

مطالعه توزیع مسیر جریان و دما در گلخانه های بیضوی طولی با استفاده از دینامیک سیالات

محاسباتی

بهزاد خواجهی^{۱*}، فاروق شریفیان^۲، علی محمد نیکبخت^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: behzad_tab96@yahoo.com

چکیده

گلخانه‌های خورشیدی هم در مقیاس کوچک و هم در مقیاس بزرگ و تجاری، طراحی و ساخته شده و بسیاری از این طرح‌ها موفق بوده‌اند. با مطالعه انواع طرح‌های مختلف و هزینه‌ی ساخت آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که اگر بدون افزایش فاحشی در هزینه ساخت گلخانه‌ها، روشی برای کاهش اتلاف حرارتی در شب‌های سرد پیدا شود، تعداد بیشماری از گلخانه‌های خورشیدی طراحی و ساخته خواهند شد و کاربرد وسیعی در آینده در سطح کشور پیدا خواهند نمود. در این مطالعه ابتدا مدل هندسی گلخانه موردنظر در نرم‌افزار پیش پردازش گمبیت کشیده شد. بعد از مش‌بندی و اعمال شرایط مرزی مطلوب در فرمت msh به نرم‌افزار انسیس فلونت منتقل گردید. نرم‌افزار انسیس فلونت از توانایی بالایی برای شبیه‌سازی مسیر جریان سیالات و تبادلات حرارتی حین تهویه برخوردار است. برای شبیه‌سازی از مدل اغتشاشی $k-\epsilon$ بهره گرفته شد. سپس برای درک شرایط کلی نتایج در قالب نمودارها و ترسیمه‌های گرافیکی آورده شد. مشخص گردید که دینامیک سیالات محاسباتی از پتانسیل بالایی برای شبیه‌سازی محیط‌های بسته همچون گلخانه‌ها برخوردار است.

کلمات کلیدی: گلخانه، شبیه‌سازی، انسیس فلونت، گمبیت، مش‌بندی

مقدمه

تلاش برای کاهش اثرات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی و افزایش تقاضای انرژی در جهان، انگیزه‌ای برای پژوهش در مورد استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر بوده است (Adaramola, 2012). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، انرژی خورشیدی، جایگاه مهمی را در میان منابع انرژی جایگزین به خود اختصاص داده است. یکی از کاربردهای مهم انرژی خورشیدی در فن‌آوری‌های جدید، استفاده از آن در صنعت گلخانه است. در کشت گلخانه‌ای، انرژی خورشیدی نه تنها سبب فتوسنتز در گیاهان می‌گردد، بلکه



اجازه می‌دهد تا گیاهان در طول ماه‌های سرد با استفاده از اثر گلخانه‌ای گرم شوند. در آب و هوای سرد، مصرف سوخت فسیلی برای گرمایش گلخانه‌ای بیش از ۵۰٪ انرژی کل سالانه مورد استفاده در گلخانه در نظر گرفته می‌شود. مشخص شده است که میزان انرژی حرارتی مورد نیاز یک گلخانه، به تابش خورشیدی که در داخل گلخانه دریافت می‌شود، بستگی دارد (Sethi and Sharma, 2007).

مطالعات قابل توجهی در روش‌های مختلف گرمایش گلخانه‌ای انجام شده است (Pucar, 2002; Kurklu and Bilgin; Ghosal and Tiwari, 2006; Abdel-Ghany and Al-Helal, 2011; Zhao *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014; Joudi and Farhan, 2014; ELkhadraoui *et al.*, 2015). این مطالعات برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه توسط یک یا ترکیبی از این روش‌ها صورت گرفته است: افزایش در دسترس بودن تابش خورشیدی در داخل گلخانه، کاهش اتلاف انرژی به محیط زیست و افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی. در تحقیقی عملکرد حرارتی یک دیوار شمالی ساخته شده با مواد تغییر فاز (PCM) به عنوان یک ماده ذخیره‌ساز انرژی در گلخانه شرقی - غربی مورد مطالعه قرار گرفته است (Berroug *et al.*, 2011). آن‌ها مدلی را بوسیله معادلات تعادل انرژی برای اجزای مختلف یک گلخانه به منظور تاثیر PCM در دما و رطوبت گلخانه بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد PMC در دیوار گلخانه می‌تواند دمای داخل گلخانه را افزایش دهد. در تحقیقی دیگر گرمایش گلخانه با استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر مطالعه شد و از بیوگاز، انرژی خورشیدی و پمپ حرارتی با منبع انرژی زمین گرمایی استفاده گردید. نتایج تجربی نشان داد که سیستم طراحی شده می‌تواند برای گرمایش گلخانه در مناطق شرق و جنوب شرق ترکیه استفاده شود (Esen and Yuksel, 2015). در مطالعه‌ای دیگر، استفاده بالقوه از یک سیستم آب خورشیدی برای گرمایش گلخانه-ای در طول سردترین دوره از سال مورد بررسی قرار گرفت. سیستم گرمایش از کالکتور صفحه تخت، مخزن ذخیره‌سازی و پمپ-های چرخشی تشکیل شده بود. نتایج نشان داد که این سیستم می‌تواند نیازهای گرمایشی گلخانه‌های بزرگ را مرتفع سازد، اما برای گلخانه‌ای کوچک رضایت‌بخش نبود (Attar and Farhat, 2015).

