

طرحی برای برج خنک کن خشک به منظور کاهش اثرات وزش باد

جلال شیشوانی: نیروگاه حرارتی سهند

چکیده-

سیستم‌های خنک‌کن نیروگاهی به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های تمامی نیروگاه‌های حرارتی همواره مورد توجه خاص بوده‌اند. راندمان این بخش سیستم به طور مستقیم بر راندمان نیروگاه اثر می‌گذارد. عملکرد سیستم خنک‌کن خشک هلر نیز مانند انواع دیگر سیستم‌های خنک‌کن به شدت تحت تأثیر نامطلوب وزش باد قرار می‌گیرد. در صورت وزش شدید باد ممکن است کارایی حرارتی برج‌های هلر تا حدود چهل درصد کاهش یابد. تأثیر نامطلوب وزش باد بر عملکرد حرارتی برج ناشی از دو عامل جریان‌های گردابه‌ای در اطراف رادیاتورها و کج شدن پلوم خروجی از دودکش آنها است. تا به حال پژوهش‌های زیادی در مورد به کارگیری دیوار بادشکن در کنار رادیاتورها به منظور کاهش اثرات گردابه‌ای انجام شده است.

در تحقیقی نیز برای کاهش اثر خفگی دهانه خروجی دودکش برج که ناشی از کج شدن پلوم خروجی از آن می‌باشد، استفاده از دودکش دارای سطح مقطع خروجی با زاویه بهینه ۲۷ درجه نسبت به افق پیشنهاد شده است. در این تحقیق برای کاهش اثرات نامطلوب وزش باد طرحی پیشنهاد شده است که شبیه سازی عددی آن نشان داد با اجرای آن می‌توان تا شصت و چهار درصد عملکرد حرارتی برج را نسبت به شرایط فعلی به هنگام وزش باد بهبود بخشید.

کلید واژه: برج خنک کن خشک هلر، باد، پلوم، دودکش، دیوار بادشکن.

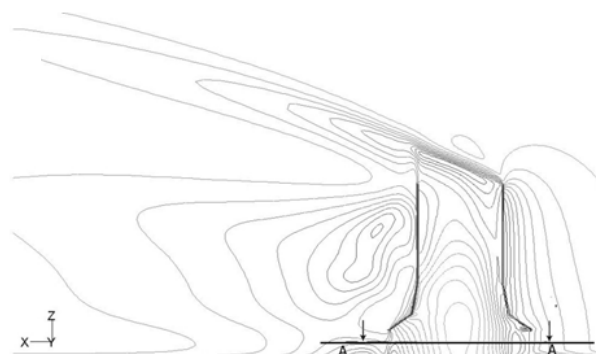
مقدمه

یکی از مهم‌ترین تجهیزات نیروگاه‌های بخار برج‌های خنک‌کن هستند. در مناطقی که با کمبود منابع آب مواجه هستند از برج‌های خنک‌کن خشک استفاده می‌شود. این برج‌ها از دو قسمت نسبتاً متمایز تشکیل شده‌اند. قسمت تحتانی برج استوانه‌ای با ارتفاع کم و قطر بزرگ و قسمت فوقانی دودکش استوانه‌ای با ارتفاع زیاد و قطر کم می‌باشد. قسمت تحتانی شامل رادیاتورها بوده که آب گرم خروجی از کندانسور داخل آنها جریان دارد. این دو قسمت توسط نواحی مخروطی شکل به هم متصل می‌شوند.

طراحی این برج‌ها بر اساس شرایط سکون هوای اطراف برج صورت می‌گیرد. تجربه نشان داده که وزش باد تأثیر نامطلوبی بر عملکرد برج حرارتی می‌گذارد. مشاهدات تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی نشان داده که اگر سرعت وزش باد بیش از مقدار سه متر بر ثانیه باشد [۱] مقدار هوای مکیده شده به درون برج که از روی رادیاتورها می‌گذرد کاهش خواهد یافت و به این ترتیب مقدار انتقال حرارت از رادیاتورها نیز با کاهش مواجه است.

