

Feasibility Study for the Development of Greenhouse Complexes from a Climatic Perspective

Samar Behrouzinia^{1✉} | Samira Vahedi¹ | Nader Abbasi² | Farshid Taran³

- 1- Researcher, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
- 2- Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
- 3- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Corresponding Author: s_behrouzinia@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Greenhouse cultivation plays a vital role in optimizing agricultural productivity and ensuring food security, particularly in arid and semi-arid regions. Iran, with its predominantly dry climate and limited water resources, faces significant agricultural challenges. The increasing demand for food, driven by population growth, necessitates innovative solutions such as controlled-environment agriculture. Greenhouse farming offers a promising approach by enabling year-round cultivation, optimizing water usage, and mitigating adverse climatic conditions. Zanjan province, known for its diverse agricultural potential, has seen a growing interest in greenhouse farming. However, before implementing large-scale greenhouse projects, a comprehensive climatic assessment is crucial to ensure long-term sustainability. This study evaluates the feasibility of establishing a greenhouse town in Nikpey City, Zanjan province, by analyzing key meteorological parameters and applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) methodology.

Materials and Methods

This study utilizes a 21-year meteorological dataset (2001-2021) obtained from Zanjan province's weather stations. Key climatic parameters such as temperature, precipitation, relative humidity, wind speed, sunshine hours, and cloudiness were examined to assess their influence on greenhouse suitability. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was used to analyze drought conditions, while heating and cooling degree days were calculated to estimate energy demands. Additionally, climate classification was conducted using the De Martonne and Ambrothermic methods. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was employed to assign weight to each climatic factor, providing a quantitative evaluation of Nikpey City's suitability for greenhouse establishment. Data processing and multi-criteria decision analysis were performed using software tools such as Expert Choice and Super Decision to ensure accuracy and consistency.

Results and Discussion

The analysis revealed that the study area experiences moderate climatic variations, with an average annual precipitation of 183 mm. Although the region generally falls within the normal precipitation

range, periodic droughts have been recorded, emphasizing the importance of efficient irrigation strategies. The mean annual temperature is 11.9°C, with an average maximum of 19.3°C and an average minimum of 4.3°C. Extreme temperatures recorded in the region include a low of -29°C and a high of 42°C, highlighting the necessity for climate control measures in greenhouse operations. The heating and cooling degree days assessment indicated that significant heating is required during the winter months, whereas the need for cooling in summer is minimal. This underscores the importance of energy-efficient greenhouse designs incorporating insulation and optimized heating systems. Wind speed analysis showed that peak wind speeds reach 8.5 m/s in summer, with prevailing winds originating from the south and southeast. Given the structural implications of strong winds, greenhouse designs must incorporate wind-resistant frameworks to ensure durability and operational efficiency. Sunshine hours analysis demonstrated that the region benefits from an average of 2975 hours of sunshine annually, with peak radiation levels occurring in summer. This presents favorable conditions for greenhouse crop growth, provided that shading and ventilation systems are adequately implemented. Relative humidity varies significantly across seasons, with lower humidity levels during summer and higher levels in winter. The ombrothermic analysis classified the region as cold and dry, corroborating the De Martonne classification that places Nikpey City within the semi-arid category. According to the AHP results, the most influential climatic factors affecting greenhouse viability in Nikpey are temperature extremes, wind speed, and humidity fluctuations. While the region meets essential greenhouse farming criteria, the harsh winter temperatures and strong winds pose notable challenges. These constraints necessitate strategic planning, including thermal insulation, heating technologies, and robust structural reinforcements.

Conclusion

The region's average precipitation is generally stable and falls within normal conditions, though occasional droughts and wet periods indicate climatic variability. The extremely cold winters and warm summers suggest a need for heating in half of the year, while cooling requirements are limited to the summer months. Additionally, relative humidity is high in winter and low in summer, influencing plant growth and evaporation rates. Wind speed and direction vary seasonally, with stronger winds observed in summer. Solar radiation is considerable, peaking in summer and reaching its lowest levels in winter. Based on climatic indices, the region is classified as cold and dry. Overall, the climatic assessment of Nikpey indicates that some parameters favor the establishment of a greenhouse town, while others present limitations. The mean maximum temperature (19.3°C), the number of months requiring cooling (two months), and the prevailing annual wind speeds provide favorable conditions. However, the need for heating for six months of the year is classified as moderately suitable, potentially increasing energy costs. Furthermore, the absolute minimum temperature (-29°C), the number of frost days (119 days), and the highest annual wind speed (25 m/s) indicate serious constraints for greenhouse construction in this area. In conclusion, while some conditions are beneficial, implementing heating strategies and structural reinforcements against frost and strong winds is essential for successful greenhouse operations in Nikpey City.

Keywords: Agricultural production, Analytic Hierarchy Process (AHP), Greenhouse cultivation, Meteorological parameters.

امکان‌سنجی توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای از منظر اقلیمی

نمر بهروزی‌نیا^۱✉، سمیرا واحدی^۱، نادر عباسی^۲، فرشید تاران^۳

۱. محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، ایران.
۲. استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

نویسنده مسئول: s_behrouzinia@yahoo.com

چکیده

کشت گلخانه‌ای، با قابلیت کنترل شرایط محیطی و استفاده بهینه از منابع آب و خاک، راهکاری اساسی برای تولید محصولات کشاورزی است. با این حال، کارایی و اثربخشی گلخانه‌ها مستلزم رعایت ضوابط مختلف از نظر هیدرولوژی، زیست‌محیطی، خاکشناسی و به‌ویژه اقلیمی است و قبل از اجرای پروژه‌های احداث گلخانه، ضروری است امکان‌سنجی صورت گیرد. در این تحقیق، شرایط اقلیمی شهر نیک‌پی استان زنجان برای احداث یک شهرک گلخانه‌ای ۳۴ هکتاری ارزیابی شد. برای این منظور، میزان مطلوبیت متغیرهای هواشناسی منطقه مانند بارش، دما، رطوبت نسبی، باد، ساعات آفتابی، و ابرناکی در دوره ۲۱ ساله ۱۴۰۱-۱۳۸۱ برای احداث گلخانه به روش تحلیل سلسله مراتبی بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین سالانه دما ۱۱/۹ درجه سلسیوس است و منطقه در ۴۰٪ از دوره، در کلاس نرمال خشکسالی (SPEI) قرار دارد. نیاز سرمایشی و گرمایشی سالانه به ترتیب ۲۴۵/۱ و ۲۸۸۳/۳ درجه / روز محاسبه شد. سالانه به‌طور متوسط ۲۹۷۵ ساعت آفتابی در منطقه وجود دارد و در حدود ۳۴ روز دارای شرایط تمام ابری است. سرعت باد غالب سالانه بین ۳/۵ تا ۸/۵ متر بر ثانیه متغیر بوده و شدیدترین باد (۲۵ متر بر ثانیه) از جنوب می‌وزد. بر اساس تحلیل اقلیمی، نیک‌پی ۶ ماه نیازمند گرمایش، ۲ ماه نیازمند سرمایش و ۴ ماه فقط به تهویه طبیعی نیاز دارد. در نهایت، اقلیم خشک سرد منطقه از نظر شاخص کل، نسبتاً مناسب ارزیابی شد. عمده‌ترین چالش محدوده هدف، سرعت سریع‌ترین باد سالانه است. از این رو، بایستی در انتخاب تیپ‌های گلخانه‌ای متناسب با ضوابط اقلیمی بدان توجه ویژه نمود.

کلمات کلیدی: پارامترهای هواشناسی، تحلیل سلسله مراتبی، تولیدات کشاورزی، کشت گلخانه‌ای

مقدمه

ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی و محدودیت منابع آبی از جمله کشورهایی است که نیاز به بازنگری اساسی در اصلاح الگوی کشت دارد. در این راستا، با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، استفاده از فناوری گلخانه و گسترش تولید محصولات گلخانه‌ای در این کشور اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب مطرح شود. در سال‌های اخیر، با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، کشت محصولات گلخانه‌ای به‌عنوان یک راه‌حل کارآمد برای تولید محصولات خارج از فصل و بهبود کیفیت تولیدات کشاورزی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. کشت گلخانه‌ای، به‌دلیل قابلیت کنترل عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، نور و دی‌اکسید کربن، شرایط بهینه‌تری برای رشد گیاهان فراهم می‌کند. در مناطقی که با محدودیت منابع آب و خاک روبه‌رو هستند، این نوع کشت می‌تواند به حل مشکلات تأمین مواد غذایی کمک کند. با توجه به چالش‌های جهانی کشاورزی، از جمله پیش‌بینی رشد جمعیت جهانی به ۹/۶ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ (Chaurasia, 2020)، تغییرات اقلیمی، محدودیت زمین‌های زراعی و افزایش نیاز به منابع غذایی، توسعه گلخانه‌ها به‌شدت ضروری است.

