



بررسی عددی و تجربی تاثیر بهینه سازی شکل پره در پمپ های تاسیساتی بر کلاس برچسب انرژی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل

شهرام درخشانشان^{1*}، احسان عبداله 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
* shderakhshan@iust.ac.ir، 16765-163

چکیده

امروزه با توجه به مصرف فزاینده انرژی بخصوص در بخش تاسیسات، لزوم بهینه سازی مصرف انرژی و تعیین کلاس مصرف انرژی وسایل گوناگون در بخش تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی الزامی می باشد. در پژوهش حاضر ابتدا یک پمپ گریز از مرکز که طبق اطلاعات آماری یکی از تجهیزات تاسیساتی با بیشترین مصرف انرژی می باشد 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 می گردد. در ادامه پمپ گریز از مرکز آزمایش شده به روش عددی حجم محدود تحلیل شده و با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم های کلونی زنبور عسل مصنوعی هندسه پروانه آن با هدف بهبود هد و بازدهی بهینه سازی می گردد. لازم به ذکر است پارامترهای هندسی که در پمپ گریز از مرکز بهینه سازی می گردند شامل قطر لاف داخلی، قطر دهانه مکش، قطر خروجی، عرض لبه خروجی و زوایای ورودی و خروجی می باشد. نتایج نشان می دهد بهینه سازی هندسه پروانه پمپ باعث افزایش بازده در بهترین نقطه بازدهی به میزان حدود 4% و هد به میزان حدود 7 متر می شود. 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 می یابد.

کلید واژگان: پمپ گریز از مرکز، تحلیل تجربی، تحلیل عددی، بهینه سازی، 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

1- مقدمه

مقاومتی از جمله بهینه سازی اجزاء [2-5] و تعیین کلاس برچسب انرژی به کار گرفته شده است. مطالعات متعددی در زمینه بهبود عملکرد سیستم های تاسیساتی و تهویه مطبوع با هدف کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است. به عنوان نمونه، حیدری نژاد و همکاران مطالعه ای برای اثرات برگشت هوا بر مصرف انرژی و بهینه سازی سیستم سرمایش به کمک الگوریتم ژنتیک انجام داده اند [6,7]. همچنین بیدو و همکاران طراحی بهینه تاسیسات بیمارستانی را مورد مطالعه قرار داده اند [8]. تعیین کلاس برچسب انرژی یکی از روش های مؤثر در ارتقای کارایی تجهیزات می باشد. استفاده از برچسب انرژی این امکان را برای خریداران فراهم می کند تا ضمن آگاهی از کیفیت محصول،

سال های 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 می رسد. براساس مطالعات انجام شده، سیستم های پمپاژ نزدیک به 20% از مطالبه ای انرژی الکتریکی را در جهان شامل می شوند و 25% تا 50% از مصرف انرژی مراکز صنعتی خصوصاً در بخش تاسیسات را در بر می گیرند [1]. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که 30% تا 50% انرژی مصرفی توسط سیستم های پمپی طی تغییرات سیستم کنترل و یا تجهیزات جانبی قابل صرفه جویی می باشد [1]. در این راستا روش های

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)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

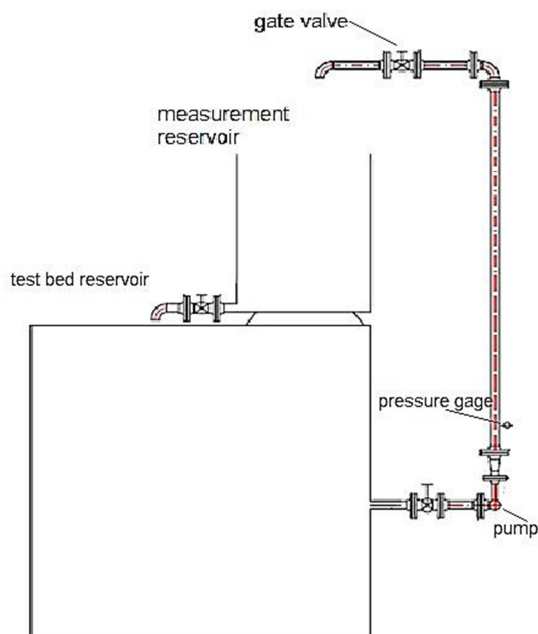


Fig.1 Schematic diagram of the experimental test

شکل 1 شماتیک مدار آزمایش



Fig. 2 Pump & motor were tested in experimental investigation

شکل 2 مجموعه ی پمپ و موتور آزمایش شده در مطالعه تجربی

جدول 1 نتایج تجربی مشخصه های 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 اندازه گیری در نقطه بهترین راندمان برای بازده، دی، هد، گشتاور و سرعت دورانی به ترتیب 1.15%، 0.2%، 1.04%، 0.45%، 0.003% می باشد. که براساس استاندارد مورد استفاده در کشور ایران با نام "پمپ های روتودینامیکی، آزمون های پذیرش عملکرد هیدرولیکی" در محدوده مجاز قرار دارد.

