



## تحلیل اثرات نامطلوب وزش باد بر روی یک برج خنک کن خشک هلر در یک نیروگاه حرارتی ترکیبی و بهینه‌سازی عملکرد آن

اسداله غفاری آقابابایی - دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی - دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

ابوالحسن غفارنژاددین محمدی - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

شهاب علیزاده - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

E-mail: [ghaffari348ara@gmail.com](mailto:ghaffari348ara@gmail.com)

چکیده: عموماً یک نیروگاه حرارتی ترکیبی شامل چندین واحد تولید بخار می‌باشد که در کنار یکدیگر نصب می‌شوند. هر واحد بخار به طور مجزا دارای یک برج خنک کن می‌باشد که وظیفه دفع حرارت بخار خروجی از توربین همان واحد را برعهده دارد. برج‌های خنک کن که در کنار هم قرار می‌گیرند در معرض وزش باد محیط اطراف قرار خواهند گرفت. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که اثر 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 و جهت کاهش آنها استفاده از باد شکن‌ها و یا دودکش با دهانه بیضوی مورب پیشنهاد شده است. در این تحقیق، بمنظور بررسی اثر نامطلوب باد با استفاده همزمان هر دو طرح یک برج خنک کن خشک با دهانه خروجی بیضوی با نسبت قطر ۲:۱ شبیه‌سازی شده است نتایج بدست آمده با نتایج طرح معمول در هوای ساکن و نیز با حالت دهانه خروجی دایروی تحت وزش باد ۳ m/s مقایسه شده‌اند. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که برج‌های بیضوی که قطر بزرگ آنها در مقابل باد است می‌تواند راندمان بهتری داشته باشد و شکل هندسی با نسبت قطر ۲:۱ به‌عنوان شکل بهینه بجای برج دایروی پیشنهاد می‌شود که در مقایسه با آن حدود ۱۲٪ بیشتر راندمان دارد.

واژه‌های کلیدی: برج خنک‌کاری خشک هلر، اثر باد، پلوم، دودکش، دیوار بادشکن، شکل هندسی بیضوی

## Analysis of Unfavorable Effects of Wind on a Dry Cooling Tower and Optimization of its Performance

A. A. Ghaffari, M.S. student in, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

A. A., Ghaffarnezad, Ass. Prof., Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

S. Alizadeh, Ass. Prof., Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

**Abstract:** The thermal and combined-cycle power plants generally consist of several steam-electric power stations which are made and installed next to each other. Each steam-electric power station has a separate cooling tower that is responsible for heat loss of steam output from the same station. The cooling towers are built sides by sides that will be under the effect of each other during the wind blowing of the surrounding environment. Some studied works have shown the unfavourable effects of wind arises two factors of the vortex flow around the radiators and tilting the exhaust plume of their flues. They purposed in order two reduce these effects use windbreak wall next to the radiators or tilting the exhaust plume. This study use both purposes simultaneously, considering a tilting the exhaust plume with elliptical cross section., a dry cooling tower is simulated. The results are compared with the obtained results with a simple cooling tower with circular section in two case; no wind conditions and a wind of 3 m/s speed. This comparission show that the cooling tower with elliptical cross exposing front of wind has better performance. A more examination of the results it reveals that the cooling tower with elliptical cross section with a diameter ratio of 2:1 is determined a optimum cross section which in compared of circular cross section has 12% higher efficiency.

**Keywords:** heler cooling tower, wind effect, plume, windbreak wall and elliptical cross section.

## ۱- مقدمه

یکی از اجزای مهم یک نیروگاه بخار برج خنک‌کن می‌باشد و در مناطقی که دسترسی به آب مشکل باشد از برج خنک‌کن خشک استفاده می‌شود. این برج از دو بخش مجزا تشکیل می‌شود که بخش تحتانی آن استوانه‌ای با ارتفاع کم و قطر بزرگ بوده و شامل رادیاتورها بوده که آب‌گرم خروجی از کندانسور داخل آنها جریان دارد و بخش فوقانی آن دودکش استوانه‌ای با ارتفاع زیاد و قطر کم می‌باشد. این دو بخش توسط یک بخش مخروطی شکل به هم متصل می‌شوند.

