

## بررسی اثر پرکن بر روی افت دما و فشار در برج خنک‌کن با جریان غیرهمسو مکانیکی

امیر رضا معموری<sup>۱</sup>، حمید رضا گشایشی<sup>۲</sup>  
amirelmir3000@yahoo.com

پذیرش مقاله: ۹۰/۰۱/۲۷

دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۱۵

### چکیده

برج‌های خنک‌کن به طور گسترده در بسیاری از واحدهای صنعتی جهت انتقال گرما به اتمسفر به کار می‌روند در این مقاله به صورت آزمایشگاهی پدیده انتقال حرارت و جرم بین آب و هوا در برج‌های خنک‌کن تماس مستقیم بررسی می‌شود. این برج خنک‌کن بوسیله ۶ پرکن پر شده است و افت فشار، دما و مشخصه عملکرد برج جهت تخمین عملکرد گرمایی برج بررسی می‌شود. افت دما با افزایش دبی آب کاهش، افت فشار با افزایش نسبت دبی‌ها افزایش و مشخصه عملکرد برج با افزایش دبی آب افزایش می‌یابد. معادله مشخصه برج از داده‌های تجربی نیز بدست آمده است.

### کلید واژه:

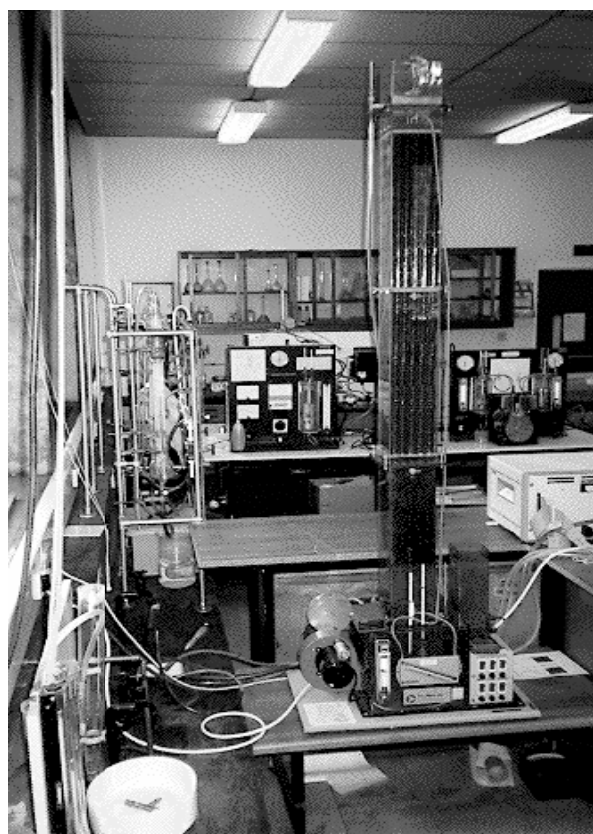
برج خنک‌کن - ضریب انتقال جرم - ضریب انتقال حرارت - مشخصه عملکرد برج

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، دانشکده مهندسی مکانیک، بجنورد، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، دانشکده مهندسی مکانیک، مشهد، ایران

## ۱- مقدمه

است استفاده می‌شود. سیالات عمل‌کننده آب و هوا می‌باشند که جریان هوا از پایین برج وارد شده و به وسیله یک فن دمنده از روی پرکن‌ها عبور می‌نماید و سپس به اتمسفر تخلیه می‌شود. دبی هوا توسط یک انامتر حرارتی و دبی آب با یک روتامتر اندازه‌گیری می‌شود و دمای تر و خشک هوای ورودی و خروجی نیز توسط دماسنج جیوه‌ای با دقت  $\pm 0.1K$  در رنج  $0-50^{\circ}C$  اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه دارای مخزن با  $2m^3$  آب و یک گرمکن الکتریکی می‌باشد. بعد از اینکه دمای آب به حد مطلوب رسید، آب به بالای برج پمپ می‌شود و بعد از عبور از دبی سنج و پرکن‌ها دوباره به برج برمی‌گردد. در این دستگاه دمای آب در اثر انتقال حرارت با هوا کاهش می‌یابد و دمای آب جهت بررسی در ارتفاع‌های مختلف پرکن به وسیله حرارت سنج مقاومتی خوانده می‌شود، البته خواندن هر مرحله با مکث همراه است تا به حالت پایدار برسد.



