



Original Article

Analysis of Potential Regions in Iran for Greenhouse Tomato Cultivation with Emphasis on Heating and Cooling Requirements Using Geographic Information Systems (GIS)

Mohammad Khaledi Alamdari ^{1*}, Ghasem Zareie ², Vahid Kazem Alilou ², Mosayeb Moqbeli Damane ³

1- Ph.D. in Water Science and Engineering, Regional Water Company of East Azarbaijan, Ministry of Energy, Tabriz, Iran.

2- Institute of Agricultural Sciences, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3- Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Agricultural Energy,
Crop Production
Optimization,
Greenhouse Farming,
Remote Sensing,
Water and Energy Nuxes

Received:
July 22, 2025

Revised:
December 17, 2025

Accepted:
December 23, 2025

* Corresponding author:
khaledi@tabrizu.ac.ir

Greenhouse cultivation has emerged as a strategic response to the growing challenges posed by population growth, urban expansion, resource limitations, and the increasing demand for off-season crops. In recent decades, rapid socio-economic transformations in developing countries such as Iran have intensified the need for sustainable agricultural methods that optimize resource consumption, particularly water and energy. Traditional open-field farming faces numerous limitations due to climate variability, land degradation, and dwindling groundwater resources, prompting a significant shift toward protected cultivation systems. Among these, greenhouse agriculture offers the advantages of higher crop yield, better control over growing conditions, and enhanced resource use efficiency. However, the feasibility and sustainability of greenhouse farming largely depend on local climate characteristics—specifically heating and cooling requirements, which directly influence energy consumption patterns. In order to maximize efficiency and minimize operational costs, it is essential to identify optimal locations for greenhouse development based on precise climatic criteria. Geographic Information Systems (GIS), when combined with meteorological data, provide powerful tools for spatial analysis and environmental suitability assessment. This study leverages GIS to evaluate the heating and cooling degree-day needs for greenhouse tomato cultivation across Iran, ultimately identifying regions with the lowest thermal energy requirements and offering practical insights for optimizing greenhouse location strategies.

Introduction

The increasing demand for food due to population growth, along with rapid economic and cultural development, has intensified the expansion of greenhouse cultivation worldwide. In Iran, several challenges such as water scarcity, declining groundwater levels, limited arable land, and the growing need to produce crops off-season have further emphasized the importance of greenhouse farming. Greenhouse cultivation offers numerous advantages, including enhanced crop yields, efficient water use, and reduced dependency on external environmental conditions. However, the optimal performance of greenhouses is highly dependent on local climatic factors, particularly thermal requirements. Heating and cooling demands vary significantly across different geographic regions, directly affecting energy consumption and economic feasibility. Therefore, identifying suitable locations for greenhouse construction based on thermal efficiency is essential. This study addresses the need to evaluate Iran's diverse climate zones to determine the most appropriate areas for greenhouse tomato cultivation from the perspective of heating and cooling degree-day requirements using Geographic Information Systems (GIS).

How to cite:

Khaledi Alamdari, M. Zareie, G. Kazem Alilou, V. Moqbeli Damane, M. (2026). *Analysis of Potential Regions in Iran for Greenhouse Tomato Cultivation with Emphasis on Heating and Cooling Requirements Using Geographic Information Systems (GIS)*. Journal of Agricultural Mechanization, 10 (4):15-25. <https://doi.org/10.22034/jam.2025.68277.1337>.



This is an open-access article under the CC BY NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



Materials and Methods

To assess the suitability of different regions in Iran for greenhouse tomato production, a spatial analysis was conducted using GIS tools. Climatic data, including temperature records from synoptic weather stations across the country, were collected and processed to calculate heating and cooling degree-days (HDD and CDD) for each region. Degree-day indices were computed based on standard temperature thresholds associated with the growth requirements of greenhouse tomatoes. Thermal maps for both HDD and CDD were then generated to illustrate spatial variability across Iran. These maps served as the primary basis for identifying regions with minimum heating or cooling needs. The zoning was performed using interpolation methods, and final suitability maps were derived by integrating the thermal layers with geographic and climatic constraints relevant to greenhouse construction.

Results and Discussion

The results revealed significant spatial variation in thermal requirements for greenhouse tomato production across Iran. The heating demand ranged from 0 to 3500 degree-days annually, with the highest requirements observed in colder regions such as Firouzkouh in the north. Conversely, cooling needs varied from 0 to 2500 degree-days, with the highest values recorded in warmer areas like Shushtar in the southwest. Based on the thermal zoning maps, southern regions of Iran—particularly in the southern, southwestern, and southeastern parts—were identified as optimal locations for winter-season greenhouse tomato cultivation due to their minimal heating needs. These areas offer substantial energy-saving potential during colder months. In contrast, northern, northwestern, and northeastern parts of the country exhibited the lowest cooling requirements, making them suitable for summer-season greenhouse tomato production. The spatial distribution of thermal demand aligns well with energy-efficiency goals and can support a seasonal strategy to minimize input costs while maximizing productivity. Furthermore, the analysis highlights the significance of location-specific planning in greenhouse agriculture, emphasizing that thermal suitability should be a primary factor in site selection.

Conclusion

This study demonstrates the value of GIS-based spatial analysis for identifying thermally suitable regions for greenhouse tomato cultivation in Iran. By mapping heating and cooling degree-days, the research provides a comprehensive overview of climate-based suitability across the country. The findings suggest that optimizing the location of greenhouse structures according to seasonal thermal needs can significantly reduce energy consumption and improve economic efficiency. Southern Iran is best suited for off-season production during cooler months, while northern regions are favorable for warm-season cultivation. Integrating such climatic assessments into greenhouse development strategies can contribute to more sustainable and resilient agricultural systems in arid and semi-arid regions. Future studies may expand on this framework by incorporating additional factors such as solar radiation, humidity, and economic cost-benefit analyses to further refine location recommendations for greenhouse farming.

