

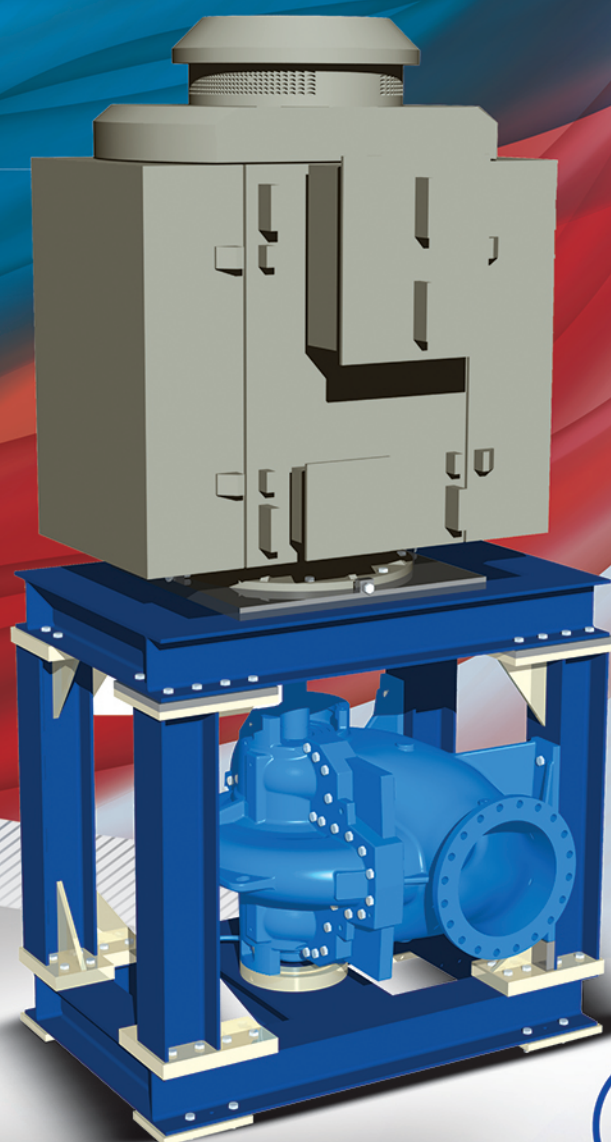


نشریه فنی آموزشی شرکت

صنایع پمپیران

پاییز و زمستان ۱۳۹۵ ■ شماره ۵۱ ■ سال ۳۲

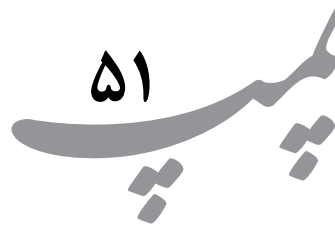
PUMPIRAN



WWW.PUMPIRAN.COM



www.pumpiran.com
info@pumpiran.com



• نشریه فنی آموزشی شرکت صنایع پمپیران

• پاییز و زمستان ۱۳۹۵ ■ شماره ۵۱ ■ سال ۳۲

• صاحب امتیاز: شرکت صنایع پمپیران (سهامی خاص)

• مدیر مسئول: دکتر میر بیوک احقاقی

• سردبیر: مهندس سید بهزاد مبین

• هیئت تحریریه: گروه مهندسين شرکت صنایع پمپیران

• مدیر اجرایی: مهندس مهدی نجداآبابایی

• مدیر هنری: سعید ربیعی

• مسئول اشتراک و توزیع: اکبر پورعباد

• تبریز، جنب قراملک، شرکت صنایع پمپیران ص.پ. ۱۳۵-۵۱۸۴۵

• تلفن: ۰۴۱-۳۲۸۹۰۶۴۴-۹ فاکس: ۰۴۱-۳۲۸۹۸۴۴۶

• تهران: خیابان ولی عصر، نبش میرداماد، برج دوم اسکان

• تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۵۴۸۱۰-۱۴ فاکس: ۰۲۱-۸۸۷۹۸۹۴۲

• پست الکترونیکی نشریه: pump@magiran.co

• وب سایت: www.magiran.com/pump

■ نشریه پمپ از عموم پژوهشگران، صاحب نظران و استادان، مقاله، ترجمه و گزارش می پذیرد.

■ نقل و اقتباس مطالب و استفاده از نشریه پمپ با ذکر کامل منبع آزاد است.

■ نشریه پمپ در رد، قبول، حذف، ویرایش و اصلاح مطالب آزاد است.

■ نشریه پمپ به همکاری و همیاری شمارج نهاده و از مقاله های مفید شما استقبال خواهد نمود.

■ لطفا با ارسال نکته نظرات و پیشنهادات سازنده و همچنین همکاری خود در تهیه مقالات فنی و علمی، ما را در ارائه هرچه بهتر مطالب و بالا بردن کیفیت نشریه یاری نمایید.

با تشکر

سردبیر

شرایط درج مقالات:

۱- محتوای مقاله باید فنی، صنعتی و علمی بوده و به طریقی با طراحی، تولید و یا کاربرد پمپ مربوط باشد.

۲- نام و نام خانوادگی و درجه تحصیلی، شغل و آدرس کامل، مولف یا مترجم در صفحه اول قید شود. همچنین شماره تلفنی که بتوان در موقع لزوم تماس حاصل کرد.

۳- عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل کلمات از دو سطر تجاوز ننماید.

۴- مطالب ارسالی باید تایپ شود در غیر این صورت، با خط خوش در یک طرف کاغذ نوشته و ارسال شود.

۵- تصویرها، شکل ها و نمودارهای پیوست مقالات بر روی یک طرف کاغذ باشد.

۶- توضیحات و زیر نویس ها به صورت مسلسل شماره گذاری و در پایان مقاله ذکر شوند.

۷- مراجع و ماخذ اصلی در تالیف و تدوین مطلب ارسالی باید دقیقاً مشخص و در پایان مقاله معرفی گردند.

۸- مقالات ترجمه شده منظم به فتوکپی متون اصلی باشند.

۹- مقالات ارسالی باید قبلاً در هیچ یک از نشریات داخلی چاپ نشده باشند.

۱۰- مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.

ضمناً چون صحت مطالب و مقاله بر عهده نویسنده آن است لذا هر گونه تغییر و ویرایش در متن مقاله جهت تایید نهایی نویسنده قبل از چاپ ارسال خواهد شد.





سیرتکاملی نیروی شعاعی پروانه در پمپ دو مکشه سانتریفیوژی در حین راه اندازی در وضعیت فلکه بسته (shut-off)

مهندس بهروز جلیل پور

۶



تحلیل استاتیکی و دینامیکی شاسی پمپ

مهندس آيسان جمال کيا

۲۳



محیط‌های مستعد انفجار

مهندس بهمن ايازی

۳۳



ساختمان عایقی ماشین های الکتریکی

مهندس عیسی آزادوار

۴۳

● سیرتکاملی نیروی شعاعی پروانه پمپ دو مکشه در حین راه اندازی در وضعیت فلکه بسته (shut-off)

◀ مهندس بهروز جلیل پور
کارشناس آزمایشگاه



نقاط برجسته‌ی این مقاله :

ویژگی‌های نیروی شعاعی گذرا در فرایند راه‌اندازی را برای پمپ دومکشه به دست می‌آورد.

جهت کلی نیروی شعاعی در حین فرایند راه‌اندازی نیز تایید می‌شود.
فرمولی برای محاسبه‌ی نیروی شعاعی گذرا در حین فرایند راه‌اندازی استفاده و ارائه شده است.

رابطه‌ی بین تغییرات نیروی شعاعی و ایجاد گرداب محوری در کانال پره در حین فرایند راه‌اندازی برقرار شده است. مکانیسم تکامل نیروی شعاعی نشان داده شده است.

چکیده

پمپ‌های دومکشه نقش مهمی را در سیستم‌های تغذیه آب بویلر نیروگاه‌های هسته‌ای ایفا می‌کنند. نیروی شعاعی پروانه در پمپ در حین راه‌اندازی در وضعیت فلکه بسته به شدت متغیر است. در این مطالعه فرایند راه‌اندازی یک پمپ دومکشه‌ی بزرگ با استفاده از CFD بررسی شده است. در حین آزمایش، سرعت پروانه از صفر تا سرعت کاری در $1.0 t_0$ ثانیه افزایش می‌یابد و سپس در سرعت کاری نگه داشته می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که افزایش نیروی شعاعی در پس تاخیر افزایش سرعت پروانه است. در $0.4-0 t_0$ ، نیروی شعاعی اندک است (و نزدیک به صفر). در $0.4-1.4 t_0$ ، نیروی شعاعی به سرعت افزایش می‌یابد. پس از $1.4 t_0$ ، میانگین نیروی شعاعی تثبیت می‌شود و به حداکثر خود می‌رسد ($55619N$). حداکثر نیروی شعاعی مشاهده شده در حین راه‌اندازی تقریباً نه برابر نیروی شعاعی تحت شرایط کاری است. نیروی شعاعی



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵



کلی در حین راه اندازی در 25 درجه از زبانه ی حلزونی^۱ قرار دارد. ما یک فرمول نیروی شعاعی گذرا برای ارزیابی تغییرات در نیروی شعاعی در حین راه اندازی ارائه می‌دهیم. توزیع خط جریان در گلوگاه‌های پروانه و پروفیل فشار خروجی پروانه که در طول زمان تغییر می‌کند بدست آمده‌اند. رابطه‌ی بین تکامل نیروی شعاعی و تغییرات ساختار گردابه محوری به مارپیچ تحلیل می‌شود. مکانیسم تغییر نیروی شعاعی نشان داده می‌شود. این تحقیق مبنایی علمی برای کنترل راه‌اندازی در پمپ‌های دومکشه بزرگ ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی : راه اندازی - افزایش سرعت پروانه - نیروی شعاعی - پمپ دومکشه

۱- مقدمه

از آنجا که پمپ‌های دومکشه دبی بالا و نیروی محوری اندک داشته و نگهداری آنها آسان است، از آنها به طور گسترده در سیستم‌های اصلی تغذیه آب بویلر (که خنک شدن ژنراتور بخار و کارکرد مداوم نیروگاه هسته‌ای را تضمین می‌کند) استفاده می‌شود. عملیات گذرا به خاطر شروع و توقف پمپ‌ها، افزایش و کاهش نرخ‌های جریان و قطع برق در موتورهای پمپ رایج هستند. راه‌اندازی فرایندی ضروری برای حرکت از حالت ساکن به کارکرد نرمال پمپ است. برای جلوگیری از افزایش توان مصرفی بیش از حد، پمپ‌های گریز از مرکز اغلب در وضعیت فلکه بسته راه‌اندازی می‌شوند. در حین فرایند راه اندازی سرعت پروانه از صفر افزوده می‌شود و به سرعت کاری می‌رسد و سپس در سرعت کاری نگه داشته می‌گردد. از این رو نیروی شعاعی پروانه به شدت تغییرپذیر است. نیروی شعاعی نقش مهم در آسیب ناشی از خستگی محور پمپ و یا مشکلات آب بندی رینگ سایشی دارد.

برای اندازه‌گیری نیروی شعاعی از دو روش استفاده کرده ایم: (۱) مستقیم و (۲) غیرمستقیم. روش مستقیم، نیروی شعاعی را با اندازه‌گیری نیروهای محور یا یاتاقان تعیین می‌کند. این روش ساده، دقیق و قابل اعتماد است اما مستلزم دستگاه کمکی خاص و فضای کاری باز و بزرگ در اطراف پمپ می‌باشد. به همین صورت، روش غیرمستقیم نیروی شعاعی را با اندازه‌گیری توزیع فشار پیرامون پروانه تعیین می‌کند. متعاقباً نیروی شعاعی با انتگرالگیری از مقادیر فشار اندازه‌گیری شده تعیین می‌شود. این روش مستلزم سوراخ کردن حلزونی و آماده کردن آن جهت نصب تجهیزات اندازه‌گیری است که به نوبه‌ی خود

1- Cut water



بر میدان جریان در حلزونی اثر می‌گذارد. علاوه بر این، دقت اندازه‌گیری این روش در شرایطی که دبی پایین است محدود می‌باشد. تاکنون، اکثر آزمایش‌های نیروی شعاعی در شرایط سرعت ثابت انجام شده‌اند. محققان قبلاً نشان داده‌اند که برای تمامی دبی‌ها تحت شرایطی که سرعت ثابت است نیروی شعاعی بیشینه در حالت فلکه بسته رخ می‌دهد. توزیع فشار غیریکنواخت پیرامون دهانه‌ی پروانه در حلزونی منجر به نیروی شعاعی می‌شود. برای پروانه‌ای که از صفر به سرعت کاری‌اش شتاب می‌گیرد تغییرات نیروی شعاعی نامشخص است.

محدودیت‌های آزمایشی مانع تعیین مکانیسم تغییرات نیروی شعاعی می‌شوند. هرچند این مکانیسم را می‌توان از طریق شبیه‌سازی عددی سه بعدی تعیین نمود. چندین تحلیل که قبلاً با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی نیروی شعاعی را بررسی کرده‌اند. اکثر این تحلیل‌های قبلی، با محدودیت وضعیت سرعت ثابت پروانه مواجه بودند. در حین راه‌اندازی سرعت پروانه ثابت نیست و شبیه‌سازی عددی باید این پدیده را ایجاد کند. و محققان با استفاده از شبیه‌سازی عددی برای محاسبه‌ی سرعت پره تایید کردند که روش sliding mesh در مقایسه با روش dynamic mesh می‌تواند نتایج دقیق‌تری را حاصل کند و کارایی بیشتری دارد. روش sliding mesh اکنون به طور گسترده برای توصیف حرکت پروانه استفاده می‌شود. گرچه در آغاز حرکت سرعت گرفته شده حالت جریان آرام در میدان جریان وجود دارد اما انتخاب مدل متلاطم یا آرام (با در نظر گرفتن تداوم محاسبه‌ی گذرا) معمولاً بر اساس عدد رینولدز حالت استاتیک استوار است. برای پمپ‌ها، عدد رینولدز، وقتی پروانه در مقدار کاری کار می‌کند بزرگ است. بدین ترتیب محققان اغلب از مدل متلاطم استفاده می‌کنند. مطالعاتی که به بررسی راه‌اندازی پمپ‌های سانتریفیوژ در وضعیت فلکه بسته با استفاده از شبیه‌سازی عددی می‌پردازند بر میدان جریان درونی و مشخصات خارجی تغییرات گذرا متمرکز هستند. Zhu (2015) نتیجه گرفته است که نیروهای شعاعی به تدریج با سرعت‌های پروانه افزایش می‌یابند هرچند که توصیفی از این پدیده ارائه نکرده است.

بر اساس تعداد زیادی از نتایج آزمایشی استپانوف (1957) فرمولی تجربی استخراج نمود که نیروهای شعاعی را در وضعیت‌های سرعت کاری تخمین می‌زد. هرچند این فرمول برای تعیین تغییرات نیروی شعاعی مرتبط با افزایش سرعت‌های پروانه در حین راه‌اندازی ناکافی است.

برای توصیف دقیق تغییرات نیروی شعاعی گذرا در طول زمان (تکامل نیروی شعاعی) و شناسایی مکانیسمی که در پس تغییرات موقتی است (مکانیسم تکامل نیروی شعاعی)، این مطالعه به بررسی فرایند راه‌اندازی پمپ سانتریفیوژی دومکشه در وضعیت فلکه بسته با استفاده از CFD پرداخته است.

۲- پمپ مورد مطالعه و روش‌های تحلیل عددی

۲-۱- پمپ مورد مطالعه

پمپ مورد بررسی در این مطالعه یک پمپ سانتریفیوژی دومکشه بزرگ است. پارامترهای پمپ بدین شرح است: قطر ورودی پمپ $D_i=1000\text{mm}$ ؛ قطر خروجی پمپ $D_o=900\text{mm}$ ؛ قطر پروانه $D_2=1155\text{mm}$ ؛ تعداد پره ها $Z=6$ ؛ سرعت کاری $n_d=590\text{r/min}$ ؛ دبی کاری $Q_n=3.75\text{m}^3/\text{s}$ ؛ هد کاری $H_n=53.2\text{m}$ ؛ سرعت ویژه $n_s=150$ و عرض خروجی متقارن پروانه $b_2=240\text{mm}$.

برای شبیه سازی CFD، دامنه ی محاسباتی عبارت است از محفظه مکش نیمه حلزونی پمپ، پروانه، حفره و حلزونی. شکل ۱ مدل هندسه ی سه بعدی هر یک از قطعات را نشان می‌دهد.

۲-۲- مدل آشفتگی و شبکه بندی

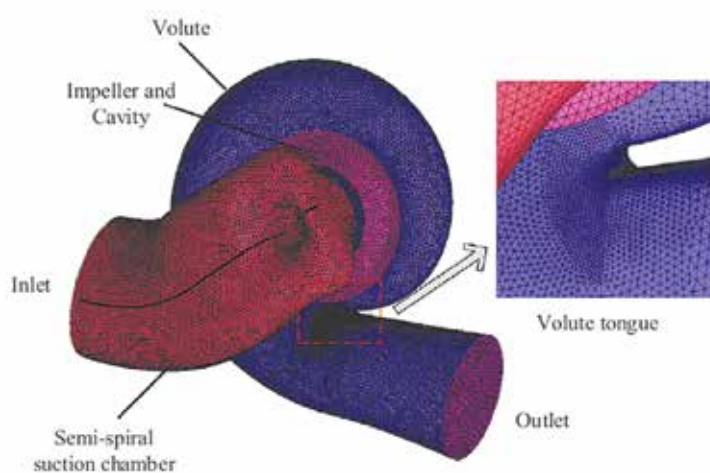
با توجه به محاسبه ی گذرا، یک مدل آشفتگی را بر اساس عدد رینولدز هنگامی که سرعت پروانه به سرعت کاری می رسد انتخاب نموده‌ایم. مدل $k-\epsilon$ RNG برای نرخ تغییر شکل بالا و شرایط انحنای خط جریان مزیت دارد. بدین ترتیب از آن در این مطالعه برای شبیه سازی جریان گذرا در پمپ استفاده نموده‌ایم. در حین راه اندازی بالاترین سرعت پروانه سرعت کاری است. از این رو آزمایش استقلال شبکه را در وضعیت فلکه بسته با سرعت کاری انجام داده‌ایم. علاوه بر این در مرحله ی شتاب اولیه سرعت پروانه و فاصله ی دیوار y^+ بی بُعد استفاده شده در شبیه‌سازی CFD کوچک می‌باشند. برای این مطالعه، عملیات دیواره‌ی تقویت شده را انتخاب کرده‌ایم چرا که راه حل‌های هماهنگی را برای $y^+ < 30$ ارائه می‌کند.

