

## بررسی اثر طول کانال‌های افقی و قائم سیستم کولر آبی بر نحوه تغییرات افت فشار و دبی خروجی

امید دیمی<sup>۱\*</sup>، بهزاد امید کاشانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)، بیرجند

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی بیرجند، بیرجند

\* امید دیمی، کد پستی ۹۷۱۷۴۳۷۱۷۵، omid\_deymi@birjand.ac.ir

### چکیده

اختلاف فشار و مقاومت سیستم، مقدار هوای جاری در کانال کولر را تنظیم می‌کنند. هر قدر اختلاف فشار بیشتر باشد، سرعت و مقدار هوای جاری در کانال کمتر می‌شود. فشار استاتیکی در خروجی فن باید برابر مقاومت سیستم کانال باشد. اگر افت فشار سیستم پایین نگه داشته شود، انرژی کمتری برای عملکرد فن لازم است. از آنجایی که در برخی موارد، طراحی و نصب نادرست کانال‌های کولر منجر به عدم تأمین شرایط مطلوب آسایش حرارتی افراد می‌گردد، لذا توجه دقیق به این موضوع ضرورت دارد. در این مقاله نیز سعی شده است که نرخ جریان هوای عبوری در کانال‌های کولر آبی به‌ازای طول‌های مختلف افقی و قائم به روش شبیه‌سازی عددی (نرم‌افزار فلونت) مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از تفاوت‌های اساسی بین کانال‌های افقی و قائم، این است که در کانال‌های قائم علاوه بر نیروهای فشاری ناشی از جریان هوای فن یا دمنده، حضور نیروهای شناوری نیز بر حرکت سیال تأثیرگذار است. با افزایش طول کانال‌ها، افت فشار با آهنگ کمتری رخ داده و از دبی خروجی نیز کاسته می‌شود. طبق نتایج حاصل از شبیه‌سازی، افزایش طول کانال‌های افقی از ۰/۵ m به ۶/۵ m باعث کاهش سرعت حاکم در مقطع خروجی از ۰/۴۲ m/s به ۰/۱۳ m/s گردید. همچنین در سیستم کانال‌کشی که متشکل از ۰/۵ m کانال افقی، یک زانویی مستطیلی ۹۰ درجه و کانال قائم با سه طول مختلف می‌باشد، با افزایش طول کانال قائم از ۰/۵ m به ۶/۵ m، سرعت حاکم خروجی از ۰/۲۹ m/s به ۰/۲۴ m/s رسید. همان‌طور که انتظار می‌رفت، مقادیر سرعت خروجی از کانال‌های قائم تا حدی کمتر از کانال‌های افقی است. لازم به ذکر است که با بکارگیری مش‌بندی ریزتر و نیز یک رایانه قوی، سرعت‌های خروجی (به‌خصوص برای کانال‌های قائم) از مقادیر حاضر کمتر شده و به مقادیر دقیق‌تر نزدیک می‌گردد.

### کلیدواژه‌ها

کانال کولر، طول کانال، اصطکاک، افت فشار، دبی هوای خروجی

### ۱- مقدمه

در زمان حرکت هوا در داخل کانال، سه نوع فشار استاتیکی، سرعتی و فشار کل، با جریان هوا مرتبط است. اگر کانال هوا بدون اصطکاک باشد، فشار کل سیال در حال حرکت، ثابت باقی خواهد ماند. اما در شبکه‌های کانال واقعی، افت فشار به دو علت افت اصطکاک (مالش مولکول‌های هوا به سطح داخلی کانال) و افت دینامیکی (ناشی از آشفتگی هوای داخل کانال) به وجود می‌آید.

