

## اندازه گیری و مدلسازی ورود ذرات معلق به سالن ورزشی هنگامی که آلاینده های هوا در مرز هشدار قرار دارند

امیرحسین کلهری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، گروه عمران، دانشکده

فنی و مهندسی دانشگاه خوارزمی

[ahk.cr.130@gmail.com](mailto:ahk.cr.130@gmail.com)

### چکیده

یکی از مشکلاتی که برای ورزشکاران در هنگام فعالیت بدنی در هوای ناسالم، ایجاد می شود، مشکلات تنفسی است. تمرکز این مطالعه بر روی پیش بینی مقادیر (غلظت) ذرات معلق PM (PM<sub>۱۰</sub>, PM<sub>۲.۵</sub>)، مقدار نفوذ در محیط ورزشی (سالن خانه کاراته استان کرمانشاه)، در طی رویداد هایی همچون ریزگرد ها، آلاینده های ماشینی و طوفان گرد و غبار می باشد. در این مطالعه زمانی که آلاینده های هوا (PM)، طبق استاندارد MEA (استاندارد کیفیت هوای آمریکا)، در شرایط ناسالم قرار می گیرد، شبیه سازی انجام شده است. شبیه سازی ابتدایی صورت گرفته، توسط نرم افزار SOLID WORKS، و تحلیل های مربوط به روش CFD، توسط نرم افزار ANSYS\_CFD انجام شده است. در این مطالعه می خواهیم سناریوهای مختلف برای سیستم تهویه موجود در سالن را در نرم افزار ANSYS\_CFD شبیه سازی کنیم، و در نهایت با توجه به شرایط بهترین سناریو را در زمان وقوع این رویداد (شرایط ناسالم هوا) را در نظر بگیریم. البته با توجه به سیستم تهویه محدود (فن ها)، و قدیمی که در سالن وجود دارد، مقصود بهینه سازی شرایط موجود می باشد. در نهایت پیش بینی های تعریف شده، با واقعیت فیزیکی مطابقت داشتند، و پیش بینی های مفیدی را در مورد نفوذ ذرات PM در سالن ورزشی داشتند.

**کلمات کلیدی:** روش CFD، مدلسازی ANSYS\_CFX، سیستم تهویه، ذرات PM، سالن

ورزشی

کلهری

«اندازه گیری و مدلسازی ورود ذرات معلق به سالن ورزشی هنگامی که آلاینده های هوا در مرز

## مقدمه

اگر شما ورزش را کمی جدی بگیرید و در طول روز زمانی را برای آن اختصاص دهید، حتی زمانی در حد ۳۰ دقیقه، می توان شما را ورزشکار خطاب کرد. در این مطالعه قصد داریم یکی از دغدغه های ورزشکاران و مربیان را از زاویه دید دیگری مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم، و در نهایت نتایج بدست آمده را در اختیار مربیان و ورزشکاران بگذاریم، تا با دید بهتری بتوانند به حل این مسئله بپردازند.

در چند سال اخیر در کشور ایران شاهد پدیده ای بنام ریزگرد های معلق در هوا هستیم، که به راستی ذرات مضر موجود در این پدیده برای بیماران و افراد سلامت جامعه، دردسرساز بوده و مردم را به چالش کشیده است. البته در این مقاله قصد داریم عوامل دیگری که میتوانند مقدار این ذرات مضر برای سلامتی انسان را در هوای موجود بالا ببرند، نیز بررسی کنیم. برای درک بیشتر از این عوامل به تشریح دو مورد دیگر می پردازیم که عبارتند از آلاینده هایی که ناشی از عوامل ماشینی هستند که با سوخت فسیلی کار می کنند و مورد دوم طوفان های گرد غبار هستند که در مناطق خشک رایج هستند. منشاء ریز گرد های معلق در هوا را میتوان تا حدودی از فعالیت های مخرب زیست محیطی انسان دانست، در مورد آلاینده های ماشینی کاملاً میتوان آن را نشئت گرفته از عوامل انسانی مد نظر قرار داد و در رابطه با طوفان های گرد و غبار میتوان این گونه مسئله را تبیین کرد که منشا کاملاً طبیعی دارد. (این موارد صرفاً برای پیدا کردن دید نسبت به موضوع می باشد نه اینکه صرفاً در این مطالعه این موارد را مورد بررسی قرار داده باشیم).

در ادامه به توضیح بیشتر عامل سوم یعنی طوفان گرد و غبار میپردازیم، وقایع طوفان گرد و غبار را میتوان با مقادیر عظیم گرد و غبار و کاهش قابلیت دید انسان به کمتر از یک کیلومتر شناخت [۱]. مهمترین علت برای طوفان گرد و غبار، بلند کردن گرد و غبار از سطح زمین و انتقال آن به اتمسفر از طریق بادهای شدید می باشد [۶]-[۲]. این رویداد ها مسئول حمل و نقل مواد ذره ای، پاتوژن ها و سایر آلاینده ها در مقیاس بزرگ میباشد که تاثیر زیادی بر اکوسیستم، جمعیت جانداران [۷] و سلامت انسان [۸] (بیماری های قلبی عروقی، تنفسی، پوستی، سرطان و ...) دارد. اثراتی که احتمالاً فرا تر از مواردی هستند که قبلاً برای ارتباط با PM<sub>۱۰</sub> و PM<sub>۲.۵</sub> شناخته شده است [۱۰]، [۹]. سطوح مختلف مشکلات تنفسی [۱۱]

[۱۲]. بیماری های قلبی و عروقی و پوستی [۱۴]، [۱۳]، رخداد وقایع طوفان گرد و غبار و بزرگی آنها در طول سال متفاوت است و برای هر منطقه [۱۶]، [۱۵] متفاوت است.

ذرات معلق (Particulate Matter) PM، بیش از هر نوع از آلاینده های دیگر هوا، مردم را تحت تاثیر قرار می دهند، اجزای تشکیل دهنده این ذرات معلق هوا عبارتند از سولفات ها، نیترات ها، آمونیوم، سدیم کلرید، ذرات معدنی و... . عبارات دیگر ذرات معلق هوا یک مخلوط پیچیده ذرات جامد و مایع متشکل از مواد آلی و معدنی معلق در هوا هستند. مواجهه مزمن با ذرات معلق هوا (PM)، سبب بیماری های قلبی و عروقی، ریوی و همچنین سرطان ریه می گردد. این ذرات معلق هوا با توجه به اندازه آنها به چند دسته تقسیم می شوند، که عبارتند از ذرات درشت  $PM_{10}$  (Coarse Particles)، ذرات ریز  $PM_{2.5}$  (Fine Particles) و ذرات بسیار ریز  $PM_{0.1}$  (Ultra Fine Particles). که در این مطالعه  $PM_{0.1}$  بدلیل ناپایداری بسیار جزو  $PM_{2.5}$  محسوب شده است.

در یکی از مطالعات مرتبط، لانگوویل و همکاران [۱۴]، همبستگی قوی بین رویدادهای گرد و غبار و سلامت انسان برای غرب آفریقا را نشان دادند. بنا بر مطالعه سانگ و همکاران [۱۷]. رویداد های گرد و غبار در شمال شرقی آسیا بصورت گرد و غبار شناور، گرد و غبار ناشی از طوفان های گرد و غبار و طوفان های شدید گرد و غبار دسته بندی می شود، که شامل ذرات معلق (PM)، ماده معلق (TSP) و سرعت باد می باشند. در یک مطالعه دیگر چن و همکاران [۱۸]، غلظت ذرات  $PM_{10}$  را در حدود دو برابر سطح روز های عادی در طی رویداد های عادی در طی رویداد طوفان گرد و غبار آسیایی گزارش کردند.

