

رفتار توری سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی تحت چینش‌های مختلف ستون‌ها

قاسم زارعی^{۱*}، جلال جوادی مقدم^۲، سیدمعین‌الدین رضوانی^۳

۱ و ۲- به ترتیب: دانشیار؛ و استادیار پژوهش، موسسه 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 همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۶

چکیده

تولید محصولات باغی با تنش‌های محیطی مواجه است و هر ساله خسارات سنگینی به محصولات وارد می‌شود. کاربرد سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی برای کاهش تنش‌ها و افزایش کمیت و کیفیت محصول در چند سال اخیر به‌طور قابل توجهی توسعه یافته‌اند. با اینکه بعد از ستون‌ها، توری سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی مهم‌ترین جز این‌گونه کشت‌های محافظت‌شده هستند ولی اطلاعات زیادی در خصوص رفتار آن‌ها تحت بارهای واردشده در دست نیست. هدف این مقاله بررسی و تحلیل رفتار توری‌ها در صورت وارده شدن بارهای مختلف به آن‌هاست. در این تحقیق، نمونه سایبان‌های اجرا شده در سطح کشور بررسی شدند. برای تحلیل تنش و محاسبه تغییر مکان توری‌ها، با توجه به نحوه نصب و کارکرد، بار برف و شکل برف‌گیری آن‌ها از نرم‌افزار SolidWorks استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد با چینش فاصله بین ستون‌ها و عرض به‌کار رفته برای توری‌ها، حداکثر بار برف مجاز قابل تحمل آنها ۵۲/۵-۴۰ کیلوگرم در مترمربع است. همچنین مشخص شد تغییر فاصله ستون‌ها و عرض راهروها می‌توانند ضمن کاهش تجمع برف، نقشی مستقیم در پایداری سازه داشته باشند به طوری که متناسب با بار منطقه، فاصله ستون‌ها به گونه‌ای می‌تواند تنظیم شود که امکان کرنش و تنش کمتری در توری به وجود آید و توری قابلیت بارگیری بیشتری پیدا کند. با توجه به تفاوت‌های نه‌چندان چشمگیر، جنبه اقتصادی در انتخاب فاصله ستون‌ها می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. این موضوع (تغییر فاصله عرض ستون‌ها)، می‌تواند به‌عنوان یک مزیت در توری‌های سایبان نیز در نظر گرفته شود. محاسبات نشان دادند که شرایط تسلیم در توری‌ها به شدت متأثر از تغییر مکان در آنهاست. به عبارت دیگر، با انتخاب فاصله مناسب بین ستون‌ها در ردیف راهرو و امکان ایجاد خیز بیشتر در توری‌ها، ظرفیت تحمل افزایش خواهد یافت اما باید توجه کرد که سطح بارگیری وسیع‌تر می‌شود و توری سایبان باید بار برف بیشتری را تحمل کند.

واژه‌های کلیدی

بارگذاری، توری، شبیه‌سازی، کشاورزی محافظت‌شده، محیط‌های کنترل‌شده کشاورزی

مقدمه

وارد می‌کنند و در کنار این عوامل محیطی غیرزنده، عوامل زنده نیز می‌توانند در ایجاد خسارت در محصولات باغبانی تأثیرگذار باشند. با توجه به این نوع خسارت‌ها، استفاده از کشت‌های محافظت‌شده راهکار مناسبی برای پیشگیری از آن‌ها به حساب می‌آید (Mahmood et al., 2018). یکی از روش‌های

تولید محصولات باغی همواره با مخاطرات جدی مانند خشکسالی، سرمازدگی، طوفان، سیل، آفات و بیماری‌ها مواجه است. تنش‌های محیطی از جمله سرما، گرما، تگرگ، باد، آفتاب‌سوختگی و خشکسالی هر ساله خسارت‌های سنگینی به محصولات باغبانی

جلوگیری از تنش‌های محیطی و استحکام و خاصیت کششی متفاوت برای نگه‌داشتن و جمع‌آوری بار برف و تگرگ دارند (Mahmodi, 2020).

سایبان‌ها، برخلاف گلخانه‌ها، در معرض نیروی کمتری قرار می‌گیرند، ولی نوع نیروهای واردشده به سایبان‌ها به‌گونه‌ای است که در طراحی باید به جزئیات خاصی توجه کرد (Zarei & Javadi Moghaddam, 2024). سازه‌های مش‌بندی‌ها و نوع گره‌تار و پودهای توری متفاوت هستند، از این‌رو میزان باد عبوری از بیرون به‌داخل محوطه متفاوت است و در نتیجه نیروهای وارد شده روی ستون‌ها نیز متفاوت خواهند بود. طراحی ستون‌ها در بحث خمش و پیچش ناشی از بار باد و گشتاورهای ایجاد شده به‌دلیل پیچش ستون‌ها، که خود ناشی از نبود توازن در هارمونی نیروی ناشی از وزش باد روی توری‌ها و سایبان‌هاست، موضوعی بحث‌برانگیز شده است. در اثر نبود کشش کافی در توری‌های سایبان، معمولاً مشکل خمیدگی توری‌ها و ایجاد شکم در آن‌ها به‌وجود می‌آید. نتیجه انباشته شدن توده هوای مرده در مقابل توری سایبان در سرعت‌های بالایی از وزش باد، تغییر جهت نیروهای حاصل روی ستون‌ها و کابل‌ها خواهد بود که نتیجه آن سست کردن پایه‌های ستون‌های کارگذاری شده در فونداسیون‌هاست. به‌همین دلیل، از دیگر نکات مهم در طراحی سایبان‌ها، طراحی فونداسیونی کارآمد و مقاوم در برابر نوسان‌های نیرویی است. لازم است گفته شود که مطالعه شرایط اقلیمی منطقه‌ی احداث سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی، در هزینه‌های ساخت نقش بسیار کلیدی دارد زیرا می‌توان برای مناطقی با سابقه باد کم، از فونداسیون و مواد مصالح کمتری استفاده کرد (Behera et al., 2016).

در مناطقی با احتمال وقوع برف و تگرگ‌های شدید، باید در نظر داشت که میزان مقاومت ستون‌ها و اتصالات کابل‌ها و توری‌ها به‌گونه‌ای باشند که

کشت محافظت‌شده، استفاده از سایبان‌ها در باغبانی است. این روش کشت را می‌توان برای تولید اغلب محصولات باغبانی از جمله انواع میوه‌ها، نشاها، سبزی‌ها و محصولات جالیزی در مناطق مختلف استفاده کرد. استفاده از سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی برای کاهش تنش‌های محیطی و افزایش کمیت و کیفیت محصولات در چند سال اخیر به‌طور قابل‌توجهی توسعه یافته است. با توجه به مزایای استفاده از سایبان در تولید انواع محصولات کشاورزی، در چند سال اخیر استفاده از آن‌ها در دستور کار وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته و سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در بهره‌گیری از انواع سایبان‌ها توسط تولیدکنندگان در دست اجراست (Zarei, 2023).

بعد از ستون‌ها، توری سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی مهم‌ترین جزء این‌گونه کشت‌های محافظت‌شده هستند (Javadi Moghaddam & Zarei, 2023). نکات کلیدی در انتخاب و کاربرد توری‌ها عبارتند از: تنشی محیطی که باید کنترل شود، رنگی از توری که باید استفاده شود، درصدی از تابش خورشیدی که باید عبور داده شود، روشی که باید توری بافته شود و مواد سازنده تار و پود توری‌ها و افزودنی‌هایی که باید در ساخت آن‌ها استفاده شوند. تراکم توری مورد استفاده در سایبان عامل مهمی است که باید هنگام آماده‌شدن برای نصب در نظر گرفت. عامل تعیین‌کننده در انتخاب مناسب‌ترین تراکم توری سایبان، نوع گیاهی است که زیر سایبان پرورش می‌دهیم. هر نوع گیاه برای بهترین رشد خود به میزان معینی از تراکم و مش‌بندی نیاز دارد (Zarei, 2023). به‌همین دلیل امروزه برای مصارف مختلف، توری‌های سایبان متفاوتی از لحاظ جنس، رنگ، بافت و مش‌بندی ساخته و به بازار معرفی شده‌اند که قابلیت‌های متفاوتی در میزان نور عبوری،

تکنولوژی‌های اندازه‌گیری جدید و دقیق، با مقادیر قبلی ارائه شده چه تفاوت‌هایی دارند. این محاسبات به‌منظور تحلیل و طراحی هرچه دقیق‌تر اثر برف روی سطوح ساختمانی و انتقال نیروها به ستون‌ها و فونداسیون آن‌هاست و به‌دلیل مشابهت می‌توان آن‌ها را برای تحلیل بارگذاری روی توری‌ها در سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی نیز به‌کار گرفت (Derek *et al.*, 2015).

با عنایت به اینکه توری یکی از مهم‌ترین اجزای سایبان‌ها و توری‌خانه‌های کشاورزی است و اطلاعات زیادی در خصوص رفتار آن تحت بارهای وارده ناشی از بارش برف و تگرگ و وزش باد در دست نیست، هدف این مقاله بررسی و تحلیل رفتار توری‌ها در صورت اعمال بارهای مختلف وارده شده به آن‌هاست.

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 گفته شود که در سازه‌های سایبان تحت مطالعه، فونداسیون بتنی تنها برای سیم‌بکسل‌های مورب دور تا دور اجرا شده بودند به‌گونه‌ای که یک قلاب فلزی در بتن جاگذاری شده و کلیه سیم‌بکسل‌ها در یک راستا به آن متصل شده بودند. ستون‌ها نیز به‌صورت مستقیم، در خاک توسط ماشین‌های مخصوص جازده (کوبیده) شده بودند.

