

بررسی میدانی اثر پره راهنما بر الگوی جریان هوای ورودی به رادیاتورهای برج خنک‌کن خشک هلر

محمدعلی رنجبر^۱

دانشجوی دکترا

محمدعلی اردکانی^۲

دانشیار

محسن مزیدی^۳

دانشجوی دکترا

یکی از عوامل محیطی تأثیرگذار بر کاهش عملکرد برج خنک‌کن خشک، وزش باد می‌باشد. در این تحقیق استفاده از پره راهنما به عنوان یک راه کار جدید جهت بهبود عملکرد پیشنهاد شده و با استفاده از یک سازه چهار پره‌ای و نصب آن در دلتای بحرانی برج خنک‌کن نیروگاه منتظر قائم به صورت میدانی بررسی گردیده است. نتایج در دلتاهای کناری برج در پشت پره نشان می‌دهد که جریان ورودی به حالت شعاعی تبدیل و از حالت گردابه‌ای خارج شده و سرعت جریان ورودی تا حدود ۳۵ درصد افزایش یافته و همچنین توزیع دما بر روی سطح رادیاتور یکنواخت شده و مقدار میانگین آن به میزان ۱/۹ درجه سانتیگراد کاهش یافته است.

واژه‌های راهنما: بررسی میدانی، برج خنک‌کن خشک، پره راهنما، الگوی جریان

۱- مقدمه

سیستم خنک‌کن یکی از اجزای اصلی نیروگاه می‌باشد، که نحوه عملکرد آن بر راندمان کلی نیروگاه تأثیر مستقیم می‌گذارد. با توجه به قانون دوم ترمودینامیک، موتور حرارتی نمی‌تواند فقط با منبع گرم تبادل حرارت نماید. نیروگاه نیز به عنوان یک موتور حرارتی، برای انتقال گرمای تولید شده در چرخه تولید به محیط، به سیستم خنک‌کن نیاز دارد. این انتقال گرما با چگالش بخار اشیاع خروجی از توربین صورت می‌گیرد. گرمای نهان بخار در چگالنده، توسط آب خنک‌کن گرفته می‌شود.

با این عمل دمای آب خنک‌کن افزایش می‌یابد. برای این که آب خنک‌کن بتواند بار دیگر گرمای بخار را در چگالنده جذب و آن را به مایع تبدیل کند، باید خنک گردد. برای خنک کردن سیال گرم شده بنا به موقعیت نیروگاه و شرایط محیطی، از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. یک روش متداول برای خنک سازی آب برگشتی از چگالنده استفاده از برجهای خنک‌کن می‌باشد. عملکرد این گونه برج‌ها به این صورت است که هوا

^۱ دانشجوی دکترای هوافضا، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

^۳ دانشجوی دکترای مکانیک، پژوهشکده مهندسی مکانیک، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

از محفظه رادیاتورهایی که در قسمت پایه برج تعبیه شده و آب گرم برگشتی از کندانسور در آنها جریان دارد، وارد برج می‌شود. هوای ورودی در اثر تماس با رادیاتورها گرم شده و چگالی آن کاهش پیدا می‌کند و به سمت بالای برج به حرکت در می‌آید. همدسته خاص برج نیز این حرکت را تشدید کرده و در نهایت یک خاصیت مکش شدید در برج ایجاد می‌شود که همین مکانیزم، عامل اصلی خنک سازی در برج‌های هلر می‌باشد.

از آنجا که برج خنک‌کن گرما را با هوای محیط مبادله می‌کند، شرایط محیط بر آن تاثیرگذار است. یکی از این عوامل محیطی تاثیرگذار بر عملکرد برج خنک‌کن میزان وزش باد می‌باشد، که در اکثر شرایط تاثیر نامطلوبی بر کارکرد سیستم دارد. وزش باد باعث ایجاد اختلال در مکش طبیعی برج و کاهش دبی هوای ورودی از روی رادیاتورها به برج می‌شود. همچنین در اثر عبور باد از روی دهانه خروجی برج و ممانعت از خروج هوای گرم داخل، برج دچار خفگی می‌شود. علاوه بر این به دلیل افزایش سرعت جریان هوا به صورت مماسی روی رادیاتورهای کناری و کاهش فشار هوا در این ناحیه، این دسته از رادیاتورها با کاهش شدید مکش هوا روبرو هستند. اثر منفی این پدیده‌ها، سبب کاهش قدرت سرمایی برج شده و دمای آب چگالنده را زیاد می‌کند. در نتیجه، فشار چگالنده افزایش یافته و توان تولیدی توربین و نیروگاه کم می‌شود.

در سالهای اخیر موضوعات فراوانی در خصوص بکارگیری تجهیزات جدید و تغییر در هندسه برج برای بهینه‌سازی عملکرد برج‌های خنک‌کن مطرح شده است و محققین متعددی با استفاده از روشهای عددی و تجربی، در زمینه بررسی تاثیر باد بر عملکرد برج‌های خنک‌کن تحقیق نموده‌اند. وی و همکاران [۱] 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 داده‌اند. آنها در اندازه‌گیریهای میدانی از تعدادی سرعت سنج و سنسور دماسنج استفاده نموده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزایش سرعت وزش باد تا ۶ متر بر ثانیه، باعث کاهش حدوداً ۲۰ درصد در سرعت هوای ورودی به داخل برج می‌شود که این خود منجر به کاهش بازدهی برج خنک‌کن می‌شود. در یک پژوهش میدانی و شبیه سازی عددی، امور و همکاران [۲] به بررسی عملکرد یک برج خنک‌کن خشک با مکش طبیعی تحت تاثیر وزش باد در جهات و سرعت‌های مختلف در نیروگاهی در استرالیا پرداخته‌اند. نتایج کار نشان می‌دهد که با افزایش سرعت باد، اختلاف دمای آب ورودی به برج و خروجی از رادیاتور کمتر می‌شود یا به عبارت دیگر آب به میزان کمتری در برج خنک‌کن، خنک می‌گردد و عملکرد حرارتی برج کاهش پیدا می‌کند. سو و تانگ [۳] در پژوهشی به کمک روش عددی حجم محدود، توزیع دما و جریان سیال داخل و خارج یک نوع برج خنک‌کن را بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دهد، هنگامی که سرعت باد تا ۱۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد، انتقال حرارت برج خنک‌کن بیش از ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