کاناتانی و همکاران [۱۹]، یک افزایش بیست برابری (در فضای داخلی) و پنجاه برابری (در فضای خارجی)، در مقادیر PM در فضای داخلی و فضای باز را در طی یک رویداد طوفان گرد و غبار در کیوتو ژاپن گزارش کردند. فرایند نفوذ هوا از محیط بیرون به داخل ساختمان را میتوان بصورت زیر تبیین کرد، کوو و شن [۲۰]، در طی یک طوفان گرد و غبار مقدار ذرات  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  را در فضای باز و داخل ساختمان مورد بررسی قرار دارند و یک افزایش سه برابری این ذرات را در محیط داخلی و خارجی، مشاهده کردند، آنها همچنین به تاثیر سیستم تهویه بر کیفیت هوای داخلی ساختمان در طی وقایع گرد و غبار تاکید کردند. ذرات معلق خارجی می توانند از طریق سیستم تهویه، شکاف های پنجره و ترک های موجود در ساختمان به داخل ساختمان نفوذ کنند.

توجه داشته باشید که بیشتر کشورها MEA (استاندارد کیفیت هوای آمریکا) را دنبال می کنند و آن را صادق می دانند، در این مقاله نیز این استاندارد را برای ذرات  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  مد نظر قرار داده ایم.

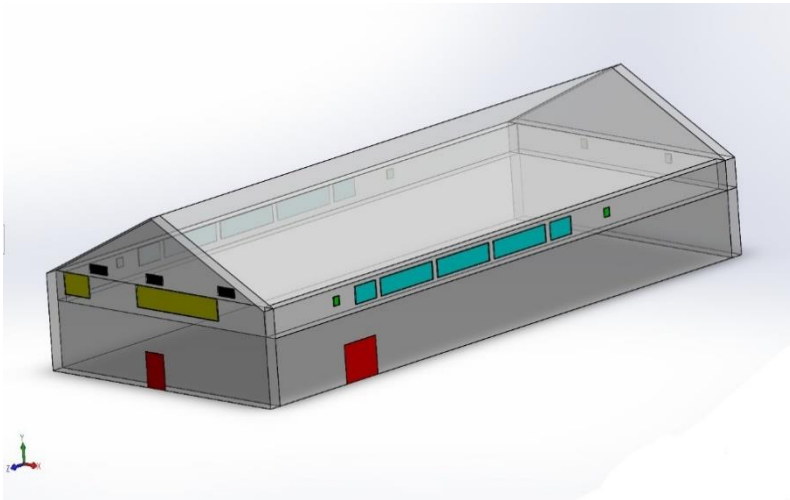
در مطالعه های فوق بررسی ها روی انسان هایی انجام شده که در شرایط عادی تنفسی (دم و بازدم) داشته اند و این تاثیرات مخرب را گزارش کرده اند، حال فرض کنید تعدادی از ورزشکاران در سالن ورزشی در حال فعالیت بدنی هستند و طبیعتاً با ضربان بالاتر و دم و بازدم های بیشتر و مشخصاً تاثیرات مخرب تری را می توان برای این افراد در شرایط ناسالم پیش بینی کرد. از این رو در این مطالعه قصد داریم یک سالن ورزشی را مدلسازی کنیم که تهویه این سالن در زمانی که غلظت ذرات  $PM$  در فضای بیرون شرایط ناسالم قرار دارد و در فضای داخلی غلظت  $PM$  در شرایط سالم می باشد، چگونه عمل می کند.

با توجه به این مسئله که عموماً سالن های موجود در کشور از نقشه و شرایط یکسانی از نظر ساختاری قرار دارند و از سیستم تهویه قدیمی برخوردار هستند، و از سیستم های فیلتراسیون هوا و تهویه مطبوع جدید در این سالن های ورزشی استفاده نمی شود. در این مطالعه مقصود آن است که بهترین شرایط در زمان وقوع این مسئله (شرایط ناسالم هوا) را برای ورزشکاران حاضر در سالن های ورزشی را مد نظر بگیریم.

## روشی تحقیق

در این مطالعه سالن خانه کاراته استان کرمانشاه را برای بررسی های مربوطه مدلسازی شده است. مدلسازی سالن مذکور توسط نرم افزار ANSYS\_CFX صورت گرفته است، البته طراحی اولیه سازه، سالن مورد نظر با نرم افزار SOLID WORKS انجام شد و سایر مراحل مدلسازی در نرم افزار ANSYS\_CFX انجام شده، این نرم افزار با توجه به قدرت تحلیل بالایی که دارد، در صنایع مختلفی که مربوط به رشته های مکانیک، شیمی، عمران و ... کاربرد بسیار دارد. مدلسازی صورت گرفته با توجه به ابعاد دقیق سالن کاراته انجام شده است.

این سالن دارای ابعاد ۴۸ متر طول و ۲۴ متر عرض می باشد، البته در شکل ۱ کاملاً ابعاد سالن مشخص است.



شکل ۱: سالن مدل‌سازی شده در نرم افزار SOLID WORKS، که ورودی نرم افزار ANSYS\_CFX می باشد. پنجره ها با رنگ های آبی و زرد مشخص شده اند، فن های تعبیه شده که ۶ عدد هستند با رنگ سبز مشخص شده اند، دو درب ورود که با رنگ قرمز مشخص شده اند، کانال های هواکش نیز با رنگ مشکی مشخص شده اند.

بررسی انجام شده بر روی سیستم تهویه موجود در این سالن، بدین صورت است که با توجه به این مسئله که در این مطالعه قصد داریم پیش بینی کنیم که در زمانی که مطابق با استاندارد MEA (استاندارد کیفیت هوای امریکا)، هوای داخل سالن در شرایط سالم قرار دارد و هوای فضای خارجی در شرایط ناسالم قرار دارد، در کدام یک از سه حالت بررسی شده که در ادامه

آنرا بیان می کنیم، سیستم تهویه عملکرد مطلوب تری دارد. البته ذکر این مطلب که در این مطالعه، شرایط واقعی در نظر گرفته شده و سیستم تهویه واقعی مدلسازی شده است، لازم

است چون، منظور از این مدلسازی این مسئله است که با شرایط موجود چه اقدامی در زمان این رویداد انجام شود که بهترین نتیجه حاصل شود. (توجه شود که در این مقاله سیستم تهویه جدیدی طراحی نکرده ایم و همان سیستم قدیمی را مورد ارزیابی قرار گرفته است، که یک مقاله کارآمد و کاربردی ارائه شود).

## ۱-۲ جامعه و نمونه آماری

### ۱-۲-۱ ابزار اندازه گیری و مدلسازی

با توجه به شرایط تعیین شده ای که در MEA (استاندارد کیفیت هوای آمریکا)، با شاخص AQI (شاخص کیفیت هوا و تراکم آئروسول) مشخص شده است، برای ذرات PM<sub>10</sub> ، اگر مقدار این ذرات بین ۰ تا ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب باشد، شرایط سالم تلقی می شود و اگر مقدار این ذرات بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب باشد، شرایط ناسالم بر هوا حاکم است که در جدول ۱ کاملاً مشخص شده است.

