیستم فیلتراسیون ۱۱۰
- شکل ۴-۶۶- الگوی پراش اشعه ایکس ذرات جامد موجود در سیستم فیلتراسیون ۱۱۱
- شکل ۴-۶۷- نحوه قرار گیری ذرات در چرخش ایمپلر ۱۱۲
- شکل ۴-۶۸- تشکیل ترک در جبهه جلوی پیشرفت تخریب ۱۱۳
- شکل ۴-۶۹- سطح شکست ایمپلر کمپرسور ۱۱۴



## مقدمه

امروزه توربین و کمپرسورهای گازی به دلیل راندمان بالا در تولید بطور گسترده ای در صنایع مختلف به کار برده می شوند که از جمله آنها می توان به فرایند انتقال گاز در خطوط لوله اشاره کرد. بر روی خطوط لوله، به منظور تامین فشار مورد نیاز برای انتقال گاز ایستگاههای تقویت فشار وجود دارند. در این ایستگاهها کمپرسور به عنوان تولید کننده فشار در خطوط لوله و توربین به عنوان تولید کننده نیروی لازم برای کمپرسور مهمترین بخش ایستگاه می باشند که از کارافتادگی هر یک از آنها صدمات زیادی را بر سیستم وارد می کنند. و در نتیجه در بررسی های علت توقف انتقال گاز هر دو سیستم توربین و کمپرسور مورد بررسی قرار می گیرند. کمپرسورهای مختلفی در ایستگاهها استفاده می شوند که کمپرسورهای گریز از مرکز از مرسوم ترین کمپرسورهای تقویت فشار می باشند. هم در توربین و هم در کمپرسور گازی پره ها و قسمت‌های دوار از اجزا بسیار مهم هستند که نسبت به اجزای دیگر بار زیادی را تحمل می کنند و زمانی که با سرعت بسیار بالا می چرخند نیروی گریز از مرکز موجب ایجاد تنشهای زیاد در مواد می شود در نتیجه انتخاب مواد با عملکرد مناسب برای این اجزا اهمیت بسیار بالایی دارد.

علاوه بر تنشهای مکانیکی پره های توربین گازی و همچنین اجزا کمپرسورها در طول عملیات دچار آسیب های مختلفی می شوند که سبب کوتاه شدن عمر مفید این اجزا می شوند. از جمله در توربین خزش، خستگی، خوردگی داغ و اکسیداسیون و در کمپرسورها سایش و برخورد ذرات با اجزا از جمله عمده ترین آسیب ها می باشند.

با توجه به نقش کلیدی اکسیداسیون و خوردگی داغ در کاهش دوام پره های توربین گازی تحقیقات زیادی در راستای مقابله با آنها آغاز شده است که همچنان ادامه دارد. عامل ایجاد خوردگی داغ راسب شدن لایه نازکی از نمک مذاب سولفات فلزات قلیایی است که در نتیجه وجود ناخالصیهای سوخت و هوا تشکیل می شود و بر روی سطح پره‌های ثابت و متحرک می نشیند. خوردگی داغ برخلاف اکسیداسیون می‌تواند ماده را با یک سرعت غیر قابل پیش‌بینی دچار زوال نماید در نتیجه تحمل نیرو در قطعه کاهش

می‌یابد و منجر به زوال ناگهانی قطعه می‌گردد. بنابراین عدم توانایی در جلوگیری کامل از خوردگی داغ یا حداقل تشخیص آن در مراحل اولیه منجر به کاهش عمر، پایین آمدن راندمان و یا خرابی توربین می‌شود. جنس پره‌های توربین از سوپرآلیاژها می‌باشد که این مواد برای استفاده در دمای بالا طراحی شده‌اند. یعنی جاییکه خواص مکانیکی خوب همراه با مقاومت به حرارت و مقاومت در برابر خوردگی (پایداری سطحی) نیاز می‌باشد. دستیابی همزمان به مقاومت مکانیکی مناسب، مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی داغ بالا مشکل می‌باشد، از اینرو منجر به جداسازی این کارکردها شد. به طوریکه یک آلیاژ، صرفاً براساس دستیابی به خواص مکانیکی مناسب طراحی می‌شود و سپس توسط یک پوشش که صرفاً بر اساس مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی داغ طراحی شده، محافظت می‌گردد.

گروهی از پوششهای متداول جهت حفاظت سطح در برابر عوامل تخریبی دمای بالا پوششهای نفوذی می‌باشند که در نتیجه نفوذ عناصر معینی به درون سطح به وجود می‌آیند. ارایه روش ارزان قیمت و آسان جهت اعمال این پوششهای مفید اهمیت آنها را در صنعت چندین برابر می‌کند.

پوششهای آلومینایدی از انواع پوششهای نفوذی می‌باشند که بر اساس غنی کردن سطح از آلومینیوم، به روش سمانتاسیون پودری اعمال می‌گردند. علی‌رغم پیدایش پوششهای نو، همچنان پوششهای نفوذی (البته به صورت اصلاح شده) بیشترین کاربرد را در صنعت توربین گازی دارند.

در کمپرسور گازی ایمپلر به عنوان یکی از قسمتهای دوار علاوه بر قرار گیری تحت تنشهای مکانیکی بالا در معرض مستقیم فشار، تغییرات دمایی، خوردگی و سایش قرار دارد در نتیجه انتخاب مواد مناسب در مرحله طراحی کمپرسور و عاری بودن مواد ایمپلر از هرگونه تخلخل و ناخالصی در دوام کمپرسور بسیار مهم می‌باشد. همچنین مواد انتخاب شده باید استحکام و مقاومت لازم را در برابر آسیبهای سطحی در محیط مورد نظر را داشته باشند مثلاً در صنعت گاز وجود ذرات جامد در خطوط انتقال که به عنوان پودر سیاه شهرت دارد از عوامل بسیار مهمی است که باید در انتخاب کمپرسور مد نظر قرار گیرد زیرا این ذرات در صورت ورود به کمپرسور موجب تخریب های شدیدی می‌شوند.

