مطالعه تجربی برچسب انرژی پمپ گریز از مرکز

شهرام درخشان [۱]، احسان عبداله نژاد [۲]، جواد زارع [۳*]

۱-استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۲-کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۳-دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
*پست الکترونیک نویسنده مسئول: j_zare@mecheng.iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۸

چکیده

در عصر حاضر با توجه به مصرف فزاینده‌ی انرژی بخصوص در بخش صنایع، لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی و تعیین کلاس بازده انرژی وسایل مختلف ضروری می‌باشد. در تحقیق حاضر به توسعه‌ی استاندارد تعیین کلاس بازده انرژی پمپ‌های گریز از مرکز پرداخته شده است. با توجه به اینکه استاندارد مورد استفاده در کشور ایران استاندارد ۲-۷۸۱۷ نسخه اول تنها اثر بازده را در تعیین کلاس بازده انرژی در نظر می‌گیرد، روش پیشنهادی جدیدی جهت اصلاح این استاندارد ارائه گردیده است. در روش پیشنهادی تأثیر سرعت مخصوص بر بازده، با انتخاب یکی از منحنی‌های سرعت مخصوص ثابت در نمودار بازده برحسب دبی به‌عنوان منحنی مبنا و تصحیح بازده در هر سرعت مخصوص، در نظر گرفته شده است. در ادامه، پمپ‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و کلاس بازده انرژی آن‌ها از طریق استانداردهای مختلف تعیین گردیده است. در حالی که استاندارد مورد استفاده در کشور ایران، تمامی پمپ‌های مورد آزمایش را در یک کلاس دسته‌بندی می‌نماید، اما روش پیشنهادی جدید قادر به کلاس‌بندی مناسب پمپ‌ها، مشابه با استانداردهای اروپایی می‌باشد که به‌خوبی مزیت و قابلیت روش پیشنهادی جدید در دسته‌بندی و تعیین کلاس بازده انرژی پمپ‌های گریز از مرکز را نشان می‌دهد.

کلیدواژگان: برچسب انرژی، پمپ گریز از مرکز، بهینه‌سازی مصرف انرژی، استاندارد

Experimental Study of Centrifugal Pump Energy Label

Shahram Derakhshan[1], Ehsan Abdolahnejad[2], Javad Zare[3*]

1-Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
3- Ph.D. Student, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
*Corresponding author, E-mail address: j_zare@mecheng.iust.ac.ir

Received: 19.04.2017 Accepted: 30.08.2017

Abstract

Nowadays, according to increasing energy consumption especially in industry, the need for optimizing energy consumption and determining energy efficiency class of different devices is essential. The main challenge of the present study is developing an energy label instruction for centrifugal pumps. Since the used standard in Iran (ISIRI 7817-2, 1st.edition) only considers the effect of efficiency in energy labeling, a new method is presented to modify this standard. In the proposed method the effect of specific speed on efficiency is considered by choosing one of the constant specific speed curves in η- Q diagram and modifying efficiency for each specific speed. Then, different pumps are tested and labeled by different standards. While the used standard in Iran labels all the pumps in one class, but the new proposed method can label pumps properly as European standards that show the benefit of using the proposed method in centrifugal pumps energy labeling.

Keywords: Energy label, Centrifugal pump, optimizing energy consumption, standard

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون مصرف انرژی و از طرف دیگر محدودیت منابع انرژی در دسترس، نیاز به کنترل و مهار مصرف انرژی ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس مطالعات انجام شده، سیستم‌های پمپاژ نزدیک به ۲۰٪ از مطالبه‌ی انرژی الکتریکی را در جهان شامل می‌شوند و ۲۵٪ تا ۵۰٪ از مصرف انرژی مراکز صنعتی را در برمی‌گیرند [۱]. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که ۳۰٪ تا ۵۰٪ انرژی مصرفی توسط سیستم‌های پمپی طی تغییرات سیستم کنترل و یا تجهیزات جانبی قابل صرفه‌جویی می‌باشد [۱]. در این راستا روش‌های متفاوتی از جمله بهینه‌سازی اجزاء [۲-۵] و تعیین کلاس بازده انرژی به کار گرفته شده است. تعیین کلاس بازده انرژی، یکی از روش‌های مؤثر در ارتقای کارایی وسایل می‌باشد. اولین برچسب انرژی در سال ۱۹۶۲ در لهستان جهت دسته‌ای از وسایل صنعتی به کار گرفته شد. با توجه به تأثیر بسزای کلاس‌بندی وسایل مختلف در ارتقای کارایی و کیفیت تا سال ۲۰۰۴ تعداد ۵۵ کشور از استانداردهای تعیین کلاس بازده انرژی برای وسایل مختلف بهره جسته‌اند [۶ و ۷].