شکل (۱): برج خنک‌کن مورد آزمایش

تقریباً هر فرایند صنعتی نیاز به فرایند کنترل دما دارد به این دلیل برج‌های خنک‌کن قسمتی از کارخانه‌ها می‌باشند این کار بر پایه این اصل که گرما از آب گرم به هوای سرد و خشک انتقال می‌یابد استوار می‌باشد. سیکل تبرید شامل اواپراتور، کندانسور، کمپرسور و شیر انبساط می‌باشد که کندانسور گرمای مبرد را به بیرون می‌دهد. کندانسورها خود به دو نوع تقسیم می‌شوند: کندانسور هوایی که بازده کمتری دارند ولی در مناطق شرجی و همچنین مناطق کم آب انتخاب بهتری می‌باشند. کندانسور آبی که شامل یک مبدل پوسته لوله می‌باشد که گرمای بخار توسط آب گرفته می‌شود سپس این آب مجدداً خنک می‌شود و این سیکل ادامه می‌یابد. معمولاً جهت خنک نمودن این آب از برج خنک‌کن استفاده می‌شود. برج‌های خنک‌کن خود به صورت‌های گوناگون تقسیم می‌شوند که شامل تماس مستقیم یا غیر مستقیم، جریان غیر همسو یا متقاطع، جریان طبیعی یا مکانیکی و همچنین مکند یا دمنده تقسیم می‌شوند. با توجه به گستردگی برج‌ها، فراوانی اشکال آنها و همچنین محدود بودن مقاله بحث به برج‌های خنک‌کن تماس مستقیم با جریان غیر همسو مکانیکی دمنده محدود می‌شود. در یک برج خنک‌کن جریان غیرهمسو جریان هوا به سمت بالا و جریان آب به سمت پایین در حرکت است و یک سطح تماس بزرگ بین این دو وجود خواهد داشت [۱، ۲ و ۳].

بدکار و همکارانش [۴] بر روی یک برج خنک‌کن مکند با پرکن موج دار به صورت عمودی آزمایش کردند آنها تغییرات دمای آب خروجی را نسبت به تغییرات دبی آب به هوا در دبی آب و دمای تر ثابت رسم نمودند همچنین مشخصه و بازده برج را در سه دمای آب مختلف  $40^{\circ}C$ ،  $47^{\circ}C$  و  $52^{\circ}C$  رسم نمودند.

قاراقیزی و همکارانش [۵] بر روی یک برج خنک‌کن دمنده با دو نوع پرکن مختلف به صورت عمودی و افقی آزمایش کردند تا تاثیر این عمل را مشاهده نمایند بدین منظور مشخصه و بازده را در نسبت دبی‌های آب به هوای مختلف برای دو پرکن رسم نمودند.

لومری و همکارانش [۶] بر روی یک برج خنک‌کن دمنده با پرکن زیگزاک مطالعه نمودند آنها تغییرات ضریب انتقال جرم را بر حسب نرخ دبی هوا در دبی آب مختلف در سه دمای آب ورودی  $35^{\circ}C$ ،  $43^{\circ}C$  و  $50^{\circ}C$  رسم نمودند سپس نرخ تبخیر آب را با تغییرات شرایط قبل ایجاد نمودند.

## ۳- مشخصات پرکن‌ها

در این مقاله بر روی ۶ پرکن که در شکل (۲) نشان داده شده آزمایش صورت می‌گیرد. جدول (۱) تفاوت بین پرکن‌ها ارائه شده است.

## ۲- دستگاه و روش آزمایش

برای بررسی عملکرد برج، از یک برج خنک‌کن دمنده به ابعاد  $1700*600*600mm$  و وزن  $35kg$  که در شکل (۱) نشان داده شده

برای پرکن مثلثی (ی).

$$\Delta T = 1678L^2 - 315L + 15.34 \quad R^2 = 0.931 \quad (۶)$$

پارامتر بعدی که برای این ۶ پرکن بررسی می‌شود در شکل‌های (۹) تا (۱۴) افت فشار نسبت به دبی آب به هوا رسم شده است همانطور که دیده می‌شود با افزایش نسبت دبی آب به هوا افت فشار نیز بیشتر می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش زبری پرکن افت فشار افزایش می‌یابد سپس رابطه بین افت فشار و نسبت دبی آب به هوا به همراه ضریب همبستگی در معادلات (۷) تا (۱۲) برای پرکن‌های مختلف بدست آمده است.