تحلیل پتانسیل مناطق ایران برای کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی با تأکید بر نیازهای گرمائی و سرمائی از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی

محمد خالدی علمداری^{۱*}، قاسم زارعی^۲، وحید کاظم علیلو^۳، مصیب مقبلی دامنه^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

- ۱- دکتری تخصصی علوم و مهندسی آب، شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی، وزارت نیرو، تبریز، ایران.
- ۲- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* محمد خالدی علمداری: khaledi@tabrizu.ac.ir

چکیده

افزایش جمعیت و رشد اقتصادی موجب افزایش تقاضا برای تولید پایدار مواد غذایی شده است، در حالی که محدودیت منابع آب، کاهش اراضی قابل کشت و تغییرات اقلیمی، کشاورزی سنتی را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده است. در این میان، کشت گلخانه‌ای به‌عنوان رویکردی کارآمد و پایدار با هدف افزایش بهره‌وری، تولید خارج از فصل و کاهش مصرف آب و انرژی مطرح شده است. مکان‌یابی بهینه گلخانه‌ها نیازمند ارزیابی دقیق شرایط اقلیمی و نیازهای دمایی گیاه در مناطق مختلف کشور است. در این پژوهش، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های اقلیمی، به پهنه‌بندی نیازهای گرمائی و سرمائی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سطح ایران پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد نیاز گرمائی این محصول در کشور از صفر تا ۳۵۰۰ درجه-روز متغیر است که بیشترین مقدار در ناحیه فیروزکوه مشاهده شد. همچنین، نیاز سرمائی از صفر تا ۲۵۰۰ درجه-روز متغیر بوده و بیشینه آن مربوط به ناحیه شوشتر است. بر پایه تحلیل مکانی و زمانی داده‌ها در صورت استفاده از گلخانه سنتی و نیمه‌سنتی موجود در کشور با دوره کشت ۶-۷ ماه، مناطق جنوبی، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی کشور برای کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در نیمه دوم سال مناسب‌ترند؛ در حالی که کشت گلخانه‌ای در مناطق شمالی، شمال‌شرقی، شمال‌غربی و غرب کشور در نیمه اول سال، به دلیل نیاز سرمایشی کمتر، اولویت دارند. این یافته‌ها می‌توانند در مکان‌یابی هدفمند برای توسعه گلخانه‌ها، بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی و کاهش هزینه‌های تولید، استفاده شوند.

کلمات کلیدی: انرژی در کشاورزی، بهینه‌سازی کشت، سنجش از دور، کشت گلخانه‌ای، همبست آب و انرژی

۱- مقدمه

رشد سریع اقتصادی و فرهنگی، افزایش جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیشتر، از علل اصلی توسعه کشت محصولات گلخانه‌ای هستند. محدودیت منابع طبیعی و اراضی کشاورزی و کاهش توان برداشت از آب‌های زیرزمینی نیز از دلایل طبیعی تمایل به کشت گلخانه‌ای هستند. از طرفی بازارهای بزرگ مصرف و علاقه به تولید محصولات خارج از فصل نیز بر این تمایل افزوده‌اند. تولید محصولات کشاورزی در گلخانه به دلیل افزایش محصول، کاهش مصرف آب و کاهش وابستگی به عوامل محیطی بیرون، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. علاوه بر این، کشت در محیط کنترل شده ریسک وابستگی به نوسانات اقلیمی را کاهش داده و امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای تولید و عرضه محصولات را فراهم می‌سازد. برای طراحی این سازه‌ها، عوامل متعددی مانند اقلیم منطقه، نوع گیاه و ضوابط هر کشور برای احداث گلخانه و ارزیابی اقتصادی مؤثر هستند (Nelson, 1991). در کشورهای پیشرفته، پیش از ساخت گلخانه وضعیت تناسب اقلیمی به‌طور ویژه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد، زیرا وضعیت آب‌وهوایی یک عامل تعیین‌کننده در توزیع گیاهان و فرآیندهای فیزیولوژیکی و فنولوژیکی آن‌ها است (Romanovskaja & Baksiene, 2011).

هر گیاه برای رشد مطلوب نیاز به شرایط خاصی از نظر شدت نور، دمای روزانه و شبانه، میزان رطوبت نسبی هوا و رطوبت خاک دارد. برای تولید و پرورش تجاری گیاهان باکیفیت بالا در تمام طول سال، باید شرایط محیطی مطلوب به همراه کنترل عوامل خسارت‌زا نظیر باد، طوفان‌های ویرانگر، سرما و یخبندان فراهم شود. این شرایط توسط سازه‌ای به نام گلخانه با پوشش مناسب (محیط کنترل شده)، قابل دسترس است. تحقق تولید محصول در شرایط کنترل شده، یکی از ابزارهایی است که باعث افزایش عملکرد محصولات در واحد سطح و سودآوری تولید محصولات کشاورزی می‌شود (Filiz & Coşkun, 1996).

در ایران، با توجه به شرایط اقلیمی خشک و کمبود شدید آب، توسعه گلخانه‌ها یکی از راه کارهای برون رفت از چالش‌های امنیت غذایی است. کشت گلخانه‌ای به دلیل مصرف پایین آب و تولید چندین برابری نسبت به کشت فضای باز، اهمیت ویژه‌ای دارد. در سال‌های اخیر، کشت‌های گلخانه‌ای در ایران با پیشرفت و تحولی عظیم در تولید و بهره‌وری مواجه شده‌اند. سرمایه‌گذاری در این بخش نسبت به سایر بخش‌های کشاورزی افزایش یافته و سرمایه‌گذاران به دنبال استفاده از روش‌های نوین همراه با کاربرد فناوری و دانش فنی برای تولید بیشتر محصول هستند.

