

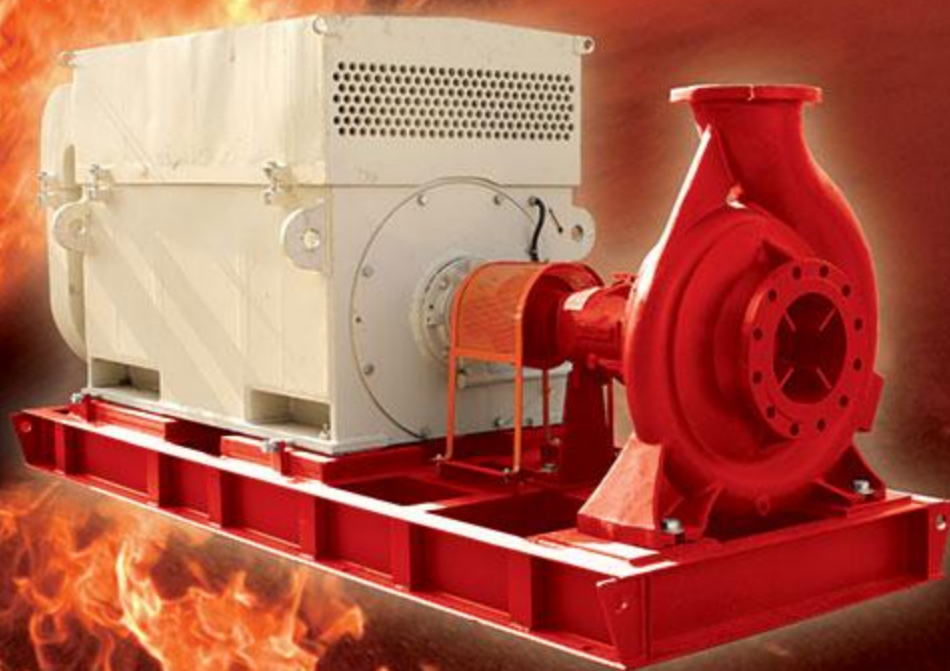


نشریه فنی آموزشی شرکت

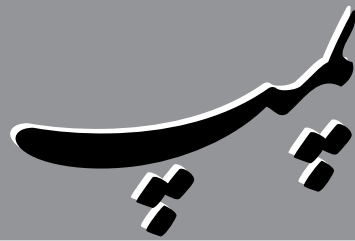
صنایع پمپیران

پاییز و زمستان ۱۳۹۴ = شماره ۴۹ = سال ۳۱

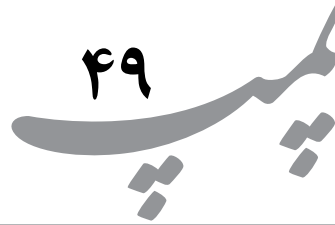
**PUMPIRAN**



[WWW.PUMPIRAN.COM](http://WWW.PUMPIRAN.COM)



[www.pumpiran.com](http://www.pumpiran.com)  
[info@pumpiran.com](mailto:info@pumpiran.com)



● نشریه فنی آموزشی شرکت صنایع پمپیران  
● پاییز و زمستان ۱۳۹۴ ■ شماره ۴۹ ■ سال ۳۱

● صاحب امتیاز: شرکت صنایع پمپیران (سهامی خاص)  
● مدیر مسئول: دکتر میر بیوک احقایی  
● 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](mailto:pump@magiran.co)  
● وب سایت: [www.magiran.com/pump](http://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







**بررسی عددی تاثیر اثر همزمان سازی بر نوسانات فشار  
ناپایدار و نیروهای شعاعی در پمپ گریز از مرکز با  
دیفیوزر پره‌ای**

مهندس بهروز جلیل پور

۶



**الکتروپمپ‌های درون چاهی (ESP)  
و تجهیزات مربوطه**

مهندس بهمن ایازی

۱۹



**دسته بندی و معرفی فولادها بر اساس کلید فولاد و  
نام تجاری آنها**

مهندس مهدی نقویان

۲۵



**آشنایی با الزامات استاندارد NFPA و تجهیزات برقی**

مهندس عیسی آزادوار

۳۷



**بررسی آزمایشگاهی نمودار مشخصه پمپ های گریز از  
مرکز جایگزین توربین**

مهندس سیدپژمان طباطبائی حسینی

۴۶

## ● بررسی عددی تاثیر اثر همزمان سازی بر نوسانات فشار ناپایدار و نیروهای شعاعی در پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره ای

◀ مهندس بهروز جلیل پور  
کارشناس آزمایشگاه



### ■ چکیده

موقعیت نسبی بین پره دیفیوزر و زبانه حلزونی (اثر همزمان سازی)، تاثیر زیادی روی عملکرد پمپ تک طبقه ای گریز از مرکز (سانتریفیوژال) دارد، با این حال اغلب از طرف طراحان نادیده گرفته می شود. در این مقاله، تاثیر اثر همزمان سازی روی نوسان فشار ناپایدار در یک پمپ گریز از مرکز و روی نیروی شعاعی پروانه مورد بررسی واقع شده است. عملکرد هیدرودینامیکی پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار به صورت تجربی اندازه گیری شده است. شبیه سازی عددی بر اساس رینولدز - نایویر استوکس (RANS) که با مدل آشفتگی SST k-W ترکیب شده برای به دست آوردن عملکرد هیدرودینامیکی پمپ گریز از مرکز مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج عددی از عملکرد هیدرودینامیکی با داده های تجربی برابر بود. نتایج نشان می دهد که اثر همزمان سازی تاثیر زیادی بر نوسانات فشار و در نیروی شعاعی ناپایدار که بر پروانه وارد می شود دارد. وقتی پره دیفیوزر به زبانه حلزونی نزدیک می شود، شدت نوسانات فشار در زبانه نسبتا پایین است. در همین حال، وقتی دیفیوزر پرده دار نزدیک زبانه حلزونی است، نیروی شعاعی نسبتا بزرگتری روی پروانه اعمال شده و کارآمدی کمتری حاصل می شود. بنابراین، پیشنهاد می شود که زبانه باید نزدیک میانه دو دیفیوزر پره دار قرار بگیرد تا عملکرد بهتری بدست دهد.



پس  
سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

## ۱. مقدمه

دیفیوزر یک مسیر جریانی مهم در ماشین آلات دوار تشکیل می دهد و به طور گسترده ای در توربین ها و کمپرسورها به کار می رود. دیفیوزر می تواند در پمپ گریز از مرکز تک طبقه ای به منظور کاهش نیروی شعاعی استفاده شود و همچنین می تواند در پمپ گریز از مرکز چند طبقه ای برای تبدیل انرژی جنبشی مایع به انرژی فشاری به کار رود. با این حال، برخی از ویژگی های پیچیده جریان، مانند تعامل ناپایدار به دلیل جنبش نسبی بین روتور و استاتور، توسط دیفیوزر پره دار ایجاد می شوند. این ویژگی جریان ممکن است تاثیر زیادی بر کارایی پمپ داشته باشد. به عنوان مثال، تعامل ناپایدار می تواند باعث تولید نوسان فشاری بالا شود که در عوض می تواند نیروی ناپایدار دینامیکی ایجاد کند و این نیرو می تواند باعث لرزش و آسیب شود.

به تازگی بسیاری از محققان آزمایشات شبیه سازی عددی و تجربی را روی پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار انجام داده اند. تقریباً تمام توجهات به ویژگی های تعامل ناپایدار بوده است. به عنوان مثال، از شبیه سازی عددی برای تحقیق درباره زمینه ناپایداری در پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار استفاده کرده اند. از شبیه سازی عددی و تکنیک تجسم (PIV، LDV) برای کشف ویژگی های جریان در پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار استفاده کرده اند، و دریافتند که چندین اثر آشفتگی و دیگر ویژگی های ناپایداری را می توان با پروانه- دیفیوزر در شرایط طراحی و شرایط خارج از طراحی تولید کرد. از روش PIV اعمال شده برای تحقیق درباره ساختار جریان و آشفتگی در پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار استفاده کرده اند. آنها به این نکته اشاره کردند که جریان سریع ساختاری اطراف لبه عقبی تیغه پروانه و جریان جداگانه داخل مسیر دیفیوزر به خاطر حرکت پروانه به وجود می آیند. نتایج همچنین نشان داد که تغییر چرخه ای پروانه نسبت به آشفتگی تاثیر بیشتری بر جریان در مناطقی که تحت تسلط حرکت تیغه پروانه هستند دارد. سانو و همکاران از روش تجربی برای مطالعه جریان ناپایداری در یک پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار استفاده کرده اند. آنها انواع مختلف جاهای ویژه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند، در حالیکه سرعت چرخش پروانه و شکاف<sup>۱</sup> های شعاعی بین پروانه و دیفیوزر تغییر می کند.

عملکرد آیرودینامیکی می تواند تحت تاثیر قرار بگیرد وقتی موقعیت محیطی نسبی بین دوردیف روتور یا بین دو ردیف استاتور در یک شکل مشابه مرجع در توربین و کمپرسور تغییر می کند. این پدیده به طور معمول به عنوان همزمان شدن (clocking effect) نامیده می شود. به طور مشابه، ما اثر همزمان شدن را به عنوان موقعیت محیطی نسبی بین دیفیوزر پره دار و زبانه حلزونی روی عملکرد





هیدرولیکی پمپ گریز از مرکز توصیف کرده ایم. تحقیقات بسیاری بر پدیده اثر همزمان سازی توجه کرده اند، ولی آنچه که بر آن تمرکز کرده اند اثر همزمان سازی در کمپرسور یا توربین بوده است. در این مقاله، اثر موقعیت همزمان سازی روی عملکرد پمپ گریز از مرکز تک طبقه ای با دیفیوزر پره دار با اتخاذ روش های تجربی و عددی بررسی شده است. پروانه، دیفیوزر پره دار و زبانه توسط مدل قالب ریزی تزریق پلاستیکی تولید شده اند. پمپ گریز از مرکز از نظر اثبات اعتبار نتایج شبیه سازی عددی پایدار مورد آزمایش قرار گرفتند، که در آن شبیه سازی های ناپایدار عددی برای کشف تاثیر اثر همزمان سازی روی فشار ناپایدار و روی نیروی شعاعی به کار برده شده اند.

## ۲. مدل هندسی و آزمایشات

### ۲.۱. پارامترهای طراحی

تاثیر اثر همزمان سازی روی عملکرد یک پمپ گریز از مرکز بررسی شده است. و پارامترهای مشخص و ویژگی های اصلی هندسی در شرایط طراحی در جدول 1 نشان داده شده است. شکل 1 مدل هندسی را نشان می دهد. در شبیه سازی عددی، دیفیوزر 45 درجه، 90 درجه و 180 درجه به ترتیب در جهت عقربه های ساعت می چرخد، و زوایای نصب و راه اندازی مربوطه بین پره دیفیوزر و زبانه حلزونی 59 درجه، 41 درجه و 25 درجه می باشد. زاویه نصب و راه اندازی بین پره دیفیوزر و زبانه حلزونی در شکل شماره 1 نشان داده شده است.

### ۲.۲. امکانات تجربی

پمپ گریز از مرکز تک طبقه ای با دیفیوزر پره دار در چهار حالت مختلف نصب شده است،  $5^\circ = \psi$ ،  $41^\circ$ ،  $25^\circ$  و  $59^\circ$  برای مطالعه تاثیر اثر همزمان سازی روی عملکرد پمپ مورد آزمایش قرار گرفته اند. دیفیوزر روی بدنه پمپ توسط هشت پین ثابت شده است و موقعیت نصب دیفیوزر توسط هشت پین کنترل می شود (همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است). پروانه، دیفیوزر و بدنه پمپ (محفظه) توسط قالب گیری تزریق پلاستیکی تولید می شوند. با توجه به اینکه پروانه از شیشه ارگانیک تهیه شده است که مقاومتش محدود است، پمپ در سرعت 1450 دور در دقیقه برای اطمینان از ایمنی مورد آزمایش قرار گرفته است و پس از آن نتایج آزمون به داده هایی در 2900 دور در دقیقه با اصول شبیه سازی تبدیل شد.

انتخاب امکانات تست و روش های اندازه گیری بر اساس الزامات اندازه گیری شرح داده شده در مرجع [2] بوده است. اندازه گیری میزان خطای فرستنده گشتاور (نام تجاری: شرکت گروه تولید علم و صنعت



بیجینگ سانجین. سهامی خاص نوع: 338NJ،  $\pm 0.2\%$  درصد است. میزان دبی جریان با استفاده از یک ابزار اندازه گیری جریان الکترومغناطیسی با خطای اندازه گیری  $\pm 5\%$  اندازه گیری شده است (نام تجاری: YOKAGAWA، نوع: AE215). فشار ورودی و خروجی پمپ با استفاده از فرستنده فشار با عدم قطعیت  $\pm 0.075\%$  اندازه گیری شده است (نام تجاری: YOKOGAWA، نوع: EJA510A). همه اندازه‌های عدم قطعیتی (خطاها) که در بالا ذکر شد تحت مقیاس کامل هستند.

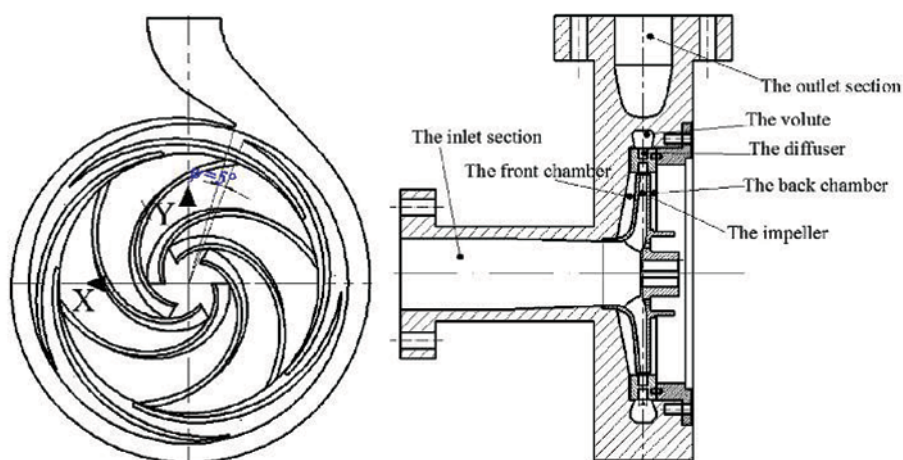
### ۳. راه اندازی عددی

#### ۳.۱. حل کننده جریان و ساخت شبکه

کل دامنه جریان در مدل هندسی شامل بخش ورودی، مسیر پروانه، محفظه تماس جلو و عقب، مسیر دیفیوزر، زبانه و بخش خروجی است. طول بخش ورودی و خروجی تا پنج برابر از قطر مجزای هر قطعه به منظور دستیابی به یک میدان جریانی نسبتاً پایدار گسترده تر شده است. شبکه‌ها در نرم افزار تجاری تولید شده اند، و کل میدان جریان با یک مدار بدون ساختار شبکه بندی شده است. تعداد کل المان‌های مدار تقریباً  $4.86 \times 10^6$  است.

Description	Parameter	Value
Design flow rate ( $m^3/h$ )	$Q_{des}$	40
Head (m)	$H$	60
Rotating speed (rpm)	$n$	2900
Specific speed (rpm, $m^3/s, m$ )	$n_s$	52
The impeller	Outlet diameter $D_2$ (mm)	223
	Outlet blade height $b_2$ (mm)	8
	Blade number $Z$	6
The volute	Base diameter $D_5$ (mm)	284
	Inlet width $b_5$ (mm)	19
The vaned diffuser	Inlet diameter $D_3$ (mm)	228
	Outlet diameter $D_4$ (mm)	283
	Vane number $Z$	5

جدول شماره 1. پارامترهای خاص و مشخصه های هندسی اصلی.



شکل 1. مدل هندسی و نقاط مانیتورینگ فشار



مقدار  $Y^+$  کل مدل محاسبه در این مقاله کمتر از 50 است، که نشان می دهد گره های نزدیک به دیوار در لایه ی زیری قرار نمی گیرند بلکه در لایه ورودی قرار میگیرند.

نرم افزار تجاری (ANSYS-FLUENT 14.0) برای شبیه سازی میدان جریان داخلی تحت شرایط ثابت و ناپایدار استفاده شده است. (ANSYS-FLUENT) از روش حجم محدود برای معادلات اصلی گسسته و یک الگوریتم مرتبه دوم برای حل معادلات استفاده کرده است. آشفتگی با مدل آشفتگی انتقال تنش برش (shear stress transpor) شبیه سازی شده است.

دامنه جریان CFD به دو نوع قطعات تقسیم می شود و شامل کل هفت دامنه فرعی است (همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است). بخش ورودی، مسیر دیفیوزر، محفظه جلو و عقب، زبانه و بخش خروجی اولین نوع اجزا هستند. آنها به قاب ثابت مرجع متصل شده اند و در یک چارچوب ثابت حل می شوند. نوع دوم از اجزا فقط شامل مسیر پروانه است جایی که در آن معادله در یک چارچوب چرخشی حل می شود. شرایط مرز ورودی به عنوان سرعت محوری یکنواخت بر اساس میزان جریان جرمی در نظر گرفته شده است. مرز خروجی به عنوان یک جریان خروجی در نظر گرفته شده است. همه سطوح فیزیکی پمپ به شکل دیواره های بدون لغزش تنظیم شده اند .

شبیه سازی پایدار به عنوان شرایط اولیه برای شبیه سازی بی ثبات عمل می کند. گام زمان در نقطه  $1.7241 \times 10^{-4}$  تنظیم می شود که مربوط به زاویه چرخشی 3 درجه برای هر مرحله زمانی با سرعت چرخشی 2900 دور در دقیقه است. زمان برای یک چرخه 0.02 ثانیه، و 12 دور شبیه سازی می شود. دور نهایی برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد به دلیل اینکه میدان جریانی نسبتا با ثبات تری داشت.