با توجه به پیچیدگی هندسه ی پمپ، یک شبکه ی چهارضلعی بدون ساختار را استفاده کرده‌ایم. تعداد عناصر شبکه که نشان دهنده ی محفظه مکش، پروانه، حفره و حلزونی است به ترتیب عبارت است از 523، 700، 623، 620، 108، 266، 423 و 520. شکل ۲ شبکه‌ی نهایی را که برای دامنه ی محاسباتی تولید شده نشان می‌دهد. در مناطق گرادیان فشار بالا نظیر دهانه، شبکه بندی اصلاح می شود.





شکل ۱- مدل هندسه ۳ بعدی پمپ گریز از مرکز دو مکشه.
(1) Suction chamber (2) Impeller (3) Cavity (4) Volute



شکل ۲- بدون ساختار شبکه با جزئیات بزرگ شده

۳-۲- شرایط مرزی و تنظیمات حل گر

در حالت فلکه بسته، هیچ جریان سیالی در ورود و خروج به دامنه محاسباتی وجود ندارد. از این رو ورودی محفظه مکش و خروجی حلزونی به عنوان دیواره تعریف شده‌اند. تمامی سطوح مرزی جامد نیز به عنوان دیواره تعریف شده‌اند. به ویژه سطوح مرزی جامد مرتبط با منطقه‌ی پروانه به عنوان دیواره و سرعت چرخش آنها به مانند سرعت دورانی پروانه است. برای اینکه از تخمین دقیق نیروی شعاعی مطمئن شویم سطوح بیرونی shroud به عنوان دیوارهای چرخنده تعریف شده‌اند که دارای سرعت دورانی هماهنگ با منطقه‌ی پروانه می‌باشد. سطوح ارتباطی بین دو قطعه‌ی مجاور از طریق مرز رابط متصل شده‌اند. همبستگی پروانه با استفاده از روش sliding mesh تعریف می‌شود که سرعت‌های دورانی آنها با منحنی تعیین شده است. در این مطالعه سرعت دورانی به صورت خطی از صفر به سرعت کاری 590 r/min در یک ثانیه افزایش می‌یابد. پس از 1.0 ثانیه سرعت پروانه ثابت خواهد بود.



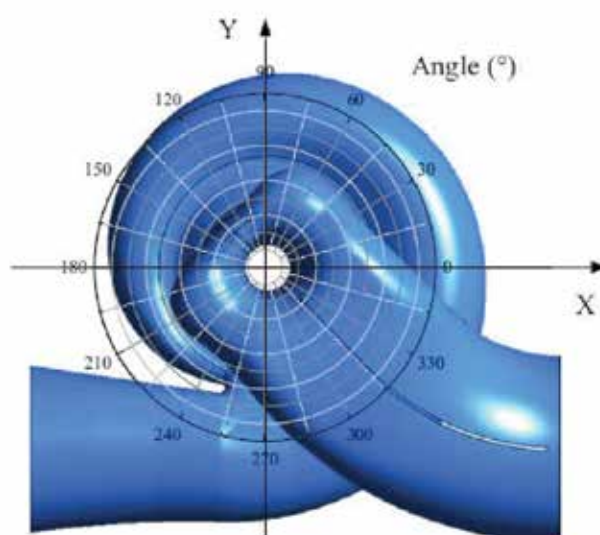
پاییز و زمستان

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

یک فرمول ضمنی درجه دو را به عنوان شکل انتگرالی برای عبارت مستقل از زمان انتخاب نموده ایم. کوپلینگ فشار - سرعت با استفاده از الگوریتم SIMPLEC محاسبه می شود. برای گسسته سازی ترم جابجایی روش های رو به باد^۲ درجه دوم و تفاضل مرکزی اعمال شده است. زمان محاسبات 0.0002825 ثانیه وضع شده است که برابر است با زمانی که برای چرخش 1 درجه ای پروانه در سرعت کاری خود نیاز دارد. حداکثر تعداد تکرار در هر مرحله زمانی روی 60 تنظیم شده است. برای تسریع همگرایی، عامل ریلکسیشن فشار به 0.5 تنظیم شده است. در آخر اینکه باقیمانده ها روی $1.0e-4$ تنظیم شده اند. در حین محاسبات ها نیروهای شعاعی در جهات X و Y تحت پایش هستند و در هر مرحله ی زمانی ثبت می گردند.

شکل ۳ جهت و زاویه ی محیطی را تعریف می کند و نشان می دهد. محور X نشان دهنده ی جهت افقی است؛ مقدار X مثبت نشان دهنده ی جهت رو به سمت دهانه ی پمپ است در حالیکه مقدار X منفی نشان دهنده ی حرکت به سمت خروجی پمپ است. محور Y نشان دهنده ی جهت عمودی است؛ مقدار Y مثبت نشان دهنده ی حرکت به سمت بالای پمپ است در حالیکه مقدار Y منفی نشان دهنده ی حرکت به سمت پایین پمپ می باشد. همین روابط در طرف های کوپل و آزاد پمپ کاربرد دارند. زبانه ی حلزونی در ربع سوم که خط اشعه اش با زاویه ی محور X که تقریباً 255 درجه است قرار دارد.



شکل ۳- تعریف از جهت و زاویه محیطی.

۳- نتایج و بحث و بررسی

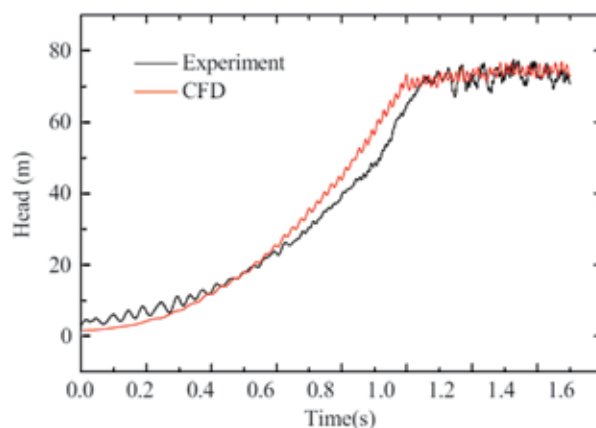
به یاد دارید که هدف از این مقاله دو چیز بود: توصیف مناسب تغییرات نیروی شعاعی گذرا در طول زمان (تکامل نیروی شعاعی) و شناسایی مکانیسمی که در پس تغییرات موقتی قرار دارد (مکانیسم تغییرپذیری تکامل نیروی شعاعی). در این بخش نتایج مرتبط با این دو هدف را ارائه می‌کنیم.

۳-۱- تکامل نیروی شعاعی

۳-۱-۱- مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده

شکل ۴ منحنی هد گذرای پمپ که با استفاده از شبیه‌سازی عددی تخمین زده شده و در حین آزمایش اندازه گرفته شده‌اند را نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری شده با استفاده از سنسورهای فشار استاتیک که روی ورودی و خروجی پمپ قرار دارند به دست آمد. عدم قطعیت در نتایج به دست آمده کمتر از یک درصد بود.

وقتی سرعت پروانه افزایش می‌یابد، ظرفیت کار آن نیز افزایش می‌یابد. در این حین، هد پمپ به سرعت افزایش می‌یابد. با این وجود دامنه و روند تغییرات بین شبیه‌سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی یکسان است. این شباهت‌ها بیانگر این است که یک مدل عددی معقول است.



شکل ۴- منحنی هد گذرای پمپ

۳-۱-۲- نیروی شعاعی در طول زمان

برای توصیف دقیق‌تر حرکت پروانه شکل ۵ رابطه‌ی بین تعداد دورهای پروانه و زمان را نشان می‌دهد. پروانه از حالت استاتیک با شتاب زوایه‌ای ثابت سرعت می‌گیرد. وقتی پروانه به سرعت کاری‌اش در $1.0 t_0$



پس
چاپ

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۱۲

می رسد ، پروانه 4.91 دورش را تمام کرده است. پس از $t_0 1.0$ سرعت پروانه ثابت می ماند و پروانه تقریباً 5 دور را در 0.5 ثانیه تمام می کند. در حین فرایند راه اندازی پروانه در 1.5 ثانیه 5 دور را تمام می کند.

نیروی شعاعی عبارت است از مجموع نیروهایی که بر سطوح درونی پروانه و سطوح بیرونی shroud وارد می آیند و شامل ترم های لزجت و فشار می شود. شکل ۶ دامنه ی تغییرات نیروی شعاعی در طول زمان را نشان می دهد. در $t_0 0.4-0$ ، نیروی شعاعی اندک است (تقریباً صفر) . در $t_0 0.4$ نیروی شعاعی ظاهر می شود و در $t_0 0.6$ نیروی شعاعی به سرعت افزایش می یابد. وقتی سرعت پروانه به سرعت کاری اش می رسد ($t_0 1.0$) نیروی شعاعی افزایش می یابد. پس از $t_0 1.4$ میانگین نیروی شعاعی تثبیت می شود و به مقدار بیشینه ی 55169N می رسد. این تغییرات در دامنه ی نیروی شعاعی در سه مرحله توصیف می شود :

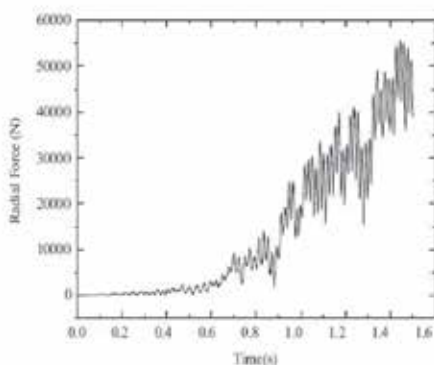
(۱) در $t_0 0.4-0$ ، سرعت پروانه از 0 به $n_d 0.4$ می رسد و نیروی شعاعی نزدیک صفر می شود
(۲) در $t_0 1.4-0.4$ ، سرعت پروانه از $n_d 0.4$ به $n_d 1.0$ شتاب می گیرد و به سرعت کاری اش می رسد، پروانه تقریباً 4 دور را کامل می کند و نیروی شعاعی به سرعت افزایش می یابد ؛
(۳) در $t_0 1.5-1.4$ ، پروانه تقریباً به چرخش در زمان ادامه می دهد و نیروی میانگین تثبیت می شود اما با نوسان زیاد.

شکل ۷ تکامل بردار نیروی شعاعی در حین راه اندازی را نشان می دهد. نقاط پراکنده نشان دهنده ی مختصات بردار هستند و رنگ ها نشان دهنده ی زمان. نیروی شعاعی در ربع سوم بین 205 تا 255 درجه در جهت محور X مثبت قرار دارد. جهت اصلی زاویه 230 درجه است که به زاویه ی زبانه ی حلزونی نزدیک است. در حین راه اندازی ، جهت کلی نیروی شعاعی نزدیک است به خط شعاعی که در 25 درجه از زبانه ی حلزونی در امتداد جهت محیطی قرار دارد.

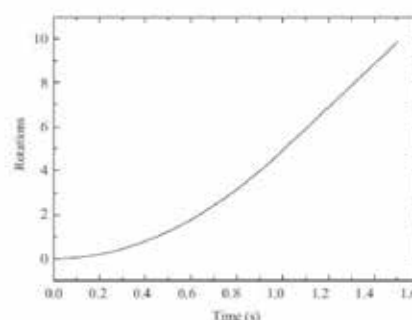
نیروی شعاعی پارامتر مهمی است که تغییر شکل محور پمپ را تعیین می کند. تنش محور پمپ نشان دهنده ی تغییر در نیروی شعاعی است. شکل ۸ بردار نوسان محور آزمایشی را برای انتهای طرف آزاد پمپ در حین راه اندازی نشان می دهد. نوسان محور پمپ در جهات قائم الزاویه ی افقی و عمودی با استفاده از چهار ترنسندوسر جریان گردابی که در طرف های کوپل و آزاد پمپ قرار دارند اندازه گیری می شوند. در مقایسه با نتایج بردار نیروی شعاعی که قبلاً در شکل ۷ ارائه شدند، توزیع بردار نوسان محور نشان دهنده ی شباهت هایی است. هر دوی آنها در ربع سوم قرار دارند و روند تغییرات های مشابه دارند. این شباهت ها نشان دهنده ی این است که محاسبه ی که تکامل نیروی شعاعی را توصیف می کند معقول است.



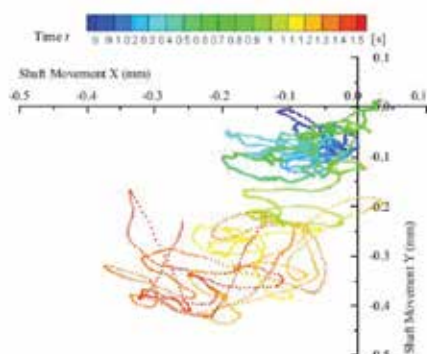
این شباهت‌ها نیز در سایر تحقیقات بیان شده‌اند. برای نمونه شکل ۹ نیروی شعاعی و اجزای آن را در 0.5 ثانیه‌ی راه‌اندازی، آنگونه که Zhu (2015) گزارش داده نشان می‌دهد. در $(0-0.4 t_0)$ ، نیروی شعاعی به صفر نزدیک می‌شود؛ این یافته با نتایج این مطالعه برای مرحله‌ی اولیه‌ی راه‌اندازی هماهنگ است.



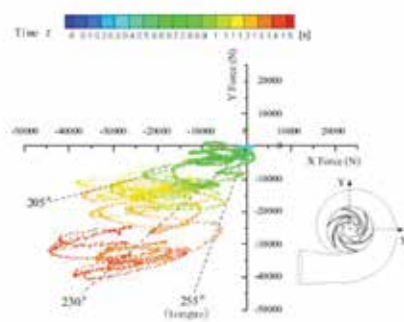
شکل ۶- تکامل بزرگی نیروی شعاعی پروانه.



شکل ۵- رابطه دور و زمان.



شکل ۸- حرکت محور در انتهای آزاد پمپ.



شکل ۷- تکامل بردار نیروی شعاعی پروانه.

۳-۱-۳- دامنه‌ی نیروی شعاعی

برای تخمین نیروی شعاعی تحت شرایط سرعت کاری‌اش، استپانوف (1957) فرمولی تجربی بر اساس تعداد زیادی نتایج آزمایشی به شرح زیر استخراج نمود:

$$F_R = 9.81 K_r H_n D_2 B_2 \times 10^3 \text{ (N)} \quad (1)$$

برای پمپ در این مطالعه، نیروی شعاعی تحت شرایط سرعت کاری‌اش 54251 N است که با استفاده از معادله‌ی ۱ محاسبه شده، اندکی پایین‌تر از مقدار نیروی شعاعی بیشینه 55169 N با شبیه‌سازی محاسبه شده است.



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۱۴

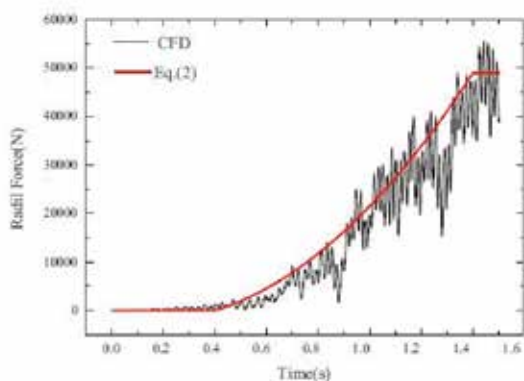
شبیه‌سازی عددی دوم با احتساب نیروی شعاعی پمپ تحت شرایط سرعت دورانی و دبی کاری‌اش انجام شد. نیروی شعاعی تخمین زده شده‌ی 6092N به دست آمد. بدین ترتیب نیروی شعاعی بیشینه در حین راه اندازی تقریباً نه برابر بیشتر از نیروی شعاعی تحت شرایط کاری‌اش شده است.

۳-۱-۴- فرمول نیروی شعاعی گذرای جدید

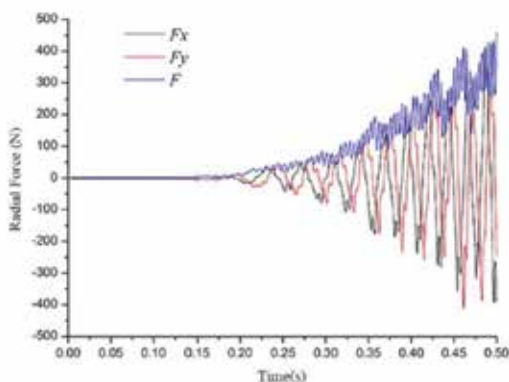
فرمول استپانوف که قبلاً ارائه شد را می‌توان تنها برای محاسبه‌ی نیروی شعاعی در موقعیت فلکه بسته تحت شرایط سرعت کاری‌اش استفاده نمود. در حین راه اندازی این فرمول برای توصیف تغییرات نیروی شعاعی با افزایش سرعت‌های پروانه ناکافی است. بر اساس سه مرحله تغییرات نیروی شعاعی که در این مطالعه شناسایی شدند، فرمول نیروی شعاعی گذرای جدیدی به شرح زیر ارائه می‌شود:

$$F_R' = \begin{cases} 0 & 0 \leq t^* < 0.4 \\ 0.6F_R(t^* - 0.4)^2 + 0.3F_R(t^* - 0.4) & 0.4 \leq t^* < 1.4 \\ 0.9F_R & t^* \geq 1.4 \end{cases} \quad (2)$$

شکل ۱۰ منحنی رگرسیون بدست آمده از معادله ی ۲، هماهنگ با سه مرحله تغییرات نیروی شعاعی که در بخش ۳-۱-۲- توصیف شد را نشان می‌دهد. بر خلاف فرمول استپانوف، این فرمول نیروی شعاعی گذرای جدید را می‌توان برای توصیف تغییرات نیروی شعاعی با افزایش سرعت‌های پروانه استفاده نمود.



