

بررسی تجربی استفاده از دیوارهای بادشکن برای افزایش دبی ورودی برج هالر تحت وزش باد

محمدعلی اردکانی^۱

دانشیار

محسن مزیدی^۲

دانشجوی دکترا

فواد فرحانی^۳

استادیار

وزش باد، یکی از عوامل محیطی نامطلوب بر عملکرد حرارتی برج‌های هالر می‌باشد. در این مطالعه تجربی، با استفاده از یک مدل همدمای برج هالر در تونل باد، تاثیر وجود دیوارهای بادشکن در بهبود دبی ورودی به برج در شرایط وزش باد بررسی گردیده است. دیوارهای بادشکن در ابعاد و زوایای مختلف در اطراف مدل نصب و کارایی آنها در چندین زاویه وزش باد مطالعه شده است. بر اساس نتایج، استفاده از دیوارهای بادشکن، تا ۳۰٪ دبی ورودی به برج را افزایش می‌دهد. همچنین با زیاد شدن سرعت باد، تاثیر طول دیوار بادشکن بر دبی ورودی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، تاثیر زاویه وزش باد بر عملکرد دیوارهای بادشکن تا ۳۰ درجه نسبت به قطر عمود بر باد، محسوس نیست.

واژه های راهنما: بررسی تجربی، برج خنک کن هالر، تونل باد، دیوار بادشکن

۱- مقدمه

از بنیادی‌ترین مفاهیم ترمودینامیکی آن است که هر چرخه قدرت باید از یک منبع گرم حرارت جذب و به یک منبع سرد حرارت دفع کند تا بتواند کاری متناسب با اختلاف ارزش حرارتی این دو منبع به ما تحویل دهد. بنابراین همواره در یک چرخه قدرت نیاز به حضور واحدی برای دفع حرارت با ارزش حرارتی پایین وجود دارد. در اکثر نیروگاه‌ها این دفع حرارت به کمک برج‌های خنک‌کن صورت می‌گیرد. در این میان برج‌های خنک‌کن خشک با جابه‌جایی طبیعی به واسطه مساله کم آبی بطور وسیع‌تر در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله عوامل محیطی که تاثیر بسزایی در کارکرد برج‌های خنک‌کن خشک دارد، وزش باد است که همواره باعث اختلال در کارکرد عادی برج‌های خنک‌کن خشک و در نتیجه مقدار تولید نیروگاه شده و می‌تواند مشکلات قابل توجه‌ای را به همراه داشته باشد. به منظور بررسی اثرات نامطلوب تغییرات عوامل محیطی بر عملکرد حرارتی برج‌های خنک‌کن خشک و ارائه راهکارهایی جهت بهبود آن تاکنون مطالعات عددی و تجربی زیادی انجام شده است. اردکانی و همکاران [۱] در یک مطالعه میدانی روی یک برج خنک‌کن خشک واقعی اثرات وزش باد بر عملکرد این برج را بررسی نمودند.

^۱ نویسنده مسئول، دانشیار، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران ardekani@irost.ir

^۲ دانشجوی دکترا، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران mazidi@irost.ir

^۳ استادیار، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران f.farhani@irost.ir

نتایج بدست آمده نشان داد که در شرایط وزش باد، سرعت مماسی باد در اطراف رادیاتورهای کناری برج به چهار برابر سرعت وزش باد می‌رسد که این افزایش سرعت سبب کاهش فشار و در نتیجه میزان مکش هوا به داخل برج در آن منطقه می‌گردد. در پژوهش میدانی دیگر، اردکانی و رنجبر [۲] به بررسی الگوی جریان هوای ورودی به رادیاتورهای یک برج خنک‌کن خشک پرداختند. در این بررسی مشخص گردید که بخش‌های رو به باد دارای بیشترین و بخش‌های مماس بر باد دارای کمترین بازدهی حرارتی می‌باشند که این موضوع را می‌توان ناشی از الگوی جریان ورودی هوا به رادیاتورها دانست، بطوریکه جریان در قسمت‌های مناسب به صورت یکنواخت وارد رادیاتورها شده ولی در قسمت‌های بحرانی کناری جریان هوا یک حرکت گردابه‌ای داشته و فقط مقدار کمی از آن وارد رادیاتورها می‌گردد. وی و همکاران [۳] برای مشخص نمودن تاثیر منفی وزش باد بر عملکرد حرارتی برج خنک‌کن خشک تحقیقات تجربی (تونل باد) و اندازه‌گیری‌های میدانی را در نیروگاه شانکسی چین انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که افزایش سرعت وزش باد تا مقدار ۶ متربرثانیه، باعث کاهش حدود ۲۰٪ در سرعت هوای ورودی به داخل برج خنک‌کن و در نتیجه کاهش بازدهی برج می‌شود. دوو پرز و کروگر [۴] در تحقیقی دیگر به بررسی عددی و میدانی تاثیر وزش باد بر عملکرد یک برج خنک‌کن خشک در نیروگاه کندال آفریقای جنوبی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌داد که با افزایش سرعت باد، اختلاف دمای آب خروجی از رادیاتور و هوای ورودی به برج به شدت افزایش یافته و عملکرد حرارتی برج کاهش می‌یابد. سو و تانگ [۵] در یک مطالعه عددی، توزیع جریان سیال و دمای داخل و خارج یک برج خنک‌کن را بررسی نمودند. نتایج حاصل نشان می‌دهد هنگامی که سرعت باد تا ۱۰ متربرثانیه افزایش می‌یابد، از انتقال حرارت برج خنک‌کن بیش از ۳۰٪ کاسته می‌شود. در ادامه ژاو و همکاران [۶] عملکرد حرارتی یک برج خنک‌کن را بصورت عددی و با استفاده از یک مدل سه بعدی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق بردارهای فشار استاتیکی و جریان برای برج خنک‌کن مورد مطالعه ترسیم و مورد آنالیز قرار گرفته و همچنین تغییرات دمای آب عبوری از برج در شرایط وزش باد مطالعه شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش سرعت وزش باد عملکرد حرارتی برج به شدت کاهش می‌یابد ولی در سرعت‌های زیاد وزش، شیب این تغییرات ملایم‌تر خواهد بود.

