

طراحی سرستون‌های یک گلخانه هشت‌وجهی تحت بارگذاری‌های استاندارد

جلال جوادی مقدم^{۱*}، قاسم زارعی^۲، داود مومنی^۳ و فرزاد آزادشهرکی^۴

چکیده

هدف از این پژوهش، طراحی و تحلیل تنش سه نوع سرستون تسمه‌ای ساده، تسمه‌ای U شکل و تسمه‌ای W شکل و انتخاب سرستون مناسب برای یک گلخانه هشت‌وجهی بود تا بتوان آن را با روش‌های ساده و ارزان قیمت تولید کرد. با توجه به بحث امنیت غذایی، ارزان‌سازی تولیدات کشاورزی بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. از این‌رو محققین در تلاش‌اند تا با گسترش اقلیم‌های کنترل شده به ویژه گلخانه‌ها برای کاهش مصرف آب و انرژی و ایجاد امکان کشت در تمام فصول سال به این مشکل غلبه کنند. باید در نظر داشت که هزینه‌های اولیه مربوط به احداث گلخانه‌ها و سازه آن‌ها بسیار بالاست. از این‌رو سعی بر این است تا با طراحی سازه‌های گلخانه‌ای مطابق با اقلیم بتوان هزینه‌های اولیه و جاری تولیدات گلخانه‌ای را پایین آورد که در این تحقیق برای افزایش استحکام و ارزان‌سازی سرستون‌های گلخانه هشت‌وجهی انجام شد. نتایج تحلیل تنش و تغییر مکان برای سرستون‌های پیشنهاد شده نشان داد که تنش و تغییر مکان ایجاد شده توسط بار کششی در سرستون تسمه‌ای ساده، یکنواخت نبوده و اختلاف تنش و تغییر مکان در نقاط مختلف آن قابل ملاحظه بود. ملاحظه شد که توزیع تغییر مکان قسمت‌های مختلف تسمه در سرستون تسمه‌ای U شکل نسبت به سرستون تسمه‌ای ساده تا حدودی یکنواخت‌تر بود. از طرف دیگر در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگه‌دارنده، نتیجه محاسبه تنش سرستون همراه با نبشی نگه‌دارنده آن، مشخص کرد که این سرستون قادر است تا بار کششی را به‌خوبی تحمل نماید. سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگه‌دارنده همچنین توانست با ضریب اطمینان قابل قبولی اثر بارهای ترکیبی وارده را تحمل نموده و تکیه‌گاه مناسبی برای اتصال اجزای اصلی سازه یک گلخانه هشت‌وجهی باشد.

واژه‌های کلیدی: اتصالات، سازه، سرستون، گلخانه هشت‌وجهی.

ارجاع: جوادی مقدم ج. زارعی ق. مومنی د. و آزادشهرکی ف. ۱۴۰۰. طراحی سرستون‌های یک گلخانه هشت‌وجهی تحت بارگذاری‌های استاندارد. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۱: ۴۱-۵۵.

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: jalaljavdimoghaddam@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶

مقدمه

روش‌های متفاوتی برای طراحی گلخانه‌ها وجود دارد که از مهم‌ترین آنها، ایجاد خاصیت نشست هنگام طوفان است؛ به‌طوری‌که در هنگام وزش بادهای شدید، گلخانه به سمت زمین و به‌صورت فتری حرکت نموده و اجازه می‌دهد تا باد از روی سقف گلخانه عبور کند. این عمل به همراه خاصیت کشسانی سازه گلخانه به طرفین، مانع از تجمع باد در کنار گلخانه شده و اجازه نمی‌دهد که فشار ناشی از اغتشاش تجمع باد، آن را تخریب نماید. بدیهی است، برای ایجاد چنین عملکردی توسط سازه گلخانه، پارامترهای فنی و ابعادی تیر و ستون‌های به‌کار رفته در سازه، باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که ضمن مقرون به‌صرفه شدن سازه گلخانه، وزن و تحمل بار به‌ویژه بار ناشی از باد نیز در وضعیت مطلوبی قرار گیرد (Bronkhorst *et al.*, 2017).

یکی از موارد مهم در طراحی سازه‌های فلزی، طراحی اتصالات مناسب برای آنها است. این اتصالات ضمن مقید نمودن اجزای اصلی سازه مانند تیر و ستون‌های مرتبط، باید بتوانند تنش‌های حاصل از بارگذاری‌ها را نیز به‌خوبی تحمل نمایند. علاوه بر تنش‌های ناشی از بارگذاری، تنش‌های حرارتی ناشی از تغییرات شرایط آب و هوایی که منجر به انقباض و انبساط اجزاء سازه در طول فصول سال می‌شوند نیز باید در نظر گرفته شوند (Zienkiewicz *et al.*, 1986).

از آنجایی که طول اجزای سازه گلخانه به مراتب بیشتر از ضخامت آنها است، لذا اثرات تغییر طول ناشی از انبساط و انقباض اجزاء سازه بیشتر به‌صورت نیروهای کششی و فشاری وارد بر اتصالات درگیر با همان جزء نمایان می‌شود، که در نهایت با ترکیب شدن این تنش‌ها با تنش‌های ناشی از بارها از جهت‌های مختلف، علاوه بر تنش‌های کششی و فشاری وارده، تنش‌های خمشی نیز ایجاد خواهند شد (Chen *et al.*, 1999).

در سازه‌های گلخانه‌ای دارای ستون‌ها و تیرهای بلند، نیروهای ناشی از تنش‌های حرارتی تشدید می‌شوند (Schroder, 2013). لازم به ذکر است که اگر سیستم‌های تأسیسات گلخانه در زمستان و تابستان وظیفه خود را در گرمایش و سرمایش به درستی انجام دهند و شرایط آب و هوایی داخل گلخانه پایدار باشد، تنش‌های حرارتی روی اجزای سازه و در نهایت اتصالات آن ناچیز خواهد بود. اما از آنجا که در فصلی از سال ممکن است سیستم

گلخانه‌ها محیط کنترل شده‌ای هستند که می‌توانند شرایط رشد مطلوب گیاه را در تمام فصول سال، فراهم نمایند. (Zarei, 2017; Barzegar & Yadegari, 2010; Jafari *et al.*, 2019). در حال حاضر از انواع گلخانه با شکل‌های متفاوت در سطح جهان برای تولید انواع محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (Ghani *et al.*, 2019). سازه یک گلخانه، تأثیر قابل‌توجهی در افزایش بهره‌وری آب، انرژی، توزیع یکنواخت دما، رطوبت‌نسبی و در نتیجه، بهبود جریان و تهویه هوا در گلخانه‌ها دارد (Ghoulem *et al.*, 2019; Zarei, 2017; Katsoulas *et al.*, 2015; Ziaaddini *et al.*, 2019).

یکی از عوامل تأثیرگذار در توسعه و ارتقای گلخانه‌ها، استحکام سازه آن‌هاست. این ارتقای سازه شامل افزایش استحکام در چهارچوب و اتصالات به‌نحوی است که سازه گلخانه بتواند حداکثر بارهای پیش‌بینی شده وارد بر آن را به‌خوبی تحمل نماید (von Elsner *et al.*, 2000).

در کشورهای پیش‌تاز در توسعه گلخانه، به‌دلیل استفاده از سیستم‌های تأسیسات و تجهیزات کنترل شرایط محیطی گران قیمت در گلخانه‌ها، بیشتر از طرح گلخانه‌های شیشه‌ای (ونلو^۱) استفاده می‌شود. با توجه به این‌که شیشه‌ها دارای ضریب کشسانی پایینی هستند و نباید در طراحی چهارچوب نگهدارنده آنها هیچ‌گونه اجازه‌ای به سازه جهت اعوجاج در اثر بارگذاری داده شود، بنابراین طراحی این‌گونه از گلخانه‌ها بر مبنای صلبیت سازه^۲ در مقابل بارگذاری، به ویژه بار ناشی از باد خواهد بود. از آنجایی که ساخت این سازه‌ها بسیار گران و پرهزینه هستند، از ساخت آنها در کشوری مانند ایران، به ندرت استقبال می‌شود. از این‌رو تقاضا جهت طراحی و احداث گلخانه‌هایی با سازه‌های سبک‌تر و با پوشش‌های نایلونی، بسیار بیشتر است (Mourad & Dehbi, 2014).

در طراحی گلخانه با پوشش‌های نایلونی، امکان استفاده از خاصیت کشسانی مواد^۳ سازه امکان‌پذیر بوده و می‌توان طراحی را به‌گونه‌ای انجام داد تا ضمن بهره‌جستن از خواص مکانیکی، هزینه مواد و مصالح و نیز دشواری‌های احداث گلخانه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد (Mourad & Dehbi, 2014).