شکل ۱۰- مقایسه ای فرمول و نتایج عددی.



شکل ۹- تغییرات نیروی شعاعی با افزایش سرعت پروانه (Zhu, ۲۰۱۵).



۲-۳- مکانیسم تکامل نیروی شعاعی

۳-۲-۱- تکامل میدان جریان در پروانه

برای درک تکامل نیروی شعاعی از منظر جریان داخلی، شکل (a-f) 11 تکامل میدان جریان در پروانه را نشان می‌دهد. شکل (a) 11 خطوط جریان و بردارها را در ابتدای فرایند راه اندازی هنگامی که سرعت دورانی تقریباً $0.01n_d$ است نشان می‌دهد. گردابه‌های محوری - مجموعه‌های مدور خطوط جریان که حلقه‌ای بسته‌ای را نشان می‌دهند که بردارش موازی با جهت محور است - نیم نخست هر کانال پره را اشغال کرده است. میدان جریان در هر کانال پره یکسان است. بدین ترتیب تاثیر بر روی پروانه تقارن محوری است و نیروی شعاعی کل به صفر می‌رسد. وقتی سرعت پروانه افزایش می‌یابد، شکل جریان شروع به تغییر می‌کند. شکل (b) 11 نشان می‌دهد که وقتی سرعت پروانه به $0.25n_d$ می‌رسد، بردارهای محوری به دهانه‌ی خروجی توسعه می‌یابند (مرکز بردار نزدیک دهانه‌ی خروجی است) و کل کانال پره را اشغال می‌کنند. میدان جریان بار دیگر در کانال پره یکسان است و بدین ترتیب نیروی شعاعی کل کوچک باقی می‌ماند.

با شتاب مداوم پروانه، سرعت محیطی به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد همانطور که سرعت نسبی در دهانه‌ی خروجی پروانه افزایش می‌یابد. در این نقطه جدایش جریان در سمت فشار نزدیک خروجی پروانه، گردش خطوط جریان را پراکنده می‌کند. شکل (c) 11 نشان می‌دهد خطوط جریان نزدیک دهانه‌ی خروجی پروانه چگونه به شکل مارپیچی تبدیل می‌شوند. شکل (d) 11 نشان می‌دهد وقتی سرعت پروانه به $0.98n_d$ می‌رسد، خطوط جریان مارپیچی ساختار گردابه آشفته تولید می‌کنند که گرداب مارپیچی نام دارد. در این نقطه به خاطر اثرات زبانه‌ی حلزونی، تفاوت‌های میدان جریان در بین هر یک از کانال‌های پره و نیروی شعاعی متعاقب شروع به افزایش می‌کند.

پس از $1.0 t_0$ ، سرعت دورانی پروانه به n_{d0} می‌رسد و سپس ثابت می‌ماند. کل میدان جریان در پروانه در طول زمان پروفایل توزیع مشابهی را نگه می‌دارد؛ هرچند همانطور که در شکل (e-f) 11 نشان داده شده جریان در هر یک از کانال‌های پره متفاوت است. اینجا هم به خاطر اثرات زبانه‌ی حلزونی، دامنه و نوسان نیروی شعاعی به طور پیوسته افزایش می‌یابد.

بر اساس تحلیل فوق نتیجه می‌گیریم تغییرات در نیروی شعاعی ناشی از ایجاد گرداب محوری در کانال‌های پره است. وقتی گرداب‌های محوری در هر کانال پره شکل مشابه دارند نیروی شعاعی اندک خواهد بود. وقتی گرداب‌های محوری در کانال‌های منتخب گسترش یابند و به ویژه وقتی خطوط جریان مارپیچی گرداب مارپیچی تولید کنند، نیروی شعاعی به سرعت افزایش خواهد یافت.

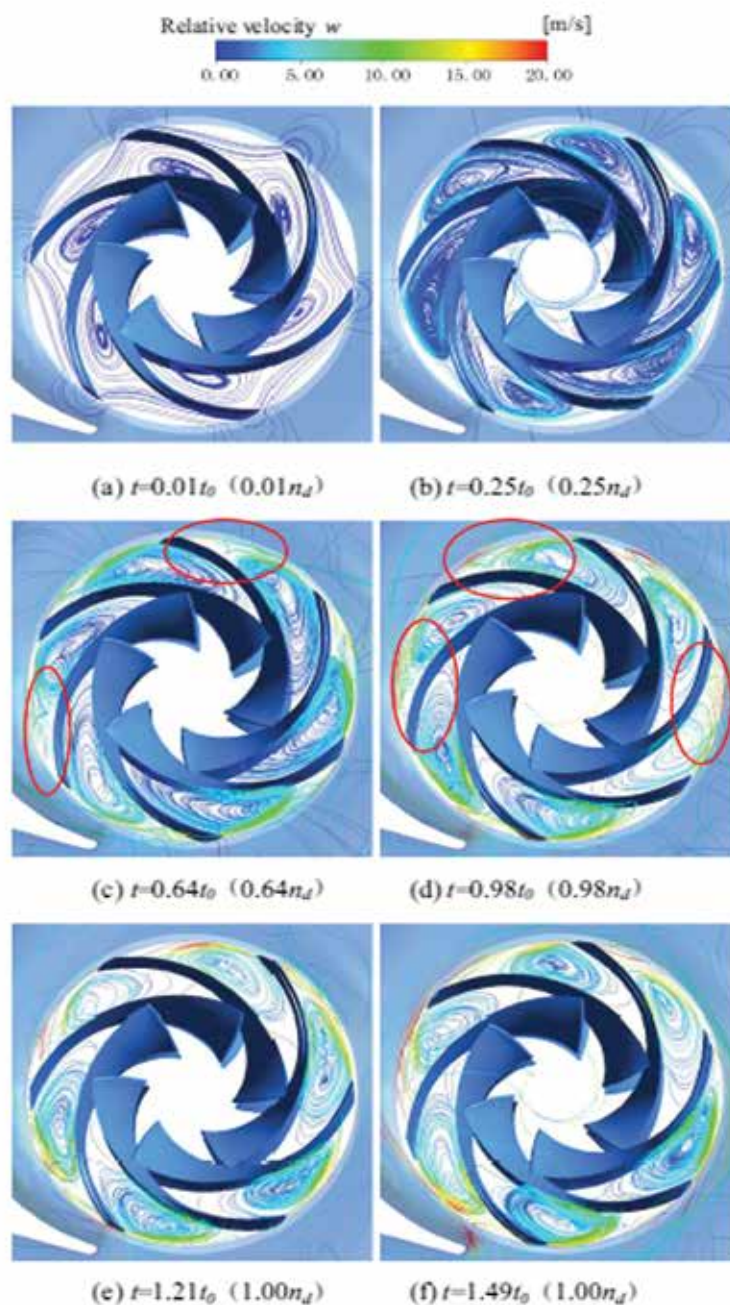


پاییز و زمستان

سال ۳۲

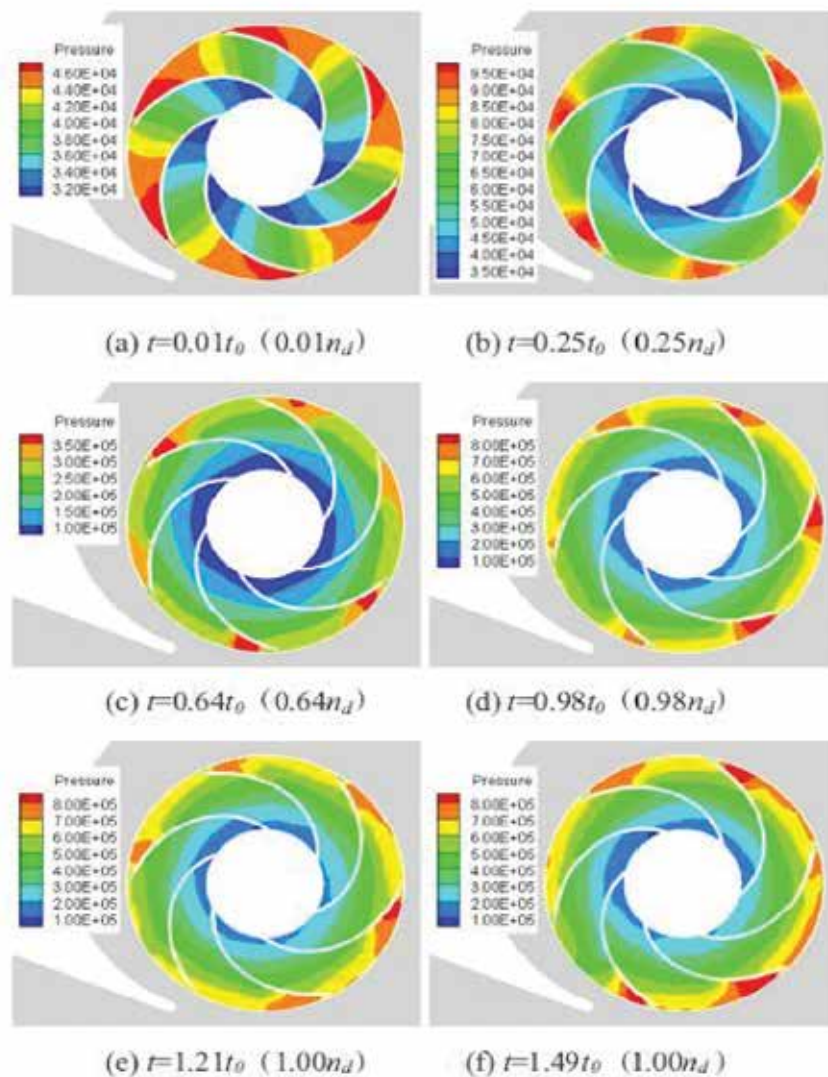
۱۳۹۵

شکل (a-f) 12 تکامل توزیع فشار در کانال های پره را نشان می دهد. برای اینکه یکنواخت بودن توزیع فشار را دقیق تر نشان دهیم ، در هر شکل شرح های مختلفی استفاده شده است. در راستای یافته هایی که در بخش قبل گزارش شدند ، تقارن محوری فشار در کانال های پره نشان دهنده ی تغییرات در میدان جریان است. تقارن غیرمحوری میدان جریان به نیروی شعاعی منجر می شود.



شکل ۱۱- خط جریان و گردابه ها در پروانه در دوره های مختلف راه اندازی.





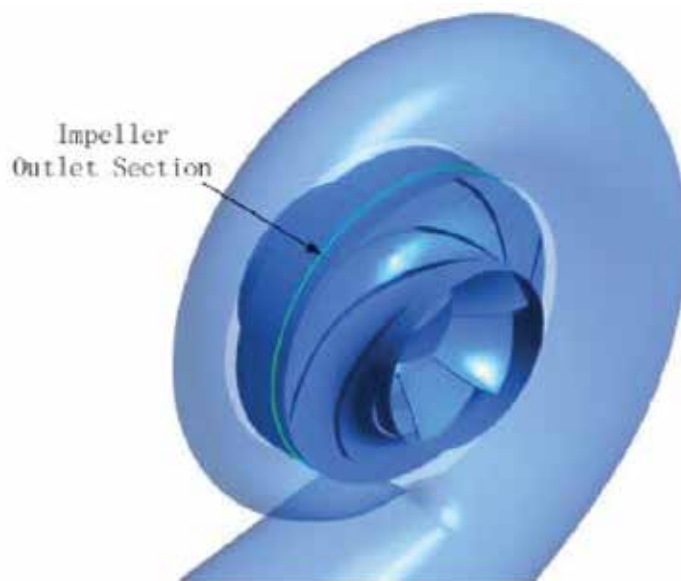
شکل ۱۲- توزیع فشار در کانال های پره.

۳-۲-۲- توزیع فشار استاتیک در دهانه ی خروجی پروانه

نیروی شعاعی مستقیماً به توزیع فشار استاتیک پیرامون پروانه مرتبط است و می توان آن را نیروی خالصی در نظر گرفت که توسط فشار استاتیک دهانه ی خروجی پروانه تحمیل شده است. شکل ۱۳ بخش دهانه ی بیرونی پروانه را نشان می دهد (که با خط سبز معلوم است).

رابطه ی بین زاویه ی محیطی و موقعیت حلزونی در شکل ۳ نشان داده شده است. فشار ایستای دهانه ی خروجی پروانه نشان دهنده ی یکنواخت بودن نیروی خالص وارده بر پروانه است. شکل ۱۴ فشار ایستای دهانه ی خروجی پروانه در طول زمان را نشان می دهد ؛ جایی که محور افقی زاویه ی محیطی است و زبانه در زاویه ی ۲۵۵ درجه قرار دارد.

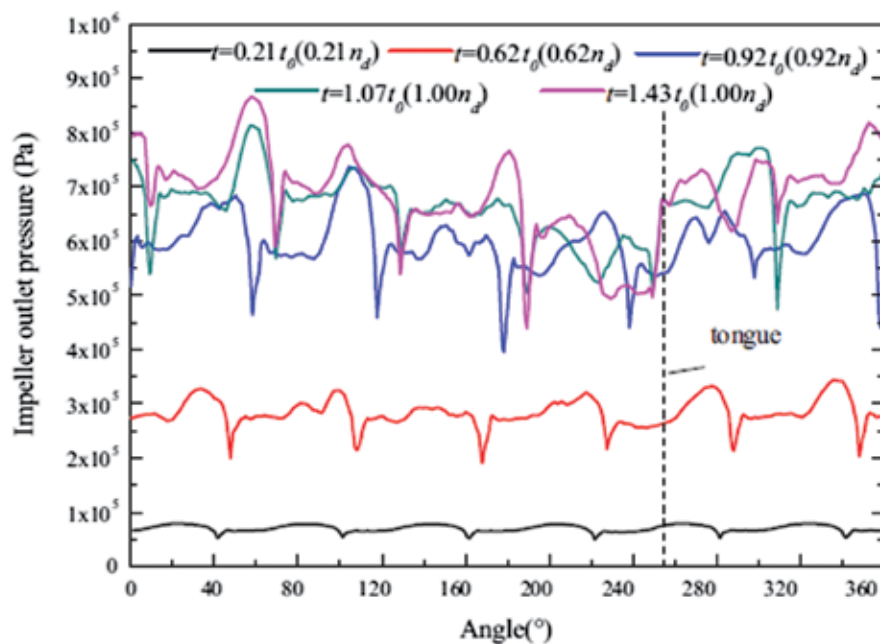




شکل ۱۳- خط قسمت خروجی پروانه



از شکل ۱۴ می توان دید که فشار استاتیک پیرامون دهانه ی خروجی پروانه به موازات افزایش سرعت پروانه افزایش می یابد. وقتی به سرعت کاری رسیده شود ، فشار استاتیک تثبیت می شود. در اوایل فرایند راه اندازی ($0.21 t_0$) سرعت پروانه $0.21 n_d$ است و توزیع فشار استاتیک بین 0 تا 360 درجه آشکارا دوره ای است. توزیع فشار هر 6 درجه تکرار می شود و این با پروانه شش پره هماهنگ است. در $t_0 < 0.6$ ، توزیع فشار دهانه ی خروجی پروانه متقارن محوری است و نیروی شعاعی اندک است. در $0.62 t_0$ سرعت پروانه به $0.62 n_d$ می رسد و توزیع فشار بین 100 تا 160 درجه از سیکل 60 درجه شروع به تغییر می کند. توزیع فشار دیگر متقارن محوری نیست و نیروی شعاعی شروع به افزایش و تغییر جهت می کند. پس از $1.0 t_0$ ، سرعت پروانه ثابت باقی می ماند و دامنه ی فشار بین 200 تا 255 درجه نسبتاً اندک است. توزیع فشار استاتیک بین 0 تا 360 درجه دیگر دوره ای نیست. نیروی شعاعی بزرگ است و نوسانات بزرگ دارد و جهت آن بین 200 تا 255 درجه است (به خط شعاعی که در 25 درجه از زبانه ی حلزونی که در امتداد جهت محیطی قرار دارد اشاره دارد).



شکل ۱۴- تکامل توزیع فشار استاتیکی خروجی پروانه



نتیجه گیری

در این مطالعه فرایند راه اندازی پمپ سانتریفیوژی دومکشه در وضعیت فلکه بسته را با استفاده از CFD بررسی نمودیم. تکامل نیروی شعاعی که به پروانه وارد شده را تحلیل نمودیم. نتیجه گیری های زیر به دست آمد :

- افزایش نیروی پروانه، در پس تاخیر افزایش سرعت پروانه است. در $0-0.4 t_0$ نیروی شعاعی به صفر نزدیک می شود. در $0.4-1.4 t_0$ ، نیروی شعاعی به سرعت افزایش می یابد. پس از $1.4 t_0$ ، نیروی شعاعی تثبیت می شود و به بیشینه خود برای کل فرایند می رسد. نیروی شعاعی بیشینه در حین راه اندازی تقریباً نه برابر نیروی شعاعی

تحت شرایط کاری‌اش است.

- جهت کلی نیروی شعاعی در حین فرایند راه‌اندازی نزدیک است به خط شعاعی که در 25 درجه از زبانه‌ی حلزونی در امتداد جهت محیطی قرار دارد.
- بر اساس سه مرحله تکامل نیروی شعاعی که در این مطالعه شناسایی شد یک فرمول نیروی شعاعی گذرا را برای توصیف دقیق تغییرات نیروی شعاعی با تغییرات سرعت در حین راه‌اندازی ارائه کردیم.
- رابطه‌ی بین تغییرات نیروی شعاعی در حین راه‌اندازی و ایجاد گردابه محوری در کانال‌های پره برقرار می‌شود و مکانیسمی که در پس تغییرات نیروی شعاعی قرار دارد آشکار می‌شود.

این مطالعه به مقدار زیادی موجب افزایش دانشی که در مورد تغییرات نیروی شعاعی گذرا در طول زمان داریم و مکانیسمی که در پس تغییرات موقتی وجود دارد گردید. تحقیقات آتی ساختار پمپ و تغییر شکل آبنندی - رینگ را در نظر خواهند داشت تا شرایط مرزی وضعیت واقعی را بهتر تخمین بزنند. محتویات و نتیجه گیری‌های این مطالعه می‌تواند منابعی را برای تخمین نیروی شعاعی ، بهینه‌سازی طرح و کنترل راه‌اندازی پمپ فراهم کند.



