



بررسی عددی و تجربی تاثیر بهینه‌سازی شکل پره در پمپ‌های تاسیساتی بر کلاس برچسب انرژی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل

شهرام درخششان^{1*}، احسان عبدالله نژاد²، محمد بشیری³

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
2- دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
3- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
* تهران، صندوق پستی 163-16765، shderakhshan@iust.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به مصرف فزاینده انرژی بخصوص در بخش تاسیسات، لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی و تعیین کلاس مصرف انرژی وسایل گوناگون در بخش تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی الزامی می‌باشد. در پژوهش حاضر ابتدا یک پمپ گریز از مرکز که طبق اطلاعات آماری یکی از تجهیزات تاسیساتی با بیشترین مصرف انرژی می‌باشد به روش تجربی بررسی شده و نمودارهای عملکردی آن به منظور تعیین کلاس مصرف انرژی طبق استاندارد کشور ایران (INSO 7817-2, 1st.edition) و رابطه پیشنهاد شده توسط نویسندگان این مقاله استخراج می‌گردد. در ادامه پمپ گریز از مرکز آزمایش شده به روش عددی حجم محدود تحلیل شده و با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم‌های کلونی زنبور عسل مصنوعی هندسه پروانه آن با هدف بهبود هد و بازدهی بهینه‌سازی می‌گردد. لازم به ذکر است پارامترهای هندسی که در پمپ گریز از مرکز بهینه‌سازی می‌گردند شامل قطر لاف داخلی، قطر دهانه مکش، قطر خروجی، عرض لبه خروجی و زوایای ورودی و خروجی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد بهینه‌سازی هندسه پروانه پمپ باعث افزایش بازده در بهترین نقطه بازدهی به میزان حدود 4% و هد به میزان حدود 7 متر می‌شود. نتیجتاً کلاس مصرف انرژی آن با یک پله صعود طبق استاندارد ایران و روش پیشنهاد شده به ترتیب از F به E و از E به D بهبود می‌یابد.

کلید واژگان: پمپ گریز از مرکز، تحلیل تجربی، تحلیل عددی، بهینه‌سازی، شبکه عصبی

Experimental and numerical analysis of shape optimization effect in HVAC system pumps on energy labeling class

Shahram Derakhshan*, Ehsan Abdollahnejad, Mohamad Bashiri

Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 16765-163 Tehran, shderakhshan@iust.ac.ir

ABSTRACT

Nowadays, according to increasing energy consumption especially in HVAC system, the need for optimizing energy consumption and determining energy efficiency class of different devices in HVAC system is essential. Centrifugal pumps, according to the statistical information, are from the high energy consumption devices in HVAC system. So in this paper a centrifugal pump was tested to determine performance curve and class of energy consumption according to standard of Iran (INSO 7817-2, 1st.edition) and new method that was recommended by the authors. Then, it was investigated numerically by using finite volume method and its geometry was optimized by using artificial neural network (ANNs) and Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. The optimized parameters were hub diameter, suction diameter, impeller diameter, impeller width and blade angles. The results showed efficiency increase at BEP about 4% and improve the head about 7 m for optimized geometry. Hence, the class of energy consumption according to the Iran standard and the recommended methods in this research was improved from F class to E class and from E class to D class, respectively.

Keywords: Centrifugal pump, experimental analysis, numerical analysis, optimization, neural network

متفاوتی از جمله بهینه‌سازی اجزاء [2-5] و تعیین کلاس برچسب انرژی به کار گرفته شده است. مطالعات متعددی در زمینه بهبود عملکرد سیستم‌های تاسیساتی و تهویه مطبوع با هدف کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است. به عنوان نمونه، حیدری‌نژاد و همکاران مطالعه‌ای برای اثرات برگشت هوا بر مصرف انرژی و بهینه‌سازی سیستم سرمایه‌گذاری به کمک الگوریتم ژنتیک انجام داده‌اند [6,7]. همچنین بیدو و همکاران طراحی بهینه تاسیسات بیمارستانی را مورد مطالعه قرار داده‌اند [8]. تعیین کلاس برچسب انرژی یکی از روش‌های مؤثر در ارتقای کارایی تجهیزات می‌باشد. استفاده از برچسب انرژی این امکان را برای خریداران فراهم می‌کند تا ضمن آگاهی از کیفیت محصول،