با این حال، احداث گلخانه‌ها با چالش‌های متعددی روبه‌رو است و به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری و لزوم حفظ محیط‌زیست، مستلزم در نظر گرفتن شاخص‌های متعددی است. یکی از چالش‌های اصلی، انتخاب مکان مناسب برای احداث گلخانه است. این انتخاب باید بر اساس عوامل متعددی مانند شرایط اقلیمی، کیفیت و کمیت منابع آب، وضعیت زیرساخت‌ها و ملاحظات اقتصادی و اجتماعی انجام شود. انتخاب مکان نادرست می‌تواند منجر به عدم تحقق اهداف تولیدی و اتلاف منابع و سرمایه‌ها شود (Ramezani et al., 2023). تاکنون مطالعاتی در مورد بررسی مکان مناسب برای احداث گلخانه‌ها و شرایط توسعه آنها در مناطق مختلف انجام شده است. رضایی و همکاران (Ramezani et al., 2023) با استفاده از تکنیک تحلیل‌های چندمعیاره و منطق فازی به بررسی مکان بهینه برای احداث گلخانه در دشت اسدآباد با رویکرد توسعه پایدار پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که به‌ترتیب وضعیت ۱۰ درصد، ۳۹ درصد و ۵۱ درصد پهنه دشت برای احداث گلخانه، خیلی مناسب، مناسب همراه با محدودیت، و نامناسب است. باجی و همکاران (Badji et al., 2022) در مطالعه‌ای به مرور روند جاری در طراحی، ساخت، توسعه فناوری برای کنترل و نظارت بر خرداقلیم‌های گلخانه‌ای، سیستم‌های مختلف موجود برای مدیریت محیط گلخانه، و هندسه، جهت و مصالح مورد استفاده برای احداث گلخانه‌ها پرداختند. آنها گزارش کردند که انتخاب محیط مناسب برای احداث گلخانه و اتخاذ استراتژی مناسب مدیریت اقلیم، نقشی حیاتی در دستیابی به تولید حداکثر محصول و کاهش هزینه و مصرف انرژی دارد. مختاری ستائی و همکاران (Mokhtari Sataiy et al., 2021) با استفاده از روش استاندارد فائو به بررسی تناسب اقلیمی برای توسعه پایدار گلخانه‌ها در مناطق جیرفت، دزفول، کاکي، حاجی‌آباد و خاش پرداختند. آنها با بهره‌گیری از داده‌های بلندمدت هواشناسی و حدود بحرانی دما و رطوبت مورد نیاز گیاهان، نمودارهای تناسب اقلیمی را ترسیم کردند. نتایج نشان داد که در صورت احداث گلخانه برای تولید محصولات سبزی و صیفی در این مناطق، استفاده از سیستم‌های گرمایشی در شب‌های پاییز و زمستان، و سرمایشی در فصل تابستان ضروری خواهد بود؛ به‌دلیل پایین بودن رطوبت نسبی، رطوبت مورد نیاز گلخانه باید با استفاده از روش‌های کمکی تأمین شود؛ در تمام سال، شرایط از نظر دریافت پرتوهای خورشیدی و تأمین نور مناسب است. شائمی و همکاران (Shaemi et al., 2020) با تأکید بر مصرف بهینه انرژی، به مکان‌یابی بهینه احداث گلخانه‌های کشت سبزیجات در استان قم پرداختند. در این پژوهش، داده‌های هواشناسی روزانه و نرم‌افزار Arc GIS برای تحلیل و پهنه‌بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی استان قم مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ انجام شد. نتایج نشان داد که میزان انرژی مورد نیاز گرمایشی و سرمایشی در فصول مختلف سال، تابع ارتفاع منطقه است. به‌طوری که به‌ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، نیاز سرمایشی گلخانه ۶۲،۵۰ درجه در روز کاهش و نیاز گرمایشی آن ۵۲،۸۴ درجه در روز افزایش می‌یابد. دارابی و همکاران (Darabi et al., 2016) با تکمیل پرسش‌نامه مربوط به ۲۱ گلخانه به بررسی مشکلات سازه‌ای گلخانه‌های تولید سبزی در خوزستان در دوره یک‌ساله ۹۰-۱۳۸۹ پرداختند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین مشکلات سازه‌ای، پایین بودن ارتفاع ناودان و سقف گلخانه، کم

بودن نسبت سطح پنجره‌ها به سطح کف گلخانه، پایین بودن نسبت ارتفاع به عرض گلخانه، تهویه ناکافی و ناکارآمد بودن سیستم های گرمایشی و سرمایشی گلخانه بود. زارعی (Zarei, 2017) به بررسی نتایج احداث گلخانه در خوزستان، بوشهر و فارس در سال ۱۳۹۲ پرداخت و گزارش کرد که بیشتر گلخانه‌های احداث شده در خوزستان از نظر مهندسی، استاندارد نیستند. توسعه کشت گلخانه‌ای در استان زنجان، به‌عنوان یکی از مناطق مهم تولید محصولات کشاورزی، که نقش قابل توجهی در ایجاد فرصت‌های شغلی و افزایش تولید در این استان ایفا کند (Rabet, 2019)، همواره مورد توجه مسئولین و بهره‌برداران بوده و در حال حاضر نیز جزو برنامه‌ها و سیاست‌های کلان توسعه کشاورزی استان است. طبق آمار ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت محصولات سالانه استان در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۴۵۴۸۹۲ هکتار می‌باشد که از این بین، ۲۳/۳ درصد کشت آبی و ۷۶/۷ درصد کشت دیم می‌باشد. استان زنجان دارای ۳۳۴ سالن گلخانه‌ای با سطح زیر کشت حدود ۲۸ هکتار است. از این تعداد، ۴۲ درصد سالن‌های گلخانه‌ای در شهرستان زنجان قرار دارند. بیشترین فراوانی محصولات گلخانه‌ای در این استان مربوط به تولید سبزی و صیفی‌جات است و پس از آن، تولید محصولات جالیزی در رتبه بعدی قرار دارد. در این مطالعه، امکان سنجی احداث شهرک گلخانه‌ای ۳۴ هکتاری در شهر نیکپی استان زنجان از منظر شرایط اقلیمی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، شاخص‌های هواشناسی و اقلیمی تأثیر گذار بر احداث شهرک گلخانه‌ای شامل پارامترهای بارش، دما، رطوبت نسبی، باد، ساعات آفتابی و ابرناکی ارزیابی گردید. در ادامه، تحلیلی از شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر جهت کشت محصولات گلخانه‌ای انجام پذیرفت و در نهایت تناسب محدوده مطالعاتی نیکپی از منظر اقلیمی جهت احداث شهرک گلخانه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

استان زنجان با وسعت ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران، در موقعیت جغرافیایی ۳۲/۳۸ درجه شمالی و ۵۷/۰۰ درجه شرقی و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در این استان، حدود ۳۲/۶ درصد شاغلان در بخش کشاورزی، ۳۳/۳ درصد در بخش صنعت و ۳۴/۱ درصد در بخش خدمات اشتغال دارند (Statistical Yearbook of Zanjan Province 2021, 2022). شهر نیکپی در غرب این استان واقع شده است. موقعیت شهرک گلخانه‌ای مورد مطالعه نیکپی با مساحت ۳۴ هکتار در حاشیه این شهر و در یک منطقه تپه ماهوری پیش‌بینی شده است. موقعیت شهر نیکپی و شهرک گلخانه‌ای آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱.ب- موقعیت محدوده گلخانه‌ای نیکپی

Fig 1 (b). The location of the Nikpey greenhouse area



شکل ۱.الف- موقعیت شهر نیکپی در استان زنجان

Fig 1 (a). The location of Nikpey city in Zanjan Province

۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی و هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه، شامل نیک‌پی و فرودگاه زنجان با مشخصات جدول ۱ استفاده شد. دوره آماری منتخب با توجه به طول دوره آماری موجود در این ایستگاه‌ها و توازن بین سال‌های آبی از نظر قرارگیری بخش عمده آنها در کلاس نرمال انتخاب گردید. بنابراین، یک دوره آماری ۲۱ ساله بین سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در نظر گرفته شد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1. The specifications of the meteorological stations in the study area

ایستگاه Station	نام شهر یا دهستان محل استقرار Name of City or Village of Location		نوع ایستگاه Type of Station	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)		طول شرقی Longitude			عرض شمالی Latitude		
	ثانیه sec	دقیقه min		درجه deg	ثانیه sec	دقیقه min	درجه deg	ثانیه sec	دقیقه min	درجه deg	
نیک‌پی	نیک‌پی	شناسی خودکار اقلیم سینوپتیک	۱۴۱۵	۹	۱۱	۴۸	۵۷	۵۰	۳۶		
فرودگاه	سهرین	فرودگاهی مجهز به خودکار	۱۶۴۱	۱۶	۲۲	۴۸	۱۷	۴۶	۳۶		

مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی در مطالعات اقلیمی معمولاً عبارت هستند از بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، ساعات آفتابی، ابرناکی؛ که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند.