کشت گلخانه‌ای به دلیل تولید خارج از فصل، نیازمند مصرف انرژی است (Bisaglia et al., 2007). با شناسایی توزیع زمانی و مکانی پارامترهای آب‌وهوایی منطقه‌ای که گلخانه‌ها در آن واقع شده‌اند، می‌توان عملیات گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و

مدیریت تولید در گلخانه‌ها (کاشت داشت و برداشت) را مدیریت کرد. از سوی دیگر خنک‌سازی گلخانه در صورت استفاده از سامانه‌های سرمایش تبخیری، مستلزم مصرف آب و برق است (Sadeghi et al., 2013). برای به‌کارگیری سامانه‌های سرمایش تبخیری مانند پد-فن و مه‌پاش‌ها با توجه به مکانیزم عملکرد آنها، به مصرف آب بیشتری علاوه بر مصرف آب گیاهان کشت شده، نیاز است و این نیاز در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان بیشتر هم می‌شود (Zarei et al., 2017).

درک الگوهای زمانی و مکانی از نظر برنامه‌ریزی تولید اقتصادی محصولات گلخانه‌ای بسیار حائز اهمیت است چرا که آب‌وهوا نقش مهمی در تعیین خصوصیات ساختاری و عملکردی گلخانه‌ها دارد (Von Zabeltitz 1999; Von Zabeltitz & Baudoin, 1999).

استفاده از انرژی، هزینه‌های مازادی را بر طرح‌ها تحمیل می‌کند که خود یکی از مسائل حائز اهمیت در بهره‌وری طرح‌ها به‌شمار می‌آید (Boulard et al., 2007). گزارش‌ها حاکی از آن است که در برخی کشورها حدود ۳۰ درصد هزینه‌ها مربوط به مصرف انرژی برای تعدیل دمای گلخانه‌ها می‌باشد (De Pascale & Maggio, 2004). انتخاب محل گلخانه به لحاظ گرمایش و یا سرمایش، از اساسی‌ترین بخش‌های مربوط به انرژی و توانایی تولید محصولات این نوع کشت بوده (Cemek, 2015) چرا که تعدیل دمای گلخانه‌ها می‌تواند در اثر مکان‌یابی نامناسب بسیار غیراقتصادی باشد. هاروی (Harvey, 2020) بر اساس شاخص‌های درجه-روز گرمایش و سرمایش (HDD و CDD) نیازهای گرمایشی و سرمایشی در ماه‌های مختلف سال را مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهش حاکی از تغییرات این شاخص‌ها در طول سال با توجه به منطقه مورد مطالعه و دمای محیط پیرامون دارد.

تحلیل‌های فضایی-زمانی شاخص‌های درجه-روز گرمایشی (HDD) و سرمایشی (CDD) در ایران نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در الگوهای اقلیمی کشور است. تحلیل‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نشان داده‌اند که گرمایش گلخانه‌ها یکی از عوامل اصلی مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران است. مطالعه‌ای روی الگوهای مصرف انرژی در تولیدات گلخانه‌ای در ایران نشان داد که گرمایش سهم قابل توجهی از مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد، که این موضوع بر اهمیت بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایشی تأکید دارد (Ahmadbeyki et al., 2023).

همچنین در پژوهشی که در مورد نیاز دمایی گلخانه‌ها بر اساس شاخص درجه-روز انجام دادند، بیان نمودند که برآورد تعداد کل درجه-روز از یک تاریخ شروع مناسب می‌تواند به‌منظور برنامه‌ریزی تولید محصول و همچنین برنامه‌های مدیریت و کنترل آفات و بیماری‌ها، بسیار کمک کننده باشد. همچنین آمار هفتگی یا ماهانه می‌تواند برای مشخص کردن میزان مصرف انرژی، مورد استفاده قرار

شدند که شامل مدیترانه مرکزی-جنوبی با نیاز سالانه کمتر از ۶۰۰، مدیترانه شمالی و منطقه‌ای متأثر از جریان‌های هوای اقیانوس اطلس با نیاز سالانه ۶۰۰-۱۲۰۰، منطقه اروپای مرکزی با نیاز سالانه ۱۸۰۰-۱۲۰۰ و منطقه اروپای شمالی با نیاز سالانه بالای ۱۸۰۰ مگاژول بر مترمربع در سال، بودند.

مطالعات انجام شده در ایران نیز تأکید دارند که ارزیابی دقیق نیازهای گرمایشی و سرمایشی در گلخانه‌های بسته می‌تواند به طراحی بهینه کمک کند و در نهایت باعث کاهش مصرف انرژی شود. همچنین، استفاده از داده‌های اقلیمی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در این زمینه کاربردی و اثربخش بوده است (Banakar et al., 2021).

مطالعات روی گلخانه‌های کشت خیار بیانگر نقش فناوری و مدیریت انرژی در بهبود کارایی مصرف انرژی است که می‌تواند الگوی مناسبی برای کشت سایر محصولات گلخانه‌ای از جمله گوجه‌فرنگی باشد. این موضوع اهمیت به‌کارگیری روش‌های نوین را در کاهش هزینه‌ها و حفظ منابع انرژی تأیید می‌کند (Behroozeh et al., 2024).

