

## بررسی تجربی و عددی رفتار یک سامانه سایه‌انداز دینامیکی فعال حامل سیال در گلخانه

عبدالرضا مهین غفاری نیا<sup>۱</sup>، محمدحسین عباسپور فرد<sup>۲\*</sup>، عادل رضوانی‌وند فنائی<sup>۳</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد (mehinghaffarinia.abdolreza@mail.um.ac.ir)

۲. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد (abaspour@um.ac.ir)

۳. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه (a.rezvanivand@urmia.ac.ir)

### چکیده

گلخانه به فضای محدودی اطلاق می‌گردد که قابلیت کنترل شرایط محیطی مناسب را برای رشد گیاهان در فصول مختلف سال داشته باشد. انواع پوشش مرسوم در گلخانه‌ها شیشه، پلاستیک و پلی کربنات است. از جمله مزیت‌های پوشش پلی کربنات به‌جای شیشه هزینه کمتر و نیز وزن سبک‌تر آن است. همچنین مقاومت بالای آن نسبت به پلاستیک باعث تقاضای روزافزون آن به‌عنوان پوشش در صنعت گلخانه گردیده است. یکی از روش‌های مرسوم برای کنترل تابش خورشید در گلخانه‌ها، سایه‌اندازی است. استفاده از یک سایه‌انداز مناسب در گلخانه‌های کشور با توجه به اینکه ایران در اقلیم سرزمینی گرم و خشک قرار دارد ضروری است. در این مطالعه، عملکرد یک سامانه سایه‌انداز حاوی سیال پوشش گلخانه مورد بررسی قرار گرفته است. در این سامانه سیالی مثل آب از میان داکت‌های صفحات پلی کربنات عبور داده می‌شود و متناسب با سیال موجود در بین صفحات پلی کربنات بخشی از تشعش خورشیدی جذب و یا منعکس می‌گردد. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده در شبیه‌سازی این طرح در مرحله اول نتایج به‌دست آمده از مدل با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. مطالعه پارامترهای هیدرولیکی شامل فشار و سرعت سیال داخل مجرای صفحات می‌تواند برای طراحی مناسب سایه‌انداز در گلخانه‌ها بسیار سودمند باشد. از روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و مدل آشفتۀ k-ε استاندارد برای شبیه‌سازی جریان آشفتۀ در داخل داکت‌های پلی کربنات استفاده شد. با اعتبارسنجی بین داده‌های تجربی و عددی، اختلاف زیر ۵ درصد بین افت فشار داده‌های تجربی و عددی به دست آمد. مقدار افت فشار برای دبی در نظر گرفته شده سامانه ۳۷۵۰ پاسکال، همچنین مقدار سرعت بیشینه ۰/۹۶ متر بر ثانیه برای داخل مجرا به دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که مدل عددی مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند رفتار سامانه سایه‌انداز مورد نظر را شبیه‌سازی نماید. بنابراین برای جلوگیری از هزینه‌های ناشی از ساخت آزمون و خطایی این سامانه برای گلخانه‌های تجاری بزرگ می‌توان از این مدل عددی برای مطالعات بیشتر به‌منظور بسط و توسعه سامانه سایه‌انداز استفاده نمود.

کلمات کلیدی: گلخانه؛ سایه‌انداز؛ دینامیک سیالات محاسباتی؛ انسیس فلونت؛ افت فشار

\*نویسنده مسئول: abaspour@um.ac.ir



## بررسی تجربی و عددی رفتار یک سامانه سایه‌انداز دینامیکی فعال حامل سیال در گلخانه

## مقدمه

در ایران کشت محصولات کشاورزی در گلخانه از تاریخچه طولانی برخوردار نیست و تقریباً از حدود نیم قرن گذشته در ایران آغاز شده است. با این حال کشت گلخانه در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است. فناوری گلخانه می‌تواند راه‌حلی برای برخی مشکلات جهانی از جمله کمبود انرژی، آب و آلودگی محیط‌زیست باشد. ایجاد ارزش بالا برای محصولات کشاورزی با استفاده از ورودی آب کم و بازده کود بالا یکی از روش‌های مورد استفاده در رفع مشکلات زیست‌محیطی و منابع طبیعی است. گلخانه فضای کمتری برای تولید محصول یکسان نسبت به محیط روباز نیاز دارد در نتیجه افزایش بهره‌وری را به دنبال خواهد داشت. آمار موجود در دفتر امور گلخانه‌ها، گیاهان دارویی و معاونت امور باغبانی وزارت جهاد کشاورزی نشانگر این است که سطح زیر کشت گلخانه‌ها در کشور تا پایان سال ۹۷ حدود ۱۶۰۰۰ هکتار بوده است. در کشورهای در حال توسعه مصرف انرژی در نتیجه رشد اقتصادی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. بخش کشاورزی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در ایران است. در میان بخش‌های مختلف کشاورزی بیشترین مصرف انرژی در واحد سطح به صنعت گلخانه که در حال توسعه است اختصاص دارد [۱].

انواع پوشش مرسوم در گلخانه‌ها شیشه، پلاستیک و پلی‌کربنات است. تا قبل از سال ۱۹۵۰ فقط گلخانه‌های شیشه‌ای وجود داشتند که از پرهزینه‌ترین نوع گلخانه‌های صنعتی محسوب می‌شوند. نیاز به اسکلت محکم و نیز استفاده از پوشش شیشه در این گلخانه‌ها باعث افزایش قیمت این نوع گلخانه‌ها در مقایسه با پلاستیکی و پلی‌کربنات گردیده است. از مزیت‌های این نوع گلخانه‌ها به قابلیت بالای عبور نور و حرارت آفتاب می‌توان اشاره کرد که در مناطق سردسیر و کم‌نور دارای کارایی بالایی می‌باشند. همچنین گلخانه‌های شیشه‌ای نسبت به انواع دیگر گلخانه‌ها دارای طول عمر بیشتری هستند که البته به همان نسبت هزینه‌های نگهداری آن نیز نسبت به دیگر انواع گلخانه‌ها بالاتر است.