1- Venlo

2- Rigid Structure

3- Elastic Material Property

کرد. هدف از این پژوهش در مرحله اول تحلیل تنش در سرستون‌های اصلی گلخانه‌های دارای تیر و ستون با سطح مقطع مربعی شکل و در مرحله دوم، طراحی یک سرستون مناسب برای کاربرد در یک گلخانه هشت‌وجهی و انتخاب مناسب‌ترین سرستون برای این نوع گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

گلخانه مورد نظر در این پژوهش، یک گلخانه هشت‌وجهی ۵*۲ (دو ردیف سازه هشت‌وجهی در عرض و پنج ردیف سازه در طول) اسکلت فلزی با طول و عرض به ترتیب ۷۵ و ۳۰ متر بود که هر دهانه از آن، یک ستون مرکزی ۶ متری داشت. ارتفاع ستون‌های جانبی این سازه ۴ متر بود که هر کدام در فاصله ۸ متری از ستون مرکزی قرار داشتند. چیدمان ستون‌های جانبی به ترتیبی بود که از بالای سازه، یک شکل هشت‌وجهی منظم دیده می‌شد. در هریک از چهار کنج انتهایی گلخانه، یک ستون ۳ متری نیز قرار داده شده تا با ایجاد یک شیب مناسب، مقاومت کل سازه در برابر بار باد افزایش یابد. در شکل ۱ نمای سه بعدی و در شکل ۲ سه نمای جلو، بالا و جانبی سازه گلخانه هشت‌وجهی آورده شده است. هدف از انتخاب این گلخانه، جدید بودن طرح آن است که برای مناطق گرمسیری و بادخیز طراحی شده است. همچنین با توجه به تحمل بار شدید باد توسط این سازه و طرح پیچیده آن، تحقیق برای ارزان‌سازی و افزایش استحکام آن ادامه دارد.

برای تحلیل اثرات ناشی از بارگذاری روی نقاط اتصال سازه، لازم است تا ابتدا اثر تنش‌های ناشی از بارهای وارده به سازه تعیین شده و سپس با مشخص شدن تنش در نقاط اتصال سازه، اتصالات مورد نظر، به گونه‌ای طراحی شوند تا بتوانند این تنش‌ها را به خوبی تحمل نمایند. بدین منظور باید ابتدا بارهای وارده بر سازه را بر اساس استاندارد یا مطابق با شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر، مشخص کرد و پس از آن با اعمال حداکثر بارهای مجاز به صورت ترکیبی به سازه، تنش‌های وارده به ویژه در نقاط اتصال را تعیین نمود.

به طور کلی، مهم‌ترین بارهای وارد به سازه گلخانه که باید در محاسبات طراحی مدنظر قرار گیرند شامل بار ناشی از باد، برف و آویز هستند (Zarei, 2017). ترکیب این سه بار و اعمال هم‌زمان آن‌ها به سازه گلخانه، حالت

تأسیسات گلخانه به دلیل عدم کشت خاموش باشد، تنش‌های حرارتی در سازه چشم‌گیر خواهند بود (von Elsner et al., 2000).

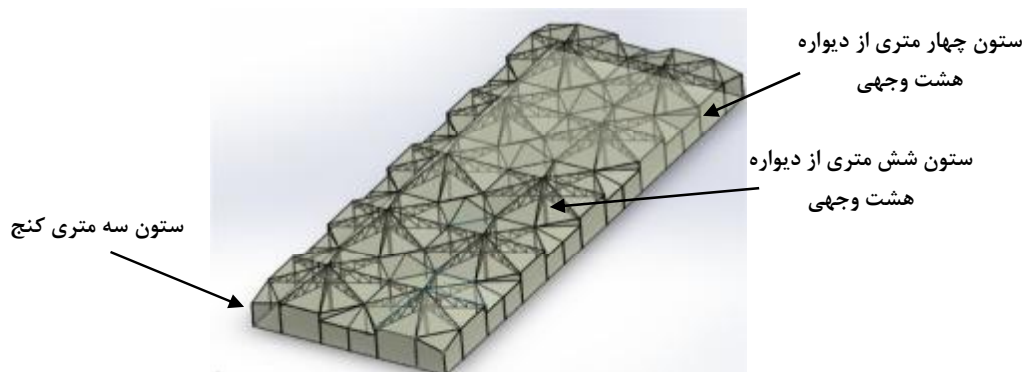
معمولاً در طراحی گلخانه‌ها، به منظور اثر دادن تنش‌های حرارتی در طراحی سازه، یا طراحی سازه، به گونه‌ای است که سازه خاصیت فنی داشته و اجزای آن بتوانند خیز پیدا کنند و از تغییر شکل پلاستیک و ایجاد ترک در اتصالات جلوگیری شود، و یا یک ضریب اطمینان بالا و مناسب برای اتصالات سازه در نظر گرفته می‌شود (Diffenbaugh et al., 2013).

در انواع سازه‌های گلخانه‌ای، از انواع مختلف سرستون‌ها به منظور متصل نمودن تیرها و ستون‌ها به یکدیگر استفاده می‌شود. سرستون‌ها اتصالاتی هستند که می‌توان با استفاده از آن‌ها زوایای بین تیرها و ستون‌های انواع سازه به‌ویژه گلخانه‌ها را بر اساس طراحی و محاسبات صورت گرفته، تغییر داد. نیروهای وارد به اجزاء تیر یا ستون می‌توانند منجر به ایجاد انواع تنش در این اجزاء و یا سایر اجزاء در تماس با آن‌ها شوند لذا به منظور حفظ یکپارچگی سازه در مقابل بارگذاری‌های مختلف، لازم است تا تنش‌های ایجاد شده توسط هندسه‌ای از پیش تعیین شده برای سازه و با نحوه صحیحی از قرارگیری تیر و ستون‌ها، مهار شود. بدین ترتیب سرستون‌ها و اتصالات، نقش اصلی در انتقال تنش بین تیرها و ستون‌ها دارند (Lee & Song, 2019).

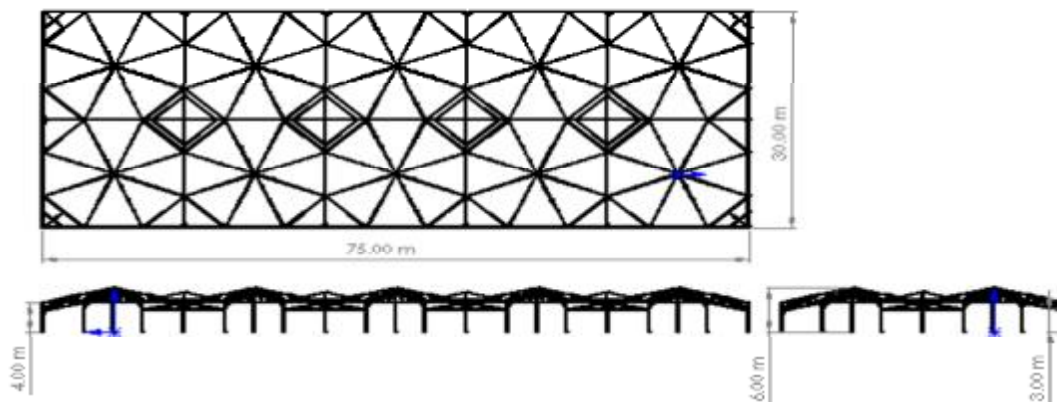
با توجه به طرح سازه‌های گلخانه‌ای، سرستون و اتصالات متفاوتی استفاده می‌شود. سرستون‌ها بطور معمول در سازه‌هایی که تعداد خرپاهای کمتری دارند، سنگین‌تر و ضخیم‌تر طراحی می‌شوند و از نظر تکنولوژی ساخت می‌توان آن‌ها را یکی از قسمت‌های پرهزینه سازه‌های گلخانه‌ای دانست. بطور کلی برای تولید سرستون‌های ضخیم و سنگین، استفاده از ریخته‌گری و ماشین‌کاری اجتناب ناپذیر است. از این‌رو همواره سعی می‌شود تا سرستون‌ها بگونه‌ای طراحی شوند تا با استفاده از روش‌های ساده‌تری مانند خم‌کاری با دستگاه خم‌کن تولید گردند. از دیگر معیارهای طراحی سرستون‌های گلخانه، شکل سطح مقطع ستون‌های گلخانه است. طراحی سرستون‌های گلخانه را می‌توان برای ستون‌هایی با سطح مقطع گرد یا لوله، سطح مقطع مربعی یا قوطی، سطح مقطع بیضی و سطح مقطع چندوجهی تقسیم‌بندی

بار باد، سازه گلخانه به‌گونه‌ای طراحی شد تا بتواند در مقابل بادی با سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت که در راستای موازی با سطح زمین جریان دارد و به‌صورت عمودی به دیواره جانبی گلخانه برخورد می‌کند، دوام آورده و پایداری خود را حفظ کند (Yun, et al., 2014; Anon, 2018).

