Archive of SID

سیزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری،عمران ومحیط زیست

هدایت آیرودینامیکی جریان هوا جهت کاربری انرژی در ساختمان های بسیار بلند

فهیمه سالاروند

کارشناسی هوافضا دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان

Fahimeh.salarvand2@gmail.com

چکیده

در این پروژه به بررسی جریان آزاد باد در برابر ساختمان های بسیار بلند و مشکلاتی که برای آن ها ایجاد می کند پرداخته شده. اشکال مختلف پلان های ساختمانی که تا حدودی توانسته اند نیروی باد را بر ساختمان کاهش بدهند؛ و همچنین انواع بادها و علت ایجاد آنها مورد مطالعه قرار گرفته تا بتوان از این طریق بررسی کرد که چگونه می توان پلان ساختمان را با وجود محدودیت هایی که در طراحی وجود دارد به گونه ای طراحی کرد که نه تنها جریان باد را مهار کند بلکه قادر به کنترل و هدایت آن جهت بهره برداری انرژی باشد .

ساختمان مرکز تجارت جهانی بحرین (Bahrain word trade center) با ارتفاع m240 جزء نمونه های بسیار موفق در این مسئله بوده که به عنوان مطالعه ی موردی برای این پروژه انتخاب شده. که با فرم پلانی که دارد سبب هدایت جریان باد درون خود و افزایش سرعت آن می گردد سپس به وسیله ی توربینهای بادی ایرفویلی (modern turbine) و جریان باد بلند شده از خلیج، ۶۰٪ برق مصرفی مرکز تجارت جهانی را تأمین میکند، به گونه ای که تمام مشکلاتی که این توربین ها می توانند ایجاد کنند پیش بینی و تدابیر لازم برای حل آن لحاظ شده.

این مسئله که از علم آیرودینامیک برای جایگزین کردن سوخت های تجدیدپذیر استفاده شود در معماری پایدار دارای اهمیت بسیار زیادی است.

کلمات کلیدی: ساختمان های بلند، آیرودینامیک، جریان باد، توربین.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با گذشت زمان و افزایش ساخت وساز ساختمان های بلند و برج ها، اهمیت علم آیرودینامیک در ابر سازه ها نمایان می شود. که در صورت عدم توجه به این مهم، ساختمان هنگام استفاده با مشکلات عمده ای دست و پنجه نرم خواهد کرد؛ که سبب کاهش قابلیت های آن می گردد.

مهمترین مسئله ای که در آیرودینامیک ساختمان ها باید در نظر گرفته شود نیروی باد است که سبب ایجاد نیروی برشی بر پیکره ی ساختمان، ایجاد نوسانات در طبقات بالا و صداهای مهیب می گردد؛ علاوه بر این مشکلاتی را بر اثر آشفته کردن جریان برای دیگر ساختمان ها ایجاد می کند و ساکنین آن منطقه را از گردبادهای همیشگی ملول خواهد کرد.

این مسئله در چند سال اخیر که ساخت برج های آسمان خراش رایج شده مورد توجه قرار گرفته تا معماران بتوانند در طراحی با استفاده از علم آیرودینامیک و مطالعه ی رفتاری این سیال، به مهار انرژی باد بپردازند.

اما مسئله ای که در این پروژه مطرح است فراتر از بحث مهار انرژی باد و کنترل آثار مخرب آن بوده و به چگونگی هدایت و استفاده از نیروی باد برای بهینه سازی مصرف انرژی توسط خود ساختمان می پردازد.

فلسفه ی طراحی برای بارهای جانبی :

برای بارهای ثقلی که با افزایش ارتفاع ساختمان به طور خطی افزایش می یابند، بارهای جانبی کاملا متفاوت هستند و با افزایش ارتفاع با شدت بیشتری زیاد می شوند، به عنوان مثال لنگر واژگونی تحت توزیع بار باد با توان دوم ارتفاع ساختمان افزایش می یابد در حالی که تغییر شکل جانبی سازه با توان چهارم ارتفاع رابطه مستقیم دارد.به طور کلی چهار فاکتور اساسی برای طراحی ساختمان های بلند باید مد نظر باشد:

مقاومت، سختی، پایداری. اگرچه معیار مقاومت معیار اصلی به شمار می آید اما با افزایش ارتفاع سختی و پایداری هم نقش مهمی در طراحی بازی می کنند و بیشتر مواقع کنترل کننده طرح می شوند. به طور کلی ۲ روش برای ارضای معیارهای سختی و پایداری وجود دارد:

روش اول ، بزرگتر کردن مقاطع و اعضا. بیشتر از آنچه برای معیار مقاومت لازم است می باشد. البته این روش محدودیت هایی دارد و در بعضی مواقع عملی و یا اقتصادی نیست.

www.SID.ir

Archive of SID

روش دوم و البته روش منطقی تر ، تغییر پیکربندی سازه و چیدمان اعضا به نحوی است که سازه به خودی خود از سختی و پایداری کافی برخوردار باشد، البته قابل توجه است که خوشبختانه تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر انهدام ساختمان تکمیل شده ناشی از بار باد ارائه نشده است.

می توان اثبات کرد که در یک سازه بلند تحت تأثیر نیروی باد، فروریزش باد وقتی اتفاق می افتد که خروج از مرکزیت نیروی ثقلی به حدی زیاد شود که باعث له شدن و یا کمانش ستون ها تحت نیروی محوری شود که به اثر P-Delta معروف است. بنابراین یک معیار مهم در پایداری سازه پیش بینی حد نهایی مقاومت سازه و نیروی باد در مرز پایداری است. نکته ی مهم که باید در نظر گرفته شود محدود کردن تغییر شکل جانبی نسبی طبقات به عنوان یکی از مهمترین شاخص های خرابی است، اگرچه اهمیت این قضیه کمتر از انهدام کلی سازه است اما به هر حال هزینه های بازسازی و بهسازی و جایگزینی شیشه ها و تیغه ها و نیز خطر پرتاب شدن شیشه ها به پیاده رو کم نیستند.

ساختمان های بلند و باریک باید طوری طراحی شوند که مقاومت کافی در برابر اثرات دینامیکی گرداب های باد که ناشی از تغییرات شدید فشار در وجوه پشت به باد ساختمان است داشته باشند. در این مقوله باید سختی سازه و سایر مشخصات دینامیکی طوری تنظیم شود که فرکانس اثر گردابی باد با فرکانس طبیعی سازه متفاوت باشد تا پدیده تشدید اتفاق نیفتد .

جابه جایی و شتاب طبقات بالا نباید آرامش و رفاه ساکنین را مخدوش کند.شتاب حداکثر در طبقات فوقانی ناشی از بادهای شدید مکرر باید تا حدی کاهش داده شود که ساکنین کمترین احساس را از حرکت ساختمان داشته باشند .

