

مطالعه عددی تاثیر سیستم گرمایش و تابش خورشید بر تغییرات دما در یک گلخانه با دیواره های شیشه ای در فصل زمستان

در برخی مکان ها با زمستان های سخت، گرمای حاصل از تابش نور خورشید و ذخیره شده در خاک ممکن است برای گرم کردن گلخانه کافی نباشد. در چنین شرایطی، حرارت اضافی مورد نیاز باید با سیستم های گرمایشی تامین شود. هدف از این مطالعه ارزیابی میزان اثر بخشی سیستم گرمایش در گلخانه ای شیشه ای دارای دریچه سهای هوای جانبی و فن های مکانیکی در دو دوره شبانه و روزانه است. در این مطالعه هفت طرح گلخانه ای مختلف در دو دوره روزانه و شبانه بررسی شده است. در دوره روزانه با ایجاد تغییر در فشار فن ها تلاش شده تا بهترین حالت برای تامین دمای مناسب گلخانه به دست آید. همچنین در این دوره تاثیر تابش خورشید بر میدان جریان و تغییرات دمای داخل سالن نیز بررسی شده است. در دوره شبانه نیز میزان تغییرات دما با باز و بسته کردن دریچه های جانبی و تغییر دمای کف سالن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می دهند که گلخانه با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال در دوره روزانه و گلخانه با دمای کف ۳۲۳/۱۵ کلوین و دریچه های جانبی بسته در دوره شبانه شرایط مناسب تری جهت پرورش گیاهان در خارج از فصل دارند.

محمد کاظم مؤیدی^۱

دانشیار

فرزانه لطفی^۲

دانشجوی کارشناسی ارشد

وحید آزادی طلب^۳

دستیار پژوهشی

واژه های راهنما: گلخانه، دینامیک سیالات محاسباتی، انتقال حرارت تشعشی، توزیع دما

۱- مقدمه

یک گلخانه یک فضای بسته محصور شده توسط دیوارهای شفاف است که شرایط محیطی بهتری را از محیط طبیعی به وجود می آورد.

^۱ نویسنده مسئول، دانشیار، آزمایشگاه پژوهشی توربولانس، دینامیک سیالات محاسباتی و احتراق، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه قم، قم، ایران، moayyedi@qom.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، آزمایشگاه پژوهشی توربولانس، دینامیک سیالات محاسباتی و احتراق، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه قم، قم، ایران Fari73.lotfi@gmail.com

^۳ دستیار پژوهشی، آزمایشگاه پژوهشی توربولانس، دینامیک سیالات محاسباتی و احتراق، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه قم، قم، ایران vahid.azadi.talab@stu.qom.ac.ir

هدف از احداث گلخانه محافظت از محصولات در برابر سرما یا گرما و آفات ناخواسته است. به منظور کنترل شرایط محیط داخلی گلخانه، مطالعات و شبیه‌سازی‌های بسیاری در ارتباط با تاثیر عوامل مختلف از جمله تهویه طبیعی و مکانیکی، سیستم‌های گرمایش و سرمایش و ... بر شرایط و کیفیت جریان هوا در این فضاها صورت گرفته‌است. اولین آزمایش‌ها در مورد چرخش هوا در یک گلخانه توسط بوسینجر انجام شد [۱]. اوکادا و تاکاکورا، معادله مبادله هوا در گلخانه را بدست آوردند. آنها نرخ تهویه را به صورت مجموع دو جمله بیان کردند که جمله اول با سرعت باد بیرونی و جمله دوم با مربع اختلاف دما متناسب بود [۲]. بات یک رویکرد جامع برای توصیف تهویه از طریق دریچه گلخانه نوع ونلو پیشنهاد کرد و نتیجه گرفت که ویژگی‌های تهویه به نوع دریچه، زاویه آن، سرعت باد، جهت باد و اختلاف دما بستگی دارد. این نتایج نشان می‌داد که تهویه در گلخانه ونلو توسط وزش باد بیرونی و عمدتاً ناشی از نوسانات فشار صورت می‌گیرد [۳]. دجونگ خصوصیات فرآیند تهویه در گلخانه نوع ونلو را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد [۴]. بولارد و همکاران، نشان دادند که شبیه‌سازی شرایط محیطی در گلخانه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی یک ابزار قدرتمند در باغداری مدرن برای بررسی فرآیند تهویه و میدان توزیع دما در گلخانه است [۵]. هابیل روبرو و مونتیرو سه حالت مختلف از گلخانه‌های قوسی شکل با گرمایش جابجایی طبیعی (حالت اول)، لوله‌های حرارتی مصنوعی (حالت دوم) و لوله‌های حرارتی مصنوعی همراه با تهویه طبیعی (حالت سوم) را با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و مدل آشفتگی RNG^۱ شبیه‌سازی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که لوله‌های حرارتی مصنوعی (جریان آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد) باعث افزایش دمای هوای محیط اطراف به اندازه ۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌شود [۶]. تد و همکاران مطالعه‌ای با هدف تجزیه و تحلیل جریان جابجایی داخلی در یک گلخانه بسته انجام دادند که توسط نیروهای شناوری حاصل از شکل‌های مختلف سیستم‌های گرمایشی ایجاد می‌شد. استفاده ترکیبی از لوله‌های گرمایشی و گرم‌کننده هوا باعث افزایش فعالیت گیاه و کاهش میزان چگالش شد. این روش گرمایش در مقایسه با طرحی که در آن فقط از لوله‌های گرمایشی استفاده می‌شد، توزیع آب و هوایی ناهمگن‌تری نیز ایجاد می‌کرد [۷]. نیالی نیز پارامترهای آب و هوایی توزیع شده در گلخانه تونلی گوجه فرنگی را با استفاده از مدل تشعشع دیفرانسیلی دسته‌بندی گسسته^۲ مورد مطالعه و بررسی قرار داد [۸]. کوتو و همکاران یک مطالعه تجربی در یک گلخانه در شمال پرتغال انجام دادند. مقادیر دما در نقاط مختلف و سرعت هوا در دریچه‌ها در طی شب برای سه طرح، گرمایش جابجایی طبیعی، لوله‌های حرارت مصنوعی و تهویه طبیعی اندازه‌گیری شد. شبیه‌سازی دو بعدی دینامیک سیالات محاسباتی برای به دست آوردن درجه حرارت هوا در محیط داخلی و میدان سرعت برای سه طرح انجام شد. نتایج مطالعه آنها به وضوح تاکید بر تاثیر هر بار حرارتی بر خواص هوای داخل گلخانه داشت [۹]. وانگ شیائو و همکاران به مطالعه آب و هوا مبتنی بر مدل دینامیک سیالات محاسباتی در یک گلخانه با پوشش پلاستیکی پرداختند. به منظور شبیه‌سازی انتقال حرارت جابجایی و تبادلات تابش در پوشش یک مدل تابشی به مدل دینامیک سیالات محاسباتی اضافه شد. نتایج نشان می‌داد که این مدل دینامیک سیالات محاسباتی توسعه یافته در این پژوهش می‌تواند به عنوان ابزاری مفید در تحقیقات کلان شرایط محیطی و بررسی طراحی گلخانه مورد استفاده قرار گیرد [۱۰]. فلورس-ولازکز و همکاران از مدل دینامیک سیالات محاسباتی سه

^۱ Renormalization Group

^۲ Discrete Ordinates (DO) Radiation Model

بعدی برای تجزیه و تحلیل تبادل هوا و توزیع دما در یک گلخانه با تهویه ترکیبی مکانیکی و طبیعی (هواکش‌های سقفی) استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تهویه سقفی همراه با تهویه مکانیکی به دلیل اختلاط بهتر هوای داخلی نسبت به اختلاط تولید شده با تهویه مکانیکی به تنهایی، میزان تبادل هوا و یکنواختی آب و هوای گلخانه را بهبود می‌بخشد [۱۱]. تیری بولارد و همکاران از مدل دینامیک سیالات محاسباتی برای پیش بینی توزیع دما، بخار آب و دی اکسید کربن در یک گلخانه شیشه‌ای بسته از نوع ونلو مجهز به تجهیزات تهویه مطبوع و دارای پوشش گیاهی در دوره روزانه استفاده کردند. تشعشع خورشیدی توسط مدل دسته‌بندی گسسته مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که پوشش‌های گیاهی با چگالی سطح برگ بالا، به شدت باعث خنک شدن هوای داخلی می‌شوند [۱۲]. یان جیا و همکاران از نرم افزار فلونت برای شبیه‌سازی انتقال حرارت جابجایی به همراه تشعشع در لوله‌های حرارتی کف گلخانه استفاده کردند. پس از تجزیه و تحلیل میدان دما در گلخانه برای لوله‌ها با فاصله‌های مختلف، عمق‌های مختلف کارگزاری لوله، دمای متغیر آب گرم درون لوله، قطر لوله و سرعت آب متفاوت، نتایج نشان داد که دمای تامین آب، فاصله لوله و قطر لوله تأثیر بیشتری بر افزایش دمای زمین و سالن داشتند [۱۳]. ذیمان و همکاران یک گلخانه با سقف قوسی شکل را که دارای شبکه لوله‌های گاز حامل گاز سوخته و شبکه لوله‌های آب گرم تولید شده از طریق احتراق زیست توده جهت گرمایش محیط داخلی بود، شبیه‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که پیش‌بینی‌های دقیق از طریق تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند به حفظ دمای گلخانه بدون سوختن بیش از حد و بی رویه زیست توده کمک کند [۱۴]. در مطالعه حاضر میدان جریان، تغییرات دما و رطوبت در گلخانه مجهز به سیستم گرمایش از کف و فن‌های مکانیکی در مقایسه با پژوهش‌های پیشین در هفت طرح بررسی شده‌است. چهار طرح اول مربوط به شبیه‌سازی گلخانه در دوره روزانه بوده و سه طرح دیگر مرتبط با شبیه‌سازی گلخانه در دوره شبانه است. برای مطالعه میدان جریان و دمای گلخانه در دوره روزانه، ابتدا دو طرح گلخانه‌ای با اختلاف فشارهای ۲۰۰ و ۱۰۰ پاسکال بدون در نظر گرفتن بارحرارتی ناشی از تابش خورشید بررسی شد. سپس در دو طرح دیگر به مطالعه گلخانه‌هایی با همان اختلاف فشارها با در نظر گرفتن انتقال حرارت تشعشع پرداخته شد تا علاوه بر درک صحیح چگونگی تاثیر تشعشع خورشید بر میدان جریان و دمای هوای داخل سالن، بهینه‌ترین حالت جهت پرورش گیاهان در گلخانه در دوره روزانه به دست آید. لازم به ذکر است که دمای کف سالن در این طرح‌ها ۳۳۳/۱ کلوین در نظر گرفته شد. در بخش دیگری از مطالعات برای دوره شبانه با تغییر دمای کف سالن و باز و بسته کردن دریچه‌های جانبی گلخانه سعی شد تا مناسب‌ترین میدان دمایی برای پرورش محصولات در این دوره نیز به دست آید. در شبیه‌سازی طرح‌های مذکور دمای محیط بیرون ترتیب برای دوره‌های روزانه و شبانه زمستانی برابر با ۲۸۳/۱ کلوین و ۲۶۹/۱ کلوین در نظر گرفته شده‌است.

۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله مورد بررسی در این پژوهش با توجه به اینکه جریان تراکم‌ناپذیر است، شامل معادلات بقای جرم و بقای اندازه حرکت خطی بوده و برای مدلسازی اثرات تغییر دما از معادله بقای انرژی استفاده شده‌است:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\mathbf{V}}{Dt} = \rho \mathbf{g} - \nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 \mathbf{V} \quad (2)$$

که در آن \mathbf{V} بردار سرعت، ρ چگالی، t زمان، \mathbf{g} شتاب گرانش، P فشار و μ_{eff} لزجت مؤثر می‌باشد. برای محاسبه تغییرات دما و میزان انتقال حرارت در مدل مورد بررسی از معادله بقای انرژی به صورت زیر استفاده شده است:

$$\rho c \frac{DT}{Dt} + (\mathbf{V} \cdot \nabla)T = -\nabla \cdot (k \cdot \nabla T) + q_{gen} + S_h \quad (3)$$

در معادله فوق، c ظرفیت گرمایی ویژه، T دمای سیال، k ضریب هدایت حرارتی، q_{gen} حرارت تولیدی و S_h منبع گرمایی ناشی از بار حرارتی تابش خورشید می‌باشد که با استفاده از مدل انتقال حرارت تشعشی محاسبه می‌شود.

۳- مدل سازی تابش خورشیدی

تابش خورشیدی که از طریق پوشش شفاف گلخانه جذب یا به داخل گلخانه وارد می‌شود تا حد زیادی شرایط محیط داخل گلخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین جهت لازم است تا در مطالعات مرتبط با شبیه‌سازی گلخانه‌ها اثرات انتقال حرارت تشعشی ناشی از تابش خورشید نیز در صورت لزوم شبیه‌سازی و مطالعه شود. در همین راستا در مطالعه حاضر، مدل تشعشی دسته‌بندی گسسته به مدل محاسباتی اضافه شده تا شبیه‌سازی انتقال حرارت تشعشی در پوشش و سقف گلخانه انجام شود. مدل تشعشی دسته‌بندی گسسته معادله انتقال تابشی^۱ را برای تعداد محدودی از زوایای گسسته شده حل می‌کند. هر یک از این زوایای گسسته شده با یک بردار جهت مشخص شده در سیستم مختصات کارتزین، متناظر است. اندازه زوایای گسسته شده توسط کاربر مشخص می‌شود. این مدل، معادله انتقال تابشی را به یک معادله انتقالی برای سیستم مختصات کارتزین تبدیل کرده و در نهایت شدت تابش را محاسبه می‌کند. در واقع مدل تشعشی دسته‌بندی گسسته، تمامی معادلات انتقالی را در تمام جهت‌های برداری حل می‌کند. به طور کلی معادله انتقال تابش برای مدل تشعشی دسته‌بندی گسسته به صورت زیر می‌باشد:

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s})\vec{s}) + (a + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}')\Phi(\vec{s}, \vec{s}')d\Omega' \quad (4)$$

¹ Radiative Transfer Equation (RTE)

در معادله فوق \vec{r} بردار موقعیت، \vec{s} بردار وضعیت، \vec{s}' بردار جهت پراکندگی، a ضریب جذب، n ضریب شکست (انکسار)، σ_s ضریب پراکندگی، σ ثابت استفان-بولتزمن، I شدت تابش، T دما، Φ تابع فاز و Ω' زاویه جامد است. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر از مدل سازی تابش غیرخاکستری استفاده شده، معادله انتقال تابش برای مدل مورد مطالعه به صورت زیر باز نویسی می شود [۱۵]:

$$\nabla \cdot (I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a_\lambda + \sigma_s) I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) = a_\lambda I_{b\lambda} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (9)$$

در معادله فوق $I_\lambda(\vec{r}, \vec{s})$ شدت طیفی، a_λ ضریب جذب طیفی، λ طول موج و $I_{b\lambda}$ شدت جسم سیاه است که توسط تابع پلانک ارائه شده است. در این معادله ضریب پراکندگی، تابع فاز پراکندگی و ضریب شکست مستقل از طول موج فرض می شوند. با بکار بردن مدل تشعشعی دسته بندی گسسته غیر خاکستری طیف تابش به باندهای طول موج تقسیم شده و رفتار در هر باند خاکستری فرض می شود. تشعشع جسم سیاه در هر باند طول موج بر واحد زاویه جامد به صورت زیر نوشته می شود:

$$\left[F(0 \rightarrow n\lambda_2 T) - F(0 \rightarrow n\lambda_1 T) \right] n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (10)$$

که در آن λ_1 و λ_2 مرزهای طول موج باند و $F(0 \rightarrow n\lambda T)$ کسری از انرژی تابشی تابیده شده توسط یک جسم سیاه در بازه‌ای از طول موج بین ۰ تا λ در دمای T با ضریب شکست n می باشد [۱۶]. شدت تابش کل نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I(\vec{r}, \vec{s}) = \sum_k I_{\lambda_k}(\vec{r}, \vec{s}) \Delta\lambda_k \quad (11)$$

در این مطالعه معادلات مدل مذکور با روش حجم محدود گسسته سازی شده و همراه با معادلات حاکم بر جریان سیال حل شده اند. لازم به ذکر است که مدل سازی تشعشع خورشیدی برای منطقه مورد نظر (شهر قم) در فصل زمستان و در اواسط دی ماه در ساعت ۱۴ ظهر انجام شده است.

۴- مدل سازی آشفستگی

با توجه به وجود آشفستگی در مطالعه حاضر به جهت توصیف بهتر رفتار جریان و پیش بینی اثرات و تحول ناشی از آن لازم است تا مدلسازی آشفستگی بکار گرفته شود. جهت مدل سازی آشفستگی در این پژوهش از مدل انتقال تنش برشی استفاده شده است. مدل گذرش انتقال تنش برشی^۱ یا γ -Re θ مبتنی بر ترکیب

^۱ Transition SST model

معادلات مدل k- ω -SST و دو معادله الحاقی که یکی برای تناوب جریان و دیگری برای معیارهای تعیین نقطه شروع ناحیه گذرا از دیدگاه عدد رینولدز مبتنی بر ضخامت مومنتوم می‌باشد. روابط حاکم بر این مدل به صورت زیر می‌باشد [۱۷]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \gamma + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho U_j \gamma = P_{\gamma 1} - E_{\gamma 1} + P_{\gamma 2} - E_{\gamma 2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \text{Re}_{\theta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho U_j \text{Re}_{\theta t} = P_{\theta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\sigma_{\theta t} \mu + \mu_t \frac{\partial \text{Re}_{\theta t}}{\partial x_j} \right] \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho k + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho k u_i = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_K^* - Y_K^* + S_K \quad (6)$$

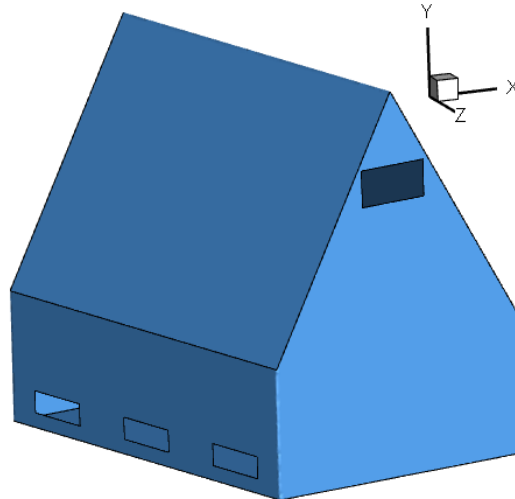
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho w + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho w u_j = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_w \frac{\partial w}{\partial x_j} \right) + D_w + S_w + G_w - Y_w \quad (7)$$

در معادلات فوق $\text{Re}_{\theta t}$ معادله انتقال برای عدد رینولدز مبتنی بر ضخامت مومنتوم، Y_w ترم تولید و اضمحلال اصلی برای مدل SST، G_w نشان دهنده تولید w ، D_w ترم انتشار متقابل، $\text{Re}_{\theta t}$ عدد رینولدزی که در آن شروع ناحیه گذرا از طریق آزمایش‌های تجربی قابل مشاهده می‌باشد، S_w و S_K ترم چشمه قابل تعریف توسط کاربر و Γ_k و Γ_w انتشار موثر k و w می‌باشند.