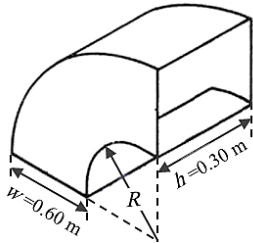
نصب کانال‌های توزیع هوا و انواع مختلف اتصالات می‌تواند نقشی اساسی در عملکرد کلی سیستم تهویه مطبوع ایفا کند. برای طراحان و پیمان‌کاران بسیار مهم است که اطلاعاتی پیرامون تأثیر افت فشار کانال‌ها و اتصالات، بر روی مصرف انرژی و عملکرد کلی سیستم داشته باشند. افت فشار در یک سیستم توزیع هوا، از طریق افزایش فشار در فن نصب‌شده بالانس می‌شود. افزایش مقاومت جریان در کانال‌ها، سبب افزایش افت فشار شده و بنابراین، جریان هوا کند می‌گردد. این موضوع، به افزایش قدرت فن مورد استفاده و کاهش بازده حرارتی منجر می‌شود. ترکیب این اثرات می‌تواند مصرف انرژی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. طراحی و نصب صحیح سیستم‌های کانال‌کشی، جهت دست‌یابی به یک سیستم تهویه مطبوع کارآمد، سودمند است [۲].

به‌دلیل نبود تحقیقات داخلی مشابه، جا دارد از بین منابع خارجی، برخی از نمونه‌های نزدیک به این پژوهش به‌اختصار ذکر گردند. به‌منظور ارضای الزامات انجمن تهویه و تبرید، برآورد مناسب افت فشار در سیستم‌های توزیع هوا، ضروری است. در این راستا، پراکتر و پارکر [۳] در سال ۲۰۰۰ بیان کردند که مقادیر فشار استاتیکی اندازه‌گیری‌شده در ۷ آزمایش میدانی (۲۴۵)

خنک‌کننده‌ی تبخیری مجهز به بستر مرطوب تراشه‌ای (پوشال)، که به «کولر آبی» موسوم است، متداول‌ترین نوع سیستم سرمایشی مورد استفاده در مناطق گرم و خشک است. هوای خنک‌شده از طریق دهانه‌ی کولر و کانال هوا به محیط موردنظر هدایت شده و فضا را خنک می‌کند. معمولاً هوای رفت از طریق شبکه کانال‌هایی از جنس ورقه‌های فلزی که فن تخلیه را به توزیع‌کننده‌های هوای رفت اتاق مرتبط می‌کنند، در اتاق‌ها تقسیم می‌شود. با توجه به اینکه کولرهای آبی تبخیری در خارج از ساختمان نصب می‌شوند، نیازی به کانال برگشت هوا ندارند. در طراحی کانال‌های هدایت هوا، رعایت اصول زیر ضروری است:

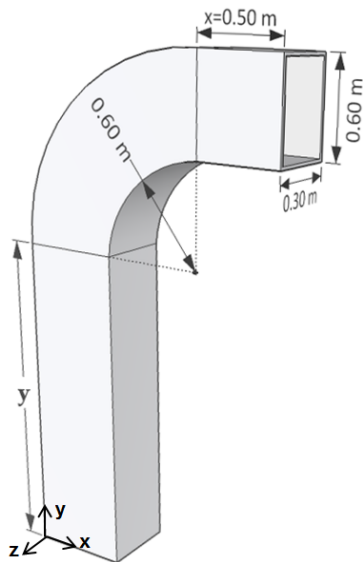
- قسمت‌هایی از کانال‌کشی که در معرض هوای گرم قرار می‌گیرد، بایستی عایق‌بندی شده و به‌وسیله‌ی فویل‌های آلومینیوم در برابر آثار تابش گرما محافظت شود.
- سرعت هوا در خروجی سیستم کانال‌کشی نباید کمتر از یک میزان حداقلی باشد.
- کانال‌ها تا حد امکان بایستی کوتاه باشند. ترجیحاً کمتر از ۵۰ ft (۱۵/۲ m) از خروجی کولر تا دورترین دریچه باشد [۱].
- خم‌ها و زانویی‌ها نباید کوتاه باشند، بایستی حتی‌الامکان از خم‌ها و زانویی‌های با شعاع بالا استفاده نمود. در صورتی که استفاده از انواع شعاع بالا ممکن نباشد، بایستی از پره‌ها و ورق‌های داخلی جهت هدایت جریان و کاهش مقاومت آن استفاده نمود.
- هر تغییری در سطح مقطع کانال بایستی به‌صورت تدریجی باشد.