پوشش‌های پلاستیکی می‌تواند از جنس پلی‌استر، پلی‌وینیل کلراید (P.V.C) پلی‌وینیل فلوراید (P.V.F) باشد. از مزایای این پوشش‌ها عدم نیاز به اسکلت‌های سنگین و کاهش هزینه گرم کردن تا حدود ۴۰ درصد نسبت به گلخانه‌های شیشه‌ای یک‌لایه است. امروزه گلخانه‌های پلاستیکی درصد بالایی از گلخانه‌های دنیا را به خود اختصاص می‌دهند. عیب پوشش‌های پلاستیکی دوام کم آن‌هاست چراکه اشعه ماورای بنفش خورشید باعث شکنندگی و تیرگی پلاستیک می‌شود. از جمله مزیت‌های پوشش پلی‌کربنات به جای شیشه هزینه کمتر و نیز وزن سبک‌تر آن است. همچنین مقاومت بالای آن نسبت به پلاستیک باعث تقاضای روزافزون آن به عنوان پوشش در صنعت گلخانه گردیده است. پوشش پلی‌کربنات اغلب جهت پوشش قسمت‌های جلو، عقب و نیم‌دایره‌های مربوطه و یا کناره‌ها و سقف گلخانه در صورت تقاضای گلخانه‌دار در نظر گرفته می‌شود. ورق‌های پلی‌کربنات جایگزین مناسبی برای شیشه بوده و باعث صرفه‌جویی در انرژی می‌شوند [۲].

مهم‌ترین عوامل که باید در طول فصل گرم مورد توجه قرار گیرند، سطح بالای تابش خورشیدی، کمبود رطوبت و کاهش فشار بخار است. چون تأثیر آن‌ها بر افزایش استرس گیاه و کاهش بهره‌وری محصول و کیفیت میوه قابل توجه است. سایه‌اندازی یکی از روش‌های کنترل این شرایط در گلخانه‌ها است [۳]. علاوه بر کنترل تابش در طول تابستان از این روش برای عایق در طول زمستان استفاده کرد. استفاده از شبکه‌های پلاستیکی به عنوان مواد سایه‌انداز به دلیل مزایای زیست‌محیطی و مزایای اقتصادی ارائه شده توسط این نوع مواد، گسترش یافته است [۴].

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به مهندسان و دانشمندان اجازه می‌دهد تا با استفاده از رایانه‌ها، تخمین قابل قبولی از حل معادلات حاکم بر سیالات به دست آورند. اساس کار دینامیک سیالات محاسباتی، تبدیل معادلات حاکم بر سیالات به روابط جبری است [۵].

روش CFD می‌تواند در حل معادلات مربوط به میدان‌های فشار، دما و سرعت در زمینه‌های کشاورزی، مکانیک، شیمی و غیره مورد استفاده قرار گیرد. این روش می‌تواند برای مدل‌سازی جریان سیال، انتقال جرم، انتقال حرارت و مومنتوم و طراحی بهینه در بخش کشاورزی استفاده گردد [۶].

کاربرد روش CFD در صنعت و کشاورزی روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. قابلیت‌های CFD، شامل تطبیق‌پذیری، دقت و همچنین کاربرد آسان آن، توجه محققان علوم مهندسی و کشاورزی را به استفاده از آن جلب کرده است. به همین خاطر امروزه روش CFD برای حل مسائل مربوط به عوامل محیطی گلخانه‌ها و دستگاه‌های پرورش طیور، صنایع فرآوری محصولات کشاورزی مانند کارخانه‌های تولید قند و تأسیسات کشاورزی مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرد [۷ و ۸]. به‌عنوان مثال، در زمینه استفاده از این تکنیک در کشاورزی یک مطالعه CFD در مورد اثرات قطر ذرات خوراک بر روی افت فشار در داخل یک سیکلون جداکننده انجام شده است [۹]. همچنین مطالعه عددی حرکت گندم در داخل سیکلون جداکننده استرماند مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، ۶ سطح سرعت ورودی سیکلون از نظر پارامترهای فشار استاتیک، فشار کل، سرعت محوری، سرعت مماسی، شدت آشفتگی و سایش مقایسه شدند [۱۰]. مطالعه آیرودینامیکی پروانه محوری موتور تراکتور با استفاده از مدل نویز پهن باند بر روی پروانه‌ی موتور تراکتور ITM399 شرکت تراکتورسازی ایران صورت پذیرفته است. از این مطالعه نتیجه گرفته شد که مدل نویز پهن باند پیش‌بینی مناسبی از شرایط عملکردی سروصدای پروانه را دارا می‌باشد و می‌تواند منابع ایجاد سروصدا را به‌خوبی شناسایی نماید [۱۱].

با توجه به موارد گفته‌شده، استفاده از یک سایه‌انداز مناسب در گلخانه‌های کشور با توجه به اینکه ایران در اقلیم سرزمینی گرم و خشک قرار دارد، ضروری است. در یک پروژه تحقیقاتی آقای محمدی مقرب بر روی یک سایه‌انداز دینامیکی فعال که از یک پوشش دوجداره حاوی سیال تشکیل شده و مایع توسط یک پمپ درون محفظه دوجداره پمپاژ شده و برگشته داده می‌شود که در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شد (شکل ۱) و آزمایش‌های تجربی بر روی آن به عمل آمد. با توجه به این که این پژوهش بر روی یک نمونه کوچک آزمایشگاهی در دست بررسی بود و امکان بسط آن به یک گلخانه کامل به علت محدودیت‌ها وجود نداشت به کمک روش CFD رفتار این سایه‌انداز را مورد بررسی قرار دادیم.

## معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان‌های مختلف در دینامیک سیالات محاسباتی قوانین بقای جرم، مومنتوم و انرژی را شامل است. به‌صورت کلی سه قانون ذکر شده یک دستگاه معادلات جفت شده غیرخطی PDE می‌باشند که دارای حل تحلیلی نمی‌باشند. این قوانین برای جریان داخلی حل می‌گردد. با توجه به شرایط مسئله، قوانین بقای جرم و مومنتوم در حالت کلی به‌صورت روابط (۲) و (۳) مطرح می‌شوند [۱۲]:

$$\frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \bar{g} \quad (2)$$

$p$  فشار استاتیک،  $\rho \bar{g}$  نیروی حجمی جاذبه و  $\bar{\tau}$  تانسور تنش است که توسط رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$\bar{\tau} = \mu_{effective} \left[ (\nabla \bar{v}) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{v} I \right] \quad (3)$$

$$\mu_{effective} = \mu + \mu_t \quad (4)$$

که  $\mu_{effective}$  و  $\mu_t$  به ترتیب ویسکوزیته‌های مؤثر و آشفته هستند. در حل عددی به روش CFD در نرم‌افزار انسیس فلوئنت، دامنه، به صورت حجم محدود در یک مجموعه گسسته‌سازی می‌شود. منطقه پس از گسسته‌سازی مش نامیده می‌شود. قانون‌های بقای جرم و مومنتوم در معادلات جبری وارد می‌شوند و در انتها، تمامی معادلات برای حوزه جریان حل می‌گردند.

### تنظیمات حلگر

حلگر در نرم‌افزار انسیس فلوئنت توسط مقدار عدد ماخ تعیین می‌شود. عدد ماخ به صورت سرعت یک جسم در یک سیال به سرعت صوت در همان سیال تعریف می‌گردد. اگر عدد ماخ کمتر از ۰/۳ باشد به معنی تراکم‌ناپذیر بودن جریان و در صورت اینکه بیشتر از ۰/۳ باشد به معنی تراکم‌پذیر بودن جریان است. در شبیه‌سازی با نرم‌افزار فلوئنت برای محیط‌های تراکم‌ناپذیر از حلگر بر مبنای فشار و برای محیط‌های تراکم‌پذیر از حلگر بر مبنای چگالی استفاده می‌گردد. در این مطالعه، با توجه عدد ماخ پایین جریان که مقدار آن ۰/۰۰۰۵۵ است از حلگر بر مبنای فشار استفاده می‌شود.

### مدل‌سازی جریان آشفته

انتخاب مدل آشفته مناسب از جمله مهم‌ترین مراحل یک شبیه‌سازی صحیح که تأثیر زیادی بر نتایج حل می‌گذارد. مدل‌های آشفته بسیاری در نرم‌افزار انسیس فلوئنت موجودند که بسته به نوع مسئله و شرایط کلی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه حاضر با توجه بررسی مدل‌های مختلف، مدل آشفته k-ε استاندارد استفاده شده است. دو معادله‌ی حاکم اساسی این مدل به صورت رابطه‌های (۵) و (۶) بیان می‌شود.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + S_\varepsilon \quad (6)$$

عبارت‌های  $S_k$  و  $S_\varepsilon$  عبارت‌های منبع مربوط به انرژی جنبشی آشفتگی (k) و نرخ تلفات ( $\varepsilon$ ) می‌باشند. در ادامه مشخصات سیال مورد استفاده به عنوان سیال کارکردی در داخل سیستم سایه‌انداز در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات سیال استفاده شده در این طرح

مقدار	مشخصه
۹۹۸/۲ kg/m <sup>3</sup>	چگالی
۰/۰۰۱ Pas.s	ویسکوزیته دینامیکی
۴۱۸۲ j/kg.k	ظرفیت گرمایی ویژه
۰/۶ w/m.k	رسانش گرمایی

سیستم استفاده شده در این مطالعه شامل یک گلخانه با ابعاد طول ۴ متر، عرض ۳ متر و ارتفاع ۲/۳ متر می‌باشد که به وسیله صفحات پلی-کربنات با ابعاد ۵/۲ میلی‌متر پوشانده شده است. سقف این گلخانه به شکل ۷ بوده و مطابق با شکل ۱ از ۴ صفحه ۲ متر در ۱/۸۵ متر جدا از هم تشکیل شده است. از یک پمپ هیدرولیکی با توان ۰/۳۷ کیلووات و دبی ۳۵ لیتر بر دقیقه برای به جریان انداختن سیال در مدار بهره گرفته شده است. همچنین از یک شیر برگشتی به مخزن برای کنترل دبی جریان و یک شیر در مسیر رفت استفاده شده است. همچنین برای اندازه‌گیری فشار در ورودی و خروجی صفحه‌های پلی‌کربنات حاوی سیال از دو مانومتر ساده که خروجی آن‌ها در کنار هم قرار گرفتند بهره برده شده است.