جزئیات اجرایی سازه و توری سایبان‌ها

شکل ۱- الف نمونه‌ای از سایبان‌های شبیه‌سازی شده با توری‌های دو رنگ سبز و سفید را نمایش می‌دهد. جزئیات فنی این سایبان‌ها در شکل ۱-ب ارائه شده است. در جدول ۱ نیز مشخصات سایبان‌های اجرا شده به همراه نوع توری‌های به‌کار

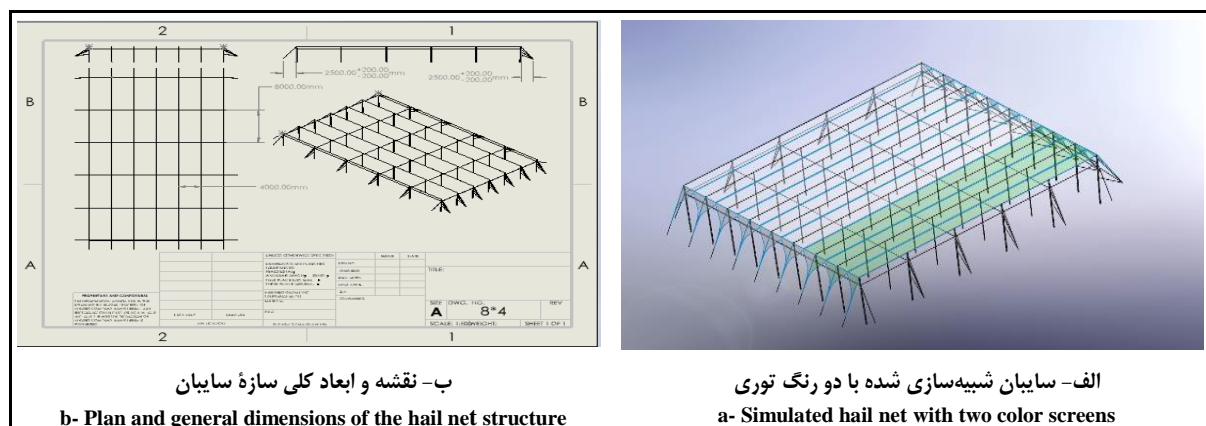
قابلیت نگهداری برف و تگرگ جمع‌شده روی توری‌ها را در درازمدت و تا هنگام آب شدن برف و تگرگ روی آن‌ها داشته باشند (Croce *et al.*, 2018a, b).

از آنجا که تجمع برف روی توری سایبان‌ها یکنواخت نخواهد بود و به‌دلیل خاصیت کششی و انعطاف‌پذیری توری‌ها، برف در مرکز بین ستون‌های 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. باید در نظر داشت که اگر در منطقه‌ای میزان تابش خورشیدی زیاد است به‌گونه‌ای که باعث سوختن محصولات می‌شود و بنابراین از توری با تعداد مش زیاد استفاده می‌شود، تحت چنین شرایطی و در هنگام بارش برف، نیروی بیشتری به سازه وارد خواهد شد. از طرفی نزدیک کردن ستون‌ها به یکدیگر و افزایش سطح مقطع ستون‌ها، باعث افزایش هزینه‌های اولیه برای احداث ستون‌ها و فونداسیون خواهد شد. به‌همین دلیل، برای اقلیم‌های متفاوت با شرایط جوی متنوع لازم است که طراحی این سایبان‌ها نیز متفاوت باشد. در مطالعات صورت گرفته برای تعیین نیروی حاصل از بار برف روی سازه‌های مختلف با استفاده از روش‌های توابع احتمالاتی و مدل‌سازی عددی، مدل‌هایی برای بررسی استحکام سایبان در برابر بارش برف و تگرگ و تعیین بار حاصل از آن‌ها ارائه شده‌اند که می‌توان آن‌ها را برای کاربرد در برخی از اقلیم‌های خاص و نیز مناطق مختلفی از جهان پیشنهاد کرد (Croce *et al.*, 2018a,b; Xiaoying *et al.*, 2018).

در برخی از مطالعات، گزارش‌های مرتبط با بارش برف و نحوه قرارگیری و تجمع آن روی مواد مختلف بازبینی شده است تا نشان دهد که مقادیر به‌دست آمده از روش‌های پیشرفته ریاضی و

از یک هندسه مربوط به سطح مقاطع و ضخامت ستون استفاده شده است. کلیه کابل‌ها و مهاربندها از یک الگو در طراحی پیروی کرده‌اند ولی فاصله قرارگیری ستون‌ها در چینش‌ها متفاوت هستند.

رفته برای مناطق مختلف کشور ارائه شده است. تحلیل توری سایبان‌ها برای چینش‌های متفاوت ستون، مطابق با جدول ۱ صورت گرفته است که در مناطق مختلف کشور اجرا شده‌اند. در همه چینش‌ها



شکل ۱- سایبان شبیه‌سازی شده و نقشه و ابعاد کلی سازه سایبان اجرا شده
Fig. 1- Simulated hail net and plan and general dimensions of the hail net structure

جدول ۱- مشخصات سایبان‌های اجرا شده برای انواع گروه‌های محصولی مورد نظر

Table 1- Specifications of hail net implemented for all types of desired product groups

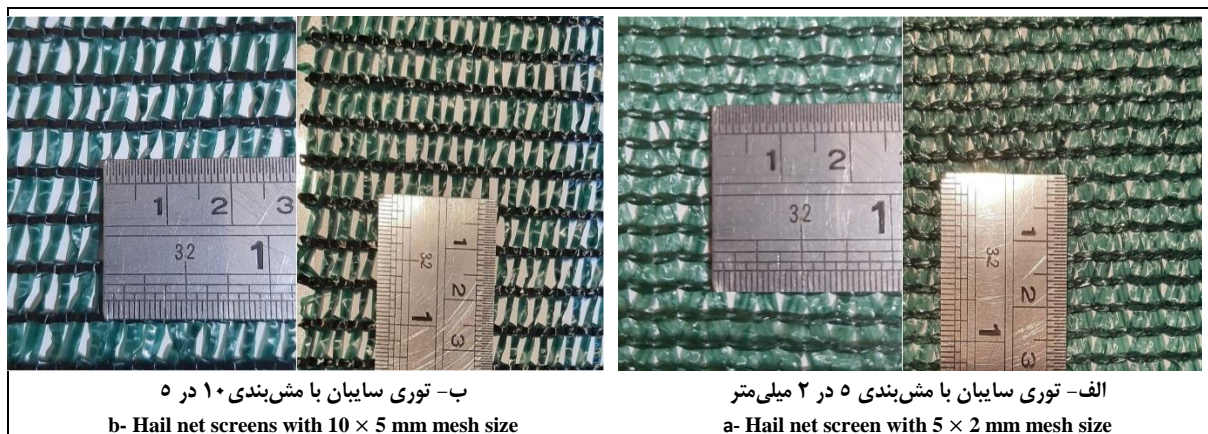
رنگ توری Shade color	سایه‌اندازی توری‌ها Shading	فاصله ستون‌ها Columns distance	مکان اجرا شده Place executed	نوع محصول Product type	گروه محصولی Product group
سبز و سفید	٪30 و ٪50	4×2.5	سمیرم	سیب	میوه‌های مناطق معتدل و سرد
سبز و سفید	٪50 و ٪50	5×3	نطنز	به	Fruits of temperate regions and cold
سبز و سفید	٪50 و ٪30	8×4	قزوین	انگور	میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری
سبز و سفید	٪50 و ٪30	5×4	سرپل ذهاب	آلو	Tropical and semi-tropical fruits
سبز و سفید	٪50 و ٪30	8×5	شاهرود	زردالو	
سبز و سفید	٪30 و ٪50	8×4	یزد	انار	
سفید	٪50	8×4	رامسر	مرکبات	
سفید	٪50	8×6	کنارک	موز	
سبز، سفید و آبی	٪30، ٪30 و ٪15	8×4	محلان	گل و گیاهان زینتی	محصولات خاص
سبز و سفید	٪30 و ٪30	6×6	رفسنجان	پسته	Special crops
سبز و سفید	٪30 و ٪30	6×5	ورامین	پسته	

مش از شبکه توری سایبان در شکل ۲-الف، ۵ در ۲ میلی‌متر و در شکل ۲-ب، برابر با ۱۰ در ۵ میلی‌متر بوده است که فضای بازتری را نسبت به توری با مش شکل الف، ایجاد کرده است. در این حالت می‌توان گفت که ضمن سایه‌اندازی بیشتر، توری با مش شکل الف استحکام بیشتری دارد تا مش شکل ب.

باید در نظر داشت که سایز مش‌های توری سایبان می‌تواند علاوه بر سایه‌اندازی، نقش مهمی در استحکام توری نیز داشته باشد. در شکل ۲ مش‌بندی دو مدل توری سایبان به کاررفته با اندازه‌های متفاوت و در جهت‌های طولی و عرضی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که اندازه یک تک

مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری نیازی به بررسی بار برف یا تگرگ نیست. در دیگر مناطق هم معمولاً توری‌ها در پاییز و زمستان جمع می‌شوند. ولی برای موارد خاص و نشان دادن تحمل باربری این سازه، بارگذاری به صورت استاندارد و به طور کامل در این تحقیق در نظر گرفته شد. در این عکس (۳-ب)، تجمع تگرگ بهاره را داریم که در نهایت، برف انباشته و سنگین شده از شکاف ایجاد شده بین دو توری مجاور هم در راهرو، که با یک گیره به هم متصل شده‌اند، به پایین و روی خاک می‌ریزد (شکل ۳-ج).