4-2- تعیین کلاس برچسب انرژی

پس از اندازه گیری توان مصرفی و محاسبه ی توان مصرفی مبنا و بازده، پمپ های انتخاب شده به روش استاندارد مورد استفاده در کشور ایران، استاندارد اروپایی و پیشنهاد ارائه شده در کار حاضر کلاس بندی و مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج تعیین کلاس برچسب انرژی بر مبنای روش های مذکور در جدول 2 آورده شده است.

امکان مقایسه بین محصولات مشابه را داشته باشند. همچنین از طرف دیگر تولید کنندگان ترغیب می شوند 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 پمپ های گریز از مرکز نیز استاندارد تحت عنوان "پمپ های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری، روش اندازه گیری مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی" تدوین گردیده است. در پژوهش حاضر هدف بررسی تجربی و عددی تاثیر بهینه سازی شکل پره پمپ های گریز از مرکز تاسیساتی بر کلاس برچسب انرژی می باشد.

2- برچسب انرژی

در حالت کلی پمپ های بزرگ دارای بازده بیشتری هستند. این امر بایستی هنگامی که پمپ ها براساس بازده انرژی دسته بندی می گردند مدنظر قرار گیرد، شیوه رتبه بندی بایستی از اندازه (یا توان ورودی) مستقل باشد [9]. روش های مختلفی برای تعیین کلاس برچسب انرژی در پمپ های 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 می کنند. در ایران نیز شاخص مصرف انرژی طبق استاندارد INSO7817-2 تعریف می گردد. 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 بهینه سازی بر برچسب انرژی طبق روش های استاندارد ایران و پیشنهادی را بررسی می کند.

3- بررسی تجربی پمپ گریز از مرکز

3-1- تهیه مدار آزمایش و مشخصات آن

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

3-2- روش اندازه گیری

جهت اندازه گیری فشار در دهانه ی ورودی و خروجی پمپ از مانومتر عقبه ای استفاده گردیده است. دی پمپ در هر بازشدگی شیر خروجی، با اندازه گیری حجم مخزن و زمان پر شدن آن اندازه گیری شده و توان ورودی به پمپ با اندازه گیری گشتاور روی محور پمپ و سرعت دوران محور محاسبه می گردد. که بدین منظور موتور معلق شده و سرعت دورانی نیز با استفاده از سرعت سنج نوری اندازه گیری شده است. "شکل 2" مجموعه ی پمپ و موتور معلق شده مورد استفاده در اندازه گیری توان را نشان می دهد. در نهایت با داشتن توان خالص ورودی، توان خروجی و بازده، شاخص برچسب انرژی محاسبه و کلاس برچسب انرژی مشخص می گردد.

4- نتایج آزمایش و تعیین کلاس برچسب انرژی

4-1- نتایج آزمایش

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

جدول 3 نتایج بهینه‌سازی

Table 3 Results of optimization						
D_h	D_s	D_2	b_2	B_1	B_2	پارامتر
30	40.5	168	5	36.8	39.4	پمپ اولیه
30	44	170	7	33.9	24.1	پمپ بهینه

جدول 2 تعیین کلاس انرژی به روش‌های مختلف

Table 2 Determined class of energy in different method			
40-160 (nq=20)	32-160 (nq=17)	32-200 (nq=12)	مدل پمپ
F	F	F	INSO7817-2
E	D	C	پیشنهادی [11]

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

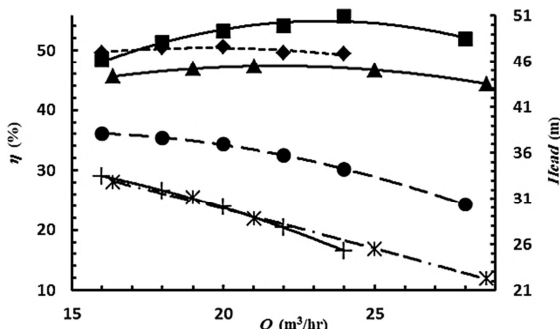


Fig. 5 Comparison of numerical results of initial geometry and optimized geometry with experimental data

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 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 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.

