

بررسی توربولانس ناشی از باد در ساختمان‌های بلند در هنگام ساخت با مقاطع متفاوت در پلان

حسین بخشی^{۱*}، مه‌اله رخشانی مهر^۲، محمد رامشینی^۳

۱. استادیار دانشکده مهندسی گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
۲. استادیار دانشکده فنی دانشگاه الزهراء
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

h.bakhshi@hsu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۲/۲۳]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۴/۱۴]

چکیده- پیشرفت دانش مهندسی، روش‌ها و تکنیک‌های جدید در صنعت ساخت، امکان احداث سازه‌هایی که به شکل قابل ملاحظه‌ای سبک، مرتفع و انعطاف‌پذیر باشند را فراهم کرده است. حساسیت چنین سازه‌هایی در برابر نیروی باد بیشتر از سازه‌های سنتی و کم ارتفاع است. اصولاً نیروی باد نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در طراحی سازه‌های بلند دارد و لازم است در طراحی آن‌ها اثر باد و نیروهای حاصل از آن با دقت بیشتری بررسی شود. یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در رفتار تعادلی سازه و احساس آرامش افراد مستقر در سازه، میزان ارتعاش سازه است که با درصد توربولانس معرفی می‌شود. به دلیل وجود تراکم بیشتر پوشش‌های گیاهی و سازه‌های پیرامونی در نقاط نزدیک به زمین، میزان درصد توربولانس در ارتفاعات پایین بیشتر است. در این پژوهش با استفاده از مطالعات قبلی در خصوص شبیه‌سازی لایه مرزی اتمسفریک هوا در تونل باد، مدل‌سازی نرم‌افزاری پروفیل سرعت باد ایجاد شده در اطراف دو ساختمان در هنگام ساخت- در مراحل مختلف تکمیل دیوارهای جانبی- با شکل‌های متفاوت در پلان، انجام و درصد توربولانس تولیدشده در اطراف هر دو ساختمان بررسی می‌شود. در نهایت مشخص می‌شود سازه‌هایی که در پلان از خاصیت آنرودینامیک بیشتری برخوردارند رفتار بهتری در برابر نیروی باد از خود نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی لایه مرزی اتمسفریک، تونل باد، درصد توربولانس، آنرودینامیک در پلان

۱- مقدمه

سازه‌های سنتی کم ارتفاع نشان می‌دهند. اصولاً نیروی باد تأثیر بیشتری بر سازه‌های بلندمرتبه نسبت به سازه‌های کوتاه داشته و لازم است در طراحی این سازه‌ها اثر باد و نیروهای حاصل از آن با دقت بیشتری بررسی و اعمال شود [1]. جریان باد نیروی محرکه‌ای برای بسیاری از پدیده‌های موثر بر محیط زیست شهری مانند تهویه محیط داخلی و خارجی، انتقال حرارت، پراکندگی آلودگی و کیفیت

پیشرفت علم مهندسی عمران، ایجاد روش‌ها و تکنیک‌های جدید در صنعت ساختمان‌سازی، امکان احداث سازه‌هایی که به شکل قابل ملاحظه‌ای انعطاف‌پذیر، سبک و درعین حال مرتفع باشند را فراهم کرده است. چنین سازه‌هایی در برابر نیروی باد حساسیت بیشتری نسبت به

برابر باشد. هرچه زمین ناهموارتر باشد کندی سرعت میانگین باد که ناشی از اصطکاک آن با سطح زمین است بیشتر خواهد بود [14]. این کندی سرعت در ارتفاعات پایین‌تر بیشتر از ارتفاعات بالا خواهد بود. مطابق با آیین‌نامه باد آمریکا [6]، سه نوع پوشش منطقه با نام B, C, D وجود دارد:

پوشش منطقه B به مناطق شهری، حومه شهری، نواحی جنگلی و پوشیده از درخت و گیاه اشاره دارد. به گونه‌ای که نواحی قرارگرفته در شعاعی کمتر از ۷۹۲ متر و یا ۲۰ برابر ارتفاع بلندترین سازه‌ی موجود هرکدام که بزرگ‌تر باشد، جزء این پوشش منطقه است.

پوشش منطقه D به مناطق صاف، نواحی خارج شهری بدون تراکم ساختمان و پوشش گیاهی مانند سواحل دریا اشاره دارد. به گونه‌ای که نواحی قرارگرفته در شعاعی بزرگ‌تر از ۱۵۲۴ متر و یا ۲۰ برابر ارتفاع بلندترین سازه‌ی موجود هرکدام که بزرگ‌تر باشد، جزء این پوشش منطقه محسوب می‌شود. تمام سازه‌هایی که جزء پوشش منطقه B, D نباشد در گروه پوشش منطقه C قرار می‌گیرد. در شکل (۱) نمایی از سه پوشش منطقه B, C, D نشان داده شده است.

تونل‌های باد مناسب آزمایش‌های مهندسی عمران برای شبیه‌سازی لایه‌مرزی اتمسفریک به ندرت دارای مقاطع بیشتر از سه متر در سه متر است (تنها تونل‌باد تحقیقات ملی در اتاوی کانادا دارای مقطع نه متر در نه متر است). پرکاربردترین تونل‌های باد استفاده شده در علم مهندسی عمران تونل‌های باد کوتاه و بلند است. بهترین روش برای شبیه‌سازی لایه‌مرزی اتمسفریک اجازه حرکت باد روی مسیری با مشخصات طبیعی زمین است. مشکل این روش مقیاس شبیه‌سازی است که خود تابعی از طول مسیر دارای زبری است. با توجه به بارگذاری باد روی سازه طول این مسیر زبری زیاد است. این طول بالا از مسیر زبری در تونل‌های باد بلند حدود ۱۵-۲۷ متر است [9].