پس می توان گفت که در مورد توربین های گازی می توان با استفاده از انواع پوشش ها خسارات را کاهش داد و در مورد کمپرسور باید علت تخریب را شناسایی و در حذف آن کوشش نمود.

هدف از این تحقیق بررسی خوردگی داغ و اکسیداسیون پره های توربین گازی به عنوان عواملی بسیار مهم در تخریب پره های توربین گازی و ارایه پوشش مناسب و ارزان با روش اعمال آسان برای پیشگیری از این عوامل بوده است. در کنار توربین گازی به بررسی علل تخریب ایمپلر کمپرسور به عنوان دستگاہی که توربین گازی انرژی مورد نیاز آن را تامین می کند پرداخته شده است و با آزمایشهای مختلف بر روی ساختار ایمپلر و عوامل محیطی مختلف، علل تخریب مورد بررسی قرار گرفته است.

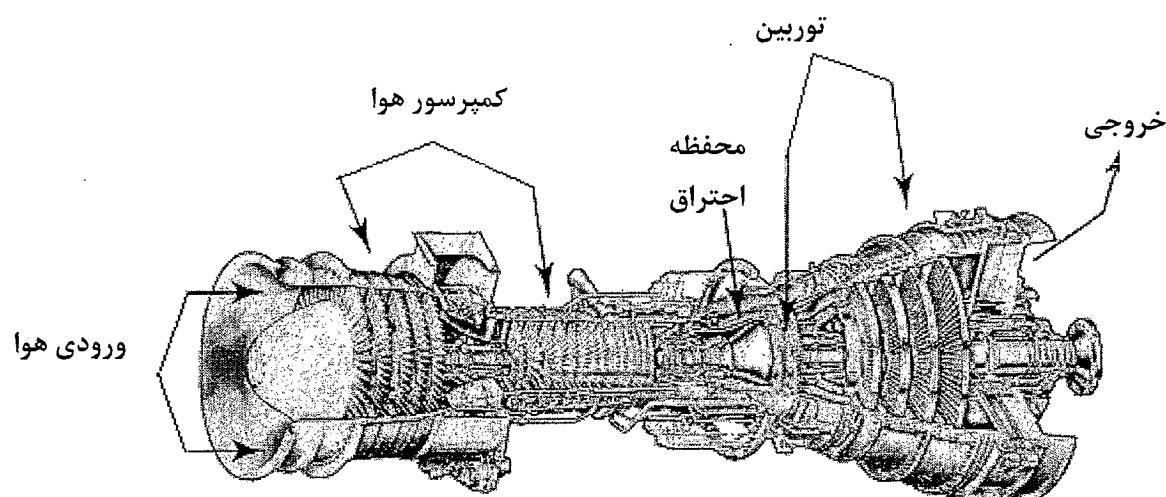
در فصل دوم ضمن معرفی علل تخریب پره های توربین های و ایمپلر کمپرسور گازی، بررسی خوردگی داغ و اکسیداسیون پره های توربین و راههای پیشگیری از آنها صورت گرفته است و در کنار آن ضمن بررسی ایمپلر کمپرسور به معرفی سایش و عوامل اثر گذار بر آن به عنوان یکی از علل اصلی تخریب کمپرسور گازی پرداخته شده است.

در فصل سوم و چهارم به ترتیب روش انجام آزمایشها و نتایج و بحث مربوط به آزمایشها ارائه شده است و نهایتاً فصل پنجم به جمع بندی نتایج تحقیق و پیشنهادات اختصاص داده شده است.

## ۱-۲- آشنایی با توربین و کمپرسور گازی

### ۱-۱-۲- توربین گازی

در یک توربین گاز هوای فشرده و سوخت، در محفظه احتراق سوخته و فشار ناشی از آن باعث حرکت روتور می شود. در توربین گازی همانطوریکه در شکل ۱-۲ ملاحظه می گردد هوا از یک سمت وارد کمپرسور توربین شده و پس از فشرده شدن با سوخت ترکیب می شود و در محفظه احتراق می سوزد تا با ورود هوای داغ و چرخش پره های توربین، محور اصلی به گردش در آمده و از آن برای گردش توربین مولد انرژی در توربوژنراتورها و یا گردش محور کمپرسور در توربوکمپرسورها استفاده شود [۱].



شکل ۱-۲- شماتیکی از یک توربین گازی [۴].

توربین های گازی از انرژی آزاد شده گازهای محترق استفاده می کنند، بدین ترتیب که گازهای حاصل از احتراق در اثر برخورد با حلقه پره های نصب شده بر روی روتور ایجاد حرکت چرخشی کرده، انتقال این حرکت به مولد تولید انرژی می نماید [۲]. سوخت مصرفی در این توربین ها معمولا گاز طبیعی و یا مشتقات نفتی است که اغلب حاوی گوگرد، سدیم، کلر، وانادیم و غیره می باشند. در توربین های گازی دمای متوسط پره ها حدود  $950^{\circ}\text{C}$  است ولی ممکن است به بیش از  $1100^{\circ}\text{C}$  نیز برسد. توربین های