۵- اعتبارسنجی حل عددی

جهت اعتبارسنجی روش حل عددی، قسمت مربوط به اثرات تابش خورشید، که تنظیمات آن پیچیدگی بیشتری نسبت به سایر قسمت‌های مطالعه دارد، در نظر گرفته شده است. سپس با تکیه بر نتایج حاصل از مطالعه ملالو عبدالرحمان و همکاران [۱۸] اعتبارسنجی صورت گرفته است. تنظیمات تابش خورشید در این مدل مشابه پژوهش حاضر بوده و علاوه بر آن مانند مدل مورد مطالعه در پژوهش حاضر فاقد محصول می‌باشد. در مطالعه مذکور، یک گلخانه به ابعاد $6 \times 4 \times 5$ متر با پوشش پلی کربنات در نظر گرفته شده است. این گلخانه مطابق شکل (۱)، دارای سه دریچه ورودی در دیوار جانبی به ابعاد 0.3 متر مربع و دو دریچه خروج هوا در بالای گلخانه به ابعاد 0.5 متر مربع است. شرایط مرزی برای حالت مورد مطالعه در این پژوهش در ورودی‌ها، سرعت ورودی و در خروجی‌ها، فشار خروجی می‌باشد. با توجه به اینکه اعتبارسنجی انجام شده برای چهار ساعت از مرجع مذکور صورت گرفته، سایر شرایط مرزی برای این ساعات در جدول (۱) آورده شده است. شبکه محاسباتی ایجاد شده جهت مدل‌سازی، شبکه ترکیبی با تعداد 2666227 المان بوده و اعتبارسنجی بر اساس آن صورت گرفته که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. بر طبق این جدول، نتایج

حاصل از مدل‌سازی تطابق خوبی را با مرجع مورد نظر نشان می‌دهد که بر این اساس می‌توان نسبت به درستی تنظیمات مدل تشعشعی بکار رفته اطمینان حاصل کرده و آن را برای گلخانه مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو توسعه داد.



شکل ۱- گلخانه مورد مطالعه در پژوهش ملالو عبدالرحمان و همکاران [۱۸]

جدول ۱- شرایط مرزی تابش خورشید، میانگین دما و رطوبت هوا در محیط گلخانه در پانزدهم ژانویه

ساعت	تابش مستقیم بر حسب وات بر متر مربع	تابش انتشاری بر حسب وات بر متر مربع	دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد	رطوبت نسبی
۱۳	۵۶۴	۱۰۹	۱۴/۵	۳۹/۶
۱۴	۵۱۵	۹۹	۱۵/۱	۳۷
۱۵	۴۳۸	۸۸	۱۵/۷	۳۶/۶
۱۶	۲۸۸	۵۴	۱۵/۸	۳۶/۸

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مسئله و نتایج مطالعه ملالو عبدالرحمان و همکاران [۱۸]

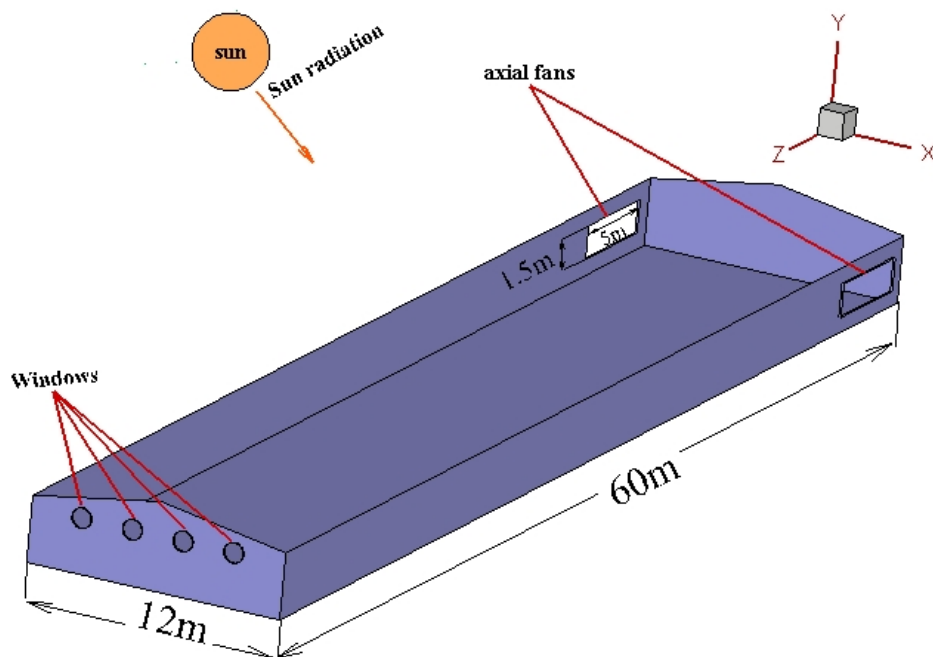
ساعت	نتایج حاصل از مطالعه ملالو عبدالرحمان و همکاران [۹۳]				درصد خطا	
	میانگین حجمی رطوبت نسبی	میانگین حجمی دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد	میانگین حجمی رطوبت نسبی	میانگین حجمی دمای هوا	میانگین حجمی رطوبت نسبی	میانگین حجمی دمای هوا
۱۳	۹/۶	۳۴/۷	۱۰/۳	۴/۱	۷/۲	۳۶/۲
۱۴	۱۰/۳	۳۲/۵	۱۰/۷	۲/۴	۴/۳	۳۳/۳
۱۵	۱۲/۴	۲۹/۳	۱۳/۱	۳/۳	۵/۶	۳۰/۳
۱۶	۱۸/۴	۲۶/۴	۱۹/۳	۲/۵	۴/۸	۲۷/۱

۶- روش حل عددی

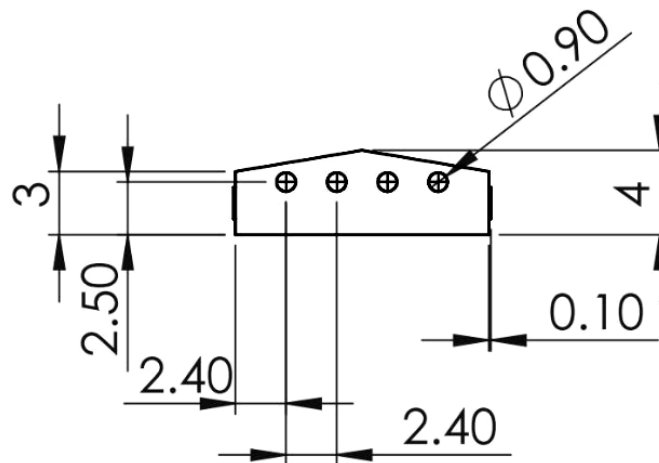
در این پژوهش، جهت شبیه‌سازی مسئله موردنظر از ماژول فلوئنت بسته نرم‌افزاری انسیس استفاده شده است. حل معادلات اندازه حرکت با استفاده از الگوریتم سیمپل صورت گرفته و برای گسسته سازی معادله فشار نیز روش مرتبه دوم به کار برده شده است. همچنین در حل معادلات مربوط به اندازه حرکت، انرژی، آشفتگی و انتقال تابش از روش گسسته سازی بالادست مرتبه دوم استفاده شده است. به علاوه حل وابسته به زمان معادلات بر پایه روش مرتبه اول ضمنی می‌باشد.

۷- هندسه مدل و شرایط مرزی

در مطالعه حاضر یک گلخانه خالی از محصول با سقف ۷ شکل معکوس به ابعاد $4 \times 60 \times 12$ متر مطابق شکل (۲) به روش عددی شبیه‌سازی شده است. این گلخانه دارای دو دریچه جانبی در ارتفاع $2/05$ متری در قسمت ابتدایی و ۴ فن مکانیکی در ارتفاع $0/7$ متری در بخش انتهایی جهت بهره برداری از این مطالعه در کاربری‌های مرتبط با گلخانه‌های دریچه فن بوده و همچنین مجهز به سیستم گرمایش از کف می‌باشد. جزئیات بیشتر در رابطه با ابعاد گلخانه مورد نظر، در شکل (۳) آورده شده است. فن‌های بکار گرفته شده در گلخانه به صورت مکنده بوده و با ایجاد اختلاف فشار ۱۰۰ و ۲۰۰ پاسکال هوای داخل سالن را به خارج از محیط هدایت می‌کنند. شرایط مرزی مربوط به دما، برای دیواره‌های جانبی و پوشش سقف به صورت شرط مرزی مختلط و برای کف سالن، شرط مرزی دما ثابت می‌باشد. همچنین در دریچه‌های جانبی و فن‌ها به ترتیب شرط مرزی فشار ورودی و فشار خروجی و در تمامی دیواره‌های جانبی شرط مرزی عدم لغزش بکار رفته است.