تابش خورشیدی کل دریافت شده توسط یک گلخانه بستگی به شکل و جهت‌گیری آن دارد. برخی از مطالعات به بررسی ساختار گلخانه، طراحی بهینه و جهت احداث گلخانه برای حداکثر جذب انرژی خورشیدی پرداخته است. (Pieters and Deltour, 2015). پیترز و دلتور گزارش دادند که بهره‌وری از انرژی خورشیدی در گلخانه به طور عمده به موقعیت و شکل هندسی گلخانه بستگی دارد. در مطالعه‌ای دیگر که در ترکیه انجام شده است، ویژگی‌های ساختاری و عملکردی برخی گلخانه‌ها بررسی شده‌اند. نتایج مطالعه نشان داد که ساخت گلخانه در جهت شرق - غرب (E-W) راندمان بهره‌وری از انرژی خورشیدی را افزایش می‌دهد (Kendirli, 2006). در تحقیقی دیگر پنج فرم متداول گلخانه‌های مناطق سردسیری شامل، گلخانه بیضوی، الونکی متقارن و نامتقارن، نیمه دایره‌ای و تاکستانی از نظر میزان نرخ جذب تابش خورشیدی مقایسه شدند. این محققین با توجه به جذب حداکثری، بهترین نسبت طول به عرض گلخانه و زاویه آزیموس را برای فرم‌های مختلف پیشنهاد نمودند. همچنین نتیجه گرفتند که گلخانه



با فرم بیضوی بیشترین نرخ جذب تابشی را در بین فرم‌های مورد مطالعه دارد. آنها گزارش دادند که نوع بیضوی، نوع مطلوب در منطقه مورد مطالعه است. همچنین شکل و نوع سقف پارامترهای اصلی مؤثر برای به دست آوردن آهنگ جذب انرژی خورشیدی بودند (Cakir and Sahin, 2015). میزان تابش خورشیدی دریافتی سطح گلخانه‌های بیضوی مورد مطالعه قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی جهت طراحی سیستم‌های تهویه با روش‌های نوین دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و به کمک نرم‌افزارهای انسیس فلونت^۱، کامسول^۲ و انرژی پلاس^۳ صورت گرفته است. دینامیک سیالات محاسباتی یک تکنیک شبیه‌سازی کارآمد است که می‌تواند در حل معادلات مربوط به فشار، دما و سرعت مایع استفاده شود. کاربرد این تکنیک در زمینه‌های کشاورزی، هوا فضا، شیمی، هیدرودینامیک و غیره عملی شده است. کاربرد روش CFD در صنعت کشاورزی روز به روز اهمیت پیدا می‌کند. در سال‌های گذشته، تنوع، تطبیق‌پذیری، دقت و کاربرد آسان این روش، محققان علوم مهندسی کشاورزی را به استفاده از آن جذب کرده است. به همین خاطر امروزه روش CFD مرتباً برای حل مسائل مربوط به عوامل محیطی گلخانه‌ها و تاسیسات کشاورزی مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرد. (Norton et al. 2007). مدل‌سازی ریاضی فعل و انفعالات بین سیستم‌های تولید متمرکز (گلخانه، ...)، سیستم تهویه و محیط بیرون یک امر ضروری محسوب می‌شود. مزیت این مدل‌سازی‌ها در سیستم‌های کشاورزی نسبت به سایر روش‌ها عبارتند از: ۱- نیازهای ضروری برای افزایش تولید در سیستم‌های کشاورزی را تعیین کرده و راهکارهای بهینه را پیشنهاد می‌کند، ۲- پارامترهای دخیل در ایجاد آلاینده‌گی را تعیین و کنترل این پارامترها را می‌تواند انجام دهد (Norton et al. 2007). نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند انسیس فلونت، کامسول، انرژی پلاس و سایر نرم‌افزارهای مربوط به انرژی در سال‌های اخیر برای مطالعه دقیق جریان‌های طبیعی و اجباری هوا در داخل فضای ساختمان‌ها، سالن‌های مرغداری، گلخانه‌ها، داخل کانال‌ها و دستگاه‌های مختلف تهویه مطبوع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اکثر این نرم‌افزارها بر پایه‌ی حل معادلات ناویر-استوکس، معادلات انرژی، معادلات بقای جرم و غلظت‌ها و همچنین حل معادلات دیفرانسیل برای مدل‌سازی پدیده‌هایی مانند اغتشاش و تابش عمل می‌کنند.