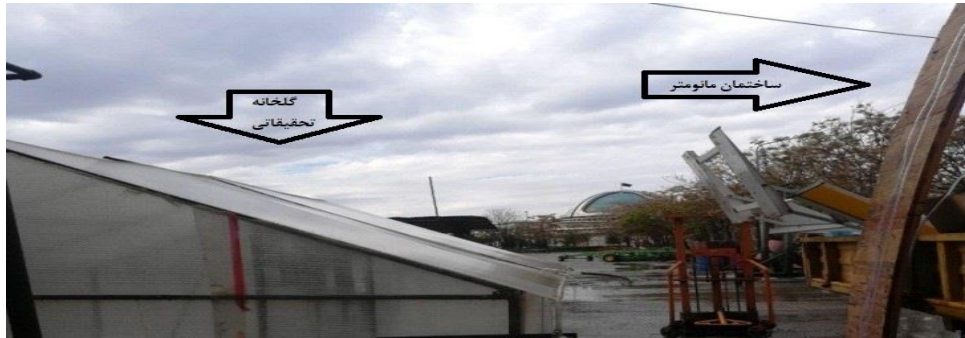
شکل ۱- سازه گلخانه تحقیقاتی ساخته شده در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد

جدول ۱- مشخصات محفظه ته‌نشینی

بخش	اندازه (میلی‌متر)
سطح مقطع داکت	۵۲
طول سامانه سایه‌انداز (یک صفحه پلی‌کربنات)	۱۸۵۲
ارتفاع سامانه سایه‌انداز (یک صفحه پلی‌کربنات)	۲۰۰۰

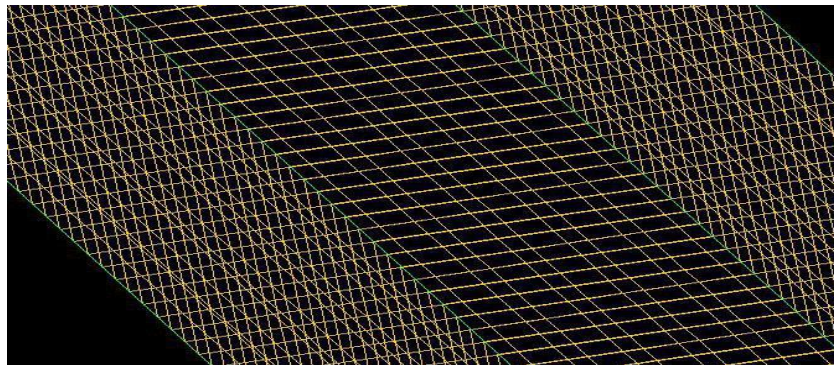
با توجه به اندازه داکت‌های صفحه پلی‌کربنات اندازه‌گیری افت فشار نیازمند ابزار با دقت بالایی است، از این رو باید از روش‌هایی مانند ساخت ابزارهای اندازه‌گیری اختلافی با استفاده از جیوه یا روغن استفاده کرد. اما محدودیت‌های موجود و عدم دقت کافی در فشارسنج‌های تجاری یا مشخص نبودن محدوده اندازه‌گیری دقیق در فشارسنج اختلافی حاوی روغن همراه است (از جیوه به علت سمی بودن استفاده نشد). برای این طرح از دو مانومتر که نمای آن‌ها در شکل ۲ آورده شده است استفاده گردید. ساختمان مانومترها از ده متر شلنگ تراز با قطر ۶ میلی‌متر که یکی در ورودی و دیگری در خروجی وصل شده و سیال وارد مدار مجرای مانومتر شده و بعد از ثابت شدن اندازه آن‌ها بر روی تخته شاسی اقدام به اندازه‌گیری شد (شکل ۲).





شکل ۲- ساختمان مانومتر استفاده شده برای اندازه‌گیری داده‌های تجربی در این طرح

برای طراحی و تحلیل این سامانه از نرم‌افزارهای گمیت و انسیس فلونت استفاده شد. نرم‌افزار گمیت برای تولید هندسه، مش‌بندی و اعمال شرایط مرزی مورد استفاده قرار گرفت. **Error! Reference source not found.** مش‌بندی صفحه سایه‌انداز را نشان می‌دهد.



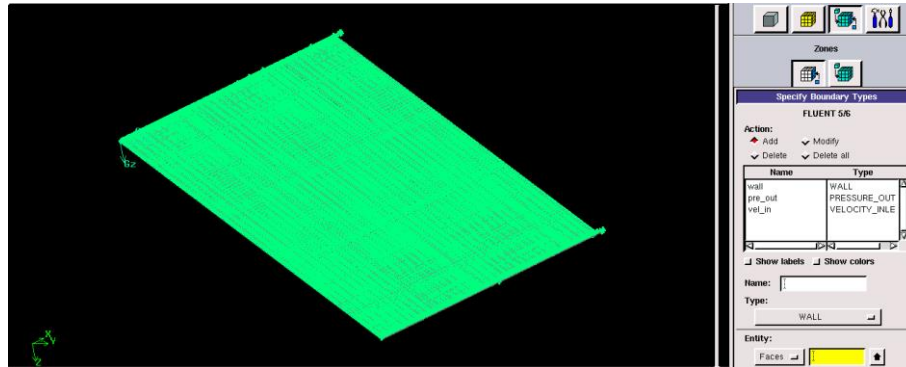
شکل ۳- مش‌بندی یک صفحه پلی‌کربنات استفاده شده در سایه‌انداز

### شرایط مرزی

تعیین صحیح شرط مرزی از اهمیت بالایی برای حل صحیح مسئله و استخراج میدان‌های حل برخوردار است. در مطالعه حاضر، از شرط مرزی سرعت ورودی در بخش ورودی جریان و شرط مرزی فشار خروجی در خروج سیال استفاده گردید. همچنین سایر سطوح سامانه به صورت دیواره تعریف شدند. نوع و مقدار شرایط مرزی مورد استفاده در جدول ۲ و در شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- شرایط مرزی