در حالت کلی برچسب انرژی توافقی یا مصوب و مقایسه‌ای دو نوع مهم برچسب انرژی می‌باشند [۶]. آنچه برای تعیین کلاس بازده انرژی در یک وسیله نیاز است به دو قسمت، یعنی میزان مصرف انرژی اندازه‌گیری شده و میزان مصرف انرژی مبنا تقسیم می‌گردد. شاخص بازده انرژی از تقسیم میزان مصرف انرژی وسیله بر مصرف انرژی مبنا به دست می‌آید و با توجه به این شاخص، کلاس بازده انرژی تعیین می‌شود. نتیجه‌ی تعیین کلاس بازده انرژی بالا بردن سطح محصولات به‌وسیله رقابتی کردن بازار می‌باشد. در ایران نیز تعیین کلاس بازده انرژی از سال ۱۳۷۶ آغاز گردیده است و در مورد پمپ‌های گریز از مرکز نیز استانداردی تحت عنوان پمپ‌های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری، روش اندازه‌گیری مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی تدوین گردیده است. در این استاندارد، مبنای مقایسه و دسته‌بندی پمپ‌های گریز از مرکز میزان بازده در نقطه بهترین راندمان قرار گرفته است. در واقع برای پمپ‌های مختلف با داشتن بازده و دبی در نقطه بهترین راندمان و مراجعه به نمودار نیمه لگاریتمی کلاس بازده انرژی پمپ موردنظر مشخص می‌گردد. در این شیوه دسته‌بندی پمپ‌های با دبی نزدیک به یکدیگر اما با سرعت مخصوص متفاوت که دارای بازده مشابه هستند در یک کلاس دسته‌بندی می‌گردند؛ یعنی اثر سرعت مخصوص بر بازده در نظر گرفته نمی‌شود. در روش پیشنهادی جدید، اثر سرعت مخصوص در تعیین کلاس بازده انرژی با در نظر گرفتن رابطه تصحیح برای بازده اعمال گردیده است. صحت سنجی روش پیشنهادی با اعمال این روش بر پمپ‌های گریز از مرکز مختلف انجام گرفته است. نتایج نشان‌دهنده قابلیت بالای روش اعمالی و تطابق بسیار عالی با نتایج حاصل از کاربرد استانداردهای اروپایی می‌باشد.

۲- برچسب انرژی پمپ

در حالت کلی پمپ‌های بزرگ دارای بازده بیشتری هستند. این امر بایستی هنگامی که پمپ‌ها بر اساس بازده انرژی دسته‌بندی می‌گردند مدنظر قرار گیرد شیوه رتبه‌بندی بایستی از اندازه (یا توان ورودی) مستقل باشد [۸]. در ادامه به سه نمونه از روش‌های تعیین کلاس بازده انرژی در پمپ‌های گریز از مرکز اشاره گردیده است. دو روش اول مربوط به اروپا و روش سوم روش مورد استفاده در استاندارد کنونی کشور ایران به شماره‌ی ۲-۷۸۱۷ می‌باشد.

۲-۱- تدوین شاخص بازده انرژی در اروپا

آنچه در اروپا در سال ۲۰۰۱ به‌عنوان رابطه‌ی تعیین کلاس بازده انرژی در نظر گرفته شده است[۸]، بدین‌صورت می‌باشد که برای چندین پمپ مختلف با توان‌های ورودی متفاوت، نمودار توان ورودی برحسب توان هیدرولیکی در نقطه بهترین راندمان ترسیم شده و سپس از بین نقاط به دست آمده یک منحنی توانی عبور داده شده است. رابطه به دست آمده به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد که برای تعیین بازده انرژی بکار می‌رود:

$$P_1 = 13.5 \times P_{hydraulic}{}^{0.64} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق P_1 توان مبنا و $P_{hydraulic}$ توان هیدرولیکی می‌باشد. همان‌گونه که اشاره گردید، رابطه مورد استفاده برای محاسبه شاخص بازده مطابق رابطه ۲ می‌باشد که در آن E_{calc} میزان مصرف انرژی اندازه‌گیری شده و E_{ref} میزان مصرف انرژی مبنا می‌باشد.

$$EEI = \frac{E_{calc}}{E_{ref}} \qquad (۲)$$

با محاسبه حاصل‌ضرب P_1 در مدت زمان یک سال، مقدار E_{ref} به دست می‌آید. برای محاسبه مقدار Ecalc بدین‌صورت عمل می‌شود که با توجه به ملاحظات آماری، از آنجا که یک پمپ در تمام مدت زمان کارکرد خود در شرایط بار حداکثر

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]

کار نمی‌کند، بنابراین میزان مصرف انرژی به‌صورت رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$E_{Calc} = \left(0.6\times P_{100\%} + 0.15\times P_{75\%} + 0.35\times P_{50\%} + 0.44\times P_{25\%}\right)\times t_{ref} \quad (۳)$$

که در این رابطه t_{ref} زمان کارکرد پمپ می‌باشد که معمولاً یک سال در نظر گرفته می‌شود. با کمک روابط ارائه شده، شاخص بازده انرژی برای وسیله موردنظر محاسبه می‌گردد. پس از این، مقدار به دست آمده با داده‌های جدول ۱ مقایسه و کلاس بازده انرژی برای وسیله تعیین می‌گردد.

کلاس‌های بازده انرژی با کمک یک نمونه مبنا محاسبه شده‌اند که مصرف انرژی سالانه آن به‌عنوان آستانه کلاس D انتخاب شده است و برای کلاس A کاهش ۵۰٪ مصرف انرژی در نظر گرفته شده است.

۲-۲- تدوین شاخص بازده انرژی در اروپا

شیوه تعیین شاخص بازده انرژی در سال ۲۰۰۳ [۹]، مطابق با رابطه ۴ می‌باشد.

$$EEI = \frac{P_{L,avg}}{P_{ref}} \quad (۴)$$

در این رابطه $P_{L,avg}$ توان مصرفی میانگین در دبی‌های مختلف و P_{ref} توان مصرفی مبنا می‌باشد که مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد. همان‌طور که اشاره گردید، بازده به‌اندازه وسیله بستگی دارد؛ بنابراین در یک پمپ، انرژی مصرفی هم به توان هیدرولیکی و هم به‌اندازه پمپ بستگی دارد. به‌منظور یافتن رابطه‌ای مناسب برای تعیین توان مصرفی مبنا در یک پمپ با اندازه مشخص، بایستی رابطه‌ای بین توان هیدرولیکی و ماکزیمم توان مصرفی بیان گردد.

