



پژوهش های خشکسالی و تغییر اقلیم



دوره سوم، پایانی ۹، بهار ۱۴۰۴

- ۱ اثر کودهای زیستی و کود آلی بر زندهمانی و رویش نهال های اکالیپتوس و صنوبر هیبرید مفید در یک منطقه خشک
هانیه شاهقبادی، صنم شریفی، وحید اعتماد، محسن جوانمیری پور، انوشیروان شیروانی، محمد متینی زاده
- ۱۷ بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان خشکی در ایران با رویکرد مواجهه جمعیتی
هادی رمضانی اعتدالی، سکینه کوهی
- ۳۹ واکاوی ارتباط بین فراسنج های دمای خاک ایستگاه های هواشناسی استان کرمانشاه با الگوهای پیوند از دور
فیروز مجرد، محمد احمدی، رسول نجفی
- ۶۳ امکان سنجی تغییر کشت از گیاهان زراعی به دارویی در شرایط خشکسالی: مورد منطقه مارگون
سید ابی طالب موسوی مؤید، مهدی نوری پور، مریم شریف زاده، مریم آفریدونی
- ۸۳ پایش و پهنه بندی خطر خشکسالی با استفاده از مدل جنگل تصادفی (مورد مطالعه: استان اردبیل)
احمد حجاریان
- ۹۵ امکان سنجی توسعه شهرک های گلخانه ای از منظر اقلیمی
ثمر بهروزی نیا، سمیرا واحدی، نادر عباسی، فرشید تاران
- ۱۱۵ استراتژی های کاهش جزیره گرمایی شهری: راهکارها و چالش ها در بهبود محیط زیست شهری
حسین منصوریان، راضیه عسکرزاده طریقه
- ۱۳۵ بررسی نقش مشکلات محیط زیستی و تغییرات اقلیم در مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی
احمد انارکی محمدی





نشریه علمی و پژوهشی

پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

سال سوم، شماره اول، شماره پیاپی نهم، بهار ۱۴۰۴

شاپای چاپی: ۳۰۹۲-۶۰۷۶ شاپای الکترونیکی: ۹۸۱۹-۲۹۸۰

شماره ثبت و مجوز از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی: ۹۲۰۴۱

سردبیر: دکتر ابوالفضل اکبرپور

ویراستار فارسی: مهندس سپیده زراعتی نیشابوری

ویراستار انگلیسی: دکتر علی محتشمی

کارشناس نشریه: مهندس سعیده حسین‌آبادی

مدیر مسئول: دکتر مصطفی یعقوب‌زاده

صاحب امتیاز: دانشگاه بیرجند (با مشارکت گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم دانشگاه بیرجند و انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران)

مدیر داخلی: دکتر فرهاد آذرمی آتاجان

دستیار سردبیر: دکتر فاطمه پور صالحی

صفحه آرا: شرکت آذر مهر نونگاه

هیئت تحریریه:

دکتر سانگام شرستا، استاد، مهندسی و مدیریت آب، مؤسسه فناوری آسیا.

دکتر کریم عباس‌پور، شرکت مشاوره زیست‌محیطی ۲۷۲۵، دوبندورف، سوئیس.

دکتر نسرین صالح‌نیا، دانشکده علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه ملی سنول، کره جنوبی.

دکتر کیومرث ابراهیمی، استاد دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران.

دکتر سید سعید اسلامیان، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

دکتر ابوالفضل اکبرپور، استاد گروه مهندسی عمران دانشگاه بیرجند، ایران.

دکتر مرتضی اسمعیل نژاد، دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه بیرجند، ایران.

دکتر امید بزرگ حداد، استاد، گروه مهندسی آب دانشگاه تهران، ایران.

دکتر بهرام تقفیان، استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

دکتر علی شاهنظری، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

دکتر علی شهیدی، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند، ایران.

دکتر محمدحسین صیادی، استاد گروه محیط زیست دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

دکتر رضا کراچیان، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ایران.

دکتر سعید مرید، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.

دکتر علیرضا مساح بوانی، دانشیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان، ایران.

دکتر سید محمدجعفر ناظم السادات، استاد گروه مهندسی آب. رئیس مرکز تحقیقات اقیانوسی و جوی، دانشگاه شیراز، ایران.

دکتر مصطفی یعقوب‌زاده، دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند، ایران.

اعضای مشورتی هیئت تحریریه:

دکتر مجتبی صادق، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ایالتی بویز، عضو ارشد مؤسسه دانشگاه ملل متحد برای آب، محیط زیست و بهداشت.

نشانی دفتر مجله: استان خراسان جنوبی، شهرستان بیرجند، کیلومتر ۵ جاده کرمان، پردیس کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی
دانشگاه بیرجند. دفتر نشریات دانشکده کشاورزی.

تلفن: ۰۵۶۳۱۰۲۷۶۰۹

پست الکترونیک: jdcr@birjand.ac.ir

نشانی وبگاه نشریه: jdcr.birjand.ac.ir



The effect of different biological manure treatments on the viability and growth rate of gum tree and hybrid poplar seedlings in an arid area

Hanieh Shahghobadi¹, Sanam Sharifi Tabesh², Vahid Etemad³, Mohsen Javanmiri Pour^{4*}, Anoushirvan Shirvany³,
Mohammad Matinizadeh⁵

1- PhD student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.

2- MSc graduate, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.

3- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.

4- Assistant Professor, Forest and Rangeland Research and Education Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Kermanshah Province, Agricultural Extension Research and Education Organization, Kermanshah, Iran.

5- Associate Professor, Research Institute of Forests and Ranges, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: mm.javanmeri@gmail.com

Keywords:

Wood farming, Collar diameter, Height, Mycorrhizal fertilizer, Fast growing species.

Extended Abstract

Introduction and objective: In order to preserve forests and satisfy the wood demands of different cellulose industries, it is crucial for officials and executive planners to prioritize the use of organic fertilizers in forestry development. The aim of this study was to investigate the effects of organic fertilizers, including animal manure, processed fertilizer, and mycorrhiza, on the growth characteristics of two species. The specific growth characteristics examined were collar diameter, height, and survival rate.

Materials and Methods: Three hundred seedlings of Eucalyptus and three hundred seedlings of Mofid hybrid Poplar were planted on the lands of Pars Paper Industries Company, located around Shush County in Khuzestan Province. The seedlings were arranged in a completely randomized block design with three different treatments: animal manure, mycorrhiza, and processed fertilizer, alongside a control treatment. Each treatment was applied with a spacing of 3×3 meters in three replications. In each replication, 25 seedlings were planted in plots with an area of 225 m², totaling approximately one hectare, with a four-meter distance between each adjacent plot. After planting, the first step was to measure the quantitative characteristics, including collar diameter (with millimeter precision) using calipers and seedling height using a Bloom Lays device (with centimeter precision). These measurements were repeated annually at the end of each growth period over the duration of the three-year study.

Received:

11 Jun 2024

Revised:

24 Jul 2024

Accepted:

25 Jul 2024

How to cite this article:

Shahghobadi, H., Sharifi Tabesh, S., Etemad, V., Javanmiri Pour, M., Shirvany, A. & Matinizadeh, M. (2025). The effect of different biological manure treatments on the viability and growth rate of gum tree and hybrid poplar seedlings in an arid area. *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 3(9), 1-16. [10.22077/jdcr.2024.7756.1070](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7756.1070)



Results and Discussion: In Eucalyptus, the bio-fertilizer treatments resulted in a 100% survival rate, while the control treatment had a survival rate of 97.3%. In the Mofid hybrid poplar, the highest survival rate was observed in the mycorrhiza treatment at 94.7% and the lowest was in the processed fertilizer treatment at 80%.

When comparing the mean collar diameter growth for the Mofid hybrid poplar species, a significant difference was found at the 5% level. The maximum collar diameter growth was recorded in the animal manure treatment (72.2 mm), whereas the minimum was in the control treatment (22.2 mm). For Eucalyptus, the highest mean collar diameter growth was observed in the mycorrhiza treatment (87.6 mm), with the lowest in the control treatment (25.5 mm). Regarding height growth in the Mofid hybrid poplar species, the mycorrhiza treatment resulted in the highest growth (195.75 cm) and the control treatment the lowest (152.5 cm). For Eucalyptus, the highest height growth was in the mycorrhiza treatment (325.5 cm), while the lowest was in the control treatment (209.51 cm). Statistical results indicated that mycorrhiza significantly increased both collar diameter and height in both species. Additionally, Eucalyptus demonstrated superior growth compared to Mofid hybrid poplar, showing 45% more collar diameter growth and 32% more height growth.

Conclusion: Based on the results, the mycorrhiza fertilizer treatment led to better survival rates for both Eucalyptus and the Mofid hybrid poplar species compared to other treatments. Furthermore, it is recommended that under similar environmental conditions and considering the examined characteristics, the survival and growth of Eucalyptus and Mofid hybrid poplar seedlings under the influence of various bio-fertilizer treatments be prioritized. Eucalyptus should be given priority in wood farming and plantation plans due to its superior performance compared to the Mofid hybrid poplar.



اثر کودهای زیستی و کود آلی بر زنده‌مانی و رویش نهال‌های اکالیپتوس و صنوبر هیبرید مفید در یک منطقه خشک

هانی‌ه شاه‌قبادی^۱، صنم شریفی^۲، وحید اعتماد^۳، محسن جوانمیری پور^{۴*}، انوشیروان شیروانی^۵، محمد متینی‌زاده^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۴- استادیار، بخش تحقیقات و آموزش جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۵- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: mm.javanmeri@gmail.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

زراعت چوب، قطر یقه، ارتفاع، کود
مایکوریزا، گونه‌های تند رشد.

در مناطق خشک، کشاورزی و جنگل‌کاری با چالش‌های زیادی مواجه است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تأمین مواد مغذی و آب کافی برای گیاهان است. در این مناطق، استفاده از کودهای زیستی و آلی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود رویش و زنده‌مانی نهال‌ها داشته باشد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر کودهای زیستی و آلی بر ویژگی‌های رویشی قطر یقه، ارتفاع و زنده‌مانی نهال‌های اکالیپتوس و هیبرید صنوبر در شهرستان شوش بود. در این آزمایش، ۶۰۰ نهال در بلوک‌های کاملاً تصادفی با تیمارهای مختلف کاشته شدند و قطر یقه و ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، نهال‌ها با تیمارهای کودهای حیوانی، مایکوریزا، فرآوری شده و شاهد با فاصله ۳×۳ متر با سه تکرار و در هر تکرار ۲۵ اصله کاشته شدند. مایکوریزا بیشترین زنده‌مانی (۹۴/۷٪) را در صنوبر داشت ولی تفاوت معنی‌داری بین کودها مشاهده نشد. بیشترین رویش قطری مربوط به کود حیوانی (۲/۷۸ میلی‌متر) و کمترین به تیمار شاهد (۲/۲۲ میلی‌متر) بود. همچنین، مایکوریزا بیشترین ارتفاع (۹۵/۷۵ سانتی‌متر) و تیمار شاهد کمترین (۵۲/۱ سانتی‌متر) را داشت. در اکالیپتوس، مایکوریزا بیشترین رویش قطری (۶/۸۷ میلی‌متر) و تیمار شاهد کمترین (۵/۸ میلی‌متر) را نشان داد. همچنین، مایکوریزا بیشترین ارتفاع (۲۵۵/۳ سانتی‌متر) و تیمار شاهد کمترین (۲۰۹/۵ سانتی‌متر) را داشت. مایکوریزا در هر دو گونه باعث افزایش معنی‌دار قطر و ارتفاع و افزایش زنده‌مانی شده است. همچنین، به‌طور کلی اکالیپتوس رشد قطری و ارتفاعی بهتری نسبت به صنوبر داشت، به‌طوری‌که اکالیپتوس از نظر قطری ۴۵٪ و از نظر ارتفاعی ۳۲٪ بیشتر از صنوبر بود.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۲۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۵/۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۰۴

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت در نتیجه افزایش نیاز به چوب و فرآورده‌های آن و دخل و تصرف در جنگل‌ها، اهمیت جنگل‌کاری و تولید چوب خارج از جنگل را بیشتر نموده است (Karimi et al., 2019, Adibnejad & Mohammadi Limaiei, 2020, Sanchouli et al., 2021). اثرات جنگل‌کاری‌ها از قبیل حفظ ارزش‌های محیطی فراوان، در مقایسه با تولید چوب اهمیت و ارزش به‌مراتب بیشتری را دارا است (Saleheh Shooshtari et al., 2012). زراعت چوب شیوه‌ای کارآمد و مؤثر شامل عملیات کاشت گونه‌های تند رشد با هدف برداشت چوب حداکثر با کیفیت مطلوب به‌منظور تأمین مصارف مختلف می‌باشد (Aminpour, 2008, Khayati Nezhad et al., 2018). با توجه به موقعیت جغرافیایی و اولویت صنایع چوب و کاغذ، انواع گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در طرح‌های زراعت چوب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Shabanian et al., 2019). به همین دلیل کشت گونه‌های تند رشد و چوبده در اطراف مزارع کشاورزی به‌صورت تلفیقی و یا کشت یک نوع گونه درختی در داخل مزارع ترویج داده شد (Kotwal et al., 2008). در ایران و سایر نقاط دنیا به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که گونه‌های جنس صنوبر و اکالیپتوس در مقایسه با دیگر درختان برخوردار هستند، بیشترین سهم زراعت چوب به این گونه‌ها اختصاص داده شده است (Karamian et al., 2015).

از بین درختان اکالیپتوس، گونه کاملدولنسپس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) علاوه بر رشد ارتفاعی بالا دارای قطر قابل قبولی است و در بیشتر مناطق ریشی ایران از سازگاری خوبی برخوردار بوده و دارای رشد حجمی مطلوبی است (Abbas Aliyan & Zaferani, 2010). این گونه در گذشته در مناطق مختلف خوزستان مورد پژوهش قرار گرفته است و نتایج آزمایش‌ها حاکی از رویش بالا و سازگاری خوب این گونه می‌باشد، اما در صنایع کاغذسازی با محدودیت‌هایی از قبیل بافت متخلخل چوب اکالیپتوس روبه‌رو است که می‌تواند کیفیت پایین‌تر از کاغذ نهایی را باعث شود. همچنین، مواد شیمیایی خاص در چوب اکالیپتوس ممکن است با فرآورده‌های بازیافت کاغذ تداخل داشته باشد و کیفیت بازیافت را کاهش دهد. همچنین، مقاومت بالای

چوب اکالیپتوس در برابر روغن ممکن است در فرآورده‌های صنعتی مرتبط با کاغذسازی به مشکلاتی منجر شود (Gopinath et al., 2018). به همین دلیل تلاش می‌گردد تا از پتانسیل سایر گونه‌های درختی در زمینه تولید چوب مانند صنوبر هیبرید مفید که قابلیت‌های خوبی از نظر سازگاری با مناطق گرم جنوب کشور نشان داده و به‌لحاظ چوب سفید، محدودیتی برای صنایع کاغذسازی کشور ندارد (Jafari Mofidabadi et al., 2016)، به کمک کودهای زیستی استفاده شود. صنوبر مفید، هیبرید بین گونه‌های پده با خصوصیت رشد بطئی ولی مقاوم در شرایط سخت و کبوده (*Populus euphratica*) می‌باشد که گونه‌ای دارای رشد زیاد است.

کود زیستی، یک محصول آلی است که مواد طبیعی مانند کودهای حیوانی، کمپوست، یا میکروارگانیسم‌های مفید را شامل می‌شود. این کودها برای افزایش بهره‌وری خاک و تغذیه گیاهان به‌صورت طبیعی و زیستی استفاده می‌شوند. مصرف کودهای زیستی کم هزینه‌تر از کودهای شیمیایی بوده و در اکوسیستم آلودگی به وجود نمی‌آورند. کودهای زیستی حاوی ریز اندامگانی (میکروارگانیسم) هستند که عناصر غذایی را به میزان کافی برای اطمینان از رشد و نمو مناسب گیاهان در اختیار آنها قرار می‌دهند و همچنین تنظیم فیزیولوژی گیاهان را تسهیل می‌کنند (Azarnia et al., 2015).

Watt و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند اکالیپتوس تیمار شده با کود مایکوریزا و آبسیزیک اسید بیشترین درصد زنده‌مانی و رشد را داشتند که این مقدار در حدود ۹۶٪ است. چنین نتیجه‌ای با یافته‌های به دست آمده در تحقیق حاضر دارای همسویی است.

یافته‌های تحقیق Cesar و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد حضور قارچ‌های ساپروب و میکوریزا آربوسکولار (AM) علاوه بر تأثیر مثبت بر رشد قطری و ارتفاعی گیاه باعث افزایش وزن خشک، طول اندام هوایی، غلظت کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و مقدار کلروفیل در اندام هوایی *E. globulus* شدند که با نتایج تحقیق حاضر در یک راستا قرار دارد.

یافته‌های حاصل از یک تحقیق نشان داد تلقیح قارچ‌های میکوریز آربوسکولار AM یا آروسپیریلوم (*Gigaspora margarita*، *Glomus deserticola*، *G. fasciculatum*، *G.*

شد که مطالعات چشمگیری در ایران (Rohipour & Lashkar-Blouki, 2005؛ Shushtri, 2005؛ Karmian et al., 2015؛ Parsadoost et al., 2017؛ Calagari et al., 2015؛ Kohane, 2015؛ Sugavanam et al., 2000) و در خارج از کشور (al., 2021؛ Lovelock et al., 2003؛ Beauchamp et al., 2005؛ Cesar et al., 2007؛ Singh et al., 2007) انجام شده است اما تمرکز بیشتر تحقیقات بر روی گونه اکالیپتوس است و اندک پژوهش‌هایی در مورد گونه هیبرید صنوبر مفید انجام شده است. همچنین استفاده از کودهای زیستی (کود حیوانی، میکوریزا و فرآوری) باعث تمایز این پژوهش با مطالعات مشابه شده است.

هدف از این پژوهش، تأثیر تیمارهای مختلف کود زیستی بر ویژگی‌های رویشی و زنده‌مانی درختان تند رشد هیبرید صنوبر مفید (*Populus euphratica* Oliv. X *P. alba* L. و نوعی اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) در یک منطقه خشک است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۲۳۶ کیلومتر مربع، بین ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی، در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است. شهرستان شوش ۵/۶ کیلومتر مربع مساحت در ۲۴ کیلومتری جنوب دزفول و ۱۱۵ کیلومتری اهواز بین ۳۲ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). میانگین ارتفاع از سطح دریا در شهر شوش، ۸۷ متر است.

شهرستان شوش در جلگه خوزستان قرار گرفته است و ناهمواری خاصی در آن دیده نمی‌شود. این شهرستان به‌صورت دشت هموار و جلگه آبرفتی حاصلخیز است. دشت شوش نسبتاً کم عرض است که در جهت شمالی و جنوبی قرار گرفته و بین دو رودخانه کرخه و دز محصور شده است. رود شاوور نیز به موازات این دو رود جریان دارد.

رشد، زیست توده، کلونیزاسیون ریشه و غلظت N، P و K بافتی شد و پاسخ‌های قابل توجهی در گیاهان تلقیح شده با *G. versiforme* یا *G. margarita* در ارتباط با *Azospirillum* گزارش شد (Sugavanam et al., 2000) که تأییدکننده نتایج تحقیق حاضر است.

اثرات ترکیب میکوریزا و ژن‌های عملکردی را نسبت به تنوع در محرک‌های شناخته شده رشد درخت با ترکیب بررسی‌های میکوریزا مولکولی زوجی با داده‌های موجودی جنگل در ۱۵ کشور اروپایی آزمایش شد. نتایج نشان داد که ترکیب میکوریزا با تفاوت سه برابری در نرخ رشد درخت حتی هنگام کنترل محرک‌های غیر زنده اولیه رشد درخت مرتبط است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب میکوریزا یک شاخص زیستی قوی برای محرک‌های زمینه‌ای رشد درخت است و یا اینکه تنوع جوامع میکوریزا جنگل باعث تفاوت در رشد درخت می‌شود (Anthony et al., 2022).

رشد درخت، خواص خاک، و کلون قارچ ریشه میکوریزا در جنگل‌کاری‌های *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden در سننین مختلف ارزیابی شد. ترکیب جامعه قارچی میکوریزا را با توالی‌یابی با توان عملیاتی بالا شناسایی گردید و یک مدل معادله ساختاری در میان آنها شامل درختان، خاک و قارچ‌های میکوریزا ایجاد شد. یافته‌های اصلی شامل موارد زیر است: (۱) کل فسفر (P) و پتاسیم کل (K) در خاک تحت یک کاهش اولیه قرار گرفت و به‌دنبال آن افزایش با سن‌های مختلف توده. (۲) میزان کلون میکوریزا ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. (۳) ترکیب جامعه قارچی میکوریزا به‌طور قابل توجهی با سننین مختلف تغییر کرد، اما تغییر قابل توجهی در تنوع وجود نداشت. (۴) *Paraglomus* و *Glomus* جنس غالب بودند که به‌ترتیب ۷۰/۱٪ و ۲۱/۸٪ از فراوانی نسبی را تشکیل می‌دادند. (۵) جنس‌های غالب عمدتاً تحت تأثیر فسفر خاک، محتوای ازت و تراکم ظاهری بودند، اما عوامل اصلی با سن توده متفاوت بودند (Jiang et al., 2024).