برای پرکن سینوسی (الف)

$$\Delta P = 18.55 \frac{L}{G} + 17.62 \quad R^2 = 0.974 \quad (۷)$$

برای پرکن سینوسی (ب)

$$\Delta P = 18.71 \frac{L}{G} + 21.88 \quad R^2 = 0.974 \quad (۸)$$

برای پرکن سینوسی (ج)

$$\Delta P = 20.15 \frac{L}{G} + 37.36 \quad R^2 = 0.979 \quad (۹)$$

برای پرکن مثلثی (د)

$$\Delta P = 7.597 \frac{L}{G} + 10.58 \quad R^2 = 0.98 \quad (۱۰)$$

برای پرکن مثلثی (و)

$$\Delta P = 18.92 \frac{L}{G} + 26.81 \quad R^2 = 0.98 \quad (۱۱)$$

برای پرکن مثلثی (ی).

$$\Delta P = 20.57 \frac{L}{G} + 37.78 \quad R^2 = 0.977 \quad (۱۲)$$

پارامتر آخری که برای این ۶ پرکن بررسی می‌شود در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) مشخصه عملکرد برج نسبت به دبی هوا در  $L/G$  ثابت رسم شده است. همانطور که دیده می‌شود با افزایش دبی هوا مشخصه برج که معیاری از عملکرد گرمایی برج است، نیز بیشتر می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش زبری پرکن مشخصه برج افزایش می‌یابد. سپس رابطه بین مشخصه برج و دبی هوا به همراه ضریب همبستگی در معادلات ۱۳ تا ۱۸ برای پرکن‌های مختلف بدست آمده است.

برای پرکن سینوسی (الف)

جدول (۱): تفاوت بین پرکن‌ها

میزان زبری	طول چین خوردگی (mm)	فاصله بین صفحات (mm)	شکل ظاهری
کم	۷۰	50	سینوسی
متوسط	۶۵	40	سینوسی
زیاد	۳۰	20	سینوسی
صاف	۴۵	40	مثلثی
متوسط	۵۰	35	مثلثی
زیاد	۳۰	20	مثلثی

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

اولین پارامتری که برای این پرکن‌ها بررسی می‌شود اختلاف دمای آب ورودی و خروجی است. هر چه اختلاف دما بیشتر باشد در واقع دمای آب خروجی بیشتر کاهش یافته و عملکرد برج بهتر است. در این قسمت نمودار اختلاف دمای برج نسبت به دبی آب ورودی در دبی هوای ثابت برای ۶ پرکن معرفی شده در شکل‌های (۳) تا (۸) رسم شده است. همانطور که در نمودارها دیده می‌شود با افزایش دبی آب اختلاف دمای آب کاهش می‌یابد، که به این معنی است که با افزایش دبی آب عملکرد برج ضعیف‌تر می‌شود علت آن را می‌توان کاهش حجم آب تبخیر شده به کل آب موجود دانست. سپس معادله اختلاف دما را برحسب دبی آب ورودی در دبی هوای ثابت بدست می‌آید مشاهده می‌شود که با افزایش زبری سطح اختلاف دما افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان کند شدن حرکت، مغشوش شدن جریان و انتقال حرارت بیشتر دانست. معادلات افت دما بر حسب دبی آب برای پرکن‌های مختلف در معادلات (۱) تا (۶) به همراه ضریب همبستگی معادلات ارائه شده است.

برای پرکن سینوسی (الف)

$$\Delta T = -1364L^2 - 91.16L + 12.08 \quad R^2 = 0.953 \quad (۱)$$

برای پرکن سینوسی (ب)

$$\Delta T = 398.8L^2 - 239.2L + 14.43 \quad R^2 = 0.962 \quad (۲)$$

برای پرکن سینوسی (ج)

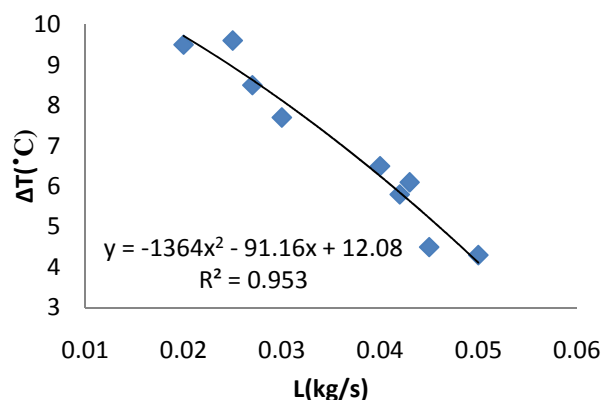
$$\Delta T = 1803L^2 - 327.6L + 15.61 \quad R^2 = 0.959 \quad (۳)$$

