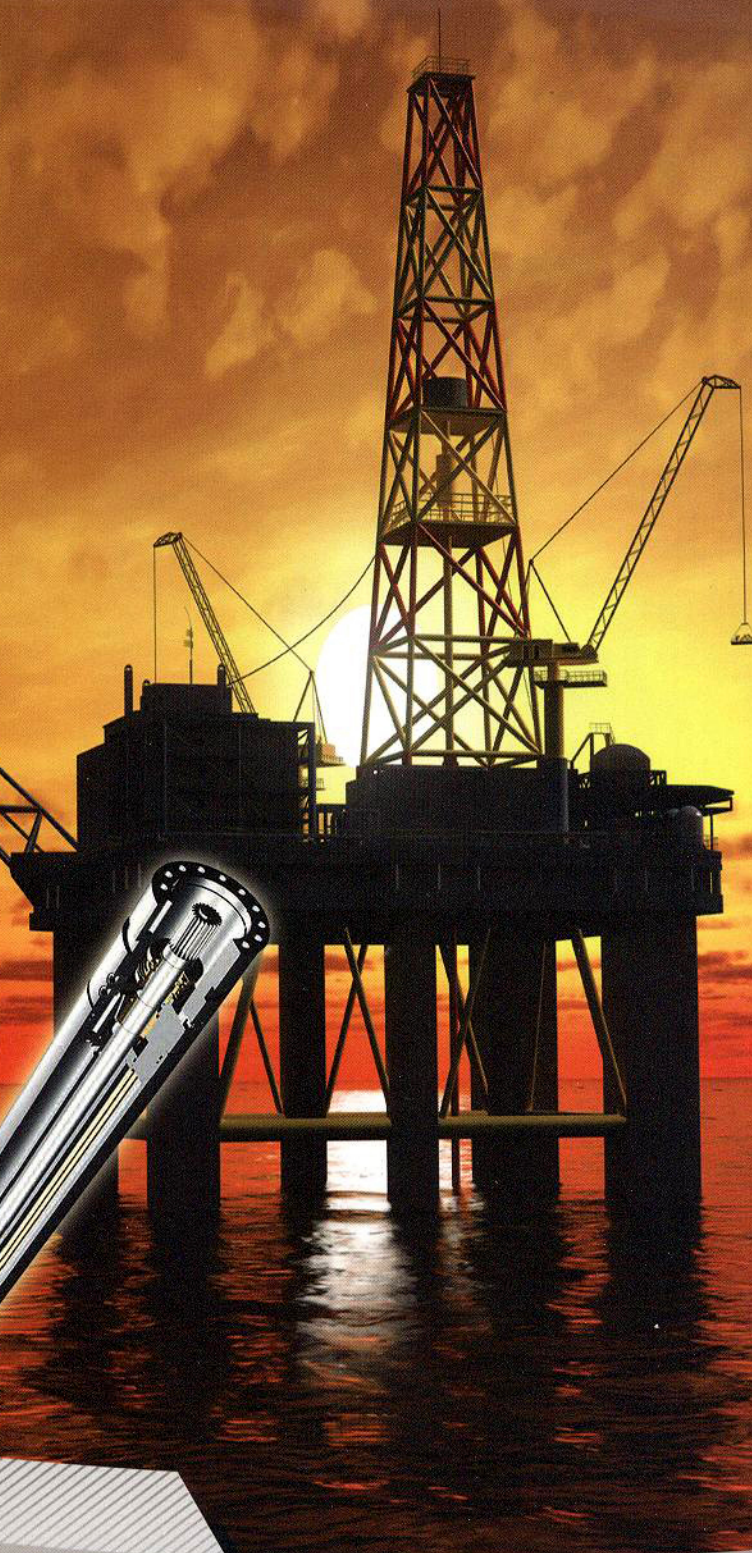


نشریه فنی آموزشی شرکت

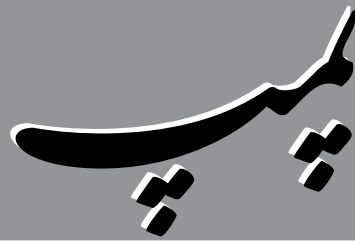
صنایع پمپیران

بهار و تابستان ۱۳۹۴ ■ شماره ۴۸ ■ سال ۳۱

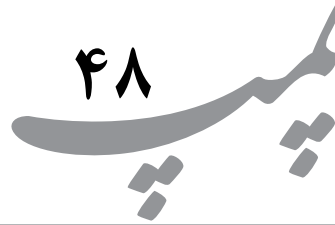
PUMPIRAN



WWW.PUMPIRAN.COM



www.pumpiran.com
info@pumpiran.com



● نشریه فنی آموزشی شرکت صنایع پمپیران
● بهار و تابستان ۱۳۹۴ ■ شماره ۴۸ ■ سال ۳۱

● صاحب امتیاز: شرکت صنایع پمپیران (سهامی خاص)
● مدیر مسئول: دکتر میر بیوک احقایی
● سردبیر: مهندس سید بهزاد مبین
● هیئت تحریریه: گروه مهندسی 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: ۰۴۱-۳۲۸۹۰۶۴۴-۳۲۸۹-۰۴۱ 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 مقاله‌های 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 هر چه 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 دقیقا مشخص و در پایان مقاله معرفی گردند.
 - ۸- مقالات ترجمه شده منظم به فتوکپی متون اصلی باشند.
 - ۹- مقالات ارسالی باید قبلا در هیچ یک از نشریات داخلی چاپ نشده باشند.
 - ۱۰- مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.
- ضمنا 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.



سنة الإنتاج





مدلسازی عددی پدیده های جریان در پمپ با پروانه چندلوله ای

مهندس بهروز جلیل پور

۶



مشخصات فنی ورق های مغناطیسی

غیر جهت دار – نورد سرد

مهندس عیسی آزادوار

۱۹



الکتروپمپ های درون چاهی (ESP) و تجهیزات مربوطه

مهندس بهمن ایازی

۲۷



تحلیل عددی نیروهای شعاعی و محوری در پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ

مهندس بهزاد نیک آور

۳۷



کنترل و حذف خوردگی در مرحله طراحی و انتخاب مواد

مهندس مهدی نقویان

۴۴

● مدلسازی عددی پدیده های جریان در پمپ با پروانه چندلوله ای

◀ مهندس بهروز جلیل پور
کارشناس آزمایشگاه



پس

سال ۳۱

بهار و تابستان

۱۳۹۴

۶

■ چکیده

پروانه چند لوله ای (MPI) یک روش کاملاً جدید برای طراحی پروانه پمپ های کاربردی با سرعت کم $n_q < 10$ می باشد. چنین ساختاری پیشرفت مفهوم یک دیسک پمپ با حفره های مته کاری شده در آن می باشد (پروانه سوراخ کاری شده). به منظور تعیین پدیده جریان در چنین پروانه ای، محاسبات عددی با محاسبه تاثیر اندازه شبکه و مدل تلاطم بر دقت و زمان محاسبات انجام شدند. مدل عددی با مقایسه نتایج تجربی ارزیابی شد. نتایج محاسبات ارائه و بحث شد.

واژگان کلیدی: پمپ روتودینامیک، پروانه، پروانه چندلوله ای، سرعت ویژه کم

۱. مقدمه

در سرعت ویژه $10 < \eta_q$ و دبی نسبتا کم ($Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$) با توجه به کارایی پایین، ساخت پروانه های پمپ روتودینامیک نیاز به یک رویکرد طراحی غیراستاندارد دارد. امروزه، فهم هر اطلاعاتی در مورد پمپهای روتودینامیک در رابطه با سرعت ویژه $10 < \eta_q$ بسیار مشکل می باشد. تنها اطلاعات محدود و مشخص بعلاوه یک سری نتایج تحقیق وجود دارد. پایگاه داده ها، جایی که بتوان راه حل های جالبی برای ساخت پروانه های پمپ کاربردی مثلا در $10 < \eta_q$ پیدا کرد، منبع مفیدی بوده است. چنین راه حلی یک پروانه چندلوله ای را پوشش می دهد.

پروانه های چندلوله ای مفهوم دیسک پمپی را با حفرة های مته کاری شده و مورد استفاده در پمپهای روتودینامیک با سرعت ویژه $10 < \eta_q$ توسعه می دهند. چنین پمپهایی مورد استفاده گسترده در صنایع شیمیایی، سیستم های روغن کاری ماشین، تکنولوژی گاز مایع و آتش نشانی می باشند.

از دیدگاه جریان مایع در کانالهای جریان پروانه، هر دو ساختار، یک پروانه چند لوله ای و یک پروانه سوراخ کاری شده یکسان می باشند (شکل ۱). تفاوت اساسی در عملکرد حاصل از پدیده های متفاوت در جریانی اطراف دو پروانه می باشد. در پروانه مته ای، جریان خارجی اطراف سیستم با اصطکاک صفحات چرخنده محرک و مایع همراه می گردد که موجب ضایعاتی متناسب با توان پنجم قطر خارجی پروانه و توان سوم سرعت زاویه ای (d^5 و ω^3) می شود. در مورد پروانه های چندلوله ای، جریان خارجی اطراف لوله ها نیروی

درگی را بوجود می آورد که می توان با رابطه زیر بصورت تئوری بیان کرد:

$$P_x = C_x \frac{\rho u^2}{2} A \quad (1)$$

میزان نیروی درگ واقعی بعلت واکنش دوطرفه لوله های انفرادی با تاثیر بر پروفیل سرعت جریان مایع اطراف کانالهای جریان پروانه متفاوت خواهد بود. با این وجود بنظر می رسد که نیرویی در غلبه بر نیروی درگ در یک سرعت چرخش مایع لازم است که موجب افزایش گردش مایع در پمپ و بنابراین افزایش هد کلی گردد. آزمایشات تجربی نشان دادند که یک پروانه چندلوله ای هد بیشتر از 30% را در مقایسه با پروانه سوراخ کاری شده با کانالهای



جریان هم اندازه در یک سطح کارآیی قابل مقایسه بوجود می آورد. با طراحی یک پروانه چندلوله ای برای پارامترهای کار در رابطه با یک پروانه مته ای (Q, H) ، مازاد هد برای بهینه سازی مشخص هندسه جریان پروانه چندلوله ای ممکن می گردد.

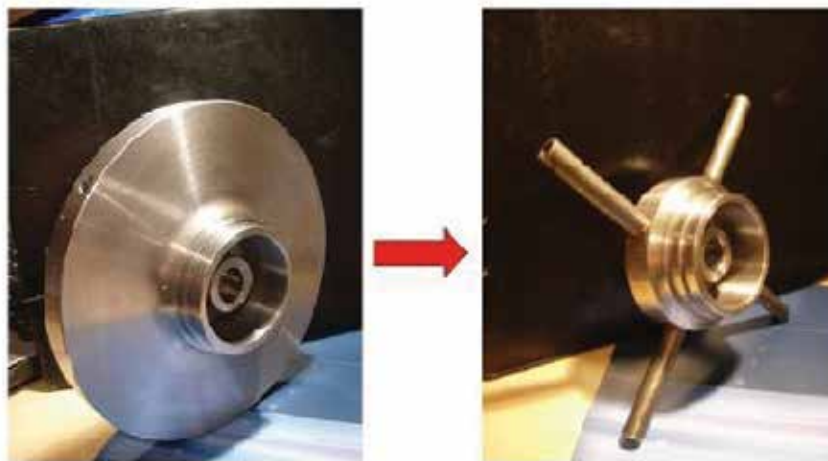
مزیت دیگر پروانه چندلوله ای این است که آنها راحت ساخته می شوند. کانالهای جریان به شکل لوله را می توان بسادگی تولید کرد و سپس به مرکز پروانه با هر تکنولوژی متصل کرد (شکل ۱ و شکل ۱۱).

بمنظور طراحی پروانه چندلوله ای به یک روش دقیق و حساس، باید با پدیده های جریان بوجود آمده با جریان مایع در و اطراف ساختار آشنا بود.

هدف این مطالعه مدلسازی یک جریان در پمپ با یک پروانه چندلوله ای با استفاده از CFD و تغییر یک مدل عددی برخلاف داده های تجربی می باشد. مدل عددی بیان شده در تعیین پدیده های جریان چنین ساختاری و برای تحقیق آینده با هدف تعیین تاثیر خصوصیات هندسی چنین پروانه ای بر پارامترهای کاربردی و کارآیی فرآیند انتقال انرژی مایع استفاده می گردد.

۲. تجهیزات آزمایش

با توجه به بیان نتایج محاسبات عددی، تجهیزات خاص آزمایش طبق شکل ۲ طراحی و ساخته شدند. المان اصلی تجهیزات آزمایش شامل یک پمپ (شکل ۳) با طرح خاصی برای ممکن ساختن جابجایی سریع پروانه های آزمایش شده در حالیکه قابلیت تکرار نتایج ارزیابی حفظ می شود. این پمپ مجهز به یک مخزن بسته است که طبق نیاز می توان فشار بیشتر و یا فشار منفی را ایجاد کرد و سطح و دما را کنترل کرد.



شکل ۱: یک پمپ پروانه سوراخ کاری شده و یک پمپ پروانه چندلوله ای



پسپ

سال ۳۱
پهار و تابستان
۱۳۹۴



شکل ۲: نمایی از تجهیزات آزمایش

دبی پمپ را می توان با یک شیر کنترل کروی بنام MARS 88V با یک محرک الکتریکی IntrOM OM-1 تعدیل کرد. ابزار ارزیابی که پارامتر آنها در جدول ۱ معرفی شده است برای اندازه گیری مقادیر خاص استفاده شدند. خصوصیات پروانه آزمایش شده به روش کاملاً خودکار طبق پیشنهادات ارائه شده ارزیابی شدند. فرایند ارزیابی با یک کامپیوتر و نرم افزار که در شکل ۴ نشان داده شده است کنترل می گردد. کاربر می تواند پارامترهای زیر را تنظیم کند: - گستره کاربرد شیر کنترل: حداقل (موقعیت ۱ در شکل ۴)، و حداکثر (موقعیت ۲ در شکل ۴) که با % بیان شده اند.

- درصد ضربه شیر کنترل (موقعیت ۳، شکل ۴)

- زمان آرام شدن جریان (موقعیت ۴ در شکل ۴)

- زمان بین نمونه برداری های متوالی (موقعیت ۵ در شکل ۴)

- تعداد نمونه ها در نقطه ارزیابی (موقعیت ۶ در شکل ۴)

- سرعت و اساس چرخش (موقعیت ۷ شکل ۴)

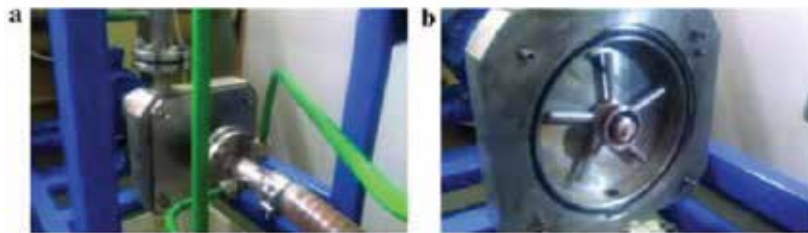
- حداکثر نیروی موتور - زمانی که نیرو بیش از اندازه باشد سیستم بطور خودکار خاموش می گردد (موقعیت ۸ در شکل ۴)



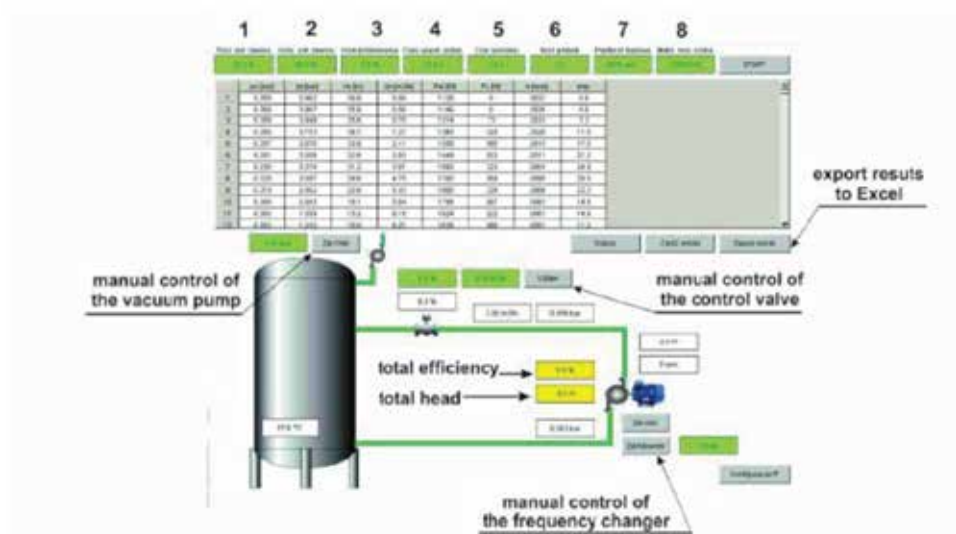
اندازه گیری از زمان کاملاً باز بودن شیر کنترل به بسته بودن آن و سپس از بسته بودن تا کاملاً باز شدن آن اجرا شد. بدین دلیل است که یک خط دوتایی بر روی نمودارهای نشان دهنده خصوصیات وجود دارد (شکل ۶). نتایج اندازه گیری و برآورد اندازه گیری مطابق با فرمول داده شده در رفرنس انجام می شوند. ساختار ارائه شده در شکل ۵ پروانه اصلی است. این پروانه با یک محفظه سطح مقطع ثابت کار می کند که خروجی آن منتهی به دیفیوزر می باشد. نتایج اندازه گیری منحنی های عملکرد ساختار پایه در شکل ۶ نشان داده می شوند.