با توجه به مشخص شدن تاثیر نامطلوب باد بر عملکرد برج‌های خنک‌کن، محققین راههای متعددی را جهت حل این مشکل ارائه نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به استفاده از دیوار بادشکن، تغییر هندسه برج و تزریق گاز به درون برج اشاره کرد، که موارد یک و دو تاکنون در جایی عملیاتی نشده است. مددنی و همکاران [۴] در تحقیقی به بررسی تجربی اثر دیوارهای بادشکن بر روی عملکرد یک برج خنک‌کن با استفاده از تونل باد پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از این دیوارهای بادشکن راندمان برج را تا حدود ۳۳ درصد افزایش می‌دهد. الدرگ و همکاران [۵] در تحقیقی با استفاده از روش عددی المان

محدود به بررسی اثر تزریق گاز بر کارایی برجهای خنک‌کن پرداخته‌اند. در این تحقیق پنج فاکتور نرخ جریان گاز، دمای گاز، موقعیت و زاویه تزریق گاز و همچنین نوع گاز تزریقی بررسی گردیده‌اند. نتایج کار نشان می‌دهد دمای گاز تزریقی بیشترین تاثیر را بر کارایی برج دارد، چون به شدت بر اثر بویانسی برج اثر می‌گذارد و عملکرد برج را بهبود می‌بخشد. وانگ و همکاران [۶] در تحقیقی به بررسی تجربی تاثیر کانالهای هدایت کننده بر کارایی حرارتی برج در شرایط باد جانبی پرداخته‌اند. آنها در این تحقیق با ساخت مدلی از برج و قرار دادن تعدادی صفحه در اطراف آن با زوایای مختلف به بررسی کارایی حرارتی برج پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نرخ جریان جرمی هوا به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در نتیجه کارایی برج بهبود می‌یابد.

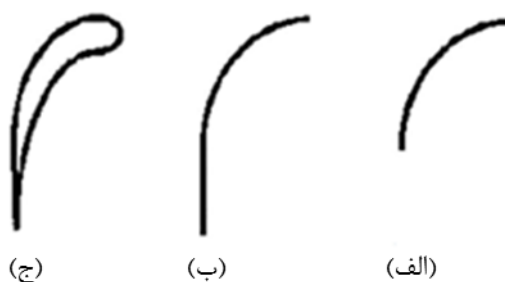
اردکانی و رنجبر [۷] در تحقیقی میدانی به بررسی تاثیر باد بر الگوی جریان ورودی به رادیاتورهای برج خنک‌کن خشک نیروگاه منتظر قائم پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با وزش باد سکتورهای قرار گرفته در موقعیت روبرو و پشت به باد دارای عملکرد مناسبی می‌باشند، ولی سکتورهای قرار گرفته در موقعیت مماس به باد به دلیل سرعت گرفتن جریان در کناره‌های برج و نحوه ورود جریان به رادیاتورها دچار افت راندمان می‌شوند. نحوه ورود جریان در دلتاهای مربوط به این سکتورها یک حرکت گردابه‌ای دارد و فقط مقدار کمی از جریان به رادیاتورها وارد می‌شود و در نتیجه دبی جریان عبوری از رادیاتورها کاهش می‌یابد. با توجه به این که باد دارای انرژی می‌باشد، اگر این انرژی به صورت کنترل شده به سیستم وارد شود دارای اثرات مفید خواهد بود. در حال حاضر ورود جریان باد به برجهای خنک‌کننده کنترل شده نمی‌باشد و در نتیجه باعث کاهش راندمان برج می‌شود. در اثر وزش باد معمولاً ۳ سکتور از ۶ سکتور برج خنک‌کننده دچار افت راندمان می‌شوند. هر سکتور دارای ۱۶ عدد دلتا می‌باشد که حداقل ۵۰ درصد از آنها در حالت بحرانی قرار دارند و به منظور افزایش انتقال حرارت، باید جریان هوا در آنها اصلاح شود.

در این مقاله به منظور اصلاح نحوه ورود جریان به رادیاتورهای قرار گرفته در سکتورهای بحرانی (سکتورهای قرار گرفته در کناره‌های برج نسبت به جهت وزش باد)، از پره‌های راهنما به عنوان یک طرح ابتکاری استفاده گردیده است. به این منظور پره‌های راهنما ساخته شده و در بحرانی‌ترین سکتور برج شماره یک نیروگاه منتظر قائم نصب گردیده است. سپس با استفاده از روش‌های مرئی سازی نظیر تافت الگوی جریان در اطراف و داخل دلتای واقع شده در پشت پره و سایر دلتاهای قرار گرفته در این سکتور بررسی شده و تاثیر آن در مقدار انتقال حرارت از سکتورهای برج ارزیابی گردیده است. علاوه بر این با استفاده از عکسبرداری حرارتی اثر الگوی جریان بر دمای آب برگشتی از رادیاتورها در داخل این دلتاها مشخص و ارائه شده است.

۲- اصول طراحی پره مورد استفاده

در بعضی از موارد نیاز است تا جریان سیال تغییر جهت یافته و در مسیرهای مشخصی جریان یابد. یکی از راه‌های تغییر جهت دادن جریان استفاده از پره‌های راهنما می‌باشد [۸]. مطالعات تجربی بر روی طراحی پره‌های مختلف به منظور استفاده در گوشه‌های ۹۰ درجه جهت هدایت جریان هوا توسط کلین و همکاران انجام شد [۹]. در این آزمایشات دو پره ورقه‌ای فلزی و دو پره با سطح مقطع ضخیم مورد آزمایش قرار

گرفت. نتیجه تحقیق انجام گرفته بر روی این پره‌ها نشان داد که توزیع یکنواخت سرعت هم با پره‌های ضخیم و هم نازک امکان پذیر است. شکل پره‌ها می‌تواند از ورقه خمیده تا یک ایرفویل باشد. پره باید به صورتی طراحی شود که ضریب تلفات آن کم بوده و علاوه بر آن هزینه ساخت آن نیز کم باشد. ضریب تلفات پره، نسبت افت فشار به فشار دینامیکی می‌باشد، که شامل تلفات اصطکاکی و تلفات ناشی از چرخش جریان می‌شود. در شکل (۱) سه نوع پره نشان داده شده‌اند که مدل الف از نوع ورقه‌ای و ضریب تلفات آن برابر ۰/۲، مدل ب از نوع ورقه‌ای با زبانه و ضریب تلفات آن ۰/۱۳ و مدل ج از نوع ایرفویلی و ضریب تلفات آن برابر ۰/۱۱ است [۸].