۳- شاخص‌های مورد ارزیابی

وضعیت خشک‌سالی: از آنجایی که ارزیابی دقیق وضعیت خشک‌سالی علاوه بر بارش، به سایر عوامل اقلیمی مانند دما و تبخیر و تعرق وابسته است، در این مطالعه، برای پایش وضعیت خشک‌سالی، از شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق^۱ (SPEI) در دوره آماری منتخب (سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰) استفاده شد. شاخص SPEI شاخصی چند کمیتی است که در آن داده‌های بارش و دما ترکیب می‌شوند. در شاخص SPEI، مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیلان آبی است که در شاخص خشک‌سالی مذکور مد نظر قرار گرفته است. قابل ذکر است برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، از روش تورنت وایت (Thornthwait, 1984) استفاده شد. جدول ۲، طبقه‌بندی دوره‌های ترسالی، نرمال و خشک‌سالی را در ۹ کلاس و بر اساس مقادیر SPEI نشان می‌دهد.

جدول ۲. طبقه‌بندی دوره‌های ترسالی، نرمال و خشک‌سالی بر اساس شاخص SPEI (Nam et al., 2015)

Table 2. The classification of wet, normal, and drought periods based on the SPEI index (Nam et al., 2015)

شاخص SPEI SPEI index	طبقه‌بندی Classification
بیشتر از ۲	ترسالی بسیار شدید Extremely wet
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید Severely wet
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم Moderately wet
۰/۵ تا ۰/۹۹	ترسالی خفیف Slightly wet
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	نرمال

۱- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

Normal	خشکسالی خفیف	-۰/۵ تا -۰/۹۹
Mild dry	خشکسالی ملایم	-۱ تا -۱/۴۹
Moderately dry	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
Severely dry	خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲
Extremely dry		

نیاز سرمایشی و گرمایشی: میزان نیاز به گرم کردن محیط در دوره سرد سال و سرد کردن آن در دوره گرم سال بر حسب تعریف، جمع تفاضل‌های میانگین روزانه دما از آستانه معین در دوره مشخصی از سال است (روابط ۱ و ۲) و بر حسب درجه / روز بیان می‌شود (Ahmadi et al., 2017). سازمان هواشناسی ایران، این مقدار را به ترتیب ۱۸ و ۲۱ درجه تعیین کرده است. اگر دمای هوا از ۱۸ درجه پایین‌تر رود، سرما احساس می‌شود و محیط باید گرم شود و اگر دما از ۲۱ درجه تجاوز کند، نیاز به سرد کردن محیط خواهد بود.

$$HDD = \sum_{i=1}^n (T_{bh} - T_{mean_i})^+ \quad (1)$$

$$CDD = \sum_{i=1}^n (T_{mean_i} - T_{bc})^+ \quad (2)$$

که در آن:

T_{mean_i} میانگین دمای روزانه هوا است که به صورت $(T_{max_i} + T_{min_i})/2$ تعریف می‌شود،
 T_{max_i} و T_{min_i} به ترتیب میانگین کمینه و بیشینه دمای روزانه هستند،
 T_{bc} و T_{bh} پایه‌های دمایی مورد استفاده برای محاسبه درجه / روز سرمایشی هستند.

شاخص‌های طبقه‌بندی اقلیمی: وضعیت غالب آب و هوای یک منطقه در یک دوره بلندمدت، تابعی از پارامترهای هواشناسی نظیر دما، بارندگی، رطوبت، تشعشع، باد و غیره است. در این مطالعه، روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی دو مارتن، آمبروزه و آمبروترمیک به دلیل تطابق با ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله استان زنجان، انتخاب شده‌اند. روش دو مارتن با استفاده از داده‌های دما و بارندگی، برای مناطقی با نوسانات دمایی زیاد مناسب است. روش آمبروزه به تحلیل دقیق‌تر رابطه دما و بارندگی پرداخته و برای تعیین نیازهای گرمایشی و سرمایشی گلخانه‌ها کاربردی است. روش آمبروترمیک نیز با بررسی شرایط رطوبت و دما در طول سال، برای شبیه‌سازی شرایط رشد گیاهان گلخانه‌ای در این منطقه بسیار مناسب است. طبقه‌بندی اقلیمی دو مارتن: این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی است و در آن، از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود. دو مارتن، رابطه تجربی ۳ را برای تعیین نوع اقلیم یک منطقه ارائه داد (Rahimi et al., 2013):

$$I = \frac{P}{t + 10} \quad (3)$$

که در آن، I شاخص خشکی، P میانگین بارش سالانه (mm) و t متوسط درجه حرارت سالانه ($^{\circ}C$) است. دو مارتن در این سیستم، شش نوع اقلیم را مشخص نمود (جدول ۳):

جدول ۳. طبقه‌بندی دو مارتن

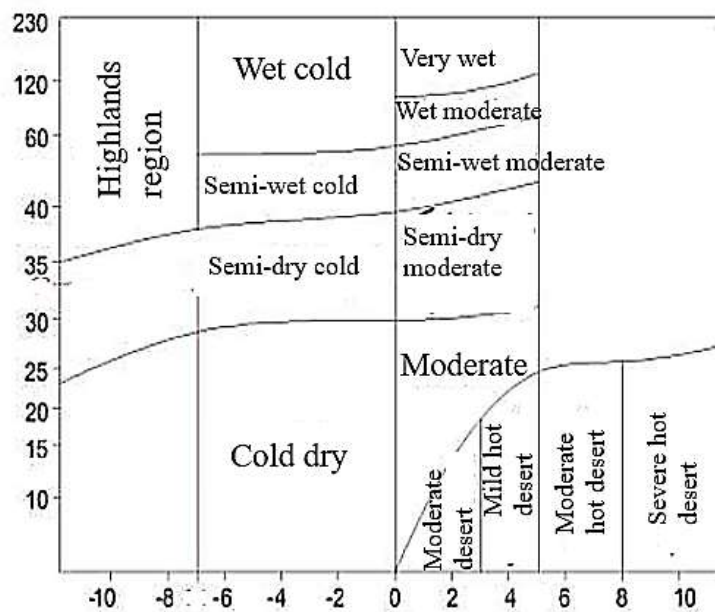
شاخص دو مارتن	اقلیم
De Martonne index	Climate
$I < 10$	خشک

	Arid
$10 \leq I < 20$	نیمه خشک
	Semi-arid
$20 \leq I < 24$	مدیترانه‌ای
	Mediterranean
$24 \leq I < 28$	نیمه مرطوب
	Semi-humid
$28 \leq I < 35$	مرطوب
	Humid
$35 \leq I$	بسیار مرطوب
	Very humid

روش اقلیم‌نمای آمبرژه: ضریب رطوبتی آمبرژه (Q_2) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Citaristi,2022):

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \quad (۴)$$

که در آن، P میانگین بارندگی (mm)، M میانگین حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال ($^{\circ}K$) و m میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال ($^{\circ}K$) است. شکل ۲، نمودار آمبرژه را نشان می‌دهد که در آن، محور عمودی Q_2 و محور افقی m است.



شکل ۲. نمودار اقلیمی آمبرژه (Citaristi,2022)

Fig 2. Emberger climatic diagram (Citaristi,2022)

روش منحنی آمبروترمیک: در این روش، تغییرات ماهانه متوسط دما و بارندگی در یک دستگاه محور مختصات به‌طوری رسم می‌شوند که محور افقی به ماه‌های سال، محور عمودی سمت چپ مقادیر دو برابر متوسط دمای ماهانه ($2T$) بر حسب درجه سلسیوس و محور عمودی سمت راست به بارندگی ماهانه (P) بر حسب میلی‌متر اختصاص می‌یابد. ماه‌هایی از سال که نمودار بارندگی زیر نمودار $2T$ قرار گیرد، به‌عنوان دوره خشک و سایر ماه‌ها به‌عنوان دوره مرطوب در نظر گرفته می‌شوند.