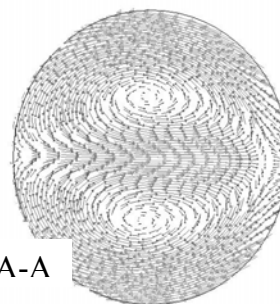
مطالعات تجربی [۳] و عددی نشان دادند که دو عامل اساسی باعث کاهش کارایی برج به هنگام وزش باد می‌شوند. عامل اول وجود جریان شتاب یافته در اطراف بخش استوانه‌ای تحتانی (یا همان منطقه رادیاتورها) است که منجر به کاهش موضعی فشار هوا در این منطقه و همچنین جدایش جریان در پشت برج می‌شود. افت فشار بوجود آمده در بخش وسیعی از محیط منطقه رادیاتورها، اختلاف فشار در دو طرف رادیاتورها را کاهش داده و باعث رکود دبی جرمی هوای عبوری از روی رادیاتورها می‌شود. عامل دوم پدیده خفگی یا درپوش (*Wind Cover*) در دهانه خروجی برج است که به علت تفاوت اندازه حرکت جریان هوای خروجی از دودکش و جریان باد ایجاد می‌شود. وزش باد باعث کج شدن پلوم خروجی برج و کاهش سطح مقطع جریان خروجی از برج می‌شود. لذا با ایجاد خفگی در دهانه دودکش، جریان خروجی از برج کاهش یافته و این امر باعث افزایش فشار درون برج نسبت به شرایط طراحی خواهد شد. در شکل ۱ این دو عامل به کمک کانتورها و بردارهای سرعت نشان داده شده‌اند.

