

مقاله علمی - پژوهشی

پایداری انواع ستون‌های قابل کاربرد در سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی

قاسم زارعی^۱ و جلال جوادی مقدم^۲

۱ و ۲- به ترتیب: دانشیار؛ و استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۰

چکیده

در باغبانی برای کنترل تنش‌های زیستی و غیرزیستی در محیطی حفاظت شده، استفاده از سایبان‌ها و توری‌خانه‌ها می‌تواند راه‌حلی مقرون به صرفه باشند. برخلاف گلخانه، سایبان برای بارهای غیرسنگین طراحی شده است. علاوه بر این، روش اعمال بارها به عنوان نکته‌ای کلیدی در طراحی سازه باید مد نظر قرار گیرد. بنابراین، طراحی ستون‌ها با توجه به ممان‌های ناشی از بار باد، موضوعی بحث برانگیز است. این ممان‌های خمشی و پیچشی در ستون‌ها به دلیل نبود تعادل بار باد روی مش ایجاد می‌شوند. سطح مقطع ستون‌های به کار رفته در سازه سایبان، تأثیر مستقیمی بر مقاومت آن در بارهای مختلف دارد. از این‌رو، در این تحقیق تحلیل تنش ستون‌ها با مقطع مستطیلی (قوطی)، ناودان و U (سینوسی) برای مقایسه در نظر گرفته شده است. برای تمامی تحلیل‌ها از نرم‌افزار SolidWorks استفاده شده است. تحلیل تنش برای مقاطع ستون‌های مذکور که به صورت دوتایی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند نیز انجام شد. نتایج تحلیل تنش تک ستون‌ها نشان داد در بارگذاری از مقابل، ستون با مقطع U سینوسی، نسبت به ستون‌های دارای دو مقطع دیگر، استحکام بیشتری دارد و تغییر مکان کمتری در آن در نتیجه بارگذاری به وجود آمد. در بارگذاری جانبی نیز تنش کمتری برای مقطع U سینوسی محاسبه شد. از نظر بار پیچشی، ستون قوطی شکل عملکرد بهتری داشت و تغییر شکل زاویه‌ای بسیار کمتری نسبت به ستون‌های سینوسی U شکل و ناودان در آن مشاهده شد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در تک ستون‌های مذکور، عملکرد مقطع U شکل بهتر از عملکرد دو مقطع دیگر است. نتایج بارگذاری و تحلیل سه نوع ستون دوتایی نشان داد استحکام پروفیل سینوسی با سطح مقطع U شکل بهتر است تا ستون‌های قوطی و ناودان و تغییر مکان ایجاد شده کمتر از دو نوع ستون دیگر است. در بارگذاری جانبی، تحلیل تنش نشان داد ستون مقطع U سینوسی، نسبت به دو نوع مقطع دیگر، استحکام بیشتر و تغییر مکان کمتری دارد. در بارگذاری پیچشی، ستون قوطی با سطح مقطع مستطیل دوتایی استحکام بیشتر و تغییر مکان کمتری داشت. سرانجام، بر اساس نتایج تحلیل تنش مشخص شد که سطح مقطع U سینوسی دوتایی استحکام بیشتری دارد و می‌تواند با موفقیت به عنوان ستون سازه‌های سایبان و توری‌خانه، به ویژه برای مناطقی انتخاب شود که بارهای شدید دارند.

واژه‌های کلیدی

استحکام، بارگذاری، شبیه‌سازی، محیط‌های کنترل شده کشاورزی

مقدمه

محصولات مختلف از جمله سبزی‌ها، صیفی‌ها، درختان و گیاهان زینتی. سایبان‌ها با افزایش امنیت و کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده در جریان تولید محصولات کشاورزی و نیز کاهش مصرف آب و آفت‌کش‌ها، کارایی و کیفیت تولید را افزایش می‌دهند. سایبان ساختار گلخانه‌ای ساده شده

در بخش کشاورزی اگر برای رشد گیاه در اقلیم معتدل و بدون نوسان‌های مختلف دمایی به محیط نیمه‌کنترل شده نیاز باشد، سودآورترین راه‌حل ممکن استفاده از سایبان است. سایبان‌ها سازه‌های گلخانه‌ای ساده‌ای هستند مناسب برای کشت

ناشی از بار باد و ممان‌های ایجاد شده موضوعی بحث برانگیز است که دلیل آن پیچش ستون‌هاست که خود ناشی از نبود توازن در نیروهای وارد شده مرتبط با وزش باد روی توری‌ها و سایبان‌هاست، (Javadi Moghaddam & Zarei, 2023). در اثر نبود کشش کافی در توری‌های سایبان، معمولاً مشکل خمیدگی توری‌ها و ایجاد شکم در آن‌ها به وجود می‌آید. در نتیجه انباشته شدن توده هوای مرده در مقابل توری‌های سایبان در سرعت‌های بالای وزش باد، تغییر جهت نیروهای حاصل روی ستون‌ها و کابل‌ها ایجاد می‌شود که نتیجه آن سست کردن پایه‌های ستون‌های کارگذاری شده در فونداسیون‌ها خواهد بود. به همین دلیل، از دیگر نکات مهم در سایبان‌ها طراحی فونداسیون کارآمد و مقاوم در برابر نوسان‌های نیرویی است (Behera *et al.*, 2016). در مناطقی با احتمال بارش برف و تگرگ شدید، باید در نظر داشت که میزان مقاومت ستون‌ها، اتصالات، کابل‌ها و توری‌ها به گونه‌ای باشد که قابلیت نگهداری برف و تگرگ جمع شده روی توری‌ها را در درازمدت و تا آب شدن برف و تگرگ روی آن‌ها داشته باشند (Croce *et al.*, 2018a). تجمع برف روی توری سایبان‌ها یکنواخت نیست و به دلیل خاصیت کششی و انعطاف‌پذیری توری‌ها، برف در مرکز بین ستون‌ها روی سطح توری انباشته می‌شود و در نتیجه آن را پایین می‌آورد. با توجه به خاصیت کششی جنس توری‌ها و با توجه به ابعاد مش‌ها، میزان نیروی حاصل از تجمع برف روی توری و در نتیجه مقدار خیز توری‌ها متفاوت خواهد بود. اگر در منطقه‌ای میزان تابش خورشید زیاد است، به گونه‌ای که باعث آفتاب سوختگی محصولات می‌شود، از توری با تعداد مش زیاد استفاده می‌شود. در این شرایط و در هنگام بارش برف و تگرگ،

با صرفه‌ای است برای کشت‌های بزرگ مقیاس که می‌تواند ارزش افزوده و بازده زیادی داشته باشد (Mahmodi, 2020). با توجه به چالش‌های پیش رو شامل خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی گسترده، فرسایش خاک، طغیان عوامل خسارت‌زا، تولید محصول سالم و توسعه روزافزون ارقام ویژه محصولات باغی، توسعه کشت‌های محافظت شده نیز گریزناپذیر شده‌اند و در بسیاری از کشورهایی که با این چالش‌ها روبه‌رو هستند، بهره‌گیری از روش‌های گوناگون تولید محصولات به روش محافظت شده به سرعت در حال گسترش است (Zarei, 2023). کشور ما نیز به لحاظ موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خود با این بحران‌ها درگیر است و از این‌رو جایگزینی کشت‌های فضای باز با انواع کشت‌های محافظت شده، از راه‌های گذر از این بحران‌هاست. کشت در زیر سایبان، استفاده از توری‌های ضدحشره و پرندگان و بهره‌گیری از توری‌های ضدتگرگ و یخ‌زدگی از روش‌های کشت محافظت شده هستند. این روش‌های کشت را می‌توان برای تولید اغلب محصولات باغی از جمله انواع میوه‌ها، نشاها، سبزی‌ها، انواع محصولات جالیزی و انواع گیاهان زینتی در مناطق مختلف کشور استفاده کرد (Mahmodi, 2020).

سایبان برخلاف گلخانه در معرض نیروهای کمتری قرار می‌گیرد، ولی نوع نیروهای وارد شده به سایبان به گونه‌ای است که در طراحی باید به جزئیات خاصی توجه داشت (Behera *et al.*, 2016). اندازه مش‌بندی‌ها و نوع گره‌تار و پوده‌های توری‌ها متفاوت هستند و از این‌رو میزان باد عبوری از بیرون به داخل محوطه متفاوت و در نتیجه نیروهای وارد شده بر ستون‌ها نیز متفاوت است. طراحی ستون‌ها در بحث خمش و پیچش

است. محاسبه بارهای مرتبط با این سازه کشاورزی حفاظت شده، موضوع هیچ استاندارد یا قانون ملی یا اروپایی نبوده است و تنها چند استثنا در این زمینه وجود دارد (Anon, 2005; Anon, 2006). در ادبیات فنی بین‌المللی مربوط به محاسبه بارها وارد شده بر این‌گونه سازه‌های قابل نفوذ از نظر وزش باد، اطلاعات محدودی در دسترس هست (Richardson, 1987; Richards & Robinson, 1999; Letchford *et al.*, 2000; Letchford, 2001; Robertson *et al.*, 2002).

با عنایت به پیچیدگی طراحی سایبان‌های کشاورزی و نظر به این‌که اندازه و نوع سطح مقطع ستون‌های به کار رفته در آن‌ها در تحمل به انواع بارهای وارد شده از روبه‌رو، جانب و پیچشی تأثیر مستقیم دارند، در این مقاله انواع بارگذاری روی سه نوع سطح مقطع قابل کاربرد در ستون‌های داخلی و کناری سایبان‌ها تحلیل شده است.

مواد و روش‌ها

اجزای سایبان‌های اجرا شده

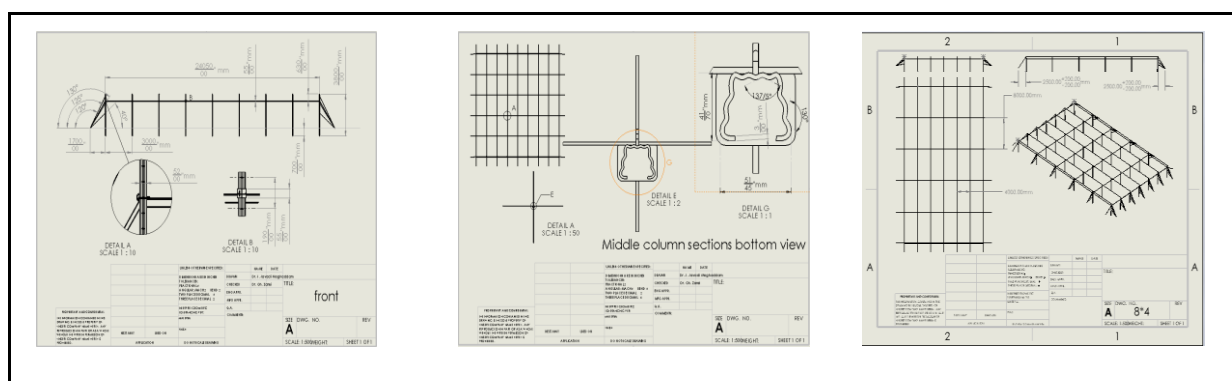
اجزای تشکیل‌دهنده سایبان عبارت‌اند از ستون‌ها و سرستون‌ها، انواع بست‌ها، انواع گیره‌ها، انواع کابل‌های فولادی، سیستم‌های مهارکننده، فونداسیون (در صورت نیاز) و توری‌ها. لازم است یادآوری شود در سازه‌های سایبان تحت مطالعه، فونداسیون بتنی تنها برای سیم‌بکسل‌های مورب دور تا دور اجرا شده بودند به گونه‌ای که یک قلاب فلزی در بتن جاگذاری شد و کلیه سیم‌بکسل‌ها در یک راستا به آن متصل شده بودند. ستون‌ها نیز به صورت مستقیم، در خاک توسط ماشین‌های مخصوص جازده (کوبیده) شده بودند.