۴- روش تحلیل نتایج

در این پژوهش، از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) به منظور بررسی تناسب پارامترهای اقلیمی برای احداث گلخانه در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از کارآمدترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره و روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، به کار می‌رود (Chowdary et al., 2013). برای اجرای این روش، سه‌گام اصلی شامل تولید ماتریس مقایسات جفتی، محاسبه وزن‌های معیار و تخمین نسبت توافق در نظر گرفته می‌شود. در این روش ابتدا داده‌های اقلیمی، استخراج می‌شود. برای تضمین صحت و دقت نتایج و بررسی ناسازگاری داده‌ها، از شاخص ناسازگاری^۲ (CR) استفاده شد. این شاخص میزان ناسازگاری مقایسات جفتی را اندازه‌گیری می‌کند و در صورتی که مقدار CR کمتر از ۰/۱ باشد، نتایج به‌عنوان معتبر و قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. در صورت مشاهده ناسازگاری بالا، مقایسه‌ها مجدداً بررسی و اصلاح می‌شوند تا دقت نتایج حفظ گردد (Eghbali Shahabad et al., 2024). برای اجرای روش AHP، از نرم‌افزارهای Super Decision و Expert Choic استفاده شد که این ابزارها امکان تحلیل دقیق و محاسبات پیچیده مقایسات جفتی و بررسی ناسازگاری را فراهم می‌کنند. نتایج حاصل از وزن‌دهی با روش AHP در جدول ۴ نشان داده شده است. برای این منظور، ابتدا ویژگی‌ها در چهار گروه مطلوبیت تقسیم‌بندی شد که بالاترین درجه، ارزش ۴ را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۴. شاخص‌ها و معیارهای مؤثر در تعیین درجه تناسب محدوده‌های مطالعاتی جهت احداث شهرک‌های گلخانه‌ای

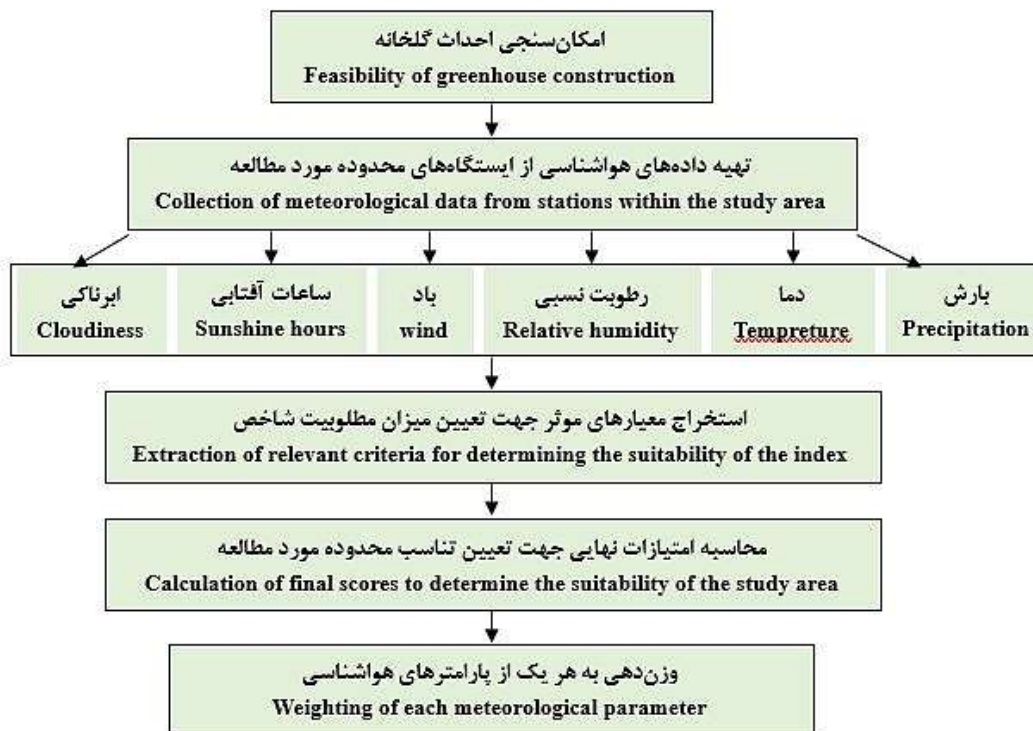
Table 4. The effective indices and criteria in determination of the suitability degree of study areas for the establishment of greenhouse towns

میزان مطلوبیت Suitability Level				واحد Unit	پارامتر Parameter
تناسب کم Low suitability	نسبتاً مناسب Moderately suitable	مناسب Suitable	بسیار مناسب Highly suitable		
>۷	۵-۷	۳-۵	<۳	ماه	تعداد ماه‌های نیازمند گرمایش Number of months requiring heating
>۵	۳-۵	۲-۳	<۴	ماه	تعداد ماه‌های نیازمند سرمایش Number of months requiring cooling
<-۲۷	-۲۷ تا -۱۷	-۱۷ تا -۱۰	-۱۰ تا ۰	درجه سلسیوس	دمای حداقل مطلق سالیانه Annual absolute minimum temperature
>۴۰	۳۵-۴۰	۳۰-۳۵	<۳۰	درجه سلسیوس	میانگین حداکثر سالیانه Annual average maximum temperature
>۲۱	۱۶-۲۱	۶-۱۵	<۶	متر بر ثانیه	سرعت سریع‌ترین باد سالانه Fastest annual wind speed
>۷	۵-۷	۳-۵	<۲	متر بر ثانیه	سرعت باد غالب سالیانه Annual prevailing wind speed
>۹۰	۵۰-۹۰	۳۰-۵۰	<۳۰	روز	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days

مراحل انجام امکان‌سنجی احداث گلخانه از منظر اقلیمی در منطقه نیک‌پی در قالب یک فلوجارت در شکل ۳ ارائه شده است. این فلوجارت به‌صورت گام‌به‌گام فرآیند مطالعه را نشان می‌دهد که شامل تهیه داده‌های اقلیمی، استخراج معیارهای مجتهد تعیین مطلوبیت، محاسبه امتیازات نهایی، وزن‌دهی و در نهایت ارائه نتایج و ارزیابی امکان‌سنجی احداث گلخانه می‌باشد.

۱- Analytical Hierarchy Process (AHP)

۲- Consistency Ratio (CR)

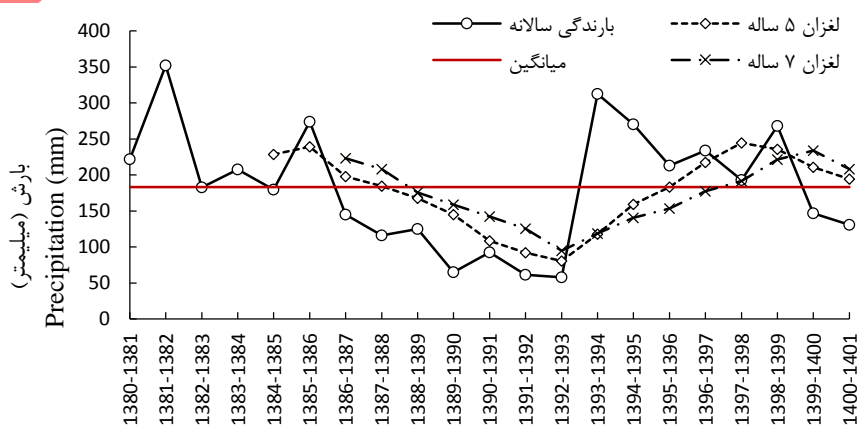


شکل ۳. فلوچارت مراحل انجام امکان‌سنجی احداث گلخانه از منظر اقلیمی در منطقه نیک‌پی

Fig 3. The flowchart of feasibility assessment stages in establishment of a greenhouse from climatic perspective in the Nikpey region

نتایج و بحث

بارش در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری منتخب (سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. بارش سالانه، میانگین بلندمدت بارش به همراه میانگین‌های لغزان ۵ ساله و ۷ ساله بارش در ایستگاه نیک‌پی در شکل ۴ نشان داده شده است. میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه نیک‌پی در حدود ۱۸۳ میلی‌متر است. بررسی میانگین‌های لغزان ۵ ساله و ۷ ساله در ایستگاه مذکور، حاکی از روند کاهشی بارش در سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۳-۱۳۹۲ و روند افزایشی آن در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ تا ۹۸-۱۳۹۷ است. این چرخه‌های سینوسی چندساله بارش به‌ویژه در منطقه شمال غرب ایران توسط محققانی مانند عساکره و رزمی (Asakereh and Razmi, 2012) گزارش شده است، که آن را می‌توان به عواملی مانند تغییرات الگوی بزرگ‌مقیاس گردش عمومی جو و جریانات مداری نسبت داد.



شکل ۴. میانگین‌های لغزان بارش در ایستگاه نیک‌پی

Fig 4. The sliding averages of precipitation at the Nikpey station

بررسی تغییرات زمانی شاخص خشکسالی SPEI منطبق بر جدول ۵، حاکی از تغییرپذیری شاخص مذکور در سال‌های مورد بررسی است؛ به نحوی که به صورت متناوب سال‌های خشک و مرطوب تکرار شده است. بر این اساس، وضعیت منطقه در حدود ۴۰ درصد از طول دوره آماری در کلاس نرمال قرار دارد. همچنین، شدت خشکسالی‌های محاسبه شده با استفاده از شاخص SPEI از کلاس خشکسالی ملایم فراتر نرفته و این در حالی است که وضعیت ترسالی شدید در سه سال از دوره آماری به وقوع پیوسته است.