در این مطالعه مدل‌سازی و شبیه‌سازی گلخانه انجام گرفته و سپس مش‌بندی و اعمال شرایط مرزی صورت گرفته و توزیع مسیر جریان و دما در گلخانه‌های بیضوی طولی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی تحلیل و بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

محاسبات دینامیکی سیال راه حل تئوری جهت بررسی و پیش‌بینی عملکرد سیستم‌هایی است که درگیر جریان سیال، انتقال انرژی و دیگر پدیده‌های ترمودینامیکی می‌باشند. این محاسبات با شبیه‌سازی کامپیوتری همراه می‌باشند. تکنیک CFD، معادلات

¹ Ansys Fluent

² Comsol

³ Energy Plus

پیوستگی جرم، مومنتوم و انرژی روی یک دامنه که توسط کاربر مشخص می‌شود، را حل می‌نمایند. این تکنیک بسیار قوی بوده و محدوده‌ی بزرگی از کاربردهای صنعتی و کشاورزی را در برمی‌گیرد. قوانین حاکم بر جریان سیال در هر نوع جریان و هر نوع هندسه، عبارتند از:

قانون بقای جرم یا معادله پیوستگی

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = s_m \quad (1)$$

قانون بقای مومنتوم

$$\rho + \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla P + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

قانون بقای انرژی

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + P)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau} \vec{v}) \right) + S_h \quad (3)$$

P : فشار ثابت (Pa)، ρ : چگالی (kgm^{-3})، S_m : منشا جرم (kgm^{-3})، τ : تانسور تنش (Pa)، E : انرژی کل (J)، k_{eff} : ضریب انتقال حرارت، h : آنتالپی ویژه (Jkg^{-1})، J : مولفه‌ی شار پخش ($\text{kgm}^{-2}\text{S}^{-1}$)، S_h : آنتروپی کل (JK^{-1}) می‌باشد

انواع گلخانه‌های رایج خورشیدی از نقطه نظر طراحی شامل انواع زیر می‌باشند که شماتیک آنها در شکل (۱) نشان داده شده است:

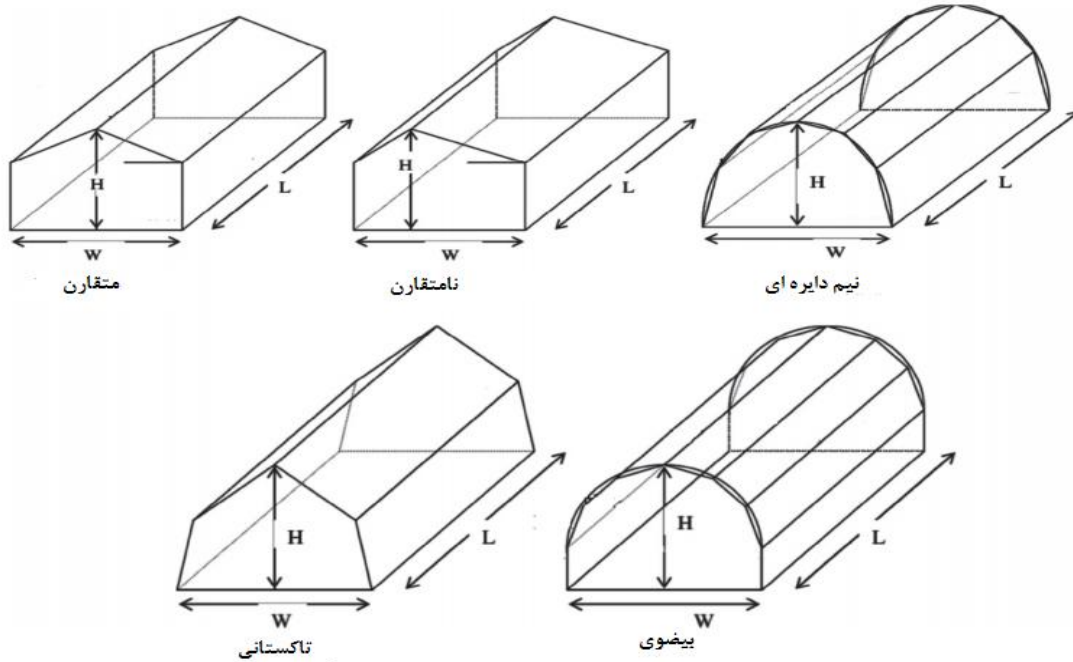
گلخانه متقارن (Even-span)

گلخانه نامتقارن (Uneven-span)

نیم دایره‌ای (Semi-circular)

تاکستانی (Vinery)

بیضوی (Elliptic)



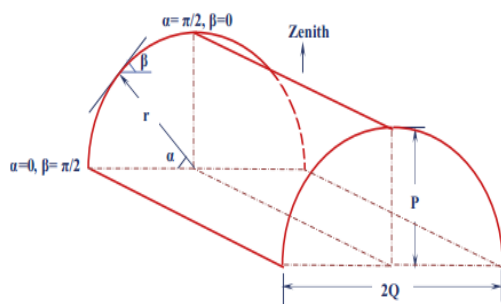
شکل ۱: طرح‌های مختلف گلخانه‌های خورشیدی رایج

در این تحقیق مدل‌سازی و طراحی گلخانه‌های خورشیدی بیضوی طولی مدنظر بوده است و اصول طراحی آنها ذکر می‌گردد.