تحمل انسان در مقابل عمل باد

مسئله تحمل انسان در مقابل عمل باد چه در داخل و چه در خارج ساختمان ها و به صورت عاملی با اهمیت فزاینده در طرح ساختمان های بلند درآمده است.

حرکت جانبی (lateral sway) زیادی که دستگاه سازه یک ساختمان ممکن است قادر به تحمل آن باشد هنوز باید به حدود قابل قبول برای استفاده انسان کاهش داده شود. بعضی از ساکنین ساختمان های موجود در اثر حرکت جانبی ساختمان دچار حالت تهوع و بیماری ناشی از حرکت شده اند.

اشخاص حرکت ساختمان را احساس و تاب خوردن ساختمان را تشخیص می دهند. در مواقعی خسارت کوچکی به مبلمان و تجهیزات ساختمان وارد آمده. صداهای دلخراش عجیب از تکان خوردن محورهای آسانسور و نشت هوا در اطراف پنجره ها مشاهده شده، و صوت ناهنجار باد در اطراف نماهای ساختمان شنیده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

در چندین ساختمان ۴۰ تا ۵۰ طبقه واقع در شهر نیویورک حرکت جانبی و سرو صدای بیش از اندازه کار در پشت میز را برای افراد غیر ممکن کرده است، کارمندان مرتبا" در هنگام توفان های شدید از کار معاف شده اند.

وقایع عجیب و غریبی که در خارج ساختمان ها مشاهده میشود نیز هم برای ساکنین وهم برای همسایگان موجب ناراحتی و آزار گردیده است. تغییرات در خصوصیات محلی باد همچون جریان های گردباد تند که به دنبال ایجاد ساختمان های بلند به وجود می آیند لباس های شسته شده را از طناب های لباس جدا کرده، درهای باز اتومبیل را پیچانده و توده های زباله را در هوا پخش می کند.به دلیل بادهای متلاطم دائمی روی نمای ساختمان به جز در روزهای کاملا" آرام استفاده از بالکن برای بعضی از ساکنان ساختمان غیر ممکن است، بدتر از این پنجره ها ممکن است شکسته و یا از ساختمان مکیده شوند و با اشخاصی که در زیر عبور می کنند آسیب های خطرناک وارد کنندیا باعث مرگ آنان گردند.

لیست مثال ها را می توان ادامه داد ولی آنچه که اهمیت دارد اینست که در طرح ساختمان های بلند امروزه لازم است تشخیص داده شود که توجه به قابلیت تحمل انسان و فعالیت هایی که در داخل و اطراف ساختمان صورت می گیرد باید یک عامل اصلی باشد .

مرز احساس آسایش در مقابل سرعت وزش باد، بر اساس آزمایش های مکرر و بلند مدت بر روی بدن انسان به شرح زیر است:

۱ تا ۲ کیلومتر در ساعت: بی اهمیت

۲ تا ۴ کیلومتر در ساعت: مطبوع

۴ تا ۸ کیلومتر در ساعت: قابل تحمل

۸ تا ۱۶ کیلومتر در ساعت: گاهی همراه با احساس ناراحتی

۱۶ کیلومتر در ساعت و بیشتر: غیر قابل تحمل

طرح و بررسی ساختمان های بلند در اثر باد بر مبنای دو مطلب کلی زیر انجام می گیرد:

۱- تأثیر کلی باد بر سازه

۲- بررسی آثار موضوعی باد

آثار موضعی باد که در طرح روبنای سازه اهمیت دارد به راحتی قابل مقایسه نیستند و برای تعیین این آثار مدل سازه حتماً باید در تونل باد مورد آزمایش قرار بگیرد.

به طور کلی زمانی که سازه ای تحت بارهای آیرودینامیکی قرار می گیرد، دو نیروی عمده به سازه اعمال می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

_نیروی کششی که در جهت وزش باد ایجاد می گردد. علت بروز این نیرو وجود فشار و مکش در وجوه رو و پشت به باد در سازه می باشند.

_نیروی برآ، این نیرو در امتداد عمود بر وزش باد بر سازه اثر می گذارد که به علت وجود پدیده ی گردبادی در پشت سازه به وجود می آید .

البته علاوه بر دو نیروی فوق در ساختمان ها یک نیروی پیچشی نیز به وجود می آید که به علت منطبق نبودن مرکز الاستیک و مرکز جرم ساختمان بر هم می باشد.

اصول اولیه ی هواشناسی:

باد یا حرکت هوا نسبت به سطح زمین، اصولا تفاضل مقدار گرما خورشیدی هوا در مناطق مختلف سطح زمین می باشد. این تفاضل باعث می شود که ستون هوا در هر یک از این مناطق دارای ارتفاع متفاوتی می باشد. بنابراین در نقاط هم ارتفاع فشارهای متفاوتی وجود داردکه باعث نیروهای افقی شده و متعاقبا حرکت افقی هوا را ایجاد می کند. این حرکت نیروهای دیگری مانند نیروهای انحرافی یا کریولیس (دراثر دوران زمین) و نیروهای باز دارنده (در اثر اصطکاک سطح زمین و هوا) را به وجود می آورد. در حالت یکنواخت ، حرکت هوا با باقیمانده ای از نیروهای گرادیان فشار ، کریولیس، گریز از مرکز و اصطکاک مشخص می گردد.

نیروهای باد مورد نظر در طراحی سازه ها به وسیله دو سیستم مقیاس برزگ (مانند گردبادهای بسیار گرم) و بادهای محلی (مانند بادهای فون ، برا ، اثر جت و ترنادو) به وجود می آیند.

انواع باد:

- گردبادهای بسیار گرم

گردبادهای بسیار گرم در اثر وجود موانع کوهستانی در برابر جریان ها و توده های عظیم هوا و یا به وسیله اندرکنش این توده ها با خواص نسبتا یکنواخت بر سطوح افقی بسیار بزرگ که قابل مقایسه با اقیانوسها و کشورها باشد به وجود می آیند. گردبادهای بسیار گرم در عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۷۰ درجه و در پهنایی به بزرگی ۱۵۰۰ کیلومتر مشاهده گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

- گردبادهای مناطق گرمسیری

این گردبادها انرژی خود را از گرمای ذخیره شده موجود در بخار آب اقیانوس ها و آزاد شدن آن پس از سرد شدن در ارتفاعات بالا، به دست می آورند. این گردبادها در عرض جغرافیایی ۵ تا ۳۰ درجه به وجود می آیند و به قطر صدها کیلومتر می رسند. مرکز این بادها ببه چشم گردباد معروف است و قطر آن به دهها کیلومتر می رسد. قویترین بادها نزدیک چشم گردباد و تا فاصله ای حدود ۲۰۰کیلومتر از مرکز آن به وجود می آیند. اگر سرعت باد در سطح زمین از ۳۲ متر در ثانیه تجاوز کند به این گردبادها هاریکان می گویند. سرعت هاریکان ممکن است تا ۹۰ متر در ثانیه نیز برسد نمونه ای از این گردبادها که به وسیله ماهواره عکسبرداری شده در شکل زیر نشان داده شده است.