1- مقدمه

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. براساس مطالعات انجام شده، سیستم‌های پمپاژ نزدیک به 20% از مطالبه‌ی انرژی الکتریکی را در جهان شامل می‌شوند و 25% تا 50% از مصرف انرژی مراکز صنعتی خصوصاً در بخش تاسیسات را در بر می‌گیرند [1]. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که 30% تا 50% انرژی مصرفی توسط سیستم‌های پمپی طی تغییرات سیستم کنترل و یا تجهیزات جانبی قابل صرفه‌جویی می‌باشد [1]. در این راستا روش‌های

Please cite this article using:

Sh.Derakhshan, E.Abdollahnejad, M.Bashiri, Experimental and numerical analysis of shape optimization effect in HVAC system pumps on energy labeling class, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 13-16, 2016 (in Persian)

(فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

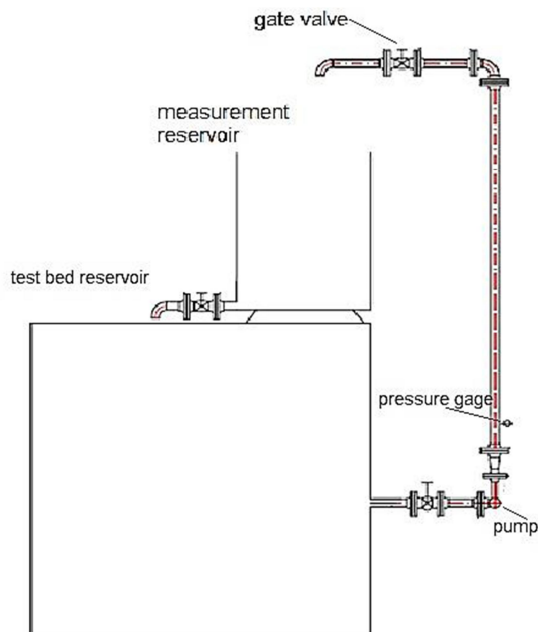


Fig.1 Schematic diagram of the experimental test

شکل 1 شماتیک مدار آزمایش



Fig. 2 Pump & motor were tested in experimental investigation

شکل 2 مجموعه‌ی پمپ و موتور آزمایش شده در مطالعه تجربی

جدول 1 نتایج تجربی مشخصه‌های عملکردی در نقطه بهترین بازده

Table 1 The experimental results of performance of the pump in BEP.

نوع پمپ	Q (m ³ /hr)	H (m)	nq	η (%)	P (kW)
32-160	21	28.8	17.8	47.3	3.49
32-200	19.3	45.7	12	46.4	5.18
40-160	25.9	28.5	19.9	48.2	4.16

پمپ تست شده آورده شده است. خطای حاصل از اندازه‌گیری در نقطه بهترین راندمان برای بازده، دی، هد، گشتاور و سرعت دورانی به ترتیب 1.15%، 0.2%، 1.04%، 0.45%، 0.003% می‌باشد. که براساس استاندارد مورد استفاده در کشور ایران با نام "پمپ‌های روتودینامیکی، آزمون‌های پذیرش عملکرد هیدرولیکی" در محدوده مجاز قرار دارد.

2-4- تعیین کلاس برچسب انرژی

پس از اندازه‌گیری توان مصرفی و محاسبه‌ی توان مصرفی مینا و بازده، پمپ‌های انتخاب شده به روش استاندارد مورد استفاده در کشور ایران، استاندارد اروپایی و پیشنهاد ارائه شده در کار حاضر کلاس‌بندی و مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج تعیین کلاس برچسب انرژی بر مبنای روش‌های مذکور در جدول 2 آورده شده است.