در رابطه با پژوهش‌های انجام شده در مورد مقایسه دو گونه اکالیپتوس و هیبرید صنوبر مفید در راستای تأمین نیازهای چوبی، پس از بررسی‌های به عمل آمده مشخص

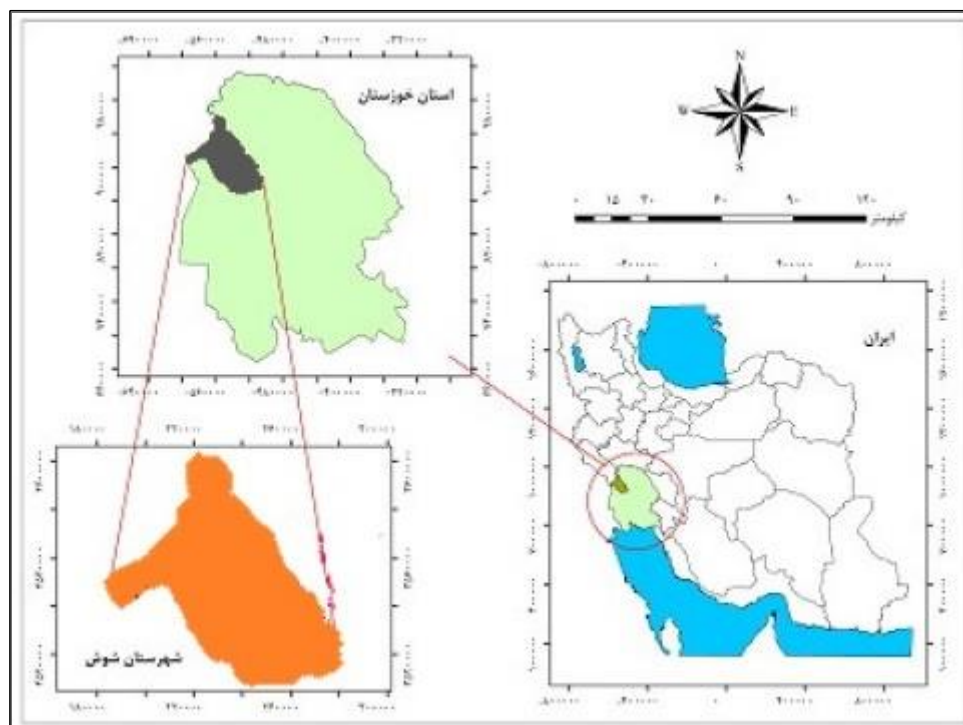
و مطالعات قبلی که از خاک منطقه توسط این شرکت به عمل آمده به‌ترتیب حدود ۱/۰۷ و ۰/۶۲ می‌باشد. خاک منطقه از نظر درصد اسیدیته قلیایی است و میزان آن بالاتر از ۸/۳۱ اعلام گردیده است (جدول ۱).

بر اساس نمونه خاکی که از منطقه برداشت گردیده بافت خاک منطقه مورد مطالعه از نوع شنی- لومی است و میزان فسفر قابل جذب آن ۲/۴۷ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد، درصد ماده آلی و کربن نیز بر اساس این مطالعه

جدول ۱. برخی از پارامترهای فیزیک و شیمی خاک

Table 1. Number of physical and chemical parameters of the soil

C/N	ماده آلی (%) Organic matter (%)	کربن (%) Carbon (%)	آهک (%) Lime (%)	رطوبت خاک (%) Soil moisture (%)	فسفر (ppm) Phosphorus (ppm)	پتاسیم (ppm) potassium (ppm)	نیترژن (%) Nitrogen (%)	پتانسیل هیدروژن pH	هدایت الکتریکی (ds/m)	منیزیم (meq/l) Magnesium (meq/l)	کلسیم (meq/l) Calcium (meq/l)	تخلخل (%) Porosity (%)	بافت خاک Soil texture	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density
۱:۱۰	۱۰۷	۰۶۲	۱۹۳۲	۱۶۵	۲۴۷	۱۴۹۶	۰۰۹	۸۳۱	۲	۸	۲۲۸	۴۶	LSC	۱۴۳۱



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان شوش

Fig 1. Geographical location of Shush city

و نزولات به‌صورت باران می‌باشد. این منطقه حدود ۹ ماه از سال فاقد بارش و همراه با خشکی شدید است. عرصه مورد نظر مسطح و خاک اراضی از نوع آبرفتی، بافت خاک شنی و رسی و مناسب برای صنوبر کاری است. برای آبیاری درختان از پمپاژ آب یک حلقه چاه نیمه عمیق حفر شده در کارخانه استفاده شد.

محل اجرای پژوهش اراضی شرکت صنایع کاغذ پارس واقع در اطراف شهرستان شوش واقع در استان خوزستان به فاصله ۲۰ کیلومتری مرکز استان قرار دارد. این منطقه در عرض ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۳۵۰ متر است. میانگین بارندگی سالیانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر

ریشه لخت از نهالستان بزرگ کرج تهیه و به محل کاشت منتقل شد و همچنین نهال اکالیپتوس یک‌ساله از نهالستان بخش خصوصی شهرستان شوش به‌صورت گلدانی تهیه، حمل و کاشت شد.

برای کاشت نهال‌ها، ۶۰۰ چاله به ابعاد ۱×۱×۱ متر توسط بیل مکانیکی حفر شد. در هنگام کاشت اطراف نهال از خاک مرغوب پر گردید و در چاله‌هایی که قرار بود در مورد آن‌ها تیمار کود زیستی اجرا گردد، قبل از پر نمودن چاله خاکی که با کود مخلوط شده به‌خوبی بهم زده شد و در اطراف نهال قرار داده شد. میزان کود حیوانی گاوی و فرآوری شده (کودهای آلی از بقایای گیاهان و موجودات زنده حاصل می‌شوند، مانند کود کمپوست) در هر دو گونه نسبت ۱:۳ و کود مایکوریزا که از کشور جمهوری چک وارد شده بود (*Pisolithus arrhizus* و *Scleroderms citrinum*) با نسبت ۱:۲ با خاک ترکیب شد. عملیات داشت شامل آبیاری هفته‌ای دو بار، وچین علف‌های هرز بین درختان به دفعات مورد نیاز صورت گرفت.

آبیاری سه روز یکبار با شیلنگ از لوله‌کشی آبی انجام شد که در منطقه کاشت نهال‌ها احداث شده بود. مدت زمان دادن آب در همه چاله‌های کاشت به یک مدت معین به‌نحوی بود که تشتک آبیاری کاملاً پر شود به‌طوری که در هر نوبت به هر نهال به‌طور متوسط ۵۰ لیتر آب داده شود. آبیاری در فصول گرم در مواقعی از روز انجام شد که کمترین اتلاف و تبخیر را به‌دنبال داشته باشد. آبیاری درختان صنوبر با آغاز خزان در اواخر پاییز قطع گردید ولی گونه اکالیپتوس در تمام طول سال تا آخر پاییز ۵۰ لیتر ولی در فصل زمستان همان مقدار ولی هر ۱۰ روز یکبار آبیاری شدند. پارامترهای فیزیکی و شیمی آب در جدول ۲ آورده شده است.

بعد از کاشت نهال‌ها، اولین اقدام اندازه‌گیری‌های مشخصه‌های کمی شامل قطر یقه (دقت میلی‌متر) با دستگاه کولیس و ارتفاع نهال‌ها با دستگاه بلوم‌لایس (دقت سانتی‌متر) بود. پس از پایان اولین دوره رویش، اندازه‌گیری‌های سالانه مجدداً تکرار شد. برای اندازه‌گیری رویش قطری و ارتفاعی درختان اکالیپتوس و صنوبر مفید ارتفاع و قطر یقه نهال‌ها در حین کاشت در پایان دوره رویش در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت تا میزان رویش سالانه محاسبه شود.

طرح کاشت درختان و جامعه آماری

دو گونه مورد مطالعه، اکالیپتوس (*E. camaldulensis*) و هیبرید صنوبر (*P. euphratica* x *P. alba*) مفید در سال ۱۳۹۸ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی براساس شرایط عرصه و تفاوت‌های آن با سه تیمار متفاوت شامل کود حیوانی (گاوی)، کود مایکوریزادار، کود فرآوری شده و همین‌طور تیمار شاهد در فواصل کاشت ۳×۳ متر با سه تکرار و در هر تکرار ۲۵ اصله نهال در قطعاتی به وسعت ۲۲۵ مترمربع در عرصه‌ای به وسعت حدود یک هکتار به‌نحوی کاشته شد که بین هر قطعه با قطعه مجاور چهار متر فاصله وجود داشته باشد.

برای پوساندن کود دامی، از یک چاله دامی، از یک چاله ریخته کود استفاده شد. کود نپوسیده دامی را در چاله ریخته و به‌اندازه یک چهارم آن کاه و کلش و خاک نرم و شن اضافه شد. وجود کاه و کلش موجب تسریع فرآیند تخمیر کود و همچنین سبب تأمین سلولز مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها می‌گردد، سپس به‌ازای هر تن کاه و کلش ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم اوره اضافه شد و مخلوط حاصل را به‌طور یکنواخت مخلوط نموده و روی آن را با نایلون کاملاً پوشانیده شد تا ورودی هوا نداشته باشد. بعد از مدت یک ماه کود دوباره زیر رو شد تا به‌وسیله پمپ سمپاش آب‌پاشی شد تا رطوبت آن افزایش یابد و سپس روی کود پوشانیده شد. بعد از ۳ تا ۴ ماه کود دامی به کلی می‌پوسد و آماده استفاده می‌گردد. پوسیدگی کود سبب می‌شود که از میزان بذر علف‌های هرز و آلودگی به امراض و حشرات کاسته شود. در صورت اضافه کردن گوگرد پودری، در طی فرآیند تجزیه برخی از باکتری‌ها که در کودهای حیوانی موجود است گوگرد را تجزیه می‌کند و طی این تجزیه گاز هیدروژن و اسیدسولفوریک خارج می‌گردد و آفات و لارو حشرات را از بین می‌برد و اسیدسولفوریک باعث کم شدن pH و EC کود می‌گردد و شوری کود را از بین می‌برد. رطوبت موجود نیز آمونیاک و ازت غیر قابل جذب را آزاد می‌کند. در طی این فرآیند نیز می‌توان از باکتری EM استفاده کرد.

برای هر یک از گونه‌ها در مجموع تعداد ۳۰۰ اصله نهال از هر گونه در تمامی قطعات با تیمارهای مشخص (تکرار ۲۵ تایی) غرس گردید. در مجموع دو گونه ۶۰۰ اصله نهال کاشته شد. نهال‌های یک‌ساله صنوبر به‌صورت

جدول ۲. برخی از پارامترهای فیزیک و شیمی آب

Table 2. Numbers of chemical and physical parameters of water

مولیبدن molybdenum (µg/L)	لیتیم lithium (µg/L)	آهن iron (µg/L)	مس copper (µg/L)	کروم Chrome (µg/L)	کبالت Cobalt (µg/L)	کادمیم cadmium (µg/L)	بریلیم beryllium (µg/L)	آرسنیک Arsenic (µg/L)	فاکتور Factor
۱۰	۲۵۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	مقدار Value
پتانسیل هیدروژن pH	نیتروژن نیتراتی Nitrate nitrogen (mg/L)	هدایت الکتریکی Ec (ds/m)	بر Bor (mg/L)	روی Zinc (µg/L)	وانادیم وانادیم (µg/L)	سلنیوم Selenium (µg/L)	پالادیوم palladium (µg/L)	نیکل Nickel (µg/L)	فاکتور Value
۸.۱	۳۰	۲	۳	۲۰۰۰	۱۰۰	۲۰	۵۰۰۰	۲۰۰	مقدار Factor

آنالیز رویش قطر و ارتفاع

در گونه‌های اوکالپیتوس و صنوبر اثر تیمار کودهای زیستی بر فاکتورهای رویش قطر و ارتفاع دارای اختلاف معنادار در سطح پنج درصد می‌باشد. اثر متقابل فاکتورهای رویش قطر و ارتفاع در تیمارهای کود زیستی و گونه‌های مورد مطالعه نیز معنی‌دار است (جدول ۳).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون لون، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون مانوا با نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۲) صورت گرفت و برای مقایسه گروهی میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۳. تجزیه واریانس گونه و کود زیستی برای فاکتورهای ارتفاع و قطر

Table 3. Vario and Biomorical fertilizer analysis for height and diameter factors

منبع Source	متغیر وابسته Dependent Variable	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربع Mean Square	مقدار F F	معنی‌داری Sig.
گونه‌ها Species	ارتفاع Height	5628587.055	2	2814293.527	721.575	.000
	قطر Diameter	3871.801	2	1935.900	773.392	.000
تیمارها Treatment	ارتفاع Height	6060.672	3	2020.224	.518	.047
	قطر Diameter	78.485	3	26.162	10.452	.000
گونه * تیمار Species * Treatment	ارتفاع Height	179907.455	6	29984.576	7.688	.000
	قطر Diameter	16.739	6	2.790	1.115	.035
خطا Error	ارتفاع Height	2866654.037	735	3900.210		
	قطر Diameter	1839.800	735	2.503		
کل Total	ارتفاع Height	21066707.000	747			
	قطر Diameter	16022.202	747			

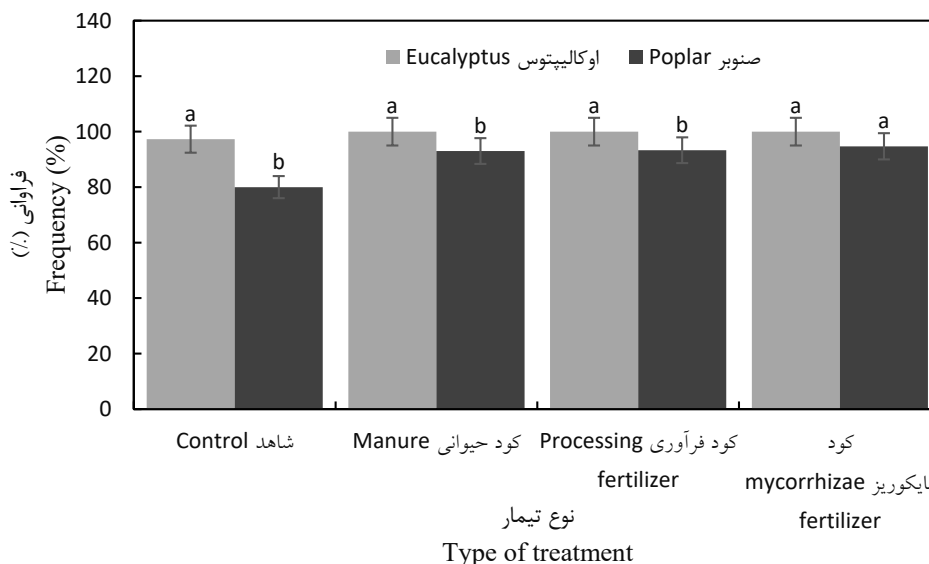
زنده‌مانی

زنده‌مانی نهال‌های اکالپیتوس نسبت به صنوبر دارای درصد زنده‌مانی بیشتری بود. در اکالپیتوس، نهال‌های دارای تیمارهای کود حیوانی، کود فرآوری و کود مایکوریزا زنده‌مانی ۱۰۰ درصد بود اما در تیمار شاهد، ۹۷/۳ درصد

در شکل ۲ نتایج به‌دست آمده برای درصد زنده‌مانی نهال‌های صنوبر و اکالپیتوس ارائه گردیده است. نتایج نشان داد که در تمام تیمارها به‌جز تیمار کود مایکوریزا،

بین کودهای مختلف مشاهده نشد، در حالی که در تیمار شاهد با تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کودی، کمترین مقدار (۸۰٪) زنده‌مانی مشاهده گردید (شکل ۲).

پایه‌ها زنده ماندند، هر چند این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود. در صنوبر نیز، هر چند بالاترین درصد زنده‌مانی متعلق به تیمار مایکوریزا با ۹۴/۷ درصد بود اما تفاوت معنی‌داری



شکل ۲. درصد زنده‌مانی نهال‌های صنوبر و اکالیپتوس

Fig 2. Survival percentage in Poplar and Eucalyptus seedlings

به سال ۱۳۹۹ به‌طور معنی‌داری تفاوت دارد. بیشترین مقدار میانگین قطر در گونه اکالیپتوس در تیمارهای کود مایکوریزا و کود فرآوری مشاهده شد که مقدار آن‌ها در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۴ و ۱۰/۴ سانتی‌متر بود. بیشترین مقدار میانگین قطر در گونه صنوبر در تیمار کود مایکوریزا مشاهده شد که مقدار آن‌ها در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۵/۴۱ و ۷/۶ سانتی‌متر بود.

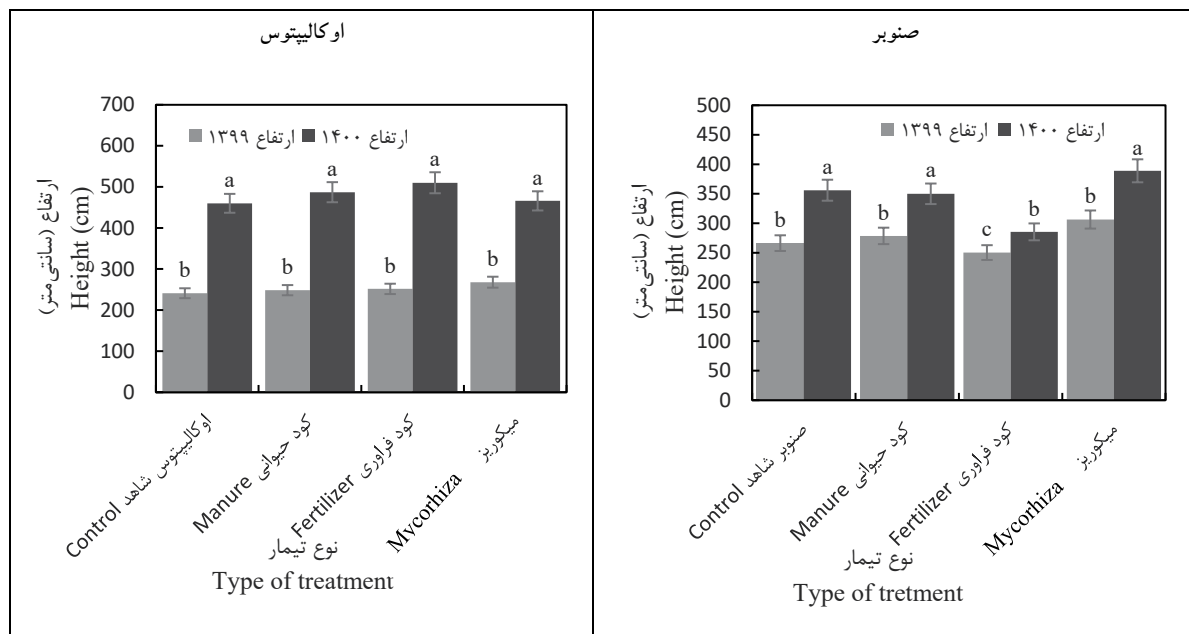
نتایج مقایسه میانگین رویش قطر یقه برای صنوبر در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیشترین رویش قطر یقه برای تیمار کود حیوانی (۲/۷۸ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۲/۲۲ سانتی‌متر) است. مقدار مربوط به تیمارهای مایکوریزا و کود فرآوری به‌ترتیب برابر با ۲/۶ و ۲/۵ سانتی‌متر می‌باشد. صنوبر با تیمار کود مایکوریزا، کود فرآوری و کود حیوانی به‌صورت معناداری بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۵). در صنوبر مقدار قطر یقه در تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری با سایر تیمارها تفاوت دارد.

میانگین ارتفاع

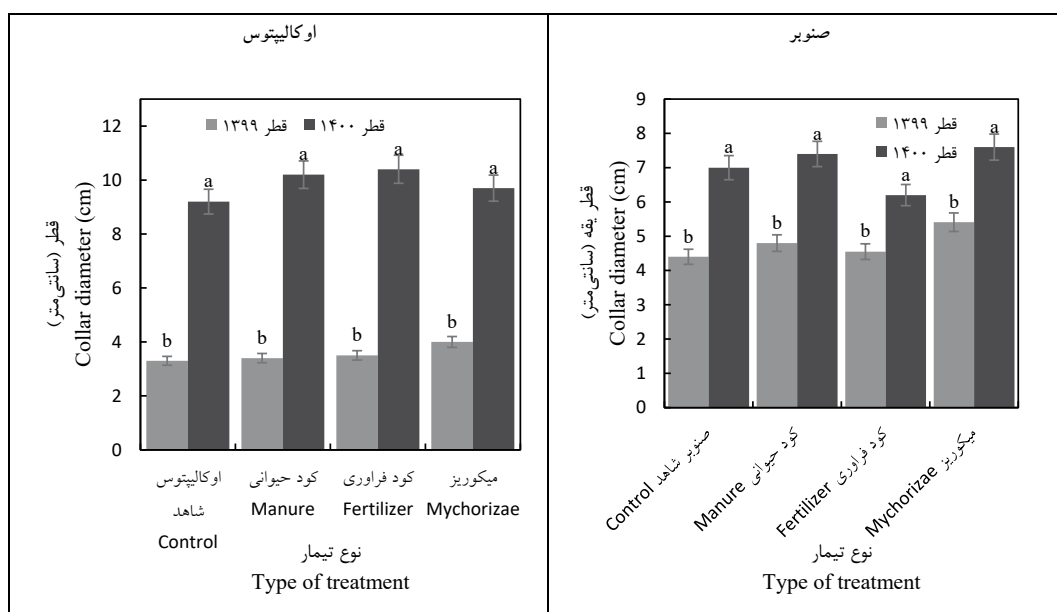
در شکل (۳) میانگین ارتفاع در گونه‌های اکالیپتوس و صنوبر در تیمارهای مختلف در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ ارائه گردیده است. نتایج نشان داد مقدار ارتفاع در گونه اکالیپتوس در تیمارهای مختلف در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ به‌طور معنی‌داری تفاوت دارد در حالی که در گونه صنوبر وضعیت معنی‌داری تا حدودی دارای تفاوت است. بیشترین مقدار میانگین ارتفاع در گونه اکالیپتوس در تیمارهای کود مایکوریزا و کود فرآوری مشاهده شد که مقدار آن‌ها در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۲۶۷/۸ و ۵۱۰ سانتی‌متر بود. بیشترین مقدار میانگین ارتفاع در گونه صنوبر در تیمار کود مایکوریزا مشاهده شد که مقدار آن‌ها در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۳۰۶/۲۵ و ۳۸۸/۹ سانتی‌متر بود.