- توفان همراه با رعد و برق(thunder _ storm)

این توفان نیز در اثر سرد شدن بخار هوا در ارتفاعات بالا اتفاق می افتد. قطرات باران نیروهای کشش Viscous drag بر هوا وارد می کنند و از میان آن به طرف زمین فرود می آیند و بنابراین نیروی پایین کشنده قوی به وجود می آورند. وقتی که این نیروی پایین کشنده بر زمین گسترده می شوند بادهای بسیار شدید به وقوع می پیوندند . این مرحله معمولا بین ۵ تا ۳۰ دقیقه دوام پیدا میکند. یکی از مشخصات تندرها آن است که سرعت یک مرتبه افزایش می یابد. این پدیده به نام تندباد اولیه معروف است.

- بادهای فون

اینگونه بادها در پشت لبه های کوه اتفاق می افتد. در سمت جلوی کوه، جریان هوای تختفشار به وسیله شیب کوه افزایش می یابد و بخار آب آن سرد شده و ریزش می کند. وقتی که هوا از قله کوه می گذرد اجبارا نزول نموده و بادهای فون به وجود می آیند.

- بادهای بُرا

اینگونه بادها در مناطقی که یک شیب تند منطقه سردی را از یک منطقه گرم جدا می کند به وجود می آیند.

- بادهای اثر جت

شرایط توپوگرافی ممکن است خطوط جریان را همگرا کرده و سرعت باد را افزایش دهد. در چنین شرایطی بادهای حاصل را بادهای اثر جت می نامند.

- ترنادو

ترنادو قویترین نوع باد می باشد. یک ترنادو معمولاً شامل گردبادی از هوا می شود که حدوداً ۳۰۰متر قطر دارد و در داخل یک تندر (توفان همراه با رعد و برق) شدید به وجود آمده و نسبت به زمین با سرعتی معادل ۱۰تا ۳۰ متر در ثانیه حرکت می کند.

www.SID.ir

Archive of SID

ترنادو مسیری حدود ۱۵ کیلومتر را طی می کند. حداکثر سرعت مماسی ترنادو حدوداً ۱۰۰ متر بر ثانیه تخمین زده شده است، اما امکان بیشتر بودن این سرعت منتفی نمی باشد.

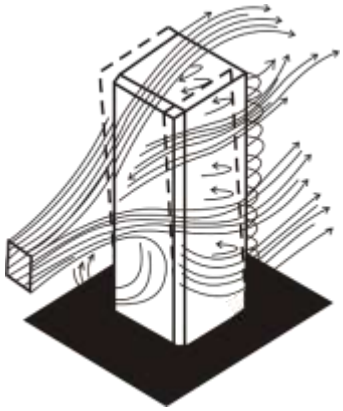
جهت باد:

هر حرکت ساختمان واکنشی در مقابل جهت باد است. موقعیکه که توده هوا که در جهت معینی در حال حرکت است با سطح ساختمان تماس پیدا می کند ، یک نیروی واژگونی ایجاد می شود؛ این نیروی واژگونی ناشی از فشار باد است و با ازدیاد سرعت باد یا ازدیاد سطح مانع شونده حرکت باد افزایش می یابد.

اگر عمل باد روی دو نمای مجاور ساختمان قابل ملاحظه باشد ممکن است خمش مضاعف در ساختمان ایجاد کند. جهت اولیه باد را می توان به ۲ مؤلفه که هریک روی یک نما عمل می کند تجزیه کرد.

خمش مضاعف ممکن است آثار مثبت و یا منفی روی حرکت ساختمان داشته باشد، تغییر مکان چند جهتی ممکن است کمتر از حالتی باشد که همان جریان هوا فقط روی یک نمای ساختمان عمل می کند. طرح آیرودینامیکی ساختمان ممکن است در خمش مضاعف کمک کند . فشار باد وقتی که جهت باد عمود بر نمای ساختمان باشد همیشه بیشترین است. از این رو موقعیکه جریان هوا در زاویه ای غیر از ۹۰ درجه نسبت به سطح برخورد میکند مقدار زیادی از نیروی باد به طور طبیعی هدر می رود.

فشار باد از دو مؤلفه که قبلا تعریف شد به وجود می آید، یکی سرعت متوسط باد و دیگری سرعت وزش ناگهانی. از آنجایی که سرعت های متوسط استاتیکی باد مقدار متوسطی در مدت زمان های طولانی تر می باشند فشارهای باد حاصل شده از آن نیز فشارهای متوسطی هستند که تغییر شکل یکنواختی به ساختمان می دهند. سرعت های وزش ناگهانی دینامیکی متقابلاً فشارهای



www.SID.ir

Archive of SID

باد دینامیکی تولید می نمایند و ایجاد تغییر شکل های اضافی می کنند که ممکن است برابر با تغییر شکل یکنواخت ساختمان باشد و برای ساختمان های باریک (Slender) این تغییر شکل های اضافی ممکن است حتی بیشتر باشد. این حرکات دینامیکی موسوم ضربه وزش ناگهانی می باشد. نیروهای نامنظمی که به وسیله ی عمل وزش ناگهانی ایجاد می شوند باعث ارتعاشات ساختمان می گردد که به طور کلی در جهت باد می باشد.

شکل۱رفتار جریان بادهنگام روبه رو شدن ساختمان

وقتی توده از هوای متحرک به مانعی مثلاً ساختمان برخورد می کند همچون هر سیال دیگری با حرکت به دو طرف ساختمان و سپس با پیوستن مجدد به جریان اصلی واکنش نشان می دهد.چون توده بیشتری از هوا از سطح ثابتی در یک زمان معین عبور می کند ، سرعت باد افزایش می یابد و جریان های متلاطم هوا ایجادمی شود. این جریان ها حتی در حالت ایده آلی که سازه متقارن باشد، متقارن نیستند. جریان های آشفته به طور کاملا تصادفی ایجاد می شوند.