نیروی بیشتری به سازه وارد خواهد شد. از طرفی، نزدیک بودن ستون‌ها به یکدیگر و افزایش سطح مقطع آن‌ها باعث افزایش هزینه‌های اولیه احداث خواهد شد. به همین دلیل برای اقلیم‌های متفاوت با شرایط جوی متنوع لازم است طراحی این سایبان‌ها نیز متفاوت باشد. در مطالعات صورت گرفته روی نیروی حاصل از بار برف روی سازه‌های مختلف با استفاده از روش‌های توابع احتمالاتی و مدل‌سازی عددی، الگوهایی برای بررسی استحکام در برابر بارش و تعیین بار برف ارائه شده است که برای کاربرد در برخی از اقلیم‌ها و مناطق جهان قابل پیشنهاد دادن هستند (Xiaoying *et al.*, 2018; Croce *et al.*, 2018b). در برخی از مطالعات، گزارش‌های مرتبط با بارش برف و نحوه قرارگیری و تجمع برف روی مواد مختلف بازبینی شده است تا نشان دهد مقادیر به دست آمده با روش‌های پیشرفته ریاضی و تکنولوژی‌های اندازه‌گیری جدید و دقیق، با مقادیر قبلی ارائه شده چه تفاوت‌هایی دارند. این محاسبات به منظور تحلیل و طراحی هرچه دقیق‌تر اثر برف روی تیرهای ساختمانی و انتقال نیروها به ستون‌ها و فونداسیون آن‌هاست و به دلیل مشابهت، می‌توان آن‌ها را برای تحلیل بارگذاری روی سایبان‌ها نیز به کار گرفت (Kozak & Liel, 2015). استفاده نکردن از سازه مناسب برای سایبان‌های کشاورزی، به ویژه برای مناطقی با شرایط محیطی به شدت ناپایدار، می‌تواند نه تنها تولیدات کشاورزی و گیاهان را به خطر اندازد، بلکه خسارات جبران‌ناپذیری به سرمایه‌گذاری اولیه وارد کند (Caglayan & Yuksel, 2008; Piskoty *et al.*, 2013; Krentowski, 2014; Piroglu & Ozakgul, 2016). تعیین بارهایی که وارد می‌شوند نخستین گام برای طراحی سایبان

جزئیات اجرایی سازه سایبان‌ها

و اجازه نمی‌دهد ستون‌ها به راحتی از خاک خارج شوند. در این شکل نمای کناری سایبان نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، زاویه اتصال هر کابل نسبت به زمین برای افزایش میزان پایداری سازه سایبان متفاوت در نظر گرفته شده است. انتهای کابل‌ها در یک نقطه در امتداد هر ردیف و در دو طرف به بتن قلاب شده است.

جزئیات مقطع ستون‌های داخلی سایبان باغی در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ستون‌های سایبان از ورق با ضخامت ۳ میلی‌متر ساخته شده‌اند. مقطع این ستون‌ها موج‌دار است و هنگام فرو رفتن به خاک، لبه‌های آن در زیر خاک به بیرون خم می‌شوند. این موضوع باعث محکم شدن ستون در خاک می‌شود



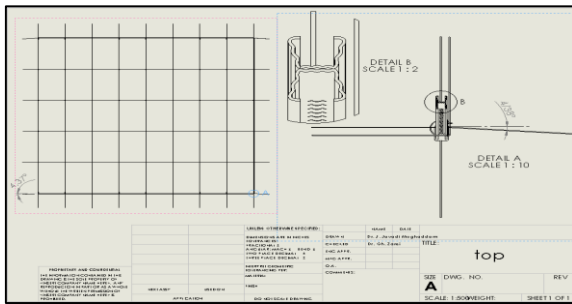
شکل ۱- نقشه و ابعاد کلی سازه سایبان (راست)، جزئیات مقطع ستون‌های سایبان (وسط) و نمای جانبی سایبان (چپ)

Fig. 1- Map and general dimensions of the shade house structure (right), Details of the shade house column sections (middle) and lateral view (left)

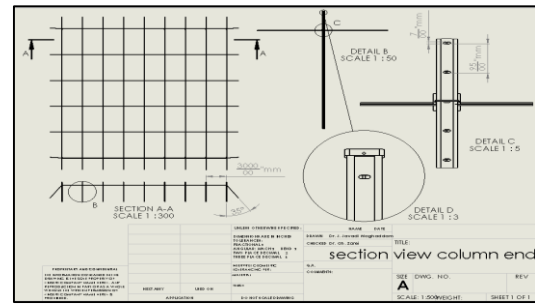
انتخابی اجرا شده (موج‌دار سینوسی) در مقابل بارهای وارده، آن با دو ستون با سطح مقاطع دیگر (ناودانی و قوطی) هم اندازه مقایسه شد. نوع سطح مقطع و ابعاد این ستون‌ها در شکل ۶ ارائه شده‌اند که به ترتیب بیانگر ستون با سطح مقطع سینوسی، ناودانی و قوطی هستند. این مقایسه همچنین برای دستیابی به دانش این موضوع صورت گرفته است که به غیر از این نوع ستون با این سطح مقطع آیا می‌توان از ستون‌هایی با سطح مقاطع دیگر نیز استفاده کرد یا خیر؟

جزئیات مربوط به ستون‌های انتهایی سایبان‌های اجرا شده در شکل ۲ ارائه شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود، کابل‌های کناری با زاویه ۳۵ درجه نسبت به خط عمودی رسم شده‌اند. در شکل‌های ۳ تا ۵ مشاهده می‌شود که ستون‌های دور سایبان برای استحکام بیشتر به صورت دو پروفیل دابل کارگذاری شده‌اند که جزئیات آنها در این شکل‌ها نشان داده شده است.

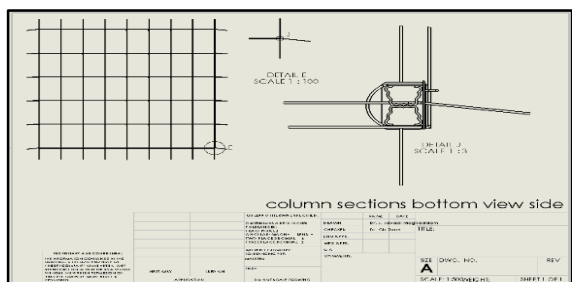
مقایسه ستون‌های سایبان‌ها با سطح مقاطع مختلف برای نشان دادن مقاومت ستون با سطح مقطع



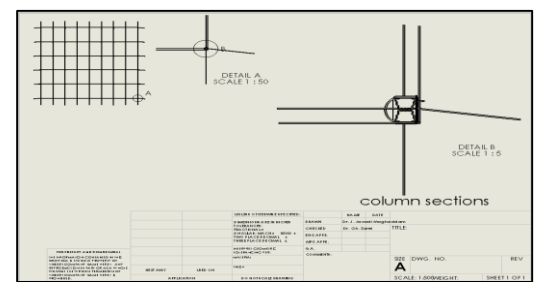
شکل ۳- ستون‌های دابل کارگذاری شده دور سایبان
Fig. 3- Double Columns used around the shade house



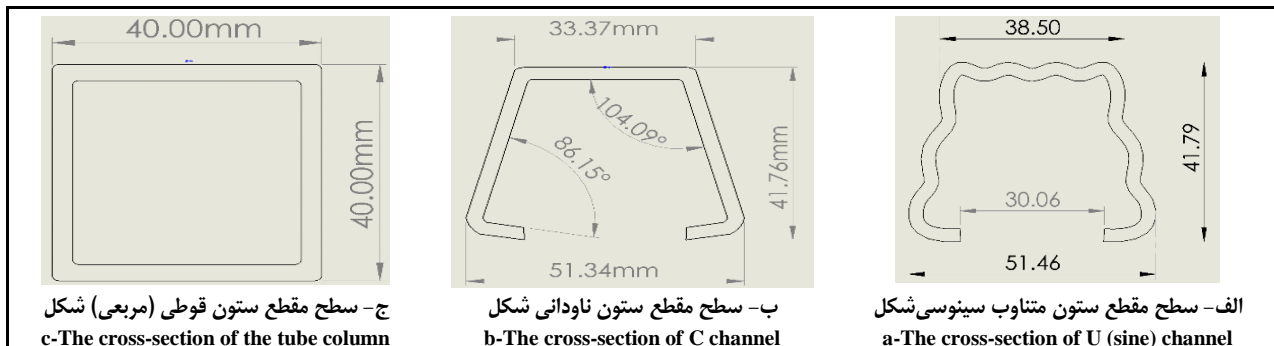
شکل ۲- ستون‌های انتهایی سایبان اجرا شده
Fig. 2- Bottom details of the shade house columns



شکل ۵- ستون‌های دابل کارگذاری شده دور سایبان
Fig. 5- Detail (J) of the double columns used around the shade house



شکل ۴- ستون‌های دابل کارگذاری شده دور سایبان
Fig. 4- Detail (B) of the double columns used around the shade house



شکل ۶- سطح مقطع و ابعاد ستون‌های متناوب سینوسی شکل (الف)، ناودانی شکل (ب) و قوطی شکل (ج) مقایسه شده
Fig. 6- The cross-section and dimensions of U (sine) channel (a), C channel (b) and tube column (c)

نتایج و بحث

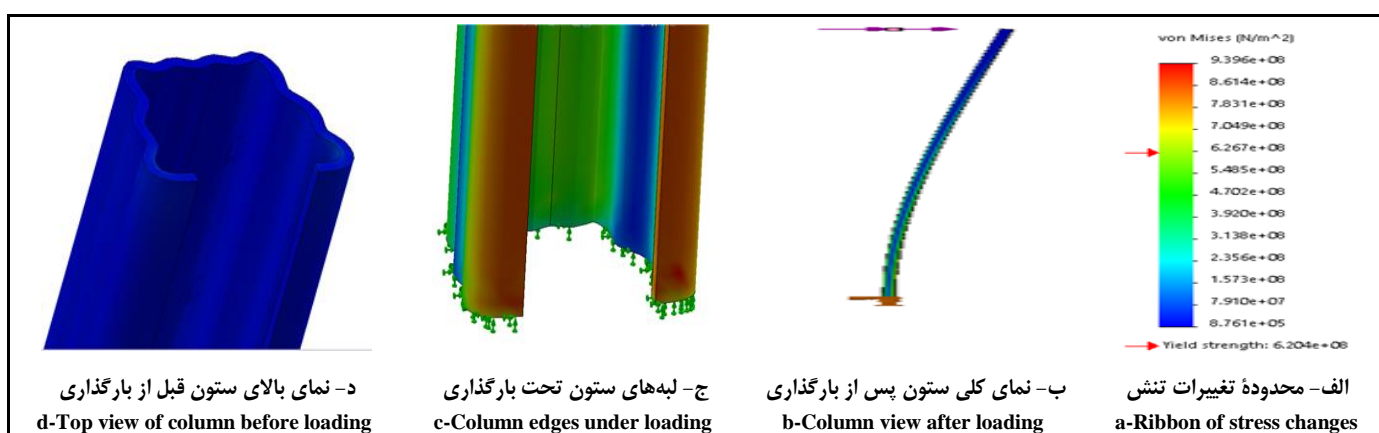
تحلیل بارگذاری روی ستون‌های تک سازه سایبان با سطح مقاطع مختلف مقاومت خمشی ستون‌ها با سطح مقطع متفاوت در بارگذاری از روبه‌رو

۲۵۰ نیوتنی وارد شد. در شکل ۷ دیده می‌شود که در نتیجه این بارگذاری در ستون U شکل، لبه‌های داخلی و انتهایی ستون در هر دو طرف آن، تسلیم شده‌اند. در خم دوم که به رنگ آبی نشان داده شده است، میزان تنش حداقل است. در محاسبات، تکیه-گاه ستون به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. شکل ۸ نیز نشان می‌دهد که در صورت اعمال این نیرو به ستون با مقطع ناودانی، ستون نه تنها تسلیم

در تحلیل تنش‌های خمشی در اثر بارگذاری برای مقایسه استحکام ستون‌ها با سطح مقاطع مشخص شده، به لبه ستون‌ها از نمای روبه‌رو بار