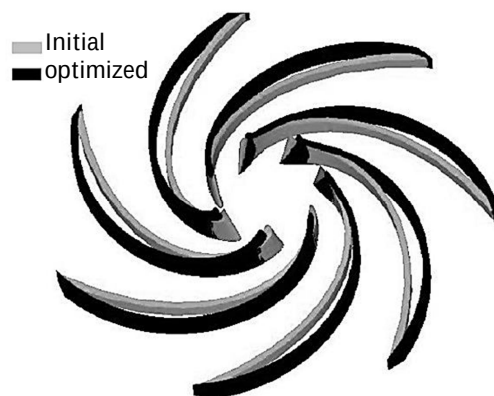


Fig. 6 Comparison of initial shape of impeller and optimized shape of impeller.

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. جزییات شبکه تولید شده در "شکل 3" مشاهده می‌شود. سپس با به کارگیری 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.

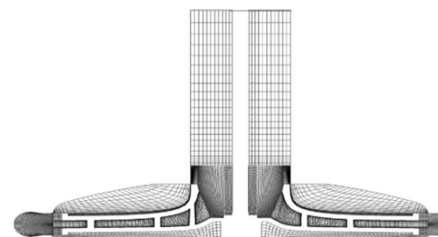


Fig. 3 Details of generated mesh

شکل 3 جزییات شبکه تولید شده

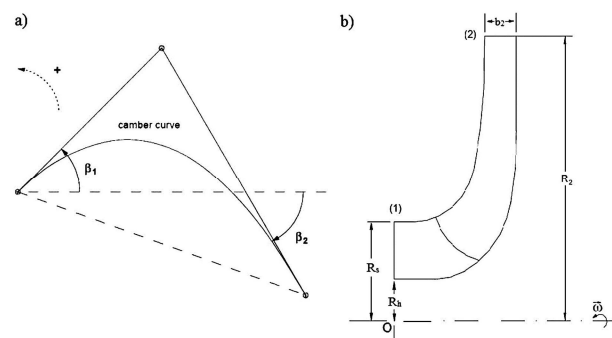
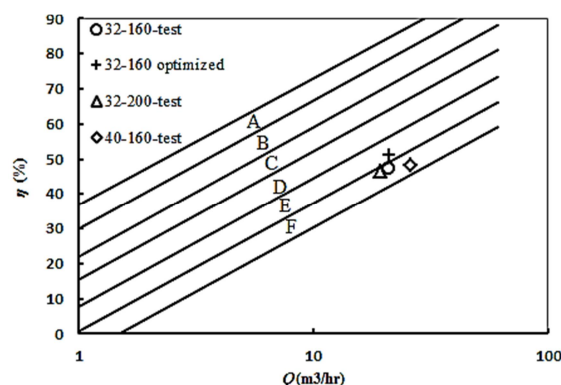


Fig. 4 Design parameters of impeller

شکل 4 پارامترهای طراحی پروانه پمپ

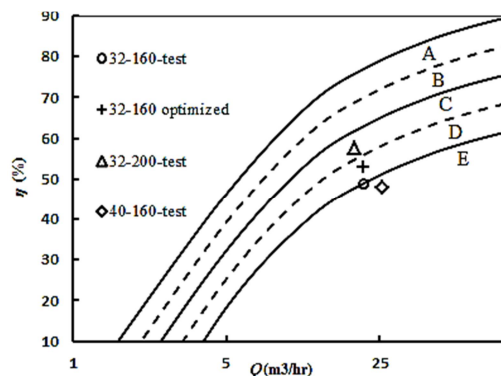
8- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پمپ گریز از مرکز که در سیستم‌های تاسیساتی مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌منظور یافتن کلاس مصرف انرژی به‌صورت تجربی بررسی شده و سپس با روش حجم محدود به‌صورت 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 بهینه‌سازی 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 به‌ترتیب از F به E و از E به D صعود می‌کند. در نتیجه می‌توان با بهینه‌سازی شکل پروانه پمپ‌ها موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه و افزایش کارایی خصوصاً در صنایع تاسیسات شد.



شکل 7 تاثیر بهینه‌سازی بر کلاس انرژی براساس روش استاندارد ایران

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



شکل 8 تاثیر بهینه‌سازی بر کلاس انرژی براساس 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 Darltohid 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 Abdolahnjad, 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.