در این تحقیق، برای تحلیل تنش و محاسبات تغییر مکان توری‌های با توجه به نحوه نصب و کارکرد، بار برف و شکل برف‌گیری آن‌ها از نرم‌افزار SolidWorks استفاده شد (شکل ۳). به دلیل تقارن سازه و وضعیت توری، یک راهرو از سازه سایبان در نظر گرفته شد و برای توری این راهرو، تحلیل بارگذاری دنبال گردید. این راهرو مطابق با شکل ۳-الف در نظر گرفته شده است. جنس توری و شبکه بافت آن به گونه‌ای است که برف یا تگرگ را به منطقه میانه راهرو منتقل و در آنجا انباشته می‌کند تا برف یا تگرگ روی گیاهان نریزد (شکل ۳-ب). در



شکل ۲- اندازه مش‌بندی دو مدل توری به کار رفته در سایبان‌ها
Fig. 2- Mesh size of two screens models used in hail net



شکل ۳- وضعیت عمومی و تغییر شکل توری سایبان‌ها بر اثر تجمع برف روی آن‌ها
Fig. 3- The general condition and deflection of the screens hail net due to the accumulation of snow

ضخامت توری در این تحلیل‌ها برابر با ۱ میلی‌متر فرض شده است. جدول ۲، مشخصات مکانیکی مواد سازنده پوشش را که در محاسبه و شبیه‌سازی استفاده شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات مکانیکی پوشش توری سایبان‌ها

Table 2- The mechanical characteristics of the screens of the hail net

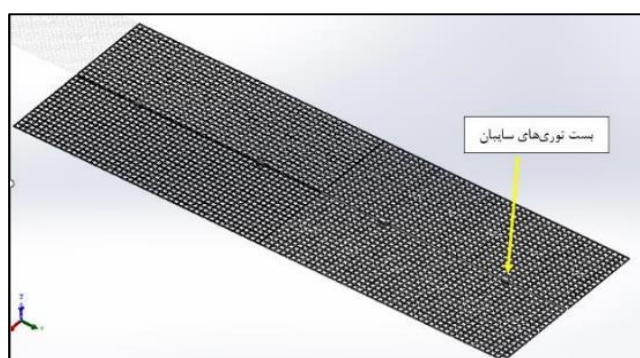
واحد Unit	مقدار Quantity	خاصیت Properties
N/m ²	172368932.3	مدول ارتجاعی (Modulus of elasticity)
N/A	0.3	نسبت پواسون (Poisson's ratio)
N/m ²	-	مدول برشی (Shear modulus)
kg/m ³	905.000005	چگالی جرمی (Density mass)
N/m ²	34000000.12	مقاومت کششی (Tensile strength)
N/m ²	-	مقاومت فشاری (Compressive strength)
N/m ²	6894757.293	مقاومت تسلیم (Yield strength)
/K	-	ضریب انبساط حرارتی (Expansion coefficient)
W/(m·K)	0.322	ضریب انتقال حرارت رسانایی (Heat transfer coefficient)
J/(kg·K)	1842	گرمای ویژه (Specific heat capacity)
N/A	-	نسبت میرایی ماده (Damping ratio)

نتایج و بحث

وضعیت عمومی توری سایبان‌ها تحت بار برف

بیان می‌شود. بدیهی است در صورت بازتر شدن و بزرگ‌تر شدن سایز مش‌ها با جنس، گره و ضخامت الیاف مشابه، میزان تحمل توری‌ها پایین‌تر از میزان محاسبه شده در این مطالعه خواهد بود. در قسمت بعدی، نتیجه تحلیل تنش توری سایبان برای مقیاس واقعی ارائه شده است. شکل ۴ توری مشبک سایبان را به همراه بست‌های استفاده شده، نمایش می‌دهد. در این حالت، با فرض هر چهار طرف اتصال به کابل با قابلیت پیش‌روی، محاسبات مربوط به تنش و تغییر مکان اجرا شدند.

با توجه به اینکه در واحد سطح توری سایبان (مترمربع) تعداد مش‌ها قابل توجه است و شبیه‌سازی آن در ابعاد بزرگ به محاسبات طولانی و سنگین منجر می‌شود که ضروری نیستند، از این‌رو در این قسمت در مقیاسی کوچک، اثر شبکه‌بندی توری سایبان تحلیل شد. در کلیه شبیه‌سازی‌ها، ریزترین سایز مش در نظر گرفته شده است. از این‌رو مقادیر محاسبه شده به‌عنوان حداکثر حد تحمل کاربردی



شکل ۴- شبیه‌سازی سقف توری یک راهرو از سایبان

Fig. 4- Hail net roof simulation

شکل ۵، تغییر شکل توری را برای طول‌های مختلف با وارد شدن بار به اندازه ۸۰۰ نیوتن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که چگونه در اثر فشار زیاد، توری باز می‌شود و تغییر فرم می‌دهد. در این حالت،

تحلیل و تغییرمکان محاسبه شد. برای تحلیل رفتار و محاسبه استحکام توری سایبان، عرض توری راهرو ۶ متر و طول آن مطابق با نقشه پلان به شکل ۸×۵ متر در نظر گرفته شد (شکل ۶). همان‌طور که گفته شد، با توجه به هندسه و خصوصیت توری سایبان در انباشته‌کردن تگرگ در موقعیتی متمرکز در وسط توری، میزان تنش و تغییرمکان به‌وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شد. در شکل ۶، المان‌بندی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی و تحلیل استحکام، اثر وزن تگرگ متمرکز به‌شکل بردارهای نیرو توسط پیکان‌هایی در فواصل مساوی بین هر دو گیره در وسط توری، اعمال شدند.

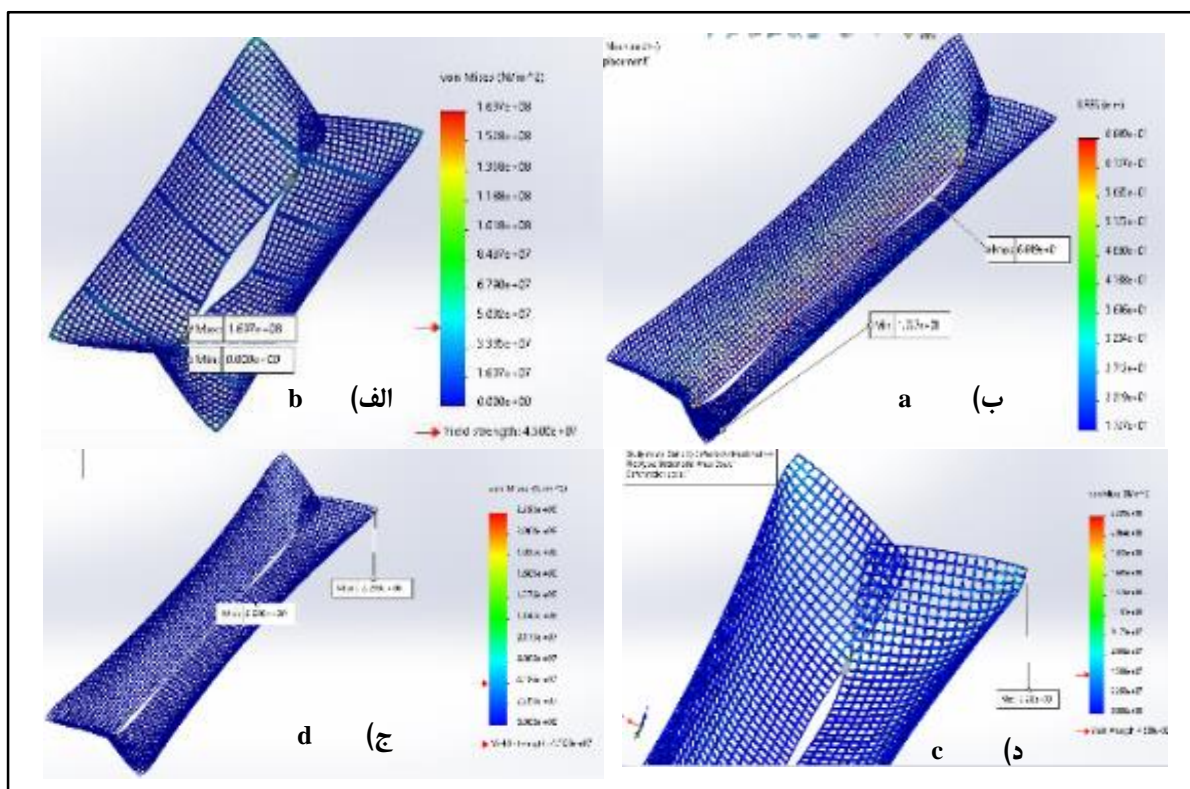
توری که توسط کابل از اطراف مهار شده است، به‌شدت تحت کشش قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل کشش‌های شدید می‌توانند به‌راحتی توری را تسلیم کنند و رفتار پلاستیکی شدن را بروز دهد که می‌تواند منجر به از بین رفتن توری شود.

تحلیل وضعیت توری سایبان‌ها با چینش ستون‌های مختلف

توری‌های با عرض ۶ متر

تحلیل وضعیت توری سازه سایبان با چینش فاصله ستون ۸×۶ متر

در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چینش فاصله ستون ۸×۶ متر در مقابل بار برف تحلیل شد. با توجه به شکل برف‌گیری، تنش



شکل ۵- شبیه‌سازی توری سایبان در اثر بازشدگی تحت فشار زیاد.

(الف) تنش در توری کوچک‌مقیاس، (ب) خیز توری بلند، (ج) تنش در توری بلند و (د) تنش و تغییر فرم در لبه بالایی توری بلند

Fig. 5- Simulation of hail net roof due to the opening under high pressure

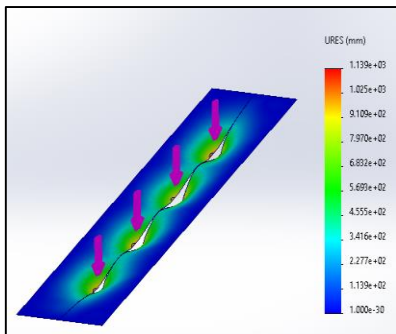
a) Stress in a small-scale mesh, b) long hail net, c) Tension stress in the hail net and d) Tension and deflection in the upper edge of the hail net

توری راهرو ۶ متر و طول آن مطابق با نقشه پلان به شکل ۸×۵ متر در نظر گرفته شد (شکل ۶). همان‌طور که عنوان شد، با توجه به هندسه و خصوصیت توری سایبان در انباشته‌کردن برف در

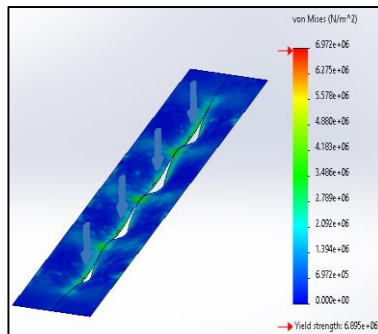
استفاده باشد. بنابراین، می‌توان وزن متمرکز قابل تحمل در اینجا را برای این مدل توری با ابعاد و اندازه‌های مشخص شده، $(1050 / (2 \times 10)) = 52/5$ کیلوگرم در مترمربع در نظر گرفت که مقداری قابل توجهی است. نکته مهم در اینجاست که کشش توری باید به اندازه‌ای باشد که ستون‌های سازه سایبان را در خاک حرکت ندهد. به صلاحدید جنس توری باید به گونه‌ای انتخاب شود که اگر کشش بیش از حد در توری باعث حرکت دادن یا خم کردن ستون‌های سازه یا اعمال فشار بیش از حد به ستون شود، قبل از تخریب ستون، توری سازه پاره شود تا از آسیب‌رسیدن به سازه جلوگیری کند. از این‌رو، یک ضریب اطمینان به اندازه ۲ تا ۲/۵ پیشنهاد می‌شود. در توری‌های ضدتگرگ در قسمت وسط راهروها، توری از هر دو طرف با کش‌های مخصوص بهم متصل می‌شوند تا در صورت افزایش بار زیاد، توری باز و بار موجود در وسط راهروها تخلیه شود.

