

## ارزیابی میزان دقت مدل‌های ارائه شده توسط ASCE برای نیروهای ناشی از باد، در طراحی بار ساختمان

مسعود ابراهیمی\* (۱)

(۱) مربی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، گروه مکانیک، سنندج، ایران

**چکیده** در این تحقیق یک ساختمان با ارتفاع ۴۵ متر و عرض ۱۵ متر در معرض جریان باد که به صورت یکنواخت و با سرعت 31m/sec می‌وزد در نظر گرفته شده است. از روش المان محدود (Finite element method (FEM) برای مدل‌سازی جریان باد حول ساختمان استفاده شده است. جریان باد به صورت دو بعدی مدل‌سازی شده و از مدل  $k-\epsilon$  برای مدل‌سازی آشفتگی نیز استفاده شده است. میدان جریان باد دو شبکه متفاوت حل شده است و استقلال نتایج از شبکه به خوبی اثبات شده است. هم‌چنین نتایج به دست آمده برای فشار دینامیکی از مدل FEM با مقادیری که ASCE (American Society of Civil Engineering) پیش‌بینی می‌کند مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که نتایج از دقت قابل قبولی برخوردارند. محدودیت‌های مدل‌های استاندارد ASCE در مقایسه با مدل FEM مورد بحث قرار گرفته و دلایل وجود بعضی اختلافات در نتایج مدل FEM نسبت به ASCE نیز ذکر گردیده است.

**واژه‌های کلیدی** ساختمان بلند، نیروی باد، فشار دینامیکی، ASCE، FEM.

\*عهده دار مکاتبات

نشانی: کردستان، سنندج، خیابان پاسداران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

پست الکترونیکی: mebrahimi@iausanandaj.ac.ir

تلفن: ۰۸۷۱-۳۲۶۶۲۴۸

## ۱- مقدمه

شدت آشفتگی (Turbulence intensity) بر روی زمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. Y. Tamura et al. [۲] با محاسبات مربوط به یک مدل با مقیاس واقعی پروفیل متوسط سرعت باد و شدت آشفتگی را به وسیلهٔ دوپلر سودار (Doppler sodar) در مدت زمانی طولانی در یک ساحل و دو جزیره اندازه‌گیری نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پروفیل باد از ارتفاع ۵۰ تا ۳۴۰ متر را می‌توان بوسیلهٔ یک تابع توانی با توان تقریباً ۰٫۱ برای جریان باد بر روی دریا و با توان ۰٫۲ تا ۰٫۳ بر روی زمین تقریب زد. رفتار دینامیکی سازه‌های باریک و بلند تحت تاثیر جریان‌های به شدت آشفتخته به وسیله et Udo Peil al. [۳] مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق مذکور یک سازه به ارتفاع ۳۴۴ متر به وسیله حسگرهایی که برای اندازه‌گیری نیروی باد و شدت آشفتگی استفاده می‌شود تجهیز شده است و یک روش طیفی غیر خطی برای تخمین طیف نیروی ناشی از باد استفاده می‌شود. این روش با میزان آشفتگی در جریان و نیروهای باد رابطه دارد و علت را به معلول ارتباط می‌دهد. در مدل‌سازی‌های عددی، مدل استفاده شده برای آشفتگی یکی از مسائل مهم در رسیدن به جواب مسأله است. مدل آشفتگی که شاید بیشتر از هر مدل دیگری در مدل‌سازی‌های عددی جهت مدل‌سازی جریان لایه مرزی استفاده شده باشد، مدل  $k-\epsilon$  می‌باشد. D.M. Hargreaves et al. [۴] و Yu Fat Lun et al. [۵] به ترتیب در مدل  $k-\epsilon$  بازبینی شده و مدل  $k-\epsilon$  بحث و بررسی کرده‌اند.

Henry W. Tieleman et al. [۶] به صورت تحلیلی حداکثر بارهای ناشی از باد را تخمین زده‌اند. نویسندگان این تحقیق با توجه به این نکته که در American Society of Civil Engineers, ASCE (ASCE 7 Standard, Minimum Design Loads for Buildings and Structures, ASCE 7-02, ASCE, Reston, VA, USA, 2002) ضرایب پیک فشار و پیک نیروهای باد به صورت نرمال توزیع شده‌اند به این نتیجه می‌رسند که

بررسی میدان جریان باد در اطراف ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های بلند از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا از یک طرف می‌توان به این طریق مقدار نیروی وارده بر ساختمان را به دست آورد و از طرف دیگر اثر وجود یک ساختمان بر میدان جریان باد در اطراف ساختمان‌های مجاور را نیز به دست آورد. با توجه به این‌که نیروهای ناشی از باد که استانداردهای طراحی بار ساختمان پیش‌بینی می‌کنند بر اساس شرایط ویژه مورد نظر استاندارد می‌باشد، ممکن است شرایط مورد نظر استاندارد با شرایط ساختمانی که در مورد آن تحقیق می‌شود مطابقت نداشته باشد، لذا در چنین شرایطی طراح یا باید آزمایش‌های پرهزینه تونل باد را برای پیش‌بینی نیروهای آیرودینامیکی وارده به ساختمان انجام دهد و یا این‌که از مدل‌سازی‌های کامپیوتری بهره بگیرد. انجام مدل‌سازی‌های کامپیوتری به دلیل این‌که هزینه‌های انجام آن کمتر، زمان مورد نیاز برای رسیدن به حل کوتاه‌تر، امکان وجود بهینه‌سازی با پرداخت هزینه ناچیز و داشتن جزئیات میدان جریان باد در تمام نقاط نسبت به آزمایش‌های تونل باد در اولویت قرار دارد. از میان کارهای تجربی می‌توان به محاسبهٔ اثرات باد بر مدل با مقیاس واقعی ساختمان جین مائو (Jin Mao building) در چین که توسط et Q.S. Li al. [۱] انجام گرفت اشاره نمود. این ساختمان دارای ارتفاع 420.5 متر و ۸۸ طبقه می‌باشد و تمام اندازه‌گیری‌ها در زمان وقوع طوفان رانانیم (Typhoon Rananim) در آگوست سال ۲۰۰۴ انجام شده است. در تحقیق مذکور ویژگی‌های دینامیکی ساختمان بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در میدان جریان محاسبه شده و نتایج با محاسبات مربوط به مدل المان محدود ساختمان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در این کار نتایج آزمایش با مدل واقعی با نتایج حاصل از آزمایش تونل باد مقایسه شده‌اند تا دقت ابزارهای استفاده شده در تونل باد مورد ارزیابی قرار گیرد. محاسبهٔ پروفیل سرعت باد و

## ۲- فرمولاسیون مسأله

## ۲-۱- معادلات حاکم

معادلات حاکم برای یک جریان سیال تک فاز، غیر قابل تراکم و نیوتنی بدون وجود انتقال حرارت در حالت دو بعدی شامل معادلات مومنتم، بقای جرم و شرایط مرزی مربوطه می باشد. این معادلات بر حسب ترم های سرعت، فشار جریان و زمان بیان می شوند. معادله بقا جرم یا معادله پیوستگی به شکل ذیل بیان می شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