توصیف کننده کیفیت هوا	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	AQI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
شرایط سالم	۰_۵۰	۰/۰_۱۵/۴	۰_۵۰
شرایط متوسط	۵۵_۱۵۴	۱۵/۵_۴۰/۴	۵۱_۱۰۰
شرایط ناسالم برای گروه های حساس	۱۵۵_۲۵۴	۴۰/۵_۶۵/۴	۱۰۱_۱۵۰
شرایط ناسالم	۲۵۵_۳۵۲	۶۵/۵_۱۵/۴	۱۵۱_۲۰۰
شرایط خیلی ناسالم (مرز هشدار)	۳۵۵_۴۲۴	۱۵۰/۵_۲۵۰/۴	۲۰۱_۳۰۰

جدول ۱: شاخص کیفیت هوا و تراکم آئروسول (AQI).

مدلسازی در نرم افزار ANSYS\_CFX ، برای شرایط داخل سالن در یک روز عادی را در نظر گرفته ایم، که مقدار ذرات PM با توجه به شاخص AQI در حدود ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب ( $1e-6$ ) بود، و برای هوای فضای خارجی سالن که طبق فرض گفته شده آنرا در شرایط ناسالم در نظر گرفته بودیم، بنابراین شاخص (AQI) را در حدود ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب ( $4e-6$ ) را در نظر گرفتیم.

سالن مذکور دارای ۶ فن تعبیه شده در دیواره های خود می باشد، که در شکل ۳ مشخص شده است. با توجه به این که ما یک شرایط از پیش تعیین شده را مدلسازی کرده ایم، مدل فن ها و جریان هوایی که آنها از خود عبور می دهند، از قبل مشخص شده است این فن ها از مدل آکسیال سیلندری دمنده هستند، که مشخصات آنها در جدول ۲ تشریح شده است. البته پنجره های تعبیه شده در دیواره ها نیز بصورت کامل مدلسازی شده است، که در شکل ۱ کاملا قابل مشاهده است.

VCT_56Z4T	مدل فن	آکسیال سیلندری دمنده	نام فن
۵۶	قطر پروانه (cm)	۱۰۵۰۰	حجم هوا دهی (m <sup>3</sup> /h)
۸۶۰	توان (w)	۱۴۰۰	دور موتور (RPM)
۷۳	شدت صدا (dB)	۲/۳۰	جریان (A)
		۳۱/۰۰	وزن (kg)

جدول ۲: مشخصات فن های تعبیه شده.

## ۲-۱-۲ جریان و فشار باد

سرعت باد در فضای خارجی سالن مورد نظر را ۰/۱ متر بر مجزور ثانیه در نظر گرفتیم، که در نتایج ما تاثیر زیادی را برای آن در نظر نگیریم، چون مقصود از این مدلسازی پیدا کردن شرایط پهنه سیستم تهویه سالن (فن ها) می باشد.

## ۲-۱-۳ سناریوهای مورد بررسی قرار گرفته



حالاتی که برای مواجهه با این رویداد وجود دارد، از تنوع زیادی برخوردار نیستند، از این رو در این مطالعه سه سناریویی که عمومیت دارند را مدنظر قرار می دهیم.

البته این سه سناریو با توجه به مقاله [۱]، الگو برداری شده است. در حالت اولی که برای مدلسازی در نظر گرفته ایم می خواهیم، سیستم تهویه (فن های موجود)، را در حالت روشن قرار داده و پنجره های سالن را نیز در حالت باز قرار دهیم، که مخصوصا در فصل تابستان (فصول گرم)، مقابله با این رویداد به این شیوه انجام می شود، در حالت دوم در مدلسازی سیستم تهویه (فن های موجود)، را در حالت روشن قرار داده و پنجره های سالن را کاملا بسته در نظر گرفته ایم، این حالت اکثرا در فصل زمستان (فصل سرد) برای مقابله با این رویداد اتخاذ می شود، درحالت سوم این مدلسازی سیستم تهویه را در حالت خاموش قرار داده و پنجره های سالن را کاملا باز در نظر گرفته ایم، این حالت عمومیت چندانی در فصول سرد سال ندارد، اما در شرایطی که موقعیت های اضطراری حاکم باشد، مانند زمانی که برق سالن قطع باشد یا سیستم تهویه (فن های موجود)، دچار نقص فنی شده باشند، این حالت را می توان برای مقابله با این رویداد اتخاذ کرد.

## ۲-۱-۴ برنامه شبیه سازی استفاده شده

CFX یک ابزار نرم افزاری بسیار قدرتمند در پکیج نرم افزاری ANSYS است، که می تواند در محدوده وسیعی از کاربرد های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و مالتی فیزیک با کیفیت و سرعت بالا نتایج قابل اعتماد و دقیقی ارائه دهد. برای معرفی بیشتر قابلیت های این نرم افزار و دلیل انتخاب آن برای تحلیل مسئله ی مورد بررسی در این مطالعه می توان گفت که این ابزار می تواند برای انجام انواع شبیه سازی CFD از جمله تحلیل جریان سیالات تراکم

پذیر و تراکم ناپذیر، تحلیل انواع انتقال حرارت در سیالات و جامدات، تحلیل فرایندهای گذرا و پایا و... به نحو موثری مورد استفاده قرار گیرد.

اما آنچه CFX را از سایر ابزارهای CFD متمایز می کند، دقت، کارایی بالا و سرعت فوق العاده ای این نرم افزار در شبیه سازی CFD، توربوماشینها، شامل پمپ، فن، میکسر، پروانه، توربین و ... است، که در کنار ابزارهای پیشرفته تولید هندسه، شبکه بندی، پیش پردازش و پس پردازش ارائه شده، در پکیج ANSYS سطح بالاتری از کارایی را نسبت به سایر بازیگران در صنعت به نمایش می گذارد. دلیل اصلی که برای انجام این مطالعه از CFX استفاده کردیم، توانایی گرافیکی بالای این نرم افزار می باشد، که در شکل های موجود کاملا ملموس و قابل رویت است.

برای این مدل سازی ابتدا توسط نرم افزار SOLID WORKS ابعاد و ترسیم سه بعدی سالن مذکور را به دقت طراحی کردیم بدون این که مقیاس را کوچک یا بزرگ کنیم، و دقیقا ابعاد واقعی در نظر گرفته شده است، خروجی این نرم افزار با پسوند مشخص، به ورودی نرم افزار ANSYS\_CFX تبدیل شد (در فضای نرم افزار ANSYS\_CFX طراحی ابعاد و ترسیم انجام نشد).