اثر ونتوری نشان داده شده نوعی عمل جریان متلاطم باد می باشد. با عبور قیفی شکل توده هوای متحرک از فضای باریک بین دو ساختمان بلند جریان متلاطم ظاهر می شود. سرعت باد مربوطه در این فضا از سرعت باد جریان هوای اصلی تجاوز می کند. تا زمانی که هوا در تماس با سطح ساختمان است فشارهای مثبت هوا در هر جریان هوای متلاطمی ثبت می شود. ولی موقعیکه نمای محدب ساختمان بیش از اندازه تیز باشد و یا جریان هوا خیلی سریع باشد توده هوا سطح ساختمان را ترک کرده و مناطق هوای مرده با فشار منفی ایجاد می کند. در این نقاط کم فشار گردبادهای تند و ملایم که جریان هوای دورانی هستند به وسیله ی بادهای متلاطم ایجاد می شود. گوشه های پخ شده در نمای رو به باد باعث می گردد که انتقال باد خیلی ملایم تر صورت بگیرد. گردبادهای تند جریان های هوای با سرعت زیاد هستند که جریان های صعودی دورانی و مکنده در مجاورت ساختمان به وجود می آورند. همچنان که فرکانس پیدایش گردبادها به فرکانس طبیعی سازه نزدیک می شود ساختمان به نوسان در می آید. حرکتی که ایجاد می شود به طور کلی عمود بر جهت باد است. فرکانس پیدایش گردبادها تابعی از شکل و اندازه ساختمان است و غالباً می توان مقدار آن را با استفاده از دیوارهای با زمینه زبر و ناهموار و اشکال ساختمانی نامنظم کاهش داد.

گردبادهای ملایم هرچند که به مقدارهای زیاد مانند گردبادهای تند تشکیل می شوند جریان های هوای درونی هستند که به آرامی حرکت می نمایند و در ساختمان حرکت قابل توجهی را ایجاد نمی کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش کار

مطالعات موردی برج پرل رودخانه چین Pearl river tower Guangzhou China و مرکز تجاری جهانی بحرین Bahrain WTC.

برج پرل چین با کاربری اداری-تجاری و مساحت ناخالص ۲/۲ ft^2 و ۷۱ طبقه واقع در گوانگژو جمهوری خلق چین در سال ۲۰۱۳ ساخته شده است. این ساختمان به گونه ای طراحی شده است که جریان باد از طریق یک جفت بازشو به سمت طبقات تأسیساتی که گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع ساختمان از طریق توربین های تعبیه شده تأمین می کند هدایت می شود. انرژی تولید شده توسط توربین ها قابلیت ذخیره شدن در باتری هایی که در طبقات تأسیساتی تعبیه شده اند را داراست.

از جمله خاصیت های طبقات تأسیساتی مهار کردن ارتعاشات و صدای حاصل از توربین هاست.

این سازه به میزان ۵۸٪ کمتر از سازه های هم ارز خود انرژی مصرف می کند و نیاز به انرژی اضافی که از سیستم شهری تأمین می شود ندارد.

شکل ظاهری نشان می دهد که در طراحی نمای خارجی آن از بادشکن هایی استفاده شده که اثرات ناشی از بار باد را کاهش داده. همچنین نیروهای جانبی باد توسط دهانه ها و فرم ساختمان کنترل می شوند. بر روی محور عمودی و قیف مانند برج توربین هایی تعبیه شده که سرعت و شتاب باد را به میزان ۲/۵ برابر مقدار اولیه تسریع می نمایند . این توربین ها قابلیت تولید انرژی بیش از مصرف ساختمان را داشته و مازاد آن را در باتری هایی ذخیره می کنند. هر توربین بادی کوچک با قطر ۳ متر، ۱۰۰۰۰ KWh در سال برق تولید می کند.

مرکز تجارت جهانی بحرین با کاربری اداری-تجاری و ۵۰ طبقه در سال ۲۰۰۸ در منامه، بحرین ساخته شده است. ۳ ملخ ۲۹ متری بین این دو برج قرار دارد. ۱۱۰۰مگاوات برق در سال برای این ساختمان های ۴۲ طبقه تولید میکند. تحقیقات نشان می دهد ۷۰٪ از بادهایی که از خلیج فارس به ساحل بحرین می وزد در حد فاصل ۶۰ درجه ای ساحل فرود می آید به همین دلیل قرار شد این ساختمان به صورت مجموعه ای از دو سازه ی موازی ساخته شود که توربین بادی مانند پلی این دو بازو را بهم متصل کند.

هرکدام از این ۳ توربین KW 225 برق تولید می کندکه در مجموع ظرفیت تولید برق انها به KW 675 می رسد. این توربین ها ۱۰تا ۱۵٪ از نیاز این ساختمان به انرژی را تأمین می کند. از نظر جغرافیایی این ساختمان در مکانی واقع شده که سازه در اطراف آن نیست و باد تمییز از این توربین ها عبور می کند. فاصله بین این دو ساختمان در قسمت جلو m120 و در قسمت عقب m30است. به این ترتیب حداکثر میزان باد به این توربین ها برخورد می کند. طراحی ساختمان به گونه ای است که نه تنها

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت باد را افزایش می دهد بلکه جریان ان را به سمت توربین ها هدایت می کند. سه توربین واقع شده بین این دو ساختمان با یک سرعت می چرخد و به همین دلیل جریان برق تولید شده توسط آنها یکسان است.

بحث

جریان های لزج ویژگی چرخشی دارند ؛ تنش های برشی سبب تولید گشتاور چرخشی پیرامون مرکز جزء سیال می شوند از این رو مکانیسمی به وجود می آورند که جزء سیال را به چرخش می اندازند.

گردش عبارتست از منفی انتگرال خمیده خطی سرعت بر روی منحنی بسته ای در جریان سیال ؛ این ویژگی سینماتیکی است که تنها به میدان سرعت و انتخاب شکل منحنی C بستگی دارد. نخستین تعریف واژه گردش عبارتست از « حرکت بر روی دایره یا مدار » اما در آیرودینامیک گردش مفهوم فنی بسیار دقیقی دارد. این الزاماً به این معنا نیست که اجزای سیال در پیرامون دایره هایی در درون میدان جریان حرکت می کنند، برعکس وجود گردش در جریان به این معناست که انتگرال خمیده خطی معادله ی $\neg \equiv -\oint_c V.ds$ مقدار مشخصی دارد.

گردش با چرخش نیز ارتباط دارد :

$$\neg = -\oint_c V.ds = -\iint_s (\nabla \times V)$$

بنابراین گردش پیرامون منحنی C مساوی با چرخش انتگرال گیری شده بر روی هر سطح باز کراندار شده به وسیله C است. اگر جریان در هر نقطه درون مسیر انتگرال گیری غیر چرخشی باشد (یعنی اگر بر روی هر سطخ کراندار شده به وسیله ی C، $\nabla \times V=0$ آنگاه $\neg = ۰$ ؛ نتیجه ی مناسب را با فرض بینهایت کوچک شدن C می توان به دست آورد، که گردش پیرامون این منحنی بینهایت کوچک را با $d\neg$ نشان می دهیم.

در آیرودینامیک اجسام نوک پهن همچون استوانه نقش مهمی دارد. در اینجا جریان در پیرامون سطح جلو استوانه انبساط می یابد، اما از سطح پشت استوانه جدا می شود و دنباله ی ضخیمی را در پایین دست جریان به وجود می آورد. این جریان ها تحت تأثیر لزجت هستند.