طراحی برج عموماً براساس شرایط سکون هوای اطراف برج صورت می‌گیرد. تجربه نشان داده که وزش باد اثر نامطلوبی بر عملکرد برج حرارتی دارد بطوریکه مشاهدات تجربی و شبیه‌سازی عددی نشان داده که اگر سرعت وزش باد بیش از  $3 \text{ m/s}$  باشد مقدار هوای ورودی به داخل برج که از روی رادیاتورها عبور می‌کند کاهش یافته و در نتیجه از میزان انتقال حرارت بر روی رادیاتورها نیز کاسته خواهد شد [۱].

اولین مطالعه عددی برای بررسی علل این موضوع توسط پریز و کروگر (Preez and Kroger) [۲] انجام شد. مطالعه تجربی توسط وی (Wei) و همکاران [۳] انجام شد. نتایج این مطالعات نشان داده که دو عامل اساسی باعث کاهش کارایی برج به هنگام وزش باد می‌شوند. عامل اول وجود جریان شتاب‌یافته در اطراف بخش تحتانی (یا همان منطقه رادیاتورها) است که منجر به کاهش موضعی فشار هوا در این منطقه و همچنین باعث 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 (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 کانتور بردارهای سرعت نشان داده شده‌اند. با توجه به وابستگی میزان انتقال حرارت رادیاتورها به الگوی جریان در مجاورت آنها بسیاری از محققین به ارائه راه‌حلهایی در این منطقه از برج برای کاهش اثر نامطلوب جریان کم‌فشار و پرسرعت طرفین برج (عامل اول) پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به کار الوکد و بهینا (Al-Waked and Behnia) [۴] اشاره نمود. آنها با شبیه‌سازی عددی جریان حول برج، استفاده از دیوارهای بادشکن را به‌عنوان گزینه‌ای برای کاهش اثر ناحیه کم‌فشار اطراف رادیاتورها پیشنهاد نموده‌اند. این بادشکن‌ها در راستای عمود بر مسیر وزش باد از کنار رادیاتورها بصورت شعاعی گسترش می‌یابند. پرویزی در یک مطالعه‌ای [۵] از طریق تحلیل عددی استفاده از بادشکن را برای این منظور پیشنهاد کرده‌اند.

به منظور کاهش اثر باد بر کج شدن پلوم خروجی و جلوگیری از ایجاد پدیده خفگی در دهانه دودکش برج گودرزی و رئوفی [۹] طرحی را پیشنهاد داده‌اند که باعث بهبود عملکرد حرارتی برج می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد که در مناطقی که جهت وزش باد از یکسو 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 بهینه‌ای است که با شبیه‌سازی و اندازه‌گیری درصد کاهش میزان انتقال حرارت مقدار آن حدود ۲۷ درجه بدست آمده‌است. لازم به یادآوری است این تحقیق در مورد برج‌های هذلولی بوده است. در این مقاله به بررسی برج‌های هلر پرداخته می‌شود و اثر هر دو عامل نامطلوب بر راندمان حرارتی برج خنک‌کن مطالعه گردیده‌است. برای این منظور طرح بکارگیری همزمان بادشکن و دودکش با دهانه مایل در برج هلر پیشنهاد شده است.

## ۲- معادلات حاکم و مدل عددی

برای شبیه‌سازی عددی جریان در اطراف و درون برج باید معادلات حاکم بر جریان و نیز شرایط مرزی آن را مشخص کرد. جریان در برج بویژه در غیاب وزش باد براساس نیروی شناوری ایجادشده ناشی از اختلاف دمای هوای درون و بیرون برج به وجود می‌آید. هوای سرد بیرون در گذر از رادیاتورها حرارت آب‌گرم خروجی از چگالنده را جذب کرده و گرم می‌شود، پس چگالی آن کاهش می‌یابد. البته تغییر چگالی آنقدر کوچک است که با تقریب بسیار خوبی می‌توان جریان را تراکم ناپذیر در نظر گرفت. اما برای در نظرگرفتن نیروی شناوری ناشی از اختلاف کوچک چگالی می‌توان در معادله اندازه حرکت در جهت خلاف شتاب ثقل از تقریب بوزینسک (Boussinesq) [۶] استفاده کرد. درضمن جریان درون برج به علت عدد گراشف بالا مغشوش می‌باشد. لذا معادلات حاکم بر جریان مغشوش تراکم ناپذیر دائم با تقریب بوزینسک و همراه با انتقال حرارت شامل معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، انرژی و مدل اغتشاشی می‌باشند. جهت اختصار فقط معادله پیوستگی و معادلات اندازه حرکت برای نشان دادن تقریب بوزینسک ارائه شده‌اند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