تونل‌های بلند یاد شده قادر به تولید لایه‌مرزی ضخیمی از پروفیل سرعت باد همراه با ایجاد توربولانس ناشی از موانع طبیعی موجود در مسیر باد هستند که مناسب برای شبیه‌سازی لایه‌مرزی اتمسفریک (ABL) است. طراحی و اجرای چنین تونل بادی با این طول مقطع آزمایش علاوه بر فضای بزرگ نیازمند هزینه بالا و

هوا است [2, 3, 4, 5]. با وجود اهمیت آن برای زندگی بشر در شهرها با این حال، جریان‌های شهری هنوز به طور کامل درک نشده است. بنابراین مطالعه تأثیر باد روی ساختمان‌های بلند، به منظور تحلیل و طراحی از اهمیت زیادی برخوردار است. آیین‌نامه‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه تعاریف مشخصی درباره رفتار ساختمان‌های بلند دارند. در این پژوهش از ضوابط آیین‌نامه آمریکا (انجمن مهندسين عمران آمریکا ASCE2010) [6] استفاده می‌شود. موضوع مهمی که در تمامی مطالعات در شاخه مهندسی باد باید رعایت شود، بررسی جریان لایه‌مرزی اتمسفریک در اطراف سازه است. لایه‌مرزی اتمسفریک، لایه‌ای مرزی از هوا روی سطح زمین است که در ارتفاع بالاتر از آن اصطکاک سطح تأثیری روی جریان طبیعی باد ندارد. جریان هوای در حال حرکت به دو قسمت جریان اصلی و جریان لایه‌ی مرزی (اتمسفریک) تقسیم می‌شود. مهم‌ترین پارامتری که این دو جریان را از هم تفکیک می‌کند اصطکاک سیال (ویسکوزیته fluid friction) است. اصطکاک در جریان اصلی تقریباً ناچیز ولی در جریان لایه‌ی مرزی بسیار مهم است. به گونه‌ای که هر ناحیه با هر پوشش منطقه دارای ارتفاع لایه‌ی مرزی متفاوت است. درباره‌ی روش‌های جدید و امکانات مورد نیاز برای شبیه‌سازی جریان لایه‌ی مرزی اتمسفریک مطالعات زیادی انجام شده است [6, 7, 8, 9, 10, 11]. مقایسه پروفیل سرعت ایجاد شده در لایه‌ی مرزی اتمسفریک موضوع مهمی است که در مطالعات قبلی انجام شده است [9]. پس از رسیدن به یک محیط مناسب که شرایط ایده‌آل آیین‌نامه از نظر منطبق بودن پروفیل سرعت باد به دست آمده و پروفیل سرعت باد آیین‌نامه در آن برقرار باشد [9] می‌توان مطالعات و نتایج مورد نیاز دیگری از قبیل درصد توربولانس را که در این پژوهش بررسی می‌شود به دست آورد.

۲- شبیه‌سازی لایه‌مرزی اتمسفریک

شبیه‌سازی لایه‌مرزی اتمسفریک در تونل‌باد مطابق با آیین‌نامه، رابطه مستقیمی با شرایط پوششی و زبری سطح زمین آن منطقه دارد [8, 9]. برای رسیدن به یک مدل مطلوب از جریان لایه‌ی مرزی هوا که پروفیل سرعت باد مطابق با آیین‌نامه را نتیجه دهد، مقطعی مناسب است که در نقاط مختلف از هر تراز ارتفاعی سرعت باد

مدل ساخته شده آن قدر کوچک نباشد که دقت ساخت مدل و نتیجه گیری های انجام شده با خطا روبرو شود.

جدول ۱ مقطع مناسب تونل باد برای به دست آوردن پروفیل سرعت باد
آیین نامه

wind tunnel appropriate (appropriate distance of tunnel entrance section) (L is by meter)	Area cover
1.60	B
1.50	C
1.60	D

Table 1 wind tunnel appropriate section to determine Regulations wind speed profiles

البته موارد دیگری نیز در انتخاب مقیاس از قبیل تعداد موانع به دست آمده و فواصل آن ها از یکدیگر به طوری که در فضای تونل مورد نظر جای گیرند، رعایت می شود [17,16,13] با توجه به موارد گفته شده در نهایت از مقیاس $\frac{1}{600}$ برای طراحی سیستم محرک این تونل استفاده شد.

۳- اصول و روش های مدل سازی

شبیه سازی مناسب تمام ویژگی های نیروی باد از شروط اصلی در یک مدل سازی فیزیکی درست است. لایه مرزی اتمسفریک در محیط های شهری کوچک تا حدود ۲۰۰ متر بالای سطح زمین ادامه پیدا می کند در حالی که در شهرهای صنعتی و بزرگ ضخامت این لایه تا ۱۰۰۰ متر نیز می رسد [14]. در تحلیل هر مساله به خصوص در مواردی که باید آزمایش شوند مجموعه ای از پارامترهای بدون بعد حاکم مشخص می شود. این پارامترها در برخی موارد با نوشتن معادلات دیفرانسیل جزئی که سیستم فیزیکی مورد نظر را تعریف می کند، به دست می آیند. سپس این معادلات با تفسیر هر پارامتر کلیدی به مقدار مرجع که واحد معادل دارد، بدون بعد می شود. زمانی که این مراحل انجام شد تعدادی عدد بدون بعد که تشکیل ضرایب حاکم بر رفتار فیزیکی سیستم را می دهند، به وجود می آیند. با حفظ این مقادیر در مدل و مقیاس کامل (مدل اصلی) شبیه سازی به طور مطلوبی انجام می شود.

در این مطالعات شرایط و مواردی که با یکسان سازی آن ها در مدل و نمونه اصلی شبیه سازی این دو مورد به واقعیت نزدیک تر باشد به صورت زیر آورده شده است [7]:

تعمیرات و نگهداری پیچیده تر است. برای رفع این مشکل از تونل باد کوتاه با استفاده از سیستم های محرک استفاده می شود. مطالعات زیادی درباره ی مشخصات این سیستم ها و چگونگی طراحی المان های مخروطی و مکعبی شکل (شبیه ساز زبری سطح) انجام شده است. کاربردی ترین و بهترین روش به دست آمده، استفاده از نتایج مطالعات ۱۹۸۶ simiu و scanlan است [15].

شکل ۱. تعریف پوشش های منطقه ای مختلف مطابق با آیین نامه

[2] (ASCE2010)

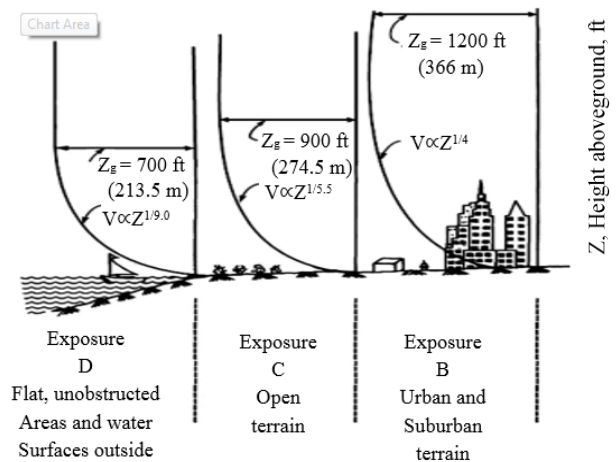


Fig. 1. define different areas covers in accordance with Regulations (ASCE2010) [2]

در این پژوهش تونل باد بررسی شده دارای سیستم سیرکوله باز با طول ۲ متر، ارتفاع ۱/۲ متر و عرض ۱ متر است. با استفاده از روش گفته شده در بالا [15]، سیستم محرک (موانع ورودی تونل باد) مورد نیاز تونل باد طراحی شد. در این روش [15] پس از طراحی سیستم محرک مورد نیاز هر پوشش منطقه، تونل باد مورد نیاز در نرم افزار Fluent مدل سازی می شود. در این نرم افزار بهترین مقطع از ورودی تونل باد که پروفیل سرعت باد آیین نامه [6] را نتیجه دهد به دست می آید. این مقطع برای هر پوشش منطقه به شکل جداگانه در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر این جدول نشان دهنده طولی از مقطع تونل باد است که در آن مقطع پروفیل سرعت باد آیین نامه به آن اشاره شده است.