امکان مقایسه بین محصولات مشابه را داشته باشند. همچنین از طرف دیگر تولید کنندگان ترغیب می‌شوند تا در فضای رقابتی محصولات با مصرف انرژی پایین تر تولید و عرضه نمایند. در ایران استانداردهای برچسب انرژی از سال 1376 آغاز گردیده است و در مورد پمپ‌های گریز از مرکز نیز استاندارد تحت عنوان "پمپ‌های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری، روش اندازه‌گیری مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی" تدوین گردیده است. در پژوهش حاضر هدف بررسی تجربی و عددی تاثیر بهینه‌سازی شکل پره پمپ‌های گریز از مرکز تاسیساتی بر کلاس برچسب انرژی می‌باشد.

2- برچسب انرژی

در حالت کلی پمپ‌های بزرگ دارای بازده بیشتری هستند. این امر بایستی هنگامی که پمپ‌ها براساس بازده انرژی دسته‌بندی می‌گردند مدنظر قرار گیرد، شیوه رتبه بندی بایستی از اندازه (یا توان ورودی) مستقل باشد [9]. روش‌های مختلفی برای تعیین کلاس برچسب انرژی در پمپ‌های گریز از مرکز ارائه شده است از جمله شاخص برچسب انرژی در اروپا 2001 [9] و شاخص برچسب انرژی در اروپا 2003 [10] که هر کدام با روشی مخصوص این شاخص را محاسبه می‌کنند. در ایران نیز شاخص مصرف انرژی طبق استاندارد INSO7817-2 تعریف می‌گردد. همچنین روشی توسط نویسندگان این مقاله در [11] ارائه شده که در آن اثر سرعت مخصوص [12] بر برچسب انرژی در نظر گرفته شده است. این پژوهش تاثیر بهینه‌سازی بر برچسب انرژی طبق روش‌های استاندارد ایران و پیشنهادی را بررسی می‌کند.

3- بررسی تجربی پمپ گریز از مرکز

3-1- تهیه مدار آزمایش و مشخصات آن

جهت به دست آوردن مشخصه‌های عملکردی مورد نیاز در فرایند تعیین کلاس برچسب انرژی و همچنین مقایسه و تایید نتایج عددی، پمپ‌های استاندارد 32-160، 32-200، 40-160 انتخاب گردیده است. با توجه به محدوده دی پمپ، لوله‌های با قطر نامی 2 اینچ مورد استفاده قرار گرفته است. مدار مورد استفاده شامل شیر ورودی، پمپ، موتور، فشارسنج‌های ورود و خروج، لوله‌های انتقال آب، مخزن اندازه‌گیری دی و شیر کنترل دی خروجی می‌باشد. طراحی مدار با توجه به استانداردهای موجود انجام گردیده [13,14] و شماتیک نقشه‌ی مدار آزمایش در "شکل 1" آورده شده است.

3-2- روش اندازه‌گیری

جهت اندازه‌گیری فشار در دهانه‌ی ورودی و خروجی پمپ از مانومتر عقبه‌ای استفاده گردیده است. دی 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 سرعت سنج نوری اندازه‌گیری شده است. "شکل 2" مجموعه‌ی پمپ و موتور معلق شده مورد استفاده در اندازه‌گیری توان را نشان می‌دهد. در نهایت با داشتن توان خالص ورودی، توان خروجی و بازده، شاخص برچسب انرژی محاسبه و کلاس برچسب انرژی مشخص می‌گردد.