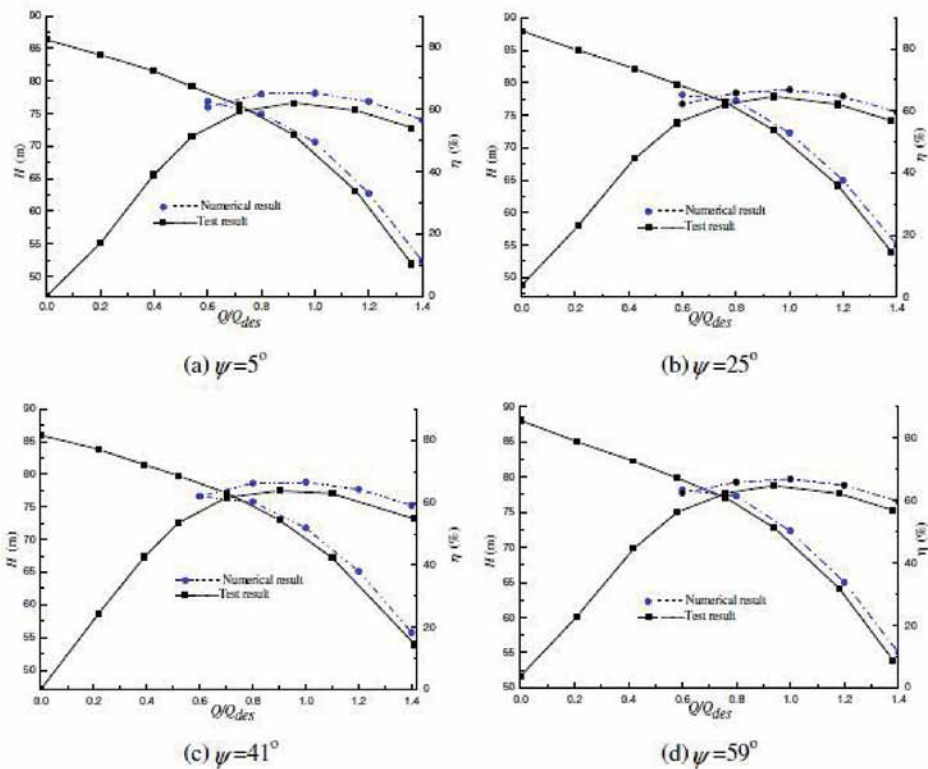
## ۳.۲. ارزیابی روش عددی

شکل 2 مقایسه عملکرد بین نتایج عددی و تجربی را نشان می دهد. منحنی های عملکرد در هر چهار موقعیت نصب شبیه به هم دیده می شوند، مخصوصا در ناحیه جریان عملکردی پمپ ( $0.8Q_{des} \sim 1.4Q_{des}$ ). برای مثال، در  $0.1 Q/Q_{des}$ ، برای  $\psi = 41^\circ$ ، خطای پیش بینی شده برای کل میزان هد 4.2% و برای راندمان پمپ 2.1% در مقایسه با نتایج تجربی است. و راندمان پمپ و مقدار پیش بینی عددی هد بیشتر از آن مقداری است که در نتایج تجربی بدست آمده است. با این وجود، مقدار هد پیش بینی شده کمتر از مقدار نتیجه تجربی آن در  $0.6 Q/Q_{des}$  است که ممکن است به جریان برگشتی پیچیده، چرخش قوی و نوسان فشار ناپایدار تحت شرایط راه اندازی نسبت داده شود. در دبی های دیگر، ممکن است دلیل خطاهای ناشی از افت ناشی از حفره های بالانس و افت مکانیکی ناشی از مکانیکال سیل و بیرینگ نادیده گرفته شوند. مقایسه بین نتایج عددی و تجربی



پایپر

سال ۳۱  
پایپر وزهستان  
۱۳۹۴



شکل 2. مقایسه اعداد با نتایج بدست آمده از آزمایش تحت موقعیت های مختلف نصب دیفیوزر.

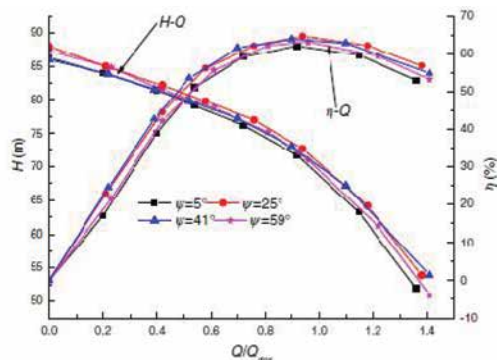
نشان می دهد که مدار گسسته و مدل آشفته برای شبیه سازی پمپ گریز از مرکز با دیفیوزر پره دار مناسب هستند. پیش بینی عددی عملکرد پمپ ها به خوبی با نتایج تجربی برابر هستند.

#### ۴. نتایج تجربی

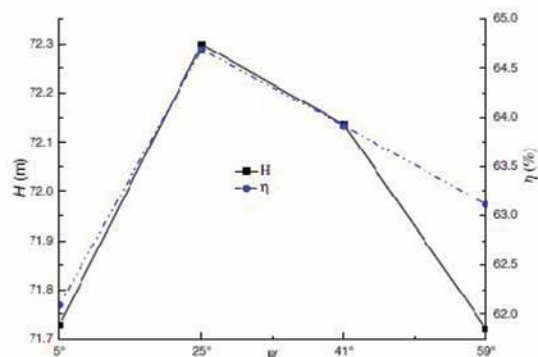
شکل 3 نتایج تست هد پمپ و راندمان آن در موقعیت های مختلف نصب دیفیوزر را نشان می دهد. اثر همزمان سازی تاثیر بزرگی روی عملکرد پمپ گریز از مرکز دارد. وقتی موقعیت نصب دیفیوزر در  $\psi = 25^\circ$  و  $41^\circ$  قرار دارد و مقدار هد و راندمان در همه دبی های راه اندازی بالاتر از آن در  $\psi = 5^\circ$  و  $59^\circ$  درجه است. این پمپ کمترین هد و حداقل راندمان را وقتی  $\psi = 5^\circ$  است، دارد. ضمن، تفاوت هد و راندمان بین  $\psi = 25^\circ$  و  $\psi = 5^\circ$  با میزان دبی افزایش می یابد. به این ترتیب، تاثیر همزمان سازی روی عملکرد پمپ گریز از مرکز نادیده گرفته نشده است.

بدیهی است، زمانی که زبانه حلزونی تقریباً بین دو پره دیفیوزر قرار گرفته است هد پمپ بیشتر و راندمان بیشتری را نشان می دهد و سطح راندمان بزرگ تری را تجربه می کند. راندمان و هد در  $0.9Q/Q_{des}$  به حداکثر می رسد زمانی که پره دیفیوزر در موقعیت  $\psi = 25^\circ$  قرار دارد و آنها به کمترین مقدار خود برای  $\psi = 5^\circ$  می رسند (همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است). تفاوت

کارایی و هد بین  $\psi = 25^\circ$  و  $\psi = 5^\circ$ ، به ترتیب 2.3% و 2.1m بوده است. بنابراین زبانه حلزونی باید در وسط دو پره دیفیوزر قرار بگیرد تا عملکرد بهتری ارائه دهد.



(a) Experimental results



(b) The difference of experimental results at  $0.9Q/Q_{de}$

شکل 3. نتایج تجربی با موقعیت های مختلف نصب دیفیوزر

## ۵. نتایج عددی

### ۵.۱. میدان جریان ناپایدار

عملکرد اصلی دیفیوزر و زبانه حلزونی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد: جمع آوری جریان سیال بیرون از پروانه، انتقال سیال به سمت پایین دست مثلا به سمت خارج پمپ، تبدیل انرژی جنبشی سیال به انرژی فشاری.

به منظور بررسی افت انرژی، میزان کل افت فشار در دیفیوزر یا در زبانه می توان از روش زیر استفاده

$$H_{loss} = \frac{P_{tin} - P_{tout}}{\rho g} \quad -1$$

که در آن  $H_{loss}$  میزان انرژی از دست رفته می باشد،  $P_{tin}$ ،  $P_{tout}$  منطقه میانگین مقدار کل فشار در ورودی و منطقه میانگین فشار کل در خروجی را نشان می دهند،  $\rho$  نشان دهنده چگالی متوسط است. شکل 4 (A تا F) مقدار افت انرژی ناپایدار در دیفیوزر و در زبانه را نشان می دهد. مقدار کل نوسانات افت انرژی در دیفیوزر و در زبانه با میزان دبی جریان افزایش می یابد. در ضمن، کل نوسانات افت فشار در دیفیوزر بزرگتر از مقدار آن در زبانه در دبی جریان راه اندازی می باشد. یک دلیل احتمالی می تواند این باشد که ورود سیال در مسیر دیفیوزر دارای سرعت بالا و در نتیجه منجر به افت های هیدرولیکی بیشتر در دیفیوزر می شود. یکی دیگر از دلایل ممکن است ورود سیال به زبانه باشد پس از اینکه در



پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

سال ۳۱

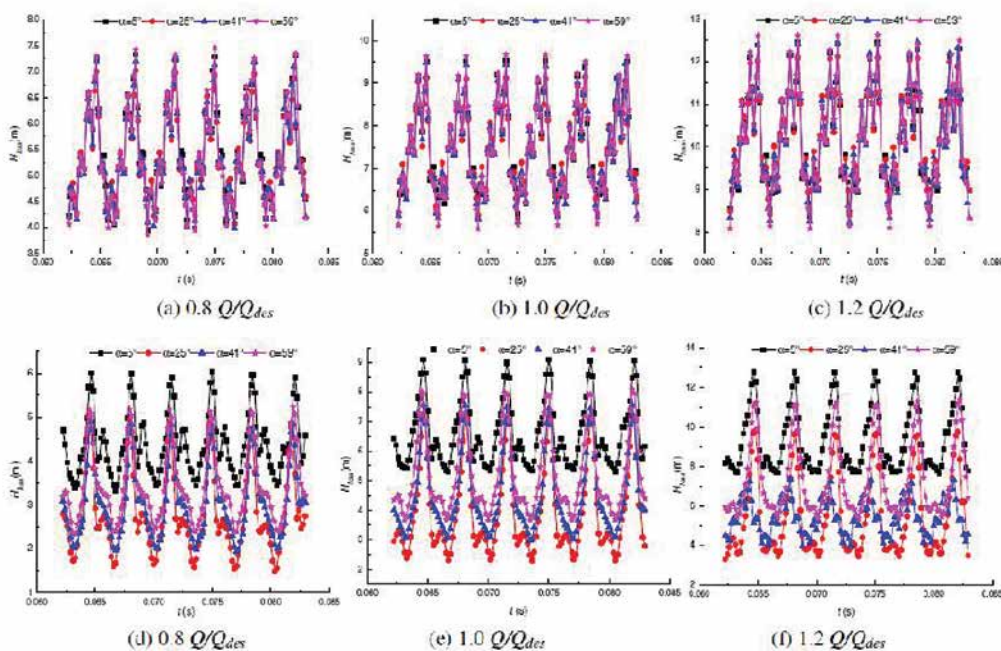
پاییز و زمستان

۱۳۹۴

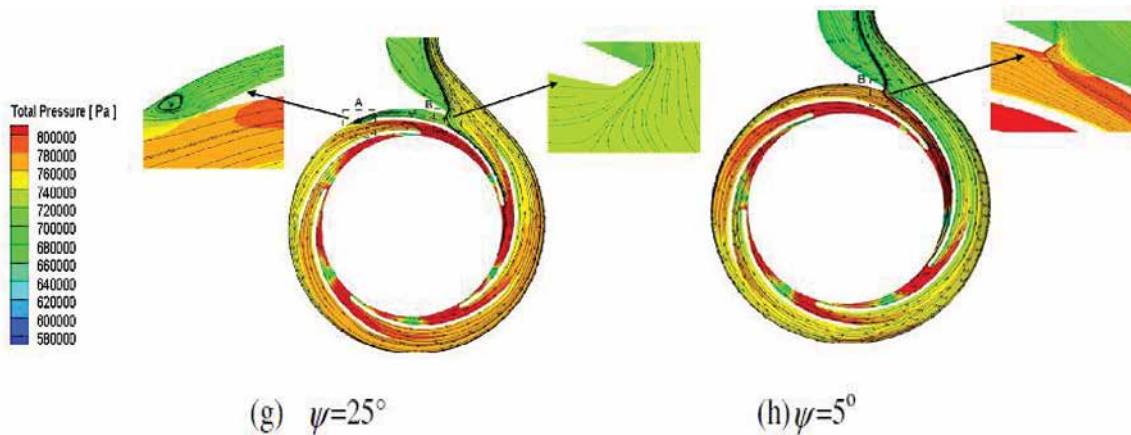
دیفیوزر منتشر شد دارای سرعت کمتر و افت های هیدرولیکی کمتری در زبانه رخ دهد. علاوه بر این، نوسانات افت انرژی در دیفیوزر سرعت بیشتری نسبت به آنچه در زبانه رخ می دهد را نشان می دهد به دلیل تعامل بین دیفیوزر و پروانه.

اثر همزمان سازی تاثیر زیادی بر افت کل فشار در زبانه دارد، ولی مقدار آن در دیفیوزر کمتر است. هنگامی که پره دیفیوزر در موقعیت  $\psi = 25^\circ$  قرار دارد، کل نوسانات افت فشار در زبانه کمتر از وقتی است که در  $\psi = 5^\circ$  درجه،  $\psi = 41^\circ$ ،  $\psi = 59^\circ$  با جریان راه اندازی مشابه قرار دارد. بنابراین، تاثیر اثر همزمان سازی در عملکرد هیدرودینامیکی پمپ ممکن است به طور عمده از طریق افت انرژی در زبانه تعریف شود.

شکل 4 (g) و (h) کل خطوط فشار و مسیر  $\psi = 25^\circ$  و  $\psi = 5^\circ$  را در وسط دهانه دیفیوزر و زبانه تحت شرایط راه اندازی  $1.0 Q / Q_{des}$  را نشان می دهد. تغییر بزرگ گرادیان کل فشار در دیفیوزر عمدتاً در اطراف ورودی دیفیوزر رخ می دهد، سمت مقعر پایین تر پره دیفیوزر و لبه انتهایی پره دیفیوزر نشان می دهد که این مناطق می توانند انرژی بیشتری تلف کنند. به همین ترتیب اکثر تلفات انرژی در قسمت پوسته نزدیک به زبانه و خروجی پوسته رخ می دهد هنگامی که پره دیفیوزر نزدیک به زبانه حلزونی است مانند زمانی که  $\psi = 25^\circ$  است، جریانی که از گذرگاه دیفیوزر نزدیک زبانه حلزونی می رسد مستقیماً بر زبانه حلزونی برخورد می کند، که منجر به تلفات انرژی قابل توجهی می شود.







شکل 4. مقدار کل اتلاف فشار در دیفیوزر (a.b.c) و در زبانه (d.e.f) و کل خطوط فشار و مسیر در  $1.0Q/Q_{des}$  شرایط راه اندازی (g.h).

وقتی پره دیفیوزر از زبانه حلزونی دور می شود مانند وقتی  $\psi=25^\circ$  است، گرداب در نزدیکی زبانه حلزونی به دلیل دنباله جریان پره به نظر می رسد. در حالیکه عملکرد بهتر هیدرولیکی وقتی دیده می شود که  $\psi=25^\circ$  است نسبت به وقتی که  $\psi=5^\circ$ ، ممکن است چنین استنباط شود که اتلاف برخورد در این حالت نقش مهم تری از اتلاف انرژی که به دلیل گرداب ایجاد می شود بازی می کند.

## ۵.۲ نوسان فشار ناپایدار

ضریب تراکم نوسان فشار  $(Cp)_{sdv}$  بر اساس آمار به شکل زیر تعریف می شود:

$$\bar{p}(node) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} p(node, t_0 + j\Delta t) \quad -2$$

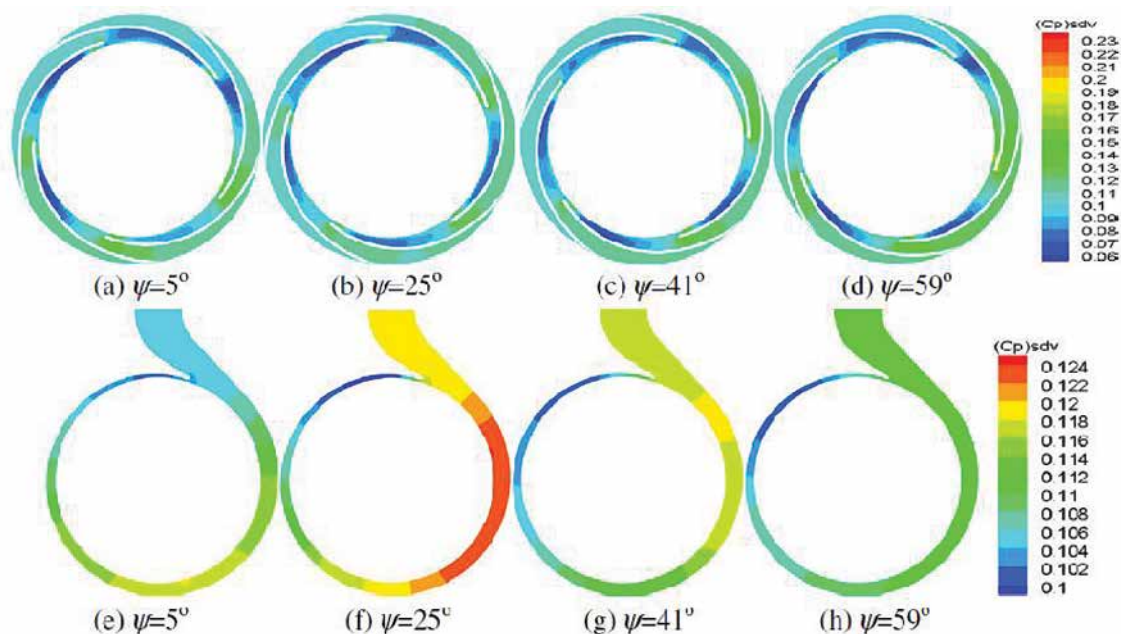
$$\tilde{p}(node, t) = p(node, t) - \bar{p}(node) \quad -3$$

$$(Cp)_{sdv} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \tilde{p}(node, t_0 + j\Delta t)^2}}{0.5\rho u_2^2} \quad -4$$

که در آن  $P, \bar{P}, \tilde{P}, U_2, N, T_0$  به ترتیب نشان دهنده نوسان فشار، متوسط زمان فشار، جزء تناوبی فشار، سرعت نوک پره، تعداد نمونه در طول یک دوره تغییر و زمان شروع برای یک دوره شبیه سازی گذرا دلالت دارند.