که در این معادله  $V_x$  و  $V_y$  به ترتیب مؤلفه های سرعت در جهت های  $x$  و  $y$  می باشند.  $\rho$ ؛ چگالی سیال،  $x$  و  $y$ ؛ جهات دستگاه مختصات اصلی و  $t$ ؛ زمان می باشد. معادله مومنتم بدون هیچ فرض اضافی دیگری در مورد ویژگی های سیال به صورت ذیل می باشد:

$$\frac{\partial \rho V_x}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_x V_y)}{\partial y} = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + R_x + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial y}) + T_x \quad (2-الف)$$

$$\frac{\partial \rho V_y}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_y V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_y)}{\partial y} = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + R_y + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial y}) + T_y \quad (2-ب)$$

که در این معادلات  $g_x$  و  $g_y$ ؛ مؤلفه های شتاب ناشی از گرانش،  $\rho$ ؛ دانسیته سیال و  $\mu_e$ ؛ ویسکوزیته مؤثر سیال است که در ادامه بررسی خواهد شد. هم چنین  $R_x$  و  $R_y$ ؛ نشان دهنده هر نوع چشمه که ممکن است در داخل جریان اضافه شده باشد، مانند جریان در محیط های متخلخل. ترم های  $T_x$  و  $T_y$  تلفات ناشی از ویسکوزیته (Viscous loss terms) می باشند که در حالت جریان غیر قابل تراکم با ویژگی های سیال ثابت حذف خواهد شد [۹-۱۴].

در ساختمان های کوتاه توزیع ضرایب فشار و نیروهای باد به صورت گوسی (Gaussian distribution) نمی باشد و دارای یک توزیع غیر گوسی (توزیع گامبل (Gumbel distribution)) می باشند. Z.N. Xie et al [۷] اثرات جریان باد و اندر کنش سه ساختمان با جریان باد را در نظر گرفته و به بررسی میزان تأثیر ساختمان های بالادست جریان بر نیروهای دینامیکی وارده بر ساختمان پائین دست پرداخته است. در یک تحقیق دیگر Francesco Ricciardelli et al [۸] ویژگی های جریان باد در لایه های نزدیک به زمین در لایه مرزی نواحی شهری و لایه های بالاتر باد در لایه مرزی نواحی شهری را بررسی نموده است بعضی از این ویژگی ها در این دو ناحیه تا حدی مستقل از همدیگر می باشند. این تحقیق بر اساس داده های به دست آمده از آزمایش های تونل باد بر روی یک الگوی ناحیه شهری به دست آمده است.

در تحقیق پیش روی یک تک ساختمان به ارتفاع ۴۵ متر و عرض ۱۵ متر در نظر گرفته شده است. با فرض این که ساختمان در شهر سندج قرار دارد و توجه به این نکته که سرعت پایه باد در این شهر ۳۱ متر بر ثانیه می باشد [۱۵]، جریان باد که از روی این ساختمان عبور می کند به صورت دو بعدی و با استفاده از روش المان های محدود تحلیل شده است. در این جا لازم به ذکر است که شهر سندج از لحاظ توپوگرافی یک شهر ناهموار می باشد و در این مرحله از تحقیق این مسأله مدل نشده است. ویژگی های مهم میدان جریان از جمله فشار دینامیکی محاسبه شده و استقلال نتایج مدل سازی که از شبکه استفاده شده، مورد بررسی قرار گرفته است. پروفیل فشار دینامیکی در نواحی مختلف میدان جریان محاسبه شده و در جاهایی که اثر ساختمان بر میدان جریان باد ناچیز است، فشار دینامیکی محاسبه شده با استفاده از مدل FEM به وسیله مقادیر پیش بینی شده توسط ASCE مورد ارزیابی قرار گرفته است.

یعنی محاسبه  $\sigma^R$  دقیقاً اثر ترم نفوذ در معادلات

اصلی را دارد. در صورتی که یک ویسکوزیته معادل  $\mu_e$  تعریف شود هر دو ترم می‌توانند با هم ترکیب شوند:

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (۸)$$

در نتیجه حل مسأله آشفتگی به محاسبه

ویسکوزیته آشفتگی تبدیل می‌شود. برای محاسبه  $\mu_t$  از

مدل  $k-\epsilon$  استفاده شده است. در این مدل

ویسکوزیته آشفتگی به صورت تابعی از انرژی سینتیک

$k$  و تلفات آن یعنی  $\epsilon$  بیان می‌شود:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (۹)$$

که در این معادله،  $C_\mu$ ؛ ثابت آشفتگی،  $k$ ؛ انرژی

سینتیک آشفتگی و  $\epsilon$ ؛ تلفات انرژی سینتیک آشفتگی

می‌باشد.

### ۲-۳- مدل‌سازی رفتار سیال در نزدیک دیواره

مدل  $k-\epsilon$  در نزدیکی دیواره معتبر نمی‌باشد در نتیجه

بایستی یک مدل آشفتگی دیواره برای المان‌های نزدیک

دیواره استفاده شود. با داشتن سرعت به موازات دیواره

در یک فاصله معین از دیواره یک تخمین برای محاسبه

تنش در نزدیک دیواره محاسبه می‌شود. این معادله در

واقع به معادله "قانون لگاریتمی دیواره" (Log-law of

the wall) معروف است و به صورت ذیل بیان می‌شود

:[۹-۱۴]

$$\frac{V_{tan}}{\sqrt{\tau/\rho}} = \frac{1}{\kappa} \left( \ln \frac{E\delta}{\nu} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \right) \quad (۱۰)$$

که در این معادله،  $V_{tan}$ ؛ سرعت موازی با دیواره،

$\tau$ ؛ تنش برشی،  $\nu$ ؛ ویسکوزیته سینماتیکی،  $\kappa$ ؛ پارامتر

شیب در قانون دیواره،  $E$ ؛ ثابت قانون دیواره و  $\delta$ ؛

فاصله از دیواره می‌باشد. مقادیر پیش فرض برای  $E$  و  $\kappa$

به ترتیب ۰.۴ و ۹ است که در واقع متناظر با شرایط

دیواره صاف می‌باشد. از تنش برشی به دست آمده

$$T_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) \quad (۳-الف)$$

$$T_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) \quad (۳-ب)$$

شرایط مرزی سرعت بر روی دیوارها و زمین و

هم‌چنین در نواحی بسیار دور از زمین و ساختمان

به صورت ذیل می‌باشد:

$$\vec{V}_{walls} = 0, \vec{V}_{ground} = 0, \vec{V}_{far} = \vec{U}_\infty \quad (۴)$$

### ۲-۲- مدل‌سازی آشفتگی

آشفتگی به این معنی است که سرعت آبی در هر نقطه

از میدان جریان در حال نوسان می‌باشد، در نتیجه

سرعت در میدان جریان می‌تواند به صورت مجموعه

یک مقدار میانگین و یک مؤلفه نوسانی به شکل ذیل

بیان شود [۹-۱۴]:

$$V_x = \bar{V}_x + V'_x \quad (۵)$$

که در آن  $\bar{V}_x$ ؛ مؤلفه متوسط سرعت و  $V'_x$ ؛

مؤلفه نوسانی سرعت در جهت  $x$  می‌باشند. پس از قرار

دادن مؤلفه‌های نوسانی و متوسط سرعت در معادله

مومنتم و گرفتن متوسط زمانی از آن، تنش‌های رینولدز

به صورت ذیل به دست می‌آیند:

$$\sigma_x^R = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho \overline{V'_x V'_x}) - \frac{\partial}{\partial y} (\rho \overline{V'_x V'_y}) \quad (۶-الف)$$

$$\sigma_y^R = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho \overline{V'_y V'_x}) - \frac{\partial}{\partial y} (\rho \overline{V'_y V'_y}) \quad (۶-ب)$$

برای مدل‌سازی آشفتگی ترم‌های تنش‌های

رینولدز را به فرم تنش‌های ویسکوز با یک ضریب

مجهول  $\mu_t$  نوشته می‌شود که  $\mu_t$  را ویسکوزیته

آشفتگی (Turbulent viscosity) می‌گویند. به عنوان

مثال:

$$-\overline{\rho V_x V_y} = \mu_t \frac{\partial V_x}{\partial y} \quad (۷)$$

"قانون لگاریتمی دیواره" استفاده شده است. استقلال نتایج مدل سازی از شبکه استفاده شده و اعتبار نتایج در میدان حل مورد بررسی قرار گرفته است که در هر دو مورد، نتایج سازگاری خوبی را نشان می دهند.