برای پرکن مثلثی (د)

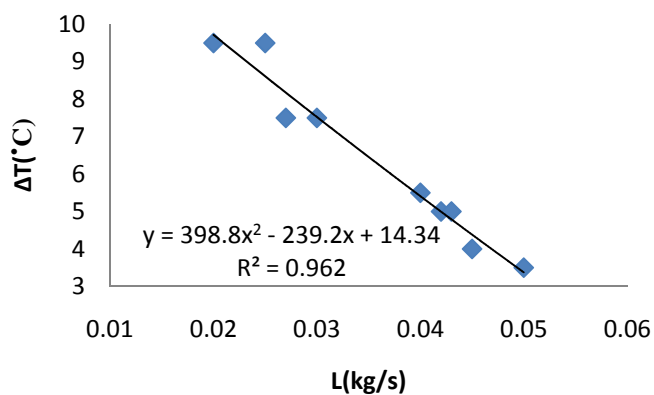
$$\Delta T = 975.9L^2 - 273L + 14.74 \quad R^2 = 0.951 \quad (۴)$$

برای پرکن مثلثی (و)

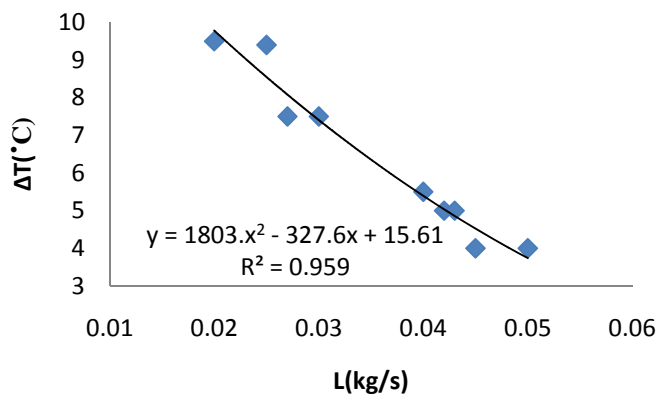
$$\Delta T = 2613L^2 - 3781L + 16.28 \quad R^2 = 0.964 \quad (۵)$$



شکل (۳): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (الف)



شکل (۴): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (ب)



شکل (۵): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (ج)

$$KaV/L = 0.691L + 0.128 \quad R^2 = 0.995 \quad (۱۳)$$

برای پرکن سینوسی (ب)

$$KaV/L = 0.553L + 0.53 \quad R^2 = 0.884 \quad (۱۴)$$

برای پرکن سینوسی (ج)

$$KaV/L = 0.648L + 1.779 \quad R^2 = 0.989 \quad (۱۵)$$

برای پرکن مثلثی (د)

$$KaV/L = 0.724L - 0.273 \quad R^2 = 0.972 \quad (۱۶)$$

برای پرکن مثلثی (و)

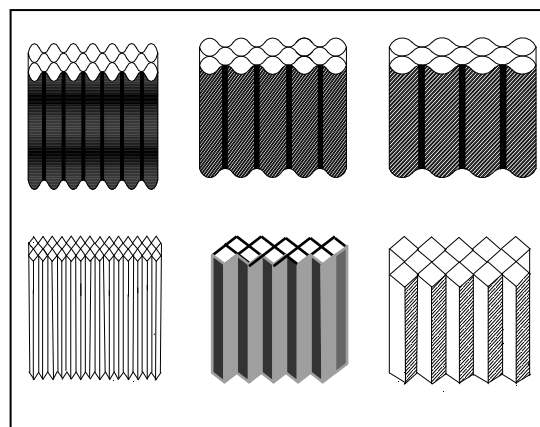
$$KaV/L = 0.82L + 0.475 \quad R^2 = 0.999 \quad (۱۷)$$

برای پرکن مثلثی (ی).