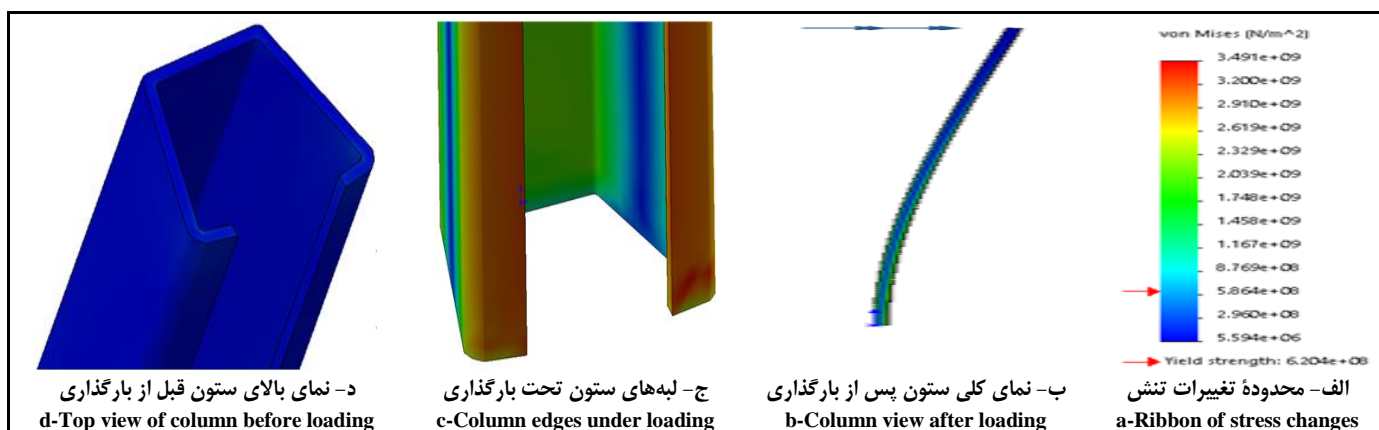
می‌یابد. شکل ۹ نشان می‌دهد که حداکثر تنش ایجاد شده در ستون قوطی شکل، تنها در نوک گوشه‌های ستون، در تکیه‌گاه است. در مقایسه با ستون با سطح مقطع سینوسی متناوب، مشاهده می‌شود که مقاومت خمشی در ستون قوطی کمتر است ولی به دلیل ضخامت بیشتر، تحمل بار خمشی بیشتری را نسبت به ستون ناودانی دارد. ضخامت ستون‌ها ۳ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

می‌شود بلکه مقدار تنش به وجود آمده در لبه آن به مراتب بیشتر خواهد بود تا در لبه ستون با سطح مقطع سینوسی. دیده می‌شود که به جز لبه‌های ستون در خم دوم، دیگر بخش‌ها دچار تسلیم شده‌اند. مقدار تنش حداکثر در این حالت در لبه سوم ایجاد شد که با رنگ قرمز مشخص شده است. با توجه به افزایش لبه‌ها می‌توان مشاهده کرد که تحمل ستون در برابر تنش حاصل از خمش افزایش



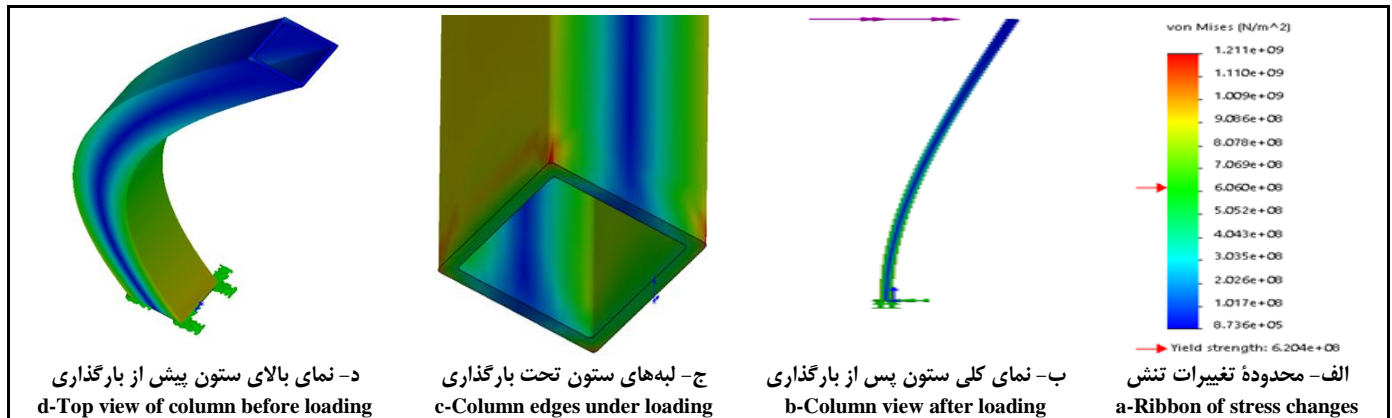
شکل ۷- مقاومت خمشی ستون با سطح مقطع متناوب سینوسی در بارگذاری ۲۵۰ نیوتن از روبه‌رو

Fig. 7- Bending strength of U column under a front load of 250 N



شکل ۸- مقاومت خمشی ستون با سطح مقطع ناودانی در بارگذاری ۲۵۰ نیوتن از روبه‌رو

Fig. 8- Bending strength of the C channel column under a 250 N front load

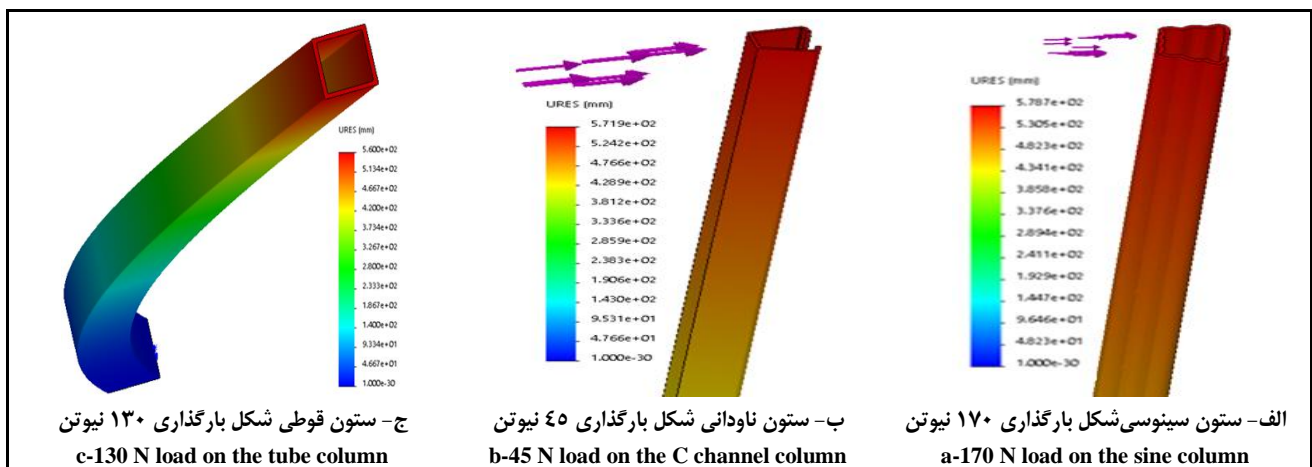


شکل ۹- مقاومت خمشی ستون با سطح مقطع قوطی شکل در بارگذاری ۲۵۰ نیوتن از روبه‌رو

Fig. 9- Bending strength of a tube column under a 250 N front load

مقایسه تغییر مکان ستون‌ها در بارگذاری از روبرو نتایج محاسبات و شبیه‌سازی مربوط به تغییر مکان ستون‌ها تحت بارگذاری از روبه‌رو در شکل ۱۰ آورده شده است. شکل ۱۰-الف تغییر مکان حداکثر ستون با مقطع سینوسی را تحت بار ۱۷۰ نیوتن نشان می‌دهد. در این حالت، تغییر مکان حداکثر این ستون مربوط به قسمت بالای آن است که برابر با ۵۷۸ میلی‌متر محاسبه شده است. شکل ۱۰-ب نشان می‌دهد که تغییر مکان در ستون ناودانی تحت نیروی بار ۴۵ نیوتن به اندازه تقریباً ۵۷۲ میلی‌متر است که نزدیک به تغییر مکان ستون با مقطع سینوسی با بار بیشتر است. در شکل ج-۱۰ مشاهده

می‌شود که در اثر بارگذاری ۱۳۰ نیوتنی، مقدار تغییر مکان در ستون قوطی نزدیک به ۵۶۰ میلی‌متر خواهد بود و از این رو می‌توان دید که ستون با سطح مقطع سینوسی، نسبت به ستون با سطح مقطع دیگر، توانسته است بارگذاری از روبه‌رو را به خوبی تحمل کند و تغییر مکان کمتری پیدا کند. این موضوع نشان می‌دهد که در مقایسه با ستون‌های دیگر با سطح مقطع مشخص شده، ستون با مقطع سینوسی تغییر مکان کمتری دارد و جابه‌جایی آن در خاک کمتر می‌شود و از این رو سطح تراز این ستون، نسبت به دو نوع ستون دیگر، پایدارتر است و استحکام بهتری دارد.



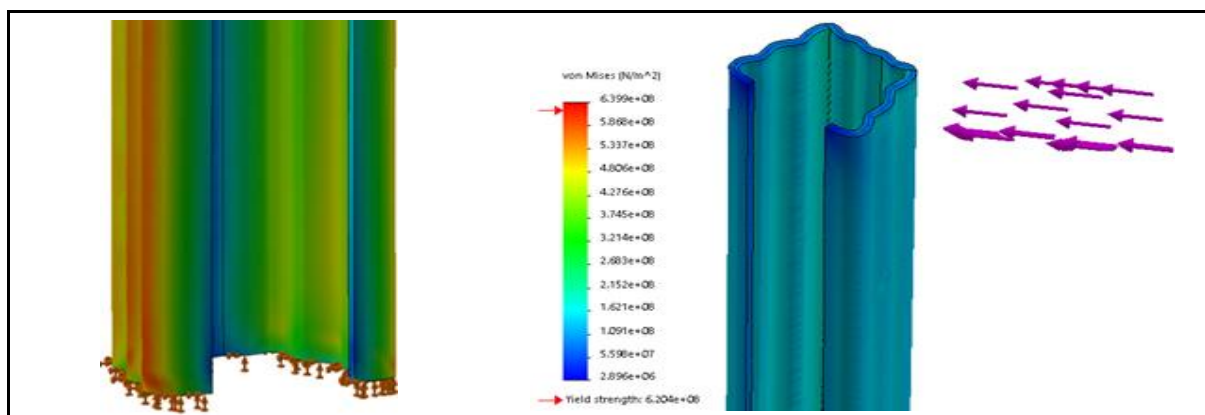
شکل ۱۰- تغییر مکان سه نوع ستون ناشی از خمش تحت بارگذاری از روبه‌رو

Fig. 10- Bending displacement of three types of columns under a front loading

مقایسه تنش‌های خمشی در بارگذاری از جانب

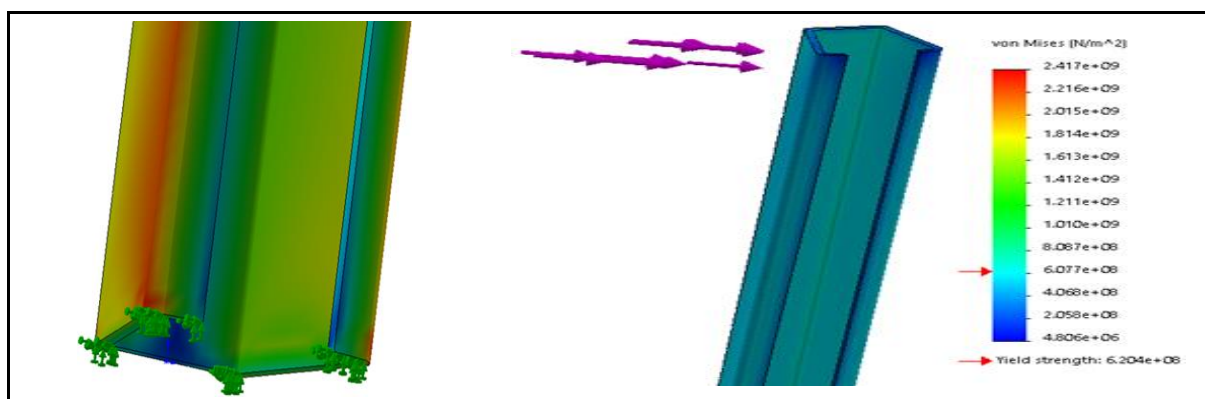
(خم بزرگ دوم) نزدیک به تکیه‌گاه ستون و در قسمت پایین آن به وجود آمده است که نزدیک به حد تسلیم ستون است. در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که ستون ناودانی تحت این بار از جانب با مقدار قابل توجهی ($2/417 \times 10^9$ پاسکال) تسلیم شده است. حداکثر تنش در آن، در لبه خم سوم و در امتداد طول ستون اتفاق افتاده است که نشان می‌دهد این منطقه در نتیجه این بارگذاری بسیار تحت تنش قرار گرفته است. تنش ایجاد شده در ستون قوطی شکل ناشی از این بارگذاری همانند شکل ۹ محاسبه شد.