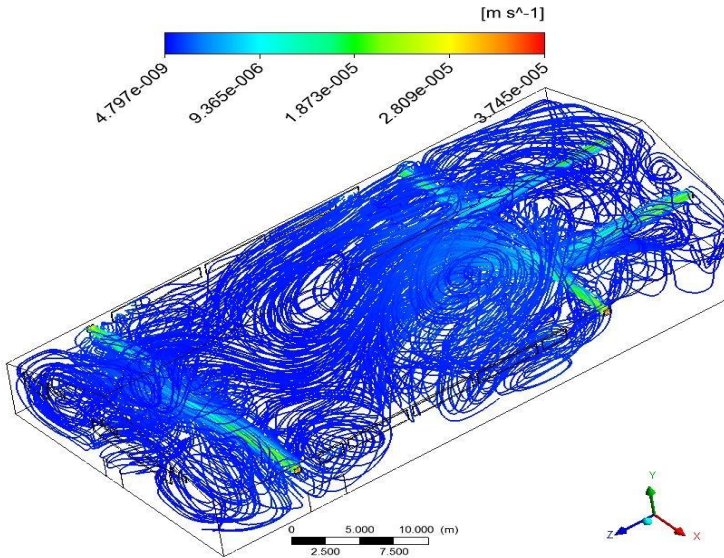
برای شبیه سازی CFD لازم است که سالن را شبکه بندی (مش بندی) کنیم، که هر شبکه نمایانگر یک سلول است که نرم افزار در آن معادلات مربوطه را حل می کند و نهایتا یک نتیجه را به ما ارائه می دهد. نهایتا در مرحله شبکه بندی (مش بندی)، سالن به ۱۳۴۲۳۰۹ (یک میلیون و سیصد و چهل و دو هزار و سیصد و نه)، سلول مجزا تبدیل شد.

گام بعد تعریف چگالی (جرم حجمی) ذرات PM می باشد، که با چگالی (جرم حجمی) آئروسول برابر در نظر گرفته شده است، که ۲۰۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب می باشد. در این مدلسازی با نرم افزار ANSYS\_CFX قصد داریم که بر اساس اختلاف چگالی، بدانیم که در چه موقعیتی ذرات معلق (PM) با غلظت های مشخص وجود دارند، و در چه موقعیتی سایر اجزای تشکیل دهنده هوا.

## بحث و نتیجه گیری

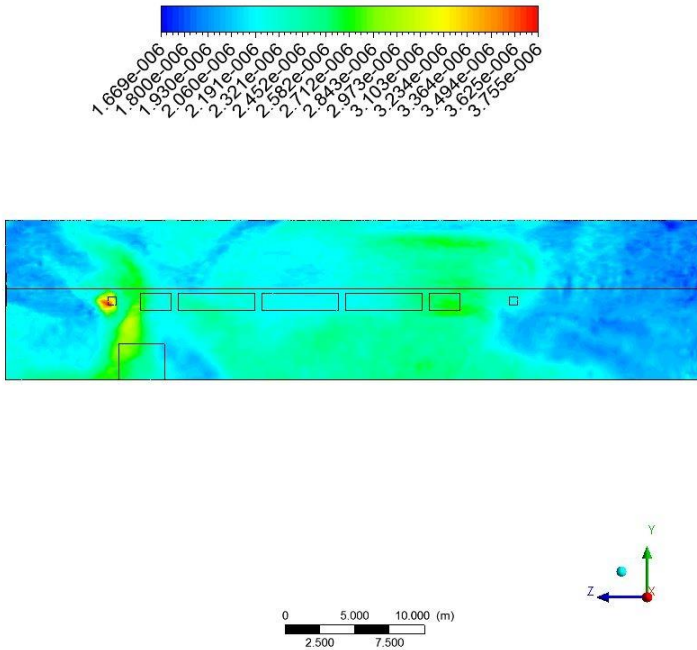
### ۱-۳ سناریوی اول

در سناریوی اول که در آن فن ها (سیستم تهویه)، در حالت روشن و پنجرها باز بودند، می توان در شکل ۲ به وضوح دید که نحوه ورود و توزیع هوای فضای بیرون (که ذرات PM آن در شرایط ناسالم قرار دارد)، به داخل سالن چگونه است.

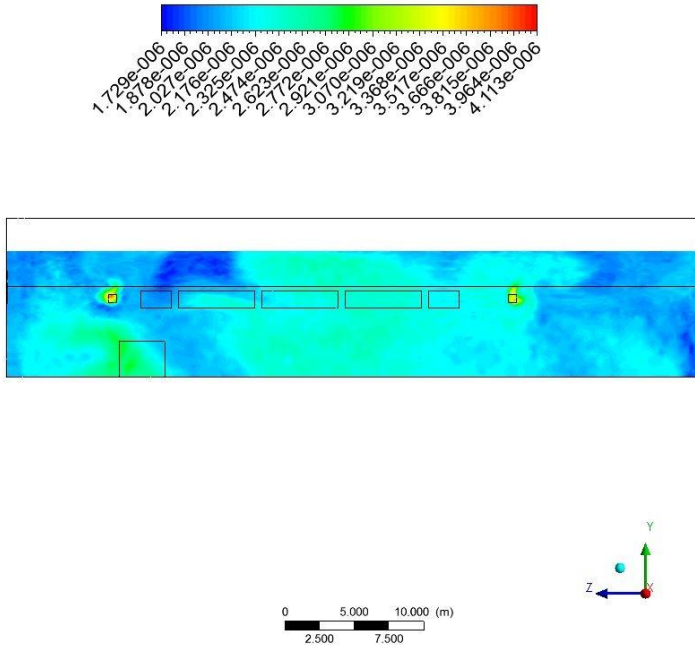


شکل ۲: نحوه ورود آلاینده در سناریوی اول.

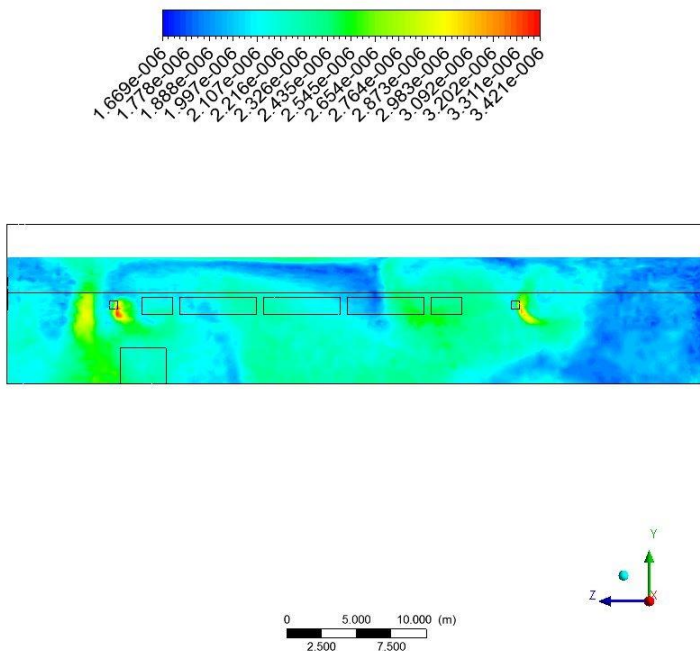
همچنین نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه مرکزی سالن و ۶+ و ۶- اطراف صفحه مرکزی را می توان در شکل ۳ بصورت کامل مشاهده کرد، و دید بهتری نسبت به موضوع مورد بررسی قرار گرفته، پیدا کرد، و در شکل ۳ قسمت ب و ج ، کاملا فرآیند نشست این ذرات بدلیل چگالی بالا مشهود است.



شکل ۳: قسمت (الف)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه مرکزی سالن (حالت اول).