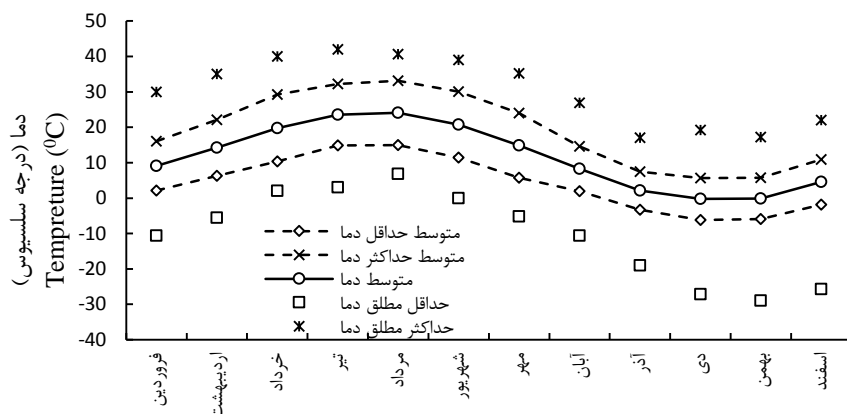
جدول ۵. طبقه‌بندی بارش محاسبه شده بر اساس SPEI

Table 5. The classification of precipitation calculated from SPEI

طبقه‌بندی	SPEI	سال	طبقه‌بندی	SPEI	سال
Classification		Year	Classification		Year
خشکسالی ملایم	-۱/۲۹	۱۳۹۱	نرمال	۰/۴۷	۱۳۸۰
نرمال	-۰/۳۶	۱۳۹۲	نرمال	-۰/۰۴	۱۳۸۱
نرمال	۰/۱۸	۱۳۹۳	خشکسالی ملایم	-۱/۳۲	۱۳۸۲
ترسالی خفیف	۰/۹۴	۱۳۹۴	خشکسالی خفیف	-۰/۸۹	۱۳۸۳
ترسالی خفیف	۰/۹۸	۱۳۹۵	نرمال	-۰/۱۲	۱۳۸۴
ترسالی شدید	۱/۷۹	۱۳۹۶	نرمال	-۰/۴۳	۱۳۸۵
نرمال	۰/۱۲	۱۳۹۷	خشکسالی ملایم	-۱/۱۹	۱۳۸۶
خشکسالی ملایم	-۱/۱۶	۱۳۹۸	ترسالی شدید	۱/۵۵	۱۳۸۷
نرمال	-۰/۴۶	۱۳۹۹	خشکسالی خفیف	-۰/۷۸	۱۳۸۸
ترسالی شدید	۱/۶۸	۱۴۰۰	ترسالی خفیف	۰/۵۸	۱۳۸۹
ترسالی ملایم	۱/۰۹	۱۴۰۱	خشکسالی ملایم	-۱/۳۵	۱۳۹۰
۲	خشکسالی خفیف	۰	ترسالی بسیار شدید		
۵	خشکسالی ملایم	۳	ترسالی شدید		
۰	خشکسالی شدید	۱	ترسالی ملایم		
۰	خشکسالی بسیار شدید	۳	ترسالی خفیف		
		۸	نرمال		

دما

رژیم دمایی در ایستگاه نیک‌پی و نتایج تحلیل پنج شاخص دمایی شامل متوسط دما، متوسط حداقل و حداکثر دما در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس، میانگین سالانه متوسط دما در ایستگاه نیک‌پی ۱۱/۹ درجه سلسیوس است. همچنین، میانگین سالانه متوسط حداقل و حداکثر دما در ایستگاه نیک‌پی به ترتیب ۴/۳ و ۱۹/۳ درجه سلسیوس است. همچنین، بیشترین و کم‌ترین دمای رخ داده در ایستگاه مذکور به ترتیب برابر با ۴۲ و -۲۹ درجه سلسیوس است که در ماه‌های تیر و بهمن اتفاق افتاده است.



شکل ۵. رژیم دمایی در ایستگاه نیکپی

Fig 5. The temperature regime at the Nikpey station

نیاز گرمایشی و سرمایشی ماهانه و سالانه نیکپی در جدول ۶ برآورد شده است. مطابق نتایج حاصله، بیشترین نیاز به سرمایش در ایستگاه نیکپی مربوط به ماه‌های تیر و مرداد با مقادیر به ترتیب ۸۹/۴ و ۷۹/۸ درجه / روز است. نیاز به سرمایش سالانه در نیکپی برابر با ۲۴۵/۱ درجه / روز می‌باشد. از سوی دیگر، بیشترین نیاز به گرمایش در ماه‌های دی و بهمن با مقادیر به ترتیب ۵۶۶ و ۵۶۱/۴ درجه / روز است. همچنین نیاز به گرمایش سالانه در ایستگاه هدف برابر با ۲۸۸۳/۳ درجه / روز می‌باشد.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در محدوده مطالعاتی نیکپی، نیاز به گرمایش بیشتر از نیاز به سرمایش است. این موضوع به دلیل اقلیم سرد منطقه و نیاز به تأمین گرمایش در بیشتر ماه‌های سال است. البته با توجه به روند تغییرات اقلیمی جهان و ایران و به‌موجب آن، افزایش دما، کشاورزان مناطق سردسیر این امکان را دارند که الگوی کاشت خود را تغییر دهند و به کشت محصولات گرمادوست نیز روی آورند، اما افزایش دما از طرف دیگر، افزایش هزینه‌های سرمایشی گلخانه‌ها را به همراه خواهد داشت (Fakhri, 2024).

جدول ۶. نیاز به گرمایش و سرمایش ماهانه و سالانه (درجه / روز) در ایستگاه نیکپی

Table 6. The monthly and annual heating and cooling requirements (degree/day) at the Nikpey station

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
Parameter	Far	Ord	Khr	Tir	Mor	Shr	Meh	Aba	Aza	Dey	Bah	Esf	Annual
سرمایش Cooling	۰	۱/۳	۲۹/۲	۸۹/۴	۷۹/۸	۳۹/۷	۴/۹	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۲۴۵/۱
گرمایش Heating	۲۷۵/۶	۱۲۵/۴	۲۱	۳	۰/۵	۹/۴	۱۱۳/۱	۳۰۰/۹	۴۹۴/۷	۵۶۶	۵۶۱/۴	۴۱۷/۴	۲۸۸۳/۳

رطوبت نسبی

تغییرات میانگین بلندمدت رطوبت نسبی در محدوده مطالعاتی هدف در جدول ۷ نشان داده شده است. از خرداد تا آخر شهریور، رطوبت نسبی کم و هوا خشک است و بیشترین رطوبت هوا در ماه‌های غیر رشد گیاهی است. بنابراین، گیاهان در منطقه از رطوبت مناسب هوا در فصل رشد برخوردار نیستند و اتکای بیشتری به بارش مستقیم دارند. به‌علاوه، تبخیر از سطح زمین و سطوح آزاد آب‌ها در فصل تابستان می‌تواند دارای توان زیادی باشد. بیشترین رطوبت نسبی در ماه‌های زمستانی و کم‌ترین مقدار این پارامتر در ماه‌های تابستان مشاهده می‌شود. یکی از راه‌های مقابله با کمبود رطوبت نسبی می‌تواند احداث گلخانه‌های پایین‌تر از سطح زمین باشد. در این گلخانه‌ها، به‌دلیل کاهش سطح تماس گلخانه‌ها با هوای اطراف، رطوبت نسبی در مقایسه با گلخانه‌های هم‌سطح با زمین بیشتر است (Goodarzi et al., 2023).

جدول ۷. مقادیر ماهانه و سالانه رطوبت نسبی (درصد) در ایستگاه نیکپی

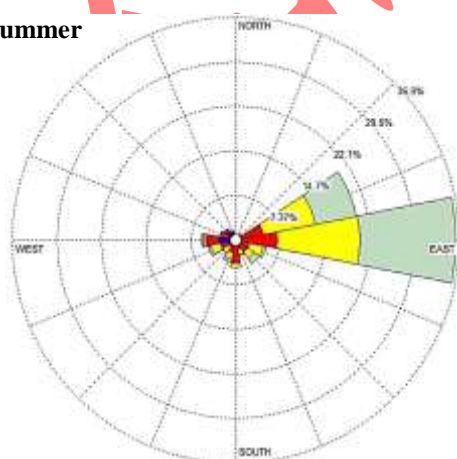
Table 7. The monthly and annual relative humidity values (%) at the Nikpey station

سالانه Annual	اسفند Esf	بهمن Bah	دی Dey	آذر Aza	آبان Aba	مهر Meh	شهریور Shr	مرداد Mor	تیر Tir	خرداد Khr	اردیبهشت Ord	فروردین Far	رطوبت نسبی Relative humidity
۵۲	۵۸	۶۵	۶۴	۶۳	۵۸	۴۴	۴۲	۳۹	۴۱	۴۱	۵۴	۵۶	میانگین Average
۳۰	۳۵	۴۴	۴۳	۴۴	۳۸	۲۱	۲۱	۱۸	۲۲	۲۰	۲۹	۳۳	متوسط حدافل Minimum average
۷۳	۸۱	۸۵	۸۴	۸۲	۷۹	۶۷	۶۳	۶۰	۶۰	۶۲	۷۸	۷۹	متوسط حداکثر Maximum average