برای نشان دادن استحکام ستون‌ها، آن‌ها از کنار نیز تحت نیروی ۲۵۰ نیوتن قرار داده شدند و تنش و تغییر مکان ستون‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نیروی ۲۵۰ نیوتنی به صورت افقی به لبه بالایی ستون‌ها وارد شد. در شکل ۱۱ تنش ایجاد شده در ستون با سطح مقطع سینوسی شکل ناشی از بارگذاری با نیروی ۲۵۰ نیوتن از جانب نشان داده شده است. دیده می‌شود که حداکثر تنش در ستون برابر با $6/399 \times 10^8$ پاسکال و در محل لبه بیرونی



شکل ۱۱- تنش ایجاد شده در ستون با مقطع سینوسی شکل ناشی از بارگذاری با نیروی ۲۵۰ نیوتن از جانب

Fig. 11- The stress results in the column with a sine cross-section due to a 250 N lateral force



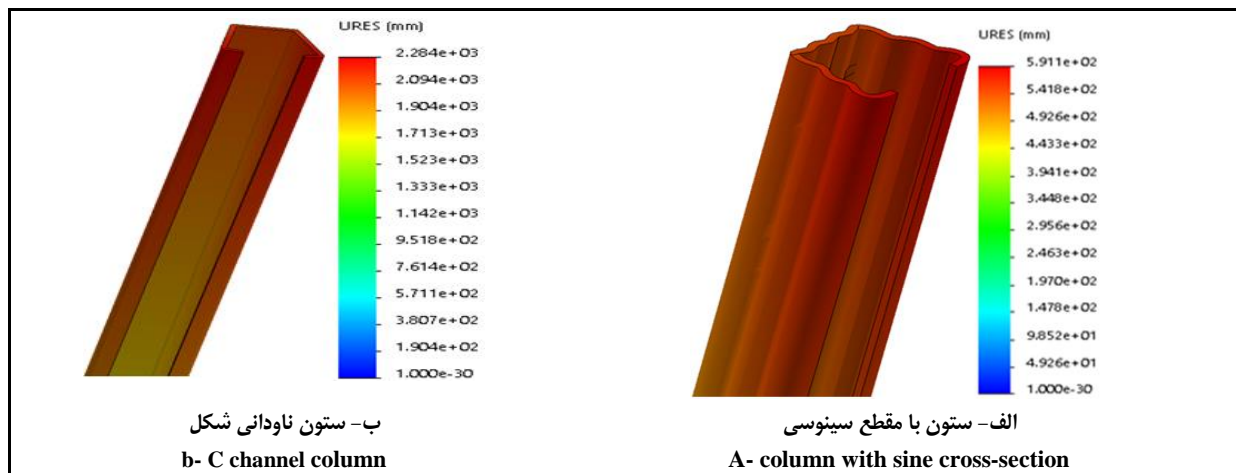
شکل ۱۲- تنش ایجاد شده در ستون ناودانی ناشی از بارگذاری با نیروی ۲۵۰ نیوتن از جانب

Fig. 12- The stress results in the C channel column due to a 250 N lateral force

شکل است (شکل ۱۳-ب). تغییر مکان به وجود آمده در ستون قوطی شکل تحت بارگذاری ۱۳۰ نیوتن نیز در شکل ۱۰-ج نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در استفاده از ستون ناودانی، به جای ستون با سطح مقطع سینوسی شکل، باید بسیار محتاط بود. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود که از ناودانی به عنوان ستون سازه سایبان استفاده نشود زیرا این ستون در مقابل بارهایی حدود ۲۰ کیلوگرم که در مقایسه با بارهای وارد به سایبان مقدار بزرگی نیست، بسیار ناپایدار است.

مقایسه تغییر مکان ستون‌های تک در بارگذاری از کنار

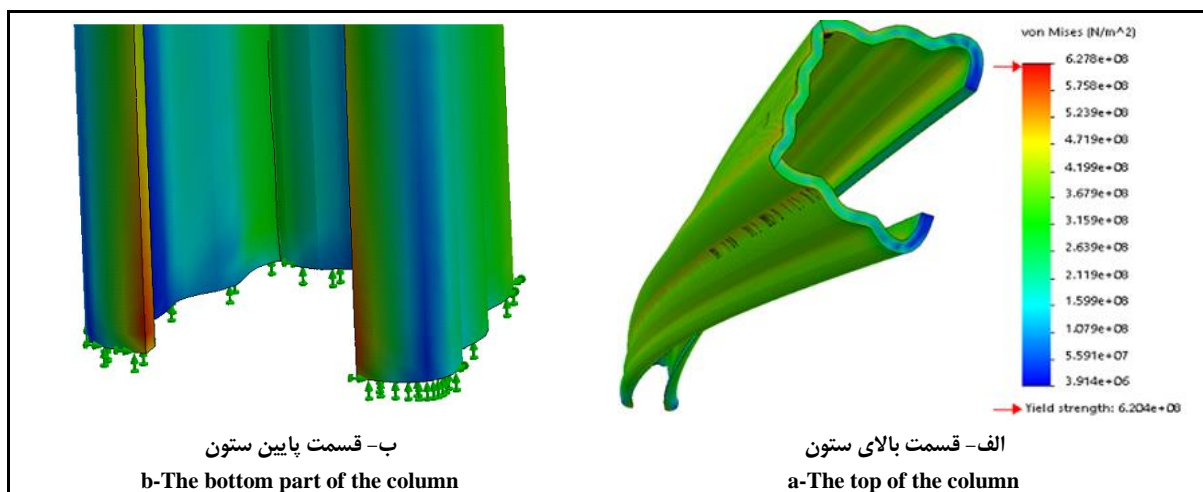
تغییر مکان ستون‌ها در بارگذاری از کنار در شکل ۱۳ ارائه شده است. با مقایسه تغییر مکان ستون‌ها با بار ۲۵۰ نیوتن، مشاهده می‌شود که در اثر این بارگذاری، تغییر مکان نوک ستون با سطح مقطع سینوسی شکل نزدیک به ۶۰ سانتی‌متر است (شکل ۱۳-الف). این تغییر مکان در ستون ناودانی شکل تحت بارگذاری مشابه به بیش از ۲۰۰ سانتی‌متر رسیده است که بیانگر ناپایداری کامل ستون ناودانی



شکل ۱۳- تغییر مکان ستون با مقطع سینوسی و ناودانی ناشی از خمش تحت بارگذاری با نیروی ۲۵۰ نیوتن از کنار
Fig. 13- Column displacement with sine cross-section and C channel under a 250N lateral loading

می‌پیچاند. میزان ممان پیچشی برای شبیه‌سازی و تحلیل تنش پیچشی برابر با ۸۳ نیوتن×متر انتخاب شد. شکل ۱۴ نشان می‌دهد که این میزان بار، ستون با مقطع سینوسی را در آستانه تسلیم قرار داده و مقدار آن برابر با $1/0.48 \times 10.8$ پاسکال است.

مقایسه تنش‌های پیچشی در مقاطع ستون‌های تکی برای تکمیل تحلیل و مقایسه ستون‌ها، استحکام پیچشی آنها نیز بررسی شد. برای اعمال بار پیچشی، یک ممان پیچشی به محور مرکزی ستون وارد شد به گونه‌ای که این ممان ستون را حول محور طولی

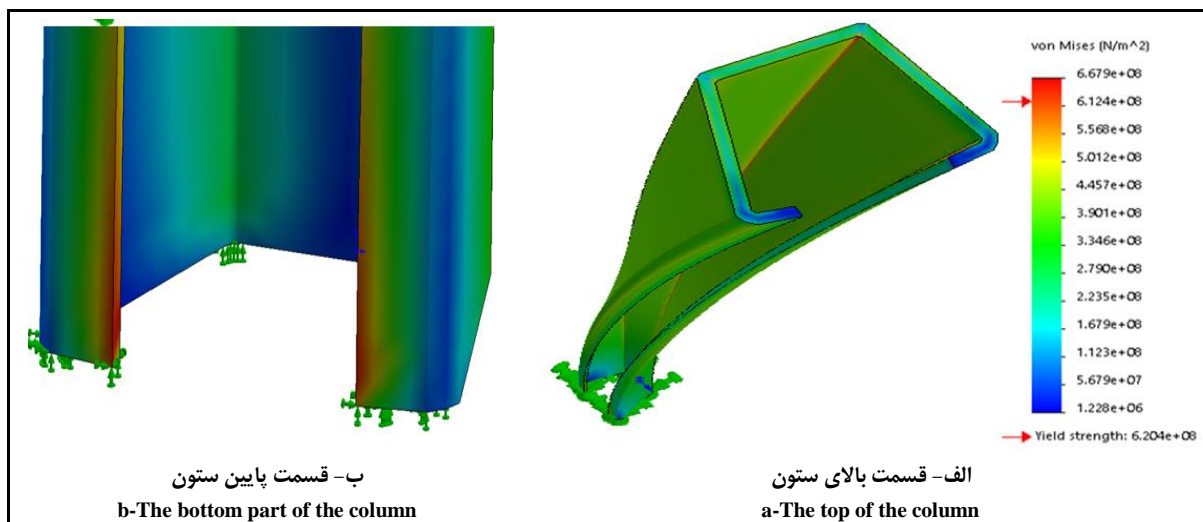


شکل ۱۴- تنش پیچشی در ستون با مقطع سینوسی شکل با ممان پیچشی ۸۳ نیوتن×متر

Fig. 14- Torsional stress in a column with a sine cross-section with a torsional moment of 83 N.m

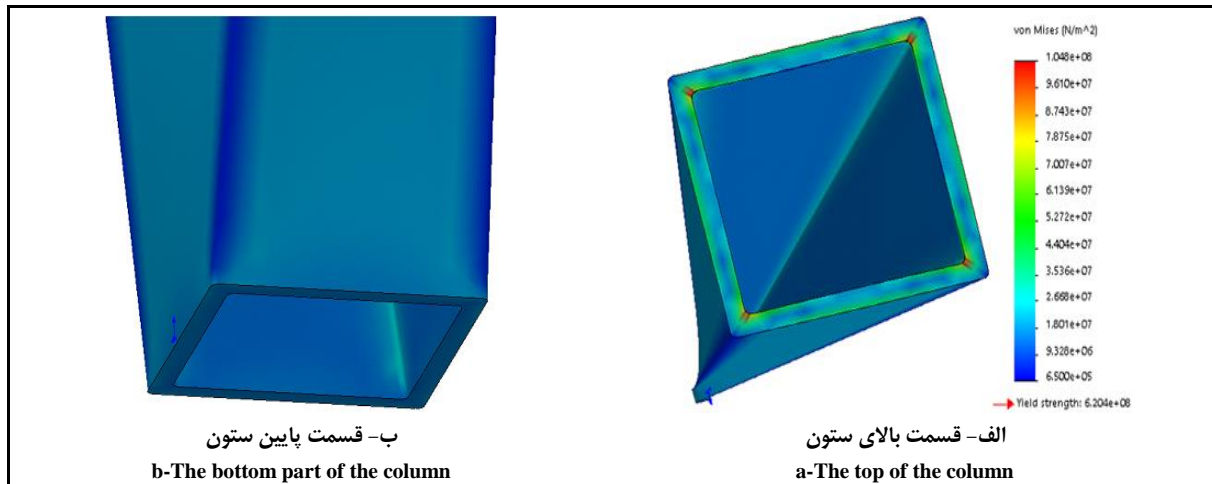
می‌شود که حداکثر تنش در لبه‌های داخلی و در طول آن اتفاق افتاده است. دیده می‌شود که ستون قوطی توانسته است این ممان پیچشی را به خوبی تحمل کند و استحکام خوبی از خود در مقابل وارد شدن بار پیچشی به نمایش بگذارد.