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت مکان‌یابی بهینه گلخانه‌ها بر اساس ارزیابی دقیق شرایط اقلیمی و نیازهای دمایی گیاه در مناطق مختلف کشور، با استفاده از روش‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های هواشناسی، شرایط اقلیمی مناطق مختلف کشور به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب برای احداث گلخانه و کشت گوجه‌فرنگی از منظر نیازهای گرمایشی و سرمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و اطلاعات و داده‌های

استفاده شده

در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در گستره ایران آورده شده‌اند. در پژوهش حاضر که بر پایه اطلاعات دمایی کل کشور استوار شده است، مانند هر پژوهش دیگری، انقطاع و نقص اطلاعات در آمار و اطلاعات موجود مشاهده می‌شود. در این راستا به‌منظور اصلاح و تکمیل سری زمانی اطلاعات در دسترس، علاوه بر ایستگاه‌های موجود، اقدام به تهیه اطلاعات آماری کل ایستگاه‌های سینوپتیک کشور گردید که با استفاده از ایستگاه‌های همجوار و متشابه، نقص اطلاعات ایستگاه‌های منتخب مرتفع گردیدند. در این تحقیق روش‌های مختلف اصلاح و تکمیل اطلاعات ناقص بررسی شدند و بر اساس روش منتخب، تمامی اطلاعات ناقص و انقطاع آماری در ایستگاه‌های هدف محاسبه و تکمیل گردیدند.

گردد. بر اساس نتایج مطالعه ایشان، این روش می‌تواند در نظارت و بهینه‌سازی شرایط رشد گیاه، به‌عنوان انتخاب بهترین نوع محصول یا نوع کشت، و همچنین در آبیاری و مدیریت باروری محصول زراعی مفید واقع شود (Faridi et al., 2021).

کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی به‌دلیل افزایش راندمان تولید و کاهش وابستگی به شرایط محیطی، به یکی از روش‌های کلیدی در تأمین امنیت غذایی تبدیل شده است. اما مصرف انرژی به‌ویژه انرژی لازم برای گرمایش و سرمایش، نقش مهمی در هزینه‌های تولید و کارایی دارد. به‌همین دلیل، ارزیابی دقیق نیازهای انرژی این محصول از اهمیت بالایی برخوردار است. مقایسه تولید گوجه‌فرنگی در سیستم‌های گلخانه‌ای پیشرفته و کشت فضای باز نشان داده است که بهره‌برداری از فناوری‌های نوین در گلخانه‌ها، مصرف انرژی را کاهش و عملکرد محصول را افزایش می‌دهد. این یافته‌ها نشان‌دهنده ضرورت گسترش فناوری‌های بهینه در کشاورزی گلخانه‌ای است (Maureira et al., 2022).

در کشورهای شبه‌جزیره ایبری (اسپانیا، پرتغال، جبل‌الطارق، آندوا و بخش کوچکی از فرانسه)، مطالعه‌ای جامع روی مصرف انرژی گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی انجام شده است که نشان می‌دهد به‌کارگیری روش‌های بهینه مدیریت انرژی می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش داده و بازدهی را افزایش دهد. این پژوهش بر اهمیت تطبیق طراحی گلخانه با شرایط اقلیمی منطقه تأکید دارد (Baptista et al., 2011). در زمینه رابطه بین ورودی‌های انرژی و عملکرد محصول، مطالعه‌ای دیگر به بررسی کشت گوجه‌فرنگی زمستانی در گلخانه‌ها پرداخته است که نشان داده افزایش بهینه ورودی‌های انرژی منجر به افزایش قابل توجه عملکرد محصول می‌شود و مدیریت صحیح انرژی، راهبردی کلیدی برای بهبود بهره‌وری است (Ozkan et al., 2011).

در کشورهای در حال توسعه، مانند مکزیک، تحلیل انرژی در گلخانه‌های با فناوری پایین نشان داده است که میزان انرژی مصرفی برای گرمایش و سرمایش بسیار بالا بوده و بهینه‌سازی در این حوزه می‌تواند صرفه‌جویی اقتصادی چشمگیری ایجاد کند. این پژوهش نشان‌دهنده ضرورت توسعه فناوری‌های سازگار با شرایط اقلیمی منطقه است (Ramírez-Arias et al., 2019).

مطالعه‌ای برای مقایسه نیازهای انرژی گلخانه برای کشت گل رز در اروپا و شمال آفریقا انجام شده است (Cola et al., 2020). در این مطالعه تقاضای انرژی برای تولید گل رز با یک مدل تعادل انرژی برای مناطق مذکور، تحلیل شد. پس از تحلیل اولیه برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۷۳، تحلیل نهایی در دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۹)، که نمایانگر آب و هوای فعلی است، انجام شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش نیاز انرژی قاره اروپا از جنوب غربی به شمال شرقی با تأثیرات مرتبط بر پایداری اقتصادی و زیست محیط‌زیستی بود. به‌طوری‌که چهار زیرمنطقه بزرگ در این قاره از نظر میزان مصرف انرژی شناسایی

$$HDD = \sum_1^n (\theta_2 - T_{ave})^+ \quad (2)$$

If $\theta_2 > T_{ave}$

در این معادلات؛ CDD و HDD، به ترتیب درجه-روز سرمايش و درجه-روز گرمایش، θ_1 آستانه دمای سرمایي، θ_2 آستانه دمای گرمایی، T_{ave} دمای متوسط روزانه و n تعداد روزهای مورد محاسبه می‌باشد. همچنین علامت + به این معنی است که تنها تفاوت بین اعداد مثبت در نظر گرفته می‌شوند.