بارگذاری بحرانی را ایجاد خواهد کرد. البته باید به این نکته اشاره نمود که در مورد هر کدام از این بارها، بیشترین میزان بار بر اساس استاندارد سازه‌های گلخانه‌ای یا متناسب با اقلیم منطقه در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه تنش حاصل در محل اتصالات سازه گلخانه پیشنهادی، بار برف و آویز هرکدام به اندازه ۲۰ کیلوگرم بر متر مربع، در نظر گرفته شدند. همچنین در محاسبات



شکل ۱- نمای سه بعدی سازه گلخانه هشت‌وجهی با طول ۷۵، عرض ۳۰ و بیشترین ارتفاع ۶ متر



شکل ۲- سه نمای بالا، جلو و جانبی گلخانه هشت‌وجهی با طول ۷۵، عرض ۳۰ و بیشترین ارتفاع ۶ متر

سرستون‌های سازه بر اساس بار ناشی از بارگذاری استاندارد بر روی اسکلت سازه محاسبه شده و در نتیجه آن نقاط بحرانی اتصال شناسایی شدند. بدین شکل که پس از بررسی تنش بر روی کل اسکلت و چهارچوب سازه، تنش‌ها در نقاط اتصال سرستون محاسبه شده‌اند و سپس بر اساس سطح مقطع تیر و ستون‌های سازه تنش و بار در این نقاط مشخص گردید. سپس بر اساس این بارها، بارگذاری بر روی سرستون‌ها به صورت جداگانه انجام شد و تنش در آن‌ها محاسبه گردید. باید به این نکته اشاره نمود که محاسبه تنش در سازه کلی حاوی

در این پژوهش، طراحی سرستون‌های گلخانه به‌گونه‌ای انجام شد که تحمل تنش توسط سازه در نقاط اتصال، افزایش یابد. به عبارت دیگر اتصالات و سرستون‌ها به نحوی طراحی شدند تا نسبت به اسکلت و چهارچوب سازه از استحکام بیشتری برخوردار باشند. برای انجام این کار، ایده‌های مختلف با توجه به هزینه ساخت پایین مطرح گردید. سپس با بررسی تنش سازه ناشی از بارهای منطقه‌ای باد، برف، آویز و انتقال آن بر روی سرستون‌ها و بررسی تنش مجدد آن‌ها، ارزان‌ترین و با استحکام‌ترین سرستون طراحی شد. لازم به ذکر است که بار وارده به

دهنده تغییر مکان در سه راستای عمود برهم X ، Y و Z هستند.

با فرض وجود تغییر مکان‌های کوچک، در الاستیسیته خطی می‌توان از مشتقات مرتبه دوم صرف‌نظر کرد. پس از محاسبه مقادیر کرنش برحسب تغییر مکان، تنش‌ها با استفاده از معادلات (۷) تا (۱۲)، محاسبه شدند (Reddy, 2014).

$$\tau_{XX} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_{XX} + \nu(\epsilon_{YY} + \epsilon_{ZZ})] \quad (7)$$

$$\tau_{YY} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_{YY} + \nu(\epsilon_{XX} + \epsilon_{ZZ})] \quad (8)$$

$$\tau_{ZZ} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_{ZZ} + \nu(\epsilon_{XX} + \epsilon_{YY})] \quad (9)$$

$$\tau_{XY} = G\gamma_{XY} = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{XY} \quad (10)$$

$$\tau_{YZ} = G\gamma_{YZ} = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{YZ} \quad (11)$$

$$\tau_{ZX} = G\gamma_{ZX} = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{ZX} \quad (12)$$

در معادلات (۷) تا (۱۲) $\tau_{ij} = \sigma$ معرف تنش نرمال، τ_{ij} معرف تنش برشی ($i \neq j$) و E و G به ترتیب مدول ارتجاعی و مدول برشی هستند.

سازه گلخانه هشت‌وجهی مورد بررسی به صورت تیر و ستون با مقاطع و پروفیل‌های مربعی یا مستطیلی بودند. بلندترین نقاط سازه مربوط به بالای ستون‌های شش متری و کم ارتفاع‌ترین نقاط سازه نیز از سطح گلخانه ارتفاعی به اندازه ۳ متر داشت که مربوط به گوشه‌های گلخانه بود. سایر قسمت‌های سازه نیز ستون‌هایی به ارتفاع ۴ متر داشتند. ستون شش متری در مرکز هر دهانه از گلخانه هشت‌وجهی قرار گرفته که فاصله شعاعی آن تا ستون‌های کناری هشت متر بود. مشخصه فلز سازه گلخانه مورد نظر «BS 1504 420C29A» بود که روی آن یک لایه گالوانیزه به ضخامت یک تا یک و نیم میلی‌متر آب‌کاری شده بود.

به‌منظور کاهش هزینه‌های مربوط به سازه و احداث گلخانه، سرستون‌ها به‌گونه‌ای طراحی شدند که در ساخت آن‌ها از هیچ‌گونه عملیات ریخته‌گری استفاده نشود و تنها از خم‌کاری، پرس و سوراخ‌کاری برای تولید و ساخت آن‌ها، استفاده گردد. بدین ترتیب حداکثر ضخامت ورق فلز برای تولید اتصالات و سرستون‌ها پنج میلی‌متر در نظر گرفته شد تا بتوان از دستگاه‌های خم‌کن و قیچی به ترتیب برای زاویه دادن و برش آن‌ها، استفاده نمود.

برای طراحی اتصالات گلخانه باید توجه داشت که در عملیات سوراخ‌کاری حداکثر قطر سوراخ پیچ، ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود که اندازه‌های متداول و

سرستون‌ها به تعداد زیادی مش‌بندی نیاز خواهد داشت که کار محاسباتی را با مشکل مواجه خواهد ساخت. این موضوع باعث می‌شود که علاوه بر افزایش مقاومت و استحکام سازه، اتصالات و به ویژه سرستون‌ها نسبت به تیرهای افقی سازه دیرتر تاب برداشته و تخریب شوند. البته انتخاب نوع سرستون بستگی به تفاوت هزینه ساخت سرستون‌ها نسبت به تیرهای افقی سازه دارد (El-Amoury & Ghobarah, 2002).

به منظور طراحی سرستون‌های سازه، ابتدا تنش حاصل از بارگذاری ترکیبی (حالت بحرانی) در سرستون مورد نظر در محل اتصال محاسبه و سپس سرستون به صورت مجزا به‌گونه‌ای طراحی شد که بتواند تنش در نقطه اتصال را تحمل نماید (Wu et al., 2002).

لازم به ذکر است که محاسبه هم‌زمان تنش روی سازه و اتصال با استفاده از روش المان محدود^۱ به دلیل نیاز به تعداد مش‌های زیاد، بسیار زمان‌بر بوده و به پردازش‌گرهای بسیار قوی نیاز دارد. برای محاسبه تنش سازه‌ای با ابعاد وسیع و جلوگیری از ازدیاد در حجم محاسبات، می‌توان کل اسکلت سازه گلخانه، به‌جز سرستون‌ها را با انتخاب المان Beam مطابق با تئوری تیر اویلر برنولی^۲، حل کرد و سپس اثر تنش را روی سرستون انتقال داده و تحلیل تنش در سرستون را با المان پوسته^۳ یا سه بعدی به‌صورت مجزا حل نمود (Civalek & Demir, 2011).

با توجه به مباحث مربوط به تئوری الاستیسیته، برای محاسبه کرنش المانی از جسم، از معادلات (۱) تا (۶) به شرح ذیل استفاده شد (Reddy, 2014).

$$\epsilon_{XX} = \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial X} \right)^2 \right) \quad (1)$$

$$\epsilon_{YY} = \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial Y} \right)^2 \right) \quad (2)$$

$$\epsilon_{ZZ} = \frac{\partial W}{\partial Z} + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial Z} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$\gamma_{XY} = \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} + \left(\frac{\partial U}{\partial X} \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial X} \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \quad (4)$$

$$\gamma_{YZ} = \frac{\partial W}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial Z} + \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{\partial V}{\partial Y} \frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial W}{\partial Z} \right) \quad (5)$$

$$\gamma_{ZX} = \frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial X} + \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Z} \frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} \frac{\partial W}{\partial X} \right) \quad (6)$$

در معادلات (۱) تا (۶) ϵ_{ij} کرنش محوری و γ_{ij} ($i \neq j$) معرف کرنش برشی هستند. همچنین U ، V و W نشان

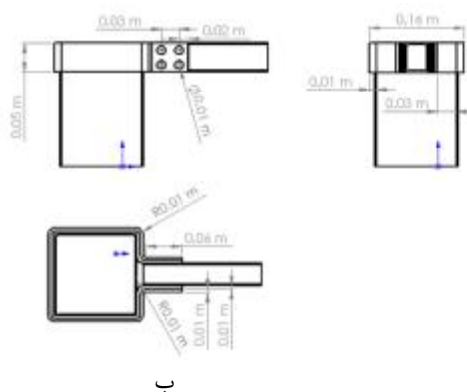
1- Finite Element
2- Euler-Bernoulli Beam Theory
3- Shell Element

(2016). شکل ۴- الف و شکل ۴- ب) و ج: تسمه‌های W شکل با پایه نگهدارنده (شکل ۵- الف و شکل ۵- ب) برای یک گلخانه هشت‌وجهی طراحی و تحلیل تنش شدند.