Deflected



←
Wind
Directio

View A-A

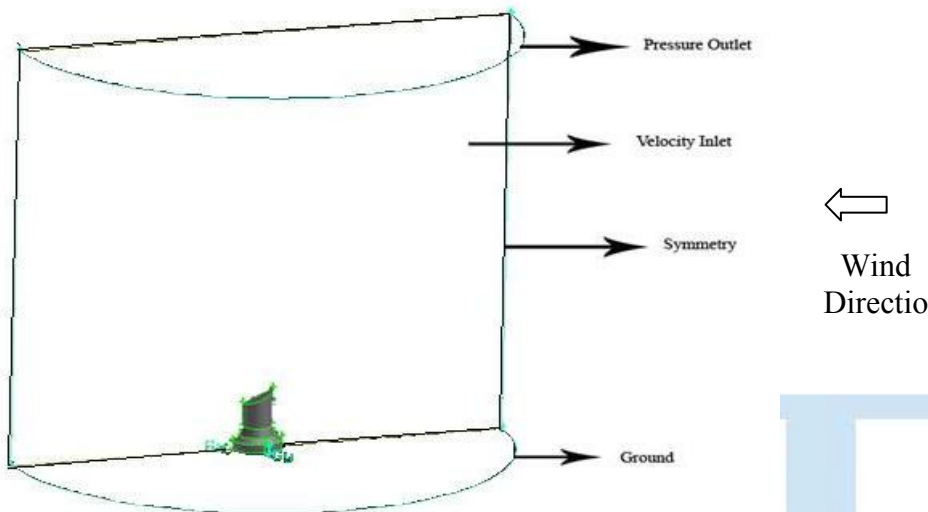


شکل ۱: دو عامل اصلی نامطلوب شدن عملکرد برج‌های خنک‌کن

با توجه به وابستگی توان انتقال حرارت رادیاتورها به الگوی جریان در مجاورت آنها بسیاری از محققین به ارائه راه حل‌هایی در این منطقه از برج برای کاهش تأثیر نامطلوب جریان کم فشار و پر سرعت طرفین برج (عامل اول) پرداخته‌اند این بادشکن‌ها در راستای عمود بر مسیر وزش باد از کنار رادیاتورها به سمت شعاعی گسترش می‌یابند. به منظور کاهش اثر باد بر کج شدن پلوم خروجی و کاهش پدیده خفگی در دهانه دودکش برج طرحی پیشنهاد داده شد که باعث بهبود عملکرد حرارتی برج می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد که در مناطقی که اصولاً جهت وزش باد از یک سو می‌باشد می‌توان از دودکش‌هایی که دارای سطح مقطع خروجی با زاویه تمایل پشت به جهت وزش باد هستند استفاده کرد. البته زاویه تمایل دهانه خروجی دارای مقدار بهینه ایست که با شبیه سازی‌های مکرر و اندازه‌گیری درصد کاهش انتقال حرارت این مقدار حدود ۲۷ درجه بدست آمده است. تحقیق ایشان در مورد برج‌های هذلولوی بوده است اما در کار حاضر برج‌های هلر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آنجا که تأثیر مطلوب طرح پیشنهادی دودکش با دهانه مایل به اندازه طرح پیشنهادی بادشکن‌ها نیست لذا در تحقیق حاضر سعی شده است طرحی برای برج پیشنهاد شود که تأثیر هر دو عامل نامطلوب بر راندمان حرارتی برج خنک‌کن را کاهش دهد. برای این منظور طرح به کارگیری همزمان دیوار بادشکن و دودکش با دهانه مایل در برج هلر مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی عددی جریان اطراف برج با تغییرات پیشنهادی، نشان داد که طرح پیشنهادی باعث افزایش ۶۴ درصدی جریان عبوری از برج نسبت به حالت معمول آن تحت وزش باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه خواهد شد.

معادلات حاکم و شرایط مرزی

برای شبیه سازی عددی جریان در اطراف و درون برج باید معادلات حاکم بر جریان و نیز شرایط مرزی آن را مشخص کرد. جریان در برج به خصوص در غیاب وزش باد بر اساس نیروی بویانسی ایجاد شده ناشی از اختلاف دمای هوای درون و بیرون برج به وجود می آید. هوای سرد بیرون در گذر از رادیاتورها حرارت آب گرم خروجی از کندانسور را جذب کرده و گرم می شود، پس چگالی آن کاهش می یابد. البته تغییر چگالی آنقدر کوچک است که با تقریب بسیار خوبی می توان جریان را تراکم ناپذیر در نظر گرفت. اما برای



در نظر گرفتن نیروی بویانسی ناشی از اختلاف کوچک چگالی می توان در معادله اندازه حرکت در جهت خلاف شتاب ثقل از تقریب بوزینسک [۶] استفاده کرد. در ضمن جریان درون برج به علت عدد گراشف [۶] بالا مغشوش می باشد. لذا معادلات حاکم بر جریان مغشوش تراکم ناپذیر دائم با تقریب بوزینسک و همراه با انتقال حرارت شامل معادله پیوستگی، معادلات اندازه حرکت، معادله انرژی حرارتی و مدل اغتشاشی می باشند. جهت اختصار فقط معادله پیوستگی و معادلات اندازه حرکت برای نشان دادن تقریب بوزینسک ارائه شده اند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{eff} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v_{eff} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g\beta(T - T_{\infty}) + v_{eff} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

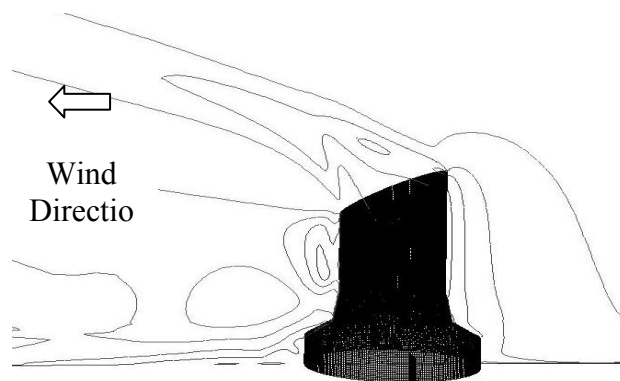
در این روابط W, V, U به ترتیب مؤلفه‌های سرعت در جهت‌های سه‌گانه مختصات، p فشار استاتیک، ρ چگالی هوا، v_{eff} ویسکوزیته دینامیکی مؤثر، T و T_{∞} به ترتیب دمای هوا در هر نقطه و دمای مرجع، β ضریب تراکم پذیری هوا و g شتاب ثقل می‌باشند. مدل اغتشاشی به کار گرفته شده در این تحقیق مدل $\epsilon - K$ استاندارد [۷] می‌باشد.

