

## شبیه‌سازی عددی پراکنش آلاینده $NO_x$ در یک محیط بسته و مقایسه آن با مدل انتشار داخلی IAQX

مجید شفیع پور مطلق<sup>۱</sup>، مصطفی کلهر<sup>۲</sup>، فرید خلیل آریا<sup>۳</sup>

نویسنده مسئول: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس، دانشگاه تهران، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست [kalhor@ut.ac.ir](mailto:kalhor@ut.ac.ir)

پذیرش: ۹۰/۰۲/۲۵

دریافت: ۸۹/۱۱/۳۰

### چکیده

زمینه و هدف: در این تحقیق رفتار دو مدل *IAQX 1.0f* و *Fluent 6.3.26* در تخمین انتشار  $NO_x$  در یک محیط بسته مسکونی ارزیابی و نتایج حاصل با نتایج نمونه برداری مقایسه شده است. روش بررسی: به منظور مقایسه دو مدل مورد نظر یک ساختمان مسکونی با مساحت  $84 m^2$  در نظر گرفته شده است. در مدل سازی با نرم‌افزار *IAQX 1.0f*، ساختمان مذکور به پنج ناحیه تقسیم شده است. با کمک ضرایب توصیه شده توسط *EPA* میزان انتشار از منابع و نرخ جذب هر یک از اجزای آن تعیین شده است. در مدل سازی با نرم‌افزار *Fluent 6.3.26* ساختمان با  $1777$  سلول شبکه بندی شده که منابع آلودگی توسط شرایط مرزی *mass inflow* و بازشوها توسط شرایط مرزی *inflow* شبیه سازی شده‌اند. یافته‌ها: مدل *Fluent 6.3.26* مقادیر غلظت در نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ را بیشتر از مقادیر مدل *IAQX 1.0f* نشان می‌دهد. هر دو مدل نتایج مدل سازی را در نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند. نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که در اکثر نواحی غلظت‌های به دست آمده توسط مدل *Fluent 6.3.26* نسبت به مدل *IAQX 1.0f* به مقادیر واقعی به دست آمده از نمونه برداری نزدیک‌ترند.

واژگان کلیدی: مدل سازی، محیط‌های بسته، *IAQX 1.0f*، *Fluent 6.3.26*

۱- دکترای محیط زیست، استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکترای مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

## آلودگی هوا در محیط های بسته

امروزه ثابت شده که تاثیر آلودگی هوا در محیط های بسته برابر و حتی بیش از آلودگی هوای محیط های باز شهری است (۱). در محیط های بسته گستره بیشتر و متنوع تری از آلاینده ها نسبت به محیط های باز وجود دارد و غلظت آلاینده ها در این محیط ها در اثر تجمع افزایش می یابد. هر فرد به طور متوسط ۹۰٪ از اوقات روز را در محیط های بسته سپری می کند، لذا بررسی آلودگی این محیط ها از اهمیت خاصی برخوردار است (۲). آلودگی هوا در محیط های بسته می تواند ناشی از مواد جامد معلق (مانند غبار و دود)، عوامل بیولوژیکی (مانند قارچ و هاگ)، رادون، آزبست، آلاینده های گازی مانند NO<sub>x</sub>، CO<sub>2</sub>، CO، SO<sub>x</sub>، آلدیدها و ترکیبات آلی فرار باشد (۳). اصلی ترین عامل آلودگی هوا در محیط های بسته انتشار آلاینده ها به صورت گازها و یا ذرات در محیط است. عدم تهویه مناسب نیز می تواند باعث افزایش آلودگی شود؛ زیرا در این حالت هوای کافی برای رقیق سازی و خارج نمودن آلاینده های داخل ساختمان تامین نمی شود (۴).

منابع NO<sub>x</sub> در محیط های بسته و اثرات آن بر روی سلامتی انسان

یکی از آلاینده های مهم در محیط های بسته NO<sub>x</sub> است. مهم ترین منبع انتشار NO<sub>x</sub> در محیط های بسته مسکونی و تجاری، وسایل گرمای و اجاق های آشپزخانه هستند. از دیگر منابع می توان به دود سیگار در این محیط ها اشاره نمود (۵و ۶). مهم ترین آلاینده از این دسته NO<sub>2</sub> است که موجب سوزش چشم، بینی، گلو و اختلال در تنفس می گردد. غلظت های بسیار زیاد از این آلاینده (مانند قرار گرفتن در یک ساختمان در حال سوختن) موجب آماس ریوی و آسیب دیدن ریه ها می شود. تماس مداوم با سطوح بالای غلظت ممکن است موجب برونشیت حاد یا سرطان گردد. تماس با غلظت های پایین تر این آلاینده نیز می تواند منجر به عوارضی چون ایجاد مشکلات تنفسی به خصوص برای افراد مبتلا به آسم و کودکان گردد

(۷-۹). همچنین مطالعات نشان داده است که بین مواردی از مرگ های غیرتصادفی و NO<sub>2</sub> ارتباط وجود دارد (۱۰).