مراجع :

[1] Zhichao Zou , Fujun Wang, Zhifeng Yao , Ran Tao , Ruofu Xiao , Huaicheng Li. Impeller radial force evolution in a large double-suction centrifugal pump during startup at the shut-off condition, Nuclear Engineering and Design 310 (2016) 410–417.

[2] Zhu, Q., 2015. Study on Transient Characteristics of Double-suction Centrifugal Pump System in Startup Process Master Thesis. China Agricultural University, Beijing, China.

[3] Stepanoff, A.J., 1957. Centrifugal and Axial Flow Pumps. John Wiley, New York. Uy, R.V., Brennen, C.E., 1999. Experimental measurements of rotordynamic forces caused by front shroud pump leakage. J. Fluids Eng. 121 (3), 633–637.



سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

تحلیل استاتیکی و دینامیکی شاسی پمپ



◀ مهندس آيسان جمال کيا
کارشناس طراحی هیدرولیکی

چکیده :

ماشین آلات سنگینی که شامل حرکات رفت و برگشتی، ضربه‌ای و یا دورانی هستند، نیازمند یک تکیه‌گاه مقاوم در برابر نیروهای دینامیکی و ارتعاشات ناشی از آن می‌باشند. به گونه‌ای که اگر این ارتعاشات بیش از حد باشد، می‌تواند اثرات مخربی را بر دستگاه، تکیه‌گاه آن و حتی اشخاصی که در اطراف آن مشغول کار هستند وارد نماید. مهندسان زیادی با زمینه‌های کاری مختلف، به طراحی، تحلیل، ساخت و تعمیر و نگهداری فوندانسیون و شاسی این چنین دستگاه‌هایی می‌پردازند. پمپ‌ها از جمله ماشین‌های دوار هستند که نیازمند شاسی و فوندانسیون مناسب برای عملکرد بهینه می‌باشند. بنابراین طراحی و تحلیل شاسی در آنها حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش به بررسی تمام نیروهای مؤثر در طراحی شاسی پرداخته شده و در نهایت شبیه‌سازی و تحلیل تنش‌ها توسط نرم افزارهای CATIA و ANSYS بر روی شاسی پمپ دو مکشه عمودی انجام گرفته و نتایج حاصل گزارش گردیده است.



پمپ

سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۲۳

فهرست علائم:

علامت	واحد	نام انگلیسی	معادل فارسی
G_p	-	Center of mass of Pump	مرکز جرم پمپ
G_M	-	Center of mass of Motor	مرکز جرم موتور
G		Grade of Allowable Residual Unbalance	درجه مجاز آنبالانسی باقی‌مانده
$F.S$	-	Safety Factor	ضریب اطمینان
F_{ubM}	[N]	Motor Unbalance Load	نیروی ناشی از عدم توازن موتور
F_{ubP}	[N]	Pump Unbalance Load	نیروی ناشی از عدم توازن پمپ
m_M	[Kg]	Mass of Motor	جرم موتور
m_P	[Kg]	Mass of Pump	جرم پمپ
m_{PW}	[Kg]	Mass of Pump including Water	جرم پمپ پر از آب
P_s	[w]	Motor Power	توان موتور
S_y	[MPa]	Yield stress	تنش تسلیم
T_{no}	[Kg.m]	Nominal Torque of Motor	گشتاور نامی موتور
T_{bd}	[Kg.m]	Break down Torque of Motor	گشتاور بیشینه موتور
T_{sc}	[KN.m]	Short circuit Torque of Motor	گشتاور اتصال کوتاه
U	[kg.m]	Unbalance	آنبالانسی
ω	[RPM]	Motor Speed	سرعت دورانی موتور
$\sigma_{S_{MAX}}$	[MPa]	Max. Stress of Beam in Static loading	تنش بیشینه تیر در بارگذاری استاتیکی
$\sigma_{D_{MAX}}$	[MPa]	Max. Stress of Beam in Dynamic loading	تنش بیشینه تیر در بارگذاری دینامیکی
$\sigma_{B_{MAX}}$	[MPa]	Max. Stress of Bolts in Dynamic loading	تنش بیشینه پیچ در بارگذاری دینامیکی

۱- ماشین‌های دوار

این دسته از ماشین‌ها شامل توربین بادی، توربین بخار، پمپ، کمپرسور، فن و ... می‌باشند؛ که با حرکت دورانی پروانه و یا روتور شناخته می‌شوند. تمامی ماشین‌های دوار دارای ارتعاش هستند، چرا که خروج از مرکزیت جرم نسبت به مرکز دوران، باعث ایجاد نیروی آنبالانسی می‌گردد. این نیروی دینامیکی تابع جرم، سرعت دوران و لنگی مجموعه دوار می‌باشد. لنگی در حین ساخت باید حداقل گردد تا ماشین به خوبی بالانس شود و دچار سایش و خوردگی نگردد. بنابراین هرگونه تغییر در همراستایی، کار در محدوده رزونانس، خرابی پره‌ها و در حالت کلی هرگونه شرایط نامطلوبی که باعث کارکرد معیوب ماشین گردد، تا حد زیادی می‌تواند ارتعاشات و نیروهای اعمالی از روتور به یاتاقان‌ها را افزایش دهد.

۲- معیارهای طراحی

معیار اصلی در طراحی شاسی مشخص نمودن نیروهای وارد شده بر آن می‌باشد. این نیروها شامل نیروهای استاتیکی و دینامیکی می‌باشد. نیروهای استاتیکی به طور بنیادی تابع وزن ماشین و تمام تجهیزات فرعی آن می‌باشد. نیروهای دینامیکی که در صورت کارکرد ماشین بوجود می‌آیند، ناشی از آنبالانسی یا اینرسی اجزای متحرک و یا هردوی آنها می‌باشد. همچنین برای برخی از ماشین‌ها نیروهای حاصل از جریان سیال و یا گاز نیز در مجموعه نیروهای دینامیکی قرار می‌گیرد. اندازه نیروهای دینامیکی اساساً به سرعت دورانی ماشین، نوع، اندازه، وزن و همچنین چیدمان قطعات دوار در داخل محفظه بستگی دارد.

۳- نیروهای استاتیکی

۳-۱- نیروهای مرده

مهمترین وظیفه شاسی مقاومت در مقابل نیروهای گرانشی مربوط به وزن ماشین و قطعات آن، وزن لوله‌ها و شیر و وزن خود شاسی می‌باشد. نحوه توزیع نیروهای وزن به تکیه‌گاه ماشین و انعطاف‌پذیری شاسی بستگی دارد. از آنجایی که تکیه‌گاه‌های متعددی وجود دارد، توزیع نیرو نامعین استاتیکی می‌باشد.



پاییز و زمستان

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۲۴

۳-۲- نیروهای زنده

نیروهای زنده ناشی از کار اشخاص، ابزار، تجهیزات و مواد تعمیر و نگهداری از سازه می‌باشد. نیروهای زنده لحاظ شده در طراحی باید حداکثر مقدار نیروهای پیش‌بینی شده در عمر کارکرد ماشین را داشته‌باشد. که معمولاً بین $60 \text{ lb.F/ft}^2 (2.9 \text{ kPa})$ برای شخص و $150 \text{ lb.F/ft}^2 (7.2 \text{ kPa})$ برای مواد و تجهیزات نگهداری، متغیر می‌باشد.

۳-۳- نیروی باد

نیروهای ناشی از باد بر روی سطح ماشین و قطعات آن و همچنین شاسی وابسته به سرعت باد در محل نصب دستگاه می‌باشد و به طور معمول با توجه به کد و استانداردهای محلی حاکم محاسبه می‌گردد. اکثر طراحان برای محاسبه نیروی باد در طراحی شاسی از استاندارد ASCE 7 استفاده می‌کنند. روش تحلیلی ASCE 7 فشار و نیروی باد به کار برده شده در طراحی سیستم‌های مقاوم در برابر نیروی باد و لنگرگاه اجزای ماشین را فراهم می‌نماید. اکثر سیستم‌های سازه‌ای در گیر با ماشین و فونداسیون نسبتاً صلب هستند (فرکانس طبیعی آن در راستای عرضی بیشتر از 1 Hz). در نتیجه این سازه‌ها در مقابل باد صلب عمل کرده و محاسبات ساده می‌گردد. حال در صورتی که ماشین بر روی تکیه‌گاه منعطفی قرار گیرد و در معرض وزش باد باشد، فرض صلب بودن منطقی نیست و نیازمند محاسبات پیچیده‌تری می‌باشد که در استاندارد ASCE 7 برای سازه‌های منعطف توصیف گردیده است.

۳-۴- نیروی زلزله

نیروی زلزله باید در تحلیل ماشین‌هایی که در مناطق زلزله‌خیز نصب می‌گردند، لحاظ گردد. قبل از سال 2000 نیروهای زلزله با توجه به یکی از روش‌های ارائه شده در کدهای منطقه‌ای ساختمان (مانند UBC، SBC و NBC) و استانداردهایی نظیر ASCE 7 و SEAOC Blue Book تعیین می‌گردید. نشریه IBC 2000 امکان جایگزین کردن کدهای سابق با کدهایی که به صورت ملی کاربرد گسترده‌ای دارد را فراهم می‌کند. ملزومات نیروی زلزله در ASCE 7-98 و IBC 2000 الزاماً یکسان می‌باشد که هر دو بر پایه شرایط (NEHRP (FEMA 302) 1997 می‌باشند. نشریه IBC و مراجع آن شامل شرایط طراحی برای اجزای غیر سازه‌ای (از جمله ماشین‌های دینامیکی) در مقابل نیروهای زلزله می‌باشد.

۳-۵- نیروهای استاتیکی کارکرد

نیروهای استاتیکی کارکرد، شامل وزن گاز و یا سیال داخل اجزای ماشین در طول کارکرد عادی خود، گشتاور نامی اعمالی از موتور به ماشین و همچنین نیروهای ناشی از انبساط گرمایی قطعات ماشین و لوله‌های متصل به آن می‌باشد.

گشتاور نامی (گشتاور محرک) معمولاً به عنوان نیروی استاتیکی حول مرکز محور ماشین بر شاسی وارد



می‌گردد، که مقدار آن به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$T_{no} = \frac{(9550)(P_s)}{\omega} \quad [N.m]$$

که در آن T_{no} گشتاور نامی، P_s توان موتور بر حسب کیلو وات و ω سرعت دوران شفت بر حسب دور در دقیقه می‌باشد.

گشتاور استاتور ژنراتور در جهت دوران روتور وارد شاسی می‌گردد و بستگی به گشتاور راه‌اندازی و یا گشتاور اتصال کوتاه دارد. گشتاور راه‌اندازی توسط سازنده موتور مشخص می‌گردد. درحالی که گشتاور ناشی از جریان اتصال کوتاه، یک حالت خرابی و اضطراری و یا تصادفی می‌باشد که به صورت جداگانه توسط سازنده ماشین گزارش می‌گردد. به صورت معمول گشتاور حاصل از این حادثه به صورت ضربی از گشتاور نامی در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین ضریب مناسب مشاوره با سازنده موتور ضروری می‌باشد.

۳-۶- نیروهای مخصوص شاسی عمودی

برای اطمینان از مقاومت مناسب شاسی و کنترل جابجایی مجاز آن، در بعضی از استانداردهای مخصوص برای تجهیزات سنگین بر روی شاسی، شرایط بارهای استاتیکی مخصوص به شکل زیر تعریف گردیده است:

۱- نیروی عمودی معادل 50 درصد کل وزن ماشین.

۲- نیروی افقی (در راستای عرضی) معادل 25 درصد کل وزن ماشین.

۳- نیروی افقی (در راستای طولی) معادل 25 درصد کل وزن ماشین.

این نیروها اضافه بر نیروی گرانشی نرمال می‌باشند که در راستای مرکز محور ماشین وارد می‌شوند. به علاوه این نیروهای ۱، ۲ و ۳ به طور همزمان بر سازه وارد نمی‌شوند.

۳-۷- نیروهای برپایی، ساخت و تعمیر و نگهداری

نیروهای برپایی و نگهداری، نیروهای موقتی است که از تجهیزاتی نظیر جرثقیل‌ها و باربردارهای چنگکی که برای نصب و برپایی اجزای ماشین لازم است وارد شاسی می‌گردد. نیروهای برپایی باید به همراه سایر نیروهای مرده، زنده و محیطی مورد توجه سازندگان شاسی و فونداسیون قرار گیرد. نیروهای نگهداری زمانی اتفاق می‌افتد که تجهیزات تخلیه، تمیز، تعمیر و یا هم‌تراز گردند و یا اجزای از ماشین برداشته و یا جایگزین گردند. این نیروها ممکن است ناشی از تجهیزات تعمیر، جرثقیل و



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

یا بالابر زنجیری باشد. نیروهای باد و زلزله معمولاً به همراه نیروهای نگهداری وارد سازه نمی‌گردد (چراکه فقط در یک بازه زمانی نسبتاً کوتاهی اتفاق می‌افتند).

۳-۸- نیروهای ناشی از تغییرات دما

تغییر دمای ماشین و شاسی آن، باعث انبساط و انقباض و اعوجاج قطعات می‌گردد که منجر به کشیده شدن برخی از قطعات بر روی تکیه‌گاه می‌شود. اندازه نیروی اصطکاکی حاصل بسته به میزان تغییرات دما، محل قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و همچنین شرایط سطح تکیه‌گاه‌ها متغیر می‌باشد. محاسبه دقیق نیروهای گرمایی خیلی مشکل می‌باشد، چراکه به عوامل مختلفی بستگی دارد (از جمله فاصله بین نقاط مهار، میزان تغییر دما، جنس و موقعیت سطوح کشیده شده روی هم و همچنین نیروی عمودی روی هر سطح). بدون یک آنالیز دقیق، اندازه تقریبی نیروی اصطکاک به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{ضریب اصطکاک} \times \text{نیروهای اعمالی بر سطح} = \text{Force}$$

ضریب اصطکاک بین 0.2 تا 0.5 متغیر بوده و نیروهای اعمالی بر سطح شامل: نیروهای مرده، گشتاور نامی، نیروی پیچ‌های مهار و نیروی لوله‌کشی می‌باشد.

۱- نیروهای دینامیکی

۴-۱- نیروهای دینامیکی ناشی از آنبالانسی

در ماشین‌های دوار نیروی آنبالانسی زمانی اتفاق می‌افتد که مرکز جرم اجزای دوار منطبق بر محور دوران نباشد. به صورت تئوری امکان بالانس دقیق تمامی اجزا وجود دارد ولی در عمل این کار امکان‌پذیر نمی‌باشد و همواره یک مقدار کوچکی انحراف باقی می‌ماند. در طول کارکرد ماشین، جرم دوار خارج از مرکز، یک نیروی شعاعی متناسب با مجذور سرعت دوران تولید می‌کند. این نیروی شعاعی در طول کارکرد ماشین به دلیل شرایطی نظیر سایش، حرکت نامنظم روتور و تجمع ذرات گرد و خاک افزایش می‌یابد.

ماشین‌های دوار نیروی دینامیکی را از طریق بلبرینگ‌ها به شاسی انتقال می‌دهد. نیروهای وارده بر بلبرینگ‌ها تابع سطح و توزیع محوری آنبالانسی، شکل هندسی روتور و بلبرینگ‌های آن، سرعت دوران و مشخصات دینامیکی جزئی سیستم موتور- بلبرینگ می‌باشد. در سرعت بحرانی و نزدیک به آن نیروی آنبالانسی می‌تواند چندین برابر شود (بعضی مواقع حدود ۵ برابر یا بیشتر). با فرض صلب بودن محور نیروی آنبالانسی به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$F_{ub} = \Omega^2 \cdot U$$



که در آن U آنبالانسی می باشد و واحد آن $[kg.m]$ می باشد. استانداردهای بالانس مختلفی وجود دارد که می توان به کار برد. استاندارد ISO 1940 درجات مختلفی را برای مقدار مجاز باقیمانده آنبالانسی (G) ارائه می دهد. معمولاً $G=2.5$ و $G=6.3$ به کار برده می شود. بر طبق ISO 1940، $G=6.3$ برای پروانه های پمپ، فن ها، فلاپویل ها و قطعاتی که برای نیازهای مخصوصی است، به کار می رود. در حالی که اندازه محدودتر $G=2.5$ برای توربین های گاز و بخار، توربو-کمپرسورها، پمپ های با سرعت بالا و غیره کاربرد دارد. این کلاس بندی پیشنهاد می کند که به صورت کلی برای توربوماشین ها $G=6.3$ و برای برای توربوماشین های حساس و پیچیده $G=2.5$ به کار گرفته شود. آنبالانسی به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$U = (G \times \text{Mass} \times 10^{-3}) / \Omega \quad [kg.m] \quad ("Mass" \text{ in } [kg])$$

$$U = (G \times \text{Mass} \times 0.6299) / \Omega \quad [oz.in] \quad ("Mass" \text{ in } [lb])$$

استاندارد API 610 ویرایش یازدهم، مقدار $G=2.5$ را برای بالانس اجزای دوار به کار برده است. همچنین مشخص کرده که در شرایط ویژه و مشخص شده، بالانس اجزای دوار باید با درجه $G=1$ که تقریباً معادل فرمول زیر است انجام گیرد:

$$U = 6350 \times W / (N \times 10^{-6}) \quad [kg.m] \quad ("Mass" \text{ in } [kg])$$

$$U = 4 \times W / N \quad [oz.in] \quad ("Mass" \text{ in } [lb])$$

در این فرمول W وزن اجزای دوار بر حسب kg و N سرعت دوران بر حسب دور بر دقیقه می باشد. این فرمول ترانس آنبالانسی در واحد USC می باشد. درحالی که در استانداردهای بین المللی، آنبالانسی با درجه کیفیت بالانس استاندارد ISO 1940-1 مشخص می گردد. با استفاده از دستگاه های بالانس پیشرفته، امکان بالانس اجزای دوار با $4W/N$ و یا حتی پایین تر با توجه به وزن مجموعه وجود دارد. با این وجود، خروج از مرکزیت (e) با درجه کمتر از $G=2.5$ به قدری کوچک است (حدوداً $e=0.000070$ در دور 3600 rpm) که امکان باقی ماندن آن بعد از دیمونتاژ و مونتاژ دوباره وجود ندارد. بنابراین درجه کمتر از $G=2.5$ قابل تکرار برای اجزا نیست.