شکل ۱- انواع پره‌های راهنما

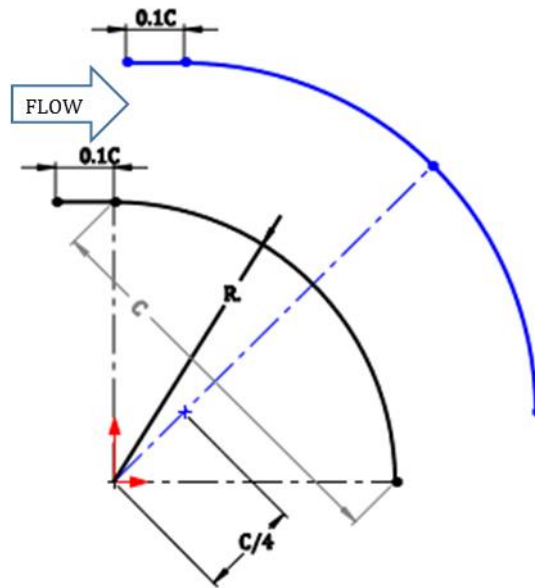
اگر چه در نوع پره ایرفویلی، ضریب افت کم است، اما وجود پره‌های ایرفویلی در قسمتی از مسیر جریان همانند دیفیوزر عمل می‌کند و احتمال ایجاد جدایش جریان هوا در لایه مرزی وجود دارد، که در صورت ایجاد جدایش جریان، تلفات افزایش می‌یابد. همچنین این پره‌ها نسبت به جهت جریان بسیار حساس می‌باشند و در جاهای کنترل شده باید نصب گردند. بنابراین با در نظر گرفتن میزان تلفات و هزینه ساخت، به طور معمول، مطابق شکل (۱ب)، از ورقه‌های به صورت قطاع دایره‌ای شکل استفاده می‌کنند که زاویه حمله آنها ۴ تا ۵ درجه و زاویه فرار آنها صفر درجه است. با توجه به تغییرات زیاد جهت جریان و همچنین در نظر گرفتن هزینه ساخت، در طراحی پره‌های نصب شده در نیروگاه منتظر قائم از پره نوع شکل (۱ب) استفاده گردیده و محاسبات طراحی آن بر اساس روابط (۱) تا (۴) [۸] و شکل (۲) بوده است.

$$c = 2 \cdot (0.1 \cdot R \cdot \sin 45^\circ) + R \cdot \sin 45^\circ + R \cdot \sin 41^\circ \quad (1)$$

$$R = 0.626c \quad (2)$$

$$H = D/N \quad (3)$$

$$B = 1.14c \quad (4)$$



شکل ۲- مشخصات هندسی پره ساخته شده

در روابط فوق C طول وتر پره، R شعاع قطاع دایره‌ای، H فاصله بین دو پره، N تعداد پره‌ها، D پهناى گوشه و B عرض ورق گوشه می‌باشد. مطابق شکل (۲)، زاویه قطاع ۸۶ درجه، زاویه حمله پره ۴ درجه، زاویه فرار صفر درجه و فاصله بین پره‌ها حدود یک چهارم وتر می‌باشد. همچنین به دو سر پره، دو زبانه اضافه شده، که طول هر یک ۰/۱ وتر است. به طور کلی نسبت فاصله بین پره‌ها به وتر برای این نوع پره (پره از جنس ورق) در بازه ۰/۲ تا ۰/۳۵ است. با توجه به موارد فوق، مطابق شکل (۳)، سازه‌ای با چهار پره به ارتفاع ۳ متر و شعاع ۱ متر و فاصله بین پره‌ای ۰/۵ متر ساخته شده است و در وسط سکتور ۲ که بر اساس داده‌های موجود در هنگام وزش باد غالب (یعنی ۲۹۰ درجه نسبت به شمال) دارای ضعیف‌ترین راندمان می‌باشد (در کناره برج قرار گرفته است)، نصب گردیده است.



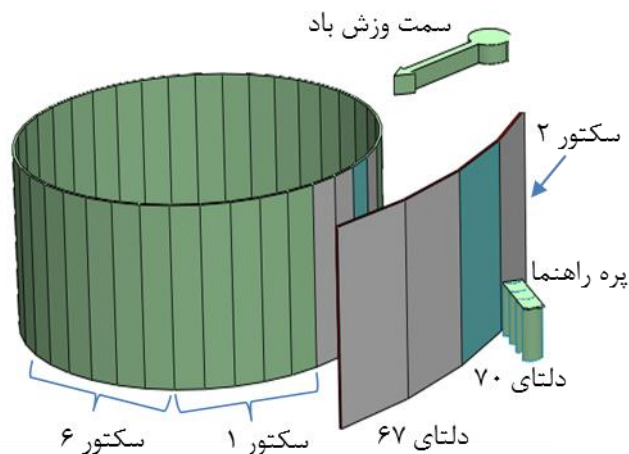
شکل ۳- پره راهنمای نصب شده در نیروگاه منتظر قائم