## مدل سازی هوای محیط های بسته

نحوه پراکنش آلاینده ها در محیط های بسته در مقایسه با محیط های آزاد و اتمسفر متفاوت بوده و به عواملی از جمله میزان نفوذ، غلظت آلاینده در خارج از محیط، نیم رخ فشار روی دیوارهای ساختمان و غیره بستگی دارد. مدل های موجود در زمینه شبیه سازی آلاینده ها در محیط های بسته عمدتاً بر اساس محاسبه تعادل جرمی بین نواحی مختلف محیط بسته کار می کنند. از جمله ضعف های این نوع مدل ها فرضیات ساده کننده در نحوه اختلاط آلاینده و عدم در نظر گرفتن معادلات انرژی، تکانه و تلاطم در محاسبات غلظت در نواحی مختلف است. این نوع مدل ها به دلیل ساده سازی های صورت گرفته در ناحیه بندی محیط از دقت بالایی برخوردار نیستند (۱۱و ۱۲). با وجود این که تاکنون در جهان تحقیقات متعددی بر روی مدل سازی هوا در محیط های بسته به خصوص توسط مدل های مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamic) انجام شده است (۱۶-۱۳)، این امر در ایران چندان مورد توجه قرار نگرفته است. از طرفی اکثر تحقیقات انجام شده تنها به ارزیابی یک مدل اختصاص داشته است. لذا هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه نتایج دو مدل مختلف Fluent و IAQX در یک منزل مسکونی در ایران بوده است. از مطالعات مشابه صورت گرفته در ایران می توان به مدل سازی کیفیت هوای موزه های تهران با استفاده از مدل IMPACT اشاره کرد (۱۷). در تحقیق مذکور، نتایج حاصل از به کارگیری مدل IMPACT در مدل سازی غلظت آلاینده های NO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> ارائه گردیده است. این مدل که به وسیله مرکز حفاظت از میراث فرهنگی دانشگاه لندن تدوین گردیده جهت مدل سازی دو موزه تنوع زیستی پردیسان و موزه فرش ایران به کار برده شده است. مقادیر به دست آمده از مدل در مقایسه با داده های حاصل از اندازه گیری صحت سنجی شده و درصد تطابق بین ۷۷٪ تا ۹۴٪ حاصل

گردیده است.

### مدل IAQX و Fluent

استفاده می‌شود (۱۸). این مدل، یک مدل تک ناحیه‌ای بوده و در هر ناحیه شرایط غلظت را خوب اختلاط یافته در نظر می‌گیرد. معادله تعادل جرمی زیر توسط این مدل در هر بار اجرای آن حل می‌شود (۱۹):

مدل IAQX برای شبیه‌سازی کیفیت هوا در محیط‌های بسته و تعیین میزان مواجهه ساکنین در این محیط‌ها به کار می‌رود. در این مدل برای حل معادلات دیفرانسیلی انتقال جرم از روش موسوم به Runge-Kutta-Fehlburg مرتبه چهار و پنج

که خواهیم داشت:

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n_f} R_j + p Q_{0i} C_0 + \sum_{k=1}^{n_z} Q_{ki} C_k - \sum_{k=0}^{n_z} Q_{ik} C_i - \sum_{L=1}^{n_s} S_L K_{dLi} f(C_i) + \sum_{L=1}^{n_s} S_L K_{dL} f(M_L) - \sum_{p=1}^{n_f} R_p Q_{pi} C_i + V_i \sum_{g=1}^{n_x} X_g$$

$f(M_L)$ : تابع معلومی از  $M_L$

$n_f$ : تعداد فیلترهای موجود در ناحیه  $i$  ام

$R_p$ : راندمان حذف فیلتر

$Q_p$ : دبی جریان هوا از میان فیلتر ( $h/m^3$ )

$n_x$ : تعداد واکنش‌های شیمیایی که در تولید یا حذف آلاینده نقش دارند

$X_g$ : نرخ واکنش شیمیایی ( $h/mg/m^3$ )

$Q_{ik}$ : دبی هوا از ناحیه  $i$  به  $k$  ( $h/m^3$ )

$S_L$ : مساحت جاذب  $L$  در ناحیه  $i$  ام ( $m^2$ )

$f(C_i)$ : تابع معلومی از  $C_i$

$k_{dL}$ : نرخ جذب آلاینده توسط جاذب  $L$  بر حسب واحد  $f(C_i)$

$V_i$ : حجم ناحیه  $i$  ام ( $m^3$ )

$C_i$ : غلظت آلاینده در ناحیه  $i$  ام ( $mg/m^3$ )

$t$ : زمان ( $h$ )

$n_R$ : تعداد منابع در ناحیه  $i$  ام

$R_j$ : نرخ انتشار منبع  $j$  ام در ناحیه  $i$  ام ( $mg/h$ )

$p$ : پارامتر نفوذ برای ناحیه  $i$  ام

$Q_{0i}$ : نرخ نفوذ به داخل از محیط خارج در ناحیه  $i$  ام ( $m^3/h$ )

$C_0$ : غلظت آلاینده در محیط اطراف ( $mg/m^3$ )