که برقراری این شرط نیز در اینجا مشهود است. برای هر دو کانال افقی و قائم، سه طول ۰/۵ متر، ۳/۵ متر و ۶/۵ متر در نظر گرفته شده است. اتصال مورد استفاده، زانویی ۹۰ درجه با مقطع مستطیلی می‌باشد. کتاب‌های طراحی توصیه می‌کنند که شعاع متوسط زانویی حداًقل ۱/۵ برابر پهناي زانویی باشد. به عبارت دیگر، شعاع گلوبی باید برابر پهناي کانال ( $R=w$ ) باشد [۸]. هندسه این اتصال در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ مشخصات هندسی زانویی

روش کار به این صورت است که ابتدا کانال افقی با سه طول مختلف یعنی  $x_1=0/5$  m،  $x_2=3/5$  m و  $x_3=6/5$  m را در نظر گرفته و به کمک شبیه‌سازی عددی، سرعت در مقطع خروجی هر یک محاسبه می‌شود. سپس با انتخاب طول  $x_1=0/5$  m برای کانال افقی و همچنین زانویی شکل ۱ و افزودن کانال قائم به طول  $y$  در سه حالت  $y_1=0/5$  m،  $y_2=3/5$  m و  $y_3=6/5$  m سرعت خروجی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مجموعه که در حقیقت معرف یک سیستم کانال‌کشی ساده از سمت خروجی کولر آبی در بالای پشت بام تا ورود به طبقات مختلف می‌باشد، در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲ نمایی از یک سیستم کانال‌کشی ساده

نرم‌افزار فلونت نسخه 6.3 برای انجام شبیه‌سازی عددی استفاده گردید. مدل‌های دو بعدی موردنظر در نرم‌افزار گمبیت ایجاد شدند. تعداد حجم‌کنترل‌ها متفاوت بوده و برای حالت‌های ارائه‌شده بین ۳۰۰,۰۰۰ تا ۱,۰۰۰,۰۰۰ سلول می‌باشد. در رابطه با استقلال حل از شبکه باید گفت تا جایی که رایانه‌ی مورد استفاده قابلیت پردازش داشته، از مش‌های ریز استفاده گردید؛ اما مثلاً در حالت سوم از کانال‌های قائم ( $y_3=6/5$  m،