۳- روش آزمایش

این تحقیقات به صورت میدانی بوده و در نیروگاه برق منتظر قائم انجام شده است. این نیروگاه در حومه کرج قرار گرفته و دارای سه برج خنک‌کن خشک هلر است که در امتداد شمال به جنوب چیده شده‌اند. در این تحقیق سرعت جریان باد در اطراف قسمت پایین برج خنک‌کن و در ورودی و خروجی دلتایی که پره بر روی آن نصب گردیده و همچنین سه دلتا قبل و بعد از آن که تحت تاثیر پره نیست، ولی در سکتور بحرانی قرار دارد، اندازه‌گیری شده است و در همان زمان سرعت باد در نقطه مبنا یعنی جایی که تحت تاثیر برج قرار ندارد، نیز اندازه‌گیری شده است. همچنین به منظور تعیین الگوی جریان هوا نیاز است تا از روشهای آشکارسازی استفاده شود. روش‌های آشکارسازی موجود، نظیر دود، تافت، خاک چینی، روغن و عکسبرداری می‌باشند و روش‌های جدیدتری مانند تصویرنگاری سرعت ذرات نیز وجود دارد، که مناسب آزمایشگاه می‌باشند و در میدان غیر قابل استفاده می‌باشند. با توجه به گستره میدانی و عملیاتی بودن سایت نیروگاه، تنها روش قابل استفاده و قابل قبول تافت بود. همچنین جهت بررسی بهتر عملکرد رادیاتورها، با استفاده از دوربین حرارتی دمای آنها اندازه‌گیری شده است و نحوه توزیع دما در قسمت‌های مختلف این رادیاتورها به دست آمده و با یکدیگر مقایسه گردیده است. با توجه به این‌که پره مورد نظر در مقابل یکی از ۱۶ دلتای سکتور شماره ۲ قرار گرفته و ابعاد پره مورد نظر هم به گونه‌ای است که تنها ۲۰ درصد دلتای مورد نظر را پوشش می‌دهد، لذا به طور کلی تاثیر وجود پره در دمای آب خروجی از سکتور شماره ۲ (که دمای قابل خواندن در مرکز کنترل نیروگاه می‌باشد) قابل بررسی نمی‌باشد. از آنجایی که رادیاتورهای مورد استفاده در برجهای خنک‌کن خشک هلر از نوع مبدل‌های فورگو می‌باشند و جنس لوله‌ها و فین‌های آنها از آلومینیوم است و با توجه به ضریب انتقال حرارت هدایتی بالای آلومینیوم، می‌توان دمای سطح لوله‌ها را با دمای آب داخل آنها یکسان در نظر گرفت. بنابراین برای بررسی تاثیر پره، از اندازه‌گیری دمای سطح رادیاتورها و مقایسه آن با دمای سطح رادیاتورهای دلتاهای کناری که پره ندارند، استفاده شده است. در این اندازه‌گیری‌ها از دو عدد بادسنج دیجیتال پروانه‌ای (TERMINATOR-618) و یک عدد بادسنج دیجیتال فنجان‌ی (LUTRON AM 4420)، دوربین حرارتی (TESTO-882) و میله تافت استفاده گردیده است. بادسنج‌های به کار رفته دارای ماکزیمم خطای ۲ درصد در محدوده سرعت ۰/۳ تا ۳۵ متر بر ثانیه می‌باشند و دوربین حرارتی دارای حساسیت حرارتی ۰/۰۵ درجه سانتیگراد می‌باشد.

مرحله اول جهت دستیابی به هدف ذکر شده، یعنی تعیین الگوی جریان ورودی به دلتاها، اندازه‌گیری سرعت شعاعی (عمودی) می‌باشد. داده‌برداری از سرعت باد در ۳ ایستگاه صورت گرفته است (در ۳ دلتا)، که فاصله هر ایستگاه نسبت به هم معادل ۱۱/۲۵ درجه می‌باشد. لازم به ذکر است تعداد کل دلتاهای اطراف برج ۹۶ عدد است که هر ۱۶ دلتا تشکیل یک سکتور را می‌دهند. سکتورهای ۳ و ۴ رو به باد می‌باشند و دارای بهترین عملکرد و سکتورهای ۲ و ۵ که در کناره برج نسبت به باد غالب قرار گرفته‌اند دارای ضعیف‌ترین عملکرد می‌باشند. قابل ذکر است که محل و جهت انتخاب شده برای نصب پره، با توجه به آمار داده‌های هواشناسی منطقه در ۱۰ سال گذشته [۱۰]، در کناره برج نسبت به جهت باد غالب بوده است. بر اساس داده‌ها در ۴ ماه گرم سال (از اوایل خرداد تا اواخر شهریور ماه) حدود ۹۰ درصد مواقع سمت غالب وزش باد،

سمت ۲۹۰ درجه (روبروی سکتور شماره ۳) بوده است. شکل (۴) مشخص کننده موقعیت نقطه مبنای اندازه‌گیری، سکتورهای برج خنک‌کن و دلتاهای مورد ارزیابی می‌باشد.



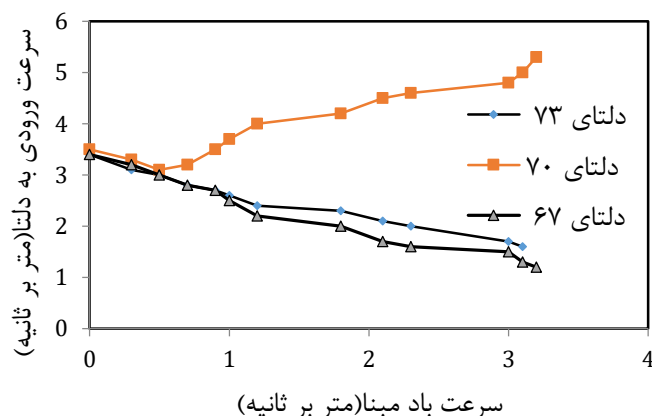
شکل ۴- شماتیک سکتورهای برج خنک‌کن

یکی از مشکلات این تحقیق میدانی تغییرات زیاد و کنترل نشده سرعت باد بوده، که به منظور رفع این مشکل و بالا بردن دقت نتایج، تعداد دفعات اندازه‌گیریها افزایش یافته است. همچنین با توجه به این که سرعت هوا کنترل شده نمی‌باشد، لذا احتمال خطا در برخی از داده‌ها وجود دارد که این خطا با استفاده از تابع توزیع گوس که اکثر پدیده‌های فیزیکی را نرمالیزه می‌کند، بررسی شده است. روش کار به این صورت بوده است که برای داده‌های برداشت شده، مقدار میانگین، میانه و انحراف معیار محاسبه شده و با توجه به مقادیر محاسبه شده مقدار چولگی بدست آمده و از روی آن متقارن یا غیرمتقارن بودن داده‌ها تشخیص داده شده است. در این تحقیق، داده‌برداری در ۱۰ روز مختلف و در هر روز ۴ نوبت و در مجموع ۴۰ مرتبه به مورد اجرا گذاشته شده است.

۴- بررسی نتایج

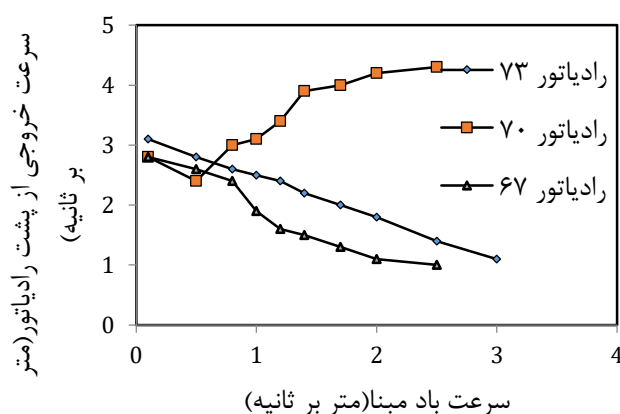
۴-۱- اندازه‌گیری سرعت

به منظور بررسی تاثیر پره راهنما بر عملکرد برج خنک‌کن، سرعت جریان شعاعی ورودی به سه دلتای مختلف واقع شده در سکتور ۲ (سکتوری که در کناره برج واقع شده و در هنگام وزش باد غالب دارای ضعیف‌ترین عملکرد می‌باشد) بر حسب سرعت مبنا اندازه‌گیری شده است. این دلتاها با توجه به جهت وزش باد دارای شماره‌های ۶۷، ۷۰ و ۷۳ می‌باشند که دلتای ۷۰ دلتایی است که پره در جلوی آن نصب شده و دلتاهای ۶۷ و ۷۳ به ترتیب در پایین دست و بالا دست آن واقع شده‌اند. نتایج اندازه‌گیری در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- سرعت جریان ورودی به دلتا بر حسب سرعت باد مبنا

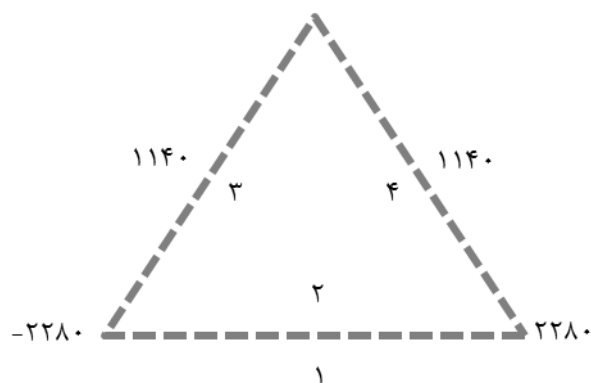
همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود، با افزایش سرعت باد مبنا، به دلیل گرفتن جریان مماسی در این سکتور و نحوه ورود جریان، سرعت جریان ورودی در دلتاهای ۶۷ و ۷۳ تا حدود ۴۰ درصد نسبت به زمان بدون باد کاهش می‌یابد، در حالی که در دلتای ۷۰ به دلیل تغییر جهت جریان مماسی و هدایت آن به سمت داخل به وسیله پره راهنما، سرعت جریان ورودی به دلتا تا حدود ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. در نتیجه به علت قرار گرفتن پره راهنما، دبی جریان ورودی به دلتا نیز به همان مقدار افزایش یافته و کارایی آن بهبود می‌یابد. شکل (۶) سرعت خروجی جریان از پشت رادیاتورهای دلتاهای قرار گرفته در سکتور ۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت باد مبنا، سرعت شعاعی خروجی از رادیاتور دلتاهای ۶۷ و ۷۳ کاهش می‌یابد و در نتیجه عملکرد حرارتی این رادیاتورها افت می‌کند، ولی سرعت خروجی از رادیاتور دلتای ۷۰ به دلیل عملکرد پره راهنما افزایش یافته و راندمان آن بهبود می‌یابد.



شکل ۶- سرعت جریان خروجی از پشت رادیاتور بر حسب سرعت باد مبنا

۲-۴- آشکارسازی جریان

یکی از تکنیک‌های قدیمی برای آشکارسازی جریان، استفاده از تافت است. تافت به رشته‌هایی از الیاف اطلاق می‌شود که دارای وزن کم و انعطاف مناسب بوده که به صورت یک سر درگیر روی مدل نصب شده و طرف دیگر آنها می‌تواند آزادانه حرکت کند. این حرکت تابعی از جهت و نوع جریان می‌باشد. با توجه به پیچیدگی جریان و گردابه‌ها، در این تحقیق با استفاده از تافت مرئی‌سازی انجام شده است تا الگوی جریان هوا در قسمت پایین ورودی‌های برج مورد ارزیابی قرار گیرد. به این منظور با استفاده از مجموعه‌ای از تافت‌ها الگوی جریان در داخل دلتای ۷۰ (دلتایی که تحت تاثیر پره راهنما قرار دارد) و دلتای ۶۷ (دلتایی که تحت تاثیر پره راهنما قرار ندارد) بررسی شده است. نحوه اندازه‌گیری به این صورت بوده که میله تافت در سه ضلع دلتا قرار گرفته و از آن تصویربرداری شده است. جهت پوشش ارتفاع نیز صفحه‌ای مشبک از تافتها در جهات مختلف قرار گرفته است. شکل‌های (۷) تا (۱۰) الگوی جریان در دلتای ۷۰ را نشان می‌دهند. شکل (۷) شماتیک سطح برش خورده افقی دلتا و مکانهای قرارگیری تافتها را نشان می‌دهد.



شکل ۷- شماتیک سطح برش خورده افقی دلتا

شکل (۸) الگوی جریان هوا در محل (۱) را نشان می‌دهد که از بیرون دلتا گرفته شده است. همانطور که در شکل (۸) دیده می‌شود، جریان در خروجی از پره‌ها به صورت شعاعی و عمود بر سطح دلتا گردیده است و به صورت موازی وارد لوور می‌شود.



شکل ۸- الگوی جریان هوا در محل ۱ دلتای ۷۰

شکل (۹) رادیاتور سمت چپ (محل ۳) و شکل (۱۰) رادیاتور سمت راست (محل ۴) را نشان می‌دهد. نحوه قرارگیری تافت‌ها در این حالت‌ها نشان دهنده این است که جریان به سمت داخل تمایل دارد و به صورت عمود وارد رادیاتورها می‌شود. در این شرایط انتقال حرارت به خوبی انجام گرفته و رادیاتورها دارای عملکرد مناسبی می‌باشند.