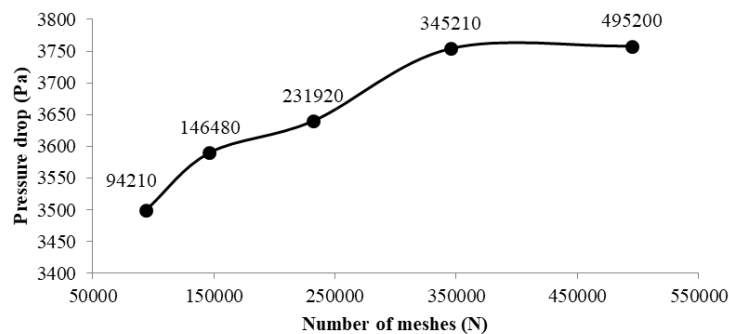
مقدار یا حالت	نوع شرط مرزی
$0.76 \text{ m.s}^{-1}$	سرعت ورودی
فشار اتمسفر	فشار خروجی
شرایط بدون لغزش	دیواره



شکل ۴- تعریف شرایط مرزی در نرم افزار گمبیت برای یک صفحه پلی-کربنات

### تحلیل نتایج

برای تست استقلال از شبکه در شبیه‌سازی سامانه سایه‌انداز، پنج سطح اندازه مش بررسی شد. تعداد سلول‌ها در پنج سطح شامل ۹۴۲۱۰، ۱۴۶۴۸۰، ۲۳۱۹۲۰، ۳۴۵۲۱۰ و ۴۹۵۲۰۰ عدد مش بودند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تفاوت بین افت فشار بین ورودی و خروجی سایه‌انداز بعد از مش با تعداد ۳۴۵۲۱۰ مش بندی تقریباً ثابت می‌ماند و در مقایسه دو سطح مش ۳۴۵۲۱۰ و ۴۹۵۲۰۰ نیز کمتر از ۱٪ بود. بنابراین، به خاطر ملاحظات زمانی در حل، سطح ۳۴۵۲۱۰ عدد مش به عنوان مش پایه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵).



شکل ۵- تست استقلال از شبکه

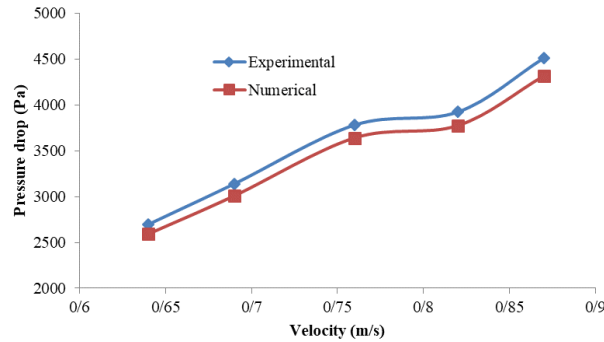
### اعتبار سنجی

هر شبیه‌سازی که با CFD انجام می‌گردد، برای قابل اعتماد بودن بایستی اعتبارسنجی شود. برای این منظور از داده‌های مربوط به افت فشار در ابتدا و انتهای صفحه پلی کربنات که به صورت تجربی اندازه گرفته شد، استفاده گردید. از شکل ۶ قابل مشاهده است که مقادیر افت فشار از تطابق خوبی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی برخوردار بود.

جدول ۴- اعتبارسنجی افت فشار برای سرعت‌های مختلف

خطا (%)	نتیجه شبیه سازی (Pa)	نتیجه تجربی (Pa)	سرعت ( $m.s^{-1}$ )
۳/۸۹	۲۵۹۱	۲۶۹۶	۰/۶۴
۴/۱۴	۳۰۰۸	۳۱۳۸	۰/۶۹
۳/۷۰	۳۶۴۰	۳۷۸۰	۰/۷۶

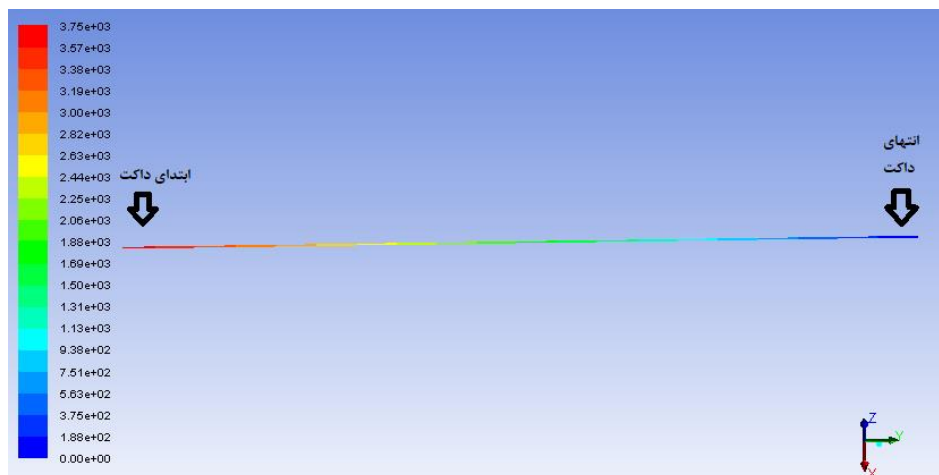
۳/۷۷	۳۷۷۴	۳۹۲۲	۰/۸۲
۴/۳۰	۴۳۱۶	۴۵۱۰	۰/۸۷



شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای نقطه به نقطه برای اعتبارسنجی بین مدل و داده‌های تجربی