با مشاهده شکل ۱۵ مشخص می‌شود که ستون ناودانی در اثر ممان پیچشی مفروض کاملاً تسلیم شده است. میزان حداکثر تنش متمرکز در لبه‌های داخلی ستون به طور کامل مشخص است. در شکل ۱۶ برای ستون با مقطع قوطی شکل مشاهده



شکل ۱۵- تنش پیچشی در ستون ناودانی با ممان پیچشی ۸۳ نیوتن×متر

Fig. 15- Torsional stress in the C channel column with a torsional torque of 83 N.m

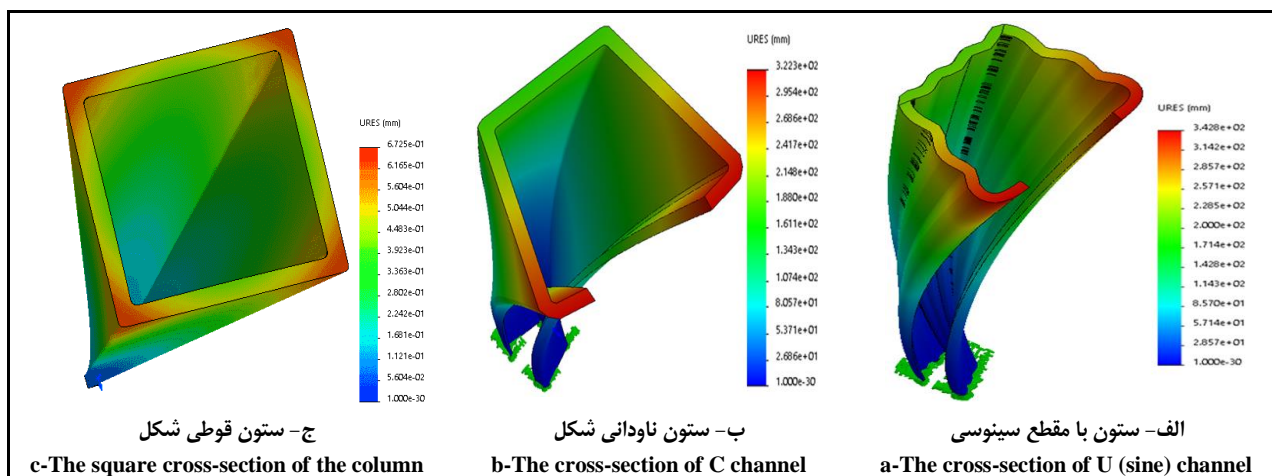


شکل ۱۶- تنش پیچشی در ستون قوطی با ممان پیچشی ۸۳ نیوتن×متر

Fig. 16- Torsional stress in the tube column with a torsional moment of 83 N.m

توانسته است با تحمل تنش کمتر در مقابل بار مفروض، چرخش بیشتری داشته باشد. شکل ۱۷-ج نشان می‌دهد که لبه‌های ستون با سطح مقطع قوطی کمتر از ۰/۷ میلی‌متر تغییر مکان داشته است که این میزان در مقایسه با دو ستون دیگر کاملاً قابل چشم‌پوشی است. این تغییر مکان ناچیز توانایی این ستون را در پایداری پیچشی نشان می‌دهد. با استفاده از تحلیل‌ها و استفاده از جدول ۱ که خلاصه بارگذاری و نتایج تنش و تغییر مکان‌های محاسبه شده را برای ستون‌های تکی نشان می‌دهد، می‌توان نوع ستون سازه سایبان را با توجه به حداکثر بارهای محیطی منطقه احداث انتخاب کرد.

مقایسه تغییر مکان پیچشی ستون‌ها با ممان پیچشی در شکل ۱۷-الف، تغییر مکان زاویه لبه‌های ستون با مقطع سینوسی شکل را بر اثر وارد شدن ممان پیچشی به اندازه ۸۳ نیوتن×متر نمایش داده شده است. در این حالت، میزان تغییر مکان لبه‌های ستون برابر با ۳۴۲/۸ میلی‌متر محاسبه شده است. در مقایسه با ستون ناودانی (شکل ۱۷-ب)، دیده می‌شود که اندازه تغییر مکان این ستون در اثر این ممان پیچشی به ۳۲۲/۳ میلی‌متر کاهش یافته است و از این رو با توجه به تنش ایجاد شده بیشتر در ناودانی، مشاهده می‌شود که میزان تغییر مکان انتهای آن از ستون با مقطع سینوسی کمتر است. به سخی دیگر، ستون با سطح مقطع سینوسی



شکل ۱۷- تغییر مکان ستون‌هایی با سطح مقاطع قوطی، ناودانی و سینوسی شکل ناشی از پیچش تحت بارگذاری با ممان ۸۳ نیوتن×متر
 Fig. 17- Displacement of tube, C channel and sine columns due to twisting under a load with a torque of 83 N.m

جدول ۱- نتایج تحلیل بارگذاری روی انواع ستون‌های تک قابل کاربرد در سازه سایبان‌ها

Tab. 1- Results of analysis of loading on types of single columns that can be used in the structure of shade houses

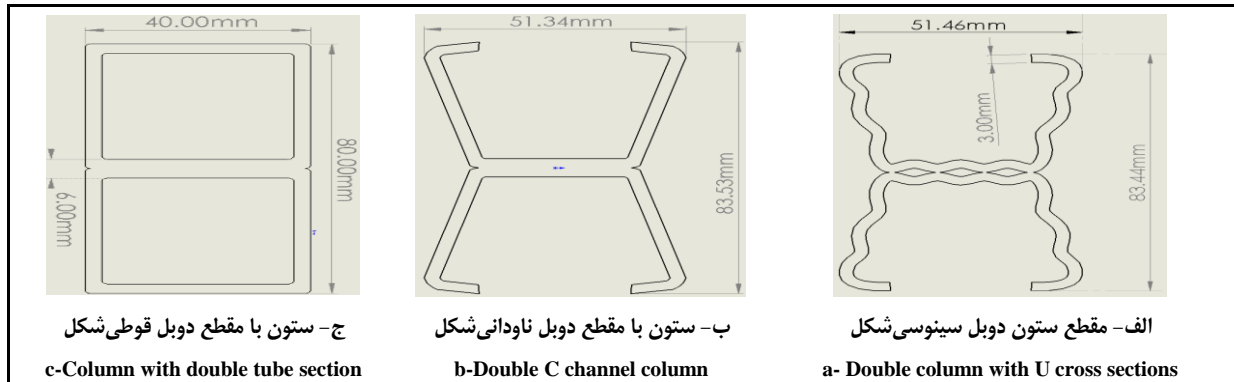
بارگذاری پیچشی		بارگذاری از کنار		بارگذاری از روبه‌رو		نوع سطح مقطع	وضعیت سطح مقطع
حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش	حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش	حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش		
Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Type of cross section	Cross section condition
بار 83 نیوتن: 342.8	بار 83 نیوتن×متر: 6.278e+08	بار 250 نیوتن: 591.1	بار 250 نیوتن: 6.399e+08	بار 170 نیوتن: 578.7	بار 250 نیوتن: 9.396e+08	سینوسی شکل U (Sine) channel	ستون تک Single column
بار 83 نیوتن: 322.3	بار 83 نیوتن×متر: 6.679+09	بار 250 نیوتن: 2284	بار 250 نیوتن: 2.417e+09	بار 45 نیوتن: 571.9	بار 250 نیوتن: 3.491e+09	ناودانی C channe	
بار 83 نیوتن: 0.6725	بار 83 نیوتن×متر: 1.048e+08	بار 130 نیوتن: 560.0	بار 250 نیوتن: 1.211e+09	بار 130 نیوتن: 560.0	بار 250 نیوتن: 1.211e+09	قوطی Square column	

ستون‌های سینوسی دابل را نشان می‌دهد. ستون‌ها را می‌توان با عملیات جوشکاری یا با ایجاد سوراخ‌هایی به شکل لوبیا در طول ستون و با کمک پیچ و مهره به یکدیگر متصل کرد. برای محاسبه استحکام خمشی ستون با سطح مقطع عنوان شده در مقابل بارها، این شکل ترکیبی با دو ستون با سطح مقطع ناودانی و قوطی مشابه مقایسه شد. شکل‌های ۱۸-ب و ۱۸-ج به ترتیب ستون با سطح

مقایسه ستون‌های دابل سازه سایبان با سطح مقاطع مختلف

مقایسه ستون‌های دابل با سطح مقطع متفاوت ستون سازه‌های سایبان‌های اجرا شده همگی ناودانی با سطح مقطع متناوب یا سینوسی بودند. ستون‌های بیرونی آنها به صورت دابل کار گذاشته شده بودند به گونه‌ای که از پشت مقطع ناودان به یکدیگر متصل بودند. شکل ۱۸-الف مقطع

مقاطع ناودانی و قوطی دویل را با ابعاد استفاده شده برای این مقایسه نمایش می‌دهند. بدیهی است با مقایسه نتایج می‌توان استفاده از ستون با سطح مقاطع ساده‌تر را برای مناطق مختلف پیشنهاد کرد.

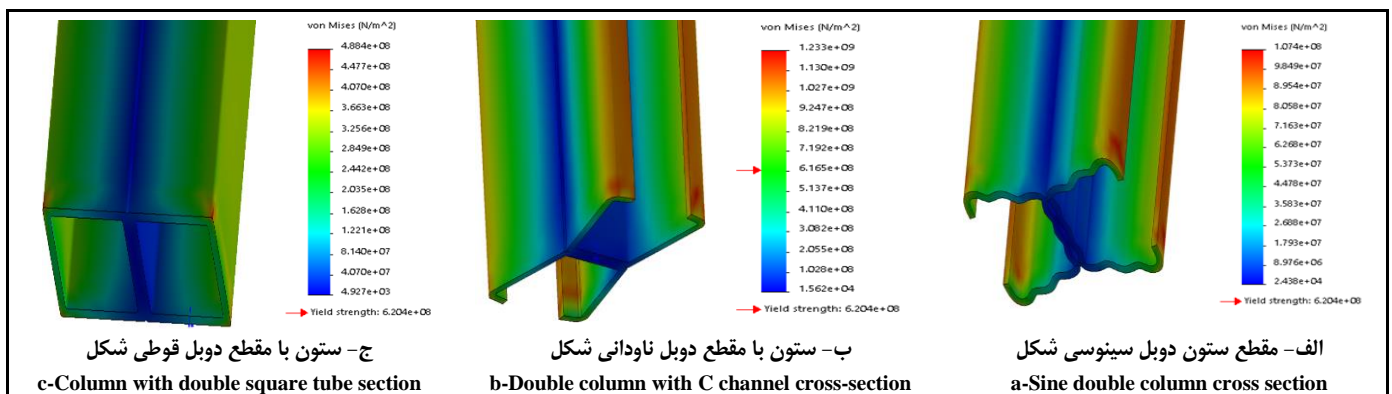


شکل ۱۸- سطح مقطع ستون‌های دویل سینوسی شکل (الف)، ناودانی شکل (ب) و قوطی شکل (ج) مقایسه شده

Fig. 18- The cross section sine (a), C channel (b) and tube (c) of double column profiles

روی ستون با سطح مقطع دویل متناوب سینوسی، لبه‌های بیرونی ستون در هر دو طرف آن دچار تنش حداکثری شده‌اند و در قسمت گوشه میانی ستون دویل که ضخامت آن نسبت به بقیه قسمت‌های ستون در سطح مقطع دو برابر بیشتر است، میزان تنش حداقل است. در این حالت، تکیه‌گاه ستون به گونه‌ای در نظر گرفته شده که سطح پایین ستون را به صورت گیردار در مقطع آن نگاه‌دارد.

