

بررسی عددی اثرات همجواری و ساختمانهای جنبی بر توزیع فشار ناشی از جریان باد اطراف برج‌های خنک کن پشت بنددار

محمد علی گودرزی^۱، سعید رضا صباغ یزدی^۲

چکیده :

در این مقاله بررسی اثرات همجواری و ساختمانهای جنبی بر توزیع فشار باد ناشی از جریان باد در اطراف برجهای خنک کن بکمک شبیه سازی عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. مهمترین مساله در شبیه سازی رایانه ای یادشده، در نظر گرفتن اثر پشت بندها هندسه (Ribs) بر روی بدنه خارجی برج می باشد. در این تحقیق، از ابتکار معادل سازی پشت بندها با زبری معادل ماسه سطح زبر در روابط مربوط به قانون دیوار جریان آشفته استفاده شده است. برای ارزیابی مدل عددی، از نتایج آزمایشگاهی و معیارهای آیین نامه ای VGB آلمان استفاده شده است. پس از اطمینان از درستی عملکرد مدل عددی، تاثیر پدیده همجواری برجهای خنک کن با چیدمان نامنظم بر شکل گیری جریان آشفته باد مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور از چیدمان در نظر گرفته شده برای سه برج خنک کن نیروگاه کازرون استفاده شده است. نتایج حاصل از حل عددی برای مجموعه برجها، با توزیع فشار محاسبه شده برای برج تک و مقادیر آئین نامه مقایسه و ضرایب همجواری مربوطه استخراج شده اند. در پایان تاثیر سایر تاسیسات بزرگ و ساختمانهای جنبی موجود در محل احداث نیروگاه کازرون (که در جهت عمده وزش باد قرار دارند)، بر توزیع فشار اعمال شده روی پوسته خارجی این برجها بررسی شده اند و کیفیت نتایج مدلسازی عددی و تقریبهای آئین نامه مورد بحث قرار گرفته اند. نتایج بر استفاده از شبیه سازی عددی در کنار استفاده از ضوابط آیین نامه تاکید دارد.

کلمات کلیدی :

حل اجزای محدود، پشت بندها، فشار باد، جریان آشفته باد، برج های خنک کن،

Numerical Investigation of Interference Effects on Wind Flow around a Group of Cooling Towers including Wind Ribs Effects

M.A. GOUDARZI, S.R. SABBAGH-YAZDI

ABSTRACT:

In this paper, the interference effects of neighboring large structures located at upstream of the cooling towers group were numerically investigated. In order to assess the computed pressure field, the concept of using equivalent sand-grain roughness is utilized to simulate the physical effects of external ribs. The numerical solution results are compared with a set of reported laboratory measurements as well as VGB code of practice. Having a verified numerical model, the interference effects of a group of cooling towers were considered. In order to investigate the grouping effect, the lay out of a set of three cooling tower Kazeroun power station (South west of Iran) was used. The computed wind pressures on cooling towers in a group with irregular arrangement present different distribution from the pressure values suggested by VGB guideline. The effects were found more pronounced for lower parts of the cooling towers by considering the interference effects of upstream large structures.

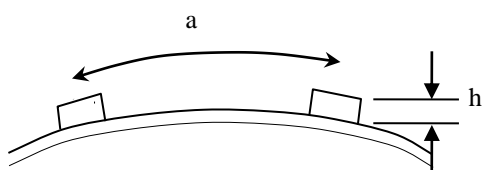
^۱ دانشجوی دکتری رشته مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران، Goudarzi.ma@gmail.com

^۲ دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی SRSyazdi@kntu.ac.ir



KEYWORDS:

Finite Element Analysis, Surface Roughness, Turbulent Wind Flow, Cooling Tower, Wind Pressure



شکل ۱- نمای شماتیک پشت بندها و ابعاد مربوطه

۱- مقدمه

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به طور وسیعی در تحلیل فرایندهای ایجاد شده در لایه پایینی جو، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه مسائلی نظیر بررسی نحوه توزیع و پخش آلودگی در مجاورت مجتمع‌های گوناگون، نحوه سیستم تهویه ساختمانها و بررسی اثر باد در اطراف سازه مهندسی از جمله مسائل مهم در این رده می‌باشد. از طرفی برآورد میدان فشار ناشی از جریان سیال در اطراف سازه‌ها به منظور طراحی بهینه آنها، مهمترین هدف تحلیل دینامیکی سیالات از دیدگاه مهندسی عمران است. در طراحی برج‌های خنک کن نیز نیروی باد از جمله نیروهای پر اهمیت به شمار می‌رود. ایجاد تنش های قوی در بدنه برج (خصوصا نیروهای کششی) توسط نیروی باد به طور مستقیم بر طراحی این سازه‌ها موثر است.

مساله مدل سازی جریان باد در اطراف برجهای خنک کن دارای وجوه گوناگونی می‌باشد. نحوه اعمال شرایط مرزی، تحلیل اثرات ناشی از همجواری برجها و سایر تاسیسات جنبی، نحوه مدل سازی حرکت سیال در کنار جداره برج، اثرات مربوط به آشفتگی و نحوه مدلسازی پشت بندها از جمله وجوه اصلی این پدیده است. در بسیاری از جنبه های یاد شده، مطالعات آزمایشگاه زیادی توسط محققین انجام شده است [۱، ۲، ۳، ۴]. در حالی که مطالعات عددی در این موارد در مقایسه با تحقیقات آزمایشگاهی بسیار اندک است [۵، ۶]. لذا در این مقاله سعی شده است که روش عددی مناسبی برای مدل سازی و تحلیل میدان فشار و سرعت در اطراف برجهای خنک کن مد نظر قرار گیرد.

شکل گیری میدان فشار و سرعت ناشی از جریان باد در اطراف برج، به میزان زبری جداره برج وابسته است. لذا با بکارگیری پشت بندهایی (شکل ۱) بر روی بدنه برج زبری جداره خارجی برج افزایش و نیروهای ناشی از جریان باد به نحو مطلوبی کاهش داده می‌شود. در این تحقیق با توجه به نقش کلیدی وجود پشت بندها (Rib's)، در شکل‌گیری میدان سرعت و فشار اطراف برج خنک کن، از روش پیشنهادی مبنی بر جایگزینی اثر این پشت بندها به صورت زبری معادل دانه های ماسه بر روی بدنه برج استفاده شده است.