به طور کلی مقیاس مدل باید به گونه ای انتخاب شود که ارتفاع لایه مرزی به دست آمده از ارتفاع تونل تجاوز نکرده و همچنین ابعاد

۱- عدد رینولدز:

$$Re = \frac{U_0 \cdot L_0}{\nu_0} \quad (6)$$

۲- عدد ریچاردسون:

$$R_i = \left(\frac{\Delta T_0}{T_0} \right) \left(\frac{L_0 \cdot g}{U_0^2} \right) \quad (7)$$

۳- عدد روسبی:

$$R_i = \left(\frac{\Delta T_0}{T_0} \right) \left(\frac{L_0 \cdot g}{U_0^2} \right) R_0 = \frac{U_0}{L_0 \cdot \Omega_0} \quad (8)$$

۴- عدد پراندتل:

$$Pr = \frac{\nu_0 \cdot \rho_0 \cdot C_{p0}}{K_0} \quad (9)$$

۵- عدد ایکرت:

$$Ec = \frac{U_0^2}{C_{p0} \cdot \Delta T_0} \quad (10)$$

به علاوه شرایط مرزی که نیاز به شبیه‌سازی دقیق دارند عبارتند

از:

۱- زبری سطح و دما در سطح زمین

۲- ساختار و نوع جریان در محیط لایه‌ی مرزی اتمسفریک

۳- تغییرات فشار صفر در راستای اصلی جریان

تقریباً در تمام مواردی که نیاز است جریان سیال در مدل و نمونه اصلی شبیه‌سازی شود برقراری عدد رینولدز برای هر دو مورد ضروری است. عدد ریچاردسون تنها برای شبیه‌سازی دما لازم است. در مواردی که لایه‌ی مرزی اتمسفریک مستقل از تأثیر چرخش باد (Ekman) باشد شبیه‌سازی بدون برقراری عدد روسبی امکان‌پذیر است. برای شبیه‌سازی جریان باد در تونل عدد پراندتل همیشه برقرار بوده و برقراری عدد ایکرت نیز تنها در جریان‌های فشرده مورد نیاز است. با توجه به مطالب گفته شده برقراری شرایط ایده‌آل برای شبیه‌سازی جریان لایه‌ی مرزی اتمسفریک در تونل باد به راحتی امکان‌پذیر نیست. مهم‌ترین عامل نیز برای شبیه‌سازی، برقراری شرایط مشابه در زبری سطح است. درباره زبری و ناهمواری سطح، مطالعات دقیق‌تر به وسیله Cermak انجام شد [7] که محاسبه طول ناهمواری زمین z_0 سرعت نوسانی u_0 سطح دارای زبری، از جمله نتایج این مطالعات است.

دو ساختمان با مشخصاتی که در جدول (۲) در مقیاس واقعی آورده شده است برای مطالعه در این پژوهش استفاده می‌شوند. این دو ساختمان با ارتفاع و سطح مقطع یکسان اما متفاوت در پلان است. ساختمان شماره ۱ دارای پلان مربعی و ساختمان شماره ۲

پلانی دایره‌ای شکل دارد. در جدول (۳) وضعیت اجرایی ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ مدل شده در نرم‌افزار Fluent نشان داده شده است. ساختمان‌های مذکور به دلیل محدودیت‌های مدل‌سازی در ۱۵ طبقه ۲۰ متری تعریف شده‌اند. مدل‌ها پس از مش‌زدن در نرم‌افزار Workbench با نرم‌افزار Fluent تحلیل و طراحی می‌شود. به منظور لحاظ کردن شرایط حین ساخت، مدل‌ها به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که در مرحله اول سقف تمام طبقات اجرا شده است. در ادامه به تدریج دیوارهای جانبی ساختمان تکمیل شده و در نتیجه نیروی بیشتری از باد جذب سازه می‌شود.

به این ترتیب با این روش از مدل‌سازی، پروفیل سرعت باد تشکیل شده در جلو و پشت هر دو ساختمان، در حین تکمیل شدن دیوارهای جانبی ساختمان به دست آمده و در نتیجه علاوه بر مقایسه این دو ساختمان نسبت به هم می‌توان هر کدام از دو ساختمان را به طور مجزا در مراحل مختلف از ساخت، مقایسه نمود.

جدول ۲ مشخصات هندسی مدل‌ها در مقیاس واقعی

2	1	Structure
circle	square	Structure section shape
-	70	Length(meter)
-	70	Width(meter)
78.98	-	Diameter(meter)
300	300	Height(meter)
4900	4900	Section area (square meter)

Table 2 geometry of models in full-scale

جدول ۳ وضعیت اجرایی ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ مدل شده در نرم‌افزار Fluent

Status of implementation of the side walls of buildings in two modes 1 and 2	
without side walls	A
side walls up to 40-meter height	B
side walls up to 200-meter height	C
complete side walls up to 300-meter height	D

Table 3 administrative Condition in buildings 1 and 2 simulated in fluent software

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در رفتار تعادلی سازه و احساس آرامش افراد مستقر در سازه، میزان ارتعاش سازه بوده که با عنوان درصد توربولانس سازه معرفی می‌شود. این پارامتر میزان درصد توربولانس را در هر ارتفاع مشخصی از سازه بیان می‌کند [19,17].

درصد توربولانس یا شدت آشفتگی نسبت بین جذر میانگین مربعات $(r.m.s)$ نوسانات سرعت به میانگین سرعت است. برای نوسانات طولی سرعت:

$$I(z) = \frac{\sqrt{\overline{U'^2(y)}}}{U(y)} \quad (11)$$

در رابطه بالا $\overline{U'(y)}$ نوسانات طولی سرعت و $U(y)$ سرعت میانگین است. میانگین مربعات نوسانات طولی از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\overline{U'^2} = \beta U_*^2 \quad (12)$$

U_* در رابطه بالا معرف سرعت برشی است. مقادیر β برای پوشش منطقه C و B و D به ترتیب ۵/۴، ۵/۵ و ۶/۵ است. از روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت که شدت آشفتگی برابر است با:

$$C = 4, \quad B = 4.85$$

$$I(z) = \frac{\beta^{1/2}}{2.5 \ln \left[\frac{y}{z_0} \right]} \quad (13)$$

در این رابطه z_0 میانگین ناهمواری‌های اطراف سازه است.