جدول ۱- شاخص مصرف و کلاس بازده انرژی اروپا

کلاس بازده انرژی	شاخص بازده انرژی سال ۲۰۰۱ [۸]	شاخص بازده انرژی سال ۲۰۰۳ [۹]
A	EI<۰/۵	۰/۴EI<
B	۰/۶۷≤EI<۰/۵	۰/۶≤EI<۰/۴
C	۰/۸۳≤EI<۰/۶۷	۰/۸≤EI<۰/۶
D	۱≤EI<۰/۸۳	۱≤EI<۰/۸
E	۱/۱۷≤EI<۱	۱/۲≤EI<۱
F	۱/۱۷≤EI<۱/۳۴	۱/۴≤EI<۱/۲
G	۱/۳۴≤EI	۱/۴≤EI

ماکزیمم توان هیدرولیکی بر اساس استاندارد $EN\ 1151$ و در محلی که حاصل‌ضرب Q و H ماکزیمم است، مطابق رابطه ۶ اندازه‌گیری می‌شود.

$$P_{ref} = 2.21\times P_{hyd,\max} + 55 \quad (۵)$$

$$P_{hyd,\max} = 2.73\times \max\left(Q\times H\right) \quad (۶)$$

که $P_{hyd,max}$ توان هیدرولیکی ماکزیمم بر حسب وات، Q دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه و H هد بر حسب متر می‌باشد. رابطه بالا برای توان‌های زیر ۲۰ وات به‌صورت رابطه ۷ اصلاح می‌گردد.

$$P_{ref} = 2.21\times P_{hyd,\max} + 55\left(1-e^{-0.39\times P_{hyd,\max}}\right) \quad (۷)$$

در این شیوه نیز پس از محاسبه شاخص بازده انرژی با استفاده از روابط بیان شده، مقدار به دست آمده با داده‌های جدول ۱ مقایسه و کلاس بازده انرژی برای وسیله تعیین می‌گردد.

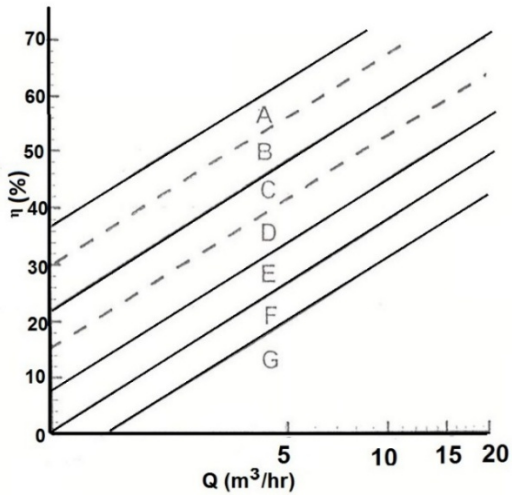
۲-۳-تدوین شاخص بازده انرژی در ایران

در کشور ایران نیز استانداردی در مورد پمپ‌های گریز از مرکز با عنوان ISIRI 7817-2 [۱۰] تدوین گردیده است. در این استاندارد شاخص مصرف انرژی، حداکثر راندمان قابل حصول می‌باشد که برای دبی نقطه کار تعریف می‌شود. راندمان یک پمپ در دور نامی و برای قطر ماکزیمم چرخ اندازه‌گیری شده و با حداکثر راندمان قابل حصول مقایسه می‌گردد تا جایگاه آن پمپ از نقطه‌نظر مصرف انرژی مشخص شود. مبنای ارزیابی عملکرد پمپ‌های تولید داخل، مشخصه‌های ارائه شده توسط تولیدکنندگان داخلی و یا بعضاً کاتالوگ‌های تولیدکنندگان خارجی می‌باشد. در شکل ۱ نمودار تعیین کلاس بازده انرژی به روش استاندارد مورد استفاده در کشور ایران نمایش داده شده است.

۳- بهترین مبنای مقایسه

با توجه به اینکه هدف اصلی از تعیین کلاس بازده انرژی، مقایسه بین محصولات مختلف یک گروه از وسایل و تعیین رتبه‌ی آن‌ها از نظر مصرف انرژی و بازده می‌باشد، بایستی معیار مقایسه به‌درستی انتخاب شود؛ زیرا در صورت عدم صحت معیار انتخابی، نمی‌توان بر مبنای آن پمپ‌ها را کلاس‌بندی نمود.

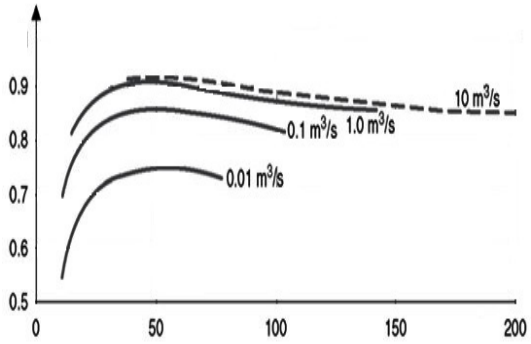
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۱- نمودار تعیین کلاس بازده انرژی بر مبنای استاندارد کشور ایران [۱۰]

سرعت مخصوص هر پمپ نشان‌دهنده‌ی خانواده‌ی آن پمپ است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد بین بازده و سرعت مخصوص رابطه وجود دارد و در هر محدوده‌ی سرعت مخصوص، یک بازده مشخص قابل دستیابی است. این مسئله باید هنگام تعیین کلاس بازده انرژی مورد توجه قرار گیرد. در واقع برای مقایسه صحیح بین مصرف انرژی پمپ‌ها بایستی مقایسه در یک خانواده انجام شود تا امکان کلاس‌بندی مناسب بر مبنای نتایج وجود داشته باشد.

