معرفی و دستورالعمل ساخت سردخانه خورشیدی مجاور باغ یا گلخانه

فرزاد آزادشهرکی[1] و جلال جوادی‌مقدم[2]*

[1و2] استادیار پژوهش بخش تحقیقات مهندسی گلخانه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

سالانه مقدار قابل‌توجهی از میوه‌ها و سبزی‌های تولیدی در کشور از بین رفته یا کیفیت آنها به‌حدی کاهش می‌یابد که قابل مصرف نیستند. یکی از دلایل آن، نبود امکانات حمل و نقل به‌موقع محصول و همچنین نبود امکانات مناسب برای نگهداری آن قبل از حمل و نقل است. وجود یک اتاق سرد کوچک در کنار باغ یا گلخانه سبب می‌شود تا کشاورز بتواند قبل از ارسال محصول به بازار، آن را موقتاً در شرایط نسبتاً مناسب نگهداری کند. اتاق سرد خورشیدی و خارج از شبکه یک ایده خلاقانه برای نگهداری محصولات باغبانی است. یک کشاورز به تنهایی یا به‌صورت مشترک با سایر کشاورزان می‌تواند یک اتاق سرد خورشیدی در مجاور باغ یا گلخانه احداث کرده و محصول را تا فراهم‌شدن شرایط انتقال، در آن نگهداری کند. اتاق سرد خورشیدی بدون نیاز به برق شبکه و سراسری و همچنین باتری قادر خواهد بود تا در شب نیز دمای مناسب برای نگهداری محصول را فراهم کند. در این مقاله، نحوه ساختن یک اتاق سرد خورشیدی ۲۰۰۰ کیلوگرمی به‌صورت مرحله به مرحله شرح داده شده است.

واژگان کلیدی: اتاق سرد خورشیدی، انرژی خورشیدی، باغ، ضایعات، میوه و سبزی، نگهداری

* نگارندهٔ مسئول: Farzad_shahrekian@yahoo.com

بیان مسئله

سالانه بخش عظیمی از محصولات کشاورزی به‌ویژه میوه و سبزی در جهان از بین می‌روند. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، هر سال حدود ٤۳ درصد از محصولات کشاورزی اساسی در کشورهای غیر توسعه‌یافته و حدود ۱/٦ میلیارد تن از کل محصولات کشاورزی تولیدی در جهان در مراحل مختلف تولید تا مصرف از بین می‌روند. در ایران سالانه حدود ۱٦ درصد از محصولات زراعی و ۲۸ درصد از محصولات باغی از تولید تا مصرف از دست می‌روند. این میزان از ضایعات برای محصولات زارعی و باغی به ترتیب بیش از ٤/۵ و ۱۱/۵ میلیون تن تخمین زده می‌شود. یکی از دلایل تلفات محصولات باغی، نبود امکان دسترسی سریع کشاورزان خرده‌مالک به بازار و همچنین نبود محلی موقت برای نگهداری این محصولات است. نگهداری میوه و سبزی در شرایط مناسب در باغ، مزرعه یا مجاور گلخانه قبل از بارگیری و ارسال به بازار می‌تواند در کاهش ضایعات و حفظ کیفیت محصول تأثیر بسزایی داشته باشد. نگهداری موقت محصول در مجاور باغ یا گلخانه در شرایط مناسب سبب می‌شود تا کشاورز بتواند محصول را در زمان مناسب برداشت کرده و تأخیری در برداشت محصول نداشته باشد. در برخی محصولات کشاورزی، رسیدگی محصول هم‌زمان اتفاق نمی‌افتد و کشاورز در چندین مرحله عملیات برداشت را انجام می‌دهد (میرمجیدی هشتجین و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین، داشتن انباری با قابلیت فراهم کردن دمای مناسب، به‌ویژه در فصول گرم سال یا اقلیم‌های گرم، در حفظ کیفیت و کاهش ضایعات محصول تأثیرگذار خواهد بود. اغلب باغ‌ها از شبکه سراسری برق دور هستند. احداث سازه‌هایی که انرژی خود را تنها از خورشید به‌دست آورده و در طول شب نیز با وجود نبود نور خورشید و بدون باتری محصول را خنک نگه دارند، در کاهش ضایعات محصولات کشاورزی می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در این مقاله، مراحل احداث سازه‌ای کوچک و ساده برای نگهداری محصولات کشاورزی برای بهره‌برداران خرده‌مالک شرح داده شده است.