4- نتایج آزمایش و تعیین کلاس برچسب انرژی

4-1- نتایج آزمایش

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبات انجام شده در جدول 1 برای هر سه

جدول 3 نتایج بهینه‌سازی

پارامتر	B_2	B_1	b_2	D_2	D_s	D_h
پمپ اولیه	39.4	36.8	5	168	40.5	30
پمپ بهینه	24.1	33.9	7	170	44	30

جدول 2 تعیین کلاس انرژی به روش‌های مختلف

مدل پمپ	32-200 (nq=12)	32-160 (nq=17)	40-160 (nq=20)
INSO7817-2	F	F	F
پیشنهادی [11]	C	D	E

◆ Initial CFD Efficiency ■ Optimized CFD Efficiency
 ▲ Initial Experiment Efficiency + Initial CFD Head
 ✱ Initial Experimental Head ● Optimized CFD Head

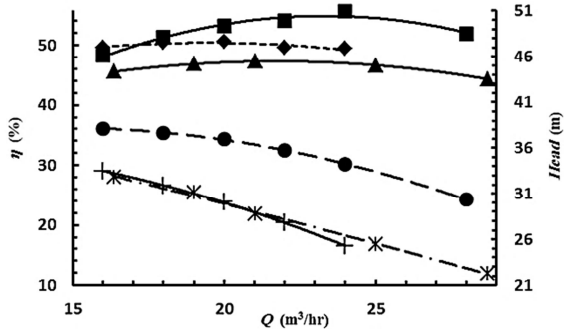


Fig. 5 Comparison of numerical results of initial geometry and optimized geometry with experimental data

شکل 5 مقایسه‌ی نتایج حل عددی برای هندسه اولیه و هندسه بهینه شده با مقادیر تجربی اندازه‌گیری شده

7- نتایج

بعد از تولید هندسه‌های مختلف براساس پارامترهای مذکور، با استفاده از الگوریتم‌های یاد شده، شکل پروانه پمپ مورد بررسی بهینه می‌گردد. این مدل بهینه مجدد به صورت عددی تحلیل شده و نتایج در "شکل 5" مقایسه می‌گردد. نتایج بهینه‌سازی شکل پروانه نیز در جدول 3 آورده شده است و شکل بهینه شده پروانه نیز در "شکل 6" نشان داده شده است.

پس از بهینه‌سازی بازده در بهترین نقطه حدود 4% و هد حدود 7 متر بهبود پیدا می‌کند، این بهبود با توجه به هیدرولیک پمپ مورد بررسی و سرعت مخصوص پایین آن مقداری مناسب می‌باشد.

بنابر نتایج ارائه شده و بازده کنونی که حدود 51.2 می‌باشد، در اثر بهینه‌سازی کلاس انرژی برچسب انرژی یک پله افزایش نشان می‌دهد. به طوری که طبق "شکل‌های 7 و 8" پمپ 32-160 که قبلاً براساس استاندارد ایران در کلاس F و طبق روش پیشنهادی [11] در کلاس E بوده پس از بهینه‌سازی و محاسبه مجدد به ترتیب به کلاس D و E منتقل شده است.

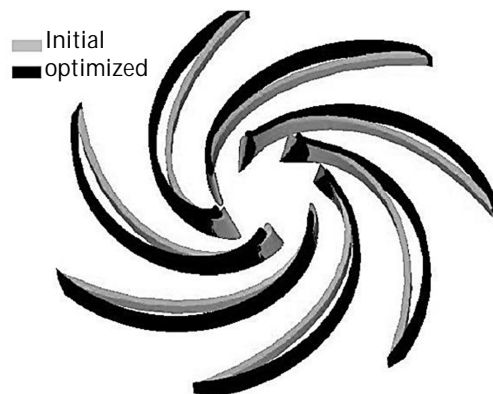


Fig. 6 Comparison of initial shape of impeller and optimized shape of impeller.