یکی از راهکارهایی که تاکنون برای بهبود عملکرد برج‌های خنک‌کن در شرایط وزش باد پیشنهاد گردیده استفاده از دیوارهای بادشکن در داخل و خارج برج است. بدین منظور دوو پرز و کروگر [۷] از دیوارهای بادشکن متخلخل به صورت عمود بر جریان باد در وسط برج استفاده نمودند. مددنی و همکاران [۸] در تحقیقی تجربی به بررسی اثر دیوارهای بادشکن بر روی عملکرد یک برج خنک‌کن با استفاده از تونل باد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دیوارهای بادشکن باعث افزایش راندمان برج تا حدود ۳۳٪ می‌شود. الواکد و بهنیا [۹] نیز با استفاده از نتایج یک شبیه‌سازی عددی، استفاده از دیوارهای بادشکن مستطیلی شکل را به عنوان راه حل پیشنهاد و اثر تخلخل دیوارهای بادشکن را بررسی نمودند.

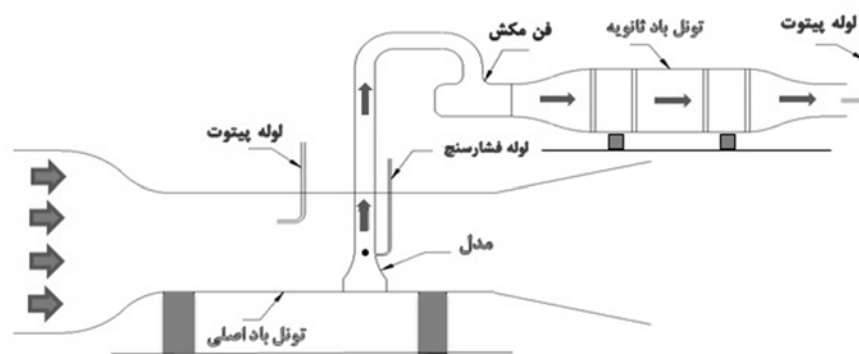
نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که بازده حرارتی برج خنک‌کن حتی در شرایط وجود دیوار بادشکن تا حدود سرعت باد ۱۰ متربرثانیه کاهش یافته و پس از آن با افزایش سرعت وزش باد، بازده حرارتی برج افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتایج حاصل، حاکی از آن است که بهینه کردن محل قرارگیری دیوارهای بادشکن اثر بخش‌تر از متخلخل نمودن آن‌ها می‌باشد.

در بررسی دیگری رین و استونسون [۱۰] به مطالعه در مورد اثر تخلخل بر جریان طبیعی پشت دیوارهای بادشکن پرداختند. در این تحقیق چهار نوع دیوار بادشکن با تخلخل‌های ۰٪، ۲۰٪، ۳۴٪ و ۵۰٪ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده حاکی از آن بود که استفاده از دیوار بادشکن با تخلخل متوسط (تخلخل ۲۰٪) نسبت به دیوار بادشکن بدون تخلخل (تخلخل ۰٪) اثر مطلوب‌تری در کاهش اثر باد دارد. گاندمر [۱۱] نیز دیوارهای بادشکن گوناگونی با اشکال و تخلخل‌های مختلف را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که دیوارهای با اشکال ساده نتیجه مطلوب‌تری نسبت به دیوارهایی با اشکال پیچیده دارند. همچنین نتایج تحقیقات وی حاکی از این موضوع بود که استفاده از تخلخل غیر یکنواخت در دیوارهای بادشکن اثر بهتری در کاهش اثرات وزش باد خواهد داشت. لو و همکاران [۱۲] در تحقیق عددی دیگری تأثیر زاویه وزش باد را بر روی عملکرد دیوارهای بادشکن در برج‌های خنک‌کن خشک با ارتفاع کم مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این بررسی از دیوارهای بادشکن داخلی سه تیغه‌ای با آرایش ستاره‌ای در شرایط وزش باد و در زوایای وزش صفر تا ۶۰ درجه استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در زوایای وزش باد صفر و ۶۰ درجه عملکرد برج خنک‌کن در تمامی سرعت‌های وزش باد بهبود می‌یابد ولی در زوایای دیگر و در برخی از سرعت‌ها با وجود دیوارهای بادشکن عملکرد برج خنک‌کن کاهش داشته است که علت آن وجود اغتشاش در جریان هوای ورودی در پایین برج می‌باشد.

هدف از تحقیق حاضر بررسی تجربی (تونل باد) میزان بهبود دبی ورودی به مدل برج خنک‌کن خشک هلر در هنگام وزش باد با استفاده از دیوارهای بادشکن می‌باشد. بدین منظور دیوارهای بادشکن در ابعاد و زوایای مختلف در اطراف مدل نصب و کارایی آنها مطالعه شده است. همچنین در این تحقیق تمامی عوامل تأثیرگذار بر میزان اثر بخش بودن دیوارهای بادشکن نظیر طول و تعداد دیوارهای بادشکن و زاویه نصب آنها و همچنین تغییر زاویه وزش باد مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش آزمایش

در این تحقیق برای بررسی اثرات وزش باد بر عملکرد برج‌های خنک‌کن خشک هلر، یک مدل همدمای ۱/۳۵۰ از جنس فایبرگلاس از برج خنک‌کن نیروگاه منتظر قائم کرج، با ضریب انسداد ۰.۱۵، تهیه و مطابق شکل (۱) در تونل باد مدار بسته سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین برای ایجاد مکش در مدل جهت شبیه‌سازی مکش طبیعی برج، انتهای آن توسط یک لوله انعطاف پذیر به دهانه مکش فن تونل باد ثانویه متصل گردیده است. یکی از دلایل استفاده از تونل باد ثانویه علاوه بر تولید مکش، ایجاد پروفیل سرعت یکنواخت هوا در خروجی تونل باد می‌باشد که سبب افزایش دقت در محاسبه دبی عبوری از مدل می‌شود. در ادامه به منظور اندازه‌گیری فشار داخل مدل سوراخ‌هایی در بالای آن ایجاد و این سوراخ‌ها به دستگاه فشارسنج متصل شده است. در نهایت دو پیتوت یکی در دهانه خروجی تونل باد ثانویه جهت اندازه‌گیری دبی هوای جریان یافته در مدل و دیگری در اتاق آزمون تونل باد مدار بسته برای اندازه‌گیری سرعت باد نصب گردیده است.