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

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

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

در این روابط  $u, v, w$  به ترتیب مؤلفه‌های سرعت در مختصات کارتزین،  $p$  فشار استاتیکی،  $\rho$  چگالی هوا،  $v_{eff}$  ویسکوزیته دینامیکی مؤثر،  $T$  و  $T_{\infty}$  به ترتیب دمای هوا و دمای مرجع،  $\beta$  ضریب تراکم‌پذیری هوا و  $g$  شتاب ثقل می‌باشند. مدل اغتشاشی به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق مدل  $k-\epsilon$  استاندارد [۷] می‌باشد. برای حل عددی میدان جریان در تمام حالات از یک میدان نیم‌استوانه‌ای استفاده شده‌است. به‌علت وجود تقارن در صفحه وزش باد نیمه صفحه شبیه‌سازی شده‌است. شکل (۲) میدان جریان را نشان می‌دهد، قاعده پایینی نیم‌استوانه زمین و قاعده بالایی مرز خروجی جریان در نظر گرفته شده‌است. برای دیوارهای برج، دیوار بادشکن و نیز سطح زمین از شرط مرزی دیوار آدیاباتیک استفاده شده‌است. در سطح تقارن نیز شرط مرزی تقارنی در نظر گرفته شده‌است. 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 براساس اطلاعات مبدل‌های فورگو [۸] روابطی برحسب مقدار سرعت عمود بر رادیاتورها به کار رفته‌است [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 شده‌است. البته در این حالت شرط سیال دور دست خط‌هایی را در جریان دور دست بوجود می‌آورد که با بزرگ بودن محدوده میدان جریان می‌توان اثر آن در مجاورت برج را کاهش داد. از طرف دیگر چون هدف مقایسه رفتار دو طرح برج می‌باشد به‌کارگیری شرایط مرزی یکسان پاسخگوی هدف مورد نظر خواهد بود. در حالت وزش باد سطح جانبی نیم‌استوانه میدان جریان به صورت مرز ورودی سرعت (جریان) در نظر گرفته شده‌است. سایر سطوح هم به صورت تقارنی در شرایط مرزی مدل شده‌اند.

### ۳- بحث و بررسی نتایج

اساس ایده موردنظر بسیار ساده است. برای کاهش اثر خفگی در دهانه خروجی برج باید سطح مقطع برج را بدون کاهش قطر آن افزایش داد. بدین 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. ضمناً 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. همچنین متوسط ارتفاع دودکش برج برابر با همان طرح معمول می‌باشد. در منطقه رادیاتورها برای کاهش جریان‌های گردابه‌ای بوجود آمده و نیز جهت جلوگیری از جدایش جریان در پشت برج، و نیز به منظور افزایش دبی جرمی هوای ورودی به رادیاتورها از دو دیوار بادشکن در زوایای  $90^\circ$  و  $270^\circ$  درجه، عمود بر جریان باد استفاده می‌کنیم. شکل (۳) وضعیت برج را در هنگام وزش باد با طرح پیشنهادی نشان می‌دهد. همانطوریکه در این شکل نشان داده شده 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 بصورت عددی در دو وضعیت؛ یکی بدون وزش باد و دیگری در حالت وزش باد با سرعت  $10 \text{ m/s}$  شبیه‌سازی شد.