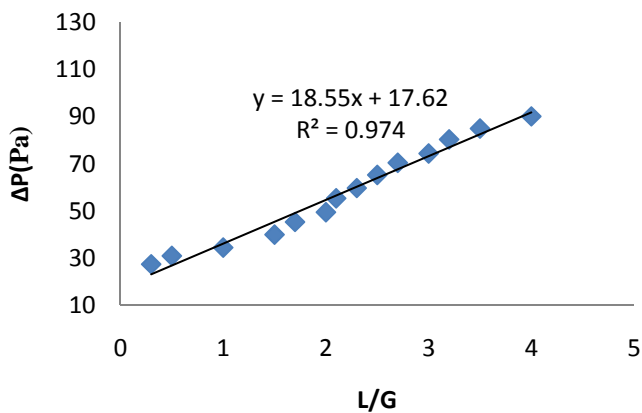
$$KaV/L = 0.481L + 1.808 \quad R^2 = 0.96 \quad (۱۸)$$

## ۵- خلاصه نتایج

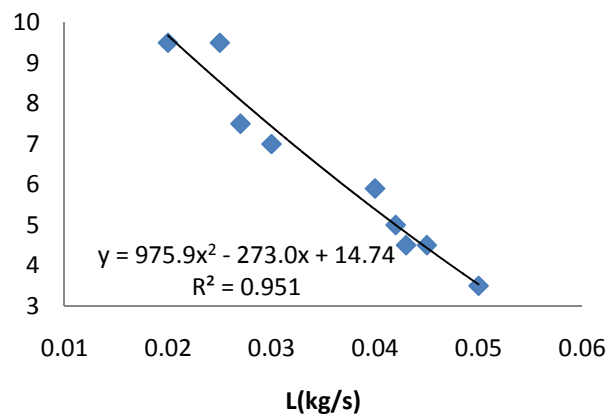
از مقایسه سه پارامتر در ۶ پرکن می‌توان عملکرد برج را با تغییر پرکن بدست آورد که نشان می‌دهد افت دما در پرکن (ج) بیشترین مقدار و بعد از آن به ترتیب در (ی)، (و)، (ب)، (الف) و (د) در جایگاه‌های بعدی قرار دارند همچنین افت فشار در (ی) بیشترین و به ترتیب در (ج)، (و)، (ب)، (الف) و (د) در اولویت‌های بعدی می‌باشد و مشخصه عملکرد با افزایش زبری بیشتر می‌شود همچنین می‌توان گفت مشخصه در پرکن مثلثی بیشتر از پرکن سینوسی است که با توجه به نیاز م‌توان پرکن مناسب را انتخاب نمود.



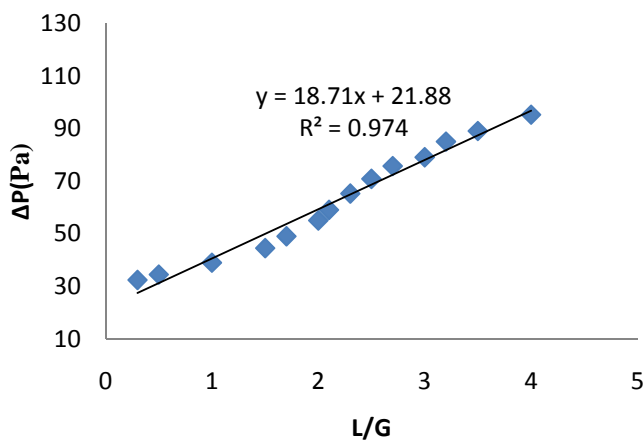
شکل (۲): پرکن‌های مورد آزمایش



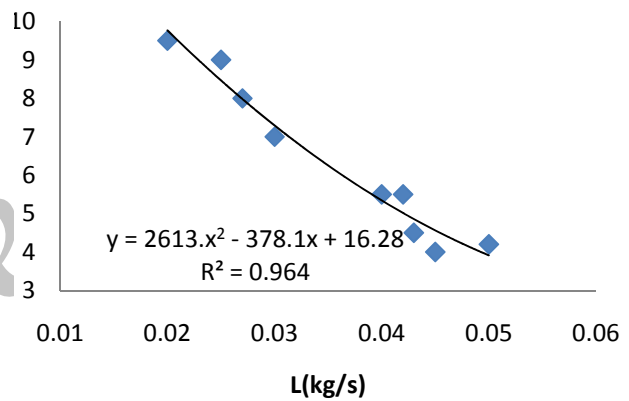
شکل (۹): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (الف)