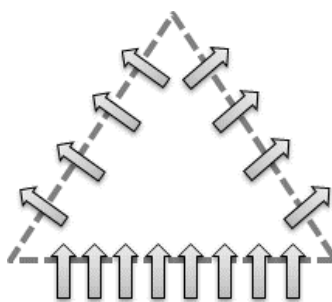


شکل ۹- الگوی جریان هوا در محل ۳ دلتای ۷۰



شکل ۱۰- الگوی جریان هوا در محل ۴ دلتای ۷۰

لذا با توجه به تصاویر تافت که در ۴ جهت نشان داده شده است، می‌توان الگوی جریان هوا در دلتای ۷۰ را به صورت شماتیک شکل (۱۱) ترسیم نمود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوی جریان شبیه دلتای قرار گرفته در سکتور رو به باد [۷] با عملکرد مناسب می‌باشد.



شکل ۱۱- شماتیک الگوی جریان در دلتای ۷۰

شکل‌های (۱۲) تا (۱۶) الگوی جریان باد در دلتای بحرانی بدون پره راهنما (دلتای ۶۷) را نشان می‌دهند. شکل (۱۲) نشان دهنده محل قرارگیری تافتها در ایستگاه ۲ (در دهانه دلتا و از سمت داخل) می‌باشد. جهت تافتها بیان کننده این است که جریان به سمت داخل و سمت چپ تمایل دارد و جهت جریان به موازات دهانه می‌باشد.



شکل ۱۲- الگوی جریان هوا در محل ۲ دلتای ۶۷

شکل (۱۳) رادیاتور سمت چپ را نشان می‌دهد. در این حالت دیده می‌شود که قسمت اعظم جریان به موازات دیواره رادیاتور حرکت می‌کند و فقط مقدار کمی از آن تمایل به عبور از رادیاتور دارد، به نحوی که در قسمت بیرونی رادیاتورها (بین ۲۲۸۰- و ۱۱۴۰- سانتی متری) جریان بیشتری از رادیاتور عبور کرده و عملکرد مناسب می‌باشد. با حرکت به سمت داخل (بین ۱۱۴۰- سانتی متری و انتهای رادیاتور) میزان جریان عبوری از رادیاتور به شدت کاهش می‌یابد و عملکرد رادیاتور افت می‌کند. در انتهای دیواره رادیاتور نیز جریان به سمت دیواره سمت راست می‌چرخد.



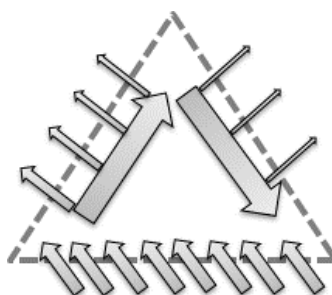
شکل ۱۳- الگوی جریان هوا در محل ۳ دلتای ۶۷

شکل (۱۴) رادیاتور سمت راست را نشان می‌دهد. در این حالت دیده می‌شود که قسمت اعظم جریان به موازات دیواره رادیاتور و به سمت دهانه خروجی حرکت می‌کند. در قسمت داخلی رادیاتور (فاصله بین انتهای رادیاتور و ۱۱۴۰ سانتی متری) جریان بسیار کمی از رادیاتور عبور می‌کند. با حرکت به سمت بیرون (بین ۱۱۴۰ و ۲۲۸۰ سانتی متری) جریان عبوری از رادیاتور وجود ندارد و این قسمت رادیاتور دارای عملکرد بحرانی می‌شود و در انتهای دیواره نیز جریان به سمت دهانه بیرونی و به موازات لوور می‌چرخد.



شکل ۱۴- الگوی جریان هوا در محل ۴ دلتای نامناسب

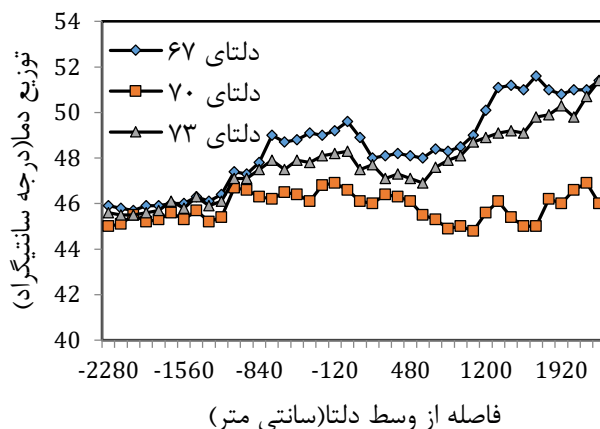
لذا با توجه به تصاویر تافت که در ۴ موقعیت مختلف نشان داده شده است، می‌توان الگوی جریان هوا در دلتای نامناسب را به صورت شماتیک شکل (۱۵) ترسیم نمود. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، جریان درون دلتا یک حرکت گردابه مانند را دارد که این امر باعث عدم نفوذ جریان به داخل رادیاتورها و در نتیجه کارکرد نامناسب آنها می‌شود.



شکل ۱۵- شماتیک جریان درون دلتای ۶۷

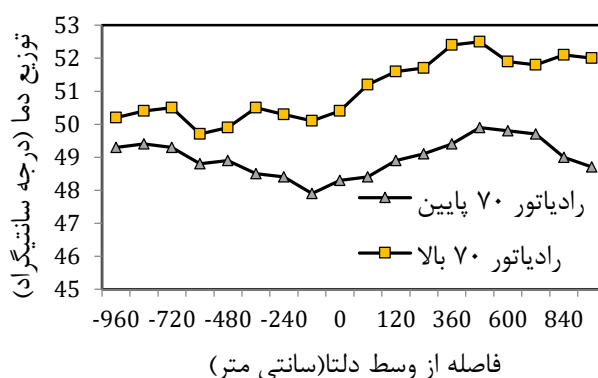
۴-۳- اندازه‌گیری دما

با توجه به پیچیدگی‌های اندازه‌گیری میدانی، به منظور بررسی بهتر الگوی جریان، مناسب است توزیع دما در دلتاهای مربوطه اندازه‌گیری شود. کاملاً مشخص است در صورتی که انتقال حرارت به خوبی انجام شود و جریان باد از رادیاتورها عبور کند دمای آن قسمت از رادیاتور پایین‌تر خواهد بود. لذا مکان‌هایی که دما بالاتر نشان داده می‌شود، نشانگر عدم انتقال حرارت مناسب و یا به عبارت دیگر عدم عبور جریان هوای مناسب خواهد بود. شکل (۱۶) توزیع دما بر روی رادیاتور دلتاهای سکتور ۲ را در سرعت باد مبنای ۳ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دلتاهای ۶۷ و ۷۳، از سمت چپ رادیاتور سمت چپ به سمت راست رادیاتور راست (بین ۲۲۸۰- تا ۲۲۸۰ سانتی متری)، دما به تدریج افزایش می‌یابد که دلیل آن نحوه ورود جریان به رادیاتورها می‌باشد که نشان دهنده یک حرکت گردابه مانند می‌باشد. در دلتای ۷۰ به دلیل تاثیر پره راهنما، توزیع دما بر روی رادیاتورهای چپ و راست یکنواخت شده و مقدار میانگین آن به میزان ۱/۹ درجه سانتیگراد کاهش یافته است، که می‌توان این مقدار را متناسب با میزان کاهش دمای آب رادیاتورها دانست. در نتیجه می‌توان گفت که جریان ورودی اصلاح و عملکرد آن دلتا بهبود یافته است.