این روش توسط نویسندگان در مرجع دیگری [۷] تشریح گردیده است. لذا در این مقاله به طور مختصر توضیحاتی درباره روش یاد شده ارائه می‌گردد و سپس از مدل عددی برپا شده برای بررسی اثرات همجواری برج های خنک کن استفاده می‌شود. منظور از اثرات همجواری برجها، نحوه اندرکنش میادین فشار و سرعت ایجاد شده در اطراف هر یک از برجها می‌باشد. وجود سایر برجها و ساختمانهای جنبی در اطراف آنها می‌تواند بر میدان سرعت و فشار حاصل از جریان باد بر بدنه آنها تاثیرات قابل توجهی داشته باشد. علاوه بر نحوه چیدمان برج ها و وجود ساختمانهای مرتفع، جهت باد نیز در برآورد اثرات اندرکنشی برجها با اهمیت است. جهت وزش باد معمولا با توجه به توپوگرافی و شرایط آب و هوایی محیطی که برجها در آن واقع است، تعیین می‌گردد. با این حال بررسی جهات دیگر باد به منظور تخمین حالات بحرانی همواره باید مد نظر قرار گیرد. در خصوص بررسی اثر همجواری برج های خنک کن و ساختمانهای جنبی بر میدان فشار اطراف برجها نیز مطالعات آزمایشگاهی سودمندی در گذشته انجام شده است [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. در این تحقیقات با انجام آزمایشات تونل باد و اندازه‌گیری‌های میدانی، تاثیر پارامترهایی نظیر فواصل برجها و نزدیکی ساختمانهای جنبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعات بیشتر تلاش شده که، با تغییر در فاصله برجها و نحوه چیدمان آنها اثر همجواری آنها در قالب ضرایب افزایشی نسبت به حالت برج تک ارائه گردد. این ضریب افزایشی معمولا بر برآیند نیروهای باد و یا بر تنشهای ایجاد شده در بدنه برج تک اعمال می‌گردد. با این حال مطالعات یاد شده اطلاعات دقیقی راجع به محل و مقدار فشارهای موضعی ایجاد شده و نحوه توزیع آن در پیرامون و ارتفاع برج، بدست نمی‌دهند و همانطور که اشاره شد، معمولا تغییر در توزیع فشار را در بصورت یک ضریب افزایش دهنده کلی ارائه می‌کنند. در حالی که استفاده از ضرایب افزایشی، همیشه منعکس کننده‌ی اثرات ناشی از همجواری برجها نیست و تغییر در جهت وزش باد، به همراه نحوه‌ی چیدمان خاص برجها، ممکن است تغییرات شدید تری



شاخص زبری دانه های ماسه K_s بیان می‌شود، مساوی قرار داده شده و رابطه زبری پس از اعمال تصحیحات لازم در رابطه زیر ارائه شده است [۷].

$$K_s = C \frac{h}{a} \quad (1)$$

در این رابطه h/a نسبت ارتفاع به فاصله پشت بندها که به عنوان پارامتر بیانگر شدت زبری ناشی از وجود پشت بندها مورد توجه قرار می‌گیرد. مقدار پارامتر C برابر با $20E/Cs$ بدست می‌آید ($E=9.973$ و $Cs=1$). با این رابطه در واقع وجود پشت بندها در نقش اعمال زبری با ارتفاع مشخص و به صورت یکنواخت بر روی کل سطح در نظر گرفته شده است (جزئیات بیشتر در مرجع ۷ ارائه شده است).

۳- سنجش درستی مدل عددی

در این قسمت مدل عددی یک برج، در ابعاد آزمایشگاهی که توسط سایر محققین در تونل باد بررسی شده، برای صحت سنجی مدل عددی مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا هندسه سازه آزمایشگاهی یاد شده و محیط اطراف آن در مدل رایانه‌ای ایجاد شده و نتایج حاصل از تحلیل CFD با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است (آزمایشات گزارش شده در مرجع [۱۳]). این اندازه‌گیریها مربوط به مدل آزمایشگاهی یک برج خنک کن می‌باشد که ابعاد برج واقعی آن برابر با ۸۰ متر ارتفاع و ضخامت ۰/۱۱ متر و قطر گلوگاه ۱۸ متر است. مدل آزمایشگاهی این برج با مقیاس ۱/۳۰۰ ساخته شده است (شکل ۲). از نوارهای فلزی نازکی با ارتفاع ۰/۴ میلیمتر و به تعداد ۲۴ عدد به عنوان پشت بند و به منظور افزایش زبری سطح بر روی جداره خارجی برج مدل شده در ابعاد آزمایشگاهی استفاده شده است. ابعاد محفظه آزمایش تونل باد $۲/۴ \times ۲/۴ \times ۱/۶$ متر می‌باشد و پروپیل سرعت ورودی با استفاده از قانون لگاریتمی (رابطه ۲) تعریف می‌شود (سایر شرایط حاکم در مرجع گفته شده است [۱۳]).

$$u^+ = \frac{u_*^*}{k} \ln(z) - \frac{u_*^*}{k} \ln(z_0) \quad (2)$$

$$u_*^* = 1.809 \text{ m/s}, z_0 = 3.431 \text{ mm}$$

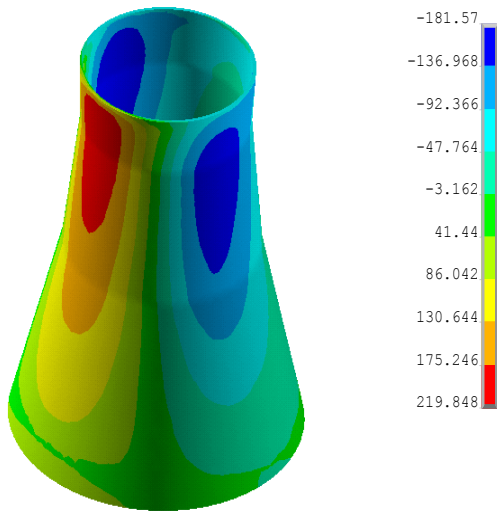
در مدل عددی نیز سیال به صورت تراکم ناپذیر فرض شده و از مدل آشفتگی دو معادله‌ای $k-\epsilon$ استفاده شده است [۱۴]. به منظور کمک به همگرایی و پایداری حل، از روش لزجت مصنوعی استفاده شده است. لزجت مصنوعی به روش مشابهی به عنوان لزجت سیال وارد معادلات می‌شود و از رشد ناخواسته نوسانات جلوگیری می‌کند و در نواحی با گرادیانهای

در توزیع فشار خارجی و تنشهای پوسته برج خنک کن ایجاد نماید. بر همین اساس آیین نامه های معتبر، بر انجام شبیه سازی رایانه‌ای در کنار روابط آیین نامه برای هر طرح مشخص تاکید دارند.