معرفی دستورالعمل

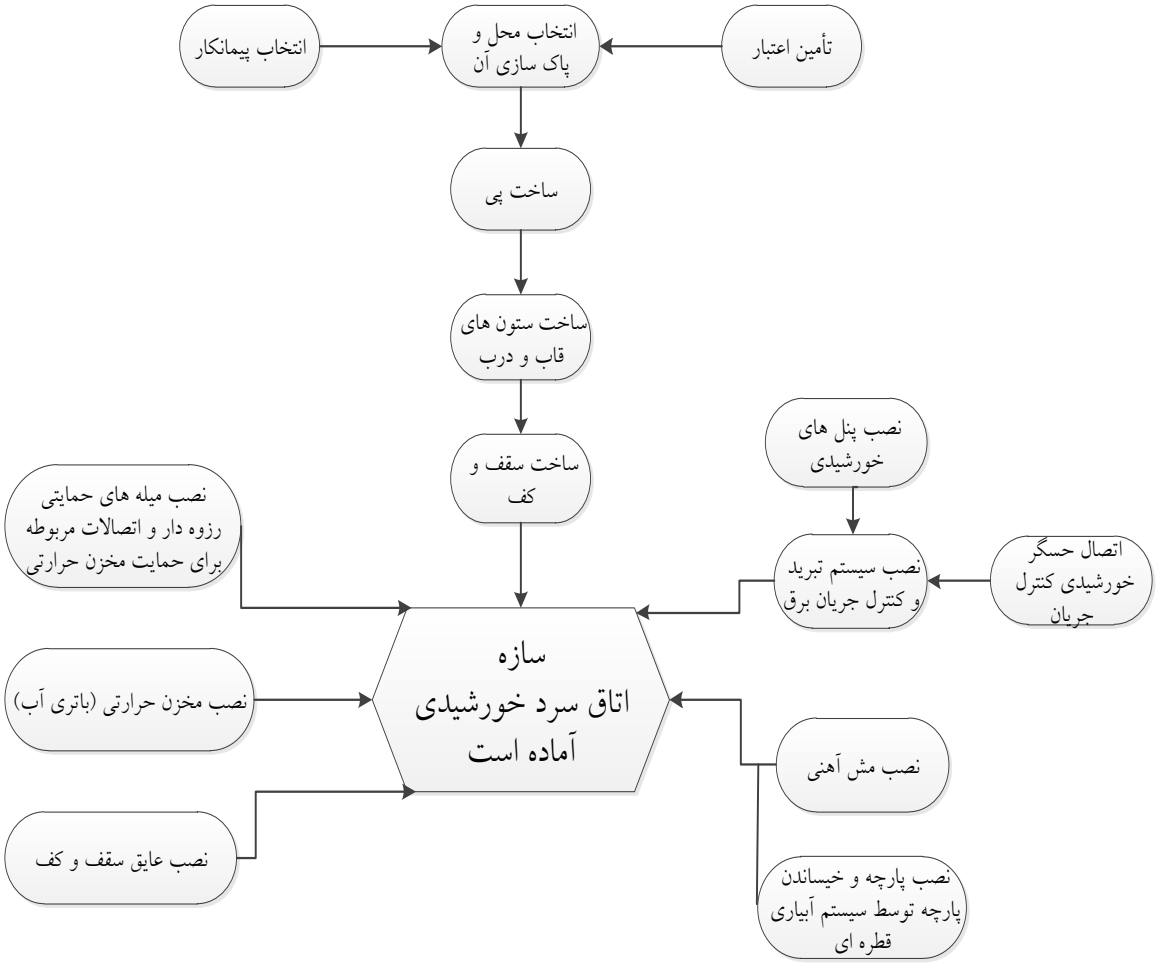
اتاق سرد خورشیدی مجاور باغ یا گلخانه

اتاق سرد خورشیدی[1]، اتاقی است که در باغ یا کنار گلخانه احداث شده و بدون نیاز به شبکه برق سراسری و باتری برای نگهداری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اتاق سرد خورشیدی را می‌توان با امکانات نسبتاً کمی احداث کرد. اتاق سرد خورشیدی شامل پارچه نمدی- نایلونی برای خنک‌کردن، بتن اتوکلاو و پنل‌های فوم پلی‌استایرن (یونولیت) برای عایق‌بندی، یک واحد تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت[2]، پنل و مبدل جریان مستقیم به متناوب و مخزن حرارتی بر پایه آب (برای خنک‌سازی شبانه اتاق به‌جای باتری) و حسگر تابش‌سنج خورشیدی است. این حسگر برای متعادل‌سازی بهینه انرژی خورشیدی موجود و میزان تبرید مورد استفاده قرار می‌گیرد. سازه اتاق سرد خورشیدی می‌تواند با توجه به امکانات و توانایی کشاورز در یک مرحله یا به‌صورت تدریجی ساخته شود. در مرحله اول، سامانه تبرید تبخیری ساخته شده و در مرحله دوم تبرید خورشیدی بدون تغییرات اساسی در سازه تبرید تبخیری با حداقل سرمایه‌گذاری در آن نصب می‌شود (ساموئل و بیرا[3]، ۲۰۱۳؛ والا و همکاران، ۲۰۱٦). در شکل ۱، سامانه آماده به‌کار اتاق سرد خورشیدی و در شکل ۲ مراحل گام به گام ساخت آن آورده شده

[1] Farm Sun Fridge (Solar Refrigerated, Evaporative Cooled) Structure
[2] Mini Split Air Conditioner
[3] Samuel and Beera

است. این سامانه قادر است تا دمای داخل اتاق را به ۱٤–۸ درجه سلسیوس برساند در حالی‌که دمای بیرون اتاق بین ٤۲–۲۸ درجه سانتی‌گراد است (ساموئل و بیرا، ۲۰۱۳؛ والا و همکاران، ۲۰۱٦؛ منصوری و همکاران، ۲۰۱٦). برای ساخت یک اتاق سرد