۴-۱- تأثیر شکل پلان بر درصد توربولانس ایجادشده در اطراف ساختمان‌ها

اشکال (۳ و ۴) به‌عنوان نمونه، نمایی از تونل باد مدل‌سازی شده در نرم‌افزار Fluent را برای ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ در حالت الف (ساختمان بدون دیوار جانبی) برای هر سه پوشش منطقه D، C و B نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه موانع ورودی این تونل، با مقیاس $\frac{1}{40}$ طراحی شده و پروفیل سرعت مطلوب آیین‌نامه در این مقیاس به دست آمده است؛ برای مدل‌سازی در نرم‌افزار Fluent نیز از مقیاس $\frac{1}{40}$ استفاده می‌شود. مدل ساختمان در طولی از مقطع از ورودی تونل که در جدول (۱) به‌عنوان مناسب‌ترین مقطعی که پروفیل سرعت مطلوب در آنجا شکل گرفت قرار می‌گیرد. علت این امر آن است که هر تونل باد تنها در مقطعی خاص، قادر به شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت از مدل ساخته‌شده نسبت به مدل واقعی در برابر نیروی باد است [9].

۴- تحلیل و تفسیر نتایج

در قسمت قبل مقطع مناسبی که پروفیل سرعت باد نزدیک به آیین‌نامه را نتیجه دهد در تونل باد مورد مطالعه به دست آمد. با توجه به این مساله ساختمان‌های شماره (۱ و ۲) با مشخصاتی که در جداول (۲ و ۳) آورده شده است در تونل باد قرار گرفته و پروسه‌ی تحلیل تحت اثر نیروی بادی برابر با $U=10 \text{ m/s}$ به وسیله نرم‌افزار Fluent انجام و نتایج حاصل استخراج می‌شود.

مقدار سرعت، فشار و توربولانس در هر نقطه دلخواه از مقطع آزمایش تونل را می‌توان به وسیله نرم‌افزار به دست آورد. در این پژوهش میزان درصد توربولانس در نقاط مختلفی از جلو و پشت ساختمان‌ها ارائه می‌شود. نتایج این بررسی کمک می‌کند تا بتوان دید بهتری از تأثیر شکل مقطع ساختمان بر چگونگی تغییرات درصد توربولانس در جلو و پشت ساختمان پیدا کرد و در نتیجه برتری سازه‌های آئروپویامیک نسبت به سازه‌های منشوری تیز گوشه با مستندات کافی مشخص شود. در این پژوهش با رسم نمودارهای تغییرات درصد توربولانس در اطراف ساختمان مشخص می‌شود که هرچه شکل سازه به‌گونه‌ای باشد که بتواند باد را در زاویه‌ای کمتر از ۹۰ درجه به خود جذب کند، عملکرد سازه‌ای بهتری داشته و با جذب کمتر نیروی باد و عبور دادن بیشتر باد از سطح خودش در طراحی المان‌های سازه‌ای ساختمان نیز صرفه‌ی اقتصادی خوبی به همراه دارد. نمونه قابل درک از این مساله را می‌توان به خودروهای نسل جدید که در آن‌ها سقف خودرو به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که باد را از خود راحت‌تر عبور دهد می‌توان مشاهده نمود.

شکل ۴-ب مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۲ در پوشش

منطقه C

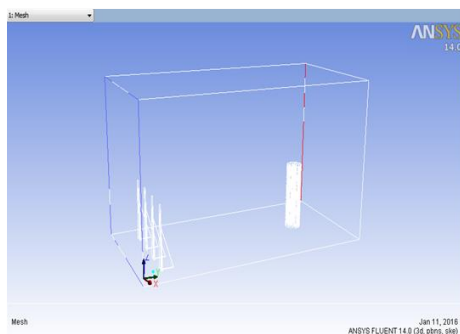


Fig. 4.b) building No. 2 in covering area of C

شکل ۴-ج مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۲ در پوشش

منطقه D

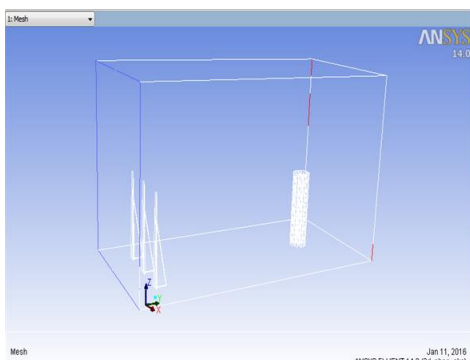


Fig. 4.c) building No. 2 in covering area of D

۴-۲- درصد توربولانس ایجاد شده در اطراف ساختمان شماره ۱ نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد (وجه تحت فشار ساختمان در برابر نیروی باد) ساختمان شماره ۱ برای هر سه پوشش منطقه‌ای B، C و D در شکل (۴) نشان داده شده است. در این تصاویر منظور از الف-S1 تا د-S1 ساختمان‌های معرفی شده در جدول شماره (۳) است.