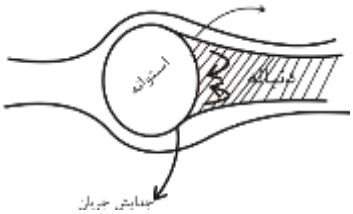
www.SID.ir

Archive of SID

از پدیده های مهم جریان خارجی جدایی لایه مرزی است و آن در قسمت هایی پیش می آید که تغییر فشار بر روی بدنه مثبت و از حدی بیشتر است.

جریان روی استوانه نمونه ای است که می توان این پدیده و آثار آن را نشان داد. با جدا شدن لایه شکل جدید و واقعی جریان به دست می آید؛ و همچنین شکل جریان و محل جدایی بستگی به توربولانت شدن لایه مرزی و یا عدد Re دارد. عددهای رینولدز باید مورد توجه قرار بگیرند.

چون این اجسام همگی در زاویه حمله صفر هستند. پسا مساوی با نیروی محوری است. بنابراین پسای دهانه واحد را به صورت زیر می توان نوشت :



$$D` = \int_{LE}^{TE} -\rho_u \sin\theta \; ds_u + \int_{LE}^{TE} P_l \sin\theta \; ds_l + \int_{LE}^{TE} \tau_u \cos\theta \; ds_u + \int_{LE}^{TE} \tau_u \cos\theta \; ds_l$$

یعنی پسای وارد بر هر جسم آیرودینامیکی از پسای فشاری و پسای اصطکاک پوستی تشکیل می شود. این موضوع با اینکه تنها دو منبع عمده ی نیروی آیرودینامیکی وارد بر جسم عبارتند از توزیع های فشار و تنش برشی بر روی سطح جسم کاملا سازگار است. معمولا تقسیم پسای کلی به دو مؤلفه ی آن ، یعنی پسای فشاری و اصطکاک پوستی در تحلیل پدیده های آیرودینامیکی بسیار سودمند است.

جریان بدون برآی پیرامون استوانه:

www.SID.ir

Archive of SID

در این راستا چگونگی شبیه سازی جریان پیرامون جسم نیمه نامتناهی را به وسیله ی ترکیب جریان یکنواخت و چشمه و ایجاد جریان پیرامون جسم بیضی گون را از طریق برهم نهی جریان یکنواخت و زوج چشمه – چاه دریافته ایم. ترکیب جریان یکنواخت و دوقلو جریان پیرامون استوانه را به وجود می آورد. استوانه یکی از شکل های هندسی بسیار اساسی است و بررسی جریان در پیرامون چنین جسمی در زمره ی مسائل اصلی آیرودینامیک به شمار می رود.

در جبهه رو به باد ساختمان توده ای تقریباًگره ای شکل از هوا به وجود می آید که متقابلاً باعث جریان یافتن هوا به سمت بالا و اطراف می شود.

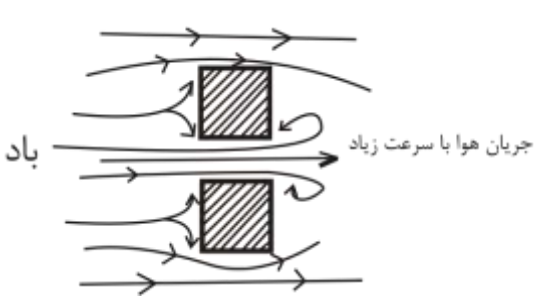
لایه ای منفصل از هوا بین ساختمان و هوای ساکن از یک طرف و لایه هوای در حال حرکت از طرف دیگر، تشکیل می شود. این لایه هوای در حال حرکت خود ممکن است به دلیل اینکه مانع سطح موجود برای حرکت را باریک می کند سرعتیابد و به سرعت اولیه برسد. در لایه ی منفصل به دلیل اصطکاک، سطح بالای هوای ساکن به طرف جلو حرکت می کند و در نتیجه جریان پیچشی یا گردبادی تولید می شود.

لایه هوای متحرک پس از منحرف شدن به دلیل نیروی محرکه اش می کوشد تا به حرکت خود در مسیر مستقیم ادامه دهد. بنابراین پس از برخورد با مانع زمانی طول می کشد تا این لایه دوباره به سطح زمسن بازگردد و تمام مقطع موجود را اشغال کند.به همین دلیل توده ای از هوای آرام نیز در منطقه پشت به باد به وجود می آید، با این تفاوت که فشار هوا در این منطقه کاهش یافته است. در حقیقت این توده ها کاملاً آرام نیست، بلکه جریان گردبادی به وجود می آید که سرعتی آرام و متغیر دارد و اغلب «سایه باد» نامیده می شود. بنابراین هرجا که لایه هوای متحرک از سطوح جامد اشیاء جدا شود جریان های گردبادی به وجود می آید. این جریان های گردبادی در قسمت های رو به باد، در فشار زیاد و در قسمت های پشت به باد در فشار کم هستند. تناوب پیدایش گردبادها تابع شکل و اندازه ی ساختمان است واغلب می توان مقدار آن را با استفاده از دیوارهای با زمینه ی زبر و ناهموار و شکل های ساختمانی نامنظم کاهش داد.

اثر ونتوری که در شکل زیر نشان داده شده است، نوعی عمل جریان متلاطم باد است که با عبور قیفی شکل توده هوای متحرک، از فضای باریک بین دو ساختمان بلند، ظاهر می شود. سرعت باد در این فضا از سرعت باد در جریان هوای اصلی تجاوز می کند.اثر ونتوری: اگر دو ساختمان یا دو ردیف ساختمان طوری قرار گیرند که باد را در گوشه ای محصور کنند سرعت باد در نقطه ای حساس که باریکترین قسمت است به حداکثر می رسد. اگر شکل فضای بین ساختمان ها متوجه قسمت باریک باشد و سپساز آن دور بشود، فراسنج آسایش برابر با ۲ می گردد. در مجموع برای وقوع اثر ونتوری ساختمان ها باید در حدود ۱۳,۵ متر یا بیشتر ارتفاع داشته باشند و طول دو طرف نباید از ۹۰ متر کمتر باشد. در صورتی که مجرای ورود و خروج، دارای عرضهای بین ۲ تا ۳