### فشار استاتیکی

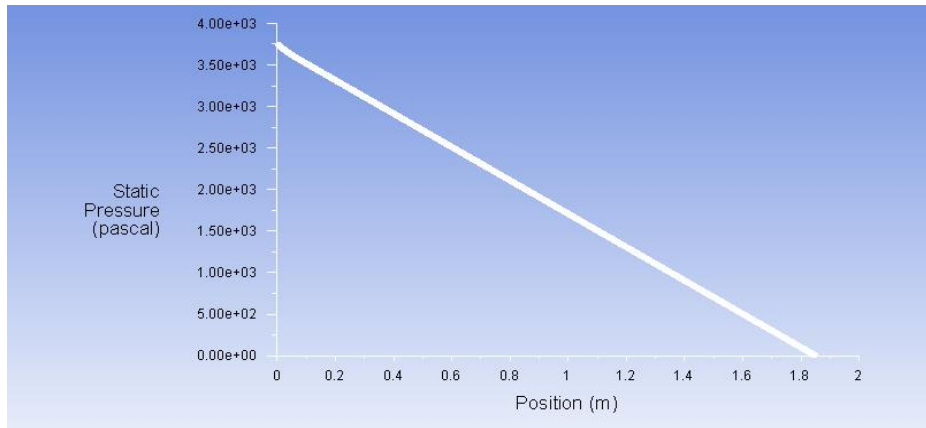
فشار استاتیکی عامل مهمی است که می‌تواند رفتار سامانه سایه‌انداز را تحت تأثیر قرار دهد. به خاطر اینکه رفتار جریان داخل سامانه، پس از پر شدن کامل سایه‌انداز از سیال آب، بصورت پایا می‌باشد، لذا به جهت کاهش مقدار معادلات و ملاحظات زمانی حل یکی از مجاری سایه‌انداز بصورت کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطوری که از شکل ۷ قابل برداشت است، سیال از بخش ورودی تا خروجی اختلاف فشار در حدود ۳۷۵۰ پاسکال را دار می‌باشد. با توجه به اینکه خروجی سامانه بصورت نسبی در نرم افزار تعریف می‌گردد، به همین خاطر مقدار نسبی فشار از نظر مقدار برابر با فشار نسبی جو و اندازه صفر پاسکال نمایش داده شده است.



شکل ۷- کانتور فشار استاتیکی در داخل داکت

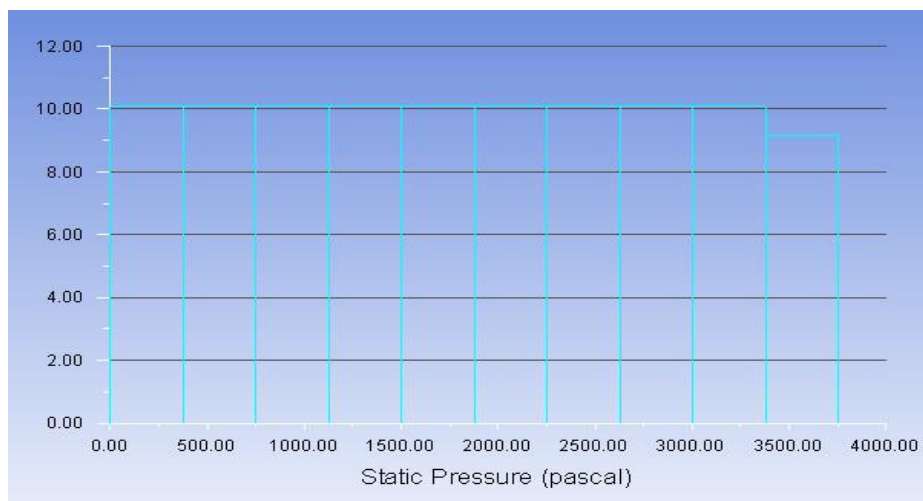
در ادامه و در شکل ۸ نمودار تغییرات فشار استاتیکی به ازای موقعیت از نظر فاصله برای سایه‌انداز ارائه شده است. همانطوری که از این نمودار قابل مشاهده است، مقدار فشار استاتیکی تحت تأثیر سرعت اولیه دارای مقدار بالایی است، منتهی رفته رفته با پیشروی به سمت خروجی مجرا از مقدار آن کاسته شده و در نهایت در خروجی آن به مقدار صفر (فشار نسبی محیط) می‌رسد.





شکل ۸- نمودار تغییرات فشار استاتیکی در داخل داکت

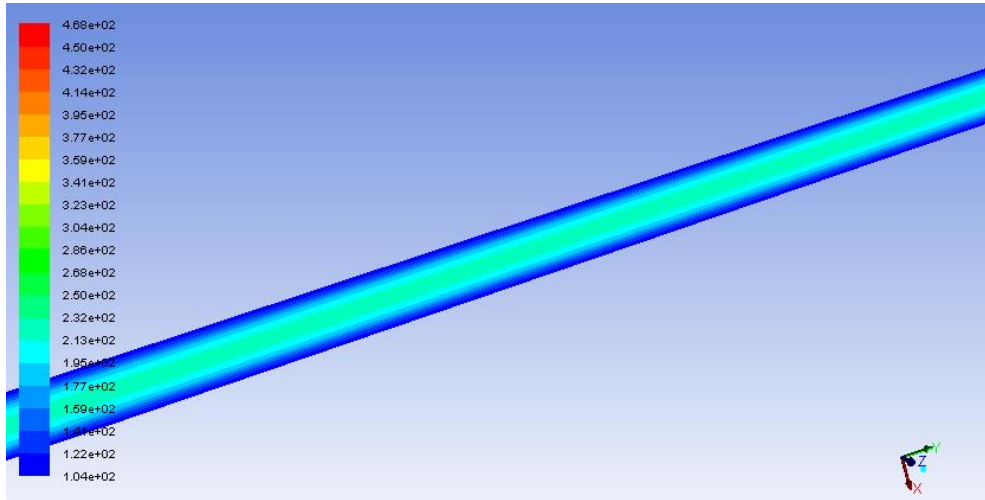
برای اینکه مقدار توزیع فشار استاتیکی از نظر توزیع درصدی قابل مشاهده باشد، از این رو مطابق با شکل ۹ از هیستوگرام افت فشار بهره برده شده است. در شکل یاد شده محور افقی به عنوان محور فشار استاتیکی و محور عمودی به عنوان شاخص درصدی آن مقدار فشار استاتیکی نشان داده شده است.