شکل ۱- شماتیک مدار آزمون

تونل باد مدار بسته استفاده شده در این آزمایش دارای اتاق آزمونی به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر در ۶۰ سانتی‌متر، با طول ۲ متر بوده و کنترل سرعت جریان هوا با استفاده از کنترل دور فن در بازه ۳ تا ۲۵ متربرثانیه تنظیم می‌شود. شدت اغتشاش این تونل باد نیز در حدود ۰/۲٪ است. تونل باد مدار باز ثانویه مورد استفاده نیز دارای مقطع خروجی ۱۵ سانتی‌متر در ۱۵ سانتی‌متر بوده و کنترل سرعت جریان در این تونل باد با استفاده از کنترل دور فن در بازه ۲ تا ۱۵ متربرثانیه انجام می‌شود.

در این بررسی جهت شبیه‌سازی افت فشار در رادیاتورها، در دهانه ورودی مدل از توری استفاده شده است. به منظور انتخاب توری، ابتدا نیاز است تا ضریب افت فشار در رادیاتورها مشخص گردد و سپس توری را به گونه‌ای انتخاب نمود که همین ضریب افت فشار را داشته باشد. میزان ضریب افت فشار در رادیاتورهای برج خنک‌کن از رابطه تجربی زیر بدست می‌آید [۱۳]:

$$K_h = 10000 \left(\frac{U_{in}}{v} \right)^{-0.5} \quad (1)$$

که K_h ضریب افت فشار رادیاتورها، U_{in} سرعت هوای عبوری از رادیاتورها و v لزجت سینماتیکی هوا است.

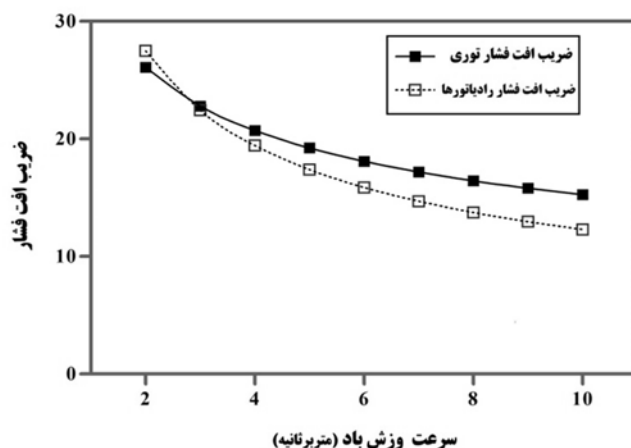
برای محاسبه ضریب افت فشار در توری نیز می‌توان از روابط نیمه تجربی زیر استفاده نمود [۱۴]:

$$K_m = 6(1 - \beta) \beta^{\frac{5}{3}} \left(\frac{Ud}{v} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$\beta = \left(1 - \frac{md}{25.4} \right)^2 \quad (3)$$

در این روابط، d قطر سیم توری، β ضریب انسداد توری، U سرعت جریان هوای عبوری از توری، m تعداد سوراخ توری در یک اینچ و K_m ضریب افت فشار توری است.

با توجه به روابط فوق، از بین توری‌های استاندارد، توری استیل با تراکم ۵۰۰ سوراخ در اینچ و قطر سیم ۰/۰۲۵ میلی‌متر انتخاب شده است. در شکل (۲) ضریب افت فشار محاسبه شده در توری با تراکم ۵۰۰ سوراخ در اینچ در بازه سرعت ۲ تا ۱۰ متربرثانیه با ضریب افت فشار محاسبه شده در رادیاتورهای برج خنک‌کن مقایسه گردیده است.

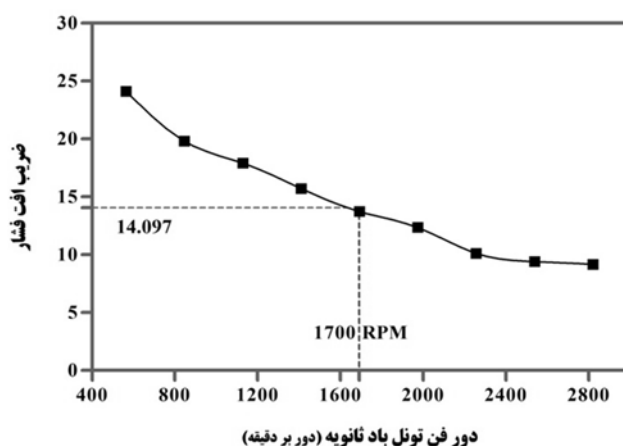


شکل ۲- مقایسه ضریب افت فشار توری با ضریب افت فشار رادیاتورهای برج خنک کن

برای انجام آزمایش در ابتدا با توجه به ضریب افت فشار بدست آمده از داده برداری‌های میدانی [۱-۲] برای برج واقعی در شرایط عدم وزش باد (سرعت‌های صفر و نزدیک به آن)، باید قدرت مکش در مدل آزمایشگاهی در شرایط مشابه به نحوی تنظیم شود که ضریب افت فشار آن با نمونه واقعی که مقدار آن که برابر با ۱۴/۰۹۷ بدست آمده، یکسان گردد. بدین منظور مدل در تونل باد مدار بسته قرار گرفته و ضمن خاموش نگهداشتن تونل باد اصلی برای شبیه سازی شرایط عدم وزش باد، دور فن تونل باد ثانویه که وظیفه ایجاد مکش را بر عهده دارد توسط دستگاه کنترل دور تغییر داده شده و سپس فشار داخل مدل در محل گلوگاه اندازه‌گیری گردیده است. با استفاده از مقدار اختلاف میان فشار بدست آمده در محل گلوگاه مدل با فشار محیط (ΔP) و با محاسبه سرعت جریان هوای عبوری از توری، مقدار ضریب افت فشار مدل در شرایط عدم وجود دیوار بادشکن (K_{mv}) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۴]:

$$K_{mv} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (4)$$

نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد زمانی که دور فن تونل باد ثانویه در ۱۷۰۰ دور بر دقیقه قرار دارد مقدار ضریب افت فشار مدل حدود ۱۴ خواهد بود و در نتیجه این دور فن برای انجام کلیه آزمایش‌ها انتخاب شده است.