برای حل عددی میدان جریان در تمام حالات از یک میدان نیم استوانه‌ای استفاده شده است. به علت وجود تقارن در صفحه وزش باد نیمه متقارن مسأله شبیه سازی شده است. شکل ۲ میدان جریان را نشان می‌دهد، قاعده پایینی نیم استوانه زمین و قاعده بالایی مرز خروجی جریان در نظر گرفته شده است. برای دیوارهای برج، دیوار بادشکن و نیز سطح زمین از شرط مرزی دیوار آدیباتیک استفاده شده است. در سطح تقارن نیز شرط مرزی تقارنی در نظر گرفته شده است. رادیاتورها نیز بخشی از مرزهای تعریف شده در میدان جریان هستند که به مانند یک سطح صاف قابل نفوذ که جریان در گذر از آن علاوه بر تبادل حرارت دچار افت فشار نیز می‌شود، مدل شده است. برای میزان تبادل حرارت و افت فشار ناشی از عبور جریان از روی رادیاتورها بر اساس اطلاعات مبدل‌های فورگو [۸] روابطی بر حسب مقدار سرعت عمود بر رادیاتورها به کار رفته است [۵]. شرط مرزی در سطح جانبی میدان حل برای دو حالت با وزش باد و بدون وزش باد تفاوت دارد. در حالتی که باد نمی‌وزد شرط مرزی در سطح جانبی شرط سیال دور دست انتخاب شده است. البته در این حالت شرط سیال دور دست خطایی را در جریان دور دست بوجود می‌آورد که با بزرگ بودن محدوده میدان جریان می‌توان تأثیر آن در مجاورت برج را کاهش داد. از طرف دیگر چون هدف مقایسه رفتار دو طرح برج می‌باشد به کارگیری شرایط مرزی یکسان پاسخگوی هدف مورد نظر خواهد بود. در حالت وزش باد سطح جانبی نیم استوانه میدان جریان به صورت مرز ورودی سرعت (جریان) در نظر گرفته شده است. سایر سطوح هم به صورت تقارنی در شرایط مرزی مدل شده‌اند.

نتایج عددی

اساس ایده مورد نظر بسیار ساده است. برای کاهش اثر خفگی در دهانه خروجی برج باید سطح مقطع برج را بدون کاهش قطر آن افزایش داد. به این منظور می‌توان سطح دهانه خروجی برج را به شکل بیضی که از تقاطع یک صفحه غیر عمود بر محور برج حاصل می‌شود، در نظر گرفت. باید توجه داشت که بخش مرتفع‌تر دودکش برج در این حالت باید مقابل به جهت وزش باد قرار گیرد، در غیر این صورت خفگی دهانه خروجی برج تشدید خواهد شد. در ضمن متوسط ارتفاع دودکش برج برابر با همان طرح معمول می‌باشد. در منطقه رادیاتورها برای کاهش جریان‌های گردابه‌ای بوجود آمده و همچنین جلوگیری از جدایش جریان در پشت برج، و نیز به منظور افزایش دبی جرمی هوای ورودی به رادیاتورها از دو دیوار بادشکن در زوایای ۹۰ و ۲۷۰ درجه، عمود بر جریان باد استفاده می‌کنیم. شکل ۳ وضعیت برج را در هنگام

وزش باد با طرح پیشنهادی نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است به هنگام وزش باد باز هم پلوم خروجی منحرف می‌شود اما به علت بزرگ بودن سطح مقطع دهانه خروجی که در جهت عمود بر محور برج نیست حالت خفگی ایجاد شده کمتر بوده و سطح عبور جریان بزرگتر از حالت معمول خواهد بود. به منظور مقایسه برج پیشنهادی با برج معمول عملکرد آنها به صورت عددی شبیه سازی شد. شبیه سازی عددی در دو وضعیت بدون وزش باد و حالت وزش باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه صورت گرفته است.