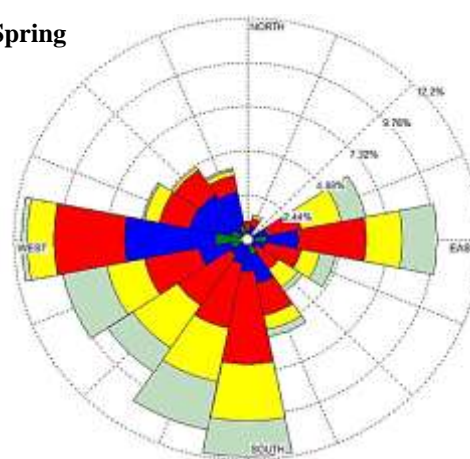
باد

ارزیابی رژیم متوسط سرعت باد طی ماه‌های مختلف نشان داد که سرعت باد بین ۳/۵ متر بر ثانیه در دی ماه تا ۵/۸ متر بر ثانیه در تیر ماه متغیر است. شدیدترین باد وزیده شده طی دوره، حدود ۲۵ متر بر ثانیه معادل ۹۰ کیلومتر بر ساعت با جهت جنوبی بوده است. با توجه به گلبادهای شکل ۶، در بهار، باد غالب و بیشترین فراوانی وزش‌ها از سمت جنوب و باد درجه دوم نیز مربوط به جهت غرب است. در این فصل، بیشترین وزش بادهای شدید مربوط به جهت بین جنوب و جنوب غربی ایستگاه است. کمترین تعداد وزش بادها برای فصل پاییز مربوط به جهت بین شمال و شمال شرقی است. در تابستان، بادهای شرقی غالب است. جهت بین شرق و شمال شرق نیز باد درجه دوم را تشکیل می‌دهد. بادهای شدید نیز بادهایی هستند که در جهت شرقی می‌وزند. بادهای شمال غربی، کم تعدادترین بادها را تشکیل می‌دهند. پس از آنها، بادهای غربی، جنوبی و جنوب غربی نیز جزو کم تعدادترین بادها هستند. باد غالب پاییز از جهت شرق است و باد شمال شرقی نیز باد درجه دوم به حساب می‌آید. شدیدترین بادها هم مربوط به جهت شرق و سپس جهت شمال شرقی ایستگاه است. در زمستان، بادهای جنوبی حاکم است. باد درجه دوم هم، جهتی بین جنوب شرقی و شرق دارد. سریع‌ترین بادها نیز جنوبی است. کم‌تعدادترین بادهای زمستانه در جهت بین شمال و شمال شرقی است و پس از آن در جهت بین شمال شرقی و شرق است.

Summer

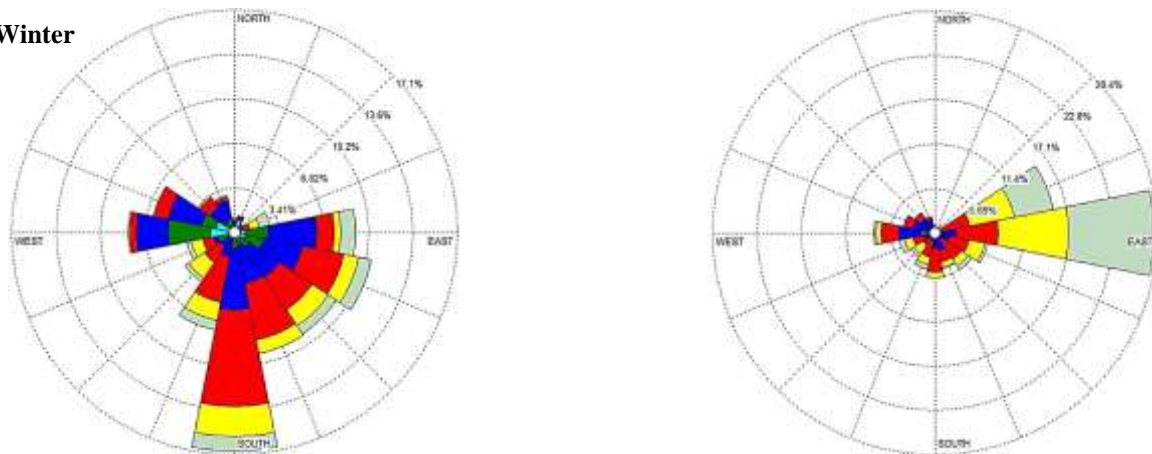


Spring



Fall

Winter

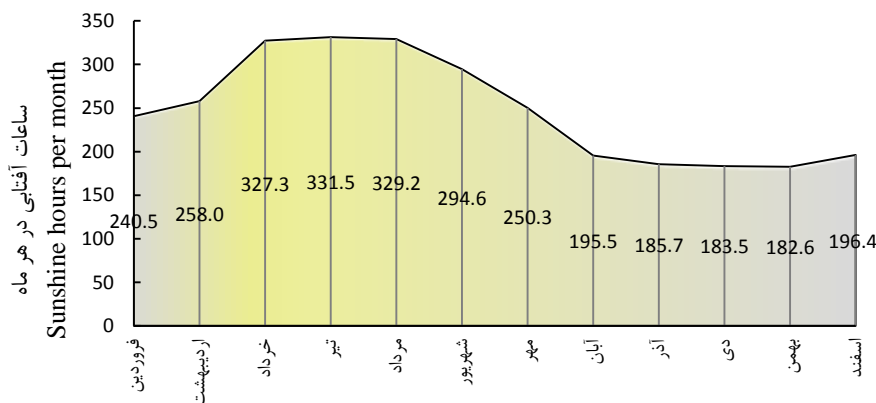


شکل ۶. گلباد باد غالب فصل‌های سال (برحسب نات) در محدوده مطالعاتی

Fig 6. The wind-rose of prevailing winds (knots) by season in the study area

ساعات آفتابی

از آنجایی که میزان ساعات آفتابی رابطه بسیار نزدیکی با پارامترهای اقلیمی به‌ویژه دماهای حداکثر و حداقل دارد، بنابراین، بررسی روند تغییرات ساعات آفتابی، علاوه بر بررسی روند تغییرات دما، می‌تواند در تشخیص تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته کمک شایانی نماید. مطابق شکل ۷، تجزیه و تحلیل ساعات آفتابی محدوده هدف انجام گردید. بر این اساس، سالانه به‌طور متوسط ۲۹۷۵ ساعت آفتابی در منطقه وجود دارد که بیشترین و کم‌ترین آن به‌ترتیب در تیر با میانگین حدود ۳۳۱/۵ ساعت و بهمن با میانگین حدود ۱۸۲/۶ ساعت رخ داده است. در کل، ایران کشوری آفتاب‌گیر است که تابش آفتاب در آن به‌طور متوسط ۱۲ ساعت در طول روز و سالیانه تقریباً برابر با ۴۳۸۰ ساعت است (Nematollahi et al., 2016). بنابراین، ساعات آفتابی منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر حدود ۳۲ درصد کمتر از متوسط کشوری است که، همان‌طور که ذکر شد، باعث نیاز به گرمایش بیشتر در منطقه در مقایسه با نیاز به سرمایش می‌شود.



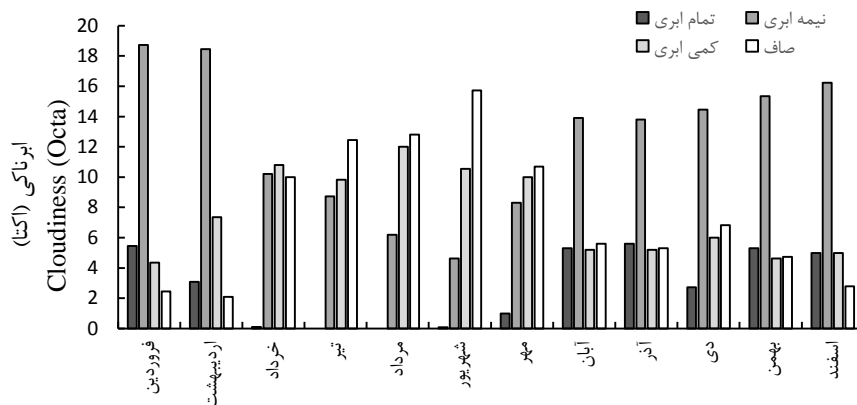
شکل ۷. میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه نیک‌پی

Fig 7. The monthly average sunshine hours at the Nikpey station

ایرناکی

ایرناکی پارامتری است که برحسب اکتا بیان می‌شود. میزان ایرناکی به‌صورت رخداد آسمان کمی ابری (۱-۲ اکتا)، نیمه‌ابری (۳-۶ اکتا) و تمام ابری (۷-۸ اکتا) از طرف سازمان هواشناسی جهانی بیان می‌شود. در مقیاس سالانه، حدود ۳۴ روز تمام ابری در

منطقه وجود دارد. در مقیاس ماهانه، صاف‌ترین آسمان در ماه‌های خرداد تا مهر دیده شده و بیشترین ابرناکی مربوط به آبان تا اسفند است (شکل ۸).