شکل ۵-الف نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو

به باد ساختمان شماره ۱ در پوشش منطقه B

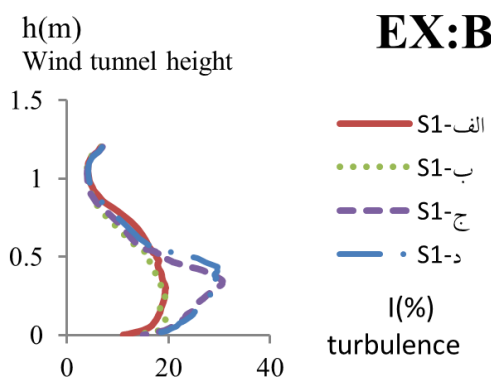


Figure 5.a) building No. 1 in covering area B

شکل ۳-الف مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۱ در پوشش

منطقه B

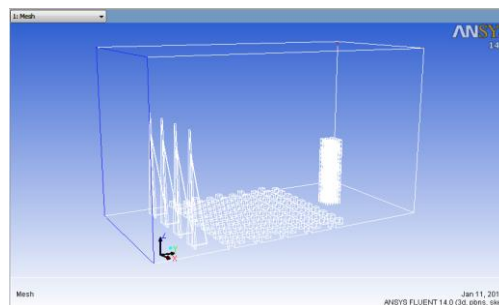


Figure 3.a) building No. 1 in covering area of B

شکل ۳-ب مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۱ در پوشش

منطقه C

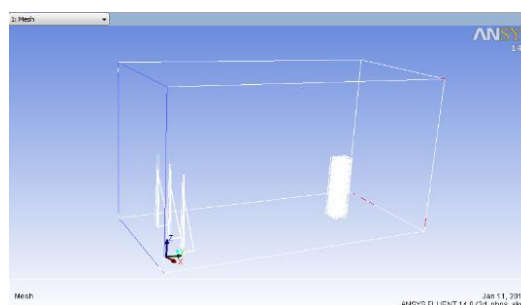


Figure 3.b) building No. 1 in covering area of C

شکل ۳-ج مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۱ در پوشش

منطقه D

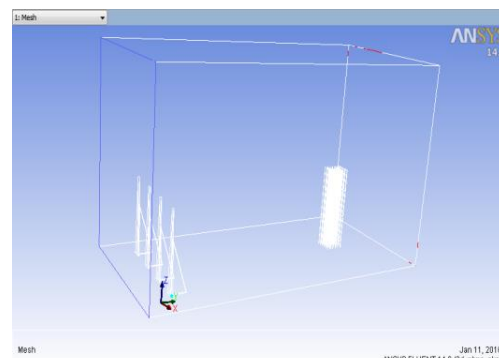


Figure 3.c) building No. 1 in covering area of D

شکل ۴-الف مدل ایجادشده در تونل باد برای ساختمان شماره ۲ در پوشش

منطقه B

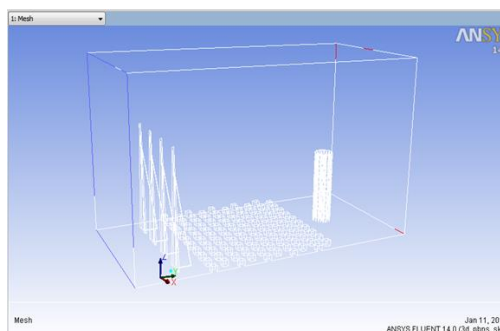


Figure 4.a) building No. 2 in covering area of B

شکل ۶-الف نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو

به باد ساختمان شماره ۲ در پوشش منطقه B

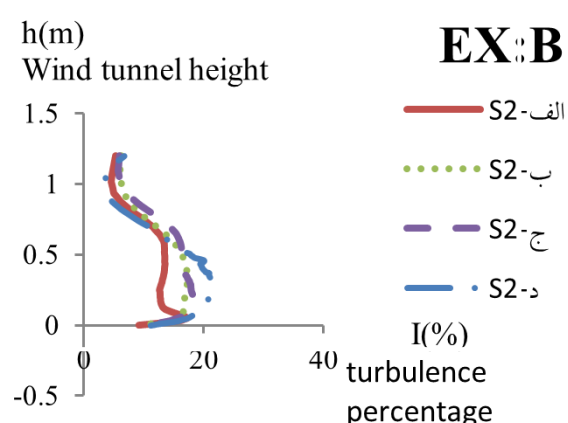


Fig. 6.a) building No. 2 in covering area B

شکل ۶-ب نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو به

باد ساختمان شماره ۲ در پوشش منطقه C

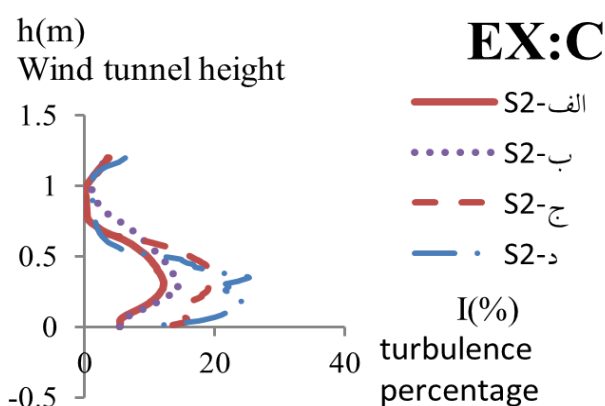


Fig. 6.b) building No. 2 in covering area C

شکل ۶-ج نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو به

باد ساختمان شماره ۲ در پوشش منطقه D

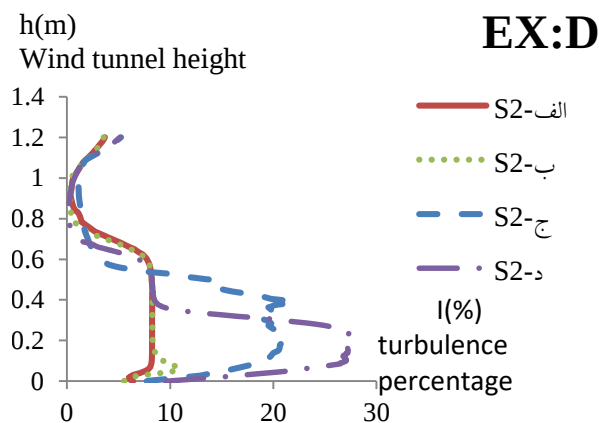


Fig. 6.c) building No. 2 in covering area D

شکل ۵-ب نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو به

باد ساختمان شماره ۱ در پوشش منطقه C

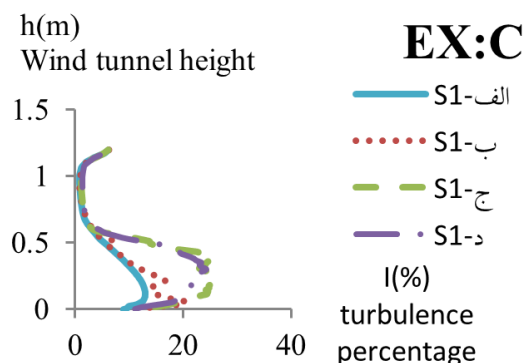


Fig. 5.b) building No. 1 in covering area C

شکل ۵-ج نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع تونل باد در وجه رو به

باد ساختمان شماره ۱ در پوشش منطقه D

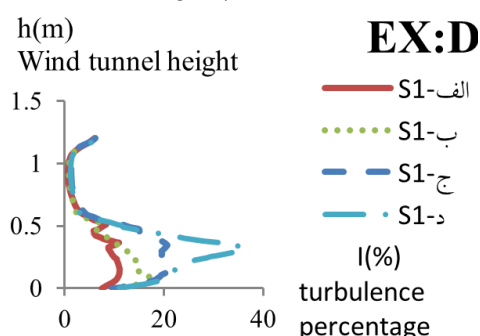


Fig. 5.c) Diagram of turbulence percentage based on wind tunnel height in the windward side

۴-۳- درصد توربولانس ایجاد شده در اطراف ساختمان شماره ۲

نمودار درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به

باد (وجه تحت فشار ساختمان در برابر نیروی باد) ساختمان شماره ۲

برای هر سه پوشش منطقه‌ای B، C و D در شکل (۶) نشان داده

شده است. در این تصاویر نیز منظور از الف-S2 تا د-S2 ساختمان-

های معرفی شده در جدول شماره (۳) است.