شکل ۳: تأثیر مایل کردن دهانه خروجی دودکش برج بر پلوم خروجی

در جدول ۱ دبی جرمی ورودی به رادیاتورها و مقدار انتقال حرارت اندازه‌گیری شده از نتایج عددی در حالت بدون وزش باد برای طرح معمول برج، و برج همراه بادشکن و دودکش با دهانه مایل با زاویه ۲۷ درجه نسبت به سطح افق، آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که استفاده از دیوار بادشکن و مایل کردن دهانه خروجی دودکش در هوای ساکن اندکی از دبی جرمی هوای ورودی به برج و مقدار انتقال حرارت رادیاتورها می‌کاهد. علت این کاهش را می‌توان به افزایش اثرات اصطکاکی دیواره دودکش و کاهش نسبی نیروی غوطه‌وری نسبت به دودکش معمولی ارتباط داد. همانطور که هدف ما از به کارگیری این طرح بهبود عملکرد برج در حالت وزش باد است می‌بینیم که استفاده از این طرح بر عملکرد برج در هوای ساکن تأثیر چندانی ندارد.

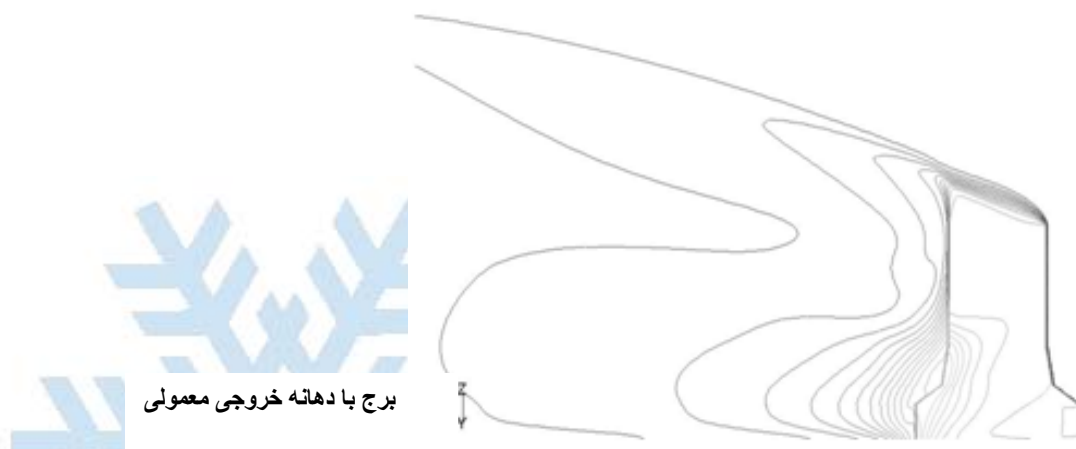
جدول ۲ درصد انتقال حرارت را نسبت به وضعیت بدون وزش باد در حالتی که باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه می‌وزد، نشان می‌دهد. در این جدول نتایج طرح‌های پیشنهادی استفاده از بادشکن که از مرجع [۵] و استفاده از دودکش با دهانه مایل که از مرجع [۹] اقتباس شده‌اند، برای مقایسه آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که به کارگیری همزمان دیوار بادشکن و دودکش با دهانه مایل بهبود قابل توجهی در عملکرد برج خنک کن خشک هلر به هنگام وزش باد دارد. بهبودی که از این طریق در عملکرد برج حاصل می‌شود از حالتی که فقط دیوار بادشکن یا فقط دودکش با دهانه مایل داریم خیلی بیشتر است.

جدول ۱: نرخ انتقال حرارت برج خنک کن در حالت‌های معمول و طرح پیشنهادی

نوع برج	دبی جرمی هوای ورودی به داخل برج بر حسب کیلو گرم بر ثانیه	انتقال حرارت در رادیاتورها بر حسب مگا وات	درصد کاهش انتقال حرارت به واسطه طرح پیشنهادی

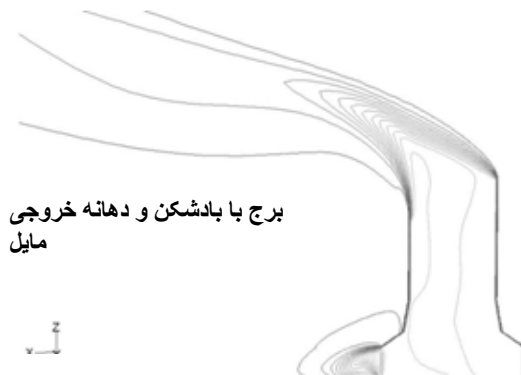
-	۲۲۳/۹۴	۲۰۴۵۸	برج معمول
۰/۱۶۵٪	۳۲۱/۸۵۴	۲۰۳۰۶	برج با بادشکن و مقطع خروجی ۲۷ درجه