خانه در امریکای شمالی) برابر ۰/۴۱ تا ۰/۵۵ اینچ ستون آب<sup>۱</sup> (حدوداً ۱۰۲ تا ۱۳۷ پاسکال)، یعنی ۲ تا ۴ برابر بیشتر از استاندارد وزارت نیروی ایالات متحده امریکا، بوده است. تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۲ توسط ابوشاکرا و همکارانش [۲] پیرامون افت فشار در سیستم‌های توزیع هوای خانگی، به‌منظور شناسایی جنبه‌های کلیدی عملکرد سیستم‌های توزیع هوا همراه با اتصالات رایج، انجام شد. در این مطالعه، آزمون‌های تجربی و تحلیل دقیقی بر روی مقاومت جریان هوا و افت فشار در کانال‌های انعطاف‌پذیر فشرده‌شده و خمیده، در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، صورت پذیرفت. ایشان در نهایت یک ضریب اصلاح افت فشار جدید، مناسب برای استفاده در محاسبات طراحی کانال خانگی، ارائه دادند. همچنین نشان دادند که زانویی‌های کانال انعطاف‌پذیر، ضرایب افت موضعی بسیار بزرگتری نسبت به مقادیر گزارش‌شده برای زانویی‌های از جنس ورق فلزی، دارند (به‌خاطر افزایش زبری). جوی [۴] در سال ۲۰۰۳، به‌منظور پیش‌بینی افت فشار در جریان‌های همرفت ترکیبی موافق یا هم‌راستا<sup>۲</sup> در یک لوله قائم برای رژیم آرام، معادله‌ای را ارائه کرد. وی بیان کرد که انتظار می‌رود این معادله برای اعداد گراشف بر مبنای قطر (GTD) در حدود ۱۰۸ و عدد رینولدز حدوداً ۱۱۰۰۰ یا تا جایی که جریان آشفته شود، معتبر باشد. در سال ۲۰۰۸ گلنیس و بهزاد مهر [۵] به بررسی بر تحقیقات مرتبط با همرفت ترکیبی در کانال‌های عمودی پرداختند. این پژوهش شامل نتایج تحلیلی، عددی و تجربی بوده و پیچیدگی این جریان و تفاوت‌هایش با جریان همرفت اجباری را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها شامل تغییر پروفیل‌های دما و سرعت در حال توسعه، شروع برگشت جریان در حالت‌های شعاعی و محوری، و اثرات قابل توجه شدت و جهت شنواری بر روی رژیم جریان، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک می‌باشد. در سال ۲۰۰۹ زمرهال و شوارتر [۶]، به تحلیل اتصالات اصلی کانال‌ها، که برای تغییر جهت جریان استفاده می‌شوند، همچون زانویی‌ها و خم‌ها، از طریق شبیه‌سازی عددی (نرم‌افزار فلونت)، پرداختند. ایشان ضرایب افت فشار موضعی را برای ۵ زانویی مختلف استخراج کرده و با داده‌های برخی از تحقیقات قبلی مقایسه نمودند. سوتاردی و همکارانش [۷] در سال ۲۰۱۰ به‌صورت آزمایشگاهی اثر جریان در یک زانویی مستطیلی ۹۰ درجه و نیز اثر افزودن تیغه‌ی راهنما بر افت فشار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که قرار دادن یک، دو و سه تیغه‌ی راهنما به‌ترتیب باعث کاهش افت فشار تا حدود  $33/42\%$ ،  $31/92\%$  و  $32/42\%$  در کمترین  $Re_{Dh}$  یعنی ۲۱۰۰۰ می‌گردد. در  $Re_{Dh}$  بالاتر، یعنی ۸۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۰، قرار دادن یک، دو و سه تیغه‌ی راهنما باعث افزایش افت فشار می‌شود.

از آنجایی که با جستجو پیرامون افت فشار و سرعت در کانال‌های کولر (افقی و قائم)، چنین پژوهشی مشاهده نگردید، لذا تصمیم گرفته شد که این موضوع مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد.

## ۲- روش تحقیق

در تحقیق حاضر، اثر کانال افقی، اتصال زانویی و کانال قائم بر روی نرخ جریان هوای عبوری در کانال کولر بررسی می‌شود. مقطع کانال‌ها به شکل مستطیل و با ابعاد  $0/30 \text{ m} \times 0/60 \text{ m}$  می‌باشد. توصیه شده که نسبت تناسب کانال که از تقسیم پهنا بر ارتفاع به دست می‌آید، بیش از ۳ به ۱ نباشد [۸]،

<sup>۱</sup> 1/4 inch of water column (IWC)

<sup>۲</sup> aiding mixed convection flows

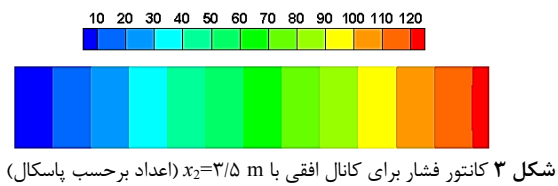
جدول ۱ سرعت حاکم در مقطع خروجی هر کانال برای حالت‌های مختلف

سیستم کانال کشی (شکل ۲)			کانال افقی			سرعت حاکم (m/s)
$y_3=$	$y_2=$	$y_1=$	$x_3=$	$x_2=$	$x_1=$	
۶/۵ m	۳/۵ m	۰/۵ m	۶/۵ m	۳/۵ m	۰/۵ m	۰/۴۲
						۰/۲۵
						۰/۱۳
						۰/۲۹
						۰/۲۶
						۰/۲۴