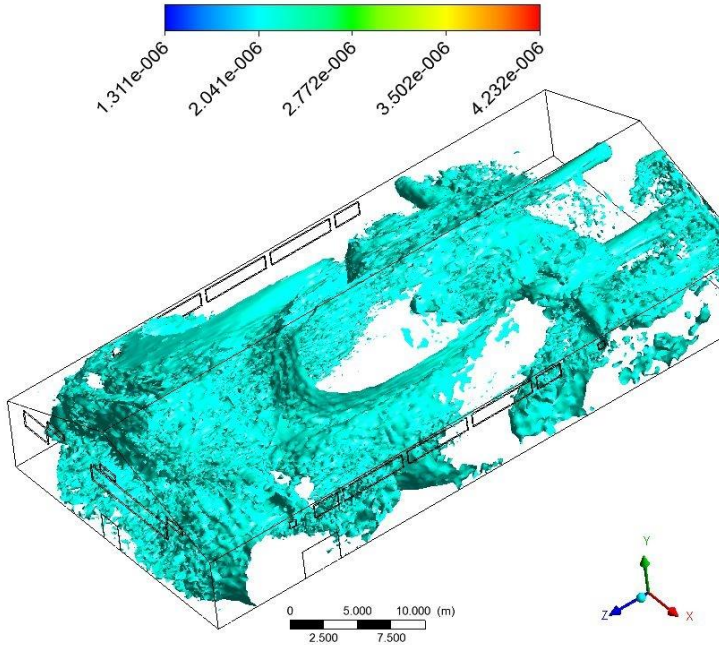


شکل ۳: قسمت (ب)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی ۶+ متری در مرکزی سالن (حالت اول).



شکل ۳: قسمت (ج)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی ۶- متری در مرکزی سالن (حالت اول).

در قسمت آخر این بخش هم فضاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(6-17285e-6)$  است، در آنها مشترک و برابر (غلظت مساوی از ذرات PM) است را در شکل ۴ (فضاهایی که در آن مقدار از ذرات PM موجود می باشد) را بصورت شماتیک می توان نظاره کرد.

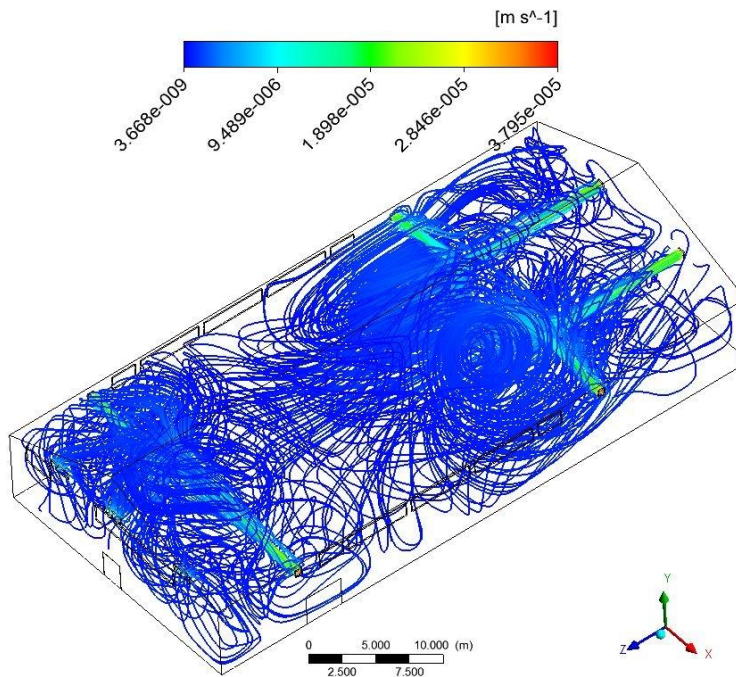


شکل ۴: فضاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(6-17280 \times 10^{-6})$  است (حالت اول).

### ۲-۳ سناریوی دوم

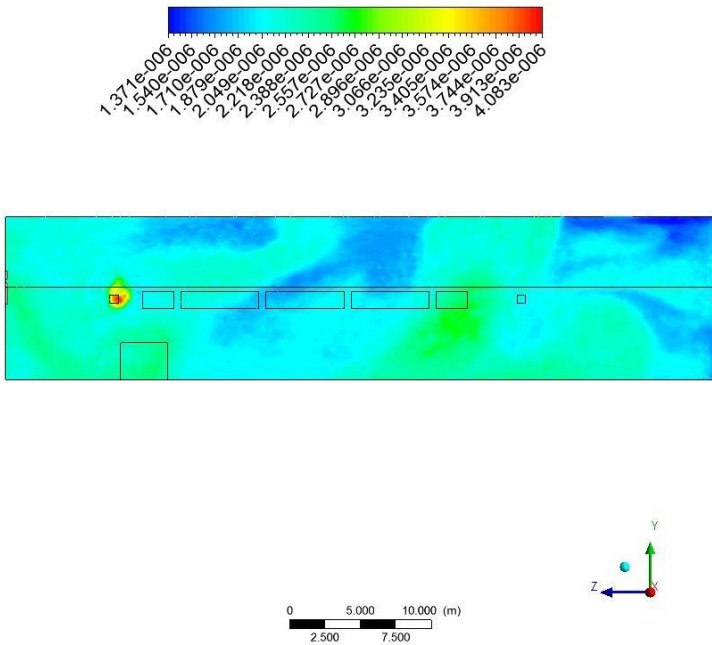
در سناریوی دوم که در آن فن ها (سیستم تهویه)، در حالت روشن و پنجره ها بسته بودند، می توان در شکل ۵ بصورت کامل نحوه ورود و توزیع هوای فضای بیرون سالن (که ذرات PM آن در شرایط ناسالم قرار دارد)، به داخل سالن را مشاهده کرد.



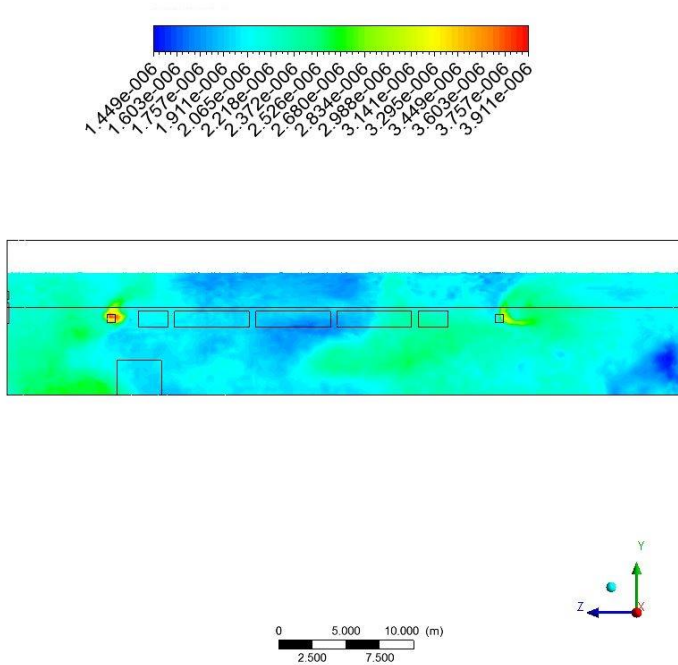


شکل ۵: نحوه ورود آلاینده در سناریوی دوم.