مقدار ویسکوزیته برای المان دیواره مطابق رابطه ذیل به دست می آید:

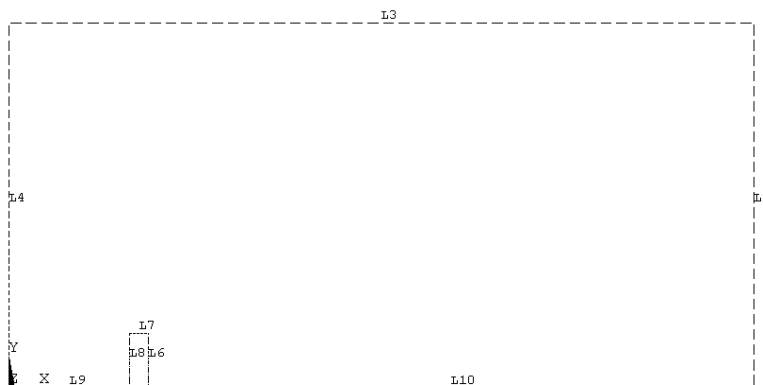
$$\mu_w = \delta \frac{\tau}{V_{\tan}} \quad (11)$$

### ۳- مدل سازی و نتایج

۳-۱- بررسی استقلال نتایج از شبکه  
مدل موردنظر به دو صورت، شبکه بندی شده است. نوع المان استفاده شده، دو بعدی و مثلثی می باشد. نتایج با هر دو شبکه محاسبه شده و مشاهده گردید که نتایج تغییرات ناچیزی از خود نشان می دهند. در نتیجه مستقل بودن نتایج از شبکه به این صورت احراز شده است. دو شبکه مورد استفاده در شکل (۲) ارائه شده اند. یکی از دلایل اختلاف ناچیز نتایج دو شبکه مذکور خطای عددی می باشد.

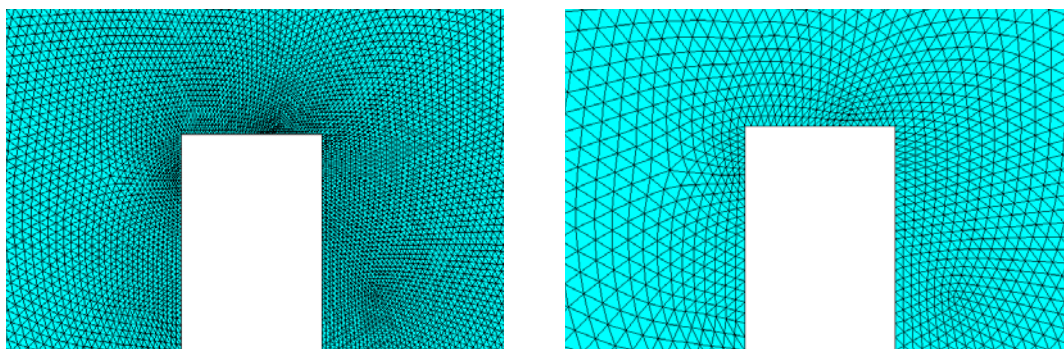
تعداد المان های شبکه ۲ برابر ۴۳۵۲۰ می باشد. این در حالی است که تعداد المان ها در شبکه بندی ۱ فقط ۱۰۸۸۰ می باشد؛ یعنی تعداد المان های شبکه شماره ۲ دقیقاً ۴ برابر تعداد المان های شبکه ۱ می باشد.

جهت انجام مدل سازی یک ساختمان با ابعاد هندسی مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شده است. در این تحقیق فرض شده است که ساختمان در شهر سنندج قرار داشته و با توجه به این که سرعت پایه باد در این شهر ۳۱ متر بر ثانیه است، فرض می شود که باد با سرعت یکنواخت ۳۱ متر بر ثانیه در حال وزیدن بر روی ساختمان است. شرط مرزی عدم لغزش و عدم نفوذ سیال در تمام دیواره ها و زمین اعمال شده است. جریان باد به صورت یک سیال نیوتنی، تراکم ناپذیر، بدون وجود انتقال حرارت، دو بعدی و آشفته بوده و معادلات پیوستگی و مومنتم در دو جهت با استفاده از روش المان های محدود حل شده اند. مدل  $k-\epsilon$  جهت محاسبه ویسکوزیته آشفتهگی  $\mu_t$  مورد استفاده قرار گرفته است و در المان های نزدیک دیواره از مدل



Line number	Length(m)
2	300
3	615
4	300
6	45
7	15
8	45
9	100
10	500

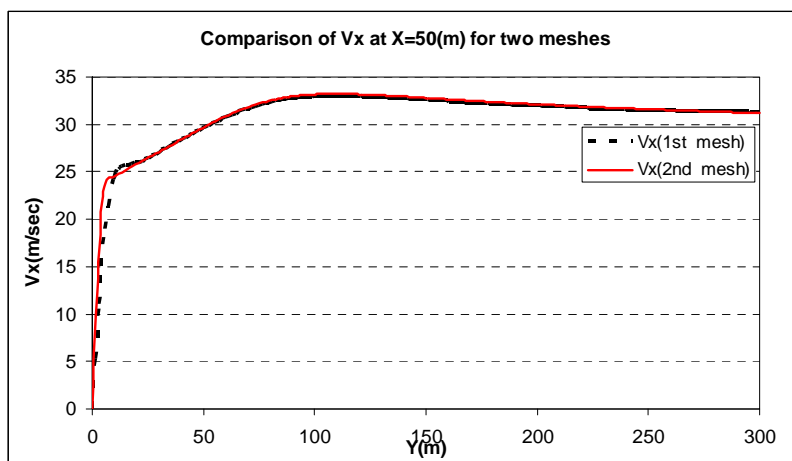
شکل ۱ ابعاد هندسی و میدان حل در نظر گرفته شده برای مدل ساختمان