قطر یقه

مقدار میانگین قطر یقه در تیمارهای مورد استفاده برای گونه‌های اکالیپتوس و صنوبر در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در شکل (۴) ارائه شده است. مقدار قطر یقه در صنوبر و اکالیپتوس در تیمارهای مختلف در سال ۱۴۰۰ نسبت



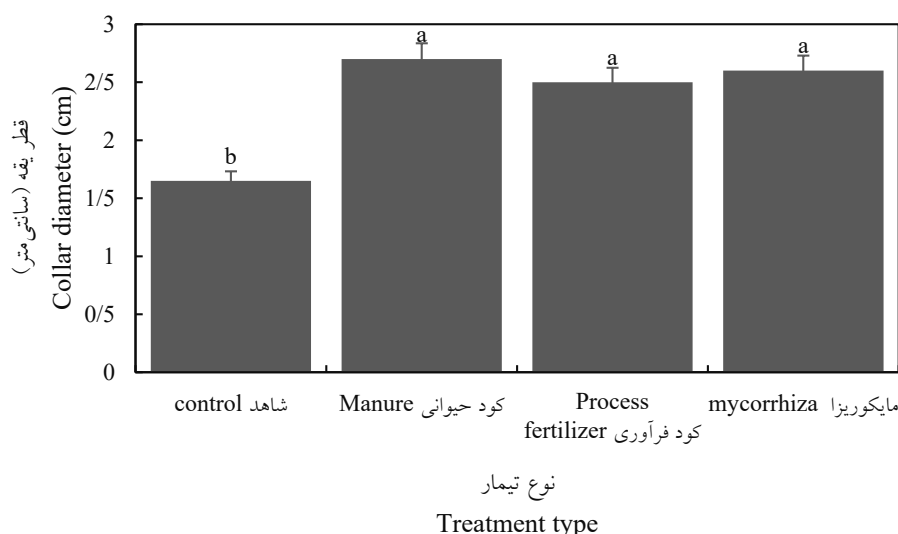
شکل ۳. میانگین ارتفاع در گونه‌های اوکالپتوس و صنوبر در تیمارهای مختلف در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰
 Fig 3. The average height of Eucalyptus and Poplar in different treatments in 2020 and 2021



شکل ۴. میانگین قطر یقه در گونه‌های اوکالپتوس و صنوبر در تیمارهای مختلف در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰
 Fig 34.3. The average collar diameter of Eucalyptus and Poplar in different treatments during 2020 and 2021

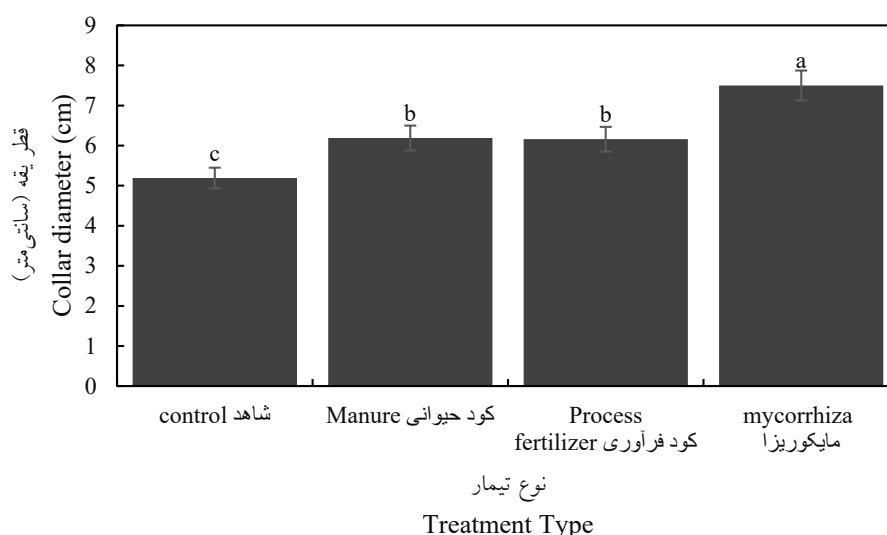
نشان داد بیشترین رویش قطر یقه برای تیمار کود میکوریزا (۶/۸۷ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۵/۸ سانتی‌متر) می‌باشد. اوکالپتوس با تیمار کود میکوریزا به‌صورت معناداری بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۶).

نتایج مقایسه میانگین رویش قطر یقه برای اوکالپتوس در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان ارائه شده است. نتایج نشان داد مقدار قطر یقه در تیمارهای کود میکوریزا و شاهد به‌طور معنی‌داری با سایر تیمارها تفاوت دارند. نتایج مقایسه میانگین رویش قطر یقه در اوکالپتوس



شکل ۵. مقایسه میانگین رویش قطر یقه گونه صنوبر در تیمارهای مختلف

Fig5. Comparison of the mean collar diameter of the Poplar in different treatments

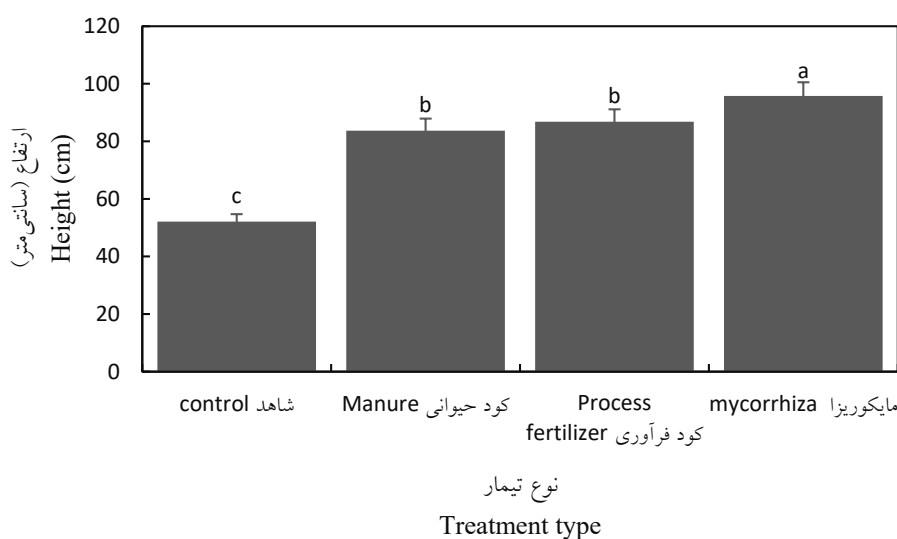


شکل ۶. مقایسه میانگین‌ها در قطر یقه گونه اکالیپتوس

Fig6. Comparison of the mean collar diameter of the Eucalyptus in different treatments

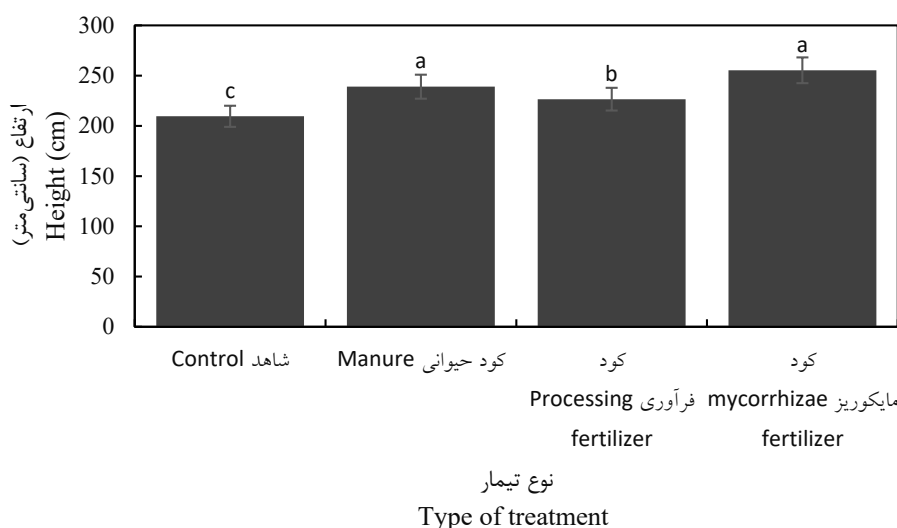
در اوکالیپتوس مقدار ارتفاع در بین تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری با همدیگر تفاوت دارند. نتایج مقایسه میانگین رویش ارتفاع در گونه اکالیپتوس نشان داد بیشترین رویش ارتفاع برای تیمار کود مایکوریزا (۲۵۵/۳ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۲۰۹/۵۱ سانتی‌متر) می‌باشد. ارتفاع گونه اکالیپتوس با تیمار کود مایکوریزا و حیوانی به‌صورت معناداری بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۸).

نتایج مقایسه میانگین رویش ارتفاعی برای صنوبر در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین رویش ارتفاعی برای تیمارهای کود مایکوریزا (۹۵/۷۵ سانتی‌متر)، کود فرآوری (۸۶/۸ سانتی‌متر) و کود حیوانی (۸۳/۷ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۵۲/۱ سانتی‌متر) می‌باشد. در صنوبر مقدار ارتفاع در تیمار کود مایکوریزا به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر است.



شکل ۷. مقایسه میانگین رویش ارتفاع در گونه صنوبر

Fig7. Comparison of the average growth height of the Poplar

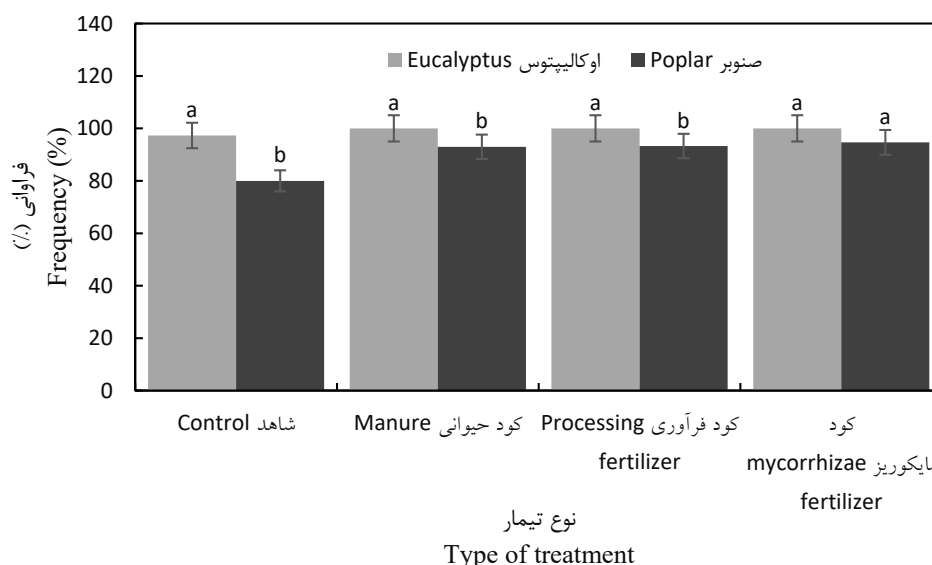


شکل ۸. مقایسه میانگین‌های ارتفاع گونه اکالیپتوس

Fig 8. Comparing the height averages of the Eucalyptus

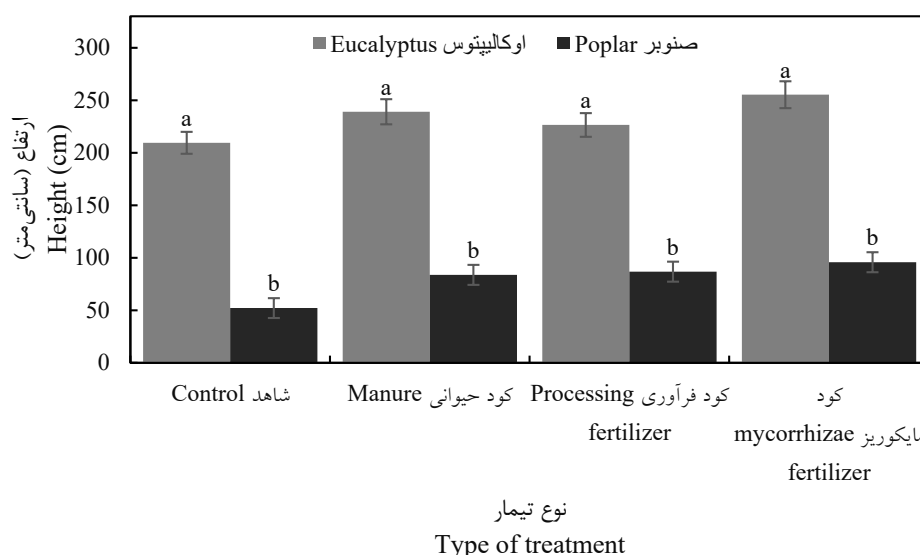
نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از کود زیستی بر زنده‌مانی، رشد قطری و رشد ارتفاعی گونه اکالیپتوس تأثیر مثبت دارد. همچنین زنده‌مانی در نهال‌های دارای تیمار بیشتر از نهال شاهد هر گونه است که نتایج به‌دست آمده با نتیجه به‌دست آمده در تحقیق Lovelock و همکاران (۲۰۰۳) هم‌راستا است. در تحقیق یاد شده، در رابطه با تأثیر مایکوریزا بر رشد درختان جنگل‌های استوایی به این نتیجه رسیدند که کود مایکوریزا باعث افزایش رشد و همچنین حفظ تنوع گیاهی در جنگل می‌شود. همین محقق در تحقیق دیگری با توجه مطالعه‌ای که بر روی

مقایسه میانگین قطر تیمارهای مختلف در دو گونه اکالیپتوس و هیبرید صنوبر مفید در شکل (۹) ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین قطر یقه در گونه‌های اکالیپتوس و صنوبر مفید نشان داد قطر یقه برای گونه اکالیپتوس با ۶/۴ میلی‌متر از قطر یقه صنوبر با ۲/۵ سانتی‌متر بیشتر می‌باشد (شکل ۹). نتایج مقایسه میانگین رویش ارتفاع در گونه‌های اکالیپتوس و صنوبر مفید نشان داد ارتفاع برای گونه اکالیپتوس با ۲۳۲/۷ سانتی‌متر از قطر یقه صنوبر با ۷۹/۶ سانتی‌متر بیشتر می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۹. مقایسه میانگین قطر تیمارهای مختلف در دو گونه اکالیپتوس و هیبرید صنوبر مفید

Fig9. Comparison of the average diameter of different treatments in the Eucalyptus and the Mofid hybrid poplar



شکل ۱۰. مقایسه میانگین ارتفاع تیمارهای مختلف در دو گونه اکالیپتوس و هیبرید صنوبر مفید

Fig 10. Comparison of the average height of different treatments in the Eucalyptus and the Mofid hybrid poplar

Beauchamp *et al.*, 2005؛ 2011). یافته‌های تحقیق Beauchamp و همکاران (۲۰۰۵) در مورد تأثیر تلقیح قارچ میکوریزی بر رشد گونه صنوبر نشان داد باعث افزایش رشد حجمی و ارتفاعی صنوبر گردید با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از تیمار مایکوریزا باعث افزایش درصد زنده‌مانی گونه صنوبر نسبت به گونه شاهد خودش می‌شود. این نتایج همسو با مطالعات Hoeksema و همکاران (۲۰۱۰) است. آن‌ها در پژوهش خود به این نکته اشاره می‌کنند که میکوریزا

گونه چنار انجام داد نتیجه گرفت که قارچ میکوریزا در کنار کودهای شیمیایی و آلی، به‌عنوان یک کود زیستی مناسب موجب رشد مطلوب درخت چنار شد (Lovelock *et al.*, 2003).

حاصل نتایج پژوهش انجام شده بر گونه هیبرید صنوبر مفید حاکی از افزایش ارتفاع و قطر نهال‌های غرس شده می‌باشد. کود مایکوریزا، باعث افزایش رشد چشمگیر این گونه نسبت به سایر تیمارهای اعمال شده گردیده است. افزایش رشد در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Rooney *et al.*,

منابع

- Abbas Aliyan, V. H., & Zafarani, H. (2010). Eucalyptus is a suitable tree species for saline and waterlogged lands, Scientific, Specialized, *Agricultural Monthly*, No. 789 [In Persian]. DOI: [10.1016/j.agee.2016.08.025](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.025)
- Adibnejad, M. & Mohammadi Limaei, S. (2020). Determining the optimal economic exploitation age of Pinus taeda species in northern Iran. *Environmental Science and Technology*, 22(3), 229-239 [In Persian]. <https://sid.ir/paper/401238/en>
- Anthony, M.A., Crowther, T.W., van der Linde, S. (2022). Forest tree growth is linked to mycorrhizal fungal composition and function across Europe. *ISME J*, (16), 1327–1336. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-01159-7>
- Azarnia, M., Safikhani, S. & biabani A. (2015). The effect of Bio-Fertilizer on Crops yield, sustainable agriculture and organic farming. *Journal of Biosafety*, 8 (2), 85-97 [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.27170632.1394.8.2.9.6>
- Beauchamp, V.B., Stromberg, J.C. & Stutz, J.C. (2005). Interactions between *Tamarix ramosissima* (Saltcedar), *Populus fremontii* (Cottonwood), and Mycorrhizal Fungi: Effects on Seedling Growth and Plant Species Coexistence. *Plant Soil*, 275, 221-231. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-1740-7>
- Calagari, M., salehi shanjani, P. & Banj Shafiei, S. (2017). Growth comparison of two poplar species (*Populus alba* and *Populus euphratica*) and their hybrid in the saline and non-saline soils. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(1), 143-154 [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1396.30.1.13.2>
- باعث افزایش سطح جذب ریشه به دلیل افزایش در تعداد ریشه‌های جانبی می‌شود و توسعه ریشه‌های جانبی یک رویکرد مهم است که گستره جذب و حجم بستر مورد استفاده ریشه را افزایش می‌دهد و در نهایت به زنده‌مانی و تحمل خشکی نهال کمک می‌کند. همچنین Dempster و همکاران (۲۰۱۲) به این موضوع اشاره کردند که استفاده از قارچ میکوریزا در نهال اکالیپتوس باعث ارتقای رشد و افزایش محتوای فسفر گیاهچه می‌شود که منجر به افزایش درصد زنده‌مانی گونه‌ها می‌شود.
- نتایج بررسی سیستم‌های زراعی مبتنی بر صنوبر در هند نشان داد صنوبر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و پایدارتر از سایر تناوب‌های زراعی است زیرا درصد زنده‌مانی بالاتری نسبت به دیگر گونه‌ها دارد (Singh et al., 2007). نتایج کاشت دو هیبرید صنوبر (Populus 11-11 و 01D-) در کرت‌هایی در فواصل ۰/۵، ۱ و ۲ متر در طی یک دوره ۷ ساله نشان داد، درصد زنده‌مانی این گونه حدود ۹۸ درصد می‌باشد (Sannigrahi et al., 2010). این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر در مورد نرخ زنده‌مانی صنوبر تفاوت دارد. علت این عدم همخوانی در رابطه با گونه صنوبر، فاصله مکانی و نحوه حمل و نقل این گونه بوده است که احتمالاً باعث افزایش تلفات و درصد زنده‌مانی کمتر نسبت به اکالیپتوس شده است.
- نتیجه‌گیری**
- با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه پیشنهاد می‌شود در شرایط محیطی یکسان و با توجه به ویژگی‌های بررسی شده زنده‌مانی تحت تأثیر تیمارهای مختلف کود زیستی بر میزان زنده‌مانی و رویش نهال اکالیپتوس و هیبرید صنوبر مفید در طرح‌های زراعت چوب و جنگل کاری گونه اکالیپتوس دارای عملکرد بهتری بوده و نسبت به هیبرید صنوبر مفید در اولویت کاشت قرار دارد.
- سپاسگزاری**
- از شرکت صنایع کاغذ پارس که در طی مراحل مختلف انجام این تحقیق نهایت همکاری را داشتند، صمیمانه سپاسگزاریم.