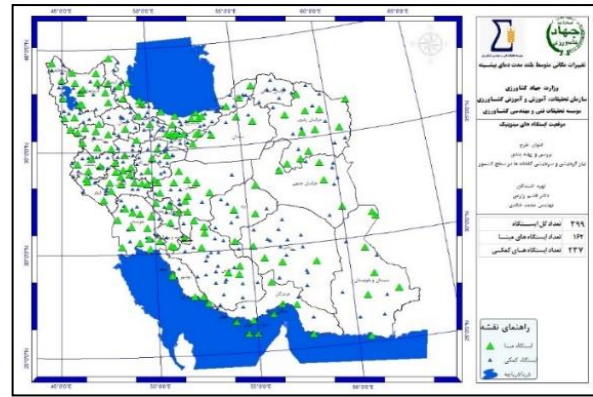
آستانه‌های دمایی گرمایی و سرمایي برای گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده محدوده دمایی بهینه برای رشد و توسعه گیاه هستند. دماهایی کمتر از آستانه سرمایي می‌توانند موجب کاهش فتوسنتز، آسیب به بافت‌های گیاه و کندی رشد شوند، در حالی که دماهایی بالاتر از آستانه گرمایی منجر به استرس حرارتی، کاهش کیفیت میوه و کاهش عملکرد محصول می‌شوند (Zarei et al., 2021). بنابراین، تعیین دقیق این آستانه‌ها برای برآورد نیازهای حرارتی و برودتی گلخانه‌ها و بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی در طول سال ضروری است (Flores-Velázquez et al., 2022).

در جدول ۱ دمای مناسب و مطلوب محصولات مهم و مرسوم گلخانه‌ای باتوجه به رقم مورد استفاده در کشور، به تفکیک آورده شده است.

جدول ۱- محصولات مرسوم کشت گلخانه‌ای در کشور و دمای مطلوب آن‌ها (Zarei and Khaledi, 2023).

Table 1. Common greenhouse crops Iran and their optimal temperatures (Zarei and Khaledi, 2023).

Notes توضیحات	Optimal Night Temperature (°C) دمای مناسب شب	Optimal Day Temperature (°C) دمای مناسب روز	Crop محصول	Product Group گروه محصول
Optimal temperature – minimum threshold دمای مطلوب – حداقل دما	14-18	20-27	Cucumber خیار	
Optimal temperature – minimum threshold دمای مطلوب – حداقل دما	17-20	21-27	Tomato گوجه‌فرنگی	Vegetables سبزی و صیفی
Optimal temperature – minimum threshold دمای مطلوب – حداقل دما	15-18	22-26	Pepper فلفل	
Average day–night temperature difference: 6°C اختلاف دمای روز و شب متوسط ۶ (درجه سانتیگراد)	16-18	22-26	Rose گل رز	
Average day–night temperature difference: 6°C اختلاف دمای روز و شب متوسط ۶ (درجه سانتیگراد)	13-15	20-25	Chrysanthemum داوودی	Cut Flowers گل‌های شاخه بریده
Average day–night temperature difference: 6°C اختلاف دمای روز و شب متوسط ۶ (درجه سانتیگراد)	10-15	20-24	Carnation میخک	
-	15-18	22-24	Strawberry توت‌فرنگی	Others سایر



شکل ۱- پراکندگی مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مبنای و کمکی در

دسترس

Fig 1. Spatial distribution of available primary and auxiliary meteorological stations

۲-۲- محاسبه نیاز سرمایي و گرمایشی

نیاز گرمایشی و سرمایي برای دوره معین زمانی بر اساس روز (n) از طریق معادلات ارائه شده توسط انجمن مهندسیین گرمایش، تبرید و تهویه مطبوع آمریکا از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند (ASHRAE, 2001).

$$CDD = \sum_1^n (T_{ave} - \theta_1)^+ \quad (1)$$

If $\theta_1 > T_{ave}$

۳- نتایج و بحث

از تغییرات نیازهای گرمایشی و سرمایشی در پهنه ایران ارائه شود. همچنین نیاز سرمایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای برای ایستگاه‌های منتخب، در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. مقادیر ارائه شده در این جداول با استفاده از داده‌های دمایی روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و به کمک معادلات ۱ و ۲ محاسبه شده‌اند. به‌طور مشخص، برای هر ایستگاه، درجه-روز سرمایی و گرمایی با مقایسه دمای روزانه با آستانه‌های سرمایی و گرمایی گیاه تعیین شده و مجموع روزها (n) در دوره مورد بررسی، در معادلات منظور گردیده است. این روش امکان مقایسه مناطق مختلف از نظر نیازهای حرارتی و برودتی گوجه‌فرنگی را فراهم می‌کند و پایه علمی نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شده در مطالعه است.

استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند به تحلیل و نمایش داده‌های هواشناسی کمک کند. با استفاده از GIS، می‌توان نقشه‌های پهنه‌بندی شده‌ای از نیازهای گرمایشی و سرمایشی گلخانه‌ها تهیه کرد. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که کدام مناطق نیاز به انرژی بیشتری برای گرمایش یا سرمایش دارند و به این ترتیب می‌توان بهترین مکان‌های موجود را برای احداث گلخانه‌های گوجه‌فرنگی شناسایی و انتخاب کرد. جداول ۲ و ۳ نیاز گرمایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای را در برخی ایستگاه‌های مورد بررسی نمایش می‌دهند. لازم به ذکر است ایستگاه‌های منتخب صرفاً به‌منظور ارائه نمونه‌های نماینده از نتایج محاسبات در مناطق مختلف کشور انتخاب شده‌اند و پردازش‌های خاصی صرفاً روی این ایستگاه‌ها انجام نشده است. معیار اصلی در انتخاب این ایستگاه‌ها، پراکندگی مکانی و پوشش مناسب مناطق مختلف اقلیمی کشور بوده است تا نمای کلی