در جدول (۱) دبی جرمی ورودی به رادیاتورها و مقدار انتقال حرارت حاصل از نتایج عددی در حالت بدون وزش باد برای طرح معمول برج، و برج همراه بادشکن و دودکش با دهانه مایل با زاویه  $27^\circ$  نسبت به سطح افق، درج شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که استفاده از دیوار بادشکن و مایل کردن دهانه خروجی در هوای ساکن اندکی از دبی جرمی هوای ورودی به برج و میزان 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. چون هدف از به کارگیری این طرح بهبود عملکرد برج در حالت وزش باد است، مشاهده می‌شود که استفاده از این طرح بر عملکرد برج در هوای ساکن تأثیر چندانی ندارد. جدول (۲) درصد افزایش میزان انتقال حرارت را نسبت به وضعیت بدون وزش باد در حالتی که باد با سرعت  $10 \text{ m/s}$  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 درج شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که به کارگیری همزمان دیوار بادشکن و دودکش با دهانه مایل بهبود قابل توجهی در عملکرد برج خشک‌کن 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.

شکل (۴) خطوط همدمای در صفحه تقارن را نشان می‌دهد. این خطوط محدوده پلوم خروجی را نشان می‌دهند. بطوریکه در این شکل‌ها مشاهده 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. شکل (۵) طیف دما را در این دو طرح نشان می‌دهد و به گونه‌ای واضح تر گواه 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.

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

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 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 زیاد شدن دبی جرمی هوای عبوری از برج و نزدیکی راندمان طرح پیشنهادی به راندمان طراحی برج می‌باشد.

در بررسی نتایج عددی در طرح هندسی بیضوی وزش باد باعث بهم‌ریختگی توزیع منظم سرعت خروجی در دهانه برج می‌شود. باتوجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود که رادیاتورها از یک طرف موردحمله بادقرارگرفته و از طرف دیگر در ناحیه جدایش جریان واقع شده‌اند. همچنین رادیاتورهایی که موازی راستای وزش باد بوده و بحرانی‌ترین منطقه رادیاتورهاست، اندازه سرعت مماسی به شدت افزایش یافته که این افزایش سرعت باعث کاهش فشار شده بطوریکه از محل آنها هوای کمی وارد برج می‌شود. بنابراین مکش برج در این نواحی به شدت افت خواهد نمود و باعث کاهش راندمان برج می‌شود. در صورتیکه رادیاتورهایی که روبروی باد قرار گرفته‌اند، دچار افزایش فشار کل در بخش ورودی خود شده که باعث می‌شود دبی بیشتری از هوا از این ناحیه وارد برج گردد. از طرف دیگر رادیاتورهایی که در پشت برج قرار گرفته‌اند، در ناحیه جدایش جریان واقع شده‌اند که این به‌طور طبیعی مکش برج را دستخوش تغییرات زیادی نمی‌کند اختلاف اندازه حرکت بین جریان ورودی از رادیاتورهای واقع در ویک و رادیاتورهای روبروی باد، در داخل برج، به سمت کناری متمایل شده و یک جفت گردابه در کنار خط مرکزی برج تشکیل

رادیاتورها به خوبی صورت نگرفته و آب خروجی از رادیاتورها دمای بالایی دارد. در طرح پیشنهادی به‌علت به‌کارگیری دیوار بادشکن در اطراف رادیاتورها توزیع دما در این بخش یکنواخت‌تر است، طیف دمای مربوط به ناحیه گردابه‌ای درون برج کوچکتر شده و به همین دلیل مکش برج افزایش یافته‌است. برای بررسی بیشتر، میدان سرعت در مقطع میانی بخش تحتانی برج (رادیاتورها) در شکل (۶) نشان داده شده است. این شکل به روشنی نشان می‌دهد که محدوده ناشی از جریان گردابه‌ای در طرح پیشنهادی کاهش یافته‌است و اندازه گردابه‌ها در ناحیه رادیاتورها کوچکتر شده‌است بنابراین دبی جرمی ورودی به برج افزایش می‌یابد.

در شکل (۷) پروفیل سرعت در حالت‌های مختلف نشان داده شده‌است. بطوریکه از این شکل مشاهده می‌شود برای طرح معمول برج در هوای ساکن یک پروفیل کاملاً منظم و متقارن در دهانه خروجی دارد. برای حالت وزش باد با سرعت  $10 \text{ m/s}$  این پروفیل به‌علت ایجاد خفگی در جریان خروجی نامنظم شده و در جهت باد منحرف می‌شود. در طرح پیشنهادی به علت استفاده از دودکش با دهانه مایل دیده می‌شود که به دلیل تضعیف خفگی در جریان خروجی پروفیل سرعت منظم‌تر است.