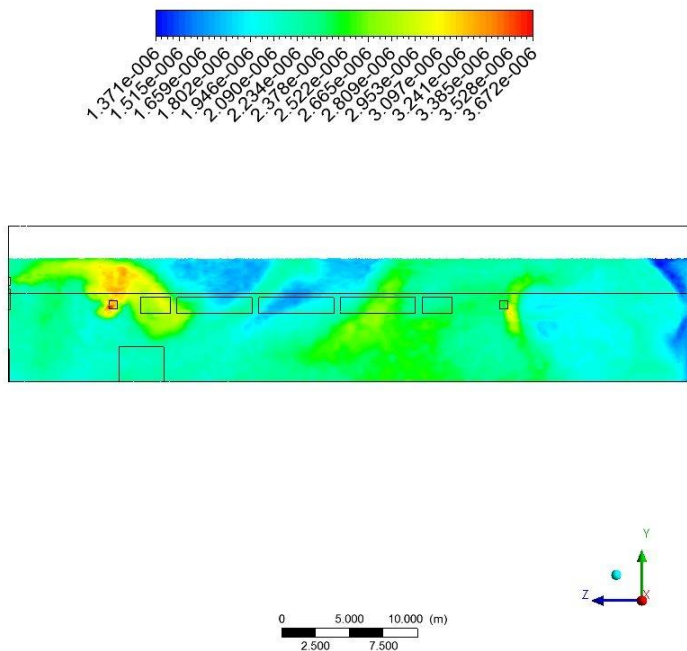
در این سناریو نیز می توان در شکل ۶ نحوه توزیع ذرات PM، روی صفحه مرکزی سالن و ۶+ و ۶-، اطراف صفحه مرکزی را مشاهده کرد، و دید بهتری نسبت به سناریوی مورد بررسی قرار گرفته، پیدا کرد. همانند سناریوی اول می توان برای سناریوی دوم نیز در شکل ۶ قسمت ب و ج، طریقه نشست این ذرات (PM) بدلیل چگالی بالا را کاملا رویت کرد.



شکل ۶: قسمت (الف)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه مرکزی سالن (حالت دوم).

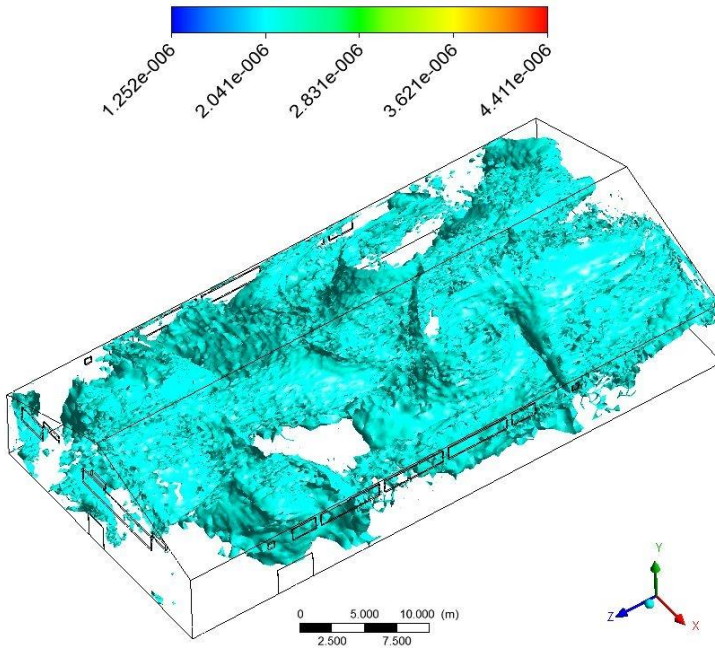


شکل ۶: قسمت (ب)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی ۶+ متری در مرکزی سالن (حالت دوم).



شکل ۶: قسمت (ج)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی ۶- متری در مرکزی سالن (حالت دوم).

نهایتاً در این قسمت فضاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(۶-۱۳۹۶۳ \times 10^{-6})$  است، در آنها برابر (غلظت مساوی از ذرات PM) است، را در شکل ۷ (فضاهایی که در آن این مقدار از ذرات PM موجود می باشد.) مشاهده و بررسی کرد.

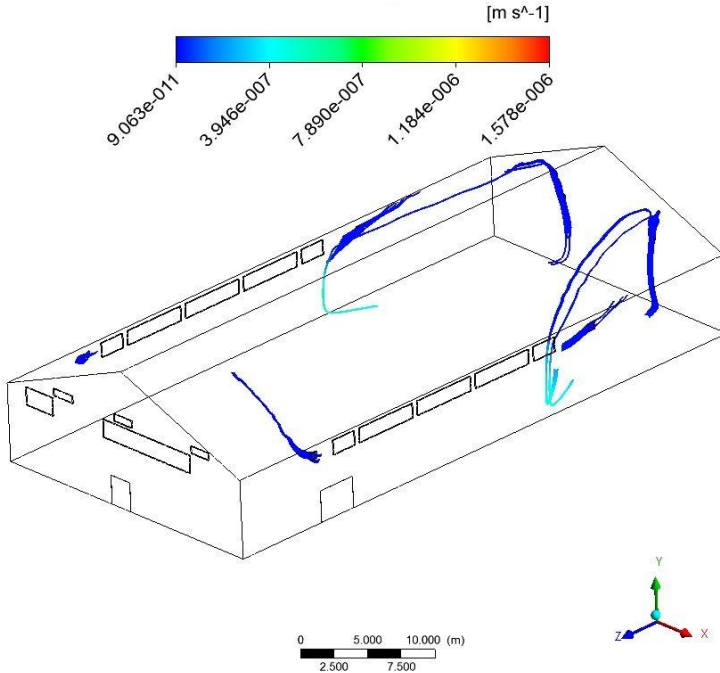


شکل ۷: فضاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(6-13963e-2)$  است (حالت دوم).

### ۳-۳ سناریوی سوم

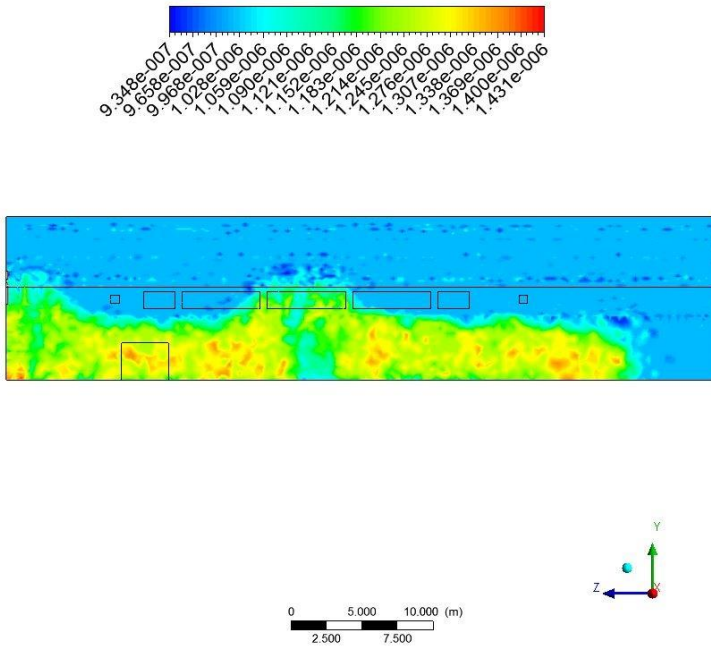
و اما در سناریوی سوم، در این سناریو هم مشابه دو سناریوی قبلی اطلاعات مشابهی ارائه خواهد شد، تا روند مقایسه سناریوها با مشکلی مواجه نشود.