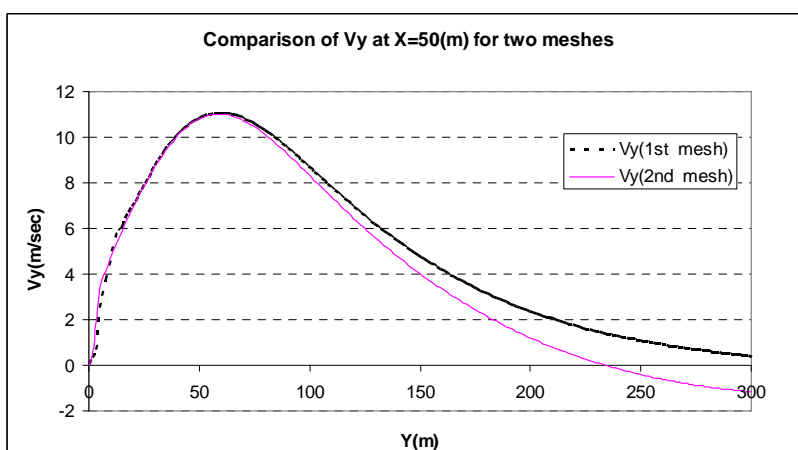
۲

۱

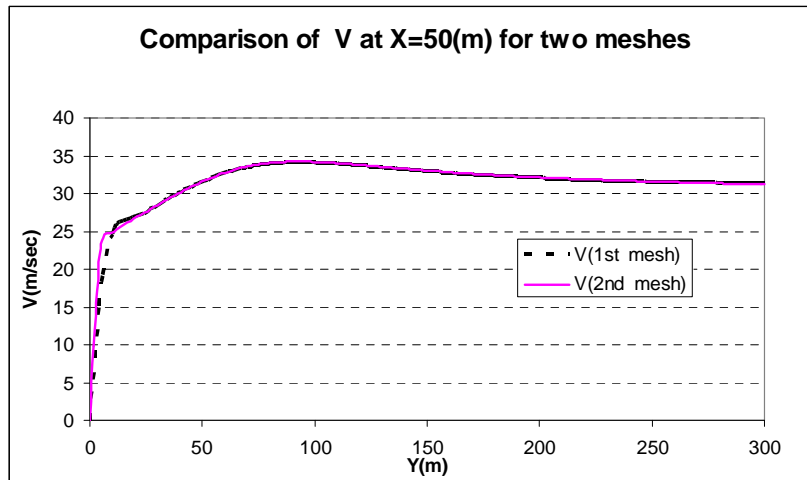
شکل ۲ اندازه و توزیع المان‌های دو شبکه بندی برای مدل در نزدیک دیواره ساختمان



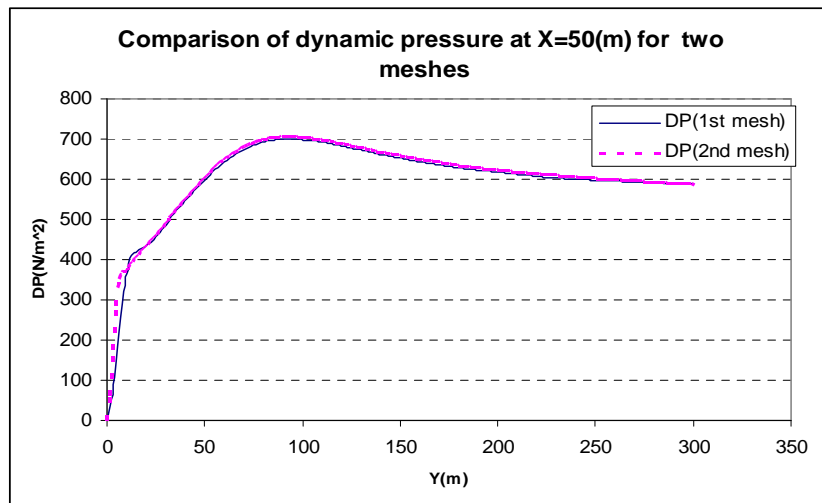
شکل ۳ مقایسه مؤلفه افقی سرعت  $V_x$  در  $x=50(m)$  برای دو شبکه استفاده شده



شکل ۴ مقایسه مؤلفه عمودی سرعت  $V_y$  در  $x=50(m)$  برای دو شبکه استفاده شده



شکل ۵ مقایسه سرعت کل  $V$  در  $x=50(m)$  برای دو شبکه استفاده شده



شکل ۶ مقایسه فشار دینامیکی DP در  $x=50(m)$  برای دو شبکه استفاده شده

عددی ناشی از گرد کردن (Round of error) اشاره نمود.

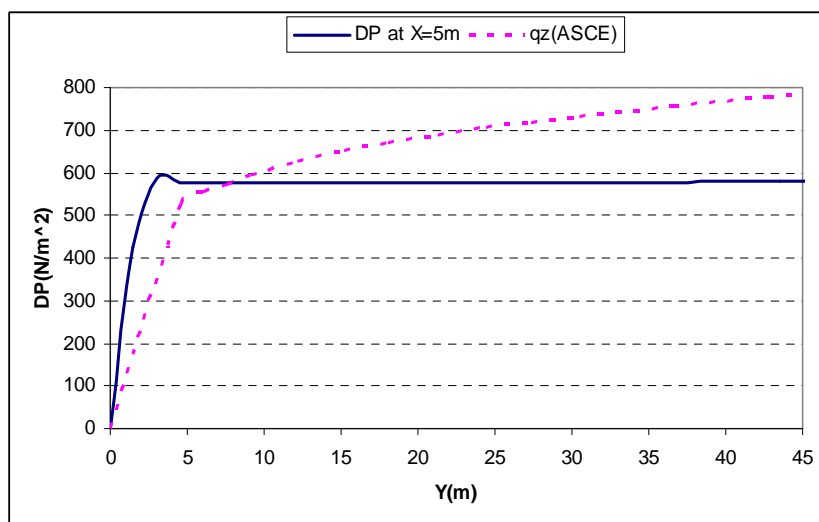
### ۳-۲- ارزیابی نتایج

جهت بررسی اعتبار نتایج، فشار دینامیکی  $q_z$  از استاندارد ASCE [۱] را با نتایج به دست آمده از مدل سازی مقایسه نموده ایم (شکل های (۷) تا (۹)). قابل ذکر است فشار دینامیکی که ASCE پیش بینی می کند، فشاری است که بدون حضور ساختمان یا هر مانع دیگری در جریان باد به وجود می آید؛ لذا برای مقایسه،