No	Measuring instrument	Range	Accuracy class
1	Electromagnetic flowmeter Arkon MAGS1-ST DN25 PN 40	0.18–17.67 m ³ /h (0.1–10 m/s)	0.2%
2	Pressure gauge (suction) FUJI FKP 01	–0.7 to 0.5 bar	0.1%
3	Pressure gauge (discharge) FUJI FKP 03	0–30 bar	0.1%
4	Active power transducer METROL PP73	0–3000 W	0.3%
5	Temperature transducer FLEXTOP	0–50°C	+0.9°C

جدول ۱: ابزار اندازه گیری



شکل ۳: پمپ آزمایش - (a) نمای پانل جلویی و (b) بدون پانل جلویی



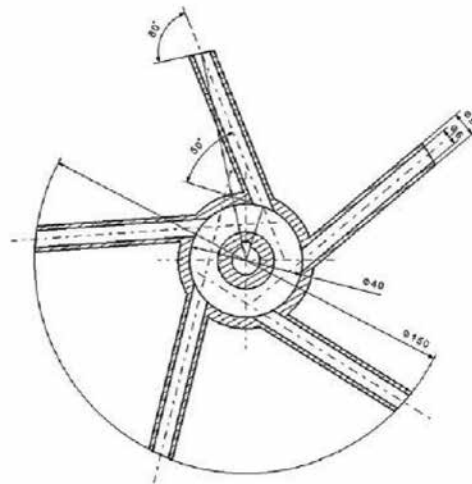
شکل ۴: رابط کاربری نرم افزار کنترل تست



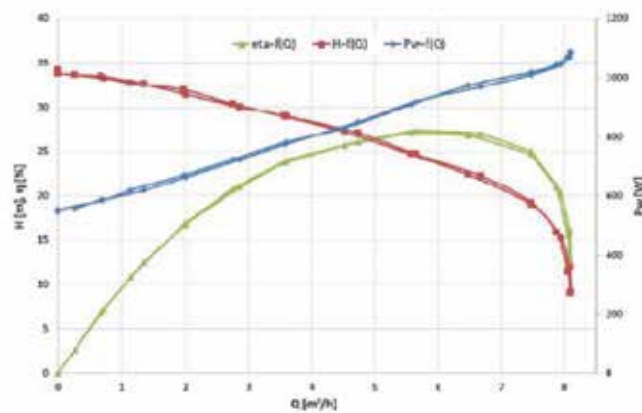
۳-مدلسازی عددی ۳-۱- مدل عددی

نرم افزار **Ansys FLUENT** برای آنالیز جریان مایع بر روی یک پمپ با پروانه چندلوله ای استفاده شد. مدل هندسی شکل هندسی پروانه و پوسته مورد استفاده در پمپ را بازتاب کرد. (شکل ۳ و ۵)

مدل شامل (شکل ۷): ورودی، پروانه و پوسته می شد. محاسبات بصورت ایستا در یک سرعت چرخشی ثابت $n=2870 \text{ rpm}$ با روش روتور منجمد کننده ، با مدلسازی جریان مایع بر روی کانالهای پروانه و با مدلسازی جریان خارجی آن صورت گرفت.



شکل ۵: ابعاد یک پروانه چندکانالی اصلی



شکل ۶: خصوصیات پمپ با یک پروانه چند لوله ای نشان داده شده در شکل ۵



شرایط مرزی بصورت زیر بیان شده اند:

-مدل ورودی-سرعت در ورودی، در رابطه با جریان فرض شده با حجم و شدت تلاطم $I = 2\%$

-مدل خروجی- فشار ایستا $p = 400,000 \text{ Pa}$ ، در رابطه با هد مورد انتظار در نقطه کار بهینه

تنظیم پارامترهای زیر برای شبیه سازی فرض شد:

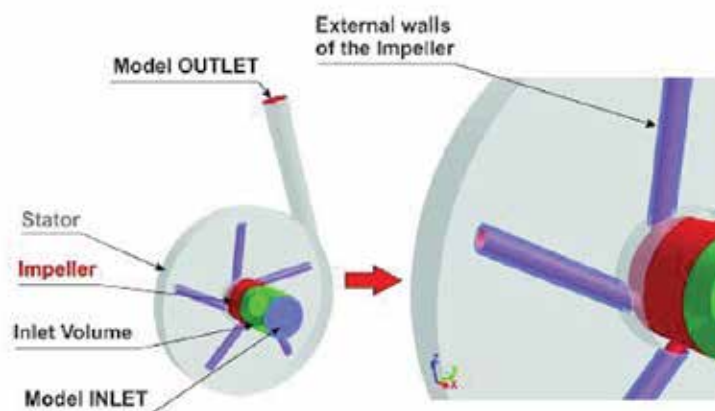
-طرح گسسته سازی مرتبه دوم برای کل معادلات

-یک حل کننده سه بعدی با دقت دوگانه مورد استفاده برای حل شبیه سازی

-آب سرد و شفاف، مایع کاری بود

-یک طرح SIMPLE

معیار همگرایی $\epsilon = 0.001$ برای کل معادلات



شکل ۷: مدل هندسی پمپ با پروانه چندلوله ای برای محاسبات عددی



پسپ

سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۱۲

۲-۳. تاثیر شبکه محاسباتی

به منظور تعیین تاثیر اندازه شبکه محاسباتی بر دقت نتایج و برای تعیین اندازه شبکه ای که در آن دقت راه حل دیگر، بستگی به تعداد المان ها ندارد، محاسباتی برای سه شبکه با پارامترهای ارائه شده در جدول ۲ صورت گرفت. المان نوع TETRA در هر مورد با بیشترین تراکم المان توزیع یافته اطراف دیواره های ورودی و هر دو سطوح گردش داخلی و خارجی پروانه استفاده شد (شکل ۸). یک مدل تلاطم $k-\epsilon$ standard برای محاسبات استفاده شد.

بمنظور ارزیابی تاثیر شبکه ها بر دقت محاسبات، تغییر در پارامترهای زیر آنالیز شد: مومنتم در سطح داخلی کانالهای جریان (M_p). هد پمپ (H) طبق تعریف فرمول (2). نتایج محاسبات در شکل ۹ نشان داده می شوند. با آنالیز شکل ۹، می توان مشاهده کرد که تفاوت در نتایج بین گزینه های ۱ و ۲ برای هد بیشتر از 24% و برای مقدار مومنتم بیشتر از 3.5% می باشد. تفاوت در نتایج بین گزینه های ۲ و ۳ برای هد تنها 3% و برای مقدار مومنتم تنها 0.1% می باشد. شبکه گزینه ۲ برای محاسبات در نظر گرفته شد، با توجه به اینکه برای این گزینه، دقت راه حل دیگر بر تعداد المان های شبکه بستگی ندارد.

۳-۳. تاثیر مدل‌های تلاطم

این مطالعه همچنین شامل آزمایش تاثیر نوع مدل متلاطم بر دقت و زمان محاسبات بود. با توجه به منابع محاسباتی، تنها دو مورد از مدل‌های دو معادله ای موجود در Ansys Fluent محاسبه شدند. محاسبات برای شبکه از گزینه ۲ در مقادیر تثبیت یافته در هر مدل و با استفاده از مدل استاندارد Near-wall انجام شدند. نتایج محاسبات در جدول ۳ نشان داده می شوند.

همگرایی نتایج برای دو مدل تلاطم بدست آمد: $k-\epsilon$ and $k-\epsilon$ realizable. در موارد دیگر، بعد از ۳۰۰۰ تکرار، محاسبات بیشتر زمانی متوقف شد که هیچ احتمالی برای رسیدن به همگرایی مشاهده نشد. (شکل ۱۰)

همگرایی در مدل $k-\epsilon$ realizable بعد از ۱۲۱۸ تکرار بدست آمد. میزان بار بر اساس آزمایشات تجربی برای $Q=4 \text{ m}^3/\text{h}$ ، $H=28.2\text{m}$ بدست آمد (شکل ۶)، که بدان معناست اختلاف نتایج عددی و تجربی کمتر از ۵.۵٪ در تمام موارد مورد تجزیه و تحلیل بدست آمد. شکل ۱۰ نمودارهایی از همگرایی نمونه را نشان می دهد.

جدول ۲: خصوصیات شبکه های محاسباتی با هر گزینه

No.	Option	Grid size	Skewness (average)	Aspect ratio (average)
1	I	1,720,941	0.22	2.19
2	II	2,279,318	0.22	2.14
3	III	3,409,769	0.22	2.086

جدول ۳: تاثیر مدل تلاطم برای $4 \text{ m}^3/\text{h}$

No.	Model	Convergence	Number of iterations	H (m)	M_i (nm)
1	Realizable $k-\epsilon$	YES	1218	28.76	1.587
2	Standard $k-\epsilon$	YES	1461	28.76	1.58
3	RNG $k-\epsilon$	NO	3000	29.40	1.58
4	SST $k-\omega$	NO	3000	29.82	1.581
5	Stand $k-\omega$	NO	3000	28.66	1.57

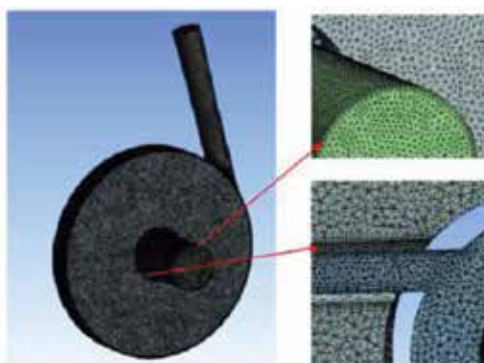
۳-۴. ارزیابی مدل عددی

روشهای عددی، با فرض نتایج تقریبی را با ایجاد خطای محاسبات بوجود می آورند. با توجه به عوامل چندگانه تاثیرگذار بر دقت محاسبات و طبیعت متغیر آنها بنظر می رسد که تنها روش معتبر برای ارزیابی دقت محاسبات عددی مقایسه آنها با داده های تجربی می باشد. این مطالعه خصوصیات پمپ مدلسازی شده را با پروانه چندلوله ای در آزمایش ارائه شده در بخش ۲ مقایسه کرده و روشهای اندازه گیری طبق رفرنس مشاهده می گردد. بعلاوه، در تعیین نقش جریان خارجی اطراف لوله ها در فرایند انتقال انرژی، یک پروانه سوراخ کاری شده با مسیرهای شکل گرفته پروانه بعنوان پروانه چندلوله ای آزمایش شد. هر دو ساختار در شکل ۱۱ نشان داده می شوند.

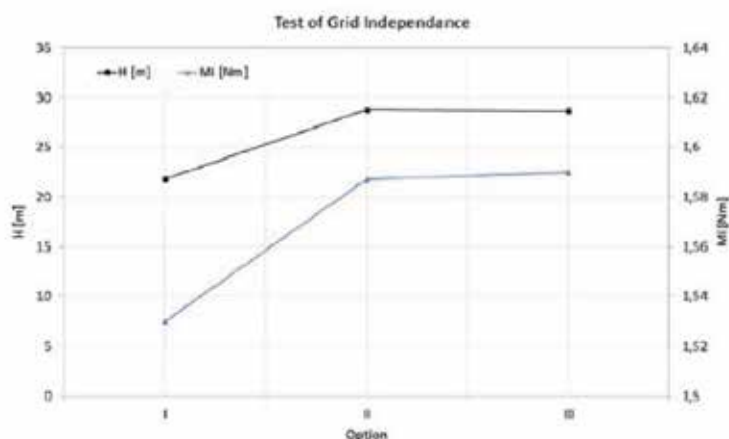


شکل ۱۲ یک مقایسه منحنی عملکرد به دست آمده در آزمایش با نتایج حاصل از آزمون عددی را ارائه می‌دهد. نتایج زیر را می‌توان بر اساس مشخصات ارائه شده در شکل ۱۲ بیان کرد:

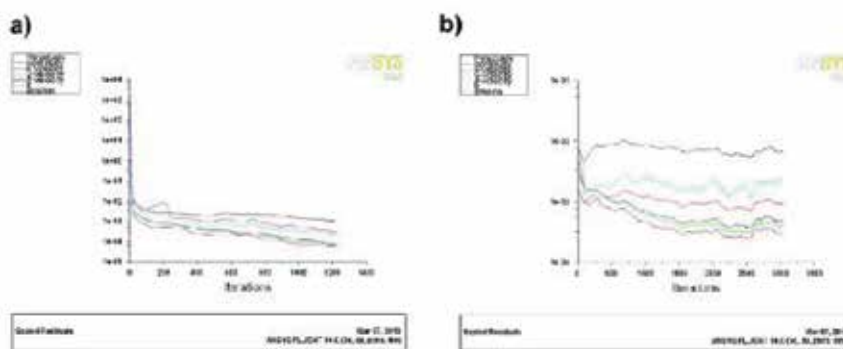
۱. در مقایسه کلی، تفاوت بین نتایج آزمایشات عددی و تجربی متجاوز از 3% (علائم نمودار) نمی‌باشد.
۲. تفاوت بین نتایج آزمایشات عددی و تجربی کنار BEP (بهترین نقطه کارایی) متجاوز از 0.5% نمی‌باشد.
۳. دقت بدست آمده از نتایج محاسبات عددی بسیار رضایتبخش و قابل مقایسه با دیگر مطالعات مشابه می‌باشد.



شکل ۸: شبکه محاسباتی - گزینه ۲



شکل ۹: تاثیر اندازه شبکه بر میزان پارامترهای محاسباتی کلیدی: هد پمپ $H(m)$ و مومنتم در دیواره داخلی پروانه



شکل ۱۰: نمودارهای همگرایی نمونه. (a) - Realizable $k-\epsilon$ turbulence model and (b) standard $k-\epsilon$ turbulence model





شکل ۱۱: پروانه های مورد استفاده برای آزمایشات تجربی: یک مدل چندلوله ای و یک مدل سوراخ کاری شده

۴. یک پروانه چند لوله ای، بطور متوسط، به هد حدودا 30% بیشتر از یک پروانه سوراخ کاری شده می رسد. یعنی اگر کانالهای جریان داخلی دو پروانه یکسان باشند، هد متجاوزی از جریان خارجی اطراف لوله های پروانه بدست می آید.

۵. اگر میزان جریان متجاوز از $7.5 \text{ m}^3/\text{h}$ باشد، می توان سقوط ناگهانی را در مشخصه جریان مشاهده کرد. این به احتمال زیاد در نتیجه جریان پدیده های غیرایستایی مانند ایجاد کاویتاسیون می باشد که بصورت عددی مدل سازی نشدند.

۶. مشخصه عملکردی برای پروانه چندلوله ای مطلوبتر از آن برای پروانه مته ای می باشد. شکل مسطح منحنی حداکثر کارایی را در محدوده نرخ جریان گسترده $5.5 \text{ m}^3/\text{h}$ تا $7 \text{ m}^3/\text{h}$ ممکن می سازد.