شکل ۱۶- توزیع دما در رادیاتورهای دلتاها

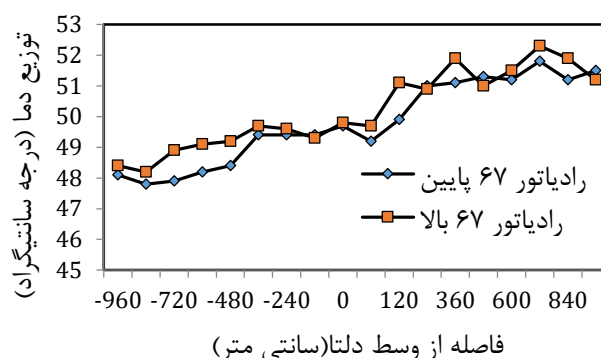
شکل (۱۷) نشان‌دهنده توزیع دما بر روی رادیاتورهای دلتای ۷۰ در سرعت ۳ متر بر ثانیه می‌باشد. از آنجایی که ارتفاع سازه نصب شده ۳ متر می‌باشد، توزیع دما در قسمتهایی از رادیاتور دلتای ۷۰ که تحت تاثیر پره راهنما قرار دارد (در قسمت پایین یعنی ارتفاع ۱/۵ متری) و قسمتی که تحت تاثیر پره راهنما قرار ندارد (در قسمت بالا یعنی ارتفاع ۴/۵ متری) اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان‌دهنده دمای پایین‌تر در قسمتهایی از رادیاتورها است که تحت تاثیر پره قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۷- توزیع دما در قسمتهای بالا و پایین رادیاتورهای دلتای ۷۰

همچنین جهت مقایسه تاثیر پره بر عملکرد یک رادیاتور، در شکل (۱۸) توزیع دما در نقاط متناظر رادیاتورهای دلتای ۶۷ نیز اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که در شکل (۱۸) دیده می‌شود، نتایج نشان‌دهنده اختلاف کم دمای قسمت بالا و پایین رادیاتور می‌باشد در حالی که در دلتای ۷۰ در اثر وجود پره میانگین اختلاف دما افزایش یافته است. با مقایسه میزان انتقال حرارت در دلتای دارای پره با دلتای بدون پره میزان عملکرد حرارتی دلتای دارای پره ۲۳ درصد بیشتر از دلتای بدون پره می‌باشد. تعداد کل دلتاهای برج خنک‌کن مورد آزمایش ۹۶ عدد می‌باشد که ۳۲ عدد از آنها در زمان وزش باد در حالت بحرانی قرار می‌گیرند

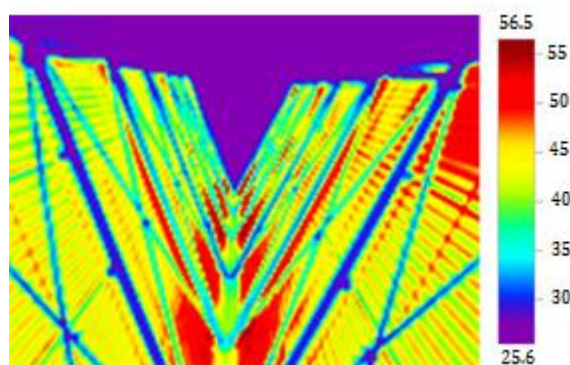
و پیشنهاد می‌گردد برای آنها از پره راهنما استفاده گردد. بنابراین با توجه به این تعداد دلتای دارای پره می‌توان نتیجه گرفت که بهبود کل راندمان برج حدود ۷ درصد خواهد شد.



شکل ۱۸- توزیع دما بر روی رادیاتورهای بالا و پایین

۴-۴- مرئی سازی حرارتی

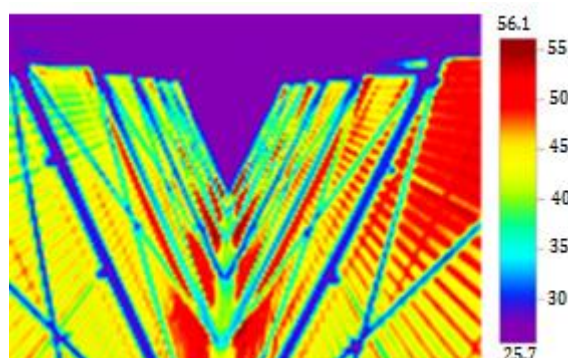
جهت بررسی بیشتر از نحوه توزیع دما بر روی رادیاتورهای دلتاهای ۶۷ و ۷۰، با استفاده از دوربین حرارتی از آن دلتاها تصویربرداری شده است. شکل (۱۹) تصویر حرارتی دلتای ۷۰ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱۹) نشان داده شده است، قسمت اعظم سطح پایین رادیاتور که تحت تاثیر پره می‌باشد، دارای دمای یکنواخت حدود ۴۸ درجه می‌باشد. لازم به ذکر است دمای سطح رادیاتور بین ۲۵/۶ تا ۵۶/۵ درجه سانتیگراد تغییر می‌کند. با توجه به آزمایشاتی که با استفاده از تافت انجام شده و همچنین تصویرهای حرارتی می‌توان الگوی جریان را مطابق شکل (۱۱) تایید کرد.