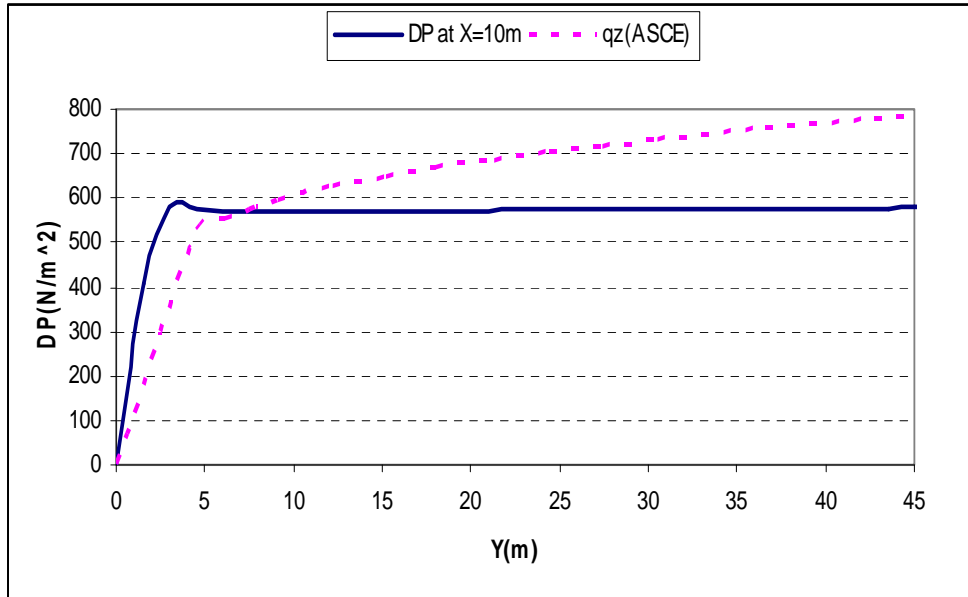
جهت اثبات صحت ادعای مطرح شده مبنی بر مستقل بودن نتایج از شبکه های استفاده شده، در ادامه تعدادی از نتایج (شکل های ۳، ۴، ۵ و ۶ از جمله حل میدان سرعت شامل سرعت در دو راستا  $V_x$  و  $V_y$  و سرعت کل  $V$  و فشار دینامیکی DP، که از مهمترین نتایج مدل سازی می باشند در مقطع  $X=50m$  برای هر دو شبکه مقایسه شده و نزدیک بودن نتایج و در نتیجه استقلال نتایج از شبکه را به صورت واضح می توان مشاهده نمود. در خصوص دلیل اختلاف اندک نتایج حاصل از دو شبکه مورد استفاده می توان به بروز خطای

فشار دینامیکی نیز زیادتر خواهد شد. نکته بسیار مهمی که بایستی بدان توجه ویژه شود این است که  $q_z$  مقدار فشار دینامیکی وارده بر ساختمان را محاسبه نمی‌کند، بلکه فقط مقدار فشار دینامیکی در ارتفاع خاصی از سطح زمین بدون حضور مانع را پیش بینی می‌کند؛ لذا در نظر گرفتن اعدادی که این معادله برای بار وارده بر ساختمان پیش بینی می‌کندخالی از اشکال نمی باشد. مقادیر فشار دینامیکی تا ارتفاع ۳۰۰ متر در فاصله های متفاوت در شکل (۱۰) رسم شده است. این شکل به وضوح تاثیر وجود یک مانع مانند ساختمان را در جریان باد بر مقدار فشار دینامیکی نشان می دهد. توجه شود مقدار فشار دینامیکی دقیقاً بر روی سطح دیوار ساختمان به دلیل این که سرعت باد بر روی ساختمان صفر می باشد(شرط عدم لغزش)، برابر صفر خواهد شد. البته این فشار به صورت یک انرژی سکون در خواهد آمد و در ترم فشار سکون که کانتور آن در شکل (۱۱) ارائه شده است، خود را نشان خواهد داد. با توجه به شکل (۱۱) می توان دید بیشترین مقدار فشار سکون در نواحی نزدیک به دیواره جلویی ساختمان قرار دارد.

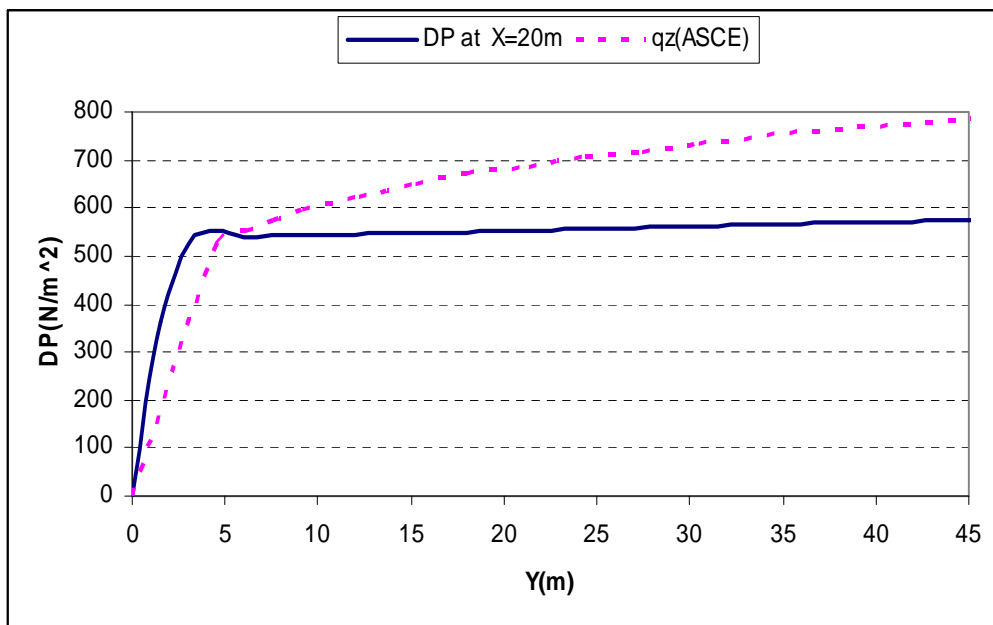
بایستی فشار دینامیکی در نواحی بالادست جریان را که به اندازه کافی از ساختمان فاصله دارد به عنوان مبنا در نظر بگیریم تا اثر ساختمان بر میدان جریان ناچیز باشد، یا این که اصلاً تاثیری بر میدان جریان نداشته باشد. طبیعی است که هر چه به  $x=0$  نزدیکتر شویم (شکل (۱)) مقدار ماکزیمم فشار دینامیکی به آنچه ASCE پیش بینی می کند نزدیکتر خواهد شد و هرچه به ساختمان نزدیکتر شویم، به دلیل اندرکنش ساختمان و جریان باد با همدیگر، اختلاف زیادتر می شود. نکته دیگری که بایستی به آن اشاره شود این است که بر اساس ASCE همواره با افزایش ارتفاع، فشار دینامیکی نیز افزایش خواهد یافت. این در حالی است که با توجه به تئوری لایه مرزی در صورتی که در ورودی یک جریان یکنواخت داشته باشیم، مقدار سرعت در خارج از لایه مرزی به مقدار سرعت جریان آزاد خواهد رسید و در نتیجه فشار دینامیکی که تابعی از سرعت می باشد به مقداری ثابت میل خواهد نمود. نکته مهم این است که این مسأله توسط ASCE غیر قابل پیش بینی می باشد و بر اساس این استاندارد که از پروفیل قانون توانی استفاده می کند، همواره با افزایش ارتفاع مقدار



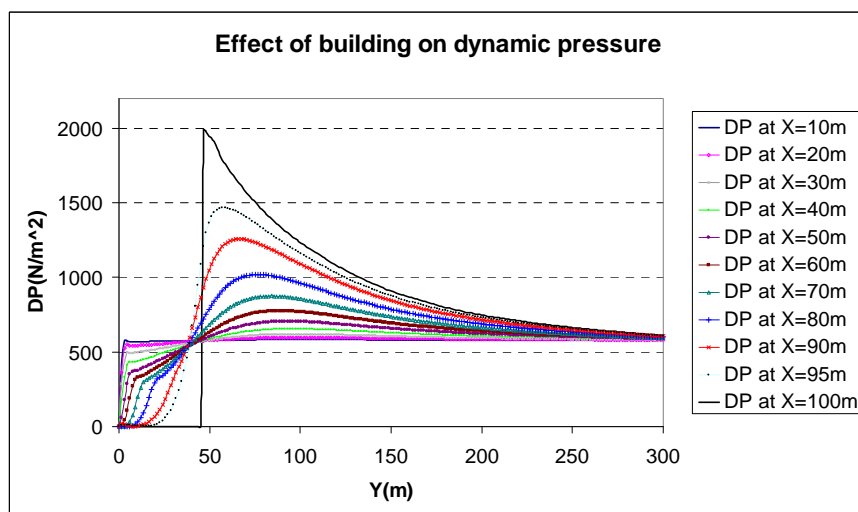
شکل ۷ مقایسه  $q_z$  از استاندارد ASCE با نتایج مدل‌سازی در  $x=5(m)$