موقعیتی متمرکز در وسط توری، میزان تنش و تغییرمکان به وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شد. در شکل ۶، المان‌بندی توری مربوط به پوشش یک راهروی سایبان نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی و تحلیل استحکام، اثر وزن برف متمرکز به شکل بردارهای نیرو توسط پیکان‌هایی در فاصله‌های مساوی بین هر دو گیره در وسط توری اعمال شدند.

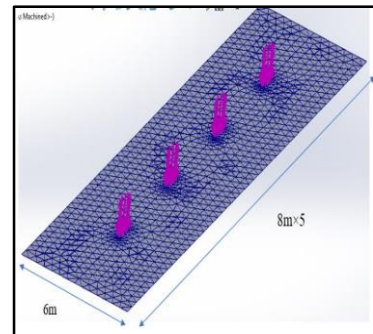
نتایج تنش و تغییرمکان این بارگذاری به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده‌اند. دیده می‌شود که در اثر بار متمرکز واردشده به میزان مشخص شده، توری سایبان تسلیم شده است. این مقدار بار برای هر منطقه نشان داده شده در شکل، ۱۰۵۰ نیوتن محاسبه شد. با توجه به اینکه شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل در نظر گرفته شد و با توجه به نوع شبکه‌بندی توری سایبان، یک ضریب اطمینان برابر ۲ برای توری و محاسبات تنش و کرنش در نظر گرفته می‌شود تا نتایج در حالت کاربردی قابل



شکل ۸- تغییرمکان به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون 6×8 متر
Fig. 8- Hail net roof deflection with the column spacing of 6×8 m



شکل ۷- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون 6×8 متر
Fig. 7- The stress results in the hail net roof with the column spacing of 6×8 m



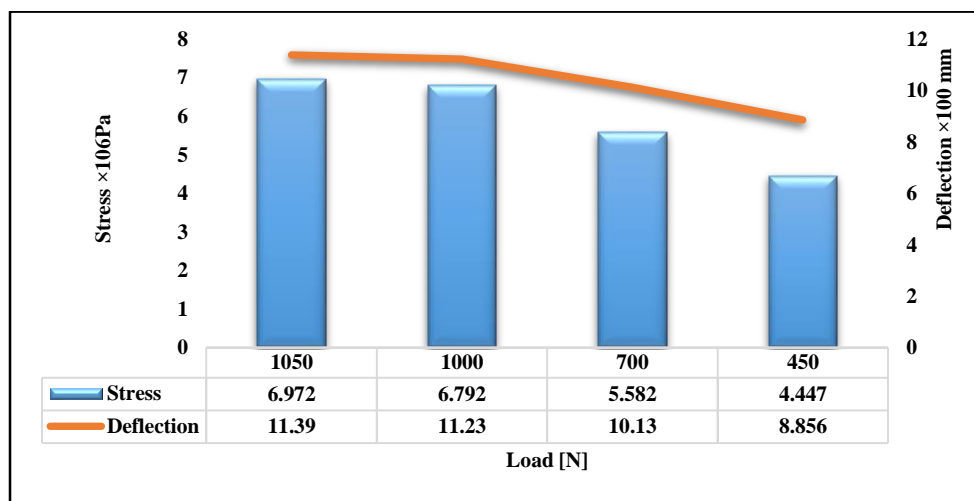
شکل ۶- المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش یک راهروی سایبان با چینش فاصله ستون 6×8 متر
Fig. 6- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 6×8 m

کاهش نیرو، تنش و تغییرمکان در توری به میزان متناسب کاهش می‌یابد. این موضوع مبنای محاسبات تنش و کرنش در این تحقیق است. یعنی تحلیل مکانیکی و روابط مربوط به

در شکل ۹، نتایج محاسبه تنش و تغییرمکان ناشی از چند بارگذاری با نیروهای مختلف ارائه شده است. می‌بینیم که در اثر بارهای متفاوت، تغییر تنش و خیز ایجاد شده در توری رفتار خطی دارد. یعنی با

برای کالیبره کردن پارامترهای روابط غیرخطی تحلیل تنش و کرنش استفاده می‌شود. از این‌رو، در این تحقیق تنها به تحلیل رفتار خطی توری سازه سایبان پرداخته شد.

الاستیسیته ماده با فرض رفتار خطی جسم محاسبه شده است. برای تحلیل رفتار غیرخطی توری، نتایج آزمایشگاهی تست کشش بسیار مهم است، زیرا این نتایج به صورت مستقیم



شکل ۹- تنش و تغییر مکان‌های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش یک راهرو سایبان با چپش فاصله ستون ۶×۸ متر

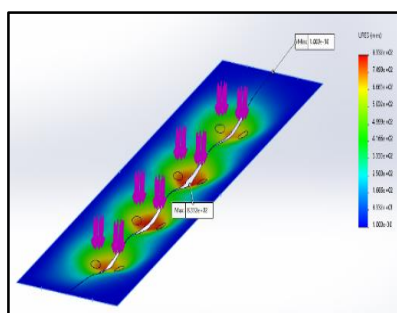
Fig. 9- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net roof with a column spacing of 6m×8m

حداکثر تنش آن به اندازه $7/0.87 \times 10^6$ پاسکال رسید. حداکثر تغییر مکان پوشش توری نیز نزدیک به ۸۴ سانتی‌متر محاسبه شد. با توجه به شکل ۱۰ و اینکه تنش تسلیم در باری به اندازه ۸۰۰ نیوتن ایجاد شد، با فرض ضریب اطمینان به اندازه ۲، حداکثر بار برف مجاز قابل تحمل در قسمت مشخص شده توری به اندازه ۴۰ کیلوگرم در مترمربع خواهد بود.

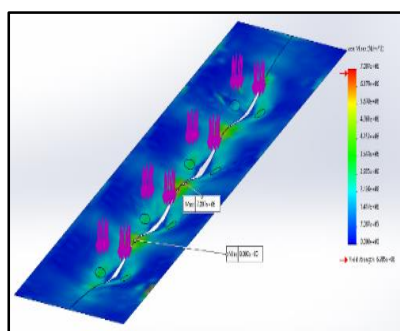
از سوی دیگر، در این حالت نتایج محاسبه تنش و تغییر مکان ناشی از بارگذاری‌های مختلف معلوم شد تا نمودار خطی تغییرات به دست آمد. شکل ۱۳، نتیجه محاسبات را برای تنش و تغییر مکان توری تحت بارهای مختلف نشان می‌دهد.

تحلیل وضعیت توری سایبان‌ها با چپش فاصله ستون ۶×۶ متر

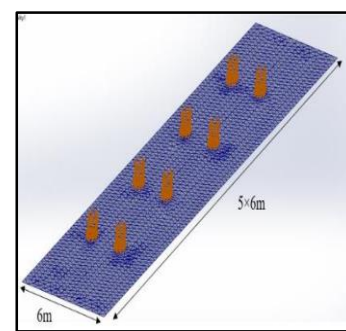
در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چپش ستون ۶×۸ متر بررسی و نتایج مربوط به آنالیز تنش و تغییر مکان مشخص شد. ابعاد توری و هندسه بارگذاری مطابق با شکل ۱۰ برای پوشش راهرو سایبان و فضای بین دو ردیف ستون تعیین شد. عرض توری راهرو ۶ متر و طول آن مطابق با نقشه پلان به شکل ۵×۶ متر در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل در اشکال ۱۱ و ۱۲ ارائه شده‌اند. در شبیه‌سازی، بار به اندازه‌های انتخاب شد که توری سایبان تسلیم شود. در این حالت میزان



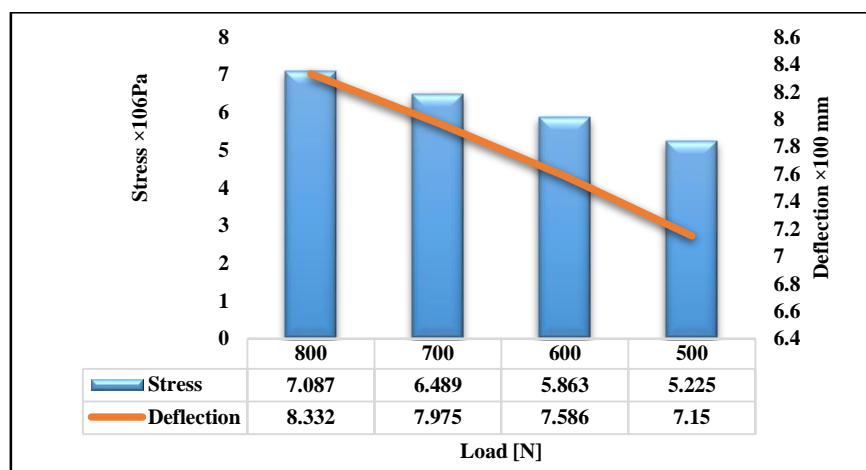
شکل ۱۲- تغییر مکان در توری ناشی از بارگذاری ۸۰۰ نیوتنی روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۶×۶ متر
 Fig. 12: Hail net roof deflection under load of 800 N with the column spacing of 6×6 m