۱- شبیه سازی و تحلیل تنشها

در این پژوهش ابتدا نیروهای وارده بر شاسی پمپ دو مکشه عمودی محاسبه گردیده (شکل ۱)، سپس توسط نرم افزارهای CATIA و ANSYS به تحلیل تنش ها پرداخته شده که نتایج حاصل در سه بخش تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی و تحلیل تنش در پیچ ها آورده شده است. در نهایت با توجه به تحلیل های مربوطه، ضرایب اطمینان طراحی محاسبه گردیده و مقاومت مدل

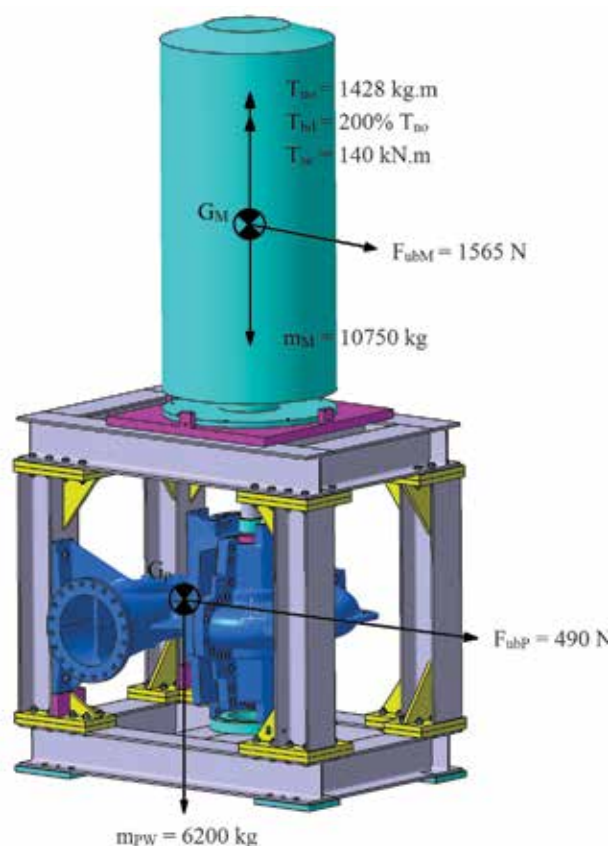


سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۲۸

تأیید گردیده است. در طراحی این شاسی، تیر I شکل 300 به کار گرفته شده است. وزن پمپ 5400 kg و وزن آب داخل آن 800 kg می باشد. مشخصات موتور شامل توان 1450 kw، سرعت دوران 988 rpm، وزن 10750 kg و گشتاور نامی 1428 kg.m می باشد. گشتاور بیشینه موتور 2 برابر گشتاور نامی و گشتاور اتصال کوتاه 10 برابر آن در نظر گرفته شده است. همچنین تنش تسلیم تیر 250 Mpa و پیچ ها 400 Mpa می باشد.

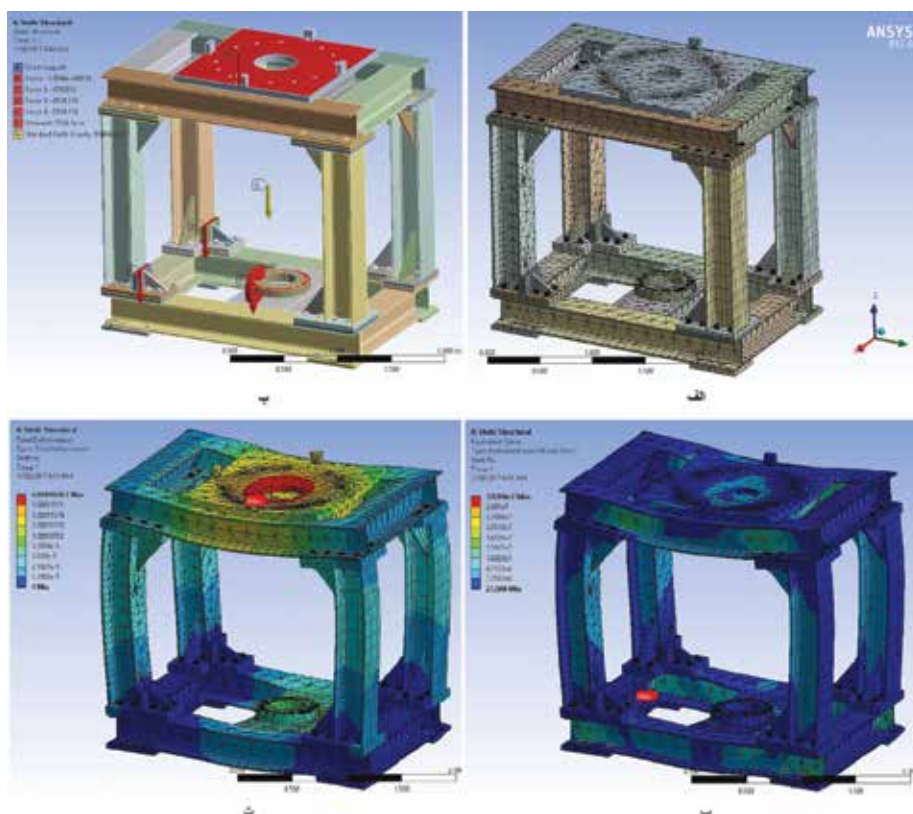


شکل ۱- مدل سه بعدی شاسی به همراه پمپ و موتور و نیروهای مؤثر در طراحی

۵-۱- تحلیل استاتیکی:

تحلیل استاتیکی با اعمال نیروهای وزن موتور، پمپ و آب و شاسی در نرم افزار ANSYS انجام گرفته شده است. که نتایج تحلیل در شکل ۲ قابل مشاهده می باشد.

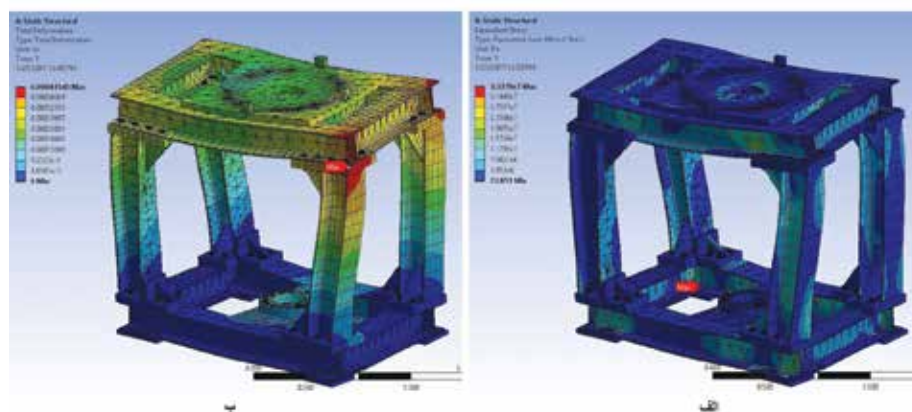




شکل ۲- تحلیل استاتیکی (الف) مش بندی سازه (ب) اعمال نیروهای وزن بر سازه
(پ) تنش های محاسبه شده در اثر نیروی وزن (ت) جایابی لاشی از نیروهای وزن

۵-۲- تحلیل دینامیکی:

تحلیل دینامیکی با اعمال نیروهای دینامیکی در نرم افزار ANSYS انجام گرفته شده است. از آنجایی که حالت اتصال کوتاه یک حالت خرابی است و به صورت لحظه ای اتفاق می افتد. تحلیل ها برای دو حالت کارکرد عادی و شرایط خرابی انجام گرفته است. نتایج تحلیل در کارکرد عادی در شکل ۳ و شرایط خرابی در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۳- تحلیل دینامیکی در کارکرد عادی (الف) تنش ها (ب) جایابی

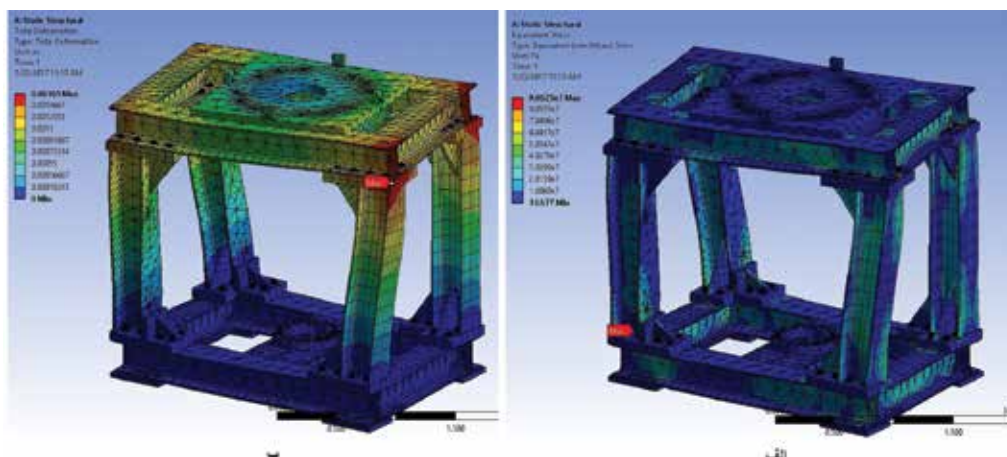


پاییز و زمستان

سال ۳۲

۱۳۹۵

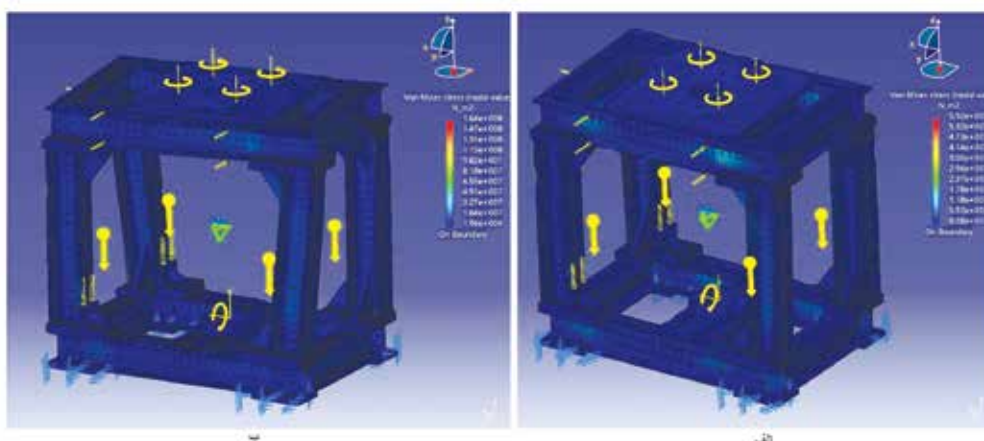
۳۰



شکل ۴- تحلیل دینامیکی در شرایط خرابی (اتصال کوتاه) (الف) تنش‌ها (ب) جابجایی

۵-۳- تحلیل تنش در پیچ‌ها

تحلیل تنش در پیچ‌ها با در نظر گرفتن نیروهای دینامیکی، در نرم افزار Catia صورت گرفته است. شکل ۵ نتایج حاصله را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تحلیل تنش‌ها در پیچ‌ها (الف) کارکرد عادی (ب) شرایط خرابی (اتصال کوتاه)

۵-۴- ضریب اطمینان

ضریب اطمینان طراحی از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$F.S = S_y / \sigma_{Max}$$

با توجه به فرمول بالا ضرایب اطمینان حاصل در بارگذاری استاتیکی ۸.۳۳، در بارگذاری دینامیکی ۷.۰۶، بارگذاری



پاییز و زمستان

سال ۳۲

پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۳۱

دینامیکی و شرایط خرابی 2.75، در پیچ‌ها در کارکرد عادی 6.75 و در حالت خرابی 2.43 می‌باشد. با توجه به این نتیجه‌ها مشخص می‌گردد که شاسی پمپ مورد نظر قابل اطمینان می‌باشد.

■ نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا نیروهای استاتیکی و دینامیکی مؤثر در طراحی شاسی به تصویر کشیده شد و ماهیت هر کدام به تفصیل بیان گردید. سپس به منظور شبیه‌سازی، یک نمونه شاسی پمپ دو مکشه عمودی مورد مطالعه قرار گرفت. و با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف نتایج حاصله نشان داده شد.



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۳۲

مراجع:

- [1] Dynamic Loading On Pumps- Causes For Vibration, by Stefan Florjancic and Arno Frei
- [2] Foundations For Dynamic Equipment, Reported by ACI Committee 351
- [3] Centrifugal Pumps for petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries, API 610 Eleventh Edition, September 2010
- [4] Mechanical vibration, International Standard ISO 1940-1, 2003

● محیط‌های مستعد انفجار

◀ مهندس بهمن ایازی
کارشناس طراحی الکتریکی



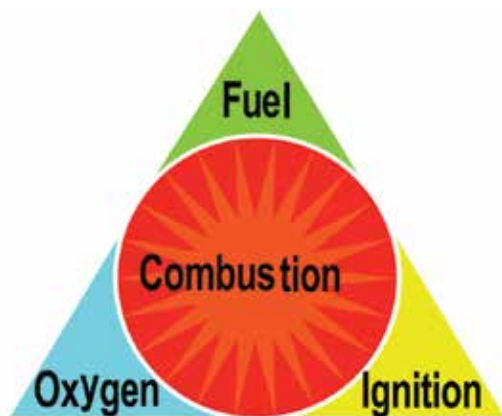
چکیده:

با وجود گازها و غبارات قابل انفجار در برخی از مراکز صنعتی از قبیل صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، داروسازی، رنگ سازی، کارخانجات سیمان، صنایع شیمیایی، خودروسازی، جایگاه های سوخت، سیلوها و معادن و استفاده از تجهیزات الکتریکی می تواند خطرات و صدمات جبران ناپذیری را ایجاد نماید. به منظور جلوگیری از این حوادث می بایست تاسیسات و دستگاه هایی که در مناطق مستعد انفجار نصب می گردند به گونه ای طراحی، تولید و نصب شوند که تمهیدات حفاظتی لازم در برابر شوک الکتریکی، جرقه و در شرایط کارکرد معمولی یا وجود عیب برای آنها اندیشیده شده باشد. به این گونه از تجهیزات اصطلاحاً تجهیزات ضد انفجار گفته می شود.



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

وجود ذرات قابل اشتعال و برخی از گازها با غلظت کافی محیط را خطرناک و آماده انفجار می‌کند. این مواد با اکسیژن هوا ترکیب شده و با بروز یک جرقه و یا افزایش دما، انفجار صورت می‌گیرد. در شکل ۱، سه عامل انفجار نشان داده شده است. بطور کلی اگر سه عامل زیر، هم زمان اتفاق افتد انفجار رخ خواهد داد :



شکل ۱- عوامل انفجار

- وجود ذرات قابل اشتعال و یا برخی از گازها با غلظت کافی در فضا
- وجود اکسیژن در فضا
- بروز جرقه و یا افزایش دما

در صورتی که یکی از عامل های فوق حذف شود خطر انفجار از بین می رود. در صنایع نفت و گاز، صنایع پتروشیمی و برخی از کارخانجات حذف مورد اول امکان پذیر نیست. در اکثر موارد نیز حذف عامل دوم ممکن نیست. لذا بهترین روش برای از بین بردن خطر انفجار حذف عامل سوم می‌باشد.

در حالت کلی دو روش برای حفاظت محیط مستعد انفجار وجود دارد:

۱) پیشگیری از وقوع انفجار

در این روش دستگاه‌ها به گونه ای طراحی می‌شوند که در شرایط کاری نرمال و بحرانی، حرارت بیش از اندازه و جرقه ایجاد نکنند و زمانی که اینکار میسر نباشد محفظه‌ها را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که جرقه و یا حرارت ایجاد شده با فضای مستعد انفجار تماس نداشته باشد.

۲) کاهش صدمات ناشی از وقوع انفجار

در این روش محفظه‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در صورت بروز انفجار داخلی، مقاومت کافی داشته باشند و مانع از انتشار زنجیره ای انفجار شوند.