اما از آنجا که در استاندارد کشور ایران اثری از سرعت مخصوص دیده نمی‌شود و تنها بازده پمپ ملاک مقایسه قرار گرفته است، در نتیجه تمام عوامل حاکم مدنظر قرار داده نشده است و امکان کلاس‌بندی به‌طور صحیح وجود ندارد. در مطالعه‌ی حاضر سعی بر این است که بر اساس اصول حاکم بر پمپ‌ها، پیشنهاد جدیدی برای تصحیح روش مورد استفاده ارائه گردد.



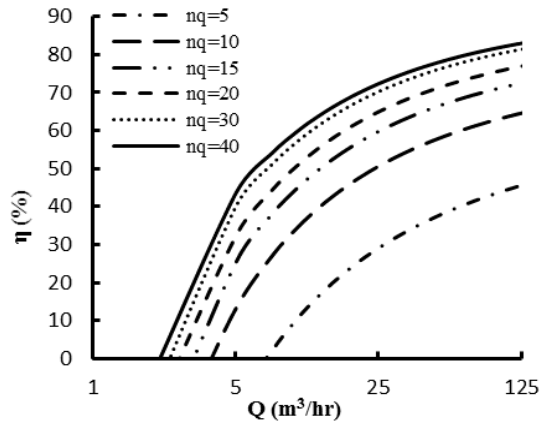
شکل ۲- ارتباط بین بازده و سرعت مخصوص [۱۱]

۴- تصحیح روش تعیین کلاس بازده انرژی

همان‌طور که بیان گردید، هنگام مقایسه دو پمپ از نظر کلاس بازده انرژی، باید به‌سرعت مخصوص توجه کرد؛ اما در روش کنونی مورد استفاده در استاندارد کشور ایران این موضوع در نظر گرفته نشده است. شکل ۳ نشان‌دهنده تغییرات بازده بر مبنای دبی و در سرعت مخصوص‌های متفاوت می‌باشد. این شکل که بر اساس روابط [۱۲] ترسیم گردیده است، نشان‌دهنده افزایش بازده با افزایش سرعت مخصوص در دبی ثابت می‌باشد، در صورتی که در معیار مورد استفاده در استاندارد کشور ایران، شکل ۱، اثر سرعت مخصوص بر بازده در دبی ثابت در نظر گرفته نشده است.

در پیشنهاد ارائه شده، به‌منظور تصحیح روش تعیین کلاس بازده انرژی، رابطه‌ای برای بیان اثر سرعت مخصوص بر بازده پمپ استخراج گردیده است که به کمک آن، بازده پمپ در سرعت مخصوص‌های متفاوت از سرعت مخصوص مبنا، پیش‌بینی می‌گردد. به‌منظور ایجاد امکان مقایسه پمپ‌های با سرعت مخصوص متفاوت، بایستی معیاری در نظر گرفته شود که تفاوت سرعت مخصوص را لحاظ کند. به این منظور یک سرعت مخصوص در بازه‌ی پمپ‌های مورد بررسی به‌عنوان سرعت مخصوص مبنا در نظر گرفته می‌شود و با کمک شکل ۳ و روابط ارائه شده [۱۲]، رابطه‌ی موردنظر جهت پیش‌بینی بازده استخراج می‌گردد. این رابطه، بر اساس ارتباط بین تغییرات بازده و سرعت مخصوص در یک دبی مشخص تعیین می‌گردد.

اگر اختلاف بازده بین دو سرعت مخصوص متفاوت و در یک دبی ثابت موردنظر قرار گیرد، مشاهده می‌شود که مقادیر اختلاف در تمام دبی‌ها تقریباً یکسان است؛ به عبارت دیگر منحنی‌های شکل ۳ به‌صورت تقریبی با هم موازی می‌باشند.



شکل ۳- تأثیر سرعت مخصوص بر بازده پمپ [۱۲]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۲- مقادیر بازده در سرعت مخصوص‌های متفاوت و میانگین مقادیر اختلاف بازده

Nq	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
Q (m^3/hr)	بازده بر اساس روابط [۱۲](٪)					
۷/۵	۵۰	۴۸/۲	۳۶/۹	۳۲	۲۳/۱	۱/۹
۱۰	۵۶/۳	۵۴/۵	۴۵	۴۰/۳	۳۱/۴	۱۰/۵
۱۲	۵۹/۷	۵۷/۹	۴۹/۴	۴۴/۶	۳۵/۹	۱۵/۲
۱۵	۶۳/۳	۶۱/۵	۵۳/۹	۴۹/۳	۴۰/۶	۲۰/۱
۱۷	۶۵/۱	۶۳/۴	۵۶/۲	۵۱/۶	۴۳	۲۲/۶
۱۹	۶۶/۵	۶۴/۸	۵۸/۱	۵۳/۵	۴۴/۹	۲۴/۷
۲۰	۶۷/۲	۶۵/۵	۵۸/۹	۵۴/۳	۴۵/۷	۲۵/۶
۲۲/۵	۶۸/۶	۶۶/۹	۶۰/۷	۵۶/۱	۴۷/۶	۲۷/۵
۲۵	۶۹/۸	۶۸/۱	۶۲/۱	۵۷/۶	۴۹/۱	۲۹/۲
۲۷/۵	۷۰/۸	۶۹/۱	۶۳/۴	۵۸/۹	۵۰/۴	۳۰/۶
۳۰	۷۱/۶	۷۰	۶۴/۵	۵۹/۹	۵۱/۶	۳۱/۸
۳۲/۵	۷۲/۴	۷۰/۷	۶۵/۴	۶۰/۹	۵۲/۶	۳۲/۹
۴۵	۷۵/۱	۷۳/۵	۶۸/۸	۶۴/۴	۵۶/۲	۳۶/۸
میانگین اختلاف بازده بین هر سرعت مخصوص و سرعت مخصوص مبنا (n_q=20) در دبی‌های متفاوت						
	-۸/۷	-۷	۰	۴/۶	۱۳/۲	۳۳/۴

بر این اساس، بین هر سرعت مخصوص با سرعت مخصوص مبنا (nq=20) می‌توان اختلاف بازده را به دست آورد.