شکل ۱۱- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۸۰۰ نیوتنی روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۶×۶ متر
 Fig. 11: The stress results in the hail net roof under load of 800 N with the column spacing of 6×6 m



شکل ۱۰- المان بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۶×۶ متر
 Fig. 10- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 6×6 m

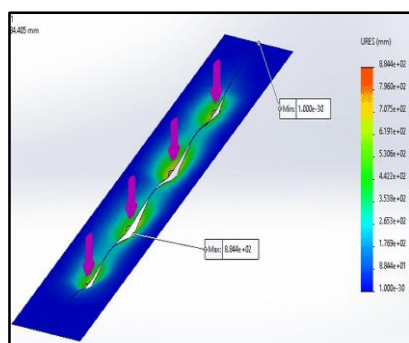


شکل ۱۳- تنش و تغییر مکان‌های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۶×۶ متر

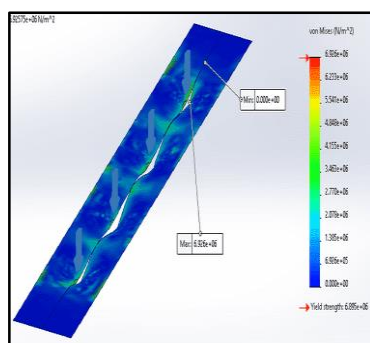
Fig. 13- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 6×6m

استحکام توری سایبان، عرض توری راهرو ۵ متر و طول آن مطابق با نقشه پلان به شکل ۵×۸ متر در نظر گرفته شد. با توجه به هندسه و خصوصیت توری سایبان در انباشته کردن برف در یک موقعیت متمرکز در وسط توری، میزان تنش و تغییر مکان به وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شد. در شکل ۱۴، المان بندی توری مربوط به پوشش یک راهروی سایبان در این حالت نشان داده شده است.

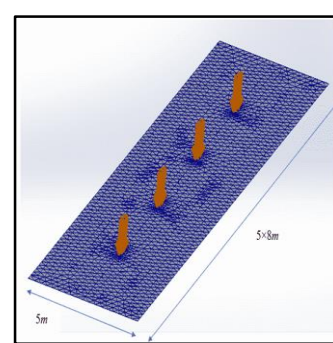
توری‌های با عرض ۵ متر
 تحلیل وضعیت توری سازه سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۸ متر
 در این حالت، آنالیز تنش و محاسبات برای توری سازه سایبان ۵×۸ متر با توجه به شکل برف‌گیری که پیش‌تر بیان شد، اجرا گردید. به دلیل تقارن سازه و وضعیت توری، یک راهرو از سازه سایبان در نظر گرفته شد و توری این راهرو تحلیل بارگذاری گردید. برای تحلیل رفتار و محاسبه



شکل ۱۶- تغییر مکان به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتنی روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۸ متر
Fig. 16: Hail net roof deflection under load of 1000 N with the column spacing of 5m × 8m



شکل ۱۵- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتنی روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۸ متر
Fig. 15: The stress results in the hail net roof under load of 1000 N with the column spacing of 5m × 8m



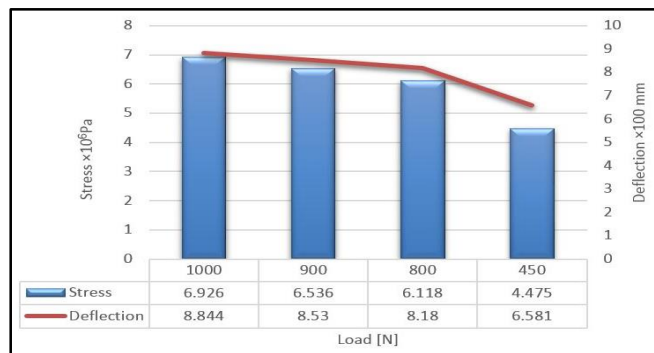
شکل ۱۴- المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۸ متر
Fig. 14: Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 5m × 8m

محاسبات را برای تنش و تغییر مکان توری تحت بارهای مختلف نشان می‌دهد.

تحلیل وضعیت توری سازه سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۶ متر

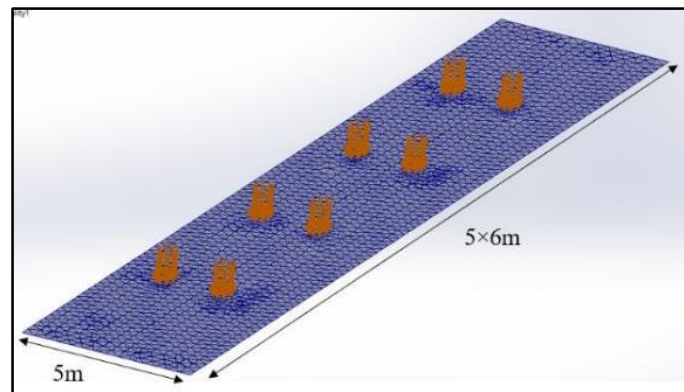
در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چینش ستون ۵×۸ متر بررسی و نتایج مربوط به آنالیز تنش و تغییر مکان مشخص گردید. ابعاد توری و هندسه بارگذاری مطابق با شکل ۱۸ برای پوشش راهرو سایبان و فضای بین دو ردیف ستون تعیین شد. تجمع برف در موقعیت متمرکز به فواصل متقارن از خط مرکزی وسط توری در نظر گرفته شد و بر اساس آن میزان تنش و تغییر مکان به وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شد.

نتایج تحلیل و شبیه‌سازی به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ برای تنش و خیز توری ارائه شده‌اند. در شبیه‌سازی، بار به اندازه‌ای انتخاب شد که توری سایبان تسلیم شود. در این حالت، میزان حداکثر تنش آن به ۶/۹۲۶×۱۰۶ پاسکال رسید. حداکثر تغییر مکان پوشش توری نزدیک به ۸۹ سانتی‌متر محاسبه شد. یادآوری می‌شود نیروی متمرکز وارد شده به اندازه یک کیلونیوتن انتخاب شد که توانست توری را تسلیم کند (شکل ۱۵). با فرض ضریب اطمینان به اندازه ۲، حداکثر بار برف مجاز قابل تحمل در قسمت مشخص شده توری به اندازه ۵۰ کیلوگرم برای توری با ابعاد مشخص شده در شکل ۱۴ در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۷ نیز نتیجه



شکل ۱۷- تنش و تغییر مکان‌های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۸ متر

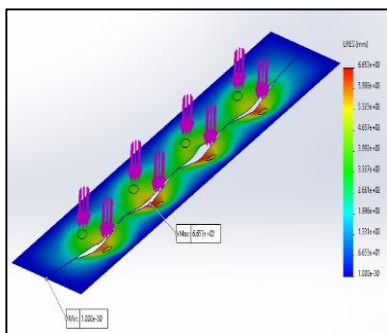
Fig. 17- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 5×8 m



شکل ۱۸- المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان با چیدمان فاصله ستون ۵×۶ متر
 Fig. 18- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 5×6 m

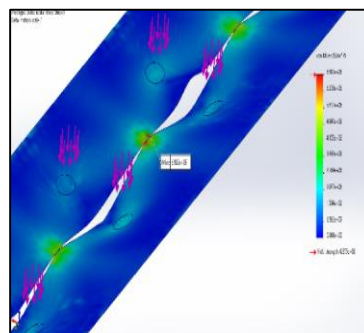
به شکل ۱۹ و اینکه تسلیم تحت بار ۴۲۵ نیوتن ایجاد شد، می‌توان حدود حداکثر بار برف مجاز قابل تحمل توسط توری را به اندازه ۴۰ کیلوگرم در مترمربع در منطقه نشان داده شده برآورد کرد. بارگذاری‌های مختلف روی پوشش اجرا و نتایج مربوط به محاسبه تنش و تغییر مکان ناشی از هر یک در شکل ۲۲ نشان داده شده است. دیده می‌شود که توری سازه سایبان در مقابل تغییرات بارگذاری رفتاری تقریباً خطی از خود نشان داده است که مبنای محاسبات تحلیل خطی آن را تأیید می‌کند.

شکل‌های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نتایج تحلیل تنش و تغییر مکان ایجاد شده در توری را نشان می‌دهند. بر اساس بارگذاری، توری سایبان تسلیم و میزان حداکثر تنش برابر با $6/922 \times 10^6$ پاسکال محاسبه شد (شکل ۱۹). شکل ۲۰ نشان می‌دهد که منطقه نزدیک به گیره توری‌ها در راهرو سایبان، منطقه بحرانی توری است که با دوخت ضخیم‌تر می‌توان آن را تقویت کرد. در شکل ۲۱ دیده می‌شود که در نتیجه این بارگذاری، حداکثر تغییر مکان پوشش توری به بیش از ۶۶ سانتی‌متر رسیده است. با توجه



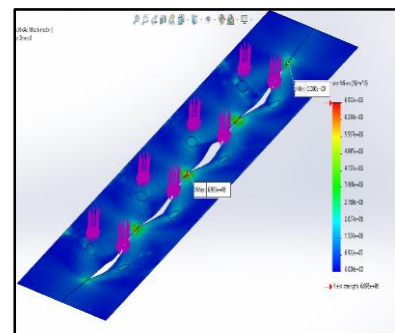
شکل ۲۱- تغییر مکان به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۴۲۵ نیوتن روی پوشش راهروی سایبان با چیدمان فاصله ستون ۵×۶ متر

Fig. 21- Hail net roof deflection under load of 425 N with the column spacing of 5×6 m