در سناریوی سوم، فن ها (سیستم تهویه) خاموش و پنجره ها در حالت باز می باشند، نحوه ورود و توزیع هوای فضای بیرون سالن (که ذرات PM آن در شرایط ناسالم قرار دارد) در شکل ۸ قابل مشاهده است.

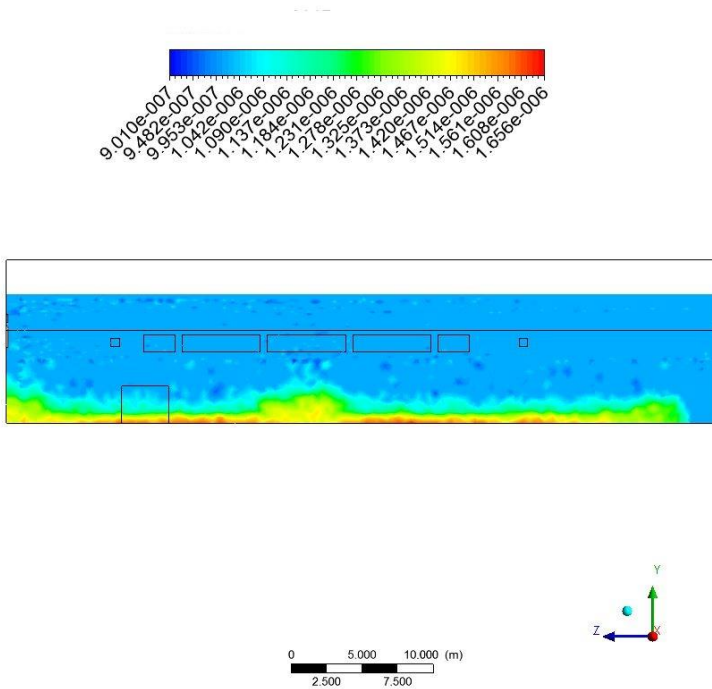


شکل ۸: نحوه ورود آلاینده در سناریوی سوم.

در سناریوی سوم هم، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی مرکزی سالن و +۶ و -۶، اطراف صفحه مرکزی را می توان بصورت کامل مشاهده کرد، و دید بهتری نسبت به حالت در نظر گرفته شده، پیدا کرد. همانند سناریو های قبلی در شکل ۹، قسمت ب و ج کاملاً فرآیند نشست این ذرات (PM) بدلیل اختلاف چگالی که با سایر اجزای تشکیل دهنده هوا را مشاهده کرد.

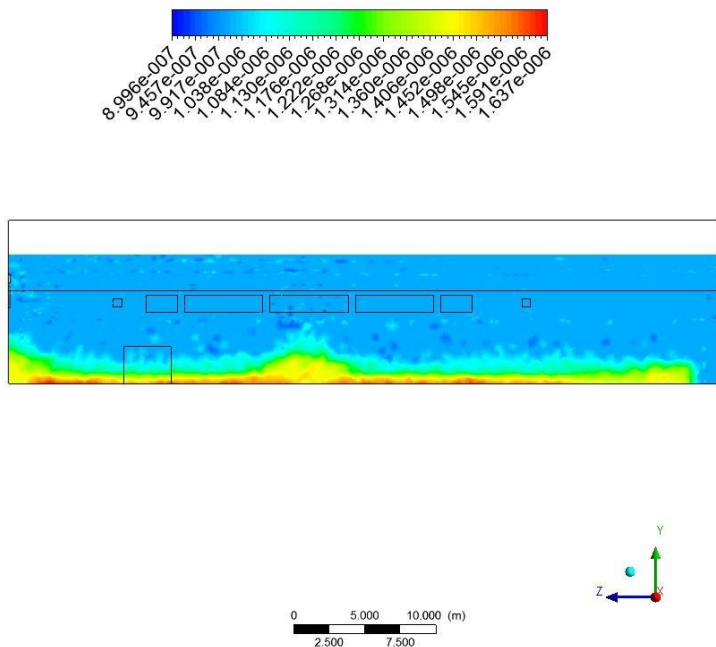


شکل ۹: قسمت (الف)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه مرکزی سالن (حالت سوم).



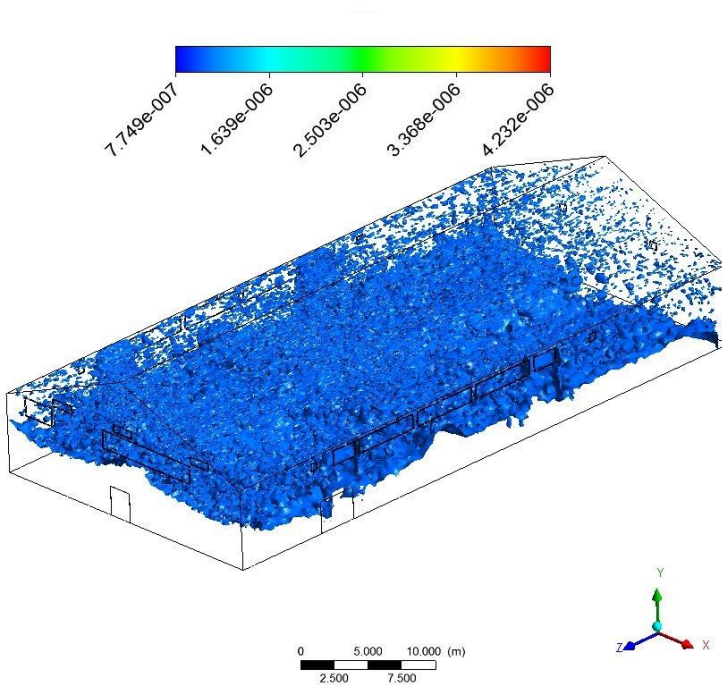
شکل ۹: قسمت (ب)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی +۶ متری در مرکزی سالن (حالت سوم).





شکل ۹: قسمت (ج)، نحوه توزیع ذرات PM روی صفحه ی ۶- متری در مرکزی سالن (حالت سوم).

و در آخرین قسمت این بخش، فضاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(6-10^{-6})$ ، (فضاهایی که در آن این مقدار از ذرات PM موجود نمی باشد). است در آنها مشترک و برابر است، در شکل ۱۰ (فضاهایی که در آن، این مقدار از ذرات PM موجود می باشد). نظاره کرد.



شکل ۱۰: فزاهایی که میانگین کسر حجمی توزیع ذرات PM که برابر  $(6-7 \times 10^{-7})$  است (حالت سوم).

## نتیجه گیری

پدیده هایی که در مقدمه این مقاله عنوان شد (ریزگردها، آلاینده های ماشینی و طوفان گرد و غبار)، عواملی بودند که در افزایش غلظت ذرات PM در هوای موجود تاثیر داشتند. بدون شک این ذرات (PM) بر روی سلامتی انسان تاثیرات منفی دارند، که شاید در کشور ما هنوز جدی گرفته نشده است و به آن نپرداخته اند.