$n_z$ : تعداد نواحی

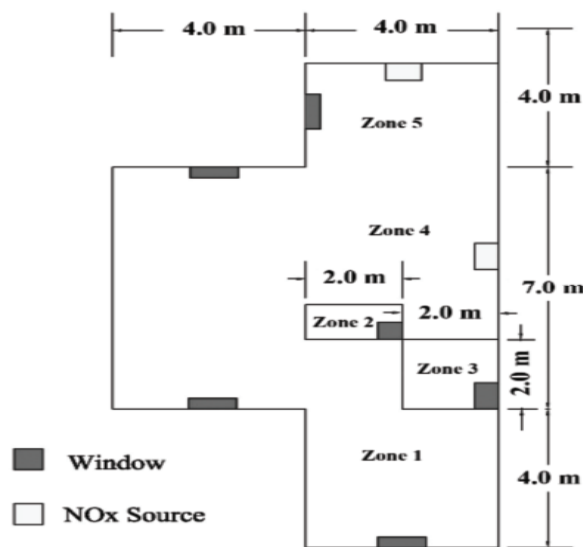
$Q_{ki}$ : دبی هوا از ناحیه  $k$  به ناحیه  $i$  ( $m^3/h$ )

$C_k$ : غلظت آلاینده در ناحیه  $k$  ( $mg/m^3$ )

$n_s$ : تعداد جاذب‌ها

$k_{dL}$ : نرخ واجذبی از سطح  $L$  بر حسب  $f(ML)$

$M_L$ : مقدار آلاینده جذب شده روی سطح  $L$  ( $mg/m^2$ )



شکل ۱: پلان ساختمان مسکونی مدل سازی شده

در مدل وارد شد (۲۱).

#### جاذب ها

جاذب ها شامل اشیا یا وسایلی هستند که توانایی جذب آلاینده ها برای مدتی مشخص را دارند. در این مورد سه گروه جاذب اصلی شامل، پرده ها، کفپوش ها، و سایر لوازم منزل

مدل Fluent یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی است. به طور کلی استراتژی دینامیک سیالات محاسباتی عبارت از جای گذاری دامنه مسایل پیوسته با یک دامنه گسسته با استفاده از شبکه بندی است. حل کننده های نرم افزار Fluent بر اساس روش حجم محدود عمل می کنند.

#### مواد و روش ها

##### مدل سازی توسط IAQX

در این مقاله یک واحد مسکونی با ابعاد  $84 \text{ m}^2$  به عنوان محیط بسته مورد بررسی قرار گرفته است. پلان این محیط بسته در شکل ۱ نشان داده شده است. در ابتدا برای مدل سازی توسط مدل IAQX، محیط به پنج ناحیه تقسیم شده است. ابعاد و شرایط منزل مسکونی در مدل منطبق با شرایط واقعی در نظر گرفته شد و از آنجا که لوازم و مبلمان حجم بسیار کمی نسبت به کل فضا را اشغال می نمودند در مدل سازی در نظر گرفته نشدند. برای هر یک از نواحی میزان حجم نواحی، مساحت جاذب ها، نرخ انتشار از منابع در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱: مشخصات منابع تعریف شده در مدل IAQX

ناحیه	حجم ناحیه (m <sup>3</sup> )	نرخ انتشار از اجاق گاز (mg/h)	نرخ انتشار از شومینه (mg/h)
ناحیه ۱	۴	۰	۰
ناحیه ۲	۱۲۰	۰	۰
ناحیه ۳	۶	۰	۰
ناحیه ۴	۱۲	۰	۵۰
ناحیه ۵	۸۰	۱۵۰	۰

#### منابع تولید NO<sub>x</sub>

منابع تولید NO<sub>x</sub> شامل وسایل گاز سوز موجود در واحد مسکونی می باشد. میزان نرخ تولید NO<sub>x</sub> بر حسب ضرایب نشر EPA و بر اساس میزان مصرف گاز طبیعی در هر روز محاسبه شده است (۲۰). میزان نرخ انتشار در جدول ۱ بیان شده است. میزان غلظت زمینه در محیط اتمسفر بر اساس نتایج نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به محل به میزان  $0.1 \text{ mg/m}^3$

مانند مبلمان است. نرخ جذب هر یک از این گروه ها بر اساس مقادیر پیشنهادی EPA در مدل وارد شده است (۱۹). جدول ۲ مقادیر این پارامترها برای هر یک از نواحی را نشان می دهد.

جدول ۲: مشخصات جاذب های تعریف شده در مدل IAQX 1.0f

ناحیه	نوع جاذب	حجم ناحیه (m <sup>3</sup> )	مساحت جاذب I (m <sup>2</sup> )	مساحت جاذب II (m <sup>2</sup> )	مساحت جاذب III (m <sup>2</sup> )
ناحیه ۱	پرده	۴	۰	۰	۲
ناحیه ۲	-	۱۲۰	۰	۰	۰
ناحیه ۳	-	۶	۰	۰	۰
ناحیه ۴	پرده و مبلمان	۱۲	۳۴	۹	۰
ناحیه ۵	کف پوش	۸۰	۱۲	۶	۰

## تهویه

مدل از شبکه های نامنظم (unstructured mesh) استفاده شده است. در این نوع از شبکه بندی هر چند مدت زمان لازم برای اجرای مدل افزایش می یابد، اما دقت مدل سازی شرایط توربولانس افزایش خواهد یافت. شکل ۲ نحوه شبکه بندی ساختمان را نشان می دهد.