خورشیدی مجاور باغ یا گلخانه با حجم ۲۰۰۰ کیلوگرم، ۳۵ متر مربع زمین بایست در نظر گرفته شده و از درخت و سایر عوامل سایه‌انداز پاک‌سازی گردد. زمین باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که به حداقل عملیات آماده‌سازی نیاز داشته باشد. همچنین برای اجزایی مانند پنل‌های عایق و لوله‌های آبیاری که ابعاد خاص دارند، حداقل برش یا اتصالات نیاز باشد. ستون‌های بتنی تقویت‌شده با میلگرد، روی پایه‌هایی با عمق حداق نیم متر در زیر زمین و در گوشه‌های آن قرار داده شوند (شکل ۳). تمام سازه در روی زمین توسط بتن‌های اتوکلاو پوشانده می‌شود.

شکل ۱- اتاق سرد خورشیدی خارج از شبکه سراسری برق



شکل ۲- مراحل گام به‌گام ساخت یک اتاق سرد خورشیدی خارج از شبکه سراسری برق

بلوک‌های اتوکلاو دارای ساختار سبک، قدرت تحمل بالا و مقاومت هدایت حرارتی بالایی هستند. این بلوک‌ها دارای جرم حجمی ٥٠٠-٤٥٠ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و نسبت به بتن معمولی و آجر سبک‌تر هستند. هدایت حرارتی آنها یک هشتم آجر معمولی است. استفاده و اجرای بلوک‌های اتوکلاو آسان و سریع است. بلوک‌های اتوکلاو دارای ضایعات کم (با اره معمولی بریده می‌شوند و قابلیت پیچ‌شدن به هم دارند) و مقاوم در برابر اشتعال هستند. همچنین، به‌دلیل ساختار منظم و ابعادشان می‌توانند به عنوان قالب بتن استفاده شوند. این بلوک‌ها پناهگاه خوبی برای حشرات نیستند. سقف سازه با شبکه میلگرد آهنی تقویت شده و توسط لایه‌ای از بلوک‌های اتوکلاو پوشانده می‌شود (شکل ٤). بعد از آماده‌شدن اسکلت سازه، برای حمایت و نگهداری مخزن حرارتی از جنس پلیکا، از میلگردهای رزوه شده و مهارهای مربوطه در سقف سازه و در بین لوله‌های پی‌وی‌سی استفاده می‌شود (شکل ٤).

(الف) (ب)

شکل ۳- الف) ایجاد ستون‌های تقویت‌شده با میلگرد ب) بلوک‌های بتنی اتوکلاو

(الف) (ب)

شکل ٤- الف) پوشاندن سقف سازه توسط بلوک‌های اتوکلاو ب) ایجاد مهارها در سقف سازه برای پشتیبانی از مخزن حرارتی پی‌وی‌سی

برای عایق‌بندی سازه، داخل آن توسط یک لایه و زیر سقف، توسط دو لایه فوم پلی‌استایرن پوشانده می‌شود (شکل ۵). مخزن حرارتی از لوله‌های پی‌وی‌سی چهار اینچی (۱۰/۱٦ سانتی‌متری) در ساختاری خاص و به‌صورت رفت و برگشتی ساخته می‌شود. این لوله‌ها در دو لایه روی هم قرار می‌گیرند و توسط یک لوله U شکل در انتها به هم متصل می‌شوند. از دو قوطی مربعی‌شکل نیز در زیر لوله‌کشی برای کمک به میله‌های نگهدارنده در دو سمت مخزن حرارتی استفاده می‌شود (شکل ۵). مخزن حرارتی پی‌وی‌سی بهتر است به اندازه ۳۰ سانتی‌متر از عایق سقف فاصله داشته باشد. در مرحله بعد، خاک سست سطحی کف سازه برداشته شده و با ماسه جایگزین می‌شود. سپس با لایه‌ای نازک از سیمان و بلوک‌های اتوکلاو پوشانده می‌شود. پنل‌های عایق یونولیت به بلوک‌های اتوکلاو متصل شده و شکاف بین آنها توسط فوم‌های عایق‌بندی پلی‌اورتان[4] درزبندی شده و بدین

[4] Polyurethane

ترتیب عملیات عایق‌بندی و درزبندی کامل می‌شود (شکل ٦). پس از آماده‌سازی اتاق، یک شبکه آهنی با ابعاد ١/٥ × ١/٥ اینچی (٣/٨ سانتی‌متری) دور تا دور سازه پیچیده و از طریق ستون‌ها محکم به سازه پیچیده می‌شود (شکل ٦). این شبکه برای نگهداری پارچه نمدی- نایلونی یا نمد مصنوعی است. این بافت که از ترکیب نمد و نایلون یا پلی‌استر ساخته شده، دارای خاصیت عایق حرارتی بالایی بوده و قابلیت جذب و نگهداری میزان بالایی از آب را دارد. در بالای این پارچه، یک لوله یا شیلنگ به اندازه محیط اتاق به پارچه دوخته می‌شود تا پارچه متصل به آن را به‌صورت قطره خیس کند.

(الف) (ب)

شکل ٥- الف) ایجاد عایق در زیر سقف سازه با دولایه پلی‌استایرن

ب) تصویر مخزن حرارتی پی‌وی‌سی و نحوه مهار آن

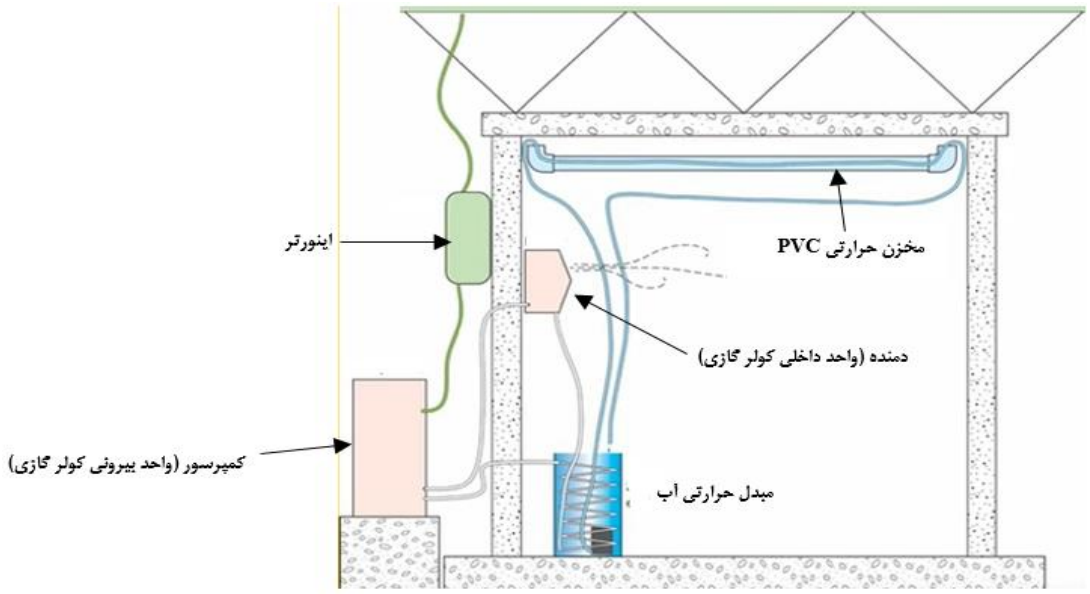
(الف) (ب)