جدول ۲: درصد انتقال حرارت برج خنک کن در حالت‌های معمول، با بادشکن، بامقطع مایل و طرح پیشنهادی



نوع برج	طرح معمول برج	برج با بادشکن مرجع [۵]	برج با مقطع خروجی ۲۷ درجه مرجع [۹]	برج با بادشکن و مقطع خروجی ۲۷ درجه
درصد انتقال حرارت نسبت به وضعیت بدون وزش باد	٪۶۰/۱۵	٪۸۷	۸۲٪	٪۹۸/۱۵
درصد بهبود به واسطه طرح پیشنهادی	-	٪۱۶	٪۹	٪۶۴/۱۵

در شکل ۴ خطوط همدم در صفحه تقارن نشان داده شده‌اند. این خطوط محدوده پلوم خروجی را نشان می‌دهند. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود پلوم طرح پیشنهادی در مقایسه با طرح معمول از پهنای بیشتری برخوردار بوده و در نتیجه جریان خروجی از دودکش این طرح با خفگی کمتری روبرو می‌شود.



برج با بادشکن و دهانه خروجی
مایل

شکل ۴- خطوط همدم در سطح تقارن

د ج

شکل ۵ طیف دما را در این دو طرح نشان می‌دهد و به گونه‌ای واضح‌تر مؤید همین مطلب است. در این شکل علاوه بر محدوده پلوم خروجی در دهانه خروجی برج، طیف دما در اطراف رادیاتورها در سمت درون برج، که عامل اصلی کشش جریان به درون برج است دیده می‌شود.

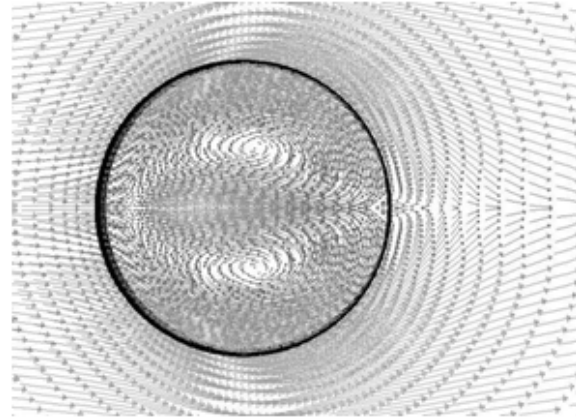


برج با بادشکن و دهانه خروجی
مایل

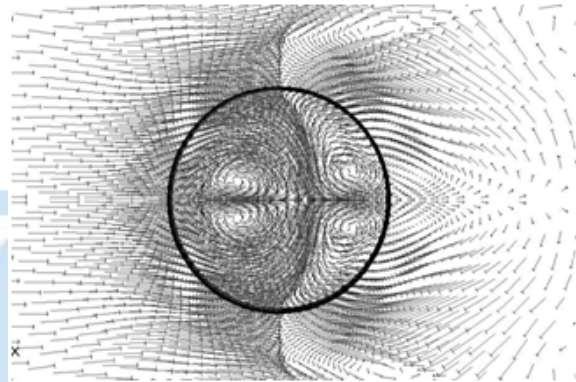
شکل ۵- طیف دما در سطح تقارن

در طرح معمول برج قسمتی از رادیاتورها که در مقابل وزش باد قرار دارند دبی هوای بیشتری دریافت کرده‌اند و به همین دلیل انتقال حرارت بیشتری داشته و دما در این قسمت کمتر است. اما در مقابل قسمتی از دلتاها که در پشت برج قرار گرفته‌اند به دلیل جدایش جریان در آن ناحیه انتقال حرارت در رادیاتورها به خوبی صورت نگرفته و آب خروجی از رادیاتورها دمای بالایی دارد. در طرح پیشنهادی به علت به کارگیری دیوار بادشکن در اطراف رادیاتورها توزیع دما در این قسمت یکنواخت‌تر است، طیف دمای مربوط به ناحیه گردابه‌ای درون برج کوچکتر شده و به همین دلیل مکش برج افزایش یافته است. برای بررسی بیشتر این جزئیات میدان سرعت در مقطع میانی قسمت تحتانی برج (رادیاتورها) در

شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل به روشنی نشان می‌دهد که محدوده متأثر از جریان گردابه‌ای در طرح پیشنهادی کاهش یافته است و اندازه گردابه‌ها در ناحیه رادیاتورها کوچکتر شده است بنابراین دبی گرمی ورودی به برج افزایش می‌یابد.