در ادامه کار گذشته نویسندگان این مقاله در پیاده سازی ایده جایگزینی پشت بندها با زبری معادل در شبیه سازی عددی فشار باد بر دیوار خارجی یک برج خنک کن (تک) [۷]، در این تحقیق عددی بررسی اثرات همجواری و ساختمانهای جنبی بر توزیع فشار باد در اطراف برجهای خنک کن مورد بررسی قرار گرفته است. پس از توضیح مختصر در رابطه با روش مدل سازی پشت بندها، صحت عملکرد مدل عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی موجود بررسی می‌شود. سپس یکی از برجهای خنک کن نیروگاه کازرون، در ابعاد واقعی به عنوان نمونه مدل سازی شده و نتایج آن با مقادیر پیشنهاد شده توسط آیین‌نام آلمان (VGB) مقایسه می‌گردد. همچنین برای برآورد اثرات همجواری، مجموعه برجهای سه گانه این نیروگاه با و بدون وجود ساختمانهای جنبی شبیه سازی شده و اثر جهت وزش باد بر میدان فشار حاصل در اطراف برج مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- روش مدلسازی پشت بندها

بر اساس آخرین اطلاعات نویسندگان مقاله، تمام محققین قبلی در بکارگیری روش های عددی برای مدلسازی جریان هوا در اطراف برج های خنک کن، سطوح برج را به صورت صاف در نظر گرفته و از اثر وجود پشت بندها چشم‌پوشی کرده‌اند. زیرا وارد کردن هندسه واقعی پشت بندها، منجر به افزایش چشمگیر محاسبات می‌گردد. از طرفی بر مبنای آیین نامه‌های موجود، وجود پشت بندها می‌تواند فشار منفی ایجاد شده در کنار برج را تا میزان قابل توجه ۶۰ درصد تحت تاثیر قرار دهد و به‌طورکلی، یکی از اهداف بکارگیری پشت بندها کاهش اثرات ناشی از فشار باد می‌باشد. لذا نویسندگان مقاله بر مبنای ایده جایگزینی پشت بندها با زبری معادل آنها، اثرات وجود پشت بندها را بدون مدلسازی واقعی آنها در شبیه سازی عددی لحاظ کردند [۷]. برای انجام اینکار مهمترین مساله، برپایی روابط تئوریک است که بتواند زبری معادل پشت بندها را به ابعاد هندسی پشت بندها مرتبط سازد. ایجاد این ارتباط منطقی بین دو شاخص یادشده، نیازمند فرض مقادیر یکسان سرعت در فاصله مشخصی از دیواره است. برای این کار رابطه سرعت در کنار دیواره برای سطوح کاملاً زبرکه با شاخص ارتفاعی بیان می‌شود، بارابله سرعت در کنار دیواره که بر حسب



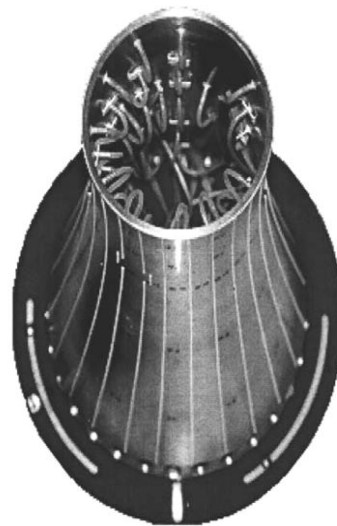
شکل ۳- نقشه مناطق هم فشار حاصل از مدل عددی روی دیوار برج در مقیاس آزمایشگاهی (با وجود پشت بند)

شکل (۳) نتایج حاصل از تحلیل عددی را به صورت نقشه توزیع فشار بر بدنه برج نشان می‌دهد. پارامتر بدون بعد ضریب فشار که برای نقاط روی سطح دیواره تعریف می‌شود، معمولاً بعنوان معیار مناسبی برای مقایسه نتایج حاصل از میدان فشار در روی بدنه به کار گرفته می‌شود. این پارامتر به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

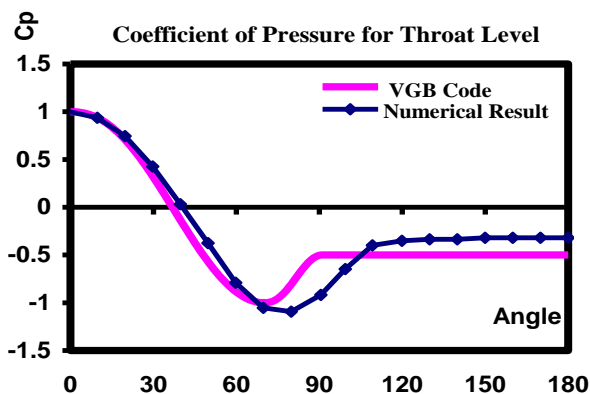
$$C_{pi} = \frac{2(P_0 - P_i)}{\rho U^2} \quad (3)$$

P_i معرف فشار در نقطه i و P_0 و U بیانگر فشار و سرعت در ناحیه دوردست جریان می‌باشد. نمودار شکل ۴، بیانگر مقایسه مقادیر ضریب فشار حاصل از آزمایش، حل عددی و مقادیر پیشنهادی آیین نامه VGB در مقطع گلوگاه برج آزمایشگاهی می‌باشد. همانگونه که از نمودار شکل ۴ مشخص است، نتایج مدل عددی برابری خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. مقادیر میانگین خطای حاصل برای مدل عددی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی در مقطع گلوگاه برج، برابر با ۱۳/۵ درصد می‌باشد که بیانگر عملکرد قابل قبول مدل عددی است.

شدید، تغییر پارامترهای جریان را هموار می‌کند. [۱۵]. علاوه بر این در محل خروجی فشار نسبی معادل صفر به عنوان شرط مرزی اعمال شده است. بر روی بدنه برج مقدار سرعت صفر (مرز بدون لغزش) و در دیواره های کناری محدوده حل، مؤلفه قائم سرعت بر مرز برابر با صفر (مرز لغزشی) در نظر گرفته شده و همچنین زمین به عنوان مرز بدون لغزش و با زبری صفر، در نظر گرفته شده است. تعداد تکرارهای کلی مورد نیاز برای رسیدن به یک حل پایدار، به اندازه مسأله و شرایط مرزی آن بستگی دارد. در این مساله از میزان تغییرات متوسط فشار گرهی در دو مرحله متوالی حل به عنوان شاخص همگرایی استفاده شده است و بعد از رسیدن این شاخص به میزان 10^{-6} آنالیزها متوقف شده است. اثر پشت بندها به صورت زبری معادل ماسه [۱۶، ۷] با توضیحات ارائه شده در قسمت های قبلی اعمال شده است. با توجه به ابعاد نوارهای فلزی یادشده مقدار نسبت ارتفاع به فاصله پشت بندها برابر $h/a = 3 \times 10^{-2}$ می‌باشد. با لحاظ پارامتر $C_s = 1$ مقدار K_s معادل آن برابر 0.24 اعمال شده است.