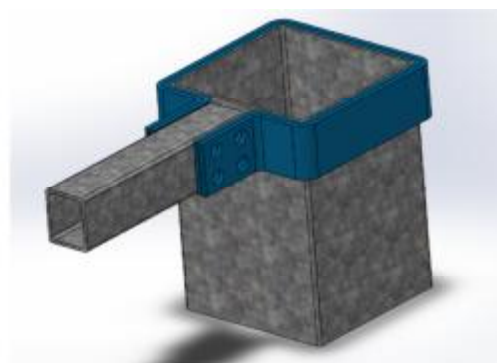
لازم به ذکر است این سرستون‌ها نه تنها در سازه این نوع از گلخانه‌ها، بلکه به عنوان اتصالی بین هر تیر و ستون با سطح مقطع مربعی یا مستطیلی که از پیچ و مهره برای متصل کردن آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توانند کاربرد داشته باشند. در این پژوهش کلیه عملیات طراحی و محاسبات فنی با استفاده از نرم‌افزار Solidworks 2018 انجام شد.

مناسب برای ایجاد سوراخ‌های متوالی است. این قطر سوراخ به‌گونه‌ای است که حرارت ایجاد شده هنگام سوراخکاری نمی‌تواند به راحتی سرمته‌ها را خراب کند یا بشکند و همچنین پیچ‌هایی با این قطر استحکام مناسبی در برابر تنش‌های برشی ایجاد شده در سرستون و اتصالات ناشی از بارگذاری ترکیبی و بحرانی دارند (Uysal, 2015 & Vas et al., 2016).

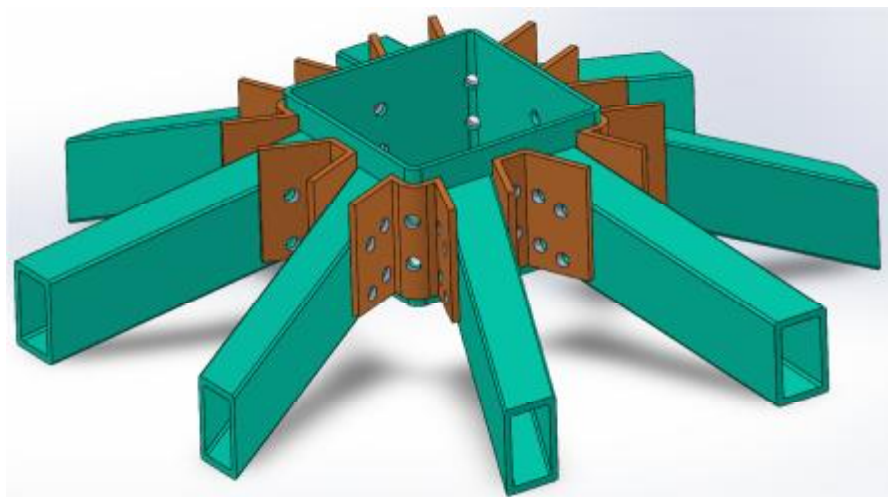
در این پژوهش سه نوع سرستون الف: تسمه‌ای ساده (شکل ۳- الف و شکل ۳- ب)، ب: تسمه‌ای U شکل (که بیشتر در صنعت پل‌سازی برای اتصال پایه پل‌های شهری به فونداسیون استفاده می‌شود (Mehrsoroush & Saiidi,



ب

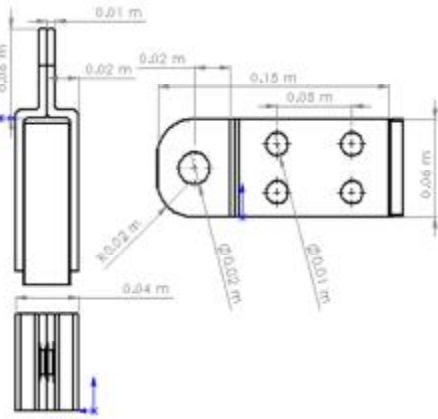


الف

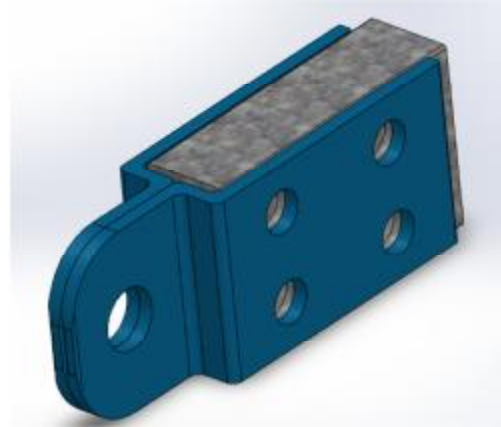


ج

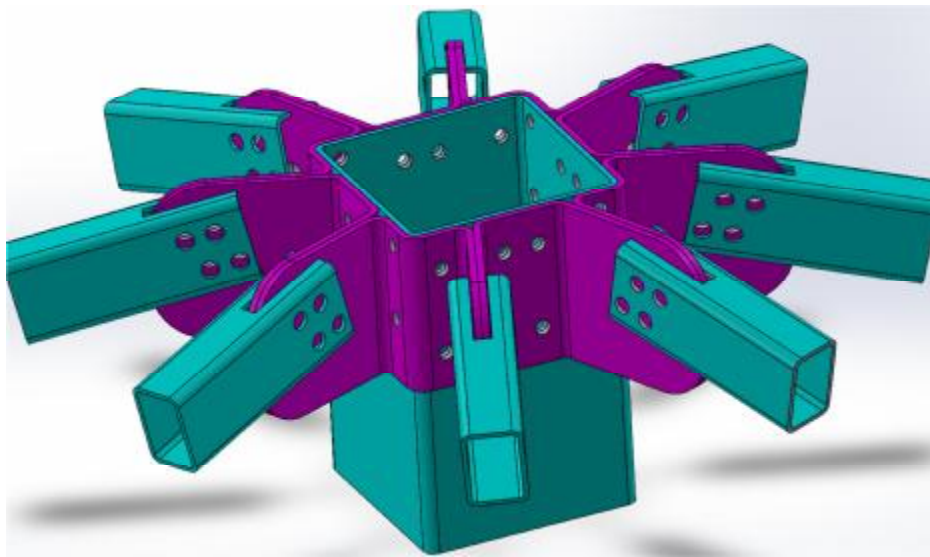
شکل ۳- سرستون تسمه‌ای ساده (الف) نمای سه بعدی (ب) سه نمای جلو، جانبی و بالا (ج) اتصال از هشت طرف بر روی ستون



ب

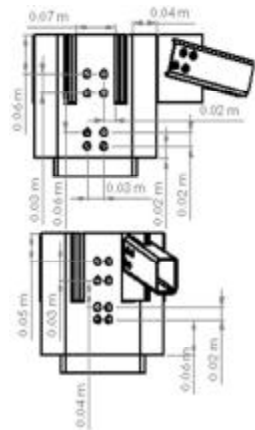


الف

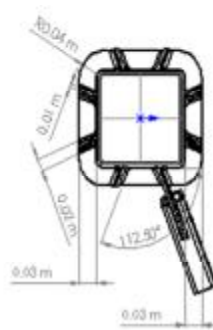


ج

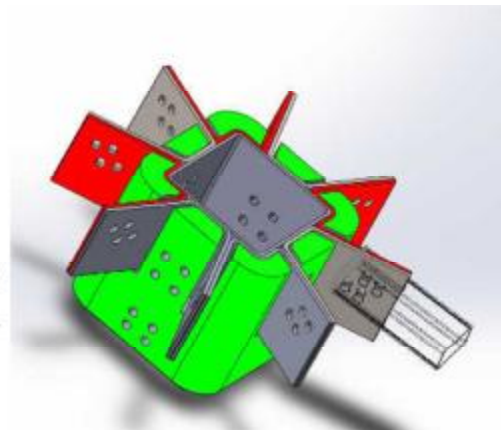
شکل ۴- سرستون تسمه‌ای U شکل (الف) نمای سه بعدی از تیر تقویت شده در این اتصال (ب) سه نمای جانبی، بالا و جلو (ج) اتصال از هشت طرف بر روی ستون



ب



الف



شکل ۵- سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده (الف) نمای سه بعدی (ب) سه نمای بالا، جلو و جانبی

نتایج و بحث

در این بخش پس از بارگذاری ترکیبی و حداکثری روی سازه گلخانه و مشخص شدن تنش‌هایی که باید توسط هر سرستون تحمل شود، طراحی سرستون‌ها به صورت مجزا انجام شدند. سپس تغییر مکان معادل با تنش‌های ایجاد شده در هر سرستون محاسبه و در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده، بهترین سرستون انتخاب گردید.