جدول ۲- نیاز گرمایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در ایستگاه‌های منتخب برجسب درجه-روز (نیمه اول سال)

Table 2. Heating requirements for greenhouse tomatoes at selected stations (first half of the year)

Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Latitude	Longitude	Station Name	Row
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	ردیف
0.1	0.0	0.0	0.1	79.3	215.8	38.22	48.33	Ardabil / اردبیل	1
0.0	0.0	0.0	0.0	25.2	152.6	37.66	45.06	Urmia / ارومیه	2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	32.52	51.71	Esfahan / اصفهان	3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.34	48.74	Ahwaz / اهواز	4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.7	36.47	52.38	Amol / آمل	5
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1	58.35	Bam / بم	6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.96	50.82	Bushehr / بوشهر	7
0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	133.9	38.12	46.24	Tabriz / تبریز	8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.09	61.54	Zabol / زابل	9
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	35.59	53.42	Semnan / سمنان	10

جدول ۳- نیاز گرمایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در ایستگاه‌های منتخب برجسب درجه-روز (نیمه دوم سال)

Table 3. Heating requirements for greenhouse tomatoes at selected stations (second half of the year)

Annual	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Latitude	Longitude	Station Name	Row
سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	ردیف
2209.7	323.0	448.7	451.5	392.3	231.2	67.8	38.22	48.33	Ardabil / اردبیل	1
2100.1	298.4	460.6	500.3	412.4	220.4	30.2	37.66	45.06	Urmia / ارومیه	2
1127.7	127.0	282.4	337.5	274.3	89.8	0.0	32.52	51.71	Esfahan / اصفهان	3
105.3	0.0	29.0	62.2	14.1	0.0	0.0	31.34	48.74	Ahwaz / اهواز	4
769.1	137.3	211.5	205.1	154.0	24.6	0.0	36.47	52.38	Amol / آمل	5
218.4	0.0	58.1	113.3	47.1	0.0	0.0	29.1	58.35	Bam / بم	6
3.4	0.0	0.4	2.9	0.0	0.0	0.0	28.96	50.82	Bushehr / بوشهر	7
1.0ش193	282.8	441.7	483.5	389.5	180.1	7.6	38.12	46.24	Tabriz / تبریز	8
493.9	11.3	140.3	201.8	131.7	8.6	0.0	31.09	61.54	Zabol / زابل	9
1050.8	119.5	282.1	325.1	257.6	59.6	0.0	35.59	53.42	Semnan / سمنان	10

جدول ۴- نیاز سرمایشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای در ایستگاه‌های منتخب برجسب درجه-روز (نیمه اول سال)

Table 4. Cooling requirements for greenhouse tomatoes at selected stations (first half of the year)

Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Latitude	Longitude	Station Name	Row
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	ردیف
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.22	48.33	Ardabil / اردبیل	1
0.0	16.3	11.5	0.0	0.0	0.0	37.66	45.06	Urmia / ارومیه	2
59.0	163.9	203.8	92.2	0.3	0.0	32.52	51.71	Esfahan / اصفهان	3
354.5	457.6	453.2	390.7	215.5	29.9	31.34	48.74	Ahwaz / اهواز	4
40.2	106.0	71.2	13.5	0.0	0.0	36.47	52.38	Amol / آمل	5
221.6	308.8	355.7	299.5	169.2	17.6	29.1	58.35	Bam / بام	6
270.8	317.9	285.6	235.0	143.1	12.9	28.96	50.82	Bushehr / بوشهر	7
20.0	104.6	73.3	2.0	0.0	0.0	38.12	46.24	Tabriz / تبریز	8
207.3	337.7	362.3	282.4	151.6	9.5	31.09	61.54	Zabol / زابل	9
120.5	236.2	257.4	148.6	10.0	0.0	35.59	53.42	Semnan / سمنان	10

جدول ۵- نیاز سرمایشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای در ایستگاه‌های منتخب برجسب درجه-روز (نیمه دوم سال)

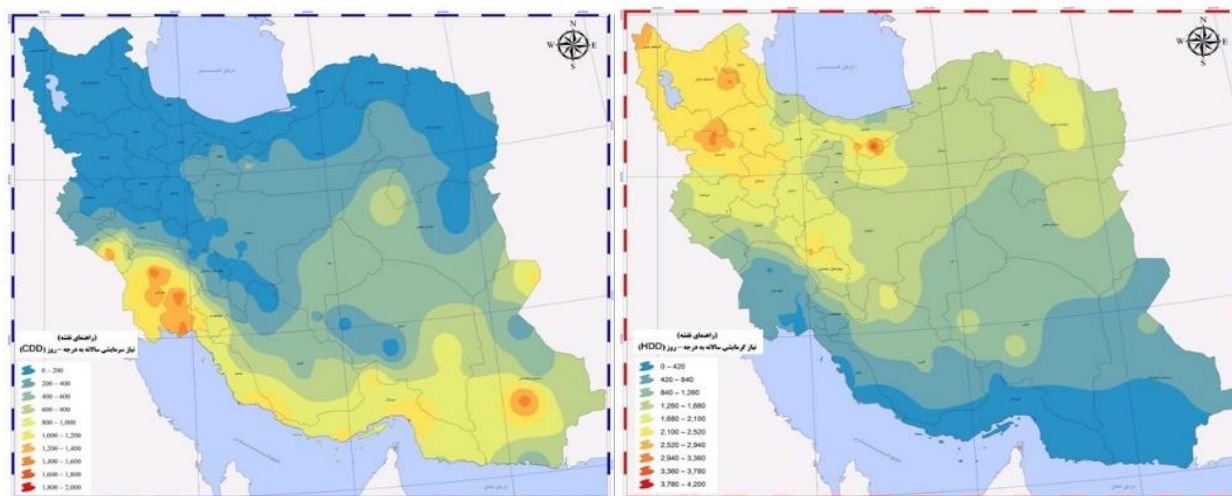
Table 5. Cooling requirements for greenhouse tomatoes at selected stations (second half of the year)