شکل ۲- هندسه برج آزمایشگاهی [۱۳]

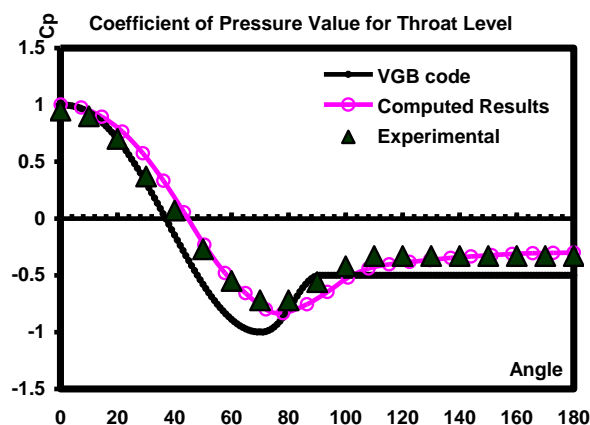


شکل ۶- مقایسه ضریب فشار در محل گلوگاه برج خنک کن نیروگاه کازرون با مقادیر پیشنهادی آئین نامه VGB

با ترسم نمودار توزیع ضریب فشار در محیط پیرامونی برج (شکل ۶)، می‌توان دید که نتایج حاصل برای مقادیر ضریب فشار مثبت با مقادیر پیشنهادی آئین نامه برابر است، اما مقدار بیشینه فشار منفی حاصل از تحلیل اجزای محدود نسبت به آئین نامه، اندکی بیشتر است. این موضوع به دلیل تفاوت قابل ملاحظه در مقدار نسبت ارتفاع به فاصله پشت بندها برای برج‌های کازرون، نسبت به حداکثر مقدار این پارامتر در آئین نامه می‌باشد. این امر همچنین باعث شده است که نقطه جدایی لایه مرزی (Separation Point) و نقطه بیشینه فشار منفی کناری برج نزدیک به ۱۰ تا ۲۰ درجه تغییر زاویه نسبت به مقادیر پیشنهاد شده در آئین نامه رخ دهد.

۵- بررسی اندرکنش میادین فشار در اطراف مجموعه سه گانه برجهای نیروگاه کازرون

پس از سنجش درستی عملکرد مدل اجزای محدود، در این قسمت به تحلیل تاثیر همجواری برجها و اثرات اندرکنشی آنها بر شکل گیری میادین فشار و سرعت در اطراف آنها با جانمایی نامنظم (نامتقارن) پرداخته می‌شود. همانطور که اشاره شد، در تحلیل اثر اندرکنشی برجها، جهت وزش باد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در خصوص برجهای کازرون جهت عمده وزش باد با توجه به هموار بودن منطقه و وجود دو رشته کوه موازی در دو طرف مجموعه برجها، تا اندازه‌ای مشخص است. با این حال دو جهت دیگر وزش باد که امکان ایجاد تغییرات بیشتری بر توزیع فشار روی بدنه برجهای خنک کن را دارند، در تحلیل عددی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۷). با افزایش ابعاد حوزه حل، تعداد المان‌های مورد نیاز نزدیک به دو میلیون افزایش یافته است.



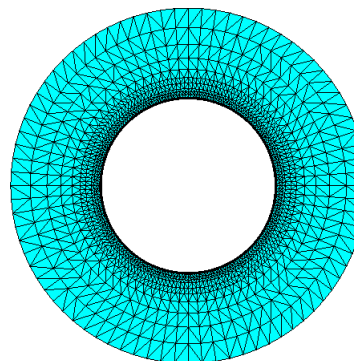
شکل ۴- مقایسه نتایج عددی، آزمایشگاهی و مقادیر پیشنهادی آئین نامه برای توزیع محیطی ضریب فشار در برج کوچک مقیاس

۴- مقایسه نتایج مدلسازی عددی با مقادیر آئین نامه برای برج خنک در ابعاد واقعی

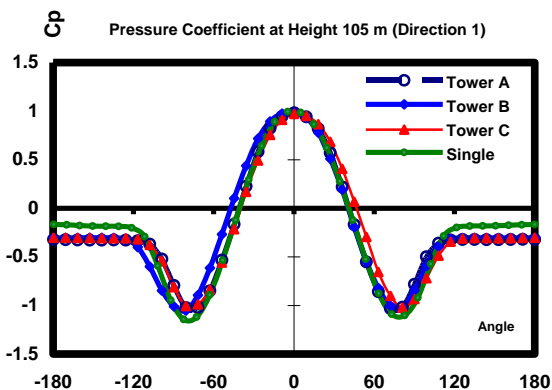
در این قسمت یکی از برجهای خنک کن نیروگاه کازرون در ابعاد واقعی مدل سازی شده است. ارتفاع برج برابر با ۱۲۰ متر و قطر پایین و گلوگاه برج برابر با ۹۹ و ۶۲ متر می‌باشد. شرایط مدل سازی شبیه به حالت قبل است و پروفیل سرعت جریان باد در ورودی با توجه به خصوصیات منطقه، به صورت رابطه ۴ فرض شده است.

$$V_z = 41.2 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.11} \quad (4)$$

تعداد المانهای مورد استفاده برای این مدل سازی محیط حل برابر ۹۱۲۰۵۴ المان می‌باشد. آنالیزها تا رسیدن به شاخص همگرایی فشار به مقدار $2/5 \times 10^{-6}$ ادامه یافته است. چیدمان المان‌ها در نزدیک دیواره برج تا هفت لایه به صورت منظم و با افزایش تدریجی در اندازه ابعاد المان انجام گرفته است (شکل ۵).