۴-۴- مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در

ساختمان‌های شماره ۱ و ۲

در قسمت قبل ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ به طور جداگانه

بررسی شدند. در این قسمت از پژوهش که نتایج آن بسیار مهم‌تر از

قسمت قبل است، ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ در هر کدام از پوشش-

های منطقه‌ای با هر تراز ارتفاعی پوشش داده شده از دیوارهای

جانبی، با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

شکل ۷-د مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه B برای حالت (د) از ساختمان‌ها

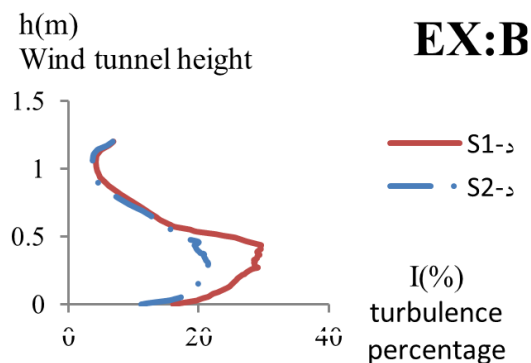


Fig. 7.d) model (d) of buildings

شکل ۷-الف مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه B برای حالت (الف) از ساختمان‌ها

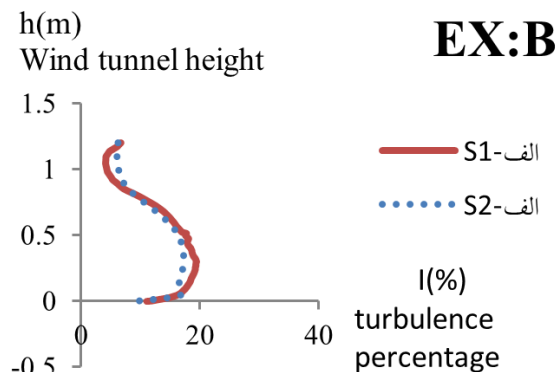


Figure 7.a) model (a) of buildings

شکل ۷-ب مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه B برای حالت (ب) از ساختمان‌ها

شکل ۷-ج مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه B برای حالت (ج) از ساختمان‌ها

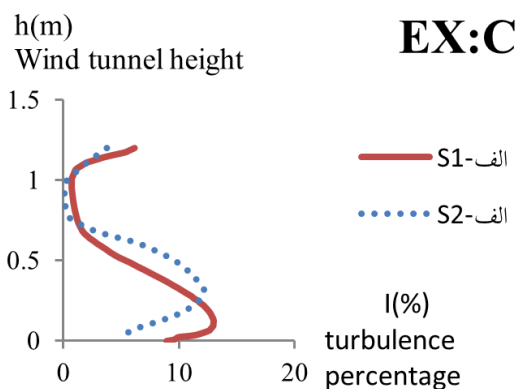


Fig. 8.a) model (a) of buildings

شکل ۷-ب مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه B برای حالت (ب) از ساختمان‌ها

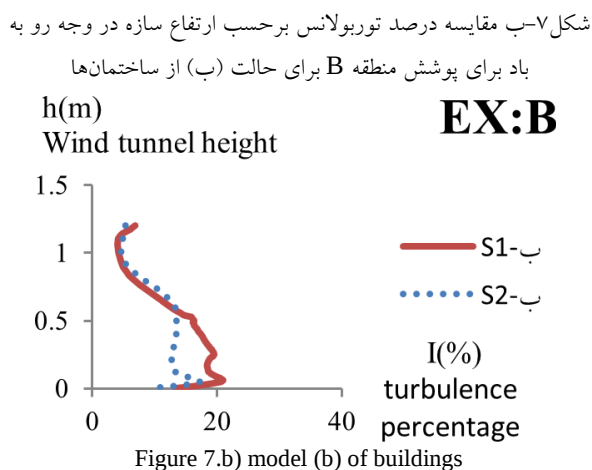


Figure 7.b) model (b) of buildings

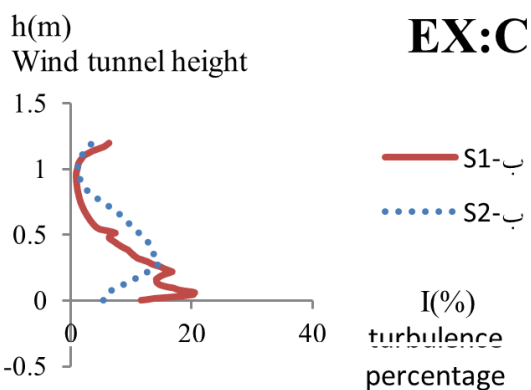


Fig. 8. b) model (b) of buildings

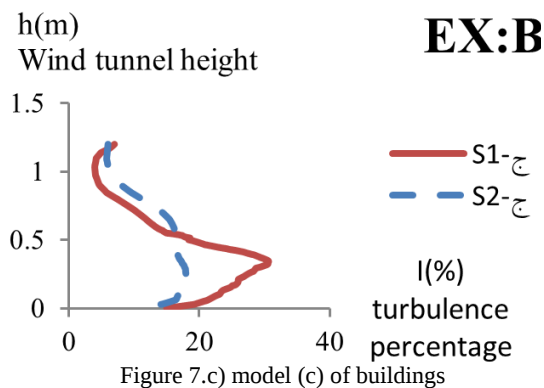


Figure 7.c) model (c) of buildings

شکل ۸-ج مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه C برای حالت (ج) از ساختمان‌ها

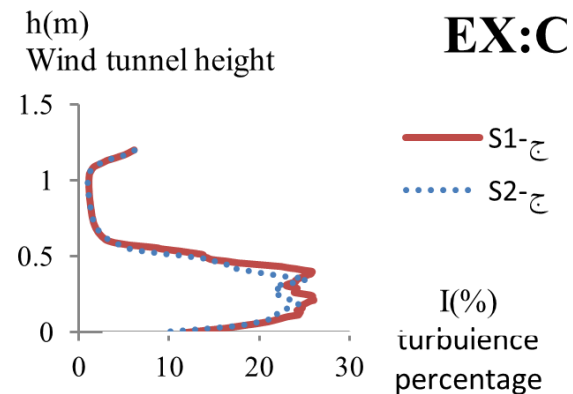


Fig. 8.c) model (c) of buildings

شکل ۸-د مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه C برای حالت (د) از ساختمان‌ها