تحلیل بارگذاری روی ستون‌های دویل سازه‌سایبان با سطح مقاطع مختلف مقاومت خمشی ستون‌های دویل کناری در بارگذاری از روبه‌رو برای مقایسه استحکام ستون‌ها با سطح مقاطع مشخص شده، به نوک ستون‌ها از نمای روبه‌رو بار ۲۵۰ نیوتنی وارد شد به صورتی که این بار به قسمت بالا و لبه ستون‌ها وارد شد. در شکل ۱۹-الف مشاهده می‌شود که در نتیجه این بارگذاری



شکل ۱۹- مقاومت خمشی ستون‌ها با سطح مقطع متفاوت دویل با بارگذاری ۲۵۰ نیوتن روی لبه‌های ستون‌ها

Fig. 19- Bending strength of columns with different double cross section with 250 N loading on the column edges

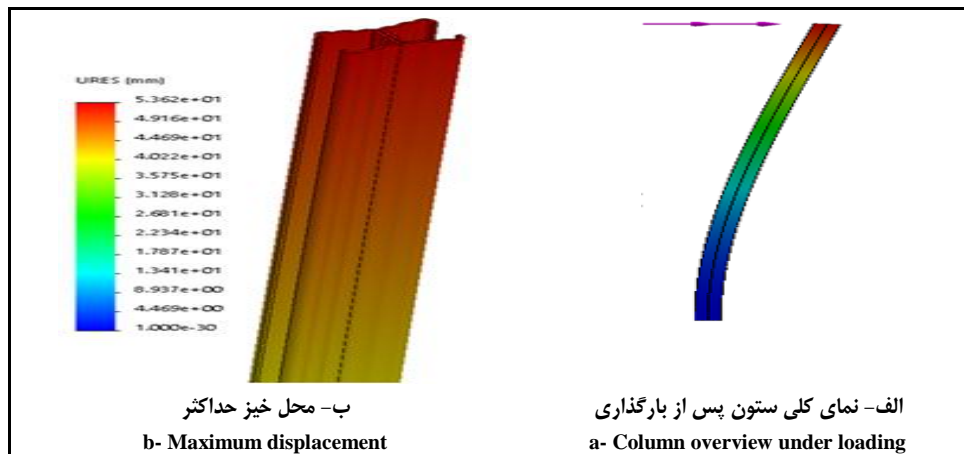
امکان‌پذیر نیست و از این‌رو تنها می‌توان برای رسیدن به فرم ستون با قوطی دوبل از جوش استفاده کرد که به صرفه باشد. بعد از مرحله اتصال، رنگ‌کاری و آبکاری برای افزایش مقاومت ستون در مقابل خوردگی و رطوبت نیاز خواهد بود. این موضوع، استفاده از این ستون را در عمل پیچیده و مشکل می‌کند. سرانجام اینکه استفاده از ستون قوطی ساده با مقطعی بزرگ‌تر، به جای ستون قوطی دوبل، مناسب‌تر خواهد بود.

لازم است گفته شود که کلیه ضخامت‌ها برای ستون‌های دوبل با سطح مقاطع نشان داده شده ۳ میلی‌متر است. از طرف دیگر، ستون با مقطع متناوب و سینوسی توانست به خوبی این بارگذاری را حتی در لبه‌های خود تحمل کند. مشاهده می‌شود که در این حالت، ستون با سطح مقطع سینوسی متناوب دوبل توانسته است مقاومت خمشی بهتری را حتی در مقایسه با قوطی دوبل از خود نشان دهد.

تغییر مکان مقاطع ستون‌های دوبل ناشی از خمش

در این قسمت، نتایج محاسبات و شبیه‌سازی مربوط به تغییر مکان ستون‌های دوبل تحت بارگذاری ۲۵۰ نیوتن از روبه‌رو نشان داده شده است. شکل ۲۰، تغییر مکان حداکثر ستون دوبل با مقطع سینوسی را تحت این بارگذاری نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در این حالت، تغییر مکان حداکثر این ستون مربوط به قسمت بالای آن است که برابر با ۵۳/۶۲ میلی‌متر محاسبه شده است.

در شکل ۱۹-ب دیده می‌شود که اگر این نیرو به ستون دوبل با مقطع ناودانی وارد شود، ستون نه تنها تسلیم خواهد شد بلکه مقدار تنش به وجود آمده در آن به مراتب بیشتر از مقدار تنش به وجود آمده در ستون با سطح مقطع سینوسی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ستون با سطح مقطع ناودانی دوبل لبه‌ها نه تنها دارای تنش حداکثری هستند بلکه روی لبه‌های ساده یعنی در خم دوم، در سطح مقطع ستون که به رنگ سبز در شکل نشان داده شده، تسلیم شده‌اند. به عبارت دیگر، تنها ستون دوبل در قسمت دو جداره خود که همان قسمت وسط ستون است، توانسته بارگذاری را تحمل کند و در لبه داخلی اول (رنگ سبز در شکل ۱۹-ب) تسلیم شده و در لبه سوم که با رنگ قرمز در شکل نشان داده شده است مقدار تنش بسیار زیادی را تحت بارگذاری ۲۵۰ نیوتنی تحمل کند. مهم‌ترین نکته در اینجا آن است که لبه‌های ستون تا چه اندازه می‌توانند بارگذاری را قبل از تسلیم شدن تحمل کنند. در این حالت مشاهده شد که سطح مقطع ناودانی دوبل نتوانست تحمل و مقاومت مناسبی را در مقابل این بار از خود نشان دهد. در شکل ۱۹-ج مشاهده می‌شود که حداکثر تنش ایجاد شده در ستون قوطی دوبل تحت بارگذاری ۲۵۰ نیوتنی تنها در نوک گوشه‌های ستون در تکیه‌گاه ایجاد شده است. نکته مهم در اینجا نحوه اتصال ستون قوطی دوبل است زیرا با توجه به بسته بودن سطح مقاطع قوطی ستون دوبل، امکان اتصال دو قوطی با سوراخ‌کاری و پیچ و مهره کردن به راحتی

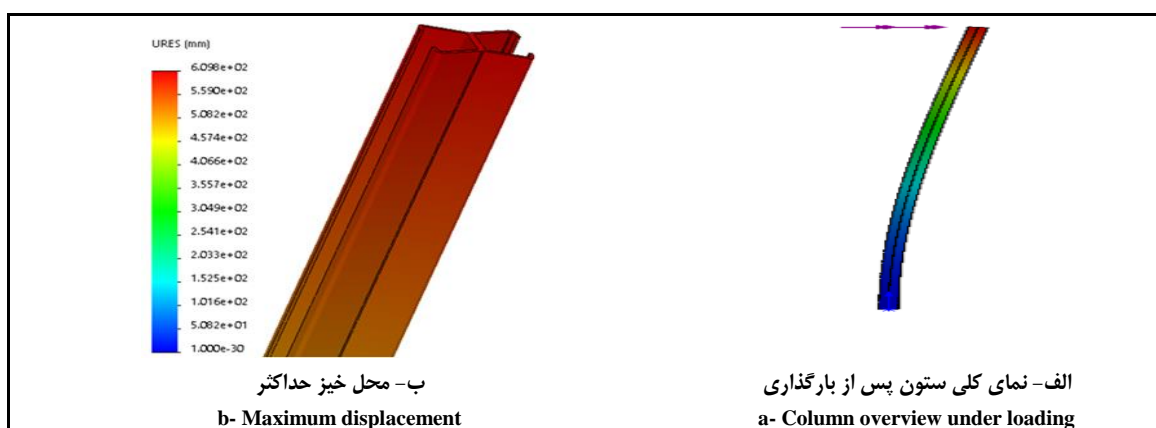


شکل ۲۰- تغییر مکان ستون با مقطع سینوسی دویل ناشی از خمشی تحت بارگذاری از روبه‌رو با نیروی ۲۵۰ نیوتن

Fig. 20- Displacement of double sine column due to bending under a 250 N front loading

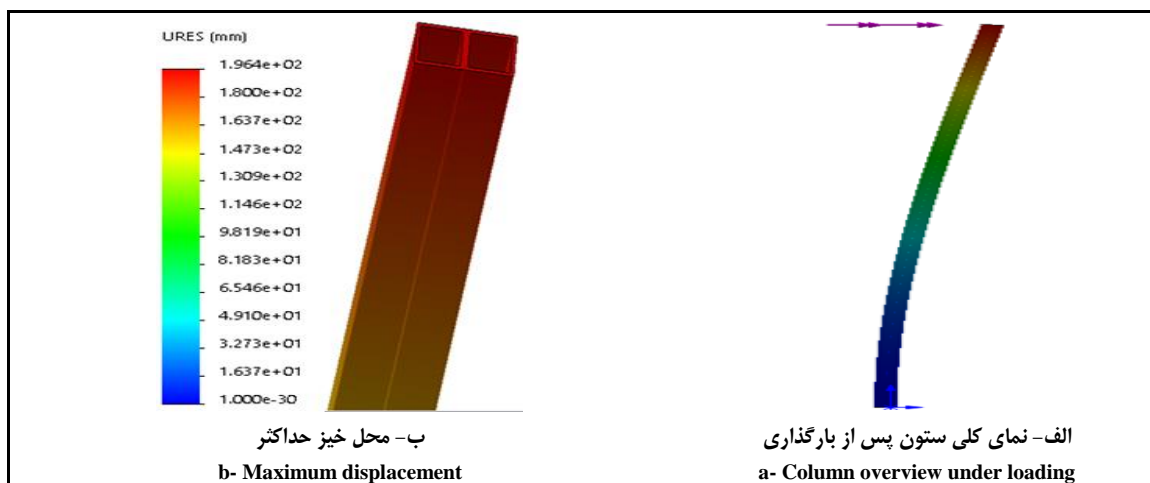
مقاطع دیگر توانسته است بارگذاری را به خوبی تحمل کند و تغییر مکان کمتری پیدا کند. این موضوع نشان می‌دهد که در مقایسه با ستون‌های دویل با سطح مقاطع مختلف، ستون با مقطع سینوسی کمتر در خاک به صورت افقی جابه‌جا خواهد شد. سطح تراز این نوع از ستون‌ها، نسبت به ستون‌های دویل دیگر، دیرتر به هم خواهد خورد و مقاومت بهتری از خود نشان خواهد داد.

در شکل ۲۱ دیده می‌شود که ستون دویل با مقطع ناودانی تحت نیروی بار مشابه، تغییر مکانی به اندازه تقریباً ۶۱ سانتی‌متر یافته که در مقایسه با ستون دویل با مقطع متناوب و سینوسی بسیار بیشتر است. از طرف دیگر، در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود که در اثر این بارگذاری مقدار تغییر مکان در ستون قوطی دویله نزدیک به ۲۰ سانتی‌متر است. از این‌رو می‌توان دید که ستون دویل با سطح مقطع سینوسی نسبت به ستون با سطح



شکل ۲۱- تغییر مکان ستون ناودان دویل ناشی از خمشی تحت بارگذاری از روبه‌رو با نیروی ۲۵۰ نیوتن

Fig. 21- Displacement of double C channel column due to bending under a 250 N front loading

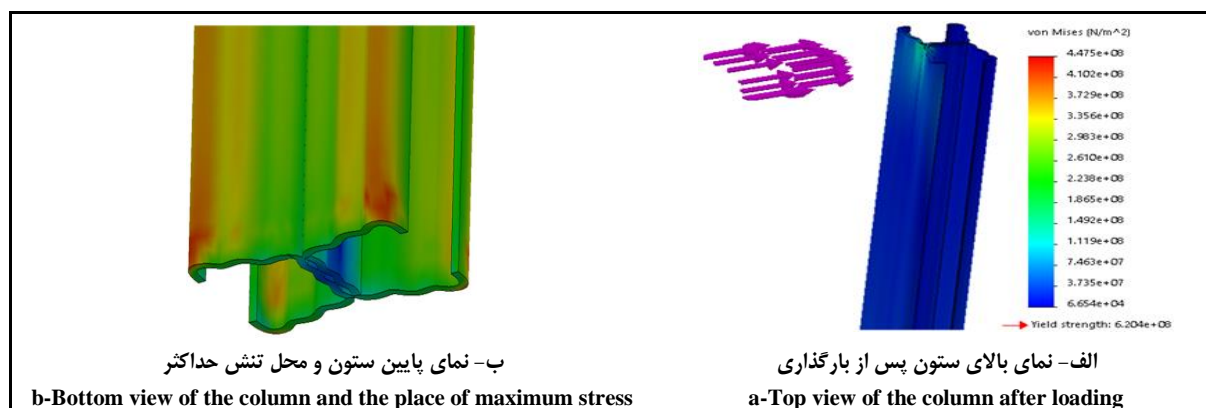


شکل ۲۲- تغییر مکان ستون با مقطع قوطی دوبل ناشی از خمش تحت بارگذاری از روبه‌رو با نیروی ۲۵۰ نیوتن
 Fig. 22- Displacement of double tube column due to bending under a 250 N front loading

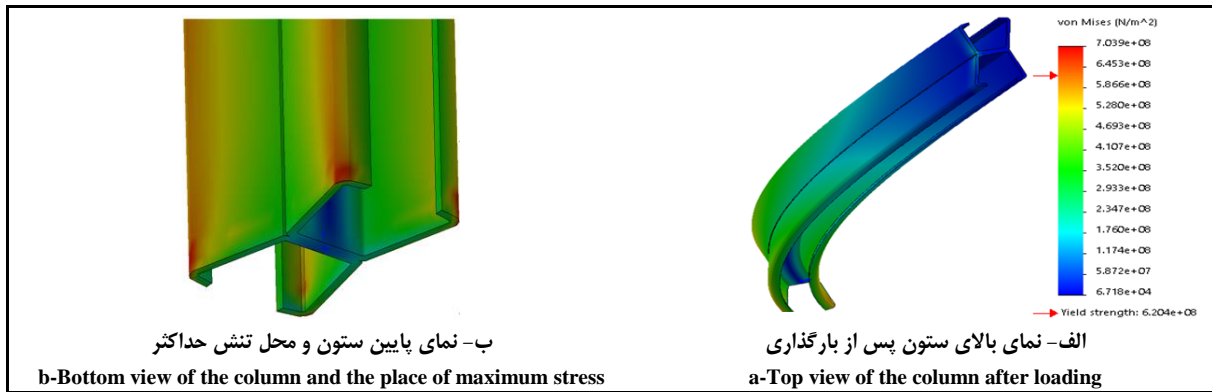
تکیه‌گاه ستون و در قسمت پایین آن به وجود آمده است. حال اینکه در شکل ۲۴ ستون دوبل با مقطع ناودانی تحت این بار از جانب تسلیم شده است. نقطه تسلیم ستون و محلی که حداکثر تنش در آن به وجود آمده است روی لبهٔ دوم و نزدیک به قسمت تکیه‌گاه قرار دارد. این قسمت در هر سه ستون، منطقهٔ بحرانی است. مطابق با شکل ۲۵، برای ستون با مقطع قوطی دوبل، میزان تنش متمرکز از دو ستون دیگر بیشتر است ولی تنش در سایر قسمت‌ها، در مقایسه با مقاطع دیگر، کمتر شده است.