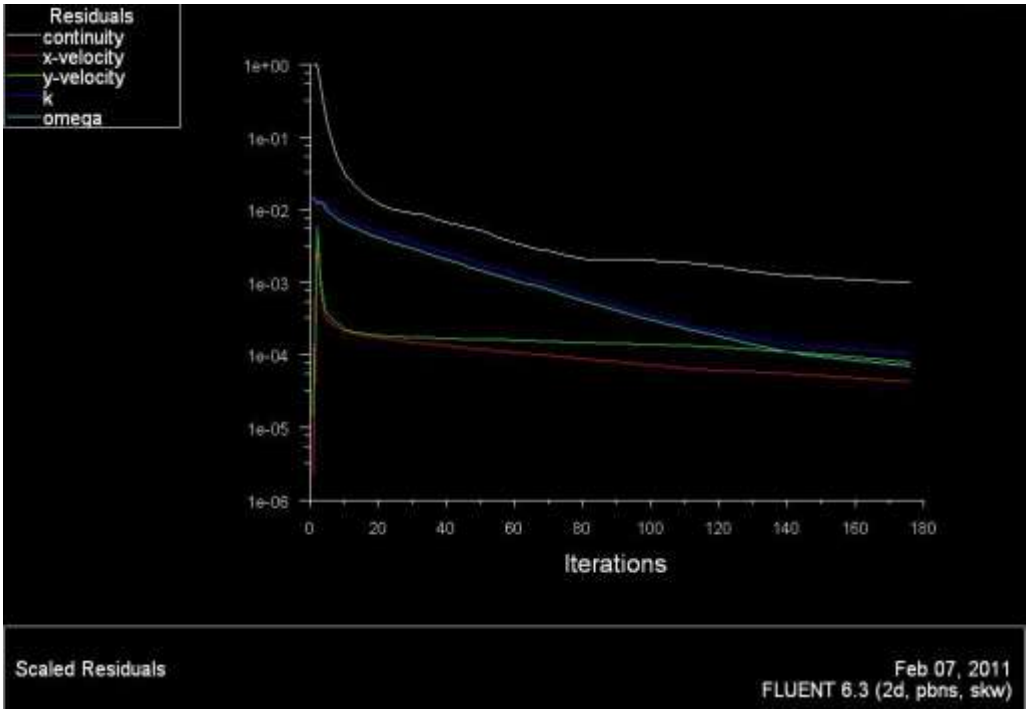
www.SID.ir

Archive of SID



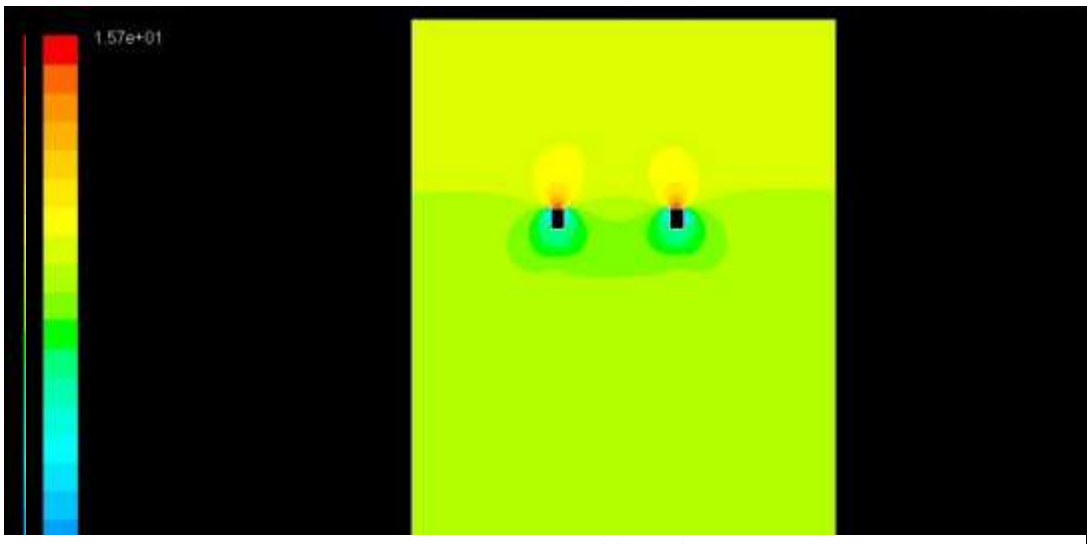
برابر ارتفاع ساختمن باشد فراسنج آسایش برای ساختمان هایی با بلندی ۲۲,۵ متر، ۱,۳ و برای ساختمان های با بلنـدی ۲۷ متـر، ۱,۶ خواهد بود.