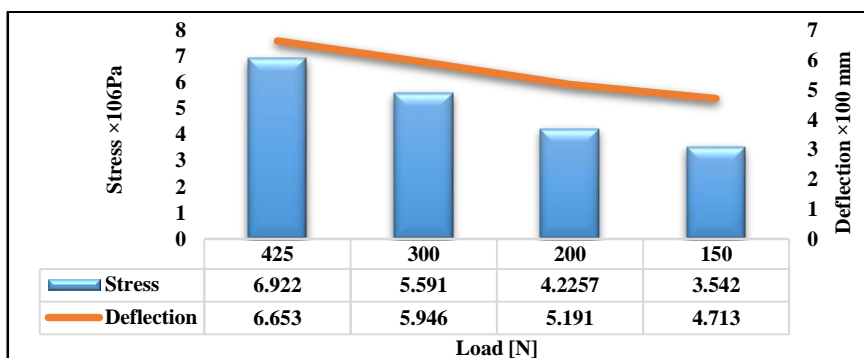
شکل ۲۰- منطقه بحرانی از نظر وارد شدن تنش ماکزیمم روی پوشش راهرو سایبان با چیدمان فاصله ستون ۵×۶ متر

Fig. 20- The stress results in the hail net roof under load of 425 N with the column spacing of 5×6 m



شکل ۱۹- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۴۲۵ نیوتن روی پوشش راهرو سایبان با چیدمان فاصله ستون ۵×۶ متر

Fig. 19- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 5×6 m



شکل ۲۲- تنش و تغییر مکان های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۵×۶ متر

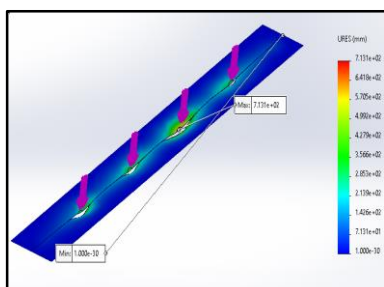
Fig. 22- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 5×6 m

نتایج تنش و تغییر مکان حاصل از بار وارد شده ۸۰۰ نیوتنی به ترتیب در شکل های ۲۴ و ۲۵ ارائه شده اند. با توجه به محاسبات، مشخص شد که توری در این حالت تحت بار ۸۰۰ نیوتن تسلیم می شود. تنش به وجود آمده ناشی از این بار در شکل ۲۳ ارائه شده است. شکل ۲۵ نشان می دهد که بیشینه تغییر مکان ناشی از این بار حدود ۷۰ سانتی متر است. این مقدار قابلیت کشش در توری را نشان می دهد که در تحلیل خطی توری محاسبه شد. با انتخاب ضریب اطمینان ۲، حداکثر وزن متمرکز قابل تحمل برای این مدل توری با ابعاد و اندازه های مشخص شده، $40 = (800 / (2 \times 10))$ کیلوگرم محاسبه شد.

توری های با عرض ۴ متر

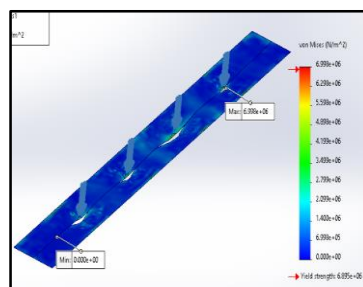
سایبان با چینش فاصله ستون های ۴×۸ متر

در این قسمت، تحلیل وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چینش ستون ۴×۸ متر در مقابل بار برف اجرا شد. با توجه به تقارن سازه و وضعیت توری، محاسبات و بارگذاری تنها برای یک راهرو از سازه سایبان در نظر گرفته شد که نتایج آن قابل تعمیم خواهد بود. برای تحلیل رفتار و محاسبه استحکام توری سایبان، عرض توری راهرو ۴ متر و طول آن مطابق با نقشه به شکل ۵×۸ متر در نظر گرفته شد (شکل ۲۳). با توجه به هندسه و خصوصیت توری سایبان در انباشته کردن برف در یک موقعیت متمرکز در وسط توری، میزان تنش و تغییر مکان به وجود آمده محاسبه و شبیه سازی شد.



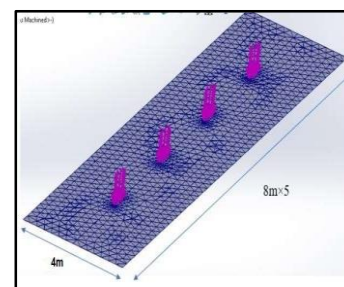
شکل ۲۵- تغییر مکان به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون های ۴×۸ متر

Fig. 25- Hail net roof deflection under load of 800 N with the column spacing of 4×8 m



شکل ۲۴- تنش بوجود آمده در توری ناشی از بارگذاری پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون های ۴×۸ متر

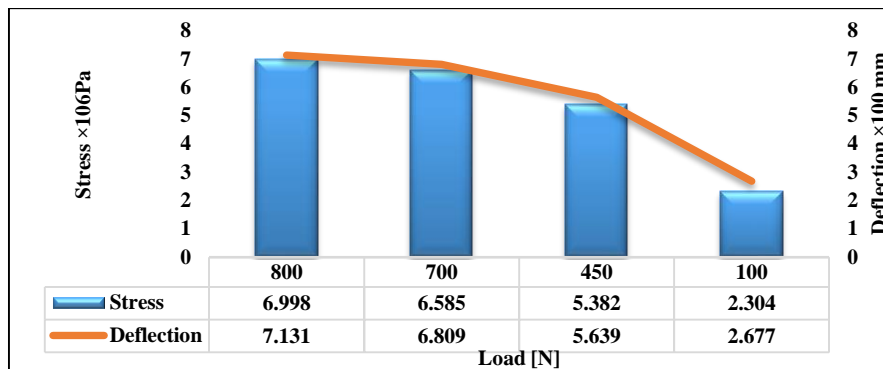
Fig. 24- The stress results in the hail net roof under load of 800 N with the column spacing of 4×8 m



شکل ۲۳- المان بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون های ۴×۸ متر

Fig. 23- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 4×8 m

در شکل ۲۶ نتایج محاسبه تنش و تغییرمکان بارگذاری با نیروهای مختلف نشان داده شده است. رفتار خطی متناسب با تغییر بار در بیشینه تنش و تغییرمکان‌های به‌وجود آمده، کاملاً مشخص است.

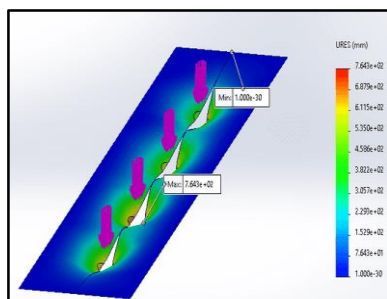


شکل ۲۶- تنش و تغییرمکان‌های بیشینه به‌وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون‌های ۴×۸ متر

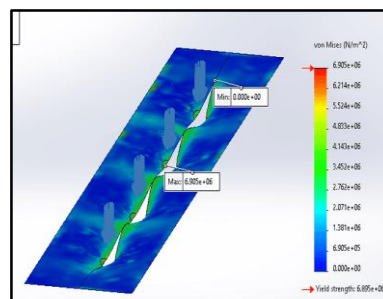
Fig. 26- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 4×8 m

انباشته در وسط توری در نظر گرفته شده است و بر اساس آن میزان تنش و تغییرمکان به‌وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شده است. شکل‌های ۲۸ و ۲۹ نتایج محاسبات و شبیه‌سازی را به ترتیب برای تنش و تغییرمکان نشان می‌دهند.

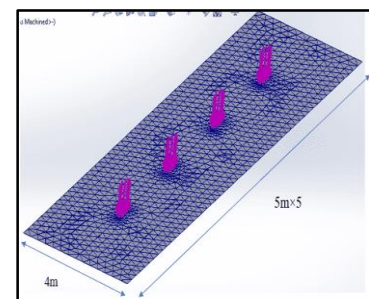
سایبان با چینش فاصله ستون ۴×۵ متر در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چینش ستون ۴×۵ متر بررسی می‌شود. شکل ۲۷ المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان را نمایش می‌دهد. محل برف



شکل ۲۹- تغییرمکان به‌وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۹۸۰ نیوتن روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۴×۵ متر
Fig. 29- Hail net roof deflection under load of 980 N with the column spacing of 4×5 m



شکل ۲۸- تنش به‌وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۹۸۰ نیوتن روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۴×۵ متر
Fig. 28- The stress results in the hail net roof under load of 980 N with the column spacing of 4×5 m



شکل ۲۷- المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۴×۵ متر
Fig. 27- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 4×5 m

تنشی به اندازه $6/905 \times 10^6$ پاسکال ایجاد کرد. در این حالت حداکثر تغییرمکان پوشش توری نزدیک به ۷۶ سانتی‌متر محاسبه شد (شکل ۲۹). با در نظر گرفتن ضریب اطمینان برابر ۲،

با توجه به ابعاد کل راهرو، ظرفیت بارگیری برف روی توری برای هر قسمت و بین ستون‌ها محاسبه و شبیه‌سازی شد. میزان بار تئوری تسلیم توری در این حالت، ۹۸۰ نیوتن به‌دست آمد که در شکل ۲۸

محاسبه تنش و تغییرمکان ناشی از بارگذاری‌های مختلف تعیین شد و نمودار خطی رفتار توری به‌دست آمد. شکل ۳۰ نتیجه محاسبات را برای تنش و تغییرمکان توری تحت بارهای مختلف نشان می‌دهد.