شکل ۸. مؤلفه‌های ابرناکی در محدوده هدف

Fig 8. The cloudiness components in the target area

اقلیم

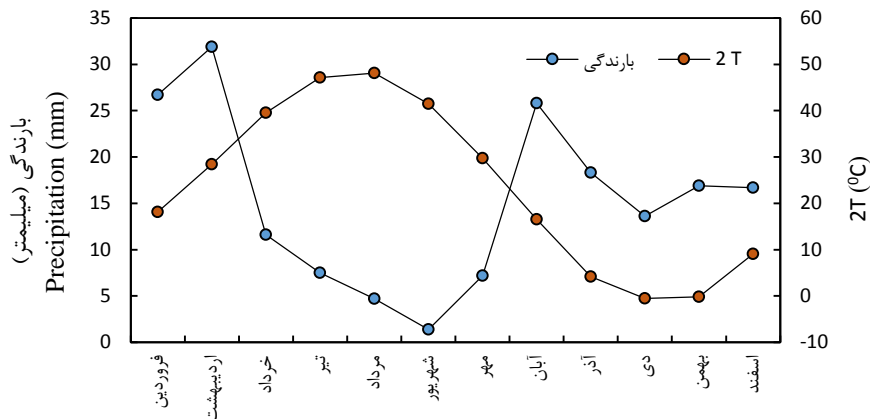
بر مبنای روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی مورد استفاده در این مطالعه (جدول ۸)، اقلیم منطقه از نظر شاخص دومارتن در گروه خشک و از نظر شاخص آمبرژه، در گروه خشک سرد قرار می‌گیرد.

جدول ۸. نتایج طبقه‌بندی دومارتن و روش اقلیم‌نمای آمبرژه

Table 8. The results of the De Martonne climate classification and Emberger climate method

طبقه‌بندی روش اقلیم‌نمای آمبرژه Emberger climate method				طبقه‌بندی دومارتن De Martonne classification				
نوع اقلیم	شاخص			نوع اقلیم	شاخص	متوسط دمای سالانه	بارندگی سالانه	
آمبرژه	Q ₂	m	M	دومارتن	I	Average annual temperature	Annual precipitation	
Emberger climate type	Q ₂ index			De Martonne climate type	Index			
خشک سرد	۱۶/۲۷	۲۶۶/۹۵	۳۰۶/۲۵	۱۸۳/۳	خشک	۸/۳۶	۱۱/۹	۱۸۳/۳

بر اساس طبقه‌بندی آمبروترمیک، ماه‌هایی از سال که نمودار بارش زیر نمودار 2T قرار گیرد به‌عنوان دوره خشک و سایر ماه‌ها به‌عنوان دوره مرطوب در نظر گرفته می‌شوند. بر این اساس، ماه‌های خرداد تا مهر (۵ ماه) جزو دوره خشک و سایر ماه‌ها (۷ ماه) جزو دوره مرطوب هستند (شکل ۹).



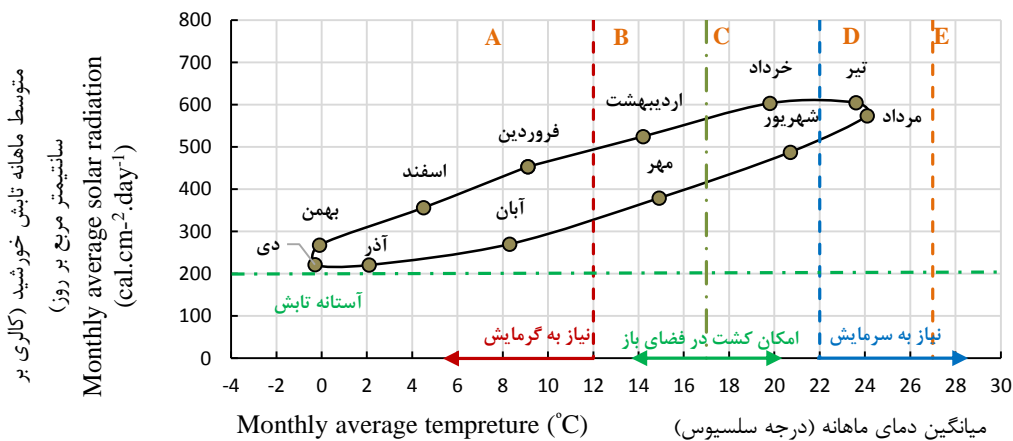
شکل ۹. منحنی آمبروترمیک ایستگاه نیک پی

Fig 9. The ombrothermic curve of the Nikpey Station

این نتایج نشان می‌دهند که اقلیم منطقه به‌طور کلی خشک و سرد است که می‌تواند چالش‌هایی را برای احداث گلخانه ایجاد کند، زیرا گیاهان نیاز به شرایط آبی مناسب دارند. با این حال، فصل‌های مرطوب سال (آبان تا اردیبهشت) می‌توانند فرصت‌هایی را برای بهره‌برداری مؤثر از منابع آب فراهم کنند.

بررسی اقلیمی برای کشت محصولات گلخانه‌ای

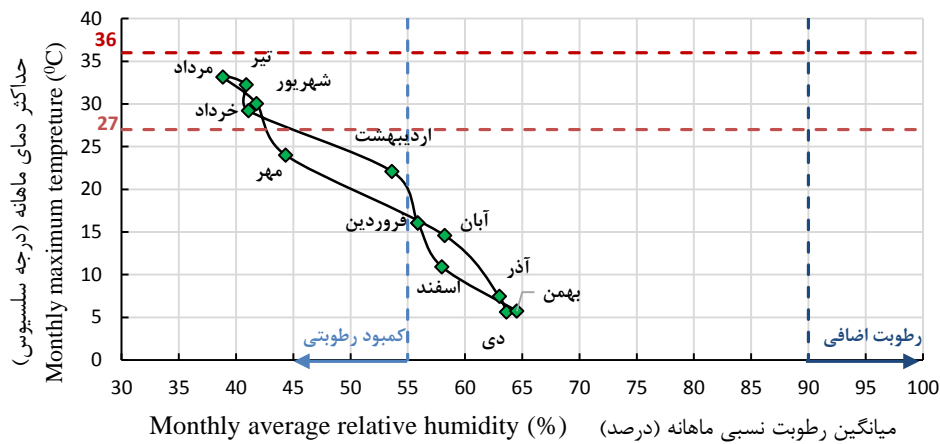
با استفاده از روش معرفی شده توسط سازمان خوار و بار جهانی (Fao, 2022) و الگوی ترسیمی، تحلیلی از شرایط اقلیمی صورت گرفت (شکل ۱۰). در این نمودار، محور X به‌عنوان محور دما (درجه سلسیوس) و محور Y به‌عنوان محور تابش (کالری بر سانتی متر مربع در روز) است. تعداد ماه‌هایی که در قسمت اول (صفر تا ۱۲ درجه سلسیوس) واقع شدند، نیازمند سیستم گرمایشی، ماه‌هایی که در قسمت وسط (۱۲ تا ۲۲ درجه سلسیوس) قرار گرفتند، فقط نیازمند تهویه طبیعی (معمولی) و ماه‌هایی که در قسمت سوم (۲۲ تا ۲۷ درجه سلسیوس) قرار گرفتند، نیازمند سیستم سرمایشی هستند. بنابراین، بر اساس نمودار اقلیمی از نظر تشعشع و دما (شکل ۱۰)، در محدوده مطالعاتی نیک‌پی، ۶ ماه (آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین) نیازمند سیستم گرمایشی، ۲ ماه نیازمند سیستم سرمایشی (تیر و مرداد) و ۴ ماه (اردیبهشت، خرداد، شهریور و مهر) نیز تنها نیازمند تهویه طبیعی هستند. بدیهی است سرمایه‌ش لازم در دو ماه تیر و مرداد، غیرمرسوم بوده و با هزینه بالا همراه است و انجام آن منطقی به نظر نمی‌رسد. قابل ذکر است منطقه نیک‌پی، در کل ماه‌های سال از نظر دریافت تشعشع خورشیدی کمبود ندارد.



شکل ۱۰. بررسی اقلیمی نیک‌پی برای کشت محصولات گلخانه‌ای (تشعشع - دما)

Fig 10. The climatic assessment of Nikpey for greenhouse crop cultivation (radiation-temperature)

بررسی نمودار اقلیمی از نظر رطوبت نسبی و دما در محدوده مطالعاتی نیکپی (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که در شش ماه از سال (اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر) برای تولید در گلخانه‌ها کمبود رطوبت وجود دارد. بنابراین به دلیل کمبود رطوبت برای تولیدهای گلخانه‌ای بایستی از دستگاه‌های رطوبت‌ساز استفاده نمود. همچنین، در شش ماه دیگر از سال، وضعیت رطوبت در گلخانه مناسب خواهد بود. براساس شکل مذکور، ایستگاه نیکپی در هیچ‌یک از ماه‌های سال با رطوبت بیش از حد مجاز رو به رو نخواهد بود.