- grandis Plantations at Different Ages in Southern Jiangxi, China. *Journal of Fungi*, 10(6), 404. <https://doi.org/10.3390/jof10060404>.
- Karimi, H., Karami, G. & Mousavi, S. M. (2019). Investigating of characteristic and contexts of agroforestry system development. *Human & Environment*, 17(2), 79-90. <https://www.magiran.com/p2038936>
- Karamian, R. (2015). Sustainable Forestry: Concepts, Challenges, and Opportunities. *Sustainable Development*, 25(3), 223-235
- Kotwal, P. C., Omprakash, M. D., Gairola, S. & Dugaya, D. (2008). Ecological indicators: Imperative to sustainable forest management. *Ecological Indicators*, 8(1), 104-107. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.01.004>.
- Lovelock, C.E., Andersen, K. & Morton, J.B. (2003). Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia*, 135, 268-279. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1166-3>.
- Khayati Nezhad, S., hosseinzadeh, O. , Hajjarian, M. , & Abdi, M. (2018). Strategic planning for wood farming development (Case study: Urmia). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(4), 533-548. [Dor:20.1001.1.20089066.1396.8.4.5.4](https://doi.org/10.1001/1.20089066.1396.8.4.5.4)
- Parsadoost, F., Dehghani, M., Tedinnejad, M. & Calagri, M. (2021). The effect of salinity stress on the physiological and vegetative characteristics of two poplar species and their hybrids. [http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.122](https://doi.org/10.1001/1.23222727.1400.10.41.122).
- Rooney, D. C., Prosser, J. I., Bending, G. D., Baggs, E. M., Killham K. & Hodge, A. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal colonisation on the growth and phosphorus nutrition of *Populus euramericana* c.v. Ghoy. *Biomass and Bioenergy*, Cesar, A., Herrera, M. A. & Ocampo, J. A. (2007). Beneficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Eucalyptus globulus* co-cultured with *Glycine max* in soil contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 84 (1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.05.005>.
- Dempster, D. N., Gleeson, D. B., Solaiman, Z. I., Jones, D. L. & Murphy, D. V. (2012). Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with *Eucalyptus* biochar addition to a coarse textured soil. *Plant and Soil*, 354(1), 311-324. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1067-5>.
- Hoeksema, J. D., V. B. Chaudhary, C. A. Gehring, N. C. Johnson, J. Karst, R. T. Koide, A. Pringle, C. Zabinski, J. D. Bever, J. C. Moore, G. W. T. Wilson, Klironomos, J. N. & Umbanhowar, J. (2010). A meta-analysis of context dependency in plant response to inoculations with mycorrhizal fungi. *Ecology Letters*, 13, 394-407. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01430.x>.
- Gopinath, B., Kifley, A., Flood, V.M. & Mitchell, P. (2018). Physical Activity as a Determinant of Successful Aging over Ten Years. *Science Reports*, 12, 8(1), 10522. [doi: 10.1038/s41598-018-28526-3](https://doi.org/10.1038/s41598-018-28526-3).
- Jafari Mofidabadi, A. Ghameri-Zare, A. & Iranmanesh, Y. (2016). Yield evaluation of new interspecific poplar hybrids introduced to Chaharmahal and Bakhtiari province for poplar plantation. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 24 (2), 243-248. <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2017.109414>.
- Jiang Y, Mo X-Y, Liu L-T, Lai G-Z, & Qiu G-W. (2024). Changes in the Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community in the Roots of *Eucalyptus*

- Watt, M., Whitehead, D., Mason, E., Richardson, B. & Kimberely, M. (2003). The influence of weed competition for light and water on growth and dry matter partitioning of young *Pinus radiata*, at a dryland site. *Forest Ecology and Management*, 183 (1-3), 363-376. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00139-7).
- 35, 4605-4612. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.015>.
- Saleheh Shooshtari, M. H. & Rouhipour, H. (2005). Eucalyptus species trial on sandy dunes of Khuzestan province (Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 13(4), 475-500 [In Persian]. <http://irdoi.ir/563-433-730-761>.
- Sannigrahi, P., A.J. Ragauskas, & Tuskan, G.A. (2010). Poplar as a feedstock for biofuels: A review of compositional characteristics. *Biofuels, Bioproducts, Biorefining* 4, 209-226. <https://doi.org/10.1002/bbb.206>.
- Sanchouli, A., Rafighi, A., Tabarsa, T. & Agharkakli, B. M. (2021). Assessment and Comparison the Factors Affecting Wood Farming in Golestan Province based on Experts and Wood Farmers' Point of View. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 28(3): 21-35 [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2021.17236.1833>
- Shabanian, N., Heydari, M. & Zeinivand, M. (2010). Effect of afforestation with broad leaved and conifer species on herbaceous diversity and some physico-chemical properties of soil (Case study: Dushan afforestation -Sanandaj). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3), 446-437 [In Persian]. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113224411>.
- Singh, B. & Sharma, K. N. (2007). Tree growth and nutrient status of soil in a poplar (*Populus deltoides* Bartr.) -based agroforestry system in Punjab, India. *Agroforestry Systems*, 70(2), 125-134. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9048-7>.
- Sugavanam, V., Udaiyan, K. & Devaraj, P. (2000). Effect of different abscular mycorrhizal fungi and azospirillum on eucalyptus tereticorinis seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 12 (1), 37-43. <https://www.jstor.org/stable/23616401>.



Investigation the Impact of Climate Change on the Aridity in Iran with Population Exposure Approach

Hadi Ramezani Etedali ^{1*}, Sakine Koohi ²

1- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- PhD student of water resources engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

*Corresponding Author: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

Keywords:

Aridity Index, Population,
SSP Scenarios, CMIP6

Extended Abstract

Introduction

Aridity and desertification, as key consequences of climate change driven by reduced precipitation and rising temperatures, have emerged as significant environmental challenges, particularly in arid and semi-arid regions. Given Iran's geographical characteristics, aridity is an inherent feature of the country. This phenomenon impacts various sectors, including agriculture, industry, public health, and population dynamics, exacerbating vulnerabilities across society. Despite its profound implications for human life, a comprehensive understanding of the population distribution and exposure to varying drought intensities remains lacking, particularly in Iran. Considering that a substantial portion of Iran lies within arid and semi-arid zones, coupled with predictions of future population growth and increasing stress on natural resources, there is an urgent need for systematic research. Such studies should aim to quantify and assess the population affected by different levels of aridity intensity across the country. This research primarily seeks to determine the number of people likely to be impacted in various regions and to evaluate the severity of their exposure to drought.

Materials and Methods

This study was conducted across Iran, utilizing data from 31 synoptic stations distributed

Received:

10 Oct 2024

Revised:

7 Dec 2024

Accepted:

7 Dec 2024

How to cite this article:

Ramezani Etedali, E. & Koohi, S. (2025). Investigation the Impact of Climate Change on the Aridity in Iran with Population Exposure Approach. *Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)*, 3(9), 17-38. [10.22077/JDCR.2024.8258.1079](https://doi.org/10.22077/JDCR.2024.8258.1079)



throughout the country's provinces. Monthly precipitation, average temperature, and maximum temperature data were analyzed. Downscaled climate data from the NEX-GDDP suite were employed, incorporating projections from five general circulation models (GCMs): CNRM-CM6-1, CanESM5, GFDL-ESM4, HadGEM3-GC31-LL, and MIROC6. These models were examined under two emission scenarios, SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Precipitation and temperature data (average and maximum) were gathered for the baseline period of 2001–2014 and the future period of 2025–2036 using coding tools within the Google Earth Engine (GEE) platform. After calibrating the coefficients for each GCM during the baseline period, the outputs of the five models were combined. The error rates between the observed values and the baseline model outputs were individually assessed for precipitation, average temperature, and maximum temperature to ensure accuracy. The study utilized two widely recognized aridity indices for classifying regional climates: De Martonne's Aridity Index (DMI) and Erinç's Aridity Index (EAI). Additionally, population projections for the 31 provinces, based on data from Fathi (2020), were used to estimate the population distribution during the 2025–2036 period, serving as the baseline for future analyses.

Results and Discussion

The evaluation during the baseline period revealed that the climate projections from the Sixth Assessment Report on Climate Change accurately estimated atmospheric variables, including average and maximum air temperatures, for most provinces in Iran, with the exceptions of Khuzestan, Isfahan, and Hamedan. Analysis of changes in the DMI and EAI aridity indices indicates that, under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate scenarios for the 2025–2036 period, there is a noticeable decline in index values compared to the baseline period, signifying a shift toward drier and more arid climatic conditions at numerous monitoring stations. These climatic shifts are particularly pronounced in the central, southern, southeastern, eastern, and northwestern regions. An increase in aridity severity in the central, western, and eastern areas is likely to result in reduced water availability, diminished agricultural productivity, and consequently, more challenging living conditions. If this trend persists, it may lead to population migration from arid and semi-arid regions to areas with more favorable climatic conditions.

Furthermore, based on both DMI and EAI indices, projections under the SSP2-4.5 scenario suggest that the population exposed to arid and semi-arid climates in the southern, eastern, and northern parts of the country will rise compared to the baseline period. Similarly, under the SSP5-8.5 scenario, the population affected by arid and extremely arid conditions is expected to increase significantly relative to the baseline period.

Conclusion

With the population growth in arid and semi-arid regions, heightened pressure on natural resources and local ecosystems in these areas is an inevitable concern. This situation is likely to give rise to

significant economic, social, and environmental challenges in the affected regions. Consequently, it is imperative for policymakers and natural resource managers to develop comprehensive strategies. These should focus on effective water resource management, promoting sustainable agricultural practices, and establishing the necessary infrastructure to adapt to climate change in vulnerable areas. Such measures are essential to mitigate the adverse effects of climate change and to prevent serious long-term problems.



بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان خشکی در ایران با رویکرد مواجهه جمعیتی

هادی رضانی اعتدالی^{۱*}، سکینه کوهی^۲

۱. استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*نویسنده مسئول: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

شاخص خشکی، جمعیت، سناریوهای SSP، CMIP6

چکیده:

خشکی و خشکسالی از پیامدهای مهم و تأثیرگذار تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود. پایش و ارزیابی دقیق تغییرات در میزان مواجهه با خشکی می‌تواند به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در زمینه اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات منفی و سازگاری با شرایط جدید کمک نماید. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان خشکی در ایران با رویکرد بررسی میزان جمعیت مواجهه با شدت‌های مختلفی خشکسالی تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به انجام رسیده است. برای این منظور از شاخص‌های خشکی De Martonne و Erinç's استفاده شده است. نتایج در دوره پایه نشان داد که خروجی اقلیمی حاصل از ادغام مدل‌های اقلیمی گزارش ششم از کارایی مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات بارش، متوسط و بیشینه دما در سطح کشور برخوردار می‌باشد. علاوه بر این، بررسی شرایط اقلیمی در دوره پایه حاکی از آن است که براساس هر دو شاخص خشکی تمام استان‌های کشور به غیر از گیلان، مازندران و کهگیلویه و بویراحمد درگیر شرایط نیمه‌خشک تا خیلی خشک می‌باشند. علاوه بر این، بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر خشکی در سطح کشور تحت سناریوی SSP2-4.5 طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ حاکی از تغییر وضعیت اقلیمی در استان‌های واقع در محدوده شمال غرب، غرب و جنوب غرب به سمت خشک‌تر می‌باشد. همچنین نتایج تحت سناریو اقلیمی SSP5-8.5 حاکی از برقراری اقلیم خیلی خشک طی دوره آتی در بخش قابل توجهی از کشور در محدوده مرکز، جنوب تا شرق و شمال غرب می‌باشد. بررسی جمعیت تحت تأثیر شدت‌های مختلف خشکی بیانگر افزایش جمعیت تحت تأثیر شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در مناطق جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی کشور نسبت به دوره پایه می‌باشد. بنابراین نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و هماهنگ برای مدیریت منابع طبیعی، توسعه زیرساخت‌ها و کنترل مهاجرت داخلی ضروری به نظر می‌رسد به‌طوری‌که بدون توجه به چنین برنامه‌ریزی‌هایی، ممکن است کشور با چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی پیچیده‌تری روبه‌رو شود.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۷/۱۹

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۹/۱۷

مقدمه:

تغییرات اقلیمی از موارد مهم و تأثیرگذار بر زندگی بشر می‌باشد، به‌طوری‌که هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) پیش‌بینی نموده است که نرخ تغییر اقلیم در قرن ۲۱ به مقدار بی‌سابقه‌ای در جهان برسد (Cao & Zhou, 2019). از این‌رو همواره محققین به دنبال کسب شناخت بیشتر از تأثیرات این پدیده بر محیط‌زیست، زندگی انسان، حیوانات و گیاهان بوده‌اند. از تأثیرات مهم تغییرات اقلیمی می‌توان به ایجاد نوسانات و تغییراتی در روند متغیرهای هواشناسی همچون بارش و دما اشاره نمود که منجر به ایجاد اختلال در زندگی بشر و اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد (Raziei et al., 2018; Halie et al., 2018; Shelton, 2018; al., 2003). خشکسالی و بیابان‌زایی به عنوان یکی از نموده‌ای تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارندگی و افزایش دما به یک مشکل زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است. وقوع پدیده‌های فوق می‌تواند با خشکی بیشتر در اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشک همراه شود (Azadmanesh & RezaZade, 2020). خشکی یکی از ویژگی‌های دائمی و مرتبط با اقلیم می‌باشد که نشان‌دهنده عدم کفایت بارش‌ها برای پشتیبانی از رشد و ادامه حیات در هر منطقه است (Kaviani & Alijani, 2011). با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران واضح است که خشکی از ویژگی‌های این کشور به‌شمار می‌رود. با توجه به اینکه بخش‌های مختلف جامعه از جمله: کشاورزی، صنعت، جمعیت، بهداشت و غیره تحت تأثیر اثرات تشدید خشکی و خشکسالی قرار دارند، بنابراین پایش و درک جامع از اثرات این پدیده به‌منظور ارائه برنامه صحیح برای بخش‌های مختلف جامعه ضروری می‌باشد (Zhang et al., 2012; Amani et al., 2016).

پژوهش‌های متعددی در زمینه تغییرات ویژگی‌های خشکی و خشکسالی در سطح کشور و جهان به انجام رسیده است. به عنوان مثال، فیلیپ و همکاران (Philip et al., 2017) با بررسی تغییر اقلیم بر خشکسالی در غرب آفریقا مبتنی بر شاخص‌های SPI، SPEI و SRI نشان دادند که وسعت خشکسالی‌های در دوره‌های آتی در حدود ۲۴ تا ۳۴ درصد افزایش

می‌یابد. همچنین شدت خشکسالی براساس شاخص SPEI بیش از شاخص خشکسالی SPI می‌باشد. سرلک و آقا (Sarlak & Agha, 2018) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکی در عراق پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق خشک و نیمه‌خشک حدود ۹۷٪ از این کشور را در بر می‌گیرد. به‌طوری‌که در شمال عراق از سال ۱۹۹۷ به بعد شرایط نیمه‌خشک به خشک تغییر یافته و در جنوب و مرکز عراق همچنان شرایط خیلی‌خشک و خشک حاکم می‌باشد. نوروزی و همکاران (Norozi et al., 2018) به پیش‌بینی وضعیت خشکسالی تحت سناریوهای اقلیمی A2 و B1 در ایستگاه‌های ایلام و دهلران تا سال ۲۰۳۷ پرداختند. براساس نتایج ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه از شرایط ترسالی برخوردار می‌باشند، درحالی‌که پیش‌نگری طی دوره آتی حاکی از دوره تقریباً خشک برای ایلام و دوره کاملاً خشک برای ایستگاه دهلران می‌باشد. همچنین براساس نتایج مشخص است که با افزایش دوره آماری، تداوم دوره‌های خشک و تر بیشتر و از شدت آن‌ها کاسته می‌شود. صالح پور جم و همکاران (SalehpourJam et al., 2019) در تحقیقی به بررسی ویژگی‌ها خشکسالی در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده شمال غرب طی ۲ دوره آماری ۱۹ ساله و بر مبنای نمایه دهک‌ها پرداختند. نتایج حاکی از مشهود بودن کاهش بارش متوسط سالانه در کلیه ایستگاه‌ها طی دوره دوم نسبت به دوره اول بود. همچنین براساس نتایج، افزایش فراوانی سال‌های خشک در دوره دوم نسبت به دوره مبنای در تمام ایستگاه‌ها مشخص است. میرگل و همکاران (Mirgol et al., 2021) در تحقیقی با ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه تحت سناریوهای اقلیمی گزارش چهارم تغییر اقلیم براساس شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI نشان دادند که دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه تحت تمام سناریوهای اقلیمی از نظر روند و مدت زمان خشکسالی با شرایط خشکسالی کمتری مواجه خواهد بود. اما فراوانی خشکسالی‌های شدید در مقیاس فصلی در آینده بیش از دوره پایه است. کوهی و همکاران (Koochi et al., 2022) به بررسی تغییرات ویژگی‌های خشکسالی در حوضه

قرار دارد و با در نظر گرفتن پیش‌بینی‌های مربوط به رشد جمعیت در آینده و افزایش فشار بر منابع طبیعی، انتظار می‌رود با گسترش وقوع خشکی در بخش‌های مختلف کشور، خطرات ناشی از در معرض این پدیده قرار گرفتن جمعیت نیز افزایش یابد. بنابراین، نیاز مبرم به مطالعه‌ای جهت شناسایی و ارزیابی میزان جمعیتی که در معرض شدت‌های مختلف خشکی قرار دارند، احساس می‌شود. با توجه به توضیحات فوق، هدف اصلی از این پژوهش، ارزیابی این است که در بخش‌های مختلف کشور چه تعداد از جمعیت تحت تأثیر چه شدتی از خشکی قرار خواهند گرفت.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه:

این مطالعه در سطح کشور ایران به انجام رسیده است. برای این منظور از اطلاعات ۳۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان‌های مختلف کشور استفاده شده است. در این مطالعه مقادیر بارش، متوسط دمای ماهانه، بیشینه دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ به عنوان داده‌های مشاهداتی در نظر گرفته شده است. این نکته لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت در داده‌های تاریخی مربوط به گزارش ششم تغییر اقلیم که توسط مجموعه NEX-GDDP است (۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴) و تعداد بالای ایستگاه‌های مورد مطالعه و جدیدالتأسیس بودن برخی از آن‌ها، بازه آماری مشترک بین ایستگاه‌ها و مجموعه NEX-GDDP برای دوره پایه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ در نظر گرفته شده است. در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است.

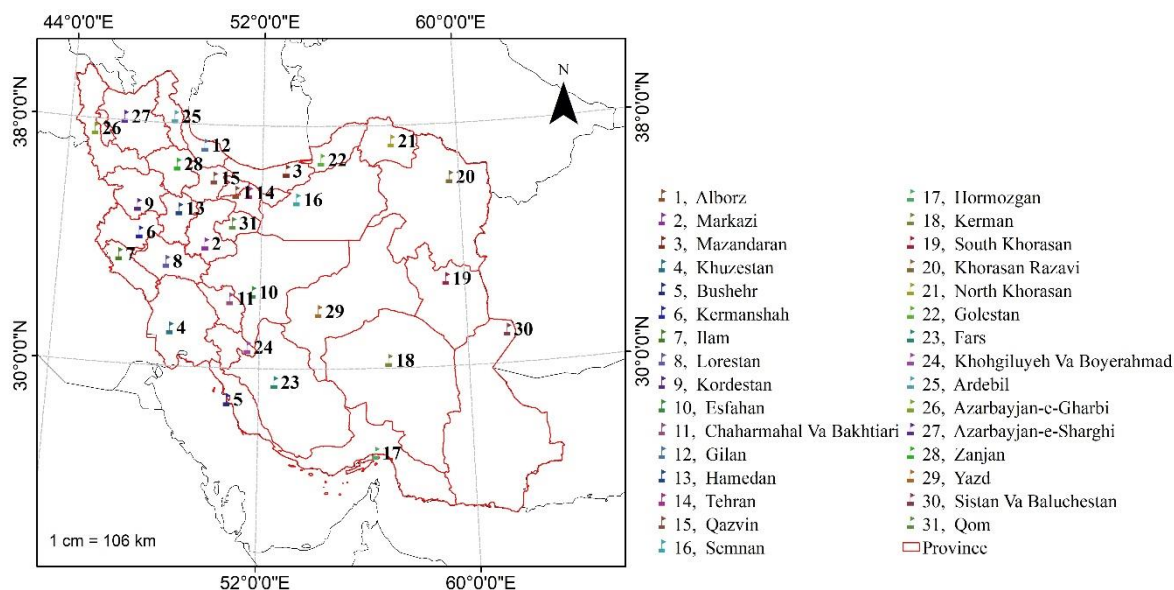
داده‌های اقلیمی مورد استفاده:

گزارش ششم تغییر اقلیم (AR6) از جدیدترین و پیشرفته‌ترین نتایج گزارشات هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) می‌باشد. در این گزارش از مجموعه جدیدتری از سناریوهای انتشار با عنوان مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP¹) استفاده شده است.

کارون مبتنی بر شاخص خشکسالی فازی براساس متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق تحت سناریوهای اقلیمی SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه پرداختند. ارزیابی شرایط خشکسالی با استفاده از آزمون آماری من‌کندال طی دوره‌های آتی نشان‌دهنده وجود روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد به سمت شرایط خشک، افزایش دوره‌های خشک و کاهش دوره‌های تر می‌باشد.