شکل 5 توزیع  $(Cp)_{sdv}$  در دیفیوزر و کانال زبانه را نشان می دهد که به قدرت نوسان فشار هر گره شبکه اشاره دارد. در همین رابطه  $(Cp)_{sdv}$  کوچکتر را می توان در ورودی دیفیوزر یافت، و  $(Cp)_{sdv}$  بزرگتر را می توان در مسیر دیفیوزر مشاهده کرد که بر قدرت نوسان فشار دلالت دارد که می تواند در





شکل 5. توزیع تراکم نوسانات فشار بر اساس روش آماری برای تغییر کلی پروانه در دیفیوزر (a,b,c,d) و پوسته در شرایط راه اندازی  $1.0Q/Q_{des}$  (e,f,g,h).

این منطقه یافت شود.  $(Cp)_{sdv}$  در جریان مقطعی کوچکتر زبانه به کمترین مقدار 0.1 می رسد. اثر همزمان سازی تاثیر کمی روی توزیع تراکم نوسان فشار در مسیر دیفیوزر دارد در حالیکه میتواند در مسیر زبانه تاثیر گذار باشد. این پمپ ارائه شده  $(Cp)_{sdv}$  نسبتا بزرگ تری در زبانه با  $\psi = 25^\circ$  و  $41^\circ$  دارد و مقدار کوچکتری در  $\psi = 5^\circ$  و  $59^\circ$  دارد، که نشان میدهد نوسان فشار  $\psi = 25^\circ$  و  $41^\circ$  قوی تر از  $\psi = 5^\circ$  و  $59^\circ$  است.

### ۵.۳. نیروی شعاعی ناپایدار

شکل 6 (a-c) مقایسه نیروی شعاعی ناپایدار که در دبی های مختلف به پروانه اعمال می شود را نشان می دهد. این نیرو در نتیجه با استفاده از داده های جریان مومنت محاسبه می شود، از جمله فشار و نیروهای ویسکوزیته. اثر همزمان سازی تاثیر بزرگی روی نیروی شعاعی دارد. نوسان نیروی شعاعی کوچکتری در پروانه با  $\psi = 25^\circ$  و  $41^\circ$  که برای  $\psi = 5^\circ$  و  $59^\circ$  ناشی از افزایش بار روی تک پره پروانه را نشان می دهد.

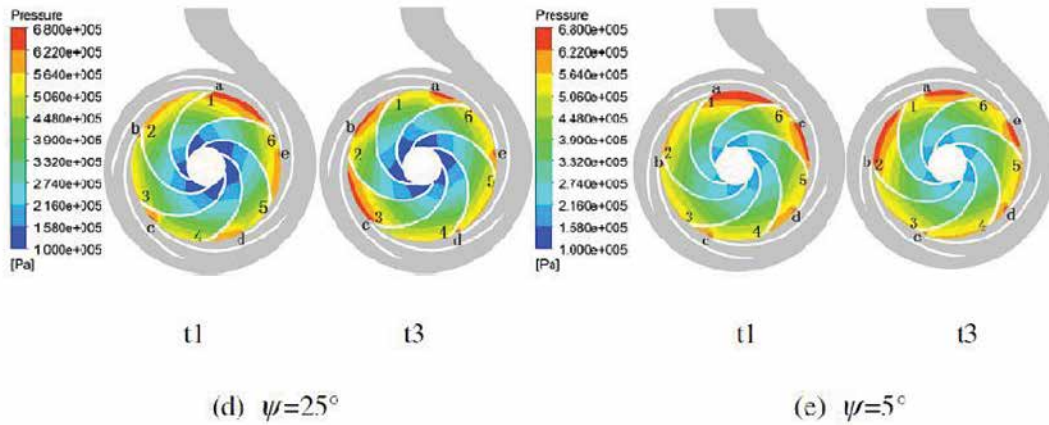
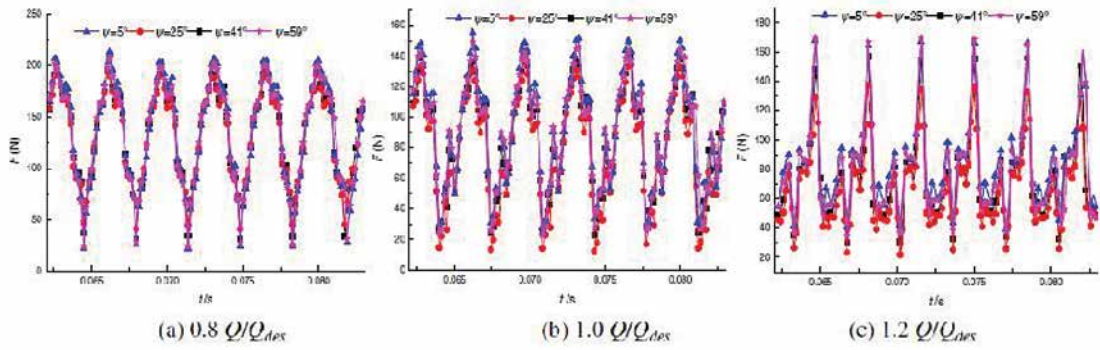
فشار و میدان جریان غیریکنواخت تاثیر قابل توجهی روی نیروی شعاعی ناپایدار با توجه به معادلات



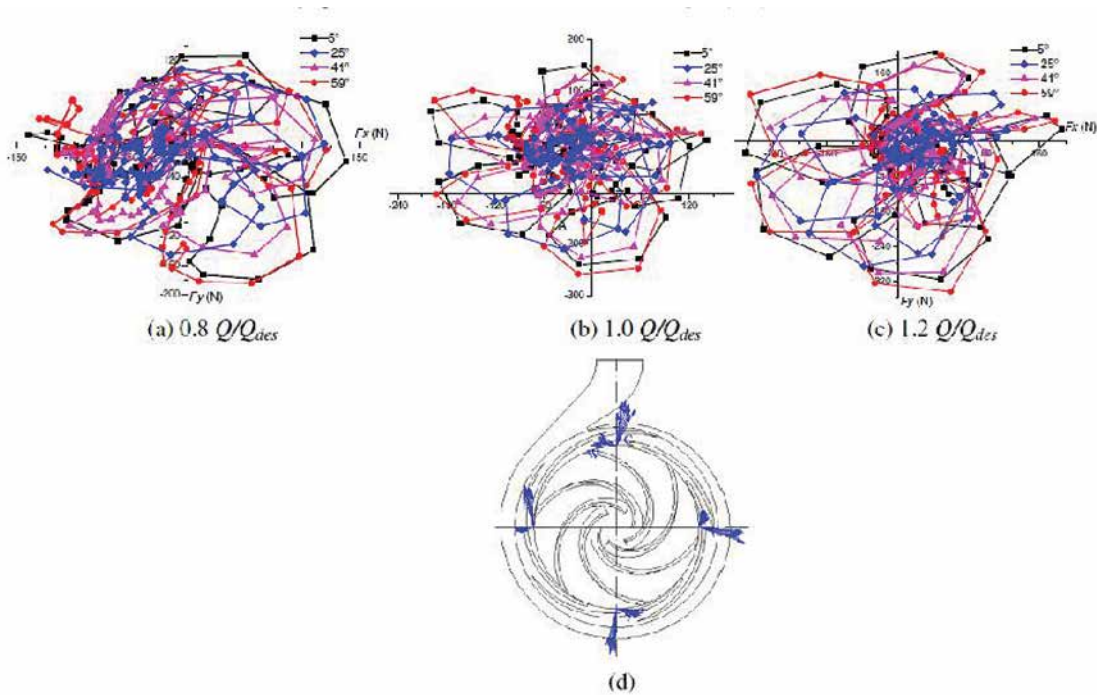
(3) و (4) دارد. شکل 6 (d,e) مقایسه فشار استاتیک در وسط پروانه در شرایط  $1.0Q/$  در زمان های مختلف 1-6 را نشان می دهد و a-e به ترتیب نشان دهنده تیغه های پروانه و پره های دیفیوزر است. وقتی یک تیغه پروانه نزدیک به لبه اصلی پره می شود فشار استاتیک در مسیر پروانه مربوطه نسبتاً بیشتر از مقدار آن در دیگر مسیر های پروانه است. بنابراین، فشار استاتیک در مسیرهای خروجی پروانه های مختلف متفاوت است، به دلیل تعامل روتور-استاتور، که منجر به تولید نیروی شعاعی بر روی پروانه می شود. توزیع فشار استاتیک در جهت محیطی پروانه در  $\psi = 25^\circ$  یکپارچه تر از مقدار آن در  $\psi = 5^\circ$  است. که نشان می دهد نیروی شعاعی ای که روی پروانه وارد می شود، وقتی که  $\psi = 25^\circ$  است کوچکتر است تا وقتی که  $\psi = 5^\circ$  است.

شکل 7 (c-a) بردار نیروی شعاعی ناپایداری که روی پروانه در حالت چرخش وارد می شود، را نشان می دهد، مختصات یک نقطه در این نمودار نشان دهنده مقدار و جهت نیروی شعاعی در یک لحظه خاص است. حالت چرخش در شکل 1 نشان داده شده است. می تواند بر این دلالت داشته باشد که نیروهای شعاعی در یک دوره چرخشی از نظر مقدار و جهت تغییر می کنند، و شکل منحنی مرتبط به نیروهای بردار نامنظم است. سرعت بردارها از نظر اندازه و جهت متفاوت هستند (همانطور که در شکل 7 قسمت (d) نشان داده شده است). و تغییرات بردارهای سرعت مرتبط بر این دلالت دارد که نیروی وارده بر پروانه ناپایدار است. در نتیجه، نیروهای متناوب و تنش ها در پروانه ممکن است منجر به آسیب بیرینگ و سیل شود.





شکل 6. نیروی شعاعی اعمال شده روی پروانه تحت شرایط مختلف (a,b,c) و کنتورهای فشار استاتیکی در پروانه در زمان های مختلف در شرایط راه اندازی  $1.0Q/Q_{des}$  (d,e).



شکل 7. بردار نیروی ناپایدار شعاعی اعمال شده روی پروانه (a,b,c) و تغییر بردارهای سرعت های نسبی و مطلق در حالت  $\psi = 25^\circ$  در شرایط راه اندازی طی یک دوره عبور از پره.



## ۶. نتیجه گیری

در این تحقیق، شبیه سازی های عددی و آزمایشاتی آورده شده اند به منظور مطالعه تاثیر اثر همزمان سازی روی عملکرد پمپ گریز از مرکز تک طبقه ای با دیفیوزر پره دار. دیفیوزر در چهار موقعیت زمانی مختلف با هشت پین به بدنه پمپ ثابت شده است، پروانه و زبانه حلزونی هم ارزیابی، آزمایش و شبیه سازی شده اند.

قابل ذکر است که نتایج عددی با نتایج تجربی یکی هستند هر چند نشتی های ناشی از سوراخ بالانس و مکانیکال سیل شامل مدل های عددی نمی شوند. طبق نتایج تجربی به نظر می رسد که موقعیت همزمان سازی دیفیوزر تاثیر بزرگی بر عملکرد پمپ دارد و وقتی زبانه حلزونی نزدیک وسط مسیر دیفیوزر قرار میگیرد پمپ نسبتا هد بالاتر و راندمان بیشتری دارد. دلیل عمده ممکن است این باشد که میزان اتلاف در منطقه نزدیک به زبانه حلزونی بیش از افت ناشی از گرداب ایجاد شده توسط جریان دنباله پره است.

اثر همزمان سازی تاثیر کمی روی توزیع شدت نوسان فشار در مسیر های مختلف دیفیوزر دارد در حالیکه می تواند تاثیر بزرگی روی آن در مسیر حلزونی داشته باشد. و وقتی زبانه حلزونی نزدیک وسط مسیر دیفیوزر قرار بگیرد شدت نوسان فشار در مسیر حلزونی به طور مشخصی بالاتر است.

به خاطر کنش و واکنش روتور - استاتور پروانه نیروهای هشدار دهنده و استرس هایی را تجربه می کند و این ممکن است منجر به آسیب و فرسودگی شود. اثر همزمان سازی تاثیر زیادی روی نیروی شعاعی وارده بر پروانه دارد. وقتی پره دیفیوزر نزدیک به زبانه حلزونی است نیروی شعاعی بیشتر است به خاطر توزیع محیطی غیریکنواخت فشار استاتیک در خروجی پروانه بیشتر است. بنابراین، پیشنهاد می شود که زبانه حلزونی نزدیک وسط دو پره دیفیوزر قرار بگیرد تا عملکرد بهتر پمپ تضمین شود.



پاییز و زمستان

سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۱۸

مراجع: 1-Wei Jiang, Guojun Li, Peng-fei Liu, Lei Fu. Numerical

cal investigation of influence of the clocking effect on the unsteady pressure fluctuations and radial forces in the centrifugal pump with vaned diffuser. International Communications in Heat and Mass Transfer 71 (2016) 164-171.

2-ISO 9906 rotodynamic pumps-hydraulic performance acceptance tests-grades 1 and 2, International Standard-ization Organization, Geneva, 1999.

## ● مشخصه‌های عملکردی موتور الکتروپمپ‌های درون چاهی (ESP)



◀ مهندس بهمن ایازی  
کارشناس طراحی الکتریکی

### چکیده :

در نشریه شماره ۴۸، مشخصات الکتروپمپ‌های درون چاهی ESP و ساختمان الکتروموتور آن تشریح شد. الکتروموتور (ESP) یک الکتروموتور القایی قفس سنجابی سه فاز، دو قطب با راندمان بسیار بالا می باشد و به دلیل نداشتن اتصال الکتریکی روتور با شبکه برق، قابلیت اطمینان خیلی زیادی دارد. برای راهبری صحیح یک الکتروموتور، باید به مشخصه های عملکردی آن دقت نمود که در این مقاله مشخصه های عملکردی از قبیل جریان، راندمان، دما و... بیان خواهد شد.



پاییز و زمستان

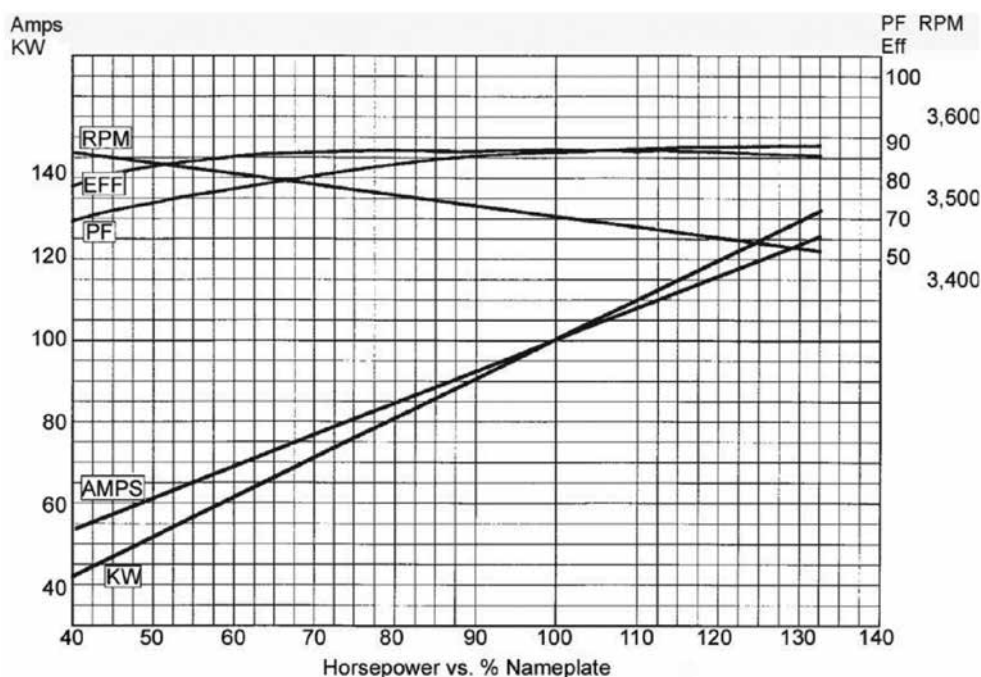
سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۱۹

### ■ مشخصه‌های عملکردی

عملکرد الکتروموتور شناور معمولاً توسط منحنی کارایی سازنده مشخص می شود که در شکل ۱-۱، یک نمونه از منحنی کارایی الکتروموتور نشان داده شده است. برای به دست آوردن داده‌های منحنی، یک الکتروموتور به وسیله دینامومتر در محدوده وسیعی از HP، بارگذاری می شود. داده‌های به دست آمده شامل: ولتاژ سه فاز، جریان، توان، سرعت (rpm)، گشتاور، افزایش دمای الکتروموتور و سرعت سیال پشت الکتروموتور می باشند. برای راهبری مناسب یک الکتروموتور راندمان، rpm، جریان و افزایش دما پارامترهای بسیار مهم می باشند. با وجود اینکه هنگام تست گشتاور، افزایش دمای الکتروموتور اندازه گیری می شود، عموماً روی منحنی مشخصه الکتروموتور رسم نمی شود. زیرا در استفاده مناسب از الکتروموتور، یک پارامتر مهم و حساس بوده و مقدار آن تحت تاثیر چندین شرایط کاری مختلف می باشد.





شکل ۱-۱: منحنی عملکرد الکتروموتور ESP

## ■ جریان

جریان الکتروموتور با توان آن تقریباً رابطه خطی دارد و یکی از ساده‌ترین پارامترهای قابل اندازه‌گیری می‌باشد. از اینرو برای تعیین بار واقعی الکتروموتور بسیار مفید می‌باشد. توان خروجی الکتروموتور را می‌توان از روی جریان نامی و منحنی عملکردی آن تعیین کرد. در راهبری الکتروموتور با محاسبه درصد جریان نامی، می‌توان درصد توان نامی را نیز به دست آورد.

## ■ سرعت چرخش (دور در دقیقه)

سرعت چرخش یا (rpm) یک الکتروموتور در نقطه کاری، در تعیین نقطه راهبری یا خروجی پمپ بسیار مهم است: منحنی عملکرد- پمپ در تعیین ارتفاع و جریان (فلوی) خروجی پمپ، براساس سرعت الکتروموتور- پمپ در rpm ۳۰۰۰ (در فرکانس ۵۰ هرتز) مورد استفاده می‌باشد.



اگر سرعت الکتروموتور نسبت به مقدار دور نامی تغییر کند، دبی پمپ با نسبت سرعت‌ها و ارتفاع با مربع نسبت سرعت‌ها تغییر خواهند کرد (معادله‌های ۱-۱ و ۱-۲). حتی با وجود اینکه معمولاً این تغییر سرعت کوچک می‌باشد در یک کاربرد خاص باز هم می‌تواند بر روی نقطه راهبری نهایی پمپ و الکتروموتور تأثیر بگذارد. هنگامی که نقطه کاری پمپ به دلیل سرعت الکتروموتور تغییر کند دبی و ارتفاع پمپ نیز تغییر خواهند کرد. بنابراین، بار روی الکتروموتور تغییر می‌کند. از اینرو تعیین نقطه راهبری نهایی پمپ و نقطه بارگذاری الکتروموتور یک فرایند تکراری می‌باشد.

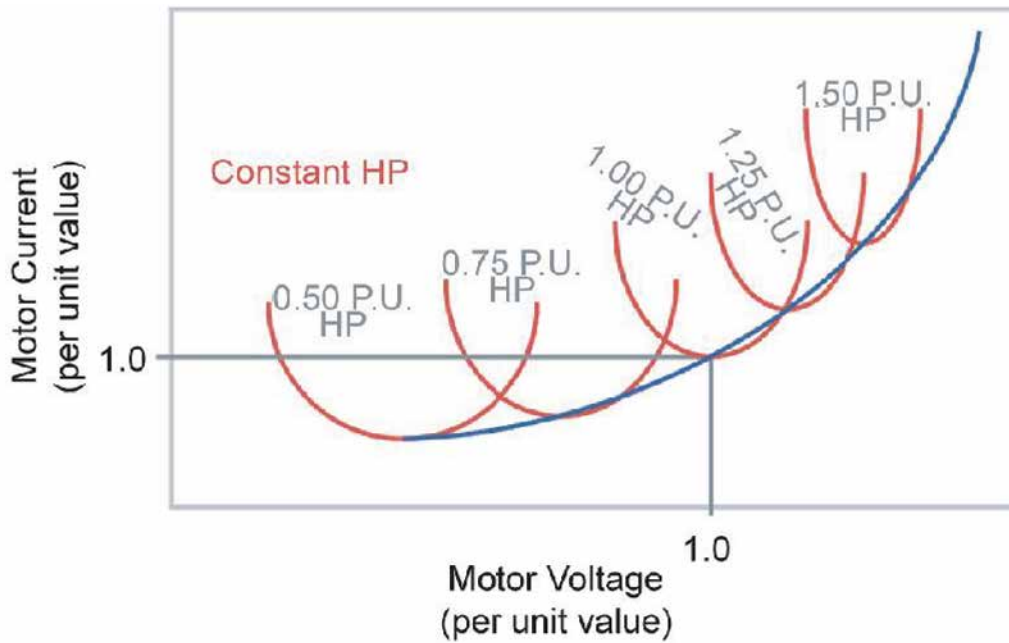
$$Q_1 / Q_2 = D_1 / D_2 \dots\dots\dots (1-1)$$

$$H_1 / H_2 = (D_1 / D_2)^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

## ■ راندمان

بدلیل اینکه هزینه‌های انرژی بخش مهمی از هزینه کل راهبری یک سیستم ESP می‌باشند، بنابراین راندمان الکتروموتور یک فاکتور بسیار مهم می‌باشد. در محدوده راهبری عادی، الکتروموتور منحنی راندمان پیک، نسبتاً صاف و تختی دارد اما در بارهای کمتر از ۵۰ درصد بارگذاری شروع به افت شدید می‌کند. دقت شود که این منحنی راندمان براساس ولتاژ درج شده روی پلاک الکتروموتور می‌باشد. اگر برق بالای چاه مناسب (بهینه) نباشد، ولتاژ تحویلی به الکتروموتور می‌تواند تغییر کند و راندمان افت کند. شکل ۱-۲ توان الکتروموتور را تابعی از جریان و ولتاژ نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش یا کاهش ولتاژ نسبت به مقدار نامی (پلاک) الکتروموتور، جریان افزایش یافته، در نتیجه راندمان الکتروموتور کاهش می‌یابد. بنابراین برای بهبود راندمان راهبری الکتروموتور ESP می‌توان با نظارت بر جریان الکتروموتور، ولتاژ بالای چاه (تابلو) را طوری تنظیم کرد که حداقل جریان از الکتروموتور عبور کرده و با پایین‌ترین نقطه در منحنی جریان به دست آید.





شکل ۱-۲: توان الکتروموتور تابعی از جریان و ولتاژ

### ■ افزایش دمای الکتروموتور

داده های افزایش دمای الکتروموتور نشان دهنده متوسط افزایش دمای سیم پیچی، بیش از دمای محیط الکتروموتور می باشد. در شرایط تست و گردش آب با سرعت ۱ ft/sec، الکتروموتور شناور افزایش دمایی مابین  $10-38^{\circ}\text{C}$  یا  $50-100^{\circ}\text{F}$  خواهد داشت. تحت شرایط راهبری داخل چاه، افزایش دما تحت تاثیر پارامترهای مختلفی می باشد که عبارتند از: مشخصه های قابلیت هدایت حرارتی<sup>۱</sup> و سرعت سیال فرآوری جاری در پشت بدنه الکتروموتور<sup>۲</sup>، سنگینی (جاذبه) API نفت<sup>۳</sup>، برش آب<sup>۴</sup>، درصد گاز آزاد<sup>۵</sup>، امولسیون سیال<sup>۶</sup>، تمایل به رسوب گذاری سیال<sup>۷</sup>، نوسانات ولتاژ در ترمینال الکتروموتور و استفاده از درایو تغییر سرعت<sup>۸</sup>.

- 1 Thermal-Conductivity Characteristics
- 2 Fluid Flowing Past The Motor Skin
- 3 API Gravity Of The Crude
- 4 Water Cut
- 5 The Percentage Of Free Gas
- 6 Fluid Emulsions
- 7 Fluid Scaling Tendencies
- 8 Variable Speed Controller (VSD)



به طور معمول، در دستورالعمل صنعتی<sup>۹</sup> سرعت جریان (فلو) به وسیله الکتروموتور را  $1 \text{ ft/sec}$  در نظر می‌گیرند، اما کاربردهای زیادی وجود دارد که سرعت جریان کمتر از سرعت فوق می‌باشد. سازندگان الکتروموتورها تأثیر این پارامترها بر روی افزایش دمای الکتروموتورهایشان را با روش‌هایی محاسبه می‌کنند.

مشخصات نامی الکتروموتور توسط طراح براساس مقادیر این تست‌های عملکردی مشابه مشخص می‌شود. مخصوصاً اینکه، طراح تمایل دارد در شرایط راهبری عادی و مقادیر نامی ولتاژ، جریان، توان، بهترین عملکرد را داشته باشد. بعلاوه در الکتروموتورها سه محدودیت مطلق وجود دارد که مقدار توان نامی تحت تأثیر آنها قرار می‌گیرد. این محدودیت‌ها شامل محدودیت مکانیکی، گشتاور و دما می‌باشد.

## ■ محدودیت مکانیکی

محدودیت‌های مکانیکی در نظر گرفته شده برای مقادیر نامی الکتروموتور، توسط حداکثر قابلیت پیچش بار طراحی<sup>۱۰</sup> و مواد تعیین می‌شود. این محدودیت براساس مشخصات استحکام مکانیکی و هندسی محور می‌باشد.

## ■ محدودیت گشتاور

اینجا، طراح به دنبال داشتن حداکثر گشتاور الکتروموتور در ولتاژ نامی می‌باشد. یک الکتروموتور، برای حجمی از مواد فعال<sup>۱۱</sup> موجود در الکتروموتور، فقط یک مقدار گشتاور مشخص می‌تواند تولید کند. مواد فعال موادی هستند که برای تولید شار مغناطیسی استفاده می‌شوند. حداکثر مقدار گشتاور تولیدی یک الکتروموتور، گشتاور Pull-Out یا گشتاور شکست<sup>۱۲</sup> نامیده می‌شود. معمولاً گشتاور شکست یک الکتروموتور  $2/5$  برابر بزرگتر از گشتاور نامی می‌باشد که محدودیت عملی برای توان نامی در نظر گرفته نمی‌شود.

تغییر فرکانس شبکه برق، می‌تواند گشتاور یا توان نامی الکتروموتور را تغییر دهد. به طور معمول، توان الکتروموتور براساس فرکانس ۶۰ یا ۵۰ هرتز می‌باشد. یک الکتروموتور فرکانس ثابت، تحت بار کامل و ولتاژ نامی، توان نامی مشخصی دارد. این مقدار گشتاور می‌تواند با تغییر ولتاژ نسبت به فرکانس، در سرعت‌های دیگر به دست آید که این کار جریان مغناطیس‌کنندگی و چگالی شار را ثابت نگه می‌دارد تا گشتاور ثابت در دسترس باشد. به دلیل اینکه توان نامی برابر با حاصلضرب گشتاور ( $ft-lbf$ ) در

9 Industry Guideline  
10 Maximum Torsional-Load Capability Of The Design  
11 Active Material  
12 Breakdown Torque



سرعت می باشد (معادله ۳-۱). بنابراین،

توان نامی خروجی یک الکتروموتور مستقیماً متناسب با فرکانس یا سرعت می باشد (معادله ۴-۱).

$$HP_m = (T \times N) / 5250 \dots \dots \dots (3-1)$$

$$HP_1 / HP_2 = Freq_1 / Freq_2, \dots \dots \dots = N_1 / N_2 (4-1)$$

برای این محدودیت، طراح به حداکثر دمای نامی سیستم عایق و سیستم روغن کاری بلبرینگ الکتروموتور توجه دارد. امروزه استفاده از عایق‌هایی با تکنولوژی بالا در الکتروموتور ESP، اجازه رسیدن دمای نامی عایق به بیش از ۵۰۰°F یا ۲۶۰°C را می‌دهد. فاکتور یا عامل محدود کننده، سیستم بلبرینگ الکتروموتور می‌باشد. حتی با وجود مزیت‌های مهم در طراحی بلبرینگ و فرمولاسیون روغن الکتروموتور، حداکثر دمای پیشنهادی برای یک الکتروموتور ESP در حدود ۴۰۰°F یا ۲۰۵°C می‌باشد. اگر هدف ساختن نمونه آزمایشی الکتروموتور باشد و یا در کاربردهایی که کاهش عمر ESP مورد قبول باشد میتوان در دماهای بیش از دمای ذکر شده نیز استفاده کرد.

یک نقطه کاربردی مهم این است که روغن مورد استفاده جهت روغن کاری الکتروموتور، باید در دمای کاری (راهبری) الکتروموتور چسبندگی مناسب داشته باشد. بنابراین سازندگان، روغن عایق تولید کرده و آنها را جهت پوشش محدوده دماهای کاری الکتروموتور در گروه‌های مختلف درجه‌بندی می‌کنند. هر تیپ از روغن‌ها حداقل و حداکثر دمای پیشنهادی برای دمای کاری الکتروموتور دارند.

مراجع:

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

(۳) مدارک فنی شرکت‌های سازنده.



## ● دسته بندی و معرفی فولادها بر اساس کلید فولاد و نام تجاری آنها



◀ مهدی نقویان  
کارشناس متالورژی



سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۲۵

■ در کلید فولاد، فولادها بر اساس خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی، نحوه تولید و یا کاربرد آنها، در گروه های زیر دسته بندی شده اند:

گروه اول: فولادهای ساخت و ساز غیر آلیاژی (ساختمانی معمولی)، فولادهای سخت شونده سطحی یا سمانتاسیون یا کربوره، فولادهای نیترووره شونده و فولادهای خوش تراش یا اتومات  
گروه دوم: فولادهای بهسازی یا عملیات حرارتی پذیر (کوئنچ و تمپر شونده)، فولادهای بلبرینگ  
گروه سوم: فولادهای فنر، فولادهای سخت شونده سطحی (سخت کاری شعله ای و القایی)، فولادهای روزن کاری (اکستروژن) سرد





گروه چهارم: فولادهای چقرمه در دمای زیر صفر، فولادهای مخازن هیدروژن تحت فشار بالا، فولادهای ساختمانی مقاوم در دمای بالا

گروه پنجم: فولادهای ریزدانه ساخت و ساز، فولادهای ساخت و ساز مقاوم در برابر هوا، فولادهای ریزدانه برای شکل دهی سرد

گروه هفتم: فولاد ابزار کربنی، فولادهای تندبر

گروه هشتم: فولادهای ابزار سرد کار

گروه نهم: فولادهای ابزار گرم کار

گروه یازدهم: فولادهای سوپاپ، فولادها و آلیاژهای مقاوم در دمای بالا

گروه دوازدهم: فولادهای غیر مغناطیسی، فولادهای نسوز، آلیاژهای رسانای حرارت

گروه سیزدهم: فولادهای زنگ نزن

گروه چهاردهم: فولادهای زنگ نزن ریختگی، فولادهای نسوز ریختگی

## گروه اول:

### ■ ۱-۱ فولادهای ساختمانی معمولی و غیرآلیاژی:

این فولادها در گروه فولادهای نرم (mild steel) با کربن کمتر از ۰/۲۵٪ (کم کربن) قرار می‌گیرند. در رده بندی استاندارد DIN EN 10027-2 جزء فولادهای پایه (Base steels) و رده تجاری با شماره مواد 1.00YY بوده و معمولاً بر اساس استحکام نهایی مشخص می‌شوند. فولادهای St 37، St 44، St 52 و St 60 از معروف ترین گردهای این گروه از فولادها می‌باشند که در این نامگذاری طبق DIN 17006، عدد پس از St معرف استحکام کششی نهایی فولاد بر حسب  $\text{Kg/mm}^2$  می‌باشد که با ضرب کردن آن در ۹/۸۱ مقدار استحکام نهایی بر حسب  $\text{N/mm}^2$  یا  $\text{MPa}$  به دست می‌آید. به عنوان مثال، استحکام کششی نهایی فولاد St 37 برابر  $37 \text{ Kg/mm}^2$  یا حدود  $362 \text{ MPa}$  است. در استاندارد DIN 17006 برخی پیشوندها و پسوندها جهت مشخص نمودن روش تولید یا بهینه سازی فولاد استفاده می‌شود، از جمله، پیشوندهای R و U (مثل USt 37 یا RSt 37) که به ترتیب نماد فولاد کشته (اکسیژن زدایی شده) و کشته نشده (فولاد جوشان یا اکسیژن زدایی نشده) هستند.



سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

با جایگزین شدن استاندارد DIN EN 10027-1 به جای استاندارد DIN 17006 و حذف این استاندارد، نامگذاری جدید این فولادها بدین صورت است که ابتدا حرف S و سپس استحکام تسلیم فولاد بر حسب MPa قید می شود و در ادامه در صورت نیاز، نمادهای عملیات حرارتی و یا نمادهای آزمون ضربه و سپس نمادهای اضافی جهت مشخص نمودن برخی شرایط ویژه ساخت، پوشش کاری و ... قید می شود. به عنوان مثال، S235JR معرف فولادی با تنش تسلیم 235 MPa است و نماد JR اشاره به این دارد که آزمون ضربه این فولاد در دمای 20 °C انجام گرفته و 27 ژول انرژی جذب شده است. نماد روتین ولی قدیم این فولاد St 37 می باشد.

این دسته از فولادها، دارای خواص شکل پذیری سرد، جوشکاری و برشکاری عالی هستند و کاربرد اصلی آن ها با مقاطع مختلف ورق، میلگرد، تیر آهن، نبشی و انواع لوله، ساخت اسکلت های فلزی، انواع قطعات و ماشین آلات، اجزای ماشین و ... می باشد. به طور معمول، این فولادها به صورت محصول نهایی و تحت فرایندهای شکل دهی، برش و جوشکاری استفاده می شوند و عملیات حرارتی پذیر نیستند.

## ■ فولادهای سخت شونده سطحی یا سمانتاسیون یا کربوره

فولادهای این گروه معمولاً دارای کربن پایین بین 0/1 و 0/25 درصد هستند. اکثر فولادهای این دسته دارای عناصر آلیاژی منگنز، کروم، نیکل و مولیبدن و ... هستند. با افزودن کربن به سطح این فولادها به روش سمانتاسیون، آن ها قابلیت عملیات حرارتی کوئنچ و تمپر (چایش و بازگشت) و سخت کاری سطحی را پیدا می کنند. این فولادها به طور معمول در کاربردهایی استفاده می شوند که سطح نیاز به سختی بالا و مقاومت سایشی خوب و مغز نیاز به تحمل ضربه و چقرمگی خوب دارد، بنابراین در قطعات ساخت و ساز و اجزایی مثل قطعات پرس و شکل پذیر، شغال دست، بوش، اتصالات، قطعات چرخ خیاطی و ماشین تحریر، چرخ دنده، پیستون، میل لنگ، محور و ... استفاده می شوند. نامگذاری این دسته از فولادها در استاندارد DIN بر حسب ترکیب شیمیایی آن ها انجام می گیرد. از جمله فولادهای مهم این گروه می توان به C10، C15، Ck10، Ck15، 18CrNi8(1.5920)، 16MnCr5(1.17131) و ... اشاره کرد. در این نامگذاری C اشاره به عنصر کربن دارد و عدد پس از آن مقدار کربن فولاد است



سال ۳۱

پاییز و زمستان

۱۳۹۴

که در عدد صد ضرب شده است، یعنی C10 دارای ۰/۱ درصد کربن است. حرف پس از C نیز بیانگر یک مشخصه خاص فولاد است. به طور مثال k به ترتیب بیانگر میزان فسفر و گوگرد پایین در ترکیب شیمیایی فولاد است. البته در استاندارد جایگزین شده‌ی DIN EN 10027-1 این نمادها تغییر یافته‌اند، به طور مثال در نامگذاری جدید به جای Ck10 از C10E استفاده می‌شود که E همان مفهوم سابق k را دارد. نامگذاری فولادهای کم آلیاژ سمانتاسیون نیز طبق استاندارد DIN EN 10027-1 بدین صورت است که ابتدا مقدار کربن با ضریب ۱۰ نوشته می‌شود، سپس نماد عناصر عمده آلیاژی قید شده و مقدار آن‌ها با ضرایب مخصوص (مثلاً مقدار کروم، نیکل، سیلیسیم، منگنز، کبالت و تنگستن با ضریب ۴، مقدار مولیبدن، مس، آلومینیوم، وانادیم و ... با ضریب ۱۰، مقدار نیتروژن، گوگرد و فسفر با ضریب ۱۰۰) نوشته می‌شود. به طور مثال 18CrNi8 به این مفهوم است که این فولاد میانگین ۰/۱۸ درصد کربن، میانگین ۲ درصد (۸ تقسیم بر ۴) کروم و نیکل دارد. فولادهای سمانتاسیون در محصولات شرکت معتبر بوهرلر (BOHLER) در گرید E طبقه بندی می‌شوند. به عنوان مثال E220 (نامگذاری قبلی بوهرلر ECN 200 است) معادل 1.5920، E410 (نامگذاری قبلی بوهرلر EC80 است) معادل 1.7131 و E920 معادل Ck15 می‌باشد. معادل این فولادها در گریدبندی فولادهای پلدی (POLDI) به ترتیب VARN و CE32، CN18 است. در گریدبندی فولادهای زارشتال (ROSHLING) نیز معادل فولاد 1.5920 و 1.7131 به ترتیب فولادهای RECN و EC80 است.



### ■ ۱-۳- فولادهای نیتروژن شونده

نیتروژن دهی عبارت از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد است. نیتروژن اتمی در سطح قطعه با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شده و تشکیل نیتريد آلیاژی می‌دهد. در حقیقت سختی زیاد لایه‌ی سطحی فولادهای نیتروژن داده شده ناشی از وجود همین ذرات بسیار ریز و پراکنده نیتريدهای آلیاژی است. در حالی که امکان نیتروژن دهی برای بسیاری از فولادها وجود دارد، تنها هنگامی می‌توان سختی زیاد در سطح به دست آورد که قطعه مورد نظر از جنس فولادهای آلیاژی شامل عناصر آلومینیوم، وانادیم، کروم و مولیبدن باشد. سختی سطحی فولادهای نیتروژن معمولاً ۸۰۰ تا ۹۵۰ ویکرز می‌باشد. کاربرد این فولادها بیشتر در قطعات ماشین‌های صنعتی که تحت سایش قرار

دارند، نظیر میله پیستون و قطعات در معرض بخار و اجزاء شیرها می باشد. این دسته از فولادها در رده بندی استاندارد DIN EN 10027-2 با شماره مواد 1.85YY مشخص می شوند. از جمله فولادهای این گروه می توان به فولادهای (1.8519) 31CrMoV9 و (1.8550) 34CrAlNi7-10 اشاره کرد. نحوه نامگذاری این فولادها طبق استاندارد DIN EN 10027-1 در قسمت فولادهای سمانتاسیون شرح داده شد. فولادهای نیتروتره در محصولات شرکت معتبر بوهرلر (BOHLER) در گرید V طبقه بندی می شوند. به عنوان مثال فولاد V350 معادل 1.8519 و فولاد V820 معادل 1.8550 می باشد.

### ■ فولادهای خوش تراش یا اتومات

فولادهای خوش تراش یا اتومات فولادهای کم آلیاژی هستند که حضور عناصری چون فسفر، گوگرد و سرب سبب می شود که براده ها حین ماشینکاری خرد شده و با افزایش سرعت براده برداری، فولاد خوش تراش شده و پس از ماشینکاری کیفیت سطحی خوبی به دست آید. به دلیل حضور گوگرد و فسفر در ترکیب این فولادها، خواص مکانیکی ضعیفی دارند. برای بهبود خواص مکانیکی این فولادها، منگنز از مقدار ۰/۵ تا ۱/۷ درصد در گریدهای مختلف آن حضور دارد. این فولادها به روش نورد گرم و یا کشش سرد تولید می شوند و آهنگری، شکل دهی سرد و جوشکاری نمی شوند. کاربرد این فولادها برای تراش اتوماتیک و سری تراشی جهت تولید انبوه قطعات اتومبیل و قطعات صنعتی است. این دسته از فولادها در رده بندی استاندارد DIN EN 10027-2 با شماره مواد 1.07YY مشخص می شوند. از جمله فولادهای این گروه می توان به فولادهای (1.0715) 9SMn28 و (1.0718) 9SMnPb28 اشاره کرد. معادل فولادهای خوش تراش 1.0715 و 1.0718 در گریدبندی محصولات شرکت بوهرلر (BOHLER) فولادهای Z906 و Z950 است.



سال ۳۱

پاییز و زمستان

۱۳۹۴

۲۹



## گروه دوم:

### ■ ۱-۲ - فولادهای بهسازی یا عملیات حرارتی پذیر (کوئچ و تمپر شونده):

فولادهای این دسته شامل فولادهای ساده کربنی و آلیاژ متوسط از قبیل فولادهای پر مصرف C22، 1.7225، 1.7035، 1.6882، 1.6580، 1.6511، C60، Ck45، C45 و ... هستند و بیشترین کاربرد را در صنایع قطعه سازی و ماشین سازی از قبیل محور، میل لنگ، چرخ دنده، شافت، پین، شاتون، پیچ و مهره، قطعات متنوع انواع ماشین آلات و وسایل نقلیه و ... دارند. خواص اصلی این فولادها عبارتند از: سختی پذیری و عملیات حرارتی پذیری عالی، قابلیت عملیات حرارتی القایی، چقرمگی بالا، انعطاف پذیری، قابلیت فورج و نوردپذیری مطلوب، استحکام متوسط به بالا و مقاومت سایشی و خستگی مناسب. کاربرد زیاد و خواص مناسب این فولادها مرهون عملیات حرارتی پذیری به ویژه امکان سخت کاری و بازگشت آن ها است. این فولادها به روش نورد یا فورج و بیشتر در مقاطع گرد، چهارگوش و یا تسمه تولید می شوند.

اکثر فولادهای این گروه در محصولات شرکت بوهرلر (BOHLER) در گرید V طبقه بندی می شوند. به عنوان مثال E945 (نامگذاری قبلی بوهرلر H است) معادل Ck45، V145 (نامگذاری قبلی بوهرلر VCN200 است) معادل 1.6580 و V320 (نامگذاری قبلی بوهرلر VCL140 است) معادل 1.7225 می باشد. معادل این فولادها در گریدبندی فولادهای پلیدی (POLDI) به ترتیب BOZ-S, W6H و CM5 است.



پایپ

سال ۳۱  
پایپ وزهستان  
۱۳۹۴

۳۰

در گریدنبدی فولادهای زارشتال (ROSHLING) نیز معادل فولاد 1.5920،  
Ck45، 1.5920 و 1.7131 فولادهای RM4، Monix2، و Mo4 است.

## ■ ۲-۲- فولادهای بلبرینگ:

فولادهای بلبرینگ و رول برینگ باید دارای مقاومت مکانیکی بالا، پایداری در مقابل فرسایش و حد خستگی خیلی بالایی باشند، زیرا اجزاء یک بلبرینگ در موقع کار، بارهای متناوب بزرگی را تحمل می نمایند. فولادهای بلبرینگ باید تا حد امکان عاری از آخال های غیر فلزی، حفره ها و هر نوع نقص دیگر که می تواند محل تمرکز تنش بوده و موجب شکست قطعه شود، باشد. فولادهای بلبرینگ پرکربن (مقدار کربن در انواع مختلف از ۰/۷۷ تا ۱/۲ درصد) و کروم دار (مقدار کروم در انواع مختلف از ۰/۴ تا ۱۹ درصد) و با حداقل مقدار گوگرد و فسفر هستند. در برخی از انواع این فولادها از عناصر آلیاژی مولیبدن، آلومینیوم، مس، وانادیم، نیکل و تنگستن نیز استفاده می شود. این دسته از فولادها در رده بندی استاندارد DIN EN 10027-2 با شماره مواد 1.35Y2 مشخص می شوند. از جمله فولادهای این گروه می توان به فولادهای 105Cr4 (1.3503) با نام صنعتی W2، 100Cr6 (1.3505) با نام صنعتی W3 و 100CrMo7-3(1.3536) با نام صنعتی W5 اشاره کرد.

## گروه سوم:

## ■ ۱-۳- فولادهای فنز:

کاربرد اصلی این فولادها در ساخت انواع فنر می باشد که در اشکال مختلف تخت، لول، چند لایه و میله ای در صنایع مختلف خودروسازی، راه آهن و ضربه گیرهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه مهم این فولادها، تنش تسلیم بالای آنها است که باعث می شود ناحیه الاستیک و کشسانی بیشتری داشته باشد یعنی قطعه در تنش های بالاتری با حذف بار به حالت اولیه خود برگردد و افزایش طول دائمی



سال ۳۱

پاییز و زمستان

۱۳۹۴

۳۱



نداشته باشد. تنش تسلیم این فولادها ۱۳۰۰-۱۱۰۰ MPa و استحکام کششی آن‌ها ۱۸۰۰-۱۲۰۰ MPa است. این فولادها خواص مطلوب خود را پس از عملیات حرارتی سخت کاری و برگشت به دست می‌آورند. عنصر اصلی آلیاژی در این فولادها معمولاً سیلیسیم است و حضور عناصری چون کروم، منگنز، مولیبدن و وانادیم باعث بهبود خواص آن می‌شود.

از انواع فولادهای فنر می‌توان به 50CrV4(1.8159) و 55Cr3(1.7176)، Ck101، ck85، ck75، ck67، F300، Ck85 معادل 1.7176 و F550 اشاره نمود. فولادهای فنر در محصولات شرکت بوهرلر (BOHLER) بیشتر در گرید F طبقه بندی می‌شوند. به عنوان مثال F608 معادل Ck67، F902 معادل F300، Ck85 معادل 1.7176 و F550 (نامگذاری قبلی بوهرلر CRV است) معادل 1.8159 می‌باشد. معادل فولادهای 1.7176 و 1.8159 در گریدبندی فولادهای پلدی (POLDI) به ترتیب AUTO P و CV4 است.

### ■ ۲-۳- فولادهای سخت شونده سطحی:

امکان سخت کاری سطحی این فولادها به کمک عملیات حرارتی موضعی به دو روش القایی یا شعله‌ای فراهم می‌باشد. در عملیات حرارتی موضعی، عملیات حرارتی سخت کردن تنها در سطح متمرکز می‌شود و از آنجایی که سطح باید کربن کافی جهت سخت شدن داشته باشد، این عملیات معمولاً بر روی فولادهای کربنی با ۰/۶ - ۰/۳ درصد کربن اعمال می‌شود. فولادهایی که مقدار کربن بیشتری داشته باشند، احتمال شکسته شدن یا ترک برداشتن احتمالی آن‌ها وجود دارد. سختی سطح انواع مختلف این دسته از فولادها از ۵۰ تا ۶۵ راکول سی به دست می‌آید. در اثر سخت کاری سطحی این فولادها، مقاومت به سایش عالی در سطح و چقرمگی در مغز قطعه را به طور همزمان دارا خواهند بود. بدین ترتیب در کاربردهای متنوعی که نیاز به این دو خاصیت به طور همزمان می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از این کاربردها عبارتند از: میل لنگ، شافت، میل بادامک، غلتک، چرخ دنده، دنده مارپیچ، پینیون و غیره. از انواع فولادهای سخت شونده سطحی می‌توان به Cf 35 و Cf 45 که (f نماد فولادهای مناسب برای سخت کاری شعله‌ای و القایی است)، 41Cr Mo4 (1.7223)، 37Mn Si5 (1.5122) و 51CrV4(1.8159) اشاره نمود.



## ■ ۳-۳- فولادهای روزن کاری یا اکستروژن سرد

فولادهایی هستند که آن‌ها را به صورت سرد تحت فرایند اکستروژن یا روزن کاری شکل دهی می‌کنند، بنابراین میزان کربن این فولادها پایین (کمتر از ۰/۳ درصد) است و برای دستیابی به خواص استحکام تسلیم و کششی مطلوب، عناصر آلیاژی از قبیل مس، نیکل، کروم و مولیبدن به ترکیب فولاد اضافه می‌کنند. به خاطر روزن کاری سرد این فولادها که سبب کار سختی می‌شود، استحکام کششی و تنش تسلیم افزایش یافته و باعث بهبود خواص محصول نهایی می‌شود. صافی سطح به همراه تنش‌های پسماند ناشی از کار سختی در گوشه‌ها، سبب مقاومت ارتعاشی و خستگی عالی محصولات می‌شود. از انواع فولادهای روزن کاری سرد می‌توان به Cq45، Cq35، Cq22، Cq15 (بعد از حرف C نماد فولادهای مناسب برای فرم دهی سرد است) (1.5919)، 15CrNi6، 30CrNiMo8 (1.6580)، 16MnCr5 (1.7131) و ... اشاره نمود.



## گروه چهارم:

### ■ ۴-۱- فولادهای چقرمه در دمای زیر صفر:

فولادها و مواد غیر فلزی در کاربردهای برودتی برای نگهداری، جابجایی و حمل و نقل گازهای مایع و میعان‌گازها به کار می‌روند. برخی از فولادها در بازه دمایی کوچکی که معمولاً زیر دمای اتاق است، کاهش شدیدی در داکتیلیته از خود نشان می‌دهند و در حالی که نرم بودند، در پایین‌تر از آن بازه دمایی ترد می‌شوند و الگوی شکست

ترد از خود نشان می دهند. دمایی که در آن شکست ماده از حالت نرم به ترد تبدیل می شود، دمای انتقال از حالت نرم به ترد DBTT نامیده می شود. یکی از مهمترین ویژگی های مواد برای کاربرد در دماهای زیر صفر چقرمگی است. چقرمگی یک ماده، توانایی آن در جذب انرژی و تغییر شکل پلاستیک پیش از شکست است. برای تعیین چقرمگی ماده و تمایل آن به داشتن رفتار ترد از آزمون ضربه استفاده می شود. کمیت اصلی که در آزمون ضربه اندازه گیری می شود، انرژی جذب شده در شکست نمونه است که معمولاً بر حسب ژول بیان می شود. هنگامی که خواص مکانیکی در دمای پایین مطرح باشد اهمیت چقرمگی از استحکام بیشتر می شود.

فولادهای چقرمه در دمای زیر صفر، فولادهایی هستند که خواص مطلوب چقرمگی را در دمای زیر صفر تامین می نمایند و انتقال از حالت نرم به ترد و در نتیجه شکست ناگهانی ترد را در دماهای زیر صفر از خود نشان نمی دهند. به دلیل این خاصیت، کاربرد این فولادها در مخازن تحت فشار و بویلرها، مخازن و لوله های صنایع برودتی، کشتی سازی، پالایشگاه ها، صنایع هوایی، ماشین آلات و خطوط لوله برای کاربردهای دما پایین می باشد.

عنصر اصلی آلیاژی در این فولادها نیکل است تا خواص مطلوب چقرمگی در دمای زیر صفر را تامین نماید و در مواردی منگنز جایگزین نیکل شده است. مقدار کربن آن ها پایین است تا از تشکیل کاربیدهای ترد کننده ساختار جلوگیری شود. مقداری وانادیم نیز برای ریز شدن دانه ها و بهبود خواص مکانیکی آن ها اضافه می شود.

از فولادهای این گروه می توان به 20Mn6(1.1169) ، X2 CrNiN 18-11(1.4311) ، X2 CrNiMoN 17-11-2 (1.4406) ، 12Ni14(1.5637) ، X12Ni5(1.5680) ، 15 NiMn6(1.6228) و... اشاره نمود.



پاس

سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۳۴

## ■ ۴-۲- فولادهای مخازن هیدروژن تحت فشار:

نفوذ هیدروژن اتمی به زمینه فولادی منجر به تردی هیدروژنی، کاهش انعطاف پذیری فولاد و حتی ترک خوردگی آن می شود. نفوذ هیدروژن اتمی در دما و فشار بالا سریع تر و بیشتر است. در محیط های هیدروژن دار و کاربردهای دما و فشار بالا، فولادها معمولاً در معرض تردی و تخریب هیدروژنی دمای بالا قرار می گیرند که با واکنش کربن فولاد و هیدروژن اتمی نفوذ کرده به داخل آن، به صورت دکربوره شدن یا کربن زدایی سطحی و یا ایجاد حفرات مرزدانه ای بروز می کند. دکربوره شدن معمولاً در اثر تماس هیدروژن مرطوب با فلز در درجه حرارت بالا اتفاق می افتد و طی آن هیدروژن مرطوب با کربن فولاد واکنش می دهد. در اثر دکربوره شدن، سرعت خزش افزایش و استحکام پارگی خزش و استحکام کششی فولاد کاهش می یابد. فولادهای مخازن هیدروژن تحت فشار باید در مقابل کربن زدایی سطحی و پدیده تردی و تخریب هیدروژنی مقاوم باشند، بنابراین با افزودن عناصر آلیاژی از قبیل کروم، مولیبدن و وانادیم و فراهم نمودن شرایط تشکیل کاربیدها، از کربن زدایی فولاد توسط هیدروژن و اثرات مضر آن جلوگیری می نمایند. از جمله این فولادها می توان به 20CrMoV 13-5-5(1.7779), X11 CrMo9-1(1.7386), 25CrMo4(1.7218)

اشاره نمود.



## ■ ۳-۴- فولادهای ساختمانی مقاوم در دمای بالا:

در کلید فولاد سه گروه فولادهای با کاربرد در دمای بالا (محدوده دمایی تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد، محدوده دمایی تا حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد و محدوده دمایی بالاتر از ۹۰۰ درجه سانتیگراد) معرفی شده است. به دلیل کار در دمای بالا، موضوع خزش در این فولادها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در گروه ۴، مشخصات فولادهای با کاربرد در محدوده دمایی تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد معرفی گردیده است که در محفظه بویلرها، مخازن تحت فشار، قطعات توربین بخار، کلکتورها، فلنج ها، لوله ها، پیچ و مهره و سایر تجهیزات برای دمای کاری تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد کاربرد دارند. تنوع فولادهای این گروه طبق رده بندی استاندارد DIN EN 10027-2 زیاد است. از جمله فولادهای این گروه می توان به P355GH، P235GH، P250GH، P265GH اشاره کرد. مفهوم نامگذاری این فولادها طبق استاندارد DIN EN 10027-1 بدین صورت است: P اشاره به فولادهای برای کاربردهای فشار بالا، ۲۳۵ اشاره به حداقل استحکام کششی بر حسب MPa، G اشاره به سایر مشخصات (غیر از مشخصات قید شده) و H اشاره به دمای بالا دارد. از دیگر فولادهای این گروه می توان به CK 35، CK 45، X20 CrMoV11-1 (1.4922) (که در محصولات بوهرلر با گرید T 550 مشخص می شود)، 24CrMo5 (1.7228) (که در محصولات بوهرلر با گرید V 340 مشخص می شود)، 10CrMo 9-10 (1.7380) و... اشاره نمود.



پاس

سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۳۶

مراجع:

- ۱- خطیب زاده، امیرحسین، کلید فولاد نشر نقش نگین، ۱۳۹۲
- ۲- امیر شهربافی، ایوب، راهنمای فولادهای تجاری، ۱۳۸۲
- ۳- گلنزار، محمد علی، عملیات حرارتی فولادها، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان ۱۳۷۸
- ۴- دفترچه محصولات بوهرلر
- ۵- استانداردهای DIN EN به شماره های ۱-۱۰۰۲۷، ۲-۱۰۰۲۷
- ۶- استانداردهای DIN به شماره های ۱۷۰۰۶، ۱۷۰۰۷

# ● آشنایی با الزامات استاندارد NFPA و تجهیزات برقی

◀ مهندس عیسی آزاد وار  
سرپرست واحد الکتریکی



## ■ چکیده

شاید پمپ های آتشنشانی بحرانی ترین بخش در تجهیزات آتشنشانی نصب شده در یک مجموعه باشند. پمپ های آتشنشانی انواع و اندازه های مختلفی دارند. در موردی که فشار تغذیه آب عمومی برای فعال کردن اسپرینکلرها (آب پاش) خیلی کم است یا انشعاب آب عمومی تامین نشده است، استفاده از پمپ های آتشنشانی ضروری می شود. در مورد نخست، برای تقویت فشار آب عمومی و فعال کردن اسپرینکلرها، یک پمپ آتشنشانی تقویت کننده نصب می شود. در مورد بعدی، پمپ های آتشنشانی به یک مخزن آب اختصاصی (مخزن ذخیره، خلیج، رودخانه، یا ...) متصل خواهد شد تا فشار آب مورد نیاز برای مصارف آتشنشانی را تامین کند. بیشتر پمپ های آتشنشانی محرک های دیزل یا الکتریکی دارند، اگرچه بعضی از آنهایی که پیش از سال ۱۹۷۴ ساخته شده اند با موتورهای بنزینی یا ماشین های بخار به حرکت در می آیند (البته این مورد به ندرت دیده می شوند).



سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

پمپ‌های آتشنشانی تقویت فشار معمولاً الکتریکی هستند در حالیکه استفاده از پمپ‌های دیزل برای مخازن آب اختصاصی مرسوم تر می باشند. محدوده ظرفیت پمپ‌ها از 52 mpg تا 5000 mpg و بیشتر و محدوده فشار آنها از 50 psi تا 125 psi و بیشتر تغییر می کند. بعضی از آنها از نوع توربینی با محور عمودی هستند در حالیکه بقیه، پمپ های گریز از مرکز هستند، "استاندارد NFPA20 با نام پمپ های ایستگاهی برای محافظت در برابر آتش" (ویرایش ۱۹۹۹) در حکم مرجعی موثق، آخرین الزامات و سایر اطلاعات را درباره پمپ های آتشنشانی ارائه می دهد.



پس  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۳۸

### استاندارد NFPA چیست؟

NFPA انجمن ملی آتشنشانی آمریکا American National Fire Protection Association می باشد. NFPA استانداردها و اسنادی را جهت ایمنی در مقابل آتش وضع و منتشر می کند. در مقایسه با سایر سازمانهای مشابه، NFPA و استانداردهایش ارجحیت دارند و تمام سازمانهای مشابه نیز به استانداردهای آن احترام می گذارند و به عنوان یک مرجع می شناسند. اغلب سازندگان پمپ های آتشنشانی به دو دلیل زیر سعی می کنند از استانداردهای NFPA تبعیت نمایند:



الف) استاندارد NFPA قابل احترام ترین و سختگیرانه ترین استاندارد جهان در این زمینه می باشد.  
ب) از آنجا که سایر سازندگان تجهیزات مانند تولیدکنندگان آپاش های اتوماتیک، کابین های آتش و سیستم های خاموش کننده از این استاندارد تبعیت می کنند، در صورت ساخت پمپ ها مطابق با این استاندارد هیچگونه عدم انطباقی در کارکرد تجهیزات بوجود نمی آید.

استاندارد NFPA 20 چیست؟

NFPA 20 استاندارد NFPA 20 در رابطه با پمپ های آتشنشانی می باشد. این استاندارد قوانینی جهت نصب و عملکرد پمپها، موتورهای محرکه، کنترلرها و اجزای کمکی آنها دارد.

FM چیست؟

FM واحد فنی مستقل شرکت Factory Mutual Insurance است که تأییدیه عملکرد برای سیستم ها و تجهیزات با ریسک بالا صادر می کند.

در پمپ های آتشنشانی، تأییدیه FM جزو الزامات و نیازمندی های NFPA می باشد. معمولاً وجود تأییدیه FM نشانهنده آن است که محصول نسبت به محصولات مشابه از کیفیت خیلی بالاتری برخوردار است.

## جزئیات ساختار پمپ های آتشنشانی مطابق با استاندارد NFPA 20

### موتورهای الکتریکی

- الکتروموتورها می بایست بر طبق استاندارد NEMA MG-1 باشند.
- تمام الکتروموتورها می بایست مناسب جهت کارکرد دائم باشند.
- موتورها نباید سرویس فاکتور کمتر از ۱.۱۵ داشته باشند.
- در مواقعی که امکان پاشش آب وجود داشته باشد، الکتروموتورها می بایست از نوع TEFC باشند.
- در مواقعی که عدم قطعیت در تأمین برق وجود دارد، می بایست منبع قدرت یدکی تأمین شود.
- وقتی ژنراتور برای تأمین برق الکتروپمپ استفاده می شود، منبع انرژی می بایست الزامات استاندارد NFPA 110 را داشته باشد.

### ح) دیزل موتورها

- موتورهای دیزلی استفاده شده در پمپ های آتشنشانی، می بایست قابل اطمینان، با کیفیت بالا و برای سیستم های آتشنشانی طراحی شده باشد.
- در حالتی که موتور دیزل انتخاب شده است، می بایست دمای محیط و ارتفاع از سطح دریا مورد



سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

توجه قرار گیرد.

- پمپ و دیزل موتور می بایست توسط کوپلینگ های انعطاف پذیر کوپله شوند.
- دیزل موتورهای می بایست مجهز به گاورنر باشند و قابلیت تنظیم سرعت دیزل بین ۱۰ درصد شات اف و ماکزیمم بار کاری پمپ را داشته باشد.
- دیزل موتور باید دارای دستگاه خاموش کننده افزایش سرعت Over speed shut-down device باشد که وقتی سرعت ۲۰ درصد افزایش می یابد دیزل خاموش گردد.
- موتور می بایست مجهز به سرعت سنج Tachometer باشد.
- موتور می بایست داری گیج فشار روغن باشد.
- موتور می بایست دارای نشانگر دما باشد.
- تمام نشانگر های کنترلی موتور می بایستی به طور مناسبی به تابلو کنترل متصل گردند.
- هر دیزل موتور می بایستی مجهز به دو باتری ذخیره باشد.
- هر باتری می بایستی دو برابر ظرفیت برای نگه داشتن سرعت میل لنگ که توسط سازنده توصیه شده است، دارا باشد.
- هر دو باتری می بایستی دارای کنتاکتورهای دستی کنترلی باشند تا وارد مدار گردند.



## تجهیزات جانبی

- شیرآلات مکش و رانش می بایستی از نوع دروازه ای OS&Y باشند.
- در مواقعی که بین قطر فلنج مکش و لوله مکش اختلاف سایز وجود دارد، یک تبدیل خارج از مرکز می بایست استفاده شود.
- در مواقعی که بین قطر فلنج رانش و لوله رانش اختلاف سایز وجود دارد، یک تبدیل مرکزی می بایست استفاده شود.
- پمپ های آتشنشانی می بایستی دارای، شیر فشار شکن پوسته Casing relief valve، شیر تخلیه هوا در خروجی (برای پمپ های دو مکشه اسپلیت کیس) و فشار سنج باشند.

## پمپ های جاکی Jockey Pumps

- پمپ های جاکی برای ثابت نگه داشتن فشار در تمام زمانها در سیستم آتشنشانی استفاده می شود.

- جاکي پمپ بايد فشار خروجي كافي داشته باشد تا فشار مورد نظر سيستم محافظتي آتشنشاني تأمين گردد.
- پمپ هاي جاکي همچنين از ايجاد ضربه قوچ وقتي پمپ اصلي وارد مدار مي شود جلوگیری مي کند.

## سيستم كنترلي پمپ هاي آتشنشاني با محرکه الكتريكي

### الف) خصوصيات

- پانل مي بايستي به طور ويژه براي كار كرد پمپ هاي آتشنشاني با محرکه الكتريكي ساخته شوند.
- تمام سيستم كنترلي بايد قبل از ارسال از كارخانه توسط سازنده، مونتاژ، سيم كشي و تست گردند.
- طراحي سيستم كنترلي مي بايست بسيار قابل اطمينان باشد.
- مفهوم هر لامپ و يا دكمه و مانند آن روي پانل مي بايستي به گونه اي نوشته شود كه امكان پاك كردن و يا از بين بردن آن نباشد.

### ب) پوشش Enclosure

- پانل مي بايستي به طور مطمئني در برابر قطرات آب محافظت شود (حداقل مطابق توصيه هاي NEMA و IEC). وقتي كه تجهيزات در محيط هاي بيرون و يا ويژه اي نصب مي گردند، درجه حفاظت تابلو مي بايستي مناسب باشد.
- پانل مي بايستي كاملاً روي زمين مستقر شود.
- پانل هاي نوع ايستاده On stood يا ديواري مي بايستي مجهز به تمام تجهيزات لازم جهت نصب باشند.
- پانل مي بايستي به طور مطمئني قفل شود.

### پ) راه اندازي و كنترل

- راه اندازي و كنترل مي بايستي بصورت دستي يا اتوماتيك باشد.
- كنترلر اتوماتيك بايد خود عمل كننده Self-acting براي راه اندازي و محافظت الكتروموتور باشد.
- وقتي سويچ فشار استفاده مي شود، بايد سويچي استفاده شود كه مستقل از



سال ۳۱

پاڤيز و زمستان

۱۳۹۴

تنظیمات بالا و پایین کالیبر در مدار کنترل باشد.

- برای تمام پمپ ها و همچنین پمپ جاک، هر کنترلر باید سویچ فشار جداگانه مخصوص خودش را داشته باشد.

- برای حالت غیر اتوماتیک، سوئیچ عملکرد دستی روی کنترلر پانل باید به گونه ای باشد که موتور به صورت دستی روشن شود و عملکرد سوئیچ دستی تأثیری بر سوئیچ فشاری نداشته باشد. سیستم باید به گونه ای باشد تا موقع خاموش کردن دستی، سیستم در حالت کار باقی بماند.

### ت) تجهیزات سیگنال و آلام

- یک نشانگر قابل رویت باید دسترسی توان در تمام فازها را نمایش دهد.

- نقص فاز یا برگشت فاز Phase reversal در ترمینال کنتاکتورهای موتور باید مونیاتور شود. تمام فازها می بایستی مونیاتور شوند.

- کنترلر باید مجهز به مدارات عملکرد زیر باشد:

الف) کارکرد موتور و پمپ

ب) دو فاز شدن جریان

پ) برگشت فاز

ت) کنترلر به منبع جایگزین Alternative source متصل شده است.

### سیستم کنترلی پمپ های آتشنشانی با محرکه دیزلی

#### الف) خصوصیات

- کنترلرها می بایست به طور ویژه برای کارکرد پمپ آتشنشانی با محرکه دیزلی ساخته شوند.

- تمام سیستم کنترلی باید قبل از ارسال از کارخانه توسط سازنده، مونتاژ، سیم کشی و تست گردند.

- تمام کنترلرها باید دارای علامت Diesel Engine Fire Pump Controller باشند و نام سازنده دستگاه در محل مناسبی درج گردیده باشد.

#### ب) پوشش

- کنترلر می بایست تا جایی که عملاً امکان دارد نزدیک دیزل موتور باشد و در کنار آن نصب گردد.



-کنترلر باید در محلی نصب گردد و یا به طریقی محافظت گردد که امکان خرابی ناشی از پاشش آب از پمپ ها و یا اتصالات نباشد.

- پوشش باید مطابق استاندارد NFPA 70 باشد.

### پ) راه اندازی و کنترل

- راه اندازی و کنترل می بایستی به صورت اتوماتیک و یا غیر اتوماتیک باشد.

- منبع تغذیه اولیه کنترلر نباید برق ac باشد.

- وقتی سیستم کنترل فشار آب استفاده می شود، مدار کنترل باید سوئیچ فشاری داشته باشد که مستقل از تنظیمات بالا و پایین کالیبراسیون باشد.

### ت) تجهیزات سیگنال و آلارم

- اجزای سیم کشی کنترلر باید به صورتی باشد که برای کارکرد دائم مناسب باشد.

- برای حالات زیر می بایست نشانگرها و آلارمهای جداگانه ای وجود داشته باشد:

۱) از کار افتادن استارت اتوماتیک موتور

۲) خاموش شدن موتور به خاطر سرعت غیر مجاز Over speed

۳) خرابی باتری.

۴) از کار افتادن شارژر باتری.

۵) فشار بسیار پایین روغن در سیستم روانکاری

۶) دمای سیستم خنک کاری

ث) اتصالات و سیم کشی

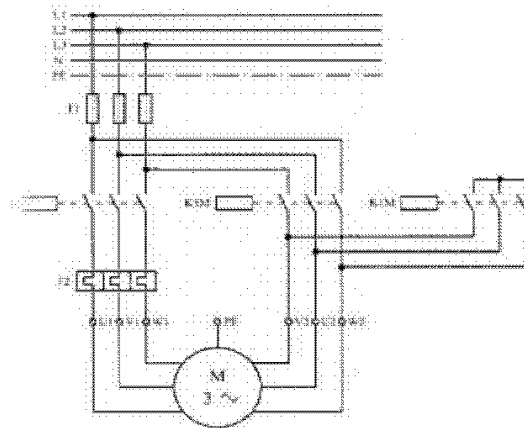


سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

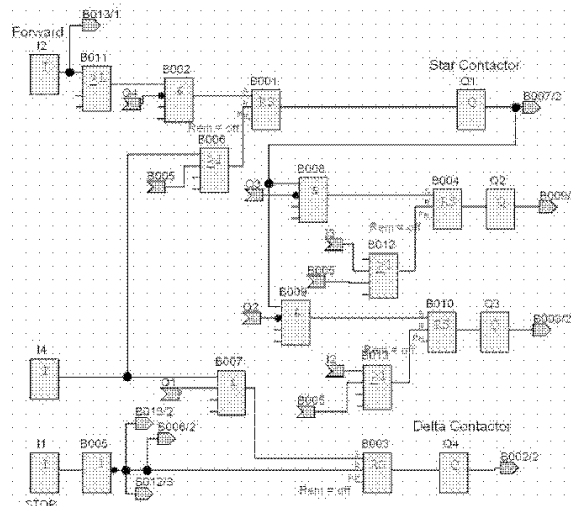
۴۳



## Power Circuit Diagram Of Automatic Star-Delta ( Y- $\Delta$ ) Starter



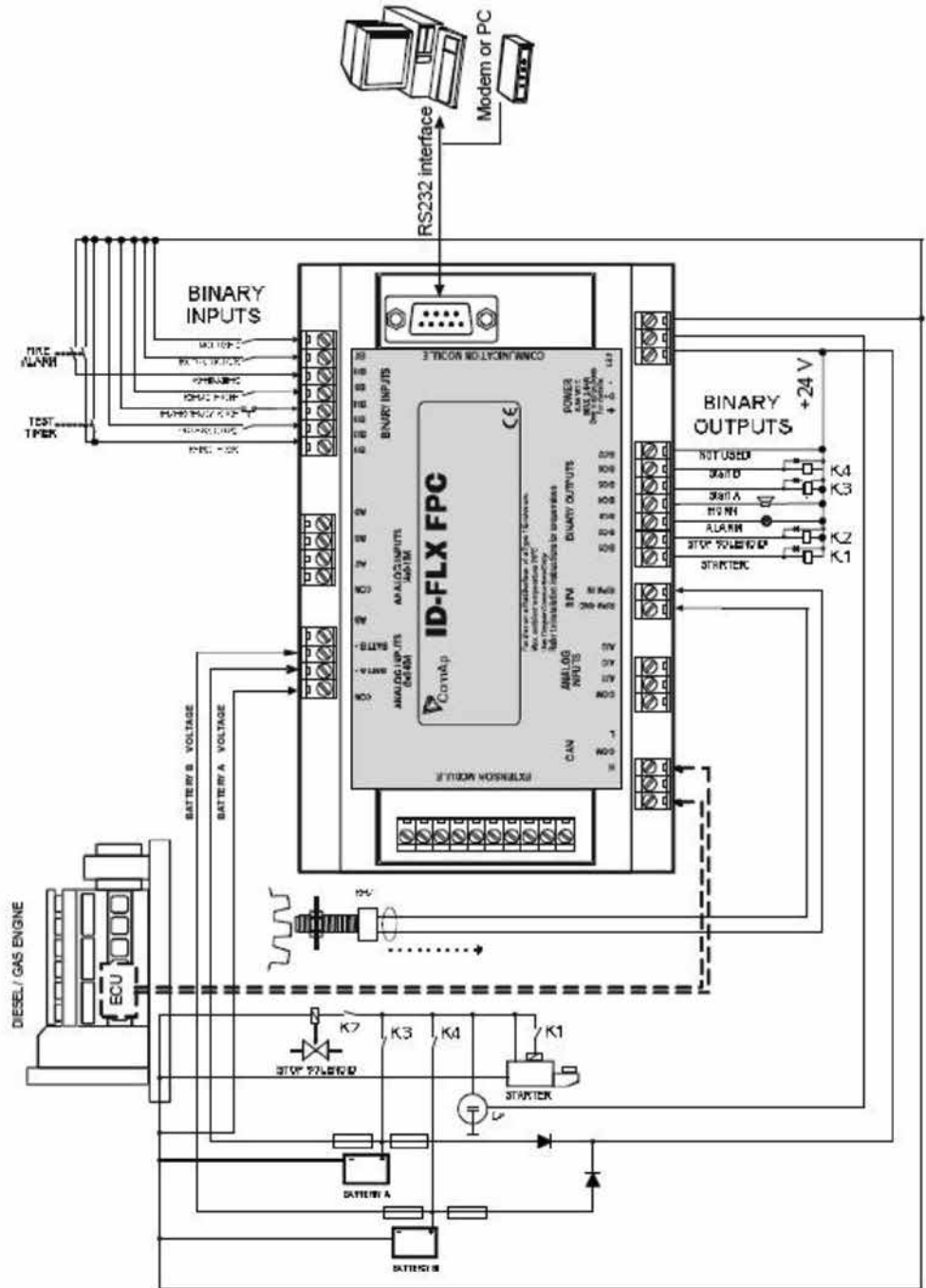
## Automatic Diagram Of Star-Delta ( Y- $\Delta$ ) connection



سال ۳۱  
پاپیر وزمستان  
۱۳۹۴



# Installation Diagram



مراجع:

استاندارد ملی ایران: ۱۴۱۱۹، ISIRI 14119، چاپ اول

استاندارد ملی ایران: ۶۲۰۹۱، INSO-IEC 62091، چاپ اول، ۱۳۹۲



## ● بررسی آزمایشگاهی نمودار مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز جایگزین توربین



◀ مهندس سیدپژمان طباطبائی حسینی  
کارشناس بازاریابی و امور نفت

### بررسی آزمایشگاهی نمودار مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز جایگزین توربین

وقوع بحران قیمت نفت در دهه ۷۰ میلادی و در طی چند سال اخیر، سبب جلب توجه به سوی نیروگاه‌های برق آبی کوچک شده است. با این وجود هزینه تولید انرژی به ازای هر کیلو وات در این نوع از نیروگاه‌ها بالاتر از هزینه انرژی تولیدی توسط نیروگاه‌های برق آبی بزرگتر است. در سال‌های اخیر، مقالات متعددی بر اهمیت استفاده از توربین‌های ساده به منظور کاهش هزینه‌های انرژی تولیدی انتشار یافته است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، ایستگاه‌های برق آبی کوچک با اقبال زیادی مواجه شده است. به عنوان مثال، یک مطالعه امکان‌سنجی نشان داد که بیش از ۲۰۰ ایستگاه برق آبی کوچک را می‌توان در ایران نصب کرد. استفاده از پمپ به عنوان توربین (PAT<sup>1</sup>) یک جایگزین مناسب و قابل توجه است. پمپ‌ها به طور نسبی ماشین‌هایی ساده هستند که به آسانی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه در دسترس می‌باشند. علاوه بر این، نصب و راه‌اندازی و نگهداری آنها آسان و ارزان است. از نقطه نظر اقتصادی می‌توان گفت که در محدوده سیستم‌های PAT و برای توان‌های بین ۵ تا ۵۰۰ کیلو وات دوره بازگشت سرمایه چیزی در حدود دو سال یا حتی کمتر است. در این مقاله و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی چند نمونه رابطه استخراج شده است که هدف از آن پیش‌بینی BEP<sup>2</sup> (بهترین نقطه بازده) سیستم‌های PAT می‌باشد.

لازم به توضیح است که آزمایش‌های انجام گرفته بر روی چند نمونه از پمپ‌های PAT گریز از مرکز و با سرعت پایین بوده است. به علاوه یک روش به منظور استخراج نمودار مشخصه در حالت پاره بار و هم‌چنین بار اضافی پیشنهاد شده است. هم‌چنین انحراف از داده‌های تجربی و مقایسه آن با روابط دیگر نیز ارائه شده است. نهایتاً یک روش برای انتخاب PAT مناسب برای یک سایت آبی کوچک ارائه شده است.



پس  
سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

۴۶

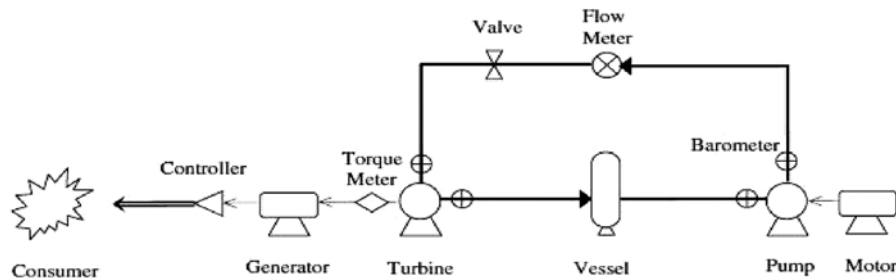
1. pump as turbine  
2. best efficiency points

## ■ زمینه‌های کاربرد PAT

کاربردهای روز مره توربین‌های مرسوم مانند پلتن، فرانسیس و کاپلان سبب شناخت کافی این نوع از توربین‌ها شده است البته دلیل عمده این شناخت گستره مربوط به هد و دبی و سرعت مخصوص این نوع از توربین‌ها بوده است. به دلیل عدم وجود نتایج تجربی کافی در زمینه استفاده از پمپ به جای توربین استفاده از این نوع سیستم‌ها هنوز به درستی تثبیت نشده است. با این حال، برنامه‌های کاربردی می‌تواند زمینه‌ساز مقایسه پمپ‌های تک پروانه‌ای گریز از مرکز و جریان محوری را با توربین‌های پلتن، فرانسیس و کاپلان فراهم آورد.

## ■ سیستم آزمایشگاهی

یک مدل کامل از یک نیروگاه برق آبی کوچک نصب شده در دانشگاه تهران در شکل ۱ نشان داده شده است. دبی و هد تولید شده در نمونه آزمایشگاهی و برای هر مدل PAT توسط یک پمپ مناسب تولید شده است.



شکل ۱ - مدل کامل از یک نیروگاه برق آبی کوچک نصب شده در دانشگاه تهران

هر PAT نیازمند یک تنظیم کننده فرکانس به صورت خودکار می‌باشد. گاورنرهای مرسوم استفاده شده برای توربین‌های استاندارد گران قیمت هستند و عموماً برای نیروگاه‌های آبی کوچک توصیه نمی‌شود.

از آنجا که این نوع نیروگاه‌ها معمولاً در مناطق دور افتاده نصب می‌شوند استفاده از یک سیستم کنترل بار الکتریکی و بار بالاست برای این سیستم‌ها مرسوم است. در دکل آزمایش، یک کنترل کننده بار الکترونیکی با بارهای بالاست ساخته شده است و برای ثابت نگه داشتن فرکانس یک ژنراتور سنکرون به کار می‌رود.

برای اندازه‌گیری گشتاور شفت توربین از یک بازوی کوچک مدرج استفاده شد و ژنراتور در یک حالت معلق بهینه‌سازی شد و دبی جریان با استفاده از تخلیه سیال در یک لوله تخلیه مجهز به اریفیس انجام گرفت (شکل ۲).





شکل ۲- روش اندازه گیری گشتاور شفت یک PAT

گستره فشار فشارسنجها بین ۰ و ۵ بار اندازه گیری شد. چهار پمپ گریز از مرکز صنعتی با سرعت مخصوص ۱۴ تا ۵۶ ( $m^3/s$ ) برای انجام آزمایش انتخاب شدند. قدرت ورودی، هد و دبی این پمپ ها به ترتیب برابر ۳۰ کیلو وات، ۲۵ متر و ۰/۱۵ متر مکعب بر ثانیه بود. برای آزمایش هر

PAT، یک پمپ تغذیه، تعدادی لوله، یک اریفیس، یک ژنراتور و تعدادی از بارهای بالاست انتخاب و بر روی دکل آزمایش نصب شد. برای هر آزمون، بسته به پمپ و ورودی توربین لوله های خروجی، موقعیت فشارسنجها به صورت جداگانه تعریف شد با توجه به عامل لغزش در موتورهای القایی، تمام پمپ ها در ۱۴۵۰ دور در دقیقه و در حالت پمپ مورد تست قرار گرفت.

در کاربرد PAT و زمانی که یک ژنراتور سنکرون به طور مستقیم با سیستم کوپل شود سرعت نامی پاسخگو برای هر کدام از سرعت های سنکرون (۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ یا ۳۰۰۰ دور در دقیقه) باید انتخاب شود.

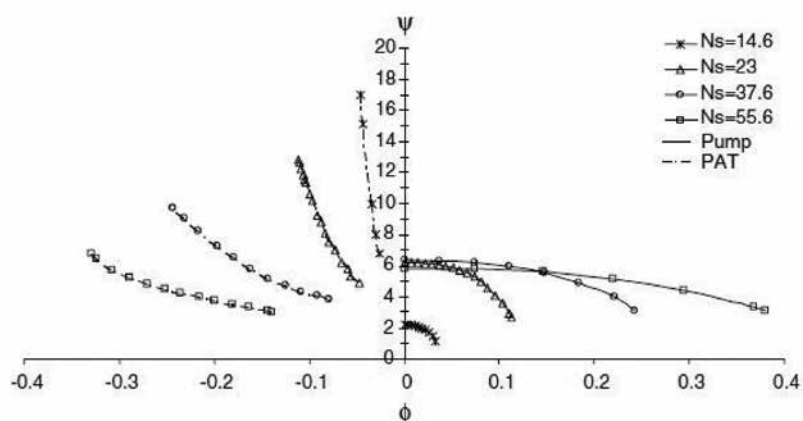
پس از اندازه گیری تمام پارامترها مقادیر هد، سرعت جریان، قدرت خروجی و راندمان PAT محاسبه شد. آنالیز عدم قطعیت مرتبه اول با استفاده از ترکیب ثابت های آزمایش انجام شد و بر اساس آن صحت داده های آزمایش با روش موافقت چیزی در حدود ۹۵ درصد به دست آمد. عدم قطعیت به دست آمده برای هد، دبی، توان و راندمان به ترتیب  $\pm 5.5\%$ ،  $\pm 5.1\%$ ،  $\pm 3.4\%$  و  $\pm 5.5\%$  بودند.



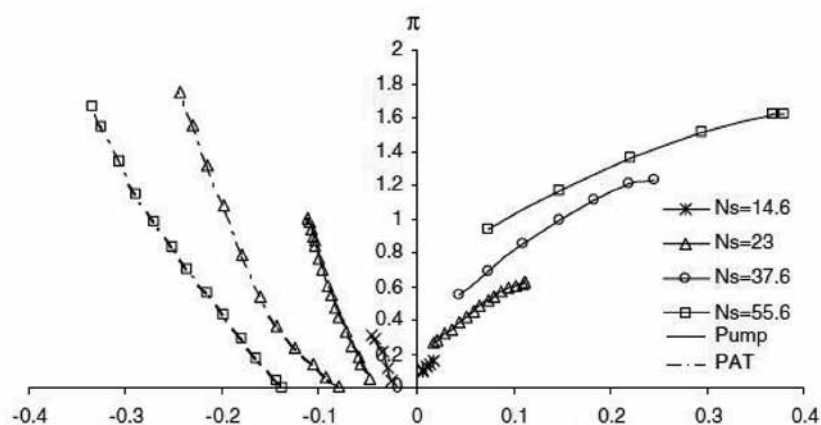
آزمایش ها نشان داد پمپ های گریز از مرکز با سرعت مخصوص کم می تواند به عنوان یک توربین در سرعت ها ، دبی ها و هد های مختلف به کار گرفته شود و طی این سیکل مشکلی در سیستم بروز نکند. نتایج مربوطه در شکل های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. در این شکل ها  $\psi, \phi, \pi$  بیانگر مقادیر زیر می باشند.

$$\psi = \frac{gH}{n^2 D^2}, \quad \phi = \frac{Q}{n D^3}, \quad \pi = \frac{P}{\rho n^3 D^5}, \quad (1)$$

در این فرمول ها  $H(m)$  ،  $Q(m^3 / s)$  و  $P(W)$  به ترتیب بیانگر مقادیر هد، دبی و توان مصرفی می باشد. هم چنین  $n(rps)$  سرعت دورانی و  $D(m)$  قطر پروانه می باشد.

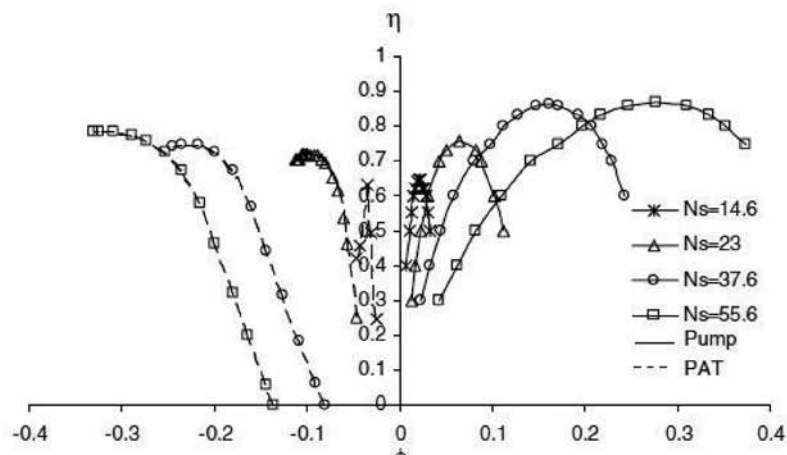


شکل ۳ - محور هد بی بعد شده برای PAT آزمایشی در حالت پمپ و توربین



شکل ۴ - محور توان بی بعد شده برای PAT آزمایشی در حالت پمپ و توربین





شکل ۵ - محور بازده بی بعد شده برای PAT آزمایشی در حالت پمپ و توربین

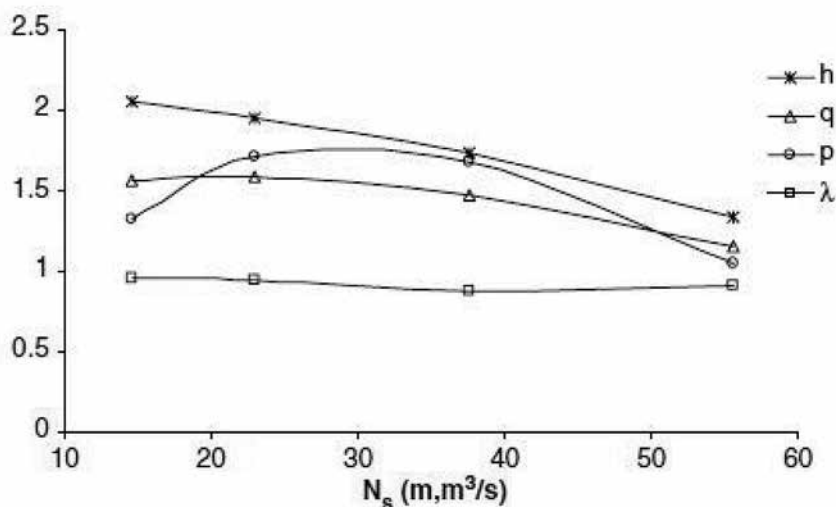
شکل های ۳ تا ۵ چگونگی عملکرد PAT در دبی و هد بالا تر نسبت به حالت پمپ را نشان می دهد.