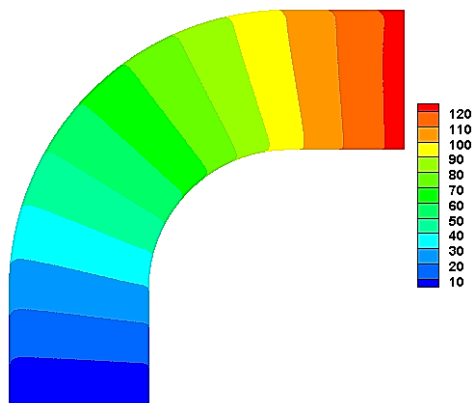
مطابق اطلاعات جدول ۱ و با مقایسه‌ی سرعت در دو سر کانال، مشخص می‌شود که دبی خروجی برای حالتی که طول کمتری دارد، بیشتر است. به عبارت دیگر، با افزایش طول کانال افقی و قائم، به واسطه‌ی وجود افت‌های اصطکاکی، مقدار هوای خروجی از انتهای کانال کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر سرعت خروجی از کانال‌های قائم، تا حدودی کمتر از کانال‌های افقی است. لازم به ذکر است که سرعت خروجی از کانال‌های قائم بایستی از مقادیر حاضر کمتر باشد، اما این امر به دلیل عدم دقت رایانه در تحلیل مش‌های ریز امکان‌پذیر نبود. لذا در حالت مش‌بندی ریزتر (چه برای کانال‌های افقی و چه قائم) و با استفاده از یک رایانه‌ی قوی می‌توان به نتایج دقیق‌تری دست یافت.

به دلیل محدودیت فضا، از درج نمودارها و کانتورهای سرعت صرف‌نظر شده و تنها به اطلاعات جدول ۱ که از پروفیل‌های سرعت خروجی استخراج شده‌اند، اکتفا می‌شود.

از آنجایی که کانتورهای فشار در تمامی حالات یکسان است؛ لذا به‌عنوان نمونه، کانتور فشار حاصل از شبیه‌سازی عددی با فلوننت که در نرم‌افزار Tecplot رسم گردیده، برای کانال افقی با  $x_2=3/5$  m در شکل ۳ و برای سیستم کانال کشی با  $y_1=0/5$  m در شکل ۴ ارائه شده است. با مشاهده‌ی سایر کانتورهای فشار حاصل از شبیه‌سازی فلوننت، درمی‌یابیم که این افت فشار در طول کوتاه‌تر، سریع‌تر بوده و هر چه طول کانال بیشتر شود، افت فشار با آهنگ کمتری اتفاق می‌افتد.



شکل ۳ کانتور فشار برای کانال افقی با  $x_2=3/5$  m (اعداد برحسب پاسکال)



شکل ۴ کانتور فشار برای سیستم کانال کشی با  $y_1=0/5$  m (اعداد برحسب پاسکال)

استفاده از مش‌های ریزتر (به دلیل سلول‌های بسیار زیاد) امکان‌پذیر نبود و چنانچه این امکان فراهم می‌بود، سرعت خروجی آن از مقدار فعلی مسلماً کمتر می‌شد.

از آنجایی که تقریباً همیشه جریان هوا در کانال آشفته است [۸]، لذا مدل توربولانسی  $k-\epsilon$  استاندارد برای محاسبات استفاده شد. جنس کانال‌ها و زانویی از ورق فلزی انتخاب گردید که مقدار زبری مطلق برای این سطوح  $0/15$  mm می‌باشد [۹] و نیز تمامی سطوح خارجی به‌صورت عایق در نظر گرفته شدند.

منابع مختلف، فشار استاتیک خروجی از دهانه‌ی کولر را بین ۰ تا  $1/2$  اینچ ستون آب (۰ تا حدود ۲۹۹ پاسکال) بیان کرده‌اند [۱۰، ۱۱]، لذا در اینجا فشار نسبی ورودی و خروجی هر کانال به‌ترتیب  $0/5$  اینچ ستون آب (حدود  $125$  پاسکال) و صفر انتخاب گردید. دما در مقاطع ورودی و خروجی نیز به‌ترتیب  $19^\circ\text{C}$  و  $23^\circ\text{C}$  در نظر گرفته شد و خواص ترموفیزیکی موردنیاز در دمای میانگین از جداول خوانده شدند.