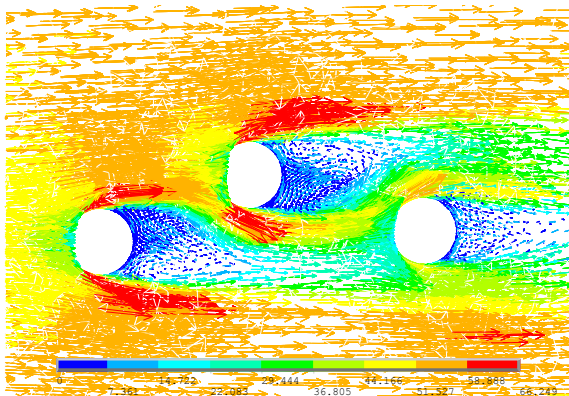
شکل ۵- نحوه چیدمان المان‌ها در اطراف برج (نمای پلان)



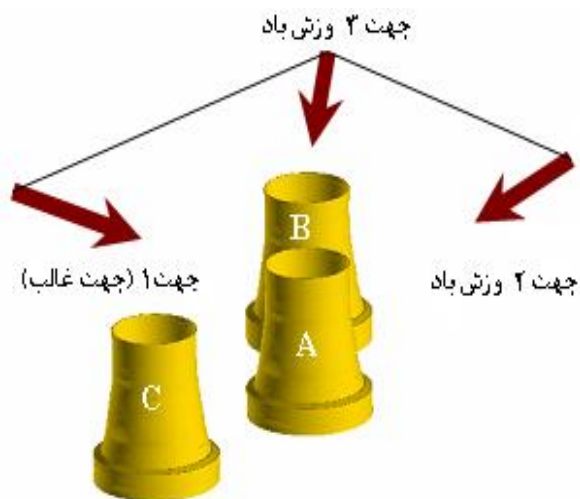
شکل ۹- نمودار ضریب فشار در ارتفاع ۱۰۵ متر (جهت ۱)

۲-۵- بررسی جریان وزش باد در جهت ۲:

اثرات ناشی از همجواری برجها زمانی بیشتر نمایان می‌شود که برجها با اختلاف عرضی کمی به صورت پشت سر هم قرار گیرند. این حالت برای برجهای نیروگاه کازرون در وضعیتی حاصل می‌شود که باد از راستای شمال به جنوب در جهت ۲ (یا بالعکس) بوزد. در این حالت یکی از برجها در گردابه های چرخشی برج های دیگر قرار می‌گیرد و اثرات همجواری افزایش می‌یابد. توزیع بردارهای سرعت برای در شکل (۱۰) ارائه شده است. همانگونه که دیده می‌شود، در این حالت برج میانی (برج A) در گردابه های برج B قرار گرفته است. نمودارهای ضریب فشار برای هر سه برج در شکل (۱۱) ارائه شده است. در این نمودار دیده می‌شود که در برج A نقطه سکون به میزان قابل ملاحظه‌ای از مرکز خود انحراف پیدا کرده است و مقدار فشار مثبت ایجاد شده در نقطه سکون، از مقدار حاصل برای برج تک بیشتر است. افزایش فشار مثبت در جلوی برج، فقط در این برج، و فقط در این حالت وزش باد مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰- بردارهای سرعت اطراف برجها در تراز گلوگاه (جهت ۱)

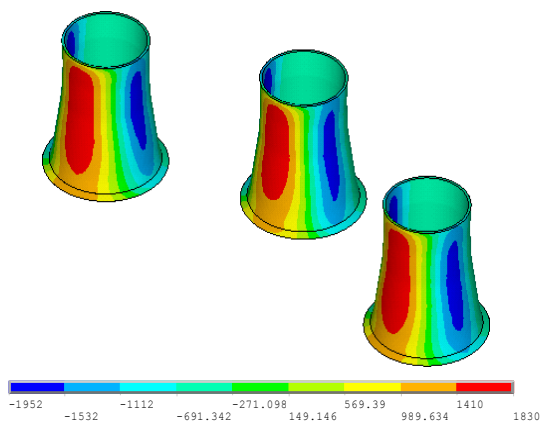


شکل ۷- جهات مورد بررسی برای وزش باد

۱-۵- بررسی نتایج میدان فشار و سرعت برای جهت

غالب وزش باد (جهت ۱)

در این حالت به دلیل فاصله زیاد برجها در راستای عمود بر جهت باد اثرات اندرکنشی برجها در این حالت کمتر است. در شکل (۸) نقشه های توزیع فشار بر روی بدنه برجها ارائه شده است. به منظور بررسی کمی اندرکنش برجها بر روی یکدیگر، مقادیر ضریب فشار برای هر یک از برج ها به صورت جداگانه ارائه شده است و با مقدار ضریب فشار در حالت برج تک مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل در نمودار شکل (۹) ارائه شده است. در این نمودار به منظور امکان مقایسه نتایج، زاویه صفر درجه با نقطه روبروی وزش باد، بر روی بدنه هر برج منطبق شده است. از دیدگاه کمی، فشارهای منفی در نیمه پایین دست برج، در همه موارد نسبت به حالت برج تک بیشتر است. این در حالی است که ضریب فشار در نقطه سکون و فشار منفی بیشینه کناری برج در هر سه برج، برابر با حالت برج تک می‌باشد و اثرات اندرکنشی ناچیز است.



شکل ۸- نقشه فشار بر روی بدنه برجهای سه گانه (جهت ۱)

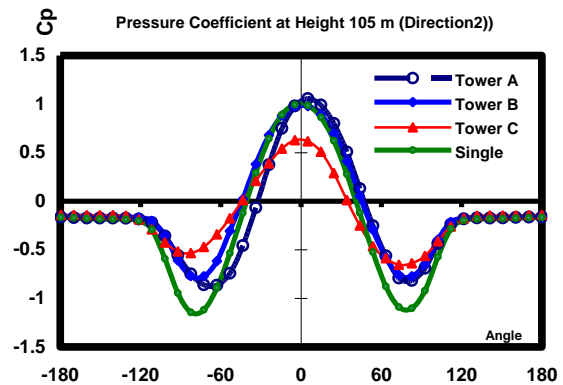
۵-۴- مقایسه نتایج با مقادیر پیشنهادی آئین نامه