سرستون تسمه‌ای ساده

شکل ۶ سرستون تسمه‌ای ساده (تسمه دور ستون) را در حالت بارگذاری شده نشان می‌دهد. در این حالت، تیر افقی سازه که توسط اتصال سرستون تسمه‌ای ساده به ستون متصل شده، در حالت کشش است. برای اتصال تسمه به تیر افقی سازه از چهار پیچ به صورت نشان داده شده در شکل ۶، استفاده می‌شود. مشاهده می‌شود که در هنگام اعمال بار کششی، شدت تنش در قوس تسمه نزدیک به تیر افقی بیشتر از سایر قسمت‌های دیگر تسمه بوده که نشان دهنده منطقه بحرانی طراحی برای این اتصال است. لازم به ذکر است که تسمه‌های دور ستون از پرکاربردترین نوع اتصالات در گلخانه‌هایی هستند که اجزای تیر و ستون آن لوله است (Pack & Mehta, 2012).

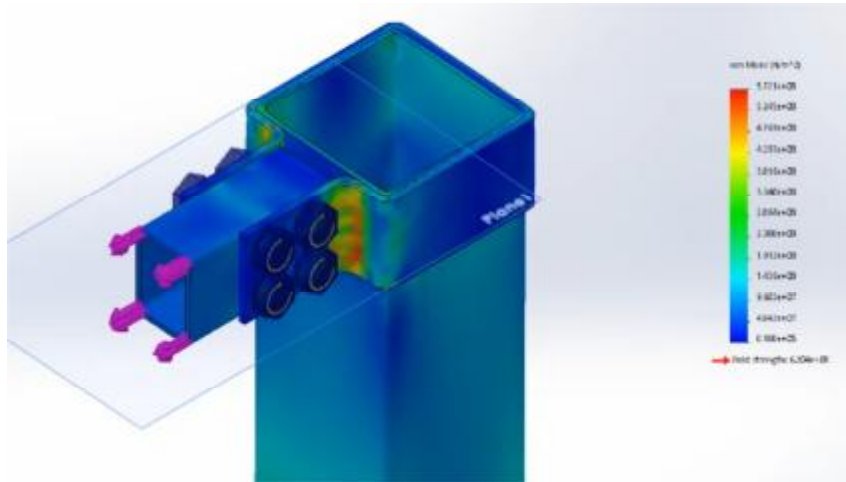
همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در رابطه با استفاده از این نوع سرستون در گلخانه هشت‌وجهی (گلخانه‌ای که تیر و ستون آن دارای مقطع مربع یا مستطیل است)، سرستون، هنگام قرارگیری تحت بارهای استاندارد در محل انحنای نزدیک به تیر افقی خود دچار تنش زیادی شده است، اما هنوز تسلیم نشده و مقدار حداکثر تنش ایجاد شده در آن در این حالت، برابر با $5.721 \times 10^8 \text{ Pa}$ محاسبه شده که از مقدار تسلیم فلز در نظر گرفته شده (فولاد آلیاژی^۱ با روکش گالوانیزه با مقاومت تسلیم $6.204 \times 10^8 \text{ Pa}$ و چگالی جرمی 7700 Kg.m^{-3})، کمتر است.

همچنین شکل ۷ نشان می‌دهد که در نقطه بین گروه پیچ‌ها تا انحنای تسمه سرستون تغییر مکان حداکثری ناشی از بار کششی به وجود می‌آید که اختلاف آن با تغییر مکان سایر قسمت‌های تسمه بسیار چشم‌گیر است. اصولاً در طراحی قطعات اتصالات انتظار می‌رود که شکل یا فرم

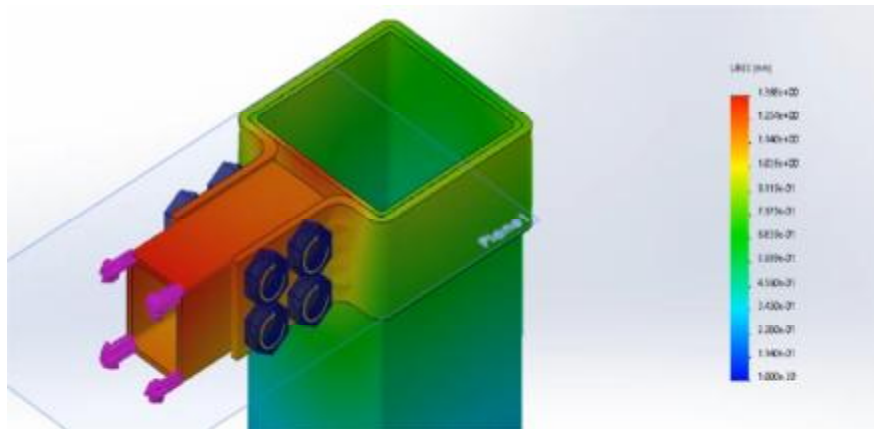
هندسی اجزاء به گونه‌ای باشند که تغییر مکان یا توزیع تنش در کل قطعه مورد نظر به صورت یکنواخت توزیع شود و در یک منطقه متمرکز نباشد (Rice, 1993). به علاوه، از آنجا که اجزاء سازه متصل به این تسمه می‌توانند در این نقطه به راحتی حرکت محدود داشته باشند (در صورت وجود بار کششی، تسمه به راحتی به سمت جلو کشیده می‌شود)، لذا این موضوع باعث ایجاد تشدید ارتعاش سازه در مقابل بارهایی مانند بار ناشی از باد خواهد شد. بنابراین با توجه به موارد عنوان شده و همچنین اختلاف تنش و تغییر مکان ایجاد شده در قسمت انحنای نزدیک به تیر افقی تسمه با سایر قسمت‌های دیگر آن، پیشنهاد نمی‌شود که از این نوع سرستون برای گلخانه مورد نظر و یا گلخانه‌هایی که در معرض وزش باد سنگین قرار دارند، استفاده شود.

سرستون تسمه‌ای U شکل

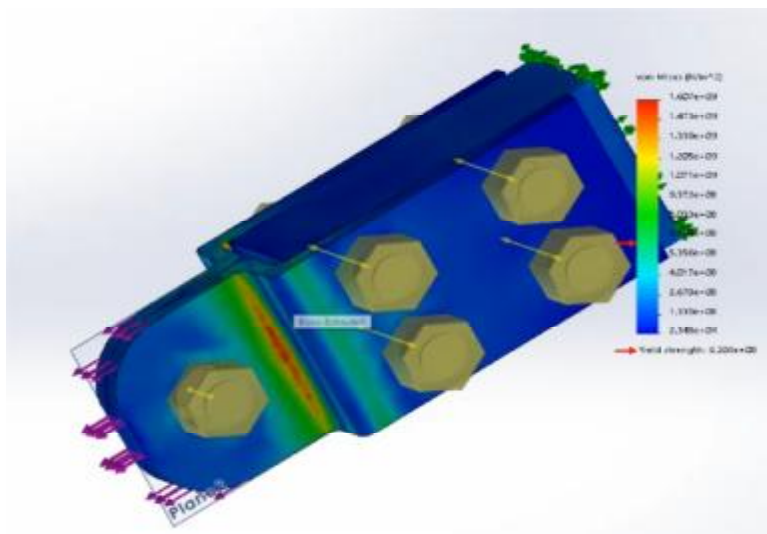
شکل ۸ توزیع تنش برای این نوع سرستون را نشان می‌دهد. اگرچه این نوع اتصال برای بارهای فشاری بسیار مقاوم است (Zaghi et al., 2010) اما همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، در اثر وارد شدن بار کششی به راحتی تسلیم می‌شود. در این نوع سرستون نیز منطقه تنش بحرانی در انحنای تسمه و به صورتی متقارن ایجاد شده است. حداکثر تنش بوجود آمده ناشی از بارگذاری در این اتصال برابر با $1.607 \times 10^9 \text{ Pa}$ محاسبه شده که به مراتب کمتر از حداکثر تنش ایجاد شده در سرستون تسمه‌ای ساده و در عین حال بیشتر از تنش تسلیم فلز سرستون است (شکل ۸). همچنین همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، توزیع تغییر مکان قسمت‌های مختلف تسمه در این سرستون نسبت به سرستون تسمه‌ای ساده تا حدودی یکنواخت‌تر بوده و محدوده تنش حداکثری کوچک‌تر شده است. از طرف دیگر همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود این اتصال به سادگی در اثر بارهای کششی وارد شده، کشیده و تسلیم خواهد شد و حالت فنی ایجاد شده در آن باعث افزایش ارتعاشات سازه می‌شود. لیکن تسلیم شدن تسمه در اثر بار استاتیکی کششی ناشی از بارگذاری استاندارد بر روی اسکلت سازه گلخانه، باعث می‌شود که نتوان از این اتصال برای سازه گلخانه هشت‌وجهی یا موارد مشابه آن، استفاده نمود.