بررسی نتایج حاصل از مطالعات مختلف حاکی از افزایش شدت خشکسالی یا شرایط خشکی در بیشتر مناطق از کشور ایران و جهان در آینده می‌باشد. این موضوع تأثیرات گسترده‌ای بر زندگی انسان‌ها، اکوسیستم‌های طبیعی، و فعالیت‌های اقتصادی خواهد داشت. علی‌رغم مطالعات متعددی که به ارزیابی تغییرات خشکسالی پرداخته‌اند، هنوز شناخت جامعی از میزان و پراکنش جمعیتی که در معرض شدت‌های مختلف از خشکی قرار دارند به‌ویژه در کشور ایران وجود ندارد. این در حالی است که ارزیابی این موضوع می‌تواند نقشی حیاتی در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای با هدف کاهش آسیب‌پذیری، تخصیص منابع و توسعه ظرفیت‌های تطبیقی داشته باشد. اما متأسفانه در کمتر تحقیقی به پایش جمعیت در معرض شدت‌های مختلف از خشکی پرداخته شده است. درحالی‌که بررسی میزان قرارگیری در معرض حوادث ناشی از تغییرات اقلیمی همچون خشکی و خشکسالی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از آنجایی‌که عناصری که آسیب‌پذیری را تعریف می‌کنند عبارتند از: مواجهه، حساسیت نسبت به حوادث و ظرفیت تطبیقی (McCarthy et al., 2001; Wade et al., 2017; Jiang et al., 2021). بنابراین، درک از میزان مواجهه با حوادث اقلیمی یکی از پیش‌نیازهای اصلی برای درک از میزان آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود. براساس تعریفی که توسط IPCC ارائه شده است مواجهه به ماهیت و درجه سطح تنش اقلیمی، خطر، ماهیت و میزان تغییر در متغیرهای اقلیمی مرتبط می‌باشد (O'Brien et al., 2004; Aven et al., 2015). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران که بخش عمده‌ای از آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک

1 Shared Socioeconomic Pathways



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the studied synoptic stations

و متوسط دما، سرعت باد و رطوبت نسبی) از مدل‌های گزارش پنجم و ششم تغییر اقلیم می‌پردازد. خروجی‌های این مجموعه در سامانه گوگل ارث‌انجین^۳ GEE برای دوره تاریخی ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴ و از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ تحت دو سناریوی اقلیمی در دسترس قرار دارد. اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش شامل بارش، متوسط و بیشینه دما، در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ برای دوره پایه و دوره آتی ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ با کدنویسی در سامانه GEE دریافت شده است. لازم به ذکر است که توان تفکیک مکانی خروجی‌های اقلیمی ارائه شده توسط این مجموعه، ۰/۲۵ درجه و در مقیاس زمانی روزانه می‌باشد. با توجه به اهمیت ادغام خروجی‌های اقلیمی در دوره پایه (Mirakbari et al., 2023)، بهینه‌سازی ضرایب ادغام مدل‌های اقلیمی توسط الگوریتم Evolutionary مربوط به تابع بهینه‌سازی Solver در نرم‌افزار Excel انجام شده است. الگوریتم Evolutionary از جمله الگوریتم‌ها در شاخه هوش مصنوعی است که در آن جستجو از چندین نقطه در فضای تصمیم آغاز می‌شود (Xia et al., 2013). لازم به ذکر است که حداقل نمودن شاخص خطای MAE محاسباتی بین خروجی اقلیمی حاصل از ادغام ۵ مدل اقلیمی و مقادیر مشاهداتی به عنوان تابع هدف برای کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب وزن

این سناریوها مبتنی بر توسعه پایدار، رقابت منطقه‌ای، نابرابری، گسترش استفاده از سوخت‌های فسیلی و توسعه بر مبنای سیاست‌های بینابین می‌باشند و در ۵ گروه قرار دارند (O'Neill et al., 2017; Rogelj et al., 2018). سناریوهای مختلف از گزارش ششم به صورت SSPx-y نشان داده می‌شوند، که در آن x نشان‌دهنده مسیر اجتماعی-اقتصادی و شامل ۵ مسیر اصلی از ۱ تا ۵ می‌باشد. y نمایانگر سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای است که بر حسب وات بر مترمربع از ۱/۹ تا ۸/۵ تا سال ۲۱۰۰ مشخص می‌شود. به عنوان مثال، SSP2-4.5 یک سناریوی میانه که در آن روندهای اجتماعی-اقتصادی جاری ادامه یافته و میزان انرژی اضافی در سیستم زمین به واسطه انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ به ۴.۵ وات بر مترمربع می‌رسد. در مطالعه حاضر، از داده‌های بارش، متوسط و بیشینه دما ریزمقیاس شده توسط مجموعه NEX-GDDP^۱، مربوط به ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM^۲) شامل: CNRM-CM6-1، CanESM5، GFDL-ESM4، HadGEM3-GC31-LL و MIROC6 تحت سناریوهای انتشار SSP2-4.5 (بیانگر شرایط حد واسطه) و SSP5-8.5 (بیانگر مصرف بالای انرژی و سوخت فسیلی) استفاده شده است. مجموعه NEX-GDDP به ارائه داده‌های اقلیمی ریزمقیاس شده (بارش، حداقل، حداکثر

^۱ NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections

^۲ General Circulation Model

^۳ Google Earth Engine

تأثیر هر یک از مدل‌های اقلیمی برای ادغام و توسعه یک خروجی اقلیمی مورد بهینه‌سازی قرار خواهد گرفت. پس از بهینه‌سازی ضرایب هر یک از مدل‌های اقلیمی در دوره پایه، خروجی ۵ مدل اقلیمی براساس ضرایب بهینه تلفیق شده و میزان خطای خروجی اقلیمی در دوره پایه نسبت به مقادیر مشاهداتی به تفکیک برای شبیه‌سازی بارش، متوسط و بیشینه دما مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس با در نظر گرفتن ضریب هر مدل در دوره پایه، خروجی مدل‌های اقلیمی برای دوره آتی با یکدیگر ادغام شده است.

شاخص‌های خشکی مورد استفاده:

در این مطالعه از دو شاخص خشکی که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در تعیین اقلیم مناطق مختلف دارند شامل شاخص خشکی (De Martonne (DMI و (Erinç's (EAI بهره گرفته شده است. شاخص خشکی دومارتن بر مبنای متوسط بارش و دمای سالانه توسط دومارتن در سال ۱۹۲۶ توسعه داده شده است (De Martonne).

$$DMI = \left(\frac{P}{T + 10} \right) \quad (1)$$

$$EAI = \frac{P}{TX} \quad (2)$$

که در آن، P مجموع بارش (میلی‌متر)، T متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) و TX متوسط دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

جدول ۱. طبقه‌بندی اقلیمی براساس شاخص‌های خشکی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Climatic classification based on aridity indices used in this research

EAI		DMI	
شاخص خشکی	نوع اقلیم	شاخص خشکی	نوع اقلیم
Aridity Index	Climate Type	Aridity Index	Climate Type
$EAI \leq 8$	خیلی خشک (Extra Arid)	$0 \leq DMI < 5$	خیلی خشک (Extra Arid)
$8 < EAI \leq 15$	خشک (Arid)	$5 \leq DMI < 10$	خشک (Arid)
$15 < EAI \leq 23$	نیمه‌خشک (Semi Arid)	$10 \leq DMI < 20$	نیمه‌خشک (Semi Arid)
$23 < EAI \leq 40$	نیمه‌مرطوب (Semi Humid)	$20 \leq DMI < 24$	مدیترانه‌ای (Mediterranean)
$40 < EAI \leq 55$	مرطوب (Humid)	$24 \leq DMI < 28$	نیمه‌مرطوب (Semi Humid)
$55 < EAI$	خیلی مرطوب (Per Humid)	$28 \leq DMI < 35$	مرطوب (Humid)
		$35 \leq DMI < 55$	خیلی مرطوب نوع ۱ (Per Humid A)
		$55 \leq DMI$	خیلی مرطوب نوع ۲ (Per Humid B)

اقلیمی خیلی خشک، خشک و نیمه خشک قرار دارند. برای این منظور، مجموع جمعیتی که در هر منطقه تحت تأثیر شدت‌های مختلفی از خشکی قرار دارند محاسبه و با نتایج دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. برای بررسی تغییرات جمعیت در معرض خشکی، ۳۱ استان مورد مطالعه با توجه به موقعیت جغرافیایی خود به ۵ گروه (شامل: شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکزی) تقسیم شدند (جدول ۲).

شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده:

در این پژوهش از شاخص‌های آماری شامل میانگین قدرمطلق خطا (MAE^1)، میانگین انحراف خطا (MBE^2)، ضریب همبستگی (R^2) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE^4$) برای ارزیابی عملکرد خروجی اقلیمی در شبیه‌سازی بارش، متوسط و بیشینه دما طی دوره پایه استفاده شده است. برای شاخص‌های آماری MAE ، MBE و $NRMSE$ عدد صفر حاکی از دقت بیشتر و خطای کمتر داده‌های اقلیمی می‌باشد. مقادیر مثبت MBE بیانگر بیش‌برآوردی و مقادیر منفی برای این شاخص، گویای کم‌برآوردی داده‌های اقلیمی است. همچنین مقادیر ۱ برای ضریب همبستگی حاکی از همبستگی کامل خروجی اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی می‌باشد. محاسبه شاخص‌های مذکور با استفاده از روابط ۳ تا ۶ امکان پذیر می‌باشد:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - S_i|}{N} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)}{N} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}}{O_{\max} - O_{\min}} \quad (6)$$

که در آن، S_i : مقادیر داده‌های اقلیمی، $\bar{S}$: متوسط مقادیر اقلیمی، O_i : مقادیر مشاهداتی، $\bar{O}$: متوسط

جمعیت در معرض خشکسالی:

در این مطالعه، از جمعیت استان‌های کشور در بازه زمانی فوق که توسط سازمان آمار برآورد و در سایت این سازمان به نشانی <https://amar.org.ir/statistical-information> ارائه شده، به عنوان جمعیت مبنا در دوره پایه استفاده شده است. نتیجه پیش‌بینی جمعیت برای استان‌های کشور در گزارشی توسط فتحی در سال ۱۳۹۹ به چاپ رسیده است. با توجه به اهمیت آگاهی از جمعیت و تغییرات آن در آینده، در سال ۱۳۹۶ جمعیت کل کشور تا افق ۱۴۳۰ و جمعیت استانی تا سال ۱۴۱۵ توسط سازمان آمار پیش‌بینی و نتایج آن پس از تصویب کمیته آمار بخشی جمعیت منتشر شد (Fathi, 2020). به این ترتیب جمعیت در دو مرحله پیش‌بینی شده است، ابتدا جمعیت کل کشور به صورت مستقل و با شش سناریو پیش‌بینی شد و سپس جمعیت ۳۱ استان با یک سناریو (سناریو محتمل) مورد پیش‌بینی قرار گرفته است. بازنگری پیش‌بینی جمعیت در بیست و نهمین جلسه کمیته بخشی آمار جمعیت، مورخ ۱۴۰۰/۰۷/۰۶ انجام پذیرفت. این سازمان برای پیش‌بینی جمعیت از روش ترکیبی (مولفه‌ای - نسلی) و نرم‌افزار اسپکتروم ۴ که توسط سازمان ملل نیز به عنوان روش "استاندارد طلایی" در برآورد و پیش‌بینی‌های آمارهای رسمی معرفی شده، استفاده نموده است. روش ترکیبی مولفه‌ای - نسلی از روش‌های پرکاربرد برای پیش‌بینی جمعیت به‌شمار می‌رود. در این روش جمعیت پیش‌بینی شده بر اساس مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر تغییر و تحول جمعیت شامل باروری، مرگ و میر، مهاجرت و ترکیب سنی و جنسی جمعیت به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه در این روش، جمعیت متناسب با سن و جنس پیش‌بینی می‌شود، بنابراین می‌تواند به نیازهای وسیع و متعدد کاربران در زمینه پیش‌بینی‌های جمعیتی پاسخ دهد (Fathi, 2020). در این مطالعه، از جمعیت پیش‌بینی شده برای ۳۱ استان طی دوره آماری ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ به عنوان جمعیت مبنا برای دوره آتی استفاده شده است.

مبنای این پژوهش برای ارزیابی جمعیت تحت تأثیر خشکی، تعداد افرادی است که در معرض شرایط

¹ Mean Absolute Error

² Mean Bias Error

³ Correlation Coefficient

⁴ Normalized Root Mean Square Error

جدول ۲. طبقه‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف

Table 2. Classification of studied stations in different geographical locations

استان	موقعیت جغرافیایی	استان	موقعیت جغرافیایی
Province	Geographical location	Province	Geographical location
ایلام	غرب (West)	اردبیل	شمال (North)
آذربایجان غربی		البرز	
چهار محال و بختیاری		تهران	
خوزستان		خراسان شمالی	
زنجان		قزوین	
کردستان		گلستان	
کرمانشاه		گیلان	جنوب (South)
کهگیلویه و بویراحمد		مازندران	
لرستان		بوشهر	
همدان		فارس	
آذربایجان شرقی	مرکز (Center)	کرمان	شرق (East)
اصفهان		هرمزگان	
سمنان		خراسان جنوبی	
قم		خراسان رضوی	سیستان و بلوچستان
مرکزی			
یزد			

متغیرهای جوی به‌دست آمده از خروجی اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی به تفکیک هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه برای تخمین تغییرات بارش مشاهده می‌شود که مقدار شاخص MAE از ۳/۵ تا ۷۰/۰ میلی‌متر متغیر است. مقدار متوسط شاخص خطای MAE در سطح ایستگاه‌ها ۱۷/۹ میلی‌متر تخمین زده شده است و در حدود بیش از ۶۰ درصد از ایستگاه‌ها مقدار متوسط قدر مطلق خطا کمتر از ۱۵ میلی‌متر می‌باشد. براساس نتایج مشخص است که بیشترین خطای خروجی اقلیمی در شبیه‌سازی بارش در استان‌های گیلان، کهگیلویه و بویراحمد، مازندران، گلستان، ایلام،

مقادیر مشاهداتی، O_{min} و O_{max} به ترتیب بیشینه و کمینه مقادیر مشاهداتی، N : تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث:

بررسی خروجی اقلیمی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه:

در این بخش پس از بهینه‌سازی ضرایب هر مدل به‌منظور ادغام آن‌ها، عملکرد خروجی مدل اقلیمی در تخمین متغیرهای جوی مؤثر در محاسبه شاخص‌های خشکی شامل: بارش، میانگین و بیشینه دمای هوا در مقیاس زمانی ماهانه و در دوره پایه (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول ۳ تغییرات مقدار شاخص‌های آماری MAE و MBE بین مقادیر

شاخص آماری برای خروجی اقلیمی به جز ایستگاه خوزستان (که با کم‌برآوردی در تخمین دما همراه بوده است)، $0/8-$ تا $3/2$ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. بررسی نتایج در شبیه‌سازی بیشینه دمای ماهانه حاکی از آن است که خروجی مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی این متغیر از عملکرد مناسبی برخوردار بوده است، به‌طوری‌که در $80/7$ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی مقدار شاخص قدرمطلق خطا در تخمین بیشینه دمای ماهانه به 5 درجه سانتی‌گراد محدود شده است و محدوده تغییرات برای شاخص میانگین انحراف در داده‌ها نسبت به مقادیر مشاهداتی در $87/1$ درصد از ایستگاه‌ها $5-$ تا 5 درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده است که نشان از مناسب بودن میزان اریبی داده‌های دما (متوسط و بیشینه دما) نسبت به مقادیر مشاهداتی در سطح ایستگاه‌های مورد بررسی در طول دوره آماری این مطالعه می‌باشد. باتوجه به نتایج، بیشینه شاخص خطای MAE در شبیه‌سازی بیشینه دمای هوا ماهانه در ایستگاه‌های خوزستان، همدان، اصفهان، گیلان و مرکزی (بیش از $5/7$ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همچنین براساس نتایج خروجی اقلیمی در ایستگاه‌های خوزستان و سمنان (MBE بیش از $5/0$ درجه سانتی‌گراد) با بیش‌برآوردی و در استان‌های همدان و گیلان (MBE کمتر از $5/0-$ درجه سانتی‌گراد) با کم‌برآوردی در تخمین بیشینه دمای هوا همراه بوده است.

بررسی میزان همبستگی مقادیر بارش گزارش ششم تغییرات اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی (جدول ۴) نشان داد که بیشترین همبستگی بین مقادیر بارش مشاهداتی و خروجی اقلیمی در استان‌های غربی و بخش‌هایی از شمال و شرق کشور می‌باشد. به‌طوری‌که مقدار شاخص همبستگی R^2 در ایستگاه‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، ایلام، چهارمحال و بختیاری، زنجان، کرمانشاه، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، همدان، البرز، تهران، قزوین، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، خراسان رضوی بیش از $0/53$ تخمین زده شده است. با توجه به نتایج مشخص است که متوسط و بیشینه دمای هوا ماهانه حاصل از خروجی مدل‌های اقلیمی به غیر از ایستگاه اصفهان، در تمام ایستگاه‌های

خوزستان، تهران، فارس، لرستان، بوشهر، مرکزی و چهارمحال و بختیاری بوده است، چنانکه متوسط قدرمطلق خطا در شبیه‌سازی بارش ماهانه طی دوره ماهانه برای ایستگاه‌های مذکور بیش از 17 میلی‌متر می‌باشد. ارزیابی نتایج براساس شاخص آماری MBE که نشان‌دهنده میانگین انحراف در داده‌ها است حاکی از آن می‌باشد که در شبیه‌سازی تغییرات بارش توسط خروجی اقلیمی، میزان اریبی داده‌ها از مقادیر مشاهداتی در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی به غیر از مازندران، گیلان، خوزستان و اصفهان به $12/0$ میلی‌متر محدود شده است. با توجه به نتایج مشخص است که خروجی اقلیمی تمایل به بیش‌برآوردی در شبیه‌سازی بارش دارد، به‌طوری‌که فقط در ایستگاه خوزستان مقدار بارش مدل‌های اقلیمی با کم‌برآوردی نسبت به مقادیر مشاهداتی همراه بوده است ($MBE = -7/3$). ارزیابی نتایج حاکی از آن است که تمایل خروجی اقلیمی در شمال و بخش‌های از غرب کشور شامل استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، همدان و کهگیلویه و بویراحمد بیش‌برآورد در شبیه‌سازی بارش ماهانه بوده است. عملکرد خروجی اقلیمی در شبیه‌سازی بارش ماهانه از نظر میانگین انحراف خطا در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمتر از $4/8$ میلی‌متر محدود شده است.

ارزیابی عملکرد خروجی اقلیمی در تخمین متوسط دمای هوا حاکی از آن است که مدل‌های اقلیمی از عملکرد خوبی در شبیه‌سازی تغییرات متوسط دمای هوا طی دوره پایه برخوردار می‌باشند. به‌طوری‌که مقدار متوسط شاخص میانگین قدرمطلق خطا در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه برابر است با $2/3$ درجه سانتی‌گراد که مناسب ارزیابی می‌شود. بیشینه متوسط قدرمطلق خطا در تخمین متوسط دمای هوای ماهانه در ایستگاه‌های خوزستان، اصفهان، مرکزی، تهران و قم به‌ترتیب برابر است با $8/2$ ، $4/9$ ، $3/8$ و $3/6$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد؛ در سایر ایستگاه‌ها متوسط شاخص MAE به کمتر از $2/1$ درجه سانتی‌گراد محدود شده است. براساس شاخص MBE در شبیه‌سازی تغییرات ماهانه‌ی متوسط دمای هوا نیز نشان داده شده است که محدوده تغییرات این

جدول ۳. تغییرات شاخص‌های MAE و MBE در شبیه‌سازی متغیرهای جوی بارش، متوسط و بیشینه دمای هوا در دوره پایه در مقیاس ماهانه

Table 3. The of MAE and MBE indices in the simulation of precipitation, average and maximum air temperature in the base period on a monthly scale

ایستگاه (Station)	MAE_Pr (mm)	MBE_Pr (mm)	MAE_t (°C)	MBE_t (°C)	MAE_tmax (°C)	MBE_tmax (°C)	ایستگاه (Station)	MAE_Pr (mm)	MBE_Pr (mm)	MAE_t (°C)	MBE_t (°C)	MAE_tmax (°C)	MBE_tmax (°C)
آذربایجان غربی	۱۳.۶	۱.۱	۱.۵	۰.۲	۱.۹	-۰.۵	فارس	۱۹.۷	۴.۱	۱.۱	۰.۳	۱.۳	-۰.۴
آذربایجان شرقی	۱۱.۳	۰.۴	۱.۵	۰.۰	۲.۵	۱.۶	قزوین	۱۳.۴	۱.۹	۱.۳	۰.۰	۱.۸	۰.۸
ایلام	۲۵.۷	۳.۵	۱.۶	۰.۶	۲.۳	-۱.۶	قم	۸.۹	۰.۸	۳.۶	-۰.۸	۲.۵	۲.۲
اردبیل	۱۴.۳	۳.۵	۱.۹	۰.۷	۳.۵	-۱.۴	کردستان	۱۵.۸	۲.۳	۱.۹	۱.۲	۲.۵	۲.۲
البرز	۱۱.۹	۲.۱	۱.۴	۰.۳	۲.۰	-۱.۲	کرمان	۸.۰	۲.۴	۱.۲	۰.۳	۱.۴	۰.۳
اصفهان	۱۱.۶	۴.۴	۸.۲	۲.۲	۹.۲	۰.۹	کرمانشاه	۱۷.۴	۲.۸	۱.۷	۰.۹	۳.۳	۳.۲
بوشهر	۱۸.۴	۴.۵	۱.۰	۰.۱	۴.۹	-۴.۹	کهگیلویه و بویراحمد	۴۶.۰	۶.۷	۱.۱	۰.۴	۱.۶	-۰.۸
تهران	۲۱.۶	۳.۹	۳.۸	۳.۲	۳.۹	-۰.۶	گلستان	۲۶.۴	۱۲.۲	۱.۳	۰.۰	۲.۰	۱.۳
چهار محال و بختیاری	۱۷.۴	۱.۸	۱.۲	-۰.۳	۱.۷	-۰.۹	گیلان	۷۰.۰	۲۵.۷	۱.۳	۰.۱	۵.۸	-۵.۶
خراسان جنوبی	۷.۸	۱.۹	۱.۵	۰.۴	۱.۷	۰.۰	لرستان	۱۸.۹	۱.۹	۱.۵	۰.۷	۲.۰	۱.۶
خراسان رضوی	۱۱.۴	۲.۵	۱.۵	۰.۳	۱.۸	۰.۲	مازندران	۴۰.۱	۲۰.۱	۱.۳	-۰.۱	۵.۰	-۴.۹
خراسان شمالی	۱۲.۵	۴.۰	۱.۹	۱.۱	۲.۲	۰.۰	مرکزی	۱۷.۶	۴.۷	۴.۹	۰.۴	۵.۷	-۱.۲
خوزستان	۲۲.۷	-۷.۳	۱۴.۴	-۱۳.۴	۲۵.۴	۷.۵	هرمزگان	۱۱.۵	۳.۲	۰.۸	۰.۱	۱.۱	-۰.۳
زنجان	۱۳.۹	۲.۲	۲.۱	۱.۶	۲.۱	۱.۲	همدان	۱۵.۱	۷.۸	۱.۴	۰.۱	۱۵.۸	-۱۵.۷
سمنان	۸.۸	۲.۱	۱.۵	۰.۴	۵.۳	۵.۲	یزد	۳.۸	۰.۸	۱.۲	۰.۰	۲.۳	۱.۷
سیستان و بلوچستان	۳.۵	۱.۰	۱.۳	۰.۰	۴.۰	۳.۹							

گیلان و بوشهر به ترتیب معادل است با ۰/۵۲، ۰/۴۴، ۰/۲۹، ۰/۲۳ و ۰/۲۲. به طور کلی، با توجه به نتایج در دوره پایه می‌توان چنین عنوان نمود که خروجی اقلیمی حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو گزارش ششم تغییر اقلیم از عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات بارش در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی به غیر از استان‌های شمالی و برخی از استان‌های غربی شامل خوزستان، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد برخوردار بوده است. همچنین عملکرد خروجی اقلیمی گزارش ششم تغییر اقلیم در تخمین متغیرهای جوی شامل متوسط و بیشینه دمای هوا در استان‌های کشور به جز خوزستان، اصفهان و همدان می‌تواند مناسب ارزیابی شود.