### ۳- معادلات حاکم

از آنجایی که جریان هوای آشفته رایج‌ترین حالت جریان هوا در کانال‌هاست، لذا معادلات حاکم بر جریان آشفته را می‌توان به‌صورت زیر در نظر گرفت:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu_e \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_i^2} + \rho g_i [1 - \beta(\bar{T} - T_{ref})] \quad (2)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \right) = \Gamma_e \left( \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x_i^2} \right) + S \quad (3)$$

همان‌طور که اشاره شد، برای مدل‌سازی جریان آشفته نیز از مدل  $k-\epsilon$  استاندارد که کاربرد نسبتاً وسیعی داشته و برای اغلب جریان‌ها جواب‌های نسبتاً قابل قبولی را ارائه داده است [۱۲]، استفاده گردید.

یکی از تفاوت‌های اساسی بین کانال‌های افقی و قائم، این است که در کانال‌های قائم علاوه بر نیروهای فشاری ناشی از جریان هوای فن یا دمنده، حضور نیروهای شناوری نیز بر حرکت سیال تأثیرگذار است. آخرین جمله در رابطه ۲، اثرات شناوری را که همان تقریب بوزینسک می‌باشد، در نظر گرفته است. در جریان‌های داخلی قائم، نیروهای شناوری ممکن است در خلاف یا در همان جهت جریان اجباری هدایت شوند. بر این اساس، سرمایش رو به پایین، یک جریان موافق در داخل کانال قائم محسوب می‌شود. بنابراین، در تحلیل کانال‌های قائم، با مخلوطی یا ترکیبی از دو جریان جابجایی آزاد و اجباری که همرفت ترکیبی نیز نامیده می‌شود، در حالت آشفته روبرو هستیم.

### ۴- نتایج و بحث

با انتخاب کانال افقی با سطح مقطع  $0/60 \times 0/30$  متر مربع، سه حالت مختلف برای ارزیابی افت سرعت در نظر گرفته شد. همچنین برای سیستم کانال کشی ارائه‌شده در شکل ۲ نیز با در نظر گرفتن سه طول قائم، مقادیر سرعت خروجی استخراج شدند. این مقادیر استخراج‌شده از کانتورها و پروفیل‌های سرعت حاصل از شبیه‌سازی عددی، در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

## بالانویس‌ها

( ) مقادیر متوسط

## زیر نویس‌ها

e مؤثر (کلی)

i, j بردار یکه در جهات x و y

ref مرجع

## ۷- مراجع

- [1] G. Heidarinejad, S. Delfani, J. Esmaeelian, M. Heidarinejad, *Principles and Applications of Evaporative Coolers*, Building and Housing Research Center, BHRC Publication No. B-469, 2007. (in Persian فارسی)
- [2] B. Abushakra, I. S. Walker, M. H. Sherman, A study of pressure losses in residential air distribution systems, *Proceeding of the 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Pacific Grove, California, August 18-23, 2002.
- [3] J. Proctor, D. Parker, Hidden power drains: residential heating and cooling fan power demand, *Proceeding of the 2000 ACEEE summer Study on Energy Efficiency in Building*, Pacific Grove, California, August 20-25, 2000.
- [4] D. D. Joye, Pressure drop correlation for laminar, mixed convection, aiding flow heat transfer in a vertical tube, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 24, pp. 260-266, 2003.
- [5] N. Galanis, A. Behzadmehr, Mixed convection in vertical ducts, *Proceedings of 6th IASME/WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics*, Rhodes, Greece, pp. 35-43, August 20-22, 2008.
- [6] V. Zmrhal, J. Schwarzer, Numerical simulation of local loss coefficients of ventilation duct fittings, *Proceedings of Eleventh International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland, pp. 1761-1766, July 27-30, 2009.
- [7] Sutardi, A. W. Wawan, I. Affan, Iswati, M. D. Sutrisno, Experimental study on the effect of guide vane insertion and Reynolds numbers on the flow pressure drop in a 90° Rectangular elbow, *Proceedings of Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, February 9-10, 2010.
- [8] L. A. Meyer, C. Markos, S. Meyer, *Airflow in Ducts*, LAMA Books, Third Edition, 2007.
- [9] W. F. Stoecker, J. W. Jones, *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition, McGraw-Hill, 1983.
- [10] Evaporative Cooling: When It Is Used and How It Works, Industrial Commercial Equipment (ICE) Manufacturing Ltd., BMA Brochure.
- [11] Commercial/Industrial Evaporative Cooling 16,500 to 22,500 CFM Industry Standard Rating, Manufacturer of Quality Air Moving Equipment, United Metal Products-454, April 2011.
- [12] M. Saniee-nezhad, *An Introduction to Turbulent Flows and Turbulence Modeling*, Third Edition, Tehran: Daneshnegar Press, 2004. (in Persian فارسی)