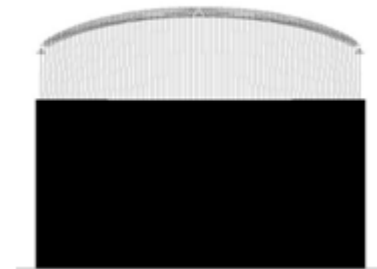


برج با دهانه خروجی معمولی



برج با بادشکن و دهانه خروجی مایل

شکل ۶- بردارهای سرعت در ناحیه میانی رادیاتورها



برج با دهانه خروجی معمولی در هوای ساکن



Wind
Directio

برج با دهانه خروجی معمولی تحت
۱۰ m/s وزش باد با سرعت



برج با بادشکن و دهانه خروجی مایل
۱۰ m/s تحت وزش باد با سرعت

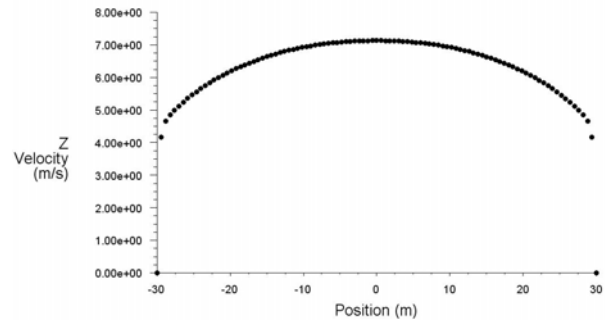
شکل ۷- پروفیل سرعت در دهانه خروجی برج

در شکل ۷ پروفیل‌های سرعت در حالت‌های مختلف نشان داده شده است. برای طرح معمول برج در هوای ساکن یک پروفیل کاملاً منظم و متقارن در دهانه خروجی داریم. هنگام وزش باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه این پروفیل به علت ایجاد خفگی در جریان خروجی نامنظم شده و در جهت باد منحرف می‌شود. در طرح پیشنهادی به علت استفاده از دودکش با دهانه مایل می‌بینیم که به دلیل تضعیف خفگی در جریان خروجی پروفیل سرعت منظم‌تر است.

در شکل ۸ توزیع نقطه‌ای سرعت در خط مرکزی دهانه خروجی برج در حالت‌های مختلف نشان داده شده است. این نمودارهای علاوه بر تأیید اطلاعات شکل ۷ مقدار مکانی و متوسط سرعت در دهانه خروجی برج را نشان می‌دهند. برای طرح معمول برج تحت وزش باد مشاهده می‌شود که سرعت جریان خروجی از برج نسبت به بقیه حالات کمتر است که این ناشی از دو عامل است، اولاً ایجاد خفگی در دهانه برج و ثانیاً کم بودن دبی عبوری از برج به علت وجود جریان‌های گردابه‌ای و جدایش جریان در قسمت رادیاتورها نسبت به حالات دیگر. در طرح پیشنهادی به علت استفاده از دودکش با دهانه مایل می‌بینیم به واسطه تضعیف خفگی در جریان خروجی پروفیل سرعت منظم‌تر است و در این حالت متوسط سرعت جریان خروجی از برج نسبت به طرح معمول بیشتر است و این ناشی از کارآمد بودن بادشکن‌ها در افزایش دبی جرمی هوای عبوری از برج است.