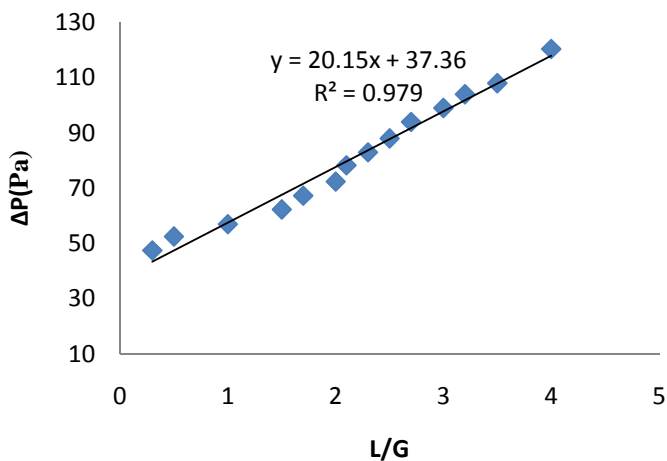
شکل (۶): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (د)



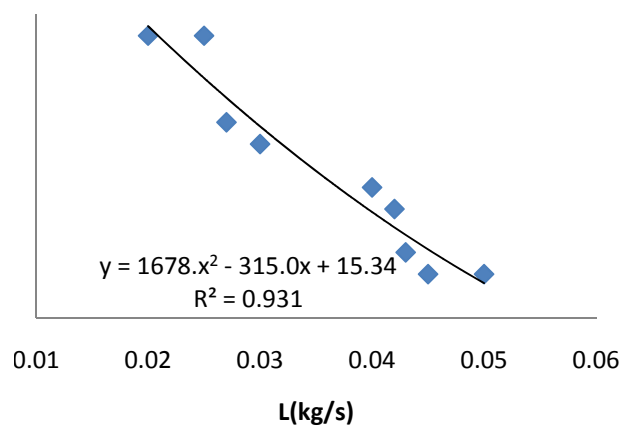
شکل (۱۰): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (ب)



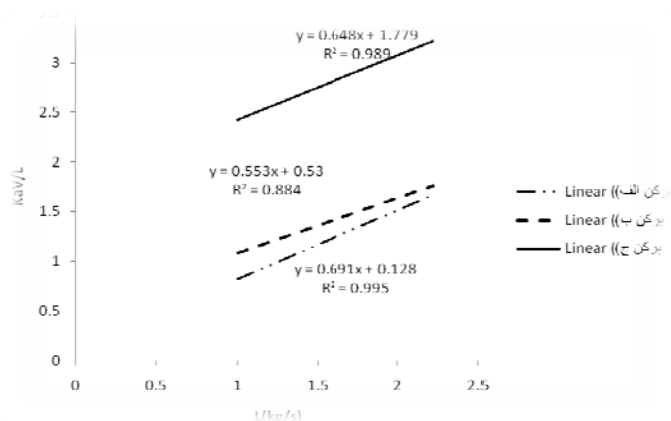
شکل (۷): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (و)



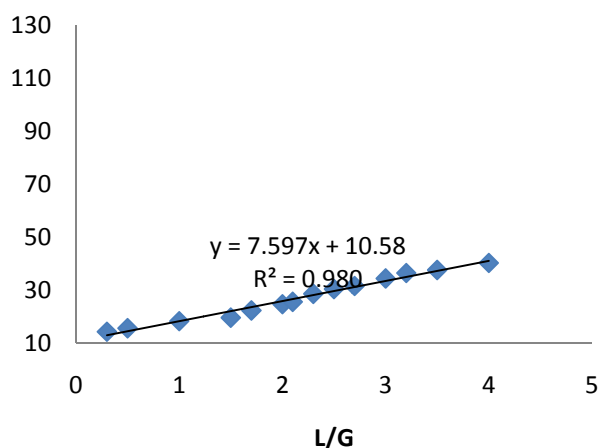
شکل (۱۱): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (ج)