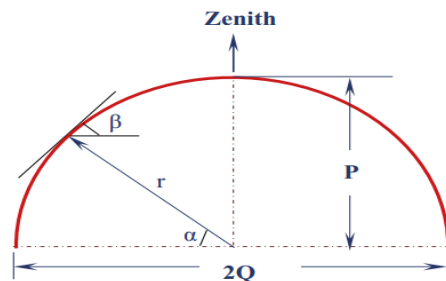
شکل‌های ۲ و ۳ طرح‌های ممکن از سطح منحنی بیضوی در سیستم مختصات قطبی را نشان می‌دهند. در گلخانه‌های بیضوی طولی رابطه بین شعاع (r) شکل بیضی و زاویه α به صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$r = \frac{PQ}{\sqrt{P^2 \cos^2 \alpha + Q^2 \sin^2 \alpha}} = \frac{P}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} \quad (4)$$

که در آن Z نسبت ابعاد تعریف شده به عنوان $Z=P/Q$ می‌باشد.



شکل ۳: روابط بین ابعاد گلخانه خورشیدی



شکل ۲: ابعاد گلخانه خورشیدی بیضوی در مختصات قطبی



با دیفرانسیل گیری از معادله تحلیلی بیضی و انتقال از مختصات کارترین به قطبی، شیب سطح منحنی بیضوی در هر موقعیت α نشان دهنده‌ی زاویه انحراف β می‌باشد که پس از ساده‌سازی با رابطه (۵) بیان می‌شود.

$$\beta = \tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha) \quad (۵)$$

تابش پرتو بر روی سطح منحنی بیضوی یکسان نیست، زیرا شیب سطح β با زاویه α به شیوه‌ای بر اساس معادله (۵) تغییر می‌کند. گلخانه نیمی از بیضی است (اگر $Z = 1$ باشد، نیم دایره خواهد بود) و دارای دو زاویه سمتی (γ_1 و γ_2) برای سطوح مطابق $|\gamma_1| + |\gamma_2| = 180^\circ$ ، با علامت مخالف از هر دوی γ_1 و γ_2 است. به همین دلیل، تابش منتقل شده‌ی متوسط روی سطح منحنی می‌تواند با انتگرال گیری به صورت رابطه (۶) بدست آید.

$$\bar{G}_b = \left[\frac{\int_0^{\pi/2} \tau_{gb} G_{bn} r \cos \theta d\alpha}{\int_0^{\pi/2} r d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_1} + \left[\frac{\int_{\pi/2}^{\pi} \tau_{gb} G_{bn} r \cos \theta d\alpha}{\int_0^{\pi/2} r d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_2} \quad (۶)$$

در رابطه $\tau_{gb}(\theta)$ قابلیت انتقال مواد شفاف و تابعی از زاویه برخورد θ است. زاویه θ ، زاویه برخورد تابش پرتو به سطح شیبدار در شرایط انحراف δ ، عرض ϕ ، شیب سطح β ، سمت (زاویه) سطح γ و زاویه ساعت Ω است، روابط بین زوایا در معادلات (۷) و (۸) بیان شده است:

$$\cos \theta = M \cos \beta + N \sin \beta \quad (۷)$$

که در آن

$$M = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \Omega$$

$$N = \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \Omega - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \gamma \sin \Omega \quad (۸)$$

$$\tau_{gb} = 2.642 \times \cos \theta - 2.163 \times \cos^2 \theta - 0.32 \times \cos^3 \theta + 0.719 \times \cos^4 \theta$$

در معادلات بالا، زاویه ϕ در نیمکره شمالی مثبت و در نیمکره جنوبی منفی است. زاویه‌ی γ از جهت جنوب اندازه‌گیری شده است. مقدار $\gamma = 0.0$ برای جهت جنوب می‌باشد. علامت γ با جهت شرق منفی و برای جهت غرب مثبت است. زاویه ساعت Ω در صبح منفی و در بعد از ظهر مثبت است.

با جایگزینی معادلات (۵، ۷ و ۸) در معادله (۶) خواهیم داشت:

$$\bar{G}_b = \left[\frac{G_{bn} \int_0^{\pi/2} \tau_{gb} \frac{M \cos[\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)] N \sin[\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)]}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_1} \quad (9)$$

$$+ \left[\frac{G_{bn} \int_{\pi/2}^{\pi} \tau_{gb} \frac{M \cos[\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)] N \sin[\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)]}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_2}$$

در معادلات بالا، تابش پرتو G_{bn} با توجه به زاویه ساعت ثابت است.