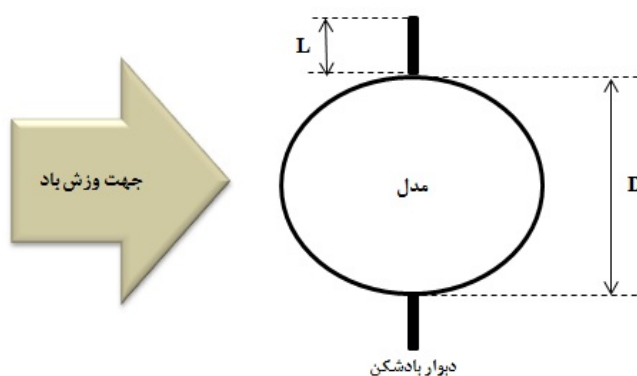
شکل ۳- تغییرات ضریب افت فشار مدل با تغییر قدرت مکش

در این تحقیق جهت بررسی تاثیر دیوار بادشکن، چهار سری دیوار بادشکن با طول‌های بی‌بعد مختلف (۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱) مورد آزمایش قرار گرفته است که L طول دیوار بادشکن و D قطر مدل می‌باشد. شکل (۴) محل قرارگیری این دیوارها را در اطراف مدل نشان می‌دهد.

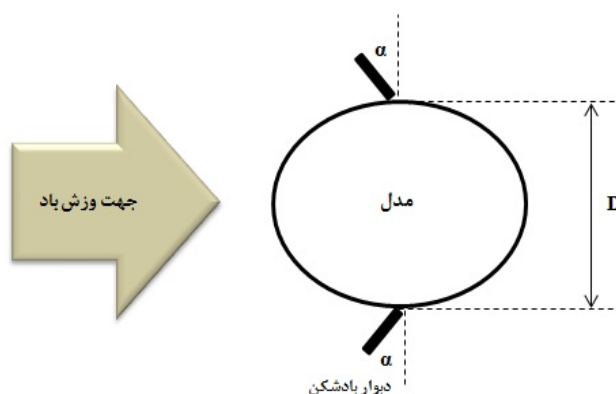
پس از نصب هر سری از دیوارها دور فن مکش ثابت و سرعت تونل باد اصلی تغییر داده شده و فشار داخل مدل و دبی عبوری از آن اندازه‌گیری گردیده است.

از آنجا که تغییر زاویه نصب دیوار بادشکن، (α)، می‌تواند بر میزان دبی ورودی به مدل تاثیرگذار باشد، لذا تغییرات دبی و فشار داخل مدل با تغییر زاویه نصب دیوار بادشکن مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۵) نحوه زاویه‌بندی دیوارهای بادشکن نشان داده شده است.

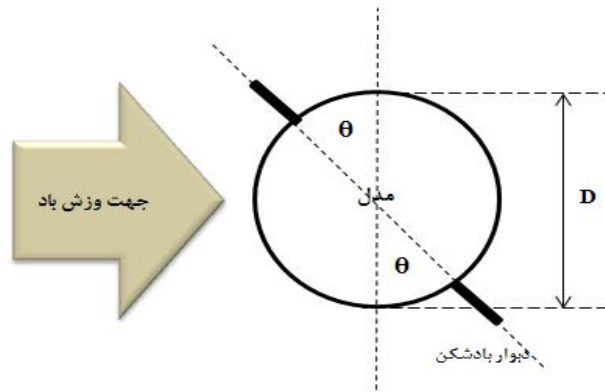
در ادامه افت راندمان دیوارها با تغییر جهت وزش باد، (θ)، مطالعه شده است. برای بررسی تاثیر جهت وزش باد بر عملکرد دیوارهای بادشکن، مطابق شکل (۶)، مدل به همراه دیوارهای متصل به آن در داخل تونل باد چرخانده شده و فشار داخل مدل و دبی هوای عبوری از آن اندازه‌گیری گردیده است. برای انجام این آزمایش از دیوار با طول بی‌بعد ۰/۳، در زاویه نصب ۱۵ درجه ($\alpha = 15^\circ$) استفاده شده است.



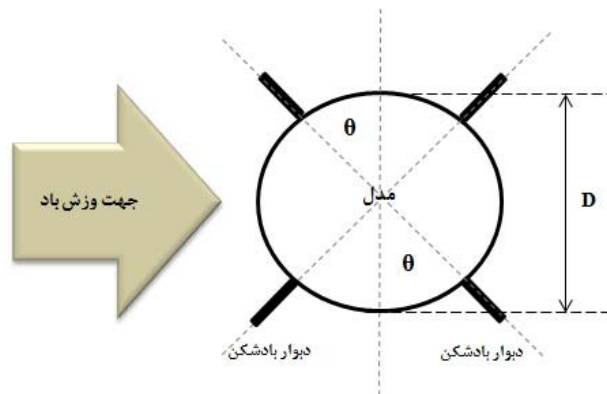
شکل ۴- محل قرارگیری دیوارهای بادشکن



شکل ۵- زاویه قرارگیری دیوار بادشکن نسبت به راستای شعاعی



شکل ۶- زاویه قرارگیری دیوار بادشکن برای شبیه سازی تغییرات جهت وزش باد



شکل ۷- آرایش چهار دیوار بادشکن در حالت (+) در اطراف مدل

در نهایت نیز بهبود عملکرد دیوارهای بادشکن به وسیله افزایش تعداد آنها در زوایای مختلف وزش باد مطالعه گردیده است. بدین منظور و جهت کاهش تاثیر منفی تغییر زاویه وزش باد، علاوه بر دو دیوار موجود در دو طرف مدل، دو دیوار دیگر نیز اضافه و در زاویه ۹۰ درجه نسبت به دیوارهای قبلی مطابق شکل (۷) قرار گرفته است. به عبارت دیگر چهار دیوار بادشکن در آرایش (+) در اطراف مدل نصب و فرآیند داده برداری مانند حالت‌های قبلی تکرار شده است. لازم به ذکر است که در این داده برداری‌ها، متوسط دقت در اندازه گیری سرعت ۰/۰۴ متر بر ثانیه و درصد خطای محاسبه ضریب افت فشار ۲/۴٪ بوده است.