پس از تکمیل مدل، فضای درونی ساختمان با استفاده از

مهم ترین عامل در پراکنش آلاینده در محیط بسته مقدار و چگونگی تهویه جریان هوا بین نواحی مختلف ساختمان است. میزان تهویه از هر یک از این نواحی به نواحی دیگر با استفاده از روش تجربی کانینگهام (Cunningham) محاسبه شده است (۲۲). جدول ۳ میزان تهویه از یک ناحیه به ناحیه دیگر را نشان می دهد.

جدول ۳: میزان تهویه در نواحی مختلف ساختمان مسکونی (m<sup>3</sup>/hr)

به محیط بیرون	به ناحیه ۱	به ناحیه ۲	به ناحیه ۳	به ناحیه ۴	به ناحیه ۵
از محیط بیرون	۹	۱۹	۰	۰	۲۵
از ناحیه ۱	۰	۲۹	۰	۰	۰
از ناحیه ۲	۲۰	۰	۴/۸	۴	۲۴/۲
از ناحیه ۳	۰	۰	۰	۰	۰
از ناحیه ۴	۰	۰	۰	۰	۰
از ناحیه ۵	۰	۴۹/۲	۰	۰	۰

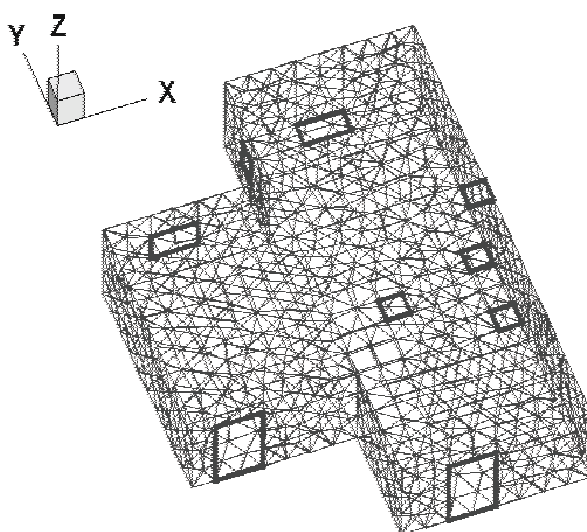
## مدل سازی توسط Fluent

در این روش ابتدا مدل ساختمان با ابعاد واقعی در مدل Gambit پیاده سازی شد. بازشوها شامل پنجره ها، هود، درب ها، فن ها در محل های مربوط به خود توسط شرایط مرزی ورودی (inflow) تعریف و منابع آلودگی توسط شرایط مرزی جرم ورودی (mass inflow) شبیه سازی شدند. با توجه به این که مدل سازی صورت گرفته مطابق با ابعاد واقعی فضای مسکونی بوده است و همچنین با توجه به ماهیت تحقیق مبنی بر مقایسه با یک مدل غیر دینامیکی، برای شبکه بندی

شبکه های نامنظم شبکه بندی شد. میزان حجم شبکه بندی شده ۲۵۶ m<sup>3</sup> و تعداد سلول های ایجاد شده برابر ۱۷۷۷ سلول بوده است.

اندازه گیری غلظت NO<sub>x</sub>

برای مقایسه نتایج مدل ها با مقادیر غلظت واقعی، غلظت NO<sub>x</sub> در بخش های مختلف واحد مسکونی اندازه گرفته شد. برای این کار از دستگاه ساخت شرکت Signal Ambient مدل Street box استفاده شد. نمونه برداری به صورت ۸ ساعته برای هر یک از نواحی تکرار شد. مقادیر گزارش شده میانگین حداقل سه خوانش از دستگاه و مدل ها و به صورت همزمان



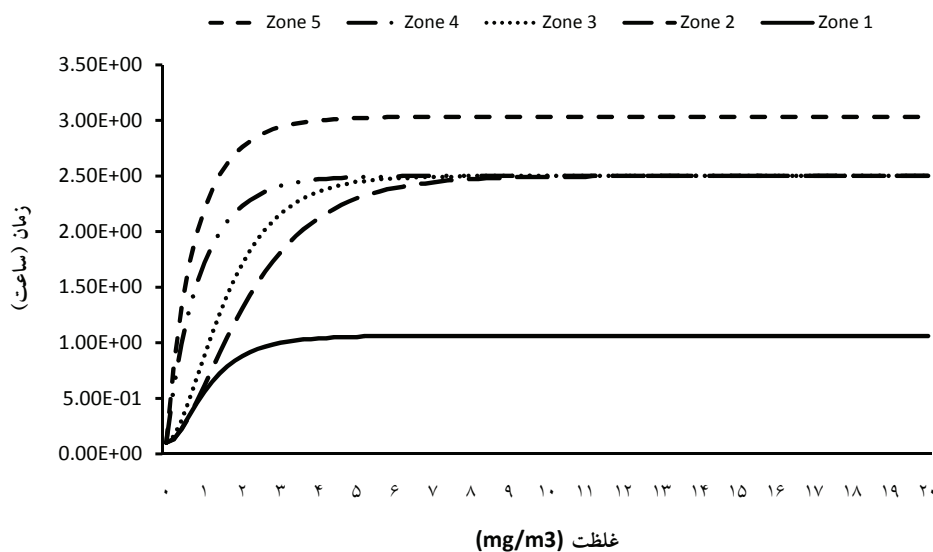
شکل ۲: شبکه بندی ساختمان مسکونی در مدل Fluent

تمامی غلظت‌ها به حالت دائمی رسیده‌اند. هم مقدارهای غلظت NO<sub>x</sub> حاصل از مدل Fluent در شکل ۴ نشان داده شده‌است. حداقل غلظت برابر ۰/۵ mg/m<sup>3</sup> و حداکثر غلظت برابر ۹/۵ mg/m<sup>3</sup> بوده است. در شکل‌های ۷-۵ به ترتیب هم مقدارهای فشار استاتیکی، دما و سرعت نمایش داده شده‌اند.