شکل ٦- الف) ایجاد یک شبکه آهنی در محیط سازه برای نگهداری نمد نایلونی

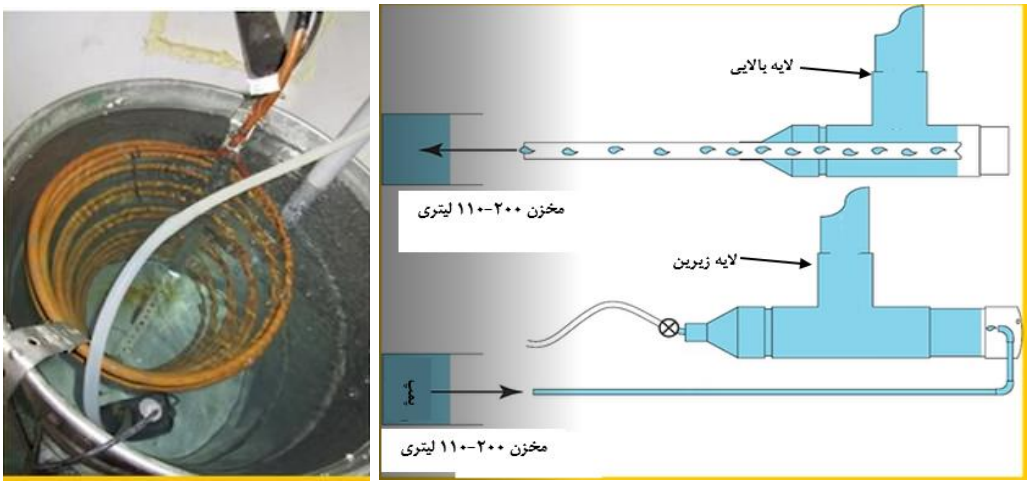
ب) درزبندی بین پنل‌های یونولیت توسط پلی‌اورتان

شکل ۷- از راست به چپ: آماده‌سازی نمد نایلونی و ایجاد یک جیب در محیط آن برای قرارگیری شیلنگ آبیاری، قرار دادن شیلنگ آبیاری در محیط نمد نایلونی، نصب نمد نایلونی در روی شبکه آهنی در محیط سازه

سیستم تبرید شامل یک تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت، یک مبدل حرارتی برای خنک‌کردن، یک مخزن آب و یک مخزن حرارتی پی‌وی‌سی است که آب خروجی از مخزن، در آن به گردش در می‌آید (شکل ۸). برای نگهداری پنل‌های خورشیدی یک خرپا رو به جنوب تهیه و نصب می‌شود. برای خنک‌کردن اتاق از واحدهای داخلی و خارجی سامانه تبرید کولر گازی مینی‌اسپلیت استفاده می‌شود. لوله مسی تبرید به طول حداقل ۱۵ متر در یک مخزن ۲۰۰-۱۱۰ لیتری قرار داده شده تا آب داخل آن خنک و این آب خنک به داخل مخزن حرارتی پی‌وی‌سی هدایت شود. این باعث می‌شود در شب که نور خورشید وجود ندارد، به خنک کردن اتاق کمک کند. لوله مسی از واحد بیرونی کولر به‌صورت مارپیچ به داخل این مخزن قرار گرفته و سپس به واحد دمنده داخلی هدایت می شود. از یک پمپ شناور کوچک که می‌تواند آب را تا ارتفاع ٤-۳ متری بالا ببرد در کف مخزن برای پمپ‌کردن آب به مخزن حرارتی پی‌وی‌سی و خیس‌کردن پارچه نمدی استفاده می‌شود. در شکل ۹، چیدمان مخزن آب و مخزن حرارتی پی‌وی‌سی، لوله مسی مارپیچ و پمپ داخل مخزن نشان داده شده است. واحد دمنده تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت که لوله مسی داخل مخزن آب به آن متصل است نیز در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل ۸- چیدمان اجزاء اتاق سرد خورشیدی خارج از شبکه سراسری برق



(ب) **(الف)**

شکل ۹- الف) چیدمان مخزن آب و مخزن حرارتی دولایه پی‌وی‌سی ب) لوله مسی مارپیچ و پمپ داخل مخزن