Annual	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Latitude	Longitude	Station Name	Row
سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	ردیف
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.22	48.33	Ardabil / اردبیل	1
27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.66	45.06	Urmia / ارومیه	2
519.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.52	51.71	Esfahan / اصفهان	3
2086.8	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	174.4	31.34	48.74	Ahwaz / اهواز	4
230.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.47	52.38	Amol / آمل	5
1451.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.3	29.1	58.35	Bam / بام	6
1450.7	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	158.4	28.96	50.82	Bushehr / بوشهر	7
199.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.12	46.24	Tabriz / تبریز	8
1390.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	31.09	61.54	Zabol / زابل	9
777.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	35.59	53.42	Semnan / سمنان	10

به طوری که برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها، بهتر است در نیمه دوم سال تولید گوجه فرنگی گلخانه‌ای در قسمت‌های جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی کشور صورت بگیرند. همچنین همان گونه که از نقشه سمت چپ این شکل نمایان است، احداث گلخانه‌ها در مناطق دارای حداقل نیازهای سرمایشی برای کشت گوجه فرنگی در قسمت‌های شمالی و غربی کشور واقع هستند به طوری که برای کاهش مصرف آب و انرژی (برق) در گلخانه‌ها، بهتر است در نیمه اول سال تولید گوجه فرنگی گلخانه‌ای در قسمت‌های شمالی، شمال غربی، شمال شرقی و غرب کشور باشند.

بدیهی است تولید و استفاده عملی از این گونه روش‌ها و تحلیل‌ها، می‌تواند به مسئولین و مدیران مرتبط برای تصمیم‌گیری در خصوص نحوه توسعه پایدار کشت‌های گلخانه‌ای در کشور کمک نماید و همچنین به کشاورزان و سرمایه‌گذاران در تصمیم‌گیری‌های بهتر و بهینه‌تر در جهت انتخاب الگوی کشت و تولید تجاری و اقتصادی محصولات گلخانه‌ای کمک نماید.

در نهایت، انتخاب محل مناسب برای کشت گوجه فرنگی گلخانه‌ای نه تنها به بهبود عملکرد و کیفیت محصول کمک می‌کند، بلکه می‌تواند هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی را نیز کاهش دهد. با انتخاب مکان‌هایی که نیاز به انرژی کمتری برای گرمایش و سرمایش محصولات کشت شده دارند، می‌توان بهره‌وری اقتصادی گلخانه‌ها را افزایش داد و به حفاظت از منابع طبیعی و نیز کاهش اثرات تغییرات اقلیمی (انتشار گازهای گلخانه‌ای) کمک کرد. نقشه‌های مستخرج از محاسبه نیازهای گرمایشی و سرمایشی برای کل ایران، به صورت سالانه در دو نقشه شکل ۲ آورده شده‌اند. به طور کلی، نیاز گرمایی این محصول در کشور از صفر تا ۳۵۰۰ درجه-روز متغیر است که بیشترین مقدار در ناحیه فیروزکوه مشاهده شد. همچنین، نیاز سرمایی از صفر تا ۲۵۰۰ درجه-روز متغیر بوده و بیشینه آن مربوط به ناحیه شوشتر است. همان گونه که از نقشه سمت راست این شکل نمایان است، احداث گلخانه‌ها در مناطق دارای حداقل نیازهای گرمایشی برای کشت گوجه فرنگی شامل مناطق جنوبی کشور است



شکل ۲- تغییرات نیاز گرمایشی (راست) و سرمایشی (چپ) سالانه محصول گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سطح کشور بر حسب درجه-روز
Fig 2. Annual variations in heating (right) and cooling requirements for greenhouse tomato production across the country

ایران (Iran National Science Fundation: INSF) و با کد طرح ۴۰۲۱۸۶۵ انجام شده است.

۴- نتیجه‌گیری نهایی

کشت‌های گلخانه‌ای به دلیل امکان کنترل شرایط محیطی و تولید خارج از فصل، بهره‌وری بالاتری نسبت به کشت‌های سنتی دارند. حفظ دمای مطلوب داخل گلخانه‌ها نقش مهمی در کیفیت و کمیت محصول دارد و انتخاب محل مناسب از منظر نیازهای گرمایشی و سرمایشی می‌تواند به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های انرژی کمک کند. استفاده از GIS و تحلیل داده‌های هواشناسی، ابزار مؤثری برای تعیین مناطق مناسب کشت گلخانه‌ای است و می‌تواند تصمیم‌گیری مدیران و کشاورزان را بهینه سازد. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده در این تحقیق، احداث گلخانه‌ها در مناطق دارای حداقل نیازهای گرمایشی برای کشت گوجه‌فرنگی شامل مناطق جنوبی کشور است به‌طوری‌که برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها، بهتر است در نیمه دوم سال تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای عمدتاً در قسمت‌های جنوبی، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی کشور صورت بگیرند. همچنین، احداث گلخانه‌ها در مناطق دارای حداقل نیازهای سرمایشی برای کشت گوجه‌فرنگی در قسمت‌های شمالی و غرب کشور واقع هستند به‌طوری‌که برای کاهش مصرف آب و برق در گلخانه‌ها، بهتر است در نیمه اول سال تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای عمدتاً در قسمت‌های شمالی، شمال‌شرقی، شمال‌غربی و غرب کشور باشند.

سپاس‌گزاری

نویسندگان بدین ترتیب از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO) قدردانی خود را اعلام می‌دارند. این پژوهش با حمایت بنیاد ملی علم

منابع

Afary, Janet, Mostofi, Khosrow and Avery, Peter William. (2021). "Iran". Encyclopedia Britannica. Accessed 30 May 2025. <https://www.britannica.com/place/Iran>.

Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghae, 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>.

ASHRAE. (2001). *ASHRAE Handbook Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 916 p.

Banakar, A., Montazeri, M., Ghobadian, B., Pasharshahi, H., & Kamrani, F. (2021). *Energy analysis and assessing heating and cooling demands of closed greenhouse in Iran*. Thermal Science and Engineering Progress, 25, 101042. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101042>.

Baptista, F. J., Silva, A. T., Navas, L. M., Guimarães, A. C., & Meneses, J. F. (2011). *Greenhouse energy consumption for tomato production in the Iberian Peninsula countries*. In International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards

- Filiz, M., Coşkun, M. (1996). *Developing Technologies in Greenhouse Air Conditioner Regulation and Shading in Greenhouses*. 6th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy. 2-6.9.1996 (Turkish) Ankara – Türkiye.
- Harvey, L. D. (2020). *Using modified multiple heating-degree-day (HDD) and cooling-degree-day (CDD) indices to estimate building heating and cooling loads*. *Energy and Buildings*, 229, 110475. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110475>.
- Maureira, F., Rajagopalan, K., & Stöckle, C. O. (2022). *Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems*. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130459>.
- Nelson, P. V. (1991). *Greenhouse operation and management* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Ozkan, B., Ceylan, R. F., & Kizilay, H. (2011). *Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production*. *Renewable energy*, 36(11), 3217-3221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.042>.
- Ramírez-Arias, A., Campos-Salazar, V., Pineda-Pineda, J., & Fitz-Rodríguez, E. (2019). *Analysis of energy consumption for tomato production in low technology greenhouses of Mexico*. In International Symposium on Advanced Technologies and Management for Innovative Greenhouses: GreenSys2019 1296 (pp. 753-758). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.95>.
- Romanovskaja, D., & Baksienė, E. (2011). *The influence of climate change on the beginning of spring season and apple tree (*Malus domestica* Borkh) phenology in Lithuania during the period 1971-2000*. *JOURNAL OF FOOD AGRICULTURE & ENVIRONMENT*, 9(2), 735-739.
- Sadeghi, S., Zarei, G., & Mortazavi, S. N. (2013). *Evaluation of efficiency of fan and pad cooling system in Mahallat region*. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(4), 1-13. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1392.4.4.5.6>.
- Von Zabertitz, C. (1999). *Greenhouse structures*. In: Stanhill G, Zvi Enoch H (eds) *Greenhouse ecosystems, Ecosystems of the world*, Amsterdam, vol(20):17-69.
- Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys2011 952 (pp. 409-416). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.51>.
- Behroozeh, S., Hayati, D., Karami, E., Nassiri, S. M., & Rezaei-Moghaddam, K. (2024). *Evaluation and comparison of energy use efficiency among cucumber greenhouses*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1427530. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1427530>.
- Boulard, T., Montero, J. I., Bakker, J. C., & Adams, S. R. (2007). *Innovative technologies for an efficient use of energy*. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801 (pp. 49-62). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.1>.
- Bisaglia, C., Cutini, M., Romano, E., Fedrizzi, M., Menesatti, P., Santoro, G., ... & Candido, V. (2007). *Trends and perspectives for the optimal use of energy in ornamental plant production and distribution in Italy*. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801 (pp. 795-802). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.93>.
- Cemek, B., Güler, M., & Arslan, H. (2017). *Spatial analysis of climate factors used to determine suitability of greenhouse production in Turkey*. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(1), 1-11. <http://doi.org/10.1007/s00704-015-1686-5>.
- Cola, G., Mariani, L., Toscano, S., Romano, D. and Ferrante, A., (2020). *Comparison of greenhouse energy requirements for rose cultivation in Europe and North Africa*. *Agronomy*, 10(422), 1-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030422>.
- De Pascale, S., & Maggio, A. (2004). *Sustainable protected cultivation at a mediterranean climate. Perspectives and challenges*. In International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004 691 (pp. 29-42). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.1>.
- Faridi, H., Arabhosseini, A., Zarei, G., & Okos, M. (2021). *Degree-day index for estimating the thermal requirements of a greenhouse equipped with an air-earth heat exchanger system*. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(1), 83-95. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v11i1.86233>.
- Flores-Velázquez, J., Rojano, F., Aguilar-Rodríguez, C. E., Villagran, E., & Villarreal-Guerrero, F. (2022). *Greenhouse Thermal effectiveness to produce tomatoes assessed by a temperature-based index*. *Agronomy*, 12(5), 1158. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051158>.

- Von Zabeltitz, C., & Baudoin, W. O. (1999). *Greenhouses and shelter structures for tropical regions* (Vol. 154). Food & Agriculture Org.
- Zarei, Gh., Javadimoghaddam, J., & Faridi, H. (2021). *Controlling Significance of the Effective Parameters in Environmental Conditions of Commercial Greenhouses*. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 6(2), 123-138. (In Persian).
<https://doi.org/10.22047/srjasnr.2021.140540>.
- Zarei, Gh., and Khaledi, M. (2023). *Atlas of zoning thermal and cooling requirements of major greenhouse crops in Iran*. Agricultural Engineering Research Institute. 161 pages. (In Persian)
- Zarei, G., Momeni, D., & Javadi-Moghaddam, J. (2017). *Comprehensive guide to site selection for greenhouse establishment*. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), 78 pages. (In Persian)