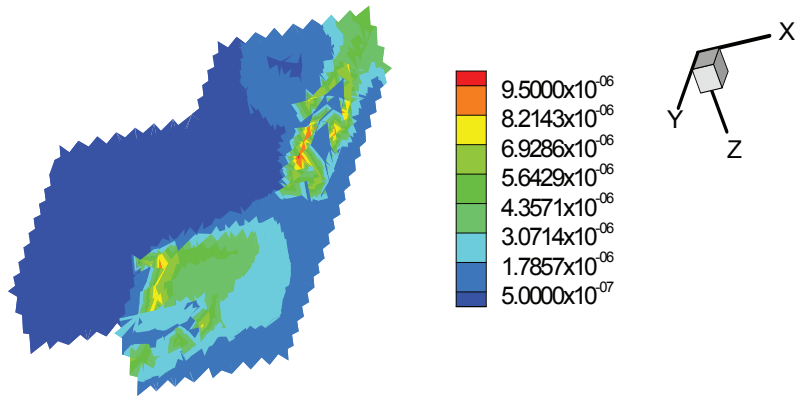
است. برای نمونه برداری از روش استاندارد NIOSH استفاده شد (۲۳).

### یافته ها

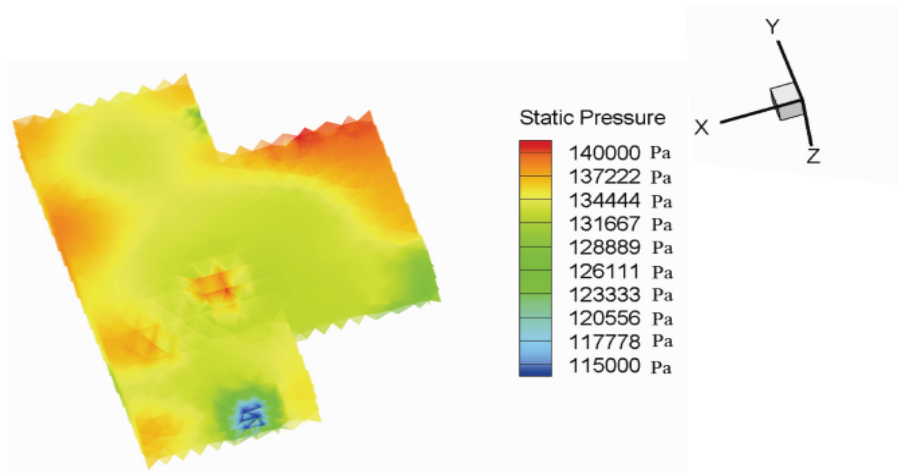
شکل ۳ نمودار تغییرات غلظت NO<sub>x</sub> در نواحی مختلف را در طول زمان برای مدل IAQX نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد، بعد از گذشت ۱۲ ساعت



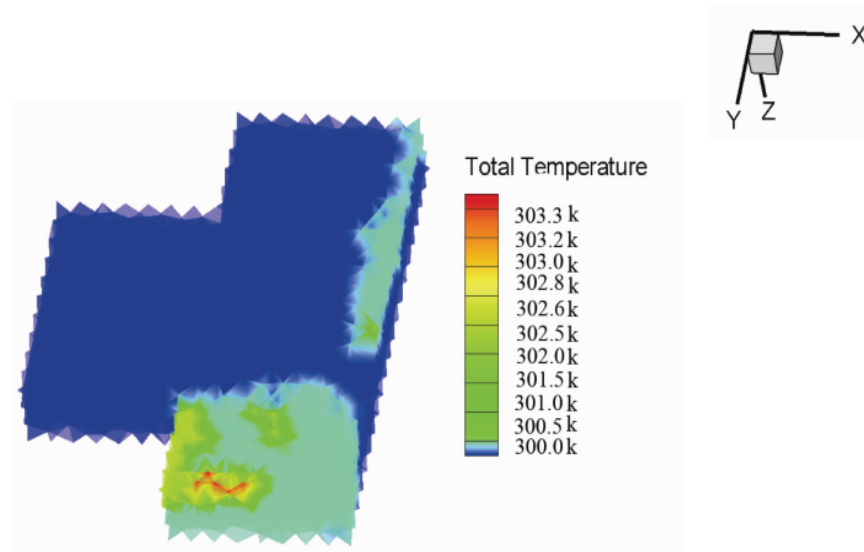
شکل ۳: تغییرات غلظت NO<sub>x</sub> بر حسب زمان در نواحی مختلف در مدل IAQX 1.0f