در این تحقیق از مدل های آسمان همسانگرد برای تخمین تابش منتشر شده استفاده شد. مدل های آسمان همسانگرد مدل های ساده ای هستند که به صورت یک توضیح یکنواخت از تابش منتشر شده بر روی گنبد آسمان فرض می شود و بخش های درخشان افقی و دور خورشید گردنده صفر در نظر گرفته می شوند. بر اساس مدل ساده از آسمان همسانگرد، تابش همسانگرد بر روی سطح شیبدار G_{dt} می تواند طبق رابطه زیر به دست آید:

$$G_{dt} = \tau_{gd} G_{dn} [1 + \cos \beta] \quad (10)$$

$\tau_{gb}(\beta)$ قابلیت انتقال پوشش شفاف و تابعی از زاویه سطح شیبدار β است و می تواند به صورت رابطه زیر بیان شود:

$$\tau_{gb} = 0.667 - 2.05 \times 10^{-3} \beta - 2.03 \times 10^{-5} \beta^2$$

$$\beta(\text{deg}) = 0.667 - 2.05 \times 10^{-3} \tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha) - 2.03 \times 10^{-5} (\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha))^2 \quad (11)$$

با جایگذاری معادله (۱۱) در معادله (۱۰) رابطه (۱۲) حاصل خواهد شد.

$$\bar{G}_{dc} = \left[\frac{G_{dn} \int_0^{\pi/2} \tau_{gb} \frac{(1 + \cos(\beta))}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_1} + \bar{G}_{dc} = \left[\frac{G_{dn} \int_{\pi/2}^{\pi} \tau_{gb} \frac{(1 + \cos(\beta))}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_{\pi/2}^{\pi} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_2} =$$

$$\left[\frac{G_{dn} \int_0^{\pi/2} \tau_{gb} \frac{(1 + \cos(\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)))}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_1} + \bar{G}_{dc} = \left[\frac{G_{dn} \int_{\pi/2}^{\pi} \tau_{gb} \frac{(1 + \cos(\tan^{-1}(Z^2 \cot \alpha)))}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha}{\int_{\pi/2}^{\pi} \frac{1}{\sqrt{Z^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}} d\alpha} \right]_{\gamma=\gamma_2} \quad (12)$$

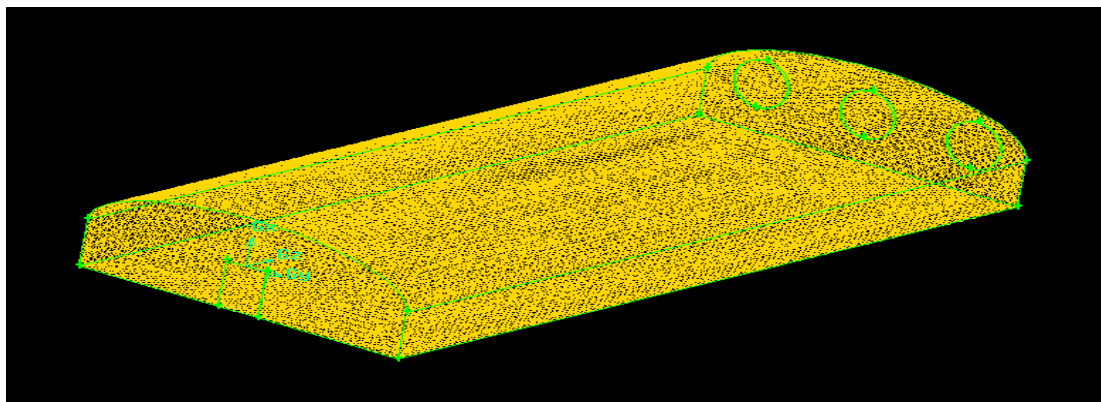
انرژی خورشیدی کل منتقل شده روی سطح منحنی از پوشش پلی اتیلن گلخانه محاسبه شده است. این انرژی با مجموع پرتو متوسط و اشعه‌های منتشر شده برابر است که در ادامه آمده است:

$$\bar{G}_G = \bar{G}_b + \bar{G}_{dc} \quad (13)$$

انتگرال بالا در دو معادله‌ی (۹) و (۱۲) برای حل ریاضی بسیار پیچیده هستند. از انتگرال عددی برای حل این معادلات استفاده شد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در مناطق سردسیر، در تحقیق حاضر نسبت ابعاد گلخانه خورشیدی ۰/۲۵ تا ۰/۵ در نظر گرفته شد و تحلیل‌ها بر روی این ابعاد از گلخانه صورت پذیرفت.