بررسی شرایط اقلیمی در دوره پایه و آینده:

در این بخش از پژوهش، به طبقه‌بندی اقلیمی استان‌ها در دوره پایه و همچنین تحت دو سناریوی

مورد مطالعه از همبستگی قوی نسبت به مقادیر مشاهداتی برخوردار می‌باشد، چنانکه مقدار شاخص R^2 در ایستگاه‌ها بیش از ۰/۸۲ می‌باشد. ارزیابی نتایج براساس شاخص NRMSE گویای این مطلب است که بیشترین خطای خروجی اقلیمی در شبیه‌سازی بارش ماهانه به ترتیب در ایستگاه‌های مازندران، همدان، گیلان، خوزستان و گلستان برابر با ۰/۲۶، ۰/۲۶، ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ برآورد شده است؛ در سایر ایستگاه مقدار شاخص NRMSE کمتر از ۰/۲۰ تخمین زده شده است. در شبیه‌سازی متوسط دمای هوا بیشینه خطای خروجی اقلیمی در ایستگاه اصفهان و معادل ۰/۲۵ می‌باشد، در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار شاخص NRMSE به ۰/۱۴ محدود شده است. با توجه به نتایج، محدوده تغییرات شاخص NRMSE برای تخمین بیشینه دمای هوا در مقیاس ماهانه، ۰/۰۶ تا ۰/۵۲ می‌باشد. به طوری که بیشینه مقدار شاخص NRMSE در ایستگاه‌های خوزستان، همدان، اصفهان،

جدول ۴. تغییرات شاخص‌های R^2 و NRMSE در شبیه‌سازی متغیرهای جوی بارش، متوسط و بیشینه دمای هوا در دوره پایه در مقیاس ماهانه
 Table 4. The CC and NRMSE indices in the simulation of precipitation, average and maximum air temperature in the base period on a monthly scale

ایستگاه (Station)	CC_Pr	NRMSE_Pr	CC_t	NRMSE_t	CC_tmax	NRMSE_tmax	ایستگاه (Station)	CC_Pr	NRMSE_Pr	CC_t	NRMSE_t	CC_tmax	NRMSE_tmax
آذربایجان غربی	۰.۶۱	۰.۱۵	۰.۹۸	۰.۰۶	۰.۹۸	۰.۰۷	فارس	۰.۴۹	۰.۱۲	۰.۹۸	۰.۰۴	۰.۹۹	۰.۰۶
آذربایجان شرقی	۰.۶۴	۰.۱۵	۰.۹۸	۰.۰۶	۰.۹۸	۰.۰۸	قزوین	۰.۶۶	۰.۱۸	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶
ایلام	۰.۵۹	۰.۱۴	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۹	قم	۰.۴۱	۰.۱۹	۰.۹۲	۰.۱۱	۰.۹۲	۰.۱۵
اردبیل	۰.۳۴	۰.۲۲	۰.۹۵	۰.۰۸	۰.۹۴	۰.۱۲	کردستان	۰.۶۷	۰.۱۹	۰.۹۸	۰.۰۷	۰.۹۸	۰.۰۸
البرز	۰.۶۲	۰.۱۷	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶	کرمان	۰.۴۷	۰.۱۷	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶
اصفهان	۰.۱۲	۰.۲۰	۰.۴۶	۰.۲۵	۰.۴۴	۰.۲۹	کرمانشاه	۰.۶۴	۰.۲۰	۰.۹۸	۰.۰۶	۰.۹۸	۰.۱۰
بوشهر	۰.۵۳	۰.۱۶	۰.۹۶	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۲۲	کهگیلویه و بویراحمد	۰.۵۸	۰.۱۳	۰.۹۹	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶
تهران	۰.۵۴	۰.۲۰	۰.۹۸	۰.۱۴	۰.۹۸	۰.۱۲	گلستان	۰.۳۳	۰.۲۱	۰.۹۷	۰.۰۵	۰.۹۷	۰.۰۹
چهار محال و بختیاری	۰.۶۴	۰.۱۹	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶	گیلان	۰.۳۱	۰.۲۳	۰.۹۶	۰.۰۶	۰.۹۶	۰.۲۳
خراسان جنوبی	۰.۶۶	۰.۱۹	۰.۹۷	۰.۰۶	۰.۹۷	۰.۰۶	لرستان	۰.۷۳	۰.۱۶	۰.۹۸	۰.۰۶	۰.۹۹	۰.۰۷
خراسان رضوی	۰.۶۱	۰.۱۵	۰.۹۷	۰.۰۶	۰.۹۷	۰.۰۶	مازندران	۰.۴۴	۰.۲۶	۰.۹۷	۰.۰۶	۰.۹۷	۰.۲۰
خراسان شمالی	۰.۶۳	۰.۱۷	۰.۹۸	۰.۰۸	۰.۹۷	۰.۰۸	مرکزی	۰.۴۱	۰.۲۰	۰.۸۲	۰.۱۴	۰.۸۲	۰.۱۵
خوزستان	۰.۴۲	۰.۲۲	۰.۹۷	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۵۲	هرمزگان	۰.۳۵	۰.۱۲	۰.۹۴	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۶
زنجان	۰.۵۹	۰.۱۸	۰.۹۸	۰.۰۹	۰.۹۸	۰.۰۷	همدان	۰.۵۳	۰.۲۶	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۴۴
سمنان	۰.۴۳	۰.۱۶	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۱۵	یزد	۰.۴۴	۰.۲۰	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۸	۰.۰۷
سیستان و بلوچستان	۰.۴۶	۰.۱۰	۰.۹۸	۰.۰۵	۰.۹۷	۰.۱۳							

تا ۲۰۳۶ بیانگر تغییر وضعیت اقلیمی استان‌های البرز، خراسان شمالی، مازندران، فارس، خوزستان، آذربایجان شرقی، اصفهان، قم و مرکزی تحت سناریوی SSP2-4.5 به سمت خشک‌تر می‌باشد. با توجه به تغییرات شاخص EAI تحت سناریوی SSP2-4.5، شرایط اقلیمی در استان‌های مازندران، آذربایجان غربی، خوزستان، زنجان، کردستان و کرمانشاه به سمت خشک‌تر شدن تغییر می‌نماید. همچنین کاهش شرایط رطوبتی در استان گیلان از خیلی مرطوب به مرطوب براساس شاخص خشکی EAI تحت سناریوی اقلیمی SSP2-4.5 مشهود می‌باشد. در همین زمینه، نوری و همکاران (Nouri et al., 2016) با بررسی وضعیت اقلیمی در محدوده شمال و شمال غرب نشان دادند که شرایط اقلیمی مناطق شمال و شمال غربی کشور تحت سناریوهای اقلیمی A2 و B2 در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه خشک‌تر خواهد شد. با توجه به شکل ۳ مشخص است که تحت سناریوی SSP5-8.5 بخش

SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بر مبنای شاخص‌های خشکی DMI و EAI طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ پرداخته شده است. نتایج طبقه‌بندی اقلیمی استان‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود براساس شاخص DMI طی دوره مشاهداتی ۷، ۱۷ و ۴ ایستگاه از ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب در اقلیم‌های خیلی خشک، نیمه خشک و خشک قرار دارند. با توجه به شکل ۳ مشخص است که براساس شاخص خشکی EAI در دوره پایه ۹، ۱۰ و ۹ ایستگاه از ایستگاه‌های مطالعاتی در اقلیم خیلی خشک، نیمه خشک و خشک واقع شده‌اند. بررسی نتایج حاکی از آن است که براساس شاخص خشکی DMI و EAI، تنها استان‌های گیلان، کهگیلویه و بویراحمد و مازندران در دوره پایه دارای اقلیم‌های خیلی مرطوب تا نیمه مرطوب می‌باشند.

بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر خشکی در سطح کشور و مبتنی بر شاخص خشکی DMI در دوره ۲۰۲۵

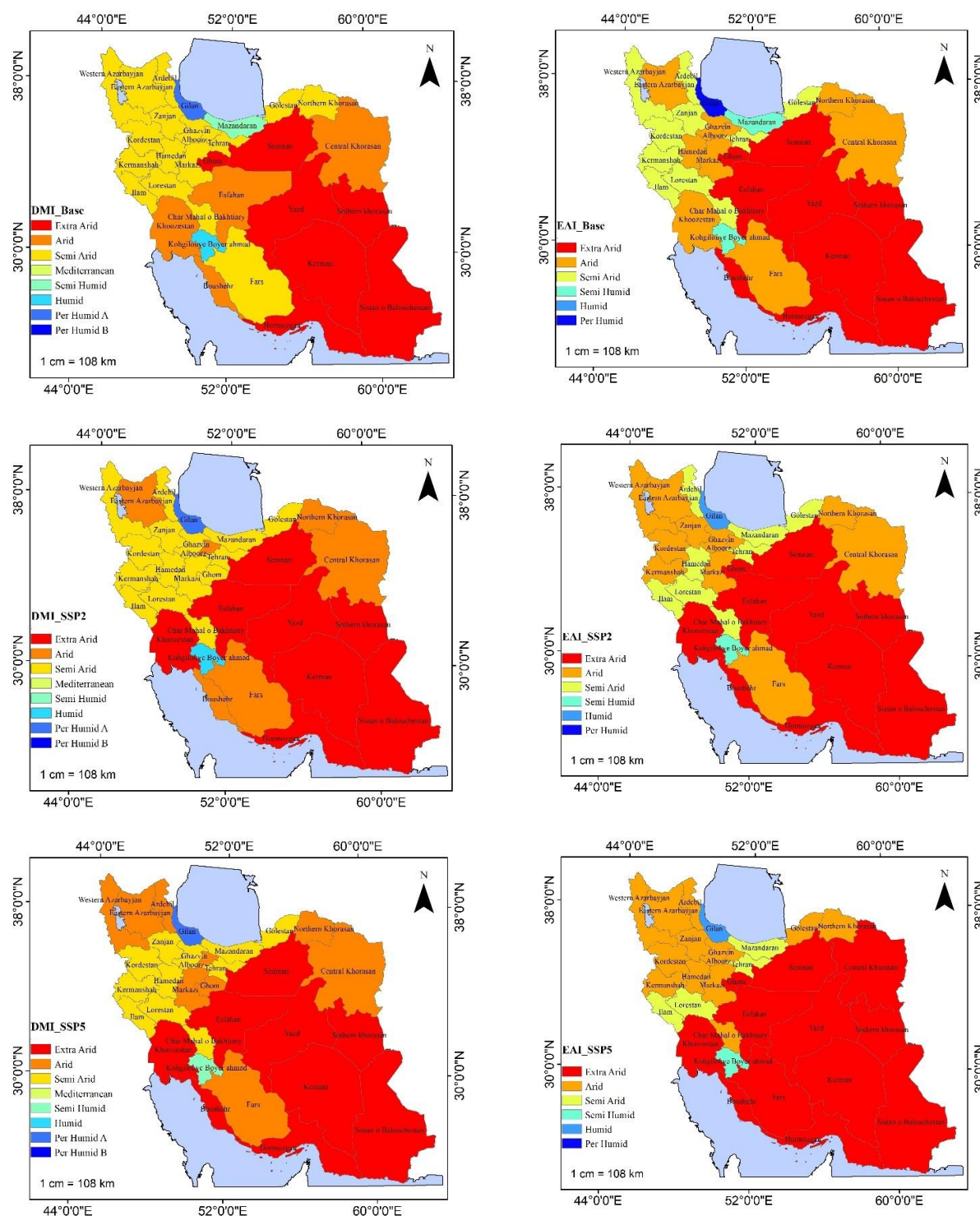
می‌روند. یکی از برتری‌های پژوهش حاضر نسبت به سایر تحقیقات توجه به جنبه‌ای کمتر بررسی شده از خشکی و تغییرات اقلیمی یعنی ارزیابی جمعیت در معرض شدت‌های مختلف از خشکی می‌باشد. در حالی که به‌طور معمول در تحقیقات صرفاً تحلیل شاخص‌های اقلیمی یا پیش‌بینی شرایط خشکی و خشکسالی مورد توجه محققین قرار گرفته است. افزایش میزان خشکی در بخش‌های مرکزی، غرب و شرق کشور می‌تواند منجر به کاهش منابع آبی، کاهش محصولات کشاورزی و در نتیجه سخت‌تر شدن شرایط زندگی در این مناطق شود. ادامه این روند نیز می‌تواند سبب ایجاد تغییراتی همچون تخلیه جمعیت از مناطق خشک و نیمه‌خشک به مناطق مرطوب‌تر شود. این مورد از یک‌سو با ایجاد مشکلات اقتصادی، اجتماعی و ناامنی در استان‌های مبدأ همراه خواهد بود و از سوی دیگر با تمرکز و رشد جمعیت ناشی از مهاجرت داخلی، تشدید مشکلات محیط‌زیستی و منابع طبیعی در استان‌های مقصد دور از انتظار نمی‌باشد. برای کاهش پیامدهای ناشی از خشکی و مهاجرت، مدیریت پایدار منابع آبی از طریق فناوری‌های نوین مانند آبیاری قطره‌ای و بازیافت آب ضروری است. همچنین توسعه کشاورزی مقاوم به خشکی و اصلاح الگوی کشت می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب شود. علاوه بر این، تقویت زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی در استان‌های مبدأ، همراه با آموزش و آگاه‌سازی جامعه درباره تغییرات اقلیمی و اهمیت مدیریت منابع طبیعی، از دیگر راهکارهای مؤثر برای کاهش تأثیرات گسترش خشکی می‌باشد. در کنار این اقدامات، برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت مهاجرت و حمایت از استان‌های مقصد، می‌تواند فشار بر منابع و مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهد.

بررسی تغییرات جمعیت در دوره آینده نسبت به دوره پایه:

در این بخش، به بررسی تغییرات مکانی جمعیت در دوره پایه و آتی پرداخته شده است (شکل ۳). همان گونه که پیش‌تر نیز عنوان شد برآورد و پیش‌بینی

قابل توجهی از بخش‌های مرکزی، جنوب تا شرق در اقلیم خیلی خشک و محدوده شمال غرب کشور در اقلیم‌های نیمه خشک تا خشک قرار خواهند گرفت. به‌عنوان مثال، مقدار شاخص خشکی DMI در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ تحت سناریوی اقلیمی SSP5-8.5 در استان‌های بوشهر، کرمان، هرمزگان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، خوزستان، اصفهان، سمنان و یزد کمتر از ۵ تخمین زده شده است که بیانگر حاکم بودن اقلیم خیلی خشک در این استان‌ها است و این در حالی است که اقلیم استان‌های بوشهر، خوزستان و اصفهان در دوره پایه خشک بوده است. همچنین مقدار شاخص خشکی EAI تحت سناریوی SSP5-8.5 در استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی، چهارمحال و بختیاری، زنجان، کردستان و کرمانشاه در محدوده ۸ تا ۱۵ (بیانگر اقلیم خشک) می‌باشد، در حالی که اقلیم استان‌های مذکور طی دوره پایه نیمه خشک است. بررسی نتایج در استان‌های فارس، خراسان رضوی و خوزستان طبق طبقه‌بندی شاخص EAI طی دوره پایه حاکی از حاکم بودن اقلیم خشک می‌باشد در حالی که کاهش مقدار شاخص تحت سناریوی SSP5-8.5 بیانگر برقراری اقلیم خیلی خشک طی دوره آتی در این استان‌ها است.

به‌طور کلی و با توجه به تغییرات شاخص‌های خشکی DMI و EAI مشخص است که تحت سناریوهای اقلیمی SSP5-8.5 و SSP2-4.5 در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ نسبت به دوره پایه، کاهش در مقدار شاخص‌های خشکی و حرکت به سمت اقلیم‌های خشک تا خیلی خشک در بسیاری از ایستگاه‌های مورد مطالعه مشهود می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر نیز عنوان شد، این تغییرات در محدوده مرکز، جنوب، جنوب شرق، شرق، شمال غرب از شدت بیشتری برخوردار است که با نتیجه مطالعه حسینی و عزیزیان (Hosseini & Azizian, 2022) نیز همخوانی دارد، به‌طوری که این محققین با بهره‌گیری از شاخص خشکی برآورد شده توسط پایگاه اقلیمی کوپرنیک تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در بخش‌های مختلف کشور نشان دادند که در آینده نزدیک بخش‌های زیادی از کشور در نواحی مرکزی، غرب و شرق به سمت خشک‌تر شدن پیش



شکل ۲. طبقه‌بندی شاخص‌های خشکی DMI و EAI در دوره پایه و تحت سناریوهای اقلیمی SSP۲-۴.۵ و SSP۵-۸.۵ در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶

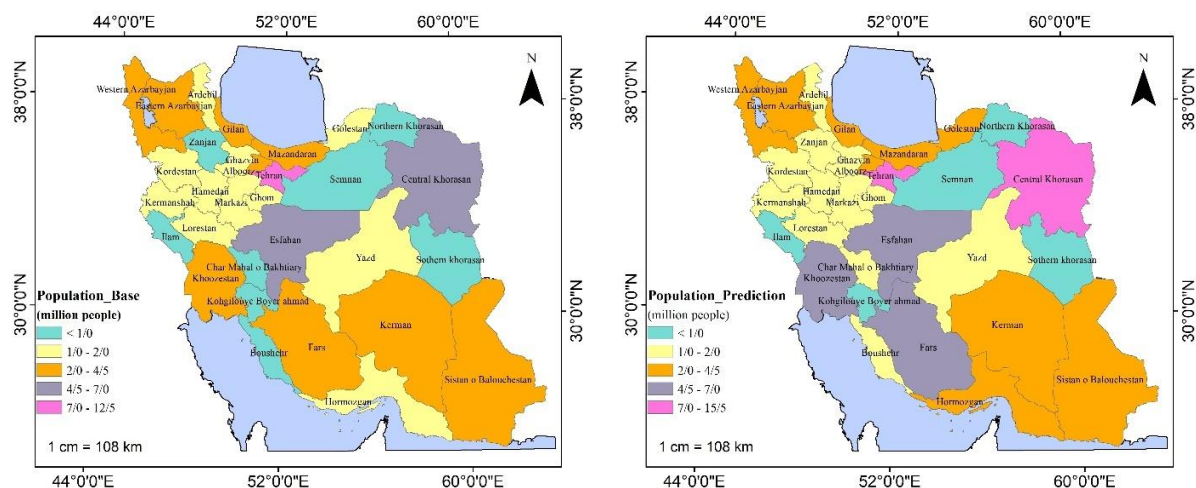
Fig 2. Classification of DMI and EAI aridity indices in the base period and under climate scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5 in the period from 2025 to 2036

جمعیت استان‌های فوق در دوره پایه به‌ترتیب ۱۲/۲، ۶/۰ و ۶۴ میلیون نفر تخمین زده شده است. استان‌های زنجان، خراسان شمالی، سمنان، خراسان جنوبی، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام، چهارمحال و

جمعیت در دوره پایه و آتی بر مبنای گزارش‌های ارائه شده توسط سازمان آمار کشور می‌باشد. با توجه به شکل ۳ در دوره پایه استان‌های تهران، خراسان رضوی و اصفهان دارای بیشترین جمعیت می‌باشند، متوسط

مذکور به ترتیب ۵۴/۵، ۵۰/۶، ۴۵/۰، ۴۴/۵، ۴۲/۶، ۴۰/۸، ۳۹/۱ و ۳۳/۵ درصد می باشد. در حالی که نرخ رشد جمعیت در استان های اردبیل، خراسان شمالی، گیلان، ایلام، لرستان، همدان و مرکزی کمتر از ۱۰ درصد است. همان گونه که پیش تر نیز بیان شد مناطق مرکز، جنوب و جنوب شرق از جمله مناطق درگیر با شرایط خشکی در دوره آتی می باشند، بنابراین رشد جمعیت در این مناطق می تواند منجر به بروز چالش های جدیدی از جمله کمبود منابع آبی و افزایش تقاضا برای منابع طبیعی در این استان ها شود که با فشار بیشتری بر اکوسیستم های محلی همراه خواهد بود.