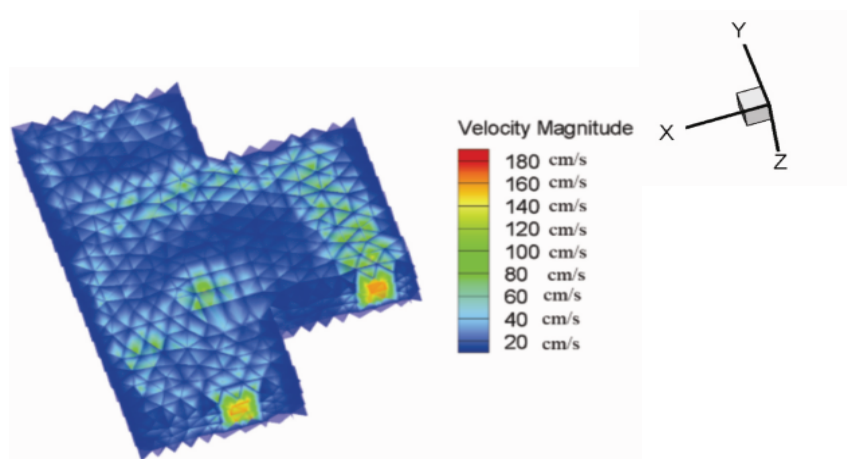
شکل ۴: هم مقدارهای غلظت NO<sub>x</sub> در محیط بسته بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب



شکل ۵: هم مقدارهای فشار ایستایی در محیط بسته بر حسب پاسکال



شکل ۶: هم مقدارهای دما در محیط بسته بر حسب کلوین



شکل ۷: هم مقدارهای سرعت در محیط بسته بر حسب سانتی متر بر ثانیه

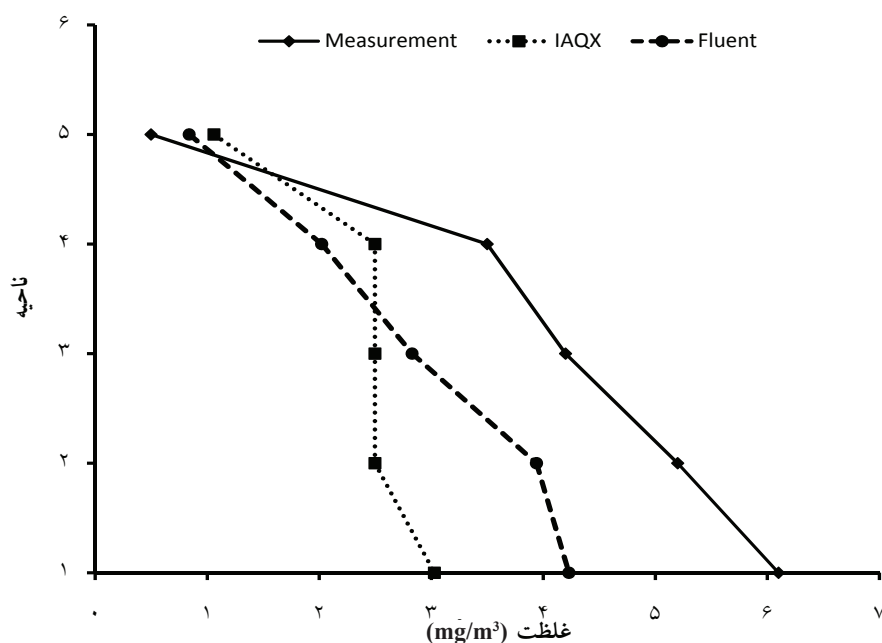
### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در اکثر نواحی غلظت های به دست آمده توسط مدل Fluent نسبت به مدل IAQX به مقادیر واقعی به دست آمده از نمونه برداری نزدیکترند. در مطالعات پیشین انجام شده نیز نتایج مدل های دینامیک سیالاتی انطباق خوبی با نتایج واقعی داشتند (۱۴، ۲۳ و ۲۴). تفاوت موجود بین مقادیر پیش بینی شده توسط دو مدل به موارد مختلفی از جمله در نظر گرفتن معادلات انرژی، تلاطم و تفاوت در شبکه بندی بستگی دارد. در مدل IAQX محیط مسکونی به پنج ناحیه تقسیم شده و در