شرایط مرزی و معیار همگرایی

از شرط مرزی سرعت ورودی $(v=3 \text{ m.s}^{-1})$ برای بخش ورودی و شرط مرزی فشار خروجی در بخش خروجی فن‌ها استفاده گردید. هم چنین برای کنترل کردن حجم موردنظر و بررسی شرایط مسئله از شرط مرزی دیواره برای مناطقی که تبدلی انجام نمی‌گیرد، بهره گرفته شد، مقدار 10^{-3} نیز به عنوان معیار همگرایی در نظر گرفته شد. شکل (۴) مش‌بندی گلخانه بیضوی طولی را نشان می‌دهد.

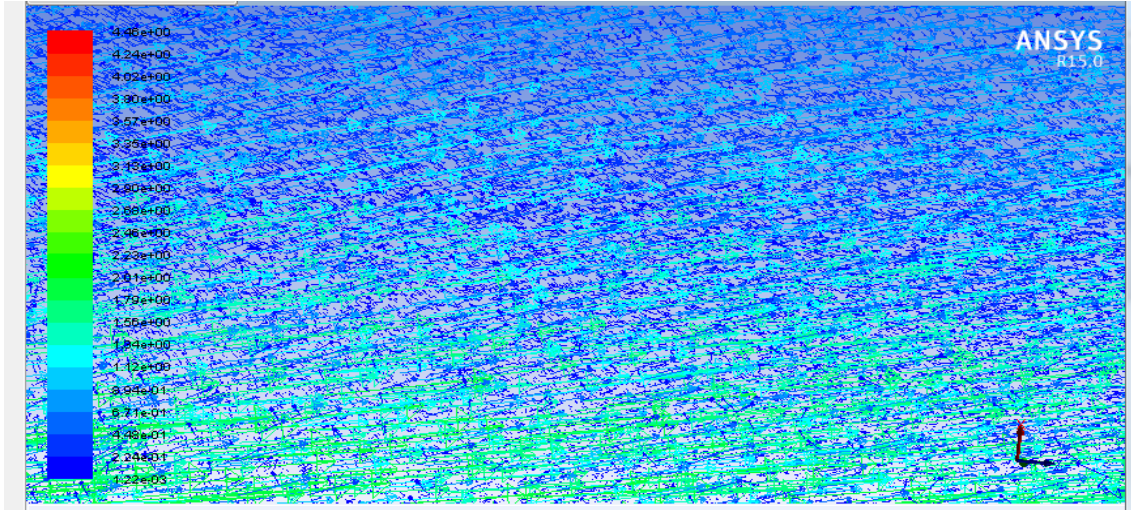


شکل ۴: مش‌بندی هندسه موردنظر

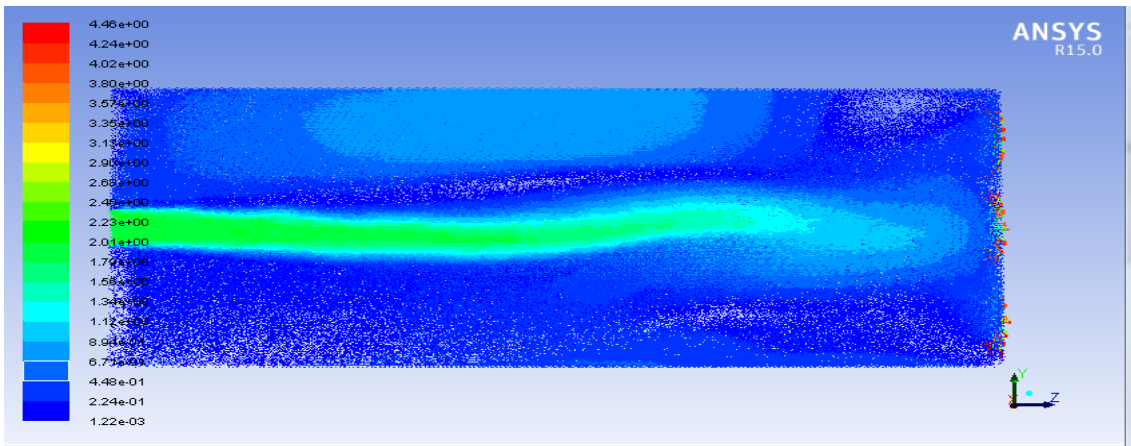
نتایج

در شکل‌های (۵) تا (۹) بردارهای سرعت در داخل گلخانه به همراه کانتورهای دما آورده شده است. مسیر پیش‌روی جریان هوا نشان می‌دهد که جریان‌یابی به شدت متأثر از سرعت ورودی هوا در منطقه موردنظر می‌باشد و الگوهای جریان هوا رو مشخص می‌کند. طبق مطالعات انجام شده، سرعت ورودی هر چند کوچک نیز بر روند جریان‌یابی بسیار تأثیرگذار است. همچنین در بخش کانتورهای دما، مشخص است که شار گرمایی دریافتی از طرف خورشید روی گرمایش دیواره خارجی تأثیر مستقیم داشته و می‌توان