شکل 6 مقایسه شکل اولیه پروانه پمپ و شکل بهینه‌سازی شده پروانه پمپ

5- تحلیل عددی و بهینه‌سازی پمپ گریز از مرکز

1-5- تولید هندسه و شبکه

برای حل عددی ابتدا هندسه پمپ در نرم‌افزار انسیس 15 شبکه‌بندی می‌شود. بعد از بررسی استقلال از شبکه هندسه با تعداد 2026200 شبکه، شبکه‌بندی می‌شود. جزئیات شبکه تولید شده در "شکل 3" مشاهده می‌شود. سپس با به‌کارگیری نرم‌افزار تجاری سی اف ایکس 15 پمپ مورد نظر را به صورت عددی تحلیل می‌شود. برای حل معیار همگرایی 10^{-6} انتخاب شده و از مدل توربولانسی k-ε RNG استفاده شده است. "شکل 5" مقایسه‌ی نتایج آزمایش و حل انجام شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بین حل عددی و آزمایش همگرایی مناسبی وجود دارد به طوری که میزان خطا در نقطه عملکرد برای بازده حدود 5% و برای هد حدود 1% می‌باشد که مقادیر قابل قبولی می‌باشد.

6- بهینه‌سازی

با استفاده از کد توسعه داده شده شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در نرم‌افزار متلب هندسه پروانه پمپ 32-160 بهینه‌سازی می‌شود. بدین منظور جهت ایجاد پایگاه داده برای آموزش شبکه عصبی احتیاج به تولید هندسه‌های مختلف می‌باشد. در این مقاله طراحی بهینه شکل پره پمپ با تغییر در قطر لفاف داخلی (D_h)، قطر دهانه مکش (D_s)، قطر خروجی (D_2)، عرض لبه خروجی (b_2) و زوایای ورودی (B_1) و خروجی (B_2) پره هدف بوده است که در "شکل 4" مشاهده می‌شود.

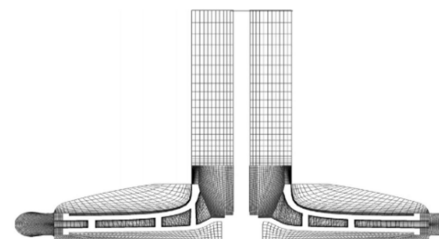


Fig. 3 Details of generated mesh

شکل 3 جزئیات شبکه تولید شده

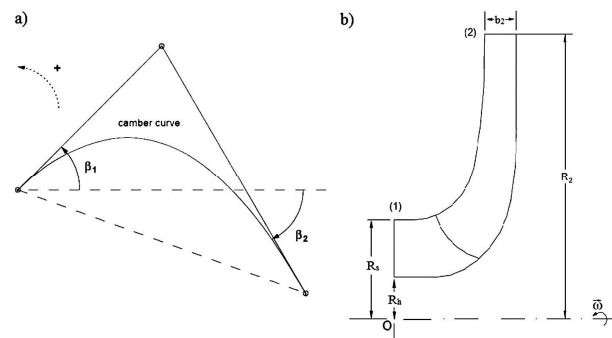
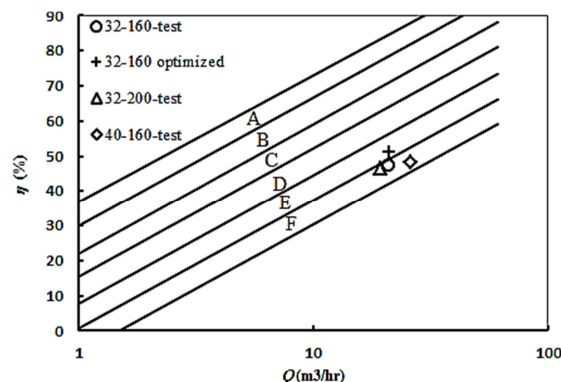