بختیاری و بوشهر با برخورداری از جمعیتی کمتر از ۱ میلیون نفر از استان های با جمعیت کمتر نسبت به سایر استان های کشور به شمار می روند. بررسی جمعیت پیش بینی شده توسط سازمان آمار در برای دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ نشان می دهد که استان های فارس و خوزستان نیز در این دوره به استان های با جمعیت زیاد اضافه می شوند. بررسی تغییرات رشد جمعیت در دوره آتی نسبت به پایه حاکی از این است که استان های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، قم، یزد، بوشهر، سمنان، البرز، خراسان جنوبی و کرمان رشد جمعیتی بالایی را تجربه می نمایند، به طوری که نرخ رشد جمعیت نسبت به دوره پایه در استان های



شکل ۳. تغییرات مکانی جمعیت در دوره پایه و آینده

Fig 3. Spatial changes of the population in the base and future periods

پایه به ترتیب ۴/۱۹ و ۸/۱۵ میلیون نفر و مبتنی بر شاخص خشکی EAI به ترتیب ۱۵/۱، ۱۰/۴ میلیون نفر در اقلیم نیمه خشک قرار دارند. این در حالی است که براساس هر دو شاخص خشکی مورد مطالعه، جمعیت ساکن در مناطق جنوب، شرق و مرکز ایران تحت تأثیر شدت های بیشتری از خشکی (اقلیم خشک و خیلی خشک) قرار دارند.

بررسی جمعیت در معرض شدت های مختلف خشکی (شاخص DMI) تحت سناریوی اقلیمی SSP2-4.5 حاکی از آن است که در محدوده شمال کشور تعداد جمعیت در معرض اقلیم نیمه خشک نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. همچنین حدود ۱/۴ میلیون نفر در این محدوده در معرض اقلیم خشک قرار

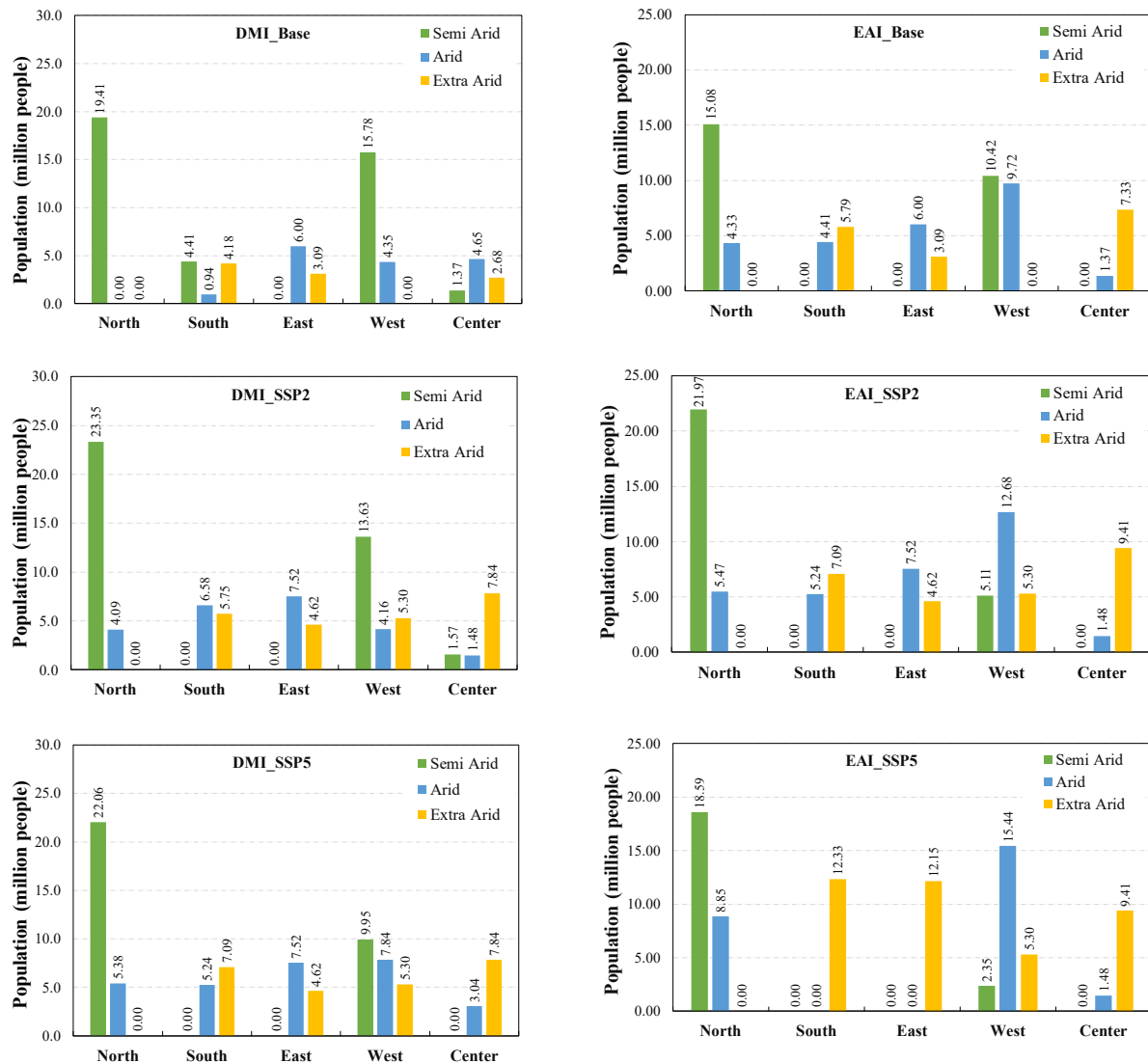
بررسی جمعیت در معرض خشکی:

با توجه به اینکه هدف اصلی از این پژوهش، بررسی جمعیت تحت تأثیر شدت های مختلف خشکسالی تحت تأثیر تغییرات اقلیم است، جمعیت واقع در هر بخش (جمعیت دوره پایه و جمعیت پیش بینی شده) که تحت تأثیر درجات مختلف خشکی شامل خشک، نیمه خشک و خیلی خشک قرار دارند در دوره پایه و آینده محاسبه و نتایج در شکل ۴ ارائه شده است. بدین ترتیب میزان جمعیت تحت تأثیر شدت های مختلف خشکی تحت تأثیر هر دو عامل تغییر شرایط اقلیمی و همچنین تغییرات جمعیتی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. براساس شاخص خشکی DMI در بخش های شمال و غرب کشور در دوره

یافته است.

همچنین نتایج نشان داد که در دوره پایه استان‌های با بیشترین جمعیت که در معرض شرایط خیلی خشک (بر مبنای شاخص DMI) شامل استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان با ۷/۲ و ۴/۲ میلیون نفر جمعیت می‌باشد. همچنین استان‌های با بیشترین جمعیت که طی دوره پایه در شرایط خشک قرار دارند عبارتند از خراسان رضوی، اصفهان و خوزستان با ۴/۶، ۴/۴ و ۴/۴ میلیون نفر جمعیت. تحت سناریوهای اقلیمی SSP2-4.5 و 4.5 SSP2-4.5 علاوه بر استان‌های کرمان (۳/۶ میلیون نفر) و سیستان و بلوچستان (۳/۷ میلیون نفر)، استان اصفهان نیز با ۵/۵ میلیون نفر جمعیت در شرایط اقلیمی خیلی خشک قرار خواهد گرفت. همچنین علاوه بر استان تهران (۱۵/۱ میلیون نفر)، استان‌های فارس و آذربایجان شرقی نیز به ترتیب با ۵/۲ و ۴/۲ میلیون نفر جمعیت (پیش‌بینی توسط سازمان آمار) از استان‌های با بیشترین جمعیت می‌باشند که در شرایط خشک قرار خواهند گرفت. براساس شاخص خشکی EAI طی دوره پایه استان‌های با بیشترین جمعیت که در شرایط اقلیمی خیلی خشک واقع شده‌اند عبارتند از اصفهان، کرمان و سیستان و بلوچستان و استان‌های واقع در شرایط اقلیمی خشک، خراسان رضوی، فارس، خوزستان و آذربایجان شرقی می‌باشند. تحت سناریوی SSP2-4.5 استان‌های با بیشترین جمعیت و واقع در شرایط خیلی خشک شامل اصفهان، خوزستان، کرمان و سیستان و بلوچستان، استان‌های دارای شرایط اقلیمی خشک از جمله خراسان رضوی، فارس، آذربایجان شرقی و غربی دارای بیشترین جمعیت نسبت به سایر استان‌های می‌باشند.

خواهند گرفت، درحالی که در دوره پایه، جمعیتی در معرض اقلیم خشک نمی‌باشند. همچنین براساس هر دو شاخص خشکی DMI و EAI تحت سناریوی SSP2-4.5 جمعیت تحت تأثیر شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک در مناطق جنوبی، شرقی و شمالی کشور نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. به عنوان مثال، باتوجه به شاخص خشکی DMI در دوره پایه جمعیت در معرض اقلیم خشک و نیمه خشک در مناطق جنوبی، شرقی و مرکزی کشور به ترتیب ۵/۴، ۶/۰ و ۱۹/۴ میلیون نفر می‌باشد، درحالی که تحت سناریوی SSP2-4.5 جمعیت در معرض شرایط خشک و نیمه خشک در مناطق خشک به ۶/۶، ۷/۵ و ۲۷/۴ میلیون نفر افزایش داشته است. علاوه بر این براساس شاخص خشکی EAI جمعیت در معرض اقلیم خشک و نیمه خشک در مناطق شمال، جنوب و شرق کشور به ترتیب معادل است با ۴/۴، ۴/۱۹ و ۰/۶ میلیون نفر که تحت سناریوی اقلیمی SSP2-4.5 به ۲۷/۴، ۵/۲ و ۵/۷ میلیون نفر افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود علی‌رغم اینکه در مناطق غربی که جمعیت تحت تأثیر شرایط نیمه خشک در دوره آینده نسبت به پایه کاهش داشته است، اما جمعیت تحت تأثیر شرایط خشک و خیلی خشک با افزایش همراه می‌باشد. به عنوان مثال، باتوجه به شاخص DMI جمعیت در معرض شرایط خشک و خیلی خشک در شمال کشور از ۰/۰ (دوره پایه) به ۱/۴ (SSP2-4.5) میلیون نفر و براساس شاخص خشکی EAI از ۴/۳ (دوره پایه) به ۵/۵ (SSP2-4.5) میلیون نفر افزایش یافته است. بررسی نتایج تحت سناریوی اقلیمی SSP5-8.5 نیز حاکی از آن است که جمعیت در معرض شرایط خشک و خیلی خشک با افزایش نسبت به دوره پایه همراه است. این افزایش در مناطق جنوبی، غربی و مرکز کشور با شدت بیشتری همراه می‌باشد. به عنوان مثال، براساس طبقه‌بندی خشکی شاخص EAI در دوره پایه به ترتیب ۱۰/۲، ۹/۷ و ۸/۷ میلیون نفر در معرض شرایط اقلیمی خشک و خیلی خشک قرار دارند، درحالی که تحت سناریوی SSP5-8.5 میزان جمعیت در معرض شرایط خشک و نیمه خشک به ترتیب به ۳/۱۲، ۷/۲۰ و ۹/۱۰ میلیون نفر افزایش



شکل ۴. جمعیت در معرض طبقات مختلف خشکی براساس شاخص‌های DMI و EAI در دوره پایه و تحت سناریوهای اقلیمی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶

Fig 4. Population exposed to different aridity classes based on DMI and EAI indices in the base period and under climate scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5 in the period from 2025 to 2036

استفاده شده است. همچنین اطلاعات جمعیتی ارائه شده توسط سازمان آمار کشور مبنای ارزیابی تعداد جمعیت تحت تأثیر شدت‌های مختلف خشکی می‌باشد. نتایج نشان داد که در دوره پایه خروجی‌های اقلیمی از عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی متغیرهای جوی شامل بارش، متوسط و بیشینه دمای هوا در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که در دوره پایه و مبتنی بر شاخص‌های خشکی DMI و EAI، شرایط اقلیمی در ۲۸ استان کشور نیمه‌خشک، خشک و خیلی خشک می‌باشد. بررسی

نتیجه‌گیری:

با توجه به اهمیت تأثیر تغییر اقلیم بر شرایط خشکی و همچنین جمعیت تحت تأثیر شدت‌های مختلف خشکی، در این مطالعه به ارزیابی تغییر شرایط اقلیمی کشور تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی گزارش ششم تغییر اقلیم پرداخته شده است. در این پژوهش برای بررسی تغییرات شرایط اقلیمی از شاخص‌های خشکی Erinç's و De Martonne و همچنین خروجی مدل اقلیمی شامل: CNRM-CM6-1، CanESM5، MIROC6 و GFDL-ESM4، HadGEM3-GC31-LL

treatment of risk and uncertainties in the IPCC reports on climate change. *Risk Analysis*, 35(4), 701-712. <https://doi.org/10.1111/risa.12298>

Azadmanesh, R., & RezaZade, M. (2020). *Detection of Drought Changes Trend Based on De Martonne and Pinna aridity indexes in Southeast Iran*. University of Hormozgan. [In Persian]. <https://ganj.irandoc.ac.ir/r/2fd319880e5cfe3d38dd5a4e17bc4316?sample=1>.

Cao, L., & Zhou, Z. (2019). Variations of the Reference Evapotranspiration and Aridity Index Over Northeast China: Changing Properties and Possible Causes. *Journal of Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2019/7692871>.

De Martonne, E. (1926). Aerisme, et Indices d'aridite. *Comptes Rendus de L'Academy of Science*, 182, 1395–1398. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=1180607>.

Erinç, S. (1965). *An Attempt on Precipitation Efficiency and A New Index*. Istanbul University Institute Release: Baha Press.

Fathi, E. (2020). A look at the past, present and future of Iran's population. *Statistics Research Institute*. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1718940/>.

Haile, G. G., Tang, Q., Hosseini Moghari, S. M., Liu, X., Gebremicael, T. G., Leng, G., & Yun, X. (2020). Projected impacts of climate change on drought patterns over East Africa. *Earth's Future*, 8(7), 1–23. <https://doi.org/10.1029/2020EF001502>

Hosseini, M., & Azizian, A. (2022). Studying the Effect of Climate Change on Drought Conditions and Climate Regions of Iran Using Aridity Index. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 13(1), 111–129. [In Persian]. <https://>

شرایط اقلیمی تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 حاکی از وجود روند خشک‌تر شدن شرایط اقلیمی در بسیاری از مناطق کشور است. این تغییرات به‌ویژه در مناطق مرکزی، جنوبی، شرقی و شمال‌غربی با شدت بیشتری رخ خواهد داد. همچنین براساس نتایج مشخص شد که بخش‌های وسیعی از کشور در دوره آینده تحت تأثیر خشکی شدید قرار خواهند گرفت که می‌تواند تأثیرات منفی بر منابع آبی، کشاورزی و زندگی مردم این مناطق داشته باشد. بررسی جمعیت تحت شدت‌های مختلف خشکی طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۶ نسبت به دوره پایه حاکی از افزایش تعداد جمعیت در معرض خشکی می‌باشد؛ به عنوان مثال، تحت سناریوی SSP5-8.5 و براساس شاخص خشکی EAI میزان جمعیت در معرض شرایط خشک و نیمه‌خشک به ترتیب حدود ۲۰/۶، ۱۱۳/۴ و ۲۵/۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. با توجه به رشد جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش فشار بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌های محلی در این مناطق دور از انتظار نمی‌باشد. این موضوع می‌تواند با چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی جدی در مناطق مذکور همراه شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی به‌منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی و جلوگیری از بروز مشکلات جدی در آینده، به ارائه برنامه‌ریزی‌های جامعی در زمینه مدیریت منابع آب، توسعه پایدار کشاورزی و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای مقابله با تغییرات اقلیمی در مناطق آسیب‌پذیر بپردازند.

مراجع:

Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M. R., Van Roosmalen, L., Aryanfar, R., & Hosseini, S. M. (2013). Nonparametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112(3), 553-564. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0747-2>.

Aven, T., & Renn, O. (2015). An evaluation of the

- climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 14(303–313). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001>.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Philip, G., Babatunde, J., & Gunner, L. (2017). Impacts of Climate Change on Hydro-meteorological Drought over the Volta Basin, West Africa. *Global and Planetary Change*, 155, 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.003>.
- Raziei, T., Shokoohi, A., Saghaian, B., & Daneshkar Arasteh, P. (2003). Monitoring the drought in central Iran using the SPI index. *The 3th Regional Climate Conference of Isfahan University*, 11.[In Persian]. <https://sid.ir/paper/487318/fa>.
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., Krey, V., Kriegler, E., Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Doelman, J., Drouet, L., Edmonds, J., Fricko, O., Harmsen, M., Tavoni, M. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °c. *Nature Climate Change*, 8(4), 325–332. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3>
- SalehpourJam, A., Tabatabaei, M., Sarreshtehdari, A., & Mosaffaie, J. (2019). Investigation of drought characteristics in north-west of Iran using Deciles Index. *Watershed Engineering and* doi.org/10.30495/wsrcj.2023.71949.11357
- Jiang, H., Yu, Y., Chen, M. M., & Huang, W. (2021). The climate change vulnerability of China: spatial evolution and driving factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(29):39757-39768. <https://doi.org/10.1007/s11852-012-0180-9>.
- Kaviani, M., & Alijani, B. (2011). Basics of water and meteorology. *Samt Press*. [In Persian]. <https://samta.samt.ac.ir/product/9117/>.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D., & White, K. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf.
- Mirgol, B., Nazari, M., Etedali, H. R., & Zamanian, K. (2021). Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. *Meteorological Applications*, 28(4), 1–19. <https://doi.org/10.1002/met.2009>
- Norozi, E., Rostami, N., & Jahangir, M. (2018). Prediction of drought condition during 2018-2037 period under Climate Change Approach (Case study: Ilam and Dehloran Stations). *Iranian Journal of ECO Hydrology*, 5(3), 977–991. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/IJE.2018.256186.866>.
- Nouri, M., Homaei, M., & Bannayan, M. (2016). Assessing Trends of aridity index changes over 1966-2100 period in the Northwest of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 8(4), 439–453.[In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107187>.
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., & West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors:

Management, 10(4), 552–563. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.115672.1360>

Sarlak, N., & Agha, O. (2018). Spatial and temporal variations of aridity indices in Iraq. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 133, 89–99. <https://doi.org/10.1007 / s00704-017-2163-0>

Shelton, M. (2018). Hydroclimatology perspectives and applications. *Cambridge University Press*, 438p.

Wade, A. A., Hand, B. K., Kovach, R. P., Luikart, G. Whited, D. C., & Muhlfeld, C. C. (2017). Accounting for adaptive capacity and uncertainty in assessments of species' climate-change vulnerability. *Conservation biology*, 31(1), 136–149. <https://doi.org/10.1111/cobi.12764>.

Xia, H., Zhuang, J., & Yu, D. (2013). Combining crowding estimation in objective and decision space with multiple selection and search strategies for multi-objective evolutionary optimization. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 44(3). <https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2256418>.

Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., & Bai, Y. (2012). SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China. *Natural hazards* 64, 481–492. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0251-0>.



Analyzing the Relationship between Soil Temperature parameters of Meteorological stations of Kermanshah Province with Teleconnection Patterns

Firooz Mojarrad¹, Mohammad Ahmadi^{2*}, Rasool Najafi³

1- Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

2- PhD Graduated in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, and Climatology Expert, Kermanshah Provincial Meteorological Department, Kermanshah, Iran.

3- MSc Graduated in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

*Corresponding Author: moahmadi04@gmail.com

Keywords:

Soil Temperature,
Teleconnection, Kermanshah,
Iran.

Extended Abstract

Introduction

Temperature, as one of the most important parameters in weather and climatology, is not only a fundamental element of climate, but its fluctuation or change triggers complex processes within the atmospheric system, the surface layer, and the living soil. One of the key influencing factors is the fluctuation of sea surface temperature (SST), which, through a mechanism known as teleconnection forcing, plays a significant role in regional temperature variability. According to some definitions, these forcings serve as criteria for measuring temporal changes in intensity and spatial variations in atmospheric circulation patterns. Therefore, the significant relationship and correlation between the temporal changes of two circulation patterns or systems that are geographically distant from each other is referred to as a «teleconnection.»

Received:

19 Nov 2024

Revised:

18 Jan 2024

Accepted:

28 Jan 2024

Materials and Methods

The first step in this study was to obtain monthly data for 16 teleconnection indices from reliable global databases such as NOAA and BOM, as well as soil temperature data from several stations provided by the General Meteorological Department of Kermanshah Province. In this study, monthly statistical data on soil temperature at depths of 5, 10, 20, 30, 50, and 100 cm from the Kangavar weather station (representing the cold region), Sararud station (representing the temperate region), and Sarpol Zahab station (representing the tropical region) in Kermanshah Province were used for the period 1996–2020.