۳- بررسی نتایج

۳-۱- تاثیر طول دیوار بادشکن بر دبی ورودی به مدل

شکل‌های (۸) و (۹) میزان بهبود ضریب افت فشار (K) و میزان بهبود دبی عبوری از مدل (Q) توسط دیوار بادشکن نسبت به شرایط عدم وجود دیوار را برای طول‌های بی‌بعد مختلف نشان می‌دهد که مقدار این دو کمیت از روابط زیر بدست می‌آید:

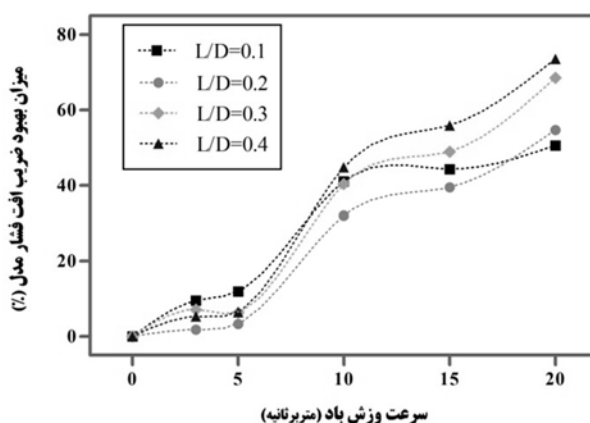
$$K = \frac{K_{mw} - K_w}{K_{mw}} \quad (۵)$$

$$Q = \frac{Q_w - Q_{mw}}{Q_{nw}} \quad (۶)$$

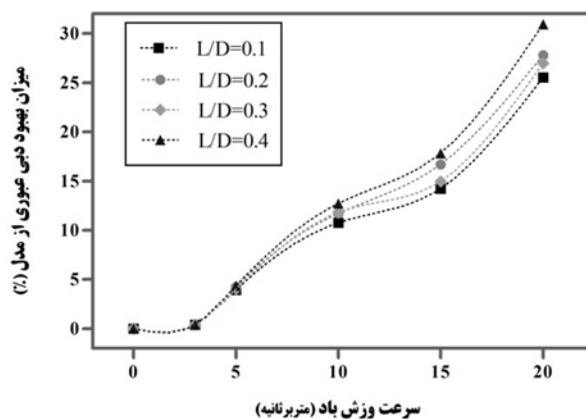
در این روابط، K_w و Q_w ضریب افت فشار و دبی عبوری از مدل در شرایط وجود دیوار بادشکن، Q_{mw} دبی عبوری از مدل در شرایط عدم وجود دیوار بادشکن است.

مطابق آنچه در این دو نمودار نشان داده شده است، نصب دیوار بادشکن می‌تواند تا ۷۵٪ باعث بهبود در ضریب افت فشار گردیده و تا ۳۰٪ دبی ورودی به مدل را افزایش دهد.

همچنین نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در سرعت های کم، تاثیر طول دیوار بادشکن بر عملکرد مدل ناچیز بوده ولی با افزایش سرعت وزش باد افزایش می‌یابد. از سوی دیگر نمودارها نشان می‌دهند که در تمامی سرعت‌ها، عملکرد دیوار با افزایش طول آن بهبود نمی‌یابد. دلیل این پدیده را باید در تغییراتی که حضور دیوار بادشکن در میدان جریان حول مدل ایجاد می‌کند بررسی نمود. با اضافه شدن دیوار در دو طرف مدل، جریان مماسی هوا در جلوی دیواره دچار انسداد شده و یک ناحیه سکون پر فشار را ایجاد می‌نماید. این انسداد جریان مماسی و افزایش فشار در سمت رو به باد دیوار باعث هدایت هوا به داخل مدل می‌گردد و از این طریق افت دبی ورودی به داخل مدل را جبران می‌نماید.



شکل ۸- میزان بهبود ضریب افت فشار در مدل توسط دیوار بادشکن با طول‌های مختلف

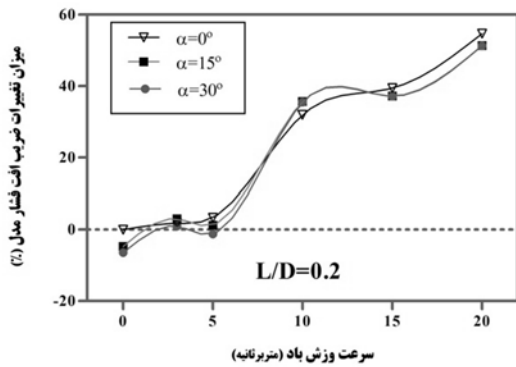


شکل ۹- میزان بهبود دبی عبوری از مدل توسط دیوار بادشکن با طول‌های مختلف

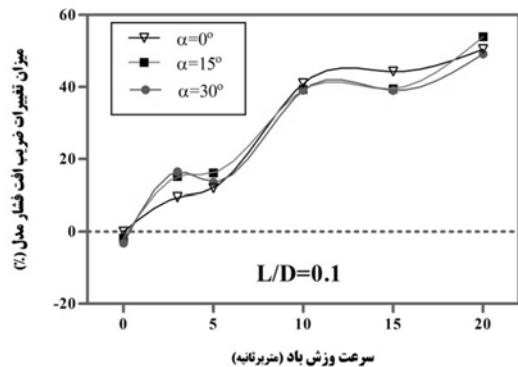
از سوی دیگر در پشت دیوار پدیده‌ای کاملاً متمایز رخ می‌دهد. پدیده جدایش در این بخش، باعث ایجاد یک دنباله در پشت دیوار و اختلال در جریان شعاعی هوا به داخل مدل می‌شود. با این وجود، تاثیر منفی این ناحیه جدایش کم فشار همواره کمتر از تاثیر مثبت ناحیه سکون پر فشاری است که در سمت رو به باد دیوار بادشکن تشکیل شده است، به همین دلیل نصب دیوار بادشکن می‌تواند همواره منجر به افزایش دبی هوای ورودی به مدل در شرایط وزش باد گردد، اما لازم است که طول بهینه دیوار با توجه به سرعت وزش باد انتخاب شود.

۳-۲- تاثیر زاویه نصب دیوار بادشکن بر دبی ورودی به مدل

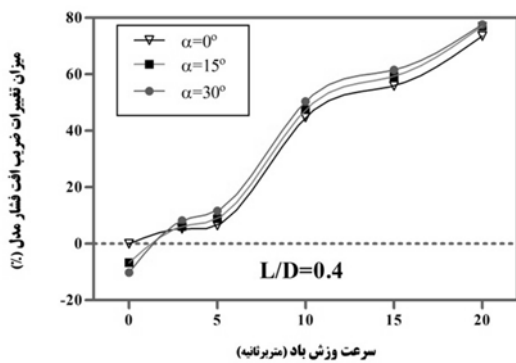
شکل‌های (۱۰) و (۱۱) تاثیر نصب دیوارهای بادشکن در زوایای ۱۵ و ۳۰ درجه و در طول‌های بی‌بعد مختلف را بر میزان تغییرات ضریب افت فشار و دبی عبوری از مدل نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده مشخص می‌کند که نصب دیوار بادشکن بصورت زاویه‌دار هر چند باعث بهبود هدایت جریان هوا به سمت داخل مدل می‌شود، اما از سوی دیگر مساحت تصویر شده دیوار در راستای عمود بر جریان باد را کاهش خواهد داد.