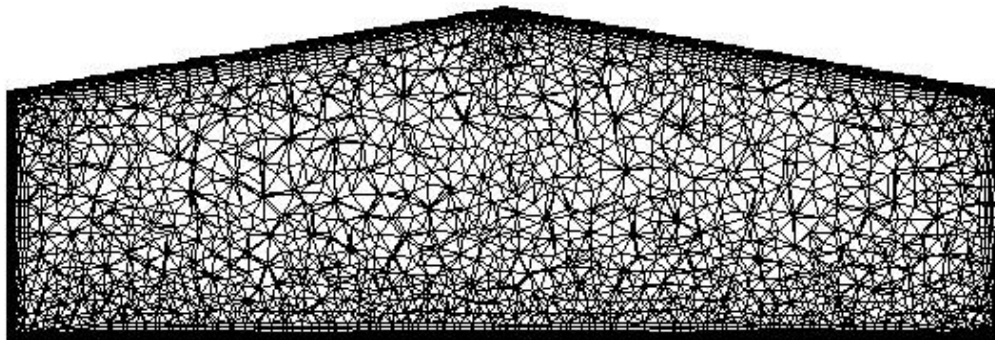
شکل ۲- نمای کلی از گلخانه مورد مطالعه



شکل ۳- برخی از ابعاد گلخانه مورد نظر، جانمایی شده بر روی دیوار انتهایی

۸- نتایج

برای مدل مورد مطالعه، شبکه ترکیبی با تعداد ۵۳۹۱۴۴۱ سلول در نظر گرفته شد. شکل (۴) مقطعی از مدل در راستای جریان و شبکه مربوط به آنرا نشان می‌دهد. در انجام آزمایش استقلال حل از شبکه، سیستم گرمایش از کف فعال و دمای کف سالن برابر با ۳۳۳ کلین، گلخانه خالی از محصول و اختلاف فشار فن‌ها ۲۰۰ پاسکال در نظر گرفته شده‌است. همانطور که نتایج آزمایش استقلال حل از شبکه در جدول (۳) نشان می‌دهد شبکه محاسباتی اعمال شده توانسته با تقریب بسیار خوبی برای شبیه‌سازی عددی با خطای اندک نسبت به مقدار واقعی بکار گرفته شود. با توجه به داده‌های مندرج در این جدول، که میزان دما را در محل-های مختلفی از گلخانه نشان می‌دهد، این پارامتر با افزایش میزان فشردگی شبکه محاسباتی تغییر چشمگیری نداشته و در نتیجه استفاده از شبکه‌ای با فشردگی بیشتر چندان مفید نمی‌باشد. بنابراین تعداد سلول‌های موجود در شبکه مذکور نتایج قابل اتکایی را جهت مدلسازی ارائه می‌دهد. در ادامه نتایج حاصل از مطالعه میدان جریان و تغییرات دما در گلخانه مورد مطالعه آورده شده‌است. به منظور ایجاد سهولت در بیان توضیحات مربوط به نتایج حاصل از مطالعه، به هر یک از طرح‌های مذکور در جدول (۴) یک عنوان اختصاص داده شده‌است.



شکل ۴- نمایی از المان‌بندی شبکه محاسباتی بر صفحه $z=30m$

جدول ۳- مقدار دما در موقعیت‌های مختلف طولی برحسب تعداد سلول‌های شبکه در ارتفاع ۱ متر از کف سالن و روی صفحه تقارن عرضی

دما (بر حسب کلوین)			تعداد سلول
طول ۳۰ متری از دریچه ورودی	طول ۴۰ متری از دریچه ورودی	طول ۵۰ متری از دریچه ورودی	
۲۸۶	۲۸۴/۳	۲۸۸/۶	۱۸۳۶۴۸۳
۲۸۷/۸	۲۸۸/۸	۲۹۱/۲	۵۳۹۱۴۴۱
۲۸۸/۱	۲۸۹/۴	۲۹۱/۶	۸۹۴۹۶۵۲

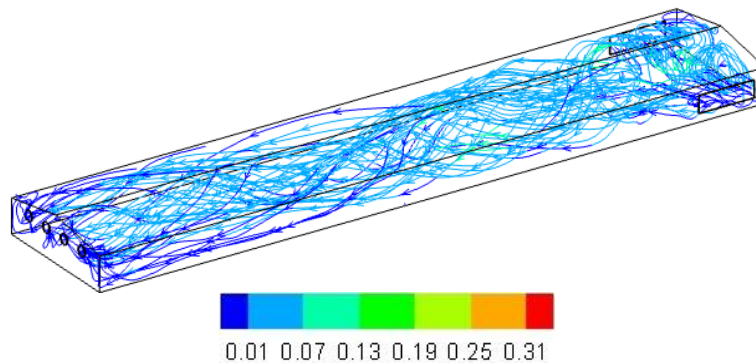
جدول ۴- مشخصات طرح‌های مورد مطالعه

دوره	شرایط مسئله	نام طرح
روزانه	گلخانه دارای فن‌های مکانیکی با اختلاف فشار ۲۰۰ پاسکال و مجهز به سیستم گرمایش از کف بدون در نظر گرفتن بارحرارتی ناشی از تابش خورشید	طرح اول
	گلخانه دارای فن‌های مکانیکی با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال و مجهز به سیستم گرمایش از کف بدون در نظر گرفتن بارحرارتی ناشی از تابش خورشید	طرح دوم
	گلخانه دارای فن‌های مکانیکی با اختلاف فشار ۲۰۰ پاسکال و مجهز به سیستم گرمایش از کف با در نظر گرفتن بارحرارتی ناشی از تابش خورشید	طرح سوم
	گلخانه دارای فن‌های مکانیکی با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال و مجهز به سیستم گرمایش از کف با در نظر گرفتن بارحرارتی ناشی از تابش خورشید	طرح چهارم
شبانه	گلخانه با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال و دمای کف ۳۴۸/۱ کلوین همراه با دریچه‌های جانبی باز	طرح پنجم
	گلخانه با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال و دمای کف ۳۴۸/۱ کلوین همراه با دریچه‌های جانبی بسته	طرح ششم
	گلخانه با اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال و دمای کف ۳۲۳/۱ کلوین همراه با دریچه‌های جانبی بسته	طرح هفتم

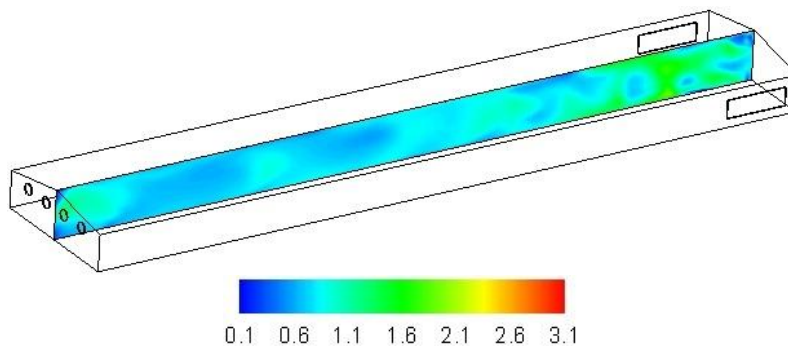
۱-۸- مدلسازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح اول

در این بخش، نتایج حاصل از مطالعه میدان جریان و تغییرات دما در طرح اول ارائه خواهد شد. شکل (۵) توزیع خطوط جریان در طول سالن را نشان می‌دهد. واضح است ساختار جریان در نزدیکی دریچه‌های جانبی به علت تقابل جریان ورودی از دریچه‌ها و تغییر جهت آن به سمت فن‌ها، چرخشی بوده و با حرکت به سمت انتهای سالن این ساختار لایه‌ای و منظم می‌شود. شکل (۶) خطوط همتراز اندازه سرعت روی صفحه تقارن عرضی گلخانه را نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، سرعت هوا در نزدیکی دریچه‌های ورودی به سبب وجود جریان چرخشی در این ناحیه و همچنین در نزدیکی فن‌ها تحت تاثیر عملکرد آنها، بیشتر است. در شکل (۷) خطوط همتراز دما بر روی صفحه تقارن عرضی گلخانه آورده شده‌است. همانطور که مشخص است

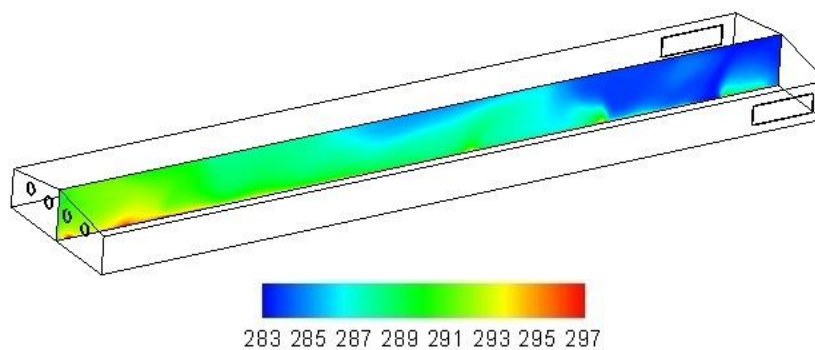
دمای هوای محیط داخلی در انتهای سالن تحت تاثیر فعالیت سیستم گرمایش، بیشتر و در نزدیکی سقف گلخانه کم تر است. شکل (۸) تغییرات دما در جهت طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی سالن در ارتفاع ۱ متری از کف یعنی منطقه کشت محصول را نشان می دهد. مطابق این شکل، دمای هوا در ابتدای سالن، ۲۸۴ کلوین بوده اما با گذر از طول سالن تحت تاثیر سیستم گرمایش از کف قرار گرفته و به دمای ۲۹۲ کلوین در انتهای سالن می رسد. در واقع افزایش دمای هوا در منطقه کشت محصولات از ابتدا تا انتهای گلخانه با توجه به دمای کف سالن در این طرح به دلیل نرخ بالای تهویه، چشمگیر نیست.