در این مقاله هدف بررسی یکی از دغدغه های ورزشکاران و مربیان بصورت تخصصی و از منظر علمی بود، که در شرایطی که هوا از نظر غلظت ذرات PM، در شرایط ناسالم قرار دارد، آیا می

توان به گونه ای عمل کرد که کمترین آسیب متوجه ورزشکاران حاضر در سالن ورزشی شود؟ با توجه به این مسئله که آنها در حال فعالیت بدنی هستند، این ذرات (PM) تاثیرات به مراتب مخرب تری بر روی آنها دارد.

با توجه به سه سناریویی که مفصلاً راجب آنها صحبت شد، سناریوی اول بدترین حالت برای تهویه هوا بود، و بعد از آن سناریوی دوم نیز به نسبت سناریوی سوم شرایط بدتری را برای هوای داخل سالن ایجاد می کرد. البته باید توجه داشته باشیم که یک جریان حداقلی هوا باید برای ورزشکاران ایجاد شود، که بازده بدنی آنها کاهش نیابد. در اینجا بهترین حالتی که مشخص شد، سناریوی سوم بود که کمترین میزان انتقال آلاینده هوا از بیرون به داخل سالن را ایجاد می کرد، اما اگر بخواهیم به نکته فوق توجه کنیم (ایجاد جریان هوا برای بازده بهتر ورزشکاران)، باید گفت که سناریوی دوم را می توان بعنوان بهترین سناریو و حالت در نظر گرفت، که با شرایط موجود می توان آن را کاربردی و عملیاتی دانست.

در این مطالعه سعی شد، یک الگوی مناسب با توجه به شرایط نسبتاً یکسانی که در میان سالن های ورزشی وجود دارد، ارائه شود که در هنگام مواجهه با این پدیده بتوان به بهترین شیوه، با آن مقابله کرد.

## منابع و مأخذ

- [۱] A. S. Goudie, "Desert dust and human health disorders," *Environ. Int.*, vol. ۶۳, pp. ۱۰۱-۱۱۳, ۲۰۱۴.
- [۲] D. A. Gillette, J. Adams, D. Muhs, and R. Kihl, "Threshold friction velocities and rupture moduli for crusted desert soils for the input of soil particles into the air," *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. ۸۷, no. C۱۱, pp. ۹۰۰۳-۹۰۱۵, ۱۹۸۲.
- [۳] A. S. Goudie and N. J. Middleton, "Saharan dust storms: nature and consequences," *Earth-science Rev.*, vol. ۵۶, no. ۱-۴, pp. ۱۷۹-۲۰۴, ۲۰۰۱.
- [۴] L. J. Sutton, "Haboobs," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. ۵۱, no. ۲۱۳, pp. ۲۵-۳۰, ۱۹۲۵.
- [۵] D. A. Mambery, "A gravity-wave haboob?," *Weather*, vol. ۴۰, no. ۷, pp. ۲۱۴-۲۲۱, ۱۹۸۵.
- [۶] S. D. Miller *et al.*, "Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. ۱۱۳, no. D۱, ۲۰۰۸.
- [۷] A. H. Bu-Olayan and B. V Thomas, "Dispersion model on PM<sub>۲.۵</sub> fugitive dust and trace metals levels in Kuwait Governorates," *Environ. Monit. Assess.*, vol. ۱۸۴, no. ۳, pp. ۱۷۳۱-۱۷۳۷, ۲۰۱۲.
- [۸] C. A. Pope III, M. Ezzati, and D. W. Dockery, "Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States," *N. Engl. J. Med.*, vol. ۳۶۰, no. ۴, pp. ۳۷۶-۳۸۶, ۲۰۰۹.

- [۹] Y. ZhenHua, M. ZiQiang, and Z. QuanXi, "Association of inhalable particles in dust events with daily outpatient visits for tracheitis," *J. Environ. Occup. Med.*, vol. ۳۰, no. ۲, pp. ۸۸-۹۲, ۲۰۱۳.
- [۱۰] A. Vodonos *et al.*, "The impact of desert dust exposures on hospitalizations due to exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease," *Air Qual. Atmos. Heal.*, vol. ۷, no. ۴, pp. ۴۳۳-۴۳۹, ۲۰۱۴.
- [۱۱] A. Vodonos *et al.*, "Individual effect modifiers of dust exposure effect on cardiovascular morbidity," *PLoS One*, vol. ۱۰, no. ۹, ۲۰۱۵.
- [۱۲] N. Martinelli, O. Olivieri, and D. Girelli, "Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review," *Eur. J. Intern. Med.*, vol. ۲۴, no. ۴, pp. ۲۹۵-۳۰۲, ۲۰۱۳.
- [۱۳] K. Onishi, S. Otani, A. Yoshida, H. Mu, and Y. Kurozawa, "Adverse health effects of Asian dust particles and heavy metals in Japan," *Asia Pacific J. Public Heal.*, vol. ۲۷, no. ۲, pp. NP۱۷۱۹-NP۱۷۲۶, ۲۰۱۵.
- [۱۴] F. De Longueville, Y.-C. Hountondji, S. Henry, and P. Ozer, "What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions?," *Sci. Total Environ.*, vol. ۴۰۹, no. ۱, pp. ۱-۸, ۲۰۱۰.
- [۱۵] A. N. Al-Dabbous and P. Kumar, "Source apportionment of airborne nanoparticles in a Middle Eastern city using positive matrix factorization," *Environ. Sci. Process. Impacts*, vol. ۱۷, no. ۴, pp. ۸۰۲-۸۱۲, ۲۰۱۵.

- [۱۶] V. Tsiouri, K. E. Kakosimos, and P. Kumar, "Concentrations, sources and exposure risks associated with particulate matter in the Middle East Area—a review," *Air Qual. Atmos. Heal.*, vol. ۸, no. ۱, pp. ۶۷–۸۰, ۲۰۱۵.
- [۱۷] Z. Song, J. Wang, and S. Wang, "Quantitative classification of northeast Asian dust events," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. ۱۱۲, no. D۴, ۲۰۰۷.
- [۱۸] S.-J. Chen, L.-T. Hsieh, M.-J. Kao, W.-Y. Lin, K.-L. Huang, and C.-C. Lin, "Characteristics of particles sampled in southern Taiwan during the Asian dust storm periods in ۲۰۰۰ and ۲۰۰۱," *Atmos. Environ.*, vol. ۳۸, no. ۳۵, pp. ۵۹۲۵–۵۹۳۴, ۲۰۰۴.
- [۱۹] K. T. Kanatani, M. Okumura, S. Tohno, Y. Adachi, K. Sato, and T. Nakayama, "Indoor particle counts during Asian dust events under everyday conditions at an apartment in Japan," *Environ. Health Prev. Med.*, vol. ۱۹, no. ۱, pp. ۸۱–۸۸, ۲۰۱۴.
- [۲۰] C. D. Argyropoulos, A. M. Ashraf, N. C. Markatos, and K. E. Kakosimos, "Mathematical modelling and computer simulation of toxic gas building infiltration," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. ۱۱۱, pp. ۶۸۷–۷۰۰, ۲۰۱۷.