۳-۶. نتایج عددی و بحث

پارامترهای جهانی عملکرد پمپ عددی طبق فرمول (۲) تا (۶) تعیین شدند:

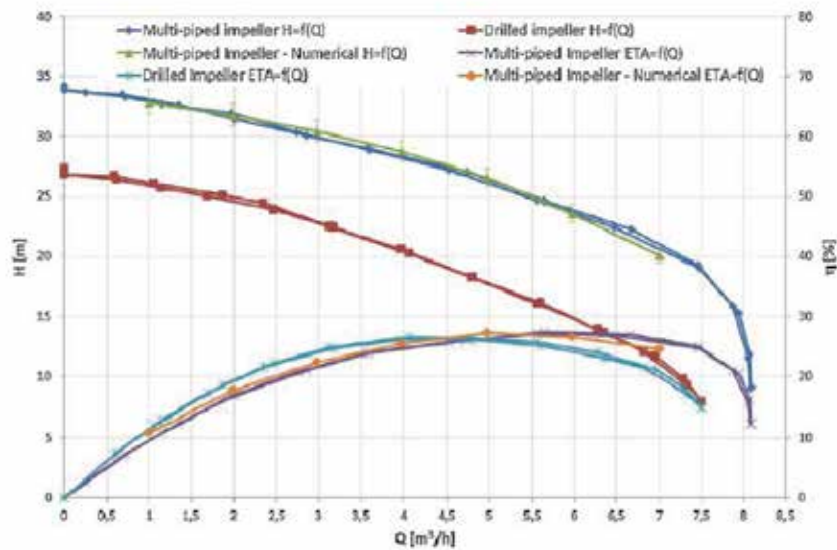
$$H = \frac{p_{co} - p_{ci}}{\rho g} \quad (2)$$

$$P_w = M_t \omega \quad (3)$$

$$M_t = M_i + M_o \quad (4)$$

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_w} = \frac{\rho g Q H}{M_t \omega} \quad (5)$$

$$\eta = \eta_h \eta_v \eta_m \quad (6)$$



شکل ۱۲. مقایسه مشخصات تعیین شده بصورت عددی و تجربی

جدول ۴: نتایج محاسبات عددی به شکل جدول

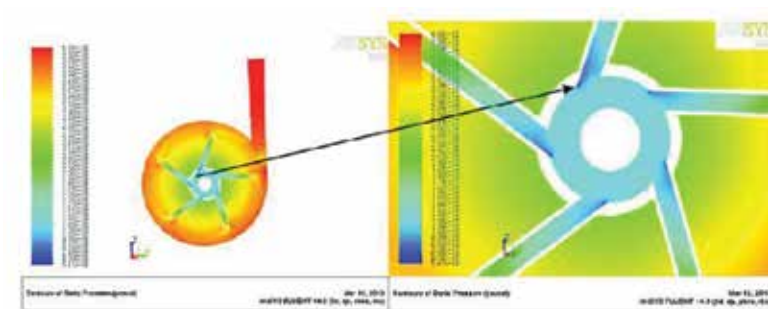
Q (m ³ /h)	M _i (nm)	M _o (nm)	M _t (nm)	H (m)	P _h (W)	P _w (W)	η _h (%)	η (%)
0.99	0.47	1.93	2.40	32.87	88.9	721.5	12.33	10.77
1.99	0.87	1.96	2.83	31.78	172.0	849	20.26	17.7
2.98	1.23	1.98	3.22	30.46	247.2	966.7	25.58	22.35
3.98	1.59	1.97	3.55	28.75	311.2	1068.2	29.14	25.46
4.97	1.93	1.90	3.83	26.55	359.3	1151.7	31.20	27.26
5.97	2.23	1.96	4.19	23.59	383.0	1259.1	30.42	26.58
7.01	2.54	2.00	4.55	20.12	383.5	1366.7	28.06	24.52

کارایی کلی با فرض بر مقدار ثابت کارایی حجمی $\eta_v = 0.92$ و کارایی مکانیکی $\eta_m = 0.95$ در کل محدوده دبی تعیین شد. با آنالیز نتایج جدول ۴، فهرست مومنتم های بدست آمده بر روی سطوح چرخش داخلی و خارجی پروانه به نظر می رسد اهمیت خاصی دارد. مومنتم بر روی سطوح داخلی M_i کانالهای جریان با افزایش میزان جریان مایع پمپ شده افزایش می یابد که یک پدیده نرمال است و اما مومنتم حاصل از جریان خارجی اطراف مسیرهای پروانه M_o ، میزان ثابتی در کل محدوده رانش دارد. مقادیر M_o نیز بنظر صحیح می باشند و میزان مومنتم حاصل از نیروی درگ هیدرولیک می باشد که به نوبه خود بستگی به سرعت زاویه ای و ثابت در کل نرخ جریان دارد. می توان بیان کرد که جریان اطراف کانالهای پروانه خارجی، افزایش ثابت در هد، بدون توجه به رانش مایع پمپ شده ایجاد می کند. چنین استدلالی همچنین با مقایسه مشخصه جریان یک پروانه چندلوله ای و پروانه سوراخ کاری شده تایید می گردد که یک تغییر در موازات خصوصیات پروانه چندلوله ای در برابر پروانه سوراخ کاری شده را می توان مشاهده کرد.

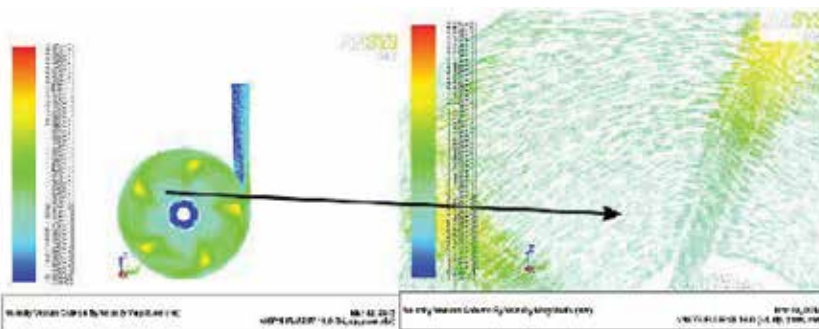
شکل ۱۶-۱۳ نتایج محاسبه نمونه را با دبی $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ نشان می دهند. طبق این اشکال، توزیع



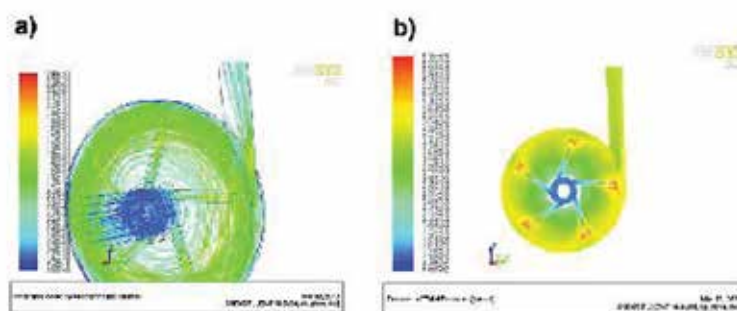
سرعت (شکل ۱۴) و فشار (شکل ۱۳) قطعاً صحیح است. هیچ ناحیه قابل مشاهده ای از تلاطم بیشتر و هیچ پدیده غیرایستایی مشاهده نشد. میتوان نواحی افت فشار را در ورودی کانالهای جریان پروانه مشاهده کرد که موجب مقدار بالاتر NPSHr پروانه می گردد. با مشاهده توزیع سرعت در سطح بین کانالهای جریان پروانه (شکل ۱۶) و همچنین گردش مایع ایجادکننده تبادل مومنتم، مشاهده می گردد که بنظر مکانیسم مقدماتی افزایش هد بوده و حاصل از جریان خارجی اطراف کانالهای جریان پروانه می باشد.



شکل ۱۳: توزیع فشار ایستای بر سطح مرکزی مدل، با بخش بزرگ شده ورودی پروانه

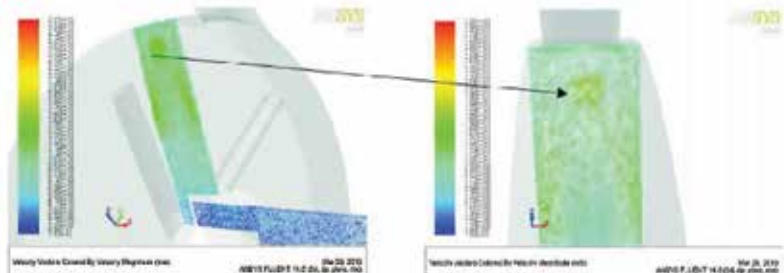


شکل ۱۴: توزیع سرعت مایع در سطح مرکزی مدل، با بخش بزرگ شده بین پره ها



شکل ۱۵: (a) خطوط جریان - رنگها میزان سرعت (b) توزیع فشار کلی را در سطح میانی مدل نشان می دهند

b



شکل ۱۶: توزیع سرعت بین کانالهای جریان پروانه



۴. خلاصه

یک پروانه چند لوله ای روش مناسبی برای طراحی پروانه های پمپ روتودینامیک کاربردی در سرعت بسیار پایین $n_q < 10$ می باشد. یک جریان خارجی اطراف لوله ها هد بیشتر از 30% از پروانه سوراخ کاری شده را می سازد. این مازاد بهینه سازی برای افزایش کارایی را ممکن می سازد تا ابعاد کوچکتر شعاع پمپ با کاهش قطر بیرونی پروانه بدست آید.

با توجه به این حقیقت که فرایند انتقال انرژی در یک پروانه چندلوله ای از طریق جریان بر روی کانالهای ورودی و جریان خارجی اطراف آنها صورت می گیرد، اجرای مدلسازی عددی چنین پروانه ای ساده نمی باشد زیرا ساخت یک مدل پمپ کامل لازم است. این مطالعه تاثیر مدل تلاطم را در زمان و دقت محاسبه را آنالیز کرد. ϵ -Realizable k بهترین انتخاب در تضمین همگرایی نتایج و درجه رضایتبخشی دقت می باشد.

نتایج محاسبات عددی به بیان توزیع سرعت و فشار و پدیده جریان در پمپ روتودینامیک چندلوله ای کمک می کند. محاسبه میانگین نتایج به تعیین پارامترهای کاری مشخص مانند هد، کمک کرده و کارایی هیدرولیک را برآورد می سازد.

با بیان محاسبات عددی در مقابل نتایج محاسبات تجربی به این نتیجه دست می یابیم که برای تقریباً کل خصوصیات جریان، همگرایی نتایج عددی و تجربی متجاوز از 3% نبوده در حالیکه در محدوده دبی قابل توجهی زیر 10% می باشد. مدل عددی بیان شده در این روش، می تواند ابزاری برای مطالعات بیشتر با هدف بررسی تاثیر خصوصیات هندسی پروانه چندلوله ای بر پارامترهای عملکردی و کارایی آن باشد.



پسار و تابستان

سال ۳۱
پسار و تابستان
۱۳۹۴

۱۸

منابع:

- 1)The European Standard EN ISO 9906:2000, Rotodynamic pumps. Hydraulic performance, acceptance tests. Grades 1 and 2, BSI, 2003.
- 2)Janusz Skrzypacz, Numerical modelling of flow phenomena in a pump with a multi-piped impeller, Chemical Engineering and Processing 75 (2014) 58– 66

● مشخصات فنی ورق‌های مغناطیسی غیر جهت دار - نورد سرد



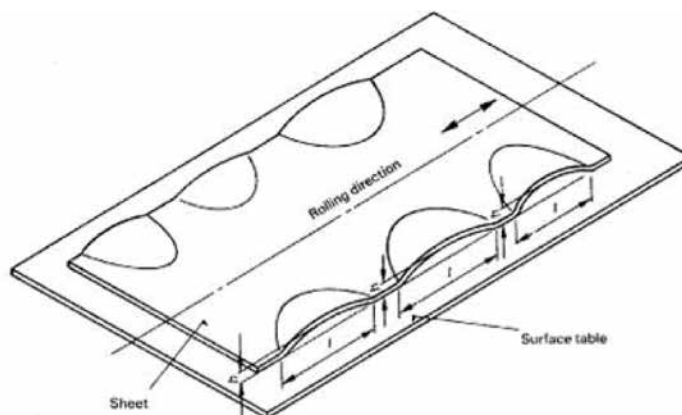
◀ مهندس عیسی آزاد وار
رئیس طراحی محصول

۱ اصطلاحات فنی

۱-۱ موج دار بودن یا غیر همسطح بودن ورق (Wave edge-Wave factor - Flatness)

موج دار بودن ورق‌های مغناطیسی بستگی به طول و ارتفاع موج دارد که بر اساس نسبت ارتفاع موج به طول موج و به صورت درصد بیان می‌شود که نباید از 2% بیشتر باشد. به شکل ۱ مراجعه کنید. به عنوان مثال اگر طول موج 10 mm و ارتفاع موج 1 mm باشد، در این صورت فاکتور موج دار بودن برابر با 0.1% خواهد بود.

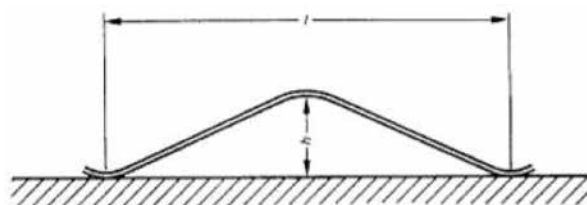
برای ورق‌هایی با پهنای 100 mm و کمتر از آن، این مورد بررسی نمی‌شود. نمونه تست باید بر روی میزی که به اندازه کافی بزرگ باشد قرار گیرد تا لبه‌های ورق آویزان نشود. ارتفاع بزرگترین موج (h) و طول موج (l) باید توسط یک خط کش اندازه‌گیری شود. به شکل ۲ مراجعه کنید.



Example of waves.

شکل ۱- موج دار بودن ورق

یادآوری - برای اندازه‌گیری ضخامت، پهنای، موج دار بودن و خمیدگی لبه، نمونه تست یک ورق یا نواری به طول 2 m باشد.



Wave factor.

شکل ۲- فاکتور موج دار بودن ورق



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۲-۱ چگالی (Density)

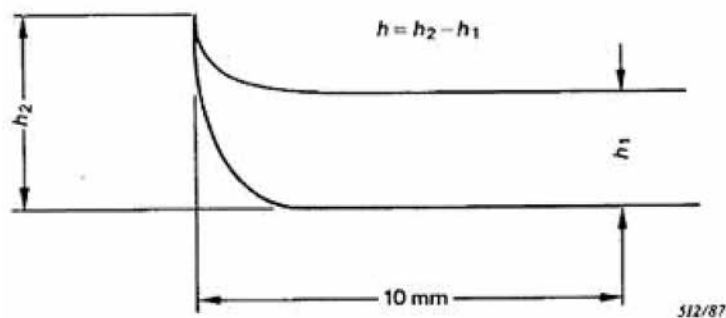
با توجه به این که چگالی مواد در شرایط مختلف متفاوت می‌باشد بنابراین مقدار چگالی ارائه شده در جدول استاندارد مقدار معمول آن بوده و این مقادیر می‌تواند در شرایط مختلف، تغییر کند.

۳-۱ ضریب انباشتن (Stacking factor-Lamination factor)

این فاکتور بیان می‌کند که چند درصد سطح مقطع هسته از فولاد و چند درصد عایق می‌باشد. حداقل مقدار استاندارد آن برای ضخامت‌های مختلف ورق متفاوت است. نمونه تست باید شامل حداقل ۱۶ نوار با سایز یکسان باشد. اگر مقدار ضریب انباشتن خارج از مقدار استاندارد باشد، تست باید با ۱۰۰ نوار دوباره انجام گیرد. ورق‌ها باید دارای حداقل پهنای 20 mm و حداقل سطح مقطع 5000 mm^2 باشد. پهنای و طول نوارها دارای تolerانس $\pm 0.2 \text{ mm}$ می‌باشند.

۴-۱ ارتفاع پلیسه (Burr height-Cutting Burr)

اختلاف بین ضخامت قسمت برش خورده یا پلیسه دار (h_2) با قسمت صاف ورق (h_1) ارتفاع پلیسه می‌باشد که این مقدار باید کمتر یا مساوی 0.05 mm باشد. به شکل ۳ مراجعه کنید.



Burr height (h).

شکل-۳ ارتفاع پلیسه

۱-۴-۱ نمونه تست

نمونه تست باید شامل ورق یا نواری با طول حداقل 1 m باشد.



پژ

سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۲۰

۲-۴-۱ مراحل اندازه‌گیری

ارتفاع پلیسه باید با یک دستگاه اندازه‌گیری خطی مانند ساعت اندازه‌گیری بررسی شود. دستگاه باید دارای مشخصات زیر باشد:

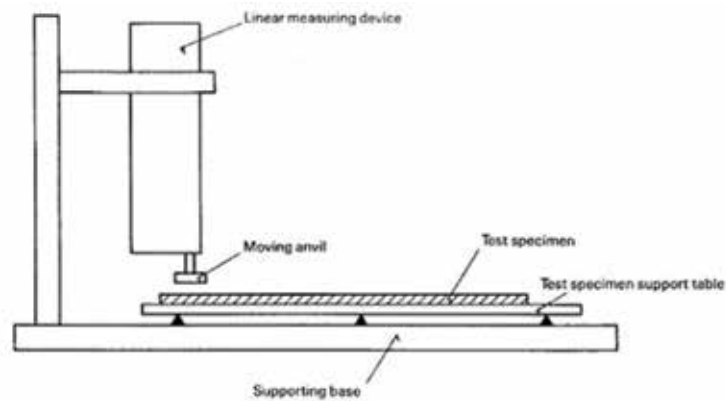
دقت: $1 \mu\text{m}$

عدم قطعیت: $22 \mu\text{m}$

حرکت طولی میله ساعت باید بدون چرخش صورت گیرد.

ابعاد صفحه لغزان: $16 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$

نمونه تست باید روی سطح میز به صورت تخت نگه داشته شده و دستگاه اندازه‌گیری خطی باید محکم روی پایه ثابت شود. حرکت میله ساعت عمود به میز باشد. یک نمونه دستگاه اندازه‌گیری ارتفاع پلیسه در شکل ۴ نشان داده شده است.



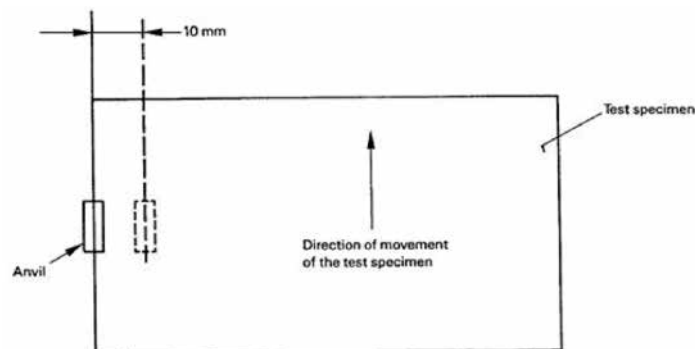
Apparatus for measuring burr height.

شکل ۴- دستگاه اندازه‌گیری ارتفاع پلیسه

سطح تماس میله ساعت باید موازی با سطح میز باشد. برای بررسی موازی بودن می‌توان از یک ضخامت سنج استفاده کرد. اختلاف در فاصله بین هر نقطه از سطح میله ساعت با سطح میز نباید از $2 \mu\text{m}$ تجاوز کند. برای تنظیم حداقل سه نقطه روی سطح میز لازم است.

۳-۴-۱ نحوه تست

مطابق شکل ۵ اندازه‌گیری ضخامت ورق در فاصله 10 mm از لبه برش (h_1) و ضخامت لبه برش (h_2) صورت گیرد.



Position of the moving anvil.

شکل ۵- حرکت میله برای اندازه‌گیری



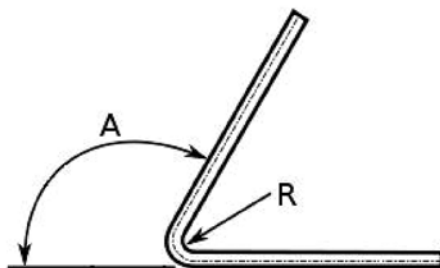
سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۱-۴-۱ نمونه تست

نمونه تست باید ورق یا نواری با طول حداقل 1 m باشد. با حرکت نمونه تست اندازه‌گیری باید هر 50 mm صورت گیرد. ارتفاع پلیسه از میانگین ۲۰ بار اندازه‌گیری مشخص می‌شود، همچنین حداکثر مقدار به دست آمده نیز باید مشخص شود. در طی اندازه‌گیری دما باید ثابت باشد.

۱-۵ تعداد خمش (Number of bends)

تعداد خمش‌های متوالی با زاویه (A) حداقل ۹۰ درجه به طوری که شعاع داخلی (R) خمش 5 mm باشد. به شکل ۶ مراجعه کنید. هر خمش برابر خمش ۹۰ درجه از حالت اولیه و برگشتن دوباره به حالت اولیه می‌باشد. این تست خمش تا زمانی که اولین ترک روی ورق با چشم دیده شود انجام می‌شود. آخرین خمش نباید شمرده شود.



شکل ۶- خمش ورق

یادآوری - عایق ورق نباید با اولین خمش جدا شود.



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

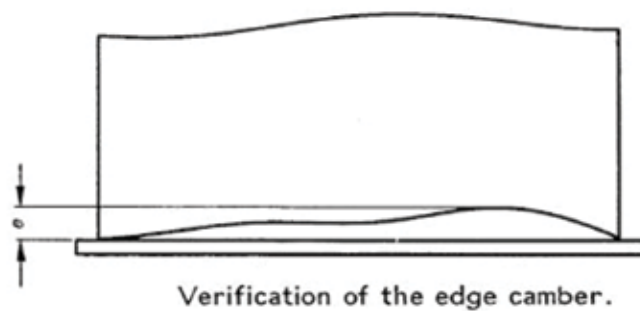
۲۲

۱-۶ اعوجاج

بهتر است ورق تا حد امکان بدون اعوجاج باشد. بازرسی اعوجاج برای قطعات با پهنای کمتر یا مساوی 150 mm صورت نمی‌گیرد. فاصله اندازه‌گیری شده نباید از 2 mm تجاوز کند. نمونه تست باید ورق یا نواری به طول 1 m باشد.

۱-۷ خمیدگی لبه

خمیدگی لبه به بزرگترین فاصله بین یک لبه طولی ورق و خط واصل دو انتها ورق بیان می‌شود. به شکل ۷ مراجعه کنید. بازرسی خمیدگی لبه‌ها فقط برای قطعات با لبه‌های برشکاری شده و با عرض‌های بزرگتر از 30 mm به کار برده می‌شود. برای ورق با طول 2 m خمیدگی لبه نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:
برای پهنای $l > 150$ mm خمیدگی لبه برابر با 2.0 mm.
برای پهنای $30 \text{ mm} < l \leq 150$ mm خمیدگی لبه برابر با 4.0 mm.
نمونه تست باید بر روی یک سطح میز قرار گیرد. با استفاده از یک خط کش فاصله بین سطح میز و بزرگترین ارتفاع (ارتفاع موج) اندازه‌گیری شود.



شکل ۷- خمیدگی لبه

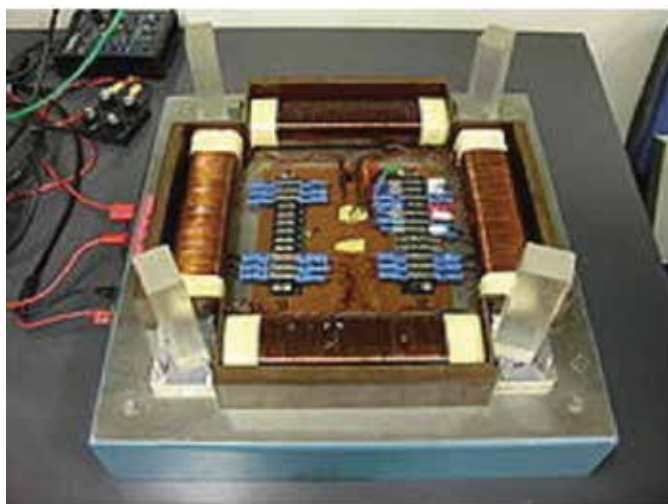
۸-۱ مشخصات مغناطیسی

برای اندازه گیری قطبش مغناطیسی و تعیین تلفات کل، نمونه تست برای قاب اپیستاین (Epstein Frame) 25 cm باید شامل حداقل ۱۶ نوار تست اپیستاین با ابعاد زیر باشد:
 طول: 280-320 mm، با تolerانس $\pm 0,5$ mm.
 پهنا: 30mm با تolerانس $\pm 0,2$ mm.
 شکل های ۸ و ۹ قاب اپیستاین (Epstein Frame) را نشان می دهند.

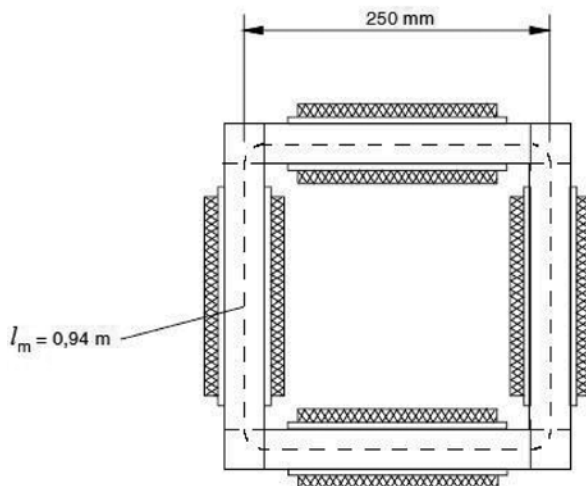


سال ۳۱
 بهار و تابستان
 ۱۳۹۴

۲۳



شکل ۸ قاب اپیستاین



The 25 cm Epstein frame

شکل ۹ قاب اپیستاین

۲ مشخصات ظاهری

۱-۲ ظاهر

ظاهر ورق‌های فولادی باید بدون عیب و صاف باشد. معایبی از قبیل زنگ، سوراخ، کنده شدن روکش، پیچ خوردگی نداشته باشد.

۲-۲ معایبی مورد قبول

معایبی از قبیل کثیفی و خراش ورق‌ها به شرطی که میزان خراشی باعث خرابی روکش و زنگ زدگی ورق نگردد) مورد قبول بوده و ورق‌ها قابل استفاده می‌باشند.

۳-۲ روکش

ورق‌های فولادی باید با روکش عایق، رنگ عایق ضد سایش، فریون، روغن و... روکش شوند. روکش نباید هنگام برش و رول کردن خراب شود.

۴-۲ فرسودگی

ورق‌ها نباید کربن بیش از 0.02 داشته باشند چون با گذشت زمان کربن زیاد باعث افزایش تلفات می‌شود.

۳ تolerانس های مجاز

۱-۳ تolerانس مجاز ضخامت ورق‌ها

برای ورق‌های مغناطیسی با ضخامت 0.5 mm تolerانس مجاز برابر $\pm 8\%$ می باشد.

اختلاف ضخامت در جهت عمود به جهت رول (عرض ورق) برای ورق‌های مغناطیسی با ضخامت 0.5 mm نباید از 0.02 mm تجاوز کند.

اندازه‌گیری ضخامت باید در نقاطی به فاصله بیش از 30 mm از لبه‌ها صورت گیرد.

برای اجسام با پهنای کمتر از 60 mm، اندازه‌گیری ضخامت باید در امتداد محور طولی ورق صورت گیرد. این اندازه‌گیری باید با یک میکرومتر با دقت 0.001 mm انجام شود.

۲-۳ پهنای ورق

حداکثر پهنای استاندارد برابر 1250 mm می باشد. مقدار تolerانس استاندارد برای پهنای مختلف در جدول زیر ارائه شده است:

پهنای ورق باید عمود بر محور طولی اندازه‌گیری شود.

Nominal width L mm	Tolerances mm
$L \leq 150$	0,+0.2
$150 < L \leq 300$	0,+0.3
$300 < L \leq 600$	0,+0.5
$600 < L \leq 1000$	0,+1.0
$1000 < L \leq 1250$	0,+1.5



۳-۳ طول

اگر طول ورق در سفارش مشخص شده باشد، مقدار انحراف طول 0 تا +0,5% خواهد بود به شرط اینکه حداکثر از 6 mm تجاوز نکند.

۴ شرح مشخصات ورق های فولادی بر اساس استانداردهای JIS و

IEC 60404-8-4 (2013)

۱-۴ شرح مشخصات ورق های فولادی بر اساس استاندارد JIS

به عنوان مثال ورق فولادی با مشخصات 50A470

عدد 50 نشان دهنده صد برابر ضخامت ورق فولادی می باشد در این صورت در مثال فوق ضخامت ورق 0.5 mm خواهد بود.

حرف A معرف ورق فولادی غیر جهت دار- نورد سرد (Cold rolled non-oriented steel sheet) می باشد.

عدد 470 نشان دهنده صد برابر حداکثر تلفات آهنی برابر با 4.70 W/kg در چگالی شار 1.5 T می باشد.

یادآوری - ممکن است به جای حرف A، حروف دیگری بیان شود. به عنوان مثال در ورق های ساخت شرکت TISCO از حروف TW به جای حرف A استفاده شده است :

حرف T نشان دهنده نام کارخانه TISCO می باشد.

حرف W بیان کننده ورق فولادی غیر جهت دار (Non-oriented steel sheet) که از یک کلمه چینی گرفته شده است.

۲-۴ شرح مشخصات ورق های فولادی بر اساس استاندارد IEC 60404-8-4 (2013)

به عنوان مثال ورق فولادی با مشخصات M470-50A 5

حرف M بیان کننده ورق الکتریکی می باشد.

عدد 470 نشان دهنده صد برابر حداکثر تلفات آهنی برابر با 4.70 W/kg در چگالی شار 1,5 T می باشد.

عدد 50 نشان دهنده صد برابر ضخامت ورق فولادی می باشد در این صورت در مثال فوق ضخامت ورق 0.5 mm خواهد بود.

حرف A که معرف ورق فولادی غیر جهت دار- نورد سرد (Cold rolled non-oriented steel sheet) می باشد. برای نشان دادن فرکانس اندازه گیری تلفات آهنی، از 0.1 فرکانس فوق برای

نمایش استفاده می شود. بنابراین عدد 5 نشان دهنده فرکانس 50Hz و عدد 6 نشان دهنده فرکانس 60 Hz می باشد.



- یادآوری- بیشینه تلفات هسته در چگالی 1,5 T و در فرکانس های 50 Hz و 60 Hz تعیین می شود.
 - یادآوری- کمینه چگالی شار برای شدت میدان مغناطیسی در شدت میدان های 5000 A/M, 2500 A/M و 10000 A/M (حداکثر مقدار) ارائه شود.
- یادآوری- بیشینه مقدار مجاز ناهمگنی تلفات آهنی در چگالی 1,5T نباید از مقادیر استاندارد تجاوز نماید.

در جداول زیر خلاصه ای از تolerانس های مجاز ورق های فولادی ارائه شده است.

Allowed deviation of thickness	Cross deviation of thickness	Allowed deviation of width	Cutting burr \leq	Wave edge \leq
انحراف قابل قبول ضخامت ورق	انحراف عرضی ضخامت ورق	انحراف مجاز پهنا	ارتفاع مجاز پلیسه	موج دار بودن ورق
برای ورق های مغناطیسی با ضخامت 0.5 mm تolerانس مجاز برابر $\pm 8\%$	برای ورق های مغناطیسی با ضخامت 0.5 mm تolerانس مجاز حداکثر 0.02mm	مطابق جدول	حداکثر 0.05mm	نسبت ارتفاع موج به طول موج و به صورت درصد حداکثر 2%

Steel name	Nominal thickness	Maximum specific total loss at 1.5 T W/kg		Minimum magnetic polarization in an alternating magnetic field for a magnetic field strength T			Maximum anisotropy of loss %	Minimum stacking factor	Minimum number of bending	Conventional density kg/dm ³
		50 Hz	60 Hz	2500 A/m	5000 A/m	10000 A/m				
نام فولاد	ضخامت نامی	حداکثر تلفات در چگالی شار 1.5 تسلا W/kg		حداقل چگالی شار در شدت میدان تسلا			حداکثر ناهمگنی تلفات %	حداقل ضریب انباشتن	حداقل تعداد خمش	چگالی متداول kg/dm ³
		4.00	5.10	1.53	1.63	1.73				
		M400-50A 5	0.50	4.70	5.90	1.54				
M470-50A 5	5.30	6.66		1.56	1.65	1.75	± 10	0.96	10	7.70

[1] IEC 60404-1

[2] IEC 60404-2

[3] IEC 60404-9

[4] ASTM 667

[5] JIS C2552

منابع:



● الکتروپمپ‌های درون چاهی (ESP) و

تجهیزات مربوطه



◀ بهمن ایازی

کارشناس طراحی الکتریکی

چکیده:

تجهیزات الکتریکی استفاده شده جهت استخراج نفت به دلایل مختلفی از قبیل نوع سیال، شرایط محیطی، عمق چاه و... دارای ساختار پیچیده ای می باشند. یکی از این تجهیزات الکتریکی، موتور الکتروپمپ درون چاهی (ESP) می باشد. این الکتروموتور درون چاهی نسبت به الکتروموتورهای درون چاهی مورد استفاده در چاه آب دارای ساختار پیچیده ای می باشد.



سال ۳۱

بهار و تابستان

۱۳۹۴

۲۷

الکتروپمپ‌های درون چاهی (ESP) یکی از روش‌های فرازآوری مصنوعی می‌باشد. سیستم‌های ESP نسبت به برخی روش‌های فرازآوری مصنوعی دارای بیشترین میزان تولید سیال بوده و با پیشرفت تکنولوژی در این زمینه میزان تولید نیز افزایش می‌یابد. امروزه استخراج نفت با گاز زیاد، تغییر سریع در میزان تولید سیال، استخراج نفت با ویسکوزیته بالا و... با استفاده از ESP ها به آسانی امکان پذیر می‌باشد.

۱- الکتروپمپ‌های درون چاهی (ESP)

الکتروپمپ‌های درون چاهی که ESP نامیده می‌شوند، نوعی پمپ با راندمان زیاد و با قابلیت اطمینان بالا هستند که برای استخراج سیال با حجم زیاد از داخل چاه‌های عمیق به کار می‌روند. تجهیزات مربوط به یک الکتروپمپ ESP شامل: پمپ سانتریفوژ چند طبقه، موتور القایی سه فاز، محفظه آبنندی، کابل انتقال برق و کنترلر سطح می‌باشد.

۱-۱- مزایا و معایب الکتروپمپ‌های ESP

بهره‌برداری با الکتروپمپ‌های ESP دارای مزایا و معایبی هستند که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است:

۱-۱-۱- مزایا

۱. برای تولید حجم سیال زیاد و بسیار زیاد از عمق‌های متوسط مناسب می‌باشد. محدوده تولید معمولاً دبی ۶۳ تا ۳۸۵۰۰ بشکه در روز (BPD) و ارتفاع ۱۰۰ تا ۳۵۰۰ متر می‌باشد.
۲. بدون هیچ مشکلی می‌تواند برای چاه‌های کج استفاده شود.
۳. به دلیل اینکه تجهیزات سطحی آن حداقل فضا را اشغال می‌کند بنابراین برای مناطق شهری مناسب می‌باشد.
۴. برای مناطق دریایی به دلیل نیاز به فضای کم مناسب می‌باشد.
۵. برای سیستم‌هایی با تولید بیش از ۱۰۰۰ بشکه در روز (BPD) راندمان نسبتاً بالایی (بیش از ۵۰٪) دارد.
۶. هزینه نگهداری کمی دارد.
۷. تجهیزات سطحی کمی دارد.
۸. در برابر خوردگی مقاوم می‌باشد.
۹. با استفاده از ابزار Y (Y-Tools) بدون خارج کردن الکتروپمپ به ستون چاه دسترسی وجود دارد.
۱۰. امکان تجهیز به حسگر درون چاهی و اندازه‌گیری و نمایش پارامترهای تولیدی.
۱۱. نمایش و کنترل پارامترهای مهم سیستم ESP.

۱-۲- معایب

۱. باید یک شبکه الکتریکی با سطح ولتاژ نسبتاً بالا و قابلیت اطمینان زیاد در دسترس باشد.
۲. سیستم‌های ESP در فرکانس ثابت دارای انعطاف پذیری بسیار کمی می‌باشند. اما امروزه با استفاده از کنترل دور (VFD) می‌توان این مشکل را حل نمود که منجر به افزایش هزینه خواهد شد.
۳. درصد گاز آزاد راندمان پمپ را کاهش می‌دهد و حتی می‌تواند از استخراج نفت کاملاً جلوگیری نماید. در صورت اینکه درصد گاز آزاد بیش از ۵٪ باشد استفاده از جدا کننده گاز الزامی می‌باشد.
۴. ماسه و مواد ساینده موجود در سیال چاه سرعت خرابی تجهیزات را افزایش می‌دهد. می‌توان از مواد مقاوم در برابر سایش موجود استفاده کرد که در این صورت هزینه‌های سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد.
۵. تعمیر تجهیزات ESP در میدان‌های نفتی مشکل می‌باشد بنابراین تجهیزات معیوب جهت تعمیر باید به کارخانه فروشنده یا سازنده ارسال گردد.



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۶. دمای بسیار بالای چاه یک عامل محدود کننده می باشد. تجهیزات استاندارد دارای محدودیت دمای ۲۵۰ درجه فارنهایت می باشند. با استفاده از مواد مخصوص می توان محدودیت دما را تا ۴۰۰ درجه فارنهایت افزایش داد.
۷. فراآوری نفت با ویسکوزیته بالا توان مصرفی مورد نیاز را افزایش داده و عمر آن را کاهش می دهد.
۸. هزینه های راه اندازی و بیرون کشیدن از چاه به دلیل نیاز به تجهیزات بسیار زیاد، پر هزینه می باشد.
۹. طول عمر موتور و کابل بدلیل نصب درون چاه (حداکثر ۲ سال) می باشد.

۲- موتور

موتور الکتروپمپ درون چاهی (ESP) یک موتور القایی قفس سنجابی سه فاز و دو قطب می باشد. ساختمان موتور القایی قفس سنجابی نسبت به موتورهای دیگر بسیار ساده می باشد. این موتورها به دلیل نداشتن اتصال الکتریکی روتور با شبکه برق، قابلیت اطمینان خیلی زیادی دارند. همچنین به دلیل راندمان بالای این موتورها، استفاده از آنها در میدان های نفتی بسیار معمول شده است. طراحی دو قطب به این معنی است که در فرکانس ۶۰ HZ سرعت سنکرون آن ۳۶۰۰ دور در دقیقه (rpm) یا سرعت واقعی بهره برداری (سرعت آسنکرون) آن تقریباً ۳۵۰۰ دور در دقیقه می باشد. این موتور به صورت سه فاز با ولتاژهایی از ۲۳۰ ولت تا ۵۰۰۰ ولت، و با جریان هایی از ۱۲ تا ۲۰۰ آمپر کار می کند. به طور کلی، طول و قطر موتور میزان توان (HP) موتور را تعیین می کنند. جدول ۱-۱ قطر و محدوده توان های نامی بر حسب HP و شکل ۱-۱ برش عرضی یک موتور را نشان می دهند.

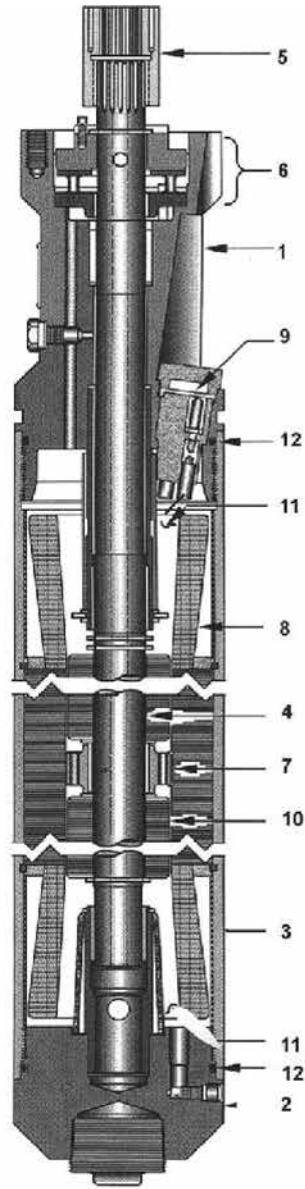
جدول ۱-۱: قطر و رنج توان های نامی (HP).

قطر موتور، اینچ (سانتی متر)*	رنج توان HP**	حداقل قطر چاه، اینچ (سانتی متر)
3.75 (9.52)	8-195	4 1/2 (114.3)
4.50-4.56 (1.43-11.58)	10-306	5 1/2 (139.7)
5.40-5.44 (13.72-13.82)	18-750	6 5/8 (168.3)
5.62 (14.29)	18-920	7 (177.8)
7.25 (18.42)	100-1600	8 5/8 (219.1)
7.38 (18.75)	200-1020	8 5/8 (219.1)

* اندازه قطر موتور می باشد و لزوماً بزرگترین قطر ESP نمی باشد.

** این مقادیر براساس بهره برداری ESP در فرکانس ۶۰ هرتز می باشد.





شکل ۱-۱ برش عرضی یک موتور

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| ۱- سر موتور | ۷- مجموعه یاتاقان روتور |
| ۲- پایه موتور | ۸- استاتور |
| ۳- محفظه | ۹- مجموعه مفصل بندی (دوشاخه) |
| ۴- محور | ۱۰- روتورها |
| ۵- کوپلینگ | ۱۱- وضعیت روغن |
| ۶- مجموعه یاتاقان کفگرد | ۱۲- اورینگ |



۳- ساختمان موتور ESP

۳-۱- استاتور سیم‌پیچی شده

استاتور سیم‌پیچی شده شامل یک استاتور بدون سیم‌پیچی، سیم‌پیچ‌های الکتریکی، سیستم‌های عایقی و کپسولی کردن (encapsulation) می‌باشد. به دلیل وجود جریان‌های گردابی در استاتور و روتور با هسته یکپارچه، آنها را از ورق‌های مغناطیسی نازک عایق به هم می‌سازند. استاتور بدون سیم‌پیچی شامل هزاران ورق مغناطیسی انباشته شده (هسته) در بدنه می‌باشد و برای نگه داشتن ورق‌ها به صورت ثابت و هم‌ردیف، پرس کاری می‌شوند. برای ایجاد تعدادی شیار و سوراخ مرکزی در ورق‌های مغناطیسی، آنها به صورت قالب‌پانچ می‌شوند. در ورق‌های مغناطیسی از سوراخ مرکزی جهت قرار گرفتن اجزای دوار در داخل آنها و از شیارها برای سیم‌پیچی استاتور استفاده می‌شوند.

۳-۲- سیم مسی عایق‌دار

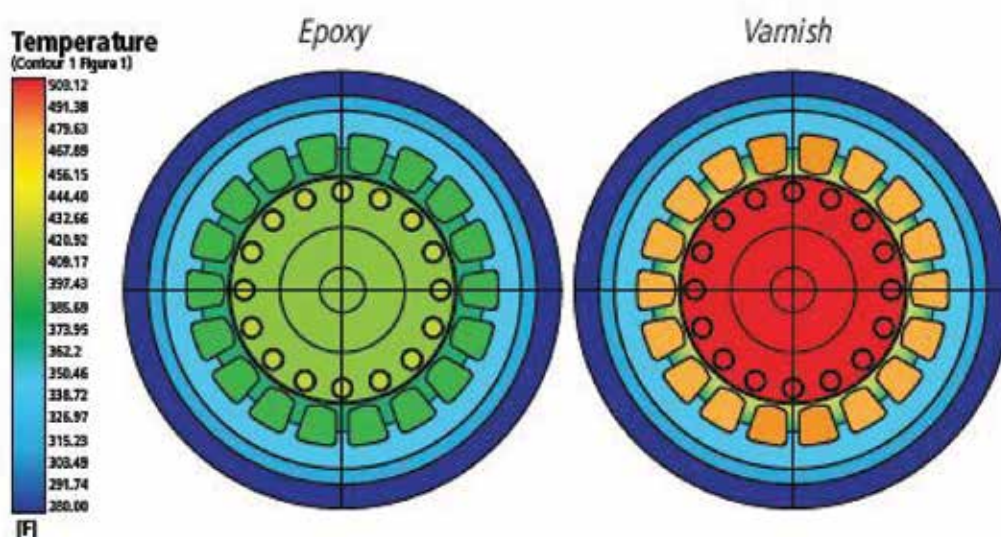
سیم مسی عایق‌دار (روکش‌دار)، سیم مغناطیسی یا سیم Mag نامیده می‌شود و به صورت سیم‌پیچ‌های سه فاز مجزا و با فواصل ۱۲۰° نسبت به هم درون هر شیار، سیم‌پیچی می‌شوند. برای جلوگیری از خطاهای الکتریکی در سیم‌پیچی‌ها، موتور باید سیستم عایقی سطح بالا (پیچیده و عالی) داشته باشد که شامل موارد زیر است:

- عایق (روکش) خود سیم‌ها (اتصال کوتاه بین حلقه‌ها).
 - عایق بین سیم‌ها و استاتور (اتصال کوتاه فاز به بدنه یا زمین).
 - عایق بین سیم‌پیچ‌ها (جلوگیری از خطای فاز به فاز).
- عایق روی سیم، به عنوان محافظ الکتریکی بین سیم به سیم (حلقه به حلقه) می‌باشد. هر شیار با مواد عایقی پلی‌آمید (Polyamide) با دی‌الکتریک بسیار بالا عایق شده‌اند. این عایق شیار، بین سیم‌پیچی و استاتور موتور قرار می‌گیرد و از خطاهای فاز به بدنه یا زمین جلوگیری می‌کند.

برای جلوگیری از خطاهای فاز به فاز در انتهای هسته استاتور جایی که سیم‌پیچ ۱۸۰ درجه می‌چرخد (انتهای حلقه)، بین کلاف هر فاز عایق قرار می‌گیرد. بعد از اتمام سیم‌پیچی و عایق کاری، برای عایق کاری بیشتر استاتور سیم‌پیچی شده را با وارنیش (لاک عایقی) یا با اپوکسی پر جامد (solid-fill epoxy) کپسولی (محصور سازی) می‌کنند. فرایند کپسولی کردن سیم‌ها، فضاهای خالی درون شیار و گرداگرد انتهای حلقه سیم‌پیچ‌ها را پر می‌کند. این کار، چندین وظیفه مهم را انجام می‌دهد. نخست، از حرکت سیم‌ها در نتیجه از سایش سیم با سیم و احتمال خرابی عایق سیم جلوگیری می‌کند. دوم، مقاومت الکتریکی (دی‌الکتریک) سیم‌های داخل شیار و حلقه‌های انتهایی را افزایش می‌دهد. سوم، قابلیت هدایت حرارتی را برای انتقال حرارت هسته



موتور از طریق شیارها به پوسته بدنه، به طور قابل توجه بهبود می‌بخشد. در نهایت، سیم‌پیچی را در برابر آسیب‌های ذاتی سیال داخل چاه محافظت می‌کند. دو مورد آخر ذکر شده در روش وارنیش زیاد صدق نمی‌کنند. همانطور که از نام وارنیش (لاک عایقی) مشخص است، فقط یک پوشش نازک می‌باشد یعنی روی سطح شیارهای ورق و سیم مغناطیسی (کوئل) قرار می‌گیرد. بنابراین، فضاهای خالی وجود دارد که هنگام روغن‌کاری موتور، روغن انباشته شده و قابلیت هدایت حرارتی و مقاومت عایقی (دی الکتریکی) را کاهش می‌دهد. توزیع حرارتی در هر دو روش کپسولی با اپوکسی و وارنیش در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



پژش

سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۳۲

اپوکسی و وارنیش.

نرم‌افزارهای مدل‌سازی پیشرو در صنعت، این امکان را به مهندسان می‌دهند تا در حداقل زمان ممکن طرح‌های بسیار زیادی را برای بهینه‌سازی عملکرد عایق مدل‌سازی نمایند. عملکرد عالی اپوکسی سبب هدایت حرارتی بی‌نظیر و افزایش عمر عایقی می‌شود به طوری که عمر موتور ESP بیش از ۲ سال افزایش می‌دهد.

شکل ۱-۲ توزیع حرارت در عایق‌های وارنیش و اپوکسی

کپسولی کردن با اپوکسی نسبت به وارنیش ساده دارای چندین مزیت می باشد که به شرح زیر می باشد:

- تنش مکانیکی سیم ها را بیشتر بهبود بخشیده و از حرکت یا جابجایی سیم ها جلوگیری می کند.
 - مقاومت عایقی سیم پیچی ها را بیشتر بهبود می بخشد.
 - به علت هدایت حرارتی بسیار بزرگ اپوکسی (در حدود ۳۰۰ برابر بزرگتر نسبت به وارنیش)، حرارت تولید شده در سیم پیچ های استاتور به بیرون موتور به خوبی انتقال می یابد.
 - اپوکسی سیم ها و انتهای سیم پیچ ها را در برابر آلودگی محافظت می کند.
- طول استاتور سیم پیچی شده، تعداد روتورها را تعیین می کند. همچنین طول و قطر استاتور توان نامی موتور را تعیین می کند. با توجه به طول و توان مشخص، به طور کلی، انتخاب های مختلفی از ولتاژ کم / جریان زیاد تا ولتاژ زیاد / جریان کم وجود دارد.



$$HP_{output} = (V \times I \times 1.73 \times \text{power factor}(PF) \times \eta_m) / 746$$

که در آن، V ولتاژ شبکه، I جریان خطی، Power Factor(PF) ضریب قدرت و η_m راندمان موتور می باشد.

۳-۳- محور

محور وظیفه انتقال گشتاور تولید شده توسط روتورها را دارد. همچنین، محور تمام اجزای دوار را به صورت محوری در یک ردیف نگه داشته و مسیری برای خنک کاری و روغن کاری یاتاقان های شعاعی و روتورها ایجاد می کند. معمولاً محور به صورت لوله ای (استوانه) بوده، و سوراخ مرکزی مسیری برای گردش روغن می باشد. به دلیل اینکه محور در روغن تمیز کاملاً غوطه ور خواهد شد، بنابراین مواد نامتعارف مقاوم در برابر خوردگی نیاز نمی باشد. به طور معمول محور از مواد آلیاژ فولاد کربن ساخته می شود. لنگی محور به دلیل نیاز به چرخش خوب و با سرعت زیاد بسیار مهم است و نباید لنگی داشته باشد.

۳-۴- روتور

روتور با یک فاصله هوایی مشخص در داخل استاتور قرار می گیرد و یک جزء مدام در حال چرخش در داخل استاتور می باشد. اصولاً، روتورها می توانند در یک قطعه ساخته شوند اما به علت سرعت دورانی بالا و نازکی بسیار زیاد آنها (بزرگ بودن نسبت طول به قطر روتور)

دارای مشکلات ناپایداری دینامیکی شدیدی می‌باشند. بنابراین، روتور ESP به خاطر پایداری دینامیکی از روتورهایی با طول‌های کوچک (معمولاً ۱ فوت) با بلیرینگ‌های شعاعی بین آنها ساخته می‌شود. شکل ۱-۳ روتور ESP که شامل تعدادی روتور با طول کوچک می‌باشد را نشان می‌دهد.

به دلیل جلوگیری از جریان‌های گردابی، روتور نیز همانند استاتور از ورق‌های مغناطیسی نازک ساخته می‌شود. شیارهای ورق‌های روتور شامل مجموعه‌ای از میله‌های مسی می‌باشد که به وسیله رینگ‌های انتهایی یا واشرهای مسی، در هر دو طرف انتهای میله‌های مسی بهم متصل (اتصال کوتاه) شده‌اند و قفسی به شکل قفس سنجاب تشکیل می‌دهند. سوراخ مرکزی ورق‌های روتور یک جای خار محوری دارند که با خار محوری نصب شده بر روی محور قفل می‌شوند. در این صورت ورق‌های روتور بر روی محور ثابت می‌شوند که از این طریق گشتاور را به محور انتقال می‌دهند. به دلیل افزایش حرارت، امکان حرکت محوری ورق‌ها روی محور نیز وجود دارد.

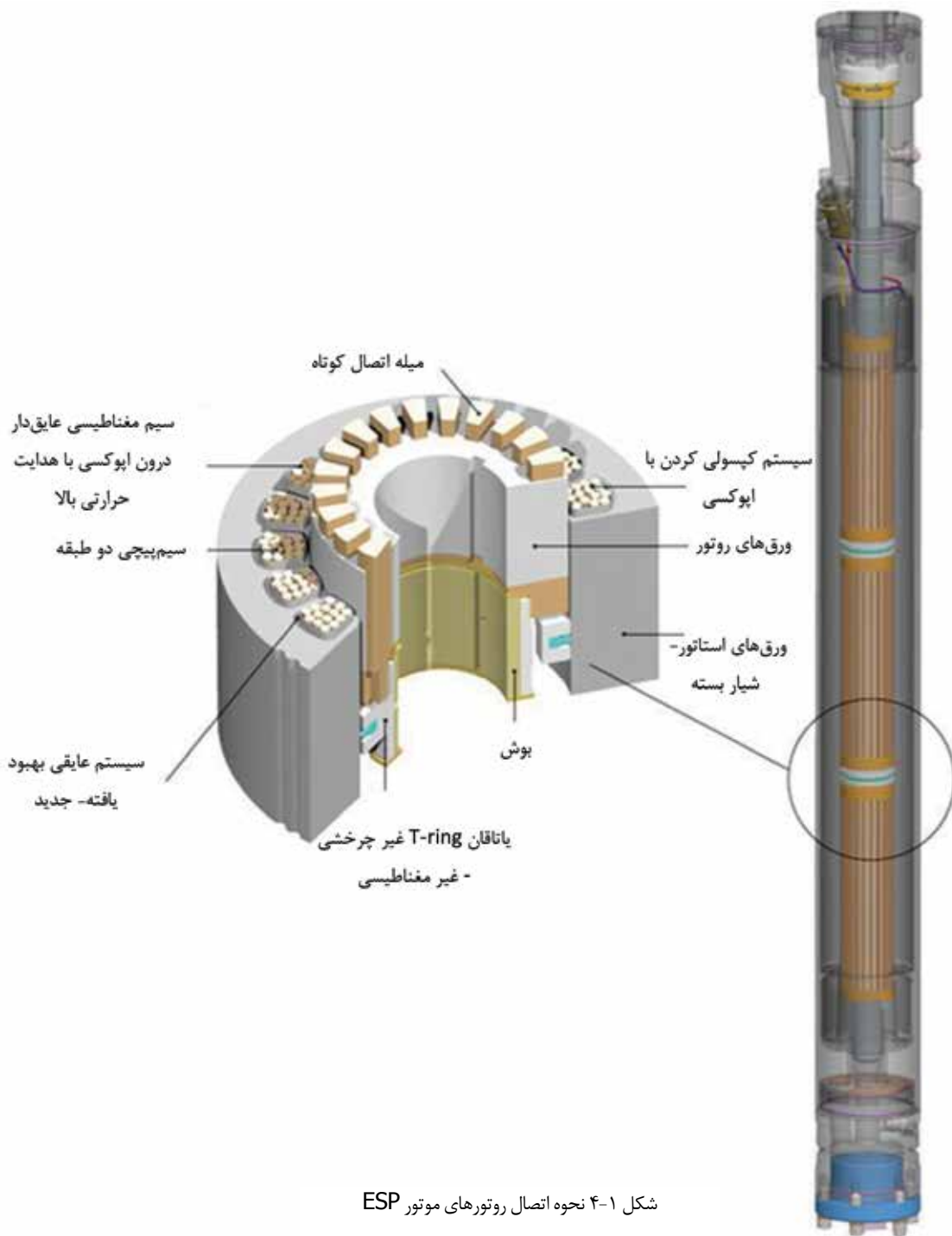


شکل ۱-۳ روتورهای تشکیل دهنده روتور ESP.



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۳۴



شکل ۱-۴ نحوه اتصال روتورهای موتور ESP

شکل ۱-۴ نحوه اتصال روتورهای موتور ESP را نشان می دهد. به دلیل اینکه تنها محور موتور می تواند طولی بیش از ۳۰ فوت داشته باشد حذف نوسانات شعاعی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. به این دلیل است که یاتاقان های شعاعی در چندین مکان در طول محور قرار می گیرند. برای جلوگیری از چرخش یاتاقان دو راه وجود دارد:

- در امتداد طول باتاقان از ورق‌های غیرمغناطیسی در استاتور استفاده شود تا میدان مغناطیسی دوار و نیروهای مغناطیسی بر روی باتاقان‌ها کاهش یابد.
- باتاقان‌ها دارای خار بوده و یا بر روی استاتور ثابت شده‌اند.
- قسمت ژورنال این باتاقان‌ها بر روی محور محکم شده و با آن به چرخش در می‌آیند، در صورتی که قسمت ساکن باتاقان بین استاتور و ژورنال قرار دارد. همچنین برای تحمل بار محوری ناشی از وزن روتور و محور، یک باتاقان کفگرد مناسب در بالای آن نصب می‌شود. کل موتور با روغنی که به طور عالی تصفیه شده و چگالی مخصوص آن بین ۰/۸ تا ۰/۸۳ باشد پر می‌شود و برای حذف مواد ریز موجود در روغن از فیلتر استفاده می‌شود. روغن استفاده شده در موتور دارای مزایای زیر می‌باشد:
- برای جلوگیری از بروز اتصال کوتاه بین قسمت‌های مختلف موتور، مقاومت عایقی را افزایش می‌دهد.
- باتاقان‌ها را به طور مناسب روغن کاری می‌کند.
- برای انتقال حرارت تولید شده در موتور به بیرون از بدنه، قابلیت هدایت حرارتی را افزایش می‌دهد.



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۳۶

منابع :

- [1] Takacs G. "Electrical Submersible Pumps Manual_ Design, Operations, and Maintenance", Gulf Professional Publishing ,2009.
- [2] www.petrowiki.org

[۳] مدارک فنی شرکت های سازنده.

● تحلیل عددی نیروهای شعاعی و محوری در پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ



◀ بهزاد نیک آور
کارشناس آزمایشگاه

■ خلاصه مقاله

جریان ناپایدار دوفازی جامد-مایع در پمپهای سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ توسط نرم افزار CFD در یک حرکت دورانی کامل، شبیه سازی شده است. تغییرات فشار در مقطع خروجی پمپ، توزیع بارهای شعاعی و بارهای محوری در پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ طی یک دوران کامل پروانه در این مقاله ارائه گردیده است. نتایج حاکی از آنست که حداقل فشار در مقطع خروجی هنگامی رخ میدهد که حداکثر مقدار شعاع پروانه (R_{max}) به نزدیکی زبانه خروجی محفظه می چرخد و حداکثر مقدار نیز زمانی رخ میدهد که حداکثر شعاع پروانه به محدوده VI و VII دوران پیدا میکند. نیروهای شعاعی در یک حرکت دورانی کامل با توزیع تقریبی محیطی بر روی پروانه فرض میگردد. زمانی که درصد حجمی جامد افزایش پیدا می کند نیروهای شعاعی بتدریج افزایش می یابد. جهت نیروهای شعاعی در خلاف جهت ماکزیمم مقدار فشار در مقطع خروجی پمپ می باشد. موقعیت حداکثر شعاع پروانه در تغییرات مقادیر نیروهای محوری بیشترین تاثیر دارد. بیشترین مقدار نیروهای محوری زمانی رخ می دهد که حداکثر شعاع پروانه به زبانه خروجی چرخش پیدا کرده و مینیمم مقدار نیز زمانی اتفاق می افتد که حداکثر شعاع پروانه در دور ترین نقطه نسبت به زبانه خروجی قرار می گیرد.



سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۱. مقدمه

پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ نوعی از پمپ های گل کش جدید می باشد البته با قابلیت های منحصر بفرد از جمله، عدم مسدود شدن یا گرفتگی، عدم وجود سیم پیچی و ضایعات. بطور معمول برای تخلیه فاضلاب، غذا، کاغذ و سایر دپارتمان های صنعتی کاربرد دارد [۱]. جهت جلوگیری از مسدود شدن مسیر جریان عبوری ساختار آن بصورت تیغه های سه بعدی که به ناف مخروطی پروانه اضافه شده است می باشد. بعلاوه عدم تقارن در این اشکال هندسی به هنگام عملکرد پمپ بر روی پروانه تغییرات بزرگی از نیروهای محوری به وجود می آید [۲]. ملاحظه می گردد که این نیروهای محوری بیشترین تاثیر را روی تلرانس، پایداری و ضریب اطمینان روی بلبرینگ ها و سیل ها و دیگر موارد دارد. در این بخش، شبیه سازی عددی جریان پایدار دوفازی جامد-مایع در پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ بصورت جریان داخلی مورد توجه قرار گرفته است [۳]. گرچه مشخصات مبحث جریان داخلی با درجه ای از واقعیت می تواند انعکاس یابد لیک این امر برای پمپ های مذکور با جریان های داخلی مختلط قابل تعمیم نمی باشد لذا در نظر گرفتن حالت تعادلی برای جریان در این پمپ ها، الزام بیشتری دارد [۵].



۲. پارامترهای مدل و نتایج شبکه محاسباتی

در این مقاله پمپ سانتریفیوژ از نوع $150 * 100 * LN32$ مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار آبدهی $165 m^3/h$ و مقدار هد $32 m$ بوده و زاویه پره های پروانه تا 781.1 درجه و درجه ای که در آن شعاع پروانه به حداکثر مقدار خود میرسد 686.6 درجه در نظر گرفته شده است و برآمدگی محوری پروانه نیز $0.328 m$ می باشد. مدل پمپ در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. شبکه چهار وجهی در تمامی محدوده مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد شبکه نهایی 562508 می باشد.



شکل ۱. مدل سه بعدی

۳. شبیه سازی محدوده جریان

۱.۳. معادلات حاکم

معادلات ناویراستوکس

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) + \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

۲.۳. مدل ویسکوز

برای جریان ناپایدار تراکم ناپذیر سه بعدی، استاندارد مدل k-ε با دقت بالا انتخاب شده است. سیال به کار رفته آب گل آلود میباشد که توسط نرم افزار Fluent برای مدل های مخلوط به کار گرفته می شود. معادلات کنترل جریان ناپایدار دوفازی جامد-مایع را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \vec{v}_m) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m \vec{v}_m) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla \vec{v}_m + \nabla \vec{v}_m^T)] + \rho_m \vec{g} + \vec{F} + \nabla \cdot (\sum_k^n \alpha_k \rho_k \vec{v}_{dr,k} \vec{v}_{dr,k}) \quad (4)$$

که

ρ_m : چگالی فاز مختلط می باشد.

μ_m : ویسکوزیته فاز مختلط می باشد.

F : نیروهای وارده از فاز مختلط میباشد.

V : میانگین سرعت فاز مختلط می باشد.

n : تعداد فاز های مختلط می باشد.

α_k : درصد حجمی k فاز متفاوت می باشد.

ρ_k : چگالی k فاز متفاوت می باشد.

$V_{dr,k}$: سرعت رانش K فاز مختلف می باشد.



در صورتی که سرعت لغزشی V_{qp} ما بین فاز اولیه P و فاز ثانویه Q توسط فرمول زیر تعریف گردد:

$$\vec{V}_{qp} = \vec{V}_p - \vec{V}_q \quad (5)$$

در اینصورت رابطه بین سرعت لغزشی و رانشی را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\vec{V}_{dr,p} = \vec{V}_{qp} - \sum_{k=1}^n \frac{\alpha_k \rho_k}{\rho_m} \vec{V}_{qk} \quad (6)$$

معادله کسر حجمی:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{V}_m) = -\nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{V}_{dr,p}) \quad (7)$$

۳.۳ شرایط مرزی

مش متحرک برای شبیه سازی جریان ناپایدار در پمپ مد نظر قرار گرفته شده است. دوجبه مشترک در نظر گرفته شده است، اول ما بین ورودی پمپ و پروانه و دیگر ما بین محفظه و پروانه. سرعت ورودی و خروجی در شرایط مرزی با تغییر دادن سرعت ورودی و درصد حجمی جامد، برای شبیه سازی جریان توزیع میدان در شرایط مختلف در پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ استفاده می شود.

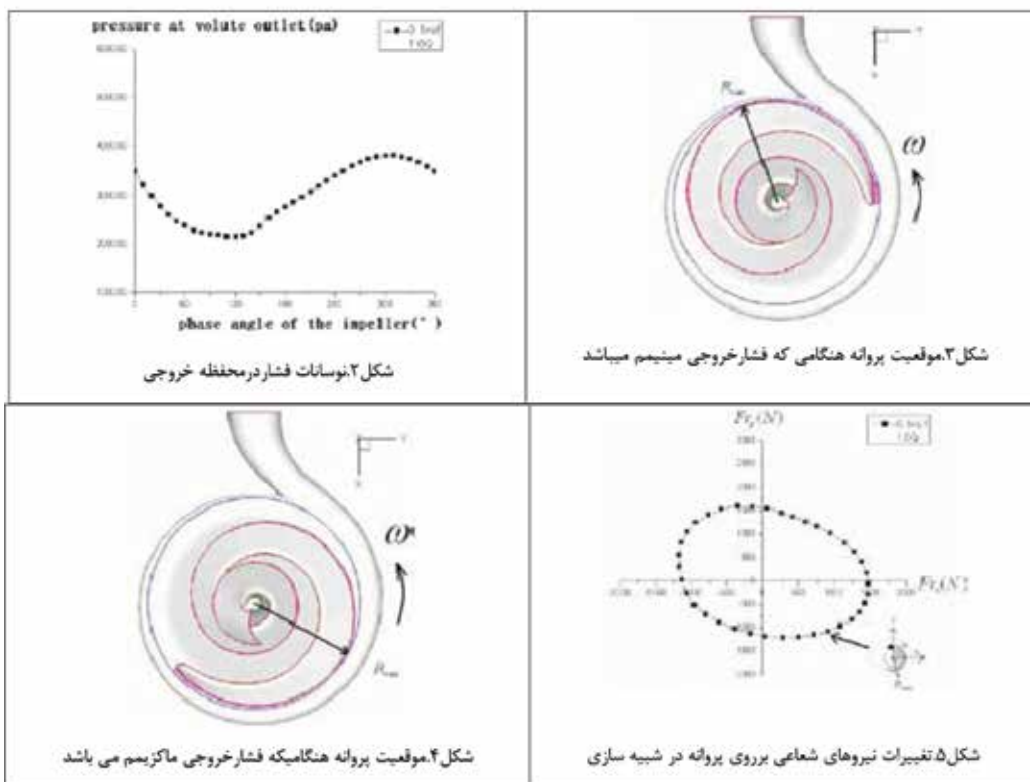
۴. نتایج شبیه سازی عددی و مباحث

۱.۴ نوسانات فشار در مقطع خروجی محفظه

شکل (۲) تغییرات فشار در خروجی محفظه را در یک چرخش کامل پروانه در موقعیت نقطه کار خود (rated) که در آن قطر شن و ماسه 0.013mm و درصد حجمی آن ۱۰ درصد است را نشان میدهد. فشار در خروجی محفظه بصورت متناوب با دوران پروانه در حال تغییر می باشد. در مقطع خروجی، پروانه دارای نقاط حداقل و حداکثر فشار در یک دوران کامل می باشد. لذا پروانه شامل یک تیغه می باشد که در آن شعاع ماکزیمم به موقعیت مشخص شده دوران پیدا می کند. همانگونه که در شکل ۴،۳ نمایش داده شده است. شکل ۳ موقعیت پروانه را هنگامی که فشار خروجی مینیمم باشد را نشان می دهد که در این شرایط حداکثر شعاع به زبانه محفظه می چرخد. بدین علت که اصول عملکرد پمپ های سانتریفیوژ با پروانه مارپیچ شبیه پمپ های چرخشی حجمی می باشد، با تغییر در حجم ورودی از محفظه پمپ برای انتقال انرژی و مایعات استفاده می شود. مقدار ما بین بیشترین شعاع و خروجی محفظه با دوران پروانه تغییر پیدا می کند. زمانی که بیشترین شعاع به زبانه محفظه می رسد ورودی پمپ بیشترین مقدار خود را داشته و پروانه نیز در حد میانی خود کار نمی کند. بنابراین فشار در



مقطع خروجی کمترین مقدار را دارد. شکل ۴ موقعیت پروانه را هنگامی که فشار در خروجی حداکثر می باشد را نشان می دهد در آن هنگام موقعیت شعاع ماکزیمم در محدوده VI و VII قرار دارد. چون حجم داخل حداکثر شعاع و مقطع خروجی به هنگام چرخش پروانه کاهش پیدا میکند مقدار فشرده‌گی و تراکم نیز بتدریج افزایش می یابد و پروانه در موقعیت محیطی خود عمل می نماید و در عین حال از جریان برگشتی نیز تبعیت می کند. افزایش جریان برگشتی و اتلافات انرژی هنگامی که شعاع ماکزیمم به محدوده VII نزدیک می شود منجر به کاهش فشار در خروجی می گردد. بطوریکه فشار در خروجی زمانی که موقعیت پروانه مانند شکل (۴) باشد به حد اکثر مقدار خود می رسد.



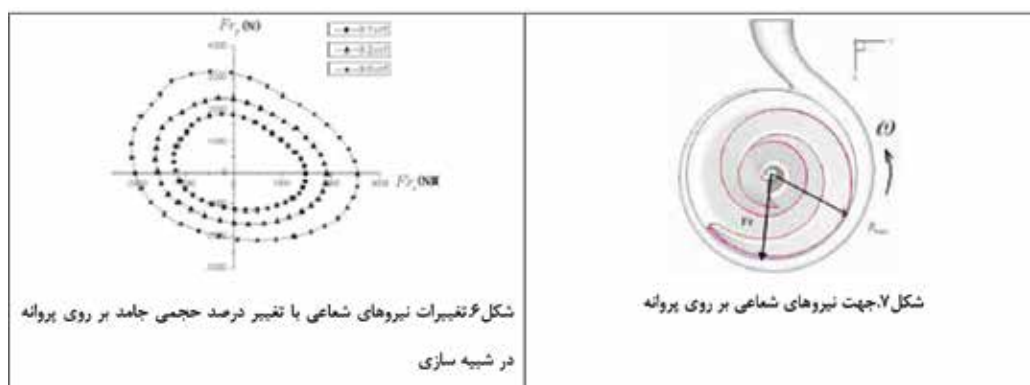
۴-۲. آنالیز نیروهای شعاعی

شکل ۵ مقدار محاسبه شده نیروهای شعاعی را در یک دور کامل نشان می دهد. نیروهای شعاعی بر روی پروانه باتوزیع یکنواخت در یک دور کامل فرض می گردد. شکل ۶ تغییرات نیروهای شعاعی با درصد حجمی متفاوت جامد-مایع را نشان می دهد. نیروهای شعاعی با افزایش درصد حجمی جامد افزایش پیدامی کند اما جهت آن با افزایش درصد حجمی جامد تغییر پیدا نمی کند. از آنجائیکه عدم تقارن هندسی پروانه منجر به تولید نیروهای شعاعی می شود و افزایش درصد حجمی فاز جامد باعث



افزایش چگالی متوسط می گردد، در نتیجه نیروهای گریز از مرکز افزایش یافته و تمامی این عوامل منجر به افزایش نیروهای شعاعی روی پروانه می شود.

شکل ۷ جهت نیروهای شعاعی و موقعیت حداکثر شعاع را هنگامی که فشارمقطع خروجی ماکزیمم می باشد را نشان میدهد. جهت نیروهای شعاعی و مقطع خروجی تقریباً در خلاف جهت هم می باشند زیرا که فشار مقطع خروجی و نیروهای روی پروانه هنگامی که به هم نزدیک می شوند به بیشترین مقدار خود می رسد. با احتساب میانگین طیف عبوری، منجر به ایجاد نیرو در پروانه می گردد که در خلاف جهت مقطع خروجی می باشد. نتیجه میگیریم که جهت نیروهای شعاعی در جهت عکس نقطه بیشترین فشار بر روی قسمت مارپیچ می باشد.



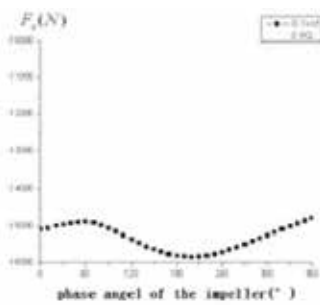
پسپ

سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

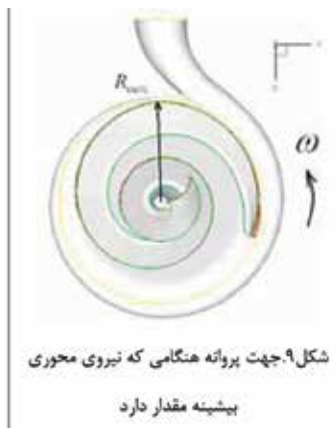
۴۲

۳-۴ آنالیز نیروهای محوری

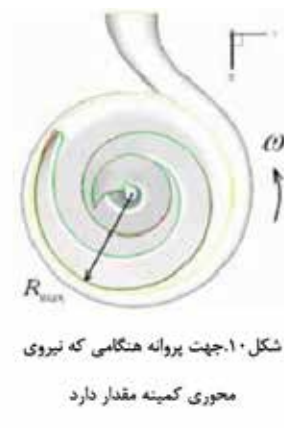
شکل ۸ نیروهای محوری (F_a) محاسبه شده در یک دوران کامل را نشان می دهد که در برگیرنده مقادیر حداقل و حداکثر در طی دوران کامل می باشد. شکل ۹ جهت حداکثر شعاع را هنگامی که نیروهای محوری حداکثر می باشد را نشان می دهد. شکل ۱۰ جهت حداکثر شعاع را به هنگامی که نیروهای محوری حداقل می باشد را نشان می دهد. از دو شکل ارائه شده این گونه به نظر می رسد که حداکثر مقدار نیروی محوری زمانی می باشد که حداکثر شعاع به زبانه محفظه دوران پیدا می کند و اینکه زمانی که از زبانه محفظه دور میشود کمینه مقدار را دارد.



شکل ۸. تغییرات نیروی محوری بر روی پروانه



شکل ۹. جهت پروانه هنگامی که نیروی محوری بیشینه مقدار دارد



شکل ۱۰. جهت پروانه هنگامی که نیروی محوری کمینه مقدار دارد

۵. نتیجه گیری

۱. شبیه سازی عددی از فشار در مقطع خروجی به صورت متناوب تغییر پیدا می کند و در یک دوران کامل دارای دو مقدار یکی بیشینه و دیگری کمینه می باشد. فشار در مقطع خروجی زمانی که حداکثر شعاع در محدوده VI و VII باشد بیشینه می باشد و هنگامی که به سمت زبانه محفظه بچرخد کمینه می باشد.

۲. نیروهای شعاعی در روی پروانه با توزیع تقریباً محیطی در یک دوران کامل فرض شده است. هنگامی که درصد حجمی جامد افزایش پیدا می کند، نیروهای شعاعی نیز بتدریج افزایش می یابد. جهت نیروهای شعاعی بر خلاف جهت بیشترین مقدار فشار در محفظه می باشد.

۳. در تحلیل عددی نیروی محوری نیز در طی یک دوران کامل دارای تغییر بوده و دارای نقاط حداقل و حداکثر می باشد. نیروی محوری هنگامیکه بیشترین شعاع به زبانه محفظه میچرخد حداکثر بوده و هنگامیکه از زبانه محفظه دور می شود حداقل می باشد.

منابع:

- [1] Yang junhu, Wang guodong, Zhang hongxia, Wu junhui. The Status Quo and Prospects of Research and Development for Screw Centrifugal Pump. [J]. Hydraulic and Pneumatic, 2009(4):1
- [2] LI Rennian, QUAN Hui, HAN Wei, SU Qingmiao, MA Wei. Influences of variable-pitch balde on the screw centrifugal pump axial force. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING; 2011; 47(14):158-163.
- [3] LI Rennian, WANG Qihong, SHEN Jianfeng, HAN Wei. Numerical simulation of solid/liquid two-phase flow in the screw centrifugal pump. FLUID MACHINERY. 2008; 36(12):24-27.
- [4] Tasushi Tatebayashi, Kazahiro Tanaka, Toshio Kobayashi. Thrust prediction in screw-type centrifugal pump [J]. Proc. of FEDSM'03 4TH ASME-JSME Joint Fluids Engineering Conference Honolulu, Hawaii, USA, July 6-10, 2003, 1



● کنترل و حذف خوردگی در مرحله طراحی و انتخاب مواد



◀ مهندس مهدی نقویان
کارشناس متالورژی

۱- پیش گفتار

خوردگی پدیده‌ی مخربی است که موجب اتلاف مواد، انرژی و سرمایه می‌شود. خوردگی به سه طریق موجب افزایش هزینه‌های یک جامعه می‌شود: الف) خوردگی باعث خسارت‌های مالی مستقیم می‌شود (مثل تخریب تجهیزات و ماشین‌آلات صنعتی، پل‌ها، تاسیسات، کشتی‌ها و ...). ب) خوردگی باعث به هدر رفتن و ضایع شدن منابع طبیعی می‌شود (مثل افزایش برداشت از سنگ آهن و مصرف بی‌رویه آب و انرژی برای تبدیل آن به آلیاژهای آهنی در اثر خوردگی و انهدام چدن‌ها و فولادها). ج) خوردگی باعث سلب آسایش و راحتی بشر و حتی مرگ و میر انسان‌ها می‌شود (مثل مرگ و جراحت انسان‌ها در اثر تخریب سازه‌ها، پل‌ها، ماشین‌آلات و ... و مرگ و مسمومیت در اثر خوردگی وسایل نگهداری و حمل مواد غذایی و مواد آشامیدنی و ورود تدریجی فلزات سنگین و مواد شیمیایی به بدن انسان‌ها و ...). خسارت‌های مالی ناشی از خوردگی بسیار هنگفت بوده و نتایج ارزیابی‌های به عمل آمده در برخی کشورهای صنعتی پیشرفته نشان می‌دهد که این زیان‌ها سالیانه رقمی در حدود ۴-۵ درصد تولید ناخالص ملی آن‌ها را شامل می‌شود. به طوری که زیان مالی خوردگی در سال ۱۹۹۴ در آمریکا بالغ بر ۳۰۰ میلیارد دلار تخمین زده شده است. در کشور ما نیز مسلماً هزینه‌های زیادی بابت این پدیده به خصوص در صنایع آب و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی پرداخت می‌شود که البته برآوردی از آن وجود ندارد ولی هدررفت فراوان شبکه انتقال آب کشور، خسارت‌های وارده به اقتصاد کشاورزی به دلیل خوردگی و انهدام پمپ‌ها و شبکه انتقال آب، توقف ناخواسته نیروگاه‌های برق به دلیل سوراخ شدن دیگ‌های بخار و مبدل‌ها، انهدام تاسیسات، ماشین‌آلات و خطوط انتقال در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و ... از جمله خسارت‌های خوردگی می‌باشد که بی‌گمان هزینه‌های جامعه ما را بالا برده است.



پس

سال ۳۱
بهار و تابستان
۱۳۹۴

۴۴



شکل ۱- خوردگی و تخریب خط لوله انتقال

۱- کنترل خوردگی:

علیرغم خسارت های هنگفت خوردگی، خوشبختانه می توان با اتخاذ تدابیری در مرحله طراحی و یا با به کار بستن اصول حفاظت و کنترل خوردگی، زیان های وارده را به مقدار فراوان و به نحو مطلوبی کاهش داد. چنان چه مشکلات بالقوه ی خوردگی در مرحله طراحی حل نشود، به طور حتم بعداً به شکل تجهیزات خورده شده، تخریب های صورت گرفته، هدر رفت های زیان بار و هزینه سوز، توقف ها و تعطیلی های ناخواسته، خود را نشان خواهد داد. اینجاست که نقش مهندسين خوردگی پر رنگ می شود. برای یک طراح چیزی مهم تر از داشتن اطلاعات دقیق از هزینه های خوردگی و لزوم حذف یا کاهش آن در مرحله ی طراحی وجود ندارد. طراح باید توانایی گزینشی مقرون به صرفه از روش های متعدد کنترل خوردگی برای کاربرد مورد نظر را داشته باشد. انتخاب درست مواد یکی از مهم ترین وظایف یک طراح است. مارس فونتانا استاد برجسته علم خوردگی می گوید: ((تمامی انهدام های خوردگی حقیقتاً از بی دقتی در استفاده از قطعات توسط استفاده کننده یا انتخاب ضعیف مواد یا توسط طراحی ناشی می شود)). در بیشتر شرکت های بزرگ، مهندسين طراح و مهندسين مواد در کنار هم کار می کنند تا اطمینان حاصل شود که خوردگی، شکست و انهدام زودرس به دلیل نقص در طراحی یا انتخاب نادرست مواد اتفاق نمی افتد.





شکل ۲- تخریب قطعه در اثر خوردگی

۲- عوامل موثر بر عمر تجهیزات

از نقطه نظر خوردگی، فاکتورهایی که بر عمر تجهیزات اثر می گذارند عبارتند از: جزئیات طراحی، انتخاب مواد ساختمانی، ویژگی ها و مشخصات فنی مواد، ساخت و تولید، کنترل کیفیت و بازرسی، بهره برداری و عملیات فرایندی، تعمیر و نگهداری، شرایط محیطی و ... به عبارت بهتر، در جزئیات طراحی باید مقاومت به خوردگی مواد را مد نظر داشت. مواد ساختمانی از نظر مقاومت به خوردگی باید به دقت انتخاب شود. تجهیزات باید کاملاً دقیق و درست ساخته شده و جهت تطبیق با شرایط مطلوب کنترل و بازرسی شوند. تجهیزات باید به درستی و برای شرایط محیطی طراحی شده مورد استفاده قرار گیرند. تجهیزات باید به درستی نگهداری شوند. تمام این فاکتورها باید توسط طراح جهت اطمینان از عمر مفید تجهیزات طراحی شده، در نظر گرفته شوند.

۳- انتخاب مواد

طراح باید بتواند از برترین مواد بهینه برای کاربردهای معین استفاده کند. مفهوم روشن بهینه عبارت است از این که ماده با نازل ترین قیمت، کار مطمئن و مناسب را انجام دهد. در واقع مناسب ترین مواد الزاماً گران ترین یا بهترین آن ها نمی باشد. یک انتخاب درست برای جنس یک قطعه، انتخابی است



که با کمترین هزینه، کارکرد مطمئن و مناسبی داشته باشد و الزامات طراح را از نقطه نظر مقاومت مکانیکی و مقاومت به خوردگی به نحو مطلوبی برآورده ساخته و عمر پیش بینی شده را محقق سازد. به عنوان مثال مدیریت یک شرکت نفتی تصمیم گرفت پنج مبدل حرارتی خود را به جای فولاد کربنی که به طور معمول استفاده می شود از فولاد زنگ نزن تامین نماید (با این تصور و توجیه اشتباه که فولاد زنگ نزن بهتر و گران تر از فولاد معمولی است پس باید مقاومت به خوردگی بهتری در آن محیط داشته باشد). نتیجه‌ی تصمیم جدید بسیار خسارت بار و پر هزینه بود، چرا که طی نخستین هفته‌ی کار، مبدل های حرارتی از جنس فولاد زنگ نزن در اثر خوردگی تحت تنش کلریدی دچار تخریب شدند.

برای انتخاب مواد مناسب جهت جلوگیری از خوردگی یا به حداقل رساندن آن، قدم های زیر باید برداشته شود:

۳-۱- بررسی شرایط بهره برداری و محیطی:

اولین قدم در فرایند انتخاب مواد، بررسی و مرور کلی محیط خورنده و شرایط بهره برداری دستگاه است. اطلاع دقیق از محیط کاربری، شرایط کاری، آنالیز سیال، دما، فشار، سرعت جریان سیال، فازهای مایع نسبت به گاز، پیوسته یا ناپیوسته بودن فرایند و ... کمک زیادی به انتخاب درست مواد می کند.

۳-۲- بررسی طراحی

حذف خوردگی در مرحله طراحی، ضمن افزایش عمر تجهیزات، هزینه ها را نیز به شدت کاهش می دهد. این مسئله ارتباط نزدیک طراحان و مهندسين خوردگی را می طلبد. در واقع، برای کنترل خوردگی، مهندس خوردگی نیز باید در کنار مهندس طراح، نقشه ها و طراحی ها را تأیید نماید. قوانین طراحی بسیاری وجود دارد که باید برای به دست آوردن بهترین مقابله با خوردگی رعایت شوند، از قبیل موارد زیر:

۱- به جای پرچکاری از جوشکاری استفاده شود. اتصالات پرچی نقاطی برای خوردگی شیاری هستند.
۲- مخازن و محفظه ها طوری طراحی شود که به سهولت قابل تخلیه و تمیز کردن باشند. کف مخازن باید به طرف سوراخ تخلیه شیب داشته باشد تا از باقی ماندن محلول در کف مخزن هنگام تخلیه جلوگیری شود. به طور مثال اسید سولفوریک غلیظ خوردگی بسیار کمی روی فولاد دارد ولی در صورتی که مخزن به طور کامل تخلیه نگردد و محلول باقیمانده در تماس با هوا باشد، اسید با جذب رطوبت هوا و رقیق شدن باعث خوردگی سریع مخزن می شود.

۳- سیستم ها طوری طراحی شود تا اجزایی که به سرعت خورده می شوند به سهولت قابل تعویض باشند.
۴- از تنش های مکانیکی بالا و مراکز تنش در قطعاتی که در معرض محیط خورنده قرار دارند پرهیز شود. تنش های مکانیکی یا داخلی یکی از عوامل ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش (SCC) است. این مطلب مخصوصاً در مورد آلیاژهایی که مستعد به SCC هستند مثل فولادهای زنگ نزن و برنج ها باید رعایت شود.
۵- حتی الامکان از تماس الکتریکی فلزات غیر همجنس جلوگیری شود تا خوردگی گالوانیکی بوجود نیاید. در



صورت امکان در تمام سیستم از یک نوع فلز یا آلیاژهای هم خانواده استفاده شود و در غیر این صورت فلزات غیر همجنس از یکدیگر عایق شوند.

۶- در سیستم های لوله کشی از زانوها با زاویه های تند پرهیز شود. پیچ های تند و جاهای دیگری که در آنها جهت سیال به سرعت عوض می شود باعث خوردگی سایشی می گردد. این مطلب مخصوصاً در سیستم هایی که مستعد به خوردگی سایشی هستند، مهم می باشد.

۷- برای شرایطی که سیال با فلز برخورد می کند، ضخامت بیشتری از فلز در نظر گرفته شود.

۸- طراحی به گونه ای باشد که ارتعاشات شدید وجود نداشته باشد.

۹- در صورت امکان موقعیت تجهیزات طوری انتخاب شود که در مسیر حرکت باد ناشی از کارخانه یا اتمسفرهای آلوده قرار نداشته باشد.

۱۰- در عملیات انتقال حرارت از نقاط گرم و نایکنواختی شیب درجه حرارت اجتناب شود. توزیع غیر یکسان درجه حرارت منجر به گرم شدن موضعی و سرعت های خوردگی بالا می شود. به علاوه نقاط گرم تر باعث تنش هایی می شود که ممکن است منجر به خوردگی توام با تنش گردد.

۱۱- موقع طراحی حذف هوا در نظر گرفته شود. احیاء اکسیژن یکی از مهم ترین واکنش های کاتدی در خوردگی است و اگر اکسیژن حذف گردد، غالباً خوردگی نیز کم یا متوقف می شود. در طراحی تجهیزات کارخانجاتی که با مواد شیمیایی سروکار دارند باید توجه خاصی به همزن ها، مدخل ورودی محلول و نواحی دیگری که امکان وارد کردن هوا به سیستم دارند، معطوف شود. نصب شیرهای هواگیری و استفاده منظم از آنها مفید است. فلزات و آلیاژهای فعال - غیر فعال در این مورد استثناء هستند. تیتانیوم و فولادهای زنگ نزن در اسیدهای هوادار یا اکسید کننده های دیگر مقاوم ترند.

۱۲- دستورالعمل هایی برای آزمایش ها یا نگهداری در انبار قطعات و تجهیزات تعیین شود. مثلاً پس از آزمایش هیدرولیکی نباید وسیله مربوطه پر یا نیمه پر به مدت طولانی باقی بماند. این مسئله می تواند منجر به خوردگی میکروبی، حفره دار شدن و خوردگی تنشی گردد. مشاهده گردیده است که لوله های از جنس فولاد زنگ نزن موقع نگهداری در انبار نزدیک ساحل دریا در اثر خوردگی تنشی ترک خورده اند.

۱۳- نحوه اتصال قطعات مختلف به هم، جنس و محل پیچ و مهره ها، مواد مورد استفاده برای جوشکاری و شناخت عوارض ناشی از فرایندهای جوشکاری، طراحی قطعه با حذف نواحی مرده و مستعد به شروع خوردگی و ... از جمله مواردی است که باید مهندسین طراح و مواد مدنظر قرار دهند.

۱۴- کلی ترین قانون، اجتناب از غیر یکنواختی است. فلزات غیر همجنس، حباب های هوا، توزیع غیر یکنواخت حرارت و تنش و اختلافات دیگر در نقاط مختلف سیستم باعث خوردگی می شود. لذا هنگام طراحی باید سعی شود کلیه شرایط را در تمام سیستم تا حد امکان یکنواخت نمود.



۳-۳- انتخاب مواد واجد شرایط

به دنبال شناخت محیط و شرایط بهره برداری و طراحی پیشگیرانه نسبت به خوردگی، نوبت به انتخاب مواد می‌رسد. انتخاب مواد برای محیط کاربری و شرایط کاری، محیطی و بهره برداری مد نظر، بر اساس قابلیت مواد در کار مورد نظر، ایمنی و مسایل اقتصادی صورت می‌گیرد. برای این منظور، اطلاع از خواص مکانیکی مواد مانند استحکام کششی، استحکام تسلیم، انعطاف پذیری و استحکام خستگی، مقاومت به خوردگی و سایش از اهمیت زیادی برخوردار است. در انتخاب مواد بهینه، تجربیات قبلی، امکان ساخت، تهیه یا دسترسی به مواد مورد نظر، قیمت و ... باید مدنظر قرار گیرد.

لیست موادی که می‌توان از آن‌ها انتخاب کرد طولانی است. فلزات و آلیاژهای آهنی و غیر آهنی، لاستیک‌ها، پلاستیک‌ها، رزین‌ها، کامپوزیت‌ها، شیشه، کربن و گرافیت و ... انواع مختلف مواد موجود هستند. بسیاری از مواد مختلف را می‌توان به دلیل شرایط کاری سریعاً حذف نمود. برای مثال برای دماهای خیلی بالا مواد پلیمری یا برای محیط حاوی اسید کلریدریک آلیاژهای آهنی مناسب نبوده و لذا از لیست انتخاب حذف می‌شوند.

یکی از متداول‌ترین برداشتهای غلط در انتخاب مواد مناسب، درباره‌ی ویژگی فولادهای زنگ نزن و موارد استفاده آن می‌باشد. فولادهای زنگ نزن به معنای واقعی زنگ نزن نبوده و مقاومت ترین فلز در برابر خوردگی نیز نیستند، ضمن آنکه این فولادها شامل دامنه‌ی وسیعی از آلیاژهای مختلف با ویژگی‌های متفاوت می‌باشند. فولادهای زنگ نزن در مقابله با خوردگی کاربرد وسیعی دارند، ولی باید به خاطر داشت که در تمام محیط‌ها مقاوم نیستند. در حقیقت، در بعضی شرایط مثل محیط‌های حاوی کلرور در صورت وجود تنش در فلز، فولادهای زنگ نزن از فولاد ساختمانی معمولی هم ضعیف‌تر است. فولادهای زنگ نزن نسبت به فولادهای ساختمانی معمولی استعداد بیشتری به خودگی موضعی مثل خوردگی بین دانه‌ای، ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش و حفره دار شدن دارند. بطور خلاصه، این تصور که فولادهای زنگ نزن در کاربردهای مشتمل بر خوردگی همواره بهترین هستند، منجر به انهدام‌های بسیار زیادی شده است.

در انتخاب آلیاژ مناسب، چند زوج موفق فلز - محیط خورنده وجود دارد. این زوج‌ها معمولاً نشان دهنده بیشترین مقاومت به خوردگی با حداقل هزینه می‌باشند. برخی از این زوج‌های موفق عبارتند از:

۱- فولاد زنگ نزن - اسید نیتریک

۲- نیکل و آلیاژهای آن - مواد قلیایی

۳- مونل - اسید فلوریدریک

۴- هاستولی‌ها (کلریمیت‌ها) - اسید کلریدریک گرم

۵- آلومینیوم - اتمسفرهای پاکیزه

۶- تیتانیوم - محلول‌های اکسیدان قوی و گرم

۷- فولاد - اسید سولفوریک غلیظ





شکل ۳- خوردگی پروانه پمپ



انتخاب مواد برای پمپ‌ها در شرکت پمپیران

انتخاب مواد مناسب برای قطعات مختلف پمپ در شرکت پمپیران طبق روال زیر انجام می‌گیرد:

- ۱- شناخت مشخصات پمپ درخواستی شامل تیپ، مشخصات هیدرولیکی، توان و دور موتور
- ۲- شناخت محیط کاربری پمپ شامل فرایند و سیستمی که پمپ در آن کار می‌کند، پیوسته یا ناپیوسته بودن فرایند، بسته یا باز بودن سیکل کاری پمپ، نوع سیال، آنالیز و مشخصه‌های فنی سیال، غلظت، دما، PH و سرعت جریان سیال
- ۳- در صورت امکان شناخت تجربیات مشتری در خصوص عمر، تخریب و انهدام و مشکلات فنی مرتبط با جنس پمپ در استفاده از پمپ‌های مشابه
- ۴- شناخت تجربیات خدمات پس از فروش شرکت در خصوص عمر، تخریب و انهدام و مشکلات فنی مرتبط با جنس پمپ
- ۵- پس از آگاهی و شناخت نسبت به پیش‌نیازهای مهم یک انتخاب صحیح، انتخاب مواد واجد شرایط با توجه به نکات زیر انجام می‌پذیرد:
 - ۱- بررسی امکان خوردگی و انهدام پمپ در سیال و شرایط کاری و محیطی مورد نظر با مراجعه به منابعی چون:
 - استاندارد NACE MR 0175 (استاندارد انجمن ملی مهندسی خوردگی در خصوص مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن (H_2S) در صنایع نفت و گاز)
 - هندبوک‌های ASM Vol. 13 & 18 در خصوص خوردگی و سایش

- استانداردهای API RP 571 (مکانیسم‌های تخریب) و API RP 941 (کاربرد فولادها در سرویس‌های هیدروژن دار)
- استانداردهای ASTM مرتبط با مباحث خوردگی و سایش
- جدول G.1 استاندارد API 610
- جداول، دیتاشیت‌ها و کاتالوگ‌های شرکت‌های بزرگ پمپ ساز مثل KSB، فولاد ساز مثل SANDVIK، شرکت‌های تولید کننده مواد شیمیایی و ...
- کتب معتبر در خصوص خوردگی مواد و پمپ
- ۲-۵- بررسی امکان به کارگیری محور با جنس‌های مورد نظر با توجه به توان و دور موتور، قطر محور و خواص مکانیکی جنس محور
- ۳-۵- بررسی امکان به کارگیری محفظه با جنس‌های مورد نظر با توجه به دما و فشار کاری پمپ، ضخامت محفظه و خواص مکانیکی جنس محفظه
- ۴-۵- بررسی امکان ساخت، تهیه یا دسترسی به مواد مورد نظر
- ۵-۵- بررسی تجربیات قبلی شرکت پمپ‌ساز در انتخاب، تولید و به کارگیری مواد مورد نظر
- ۶- پس از انتخاب مواد واجد شرایط، کفایت جنس برای قطعات مختلف بر اساس تناسب "سهولت ساخت با کیفیت، قیمت تمام شده و عمر مورد انتظار" بررسی و جنس قطعات مختلف در قالب گروه‌های موادی پمپ‌ساز - که بر اساس تجربیات شرکت‌های بزرگ پمپ ساز، استاندارد API و تجربیات شرکت پمپ‌ساز با لحاظ فاکتورهای مهم طراحی و خوردگی تهیه شده است - طبق استاندارد درخواستی مشتری از قبیل ASTM، DIN و ... اعلام می‌شود.



منابع:

- ۱- ر. جیمز لندروم، مبانی طراحی خوردگی، ترجمه احد یوسف نژاد
- ۲- فونتانا، مهندسی خوردگی، ترجمه دکتر احمد ساعتچی
- ۳- دکتر احمد ساعتچی و همکاران، انتخاب مواد برای حداقل کردن خوردگی
- ۴- وی. اس. ساستری و همکاران، خوردگی، راه‌های عملی پیشگیری و حفاظت، ترجمه محمدرضا نفری
- ۵- دکتر سید محمد سید رضی، کنترل خوردگی در صنایع



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 ۵۱۹۳۶۱۳۱۱۱
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 ۵۱۹۳۶۱۳۱۱۱
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) ۸۸۷۹۸۹۴۲ (۰۲۱) ۸۸۷۹۸۹۴۲

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

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

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

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

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