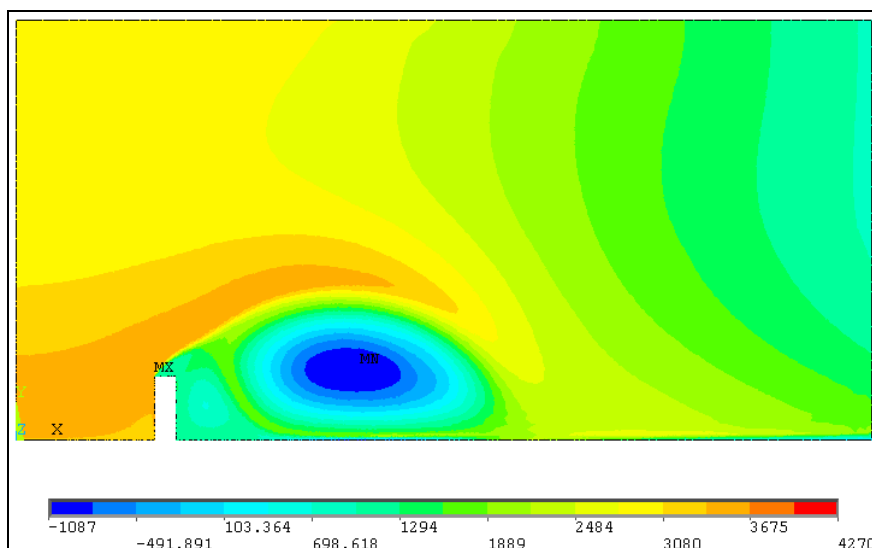
شکل ۸ مقایسه  $q_z$  از استاندارد ASCE با نتایج مدل‌سازی در  $x=10(m)$



شکل ۹ مقایسه  $q_z$  از استاندارد ASCE با نتایج مدل‌سازی در  $x=20(m)$



شکل ۱۰ اثر وجود ساختمان در جریان باد بر توزیع فشار دینامیکی در فواصل مختلف از بالادست جریان باد



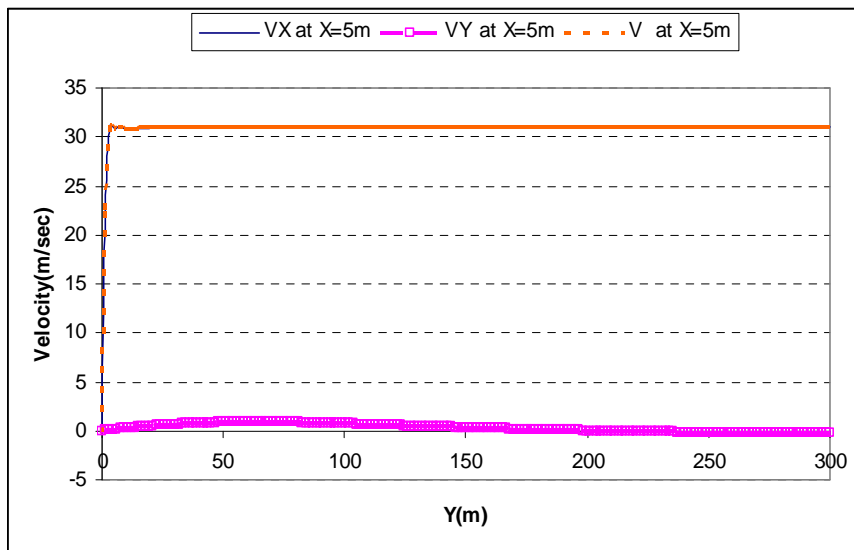
شکل ۱۱ کانتور فشار سکون کل در میدان جریان

تئوری لایه مرزی در این نواحی حکم فرما می باشد. هرچه به ساختمان نزدیک می شویم، اثر ساختمان بر پروفیل سرعت واضح تر می شود. نکته دیگر نحوه تغییرات مؤلفه  $y$  سرعت می باشد که هرچه به ساختمان نزدیکتر می شویم مقدار آن بزرگتر می شود؛ به صورتی

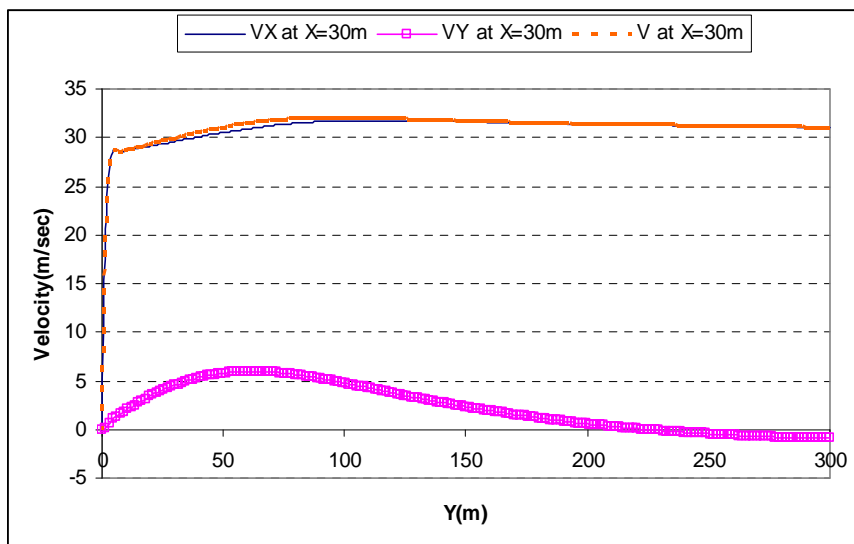
در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) پروفیل های سرعت در  $x$  های متفاوت (۱۴ مقطع) در جریان قسمت جلوی و پشت ساختمان ارائه شده اند. با توجه به این منحنی ها می توان دریافت که در  $x$  های نزدیک به بالادست جریان باد، اثر ساختمان بر توزیع سرعت ناچیز بوده و

جهت خلاف جهت باد می شوند، این موضوع در این شکل و همچنین کانتورهای سرعت که در شکل های (۱۶) تا (۱۸) ارائه شده اند به خوبی نشان داده شده است.