جدول ۲ نشان‌دهنده میانگین اختلاف بازده بین هر سرعت مخصوص و سرعت مخصوص مبنا در دبی‌های متفاوت می‌باشد. در شکل ۴ نیز اختلاف بازده در هر سرعت مخصوص با سرعت مخصوص مبنا به‌صورت تابعی از سرعت مخصوص رسم گردیده است. توجه به این نکته ضروری است که انتخاب منحنی مبنا در بازه مورد بررسی کاملاً اختیاری بوده و تنها بر رابطه استخراجی نهایی اثرگذار خواهد بود، اما از آنجا که این رابطه نشان‌دهنده تغییرات بازده در هر سرعت مخصوص نسبت به‌سرعت مخصوص مبنا می‌باشد، در نهایت اثری بر تعیین کلاس بازده انرژی پمپ نخواهد داشت. در واقع هر انتخاب منحنی مبنا، رابطه‌ای را نتیجه خواهد داد که این دو با هم قادرند با در نظر گرفتن اثر سرعت مخصوص پمپ‌های مورد بررسی را کلاس‌بندی نمایند.

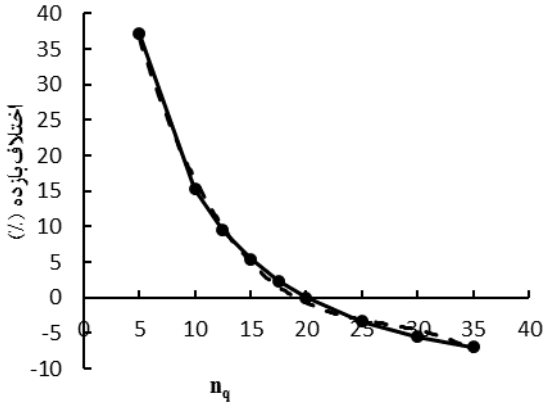
رابطه استخراج شده برای اختلاف بازده بر مبنای شکل ۴ به‌صورت رابطه ۸ می‌باشد.

$$ED = -0.0032n_q^{\,3} + 0.2625n_q^2 - 7.34n_q + 67.028 \qquad (۸)$$

مقدار بازده تصحیح شده جهت استفاده در تعیین کلاس بازده انرژی مطابق رابطه‌ی ۹ می‌باشد:

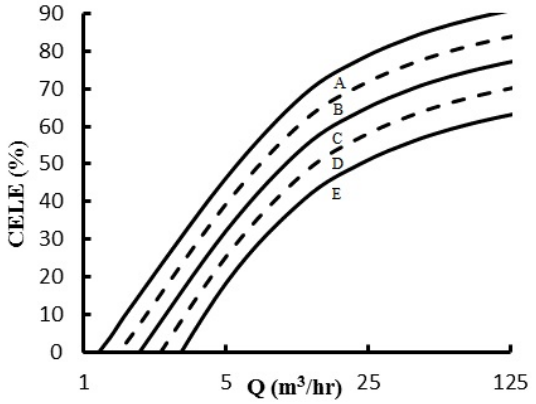
$$CELE = E + ED \qquad (۹)$$

که در این رابطه E مقدار بازده پمپ مورد بررسی می‌باشد. نهایتاً با کمک منحنی مبنا و رابطه‌ی ۹، برای پمپ‌های موجود در محدوده‌ی مورد بررسی و در نظر گرفتن پله‌هایی با ۷ درصد اختلاف بازده، نمودار تعیین کلاس بازده انرژی مطابق شکل ۵ ترسیم می‌گردد.



شکل ۴- نمودار اختلاف بازده بر حسب سرعت مخصوص

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۵- نمودار تعیین کلاس بازده انرژی پمپ گریز از مرکز در روش پیشنهادی

۵- تعیین مشخصه‌های عملکردی

۵-۱- طراحی و تجهیز مدار آزمایش

جهت به دست آوردن مشخصه‌های عملکردی موردنیاز در فرایند تعیین کلاس بازده انرژی و بررسی پیشنهاد ارائه شده، سه پمپ استاندارد ۱۶۰-۳۲، ۲۰۰-۳۲ و ۱۶۰-۴۰ انتخاب گردیده است. با توجه به محدوده دبی پمپ‌ها، لوله‌های با قطر نامی ۲ اینچ مورد استفاده قرار گرفته است. مدار مورد استفاده شامل شیر ورودی، پمپ، موتور، فشارسنج‌های ورود و خروج، لوله‌های انتقال آب، مخزن اندازه‌گیری دبی و شیر کنترل دبی خروجی می‌باشد. طراحی مدار با توجه به استانداردهای موجود انجام گردیده [۱۱ و ۱۲] و شماتیک نقشه‌ی مدار آزمایش در شکل ۶ آورده شده است.