به‌منظور داشتن یک برآورد مناسب نسبت به مقادیر فشار و سرعت هوا در کولرهای آبی، می‌توان آزمایش استاندارد ASHRAE-133 بر روی کولر  $7000 \text{ m}^3/\text{h}$  شرکت جهان‌افروز را در نظر گرفت. برخی از نتایج حاصل از این آزمایش شامل مقادیر فشار استاتیکی و کل فن، و سرعت و دبی هوا، در دور کند و تند، در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این آزمایش، کانال افقی با طول ۶ m و قطر ۶۰ cm استفاده گردیده، در حالی که کولر در شرایط واقعی دارای مقطع مستطیلی می‌باشد.

جدول ۲ نتایج آزمون هوادهی کولر آبی در شرکت جهان‌افروز

پارامتر مورد آزمایش	فشار استاتیکی فن (Pa)	فشار کل فن (Pa)	سرعت هوا (m/s)	دبی هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
دور کند	۹/۷۱	۱۹/۵۹	۴/۱۶	۴۲۳۲
دور تند	۱۹/۸۸	۵۰/۸۸	۷/۳۹	۷۵۲۰

## ۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، شدت افت فشار و نرخ جریان هوای مغشوش در کانال‌های مستطیلی افقی و قائم (با سه طول مختلف) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که انتظار می‌رفت، افزایش افت سرعت در کانال‌های افقی و قائم با ازدیاد طول، به دلیل افت‌های اصطکاکی، مشاهده گردید. در زانویی نیز به دلیل تغییر جهت جریان و ایجاد جریان مغشوش و گردابی، افت فشار چشم‌گیری که از نوع دینامیکی محسوب می‌شود، به وجود می‌آید؛ به طوری که می‌تواند معادل افت فشار در طول بزرگی از یک کانال افقی باشد. در کانال قائم، اثرات فشاری و شناوری جریان هوا که منجر به همرفت ترکیبی موافق (جریان جابجایی اجباری و آزاد هم‌راستا) می‌شود، می‌تواند خصوصاً در حالت مغشوش، افت فشار و افت سرعت زیادی را منجر گردد. در سیستم‌های کانال‌کشی با خروج جریان هوا از سیستم کولر آبی و عبور آن از کانال‌های افقی و قائم و سایر اتصالات همچون زانویی‌ها، انشعابات و تبدیل‌ها به دلیل افت‌های اصطکاکی و دینامیکی، فشار هوای سرد وزشی به‌طور محسوسی افت کرده و در نتیجه مقدار حجم هوایی که وارد محیط مورد نظر می‌گردد (یعنی دبی حجمی)، کاهش می‌یابد. لذا ضروری است که در طراحی و نصب سیستم‌های کانال‌کشی با محاسبات دقیق و اصولی، شرایط مطلوب آسایش حرارتی و مصرف بهینه انرژی را فراهم آورد.

## ۶- فهرست علائم

p فشار ( $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$ )

R شعاع گلولی زانویی (m)

T دما (K)

u سرعت ( $\text{ms}^{-1}$ )

x طول افقی کانال (m)

y طول قائم کانال (m)

## علائم یونانی

$\beta$  ضریب انبساط حرارتی ( $\text{K}^{-1}$ )

$\Gamma$  ضریب پخش ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

$\mu$  لزجت دینامیکی ( $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ )

$\rho$  چگالی ( $\text{kgm}^{-3}$ )