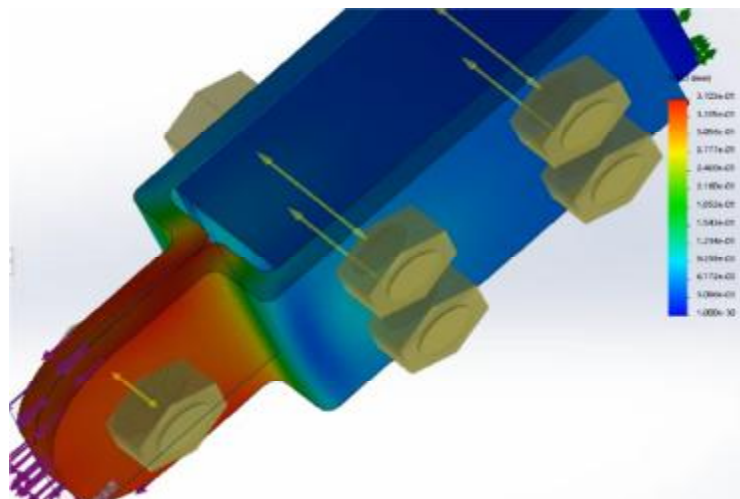
شکل ۶- نتیجه تحلیل تنش ناشی از بارگذاری کششی در سرستون تسمه‌ای ساده



شکل ۷- تغییر مکان ناشی از بارگذاری کششی در سرستون تسمه‌ای ساده



شکل ۸- نتیجه تحلیل تنش ناشی از بارگذاری کششی در سرستون تسمه‌ای U شکل



شکل ۹- تغییر مکان ناشی از بارگذاری کششی در سرستون تسمه‌ای U شکل

تیر تشکیل شده که در داخل یک کلاhek قرار گرفته‌اند. این کلاhek از سه تسمه روی هم به ضخامت پنج میلی‌متر تشکیل شده است به طوری که بتوان این تسمه‌های پنج میلی‌متری را با استفاده از دستگاه خم‌کن، جداگانه تولید نمود تا هزینه‌های ساخت نسبت به ریخته‌گری سرستون‌ها کاهش یابد. روی کلاhek و در محل قرارگیری تسمه‌های نگهدارنده، شیاری‌هایی ایجاد شده‌اند تا تسمه‌های نگهدارنده از آن‌ها عبور نموده و به تیرها متصل شوند. نحوه اتصال تیرها به تسمه‌های نگهدارنده با چهار عدد پیچ مطابق با شکل ۱۰- ب صورت گرفته است، به طوری که ابتدا شیاری در انتهای تیر و در وسط آن توسط پانچ یا سنگ فرز ایجاد شده و سپس تسمه‌های نگهدارنده توسط پیچ‌های ذکر شده به آن متصل می‌شوند. در نهایت، مجموعه تسمه‌های نگهدارنده و کلاhek، توسط پیچ‌های بلندی به ستون اصلی متصل خواهند شد، به گونه‌ای که انتهای پیچ در طرف مقابل بتواند تسمه نگهدارنده و کلاhek را به ستون و با کمک مهره متصل نماید.

شکل ۱۱ تنش به وجود آمده ناشی از بارگذاری کششی روی سرستون اصلی و نبشی‌های نگهدارنده تیر را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که حداکثر تنش به وجود آمده در این حالت برابر با $4.104 \times 10^8 Pa$ است که با حد اطمینان مناسبی، پایین‌تر از تنش تسلیم سرستون است. جهت نمایش بهتر تنش روی نبشی نگهدارنده تیر، نمای یک پیچ پنهان شده و تأثیر تنش حول آن نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود،

سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده

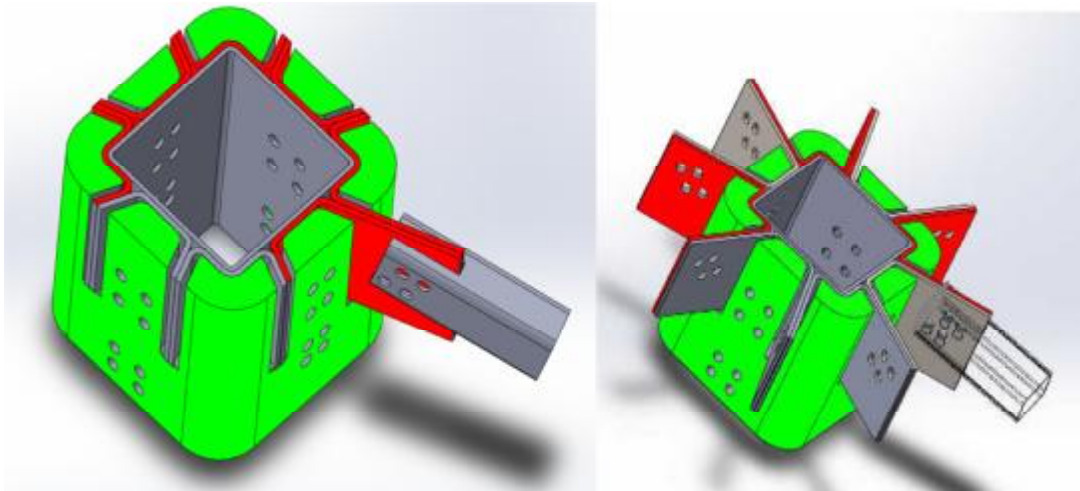
به دلیل نیاز به سرستونی که در یک گلخانه هشت‌وجهی بتواند تنش‌های ایجاد شده ناشی از بارگذاری خارجی روی سازه را تحمل نموده و آن را به راحتی انتقال دهد، سرستون نشان داده شده در شکل ۱۰ طراحی و معرفی شد (سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده). در شکل ۱۰ این سرستون به صورت کامل (شکل ۱۰- الف) و به صورتی که دور آن از ورق اتصال به ستون، برش خورده (شکل ۱۰- ب) نشان داده شده است. در این طرح سرستون، هر تیر در شیاری انتهای خود توسط دو تسمه که دارای خم‌های متفاوتی هستند، مهار می‌شود. یکی از مزیت‌های این نوع از سرستون‌ها را می‌توان در تحمل بار تیر متصل به آن توسط دو تسمه‌ای دانست که یکی دارای دو خم بوده که به صورت مستقیم به ستون و کلاhek پیچ شده، و دیگری در نیش ستون اصلی توسط سه خم، محکم نگه داشته شده است (شکل ۱۰- الف).

به منظور بررسی کارآمدی طراحی این سرستون و نشان دادن توانایی آن در افزایش استحکام سازه، علاوه بر بار کششی، بار عمودی نیز بر تیر افقی سازه متصل به سرستون اعمال شد (بارگذاری ترکیبی). لازم به یادآوری است که در دو سر ستون تسمه‌ای ساده و تسمه‌ای U شکل، فقط بار کششی به سرستون‌ها اعمال شد و به دلیل تغییر مکان زیاد یا ایجاد تنش تسلیم، بار عمودی به آن‌ها اعمال نشد.

همان‌طور که در شکل ۱۰- الف نشان داده شده است، این اتصال برای سرستون‌های اصلی، از هشت تسمه نگهدارنده

یک‌طرف پیچ و به‌صورت کششی روی تسمه نگه‌دارنده تیر متصل ایجاد شده است.

تنش‌های ایجاد شده در سرستون تقریباً یکنواخت بوده و تنش‌های حداکثری، به‌صورت تنش لهیدگی حول