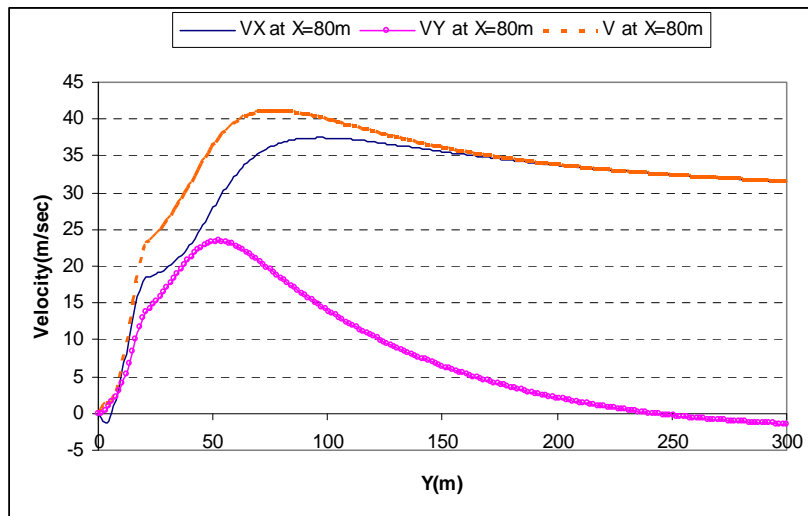
که از فاصله  $x=30m$  مقدار مؤلفه  $V_y$  با مؤلفه  $V_x$  قابل مقایسه بوده در  $x=80m$  تقریباً هم مرتبه می باشند. شکل های (۱۵) نشان دهنده پروفیل سرعت در  $x=130m$  بالادست جریان در پشت ساختمان می باشد. جریان های چرخشی باعث ایجاد سرعت منفی و در



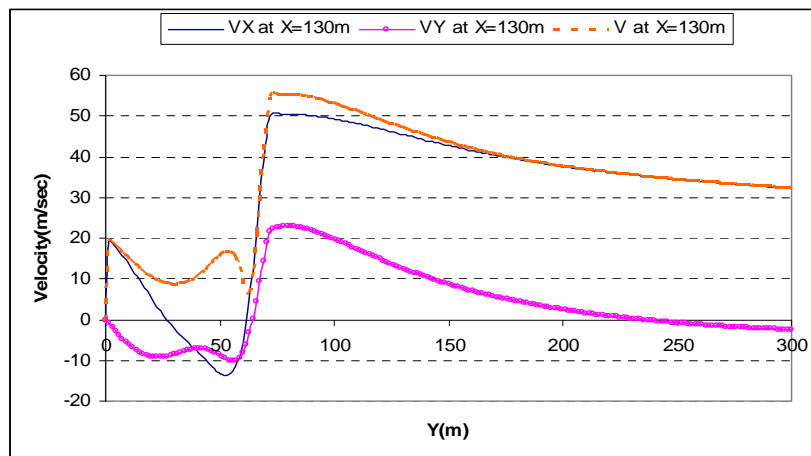
شکل ۱۲ پروفیل مؤلفه های سرعت  $V_x, V_y$  و سرعت کل  $V$  در  $X=5m$  از بالادست جریان



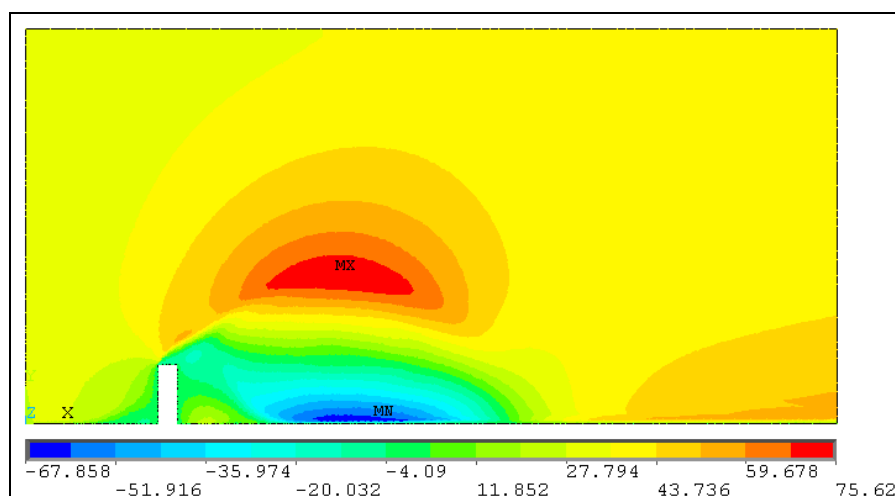
شکل ۱۳ پروفیل مؤلفه های سرعت  $V_x, V_y$  و سرعت کل  $V$  در  $X=30m$  از بالادست جریان



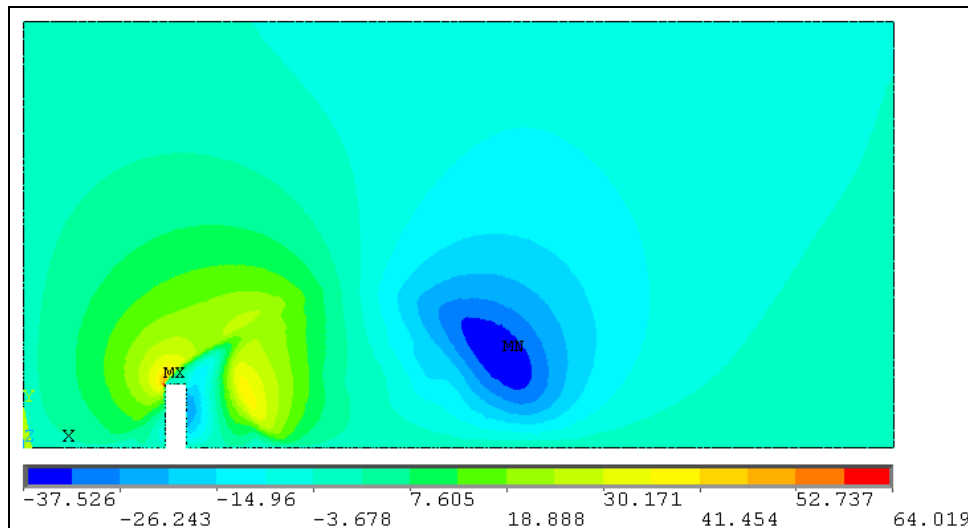
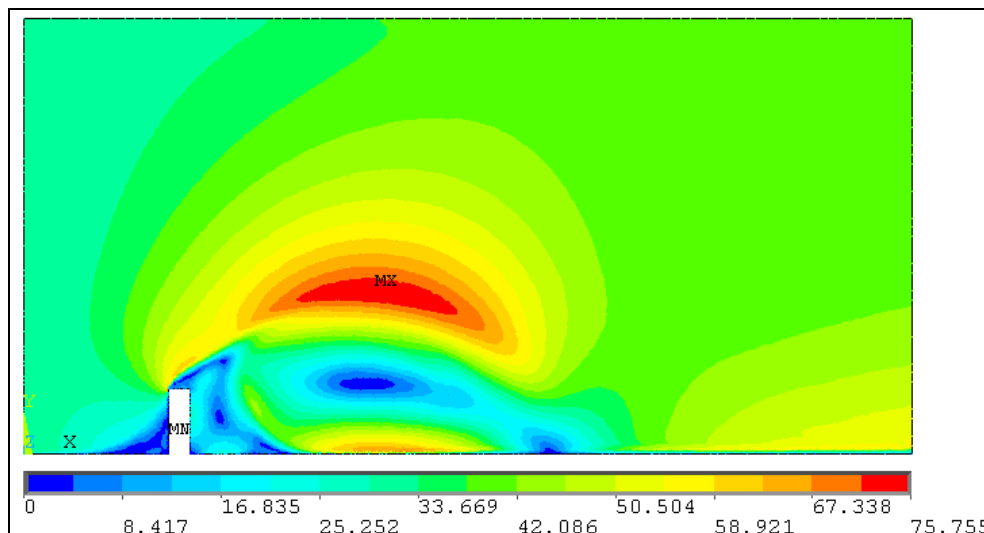
شکل ۱۴ پروفیل مؤلفه های سرعت  $V_x, V_y$  و سرعت کل  $V$  در  $X=80m$  از بالادست جریان



شکل ۱۵ پروفیل مؤلفه های سرعت  $V_x, V_y$  و سرعت کل  $V$  در  $X=130m$  از بالادست جریان



شکل ۱۶ کانتور مؤلفه افقی سرعت  $V_x$  در میدان جریان

شکل ۱۷ کانتور مؤلفه عمودی سرعت  $V_y$  در میدان جریانشکل ۱۸ کانتور سرعت کل  $V$  در میدان جریان

#### ۴- بحث و بررسی نتایج و پیشنهادات

که از هر دو شبکه به دست آمده اند، اثبات شده است (توجه به شکل‌های (۳) تا (۶)).