اگر مقادیر محاسبه شده فشار برای هر برج در هر جهت وزش باد بطور جداگانه ترسیم گردد، امکان مقایسه این نتایج با مقادیر سفارش شده توسط آئین نامه VGB[17] (با منظور نمودن ضریب همجواری) فراهم می‌شود. آیین‌نامه یادشده در خصوص اثرات همجواری برجهای خنک کن سفارش می‌کند که اگر فاصله متوسط برجها از سه برابر قطر متوسط برجها بیشتر باشد ($a/d_m < 3$)، اثرات همجواری قابل چشم‌پوشی کردن است. در غیر این صورت ضریب افزایشی باید در نتایج حاصل از برج تک ضرب گردد. ضریب افزایشی به صورت نسبت پیشینه و کمینه مقادیر حاصل برای فشار در حالت گروهی برجها به حالت برج تک تعریف می‌شود. اگر نسبت فاصله به قطر برج ($a/d_m < 2.5$) باشد، ضریب افزایشی نیروهای باد برابر با $1/1.1$ و اگر این نسبت برابر ($a/d_m < 1.6$) باشد، این ضریب افزایشی برابر با $1/3$ می‌باشد. برای برجهای نیروگاه کازرون، مقدار ضریب افزایشی از طریق روش آیین نامه به شکل رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$d_m = \left(\frac{d_u + d_t}{2} \right) = \left(\frac{82.5 + 62.36}{2} \right) = 72.43 \quad (4)$$

$$\frac{a}{d_m} = \frac{158}{72.43} = 2.17 \rightarrow F_L = 1.17$$

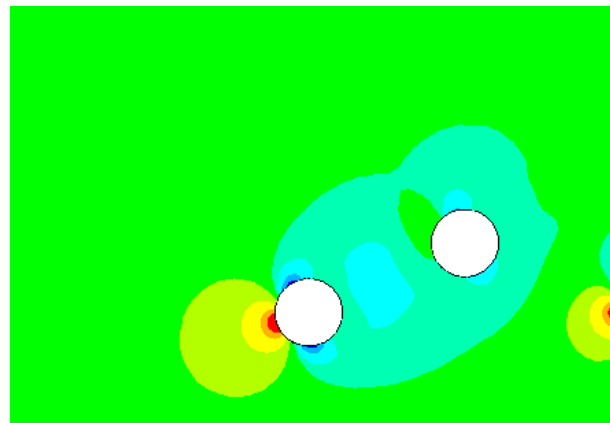
که a بیانگر فاصله مرکز به مرکز برجها و d_m بیانگر قطر متوسط برجها می‌باشد. مقایسه نتایج محاسبه شده از تحلیل عددی با مقادیر پیشنهادی آئین‌نامه، در نمودارهای ارائه شده در اشکال (۱۴) تا (۱۶) آورده شده است. با دقت در این نمودارها می‌توان دید که برای برج A (برج وسط)، در هنگام وزش باد در جهت غالب (جهت ۱)، بیشترین فشار منفی در نیمه پشت برج ایجاد می‌شود. برای همین برج و برای وزش باد در جهت ۱، بیشترین مقدار فشار مثبت، در نقطه سکون ایجاد می‌شود که این مقدار در تمام ارتفاعات نزدیک به ۶ درصد از مقدار پیشنهادی آئین نامه کمتر است. فشار منفی ایجاد شده در نیمه پشتی برجها در همه حالات نزدیک به نصف مقدار پیشنهادی آئین نامه می‌باشد.



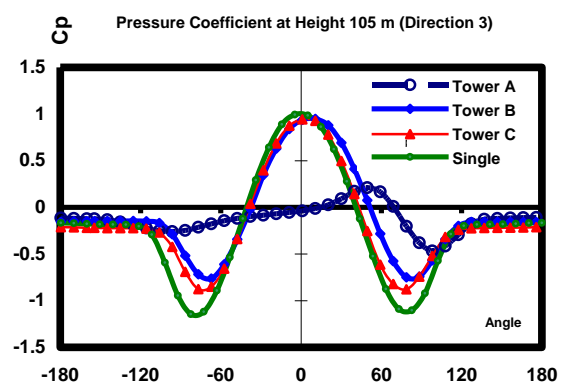
شکل ۱۱- نمودار ضریب فشار در تراز گلوگاه (جهت ۲)

۵-۳- بررسی جریان باد در جهت ۳:

نقشه‌های توزیع سرعت و فشار مربوطه به این حالت در شکل (۱۲) و نمودار مربوط به تغییرات ضریب فشار در شکل (۱۳) ارائه شده است. در این نمودار روشن است که در مجموع برای این حالت نیز مقادیر ضریب فشار در برج تک، بر مقادیر حاصل از اندرکنش برج‌ها غلبه دارد.

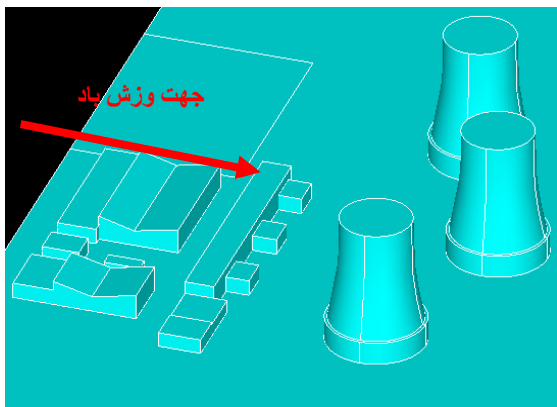


شکل ۱۲- نقشه های توزیع فشار در ارتفاع گلوگاه برجها (جهت ۳)

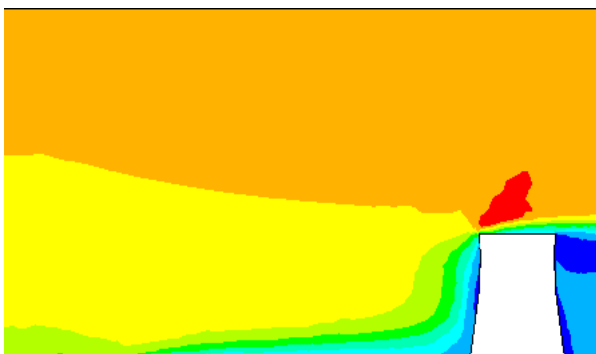


شکل ۱۳- نمودار ضریب فشار برای برجها (جهت ۳)