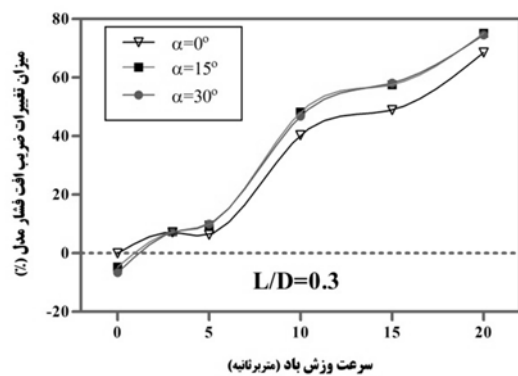
(ب)



(الف)



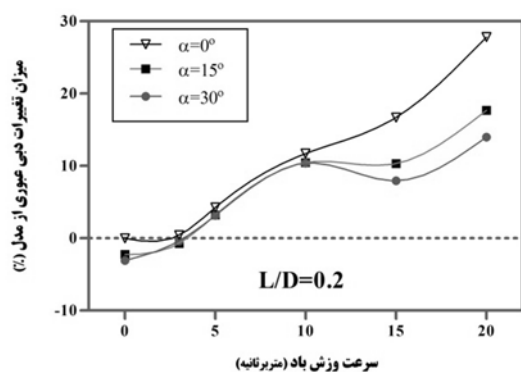
(د)



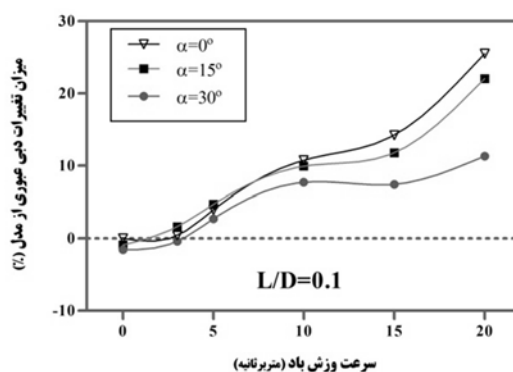
(ج)

شکل ۱۰- میزان تغییرات ضریب افت فشار با تغییر زاویه دیوار بادشکن برای طول‌های بی‌بعد مختلف

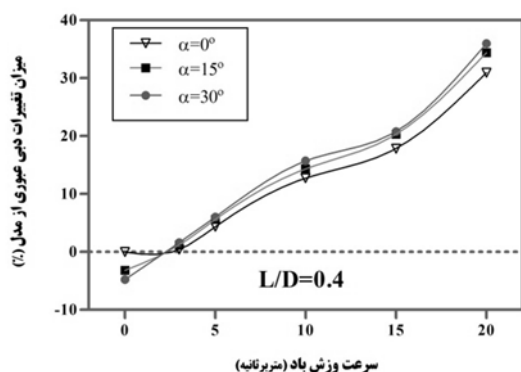
در دیوار بادشکن با طول بی‌بعد ۰/۱، تاثیر منفی حاصل از کاهش مساحت دیوار رو به جریان باد بر تاثیر مثبت هدایت جریان به داخل مدل غالب بوده بطوریکه با افزایش زاویه نسبت به راستای شعاعی میزان بهبود عملکرد برج در نتیجه نصب دیوار در مقابل باد کاهش می‌یابد. در مورد دیوار با طول بی‌بعد ۰/۲ تاثیر زاویه نصب دیوار در سرعت‌های وزش باد کمتر از ۵ متربرثانیه ناچیز بوده، اما برای سرعت‌های بالاتر افزایش زاویه منجر به کاهش کارایی دیوار شده و می‌توان گفت تاثیر منفی ناشی از کاهش مساحت تصویر غالب است. در مورد دیوارهای با طول بی‌بعد ۰/۳ و ۰/۴ نصب زاویه‌دار دیوارها باعث شده تا کارایی آنها مقداری افزایش یابد، اما با این وجود مشکل دیگری بروز نموده که در این دیوارها محسوس‌تر است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد نصب زاویه‌دار دیوارها منجر به ایجاد بخش منفی در محور عمودی نمودارها شده که این مقادیر منفی در شرایط عدم وزش باد (سرعت صفر و نزدیک به آن) رخ داده است. به عبارت دیگر در سرعت‌های کم، نصب دیوارهای زاویه‌دار باعث کاهش دبی ورودی به مدل می‌شود. در واقع زاویه دار شدن دیوارها نسبت به شعاع باعث ایجاد مانع در مقابل جریان شعاعی هوا به داخل مدل می‌گردد که این عامل سبب کاهش دبی هوای ورودی و افزایش مقاومت مسیر ورود هوا به مدل در شرایط عدم وزش باد گردیده است.



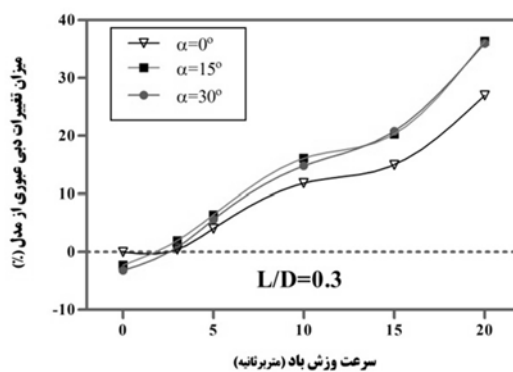
(ب)



(الف)



(د)

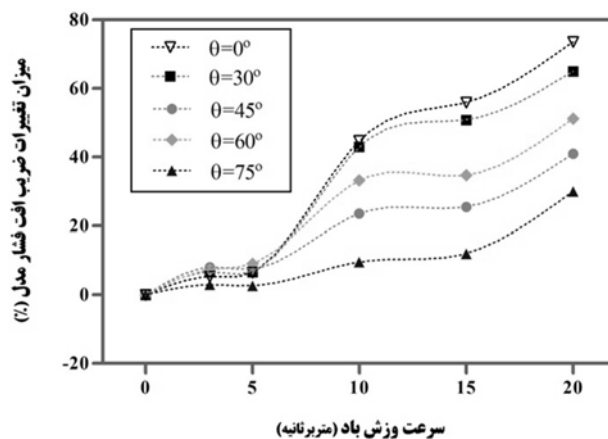


(ج)