Fig. 4 Design parameters of impeller

شکل 4 پارامترهای طراحی پروانه پمپ

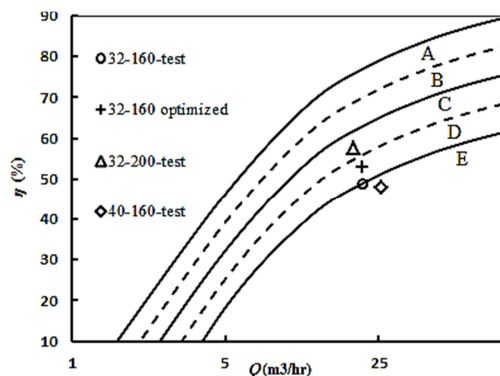
8- نتیجه گیری

در این مقاله یک پمپ گریز از مرکز که در سیستم‌های تاسیساتی مورد استفاده قرار می‌گیرد به منظور یافتن کلاس مصرف انرژی به صورت تجربی بررسی شده و سپس با روش حجم محدود به صورت عددی تحلیل گردید و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شد. در ادامه با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و کلونی مصنوعی زنبور عسل شکل پروانه پمپ بهینه سازی شد. نتایج نشان داد با بهینه‌سازی شکل پروانه بازدهی در بهترین نقطه‌ی بازدهی حدود 4 درصد و هد حدود 7 متر بهبود پیدا می‌کند و در نتیجه کلاس مصرف انرژی طبق استاندارد ایران و روش پیشنهادی به ترتیب از F به E و از E به D صعود می‌کند. در نتیجه می‌توان با بهینه سازی شکل پروانه پمپ‌ها موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه و افزایش کارایی خصوصاً در صنایع تاسیسات شد.



شکل 7 تاثیر بهینه‌سازی بر کلاس انرژی بر اساس روش استاندارد ایران

Fig. 7 Effects of optimization on class of energy in Standard of Iran methods



شکل 8 تاثیر بهینه‌سازی بر کلاس انرژی بر اساس روش پیشنهادی [1]

Fig. 8 Effects of optimization on class of energy in different methods [1]

9- مراجع

- [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, Sh. 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] Sh. Derakhshan, B. Mohammadi, A. Nourbakhsh, Incomplete Sensitivities for 3D Radial Turbomachinery Blade Optimization, *Computers and Fluids*, Vol. 37, pp. 1354-1363, 2008.
- [4] A. Nourbakhsh, H. Safikhani, Sh. 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-1766, (in Persian فارسی)
- [6] Gh. Heidarinejad, M. H. Fatollahzadeh, H. Pasdar shahri, Investigating the effect of return air vent height on energy consumption, thermal comfort, and air quality in under floor air distribution system, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 16, pp. 125-133, 2015 (in Persian فارسی)
- [7] Gh. Heidarinejad, S.Z. Miri, H. Pasdarshahri, Optimization of hybrid cooling system including direct evaporative cooler-cooling tower in order to minimize operation cost using genetic algorithm, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 348-354, 2015 (in Persian فارسی)
- [8] Y. Bidboo, M. Ghadimi, Optimum design of air conditioning installations and energy parametric study of Daraltohid hospital building, *4th Energy Management Conference*, Tehran, 2014 (in Persian فارسی)
- [9] Van Holsteijn en Kemna BV, *EU SAVE II Project Promotion of Energy Efficiency in Circulation Pumps, especially in Domestic Heating Systems*, 2001.
- [10] N. Bidstrup, G. Hunnekuhl, H. Heinrich, T. Andersen, *Classification of Circulators*, February 2003.
- [11] Shahram Derakhshan, Ehsan Abdolhnejad, Javad Zare "Experimental Study of Centrifugal Pump Energy Label," *yu-ste*, Vol. 1, pp. 7-15, 2014.
- [12] J.F. Gülich, *Centrifugal Pumps*, second ed., pp. 140-145, New York, Springer, 2010.
- [13] 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 فارسی)
- [14] Sulzer Pumps Ltd, *Centrifugal Pump Handbook*, Third ed., pp. 5-7, Winterthur, Switzerland, 2010.