ج) اعتبار نتایج نیز با مقایسه مقادیر فشار دینامیکی حاصل از مدل‌سازی در نواحی بالادست جریان بررسی شده است (توجه به شکل‌های (۷) تا (۹)). دلیل وجود اختلاف معنی دار بین نتایج FEM و استاندارد ASCE احتمالاً مربوط به سه مسأله ذیل می باشد.

اول: استاندارد ASCE یک پروفیل توانی را برای  $q_z$  پیش بینی می کند؛ یعنی با افزایش ارتفاع همواره مقدار

الف) جریان باد، حول یک ساختمان به ارتفاع ۴۵ متر و عرض ۱۵ متر در نظر گرفته شد و شرط عدم لغزش و عدم نفوذ بر روی تمام دیواره‌ها و زمین ارضا شده است. جریان باد به صورت نیوتنی، دوبعدی، آشفته، غیر قابل تراکم و بدون انتقال حرارت، با استفاده از روش المان‌های محدود، مدل‌سازی شده است.

ب) مستقل بودن نتایج از شبکه استفاده شده با انجام مدل‌سازی برای دو شبکه متفاوت و ارائه تعدادی نتایج

ت) هر چه از نواحی بالادست جریان دورتر می‌شویم و به ساختمان نزدیکتر می‌شویم اختلاف مقادیر فشار دینامیکی حاصل از مدل FEM و استاندارد ASCE بیشتر می‌شود.

ث) دلیل زیاد شدن اختلاف فشار دینامیکی حاصل از مدل‌سازی و استاندارد ASCE در نواحی نزدیک به ساختمان، تأثیر وجود ساختمان در جریان باد می‌باشد، این در حالی است که استاندارد چنین مسأله‌ای را نشان نمی‌دهد، به عبارت دیگر استاندارد ASCE فقط مقادیر فشار دینامیکی در ارتفاع‌های متفاوت را بدون حضور ساختمان پیش‌بینی می‌کند و اثر وجود ساختمان بر میدان جریان در استاندارد مشاهده نمی‌شود.

و) با توجه به پیچیده بودن جریان باد و اندرکنش آن با ساختمان، استفاده از یک مدل سه بعدی نتایجی دقیق‌تر را ارائه خواهد نمود، اما با توجه به این‌که تعداد المان‌ها در مدل سه بعدی بسیار زیاد خواهد بود. مدت زمان لازم برای گرفتن نتایج قابل قبول از مدل سه بعدی با استفاده از یک سیستم کامپیوتر شخصی عملی نمی‌باشد.

$q_z$  زیادتر می‌شود. این در حالی است که با توجه به تئوری لایه مرزی برای جریان روی صفحه تخت (نواحی بالادست جریان) مقدار سرعت در خارج از لایه مرزی به سرعت جریان آزاد خواهد رسید و تغییر نخواهد کرد، در نتیجه فشار دینامیکی نیز که تابعی از سرعت است در خارج از لایه مرزی مقداری ثابت خواهد داشت. این نکته در نتایج مدل‌سازی قابل مشاهده است. در واقع این مدل‌سازی یکی از نقاط ضعف پروفیل توانی سرعت را که برای سرعت باد در نظر گرفته می‌شود نشان می‌دهد.

دوم: در نواحی بالا دست جریان (شکل‌های (۷) تا (۹)) مقدار  $q_z$  پیش‌بینی شده توسط ASCE به طور متوسط ۱۵ درصد بیشتر از مقادیر نشان داده شده توسط مدل‌سازی FEM می‌باشد که قسمتی از این ۱۵ درصد می‌تواند به عنوان یک ضریب اطمینان نیز تفسیر گردد. سوم: جریان واقعی باد در اطراف ساختمان یک جریان سه بعدی می‌باشد. احتمالاً استفاده از مدل دو بعدی باعث ایجاد یک خطا در محاسبات می‌شود.

## ۵- مراجع

1. Q.S. Li, Y.Q. Xiao, J.Y. Fu, Z.N. Li, " Full-scale measurements of wind effects on the Jin Mao building", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 445–466, 2007.
2. Y. Tamura, Y. Iwatani, K. Hibi, K. Suda, O. Nakamura, T. Maruyama, R. Ishibashi, " Profiles of mean wind speeds and vertical turbulence intensities measured at seashore and two inland sites using Doppler sodars" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 411–427, 2007.
3. Udo Peil, Matthias Behrens, " Aerodynamic admittance models for buffeting excitation of high and slender structures", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 73–90, 2007.
4. Yu Fat Lun, Akashi Mochida, Hiroshi Yoshino, Shuzo Murakami, " Applicability of linear type revised  $\kappa - \epsilon$  models to flow over topographic features", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 371–384, 2007.

5. D.M. Hargreaves, N.G. Wright, "On the use of the  $\kappa-\epsilon$  model in commercial CFD software to model the neutral atmospheric boundary layer" *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95, 355–36, 2007.
6. Henry W. Tieleman, Zhongfu Ge, Muhammad R. Hajj, " Theoretically estimated peak wind loads" *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95, 113–132, 2007.
7. Z.N. Xie, M. Gu, "Simplified formulas for evaluation of wind-induced interference effects among three tall buildings", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95, 31–52, 2007.
8. Francesco Ricciardelli, Santo Polimeno, " Some characteristics of the wind flow in the lower Urban Boundary Layer", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 94, 815–832, 2006.
9. Bilger, R.W., "A Note on Favre Averaging in Variable Density Flows", *Combustion Science and Technology*, Vol. 11, pp. 215-217, 1975.
10. Launder, B.E., Spalding, D.B, "The Numerical Computation of Turbulent Flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 3, pp 269-289, 1974.
11. Violette, P.L., "The Modeling of Turbulent Recirculating Flows for the Purpose of Reactor Thermal-Hydraulic Analysis", *Nuclear Engineering and Design*, 99, pp. 365-377, 1987.
12. Wilcox, David C., "Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models", *AIAA Journal*, Vol. 26, pp. 1299–1310, 1988.
13. Menter, F. R., "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", *AIAA Journal*, Vol. 32, pp. 1598–1605, 1994.
14. White, F.M., *Viscous Fluid Flow*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, 1991.
15. Mahmood yahyaee, *wind effects on structures including ASCE 1996*, KN Toosi University press. 2000.