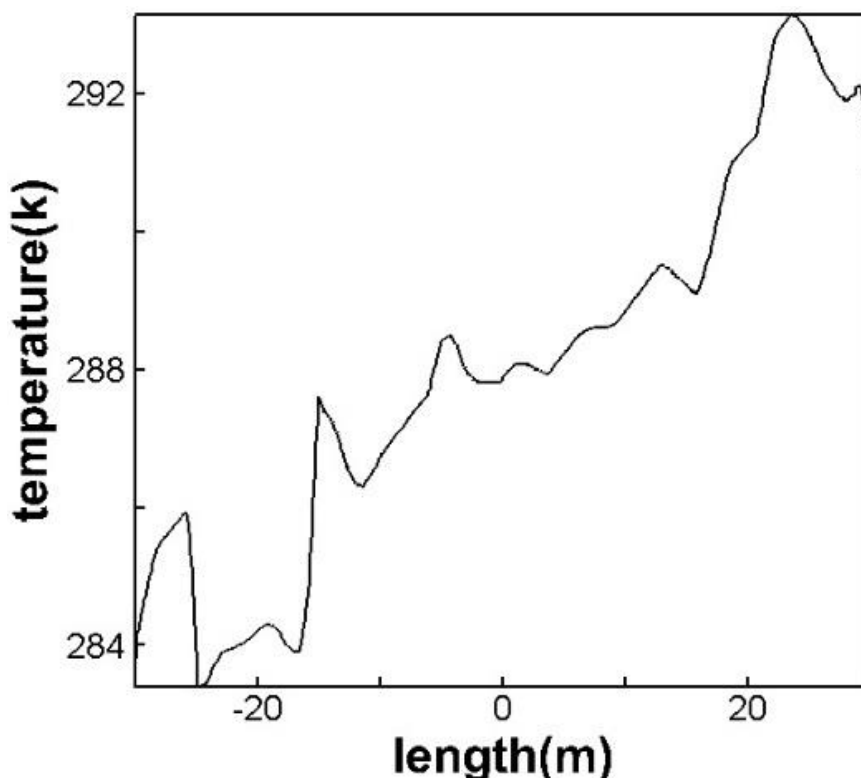
شکل ۵- خطوط جریان رنگی شده با لزجت گردابه‌ای برای طرح اول



شکل ۶- خطوط همتراز اندازه سرعت در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح اول



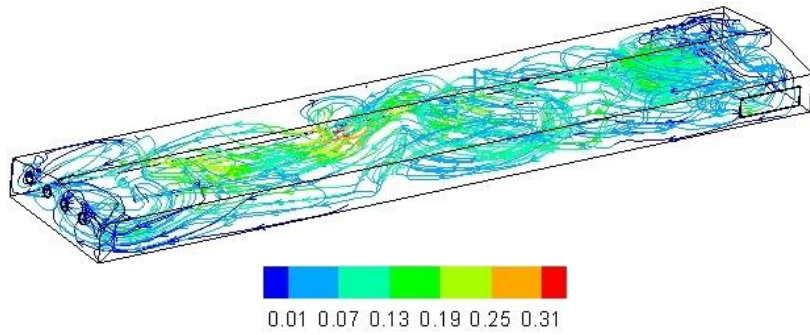
شکل ۷- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح اول



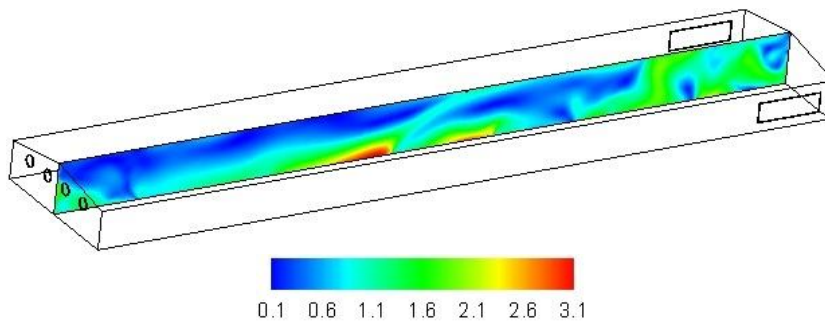
شکل ۸- تغییرات دما در جهت طول مدل روی صفحه تقارن عرضی گلخانه در ارتفاع ۱ متری از کف در طرح اول

۸-۲- مدل‌سازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح دوم

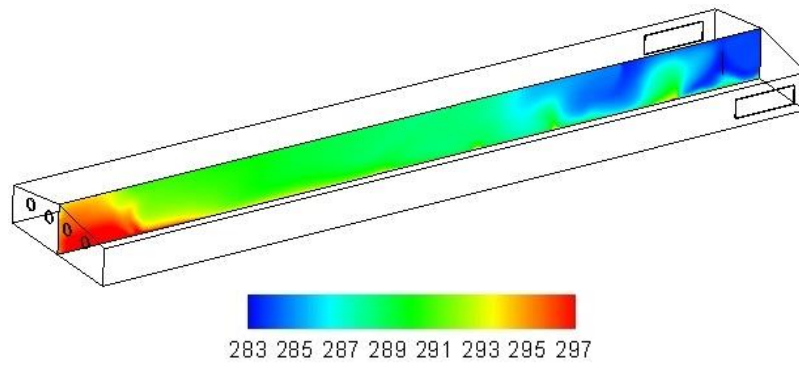
در این قسمت، نتایج حاصل از شبیه‌سازی میدان جریان و دما در طرح دوم ارائه خواهد شد. شکل (۹) خطوط جریان در داخل سالن را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است خطوط جریان با توجه به رنگ‌بندی آنها براساس لزجت گردابه‌ای و وجود رابطه مستقیم بین لزجت گردابه‌ای و آشفتگی، نسبت به طرح اول، آشفتگی و اختلاط بیشتری دارند. این امر منجر به توزیع همگن‌تر کمیت‌هایی مانند دما و رطوبت در داخل سالن خواهد شد. شکل (۱۰) خطوط همتراز اندازه سرعت در صفحه تقارن عرضی گلخانه می‌باشد. بر طبق این شکل، اندازه سرعت در نزدیکی کف سالن در این طرح نسبت به طرح اول بیشتر است. این مسئله در اثر کاهش اختلاف فشار فن‌ها و تاثیرگذاری بیشتر سیستم گرمایش بر روی دمای نزدیک به کف سالن است که سبب تغییر در چگالی هوا و ایجاد نیروی شناوری و حرکت جریان به سمت بالا می‌شود. در شکل (۱۱) که خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی از گلخانه را نمایش می‌دهد، افزایش دمای بیشتری در این طرح نسبت به طرح اول را نمایش می‌دهد. در واقع با توجه به مطالب فوق این نتیجه حاصل خواهد شد که با کاهش اختلاف فشار فن‌ها و تهویه سالن، سیستم گرمایش می‌تواند دمای بالاتری را در داخل سالن ایجاد کند. شکل (۱۲) به نوعی این مسئله را تایید کرده و نشان‌دهنده تغییرات دما در جهت طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی در ارتفاع ۱ متری از کف می‌باشد. همانطور که مشخص است دمای سیال در نزدیکی دیوار ابتدایی گلخانه ۲۸۴ کلوین بوده و پس از حرکت در طول سالن به دمای ۲۹۶ کلوین رسیده‌است. به طور کلی با توجه به شکل مذکور این طرح، تغییرات دمایی قابل ملاحظه‌تری را نسبت به طرح قبلی نشان می‌دهد.



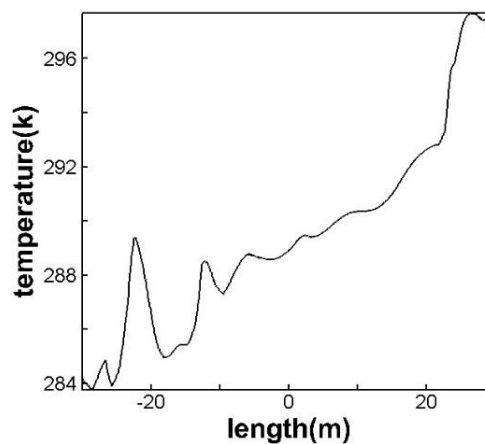
شکل ۹- خطوط جریان رنگی شده بر اساس لزجت گردابه‌ای برای طرح دوم



شکل ۱۰- خطوط همتراز اندازه سرعت در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح دوم



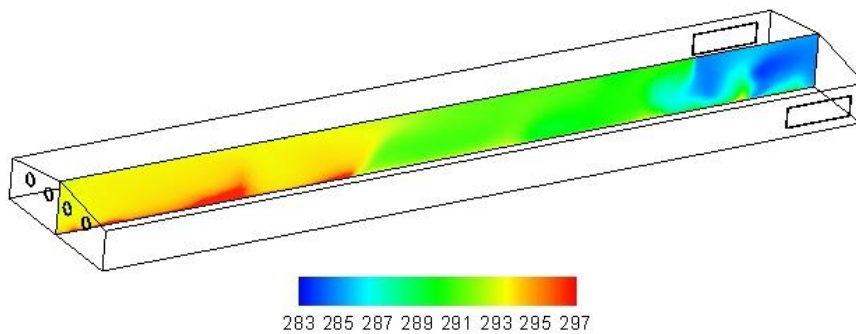
شکل ۱۱- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح دوم



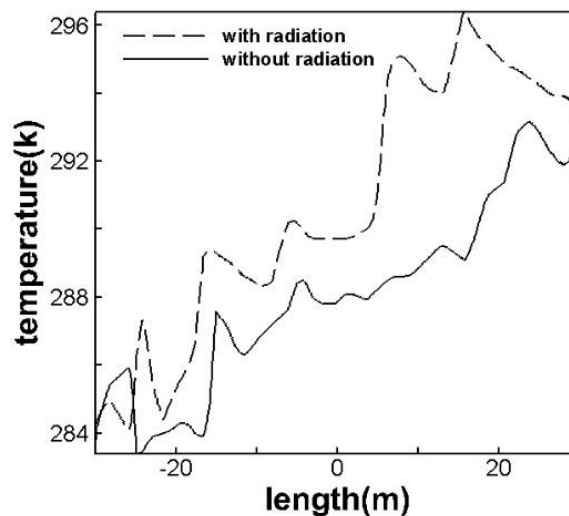
شکل ۱۲- تغییرات دما در طول سالن روی صفحه تقارن عرضی گلخانه در ارتفاع ۱ متری از کف برای طرح دوم

۸-۳- مدل سازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح سوم

در این طرح، مدل گلخانه با دمای کف ۳۳۳ کلوین و اختلاف فشار ۲۰۰ پاسکال با در نظر گرفتن انتقال حرارت تشعشعی ناشی از تابش خورشید در نظر گرفته شده است. هدف از مطالعه این حالت، بررسی اثر انتقال حرارت تشعشع بر میدان جریان و دمای هوا در داخل سالن می باشد. در شکل (۱۳) که نشان دهنده خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه است، با فاصله گرفتن از منطقه مجاور دریچه های جانبی سالن به طرف فن ها، دمای بیشتری در گلخانه نسبت به طرح اول مشاهده می شود. این مسئله ناشی از تاثیرات تشعشع حرارتی خورشید بر روی دمای هوای داخل سالن می باشد. در شکل (۱۴) مقایسه ای بین تغییرات دما در طول گلخانه، روی صفحه تقارن عرضی سالن و در ارتفاع ۱ متری از کف برای طرح اول و سوم ارائه شده است. بر طبق این شکل در طرحی که اثرات تابش خورشیدی لحاظ شده میانگین دمای سیال در منطقه کشت محصولات، با حرکت از ابتدای گلخانه به سمت دیوار انتهایی تحت تاثیر این تشعشع، به میزان ۲/۵ کلوین افزایش می یابد.