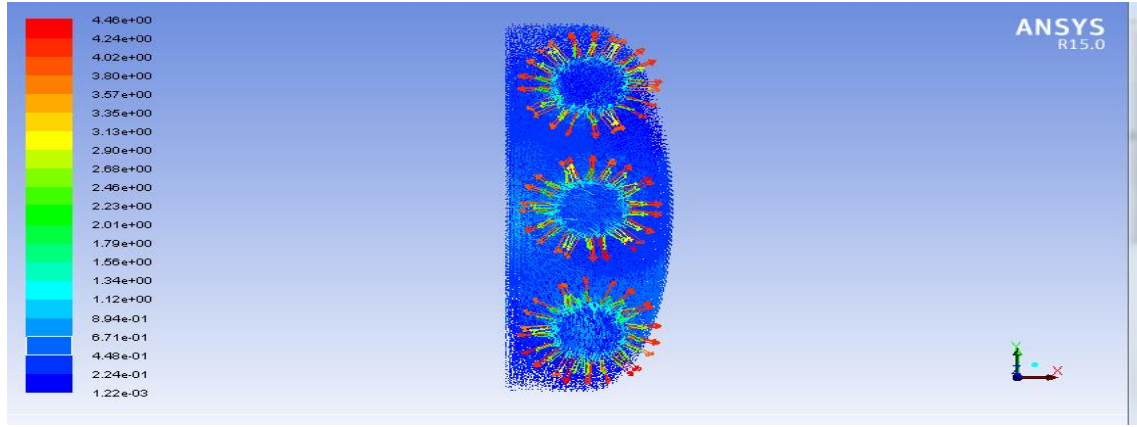
انتظار داشت که با افزایش مقدار شار گرمایی تغییرات روند افزایشی داشته باشد. از نتایج حاصله می توان برای پیش‌بینی توزیع دمایی داخل سازه‌های بسته از جمله گلخانه‌ها استفاده نمود، چون طبق مطالعات این توزیع دمایی به شدت به شار گرمایی وارد شده به بخش دیواره بستگی دارد.



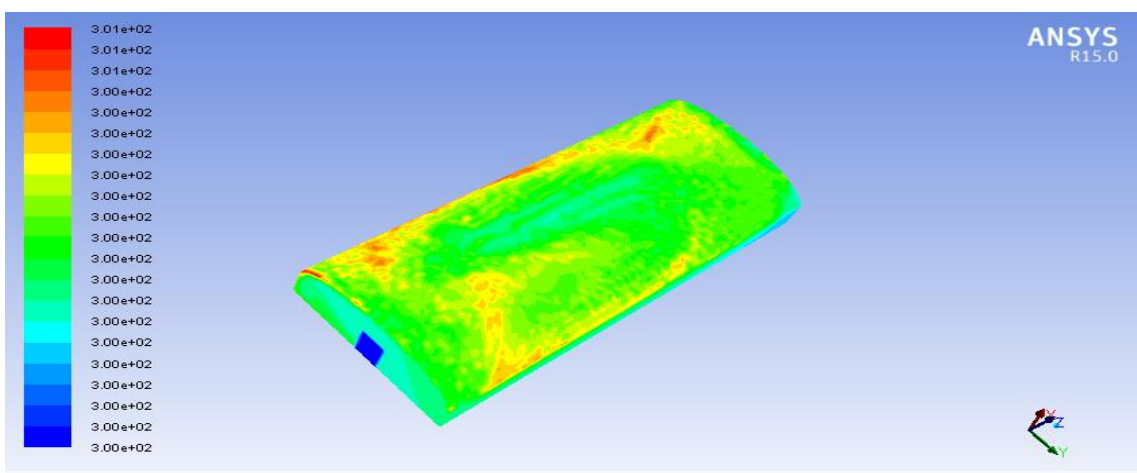
شکل ۵: مسیر حرکت ذرات هوا



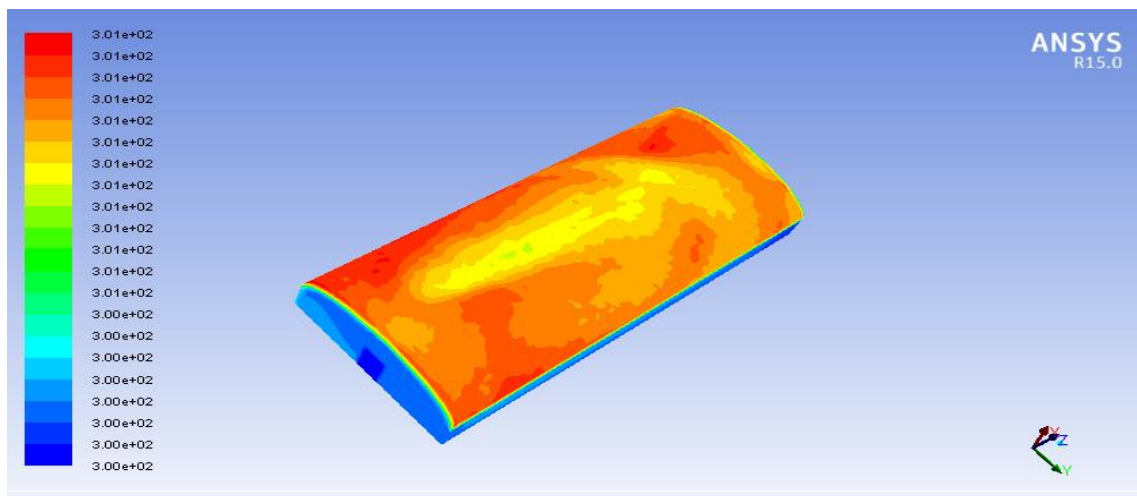
شکل ۶: جریان‌یابی مسیر حرکت جریان بر اساس اندازه سرعت