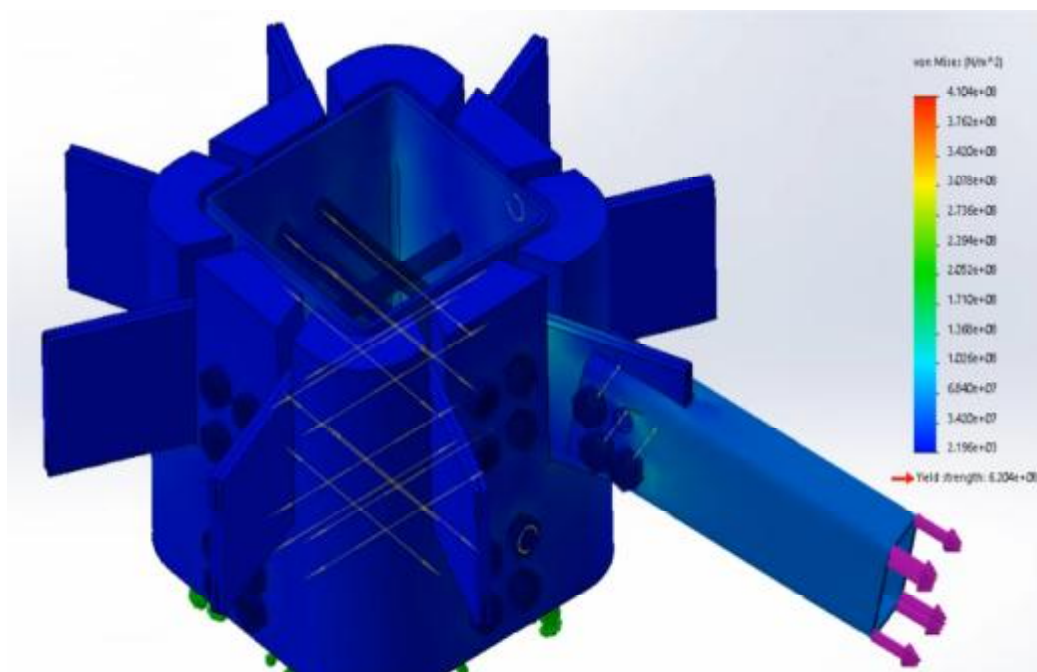
شکل ۱۰- سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده (الف) نمای سه بعدی (ب) به صورتی که دور آن از ورق اتصال به ستون برش خورده همراه با بار ترکیبی



شکل ۱۱- نتیجه تحلیل تنش ناشی از بارگذاری کششی روی سرستون اصلی و نبشی‌های نگه‌دارنده تیر در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده (برای نمایش بهتر تنش ایجاد شده حول پیچ‌ها، تأثیر تنش حول پیچ اول نمایش داده شده است).

نگه‌دارنده نیز تمرکز تنش ایجاد شود، وجود کلاهدک مانع از کشیدگی آن و در نتیجه مانع از افزایش تنش در آن خواهد شد. نتیجه محاسبه تنش سرستون به همراه نبشی نگه‌دارنده آن مشخص می‌نماید که این سرستون قادر است بار کششی را به خوبی تحمل نماید.

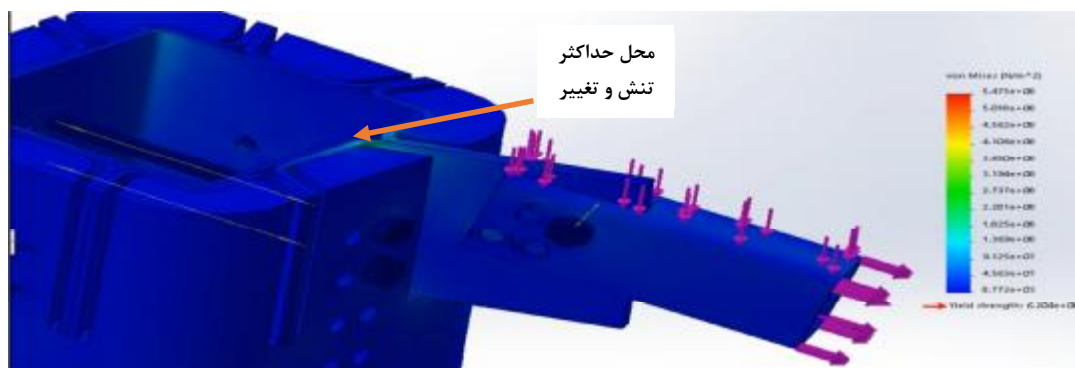
همچنین تنش منتج از این بارگذاری، گوشه داخلی ستون اصلی را در طرف مقابل نیز تحت تأثیر قرار داده است به‌طوری که به‌دلیل اتصال پیچ‌ها، تنش کششی ایجاد شده در تسمه، دیواره طرف مقابل ستون را به سمت خود کشیده و در آن مطابق شکل ۱۲، ایجاد تنش می‌نماید. در این شکل می‌توان دید که حتی اگر در انحنای نبشی



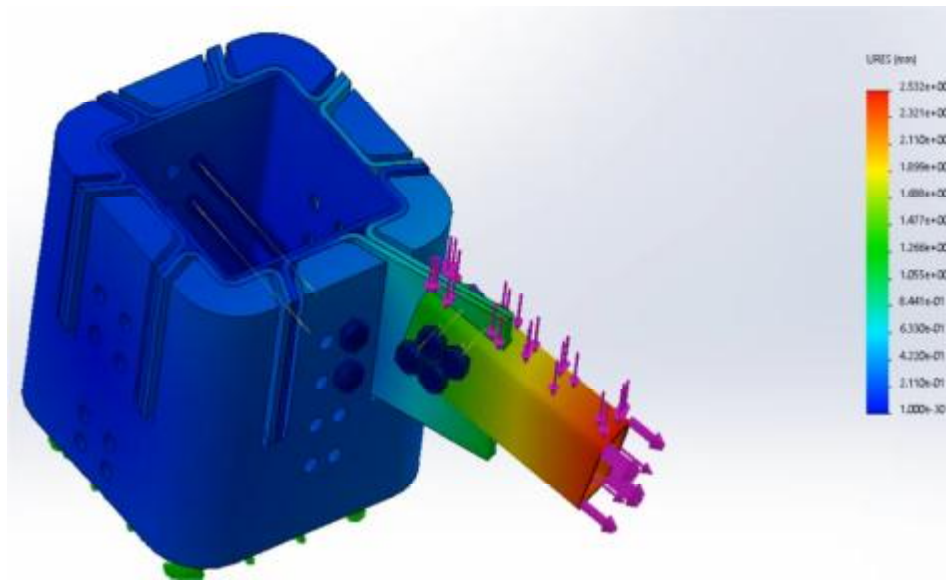
شکل ۱۲- نتیجه تحلیل تنش ناشی از بارگذاری کششی در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده در نمای کامل

در این سرستون، نیرو به نبشی‌های نگهدارنده مجاور نیز انتقال می‌یابد تا تحمل بار توسط سایر قسمت‌ها انجام شود. این موضوع در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل می‌بینیم که در اثر بارگذاری روی تیر متصل شده به نبشی‌های نگهدارنده سرستون، نبشی جانبی آن نیز تحت بار قرار گرفته و کشیده می‌شود. حداکثر تنش در این حالت برابر با $5.475 \times 10^8 \text{ Pa}$ محاسبه شده که از تنش تسلیم سرستون کمتر بوده و لذا سرستون توانسته است تا بارگذاری مورد نظر (ترکیبی) را بخوبی تحمل نماید.

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ به ترتیب نتیجه تحلیل تنش و تغییر مکان ایجاد شده روی سرستون و نبشی‌های نگهدارنده هنگام بارگذاری ترکیبی را برای این اتصال نشان می‌دهند. در این جا برای افزایش مقاومت در برابر نیروی عمودی، پهناي تسمه نگهدارنده تیر تا ارتفاع سطح کلاهدک افزایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، حداکثر تنش و تغییر مکان ایجاد شده در انحنای تسمه نگهدارنده، نزدیک به تیر به وجود آمده و توسط لبه شیار کلاهدک سرستون به خوبی تحمل شده‌اند. تنش ناشی از کشش بار و تمایل به خم شدن لبه تسمه از بالا در اثر بار عمودی وارد شده به سازه، عامل ازدیاد تنش در این نقطه هستند.



شکل ۱۳- نتیجه تحلیل تنش ناشی از بارگذاری ترکیبی در نقاط مختلف سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده

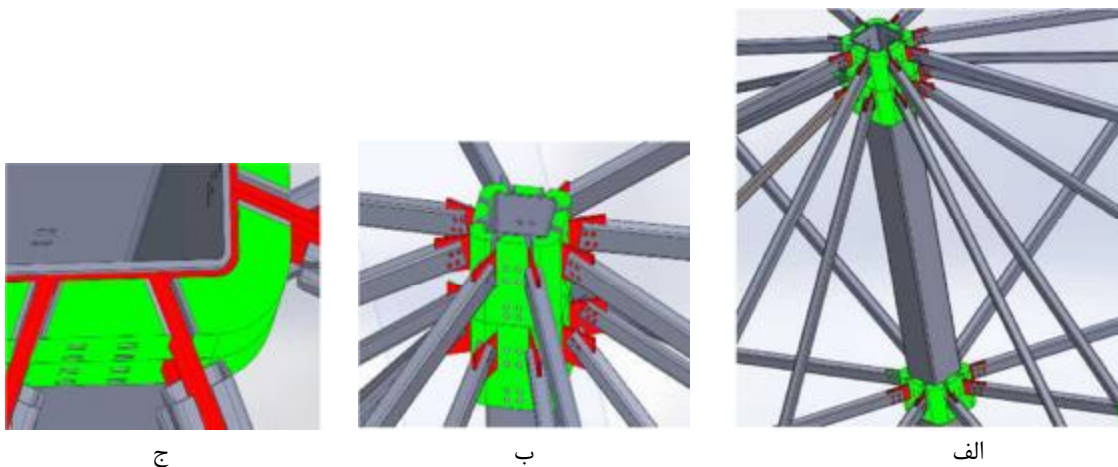


شکل ۱۴- تغییر مکان ناشی از بارگذاری ترکیبی در نقاط مختلف سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده

نموده و تکیه‌گاهی مناسب جهت اتصال اجزای اصلی سازه یک گلخانه هشت‌وجهی باشد.