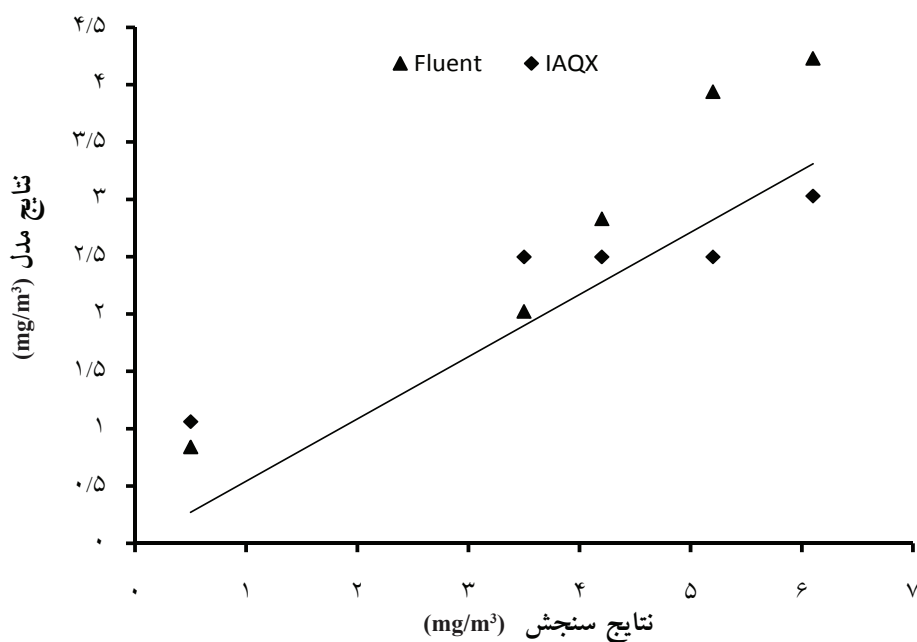
مقادیر غلظت حاصل از هر کدام از مدل ها در مقایسه با نتایج اندازه گیری شده در جدول ۴ نشان داده شده است. در شکل ۸ نتایج حاصل از هر دو مدل در مقایسه با نتایج اندازه گیری NO<sub>x</sub> نشان داده شده است. همبستگی بین نتایج این دو مدل و اندازه گیری های صورت گرفته در شکل ۹ ارایه شده است. ضریب همبستگی (R<sup>2</sup>) برای مدل Fluent برابر ۰/۹۳۲۶ و برای مدل IAQX برابر ۰/۴۳۳۶ بوده است. مدل Fluent مقادیر غلظت در نواحی ۱، ۲ و ۳ را بیشتر از مقادیر IAQX نشان می دهد.

جدول ۴: مقایسه نتایج بین مدل Fluent و IAQX و مقادیر اندازه گیری شده

ناحیه	غلظت NO <sub>x</sub> در Fluent (mg/m <sup>3</sup> )	غلظت NO <sub>x</sub> در IAQX (mg/m <sup>3</sup> )	غلظت NO <sub>x</sub> از نمونه برداری (mg/m <sup>3</sup> )
ناحیه ۱	۴/۲۳	۳/۰۲۹	۶/۱
ناحیه ۲	۳/۹۴	۲/۴۹۸	۵/۲
ناحیه ۳	۲/۸۳	۲/۴۹۸	۴/۲
ناحیه ۴	۲/۰۲۳	۲/۴۹۸	۳/۵
ناحیه ۵	۰/۸۴	۱/۰۶۱	۰/۵



شکل ۸: مقایسه بین نتایج غلظت NO<sub>x</sub> توسط مدل Fluent 6.3، 26IAQX 1.0f و مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل ۹: همبستگی بین نتایج غلظت NO<sub>x</sub> توسط مدل Fluent, IAQX و مقادیر اندازه‌گیری شده

میزان تهویه و برآورد نرخ انتشار از منابع نسبت داد. علاوه بر موارد ذکر شده، محدودیت های دیگری نیز در بهینه سازی شرایط مدل سازی وجود دارند که از آن جمله می توان به مواردی همچون: تعیین مقدار ضرایب جذب مواد، محاسبات میزان نشستی هوا از منافذ، تاثیر برهم کنش آلاینده ها، روش میانگین گیری، شرایط غیر دایم (unsteady state) محیط و غیره اشاره کرد.

هر ناحیه غلظت به صورت خوب اختلاط یافته در نظر گرفته می شود که تخمین مناسبی برای شرایط واقعی موجود نیست. در مدل Fluent فضای محیط مسکونی به ۱۷۷۷ حجم کنترل تقسیم و در تمامی این سلول ها معادلات تلاطم و غلظت و انرژی حل می شوند و برخلاف مدل IAQX گرادیان غلظت در هر سلول وجود دارد. نتایج حاصل از هر دو مدل در نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ کمتر از مقادیر اندازه گیری شده است. علت این مساله را می توان به عدم قطعیت های موجود در پیش بینی