### ■ پیش بینی BEP مربوط به PAT

شکل های ۳ تا ۵ نحوه کارکرد PAT در هد ها و دبی های بالاتر در مقایسه با حالت پمپ را نشان می دهد. شکل ۶، BEP مربوط به PAT را نشان می دهد، در این شکل از پارامترهای بی بعدی که پژوهشگران در پژوهش های مختلف به دست آورده اند استفاده شده است.

$$h = \frac{H_{tb}}{H_{pb}}, \quad q = \frac{Q_{tb}}{Q_{pb}}, \quad p = \frac{P_{tb}}{P_{pb}}, \quad \lambda = \frac{\eta_{tmax}}{\eta_{pmax}} \quad (2)$$

$\eta$  و  $Q \cdot P \cdot H$  به ترتیب هد، توان، دبی و راندمان می باشند. زیر نویس های  $p$ ،  $b$ ،  $t$  نماینده سیستم های پمپ، BEP و توربین می باشند. شکل ۶ نشان می دهد که پمپ هایی با سرعت مخصوص بالاتر هد و دبی پایین تری دارند. در ضمن مقدار  $\lambda$  برای تمامی پمپ ها در سرعت های مخصوص متفاوت ثابت است. تغییرات فشار و سرعت مخصوص باهم متناسب نیستند.



شکل ۶ - BEP بی بعد مربوط به PAT های آزمایشی



پاییز

سال ۳۱  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۴

با استفاده از داده های آزمایشگاهی تعدادی رابطه به منظور محاسبه BEP ، PAT ها به دست آمد، با این توضیح که این BEP ها مربوط به حالت پمپ می باشند. البته روابط ارائه شده فقط برای پمپ های گریز از مرکز با سرعت مخصوص پایین معتبر است.

$$\gamma = 0.0233\alpha_p + 0.6464, \quad (3)$$

$$\alpha_t = 0.9413\alpha_p - 0.6045, \quad (4)$$

$$\beta_t = 0.849\beta_p - 1.2376, \quad (5)$$

جایی که  $\alpha_p (m, m^3/s) \propto \beta_t (m, W)$  سرعت های مخصوص بی بعد پمپ و توربین می باشد.

پارامترهای بی بعد  $\gamma, \alpha_t \propto \beta_p$  به صورت زیر تعریف شده اند

$$\gamma = (h)^{-0.5} \cdot \frac{N_t}{N_p}, \quad (8)$$

$$\alpha_t = \frac{N_t \cdot Q_{tb}^{0.5}}{(g \cdot H_{tb})^{0.75}}, \quad (9)$$

$$\beta_p = \frac{N_p \cdot P_{pb}^{0.5}}{\rho^{0.5} \cdot (g \cdot H_{pb})^{1.25}}. \quad (10)$$

در معادلات بالا فرمول ها  $(H(m), Q(m^3/s), P(W), N(rpm))$  به ترتیب بیانگر مقادیر هد، دبی، توان مصرفی و سرعت دورانی می باشد. با استفاده از معادله شماره و هم چنین ویژگیهای هیدرولیکی پمپ ها، هد BEP در حالت توربین به دست می آید. معادلات شماره ۴ و ۵ به ترتیب میزان دبی و توان مصرفی BEP را تعیین می کنند.

گزارش برخی از پژوهشگران از یافته های تجربی شان نشان می دهد که پمپ ها به رغم نزدیکی سرعت مخصوصشان می توانند نسبت دبی و هد بسیار متفاوتی داشته باشند. اگر دو پمپ سرعت مخصوص یکسانی داشته باشند پمپ با بازده بالاتر به عنوان توربینی با هد و دبی بالاتر عمل می کند. از سوی دیگر و در بین پمپ های در مدار، پمپی با قطر پره های بزرگتر دارای راندمان بیشتری می باشد. با توجه به داده های تجربی ارائه شده توسط Chapallaz و همکاران این روابط

$$h_{new} = h \cdot (0.25/D)^{1/4}, \quad (11)$$

$$q_{new} = q \cdot (0.25/D)^{1/6}, \quad (12)$$

$$P_{new} = P \cdot (0.25/D)^{1/10}, \quad (13)$$



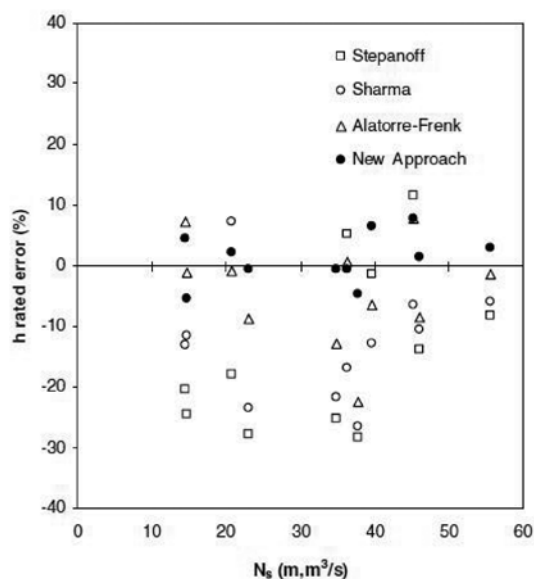
جدول ۱- BEP بی بعد PAT ها، پیش بینی شده توسط روش های متفاوت

Pump specifications			Experimental		Stepanoff [2]		Sharma [4]		Alatorre-Frenk [8]		New approach	
$N_s$ ( $m, m^3/s$ )	$\eta_{p, max}$ (%)	$D$ (m)	$h$	$q$	$h$	$q$	$k$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$
14.6	65.5	0.250	2.05	1.56	1.63	1.28	1.78	1.45	2.20	2.09	2.14	1.48
14.7 [6]	46	0.125	2.87	1.63	2.17	1.47	2.54	1.86	2.84	2.4	2.71	1.72
20.7 [16]	60	0.160	2.24	1.73	1.84	1.42	2.4	1.66	2.22	2.04	2.29	1.74
23.0	76	0.250	1.95	1.59	1.41	1.19	1.49	1.29	1.78	1.76	1.94	1.60
34.8 [13]	83	-	1.71	1.55	1.28	1.14	1.34	1.20	1.49	1.36	1.70	1.48
36.4 [17]	74.4	0.175	1.72	1.54	1.81	1.34	1.43	1.27	1.73	1.78	1.71	1.50
37.7	86.5	0.250	1.73	1.48	1.24	1.11	1.27	1.16	1.34	1.16	1.65	1.44
39.7 [17]	85	0.260	1.40	1.35	1.38	1.18	1.22	1.14	1.31	1.21	1.49	1.35
45.2 [17]	80	0.200	1.40	1.38	1.56	1.25	1.31	1.2	1.31	1.49	1.51	1.33
46.1 [16]	83	0.250	1.52	1.34	1.31	1.19	1.36	1.26	1.39	1.32	1.54	1.33
55.6	87	0.250	1.34	1.15	1.23	1.11	1.26	1.16	1.32	1.13	1.38	1.18

در اینجا  $D(m)$  قطر پروانه می باشد و برای آزمایش حال حاضر قطر پروانه  $0.25$  متر می باشد. بیشترین بازده به دست آمده از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$\eta_{t max} = \frac{P_{tb}}{\rho \cdot g \cdot Q_{tb} \cdot H_{tb}}$$

روش های بسیاری به منظور پیش بینی BEP ، PAT ها ارائه شده است که در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از داده های آزمایشگاهی و روش های متفاوت به دست آمده توسط پژوهشگران ارائه گردیده است. شکل های ۷ و ۸ میزان انحراف حاصل از نتایج آزمایشگاهی و روش های مختلف ارائه شده توسط پژوهشگران را نشان می دهد. شکل ۷ و ۸ نشان می دهد که الگوی یکنواختی برای همسان سازی نتایج حاصل از داده های آزمایشگاهی در کل گستره سرعت مخصوص وجود ندارد. روش های ارائه شده اوسط استپانف [2] و شارما [4] فقط برای پمپ هایی با سرعت های مخصوص ۴۰ و ۶۰ ( $m, m^3/s$ ) صادق می باشد. با استفاده از روش آلتوره فرانک [8] امکان پیش بینی هد تا حدود زیادی میسر گردیده است ولی برای دبی می بایست از نتایج آزمایشگاهی استفاده شود.



شکل ۷ - خطاهای ثبت شده از نسبت هد PAT ها، ناشی از نتایج آزمایشگاهی و روش ارائه شده توسط پژوهشگران





روش پیش بینی زمانی معتبر است که بتواند به طور همزمان نسبت هد و نسبت دبی را برای یک بازه سرعت مخصوص مشخص و پیش بینی نماید. روش پیشنهادی هر دو نسبت هد و دبی را با دقت قابل قبولی برای پمپ های گریز از مرکز و با  $N_s < 60(m, m^3 / s)$  تخمین می زند.

از آنجا که روش ارائه شده با اتکا به داده های به دست آمده از چهار آزمایش می باشد ممکن است برای کلیه پمپ های سانتریفوژ اعتبار نداشته باشد. بنابراین، برآورد منحنی مشخصه کامل یک PAT بر اساس BEP آن بسیار قابل توجه می باشد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که نمودار مشخصه بی بعد برای همه PAT ها بر اساس BEP آنها با تقریب خوبی برای همه نمونه ها یکسان است. محورهای هد و توان بی بعد شده مربوط به یک PAT می تواند توسط منحنی های مرتبه دوم و سوم تقریب زده شود.

$$\frac{H_t}{H_{tb}} = 1.0283 \left( \frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^2 - 0.5468 \left( \frac{Q_t}{Q_{tb}} \right) + 0.5314, \quad (14)$$

$$\frac{P_t}{P_{tb}} = -0.3092 \left( \frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^3 + 2.1472 \left( \frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^2 - 0.8865 \left( \frac{Q_t}{Q_{tb}} \right) + 0.0452. \quad (15)$$

محور ارائه شده برای بازه برای هر نقطه با فرمول زیر قابل دستیابی است.

$$\eta_t = \frac{P_t}{(\rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t)}$$

نتایج به دست آمده از این طریق با داده های آزمایشی انطباق مناسبی دارد. البته داده های آزمایشی بیشتر احتمال دسترسی به نتایج دقیق تر را فراهم خواهد کرد.

### ۳-۴- یک روش برای انتخاب PAT مناسب نیروگاه برق آبی کوچک

تمامی روش های ارائه شده مربوط به نحوه عملکرد یک پمپ در حالت توربین است. اما در عمل می بایست یک طرح مشخص در نظر گرفته شود تا بتوان PAT مناسب نیروگاه برق آبی کوچک را انتخاب نمود. بر اساس داده های آزمایشگاهی نقطه برتری روش ارائه شده در ادامه توضیح داده می شود.

روش ارائه شده برای یک نیروگاه برق آبی کوچک در ادامه ارائه می گردد:

مرحله ۱: سرعت مخصوص پمپ با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$N_{sp} = 0.3705 N_{st} + 5.083, \quad (16)$$



در فرمول شماره ۱۶  $N_{st}(m, kW)$  و  $N_{sp}(m, m^3/s)$  به ترتیب سرعت مخصوص توربین و پمپ در نقطه اندازه گیری هستند.

مرحله ۲:  $\gamma$  با جاگذاری  $\alpha_p = \frac{N_{sp}}{g^{0.75}}$  در معادله شماره ۳ به دست می آید.

مرحله ۳: با دانستن  $\gamma$  و استفاده از معادله ۸ مقدار  $h$  به دست می آید.

مرحله ۴:  $H_{pr}$  می تواند از فرمول  $H_{pr} = \frac{H_{tr}}{h}$  به دست آید.

مرحله ۵: با استفاده از  $N_{sp}$  و با دانستن  $N_p$  و داشتن  $H_{pr}$  ،  $Q_{pr}$  به دست می آید.

مرحله ۶: با دانستن  $N_p$  ،  $H_{pr}$  و  $Q_{pr}$  ، PAT مناسب برای هر موقعیت به راحتی انتخاب می گردد.

این روش فقط برای توربین های با  $N_{st} < 150(m, mk)$  معتبر می باشد. نقطه امتیاز این طرح شرایط عملکرد ماشین است که عموماً به شرایط مکانی بستگی دارد و این شرایط با نقطه طراحی ماشین و یا BEP همزمان نیست.

## ■ جمع بندی

در این پژوهش یک نیروگاه برق آبی کوچک به عنوان نمونه آزمایشی در لابراتور نصب شد و چهار پمپ گریز از مرکز به عنوان توربین در این پروژه تست شدند. آزمایش ها نشان داد که یک پمپ سانتریفوژ می تواند به صورت رضایت بخشی به عنوان یک توربین عمل کند و این شرایط برای هدها، دبی ها و سرعت های دورانی مختلف صادق است. در یک سرعت دورانی مشخص یک PAT در هد و دبی بالاتری نسبت به حالت مشابه پمپ خود کار می کند. بازده به طور تقریبی در هر دو حالت پمپ و توربین یکسان است. از دیگر نتایج به دست آمده دست یابی به یک روش جدید برای پیش بینی BEP یک PAT بر اساس مشخصات هیدرولیک پمپ بود. این حالت برای دو پمپ با سرعت های مخصوص ثابت نشان داده شده است. پمپ با بازدهی بیشتر به عنوان یک توربین با هد و دبی بالاتر عمل می کند از سوی دیگر پمپ با پره بزرگتر کارایی بیشتری در همان سرعت مخصوص دارد. برخی روابط ارائه شده برای پمپ ها با همان سرعت مخصوص و قطرهای پره متفاوت ارائه شده است. از آنجا که ممکن است یک PAT در شرایطی خارج از شرایط طراحی کار کند تعیین نمودار مشخصه آن به طور کامل نیازمند ابزار اندازه گیری بسیار دقیق برای مشخصات جریان می باشد. بعضی از روابطی که برای تخمین نمودار مشخصه PAT ارائه شده است با تکیه بر BEP آن بوده است. اگر چه نتایج به دست آمده با استفاده از داده های آزمایشگاهی بوده است ولی باید به این نکته توجه داشت که این روش فقط می تواند نمودار مشخصه PAT را تقریب بزند. در عمل انتخاب یک PAT مناسب مهم ترین هدف از انجام این آزمایش بوده است. در این مطالعه روشی برای انتخاب PAT گریز از مرکز مناسب برای نیروگاه آبی کوچک  $N_{st} < 150(m, mk)$  با ارائه گردید. کارهای آتی و داده های آزمایشگاهی بیشتر می تواند نتایج حاصل از تمام روش های پیشنهادی را بهبود بخشد.



## مراجع:

- [1] A. Nourbakhsh, G. Jahangiri, Inexpensive small hydropower stations for small areas of developing countries, in: Conference on Advanced in Planning-Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land use, Louvain, Belgium, 1992, pp. 313–319.
- [2] A.J. Stepanoff, Centrifugal and Axial Flow Pumps, Design and Applications, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1957.
- [3] M. Gantar, Propeller pumps running as turbines, in: Conference on Hydraulic Machinery, September 13–15, Ljubljana, Slovenia, 1988, pp. 237–248.
- [4] K. Sharma, Small hydroelectric project-use of centrifugal pumps as turbines, Technical Report, Kirloskan Electric Co., Bangalore, India, 1985.
- [5] W. Wong, Application of centrifugal pumps for powers generation, World Pump (1987) 348–381.
- [6] A. Williams, Pumps as turbines used with induction generations of stand-alone micro-hydroelectric power plants, Ph.D.M.E. Thesis, Nottingham Polytechnic, 1992.
- [7] J.M. Chapallaz, P. Eichenberger, G. Fischer, Manual on Pumps used as Turbines, Vieweg, Braunschweig, 1992.
- [8] C. Alatorre-Frenk, Cost minimization in microhydro systems using pumps-as-turbines, Ph.D.M.E. Thesis, University of Warwick, 1994.
- [9] A. Williams, Pumps as Turbines Users Guide, International Technology Publications, London, 1995.
- [10] H. Ramos, A. Borgia, Pump as turbine: an unconventional solution to energy production, Urban Water 1 (1999) 261–263.
- [11] H. Ramos, A. Borgia, Pump Yielding Power, Dam Engineering Affiliated to International Water Power and Dam Construction, X, 2000, pp. 197–217.
- [12] G.U. Fischer, et al., Harnessing water power on small scale volume II: pumps used as turbines, Mhpg Series, Skat Pollutions Service, Entec, German, 1998.
- [13] S. Joshi, A. Gordon, L. Holloway, L. Chang, Selecting a high specific speed pump for low head hydro-electric power generation, in: Electrical and Computer Engineering Canadian Conference on, 2005, pp. 603–606.
- [14] A. Tomm, A. Braten, B. Stoffel, G. Ludwig, Analysis of a standard pump in reverse operation using CFD, in: 20th IAHR Symposium, 2000, Charlotte North Carolina, USA, Paper No. 5.
- [15] R.J. Moffat, Contributions to the theory of single-sample uncertainty analysis, ASME Journal of Fluids and Engineering 104 (1982) 250–260.
- [16] Manual for micro-hydropower development, Japan International Cooperation Agency (JICA), 2003.
- [17] P. Singh, Optimization of internal hydraulics and of system design for pumps as turbines with field implementation and evaluation, Ph.D.M.E. Thesis, Karlsruhe University, 2005.
- [18] H. Ramos, A.B. Almedia, Parametric analysis of waterhammer effects in small hydropower schemes. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering 128 (2002) 689–697.
- [19] H. Ramos, A.B. Almedia, Dynamic orifice model on waterhammer analysis of high and medium heads of small hydropower schemes, Journal of Hydraulic Research 39 (2001) 429–436.



سال ۳۱

پاییز و زمستان

۱۳۹۴





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) نمابر: ۸۸۷۹۸۹۴۲ (۰۲۱)  
کارخانه: تبریز، صندوق پستی ۵۸۱۴۵-۱۳۵ تلفن: ۳۲۸۹۰۶۴۴-۹ (۰۴۱) نمابر: ۳۲۸۹۸۴۴۶ (۰۴۱)  
دفتر بازاریابی و فروش: تبریز، تلفن: ۳۲۸۹۰۷۰۷-۸ و 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)