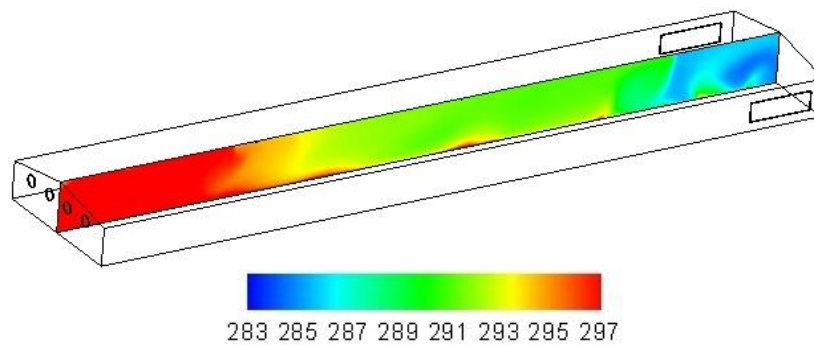
شکل ۱۳- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح سوم



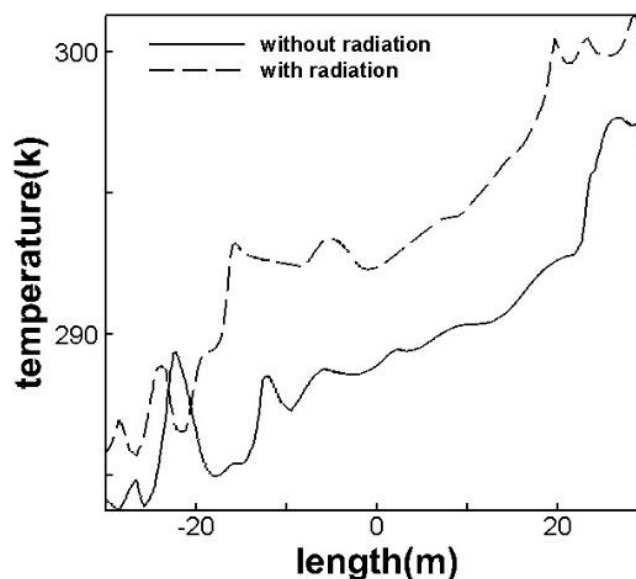
شکل ۱۴- مقایسه تغییرات دما در طول سالن، روی صفحه تقارن عرضی گلخانه و در ارتفاع ۱ متری از کف برای دو طرح اول و سوم

۸-۴- مدل سازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح چهارم

در این طرح، نیز اثرات ناشی از تابش خورشید بر روی هوای داخل گلخانه در نظر گرفته شده با این تفاوت که در این طرح نسبت به طرح قبلی اختلاف فشار فن‌ها تغییر کرده و برابر با ۱۰۰ پاسکال است. در شکل (۱۵) خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه نشان داده شده است. مطابق شکل و با توجه به محدوده دمای مناسب پرورش گیاهان در روز در گلخانه، که بین ۲۸۹/۱ تا ۳۰۳/۱ کلوین می‌باشد، مشاهده می‌شود که این طرح می‌تواند میدان دمایی مناسبی را با فاصله گرفتن از دریچه‌های جانبی جهت رشد گیاهان ارائه دهد. در شکل (۱۶) مقایسه‌ای بین تغییرات دما در طول سالن، روی صفحه تقارن عرضی سالن و در ارتفاع ۱ متری از کف برای دو طرح دوم و چهارم ارائه شده است. بر اساس این شکل، در طرحی که در آن اثرات ناشی از تابش خورشید بر روی دمای هوای داخل گلخانه در نظر گرفته شده میانگین دمای هوا در طول گلخانه از ابتدا تا انتهای سالن به میزان ۴/۱ کلوین افزایش یافته است.



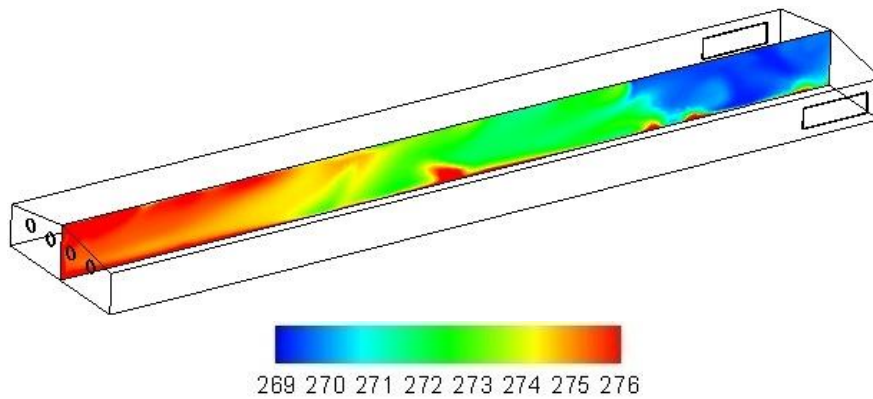
شکل ۱۵- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح چهارم



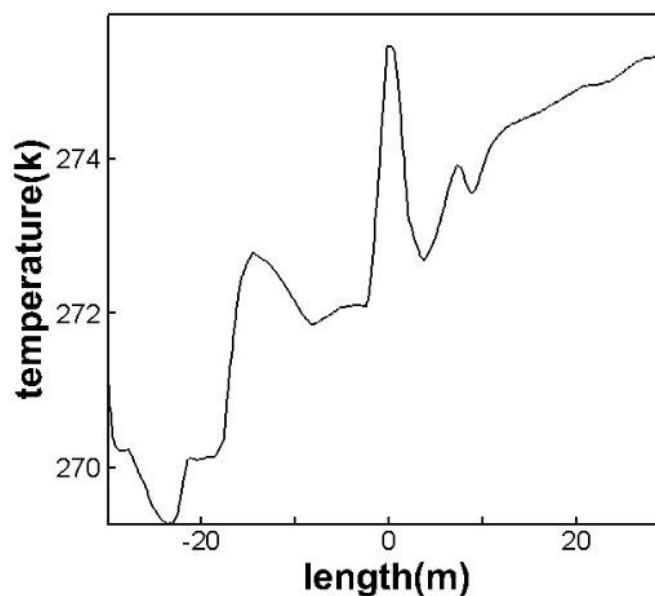
شکل ۱۶- مقایسه تغییرات دما در طول گلخانه، روی صفحه تقارن عرضی و در ارتفاع ۱ متری از کف برای دو طرح دوم و چهارم

۸-۵- مدل سازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح پنجم

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه سازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح پنجم آورده خواهد شد. در شکل (۱۷) خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی سالن آورده شده است. بر طبق این شکل، دمای هوای داخل سالن با فاصله گرفتن از دریچه های جانبی افزایش یافته اما این افزایش به علت دمای پایین هوای ورودی از دریچه های جانبی ناچیز می باشد. شکل (۱۸) تغییرات دما در جهت طول مدل روی صفحه تقارن عرضی گلخانه در ارتفاع ۱ متری از کف را نشان می دهد. با توجه به این شکل دمای هوا در ابتدای سالن تقریباً ۲۷۰/۲ کلوین بوده و در انتهای سالن تحت تاثیر فعالیت سیستم گرمایش قرار گرفته و به دمای ۲۷۵/۱ کلوین رسیده است. این مقدار از محدوده دمایی مناسب برای پرورش گیاهان گلخانه ای در شب، که بین ۲۸۳/۱ تا ۲۹۵/۱ کلوین است، کمتر است. بر اساس مطالب مذکور می توان نتیجه گرفت که در این طرح سیستم گرمایش نتوانسته نیازهای دمایی برای رشد گیاهان در دوره شبانه در گلخانه را تامین کند.