در شکل (۸) توزیع موضعی سرعت در خط مرکزی دهانه خروجی برج در حالت‌های مختلف نشان داده شده‌است. این نمودارها 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. این ناشی از دو عامل؛ یکی ایجاد خفگی در دهانه برج و دیگری کم بودن دبی عبوری از برج به علت وجود جریان‌های گردابه‌ای و جدایش جریان در قسمت رادیاتورها است. در طرح پیشنهادی به‌علت استفاده از دودکش با دهانه مایل دیده می‌شود که به واسطه تضعیف خفگی در جریان خروجی پروفیل سرعت

از بین می‌برد. ثالثاً باتغییرشکل سازه برج، ازحالت دایروی به حالت بیضوی، مشخص شد که می‌توان از اثرات نامطلوب باد کاست و میزان انتقال حرارت رادیاتورها را با قراردادن بیشتر آنها در معرض باد افزایش داد. برای رسیدن به این منظور باید سازه برج بیضوی را به نحوی در معرض باد قرارداد که قطر بزرگ بیضی در مقابل باشد تا تعداد رادیاتورهای بیشتری در معرض و در مقابل باد قرارگیرند. باید توجه داشت که اگر قطر بزرگ در مقابل باد قرار نگیرد نتیجه عکس را دربر خواهد داشت. بنابراین در نواحی که باد همواره در اکثر مواقع سال در یک جهت وزیده می‌شود، برج‌های بیضوی که قطر بزرگ آنها درمقابل باد است می‌تواند راندمان بهتری داشته باشد و شکل هندسی با نسبت قطر ۲:۱ به‌عنوان شکل بهینه بجای برج دایروی پیشنهاد می‌شود که در مقایسه با آن حدود ۱۲٪ بیشتر راندمان دارد. در حالت دیگر در هر قسمت از رادیاتورها که در معرض وزش باد است، با بستن لوورهای آن به مقدار لازم و با توزیع نامتقارن آب در رادیاتورها، دبی جرمی آب در رادیاتورهای روبروی باد را افزایش داده تا به همان میزان از رادیاتورهای دیگر که توانایی خنک‌کاری کمتری دارند کاسته شود. به‌کارگیری این روش راندمان برج تحت وزش باد را به حالت طراحی (برج دره‌وای ساکن) بسیار نزدیک می‌کند. در واقع می‌توان گفت اثرات نامطلوب باد را تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

#### ۵- مراجع

- [1] Kapas, "Behavior of Natural Draught Cooling Towers in Wind", CMFF, 30, Budapest, Hungary, 2003.
- [2] Preez, A. F. Du and Kroger, D. G. "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",

می‌دهد، که وجود این این گرده‌ها توزیع یکنواخت جریان هوای گرم داخل برج را از بین برده و با ایجاد افت فشار در مسیر جریان هوا، باعث کاهش دبی عبوری ازبرج شده و در نتیجه راندمان خنک‌کاری برج را کاهش می‌دهد. با نگاهی اجمالی به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که درحالت وزش باد، اتفاق‌های ذکرشده کم و بیش برای همه حالت‌ها مورد بررسی در این تحقیق وجوددارد اما برج خنک‌کن بیضوی با نسبت قطر ۲:۱ نسبت به دیگر برج‌ها با نسبت قطرهای مختلف بویژه حالت دایروی دارای راندمان بهتری است. علت این امر آن است که تعداد رادیاتورهایی که در معرض باد و در قسمت پشت باد قرار گرفته‌اند بیشتر می‌باشند. بنابراین شکل هندسی ۲:۱ به عنوان شکل بهینه و پیشنهادی بجای برج دایروی (بانسبت قطر ۱:۱) معرفی می‌شود که نسبت به آن حدوداً ۱۲٪ بیشتر راندمان دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله بمنظور بررسی اثر نامطلوب وزش باد بر روی یک برج‌خنک‌کن، در حال‌های مختلف سازه برج شبیه‌سازی و جریان باد بر روی آن بررسی گردید. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد اولاً در مناطقی که جهت وزش باد از یکسو می‌باشد می‌توان از دودکش‌هایی 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 می‌دهد. ثانیاً مشخص گردید که استفاده از بادشکن‌ها در قسمت رادیاتورها نیز باعث افزایش دبی جرمی هوای ورودی به رادیاتورها شده و جدایش جریان در قسمت پشت به باد را به تعویق می‌اندازد. اثر نامطلوب طرح پیشنهادی بسیار بیشتر از طرح پیشنهادی بادشکن‌ها و یا طرح پیشنهادی مقطع خروجی مایل است. به کارگیری این طرح راندمان برج خنک‌کن خشک هلر تحت وزش باد را به حالت طراحی (برج در هوای ساکن) بسیار نزدیک می‌کند و در واقع می‌توان گفت که اثرات نامطلوب وزش باد را تا حد قابل قبولی