### منابع

- Harrison PT. Health impacts of indoor air pollution. *ChemIndust*. 1997;17:677-81.
- Naddafi K, Rezaei S, Nabizadeh R, Yonesian M, Jabbari H. Density of airborne bacteria in a Children's Hospital in Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2009;1(2):75-80.
- Franklin PJ. Indoor air quality and respiratory health of children. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2007;8:281-86.
- Guieysse B, Hort C, Platel V, Munoz R, Ondarts M, Revah S. Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges. *Biotechnology Advances*. 2008;26:398-410.
- US Environmental Protection Agency [homepage on the Internet]. An introduction to indoor air quality [cited 2010 Jul 9]. Available from: <http://www.epa.gov/iaq/ia-intro.html>.
- Lai HK, Bayer-Oglesby L, Colville R, Gotschi T, Jantunen MJ, Kunzli N, et al. Determinants of indoor air concentrations of PM2.5, black smoke and NO2 in six European cities (EXPOLIS study). *Atmos Environ*. 2006; 40:1299-313.
- Brunekreef B. NO2: the gas that won't go away. *ClinExp Allergy*. 2001;31:1170-72.
- Godish T. *Air Quality*, 4th ed. New York: Lewis Publishers; 2004.
- Hanninen OO, Alm S, Katsouyanni K, Kunzli N, Maroni M, Nieuwenhuijsen MJ, et al. The EXPOLIS study: implications for exposure research and environmental policy in Europe. *J Exposure Anal Environ Epidemiol*. 2004;14:440-56.
- Kattan M, Gergen PJ, Eggleston P, Visness PM, Mitchell HE. Health effects of indoor nitrogen dioxide and passive smoking on urban asthmatic children. *J Allergy ClinImmunol*. 2007;120:618-24.
- Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, et al. Longterm effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect*. 2008;116:196-202.
- Austin BS, Weir BR, Behar JV. Modeling the indoor environment. *Environmental Science & Technology*. 1992;26(5):851-58.
- Tichenor BA, Guo Z, Sparks LE. Fundamental mass transfer model for indoor air emissions from surface coatings. *Indoor Air*. 1993;3:263-68.
- Dimitroulopoulou C, Ashmoreb MR, Hill MTR, Byrne MA, Kinnersley R. INDAIR: A probabilistic model of indoor air pollution in UK homes. *Atmospheric Environment*. 2006;40:6362-79.
- Hayashi T, Ishizu Y, Kato S, Murakami S. CFD analysis on characteristics of contaminated indoor airventilation and its application in the evaluation of the effects ofcontaminant inhalation by a human occupant. *Building and Environment*. 2002;37:219-30.
- Wang X, Wang F, Zhao C. Characterizing transportation of indoor gaseous contaminant using

- the state space method. *Building and Environment*. 2010;45:2148-59.
17. Helmis CG, Tzoutzas J, Flocas HA, Halios CH, Stathopoulou OI, Assimakopoulos VD, et al. Indoor air quality in a dentistry clinic. *Science of the Total Environment*. 2007;377:349-65.
18. Shafie-Pour M, Ashrafi K, Tavakoli A. Modelling of Indoor Air Quality for Tehran Museums by IMPACT. *Journal of Environmental Studies*. 2010;36(55):22-24.
19. Cheney RL, Kincaid D. *Numerical Mathematics*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Co.; 1980.
20. US Environmental Protection Agency [homepage on the Internet]. Simulation tool kit for indoor air quality and inhalation exposure (IAQX) Version 1.0, 2000, EPA-600/R-00-094 [cited 2010 Jul 13]. Available from: [www.epa.gov/appcdwww/iemb/Docs/IAQX\\_doc.pdf](http://www.epa.gov/appcdwww/iemb/Docs/IAQX_doc.pdf)
21. US Environmental Protection Agency. Emission factor documentation for the AP-42 section 1.4 natural gas combustion, final section, supplement D. USA: USEPA; 1998 [cited 2010 March 25]. Available from: [www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/bgdocs/b01s04.pdf](http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/bgdocs/b01s04.pdf).
22. Air Quality Control Company. Punak traffic park's meteorological data. Final report. Tehran: Air Quality Control Company. 2010.
23. Cunningham. MJ. Humidity and vapour pressure fluctuations to measure room ventilation rates. *Building and Environment*. 1994;29(4):501-10.
24. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Criteria for a recommended standard occupational exposure to waste anesthetic gases and vapors. Final report. USA: U.S. Department of Health, Education, and Welfare; 1997.
25. Brohus H, Nielsen PV. CFD models of persons evaluated by full-scale wind channel experiments. Proceedings of Roomvent, Fifth International Conference on Air Distribution in Rooms; 1996 July 17-19; Yokohama, Japan.
26. Murakami S, Kato S, Zeng J. Numerical simulation of contaminant distribution around a modeled human body: CFD study on computational thermal manikin—Part II. *ASHRAE Transaction*. 1998;104:226-33.

## **Comparison of Numerical Simulation of NO<sub>x</sub> with Modeling of IAQX in Indoor Environments**

**Shafiepour Motlagh M<sup>1</sup>, \*Kalhor M.<sup>1</sup>, Khalil Arya F.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received; 19 February 2011 Accepted; 15 May 2011

### **ABSTRACT**

**Background and Objectives:** This study presents an evaluation between IAQX 1.0f and Fluent 6.3.26 in modeling of NO<sub>x</sub> dispersion in an indoor residential environment. Modeling predictions are compared with sampling results.

**Materials and Methods:** A residential building with about 84 m<sup>2</sup> area is modeled. In IAQX 1.0f the building is divided into five zones. Emission factors and absorption rate of sinks is estimated with US.EPA suggested factors. On the other hand, In the Fluent 6.3.26 model, the building was divided into 1777 cells, and the openings are defined by the boundary conditions of the inflow. In this model, pollution sources were simulated by boundary conditions of the mass inflow.

**Results:** Compared to IAQX 1.0f, Fluent 6.3.26 showed higher estimation of the concentrations in the zones of 1, 2 and 3. In comparison with the measurements, both models had underestimated results.

**Conclusion:** The results of Fluent 6.3.26 were closer to the sampling results in the zones.

**Key words:** Modeling, Indoor Environments, Fluent 6.3.26, IAQX 1.0f

---

\* Corresponding Author: [kalhor@ut.ac.ir](mailto:kalhor@ut.ac.ir)

Tel: +98 912 6826597 Fax: