2024, Vol.11, No.1, Pages 1 to 12
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۱، ۱۴۰۳، صفحات ۱ تا ۱۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Energy Production and Rainwater Harvesting From the Greenhouse Roof in Bashagard Region

M. Zarezadeh[1*], S. Khwarazmi[2], H. Mansouri[3]

1- Ph.D. in Sea Hydrology, Department of Energy and Environment. Iranian National Standard Organization, Bandar Abbas, Iran. 2- Ph.D. in Meteorology and Climate, Forecasting Expert of Hormozgan, General Department of Meteorology, Bandar Abbas, Iran. 3- MSc in Metallurgy, Technical Director of Inspection, Nik Azmai Hormozgan Co, Bandar Abbas, Iran.

*(Corresponding Author Email: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com)

Received: 14-11-2023 Revised: 29-02-2024
Accepted: 06-03-2024 Available Online: 30-05-2024

تولید انرژی و استحصال آب باران از بام گلخانه در منطقه بشاگرد

مجید زارع‌زاده[1*]، سعیده خوارزمی[2]، هدا منصوری[3]

۱- دکتری هیدرولوژی دریا، کارشناس انرژی و محیط‌زیست، اداره کل استاندارد هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۲- دکتری هواشناسی و اقلیم، کارشناس مسئول پیش‌بینی، اداره کل هواشناسی استان هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۳- کارشناسی‌ارشد متالورژی، مدیر ارشد بازرسی، شرکت نیک آزمای هرمزگان، بندرعباس، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰

Abstract

Water supply with new methods has always been emphasized by researchers and statesmen. Water scarcity and droughts in recent years in Iran have pushed the agricultural approach from traditional methods to modern methods, especially greenhouse cultivation. The advantages of this cultivation in reducing the wastage of energy and water, as well as the possibility of controlling pests and diseases, have led to an increase in the use of this method in the country. Nowadays, the use of solar panels as the roof of the structure to provide renewable energy has also been added to this process. In this research, the construction of a greenhouse structure with a roof covered with organic solar panels with south-direction and east-west orientations has been investigated by selecting a part in the Bashagard area of Hormozgan province. Modeling using PVSol software showed that the energy produced from these two types of east-west and south-direction coverage is 54293565 and 43697736-kilowatt hours per year, respectively. In addition to the aspect of energy production, based on the estimations, the roof slope was used and a piping system was created to collect rainwater in the study area, about 7500 cubic meters of rainwater was collected, which is about 4% of the amount of water consumed in this greenhouse complex.

Keywords: Solar Panel Roof, Renewable Energy Production, Sustainable Development, Rainwater Harvesting, Greenhouse Cultivation.

چکیده

تأمین آب با روش‌های نوین همواره مورد تأکید پژوهشگران و دولتمردان بوده است. کم‌آبی و خشکسالی‌های چند سال اخیر در کشور ایران، رویکرد کشاورزی را از شیوه‌های سنتی به سمت شیوه‌های نوین، به ویژه کشت گلخانه‌ای، سوق داده است. مزایای این کشت در کاهش هدررفت انرژی، آب و همچنین امکان کنترل آفات و بیماری‌ها، منجر به افزایش به‌کارگیری این شیوه در کشور شده است. امروزه به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی به‌عنوان بام سازه برای تأمین انرژی تجدیدپذیر نیز به این فرایند افزوده شده است. در این پژوهش با انتخاب بخشی در منطقه بشاگرد استان هرمزگان، ساخت سازه گلخانه با سقف پوشش داده شده با پنل‌های خورشیدی ارگانیک با جهت‌گیری‌های جنوب-سو و شرق-غرب بررسی شده است. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVSol نشان داد انرژی تولیدی از این دو نوع پوشش شرق-غرب و جنوب-سو به ترتیب ۵۴۲۹۳۵۶۵ و ۴۳۶۹۷۷۳۶ کیلووات ساعت در سال است. در کنار جنبه تولید انرژی، بر اساس تخمین و برآوردهای انجام شده، به‌کارگیری بام و قراردادن آن به شکل شیبدار باعث جمع‌آوری حدود ۷۵۰۰ مترمکعب آب ناشی از باران خواهد شد. این مقدار از آب جمع‌آوری شده در حدود ۴٪ از آب مصرفی این مجموعه گلخانه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: بام پنل خورشیدی، تولیدی انرژی تجدیدپذیر، توسعه پایدار، جمع‌آوری آب باران، کشت گلخانه‌ای.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir
How to cite this article: Zarezadeh, M., Khwarazmi, S., & Mansouri, H. (2024). Energy Production and Rainwater Harvesting From the Greenhouse Roof in Bashagard Region. Journal of Water and Sustainable Development, 11(1), 1-12. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i1.2311-1284

مقدمه

استفاده از آب باران و آب‌های موجود در اتمسفر برای تأمین آب شرب و آب مورد نیاز کشت و صنعت امروزه به شکل چشمگیری افزایش یافته است. این موضوع به ویژه در مناطق دوردست و دارای پتانسیل مناسب اقلیمی از لحاظ بارندگی، رطوبت، تابش و باد مناسب، کاربرد بیشتری داشته و به شکل عملیاتی انجام شده است. استفاده از این فناوری‌ها علاوه‌بر اینکه آثار مخرب محیط‌زیستی کمی داشته، موجب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. امروزه این فناوری‌ها با ترکیب سیستم لوله‌کشی در گلخانه و پنل‌های خورشیدی نصب شده بر بام آن، منجر به افزایش بهره‌وری فرایند خواهد شد. استفاده چندگانه از فناوری برای تأمین انرژی، آب و غذا، رویکردی نوین در این نوع گلخانه‌ها است. فضای زیادی که پنل‌های خورشیدی نصب شده بر روی زمین اشغال می‌کنند یکی از نقاط ضعف و انتقاداتی است که به این نوع نیروگاه‌ها وارد می‌شود، بنابراین نصب آنها بر روی بام سازه و یا کانال‌های آب و مخازن پشت سدها، یکی از روش‌هایی است که از فضاهای غیرضروری برای نصب پنل استفاده شده است. مزیت نصب پنل خورشیدی بر روی بام گلخانه این است که علاوه‌بر رفع چالش فضای نصب آن‌ها، بهره‌وری فرایند و تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه، یا حتی فروش مازاد انرژی تولیدی و ایجاد درآمد پایدار افزایش خواهد یافت. امروزه استفاده از پنل‌های خورشیدی ارگانیک (OPV)[1]، بدون افزایش چشمگیری در جرم سازه زیرین، توسعه یافته است (Zarezadeh، ۲۰۲۴).

بررسی تحقیق و پژوهش‌های مشابه کمک زیادی به کاهش هزینه‌های پژوهشی می‌کند و استفاده از این تجربیات باعث کاهش زمان و همچنین بهبود روش‌های گذشته می‌شود. استفاده و کاربرد پنل‌های خورشیدی به‌عنوان سقف سازه در این سال‌ها رو به افزایش بوده و تحقیقات زیادی در مورد تأثیرات این روش انجام شده است. استفاده از فتوولتائیک‌های خورشیدی در گلخانه‌های کشاورزی می‌تواند منجر به تولید مشترک محصولات غذایی و انرژی شود. امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از پنل‌های خورشیدی نیمه شفاف در پشت‌بام گلخانه‌ها در کرت یونان بررسی شده است. این گروه به این نتیجه دست یافتند که استفاده از پنل‌های خورشیدی نیمه‌شفاف در پشت‌بام گلخانه‌ها در این جزیره مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی را برای کشاورز در پی خواهد داشت (Vourdoubas، ۲۰۲۰). پژوهش‌های فراوان در زمینه تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای منجر به توسعه گلخانه‌هایی شده که بخشی از بام آنها توسط پنل‌های خورشیدی پوشانده شده است. در مطالعه‌ای در این زمینه، پتانسیل یک نمونه اولیه گلخانه فتوولتائیک نوآورانه با سایه متغیر برای بهینه‌سازی تولید انرژی توسط پنل‌های فتوولتائیک و تولید محصولات کشاورزی بررسی شده است. نتایج نشان داد تغییر سایه باعث تنظیم میزان تابش درون گلخانه، انتخاب حداقل مقدار تابش مورد نیاز و پارامترهای محیطی داخلی نظیر دما، رطوبت، گردش هوا و... باید با نیازهای گونه‌های گیاهی رشد یافته در گلخانه ها سازگار باشد (Marucci و Moretii، ۲۰۱۹).

به‌کارگیری فناوری‌های روز در زمینه پنل‌های خورشیدی برای نصب بر روی سازه گلخانه نیز در سایر پژوهش‌ها بررسی شده است. اثر فتوولتائیک مجتمع ساختمانی نیمه‌شفاف (BIPV)[2] نصب شده در بالای گلخانه بر رشد گوجه فرنگی و شرایط محیطی و همچنین برآورد انرژی تولید شده و دوره بازگشت این سیستم، تخمین زده شده است. در پژوهشی سه ماژول در ۲۰ درصد مساحت سقف گلخانه با زاویه شیب ۳۰ درجه رو به جنوب در فاصله ۸ سانتیمتری بین پوشش پلاستیکی و BIPV نصب شدند. نتایج نشان داد انرژی الکتریکی تولیدی سالانه ۶۳۷ کیلووات ساعت بود. علاوه‌براین، تفاوت معناداری (P> ۰/۰۵) در رشد گوجه فرنگی بین گلخانه سایه‌دار توسط BIPV و گلخانه بدون سایه وجود نداشت (Hassanien و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر، مقایسه‌ای بین انواع پنل‌های خورشیدی با میزان عبور نور خورشید و تابش بررسی شده است. تأثیر ماژول‌های فوتوولتائیک نصب شده در بالای گلخانه، بر رشد توت فرنگی و شرایط محیطی و همچنین برآورد انرژی تولید شده بررسی شد. یک گلخانه مجهز به ماژول‌های فتوولتائیک ارگانیک (OPV) بود که ۲۵/۹٪ از مساحت سقف را به خود اختصاص داد و دیگری مجهز به ماژول‌های فتوولتائیک نیمه‌شفاف (STPV)[3] بود که ۲۰٪ از مساحت سقف را به خود اختصاص داد. محتوای جامدات محلول در توت فرنگی در گلخانه‌های OPV و STPV به ترتیب ۱۶/۴ و ۱۵/۷ میلی‌گرم در گرم بود که بیشتر از نمونه‌های بدون سایه بود. کیفیت و عملکرد نمونه‌های توت فرنگی در سایه OPV بهتر از نمونه‌های سایه STPV بود (Tang و همکاران، ۲۰۱۹).

در کنار جنبه تولید انرژی پاک تجدیدپذیر، استحصال آب باران از بام ساختمان به توسعه پایدار مناطق کمک خواهد کرد. فرایند استفاده چندگانه از بام ساختمان و تأثیری که بر بهره‌وری تولید انرژی و جمع¬آوری آب دارد، پژوهشگران را به تحقیق و توسعه فناوری استفاده چندگانه از بام تشویق کرده است. تراکم بالا و ارزش زمین شیب‌دار، مردم را به بکارگیری از حداکثر فضاهای زنده و پربار در محیط‌های شهری سوق داده است. به‌این منظور به‌کارگیری مجدد، عملکرد بام سازه‌ها بازتعریف شده است و از جنبه صرفاً محافظت در برابر حرارت، بارندگی و ... به سکویی برای فناوری‌های ساختمانی پایدار مانند بام‌های سبز، برداشت آب باران و تولید انرژی خورشیدی تبدیل شده است (Sheng و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی در کالج CIT، فرایند جمع‌آوری آب باران از تمام ساختمان‌های بخش اداری و پارکینگ خودروها

بررسی شد. در این پژوهش ابتدا داده‌های مورد نیاز ازجمله پتانسیل جمع‌آوری رواناب از سطوح ساختمان‌های اداره‌ها و پارکینگ خودروها و میزان آب مورد نیاز استفاده در این ساختمان محاسبه شد. سپس ظرفیت مخزن با طراحی مناسب در نظر گرفته شد. در نهایت، طرح ناودان، تجزیه و تحلیل آن و مکانیسم فیلتراسیون نیز با جزئیات بیان شد. با انجام این پروژه، استحصال اقتصادی آب تمیز باران و انرژی پاک میسر شد. در این تحقیق هر محدوده پنل خورشیدی جمع‌آوری آب باران ۱ فوت مربع مساحت داشته و در مجموع ۶۰۰۰۰ لیتر آب در طول فصل بارندگی جمع شده است. همچنین انرژی را با حداکثر توان ۱/۵ کیلو وات تولید کرده و همه اینها به شرایط آب‌وهوایی و کارایی پنل‌های خورشیدی بستگی دارد (Vinayak و همکاران، ۲۰۲۰).

کشور ترکیه به طور فزاینده‌ای به منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان ابزاری برای بهبود امنیت انرژی و کاهش وابستگی به گاز وارداتی از روسیه و ایران روی آورده است. در پژوهش‌هایی در کشور ترکیه، یک سیستم جمع‌آوری آب باران نوع نیروگاه فوتوولتائیک (PVPPRWHS)[۴] در یک نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی(PV) متصل به شبکه ۶۰۰ کیلووات بررسی شده است. یک برداشت آزمایشی آب باران تنها در ۱۲۸ متر مربع از نیروگاه خورشیدی آلتینولوک، که دارای مساحت ۴۳۲۰ متر مربع است، انجام شد. این مطالعه نشان داد پتانسیل جمع‌آوری آب باران از بخش کوچکی از کارخانه PV تقریباً ۱۱۸ متر مکعب در سال است و سیستم برداشت زمانی که برای کل گیاه اعمال شود به ۱۶۴۶ متر مکعب در سال می‌رسد (Aktas و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهشی برای جلب توجه به اهمیت ارزیابی پتانسیل موجود در سقف ساختمان‌ها انجام شده است. این پژوهش ارزیابی انرژی خورشیدی و پتانسیل آب باران موجود در کل مساحت سقف ساختمان‌ها در منطقه ازمیت را ارائه می‌دهد، که یک منطقه مرکزی استان کوجائلی، یکی از شلوغ‌ترین مراکز صنعتی در ترکیه است. در نتیجه این محاسبات نسبت انرژی الکتریکی قابل ارائه با سیستم‌های فتوولتائیک روی پشت بام‌ها برای پاسخگویی به مصرف برق سالانه منطقه ۲۰۳/۵۸۱٪ و نرخ استفاده سالانه انرژی خورشیدی برای یک خانواده ۴ نفره به دست آمد. دمای آب مصرفی روزانه ۲۴۰ لیتر به ۶۰ درجه سانتیگراد با سطح کلکتور ۸ متر مربع ۶۶ درصد محاسبه شد. علاوه‌براین، نسبت آب بارانی که می‌توان از کل مساحت سقف ساختمان‌های موجود در منطقه برای تأمین آب مصرفی خانگی منطقه جمع‌آوری کرد ۳۳/۲۷٪ بود (Kaya، ۲۰۲۰).

در دهه گذشته، مناطق جنوبی کشور دچار خشکسالی و کم‌آبی چشگیری شده‌اند. ادامه روند خشکسالی و محدودیت‌های آبی، برنامه‌های کشاورزی را با چالش جدی مواجه نموده است. استفاده از فناوری‌های نوین جمع‌آوری آب باران از بام گلخانه و تولید انرژی پاک خورشیدی، راه‌حلی برای رفع حدودی چالش پیشرو است. شرایط اقلیمی و زمین‌های مناطق جنوبی ایران مستعد انجام این نوع پژوهش هستند. بررسی فنی و اقتصادی این موقعیت‌ها، کمک به‌سزایی در بهبود وضعیت کشاورزی، استحصال آب، تولید انرژی تجدیدپذیر و در نهایت بهبود فرایندها و ارتقا سطح کیفی خدمات کشاورزی است.

منطقه سردشت در بشاگرد شرایط اقلیمی و بارندگی‌های مناسبی دارد. این منطقه به خاطر داشتن خاک‌های حاصلخیز، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان هرمزگان و حتی کشور است. این منطقه با کشت‌های خارج از فصل محصولات متفاوت صیفی‌جات و سایر میوه‌ها، یکی از تأمین‌کنندگان مهم کشور محسوب می‌شود. کشاورزی در این منطقه سنتی بوده و به علت فاصله زیاد نسبت به مرکز استان و جاده‌های سخت گذر، همواره با مشکلات جدی روبه‌رو است. بارندگی‌های سیل‌آسا ناشی از اقلیم مانسونی در این منطقه منجر به ایجاد مخازن طبیعی و دست‌ساز آب در بشاگرد شده است. بنابراین این منطقه به‌عنوان منطقه مورد مطالعه برای مدل‌سازی نصب گلخانه با سیستم جمع‌آوری آب باران در بام که پنل خورشیدی دارند، انتخاب شد.

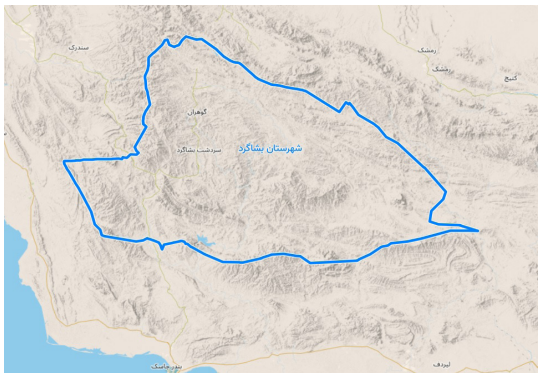
مواد و روش‌ها

در پژوهش پیشرو، رویه کاری با بررسی منابع، پژوهش‌ها و تحقیقات مشابه آغاز شده است. پس از مطالعه طرحهای مشابه، انتخاب موقعیت مناسب باتوجه‌به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و فنی که جنبه فنی شامل پتانسیل کشاورزی، جمع‌آوری آب و تولید انرژی است، صورت پذیرفته است. به‌منظور یافتن پایلوت مناسب در شهرستان بشاگرد که پتانسیل کشاورزی خوبی دارد و از لحاظ توپوگرافی و شیب منطقه نیز مناسب است، بررسی‌های لازم انجام، و شرایط آن توسط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفته است. استانداردهای متفاوت لوله‌کشی برای طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، بر اساس میزان حجم آب، افت فشار، سرعت دبی آب و... ابعاد لوله‌ها را پیشنهاد می‌دهد (Zarezadeh، ۲۰۲۳). همچنین بر اساس میزان داده‌های آماری بارندگی‌های منطقه می‌توان برآوردی از حدود آب جمع‌آوری شده را ارائه نمود. با این برآورد و حجم آب مصرفی و یا آب تأمین شده از سایر منابع، میزان مخازن مورد نیاز به‌دست می‌آید. محاسبات مرتبط با برآورد آن تخمین زده شده در روابط (۱ تا ۷) در m-file در نرم‌افزار MATLAB فرمول‌نویسی و در محیط این نرم‌افزار اجرا شد.

طراحی سازه گلخانه و سیستم لوله‌کشی بخش بعدی است. در انتها شبیه‌سازی نصب پنل خورشیدی بر روی بام سازه گلخانه و تخمین میزان آب جمع‌آوری شده باران از بام این سازه‌ها انجام شد.

- تعیین مکان نصب سازه

شهرستان بشاگرد منطقه‌ای نسبتا وسیع در استان هرمزگان با مساحتی در حدود ۸۷۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد و بر اساس آخرین سرشماری، جمعیت این شهرستان حدود ۳۵۰۰۰ نفر است. توپوگرافی منطقه بشاگرد عمدتا کوهستانی است و بخش‌های کمتری از آن حالت جلگه و دشت دارند. برای یافتن مکان مورد نظر با استفاده از روش AHP[5] و به‌کارگیری نرم‌افزار ArcGIS و با در نظر گرفتن عواملی مانند دسترسی به جاده، میزان تابش خورشید در منطقه، توپوگرافی و شیب منطقه، حاصلخیزی خاک برای کشت، از میان مناطق موجود منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۵ هکتار انتخاب شد (George، ۲۰۱۲). در شکل (۱) نمایی از شهرستان بشاگرد بر روی تصویر ماهواره‌ای و در جدول (۱) موقعیت نقاط انتخابی برای شبیه‌سازی نصب سازه گلخانه و نصب پنل خورشیدی به‌عنوان بام ارائه شده است.

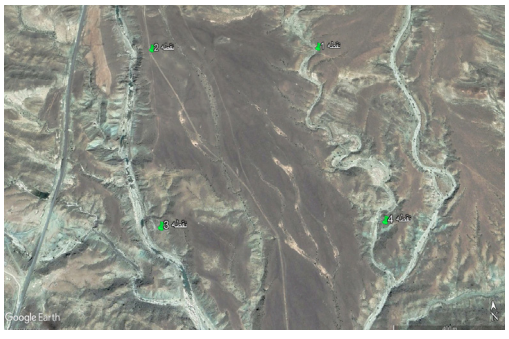


شکل ۱- نمایش محدوده شهرستان بشاگرد بر روی تصویر ماهواره‌ای

جدول ۱- موقعیت مکانی نقاط انتخاب شده برای شبیه‌سازی نصب سازه گلخانه و نصب پنل خورشیدی به‌عنوان بام

شماره	طول جغرافیایی (درجه، دقیقه، ثانیه)	عرض جغرافیایی (درجه، دقیقه، ثانیه)
نقطه ۱	۵۷° ۵۴' ۱۳/۹۹" E	۲۶° ۴۷' ۱۸/۵۴" N
نقطه ۲	۵۷° ۵۳' ۴۷/۳۹" E	۲۶° ۴۷' ۲۰/۳۹" N
نقطه ۳	۵۷° ۵۳' ۴۸/۶۷" E	۲۶° ۴۶' ۵۶/۹۳" N
نقطه ۴	۵۷° ۵۴' ۱۰/۷۴" E	۲۶° ۴۷' ۰۹/۰۳" N

نمایی از تصاویر موقعیت انتخابی برای نصب در شکل (۲) مشاهده می‌شود. این منطقه شیب ملایم به سمت جنوب داشته، و نزدیک به شبکه برق و جاده تردد خودرو برای انتقال تجهیزات و محصولات کشاورزی است. سازندهای اطراف این قطعه زمین به شکلی نیست که اثرسایه‌اندازی بر روی آن تأثیرگذار باشد و آثار منفی روی تولید انرژی از پنل خورشیدی و همچنین کشت داشته باشد. نوع خاک منطقه نیز بر اساس آنالیز انجام شده گرید ۲ کشاورزی است و مناسب کشت می‌باشد.



شکل ۲- نمایی از نقاط چهار گوشه منطقه انتخاب شده بر اساس معیارهای فنی انتخاب موقعیت نصب گلخانه و پنل خورشیدی

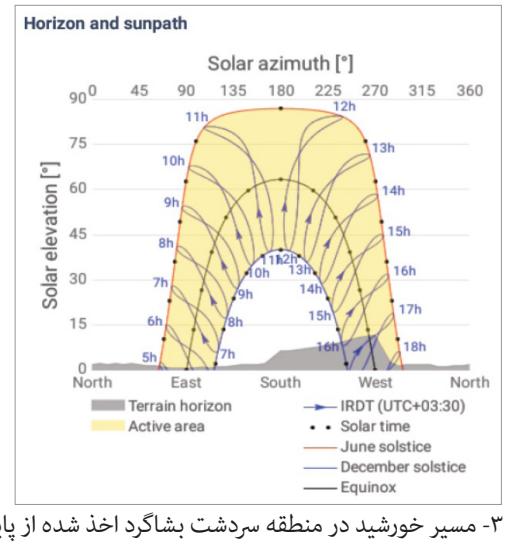
- بررسی شرایط اقلیمی و تابش منطقه

منطقه بشاگرد اقلیم گرم و خشک دارد. به‌منظور به‌دست آوردن نتایج مناسب و دارای انطباق مناسب با محاسبات عددی، داده‌های اقلیمی ۲۰ سال گذشته این منطقه از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین داده اقلیمی و تابش در منطقه بشاگرد بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت

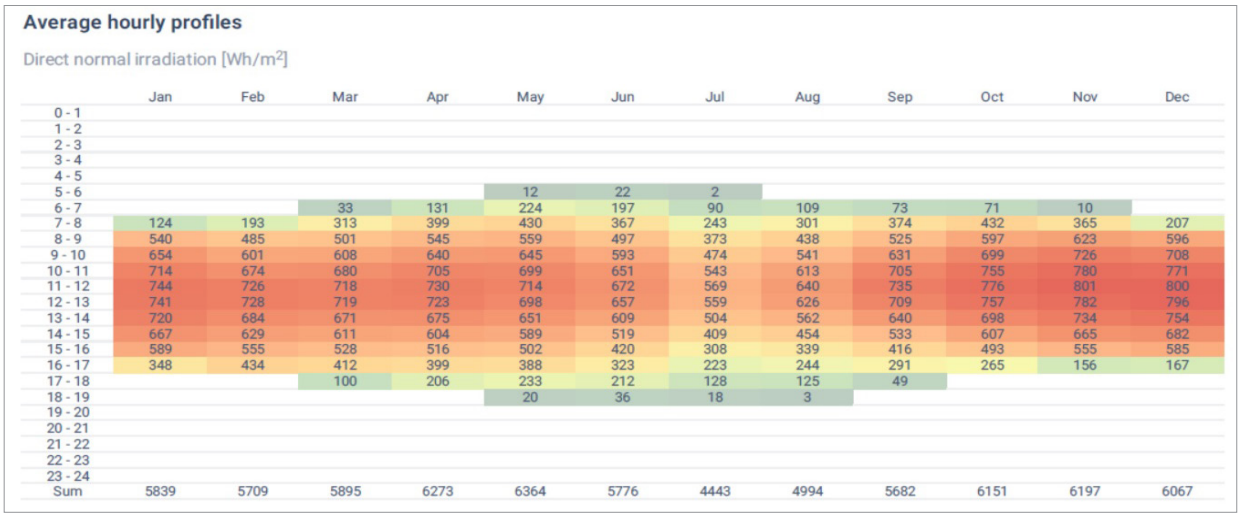
ردیف	عنوان کمیت	مقدار	یکای اندازه‌گیری
۱	میانگین ساعت تابش	۲۸۳	ساعت/ماه
۲		۱۱/۱	ساعت/روز
۳	میانگین دمای ماهانه	۲۷/۹	درجه سلسیوس
۴	میانگین رطوبت ماهانه	۲۸/۹۳	درصد
۵	میانگین سرعت باد	۹/۵	m/s

پس از شرایط اقلیمی، عامل مهم و اثرگذار دیگر که در کشت، کشاورزی و همچنین تعیین موقعیت مناسب برای نصب پنل خورشیدی ضروری است، تعیین مسیر خورشید[6] می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- مسیر خورشید در منطقه سردشت بشاگرد اخذ شده از پایگاه داده globalsolaratlas.info

از آنجاییکه مدت زمان تابش در تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر و همچنین نیاز گیاهان گلخانه‌ای برای رشد و نمو ضروری است، بر اساس داده‌های پایگاه اطلاعاتی در مورد تابش منطقه مورد مطالعه، در کلیه سال حدود ۱۰ ساعت در روز، از ۷ صبح تا ۵ بعد از ظهر تابش مناسبی وجود دارد (شکل ۴). در اردیبهشت تا تیر ماه این مدت زمان به ۱۲ ساعت افزایش می‌یابد. این موضوع یک نکته مثبت برای تولید انرژی و تابش مورد نیاز برای کشت است. ازطرفی میزان بالای این تابش منجر به افزایش تبخیر، به ویژه تبخیر آب‌های سطحی خواهد شد.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6					12	22	2					
6 - 7			33	131	224	197	90	109	73	71	10	
7 - 8	124	193	313	399	430	367	243	301	374	432	365	207
8 - 9	540	485	501	545	559	497	373	438	525	597	623	596
9 - 10	654	601	608	640	645	593	474	541	631	699	726	708
10 - 11	714	674	680	705	699	651	543	613	705	755	780	771
11 - 12	744	726	718	730	714	672	569	640	735	776	801	800
12 - 13	741	728	719	723	698	657	559	626	709	757	782	796
13 - 14	720	684	671	675	651	609	504	562	640	698	734	754
14 - 15	667	629	611	604	589	519	409	454	533	607	665	682
15 - 16	589	555	528	516	502	420	308	339	416	493	555	585
16 - 17	348	434	412	399	388	323	223	244	291	265	156	167
17 - 18			100	206	233	212	128	125	49			
18 - 19					20	36	18	3				
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5839	5709	5895	6273	6364	5776	4443	4994	5682	6151	6197	6067

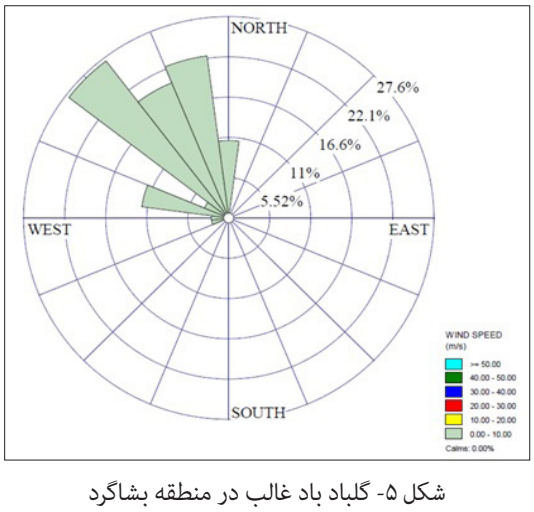
شکل ۴- میزان تابش عمودی در منطقه سردشت بشاگرد از پایگاه داده globalsolaratlas.inf

در جدول (۳) مشاهده می‌شود بارندگی در ماه‌های مرداد و شهریور در منطقه افزایش پیدا کرده است که تحت تأثیر هوای مانسونی منطقه این بارندگی‌های سیل‌آسا و شدید روی می‌دهد، زمانی که به علت افزایش دمای هوا و گرمای شدید و تبخیر آب‌های سطحی، تأمین آب کشاورزی چالش جدی در این منطقه است (Armesh و همکاران، ۲۰۱۹؛ زارع‌زاده و منصوری، ۱۴۰۲). این پتانسیل نهفته با استفاده از فناوری‌های نوین مانند ایجاد بندهای سطحی، جمع‌آوری آب باران از بام سازه و ... قابلیت عملیاتی شدن خواهد داشت.

جدول ۳- میانگین ماهانه بارندگی ۲۰ ساله شهرستان بشاگرد

ردیف	ماه	میانگین بارندگی (mm)
۱	فروردین	۷/۱۱
۲	اردیبهشت	۳/۹۸
۳	خرداد	۴/۴۱
۴	تیر	۵/۴۳
۵	مرداد	۱۰/۳۴
۶	شهریور	۹/۹۴
۷	مهر	۴/۲۲
۸	آبان	۲/۲۹
۹	آذر	۳/۴۷
۱۰	دی	۸/۳۸
۱۱	بهمن	۱۰/۴۹
۱۲	اسفند	۷/۹۶

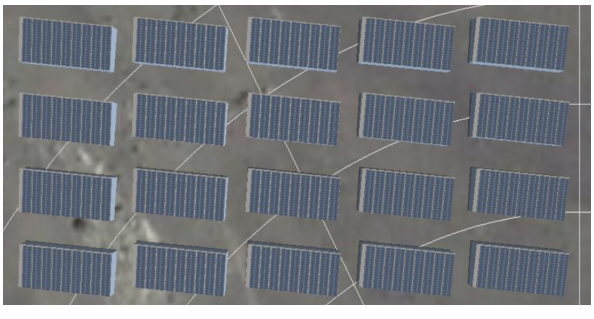
جهت باد غالب در منطقه اهمیت زیادی دارد. این موضوع در پروژه‌ای که در آن هدف نهایی به‌دست آوردن انرژی از پنل خورشیدی بر روی بام سازه‌ای با وزن کم، همانند گلخانه و جمع‌آوری آب باران است نقش تعیین کننده‌ای خواهد داشت. در این پژوهش در نظر گرفتن سرعت و جهت باد در نحوه نصب پنل‌های خورشیدی و ایجاد بادشکن لازم است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه هواشناسی سردشت و به کمک نرم‌افزار WRPlot، گلباد حاصل از میانگین داده‌های باد غالب به‌دست آمد. بر اساس این گراف، جهت باد غالب منطقه شمال غرب است (شکل ۵).



شکل ۵- گلباد باد غالب در منطقه بشاگرد

- طراحی سازه و بام دارای پنل خورشیدی

باتوجه‌به منطقه انتخاب شده در شهرستان بشاگرد، قطعه زمین در حدود ۲۵ هکتار در نظر گرفته شد. به‌این‌منظور و باتوجه‌به دستورالعمل فنی ساخت سازه‌های گلخانه، ابعاد هر یک از این سازه‌ها مساحت سطح ۲۰ متر در ۵۰ متر و ارتفاع ۱۰ متر در نظر گرفته شد. از آنجایی‌که هدف اصلی در این طرح ایجاد گلخانه و جمع‌آوری آب باران از روی بام این سازه‌ها است، برای نقل و انتقال ابزار و تجهیزات و همچنین نصب و جایگذاری سیستم لوله‌کشی، بین هر یک از سازه‌ها ۱۰ متر فاصله در نظر گرفته شد. باتوجه‌به وسعت کل زمین انتخاب شده، ۱۵۰ سازه گلخانه در این مقیاس در زمین جانمایی شد. به‌منظور نوردهی مناسب به گیاهان موجود در گلخانه‌ها، جهت‌گیری طولی این سازه‌ها شرقی-غربی در نظر گرفته شد (شکل ۶).



شکل ۶ - نمایی از سطح بالای سازه‌های گلخانه طراحی شده

باتوجه‌به نوع سازه طراحی شده، دو نوع نحوه نصب پنل با استفاده از نرم‌افزار PVSol نسخه ۲۰۲۱ شبیه‌سازی شد. دو سناریوی متفاوت برای نصب شامل پنل جنوب-سو و پنل شرق-غرب[۷] در نظر گرفته شد. علت استفاده از دو سناریوی متفاوت، رسیدن به نقطه بهینه است. این نقطه بهینه شامل مقدار مناسب تولید انرژی، تعداد پنل‌ها و همچنین کم کردن سیستم لوله‌کشی و ناودان است. تعداد پنل‌ها باید به شکلی باشد که جرم آنها منجر به فشار به بام سازه نشود.

به‌منظور جلوگیری از قطع نرم‌افزار حین اجرا و باتوجه‌به گرافیک بالا و حجم زیاد داده‌ها، شبیه‌سازی در چند بخش مجزا اجرا و در انتها نتایج با یکدیگر ترکیب شده‌اند. کلیه پنل‌ها و مبدل‌های به‌کار رفته در شبیه‌سازی یکسان و مشخصات فنی مشابه داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات پنل خورشیدی به‌کارر فته در شبیه‌سازی

ردیف	عامل	کمیت/کیفیت
۱	نوع سلول	پلی کریستال
۲	بیشینه ولتاژ توان	۳۸/۲۵
۳	بیشینه جریان توان	۹/۰۲
۴	ولتاژ مدار باز	۴۶/۰۷
۵	شدت جریان اتصال کوتاه	۹/۵
۶	توان نامی (W)	۳۴۵
۷	ضریب پوشش (٪)	۷۸/۸۳
۸	بهره‌وری	۱۷/۱۹
۹	عرض پنل (mm)	۹۹۶
۱۰	طول پنل (mm)	۲۰۱۵
۱۱	مساحت سطح m۲	۲/۰۱
۱۲	جرم پنل kg	۲۲/۷
۱۳	ضریب حرارتی خروجی K/٪	-۰/۳۷

- طراحی سیستم لوله‌کشی

در بسیاری از مناطق گرم و خشک و نیمه‌خشک جمع‌آوری آب باران برای مصارف شرب و کشاورزی مهم است. فناوری جمع‌آوری آب باران از بام سازه، فناوری ارزان و مقرون‌به‌صرفه است. جمع‌آوری آب باران از بام سازه، علاوه‌بر ذخیره آب خانگی و اهداف کشاورزی، برای جلوگیری از فرسایش خاک نیز مفید است. در سیستم جمع‌آوری آب باران مهمترین فاکتورها شامل اقلیم، دانش فناوری و مهارت پایدار، زمین و رسوب‌شناسی، دسترسی به مصالح ساخت سازه مناسب می‌باشند. میزان بارش و الگوی آن برای امکان‌سنجی نصب سیستم‌های جمع‌آوری آب باران عامل بسیار مهمی است. برای یافتن سیستم لوله‌کشی از رابطه توماس باکس[۸] استفاده شد (Silva و همکاران، ۲۰۲۱):

$$q=\sqrt{[(d^5\times H)/(25\times L\times 10^5)]} \quad (۱)$$

کمیت q تخلیه از لوله برحسب لیتر بر ثانیه، d قطر لوله، H اختلاف ارتفاع آب هیدرولیک بر حسب متر، L کل طول لوله بر حسب متر است. جمع‌آوری کامل آب باران از روی بام سازه امکان‌پذیر نیست و در حالت بهینه تقریباً ۷۵٪ از آن قابل جمع‌آوری است و بقیه با تبخیر و دیگر هدررفت قابل استفاده و جمع‌آوری نیستند. برای مخزنی که ورودی و خروجی‌هایی دارد، معادلات مربوط برابر است با (Mashford و Maheepala، ۲۰۱۴):

$$V_{end}=V_{start}+R+P-E-S-L-Y \quad (۲)$$

که در آن V_{end} و V_{start} حجم آب مخزن در شروع و پایان هر دوره زمانی اندازه‌گیری است، R میزان آب باران ورودی به داخل

مخزن، P ورود مستقیم آب باران به درون مخزن، E میزان تبخیر آب باران درون مخزن، S مقدار ریزش از مخزن آب باران در اثر سرریز، L تلفات نشت (یا نشت) و Y میزان خروجی مخزن است. در حالتی‌که مخزن پوشیده باشد، آب ورودی مستقیم باران به مخزن، تبخیر صفر در نظر گرفته می‌شوند و می‌توان از تلفات نیز چشم‌پوشی کرد. در این حالت رابطه به شکل زیر خواهد شد (Mashford و Maheepala، ۲۰۱۴):

$$V_{end}=V_{start}+R-S-Y \quad (۳)$$

تعیین و تخمین میزان آب باران جمع‌آوری شده، بر اساس حاصلضرب مساحت آبریز، در میانگین باران، ضریب عملکرد پوشش سقف در هدررفت و تبخیر، به‌دست می‌آید. برای یافتن حجم مخزن نیز بر اساس رابطه بیان شده این حجم بیان می‌شود. برآورد حجم مخزن به نحوه و میزان مصرف آب در دوره زمانی بستگی دارد. حجم مخزن برای یک دوره یک ماهه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$V_t=V_{t-1}+(\text{میزان مصرف-بارندگی}) \quad (۴)$$

V_t میزان تخمینی حجم آب باقی‌مانده در مخزن در انتهای ماه، V_{t-1} حجم آب باقی‌مانده در مخزن از ماه قبل. اگر مخزن در ابتدا خالی باشد V_{t-1} صفر است. اگر پس از هر ماه V_t بیشتر از حجم مخزن ساخته شده باشد، آب مازاد از لوله تخلیه می‌شود. طراحی سازه بام ساختمان، تأثیر زیادی در میزان جذب آب باران دارد (Monteiro و همکاران، ۲۰۲۳). تغییرات دمایی ماهانه با بارندگی در منطقه رابطه دارد. برای تعیین ضریب رواناب[۹] کل دوره تجربی باید بررسی شود. بر اساس شرایط اقلیمی منطقه ضریب رواناب با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Monteiro و همکاران، ۲۰۲۳):

$$C_M=[0.016(P_M+R_M)]/[(2T_M-T_{M-1})^{1.2}] \quad (۵)$$

که در آن C_M ضریب رواناب در ماه Mام، P_M بارندگی ماه M ام بر حسب mm، R_M آبیاری در ماه Mام بر حسب mm، T_M میانگین دمای هوا در ماه M بر حسب سلسیوس، T_{M-1} میانگین دمای هوا در ماه M-1 ام است. میزان رطوبت تأثیر بسیار زیادی در ظرفیت آب برگشتی دارد. ابعاد لوله به‌کار رفته در این سیستم براساس استانداردهای متفاوت لوله‌کشی، همانند DIN2448، ANSI Sch40، JIS-SGP و ... است. قطر داخلی لوله و میزان افت فشار ناشی از نصب با استفاده از روابط زیر برآورد می‌شود (Zarezadeh، ۲۰۲۳):

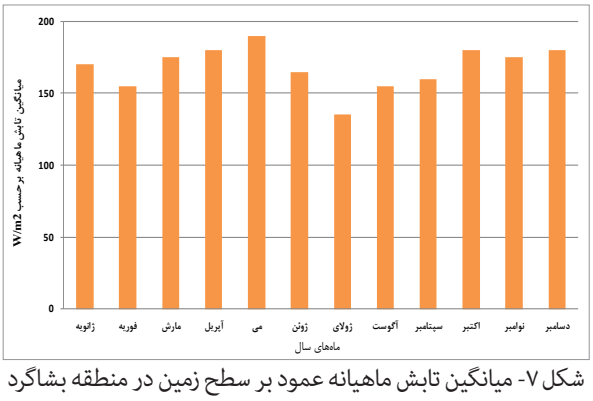
$$d=\sqrt{(Q_w/(3600\,v)\times 4/\pi)} \quad (۶)$$

$$\Delta p=(\mu.l.v^2.\rho.SG)/2d \quad (۷)$$

که در آن، I طول لوله بر حسب متر، Q_w آهنگ عبور آب بر حسب متر مکعب بر ساعت، d قطر داخلی لوله بر حسب متر، v سرعت آب بر حسب متر بر ثانیه، Δp افت فشار برحسب پاسکال، μ ضریب اصطکاک، و SG وزن مخصوص است. مقدار ρ چگالی آب $۱۰۰۰\ kg/m^3$ در نظر گرفته می‌شود.

نتایج و بحث

از آنجایی‌که پژوهش انجام شده کارکرد چندگانه شامل تولید انرژی، جمع‌آوری آب و کشت گلخانه دارد، نتایج آن نیز به ترتیب بررسی و تحلیل خواهد شد. موقعیت تابش مناسب در منطقه بشاگرد پتانسیل بسیار خوبی برای تولید انرژی تجدیدپذیر در این منطقه است. نتایج خروجی مدل‌سازی در منطقه جغرافیایی مورد پژوهش نشان می‌دهد میانگین ماهانه تابش عمودی بیش از $۱۵۰\ W/m^2$ است (شکل ۷). این میزان تابش، منطقه را به یک قطب مناسب تولید انرژی تبدیل می‌نماید. باید در نظر داشت، به همان میزان که شدت تابش در تولید انرژی تجدیدپذیر مهم و چشمگیر است، در نگهداشت آب در منطقه نیز تأثیرگذار است زیرا تابش باعث افزایش میزان تبخیر آب، به ویژه آب‌های سطحی خواهد شد. بنابراین به‌کارگیری فناوری‌های نوین و به روز برای کاهش اثر تبخیر آب در اثر شدت تابش و دست یافتن به نقطه بهینه، که هم‌زمان تابش خورشید موجب تولید انرژی شود و با سیستم لوله‌کشی مناسب و بهینه‌یابی متراژ لوله‌کشی، کمک موثری در برابر چالش موجود است. موقعیت بهینه در این پرژوه دست یافتن به بیشترین انرژی تولیدی و بیشترین آب جمع‌آوری شده باران از بام سازه در شرایط متفاوت نصب پنل خورشیدی و لوله‌کشی متفاوت است.



شکل ۷- میانگین تابش ماهیانه عمود بر سطح زمین در منطقه بشاگرد

از آنجایی‌که سازه گلخانه عموماً وزن کمی دارد، در مدل‌سازی از پنل سبک خورشیدی ارگانیک استفاده شده است. بااین‌حال هر یک از سناریوهای نوع نصب و جهت‌گیری پنل خورشیدی، باتوجه‌به مساحت مفید و جهت‌گیری دارای تعداد متفاوت پنل و مبدل است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نوع جهت‌گیری شرق-غرب تعداد بیشتری پنل را در خود جای داده، درحالی‌که تعداد مبدل‌ها در این نوع جهت‌گیری کمتر از حالت نصب جنوب-سو است (جدول ۵).

جدول ۵- وضعیت تعداد پنل و مبدل نصب شده بر روی هر سازه گلخانه

ردیف	نوع جهت‌گیری‌پنل	تعداد پنل	تعداد مبدل	مساحت موثر پنل‌ها (m^2)
۱	شرق-غرب	۳۰۶	۱۸	۸۵۶
۲	جنوب سو	۲۵۸	۲۰	۷۲۱

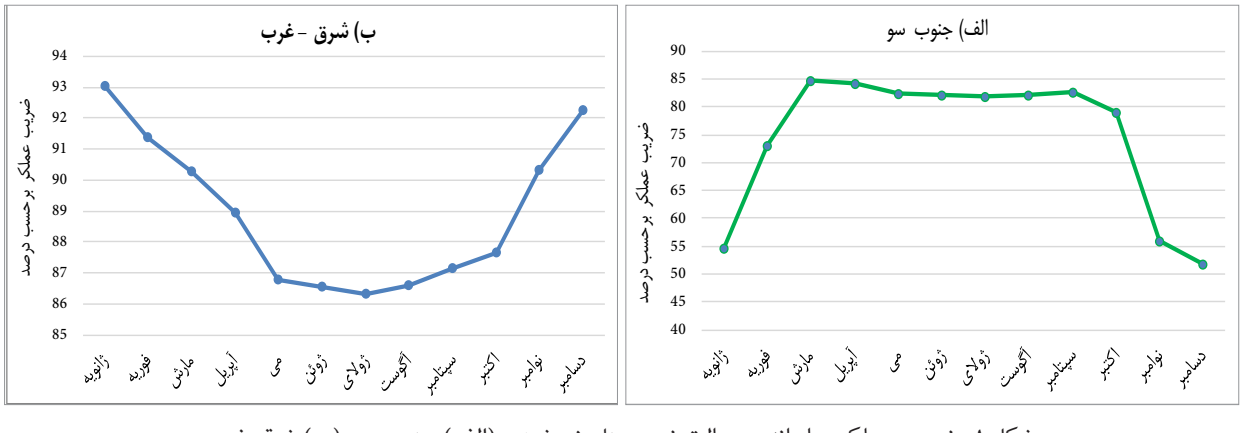
علاوه‌بر مقایسه تعداد تجهیزات سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی به‌کار رفته بر روی هر یک از سازه‌های گلخانه، خروجی عملکرد نهایی عامل موثر و لازم است که در موضوع اقتصاد انرژی و بهره فرایند اهمیت به‌سزایی دارد. این عوامل عبارتند از انرژی و توان تولیدی خروجی پنل‌های نصب شده، ضریب عملکرد و اثر کاهشی سایه‌اندازی که در جدول (۶) ارائه شده‌اند. بر این اساس انرژی تولیدی نوع نصب شرق-غرب ۲۰٪ بیش از حالت نصب جنوب-سو است. توان خروجی تولیدی در حالت شرق-غرب ۱۵٪ بیشتر از حالت نصب جنوب-سو است. ضریب عملکرد نیز در حالت نصب شرق-غرب ۸۸/۵٪ است که نسبت به حالت جنوب-سو، با که در آن ضریب عملکرد ۷۵/۲٪ تخمین زده شده، مقدار بسیار مناسبی است که نشان‌دهنده پتانسیل بسیار مناسب این منطقه برای تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی است.

جدول ۶- عوامل خروجی مدل‌سازی برای کلیه سازه های گلخانه در منطقه تعیین شده

ردیف	نوع جهت‌گیری پنل	انرژی تولیدی (year/kwh)	توان تولیدی خروجی (kW_p)	نسبت عملکرد (٪)	اثر کاهشی سایه‌اندازی (سال/٪)	بهره سالیانه مخصوص (kwh/kw_p)
۱	شرق-غرب	۵۴۲۹۳۵۶۵	۲۸۹۱۷	۸۸/۵	۰/۷	۱۸۷۶/۶۶
۲	جنوب سو	۴۳۶۹۷۷۳۶	۲۴۳۸۱	۷۵/۲	۱۱/۵	۱۷۹۲/۲۴

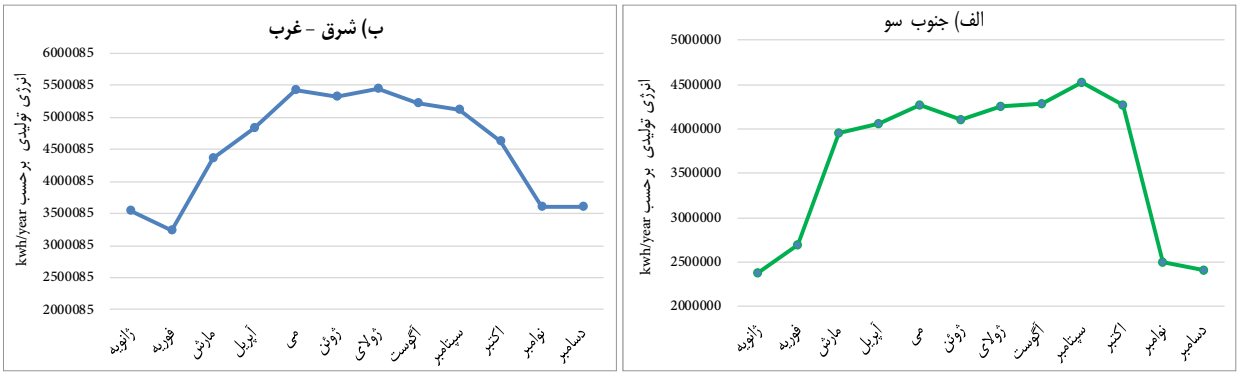
بر اساس نتایج خروجی محاسبات شبیه‌سازی، بهره سالانه مخصوص در نحوه نصب شرق-غرب نیز بیش از جنوب-سو است. عامل دیگری که می‌توان گفت یکی از عوامل اصلی کارکرد مناسب‌تر چیدمان شرق-غرب در این سازه نسبت به جنوب-سو است، اثر کاهشی سایه‌اندازی می‌باشد. به علت نوع چیدمان جنوب-سو، اثر سایه پنل‌ها بر روی یکدیگر باعث شده است ۱۱/۵٪ در سال اثر منفی در بهره توان تولیدی خروجی انرژی داشته باشد، درحالی‌که این اثر در چیدمان شرق-غرب ۰/۷٪ در سال است. این عامل مهم منجر به تفاوت معنادار در پارامترهای خروجی نحوه نصب بام جنوب-سو و شرق-غرب پنل‌های خورشیدی است.

مقایسه ضریب عملکرد در حالت شرق-غرب و جنوب سو، نشان می‌دهد عملکرد ماهانه نحوه نصب شرق-غرب در منطقه بشاگرد بالاتر از حالت جنوب-سو است. میانگین ماهانه ضریب عملکرد در حالت نصب شرق-غرب سو همواره بیش از ۸۶٪ است و در فصل‌های پاییز و زمستان این ضریب عملکرد باتوجه‌به چیدمان افزایش خواهد یافت (شکل ۸).



شکل ۸- ضریب عملکرد ماهانه در حالت نصب پنل خورشیدی (الف) جنوب-سو (ب) شرق-غرب

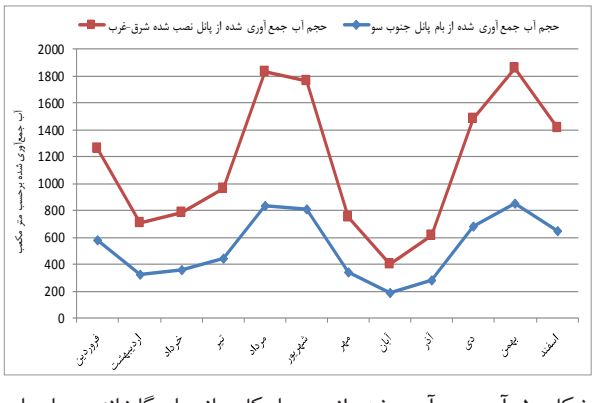
متناسب با روند زمانی ضریب عملکرد پنل‌های نصب شده که در شکل ۸ مشاهده شد، انرژی الکتریکی تولید شده نیز در حالت نصب شرق-غرب بیش از حالت نصب جنوب-سو است. شکل (۹) میانگین ماهیانه انرژی تولیدی را نشان داده است.



شکل ۹- انرژی الکتریکی تولیدی از پنل‌های نصب شده در حالت (الف) جنوب-سو و (ب) شرق-غرب

روند تولید انرژی و مقایسه بین دو حالت نصب پنل خورشیدی، نشان می‌دهد نحوه نصب شرق-غرب در این منطقه بهره مناسب‌تری داشته و مساحت مفید بکار رفته در بام سازه گلخانه در این نوع نحوه نصب بیشتر است.

در کنار جنبه تولید انرژی تجدیدپذیر با نصب پنل خورشیدی ارگانیک، جمع‌آوری آب باران از بام سازه‌های گلخانه هدف دیگر این پژوهش است. نتایج محاسبات انجام شده بر اساس میانگین داده‌های اقلیمی ۲۰ سال (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰) و همچنین روابط (۱ تا ۵)، چیدمان شرق-غرب سو پنل خورشیدی بر روی بام سازه گلخانه‌ها، آب بیشتری را در ماه‌ها مختلف سال جمع‌آوری می‌نماید (شکل ۱۰). همانطور که در شکل مشخص است بیشینه مقدار بارندگی در بهمن ماه، و در تیر و مرداد ماه و ناشی از اقلیم مانسونی منطقه است.



شکل ۱۰- آب جمع‌آوری شده از روی بام کل سازه‌های گلخانه در ماه‌های متفاوت سال

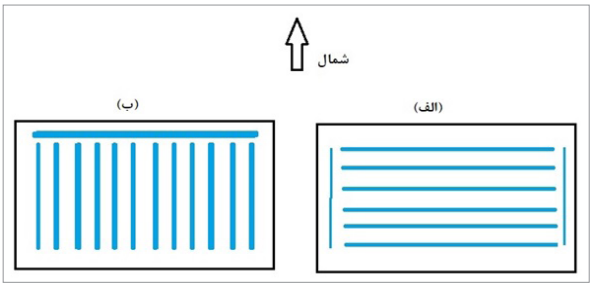
باتوجه‌به محاسبات و تخمین‌های صورت گرفته و در نظر گرفتن ضرایب هدررفت، تبخیر و ... در مجموع در هر دو حالت چیدمان نصب پنل بر روی بام سازه‌ها بیش از ۸۵۰۰ متر مکعب آب باران جمع‌آوری خواهد شد (جدول ۷).

جدول ۷- برآورد آب جمع‌آوری شده از بام سازه‌های گلخانه در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نوع جهت‌گیری پنل بر روی بام سازه	برآورد بیشینه مقدار آب جمع‌آوری شده طی سال (m^3)	حجم بیشینه مخزن مورد نیاز برای جمع‌آوری ماهیانه آب باران (m^3)
۱	شرق-غرب	۷۴۹۰	۱۰۰۰
۲	جنوب سو	۶۳۳۰	۹۰۰

سیستم لوله‌کشی مورد نیاز برای هر یک از سازه‌های گلخانه، باتوجه‌به نوع و جهت‌گیری پنل‌های خورشیدی متفاوت است. بر همین اساس و با استفاده از استانداردهای متفاوت، لوله‌کشی یکسانی ندارند و ابعاد لوله‌کشی برای جمع‌آوری آب باران باتوجه‌به چیدمان پنل‌های خورشیدی نصب شده و زاویه آن با یکدیگر تفاوت دارد. بر اساس طراحی سه بعدی انجام شده توسط نرم‌افزار AutoCAD، برای هر یک از گلخانه‌ها در حالت بام با پنل شرق-غرب حدود ۲۶۰ متر سیستم لوله‌کشی و در بام با حالت پنل نصب شده جنوب-سو در حدود ۳۵۰ متر لوله‌کشی به‌کار می‌رود (شکل ۱۱).

باتوجه‌به نوع چیدمان وباتوجه‌به روابط (۶) و (۷) داده‌های فنی سیستم لوله‌کشی برای هر یک از گلخانه‌ها در جدول (۸) ارائه شده است.



شکل ۱۱- نحوه سیستم لوله‌کشی در چیدمان پنل نصب شده بر بام سازه گلخانه (الف) جنوب-سو، و (ب) شرق-غرب

جدول ۸- ابعاد داخلی و استانداردهای مورد برای لوله‌کشی سازه گلخانه

ردیف	نوع جهت‌گیری پنل بر روی بام گلخانه	مقدار لوله به‌کار رفته (m)	استاندارد ابعادی لوله	قطر داخلی (mm)	افت فشار (bar)
۱	شرق-غرب	۲۶۰	DN50	۱۷/۵	۰/۱۰۳
۲	جنوب سو	۳۵۰	50A	۲۲/۴	۰/۲۵۱

نتیجه‌گیری

بر اساس این پژوهش و نتایج خروجی مدل‌سازی و همچنین برآوردهای محاسباتی انجام شده مناسب‌ترین روش برای نصب پنل بر روی بام سازه گلخانه حالت چیدمان شرق-غرب است. این نوع شیوه نصب به‌عنوان بام سازه گلخانه از نظر تولید انرژی و برداشت آب باران در منطقه بشاگرد بهترین بهره را دارد. این نوع نصب باعث ایجاد بادشکن و محافظت در برابر بادهای تند نیز خواهد شد و مقاومت و پایداری بهتری را نشان می‌دهد. نصب بادگیر می‌تواند از نفوذ هوای سرد به بیرون و خروج گرما از داخل گلخانه به‌صورت همرفتی جلوگیری کند. این چیدمان نصب چندین مزیت دارد که عبارتند از:

- باتوجه‌به نصب کامل روی پشت بام، بادگیر ایجاد شده و پایداری مناسب‌تری در برابر باد وجود دارد.
- نصب در این حالت نیاز به سازه فلزی و پایه‌های فلزی کمتری دارد در نتیجه جرم کمتر منجر به کاهش هزینه خواهد شد.
- از آنجایی‌که در این حالت پنل مستقیماً بر روی سقف نصب می‌شود، چیدمان نصب بهینه است فاصله پنل‌ها با سازه کاهش می‌یابد و از این فضا به درستی استفاده می‌شود.
- در نهایت استفاده از این سیستم منجر به کاهش میزان لوله‌کشی و در نتیجه هزینه‌های مازاد ساخت و هزینه‌های نگهداری آتی خواهد شد.