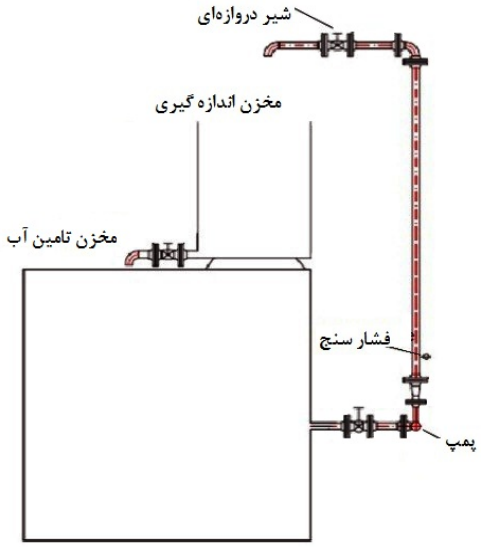
۵-۲- روش اندازه‌گیری

جهت اندازه‌گیری فشار در دهانه‌ی ورودی و خروجی پمپ از مانومتر عقربه‌ای استفاده گردیده است. دبی پمپ در هر بازشدگی شیر خروجی، با اندازه‌گیری حجم مخزن و زمان پر شدن آن اندازه‌گیری شده و توان ورودی به پمپ با اندازه‌گیری گشتاور روی محور پمپ و سرعت دوران محور محاسبه می‌گردد؛ که بدین منظور موتور معلق شده و سرعت دورانی نیز با استفاده از سرعت‌سنج نوری اندازه‌گیری شده است. شکل ۷ چگونگی اندازه‌گیری توان را نشان می‌دهد. در نهایت با داشتن توان خالص ورودی، توان خروجی و بازده، شاخص بازده انرژی محاسبه و کلاس بازده انرژی مشخص می‌گردد.

۶-نتایج آزمایش و تعیین کلاس بازده انرژی

۶-۱- نتایج آزمایش

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبات انجام شده در شکل‌های ۸ تا ۱۰ به ترتیب برای پمپ‌های ۱۶۰-۳۲ و ۲۰۰-۳۲ و ۱۶۰-۴۰ آورده شده است. خطای حاصل از اندازه‌گیری در نقطه بهترین راندمان برای بازده، دبی، هد، گشتاور و سرعت دورانی به ترتیب ۱/۱۵٪، ۰/۲٪، ۱/۰۴٪، ۰/۴۵٪ و ۰/۰۰۳٪ می‌باشد بر اساس استاندارد مورد استفاده در کشور ایران با نام پمپ‌های روتودینامیکی، آزمون‌های پذیرش عملکرد هیدرولیکی در محدوده مجاز قرار دارد.



شکل ۶- شماتیک مدار آزمایش



شکل ۷- مجموعه‌ی پمپ و موتور معلق شده

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۳- مشخصه‌های عملکردی در نقطه بهترین بازده

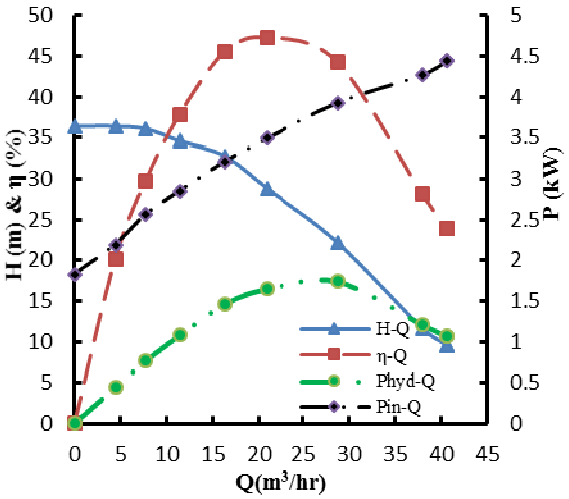
نوع پمپ	Q (m^3/hr)	H (m)	nq	η(٪)	P (kW)
۳۲-۱۶۰	۲۱	۲۸/۸	۱۷/۸	۴۷/۳	۳/۴۹
۳۲-۲۰۰	۱۹/۳	۴۵/۷	۱۲	۴۶/۴	۵/۱۸
۴۰-۱۶۰	۲۵/۹	۲۸/۵	۱۹/۹	۴۸/۲	۴/۱۶

برای سه پمپ مورد آزمایش منحنی‌های مشخصه مرسوم به کمک نتایج حاصل از اندازه‌گیری ترسیم و مشخصات مربوط به نقطه بهترین بازده در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، با افزایش دبی توان هیدرولیکی و بازده تا نقطه بهترین راندمان افزایش می‌یابد و سپس با وجود افزایش توان مصرفی پمپ توان هیدرولیک و در نتیجه بازده کاهش خواهد یافت. چنانچه اشاره گردید، در استاندارد مورد استفاده در کشور ایران معیار تعیین کلاس بازده انرژی تنها مشخصه‌های مربوط به نقطه بهترین بازده می‌باشد، حال آنکه در استانداردهای اروپایی ذکر شده، تمام بازه‌ی کارکردی پمپ از دبی‌های پایین تا بالا مورد بررسی قرار می‌گیرد و نیاز به منحنی مشخصه‌های کلی پمپ می‌باشد.

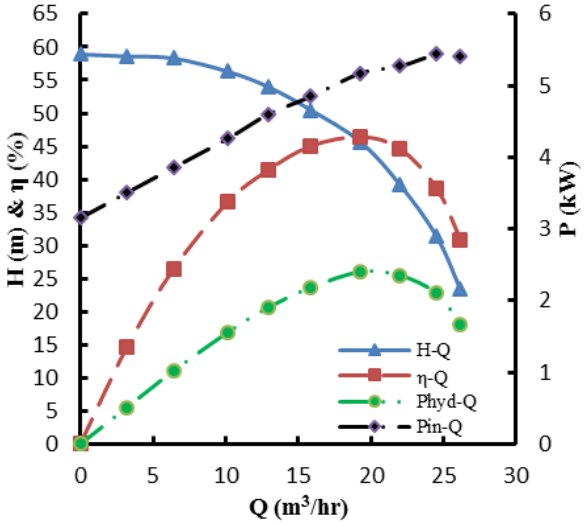
۶-۲- تعیین کلاس بازده انرژی

پس از اندازه‌گیری توان مصرفی و محاسبه‌ی توان مصرفی مبنا و بازده، پمپ‌های انتخاب شده به روش استاندارد مورد استفاده در کشور ایران، استانداردهای اروپایی و پیشنهاد ارائه شده در کار حاضر کلاس‌بندی و مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج تعیین کلاس بازده انرژی بر مبنای روش استاندارد مورد استفاده در کشور ایران و روش پیشنهادی در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است؛ و مقایسه‌ای نیز بین سه روش بیان شده در جدول ۴ آورده شده است.