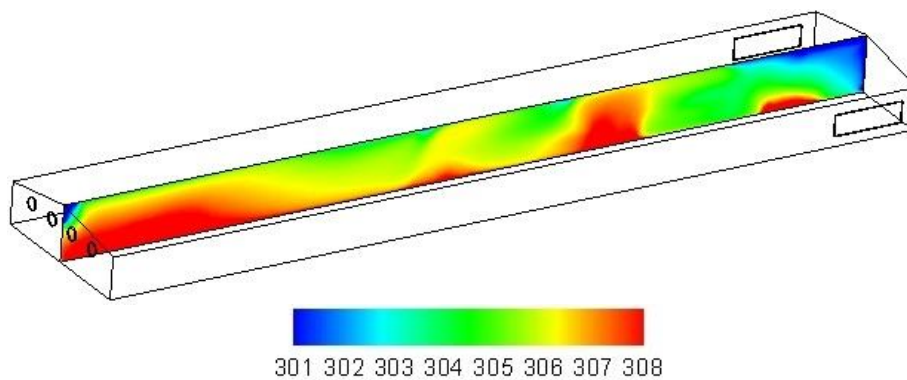
شکل ۱۷- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح پنجم



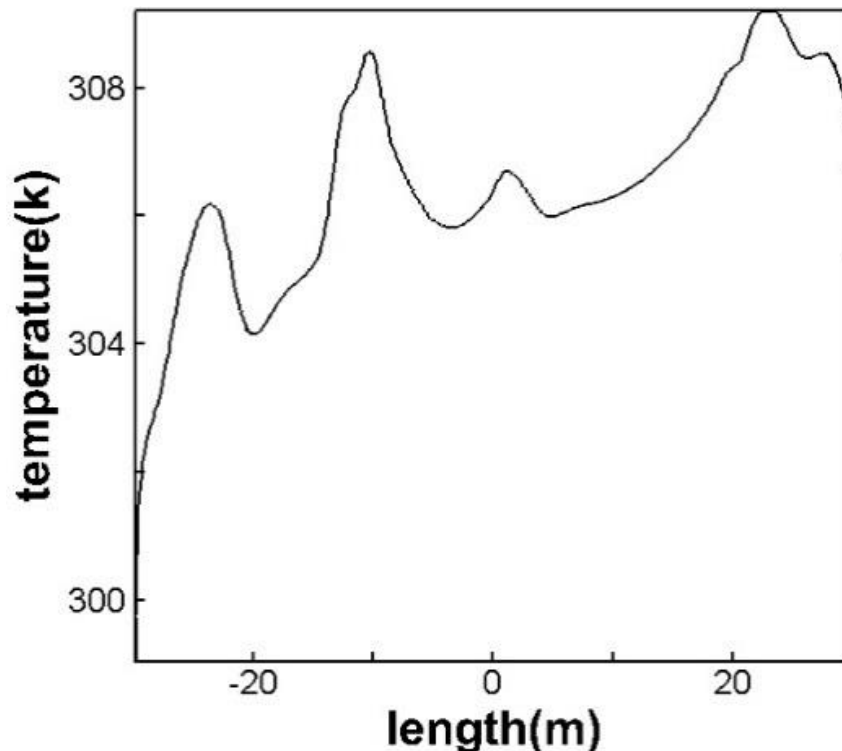
شکل ۱۸- تغییرات دما در طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی گلخانه و در ارتفاع ۱ متری از کف در طرح پنجم

۸-۶- مدلسازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح ششم

در این طرح، به منظور افزایش دمای سالن دریاچه‌های جانبی گلخانه در طول شبیه‌سازی به صورت بسته در نظر گرفته شده‌اند. شکل (۱۹) خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی سالن را نشان می‌دهد. بر طبق این شکل، دمای هوای در ابتدای گلخانه به دلیل وجود اتلاف حرارتی از دیوار جلویی مدل به محیط بیرون کم‌تر و در میانه سالن بیشتر است. همچنین با توجه به شکل (۲۰) که تغییرات دما در جهت طول گلخانه را نمایش می‌دهد، دمای هوا در نزدیکی دیوار ابتدایی ۳۰۲ کلوین بوده و در انتهای سالن به مقدار ۳۰۸ کلوین می‌رسد. این مقدار از محدوده دمایی مناسب برای پرورش گیاهان گلخانه‌ای در شب، که بین ۲۸۳/۱ تا ۲۹۵/۱ کلوین است، بیشتر و در نتیجه این طرح مناسبی نمی‌باشد.



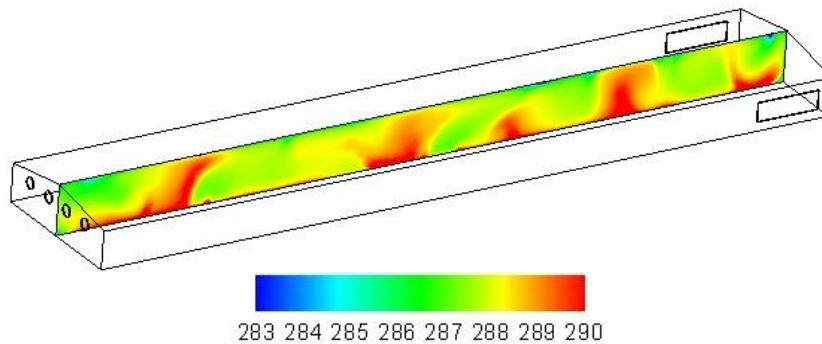
شکل ۱۹- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح ششم



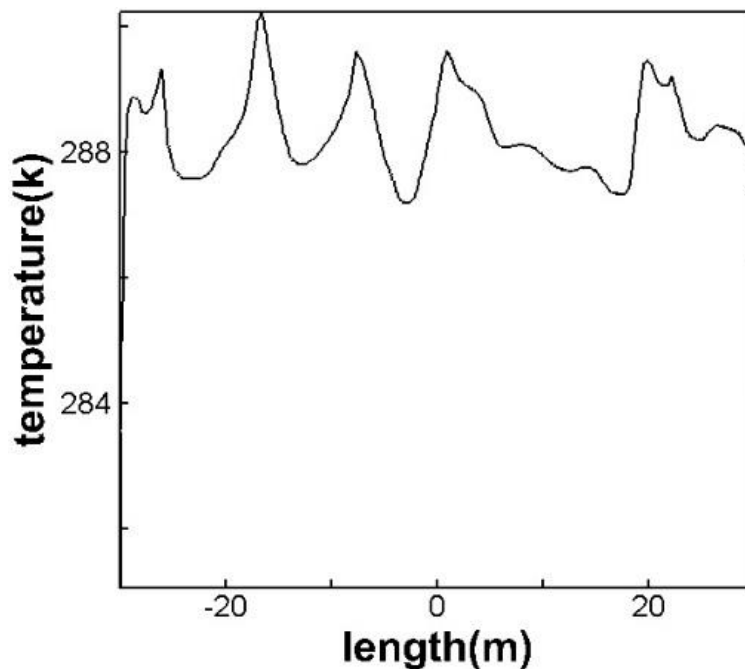
شکل ۲۰- تغییرات دما در طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی سالن در ارتفاع ۱ متری از کف در طرح ششم

۸-۷- مدلسازی میدان جریان و تغییرات دما در طرح هفتم

در این طرح، در جهت به دست آوردن محدوده دمایی مناسب، دریچه‌های جانبی گلخانه در طول مدلسازی بسته شده و دمایی کف سالن نسبت به طرح ششم کاهش یافته است. در شکل (۲۱) خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه ارائه شده است. بر اساس این شکل دمایی هوای داخل در ابتدای سالن و در نزدیکی فن‌ها کم‌تر و در میانه سالن بالاتر است. در شکل (۲۲) تغییرات دما در طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی مدل در ارتفاع ۱ متری از کف نشان داده شده است. بر طبق این شکل، دمایی هوا در داخل سالن بین ۲۸۷/۱ کلوین تا ۲۹۰/۱ کلوین بوده که این مقدار در محدوده دمایی مناسب گلخانه در شب، که بین ۲۸۳/۱ تا ۲۹۵/۱ کلوین است، قرار داشته و جهت پرورش گیاهان در دوره شبانه در فصل زمستان مناسب است.



شکل ۲۱- خطوط همتراز دما در صفحه تقارن عرضی گلخانه برای طرح هفتم



شکل ۲۲- تغییرات دما در طول گلخانه روی صفحه تقارن عرضی گلخانه در ارتفاع ۱ متری از کف در طرح هفتم

۸-۸- گیاهان قابل کشت در شرایط آب و هوایی گلخانه مورد مطالعه

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های (۱۶) و (۲۲)، که حاصل از شبیه‌سازی میدان جریان و دمای گلخانه در دو دوره روزانه و شبانه برای دو طرح چهارم و هفتم بودند، این دو طرح مناسب‌ترین شرایط را جهت کشت محصولات گلخانه‌ای دارند. تعدادی از گیاهان قابل کشت در شرایط دمایی حاصل از این دو طرح در جدول (۵) جهت بهره‌برداری در کاربری‌های کشاورزی، آورده شده‌است.

جدول ۵- برخی از گیاهان قابل کشت در شرایط آب و هوایی گلخانه‌های مورد مطالعه در طرح چهارم و هفتم

نوع گیاه	مرحله کشت	محدوده دمایی به دست آمده از شبیه‌سازی جریان بر حسب کلوین		محدوده دمایی مناسب پرورش گیاه بر حسب کلوین	
		دوره روزانه	دوره شبانه	دوره روزانه	دوره شبانه
خیار گلخانه‌ای	رشد	۳۰۱/۱-۲۹۰/۱	۲۹۰/۱-۲۸۷/۱	۳۰۵/۱-۲۹۱/۱	۲۹۹/۱-۲۸۵/۱
گلایل				۳۰۲/۱-۲۸۴/۱	۲۹۶/۱-۲۸۴/۱
گوجه فرنگی				۳۰۱/۱-۲۸۹/۱	۲۹۴/۲۸۶-۱/۱
هویج				۳۰۱/۱-۲۸۹/۱	۲۹۳/۱-۲۸۵/۱

۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی میدان جریان و توزیع دما در شرایط مختلف از جمله تغییر در اختلاف فشار ایجاد شده در فن‌ها و لحاظ و عدم لحاظ بار حرارتی ناشی از تابش خورشید در یک گلخانه شیشه‌ای پرداخته شده‌است. همچنین چگونگی تنظیم شرایط محیط گلخانه در شب با باز و بسته کردن دریچه‌های جانبی و کم و زیاد کردن دمای کف سالن مطالعه شده‌است. برطبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، در طرح اول نسبت به طرح دوم، آسفتگی و نرخ اختلاط جریان بالاتر و در نتیجه و در نتیجه توزیع کمیت‌هایی مانند رطوبت و دما می‌تواند همگن‌تر باشد که این مسئله در پیشگیری از تجمع مقدار زیادی رطوبت در نزدیکی سطح گیاه و عدم رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها، کنترل بیماری‌ها و حفظ سلامت گیاهان گلخانه‌ای بسیار حائز اهمیت است. بنابراین با توجه به مورد ذکر شده افزایش مکش فن‌ها و تهویه گلخانه، شرایط محیط داخلی را با وجود به جریان انداختن بیشتر هوا در گلخانه، بهبود نمی‌دهد. به علاوه در این طرح دمای بالاتری در سالن وجود داشته و بنابراین تغییر دمایی حاصل از عملکرد سیستم گرمایش از کف محسوس‌تر بوده و به طور کلی شرایط محیط داخلی در این طرح نسبت به طرح اول مساعدتر است.