نتیجه گیری

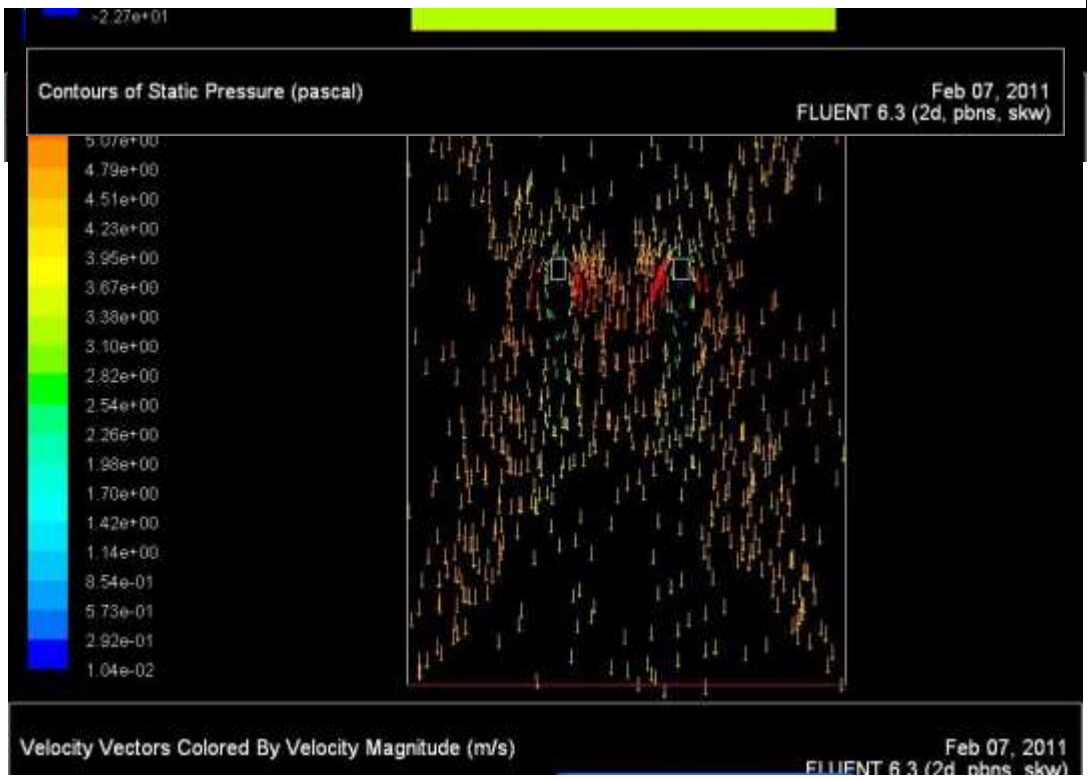


www.SID.ir

Archive of SID



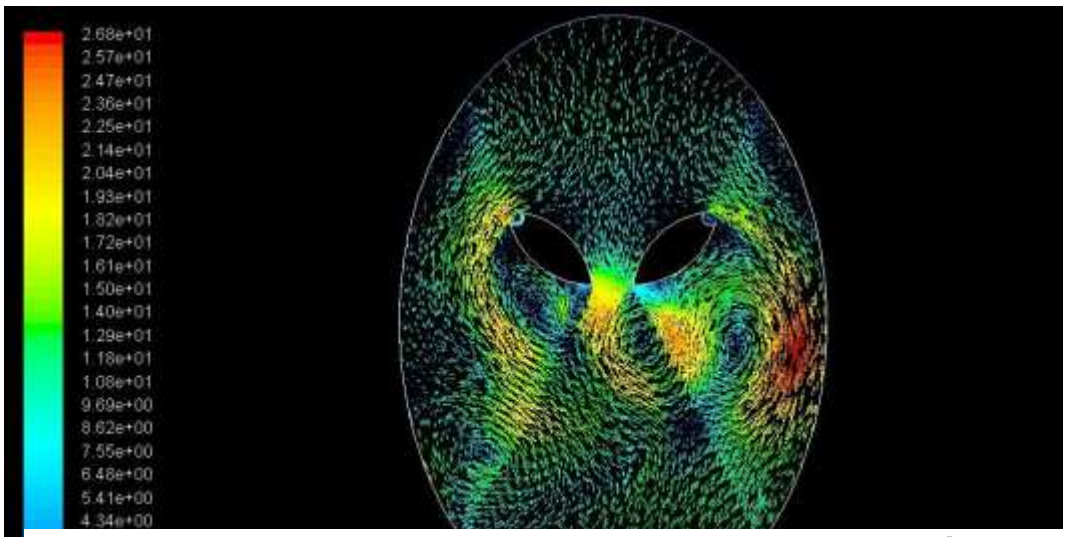
شکل۲. نمایش جریان باد به شکل برداری در مقایس بزرگتر در اطراف پلان برج فانوس دبی.



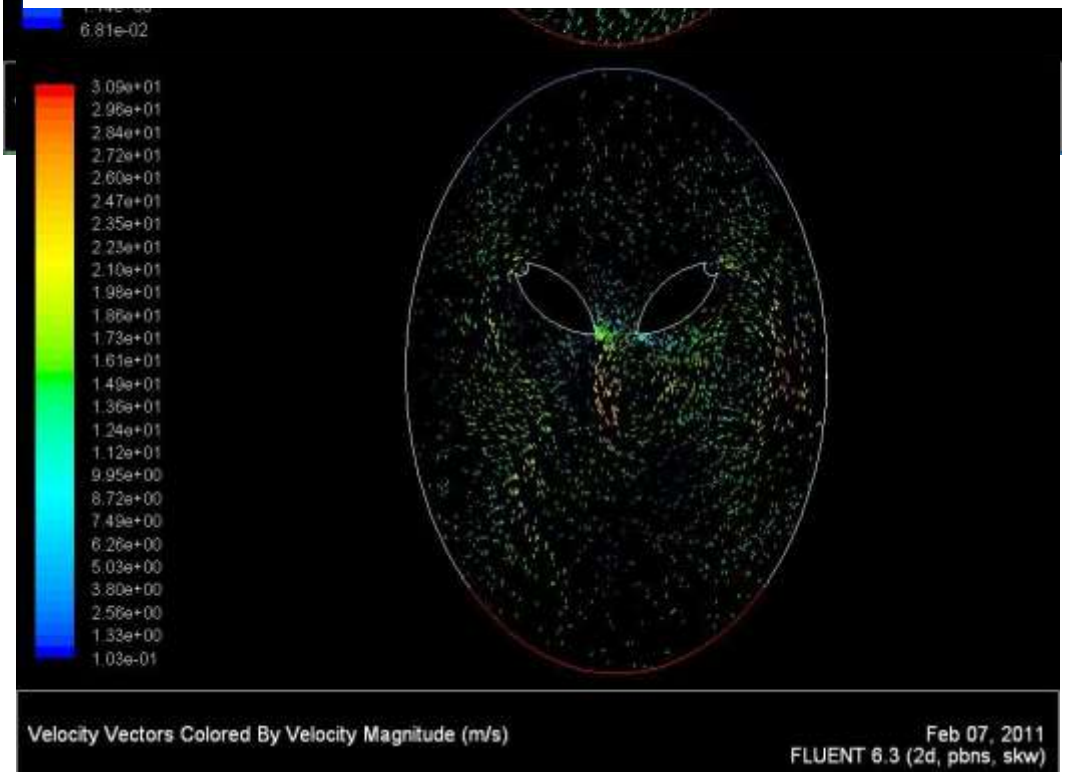
شکل۳. نمایش جریان باد آزاد در اطراف سازه که نشان دهنده افزایش سرعت آن است توسط نرم افزار فلوئنت.

www.SID.ir

Archive of SID



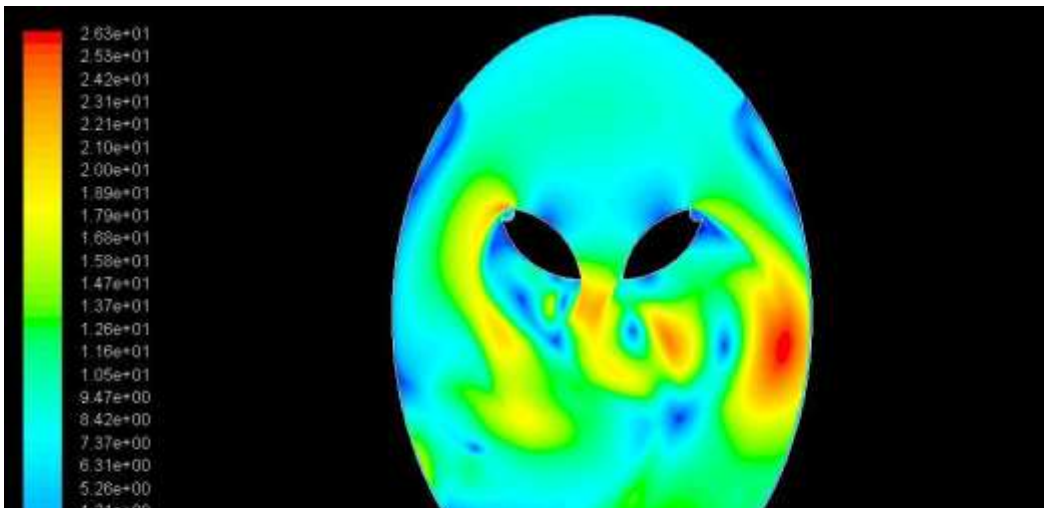
شکل۴. نمایش آشفتگی جریان باد اطراف ساختمان بلند توسط رنگ‌ها