مقدار آب مصرفی برای صیفی‌جات حدود ۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار برای هر دوره زراعی است (Hirich و Chouk-Allah، ۲۰۱۷؛ Hong و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طورکلی دوره‌های رشد صیفی‌جات در گلخانه ۱۲۰ تا ۱۴۰ روز می‌باشد. یعنی برای یک سال میزان آبی که برای تولید صیفی‌جات مصرف می‌شود حدود ۱۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار در یک سال است. با در نظر گرفتن مساحت گلخانه شبیه‌سازی شده که حدود ۱۵ هکتار است، مصرف آب برای یک سال حدود ۲۲۵۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. بر این اساس می‌توان با آب باران جمع‌آوری شده حدود ۴٪ آب مورد نیاز کشت گلخانه‌ای را تأمین کرد. بر اساس تحقیقات انجام شده، برای تولید محصولات صیفی‌جات در گلخانه، حدود ۱/۶ مگاژول انرژی به‌ازای هر ۲ کیلوگرم تولید صیفی‌جات به مدت یک سال مصرف می‌شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Ahmadbeyki و همکاران، ۲۰۲۳؛ Shen و همکاران، ۲۰۱۸؛ Maraveas همکاران، ۲۰۲۳). باتوجه‌به وسعت زمین و مساحت کل گلخانه در این تحقیق که حدود ۱۵ هکتار است، میانگین تولید گیاه در این مقدار زمین در گلخانه حدود ۱۰۸۰۰ تن در ۱۵ هکتار می‌باشد. در نتیجه مقدار انرژی مورد نیاز برای این مقدار در یک سال حدود ۸/۶۴ گیگاژول خواهد بود که معادل ۲۳۹۹ کیلووات ساعت است. با اضافه شدن سایر مصارف انرژی الکتریکی در گلخانه‌های مستقر در منطقه سردشت بشاگرد، می‌توان گفت انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شده در طول روز بدون بارندگی و در هوای پاک می‌تواند به راحتی انرژی مورد نیاز گلخانه را تأمین نموده و علاوه‌برآن انرژی مازاد تولید شده به شهر متصل و از محل فروش آن درآمد پایداری برای گلخانه تأمین شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Organic photovoltaic (OPV)
2-Building Integrated Photovoltaic (BIPV)
3-Solar Thermophotovoltaics
4-PV power plant type rainwater harvesting system
5-Analytic hierarchy Process (AHP)
6-Sunpath
7-Delta Wing
8-Tomas-Box
9-runoff Coefficient

منابع

آرمش، محسن، خسروی، محمود، و سلیقه، محمد. (۱۳۹۸). مطالعه همدید نفوذ سامانه مونسون به جنوب شرق ایران. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱(۱)، ۱۰۲-۱۳۵.

شهبازی، رضا، کوراوند، شهریار، و حسن بیگی، رضا. (۱۳۹۸). پتانسیل سنجی و استفاده از توربین باد محور افقی کوچک جهت تأمین برق بخشی از نیاز گلخانه در منطقه فیروز کوه. انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۶(۲)، ۱۰۵-۱۱۳. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24234931.1398.6.2.13.5

زارع‌زاده، مجید، و منصوری، هدا. (۱۴۰۲). برآورد تأمین انرژی پایدار در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس با استفاده از پانل خورشیدی

نصب‌شده بر بام ساختمان. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار, ۲(۲), ۱۶۷-۱۸۱. doi: 10.22059/ses.2024.369849.1047

Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghaee, A., & Bakhoda, H. (2023). Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran. Energy Reports, 9, 988–999. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.205

Aktas, A., Seyfi, S., & Sayan, A. (2021). Rainwater Harvesting in a 600 kW Solar PV Power Plant. ISPEC 7th international conference on Agriculture. MUS, Turkey.

George, A. M. (2012). Utility Scale Solar Power Plnts:A GUIDE FOR DEVELPERS AND INVESTORS, International Finance Corporation World Bank Group. 180-185. Washington, D.C, USA.

Hassanien, R. H. E., Li. M., & Yin, F. (2018). The integration of semi-transparent photovoltaics on greenhouse roof for energy and plant production. Renewable Energy, 121, 377-388. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.044

Hirich, A., & Chouk-Allah, R. (2017). Water Resources in Arid Areas: The Way Forward, Springer Water, Water and Energy Use Efficiency of Greenhouse and Net house Under Desert Conditions of UAE: Agronomic and Economic Analysis. Water Resources in Arid Areas: The Way Forward, Springer Water, 481-499. doi: 10.1007/978-3-319-51856-5_28

Hong, M., Zhang, Zh., Fu, Q., & Liu, Y. (2022). Water Requirement of Solar Greenhouse Tomatoes with Drip Irrigation under Mulch in the Southwest of the Taklimakan Desert. Water, 14(19), 3050. https://doi.org/10.3390/w14193050

Kaya, M. (2020). Evaluation of the Existing Solar Energy and Rainwater Potential in the Total Roof Area of Buildings: Izmit District Example, Advances in Materials Science and Engineering. 2020(2020), Article ID 8167402. https://doi.org/10.1155/2020/8167402

Maraveas, Ch., Karavas, Ch, S., Loukatos, D., Bartzanas, Th., Arvanitis, K. G., & Symeonaki, E. (2023). Agricultural Greenhouses: Resource Management Technologies and Perspectives for Zero Greenhouse Gas Emissions. Agriculture, 13(7), 1464. https://doi.org/10.3390/agriculture13071464

Mashford, J., & Maheepala, Sh. (2014). A general model for the exact computation of yield from a rainwater tank. Applied Mathematical Modelling, 39(7), 1929–1940. doi: 10.1016/j.apm.2014.10.004

Monteiro, C. M., Santos, C., & Castro, P. M. L. (2023). Extensive Green Roofs: Different Time Approaches to Runoff Coefficient Determination. Water, 15(10), 1852. https://doi.org/10.3390/w15101852

Moretti, S., & Marucci, A. (2019). A Photovoltaic Greenhouse with Variable Shading for the Optimization of Agricultural and Energy Production. Energies, 12(13), 2589. doi: 10.3390/en12132589

Shen, Y. Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy Consumption Prediction of a Greenhouse and Optimization of Daily Average Temperature. Energies, 11(1), 65. doi: 10.3390/en11010065

Sheng, L. X., Mari, T. S., Ariffin, A. R. M., & Hussein, H. (2011). Integrated sustainable roof design. Procedia Engineering, 21, 846-852. doi: 10.1016/j.proeng.2011.11.2086

Silva, C, S., Ikhsan, M., Safriant, M., & Gusmilia, T, P. (2021). Efficiency Rainwater Harvesting at the Roof Campus Buildings, International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY), 1(3), 17-22. DOI: https://doi.org/10.52088/ijesty.v1i2.80

Tang, Y. Li, M., & Ma, X. (2019). Study On Photovoltaic Modules On Greenhouse Roof For Energy And Strawberry Production .4th International Conference on Advances in Energy and Environment Research (ICAEER 2019). Shanghai, China. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911803049

Vinayak, R. S. R., Harshitha, G., Gagana, G. M., Shivaraj, K. R., Yathish, G. R. (2020). Umbrella design for rain water harvesting and harnessing solar energy at c.i.t college campus Gubbi. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 2(6), 743-749. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_6_june_2020/1720/1628083054.pdf

Vourdoubas, J. (2020). Co-Production of Vegetables and Electricity in Agricultural Greenhouses in Crete, Greece. Is it Feasible?. Journal of Agriculture and Life Sciences, 7(1), 1-9. doi: 10.30845/jals.v7n1p1

Zarezadeh, M. (2023). Simultaneous Supply of Energy and Water by Rainwater Harvest from the Roof of the Greenhouse Structure with a Solar Panel. Water Harvesting Research, 6(1), 55-69. https://doi.org/10.22077/jwhr.2023.6846.1111

Zarezadeh, M. (2024). Investigating the Installation of Solar Panels in Reducing the Evaporation of Canal Water. Journal of Water and wastewater, 34(6), 58-68. doi: 10.22093/wwj.2023.382886.3317