شکل ۷: اندازه سرعت در بخش خروجی فن‌ها



شکل ۸: دمای بخش داخلی در گلخانه طراحی شده



شکل ۹: دمای کلی هندسه با در نظر گرفتن اثرات انرژی خورشیدی

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف شبیه‌سازی توزیع مسیر جریان و دما در گلخانه‌های بیضوی طولی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار تجاری انسیس فلوئنت نسخه ۱۵ صورت پذیرفت. نتیجه نشان‌دهنده‌ی این است که دینامیک سیالات محاسباتی از پتانسیل بالایی برای شبیه‌سازی فضاهای بسته از جمله گلخانه‌ها و مرغداری‌ها برخوردار است. روش حجم محدود که به عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده محققین قرار می‌گیرد، قابلیت‌های خود را به عنوان یک روش عددی به خوبی نشان داده است. با بهره‌گیری از این قابلیت‌ها می‌توان بهینه‌ترین شرایط را برای داشتن شرایط مطلوب از نظر تبادل هوا و دما به دست آورد.

منابع

- Abdel-Ghany, A.M., Al-Helal, I.M. 2011. Solar energy utilization by a greenhouse: general relations, *Renew. Energy* 36. 189- 196 .
- Adaramola, M.S. 2012. Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria, *Renew. Energy* 47. 38- 44.
- Attar, I., Farhat, A. 2015. Efficiency evaluation of a solar water heating system applied to the greenhouse climate, *Sol. Energy* 119. 212- 224.
- Berroug, F., Lakhala, E.K., Omaria, M. El., Faraji, M., Qarniac, H. El. 2011. Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall, *Energy Build.* 43. 3027-3035.
- Cakır, U., Sahin, E. 2015. Using solar greenhouses in cold climates and evaluating optimum type according to sizing, position and location: a case study *Comput. Electron. Agric.* 117. 245- 257.
- Choi, J.M., Park, Y.J., Kang, S.H. 2014. Temperature distribution and performance of ground-coupled multi-heat pump systems for a greenhouse, *Renew. Energy* 65. 49 -55.
- ELkhadraoui, A., Kooli, S., Hamdi, I., Farhat, A. 2015. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed emode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape, *Renew. Energy* 77 1-8 .
- El-Maghlany, W.M., Teamah, M.A., Tanaka, H. 2015. Optimum design and orientation of the greenhouses for maximum capture of solar energy in North Tropical Region, *Energy Convers. Manage* 105. 1096- 1104

- Esen, M., Yuksel, T. 2013. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse, *Energy Build.* 65. 340-351.
- Ghosal, M.K., Tiwari, G.N. 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse, *Energy Convers. Manage* 47. 1779 -1798.
- Joudi, K.A., Farhan, A.A. 2014. Greenhouse heating by solar air heaters on the roof, *Renew. Energy* 72. 406 -414.
- Kendirli. B., 2006. Structural analysis of greenhouses: a case study in Turkey, *Build. Environ.* 41. 864 - 871.
- Kurklu, A., Bilgin, S. 2004. Cooling of a polyethylene tunnel type greenhouse by means of a rock bed, *Renew. Energy* 29. 2077- 2086.
- Pieters, J.G., J.M. Deltour. 1999 . Modelling solar energy input in greenhouses, *Sol. Energy* 67. 119- 130.
- Pucar, M.D. 2002. Enhancement of ground radiation in greenhouses by reflection of direct sunlight, *Renew. Energy* 26. 561 -586.
- Sethi, V.P., Sharma, S.K. 2007. Thermal modeling of a greenhouse integrated to an aquifer coupled cavity flow heat exchanger system, *Sol. Energy* 81. 723 -741.
- Sethi, V.P., 2009. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: thermal modeling and experimental validation, *Sol. Energy* 83. 21- 38.
- Zhao, D.L., Li, Y., Dai, Y.J., Wang, R.Z. 2011. Optimal study of a solar air heating system with pebble bed energy storage, *Energy Convers. Manage* 52. 2392-2400.