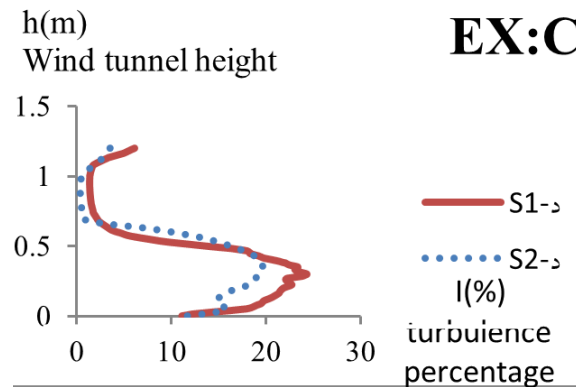


Fig. 8.d) model (d) of buildings

۴-۳- مقایسه درصد توربولانس در ساختمان‌های شماره ۲۱ و ۲۰ در پوشش منطقه D

شکل (۹) مقایسه درصد توربولانس این دو ساختمان در پوشش منطقه D را نشان می‌دهد.

شکل ۹-الف مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه D برای حالت (الف) از ساختمان‌ها

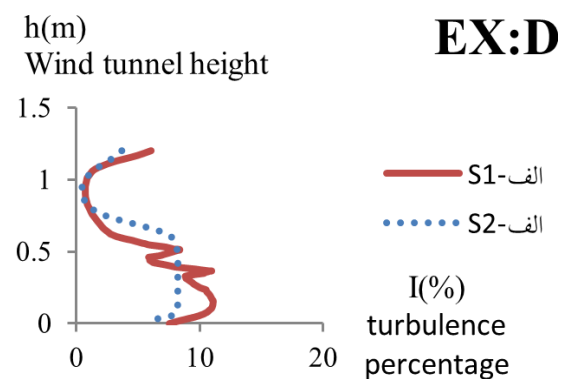


Fig. 9.a) model (a) of buildings

شکل ۹-ب مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه D برای حالت (ب) از ساختمان‌ها

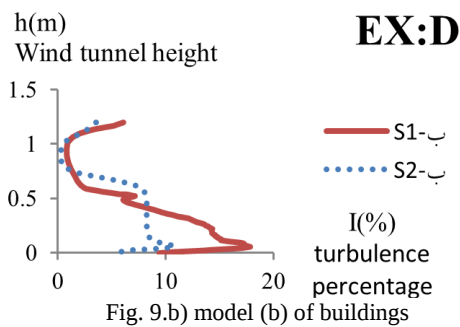


Fig. 9.b) model (b) of buildings

شکل ۹-ج مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه D برای حالت (ج) از ساختمان‌ها

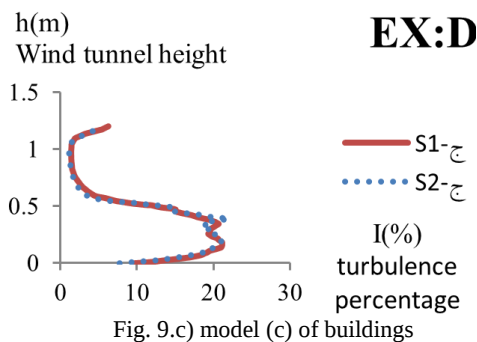


Fig. 9.c) model (c) of buildings

شکل ۹-د مقایسه درصد توربولانس برحسب ارتفاع سازه در وجه رو به باد برای پوشش منطقه D برای حالت (د) از ساختمان‌ها

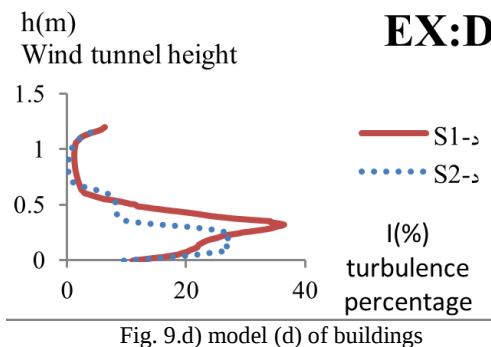


Fig. 9.d) model (d) of buildings

۵- نتایج

۱- میزان درصد توربولانس بر حسب ارتفاع در ساختمان‌های در حین ساخت شماره ۱ و ۲ برای هر کدام از پوشش‌های منطقه B، C و D، با افزایش تراز ارتفاعی در پوشش دیوارهای جانبی ساختمان، بیشتر می‌شود. دلیل این امر این است که هر چه پوشش دیوارهای جانبی ساختمان بیشتر باشد میزان جذب نیروی باد به وسیله ساختمان بیشتر شده و در نتیجه میزان توربولانس ایجاد شده در اطراف ساختمان افزایش می‌یابد و همچنین در پوشش‌های منطقه B