بنابراین پر واضح است که طرح پیشنهادی باعث تضعیف خفگی در دهانه خروجی برج، افزایش دبی جرمی هوای عبوری از رادیاتورها، کاهش اغتشاش و جدایش جریان داخل برج و ایجاد یکنواختی دمایی در پلوم خروجی از برج می‌شود. در

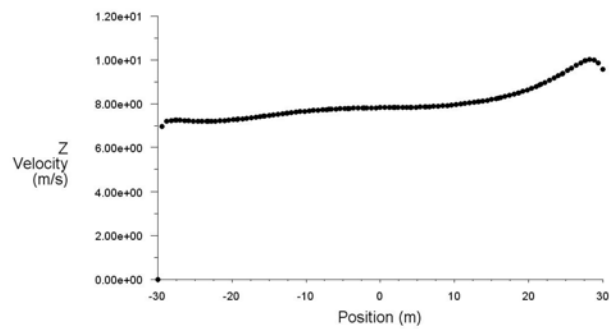
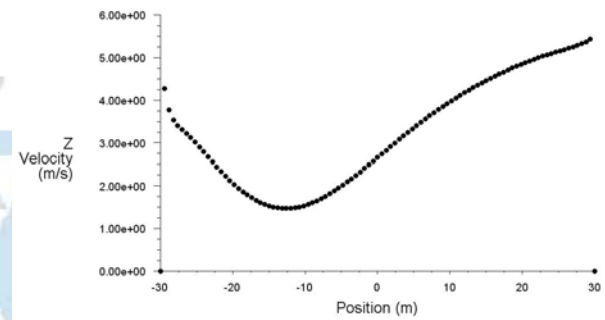
این حالت به علت وجود بادشکن و دودکش با دهانه مایل، متوسط سرعت جریان خروجی از برج به حالت طراحی برجها (طرح معمول در هوای ساکن) نزدیک است و این مطلب بیانگر بالا بودن دبی جرمی هوای عبوری از برج و نزدیکی راندمان طرح پیشنهادی به راندمان طراحی برج می باشد.



برج با دهانه خروجی معمولی در هوای ساکن



برج با دهانه خروجی معمولی تحت
۱۰ m/s وزش باد با سرعت



برج با بادشکن و دهانه خروجی مایل
۱۰ m/s تحت وزش باد با سرعت

شکل ۸- ترسیم توزیع سرعت در خط مرکزی دهانه خروجی برج

نتیجه گیری

در مناطقی که اصولاً جهت وزش باد از یکسو می باشد می توان از دودکش هایی که دارای سطح مقطع خروجی با زاویه تمایل پشت به جهت وزش باد هستند استفاده کرد. این کار شدت خفگی در پلوم خروجی را کاهش می دهد. استفاده از بادشکن ها در قسمت رادیاتورها نیز باعث افزایش دبی جرمی هوای ورودی به رادیاتورها شده و جدایش جریان در قسمت پشت به باد را به تعویق می اندازد. تأثیر مطلوب طرح پیشنهادی بسیار بیشتر از طرح پیشنهادی بادشکن ها و یا طرح پیشنهادی مقطع خروجی مایل است. به کارگیری این طرح راندمان برج خنک کن خشک هلر تحت وزش باد را به حالت طراحی (برج در هوای ساکن) بسیار نزدیک می کند و در واقع می توان گفت که اثرات نامطلوب وزش باد را تا حد قابل قبولی از بین می برد.

مراجع

- [1] Kapas, "Behavior of Natural Draught Cooling Towers in Wind", CMFF, 30, Budapest, Hungary, 2003.
- [2] A.F. Du Preez, and D.G. Kroger, "Effect of Wind on Performance of a Dry- Cooling Tower", Heat Recovery Systems and CHD, VOL. 13, pp. 139-146, 1993.
- [3] Wei Q., Zhang B., Liu K., Du X., and Meng X., "A Study of The Unfavorable Effects of Wind on the Cooling Efficiency of Dry Cooling Towers", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vols. 54 and 55, pp. 633-643, 1995.
- [4] Al-Waked R., Behnia M., "The Performance of Natural Draft Dry Cooling Towers under Cross Wind : CFD Study", International journal of energy research, Vol. 28, pp. 147-161, 2004.
- [6] B. Gebhart, "Buoyancy-Induced Flows and Transport", Textbook Edition, Hemisphere Publishing Corporation, 1988.
- [7] B. E. Launder, and D. B. Spalding, "The Numerical Computation of Turbulent Flow", Comput. Methods Appl. Mech. Eng, Vol. 3, pp. 269-289, 1974.
- [8] "The Heller System", EGI, Budapest, 1984.