شکل ۱۱. بررسی اقلیمی نیکپی برای کشت محصولات گلخانه‌ای (دما- رطوبت نسبی)

Fig 11. The climatic assessment of Nikpey for greenhouse crop cultivation (temperature-relative humidity)

تناسب محدوده مطالعاتی نیکپی از منظر اقلیمی جهت احداث شهرک گلخانه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد که نتایج آن در جدول ۹ نشان داده شده است. براساس امتیازات و برآورد نهایی با کاربرد روش AHP، شرایط اقلیم محدوده سایت نیکپی از نظر مطلوبیت شاخص کل، در حدود نسبتاً مناسب قرار دارد. بر این اساس، عمده‌ترین چالش محدوده هدف، سرعت سریع‌ترین باد سالانه است. از این رو بایستی در انتخاب تیپ‌های گلخانه‌ای متناسب با ضوابط اقلیمی بدان توجه ویژه نمود. اهمیت باد به‌عنوان پارامتری تأثیرگذار در احداث گلخانه در مطالعات زیادی مورد توجه قرار گرفته است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که سرعت باد می‌تواند خرداقلیم‌های گلخانه را تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، سایه‌اندازی خارجی گلخانه می‌تواند دما را در بادهای کم‌سرعت به‌طور مؤثر تری کاهش دهد (He et al., 2014).

جدول ۹. امتیازات نهایی محاسبه شده در روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی برای احداث شهرک گلخانه‌ای نیکپی

Table 10. The final scores calculated by the AHP method for the establishment of the Nikpey greenhouse town

برآورد نهایی Final Estimation	میزان مطلوبیت Suitability level				پارامتر Parameter
	تناسب کم Low suitability	نسبتاً مناسب Moderately suitable	مناسب Suitable	بسیار مناسب Highly suitable	
۰/۲۴۶		۲		۰/۱۲۳	تعداد ماه‌های نیازمند گرمایش Number of months requiring heating
۰/۳۶۹			۳	۰/۱۲۳	تعداد ماه‌های نیازمند سرمایش Number of months requiring cooling
۰/۱۲۳	۱			۰/۱۲۳	دمای حداقل مطلق سالیانه Annual absolute minimum temperature

۰/۳۷۲		۴	۰/۰۹۳	میانگین حداکثر سالیانه Annual average maximum temperature
۰/۰۵۳	۱		۰/۰۵۳	سرعت سریع‌ترین باد سالانه Fastest annual wind speed
۰/۴۲۰		۳	۰/۱۴۰	سرعت باد غالب سالیانه Annual prevailing wind speed
۰/۳۴۶	۱		۰/۳۴۶	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days
۱/۹۲۹	۳	۲	۴	۱
جمع				

نتیجه‌گیری

کشت گلخانه‌ای به دلیل امکان کنترل مطلوب شرایط محیطی، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای تولید محصولات خارج از فصل و مقابله با مسائلی هم‌چون تغییرات اقلیمی و افزایش جمعیت شناخته می‌شود. در این تحقیق، اقلیم شهر نیک‌پی در استان زنجان برای احداث یک شهرک گلخانه‌ای بررسی شد. نتایج اصلی به این شرح زیر است:

میانگین بارش منطقه عمدتاً پایدار و در وضعیت نرمال قرار دارد، اما بروز دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی، هرچند با فراوانی کم، حاکی از نوسانات اقلیمی است. زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های گرم منطقه، نشان دهنده نیاز به گرمایش در نیمی از سال و سرمایش محدود به تابستان است. همچنین، رطوبت نسبی در زمستان بالا و در تابستان پایین است که بر رشد گیاهان و میزان تبخیر تأثیر می‌گذارد. سرعت و جهت باد در طول سال، تغییرات فصلی داشته و شدت بادها در تابستان بیشتر است. تابش آفتاب در این منطقه، چشم‌گیر بوده و حداکثر تابش در تابستان و حداقل آن در زمستان مشاهده می‌شود. بر اساس شاخص‌های اقلیمی، منطقه در گروه اقلیمی خشک و خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود.

در کل، بر اساس شاخص‌های اقلیمی بررسی شده برای نیک‌پی، برخی پارامترها نشان‌دهنده شرایط مناسب برای احداث شهرک گلخانه‌ای هستند، اما محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. میانگین حداکثر دما (۱۹/۴ درجه سلسیوس)، تعداد ماه‌های نیازمند سرمایش (۲ ماه) و سرعت بادهای غالب سالانه شرایط مناسب و مطلوبی را ارائه می‌دهند. همچنین، نیاز به گرمایش در ۶ ماه از سال در کلاس نسبتاً مناسب قرار می‌گیرد که می‌تواند هزینه‌های انرژی را تا حدودی افزایش دهد. با این حال، حداقل مطلق دما (۲۹- درجه سلسیوس)، تعداد روزهای یخبندان (۱۱۹ روز)، و سریع‌ترین باد سالانه (۲۵ متر بر ثانیه) تناسب اندکی دارند که نشان دهنده محدودیت‌های جدی برای احداث گلخانه در این منطقه است. در مجموع، با وجود برخی شرایط مطلوب، توجه به تمهیدات گرمایشی و مقاوم‌سازی در برابر یخبندان و بادهای شدید ضروری خواهد بود.

منابع

- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., & Ebrahimi, R. (2017). Relationship modeling heating and cooling degree days in the territory of Iran with air temperature. *Research in Earth Science*, 8(2), 127-140. [In Persian].
- Asakereh, H. & Razmi, R. (2012). Analysis of Annual Precipitation Changes in Northwest of Iran, *Geography and Environmental Planning*, 23 (3), 147-162.
- Badji, A., Benseddik, A., Bensaha, H., Boukhelifa, A., & Hasrane, I. (2022). Design, technology, and management of greenhouse: A review. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753>.
- Chaurasia, A.R. (2020). Future Population Growth, 2015–2100, Population and Sustainable Development in India, Springer, pp. 35-49. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9212-3_3.
- Chowdary, V. M., Chakraborty, D., Jeyaram, A., Murthy, Y. K., Sharma, J. R., & Dadhwal, V. K. (2013). Multi-criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. *Water resources management*, 27, 3555-3571. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0364-6>.
- Citaristi, I. (2022). World Meteorological Organization—WMO. In *The Europa Directory of International Organizations 2022* (pp. 399-404). Routledge.

- Darabi, A., Salehi, R., Eslahi, M. & Malaekheh, S.M. (2016). Assessment of structural problems of vegetable greenhouses in Khuzestan province, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47 (3), 461-467. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.59352>.
- Eghbalishahabad, S., Rahimian, M. and Zarehkormizi, H. (2024). Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 37-56. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2023.6605.1034>. [In Persian].
- Fakhri, M. (2024). Investigating the condition of Iran's temperature changes compared to the past long-term climatic standard period, *Journal of Drought and Climate change Research*, 2 (3), 17-32. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7392.1062>.
- FAO. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Goodarzi, M., Hydayatipour, A. & Ghadbeiklou, J. (2023). The Feasibility of underground greenhouses construction as an action to reduce climate change impacts, *Journal of Drought and Climate change Research*, 1 (2), 53-62. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2023.6016.1011>.
- He, K., Chen, D., Sun, L., Huang, Z. & Liu, Z. (2014). Analysis of the Climate inside Multi-span Plastic Greenhouses under Different Shade Strategies and Wind Regimes. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 32 (4), 473-483. <https://doi.org/10.7235/hort.2014.13156>.
- Mokhtari Sataiy, M., Bahrami, H., SheikhDavoodi, M., Momeni, D. & Soleymani, M. (2021). Determining and comparing climate suitability in several southern regions of Iran for sustainable greenhouse development, *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 10 (3), 31-42. [In Persian]
- Nam, W. H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., & Svoboda, M. D. (2015). Projection of temporal trends on drought characteristics using the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in South Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(1), 37-45. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2015.57.1.037>.
- Nematollahi, M.R., Aghaei Foroushani, M. & Binazadeh, M. (2015). Floating solar cells on water: A solution for the problem of water evaporation from the surface of dams and water storage reservoirs and simultaneous production of solar electricity. The Sixth Conference on Water, Wastewater, and Waste, Tehran, Iran. [In Persian].
- Rabet, A.R. (2019). Investigating the role of greenhouse development on production and entrepreneurship in Zanjan province, *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, 6 (2), 41-54. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jead.2021.18396.1430>.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M., & Khalili, A. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112, 409-418. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0741-8>.
- Ramezani, A., Darwishi, M. & Nejat, D. (2023). Greenhouse location optimization for sustainable agriculture development (a case study: Asadabad Plain), *Journal of Humans and Environment*, 21 (3), 143-158. [In Persian].
- Rogers, R.R. & Yau, M.K. (1989). A Short Course in Cloud Physics, Pergamon Press, Oxford. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-70.9.1159a>.
- Shaemi, A., Nikandish, N. & Hosseini, M. (2020). Optimum location of greenhouse cultivation of vegetables high consume in Qom province (with an emphasis on minimal energy needs, *Journal of Climate Research*, 1398 (37), 101-110. [In Persian].
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>.
- Zanjan Province Statistical Yearbook 2021. (2022). Statistical and Information Deputy, Zanjan Province Management and Planning Organization, Plan and Budget Organization of Iran. Serial No. 839. [In Persian].
- Zarei, Gh. (2017). Structural challenges of greenhouses in Iran, *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2 (2), 149-162. <https://doi.org/10.22047/SRJASNR.2017.110578>. [In Persian].