شکل ۹- نمودار تغییرات فشار استاتیکی

### فشار دینامیکی

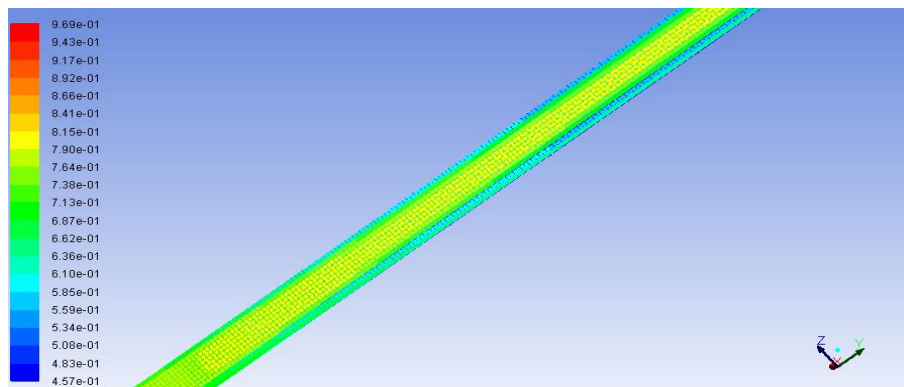
علاوه بر فشار استاتیکی، مطالعه فشار دینامیکی به خاطر ارتباط آن با سرعت در داخل سامانه سایه انداز مفید خواهد بود. بنابراین در شکل ۱۰، کانتور تغییرات فشار دینامیکی در بخشی از لوله که جریان به صورت توسعه یافته درآمده است، ارائه شده است. فشار دینامیکی بعد از رسیدن به حالت توسعه یافته کمترین مقدار خود را در نزدیکی دیواره (۱۰۴ پاسکال) و بیشترین مقدار را در ابتدای لوله (۴۶۸ پاسکال) به واسطه بالا بودن مقدار سرعت اولیه، به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۰- کانتور فشار دینامیکی

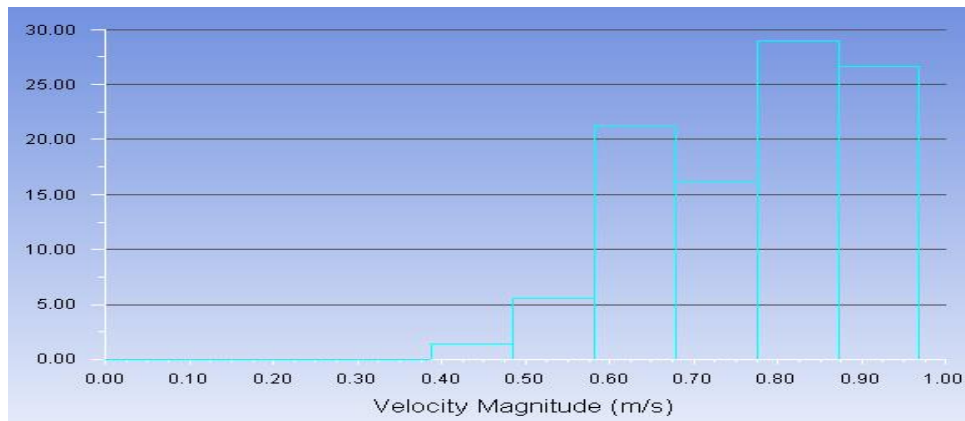
#### اندازه سرعت

سرعت عامل مهم دیگری برای مطالعه رفتار سامانه سایه‌انداز است. در ابتدا به منظور مشاهده سرعت در داخل مجرا، صفحه‌ای به موازات صفحه XY و در فاصله ۲/۶ میلی متر از محور Z ها (وسط مجرا) ایجاد گردید. از شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد که با فاصله گرفتن از دیواره مجرا (سرعت صفر) رفته رفته سرعت افزایش می‌یابد) و در مرکز مجرا بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است (بردارهای زرد رنگ). بیشترین مقدار سرعت در داخل مجرای سایه‌انداز مربوط به وسط مجرا با مقدار ۰/۹۶ متر بر ثانیه در بخش ابتدائی مجرا و کمترین مقدار آن برای جریان‌های بسیار نزدیک به دیواره با سرعت نزدیک به صفر است.



شکل ۱۱- تغییرات اندازه سرعت برای مجرای سایه‌انداز در حالت بزرگنمایی شده

هیستوگرام اندازه سرعت برای مجرای سایه‌انداز در شکل ۱۲ ارائه شده است. مقادیر توزیع شده پایین مربوط به نزدیک دیواره است، رفته رفته با فاصله گرفتن از دیواره و افزایش سرعت، این توزیع افزایش یافته است و بیشترین توزیع به محدوده سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه تا حدود ۱ متر بر ثانیه مربوط می‌شود.



شکل ۱۲- هیستوگرام اندازه سرعت برای مجرای سایه انداز

### نتیجه گیری

در این مطالعه رفتار یک سامانه سایه انداز مربوط به گلخانه نمونه ساخته شده در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد، از نظر سیالاتی مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل اینکه در یک سامانه هیدرولیکی مسائل مربوط به افت فشار، توزیع فشار استاتیکی، فشار دینامیکی و اندازه سرعت از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا مسائل بیان شده در قالب کانتورهای گرافیکی، نمودارهای دو بعدی و همچنین هیستوگرام مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین برای بررسی توزیع پارامترها در شرایط مورد بررسی، هیستوگرام فشار استاتیکی و اندازه سرعت نیز ارائه و بررسی گردید. به جهت اینکه جریان بعد از رسیدن به حالت پایا، توزیع یکسانی در داخل مجراها نشان می‌دهد. لذا یکی از مجراها برای بررسی در نظر گرفته شد.