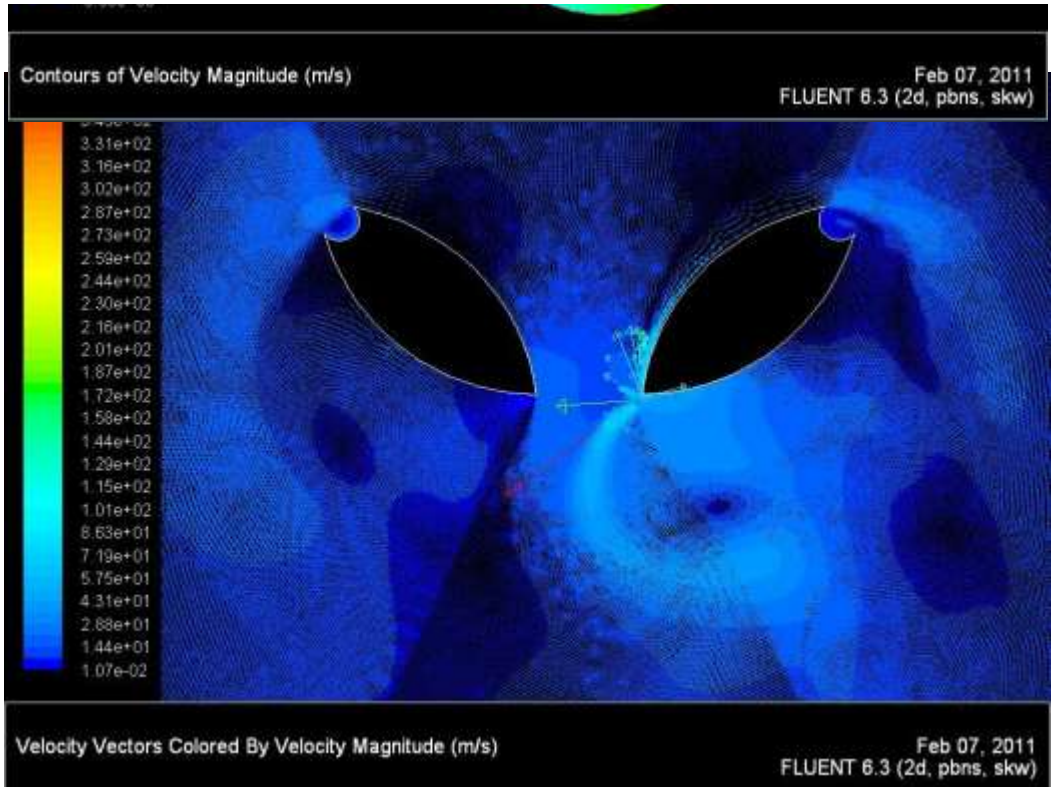
www.SID.ir

شکل۵. شبیه سازی جریان در اطراف برج تجاری بحرین از نمای بالا، به شکل برداری کشیده شدن آشفتگی جریان به نواحی دورتر سازه

Archive of SID



شکل ۶. شبیه سازی کامل جریان باد در اطراف برج تجاری بحرین از نمای بالا و نمایان شدن کامل تغییرات سرعت، افزایش سرعت بین دو ساختمان به خصوص در دهانه خروجی و در نهایت آشفتگی های سرعت جریان پس از سازه که موجب گردباد های کوچک هم می شود.



شکل۷. شبیه سازی جریان در اطراف برج تجاری بحرین از نمای بالا. آغاز ایجاد vortex ها در اطراف سازه به شکل برداری و از نمای نزدیک

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت جریان باد در نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که ایران به عنوان یک منطقه ی بادخیز در اکثر نواحی مـی‌توانـد بهتـرین و بیشترین استفاده از جریان باد را داشته باشد. این در حالیست که به علت استفاده از آب برای تولید جریان برق و ذخیـره‌ی آن در پشت سدها به آسیب بسیار شدید اکوسیستم نواحی متعدد پرداخته یا با استفاده از منابع تجدیدناپذیر مسبب مسـمومیت طبیعـت شده و میزان مصرف انرژی را جزء معضلات می‌دانیم. در حالیکه اگر هر ساختمان انرژی خودش را از منابع تجدیدپذیر نظیـر بـاد و خورشید تأمین کند باعث حل شدن بسیاری از مشکلات طبیعت و ساکنین خودش شده است.

منابع

۱. ولف گانگ شولر، سازه های ساختمان های بلند، ترجمه دکتر حجت الله عادلی، چاپ چهارم، چاپخانه مروری، ۱۳۷۱.

۲. مهندس ژاله طالبی و مشاور مهندس ایرج کلانتری، راهنمایی طراحی معماری ساختمان های بلنـد مسـکونی، چـاپ هفـتم، مرکـز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: گ- ۲۳۶، اردیبهشت ماه ۱۳۹۴.

۳. دکتر محمد یحیایی، اثرباد بر سازه به انضمام آیین نامه ۱۹۹۶ ASCE، چاپ اول، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بهمن ماه ۱۳۷۸.

4. Jiming Xie, J, (2012). Aerodynamic optimization in super – tall building designs, The seventh international colloquium on Bluff Body Aerodynamics and its Applications (BBAA7) shanghai, china. September 2-6, 2012.
5. J.A.Amin and A.K.Ahuja, J.A and J.A and A.K, (2010). Aerodynamic modifications to the shape of the buildings : A review of the state – of - the – ART, Asian journal of civil engineering (building and housing) VOL. 11,NO. 4(2020) pages 433-450.

۶. دکتر زهرا قیابکلو، مبانی فیزیک ۲ ساختمان، تنظیم شرایط محیطی. چاپ یازدهم. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۴.

۷. جان اندرسن، مبانی آیرودینامیک (جلد اول)، ترجمه ی دکتر کریم مظاهری، دکتر محمدعلی ایـوبی، مهنـدس مهـران درّی. چـاپ دوم، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۲.

۸. حمیدمراد تبریزی و امیرنجات حم.ا ، (۱۳۹۴). طراحی و بهینه سازی پره توربین بادی مگاواتی بر پایه تئـوری انـدازه حرکـت المـان پره، مجله مهندسی مکانیک مدرس، دی ۱۳۹۴، دوره ۱۵ شماره ۱۰، ص‌ص ۲۷۰-۲۹۰.

۹. مقررات ملی ساختمان، (۲۰۰۷)، مبحث ششم.

www.SID.ir