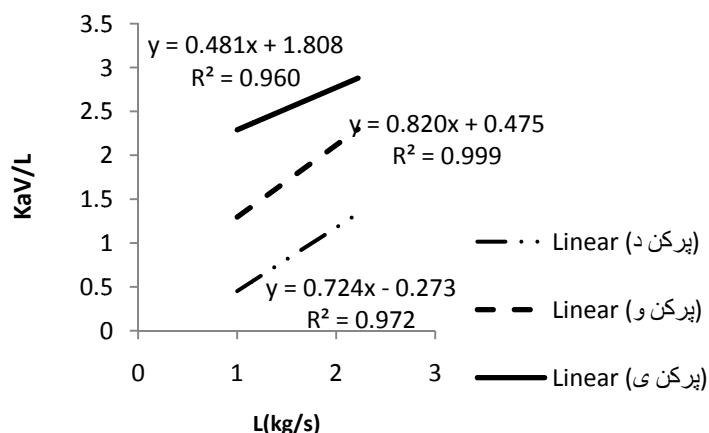
شکل (۸): تغییرات اختلاف دمای آب ورودی و خروجی نسبت به دبی آب ورودی برای پرکن (ی)



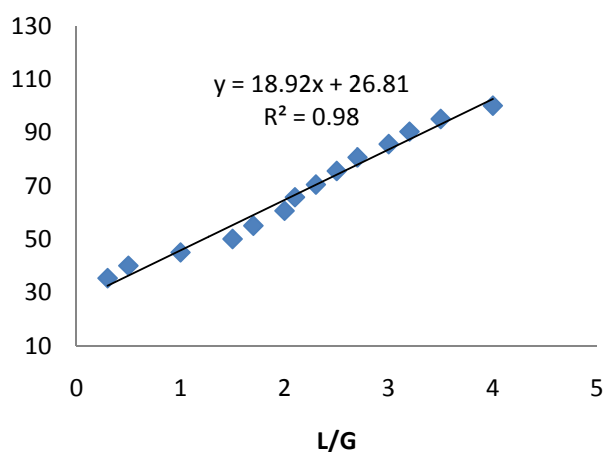
شکل (۱۵): تغییرات مشخصه عملکرد برج نسبت به دبی آب برای پرکن‌های سینوسی



شکل (۱۲): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (د)



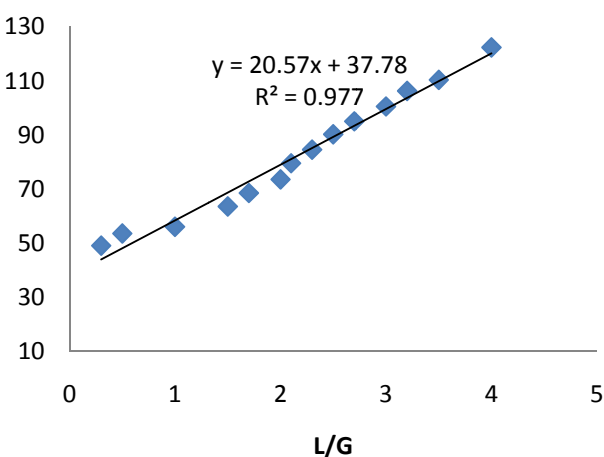
شکل (۱۶): تغییرات مشخصه عملکرد برج نسبت به دبی آب برای پرکن‌های مثلثی



شکل (۱۳): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (و)

## ۶- مراجع

- [1] Goshayshi, H. R., Missenden, J. F., and Tozer, R., "Cooling Tower – an Energy Conservation Resource," Applied Thermal Engineering, Vol. 19, pp. 1223-1235, 1999.
- [2] Goshayshi, H. R., and Missenden, J. F., "The Investigation of Cooling Tower Packing in Various Arrangements," Applied Thermal Engineering, Vol. 20, pp. 69-80, 2000.
- [3] Goshayshi, H. R., "Investigation of Smooth and Rough Corrugated Cooling Tower Packing in Various Arrangements," Ph.D. Dissertation, University of South Bank London, 2000.
- [4] Bedekar, S. V., Nithiarasu, P., and Seetharamu, K. N., "Experimental investigation of the performance of a counter – flow, packed- bed mechanical cooling tower," Energy, Vol. 23, pp. 943-947, 1998.



شکل (۱۴): تغییرات افت فشار نسبت به دبی آب به دبی هوا برای پرکن (ی)

[6] Lemouari, M., Boumaza, M., and Kaabi, A, "Experimental Analysis of Heat and Mass Transfer Phenomena in a Direct Contact Evaporative Cooling Tower," Energy conversion and management, Vol. 50, pp. 1610-1617, 2009.

[5] Gharagheizi, F., Hayati, R., and Fatemi, Sh., "Experimental study on the performance of mechanical cooling tower with two types of film packing," Energy conversion and management, Vol. 48, pp. 277-280, 2007.

Archive of SID