گواهینامه ATEX:

گواهینامه ATEX مخصوص وسایل ضد انفجار بوده و کلیه وسایل الکتریکی و مکانیکی و تمامی محیط‌های مستعد انفجار را پوشش می‌دهد. اتحادیه اروپا مجموع قوانین و مقررات ATEX 94/9/EC را برای اخذ گواهینامه ATEX وضع کرده است. از سال ۲۰۰۳ در کشورهای عضو اتحادیه، اخذ این گواهینامه برای محصولات ضد



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۳۴

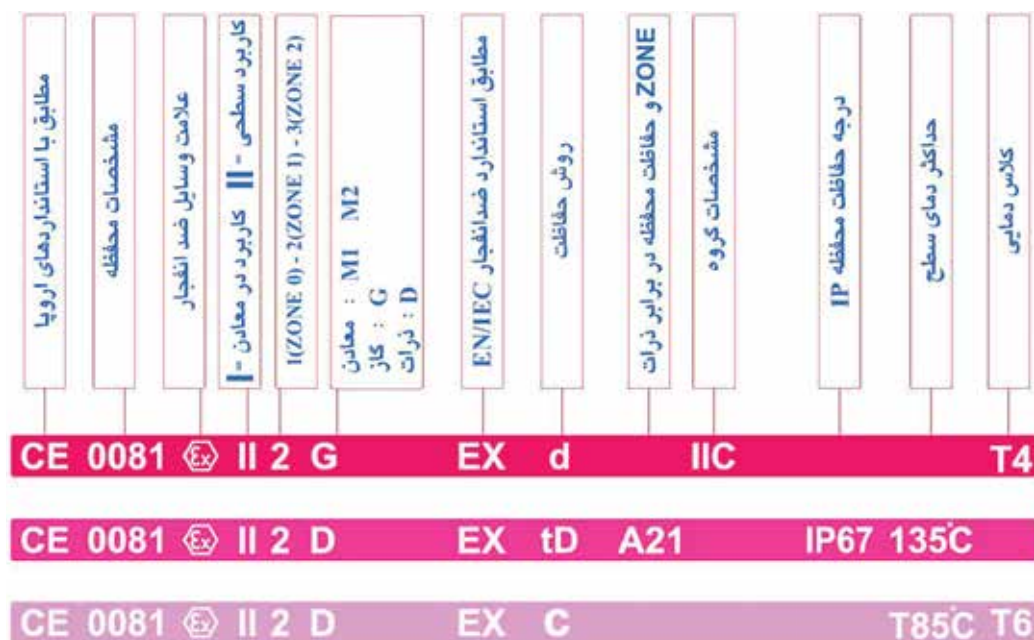
انفجار اجباری شد. گواهینامه ATEX حداقل موارد را برای ایمنی محصولات ضد انفجار در نظر گرفته است ولی تعدادی از کشورها موارد ایمنی را بالاتر از این حد در نظر می‌گیرند. برخی از استانداردهای EX از سال ۲۰۰۶ به بعد با استانداردهای مشابه جایگزین شد که این تغییرات مطابق جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱- تغییرات استاندارد های EX

EN50014 TO EN60079-0	EN50021 TO EN60079-15 <n>
EN50018 TO EN60079-1 <d>	EN50028 TO EN60079-18 <m>
EN50019 TO EN60079-7 <e>	EN500281-1-1 TO EN61241-0 & EN61241-1
EN50020 TO EN60079-11 <i>	

کدگذاری تجهیزات ضد انفجار:

در تجهیزات مورد استفاده در محیط‌های مستعد انفجار، کدی بر روی بدنه وسایل درج می‌شود که مشخص می‌کند وسیله برای چه نوع محیط ضد انفجاری کاربرد دارد. در شکل ۲ مشخصات کدینگ برای چند استاندارد پر کاربرد نشان داده شده است:



مطابق استاندارد EN 60079-1 برای وسایل الکتریکی در اتمسفر گازی
مطابق استاندارد EN 61241-1 برای وسایل الکتریکی در اتمسفر با ذرات قابل احتراق
مطابق استاندارد EN 13463-5 برای وسایل غیر الکتریکی

شکل ۲- نحوه کدینگ بر اساس استانداردهای مختلف



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

علاوه بر کد فوق سایر مشخصات نیز روی دستگاه درج می‌شود. یکی از مشخصات مهم محدوده دمایی قابل تحمل دستگاه می‌باشد که در انتخاب دستگاه با توجه به محیط کاری اهمیت دارد. معمولاً این پارامتر به شکل زیر درج می‌شود.

Ta -25 °C.....70 °C

پارامتر فوق نشان می‌دهد که دستگاه برای محیط‌هایی با حداقل دمای -25°C و حداکثر دمای 70°C مناسب می‌باشد.

طبقه بندی محیط‌های مستعد انفجار مطابق با ATEX 1999/92/EC :

به منظور انتخاب صحیح و مناسب دستگاه‌های ضد انفجار، محیط‌های مستعد انفجار به دسته‌های مختلف طبقه بندی شده است. این طبقه بندی در دو محیط زیر انجام می‌شود :

۱- محیط‌های مستعد انفجار که در فضای آن گازها و بخارات قابل اشتعال حضور دارند (Gases, Vapors or Mists).

۲- محیط‌های مستعد انفجار که در فضای آن ذرات قابل اشتعال حضور دارند (Dusts).

۱) محیط‌های ضد انفجار با فضای گازی به دو گروه تقسیم می‌شوند :

- گروه I: دستگاه‌های مورد استفاده در اتمسفر گازی و ذرات مخصوص استفاده در معادن.

طبقه بندی ZONE برای این گروه در جدول ۳ صورت گرفته است.

- گروه II: دستگاه‌های مورد استفاده در اتمسفر گازی در محیط سطحی (محیط‌های غیر معادن).

طبقه بندی ZONE برای این گروه در جدول ۲ صورت گرفته است.



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۳۶

جدول ۲- طبقه بندی ZONE برای گروه II

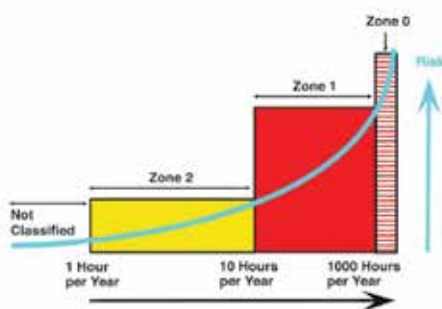
ZONE	Catogory (ATRX 94/9/EC)	توضیحات
ZONE 0	1 G	محیط غیر معدن که گازهای قابل اشتعال بطور دائم در فضای آن حضور دارند.
ZONE 1	2 G	محیط غیر معدن که گازهای قابل اشتعال بطور متناوب در فضای آن حضور دارند.
ZONE 2	3 G	محیط غیر معدن که گازهای قابل اشتعال به ندرت در فضای آن حضور دارند.

شکل ۳ مشخص کننده ZONE ها برای گازها و ذرات قابل اشتعال و شکل ۴ نحوه طبقه بندی ZONE ها بر اساس مدت زمان گاز حضور در فضا را نشان می دهند:

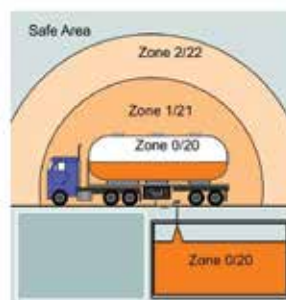


سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۳۷



شکل ۴- مدت زمان حضور گاز در فضا سال / ساعت
نمودار طبقه بندی ZONE براساس مدت زمان حضور گاز در فضا



شکل ۳- مشخص کننده ZONE های مختلف

جدول ۳ - طبقه بندی برای گروه I

Catogory (ATRX 94/9/EC)	توضیحات
M1	معدنی که گاز متان و ذرات قابل اشتعال بطور دائم در فضای آن حضور دارند.
M2	معدنی که احتمال حضور گاز متان و ذرات قابل اشتعال در فضای آن وجود دارد.

(۲) محیط‌های مستعد انفجار با اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال مطابق استاندارد
(IEC 60079-0,2007(EN60079- 0,2009) با گروه III مشخص می‌شوند.

- گروه III: دستگاه های مورد استفاده در محیط های سطحی (غیر معادن) مستعد انفجار با اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال.

طبقه بندی ZONE برای این گروه که در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴- طبقه بندی ZONE برای گروه III

ZONE	Catogory (ATRX 94/9/EC)	توضیحات
ZONE 20	1 D	محیط غیر معدن که ذرات قابل اشتعال بطور دائم در فضای آن حضور دارند.
ZONE 21	2 D	محیط غیر معدن که ذرات قابل اشتعال بطور متناوب در فضای آن حضور دارند.
ZONE 22	3 D	محیط غیر معدن که ذرات قابل اشتعال به ندرت در فضای آن حضور دارند.

کلاس حرارتی گروه های مختلف:



سال ۳۴
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۳۸

یکی از پارامترهای مهم وسایل ضد انفجار، حداکثر دمای بدنه در شرایط کاری نرمال و بحرانی است. این پارامتر باید در حدود ۱۰٪ تا ۲۰٪ کمتر از دمای اشتعال گاز یا ذرات موجود در اتمسفر محیط مستعد انفجار باشد. به کمک کلاس حرارتی وسایل ضد انفجار و شناخت نوع گاز و یا ذرات موجود در اتمسفر می توان وسیله مناسب برای محیط را انتخاب کرد.

- کلاس حرارتی گروه I: وسایل این گروه داری دو سطح دمایی هستند. یکی $T < 150^{\circ}\text{C}$ و دیگری $T < 450^{\circ}\text{C}$ که با توجه به دمای اشتعال ذرات موجود در اتمسفر یکی از این دو نوع انتخاب می شوند.

- کلاس حرارتی گروه II: روی وسایل این گروه حداکثر دمای سطح وسیله در شرایط کاری نرمال و بحرانی درج می شود. در جدول ۵ نحوه کد گذاری مشخص شده است:

جدول ۵- کد گذاری حداکثر دما

کلاس حرارتی وسیله	حداکثر دمای سطح وسیله
T1	450 °C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

گروه به سه زیر گروه IIA, IIB, IIC بر حسب نوع گاز اتمسفر تقسیم می‌شود. در جدول ۶ نوع گاز هر گروه و درجه آن درج شده است. در ستون های انتهایی جدول کلاس حرارتی وسایل ضد انفجار مشخص شده است. حداکثر دمای سطح وسیله باید در حدود ۱۰٪ تا ۲۰٪ کمتر از دمای اشتعال گاز موجود در اتمسفر باشد. نقاط سبز رنگ در جدول مشخص می کند کدام کلاس حرارتی برای گاز مورد نظر مناسب است.

جدول ۶- نوع گاز هر گروه و درجه آن

Groups		نوع گاز	دمای اشتعال (°C)	کلاس حرارتی وسیله ضد انفجار					
				T1	T2	T3	T4	T5	T6
I		methane (fredamp)							
II	A	acetone	540						
		acetic acide	485						
		ammonia	630						
		ethane	515						
		methylene chloride	556						
		methane (CH4)	537						
		carbon monoxyde	605						
		propane	470						
		n-butane	365						
		n-butyl	370						
	B	n-hexane	240						
		acetaldehyde	140						
		ethyl ether	160						
		ethyl nitrite	90						
		ethylene	425						
	C	ethyl oxyde	429-440						
		hydrogen sulfde	270						
		acetylene (C2H2)	305						
		carbon disulphide (CS2)	102						
		hydrogen (H2)	560						

• کلاس حرارتی گروه III :

در گروه III دمای بدنه دستگاه باید حداکثر ۶۶٪ دمای اشتعال ذرات معلق در اتمسفر باشد. همچنین در صورت تشکیل لایه ذرات معلق در محیط، لازم است دمای دستگاه حداکثر 75°C کمتر از دمای خود اشتعال لایه ۵ میلیمتری ذرات باشد. در جدول ۷، دمای اشتعال برخی از ذرات و دمای خود اشتعال لایه آن ذرات درج شده است.

گروه III به سه زیر گروه IIIA, IIIB, IIIC تقسیم می شوند.

(۱) گروه IIIA : دستگاه های مورد استفاده در فضای مستعد انفجار با اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال

(۲) گروه IIIB : دستگاه های مورد استفاده در فضای مستعد انفجار با اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال غیررسانا

(۳) گروه IIIC : دستگاه های مورد استفاده در فضای مستعد انفجار با اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال رسانا



جدول ۷- دمای اشتعال برخی از ذرات و دمای خود اشتعال لایه آن ذرات

ذرات قابل اشتعال	دمای اشتعال ذرات (°C)	دمای خود اشتعال لایه ذرات (°C)
Starch	440	290
Aluminum	530	280
Cotton	560	350
Cereals	420	290
Megnesium	610	410
Soybean	500	245
Sulphur	280	280
Tabacco	450	300

در جدول ۸، انواع روش های حفاظتی دستگاههای الکتریکی ضد انفجار معرفی شده است:

نوع حفاظت	Zones			توضیحات	نماد
	0	1	2		
"d" flameproof		●	●	نوع حفاظت که قسمت های جرقه زا داخل محفظه قرار می گیرند. محفظه غالباً از جنس فلز، مواد نسوز و غیر قابل انعطاف است. همچنین دارای استقامت بالا می باشد تا در صورت وقوع انفجار داخلی مقاومت کند و اجزا تشکیل دهنده آن ثابت بماند تا مانع انتشار زنجیره ای انفجار شود. همچنین دمای بدنه در شرایط کاری نرمال و بحرانی از حد مجاز تجاوز نکند حتی در صورت وقوع انفجار داخلی.	
"e" increased safety		●	●	نوع حفاظت که عایق ها، مواد تشکیل دهنده و مدارهای محافظ دارای کیفیت بالا بوده و حفاظت به حدی بالاست که قسمت های داخلی و خارجی دستگاه تحت هیچ شرایطی افزایش دما و یا جرقه تولید نمی کنند. این نوع حفاظت معمولاً متکی به مواد تشکیل دهنده و حفاظت های الکتریکی و الکترونیکی قوی می باشد.	
"e" intrinsic safety	"ia"	●	●	نوع حفاظت که توان، جریان و ولتاژ مدار در حدی پایین است که تحت هیچ شرایطی افزایش دما و یا جرقه تولید نمی کند. معمولاً این نوع حفاظت برای دستگاه های الکترونیکی با توان پایین استفاده می شود.	
	"ib"		●		
	"ic"		●		
"m" encapsulation	"ma"	●	●	نوع حفاظت که با رزین قسمت های تولید کننده جرقه و دما را از اتمسفر قابل انفجار کاملاً ایزوله می کنند	
	"mb"		●		
	"mc"		●		
"n" non sparking			●	نوع حفاظت که در آن اجزا تشکیل دهنده دستگاه هیچ جرقه و یا افزایش دمایی تولید نمی کنند.	
"o" oil immersion		●	●	نوع حفاظت که در آن دستگاه های الکتریکی در روغن غوطه ور شده از اتمسفر قابل انفجار ایزوله می شوند.	
"p" pressurised apparatus		●	●	در این نوع حفاظت گاز بی اثر با فشار بالاتر از اتمسفر محیط به داخل محفظه تزریق می شود.	
"q" powder filling		●	●	نوع حفاظت که در آن محفظه با یک ماده بصورت ریز دانه پر می شود.	



پیش

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۴۰

در ادامه جدول ۸، انواع روش‌های حفاظتی دستگاه‌های الکتریکی ضد انفجار در محیط گرد و غبار را نشان می‌دهد.

ادامه جدول ۸: انواع روش‌های حفاظتی در محیط گرد و غبار

نوع حفاظت	Zones			توضیحات	نماد
	0	1	2		
"tD"		●	●	در این روش حفاظت به کمک محفظه و کنترل دمای سطح آن، برای اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال صورت می‌گیرد. حفاظت از اشتعال ذرات بر پایه حفاظت دمایی سطح و عناصر قابل تماس با ذرات اتمسفر صورت می‌گیرد. همچنین محفظه باید در مقابل ورود گرد و غبار به داخل آن حفاظت شده باشد. این نوع حفاظت برای محیط‌های سطحی بوده و قابل استفاده در معادن نمی‌باشد.	
"mD"	"maD"	●	●	این نوع حفاظت برای اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال می‌باشد. در این روش با استفاده از رزین ذرات و لایه‌های آن را از جرقه و سطوح داغ دستگاه ایزوله می‌کنند.	
	"mbD"	●	●		
"o" oil immersion	●	●	●	این نوع حفاظت برای اتمسفر حاوی ذرات قابل اشتعال می‌باشد. در این روش دستگاه الکتریکی توان پایین دارد. چنانکه ذرات ایجاد جرقه و دمای بیش از حد نمی‌کند.	



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۴۱

در جدول ۹، حفاظت دستگاه‌های ضد انفجار غیر الکتریکی طبق استاندارد EN 13463-5 بیان شده است:

نوع حفاظت	Zones			توضیحات	نماد
	0	1	2		
"C"	●	●	●	نوع حفاظت که برای قطعات متحرک بکار می‌رود. چون در قطعات متحرک اصطکاک ممکن است باعث ایجاد گرما و یا جرقه شود (کلاچ، ترمز، بلبرینگ و....)	

در جدول ۱۰، طبقه بندی بین المللی فضای مستعد انفجار نشان داده شده است:

استاندارد		فضای مستعد انفجار		
IEC		Zone 0 (Gas, Vaspours) or 20 (Dust)	Zone 1 (Gas, Vaspours) or 21 (Dust)	Zone 2 (Gas, Vaspours) or 22 (Dust)
CENELEC				
US	NEC 505	Zone 0	Zone 1	Zone 2
	NEC 500	Division 1		Diviaion 2

در جدول ۱۱، استانداردهای وسایل ضد انفجار با توجه به نوع حفاظت نشان داده شده است.

Zone	نوع حفاظت	استانداردهای قابل استفاده				
		UL	FM	CSA	IEC	CENELEC
0	Intrinsic safety "ia"	UL 2279, Pt.11	...	CSA-E79-11	IEC 60079-11	EN 50020 (EN 60079-11)
	Classe I, Div. 1	ANSI/UL 913	FM 3610	CSA-157		
1	Encapsulation "m"	UL 2279, Pt.18	FM 3614	CSA-E79-18	IEC 60079-18	EN 60079-18 (EN 50028)
	Flameproof enclosure "d"	UL 2279, Pt.1	FM 3618	CSA-E79-1	IEC 60079-1	EN 60079-1 (EN 50018)
	Increased safety "e"	UL 2279, Pt.7	FM 3619	CSA-E79-7	IEC 60079-7	EN 60079-7 (EN 50019)
	Intrinsic safety "ib"	UL 2279, Pt.11	FM 3610	CSA-E79-11	IEC 60079-11	EN 50020 (EN 60079-11)
	Oil immersion "o"	UL 2279, Pt.6	FM 3621	CSA-E79-6	IEC 60079-6	EN 50015
	Powder filling "q"	UL 2279, Pt.5	FM 3622	CSA-E79-5	IEC 60079-5	EN 50017
	Pressurised apparatus "p"	UL 2279, Pt.2	FM 3620	CSA-E79-2	IEC 60079-2	EN 50016
2	Non-incendive "NI"	UL 2279, Pt.15	FM 3611	CSA-E79-15	IEC 60079-15	EN 50021 (EN 60079-15)
	Non-sparking device "nA"	UL 2279, Pt.15		CSA-E79-15	IEC 60079-15	EN 50021 (EN 60079-15)
	Restricted breathing "nR"	UL 2279, Pt.15		CSA-E79-15	IEC 60079-15	EN 50021 (EN 60079-15)
	Hermetically sealed "nC"	UL 2279, Pt.15		CSA-E79-15	IEC 60079-15	EN 50021 (EN 60079-15)



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۴۲

مراجع:

- [1] WWW.asconumatics.eu
- [2] WWW.siracertification.com
- [3] WWW.Givcopmany.com

● ساختمان عایقی ماشین‌های الکتریکی

◀ مهندس عیسی آزاد وار
سرپرست واحد الکتریکی



چکیده :

ساختمان ماشین‌های الکتریکی از سه دسته مواد اصلی هادی‌ها، هسته و عایق‌ها تشکیل شده است. عایق‌های الکتریکی برخلاف هادی‌ها و هسته در ماشین‌های الکتریکی، اجزاء غیر فعال محسوب می‌شوند. بدین معنا که هیچ نقشی در تولید میدان مغناطیسی و یا هدایت آن و همچنین تولید گشتاور و هدایت جریان ندارند. در عین حال نیازمندی‌های اساسی الکتریکی، حرارتی و مکانیکی را در میان اجزاء فعال در ساختمان ماشین‌های الکتریکی دوار، فراهم می‌سازند.