در شکل ۱۵- الف نحوه قرارگیری این سرستون‌ها روی ستون اصلی و نحوه اتصال آن‌ها به تیرهای نگهدارنده سقف گلخانه، نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۵- ب، نحوه قرارگیری دو سرستون روی هم‌دیگر و در شکل ۱۵- ج نحوه قرارگیری تسمه اتصال سرستون بین کلاهک سرستون و ستون، آورده شده‌اند.

در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده، با افزایش تعداد تسمه‌های پنج میلی‌متری کلاهک و یا افزایش پهناهای تسمه‌های نگهدارنده، امکان تحمل بار بالا خواهد رفت، به طوری که با افزایش تعداد تسمه‌های پنج میلی‌متری کلاهک، مقاومت سرستون در مقابل بار کششی افزایش خواهد یافت و با افزایش پهناهای تسمه‌های نگهدارنده، مقاومت این اتصال در مقابل بار عمودی نیز بیشتر می‌شود. این اتصال سرستون می‌تواند با ضریب اطمینان قابل قبولی اثر بارهای ترکیبی وارد شده را تحمل



شکل ۱۵- نحوه قرارگیری سرستون‌های W شکل با پایه نگهدارنده (الف) روی ستون اصلی و نحوه اتصال آن‌ها به تیرهای نگهدارنده سقف (ب) روی هم‌دیگر و (ج) نحوه قرارگیری تسمه اتصال سرستون بین کلاهک سرستون و ستون

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سه نوع سرستون تسمه‌ای ساده، تسمه‌ای U شکل و تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده (سه نوع سرستون مناسب برای تیرها و ستون‌های با مقطع مربع یا مستطیل شکل) برای یک گلخانه هشت‌وجهی طراحی و تحلیل شدند و در نهایت مناسب‌ترین سرستون برای سازه این نوع گلخانه انتخاب شد. نتایج نشان داد که تنش و تغییر مکان ایجاد شده توسط بار کششی در سرستون تسمه‌ای ساده یکنواخت نبوده و اختلاف تنش و حد تغییر مکان در نقاط مختلف آن قابل ملاحظه است. توزیع تغییر مکان قسمت‌های مختلف تسمه در سرستون تسمه‌ای U شکل، هنگام اعمال بار کششی نسبت به سرستون تسمه‌ای ساده تا حدودی یکنواخت‌تر بود. هنگام اعمال کشش در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده، وجود کلاهدک مانع از کشیدگی سرستون و در نتیجه مانع از افزایش تنش در آن شد. در سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده با افزایش تعداد تسمه‌های کلاهدک، مقاومت سرستون در مقابل بار کششی افزایش یافت و با افزایش پهنای تسمه‌های نگهدارنده، مقاومت این اتصال در مقابل بار عمودی بیشتر شد. نتایج نشان داد سرستون تسمه‌ای W شکل با پایه نگهدارنده می‌تواند با ضریب اطمینان قابل قبولی اثر بارهای ترکیبی وارده (بار کششی و بار عمودی) را تحمل نموده و تکیه‌گاه مناسبی برای متصل نمودن اجزای اصلی سازه یک گلخانه هشت‌وجهی توسط پیچ و مهره باشد.

منابع

- Abdelhalim, A. M., & Ismail, S. M. (2019). Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments—A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(1): 48-70.
- Anon (Authors Group). (2018). Greenhouse structures and equipment, Part 1: greenhouse structures, *Iranian National Standardization Organization*, 15565-1. (In Persian).
- Barzegar, R., & Yadegari, M. (2010). *Production management in greenhouses*. College of Applied Science and the Skill of Agriculture Press. 246 p. (In Persian).
- Bronkhorst, A. J., Geurts, C. P. W., Bentum, C. A., Knaap, L. P. M., & Pertermann, I. (2017). Wind loads for stability design of large multi-span duo-pitch greenhouses. *Front. Built Environ*, 3: 1-21.
- Bronkhorst, A. J., Geurts, C. P. W., Van Bentum, C. A., Van der Knaap, L. P. M., & Pertermann, I. (2017). Wind loads for stability design of large multi-span duo-pitch greenhouses. *Frontiers in Built Environment*, 3: 18.
- Chen, H. F., Liu, Y. H., Cen, Z. Z. & Xu, B. Y. (1999). On the solution of limit load and reference stress of 3-D structures under multi-loading systems. *Engineering Structures*, 21: 530-537.
- Civalek, O., & Demir, C. (2011). Bending analysis of microtubules using nonlocal Euler–Bernoulli beam theory. *Applied Mathematical Modelling*, 35(5): 2053-2067.
- Diffenbaugh, N. S., Scherer, M. & Trapp, R. J. (2013). Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing. *PNAS*, 110(41): 16361-16366.
- El-Amoury, T., & Ghobarah, A. (2002). Seismic rehabilitation of beam–column joint using GFRP sheets. *Engineering Structures*, 24(11): 1397-1407.
- Ghani, S., Bakochristou, F., ElBialy, E. M. A. A., Gamaledin, S. M. A., Rashwan, M. M Ghoulem, M., K. Moueddeb, E. Nehdi, R. Boukhanouf & J. K. Calautit. (2019). Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Biosystems Engineering*, 183: 121-150.
- Jafari, A. M., Solgi, M., & Zarei G. (2019). Economic evaluation of artificial lighting in vegetable greenhouses (Case study: Cucumber production in hamadan province). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 10(1): 71-85. (In Persian).
- Katsoulas, N., Sapounas, A., De Zwart, F., Dieleman, J. A., & Stanghellini, C. (2015). Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 156: 90-99.
- Lee, D., & Song, J. (2019). Research on simple joint method using fiber-metal laminate design for improved mechanical properties of CFRP assembly structure. *Composites Part B: Engineering*, 164: 358-367.
- Mehrsoroush, A., & Saïidi, M. S. (2016). Cyclic response of precast bridge piers with novel column-base pipe pins and pocket cap beam connections. *Journal of Bridge Engineering*, 21(4): 04015080.
- Mourad, A. H. I., & Dehbi, A. (2014). On use of trilayer low density polyethylene greenhouse cover as substitute for monolayer cover.

- analysis of a greenhouse heating system equipped with a parabolic trough concentrator and a flat -plate solar collector. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(2): 439-453. (In Persian).
- Zienkiewicz, O. C., Watson, M. & King, I. P. (1986). A numerical method of visco-elastic stress analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 10(10): 807-827.
- Plastics Rubber and Composites*, 43(4): 111-121.
- Pack, M., & Mehta, K. (2012). *Design of affordable greenhouses for East Africa*. IEEE Global Humanitarian Technology Conference, pp. 104-110.
- Reddy, J. N. (2014). *An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis: with applications to heat transfer, fluid mechanics, and solid mechanics*. OUP Oxford.
- Rice, R. W. (1993). Comparison of stress concentration versus minimum solid area based mechanical property-porosity relations. *Journal of materials science*, 28(8): 2187-2190.
- Schroder, R. (2013). Influences on development of thermal and residual stresses in quenched steel cylinders of different dimensions. *Materials Science and Technology*, 1(10): 754-764.
- Uysal, A. (2015). Relation between drill bit temperature and chip forms in drilling of carbon black reinforced polyamide. *Journal of Thermal Engineering*, 1(7): 655-658.
- Vas, J. S., Fernandes, A., D'Souza, A., Rai, A., & Quadros, J. D. (2016). Analysis of temperature changes during dry drilling of austenitic stainless steels on twist drills having different point angles. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 6(5A): 121-125.
- von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Gratraud, J., Russo, G. & Suay-Cortes, R. (2000). Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, Part I, Design Requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(1): 1-16.
- Wu, Z., Yuan, H., & Niu, H. (2002). Stress transfer and fracture propagation in different kinds of adhesive joints. *Journal of Engineering Mechanics*, 128(5): 562-573.
- Yun, S. W., Shin, Y. S., Yu, C. & Yoon, Y. C. (2014). Analysis of working load on greenhouse foundation considering wind and snow load. *Acta horticulturae*, 1037: 99-104
- Zaghi, A. E., Saiid, S. M., & El-Azazy, S. (2010). Shake table studies of a concrete bridge pier utilizing pipe-pin two-way hinges. *Journal of Bridge Engineering*, 16(5): 587-596.
- Zarei, G. (2017). Structural challenges of greenhouses in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2(2): 149-162. (In Persian).
- Ziaaddini, A., Mortezapour H., Shams, M., & Sarafi, A. (2019). Energy and exergy