شکل ۱۹- تصویر حرارتی دلتای ۷۰

شکل (۲۰) تصویر حرارتی دلتای ۶۷ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۲۰) نشان داده شده است، توزیع دما بر روی رادیاتورها به صورت یکنواخت نمی‌باشد و کمترین دما مربوط به رادیاتور سمت چپ (رادیاتور رو به باد) می‌باشد و به سمت داخل رفته رفته دما افزایش می‌یابد و بیشترین دما مربوط به قسمت بیرونی رادیاتور سمت راست می‌باشد. لازم به ذکر است دمای سطح رادیاتور بین ۲۵/۷ تا ۵۶/۱ درجه تغییر

می‌کند. با توجه به آزمایشاتی که با استفاده از تافت انجام شده و همچنین تصویرهای حرارتی می‌توان الگوی جریان را مطابق شکل (۱۵) تایید کرد.



شکل ۲۰- تصویر حرارتی دلتای ۶۷

۵- جمع بندی

با توجه به تحقیقات میدانی انجام شده و بررسی داده‌ها در ارتباط با برج خنک‌کن خشک مشاهده می‌شود که با وزش باد تعدادی از رادیاتورهای واقع شده در سکتورهای جانبی برج دچار افت عملکرد می‌شوند. این افت در سرعت‌های کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه، زیاد نیست ولی با افزایش سرعت باد مینا، به دلیل افزایش شدید سرعت مماسی در کناره‌های برج، به شدت افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت مماسی، سرعت شعاعی (عمودی) جریان ورودی به دلتاهای جانبی برج به صورت خطی شروع به کاهش می‌کند و به عنوان مثال در سرعت باد مینای ۳ متر بر ثانیه، حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، که این به معنای کاهش دبی جریان ورودی به برج می‌باشد. همچنین به دلیل زاویه جریان ورودی در کناره‌های برج نسبت به دلتا، جریان یک حرکت گردابه‌ای پیدا می‌کند و جریان عبوری از روی رادیاتورها کاهش می‌یابد. استفاده از پره‌های راهنما در سکتورهای جانبی برج نشان می‌دهد که جریان ورودی به سکتور از حالت گردابه‌ای خارج و به حالت شعاعی تبدیل شده است و در واقع الگوی آن اصلاح گردیده است. همچنین با افزایش سرعت باد مینا، سرعت جریان ورودی به دلتاهای کناری برج به صورت خطی افزایش یافته و به عنوان مثال در سرعت باد مینای ۳ متر بر ثانیه، حدود ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. بررسی توزیع دما در دلتای واقع شده در پشت پره نیز نشان می‌دهد، که توزیع دما بر روی سطح رادیاتورهای این دلتا یکنواخت شده و مقدار میانگین آن کاهش یافته و به عنوان مثال در سرعت باد مینای ۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین آن به میزان ۱/۹ درجه سانتیگراد کاهش یافته است. به طور کلی می‌توان گفت که در اثر قرار گرفتن پره‌های راهنما، عملکرد دلتای واقع شده در سکتور جانبی برج خنک‌کن، شبیه دلتاهای واقع شده در سکتورهای رو به باد برج، که در اثر وزش باد دارای عملکرد مناسبی می‌باشند، شده است. تعداد کل دلتاهای برج خنک‌کن مورد آزمایش ۹۶ عدد می‌باشد که ۳۲ عدد از آنها در زمان وزش باد در حالت بحرانی قرار می‌گیرند و پیشنهاد می‌گردد برای آنها از پره راهنما استفاده گردد. بنابراین با توجه به این تعداد دلتای دارای پره می‌توان نتیجه گرفت که کل راندمان برج حدود ۷ درصد بهبود خواهد یافت.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مسئولین محترم برق منطقه‌ای تهران و همچنین مسئولین و کارشناسان نیروگاه منتظر قائم که ضمن پشتیبانی، شرایط لازم برای این تحقیق را فراهم نمودند، تقدیر و تشکر نمایند.

مراجع

- [1] Wei, Q., Zhang, B., and Liu, K., "A Study of the Unfavorable Effects of Wind on the Cooling Efficiency of Dry Cooling Towers", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 54/55, pp. 633-643, (1995).
- [2] Amur, G., Milton, B., Reizes, J., and Madadnia, J., "Role of Plant Building in a Power Station Acting as Barrier to the Wind Affecting the Natural Draft Cooling Tower Performance", 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, Australia, (2004).
- [3] 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, (1999).
- [4] Madadnia, M., Koosha, H., and Mirzaei, 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).
- [5] Eldredge, T. V., Benton, D. J., and Hodgson, J. W., "An Investigation of the Effects of Flue Gas Injection on Natural Draft Cooling Tower Performance", *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, Vol. 119, pp. 478-484, (1997).
- [6] Wang, K., Feng, Z. S., and Yuan, B. Z., "Experimental Research of the Guiding Channels Effect on the Thermal Performance of Wet Cooling Towers Subjected to Crosswinds", *Applied Thermal Engineering Journal*, Vol. 30, pp. 533-538, (2010).
- [7] 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). (In Persian)
- [8] Ardekani, M. A., "*Design and Application of Low Speed Wind Tunnel*", pp. 142-170, Khaje Nasir Toosi University Publication, Tehran, (2009). (In Persian)
- [9] Klein, G. J., Tupper, K. F., and Green, J. J., "The Design of Corners in Fluid Channels", *Canadian Journal of Research*, Vol. 3, pp. 30-40, (1930).
- [10] Metrological Report, "Karaj Agricultural Synoptic Weather Station Publication", Vol. 4, (2012). (In Persian)

Abstract

Wind is one of the environmental factors affecting the performance of the dry cooling tower. Given the identified adverse effects of wind on the dry cooling towers, Researchers have presented several ways to solve this problem which include the use of wind break wall, changing the geometry of the tower, and the gas injected into the tower. In this study, the use of guide vanes proposed as a new work and by using a structure with four vanes and install it in the weakest delta, The air flow pattern around the bottom of the tower and the tower deltas of Montazarghaem plant power has been checked in the field. The results of using guide vanes at the side sectors of tower shows that, Inflow to the sector, exited from the vortex mode and converted to a radial mode. Also, with increasing reference wind speed, Inflow velocity of side deltas of the tower with guide vanes increases linearly up to about 35 percent, while with no vanes decreases about 40 percent. Temperature distribution on delta located at the back of the vane also shows that the uniform temperature distribution on the surface of the radiator and the average rate decreased about of $1/9$ °c and this value can be considered proportional to reduction in radiator temperature.