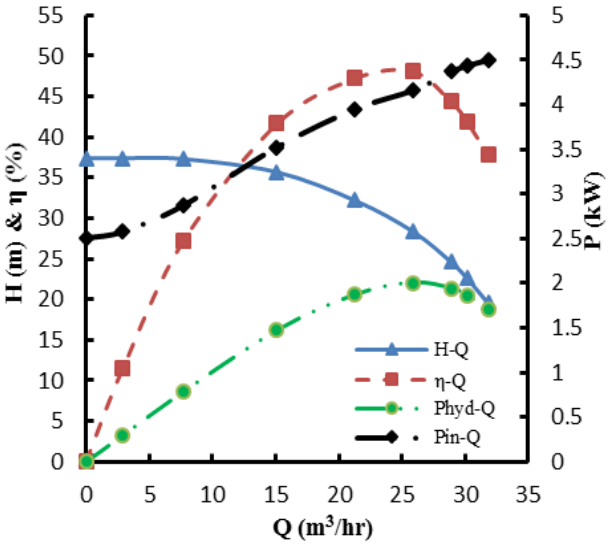
همان‌طور که به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، با توجه به اینکه بازده هر سه پمپ مورد آزمایش نزدیک به یکدیگر می‌باشد و از طرفی استاندارد کشور ایران اثر سرعت مخصوص را در نظر نمی‌گیرد، هر سه پمپ در یک کلاس بازده دسته‌بندی می‌شوند و بنابراین امکان مقایسه این سه پمپ وجود ندارد؛ اما روش پیشنهادی ارائه شده به دلیل در نظر گرفتن اثر سرعت مخصوص بر بازده، با وجود نزدیک بودن مقدار بازده در هر سه پمپ به‌خوبی قادر به کلاس‌بندی این سه پمپ می‌باشد؛ که به‌خوبی مزیت و قابلیت روش ارائه شده را نشان می‌دهد.



شکل ۸- منحنی‌های مشخصه پمپ ۱۶۰-۳۲

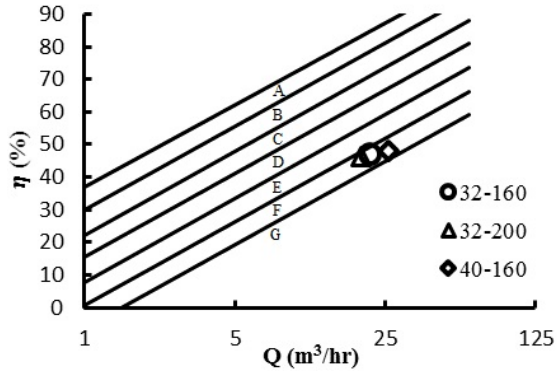


شکل ۹- منحنی‌های مشخصه پمپ ۲۰۰-۳۲

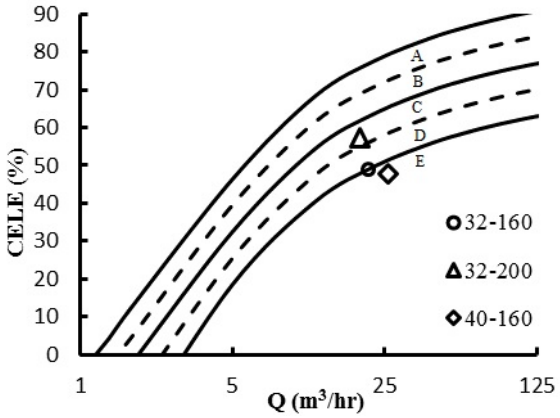


شکل ۱۰- منحنی‌های مشخصه پمپ ۱۶۰-۴۰

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۱۱- تعیین کلاس بازده انرژی به روش استاندارد کشور ایران



شکل ۱۲- تعیین کلاس بازده انرژی به روش پیشنهادی

جدول ۴- تعیین کلاس بازده انرژی به روش‌های مختلف

	کلاس بازده انرژی (آزمایش)		
	۴۰-۱۶۰ (nq=۲۰)	۳۲-۱۶۰ (nq=۱۷)	۳۲-۲۰۰ (nq=۱۲)
ISIRI-۲۷۸۱۷	F	F	F
روش پیشنهادی	E	D	C
روش اروپایی ۲۰۰۳	D	D	C

مقایسه بین دو پمپ مورد آزمایش در جدول ۵ انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که هرچند بازده به دست آمده در آزمایش برای پمپ ۱۶۰-۳۲ از پمپ ۲۰۰-۳۲ بیشتر است، اما بر اساس بازده مورد انتظار بهینه، برای پمپ ۱۶۰-۳۲ انتظار ۹ درصد بازده بیشتر نسبت به پمپ ۲۰۰-۳۲ وجود دارد که در عمل این انتظار برآورده نشده است؛ بنابراین این پمپ از نظر کلاس بازده انرژی بایستی در رده‌ی پایین‌تری قرار داشته باشد.