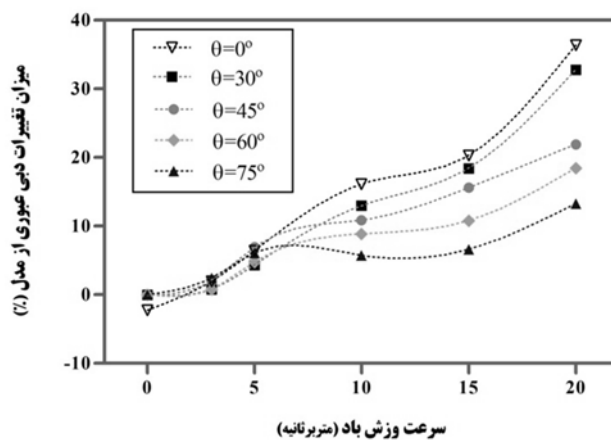
شکل ۱۱- میزان تغییرات دبی عبوری از مدل با تغییر زاویه دیوار بادشکن برای طولهای بی‌بعد مختلف

۳-۳- تاثیر زاویه وزش باد بر عملکرد دیوارهای بادشکن

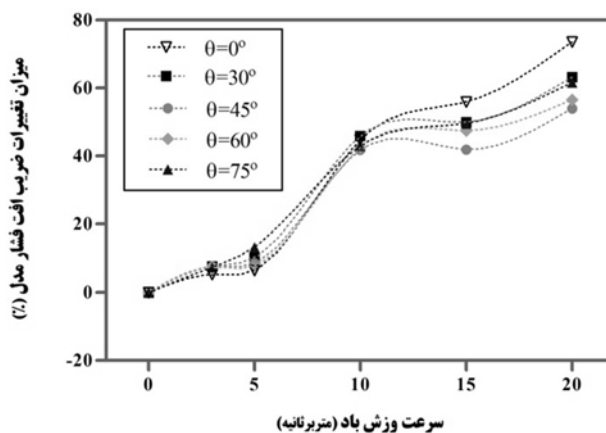
مطابق شکل‌های (۱۲) و (۱۳)، برای دیوار بادشکن با طول بی‌بعد $0/3$ و زاویه نصب 15° درجه، تاثیر تغییر زاویه وزش باد در سرعت‌های پایین وزش باد اندک است ولی با افزایش سرعت باد این مقدار افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر تغییر زاویه وزش باد تا مقدار 30° درجه چندان محسوس نبوده اما با افزایش این زاویه تاثیر آن نیز افزایش می‌یابد بطوریکه در زاویه وزش باد 75° درجه، برای سرعت باد 20 متربرثانیه، تاثیر مثبت حضور دیوار بادشکن در مقدار دبی عبوری از مدل، از 36% به 13% کاهش یافته است. همانگونه که قبلاً بیان شد، جهت کاهش تاثیر منفی تغییر زاویه وزش باد، علاوه بر دو دیوار موجود در دو طرف برج دو دیوار دیگر نیز اضافه و در زاویه 90° درجه نسبت به دیوارهای قبلی قرار گرفته است و فرآیند داده برداری مانند حالت قبل تکرار شده است. نتایج حاصل از این داده‌برداری در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) ارائه گردیده است. در مقایسه بین نتایج بدست آمده از آرایش چهار دیوار بادشکن با نتایج مربوط به دو دیوار بادشکن می‌توان گفت اضافه شدن دو دیوار دیگر برای زوایای وزش باد بالای 30° درجه توانسته مقدار دبی ناشی از تغییر جهت باد را برای سرعت‌های بالاتر از 3 متربرثانیه تا حدود 35% افزایش دهد. اما در زوایای کمتر از 30° درجه که کاهش دبی کم است، توجیهی برای استفاده از چهار دیوار بادشکن وجود ندارد.



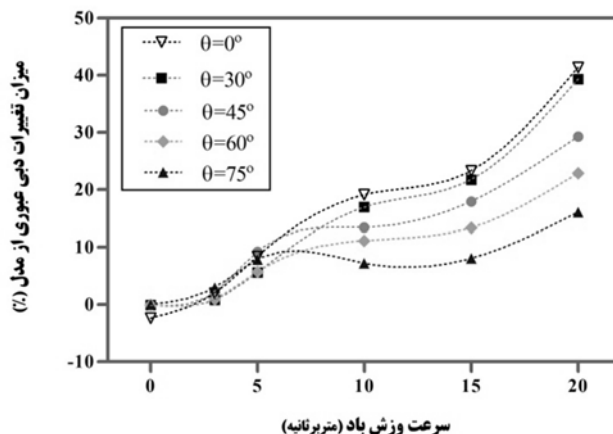
شکل ۱۲- میزان تغییرات ضریب افت فشار با تغییر زاویه وزش باد برای دیوار بادشکن با طول بی‌بعد $0/3$ و زاویه نصب 15° درجه



شکل ۱۳- میزان تغییرات دبی عبوری از مدل با تغییر زاویه وزش باد برای دیوار بادشکن با طول بی‌بعد $0/3$ و زاویه نصب 15° درجه



شکل ۱۴- میزان تغییرات ضریب افت فشار با تغییر زاویه وزش باد برای چهار دیوار بادشکن با طول‌های بی‌بعد ۰/۳ و زاویه نصب ۱۵ درجه



شکل ۱۵- میزان تغییرات ضریب عبوری از مدل با تغییر زاویه وزش باد برای چهار دیوار بادشکن با طول‌های بی‌بعد ۰/۳ و زاویه نصب ۱۵ درجه

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر وزش باد بر میزان دبی هوای عبوری از برج خنک‌کن خشک هلر به کمک یک مدل همدمما با مقیاس ۱/۳۵۰ در داخل تونل باد مدار بسته بصورت تجربی بررسی و تاثیر دیوارهای بادشکن بر بهبود عملکرد آن مطالعه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که:

- تاثیر طول دیوار بادشکن بر میزان دبی هوای عبوری از مدل با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد بطوریکه در سرعت‌های وزش باد کمتر از ۵ متر بر ثانیه تاثیر طول دیوار بادشکن چندان محسوس نبوده ولی در سرعت‌های بالاتر میزان بهبود عملکرد با افزایش طول دیوار بادشکن بیشتر می‌شود.