با اضافه کردن اثرات تشعشع به طرح اول و دوم، میانگین دمای هوای داخل سالن در طول گلخانه، بر روی صفحه تقارن طولی مدل در سطح کشت گیاهان به ترتیب به میزان ۲/۵ و ۴/۱ کلوین افزایش یافت که این

علاوه بر نشان دادن تاثیر انتقال حرارت تشعشع در بالا بردن دمای هوای درون سالن، نمایانگر افزایش بیشتر دمای هوای گلخانه متأثر از این تشعشع با کم کردن تهویه سالن می‌باشد. در واقع با تکیه بر نتیجه فوق می‌توان بیان کرد که با کم کردن میزان اختلاف فشار ایجادی توسط فن‌ها اثر گرمایشی بار حرارتی ناشی از تابش خورشید در گرم کردن هوای سالن بیشتر شده و حدوداً ۲۰ درصد یعنی یک پنجم از حرارت مورد نیاز گلخانه جهت پرورش گیاهان در فصل زمستان از این راه تامین می‌شود. همچنین طرح چهارم محدوده دمایی مناسبی را جهت پرورش گیاهان در گلخانه ارائه داده و در نتیجه جهت تولید محصولات در خارج از فصل در دوره روزانه مناسب است.

در شبیه‌سازی‌های مرتبط با شرایط شبانه گلخانه نیز، فعالیت سیستم گرمایش از کف با دمای کف ۳۴۸/۱ کلوین در طرح پنجم به علت دمای پایین هوای ورودی از دریچه‌های جانبی نتوانست نیازهای دمایی برای رشد گیاهان در دوره شبانه در گلخانه را تامین کند. از طرفی در طرح ششم که تنها در بستن دریچه‌های جانبی با طرح پنجم تفاوت دارد نیز دمای هوای داخل سالن از محدوده دمایی مناسب برای پرورش گیاهان گلخانه‌ای در شب که بین ۲۸۳/۱ تا ۲۹۵/۱ کلوین است، بالاتر می‌رود. لیکن با کم کردن دمای کف سالن در طرح هفتم دمای هوا با حرکت در طول گلخانه و تحت تاثیر فعالیت سیستم گرمایش از کف به محدوده دمایی مناسب گلخانه در شب رسیده خواهد شد و در نتیجه این طرح جهت پرورش گیاهان در شرایط شبانه زمستانی در گلخانه مناسب است. مبتنی بر مطالعات صورت گرفته، می‌توان بیان کرد که در صورت تنظیم مناسب شرایط سایر تجهیزات گلخانه‌ای، سیستم گرمایش از کف می‌تواند عملکردی مناسب در جهت ایجاد جریانی یکنواخت و تامین حرارت کافی برای پرورش محصولات گلخانه‌ای ارائه دهد.

مراجع

[1] J. Businger, "De Invloed van Raamstanden op de Ventilatie van Kassen," *Tuinbouw (Neth.)*, Vol. 17, pp. 897-903, 1954, doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.406.4>.

[2] M. OKADA and T. TAKAKURA, "Guide and Data for Greenhouse Air Conditioning 3. Heat Loss due to Air Infiltration of Heated Greenhouse," *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol. 28, No. 4, pp. 223-230, 1973. doi: <https://doi.org/10.2480/agrmet.28.223>.

[3] G. P. Bot, *Greenhouse Climate: from Physical Processes to a Dynamic Model*. Wageningen University and Research, 1983.

[4] T. De Jong, *Natural Ventilation of Large Multi-span Greenhouses*. Wageningen University and Research, 1990.

- [5] T. Boulard, B. Draoui, and F. Neirac, "Calibration and Validation of a Greenhouse Climate Control Model," In *II IFAC/ISHS Workshop: Mathematical & Control Applications in Agriculture & Horticulture 406*, 1994, pp. 49-62.
- [6] A. Rouboa and E. Monteiro, "Computational Fluid Dynamics Analysis of Greenhouse Microclimates by Heated Underground Tubes," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 21, pp. 2196-2204, 2007. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03177480>.
- [7] N. Tadj, T. Bartzanas, D. Fidaros, B. Draoui, and C. Kittas, "Influence of Heating System on Greenhouse Microclimate Distribution," *Transactions of the ASABE*, Vol. 53, No. 1, pp. 225-238, 2010. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.29498>.
- [8] R. Nebbali, J. Roy, and T. Boulard, "Dynamic Simulation of the Distributed Radiative and Convective Climate within a Cropped Greenhouse," *Renewable Energy*, Vol. 43, pp. 111-129, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.12.003>.
- [9] N. Couto, A. Rouboa, E. Monteiro, and J. Viera, "Computational Fluid Dynamics Analysis of Greenhouses with Artificial Heat Tube," 2012. doi: <https://doi.org/10.4236/wjm.2012.24022>.
- [10] X.-w. WANG, J.-y. LUO, and X.-p. LI, "CFD Based Study of Heterogeneous Microclimate in a Typical Chinese Greenhouse in Central China," *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 12, No. 5, pp. 914-923, 2013. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60309-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60309-3).
- [11] J. Flores-Velazquez, J. I. Montero, E. J. Baeza, and J. C. Lopez, "Mechanical and Natural Ventilation Systems in a Greenhouse Designed using Computational Fluid Dynamics," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-16, 2014.
- [12] T. Boulard, J.-C. Roy, J.-B. Pouillard, H. Fatnassi, and A. Grisey, "Modelling of Micrometeorology, Canopy Transpiration and Photosynthesis in a Closed Greenhouse using Computational Fluid Dynamics," *Biosystems Engineering*, Vol. 158, pp. 110-133, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.001>.
- [13] Y. Jia, C. Wang, C. Zhang, and W. Li, "Numerical Modelling of Radiation-convection Coupling of Greenhouse using Underfloor Heating," *Open Journal of Fluid Dynamics*, Vol. 7, No. 3, pp. 448-461, 2017. doi: <https://doi.org/10.4236/ojfd.2017.73030>.
- [14] M. Dhiman, V. Sethi, B. Singh, and A. Sharma, "CFD Analysis of Greenhouse Heating using Flue Gas and Hot Water Heat Sink Pipe Networks," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 163, p. 104853, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104853>.
- [15] M. Modest, "Radiative Heat Transfer. 2nd Edition," 2003. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-012503163-9/50023-0>.
- [16] M. Modest, "Radiative Heat Transfer. Academic Press.," 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386944-9.50023-6>.

[17] M. Missaghi, "Mathematical Modelling of Chemical Sources in Turbulent Combustion," ed: The University of Leeds, Leeds, UK, 1987.

[18] M. Abderrahman, B. Abdelaziz, and O. Abdelkader, "CFD Modeling of an Even-span Greenhouse Dryer under Natural and Forced Convection Modes," In *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, Vol. 2022, No. 1: IOP Publishing, p. 012030. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012030>.

Numerical Study of the Heating System and Solar Radiation Effects on Temperature Variations in a Greenhouse with Glass Walls in Winter

*Corresponding author: **Mohammad Kazem Moayyedi**

Associate Professor, CFD Turbulence and Combustion Research Laboratory,
Department of Mechanical Engineering, University of Qom, Iran
moayyedi@qom.ac.ir

Farzane Lotfi

M.Sc. Student, CFD Turbulence and Combustion Research Laboratory,
Department of Mechanical Engineering, University of Qom, Iran
Fari73.lotfi@gmail.com

Vahid Azaditalab

Research Assistant, CFD Turbulence and Combustion Research Laboratory,
Department of Mechanical Engineering, University of Qom, Iran
vahid.azadi.talab@stu.qom.ac.ir

Abstract

In some places with hard winters, the heat from sunlight and stored in the soil may not be enough to heat the greenhouse. In such a situation, the additional heat needed must be provided by heating systems. The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of the heating system in a glass greenhouse with side air vents and mechanical fans in both night and day periods. In this study, seven different greenhouse designs have been investigated in two periods, day and night. In the daily period, by changing the pressure of the fans, tried to obtain the best condition for providing the appropriate temperature in the greenhouse. Also, in this period, the effect of sunlight on the flow field and temperature changes inside the hall were also investigated. In the night period, the amount of temperature changes by opening and closing the side valves and changing the temperature of the hall floor has been studied. The results of the research show that a greenhouse with a pressure difference of 100 pascal during the day and a greenhouse with a floor temperature of 323.15 K and side vents closed at night have more suitable conditions for growing plants in the off-season.

Keywords: Greenhouse, Computational fluid dynamics, Radiative heat transfer, Temperature distribution