میزان حداکثر تجمع برف قابل تحمل در حالت کاربردی کمتر از ۴۹ کیلوگرم خواهد بود که ابتدای شروع فرآیند تغییر شکل پلاستیک توری را آغاز می‌کند. در اینجا نیز برای نشان دادن رفتار پوشش در مقابل تغییرات بار، نتایج مربوط به



شکل ۳۰- تنش و تغییرمکان‌های بیشینه به‌وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۴×۵ متر

Fig. 30- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 4×5 m

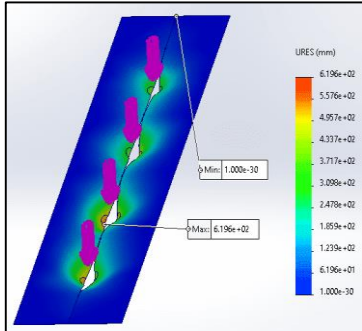
سایبان در انباشته‌کردن برف در موقعیتی متمرکز در وسط توری، میزان تنش و تغییرمکان به‌وجود آمده محاسبه و شبیه‌سازی شد. در شکل ۳۱، المان‌بندی توری پوشش یک راهرو سایبان نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی و تحلیل استحکام، اثر وزن برف متمرکز به‌شکل بردار نیرو توسط پیکان‌هایی در فاصله‌های مساوی بین هر دو گیره در وسط توری اعمال شد. نتایج تنش و تغییرمکان به‌ترتیب در شکل‌های ۳۲ و ۳۳ به‌نمایش گذاشته شده‌اند. دیده می‌شود که در اثر بار متمرکز وارد شده به میزان مشخص، توری سایبان تسلیم شده است. این مقدار بار برای هر منطقه نشان داده شده در شکل، ۹۵۰ نیوتون محاسبه شده است. با توجه به اینکه شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل در نظر گرفته شد و با توجه به نوع شبکه‌بندی توری سایبان، ضریب اطمینان ۲ برابری توری و محاسبات تنش و کرنش در نظر گرفته می‌شود تا نتایج در حالت کاربردی قابل استفاده باشد. بنابراین، می‌توان وزن متمرکز قابل تحمل در

توری با عرض ۳ متر

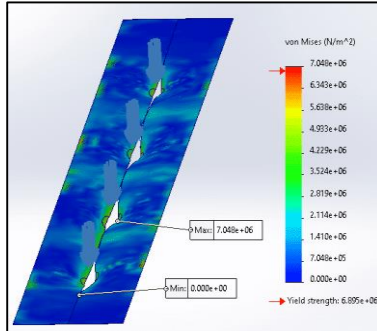
سایبان با چینش فاصله ستون ۳×۵ متر

در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان در مقابل بار برف تحلیل شده است. آنالیز تنش و محاسبات برای توری سازه سایبان ۳×۵ متر با توجه به شکل برف‌گیری که بیان گردید، دنبال شد. به‌دلیل تقارن سازه و وضعیت توری، یک راهرو از سازه سایبان در نظر گرفته شد و توری این راهرو تحلیل بارگذاری گردید (شکل ۳۱). جنس توری و شبکه بافت آن به‌گونه‌ای است که برف را به منطقه میانه راهرو منتقل و در آنجا انباشته می‌کند تا برف روی گیاهان نریزد. برف انباشته و سنگین شده از شکاف ایجاد شده بین دو توری مجاور هم در راهرو، که با یک گیره به هم متصل شده‌اند، به پایین و روی خاک می‌ریزد. برای تحلیل رفتار و محاسبه استحکام توری سایبان، عرض توری راهرو ۳ متر و طول آن مطابق با نقشه به‌شکل ۳×۵ متر در نظر گرفته شد (شکل ۳۱). با توجه به هندسه و خصوصیت توری

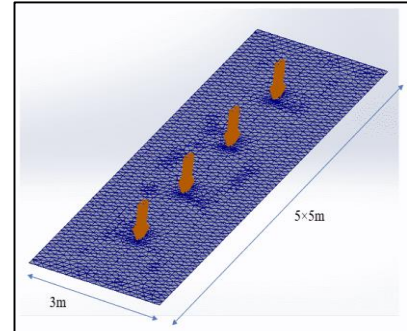
اینجا را برای این مدل توری با ابعاد و اندازه‌های مترمربع در نظر گرفت که مقداری قابل توجهی مشخص شده $47/5 = (2 \times 10) / 950$ کیلوگرم در است.



شکل ۳۳- تغییر مکان به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۳×۵ متر
Fig. 33- Hail net roof deflection with the column spacing of 3×5 m



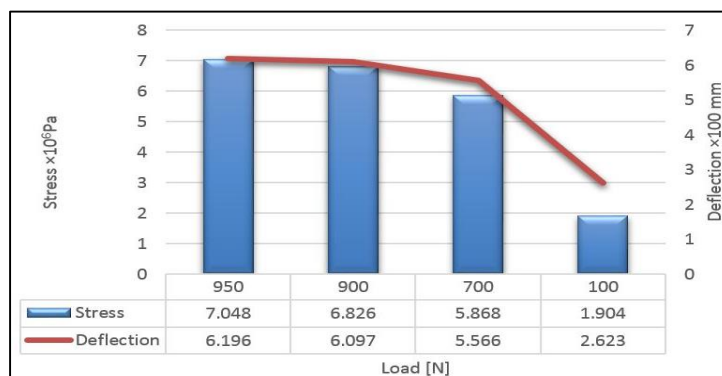
شکل ۳۲- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۳×۵ متر
Fig. 32- The stress results in the hail net roof with the column spacing of 3×5 m



شکل ۳۱- المان‌بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهرو سایبا با چینش فاصله ستون ۳×۵ متر
Fig. 31- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 3×5 m

می‌تواند برای این کار معقول باشد. در شکل ۳۴ نتایج محاسبه تنش و تغییر مکان ناشی از چند بارگذاری با نیروهای مختلف ارائه شده است. دیده می‌شود که در اثر بارهای متفاوت، تغییر تنش و خیز ایجاد شده در توری، رفتار خطی دارد یعنی با کاهش نیرو، تنش و تغییر مکان در توری به میزان متناسب کاهش می‌یابد.

نکته مهم در اینجا آنست که کشش توری باید به اندازه‌ای باشد که ستون‌های سازه سایبان را در خاک حرکت ندهد. به صلاحدید جنس توری باید به گونه‌ای انتخاب شود که اگر کشش بیش از حد در توری باعث حرکت دادن یا خم کردن ستون‌های سازه یا اعمال فشار بیش از حد به ستون شود، توری سازه قبل از تخریب ستون پاره شود تا از آسیب به سازه جلوگیری شود. ضریب اطمینان ۲ تا ۲/۵



شکل ۳۴- تنش و تغییر مکان‌های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری‌های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۳×۵ متر

Fig. 34- The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 3×5 m

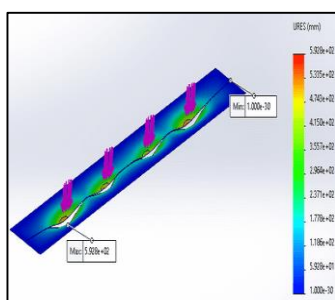
توری با عرض ۲/۵ متر

سازه سایبان با چینش فاصله ستون ۲/۵×۴ متر

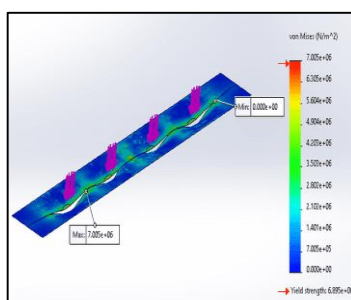
در این قسمت، وضعیت استحکام توری سازه سایبان با چینش ستون ۲/۵×۴ متر بررسی شد و نتایج مربوط به آنالیز تنش و تغییرمکان مشخص گردید. ابعاد توری و هندسه بارگذاری مطابق با شکل ۳۵ برای پوشش یک راهرو سایبان و فضای بین دو ردیف ستون تعیین شد. تجمع برف در موقعیت متمرکز وسط توری در نظر گرفته شد و بر اساس آن میزان تنش و تغییرمکان محاسبه و شبیه سازی شد. نتایج تحلیل در شکل های ۳۶ و ۳۷ به نمایش گذاشته شده اند. در اثر بار متمرکز مفروض، توری سایبان تسلیم و میزان حداکثر تنش به اندازه $7/0 \times 10^6$ پاسکال افزایش یافت. در این حالت،

حداکثر تغییرمکان پوشش توری نزدیک به ۶۰ سانتی متر محاسبه شد. با توجه به شکل ۳۶ و اینکه تنش تسلیم در باری به اندازه ۹۰۰ نیوتن ایجاد شد، می توان با یک ضریب اطمینان مناسب به اندازه ۲، حداکثر بار برف مجاز قابل تحمل در هر قسمت توری را به اندازه ۴۵ کیلوگرم در مترمربع در نظر گرفت.

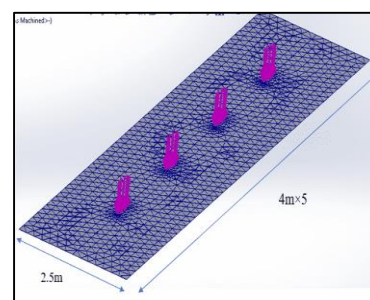
برای نشان دادن رفتار پوشش در مقابل بارهای مختلف، محاسبات تنش و تغییرمکان ناشی از چند بارگذاری با نیروهای مختلف به انجام رسید تا نمودار خطی تغییرات آن ها به دست آید. شکل ۳۸ نتیجه محاسبات را برای تنش و تغییرمکان توری تحت بارهای مختلف نشان می دهد.