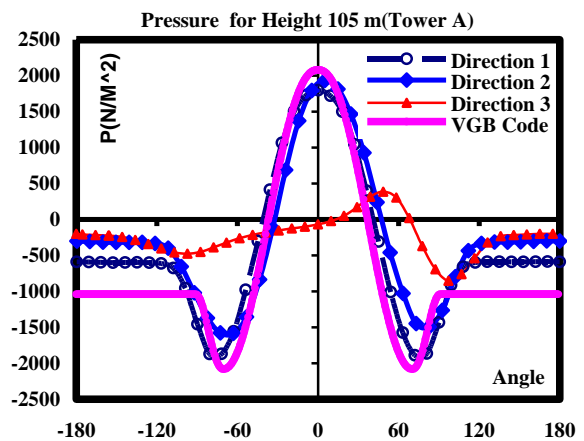
هیچ یک از ساختمانها از ۲۴ متر بیشتر نیست). موقعیت ساختمانهای بلند نسبت به برجها در شکل (۱۷) نشان داده شده اند. جهت وزش باد، جهت غالب باد (جهت ۱) در نظر گرفته شده است. زیرا فقط برای این جهت، ساختمانهای جنبی در بالادست جریان عبوری از برجها قرار می‌گیرد. میدان سرعت و فشار در خط مرکزی برج وسط در اشکال (۱۸) و (۱۹) و نمودارهای توزیع ضریب فشار در ارتفاعات بالا ($Z=105m$) و پایین برج ($Z=35m$) در شکل (۲۰) ارائه شده است. آیین‌نامه VGB از اثر ساختمانهایی که ارتفاع آنها از ۴۰ درصد ارتفاع برج کوچکتر است، صرفنظر می‌کند. اما با دقت در نمودارهای یادشده می‌توان پی برد که اگر چه اثر وجود ساختمانهای جنبی بر روی فشار ایجاد شده بر روی ارتفاعات بالا برجها ناچیز است، اما وجود این ساختمانها در ارتفاعات زیر ۳۰ متر می‌تواند بر شکل گیری میدان فشار اطراف برجها موثر واقع گردد. اثرپذیری میدان فشار در ارتفاعات پایین‌تر، از نظر میزان بازدهی حرارتی برجها اهمیت بیشتری نسبت به تاثیرات سازه‌ای آن دارد.



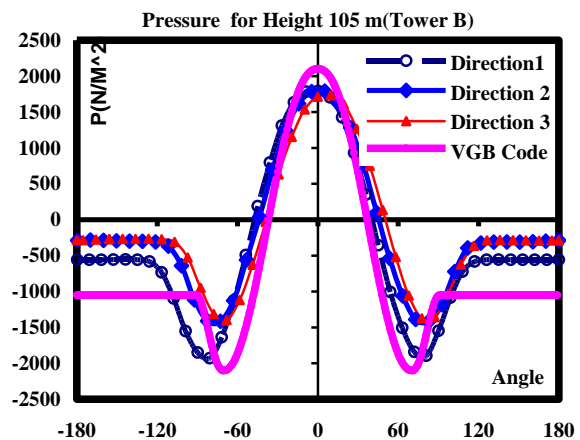
شکل ۱۷- موقعیت ساختمانهای جنبی با ارتفاع بیشتر ۱۲ متر در اطراف برجهای نیروگاه کازرون



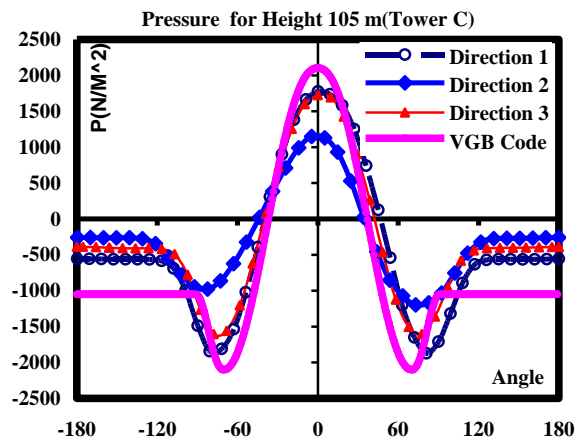
شکل ۱۸- توزیع سرعت در امتداد خط مرکزی برج وسط



شکل ۱۴- نمودار فشار برای جهات سه گانه وزش باد (برج A)



شکل ۱۵- نمودار فشار برای جهات سه گانه وزش باد (برج B)



شکل ۱۶- نمودار فشار برای جهات سه گانه وزش باد (برج C)

۶- تاثیر وجود ساختمانهای جنبی مجاور برجها

وجود ساختمانهای جنبی می‌تواند در توزیع میدانی فشار و سرعت موثر واقع شود. در این بررسی از اثر ساختمانهای با ارتفاع کمتر از ۱۲ متر چشم پوشی شده و ساختمانهای بلندتر از این ارتفاع، با هندسه کامل خود مدل سازی شده‌اند (ارتفاع

اندرکنش برجهای سه گانه نیروگاه کازرون، با حضور و بدون حضور ساختمانهای جنبی و برای حالات مختلف وزش باد بحث شد. در مجموع نتایج حاصل را می توان چنین برشمرد.

- استفاده از دینامیک سیال محاسباتی در مدل سازی رفتار جریان باد دارای دقت قابل قبولی است.

- معادل سازی پشت بندها بر روی سطوح سازه با زبری معادل دانه های ماسه از طریق رابطه (۱) امکان پذیر است.

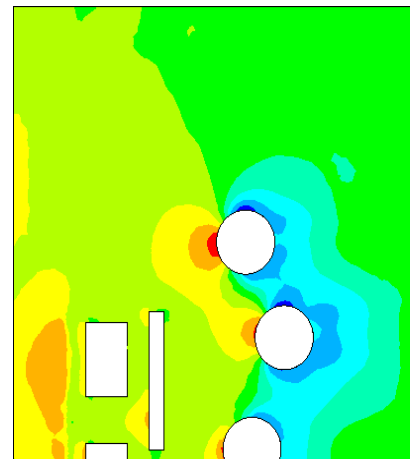
- برای برج تک اگر چه مقادیر بیشینه و کمینه حاصل از حل عددی با نتایج حاصل از آیین نامه همخوانی دارد، اما محل اثر فشار منفی کناری و نقطه جدایی لایه مرزی با تاخیر ۱۰ تا ۲۰ درجه نسبت به آیین نامه رخ می دهد و همچنین فشار منفی ثابت در نیمه پشتی برج نزدیک به دو سوم مقادیر آیین نامه است.

- برای حالت خاص برجهای کازرون و با در نظر گرفتن سه جهت بحرانی وزش باد، بیشینه ضریب فشار مثبت نسبت به حالت برج تک به میزان ۱/۱ افزایش می یابد. در حالی که بیشینه فشار منفی کناری برجاها همواره نسبت به حالت برج تک مقادیر کمتری را نشان می دهد. همچنین ماکزیمم مقادیر فشار منفی در نیمه پایین دست برجها نزدیک به دو برابر حالت برج تک می باشد. لذا تحلیل اندرکنشی در کنار مقادیر سفارش شده در آیین نامه لازم است.

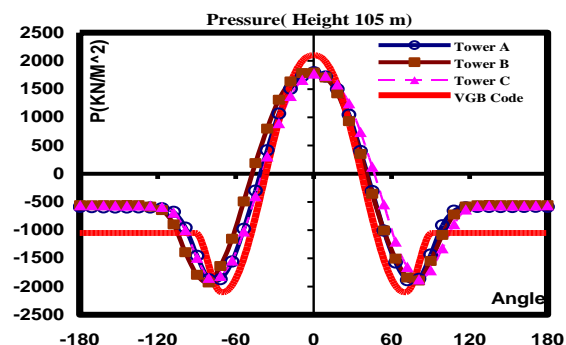
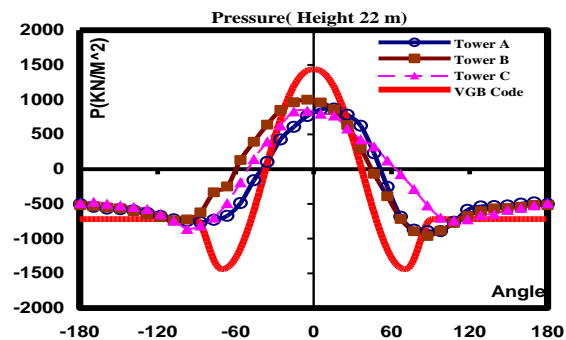
- ساختمانهای جنبی با ارتفاع کمتر از معیار آیین نامه (۴۰ درصد ارتفاع برج) نیز می توانند در توزیع و مقدار فشار وارد بر ارتفاعات پایین برج ها موثر باشند. تاثیر پذیری میدان فشار می تواند در میزان بازدهی حرارتی برجها تاثیرات زیادی داشته باشد.

۸- مراجع

- [۱] Niemann H.J., Ruhwedel J., "Full-scale and model tests on wind induced, static and dynamic stresses in cooling tower shells". Engineering Structure. 1980; Vol 2, pp:81-89.
- [۲] Niemann H J. "Wind effects on cooling-tower shells". J Structural Engineering, ASCE 1980; Vol 106(3), pp:643-61.
- [۳] Borri C., Orlando M. and Spinelli P., "Wind induced stresses on two neighboring cooling towers". In: Proceedings of 10th ICWE, Copenhagen, Denmark, Rotterdam: A.A. Balkema 1999; vol 1, pp: 401-8.
- [۴] Prabhakar, "Wind effects on hyperbolic cooling towers" Wind Loads on Structures. 1991; pp: 205-214.
- [۵] Zhai Z., Fu S., "Modeling the airflow around cooling towers with multi-block CFD", In The 4th International ASME/JSME/KSME Symposium, Canada, 2002.



شکل ۱۹- نقشه توزیع افقی فشار در ارتفاع ۲۲ متری



شکل ۲۰- نمودارهای فشار در اطراف برجها با حضور ساختمانهای جنبی

۷- نتیجه گیری

در این مقاله بررسی عددی جریان باد در اطراف برج های خنک کن با استفاده از روش اجزاء محدود مورد توجه قرار گرفت. برای این کار از ایده جایگزینی اثر وجود پشت بندها با زبری معادل دانه های ماسه استفاده شد و با کمک مقایسه نتایج عددی و اندازه گیریهای آزمایشگاهی، عملکرد مدل عددی صحت سنجی شد. سپس یک برج از مجموعه برج های کازرون در ابعاد واقعی به وسیله مدل یادشده مورد آنالیز و نتایج عددی حاصل در مقایسه با مقادیر پیش بینی شده توسط آیین نامه VGB آلمان مورد بحث قرار گرفت. سپس بررسی

- Sabbagh-Yazdi S.-R., Torbati M. Azad F.M. Haghghi, B. "Computer simulation of changes in the wind pressure due to cooling towers-buildings interference WSEAS Transactions on Mathematics" 2007; Vol 6 (1), pp: 205-214. [۶]
- Goudarzi M.A, Sabbagh-Yazdi S R., "Modeling wind ribs effects for numerical simulation external pressure load on a cooling tower of KAZERUN power plant-IRAN" Wind and Structures, 2008; Vol. 11, No. 6. [۷]
- Khanduri A, Stathopoulos T, Be'dard C."Wind-induced interference effects on buildings- a review of the state-of-the-art". Engineering Structure, 1998; Vol 20(7), pp:617-30. [۸]
- Blessmann J. "Wind action on isolated and grouped hyperbolic cooling towers". In: Proceedings of International Conference on New Trends in Structural Mechanics, Prague, Czech Republic, 1991; pp:c1-6. [۹]
- Niemann H J, Ko'pper H D. "Influence of adjacent buildings on wind effects on cooling towers". Engineering Structure 1998; vol ,20(10),pp:874-80. [۱۰]
- Bartoli G, Borri C, Hoffer R, Orlando M. "Wind induced pressures and interference effects on a group of cooling towers in a power plant arrangement". In: Proceedings of 2nd European and African Conference on Wind Engineering, Genoa, Italy, Padua, SGE, 1997; pp:969-76. [۱۱]
- Sun TF, Gu ZF, He DX, Zhang LL. "Fluctuating pressure on two circular cylinders at high Reynolds number". J Wind Eng Indust Aerodyn 1992;4144 pp:577-88. [۱۲]
- Orlando M. "Wind-induced interference effects on two adjacent cooling towers" Engineering Structures 2001; Vol, 23 (8), pp:979-992. [۱۳]
- Launder BE, Spalding DB. "The Numerical Computation of Turbulent Flows", Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering 1974; Vol,3 ,pp: 269-289. [۱۴]
- Sabbagh Yazdi S.R "Using Artificial Dissipation on Unstructured Meshes for Numerical Solution of Inviscid Incompressible Flow", 4th Conference of Iranian Aerospace Society, Amir Kabir University of Technology, Tehran-Iran,(2003) pp:538-548. [۱۵]
- Schlichting H. "Boundary-layer theory". 1968 Mc Graw-Hill, 6th edition. [۱۶]
- VGB Guideline. "Structural Design of Cooling Towers",VGB-Technical Committee“ Civil Engineering Problems of Cooling Towers”, VGB-R 610 U, Essen, Germany 1997. [۱۷]
- Su M.D, Tang G.F, Fu S., "Numerical simulation of fluid flow and thermal performance of a dry-cooling tower under cross wind condition", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1999; Vol 79 (3), pp:289-306. [۱۸]