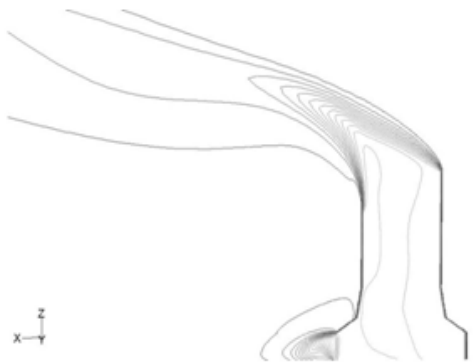
- [6] B. E. Launder, and D. B. Spalding, "The Numerical Computation of Turbulent Flow", Comput. Methods Appl. Mech. Eng, Vol. 3, pp. 269-289, 1974.
- [7] "The Heller System", EGI, Budapest, 1984.
- [۸] دکتر گودرزی. محسن، رئوفی. مینا، "پیشنهاد طرحی برای شکل دودکش برج خنک‌کن خشک به منظور کاهش اثرات نامطلوب وزش باد" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی نیروگاه‌های برق، صفحات ۲۱۳-۲۰۶، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، اسفند ۱۳۸۷.
- [۵] پرویزی. بهرام، "تحلیل و بررسی تأثیر منفی وزش باد بر عملکرد برج‌های خنک‌کن خشک نیروگاهی و ارائه راه حل" پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [5] B. Gebhart, "Buoyancy-Induced Flows and Transport", Textbook Edition, Hemisphere Publishing Corporation, 1988.
- 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.

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

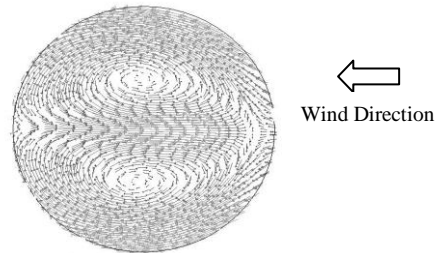
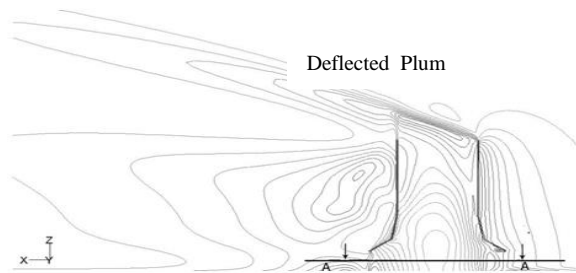
نوع برج	دبی جرمی هوای ورودی به داخل برج بر حسب کیلو گرم بر ثانیه	انتقال حرارت در رادیاتورها بر حسب مگا وات	درصد کاهش انتقال حرارت به واسطه طرح پیشنهادی
برج معمول	۲۰۴۵۸	۳۲۳/۹۴	-
برج با بادشکن و مقطع خروجی ۲۷ درجه	۲۰۳۰۶	۳۲۱/۸۵۴	٪۰/۶۵

جدول ۲: درصد انتقال حرارت برج خنک‌کن 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	٪۶۰/۵	٪۸۷	۸۲٪	٪۹۸/۵
درصد بهبود به واسطه طرح پیشنهادی	-	٪۱۶	٪۹	٪۶۴/۵

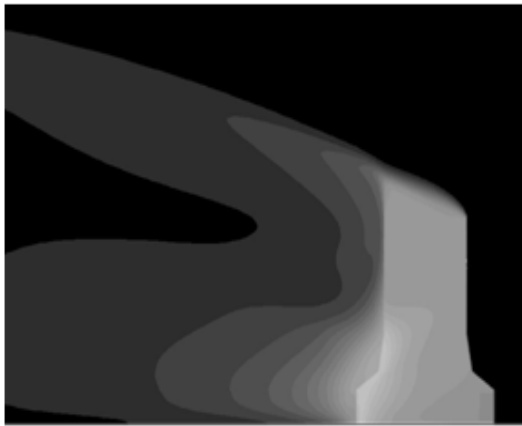


شکل (۴): خطوط همدمما در سطح تقارن برج با دهانه خروجی مایل

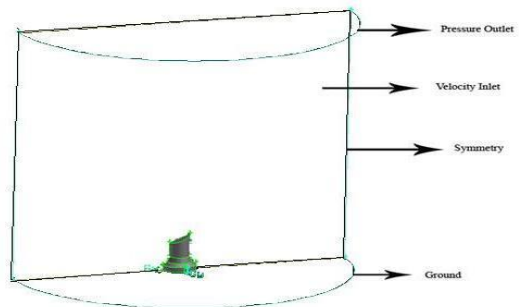


View A-A

شکل (۱): دو عامل اصلی نامطلوب شدن عملکرد برج‌های خنک‌کن



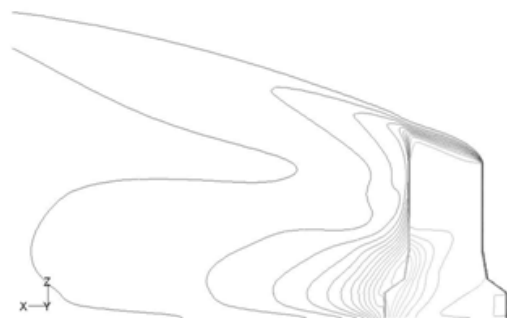
شکل (۵): طیف دما در سطح تقارن برج با دهانه خروجی معمولی



شکل (۲): دامنه جریان شبیه‌سازی شده



شکل (۶): طیف دما در سطح تقارن برج با دهانه خروجی مایل

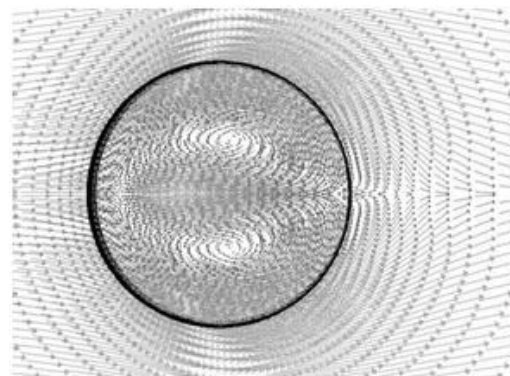


شکل (۳): خطوط همدمما در سطح تقارن برج با دهانه خروجی معمولی

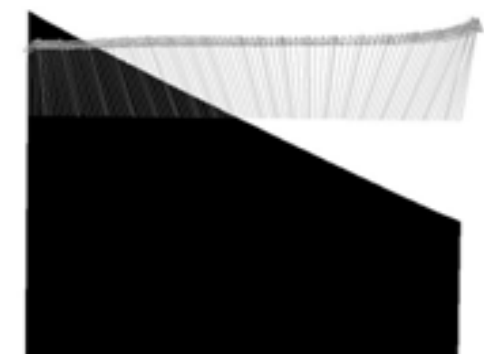




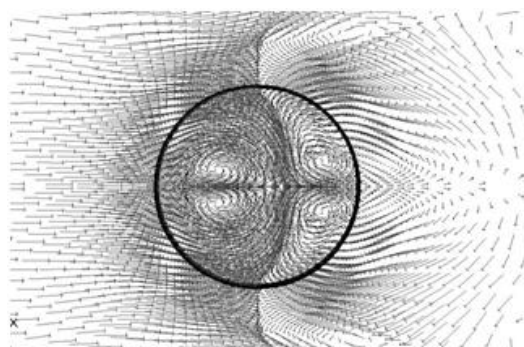
شکل (۱۰): پروفیل سرعت در دهانه خروجی برج با خروجی معمولی تحت وزش باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه



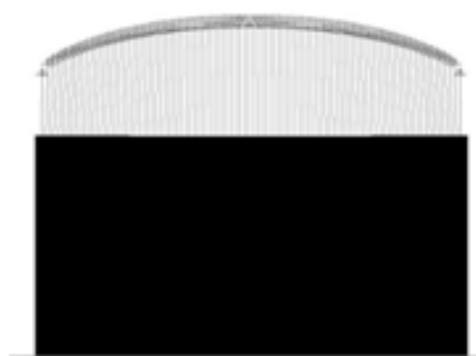
شکل (۷): بردارهای سرعت در لایه میانی رادیاتورهای برج با دهانه خروجی معمولی



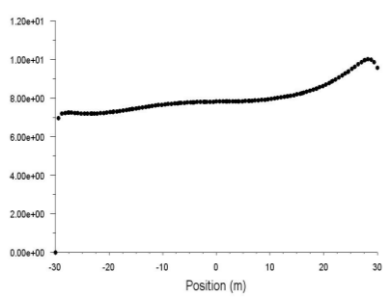
شکل (۱۱): پروفیل سرعت در دهانه خروجی برج با دهانه خروجی مایل تحت وزش باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه



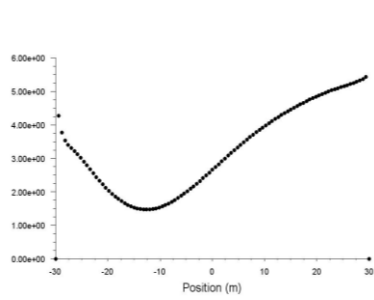
شکل (۸): بردارهای سرعت در لایه میانی رادیاتورهای برج با دهانه خروجی مایل



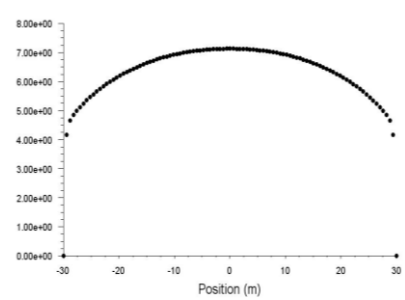
شکل (۹): پروفیل سرعت در دهانه خروجی برج با دهانه خروجی معمولی تحت وزش باد با سرعت ۱۰ m/s



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

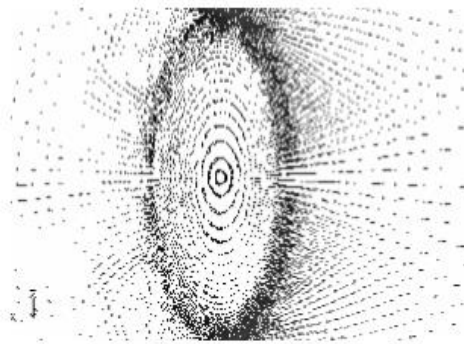


ب) برج با دهانه خروجی معمولی تحت وزش باد ۱۰ m/s

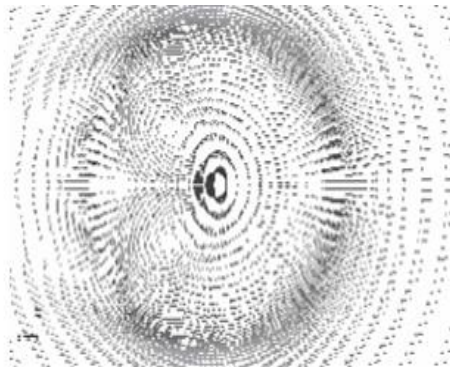


الف) برج با دهانه خروجی معمولی در هوای ساکن

شکل (۱۲): پروفیل توزیع سرعت در خط مرکزی دهانه خروجی برج برای سه حالت مختلف



شکل (۱۳): توزیع بردارهای سرعت در مجاورت ارتفاع ۱۰ متری برای سطح مقطع با نسبت قطر ۲:۱



شکل (۱۴): توزیع بردارهای سرعت در مجاورت ارتفاع ۱۰ متری برای سطح مقطع با نسبت قطر ۲:۱