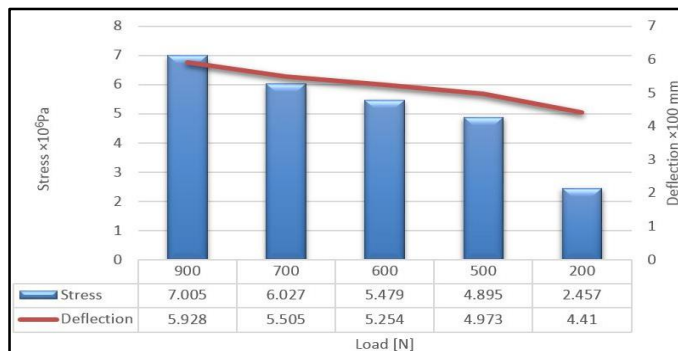
شکل ۳۷- تغییرمکان در توری ناشی از بارگذاری ۹۰۰ نیوتن روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۲/۵×۴ متر
Fig. 37- Hail net roof deflection under load of 900 N with the column spacing of 2.5×4 m



شکل ۳۶- تنش به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری ۹۰۰ نیوتن روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۲/۵×۴ متر
Fig. 36- The stress results in the hail net roof under load of 900 N with the column spacing of 2.5×4 m



شکل ۳۵- المان بندی و بارگذاری روی توری مربوط به پوشش راهروی از سایبان با چینش فاصله ستون ۲/۵×۴ متر
Fig. 35- Mesh elements and loading on the hail net roof with a column spacing of 2.5×4 m



شکل ۳۸- تنش و تغییرمکان های بیشینه به وجود آمده در توری ناشی از بارگذاری های مختلف روی پوشش راهرو سایبان با چینش فاصله ستون ۲/۵×۴ متر

Fig. 38: The maximum stress and displacements result by different loadings on the hail net with a column spacing of 2.5×4 m

نتیجه‌گیری

مقدار نیروی واردشده به توری و سازه در اثر برف انباشته‌شده، بیشتر از حالت عادی در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که در صورت سنگینی و فشار بیش از حد برف بر توری، احتمال فرو رفتن ستون در خاک بیشتر می‌شود. این مورد باعث به هم ریختگی سطح تراز و متقارن نبودن برف‌گیری سازه و توری‌ها خواهد شد. از این‌رو کمناش ستون رخ خواهد داد.

گیره توری‌ها در فاصله‌هایی می‌تواند در طول راهرو سایبان‌ها به کار گرفته شود که در صورت انباشته شدن برف، به آن امکان ریخته شدن به زمین را بدهد. کشش توری‌های سازه سایبان باید به گونه‌ای باشد که قبل از خم شدن ستون، توری پاره شود تا آسیبی به ستون‌ها وارد نگردد.

کم شدن عرض راهرو سایبان‌ها منجر به انباشت برف کمتر و بادگیری کمتر می‌شود. در نتیجه نیروی وارد به سازه کم می‌شود. اما در مقایسه استحکام سازه و توری با چینش‌های مختلف تحت بارهای یکسان، شرایط تکیه‌گاهی توری عامل مهمی در پایداری سازه خواهد بود به طوری که با بارگذاری مستقیم روی ستون‌ها، تنش به وجود آمده در ستون‌های سازه سایبان با چینش‌های مختلف تغییر چندانی نخواهد داد. دلیل آن این است که کابل‌ها تنها نیروهای کششی را انتقال می‌دهند و نمی‌توانند مانند اعضای خرپاها نیروهای فشاری را منتقل کنند. از این‌رو در این حالت چینش ستون تاثیر قابل توجهی نخواهد داشت مگر در موارد عنوان شده.

مشخص شد که با اتخاذ ضریب‌های اطمینان مثل هم، سایبان با چینش 6×8 می‌تواند بار برف متمرکز بیشتری را نسبت به سایبان با چینش 4×8 تحمل کند. زیرا در این حالت، به دلیل شرایط تکیه‌گاهی موجود و فاصله از آن، امکان تغییر مکان زیاد برای توری فراهم می‌شود و با توجه به خواص الاستیکی، توری قبل از تسلیم شدن می‌تواند خیز بیشتری بردارد. همچنین مشخص شد که با اتخاذ

تغییر فاصله ستون‌ها و عرض راهروها می‌توانند ضمن کاهش تجمع برف، نقشی مستقیم در پایداری سازه برای مناطق مختلف داشته باشد، به صورتی که متناسب با بار منطقه، فاصله ستون‌ها به گونه‌ای تنظیم شود که امکان کرنش با تنش کمتری در توری به وجود آید و توری قابلیت بارگیری بیشتری پیدا کند. با توجه به تفاوت‌های نه‌چندان چشمگیر، مباحث اقتصادی در انتخاب فاصله ستون‌ها می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. این موضوع (تغییر فاصله عرض ستون‌ها)، می‌تواند به عنوان یک مزیت در توری‌های سایبان نیز در نظر گرفته شود. محاسبات نشان داد که شرایط تسلیم در توری‌ها به شدت متأثر از تغییر مکان در آن‌هاست. به عبارت دیگر، با انتخاب فاصله مناسب بین ستون‌ها در ردیف راهرو و امکان ایجاد خیز بیشتر در توری‌ها، ظرفیت تحمل افزایش خواهد یافت اما باید توجه کرد که سطح بارگیری وسیع‌تر می‌شود و توری سایبان باید بار برف بیشتری را نیز تحمل کند.

تحلیل‌های پایداری نشان می‌دهند که سطوح نزدیک به گیره توری‌ها در راهرو سایبان‌ها، منطقه بحرانی توری‌ها هستند که با دوخت ضخیم‌تر یا دو لایه کردن می‌توان لبه توری‌ها را تقویت کرد. در این خصوص استفاده از توری‌هایی با بافت Mono+Mono یا Mono+Tape، بهتر از توری‌هایی با بافت Tape+Tape هستند. برای افزایش طول عمر توری‌ها و ایجاد مقاومت کششی بیشتر در آن‌ها، باید از توری‌های ساخته شده با مواد اولیه پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) به جای پلی‌اتیلن با چگالی پایین (LDPE)، استفاده شوند.

مش‌بندی توری‌ها بر اساس نیاز گیاه (سایه‌اندازی، جلوگیری از خسارت تگرگ و ...) انتخاب می‌شود. مش‌بندی‌های ریز با گره‌های درشت بیشتر از مش‌بندی بزرگ با گره‌های ریز می‌تواند برف و تگرگ را روی خود نگه دارد. در این حالت،

ضریب‌هاب اطمینان مثل هم، سایبان با چینش 8×5 می‌تواند بار برف متمرکز بیشتری را به ترتیب نسبت به سایبان‌هایی با چینش 8×4 ، 5×4 ، 5×3 و $4 \times 2/5$ تحمل کند زیرا در این حالت، به دلیل شرایط تکیه‌گاهی موجود و سطح وسیع‌تر ایجادشده بین ستون‌ها در نتیجه ازدیاد فاصله بین ستون‌ها، امکان تغییر مکان زیاد برای توری فراهم می‌شود و با توجه به خواص الاستیکی، توری قبل از تسلیم شدن می‌تواند خیز بیشتری بردارد.

مشاهده شد که توری‌ها با خاصیت الاستیکی خود قادرند بارهای متمرکز ناشی از انباشت برف را

به‌خوبی تحمل کنند. بارهای متوالی روی توری‌ها، امکان تخریب زود هنگام آنها را در پی خواهد داشت. نتایج تحلیل تنش در توری‌ها نشان داد که در اثر بار متمرکز ناشی از برف، امکان تغییر شکل پلاستیک در محدوده تحت بار روی خواهد داد. در مناطقی با احتمال وقوع برف و تگرگ‌های شدید و مکرر، باید در نظر داشت که میزان مقاومت ستون‌ها، کابل‌ها، توری‌ها و اتصالات به‌کار رفته در سایبان به‌گونه‌ای باشد که قابلیت نگهداری برف و تگرگ جمع‌شده روی توری‌ها را در دراز مدت و تا هنگام آب‌شدن برف و تگرگ روی آنها داشته باشند.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- 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. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.365219.1481>
- Croce, P., Formichi, P., Landi, F., & Marsili, F. (2018). 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>
- Croce, P., Formichi, P., Landi, F., Mercogliano, P., Bucchignani, E., Dosio, A., & Dimova, S. (2018). The snow load in Europe and the climate change. *Climate Risk Management*, 20, 138-154. <https://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2018.03.001>
- Derek, L., Kozak, B., & Liel, 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>
- Javadi Moghaddam, J., & Zarei, Gh. (2023). Design and analysis of shade house for special crops. *Reserch Report*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian).
- Mahmodi, R. (2020). Principles of shade house construction in gardens. *Reserch Report*. Shahrood Agricultural and Natural Resources Education and Extension Research Center. (in Persian)
- Mahmood, A., Hu, Y., Tanny, J., & Asante, E. (2018). Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*, 241, 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>
- 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., & Javadi Moghaddam, J. (2024). The stability of various types of columns that can be used in agricultural shade/net houses. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20, 100-110. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.365219.1481>. (in Persian)
- Zarei, Gh. (2023). Design of structures and covers for protected horticulture based on crops, type of protection and climate of regions. *Reserch Report*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Research Paper

The Behavior of Screens in Agricultural Shade/Net Houses under Different Arrangements of Columns

Gh. Zarei*, J. Javadimoghaddam and M. Rezvani

*Corresponding Author: Associate Professor (Corresponding author), Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: g.zarei@areeo.ac.ir

Received: 27 July 2024, Accepted: 16 November 2024

<https://doi.org/10.22092/amsr.2024.366461.1494>

Abstract

The production of horticultural products is faced with environmental stress; and heavy damages are caused to the products every year. The use of shade/net houses to reduce stress and to increase the quantity and quality of the product have been significantly developed in the last few years. Although after the columns, screens of the shade/net houses are the most important part of such protected agriculture, there is not much information about their behavior under the loads. The purpose of this article is to investigate and analyze the behavior of screens when different loads are applied to them. In this research, the samples of shade/net houses implemented in the country were examined. The stress analysis and calculation of the displacement of the screens according to the way of installation and operation, the snow load and the shape of their snow removal were done using SolidWorks software. The results showed that with the arrangement of the distance between the columns and the width used for the nets, the maximum allowable snow load is 40-52.5 kg/m². It was also found that changing the distances of the columns and the width of the corridors could have a direct role in the stability of the structure while reducing the accumulation of snow, so that according to the load of the area, the distance between the columns could be adjusted in such a way that it was possible to strain with less stress in the screen and the screen could be loaded. Having no significant differences, the economic aspect can play a decisive role in the selection of column distances. This issue (changing the width of the columns) can be considered as an advantage in screens of shade/net houses. Also, the calculations showed that the conditions of yielding in the nets were strongly affected by the change of location in them. In other words, by choosing the appropriate distance between the columns in the row of the corridor and the possibility of creating more rise in the screens, the bearing capacity would increase, but it should be noted that the loading surface is wider and the screens of shade/net houses must bear more snow load.

Key words: Controlled Agricultural Environments, Loading, Protected Agriculture, Screen/Net, 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)