عایق‌های الکتریکی در میان هادی‌های مختلف حامل جریان در ولتاژهای مختلف و نیز بین شیارهایی که هادی‌ها را در خود جای می‌دهند جداسازی الکتریکی را ممکن می‌سازند. آنها با هدایت حرارت، نقش حرارتی و همچنین با نگه داشتن هادی‌ها در داخل شیارها و فراهم ساختن پوشش‌های حفاظتی، نقش مکانیکی خود را ایفا می‌کنند.



پمپیران

سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

۱- سیم پیچ و هسته ماشین های الکتریکی فشار قوی

سیم پیچ (Winding) ماشین های الکتریکی از تعدادی کلاف (Coil) تشکیل شده است که هر کلاف ممکن است از یک یا چند دور یا حلقه (Turn or Loop) ایجاد شده باشد. چنانچه سیم پیچ دارای کلاف های تک دور باشد به آن شین یا میله تک دور (Bar) می گویند. هر دور یا حلقه دارای دو هادی (Conductor) است که هر هادی، یک بازوی حلقه یا بازوی کلاف (Coil Side) محسوب می شود و در هسته قرار می گیرند. هادیها اغلب از چند رشته (Strand or Sub Conductor) تشکیل می شوند. آنها در قسمت پیشانی به هم متصل می شوند و به قسمت اتصال که خارج از هسته می باشد، اتصال پیشانی (Overhang or End-Connection) گفته می شود. در نهایت کلاف ها هنگام سربندی به یکدیگر متصل و سرسیم پیچی ها (End-Winding) را تشکیل می دهند.

شکل شماره یک شمای یک کلاف تک حلقه ای ساده را نشان می دهد که فواصل AB و DE، هادیها و یا بازوهای کلاف و قسمت BCD نیز اتصال پیشانی آن می باشد.

- هسته ماشین های الکتریکی دوار از ورقه های شیاردار تشکیل می شود. هدف از ورقه نمودن هسته، کاهش تلفات جریان گردابی یا تلفات فوکو می باشد.



پاییز

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۴۴



شکل ۱

- هادیها می‌توانند در یک طبقه و یا در چند طبقه در داخل شیارهای هسته جایگذاری شوند.

شکل شماره یک نیز جانمایی یک کلاف تک حلقه ای را در داخل دو شیار استاتور یک ماشین الکتریکی فشار قوی را نمایش می‌دهد.

با توجه به توان نامی، سطح ولتاژ و نوع سرویس دهی ماشین های الکتریکی، نحوه سیم پیچی و ساختار هسته آنها متفاوت است که در اینجا به آنها پرداخته نمی‌شود.

۲- انواع عایق در ساختمان ماشین های الکتریکی

عایق های الکتریکی مورد مصرف در ماشین های الکتریکی با توجه به نوع ماشین و ساختمان آنها به ویژه نوع جانمایی و ابعاد سیم‌پیچی که به عناصری از قبیل توان نامی، ولتاژ، تعداد قطب‌ها، نیازمندی‌های ناشی از حداکثر مجاز گرم شدن سیم‌پیچی، راکتانس، راندمان و هزینه وابسته است متفاوت می‌باشد.

در حالت کلی و عمومی می‌توان عایق ماشین‌های الکتریکی را به دو دسته اصلی عایق سیم پیچ و هادیها و عایق هسته و شیار تقسیم بندی نمود. عایق‌های دیگر از قبیل روکش‌های محافظ و قطعات نگهدارنده نیز عایق های کمکی و فرعی محسوب می‌شوند.

۲-۱- عایق رشته های هادی (Strand Insulations)

هادیها به منظور کاهش سطح مقطع، حذف اثر پوستی و تلفات ناشی از آن، انعطاف پذیری و همچنین کاهش تلفات گردابی از چند رشته (Strands) ساخته می‌شوند. عایق رشته‌ها می‌بایست دارای ضخامت کم به منظور کاهش فضای اشغالی، مقاومت بالا در برابر سایش و خراشیدگی و البته توانایی تحمل فشارها و تنشهای حرارتی را داشته باشند. امروزه، این ملزومات بوسیله لایه روغن یا لایه روغن های جلا دهنده مصنوعی مختلف (لعب‌ها) برآورده می‌شود.

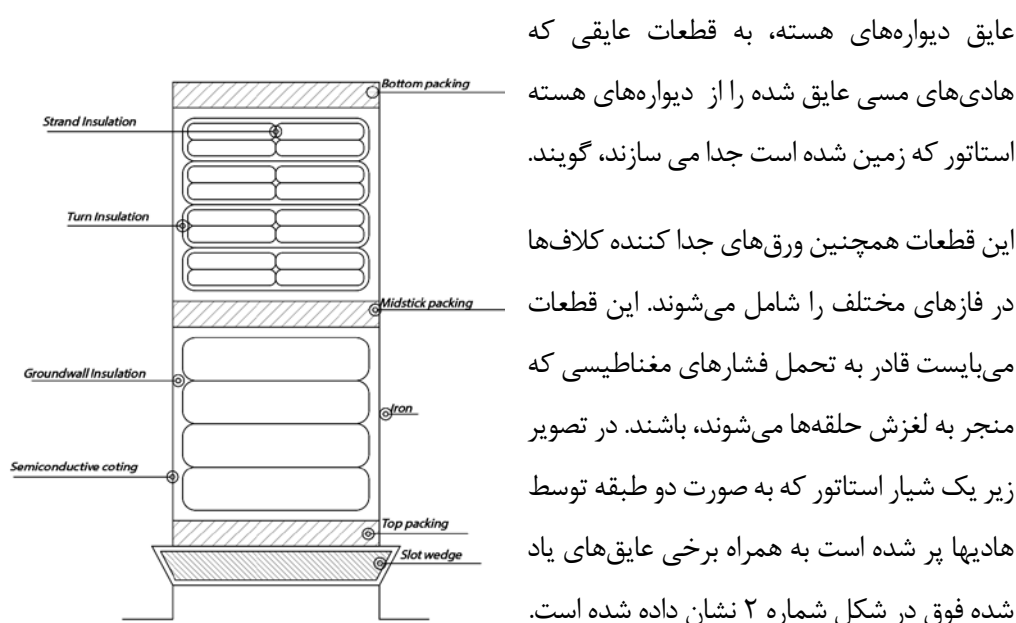
سیم‌های مستطیل شکل و گرد نیز ممکن است بوسیله لایه‌های روی هم نوارهای عایق بندی از قبیل نوارهای با الیاف شیشه و نوارهای کاغذ آمید، عایق‌بندی شوند. با این وجود، اغلب ملزومات عایق هادی‌های به کار گرفته شده در ماشین‌های الکتریکی کوچک بوسیله لعب‌ها برآورده می‌شود.



۲-۲- عایق حلقه (Turn Insulation)

عایق حلقه، مجموعه‌ای از رشته‌های هادی را پوشانده و هدف اصلی آن عایق نمودن حلقه‌ها و ممانعت از اتصال کوتاه بین آنها در هر کلاف است. این عایق‌ها باید قادر به تحمل ولتاژهای فاز با زمین، فاز به فاز و اضافه ولتاژهای گذرا و همچنین تنش های حرارتی و مکانیکی باشند.

۲-۳- عایق دیواره‌های زمین شده هسته (Groundwall Insulation)



شکل ۲

۲-۴- حفاظت در برابر تخلیه جزئی (PD Protection)

از آنجا که کلاف‌ها و میله‌ها، خارج از هسته استاتور تهیه و عایق‌بندی می‌شوند، هنگام جانمایی در هسته می‌بایست نازکتر از شیارهای هسته باشند و به همین منظور ایجاد فاصله‌های هوایی بین شیارها و سطح کلاف‌ها یا میله‌ها اجتناب ناپذیر است. از طرفی در طول پروسه ساخت کلاف‌ها و میله‌های ماشین‌های الکتریکی در سطوح ولتاژ بالای چهار کیلوولت ممکن است فضاهای خالی در سطح آنها ایجاد شده باشد. فواصل هوایی زمینه



پاییز و زمستان
سال ۳۲
۱۳۹۵

پدیده تخلیه جزیی در اثر اضافه ولتاژها را در سطح کلافها و یا میان کلافها و دیواره شیارها فراهم می‌سازد. این پدیده در ماشین‌های الکتریکی، در محاوره به طور نادرست، پدیده کرونا تلقی می‌شود. تنش‌های الکتریکی می‌توانند هوای موجود در فواصل هوایی را شکسته و منجر به تولید جرقه شود. جرقه‌ها سرانجام موجب ساییده شدن و حتی ایجاد حفره در عایق و یا دیواره هسته می‌شوند.

به منظور جلوگیری از این پدیده، عایقی نیاز است تا فاصله‌های هوایی میان کلافها و دیواره‌های هسته را حذف و مانع از پدیده تخلیه جزیی و در نتیجه ایجاد خطا در سیستم ماشین الکتریکی شود. جهت حذف پدیده تخلیه جزیی در سطح کلافها و میله‌ها از روکش‌های عایق اضافی استفاده می‌شود. همچنین سازندگان از پوشش‌های نیمه هادی در فاصله بین کلافها و دیواره شیارها استفاده می‌کنند. این پوشش معمولاً از جنس کربن سیاه می‌باشد که با مقاومت اهمی کافی در تماس با شیار و هسته پتانسیل زمین را خواهد داشت. به این ترتیب ولتاژ دو سر فواصل هوایی صفر بوده و تخلیه جزیی نخواهیم داشت. پدیده تخلیه جزیی در فواصل هوایی بین شیار و کلافها در ماشین‌های الکتریکی بالاتر از شش کیلوولت رخ می‌دهد.

پوشش نیمه هادی مابین کلافها و شیارها، معمولاً حدود چند سانتیمتر از دو لبه انتهایی شیارها را نیز پوشش می‌دهند. همچنین روکش سطح کلافها و میله‌ها نیز تا حدود زیادی، نزدیکی اتصالات انتهایی را پوشش می‌دهند. اما به هر ترتیب حفاظت نقاط اتصال سر سیم پیچ‌ها را فراهم نمی‌سازند. از آنجا که عایق‌های این نقاط نیز در معرض فواصل هوایی قرار دارند، و همچنین از طرفی یکنواخت نمودن میدان الکتریکی در خارج از فضای هسته و شیارها از دیگر مسائل ماشین‌های الکتریکی است، می‌بایست پوششی را برای حذف فواصل هوایی و یکنواخت نمودن میدان در سر سیم پیچ‌ها در نظر گرفت. این نیازمندی‌ها با بکارگیری نوار کاربید سیلیکون در اتصال سرسیم پیچ‌ها برآورده شده است. کاربید سیلیکون دارای مشخصه‌ای است که با افزایش تنش‌های الکتریکی مقاومت آن کاهش می‌یابد، بدین معنا که با اهمیت نمی‌باشد. این خاصیت مقاومت متغیر موجب هادی شدن آن هنگام اضافه ولتاژ و هدایت آن به هسته زمین شده استاتور و همچنین عدم انتقال سایر شرایط نامی به هسته و عایق‌های آن در حالت کار عادی ماشین می‌شود. با حذف اضافه ولتاژها، امکان آسیب سیستم عایقی در سرسیم پیچ‌ها در اثر تخلیه جزیی نیز حداقل می‌شود.



۲-۵- نگهدارنده مکانیکی در شیار (Mechanical Support in the Slot)

کلاف‌ها و میله‌ها در شرایط کار عادی موتورها و ژنراتورها در معرض فشارهای مغناطیسی قرار دارند. همچنین در صورت وقوع خطایی در ماشین برای مثال یک خطای فاز به فاز، جریان گذرای خطا ممکن است به چندین برابر جریان در شرایط عادی برسد که نیروهای مغناطیسی بسیار قویتری نسبت به شرایط کار نرمال ایجاد خواهد کرد. کلاف‌ها می‌بایست در برابر حرکات ناشی از نیروهای مکانیکی در شرایط کار عادی و یا حالت گذرا مقاوم باشند در غیر این صورت هر گونه حرکت و لغزشی در کلاف‌ها ممکن است به عایق‌ها آسیب‌های جدی وارد نماید. ضمن تامین خواص مکانیکی و حرارتی مورد نیاز، حجم سیستم عایق کاری شیار باید در مینیمم مقدار ممکن نگهداشته شود تا حجم ماده هادی فعال و موثر در شیار بتواند ماکزیمم شود.

در شیارهای استاتور روش‌ها و قطعات عایقی مختلفی جهت مهار کلاف‌ها به کار می‌روند. همانگونه که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، هر دو شیار تا آنجایی که ممکن بوده است توسط هادیها و مواد عایقی پر شده و سپس توسط یک گوه (چوب شیار) غیر هادی و غیر مغناطیسی بسته شده‌اند. پر کردن شیارها توسط گوه تا حد بسیار زیادی از شل‌شدگی و لغزش هادیها و کلاف‌ها جلوگیری می‌کند. گوه‌ها با اشکال هندسی مختلف در لبه‌ها، متناسب با شیارهای ماشین طراحی می‌شوند و همانطور که در شکل مشاهده می‌شود ممکن است از دو تکه گوه مجزا نیز استفاده شود. همچنین قطعات عایقی دیگری در عمق و کناره و یا فضاهای اضافی و خالی دیگر شیار جهت کمک به مهار کلاف‌ها استفاده می‌شوند. همانگونه که قبلا بیان شد این پرکننده‌های فضاهای خالی می‌تواند کربن سیاه نیز باشد.

یکی دیگر از دغدغه‌ها در داخل شیارها، انقباض مواد داخل شیارها در طول عملکرد ماشین و در نتیجه ایجاد فضاهای خالی جهت لغزش کلاف‌ها است که این مسئله نیز با روکش کلاف‌ها و میله‌ها با سیلیکون رابر که خاصیت منبسط شوندگی دارد حل شده است.

بکارگیری مواد عایقی لوله‌ای شکل توخالی در عمق شیار و چسباندن کلاف‌ها و میله‌ها (معمولا توسط وارنیش‌ها) در داخل شیار از دیگر روشهای مهار کلاف‌ها در داخل شیارها می‌باشند.

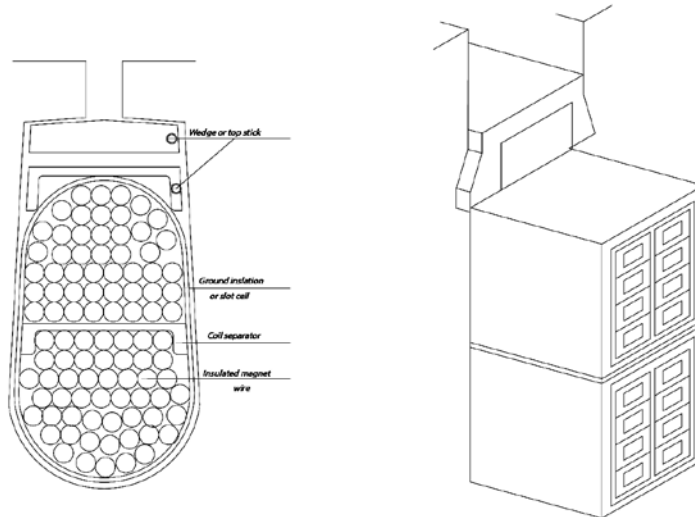


پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۴۸



شکل ۳

۲-۶- نگهدارنده مکانیکی در سرسیم پیچ ها (Mechanical Support in the End-Winding)

هدف سرسیم پیچ ها تامین اتصال الکتریکی مطمئن میان کلاف ها است. این اتصالات می بایست نسبت به هسته زمین شده بسیار مناسب عایق شوند. در ماشین های الکتریکی با ولتاژهای بالا، فاصله خزشی طولانی تری بین اتصالات سرسیم پیچ و هسته وجود دارد و همچنین ماشین های الکتریکی سرعت بالا دارای سرسیم پیچ ها با طول زیاد می باشند. سرسیم پیچ ها می بایست در برابر لغزش ها و حرکات احتمالی مهار شوند. برای این منظور روش های مختلفی موجود است.

یکی از روش ها، چسباندن سرسیم های هر کلاف توسط نوعی چسب و یا استفاده از طناب های مهار می باشد. در ماشین های الکتریکی بزرگتر از نوعی تسمه های مهار یا نگهدارنده استفاده می شود. این تسمه ها از جنس استیل عایق شده با صفحات پلی استر یا اپوکسی گلاس یا فایبرگلاس می باشند.

۲-۷- عایق ترانسپوز (Transposition Insulation)

در استاتور بعضی ماشین های الکتریکی با کلاف های چند حلقه ای، هادیها ممکن است جابجایی داخلی داشته باشند. از آنجا که شار مغناطیسی در سمت رتور بیشتر از قسمت های دیگر است معمولاً رشته ها را همواره در این موقعیت قرار نمی دهند. در اطراف جابه جایی هادیها، یک نوار عایقی اضافی استفاده می شود که به آنها عایق ترانسپوز گویند.