- استفاده از دیوار بادشکن با طول بی‌بعد $0/4$ در سرعت وزش باد 20 متربرثانیه می‌تواند تا 75% باعث بهبود ضریب افت فشار شده و تا 30% دبی عبوری از مدل را افزایش دهد.
- برای طول‌های بی‌بعد $0/1$ و $0/2$ برای دیوار بادشکن، نصب دیوار بصورت زاویه‌دار باعث کاهش عملکرد آن شده ولی برای طول‌های $0/3$ و $0/4$ زاویه‌دار شدن دیوار بادشکن عملکرد آن را تا حدودی بهبود می‌بخشد.
- تاثیر تغییر زاویه وزش باد بر عملکرد دیوار بادشکن تا میزان 30 درجه نسبت به قطر عمود بر باد چندان محسوس نبوده و حداکثر در سرعت 20 متربرثانیه کاهش عملکرد $3/6\%$ خواهد بود، ولی با افزایش زاویه وزش باد تاثیر آن نیز افزایش یافته و سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دیوار بادشکن می‌شود.
- جهت کاهش تاثیر منفی تغییر زاویه وزش باد در این تحقیق بجای دو دیوار بادشکن از چهار دیوار در آرایش (+) استفاده شده که نتایج نشان می‌دهد در سرعت‌های وزش باد بالای 3 متربرثانیه استفاده از چهار دیوار بادشکن توانسته تا 35% دبی عبور از مدل را نسبت به حالت استفاده از دو دیوار افزایش دهد.

مراجع

- [1] Ardekani, M.A., "Effects of Cross Wind Conditions on Efficiency of Heller Dry Cooling Tower", *Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage, and Conversion*, Vol. 28, Issue. 4, pp. 344-353, (2015).
- [2] Ardekani, M.A., and Ranjbar, M.A., "Field Study on Airflow Pattern through Radiator of Heller Dry Cooling Tower", *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 11, pp. 30-40, (2013).
- [3] Wei, Q., "A Study of the Unfavorable Effects of Wind on the Cooling Efficiency of Dry Cooling Towers", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 54, pp. 633-643, (1995).
- [4] Du Preez, A.F., and Kroger, D.G., "Effect of Wind on Performance of a Dry-cooling Tower", *Heat Recovery Systems and CHP Journal*, Vol. 13, Issue. 2, pp. 139-146, (1993).
- [5] Su, M.D., and Tang, G.F., "Numerical Simulation of Fluid Flow and Thermal Performance of a Dry-cooling Tower under Cross Wind Condition", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74, pp. 289-306, (1998).
- [6] Zhao, Y.B., "Numerical Study on the Cooling Performance of Dry Cooling Tower with Vertical Two-pass Column Radiators under Crosswind", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 75, pp. 1106-1117, (2015).
- [7] Du Preez, A.F., and Kroger, D.G., "The Effect of the Heat Exchanger Arrangement and Wind Break Walls on the Performance of Natural Draft Dry Cooling Towers Subjected to Cross Winds", *International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 58, No. 1, pp. 293-303, (1995).

- [8] Madadnia, M., "Effect of Wind Break Walls on Performance of a Cooling Tower Model", Mechanical and Aerospace Engineering Journal, Vol. 3, No. 4, pp. 61-67, (2008).
- [9] Al-Waked, R., and Behnia, M., "The Effect of Windbreak Walls on the Thermal Performance of Natural Draft Dry Cooling Towers", Journal of Heat Transfer Engineering, Vol. 28, No. 8, pp. 50-62, (2005).
- [10] Raine, J., and Stevenson, D., "Wind Protection by Model Fences in a Simulated Atmospheric Boundary Layer", International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 2, No. 1, pp. 159-180, (1977).
- [11] Gandmer, J., "The Aerodynamic Characteristics of Windbreaks, Resulting in Empirical Design Rules", International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 7, No. 1, pp. 15-36, (1981).
- [12] Lu, Y., "The Influence of Windbreak Wall Orientation on the Cooling Performance of Small Natural Draft Dry Cooling Towers", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 79, pp. 1059-1069, (2014).
- [13] EGI, "The Heller Systems", Report Ref. No. 8325-LK, (1984).
- [14] Ardekani, M. A., "Design and Application of Low Speed Wind Tunnel", 1st Edition, Khaje Nasir Toosi University Publication, Tehran, (2009). (In Persian)

فهرست نمادهای انگلیسی

D	: قطر مدل بر حسب متر
d	: قطر سیم توری بر حسب متر
K	: میزان تغییرات ضریب افت فشار مدل در حالت وجود دیوار بادشکن
K_h	: ضریب افت فشار رادیاتورهای برج خنک کن
K_m	: ضریب افت فشار توری
K_{mv}	: ضریب افت فشار مدل بدون وجود دیوار بادشکن
K_w	: ضریب افت فشار مدل در حالت وجود دیوار بادشکن
L	: طول دیوار بادشکن بر حسب متر
l	: طول ضلع هر خانه توری بر حسب متر
m	: تعداد سوراخ توری در هر اینچ
ΔP	: اختلاف فشار هوای بیرون و هوای داخل مدل بر حسب پاسکال
Q	: میزان تغییرات دبی عبوری از مدل در حالت وجود دیوار بادشکن
Q_{mv}	: دبی عبوری از مدل بدون وجود دیوار بادشکن بر حسب کیلوگرم بر ثانیه

- Q_w : دبی عبوری از مدل در حالت وجود دیوار بادشکن برحسب کیلوگرم بر ثانیه
- U : سرعت عبور جریان هوا از توری برحسب متربرثانیه
- U_{in} : سرعت عبور هوا از رادیاتورهای برج خنک کن برحسب متربرثانیه
- U_{wind} : سرعت وزش باد در تونل باد برحسب متربرثانیه

نمادهای یونانی

- α : زاویه نصب دیوار بادشکن برحسب درجه
- β : ضریب انسداد توری
- θ : زاویه وزش باد برحسب درجه
- μ : ویسکوزیته دینامیکی هوا برحسب پاسکال ثانیه
- ν : ویسکوزیته سینماتیکی هوا برحسب مترمربع برثانیه
- ρ : چگالی هوای محیط برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

Abstract

Cross winds adversely affect the thermal performance of Heller dry cooling towers. In this experimental study, an isothermal model of Heller tower was used in wind tunnel to investigate the effect of windbreakers for increasing flow rate through the model under wind conditions. Windbreakers of various dimensions were installed at different angles around the model, and their effectiveness was studied under various wind directions. Results showed that use of windbreakers improved the flow rate by 30%.

Moreover, with increase in wind velocity, effect of windbreaker length on the performance of the model was more pronounced. Results also indicated that for up to 30 degrees change in wind direction with respect to the diameter perpendicular to wind, there is no appreciable effect on the flow rate through the model.