مقایسهٔ تنش‌های خمشی ستون‌های دوبل در بارگذاری از جانب

برای نشان دادن استحکام ستون‌های دوبل، آن‌ها از جانب نیز تحت نیروی ۲۵۰ نیوتن قرار گرفتند و تنش و تغییر مکان آن‌ها با شکل سطح مقاطع عنوان شده با یکدیگر مقایسه شدند. این نیروی ۲۵۰ نیوتنی به صورت افقی به لبهٔ بالایی ستون‌ها وارد شدند. در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود که حداکثر تنش در ستون دوبل با مقطع سینوسی برابر با $4/475 \times 10^8$ پاسکال و در لبهٔ بیرونی نزدیک به

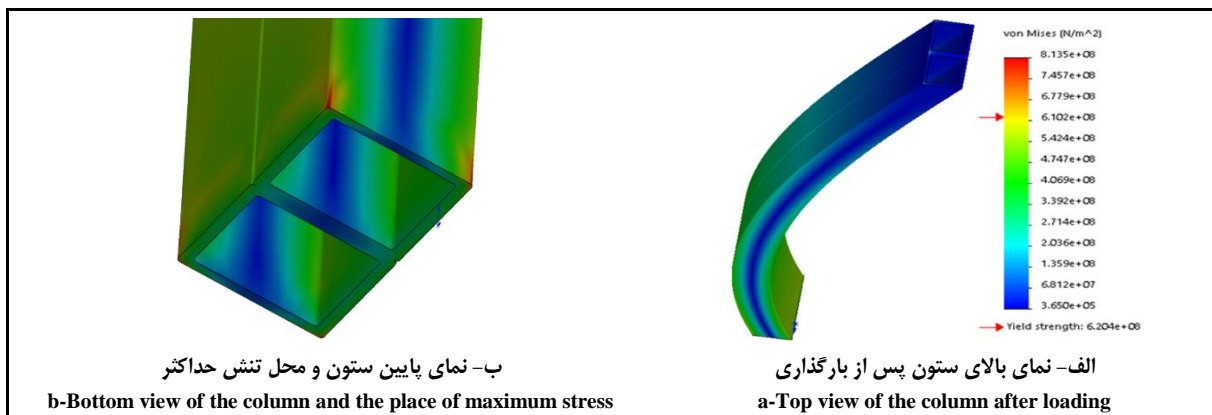


شکل ۲۳- تنش در ستون با مقطع سینوسی شکل دوبل ناشی از خمش تحت بارگذاری از جانب با نیروی ۲۵۰ نیوتن
 Fig. 23- Stress in a column with a double sine cross-section due to bending under a 250 N lateral loading



شکل ۲۴- تنش در ستون ناودان دابل ناشی از خمش تحت بارگذاری از جانب با نیروی ۲۵۰ نیوتن

Fig. 24- Stress in the double C channel column due to bending under a 250 N lateral loading



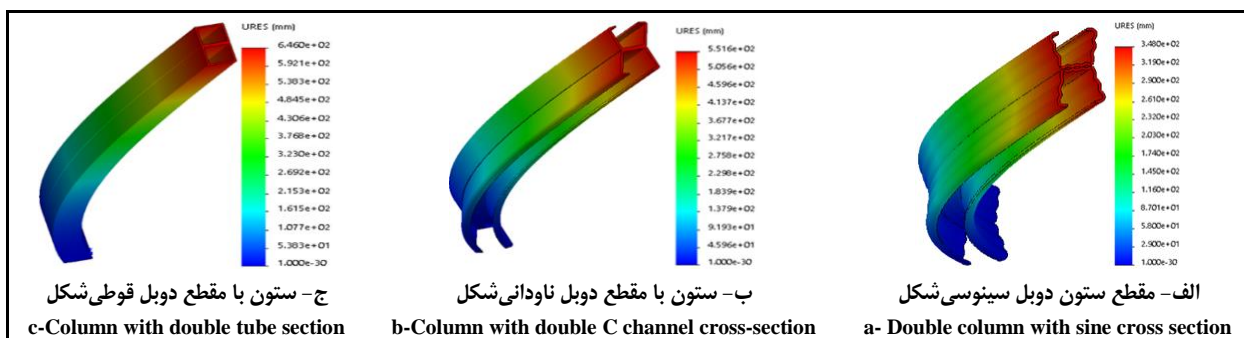
شکل ۲۵- تنش در ستون قوطی دابل ناشی از خمش تحت بارگذاری از جانب با نیروی ۲۵۰ نیوتن

Fig. 25- Stress in the double tube column due to bending under a 250 N lateral loading

دوبل با مقطع قوطی این مقدار تغییر مکان به نزدیکی ۶۵ سانتی‌متر رسیده است (شکل ۲۶-ج). می‌توان دید که در این حالت ستون با مقطع سینوسی، در مقایسه با دو ستون با دو شکل مقطع دیگر، قابلیت بسیار مناسب‌تری دارد. در این بارگذاری نیز ستون دوبل با سطح مقطع سینوسی، نسبت به دو ستون دیگر، قابلیت باربری بهتر و استحکام بیشتری دارد و گزینه مناسب‌تری برای سازه سایبان است.

تغییر مکان مقاطع ستون‌های دابل ناشی از بارگذاری جانبی

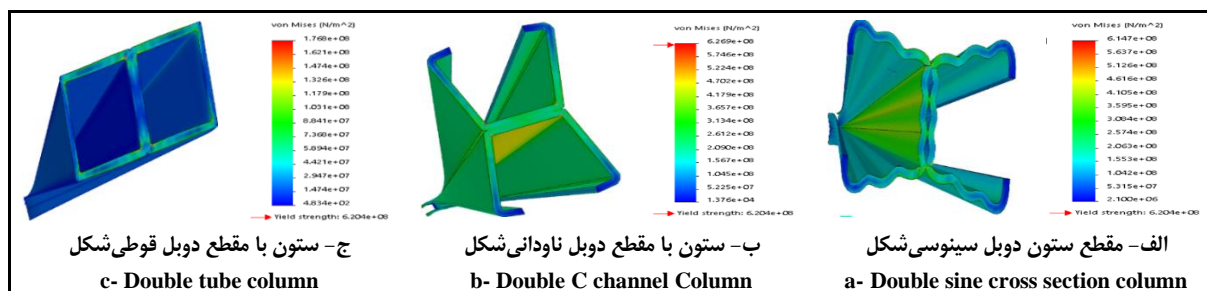
شکل ۲۶-الف نشان می‌دهد که با توجه به بارگذاری ۲۵۰ نیوتن از جانب، خیز ستون دوبل با مقطع متناوب سینوسی به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده و نوک ستون تا نزدیک به ۳۵ سانتی‌متر تغییر مکان داشته است. شکل ۲۶-ب نیز نشان می‌دهد این مقدار تغییر مکان در ستون دوبل با مقطع ناودانی بیشتر از ۵۵ سانتی‌متر است. در ستون



شکل ۲۶- تغییر مکان در ستون‌ها با مقاطع مختلف دویل ناشی از خمش تحت بارگذاری از کنار با نیروی ۲۵۰ نیوتن
 Fig. 26- Displacement in the different double-column sections due to bending under a 250 N lateral loading

در مناطق مربوط به لبه‌های داخلی ناودانی ایجاد شده است به نوعی که در این حالت لبه‌های ناودانی تمایل به باز شدن دارند و گوشه‌های آن مطابق این شکل دچار تمرکز تنش شده‌اند. در شکل ۲۷-ج برای ستون با سطح مقطع قوطی دیده می‌شود که حداکثر تنش در لبه‌های داخلی آن اتفاق افتاده و مقدار آن برابر با 1.768×10^8 پاسکال است. در این حالت، ستون دویل با مقاطع قوطی توانسته این ممان پیچشی را در مقایسه با ستون دویل با مقطع ناودانی به خوبی تحمل کند. مقدار تنش به وجود آمده در آن به مراتب کمتر از تنش به وجود آمده در ستون با مقطع سینوسی شکل دویل است. یعنی در حالت پیچش، ستون قوطی دویل توانسته است مقاومت به مراتب بهتری از خود در مقابل پیچش نشان دهد.

تنش پیچشی در ستون‌های دویل با ممان پیچشی برای کامل‌تر شدن مقایسه‌ها، استحکام پیچشی ستون‌های دویل بررسی شد. برای این کار یک ممان پیچشی حول محور مرکزی ستون و به انتهای آن وارد شد. این ممان به گونه‌ای ستون را تحت تأثیر قرار می‌دهد که می‌خواهد آن را به دور محور مرکزی آن بپیچاند. میزان ممان پیچشی برابر با ۱۷۰ نیوتن×متر انتخاب شد. در اثر این ممان و با مشاهده شکل ۲۷-الف می‌بینیم ستون دویل با مقطع متناوب سینوسی به خوبی توانسته این ممان را تحمل کند به طوری که در قسمت دو لایه شده میانی ستون، بیشترین تنش در اثر این بارگذاری به وجود آمده است. از سوی دیگر، با مشاهده شکل ۲۷-ب مشخص می‌شود ستون دویل با مقطع ناودانی در اثر ممان پیچشی مفروض تسلیم شده است. این تسلیم

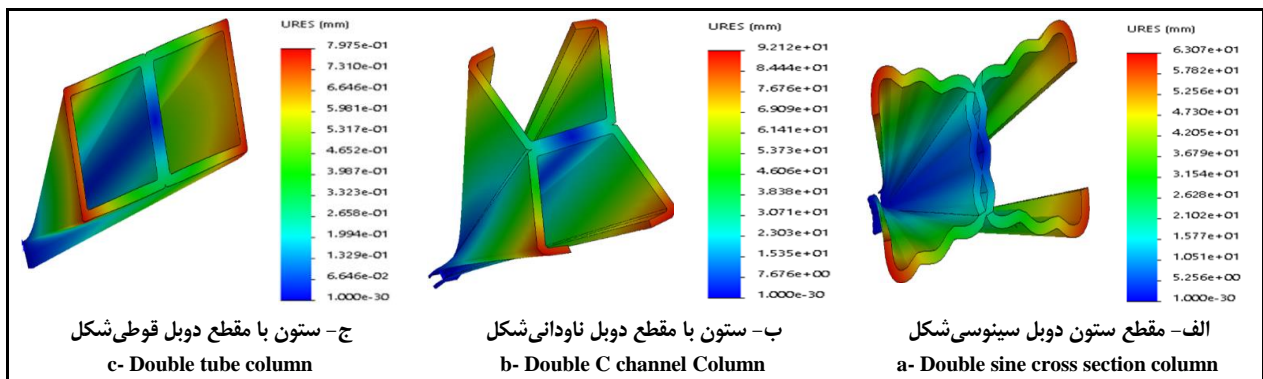


شکل ۲۷- تنش پیچشی در ستون با مقاطع مختلف دویل شکل با ممان پیچشی ۱۷۰ نیوتن×متر
 Fig. 27- Torsional stress in the column with different double-shaped sections under a torque of 170 N.m