نتایج نشان داد که بین نتایج به دست آمده از اندازه گیری‌های تجربی در ۵ سطح سرعت مورد آزمایش و نتایج عددی مربوط به شبیه‌سازی این سطوح توافق بسیار خوبی برقرار است و مقدار اختلاف زیر ۵ درصد برای تمامی سطوح به دست آمد. لذا نتایج مربوط به مقدار افت فشار برای سطح سرعت ۰/۷۶ به دلیل دارا بودن کمترین اختلاف نتایج تجربی و شبیه‌سازی مطالعات رفتار سیستم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

می‌توان نتیجه گرفت که حلگر بر اساس فشار و همچنین مدل آشفتگی k-ε استاندارد، به ترتیب حلگر و مدل آشفتگی مناسبی برای شبیه‌سازی جریان‌های داخل مجرا مانند جریان در داخل یک سامانه سایه‌انداز می‌باشند.

### منابع

۱. احمدی، ن و بناکار، ا. ۱۳۹۰. مصرف انرژی در گلخانه‌ها و راهکارهای افزایش کارایی انرژی مصرفی، اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۲. فداکار دیلمقانی، ا و ابراهیم پور، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی میزان مصرف انرژی گلخانه کشاورزی بر اثر استفاده از شیشه‌های مختلف در سقف (مورد مطالعه در شهر تهران)، سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی دانش بنیان و نوآوری، تهران، دانشگاه پیام نور استان تهران.

3. López-Marín, J., González, A., and Gálvez, A. 2009. Effect of Shade on Quality of Greenhouse Peppers, International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems, (November 2015), 895-900.
4. Chen, C., Shen, T & Weng, Y. 2011. Simple model to study the effect of temperature on the greenhouse with shading nets. African Journal of Biotechnology, 10, 5001-5014.



5. Lee, I., Bitog, J. P., Hong, S.-W., Seo, I.-H., Kwon, K.S., Bartzanas, T., & Kacira, M. 2013. The past, present and future of CFD for agro-environmental applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93, 168–183 .
6. Naimei, S., Shahgholi, G. H., Rezvanivandefanayi, A & Rostampour, V. 2019. Numerical study of wheat motion inside Stairmand cyclone using computational fluid dynamics. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(2.)
7. Norton, T., Sun, D.-W. Grant, J. Fallon, R & Dodd, V. 2007. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. *Bioresource technology*, 98, 2386-2414 .
8. Rezvanivandefanayi, A. and Nikbakht, A. M. 2015. A CFD Study of the Effects of Feed Diameter on the Pressure Drop in Acyclone Separator. *International Journal of Food Engineering*, 11, 71-77.
9. Rezvanivandefanayi, A., Hasanpour, A. & Nikbakht, A. M. 2019. Study of the vapor thermos-compressor to reduce energy consumption in the sugar production line using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Agricultural Machinery*, 10(2).
10. Sabralilou, B., Mohebbi, A., Akbarian, E & Rezvanivandefanayi, A. 2019. Aero-acoustic study of axial fan using computational fluid dynamics. *Journal of Agricultural Machinery*, 10(2).
11. Singh, R. and Tiwari, G. 2010. Energy conservation in the greenhouse system: A steady state analysis. *Energy*, 35, 2367-2373 .
12. Fluent, I. A. 2013. ANSYS FLUENT theory guide: Cannonsburg, PA, USA: ANSYS, Inc .



## Experimental and numerical investigation of fluid carrier shading behavior in greenhouses

Abdolreza mehin gaffarinia<sup>1\*</sup>, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard<sup>2</sup>, and Adel Rezvanivand Fanaei

1. Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
2. Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
3. Department of Biosystems Engineering, Urmia University

### Abstract

Greenhouse refers to a confined space with controlled environmental conditions for growing plants in different seasons of the year. Conventional coverings in greenhouses are glass, plastic and polycarbonate. Advantages of polycarbonate coating are its lower cost and lighter weight than glass. Its high resistance has also led to its increasing demand as a coating in the greenhouse industry. Shading is one of the most common ways to control the incident sunlight in greenhouses. It is imperative to use appropriate shading in the greenhouses of the country, as Iran is located in warm and arid climate. In this study, the performance of a novel active fluid injected shading system was investigated experimentally and numerically. In this shading system a suitable fluid (e.g. water) is injected through the ducts of polycarbonate plates, using a suitable pump. By appropriated selection of the inserted fluid and also incorporating suitable nano particles the thermo physical properties of the fluid is changed and hence can be used as either shading or thermal blankets in greenhouse. In order to validate the numerical model of the shading system, the results of the model were compared with the experimental results. Studying the hydraulic parameters such as fluid pressure and velocity inside the duct can be very useful in designing the correct shading in greenhouses. The computational fluid dynamics (CFD) method and the standard k- $\epsilon$  turbulence model were used to simulate turbulent flow inside the polycarbonate ducts. The comparison between the experimental and numerical results, the difference was below 5% between the experimental and numerical data pressure drop. The pressure drop between the inlet and outlet of ducts for the applied flow rate was 3750 Pascal. The maximum velocity across the section of ducts was  $0.96 \text{ m s}^{-1}$ . It was concluded that computational fluid dynamics could successfully simulate the behavior of the fluid shading system and can be used for further investigation and development.

**Key words:** Greenhouse; Shading; Computational Fluid Dynamics; Ansys Fluent ; Pressure Drop

\*Corresponding author

E-mail: abaspour@um.ac.ir