جدول ۵- مقایسه دو پمپ ۱۶۰-۳۲ و ۲۰۰-۳۲ آزمایش

پمپ	۳۲-۱۶۰	۳۲-۲۰۰
سرعت مخصوص	۱۷/۸	۱۲
بازده مورد انتظار بهینه	۶۰	۵۱
بازده به دست آمده در آزمایش	۴۷/۳	۴۶/۴
بازده تصحیح شده با رابطه‌ی استخراجی برای تعیین کلاس بازده انرژی	۴۸/۸	۵۷/۵
بازده پمپی با دبی موردنظر در سرعت مخصوص ۲۰(مبنا)	۶۳	۶۲
کلاس بازده انرژی (روش پیشنهادی)	E	C

بر اساس روش پیشنهادی برای هر پمپ یک مقدار بازده محاسبه می‌گردد که بایستی با بازده در سرعت مخصوص مبنا در همان دبی مقایسه شود؛ یعنی مقدار ۵۷/۵ درصد برای پمپ ۲۰۰-۳۲ با مقدار ۶۲ درصد و مقدار ۴۸/۸ درصد برای پمپ ۱۶۰-۳۲ با مقدار ۶۳ درصد مقایسه می‌شود. این دو مقایسه به‌خوبی نشان‌دهنده‌ی برتری پمپ ۲۰۰-۳۲ نسبت به ۱۶۰-۳۲ و مزیت روش پیشنهادی جدید در مقایسه با استاندارد مورد استفاده در کشور ایران می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، استانداردهای مختلف در تعیین کلاس بازده انرژی برای پمپ‌های گریز از مرکز بررسی گردید. با توجه به اینکه استاندارد مورد استفاده در کشور ایران در تعیین کلاس بازده انرژی تنها اثر بازده را در نظر می‌گیرد، روش پیشنهادی جدیدی برای تصحیح این استاندارد ارائه گردیده است. روش پیشنهادی تأثیر سرعت مخصوص بر بازده را در نظر می‌گیرد در حالی که در استاندارد کشور ایران این تأثیر در نظر گرفته نشده است. در روش پیشنهادی ابتدا یکی از منحنی‌های سرعت مخصوص ثابت، در نمودار بازده بر حسب دبی به‌عنوان منحنی مبنا انتخاب می‌شود. سپس بازده در هر سرعت مخصوص مورد بررسی، با کمک روابطی برای سرعت مخصوص مبنا تصحیح می‌گردد که جهت تعیین کلاس بازده انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و به این ترتیب اثر سرعت مخصوص بر بازده در نظر گرفته می‌شود. در ادامه پمپ‌های مختلف مورد آزمایش و کلاس‌بندی قرار گرفت که

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]

نتایج حاصل به‌خوبی قابلیت روش پیشنهادی، جهت در نظر گرفتن اثر سرعت مخصوص و تعیین کلاس بازده انرژی را نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که با استفاده از روش جدید، پمپ‌های با بازده نزدیک به یکدیگر اما با سرعت مخصوص متفاوت، برخلاف استاندارد مورد استفاده در کشور ایران در کلاس‌های مختلف دسته‌بندی گردیده‌اند.

سپاسگزاری

نویسندگان از آقای مهندس بوذری مدیریت شرکت پمپ برکه و همچنین سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) به دلیل حمایت‌های بی‌شائبه، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

[1] Hydraulic Institute, Europump, and the US Department of Energy's Office of Industrial Technologies (OIT), Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems Executive Summary, January 2001.

[2] X. D. Wang, C. Hirsch, S. Kang, C. Lacor, Multi-objective optimization of turbomachinery using improved NSGA-II and approximation model, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 200, pp. 883-895, 2011.

[3] S. Derakhshan, B. Mohammadi, A. Nourbakhsh, Incomplete Sensitivities for 3D Radial Turbomachinery Blade Optimization, *Computers and Fluids*, Vol. 37, No. 10, pp. 1354-1363, 2008.

[4] A. Nourbakhsh, H. Safikhani, S. Derakhshan, The Comparison of Multi-Objective Particle Swarm Optimization and NSGA II Algorithm: Applications in Centrifugal Pumps, *Engineering Optimization*, Vol. 43, No. 10, pp. 1095-1113, 2011.

[5] M. H. Shojaeefard, A. Khalkhali, M. Tahani, B. Salimian, Multi objective optimization of the centrifugal oil pump impeller, *Modares Mechanical Engineering, Article code MME-*Vol. 13, No. 11, pp. 139-149, 2014. (In Persian).

[6] S. Wiel, J. E. McMahon, Energy efficiency labels and standards: a guidebook for appliances, equipment and lighting, second ed., Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), Washington D.C., USA, 2005.

[7] J. McMahon, I. Turiel, Introduction to special issue devoted to appliance and lighting standards, energy and building, Vol. 26, No. 1, pp. 1-3, 1997.

[8] Van Holsteijn en Kemna BV, EU SAVE II Project Promotion of Energy Efficiency in Circulation Pumps, especially in Domestic Heating Systems, 2001.

[9] N. Bidstrup, G. Hunnekuhl, H. Heinrich, T. Andersen, Classification of Circulators, February 2003.

[10] Institute of standards and industrial research of Iran, centrifugal, mixed flow and axial pumps method for measuring of energy consumption and energy labeling instructions, ISIRI 7817-2, 1st. edition. (In Persian)

[11] S. Pumps, *Chapter three–acceptance tests with centrifugal pumps. Centrifugal pump handbook*. Butterworth-Heinemann, Oxford. pp. 5-7, Winterthur, Switzerland, 2010.

[12] J. F. Gülich, Centrifugal Pumps, second ed., pp. 140-145, New York, Springer, 2010.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2024-03-29]