تغییر مکان در ستون‌ها با ممان پیچشی

شکل ۲۸- الف، میزان تغییر زاویه لبه‌های ستون دوبل با مقطع سینوسی شکل را در اثر این ممان پیچشی ۱۷۰ نیوتن×متر نشان می‌دهد. در این حالت، میزان تغییر مکان لبه‌های ستون برابر با ۶۳/۰۷ میلی‌متر محاسبه شد. در شکل ۲۸- ب مشاهده می‌شود که اندازه تغییر مکان ستون دوبل ناودانی شکل در اثر این ممان پیچشی به ۹۲/۱۲ میلی‌متر افزایش یافته که در مقایسه با ستون دوبل با مقطع سینوسی تقریباً به اندازه ۳۰ میلی‌متر لبه‌های این ستون بیشتر حرکت کرده است. در

شکل ۲۸- ج می‌بینیم لبه‌های ستون دوبل با مقطع قوطی تنها به اندازه ۰/۸ میلی‌متر تغییر مکان داشته‌اند که به معنای آن است که تقریباً تغییر مکان ستون دوبل با مقطع قوطی نسبت به ستون دوبل ناودانی و ستون دوبل سینوسی تحت ممان وارد شده، قابل چشم‌پوشی است و از این‌رو این سطح مقطع نسبت به دیگر سطح‌های مقطع توانسته است مقاومت چشم‌گیری در برابر بارگذاری پیچشی از خود نشان دهد. خلاصه بارگذاری و نتایج تنش و تغییر مکان‌های محاسبه شده در این تحقیق برای ستون‌های دوبل در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲۸- تغییر مکان ستون با مقاطع دوبل شکل ناشی از پیچش تحت بارگذاری با ممان ۱۷۰ نیوتن×متر

Fig. 28- Torsional deflection of the double-shaped column under a torque of 170 Nm

جدول ۲- نتایج تحلیل بارگذاری روی انواع ستون‌های دوبل قابل کاربرد در سازه سایبان‌ها

Table. 2- Results of loading analysis on different types of double columns that can be used in the structure of shade houses

بارگذاری پیچشی		بارگذاری از کنار		بارگذاری از روبه‌رو		نوع سطح مقطع	وضعیت سطح مقطع
حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش	حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش	حداکثر تغییر مکان ایجاد شده	حداکثر تنش		
Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Maximum displacement created (میلی‌متر)	Maximum stress (مگا پاسگال)	Type of cross section	Cross section condition
بار 170 نیوتن: 63.07	بار 170 نیوتن×متر: 6.278e+08	بار 250 نیوتن: 348.0	بار 250 نیوتن: 4.475e+08	بار 250 نیوتن: 53.62	بار 250 نیوتن: 1.074e+08	سینوسی شکل U (Sine) channel	ستون دوبل
بار 170 نیوتن: 92.12	بار 170 نیوتن×متر: 6.679e+09	بار 250 نیوتن: 551.6	بار 250 نیوتن: 7.039e+08	بار 250 نیوتن: 609.8	بار 250 نیوتن: 1.233e+09	ناودانی C channe	Double column
بار 170 نیوتن: 0.7975	بار 170 نیوتن×متر: 1.048e+08	بار 250 نیوتن: 646.0	بار 250 نیوتن: 8.135e+08	بار 250 نیوتن: 196.4	بار 250 نیوتن: 4.884e+08	قوطی Square column	

نتیجه‌گیری

بار تحمل می‌کند و تغییر مکان ایجاد شده در آن کمتر است تا در دو نوع ستون دیگر. در بارگذاری از کنار، پروفیل سینوسی U شکل بار را بهتر از دو نوع ستون دیگر تحمل می‌کند و نیز تغییر مکان کمتری دارد. در بارگذاری پیچشی، ستون با پروفیل قوطی بهتر از دو مقطع دیگر توانسته است بارگذاری را تحمل کند و تغییر مکان کمتری نسبت به بقیه داشته است. در مجموع، با توجه به نتایج بارگذاری مشخص شد که پروفیل سینوسی U شکل با سطح مقطع خود بهتر از دیگر مقاطع بارگذاری را تحمل می‌کند. صرف‌نظر از وزن، در شرایطی که ستون به دلیل کابل‌کشی یا بارگذاری ترکیبی تحت پیچش قرار می‌گیرد، استفاده از ستون قوطی به شکل دویل بهترین گزینه است. از طرفی، با در نظر گرفتن وزن و بر اساس محاسبات، ستون با شکل متناوب سینوسی، جز در حالت پیچشی، می‌تواند یک ستون کاملاً مناسب و کاربردی برای سازه سایبان به ویژه برای مناطق بادخیز باشد، هرچند تولید سطح مقطع خاص این نوع ستون‌ها به ماشین ابزارهای خاصی مانند رول فرمینگ احتیاج دارد که هزینه‌های تولید آن را افزایش می‌دهد. از این‌رو، متناسب با شرایط و نوع گیاه و اقلیم، طرح و شکل سطح مقطع ستون سازه سایبان می‌تواند بهینه و اقتصادی انتخاب شود.

جایگزینی کشت‌های فضای باز با انواع کشت‌های محافظت شده، مانند استفاده از سایبان‌های کشاورزی، از راه‌های گذر از بحران تغییر اقلیم است. نظر به این‌که اندازه و نوع سطح مقطع ستون‌های به کار رفته در سایبان در تحمل انواع بارهای وارده تأثیر مستقیم دارند، انواع بارگذاری روی سه نوع سطح مقطع قابل کاربرد در ستون‌های داخلی (تک) و کناری سایبان (دوتایی) نشان داد در ستون‌های تک از نظر بارگذاری از روبه‌رو، مقاومت ساختار مقطع سینوسی شکل U بهتر از دو مقطع دیگر است و این ساختار دچار تنش کمتری می‌شود و به نسبت تغییر مکان کمتری در مقابل بارگذاری دارد. از نظر بارگذاری از کنار، پروفیل سینوسی شکل U، نسبت به قوطی و ناودانی شده دچار تنش کمتری و خیز آن نسبت به دو نوع ستون دیگر بهتر است. از نظر بارگذاری پیچشی، پروفیل قوطی بهتر عمل می‌کند و تغییر مکان بسیار کمتری نسبت به پروفیل سینوسی U شکل و ناودانی دارد. در مجموع، در استفاده از انواع ستون‌های تکی، عملکرد مقطع U شکل بهتر از عملکرد دو مقطع دیگر است. نتایج بارگذاری و تحلیل سه نوع ستون به صورت دویل نشان داد در بارگذاری از روبه‌رو، پروفیل سینوسی با مقطع U بهتر از قوطی و ناودانی

مراجع

- Anon. (2006). Entertainment Technology - Design, Manufacture and Use of Aluminum Trusses and Towers. American National Standard E1.2. Entertainment Services and Technology Association. New York, USA.
- Anon. (2005). Eurocode-1: Actions on Structures-Part 1-4: General actions - Wind actions. European Committee for Standardization, Brussels.
- Behera, B. P., Pattnaik, R. R., Das, M., & Jena. J. (2016). An experimental study on strength characteristics of shade nets for construction of low cost shade houses in a tropical climate. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 2(8), 82-93.

- Caglayan, O., & Yuksel, E. (2008). Experimental and finite element investigations on the collapse of a Mero space truss roof structure—a case study. *Engineering Failure Analysis*, 15(5), 458-470. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.05.005>.
- Croce, P., Formichi, P., Landi, F., & Marsili, F. (2018a). Climate change: Impact on snow loads on structures. *Cold Regions Science and Technology* 150, 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.10.009>.
- Kozak, D. L., & Liel, A. B. (2015). Reliability of steel roof structures under snow loads. *Structural Safety* 54, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2015.02.004>.
- Croce, P., Formichi, P., Mercogliano, P., Bucchignani, E., Dosio, A., & Dimova, S. (2018b). The snow load in Europe and the climate change. *Climate Risk Management*, 20, 138-154. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.03.001>.
- Javadi Moghaddam, J., & Zarei, Gh. (2023). Design and analysis of shade house for special crops. *Research Report*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Krentowski, J. (2014). Steel roofing disaster and the effect of the failure of butt joints. *Engineering Failure Analysis*, 45, 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.07.008>.
- Letchford, C. W. (2001). Wind loads on rectangular signboards and Hoardings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89, 135-151. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(00\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(00)00068-4).
- Letchford, C.W., Row, A., Vitale, A., & Wolbers, J. (2000). Mean wind loads on porous canopy roofs. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 84, 197-213. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00103-8).
- Mahmodi, R. (2020). Principles of shade house construction in gardens. Research Report. Shahrood Agricultural and Natural Resources Education and Extension Research Center. (in Persian)
- Piroglu, F., & Ozakgul, K. (2016). Partial collapses experienced for a steel space truss roof structure induced by ice ponds. *Engineering Failure Analysis*, 60, 155-165. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.039>.
- Piskoty, G., Wullschleger, L., Loser, R., Herwig, A., Tuchschnid, M., & Terrasi, G. (2013). Failure analysis of a collapsed flat gymnasium roof. *Engineering Failure Analysis*, 35, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.12.006>.
- Richards, P. J., & Robinson, M. (1999). Wind loads on porous structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 83, 455-465. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00093-8).
- Richardson, G. M. (1987). A permeable windbreak: its microenvironment and its effect on structural loads. *The Journal of Agricultural Engineering Research*, 38, 65-76. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(87\)90140-5](https://doi.org/10.1016/0021-8634(87)90140-5).
- Robertson, A. P., Roux, P., Gratraud, J., Scarascia, G., Castellano, S., Dufresne de Virel, M., & Palier, P. (2002). Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 461-474. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(01\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(01)00210-0).
- Xiaoying, S., Rijin, H., & Yue, W. (2018). Numerical simulation of snowdrift on a membrane roof and the mechanical performance under snow loads. *Cold Regions Science and Technology*, 150, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.09.007>.
- Zarei, Gh. (2023). Design of structures and covers for protected horticulture based on crops, type of protection and climate of regions. Research Report, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)



Research Paper

The Stability of Various Types of Columns that Can Be Used in Agricultural Shade/Net Houses

Gh. Zarei* and J. Javadi Moghaddam

*Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran.

Email: gh.zarei@areeo.ac.ir

Received: 13 March 2024, Accepted: 30 June 2024

<https://doi.org/10.22092/amsr.2024.365219.1481>

Abstract

In horticulture, to control biotic and abiotic stresses in a protected environment, the use of shade/net house or anti hail-net house can be a cost-effective solution. Unlike a greenhouse, a shade/net house is designed for non-extreme loads. In addition, the method of applying loads as a key point should be considered in the design of the structure. Therefore, the design of columns is a controversial issue considering the moments caused by wind load. These bending and twisting moments in the columns are created due to the imbalance of the wind load on the mesh. The columns cross-section used in shade/net structures have a direct effect on its strength, under different loads. Hence, stress analysis of columns with rectangular cross-section, C and U (sine) channels are considered for comparison. All these analyses were calculated and performed by SolidWorks software. This stress analysis was also performed for the mentioned columns sections that were placed next to each other in a double form. The results of the stress analysis of single columns showed that in front loading, the column with sinusoidal U section had more strength than that the columns with two other sections. It also had less deflection. In lateral loading, less stress was calculated for the sinusoidal U section. In terms of torsional load, the column with a rectangular cross-section performed better and had a much smaller angular deviation than the sinusoidal U-shaped and C-channel columns. In general, it can be concluded that in the mentioned single columns, the performance of the U-shaped section is more acceptable. The results of the loading and analysis of three types of double columns showed that the strength of the sinusoidal profile with a U-shaped cross-section was higher than that of rectangular tube and C channel. Also, the deflection created was less than that the other two types of columns. In lateral loading, the stress analysis showed that the sinusoidal U-section column had more strength and also had less deflection. In torsional loading, the double rectangular tube column had more strength and less deflection than that the other two sections. Finally, based on the stress analysis results, it was clarified that the double sinusoidal U-cross-section had more strength and successfully could be chosen in shade/net house infrastructures.

Keywords: Consistency, Controlled Agricultural Environments, Loading, Protected Agriculture, Simulation



© 2023 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)