- [3] H.J.S. Fernando, D. Zajic, S. Di Sabatino, R. Dimitrova, B. Hedquist, A. Dallman, Flow, turbulence and pollutant dispersion in urban atmospheres, *Physics of fluids* 22 (2010) 051301-1-20.
- [4] B. Blocken, T. Stathopoulos, CFD simulation of pedestrian-level wind conditions around buildings: Past achievements and prospects, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 121 (2013) 138-145
- [5] Alessio Ricci, Massimiliano Burlando, Andrea Freda, Maria P. Repetto. Wind tunnel measurements of the urban boundary layer development over a historical district in Italy, 111 (2017) 192-206.
- [6]. American Society of Civil Engineers (ASCE) (2005) Minimum design loads for buildings and other structures. ASCE7-05
- [7]. Cermak EJ (1995) Progress in physical modeling for wind engineering. *J Wind Eng* 55:439-455
- [8]. Bienkiewicz B (1996) New tools in wind engineering. *J Wind Eng Ind Aerodyn* 65(1-3):279-300
- [9]. Abbaspour M, Shojaee MN (2009) Innovative approach to design a new national low speed wind tunnel. *Int J Environ Sci Tech* 6(1):23-34
- [10]. Jacobson.M.Z, *Fundamentals of Atmospheric Modeling*, Cambridge University, 2005.
- [11]. Barbosa.P.H.A., *Wind Tunnel Simulation of Atmospheric Boundary Layer Flows*, J.Braz.Soc.Mech.sci, Rio de Janeiro, Vol.24 No.3, July 2002.
- [12]. Leighton Cochran., Russ Derickson. A physical modelers view of Computational Wind Engineering, 99 (2011), 139-53.
- [13]. Aly Mousaad Aly. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: Past, Present and future.
- [14]. J. Wieringa, Representative roughness parameters for homogeneous terrain, *Boundary-Layer Meteorol.* 63 (1993) 323-363.
- [15]. Simiu E, Scanlan R (1986) Wind effects on structures, 2nd edn. Wiley, New York
- [16]. M.E. De Bortoli*, B. Natalini, M.J. Paluch, M.B. Natalini, Part-depth wind tunnel simulations of the atmospheric boundary layer
- [17]. Satake, N, Suda, K, Arakawa, T, Sasaki, A and Tamura, Y, Damping Evaluation Using Full-Scale Data of Buildings in Japan, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 4, 2003
- [18]. RWDI, Wind-induced Structural Response Studies on Shanghai Tower, Rowan Williams Davies & Irwin Inc, 2009.
- [19]. National standard of the People's Republic of China, Load code for the design of building structures (version 2006), GB50009-2001, China building industry press, 2006.
- و C درصد توربولانس حالت "د" نسبت به حالت "الف" حدوداً ۱/۵ برابر و در پوشش منطقه D این نسبت به ۳/۵ برابر می‌رسد.
- ۲- هرچه پوشش منطقه‌ی مورد مطالعه نزدیک‌تر به پوشش منطقه B (مناطق با پوشش گیاهی و ساختمانی بیشتر) باشد، میزان درصد توربولانس نیز افزایش می‌یابد. برای نمونه ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ مدل شده در پوشش منطقه B، نسبت به دو منطقه دیگر (C و D) میزان درصد توربولانس بیشتری داشتند (و به همین ترتیب پوشش منطقه C درصد توربولانس بیشتری نسبت به D دارد).
- ۳- میزان درصد توربولانس در ساختمان شماره ۱ نسبت به ساختمان شماره ۲ در هر کدام از ۳ پوشش منطقه بیشتر بوده (این اختلاف در پوشش منطقه B بیشتر از C و در C بیشتر از D است) و با افزایش پوشش دیوارهای جانبی، این اختلاف چشم‌گیرتر می‌شود.
- ۴- میزان درصد توربولانس تا ارتفاعی معادل ارتفاع گرادیان (ارتفاع لایه‌مرزی اتمسفریک) افزایش می‌یابد. از این ارتفاع به بعد به دلیل خارج شدن از ارتفاع گرادیان و به عبارتی کاهش موانع موجود در مسیر باد از جمله ساختمان‌های پیرامونی و پوشش‌های گیاهی این پارامتر کاهش یافته و در ارتفاعات بالاتر تقریباً صفر می‌شود. (در شکل‌های ترسیم‌شده این ارتفاع به صفر میل می‌کند اما در ارتفاعی معادل ارتفاع تونل باد ($L=1/2$) اندکی افزایش می‌یابد که این مساله به دلیل برخورد باد با سطح بالایی تونل باد است).
- ۵- مقایسه درصد توربولانس در ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ در پوشش منطقه B نشان می‌دهد در حالت "الف" این نسبت ۱/۱ و در حالت "د" به ۱/۵ برابر می‌رسد.
- این نسبت در پوشش منطقه C به ترتیب ۱ و ۱/۲۵ بوده و در پوشش منطقه D به ترتیب ۱/۵ و ۱/۲۵ است.

References

۶- مراجع

- [1]. X. Zhao*, J. M. Ding1 and H. H. Suna. Structural Design of Shanghai Tower for Wind Loads, 14 (2011) 1759-1767
- [2] P.Y. Cui, Z. Li, W.Q. Tao, Wind-tunnel measurements for thermal effects on the air flow and pollutant dispersion through different scale urban areas, *Building and Environment* 97 (2016) 137-151.

Checking Turbulence Caused by the Wind on Tall Buildings During the Construction with Different Sections in Plan

H. Bakhshi ^{1*}, M. Rakhshani Mehr ², M. Ramshini ³

1- Assist. prof., College of Engineering Department of Civil, Sabzevari Hakim University

2- Assist. prof., Technical University of Al-Zahra

3- MSc., Civil Engineering, Sabzevari Hakim University

h.bakhshi@hsu.ac.ir

Abstract

Engineering knowledge Development has provided new methods and techniques in the manufacturing industry, the possibility to construct structures that are considerably lighter, higher and more flexible. The sensitivity of such structures against wind power is more than that of traditional and low level structures. The wind is driving force for many of the phenomena affecting the urban environment, such as indoor and outdoor air, heat transfer, pollution dispersion and air quality. Despite their importance to human life in the cities, however, urban streams are still not fully understood. Basically, wind power has a significant and decisive role in the design of tall structures and the design and analysis of wind effect and its forces are required to be studied more carefully. One of the most important and effective parameters in the equilibrium behavior of structure and the comfort of individuals in it is the vibrations of the structure that is introduced by turbulence percent. Because of the density of surrounding vegetation and structures in areas close to the ground, turbulence percentage is more at low altitudes. Regulations according to geographical location and weather conditions of area has certain definitions on the behavior of tall buildings. In this study, the regulations of the US (America Society of Civil Engineers ASCE2010) is used. In all field studies, wind engineering is an important issue to determine the atmospheric boundary layer flow around the structures. Atmospheric boundary layer is the boundary layer of air on the surface of the earth at a height above the surface, assuming the friction of natural flow of wind ineffective. Air flow is divided into the mainstream and the boundary layer flow (atmospheric). The most important parameter that separates the two streams is liquid-friction (viscosity, fluid friction). Friction in the mainstream is almost negligible. However, in the boundary layer it is very important. Thus, each area, with any area coverage has a different boundary layer height. Many studies have been conducted on new methods and facilities for simulating atmospheric boundary layer. Comparison of velocity profiles generated in the atmospheric boundary layer is an important issue addressed in previous studies. After reaching a suitable environment that ideal regulation conditions in terms of matching the profiles of wind speed obtained with regulation profiles of wind speed, required studies and results such as the percentage of turbulence in this study can be obtained. In this study, by using previous studies results on simulating atmospheric air boundary layer in the wind tunnel, software modeling profiles of wind speed around the two buildings during the build in various stages of side walls completion were created with different shape in plan, and the turbulence percentage generated around both buildings were checked. It is identified that the amount of turbulence in terms of height in buildings during construction increases to a height equivalent to the height of the gradient (height of boundary layer atmospheric) by increasing elevation, vegetation and coverage of the side walls. From this height, due to the exit from the gradient height and reduced barriers to wind such as buildings surrounding the vegetation, this parameter is reduced and at higher altitudes is almost zero. However, at a height equivalent to the height of the wind tunnel, it is shortly increased because of the wind collision with upper surface of wind tunnel. Finally, structures that has more aerodynamic properties in their plan show better behavior against wind power.

Key words: simulating atmospheric boundary layer, wind tunnel, turbulence, aerodynamic in plan