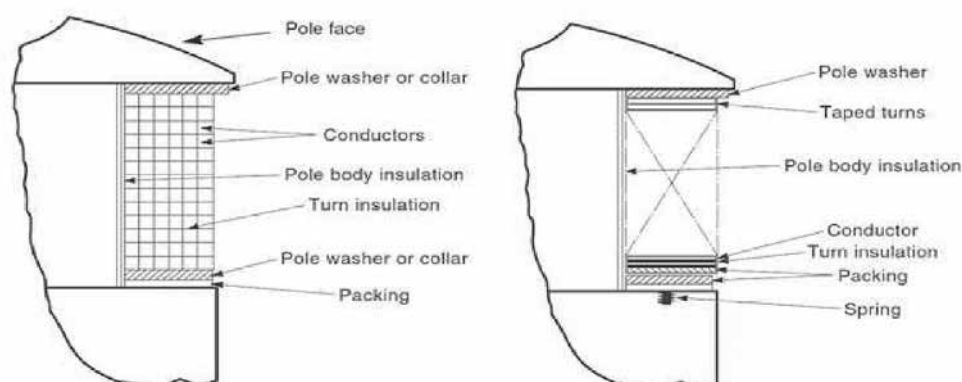


۸-۲- سیستم عایق بندی رتور ماشین های الکتریکی

سیم پیچی رتور ماشین های سنکرون دارای قطعات عایقی حلقه (حلقه با حلقه و حلقه با زمین) و شیار می باشند. سیم پیچی رتور این ماشین ها تحت ولتاژ DC می باشند که در نتیجه آن عایق حلقه ها نازک بوده و از طرفی به دلیل عدم وجود اثر پوستی در رشته های هادیها، عایق رشته ها نیاز نمی باشد. از طرفی تغذیه DC با سیستم تحریک استاتیک منجر به ایجاد تنش های اضافی در رتور شده که تخلیه جزیی در فواصل سیم پیچ رتور را ممکن می سازد.

تنش های حرارتی و نیروهای گریز از مرکز از دیگر مواردی است که سیستم عایقی رتور ماشین های الکتریکی را تهدید می کند. قطعات عایقی در رتور می بایست دارای استحکام مکانیکی بالا و سیستم نگهدارنده های مناسب جهت مهار هادیها در برابر فشارهای مکانیکی ناشی از میدان های مغناطیسی و به ویژه نیروهای چرخشی گریز از مرکز باشند. از دیگر تنش هایی که سیستم عایقی رتورها در معرض آن قرار دارند، فشارهای مکانیکی یا به عبارت بهتر ترمو مکانیکی در هنگام راه اندازی و خاموش نمودن ماشین های الکتریکی است. با تحریک سیم پیچ رتور، جاری شدن جریان الکتریکی در هادیها منجر به ایجاد حرارت و حرکت محوری آنها شده که امکان آسیب به قطعات عایقی را فراهم می سازد. برای این منظور معمولاً از پوشش های لغزنده در عایق های شیار رتور استفاده می شود تا در مقابل خراشیدگی ناشی از تنش مذکور مقاوم باشند.

هیدروژن رتورها و موتورهای چهار قطبه یا بیشتر از آن دارای سیم پیچ های رتور قطب برجسته می باشند. دو نوع طراحی رتور قطب برجسته وجود دارد. در یک طرح سیم ها به دور قطب ها پیچیده می شوند و در ماشین های الکتریکی با ظرفیت پایین رایج می باشد. در نوع دیگر، یک نوار نازک مسی



شکل ۴



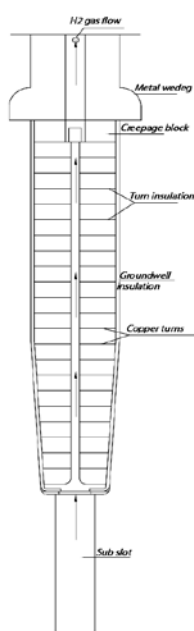
مجله
مهندسی
الکتریکی

سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵

به صورت قالبی روی قطب جای می‌گیرد و ورق‌های عایقی جداکننده مانند عایق حلقه، هر قالب مسی را نسبت به دیگری عایق می‌کند. در هر دو طرح از واشر و طوقه‌هایی جهت عایق سیم پیچ با بدنه رتور استفاده می‌شود. شکل ۴ در زیر قطب هر دو طرح را به همراه سیم پیچ و عایق‌های آن نمایش می‌دهد.

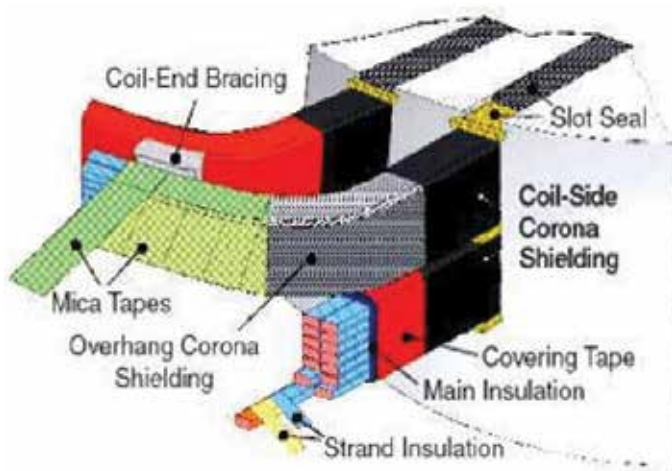
رتورهای استوانه‌ای معمولاً در توربوژنراتورهای دو و چهار قطبه رایج است. سطح رتور دارای شیارهای محوری است که در هر شیار حدود ۵ تا ۱۰ حلقه مسی که تشکیل یک کلاف را می‌دهد قرار می‌گیرد. حلقه‌ها به جای اینکه توسط نوارها یا فیلم‌های عایق، عایق بندی شوند توسط

قطعات عایق از هم جدا می‌شوند. کلاف‌ها توسط گوه در داخل شیارها نگه داشته می‌شوند. مسیرهایی نیز برای عبور هوا و یا گازهای خنک کننده در حلقه‌ها و گوه‌ها تعبیه می‌شود. تصویر زیر شیار یک رتور استوانه‌ای را به همراه جانمایی حلقه‌ها و عایق‌های آن در شکل شماره ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵

تصویر زیر بخش‌هایی از انواع عایق مورد مصرف و محل بکارگیری آنها در ساختمان یک ماشین الکتریکی فشار قوی را در شکل شماره ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶



۳- پیری سیستم عایقکاری

تغییرات نامطلوبی که در ساختار فیزیکی و شیمیایی سیستم عایق کاری در اثر تنش‌های ایجاد شده در طی سرویس دهی ایجاد می‌شود را پدیده پیری در این سیستم گویند.

انواع تنش‌های الکتریکی را **Team Factors** می‌نامند که حروف آن بیان کننده تنش‌های ذیل می‌باشد:

T: حرارتی (Temperature)

E: الکتریکی (Electrical)

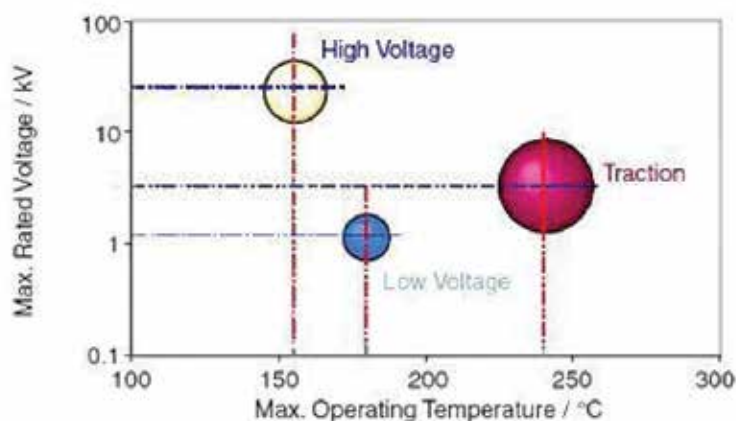
A: محیطی (Ambient)

M: مکانیکی (Mechanical)

موتورها و ژنراتورها با توجه به نوع تغذیه و شرایط سرویس دهی به چهار دسته ذیل تقسیم می‌شوند که تنش‌های ایجاد شده بر روی آنها متفاوت می‌باشد.

- موتورها و ژنراتورهای فشار ضعیف
- موتورها و ژنراتورهای فشار قوی
- موتورهای تراکشن
- موتورهای تغذیه شده توسط مبدل‌های فرکانس یا تجهیزات الکترونیک قدرت

شکل شماره ۷ شرایط کاری سیستم عایقی ماشین‌های الکتریکی یادشده را نشان می‌دهد که در آن اندازه دایره، بیانگر تنش‌های مکانیکی است.



شکل ۷



سپهر

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۵۲

۳-۱- تنش های الکتریکی

کلید زنی، رعد و برق و سوئیچینگ از عوامل تنشهای الکتریکی می باشند. این تنش ها همانطور که بیشتر عنوان شد منجر به شکل گیری پدیده تخلیه جزئی در سیستم عایقی می شوند.

۳-۲- تنش های حرارتی - مکانیکی

سیستم عایق کاری سیم پیچ های جریان متناوب به گونه ای طراحی می شود که در یک ولتاژ و دمای مشخص حداقل برای طول عمر تعریف شده تجهیز استقامت و پایداری الکتریکی و مکانیکی و ابعادی خود را حفظ کند.

در استانداردهای بین المللی کلاس های مختلف سیستم های عایقی الکتریکی توصیف گردیده است. این توصیف بر پایه ماکزیمم دمایی که این سیستم می تواند بصورت مداوم کار کند و نیز تحمل ولتاژ نامی سیستم را داشته باشد. رایج ترین کلاسهای عایقی در ماشین های الکتریکی H و F و B و A می باشند که به صورت ۱۰۵ و ۱۳۰ و ۱۵۵ و ۱۸۰ نیز ارائه می گردند. اعداد ذکر شده مشخص کننده دمای نقطه داغ طراحی شده برای سیم پیچی بر حسب درجه سلسیوس می باشد.

معمولا شرایط کار سیستم های عایق کاری، یک کلاس حرارتی پایین تر از کلاس حرارتی نامی می باشد به عنوان مثال یک موتور الکتریکی مورد استفاده قرار B برای کلاس حرارتی F با کلاس حرارتی می گیرد.

با توجه به موضوع فوق معمولا تنش حرارتی در شرایط نرمال کار نقش کمی در ایجاد پیری ناشی از تنش های حرارتی ایجاد می نماید. در موارد خاص همچون موتورهای مورد استفاده در مته ها و دریل ها، راه آهن و ژنراتورهای هواپیما ممکن است در دمای بیش از ۲۰۰ درجه سانتی گراد و حتی ۳۰۰ درجه کار کند.

تنش های حرارتی- مکانیکی در سیستم های عایق کاری در اثر اختلاف دما در نواحی مختلف و یا متفاوت بودن ضرایب انبساط حرارتی مواد مختلف در سیستم عایق کاری حادث می گردد. بنابراین می بایست در طراحی سیستم عایق کاری، ترکیب مواد به کار گرفته شده با توجه به ضرایب انبساط حرارتی در نظر گرفته شود.



کلاس حرارتی	دماي مجاز (درجه سانتیگراد)	مواد عایقی
Y	90	کاغذ خشک، پنبه یا ابریشم، ترکیب اوره و فرمالدئید، کائوچوی طبیعی محکم و مواد مختلف ترموپلاستیک که نقاط نرم شدگی مشخصی دارند
A	105	کاغذ، پنبه یا ابریشم آغشته به روغن یا اندود شده با روغن جلا، یا ورقهای لایه لایه ای که با خشک کردن طبیعی روغن ها و صمغ ها یا فنل فرمالدئید روی هم قرار داده شده اند، الیاف سلولزی که به نمک اتری تبدیل شده اند، پلی آمیدها و روغنهای آلی مختلف
E	120	فنل فرمالدئید و ملامین فرمالدئید که قالب بندی شده و به صورت لایه لایه همراه با مواد سلولزی روی هم قرار داده می شوند، ترکیب پلی وینیل، پلی اورتان، صمغها و روغنهای اپوکسی، تری استات سلولز، تری فنال پلی اتیلن، روغن تبدیل شده به الکید
B	130	مواد نرم و انحنای پذیر معدنی (از قبیل میکا، ترکیبات و الیاف سنگ معدن یا شیشه)، که با صمغ های آلی مناسب: فیر مخصوص لاک، الکید، اپوکسی، فنل یا ملامین فرمالدئید آمیخته شده و استحکام یافته اند.
F	155	مشابه کلاس B اما صمغ های ارانه شده برای این کلاس عبارتند از: الکید، اپوکسی، سیلیکون-الکید
H	180	مشابه کلاس B اما با صمغ های سیلیکون، کائوچوی سیلیکون.
C	180≥	میکا، سنگ معدن، سرامیک، شیشه (به تنهایی یا با جسیها یا صمغ های سیلیکون معدنی)، پلی آمیدها و پلی تترافلور و اتیلن



پس

سال ۳۲
پاییز و زمستان

۱۳۹۵

۵۴

۳-۳- تنش های محیطی

موارد ذیل می توانند عوامل ایجاد تنش های محیطی در ماشین های الکتریکی باشند:

- رطوبت محیط
- دمای محیط (تغییرات دمای محیط- هوای خیلی سرد)
- مواد محیط (موادساینده- بخارهای اسیدی و خورنده در محیط)

شرایط نامناسب محیطی تا حدی توسط ایزوله کردن ماشین الکتریکی از محیط اطراف قابل جلوگیری می باشد.

۳-۴- تنش‌های مکانیکی

ارتعاشات، شوک‌های مکانیکی ناشی از جریان‌های اتصال کوتاه و نیروهای سانتریفیوژ در روتور از جمله تنش‌های مکانیکی ماشین‌های الکتریکی گردان می‌باشند. اتصالات پیشانی و سرسیم پیچی‌ها نیز در معرض تنش‌های مختلف مکانیکی قرار دارند که با استفاده از بستن اتصال پیشانی سیم پیچ‌های استاتور به رینگ نگهدارنده و تزریق رزین به این ناحیه از اثرات نامطلوب تنش‌های مکانیکی جلوگیری می‌شود.



سال ۳۲
پاییز و زمستان
۱۳۹۵



مراجع:

- [۱] ماشین‌های الکتریکی (تئوری، عملکرد و کاربردها) پرفسور بیم بهارا
- [۲] ماشین الکتریکی ترجمه دکتر لسانی و دکتر سلطانی



شرکت صنایع پمپیران
«سهامی خاص»

فرم تقاضای خرید کتاب

اینجانب جهت دریافت کتابهای مشروحه ذیل طی فیش نقدی / حواله بانکی
شماره مبلغ ریال را به حساب جام ۶۹۰۵۹۲۶/۰۵ بانک ملت شعبه تبریز
(کد ۱۳۴۲/۵) در وجه شرکت پمپیران واریز نموده ام و ضمن ارسال اصل فیش تقاضای دریافت
نسخه کتاب پمپهای گریز از مرکز و پمپاژ و نسخه کتاب «ضربت قوچی آب» را دارم.
خواهشمندم این کتابها را به نشانی: استان
شهر
کد پستی ارسال فرمائید.

■ پمپهای گریز از مرکز: ۱۲۰۰۰ ریال

■ ضربت قوچی آب: ۱۲۰۰۰ ریال

■ هزینه پست سفارشی: ۲۰۰۰۰ ریال جمع قیمت: ریال

امضاء

تاریخ

آدرس نشریه: تبریز، قراملک، صندوق پستی ۱۳۵-۵۱۸۴۵، کد پستی ۵۱۹۳۶۱۳۱۱
شرکت صنایع پمپیران، امور مهندسی، واحد نشریه پمپ، فاکس مهندسی: ۳۲۸۸۸۳۵۳

فرم اشتراک نشریه پمپ

شماره اشتراک
.....

توجه:

- بهاء هر جلد نشریه پمپ ۱۲۰۰۰ ریال می باشد.
- آیا مایل به اشتراک هستید؟
بله ☐ خیر ☐
- هزینه اشتراک (برای ۴ شماره بعدی) ۴۸۰۰۰ ریال می باشد.
- جهت تمدید ارسال نشریه حتما شماره اشتراک خود را (که قبلا از طرف نشریه اعلام شده) ذکر نمائید.

■ مشخصات مشترک:

☐ فردی ☐ سازمان / اداره ☐ جدید ☐ تمدیدی

سازمان / اداره بخش / قسمت

نام نام خانوادگی شغل

■ نشانی دقیق پستی:

استان شهر

کد پستی صندوق پستی

تلفن نمابر

اینجانب جهت دریافت نشریه پمپ طی فیش نقدی / حواله بانکی
شماره مبلغ ریال را به حساب جام
۶۹۰۵۹۲۶/۰۵ بانک ملت شعبه تبریز (کد ۱۳۴۲/۵) در وجه شرکت پمپیران واریز نمودم و
ضمن ارسال اصل فیش مایل به دریافت
☐ شماره های قبلی (لطفا مشخص نمایید).....
☐ یک جلد ویژه نامه
☐ ۴ شماره بعدی، جمعا به تعداد جلد می باشم.

امضاء

تاریخ

■ آدرس نشریه:

تبریز، قراملک، صندوق پستی ۱۳۵-۵۱۸۴۵، کد پستی ۵۱۹۳۶۱۳۱۱
شرکت صنایع پمپیران، امور مهندسی، واحد نشریه پمپ، فاکس مهندسی: ۳۲۸۸۸۳۵۳

آب، نفت، انرژی

دفتر مرکزی: تهران خیابان ولی عصر، نبش میرداماد، برج دوم اسکان، طبقه اول تلفن: ۸۸۶۵۴۸۱۰ (۰۲۱) نمابر: ۸۸۷۹۸۹۴۲ (۰۲۱)

کارخانه: تبریز، صندوق پستی ۵۸۱۴۵-۱۳۵ تلفن: ۹-۳۲۸۹۰۶۴۴ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۹۸۴۴۶ (۰۴۱)

دفتر بازاریابی و فروش: تبریز، تلفن: ۸-۳۲۸۹۰۷۰۷ و ۴۱۱-۳۲۸۹۰۴۱۱ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۷۲۲۳۳ (۰۴۱) E-mail: sales.pumpiran@gmail.com

مهندسی فروش: تبریز، تلفن: ۳۲۸۸۱۲۸۶ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۷۲۲۳۳ (۰۴۱) E-mail: sales_eng@pumpiran.com

دفتر امور نفت، گاز، پتروشیمی: تبریز، تلفن: ۳۲۸۹۱۴۴۸ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۸۸۳۵۳ (۰۴۱) E-mail: petro.sales@pumpiran.com

مهندسی فروش نفت، گاز، پتروشیمی: تبریز، تلفن: ۳۲۸۹۱۲۱۶ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۸۸۳۵۳ (۰۴۱)