پس از کنترل نشتی لوله مسی، گاز مبرد (مبرد R-410a) در مارپیچ لوله مسی شارژ می‌شود. برای کنترل جریان ورودی به واحد تبرید از یک آفتاب‌سنج (توان‌سنج خورشیدی) در کنار پنل خورشیدی استفاده می‌شود. در آفتاب‌سنج، شدت تابش خورشید (بر حسب وات بر متر مربع) اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱۱). پنل خورشیدی به مبدل جریان مستقیم به متناوب و

سپس به سامانه تبرید متصل می‌شود. مبدل، علاوه بر تبدیل جریان الکتریسیته مستقیم دریافتی از پنل‌های خورشیدی به جریان متناوب با ولتاژی بالا، کمک می‌کند هم‌زمان حداکثر توان، از منبع نور دریافت شود. در شکل ۸ ، چیدمان مبدل، تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت (واحد بیرونی و داخلی)، مبدل حرارتی آب (مخزن و لوله مسی مارپیچ داخل آن) و مخزن حرارتی پی‌وی‌سی یک اتاق سرد خورشیدی خارج از شبکه آورده شده است. برق تولیدی پنل‌های خورشیدی، به‌دلیل تغییرات محیطی مانند تغییر شدت تابش خورشید، متغیر است. بنابراین، انتخاب مبدل جریان مستقیم به متناوب مناسب برای استفاده بهینه از سامانه بسیار مهم است. در مجموع، آرایه خورشیدی مورد استفاده و مبدل باید اندازه‌ای متناسب با سامانه تبرید داشته باشند تا در صورت تغییر شرایط محیط (مثلاً شرایط ابری) نیز کارکرد سامانه مناسب باشد.

شکل ۱۰- واحد دمنده تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت

(الف) **(ب)**

شکل ۱۱- الف) آفتاب‌سنج **و ب)** مبدل جریان مستقیم به متناوب

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

سردخانه خورشیدی مجاور باغ یا گلخانه برای کشاورزان خرده‌مالک و به‌ویژه برای مناطق کمتر توسعه‌یافته بسیار مناسب است. در این سردخانه از یک تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت و تبرید تبخیری برای خنک‌کاری در روز استفاده می‌شود. انرژی سامانه تهویه مطبوع مینی‌اسپلیت و حرکت آب در تبرید تبخیری، توسط انرژی خورشیدی

تـأمین مـی‌شـود. ایـن سـامانه نیـاز بـه بـاتری نداشـته و در شـب از یـک مخـزن حرارتـی پـی‌وی‌سـی کـه آب آن در روز خنک شده است، اسـتفاده می‌کنـد. سـردخانه خورشـیدی توسـط بلـوک‌هـای اتوکلـاو بـا مقاومـت حرارتـی بالـا و نصـب و اجرای ساده ساخته شده و سـقف آن توسـط یونولیـت، عـایق‌بنـدی مـی‌شـود. ظرفیـت سـامانه تهویـه مطبـوع مینـی‌اسـپلیت و انـدازه صـفحات خورشـیدی بـر اسـاس مشـاوره بـا متخصـص انـرژی و بـا توجـه بـه شـرایط منطقـه بایسـت انتخـاب شود. احداث سـردخانه خورشـیدی مجـاور بـاغ یـا گلخانـه ایـن امکـان را بـه کشـاورزان مـی‌دهـد تـا در صـورت نداشـتن دسترسـی سـریع بـه بـازار و یـا نبـود وسـایل حمـل و نقـل در زمـان مناسـب، محصـول تولیـدی را در شـرایط مناسـب نگهداری کنند. این امر سبب کاهش تلفات و افت کیفیت محصول می‌شود.

فهرست منابع

۱- میرمجیدی هشتجین، عادل، رضا فامیل مؤمن و فرزاد گودرزی. ۱۳۹۵. *کاهش ضایعات محصولات کشاورزی راهبرد اصلی در ارتقاء امنیت غذایی*. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش فنی، شماره ثبت ۵۰۸۷۵.

2. Mansuri, S.M., P.K. Sharma and D.V.K. Samuel. 2016. Solar powered evaporative cooled storage structure for storage of fruits and vegetables. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86 (7): 916-922.

3. Samuel, D.V.K. and V. Beera. 2013. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables- A review. *Journal of Food Science and Technology*, 50 (3): 429-442.

4. Vala, K.V., F. Saiyed and D.C. Joshi. 2014. Evaporative cooled storage structures: An indian scenario. *Trends in Postharvest Technology*, 2 (3): 22-32.