How to cite this article:

Mojarrad, F., Ahmadi, M. & Najafi, R. (2025). Analyzing the Relationship between Soil Temperature parameters of Meteorological stations of Kermanshah Province with Teleconnection Patterns. *Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)*, 3(9), 39-62. [10.22077/jdcr.2025.8448.1085](https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.8448.1085)



Results and Discussion

The findings of this study reflect both the climatic characteristics of the region and the global climate trend as echoed in the soil temperature of Kermanshah Province. Among the classical indices, the AMO index showed the highest positive correlation coefficient across all soil layers. Additionally, using the factor analysis method, six main components were extracted from all the indices, with the first component showing the most direct correlation with the water temperature of the region's surrounding water bodies. An important point in analyzing the relationship among the top three components is their nature—they all represent aspects of water temperature. This suggests that the soil temperature regime in Kermanshah Province is likely more influenced by global warming, and more specifically, ocean warming. The findings indicate that the highest explanatory power (coefficient of determination) was observed for summer, autumn, and winter, respectively, highlighting the predictability of warm seasons. However, soil temperature during spring appears to be largely unpredictable using this method. Finally, the synoptic mechanism influencing soil temperature fluctuations was interpreted through an environmental approach to circulation. The cold soil temperature pattern across station depths is associated with the strengthening of high-pressure systems and cold air advection. In contrast, the maximum soil temperature pattern corresponds to the reinforcement of the subtropical high-pressure (STHP) ridge axis, extending from the Red Sea to the Caspian Sea.

Conclusion

In this paper, the relationship between the soil temperature at three weather stations in Kermanshah Province and several teleconnection indices was investigated:

In general, there is a significant relationship between soil temperature at various depths and regional indices, particularly with sea surface temperature. This correlation, influenced by global ocean warming, is described as a homophasic relationship. Additionally, the connection between soil temperature and temperatures of the North Atlantic Ocean, Indian Dipole Index, and Central Pacific Ocean is linked to atmospheric circulation patterns, especially the ENSO phenomenon. Regional indices related to pressure and atmosphere also show a synoptic correlation with soil temperature. The lower the temperature of the surrounding seawater, and the higher the temperature of the eastern Indian Ocean, along with the positive phases of the NAO and EWAR indices, the lower the soil temperature at the three stations, and vice versa. Correlations were also found between the soil temperature and the indices of one season with those of the previous or following season. These findings suggest the potential to forecast the next season and offer insights into the overall behavior of soil temperature at various depths.



واکاوی ارتباط بین فراسنج‌های دمای خاک ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه با الگوهای پیوند از دور

فیروز مجرد^۱، محمد احمدی^{۲*}، رسول نجفی^۳

- ۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
 - ۲- دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران و کارشناس اقلیم‌شناسی اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.
 - ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
- *نویسنده مسئول: moahmadi04@gmail.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

در این پژوهش از داده‌های دمای خاک سه ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه و داده‌های ۱۶ شاخص دور-پیوندی، با هدف بررسی ارتباط بین این دو سری داده استفاده شد. در گام نخست داده‌های دمای لایه‌های خاک در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۶-۲۰۲۰) از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه و داده‌های شاخص‌های دورپیوندی نیز از تارنمای NOAA و BOM دریافت گردید. در ادامه، داده‌های ماهانه همه شاخص‌ها و دمای لایه‌های ایستگاه‌ها در قالب ماتریس همبستگی دسته‌بندی و ارزیابی شدند. سپس با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره پارامتری و واکاوی همیدید، ارتباط بین شاخص‌ها و دمای خاک بررسی و تفسیر گردید. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده پژواک روند گرمایش جهانی در دمای خاک منطقه است. شاخص‌های دمای آب پهنه‌های دریایی شاخاب پارس، خزر، شرق مدیترانه دریای سرخ و شمال اقیانوس هند، بیشترین همبستگی را با دمای خاک همه ژرفاهای ایستگاه‌ها داشتند. از بین شاخص‌های کلاسیک، بیشترین ضریب همبستگی مثبت در همه لایه‌ها با شاخص AMO به‌دست آمد. همچنین به کمک روش تحلیل عاملی از بین همه شاخص‌ها، شش مؤلفه اصلی به‌دست آمد که طبق معیار بار عاملی سه مؤلفه بارز تر به ترتیب، مؤلفه یکم، دمای آب پهنه‌های دریایی منطقه، مؤلفه دوم دمای آب شمال اقیانوس هند و مؤلفه سوم دمای آب شمال اقیانوس اطلس نام‌گذاری و آشکارسازی شد. در ادامه از روش رگرسیون گام به گام با تأخیر یک فصل، برای امکان‌سنجی پیش‌بینی دمای خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی مبنای سرارود استفاده شد. یافته‌ها نشان‌دهنده قابلیت پیش‌بینی‌پذیری بیشتر در فصول گرم سال است. در نهایت، سازوکار همیدید مؤثر بر نوسان دمای خاک با رویکرد محیطی به گردشی تفسیر گردید در هر دو الگوی دمای فرین خاک گرم (تابستان) و سرد (زمستان) فشار فلات مرکزی ایران نسبت به نرمال افزایش داشته است؛ این سازوکار همیدید موجب افزایش فرارفت گرم روی غرب کشور در تابستان و سرماییش هوا و به تبع آن ایستگاه‌های مورد مطالعه شده است.

دمای خاک، پیوند از دور، کرمانشاه، ایران.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۸/۲۹

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۰۹

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی است که وردایی آن تأثیرات گسترده‌ای بر فرآیندهای جوی، سطح زمین و محیط زیست داشته و نوسان یا وردش آن موجب تغییر فرآیندهای بسیار پیچیده‌ای در سامانه اتمسفر و لایه سطحی و زنده خاک می‌گردد. از عوامل مؤثر بر دما به‌ویژه دمای سطح و ژرفای خاک می‌توان به توپوگرافی، عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی، شیب، دوری و نزدیکی به دریاها، جنس و بافت خاک و نوسانات سالانه و دهه‌ای جریانات اتمسفری اشاره کرد. یکی از عوامل تأثیرگذار دیگر، نوسانات دمای سطح پهنه‌های آبی می‌باشد که با توجه به کارکرد سازوکاری موسوم به واداشتهای پیوند از دور، در تغییرپذیری دمای یک ناحیه نقش قابل ملاحظه دارد. براساس برخی تعاریف، این واداشته‌ها معیارهایی هستند که به‌وسیله آنها تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جو اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین رابطه و همبستگی معنی‌دار بین تغییرات زمانی دو الگو یا سیستم گردش که در مسافتی دور از هم قرار دارند، «پیوند از دور» نامیده می‌شود (Alijani, 2002). اصطلاح پیوند از دور از دو واژه دور^۱ و پیوند آدر زبان انگلیسی ترکیب شده است. هم‌چنین پیوند از دور راهی برای خلاصه‌نمودن الگوهای جوی، توصیف فرایندهای ترابرد گرما، انرژی، نم و تکانه زمین و درک بهتر و ارزیابی چگونگی تغییر آب و هوا و اکوسیستم‌های منطقه‌ای است (Schwing et al., 2009). پیوند از دور عموماً واکاوی ارتباط بین نوسان‌های کم‌بسامد گردش جوی، بارش و دمای منطقه گرمسیری با برون‌گرمسیری، به‌ویژه در ارتباط با پدیده انسو می‌باشد (Ding and Wang, 2005). با این توصیف‌ها نتیجه گرفته می‌شود که پیوند از دور اصطلاحی برای توصیف ارتباط الگوی گردش جو در یک منطقه با منطقه‌ای دیگر است (Bridgman and Oliver, 2006; Geay, 2008). پیوند از دور بررسی ارتباط بین نوسان‌های کم‌بسامد گردش جوی، به‌ویژه در ارتباط با پدیده انسو می‌باشد (Ding and Wang, 2005; Trenberth et al., 1998). پیوند از دور به‌نوعی پاسخ اتمسفر به وادشتهای دور از آن نظیر دمای سطح دریا و الگوهای ویژه فشار اتمسفر تعریف می‌گردد (Chase et al., 2005). الگوی پیوند از دور تداوم و پایایی یک بی‌هنجاری بزرگ مقیاس در جو و اقیانوس

می‌باشد، هم‌چنین یک الگوی پیوند از دور اغلب یک مد از نوسان‌های کم‌بسامد بوده که از چند هفته تا چند سال ادامه داشته و خود نیز در ارتباط با تغییر در آرایش امواج سیاره‌ای روی می‌دهد (Quiring, 2002). با این توصیف، هدف از طرح موضوع پژوهش حاضر، بررسی ارتباط بین دمای هوا به‌ویژه دمای ژرفای خاک سه ایستگاه اصلی هواشناسی در استان کرمانشاه و برخی شاخص‌های دورپیوندی می‌باشد و در نهایت استفاده کاربردی از آن در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش هواشناسی کشاورزی و درک بهتر ماهیت تغییراتی است که شتابان در فرایندها و پس‌خورندهای پیچیده اقلیمی در مقیاس نقطه‌ای (ایستگاه)، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی در حال رخداد است. تاکنون مطالعات گوناگونی در مورد ارتباط پارامترهای اقلیمی (عمدتاً بارش و دمای هوا) و شاخص‌های پیوند از دور انجام شده است. از جمله پژوهش‌های انجام‌شده در کشور می‌توان به تحقیق خوش‌رفتار (Khoshraftar, 1998) اشاره کرد که تأثیر پدیده انسو را بر بارش ایران مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که افزایش بارش ایران با شاخص منفی (النینو) و کاهش آن با شاخص مثبت (لانینا) همراه است. ناظم‌السادات و قاسمی (Nazemosadat and Qasemi, 2004) نوسان دمای سطح آب دریای خزر را بر بارش فصول زمستان و بهار نواحی شمال و جنوب غرب ایران بررسی نمودند و به‌این نتیجه رسیدند که وقوع شرایط گرم دمای دریای خزر عملاً موجب ۲۰ درصد کاهش بارش فصل زمستان در سواحل دریای خزر و نواحی شمال استان‌های فارس و خوزستان شده است. احمدی گیوی و همکاران (Ahmadi Givi et al., 2008) به بررسی اثر انسو بر توزیع بارش فصلی ایران در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۰ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در هیچ‌یک از فازهای فعالیت انسو، توزیع بارش فصلی از الگو و روند خاصی تبعیت نمی‌کند. رضایی بنفشه و همکاران (Rezaei banafsheh et al., 2010) بارش‌های پاییزه و زمستانه نیمه غرب ایران را با استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه پیش‌بینی نمودند و نشان دادند زمانی که در فصل پاییز دمای سطح آب دریای مدیترانه سرد تر از حد معمول باشد، بارش زمستانه منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد ولی دمای گرم‌تر از معمول آن در تابستان باعث افزایش بارش پاییزه می‌شود. جهان‌بخش اصل و همکاران (Jahanbakhsh asl et al., 2012) تأثیر دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر بارش نیمه غربی ایران در ۱۵ ایستگاه مطالعه

¹ Tele² Connection

و بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دوره‌هایی از فصل زمستان که دمای سطح آب دریای مدیترانه^۱ سردتر از حد معمول است، بارش زمستانه منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و موجب ایجاد همبستگی منفی و معنی‌دار در چند ایستگاه منطقه مورد مطالعه می‌شود. رنجبر سعادت‌آبادی و ایزدی (Ranjbar saasat abadi and Izadi, 2013) با استفاده از برون‌داد یک مدل گردش‌عمومی تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند و دریای عرب را بر بارش نیمه جنوب ایران بررسی کردند. نتایج کار آنها نشان‌داد که همبستگی معنی‌داری بین بی‌هنجاری بارش و بی‌هنجاری دمای سطح آب نواحی غرب اقیانوس هند در ماه‌های اکتبر، نوامبر و ژانویه و برای نواحی شرقی آن در ماه‌های اکتبر و نوامبر وجود دارد. بهیار و کمالی (Behyar and Kamali, 2007) روی رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک مطالعه کردند. یافته‌های آنان نشان‌داد که دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما با افزایش ژرفای خاک به سرعت کاهش می‌یابد و دمای بیشینه در ژرفای پایین‌تر با تأخیر زمانی اتفاق می‌افتد. همچنین ژرفای لایه‌ای از خاک که در آن پدیده سرمازدگی اتفاق می‌افتد، در فصول مختلف سال به‌ویژه در بهار و پاییز متفاوت است. بررسی آن‌ها نشان‌داد که عمده علت کاهش ناگهانی دما در فصل بهار، سرمای تابشی بوده است. مجرد و صادقی (Mojarad and Sadeqi, 2012) روی رابطه دمای سطح زمین با اعماق خاک در استان کرمانشاه کار کردند. نتایج پژوهش نشان‌داد که با افزایش ژرفای خاک، دامنه نوسان سالانه دما به‌ویژه دامنه شبانه‌روزی دما کاهش می‌یابد. همچنین جنس خاک، صرف‌نظر از اختلاف‌هایی که در اثر تفاوت‌های آب و هوایی پدید می‌آید تأثیر چندانی در ترتیب توزیع ژرفایی دما ندارد. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2018) نیز روی مدل‌سازی پیوند از دور در ارتباط با بارش کشور مطالعه نمودند. یافته‌های آن‌ها بر نقش تعیین‌کننده انسو بر بارش ایران تأکید داشت. در بخش جهانی نیز پژوهش‌های گسترده‌ای با رویکرد پیوند از دور انجام شده است. یوو و همکاران (Uvo et al., 1998) رابطه بین دمای سطح دریا^۲ در اقیانوس‌های اطلس و آرام حاره‌ای را با بارش‌های شمال برزیل بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این رابطه در تمام فصل بارش قابل ملاحظه است. لطیف و همکاران (Latif et

al., 1999) نقش ناهنجاری دمای سطح اقیانوس هند را در ایجاد ناهنجاری بارش شرق آفریقا در ماه‌های دسامبر و ژانویه به‌وسیله یک مدل گردش عمومی جو مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های شدید شرق استوایی آفریقا در فصل پاییز به‌طور مستقیم به تغییرات دمای سطح آب اقیانوس هند وابسته است. راول (Rowel et al., 2002) تأثیر دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر روی بارش‌های منطقه ساحل (آفریقا) با استفاده از مدل گردش عمومی جو بررسی کرد و نتیجه گرفت که بی‌هنجاری مثبت و منفی SST دریای مدیترانه به‌ترتیب با شرایط مرطوب و خشک منطقه ساحلی همراه شده است. یوان و همکاران (Yuan et al., 2008) تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند را بر روی آغاز بارش‌های موسمی تابستانی دریای چین جنوبی بررسی کردند. دایان و همکاران (Dayan et al., 2016) نشان دادند که ایجاد همگرایی رطوبت نقش مهمی در وقوع بارش سنگین داشته و بیشترین همبستگی معنادار بین بارش و شاخص نوسان شمالی، در شمال غرب حوضه مدیترانه وجود دارد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2013) روی رابطه دمای خاک در ماه مه در شمال غربی چین و بارش‌های موسمی تابستان شرق آسیا کار کردند و نتیجه گرفتند که حافظه دمای خاک در ژرفای ۸۰ سانتی متری می‌تواند دست‌کم دو ماه باقی بماند. همچنین دمای خاک در ماه مه با بارش مونسون شرق آسیا در ماه‌های ژوئن و ژوئیه ارتباط تنگاتنگی دارد. هنگامی که دمای خاک در ماه مه در شمال غربی چین گرم‌تر باشد، بارش کمتری در دره رودخانه یانگ‌تسه و هوآیه رخ می‌دهد. اما در ماه‌های ژوئن و ژوئیه این اتفاق بیشتر در جنوب چین رخ می‌دهد. ژو و همکاران (Xue et al., 2018) با یک مطالعه دینامیکی روی تأثیر دمای آب اقیانوس اطلس جنوبی بر پیرامون، دریافتند که بی‌هنجاری دما از راه قطار موج راسبی به استرالیا نیز می‌رسد و موجب افزایش دمای هوا در شرق این قاره می‌شود. با استناد به پژوهش‌های بررسی‌شده در این پژوهش آشکار است که روی موضوع دمای خاک و ارتباط آن با شاخص‌های دورپیوندی پژوهش‌های بسیار اندکی انجام گرفته است؛ بنابراین اهمیت و کاربرد موضوع پژوهش حاضر بیشتر آشکار می‌گردد.

مواد و روش‌ها

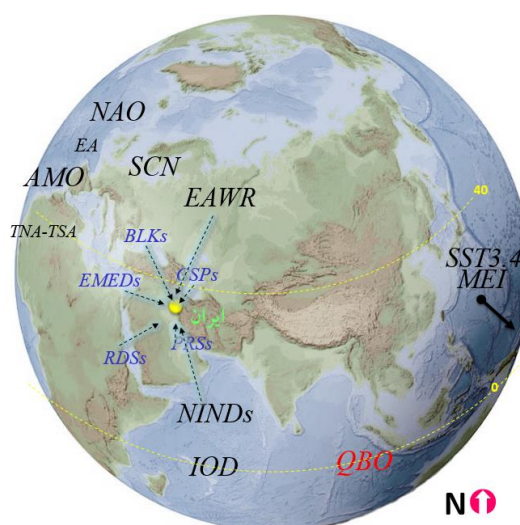
در این پژوهش ۱۶ شاخص پیوند از دور که در شکل ۱

^۱ Med SST

^۲ SST: Sea Surface Temperature

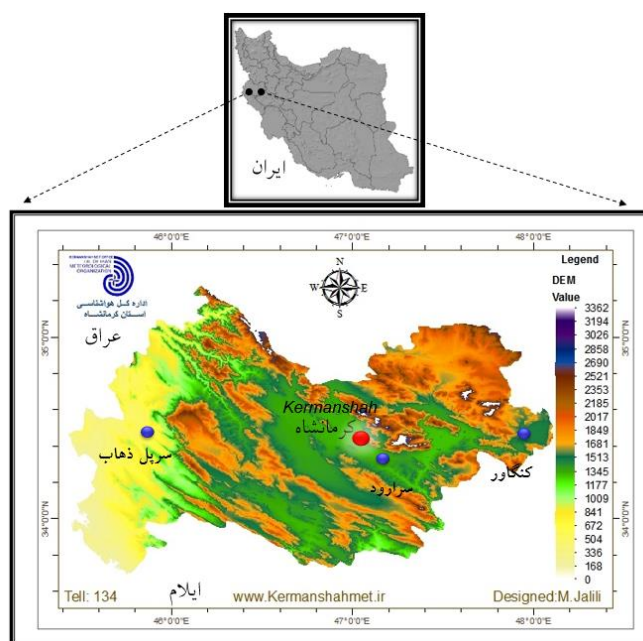
(جدول ۱)، از پایگاه‌های معتبر جهانی از جمله NOAA، BOM و آمار ماهانه دمای ژرفای خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) ایستگاه‌های هواشناسی کنگاور (نماینده منطقه سردسیر، KNG)، سرارود (نماینده منطقه معتدل، SRD) و سرپل‌ذهاب (نماینده منطقه گرمسیر، SRP) استان کرمانشاه در یک بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۶-۲۰۲۰) از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه، بوده است (شکل ۲).

موقعیت نسبی آنها مشخص شده است استفاده گردیده است. هرکدام از این شاخص‌ها به‌نوعی به کمک سازوکار پل اتمسفری و اقیانوسی واداشت خود را از راه‌های گوناگون به نواحی دور از خود تراورد می‌کنند. بدیهی‌است که سهمی از این نیروها نیز بر خاورمیانه، ایران و در نهایت ایستگاه‌های استان کرمانشاه تأثیرگذار است و برهم‌کنش ترکیبی آن‌ها رژیم و هویت اقلیمی هر ناحیه را می‌سازد. گام نخست در این مطالعه دریافت داده‌های ماهانه ۱۶ شاخص پیوند از دور



شکل ۱. نقشه موقعیت نسبی شاخص‌های دور پیوندی استفاده‌شده در ارتباط با ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig 1. The relative location map of the teleconnection indices used in the stations of this study.



شکل ۲. نقشه موقعیت نسبی ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده در این پژوهش

Fig 2. The relative location map of the studied meteorological stations in this research.

در این مطالعه از روش تحلیل آماری همبستگی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده خواهد شد. دمای سطح زمین به‌دلیل اختلاط با هوای لایه مرزی و ارتباط نزدیک با دمای هوا از مطالعه حذف شده است. از طرفی به‌دلیل حجم بالای مطالعات فراسنج‌هایی نظیر دمای هوا در سطح جهانی و عدم تکرار، در این مطالعه تنها روی دمای خاک واکاوی صورت می‌گیرد. شاخص‌های دورپیوندی مورد نظر برای تحلیل ارتباط در مطالعه حاضر، به شرح جدول ۱-۳ است.

جدول ۱. شاخص‌ها و الگوهای پیوند از دور به‌کاررفته در پژوهش حاضر (در ارتباط با مطالعه Ahmadi et al., 2019 و Helali et al., 2020)
Table 1. Used teleconnection indices and patterns in the present research (Ahmadi et al., 2019, and Helali et al., 2020)

ردیف	اختصار شاخص	نام شاخص (انگلیسی)	نام شاخص (فارسی)
۱	MEI	Multi-variate ENSO Index	شاخص چند متغیره انسو
۲	SST3.4	Sea surface temperature at the Niño 3.4 region (Pacific Ocean Center)	بی‌هنجاری دمای آب در مرکز اقیانوس آرام
۳	PDO	Pacific Decadal Oscillation	نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام
۴	AMO	Atlantic Multi-Decadal Oscillation	نوسان چنددهه‌ای اقیانوس اطلس
۵	TNA-TSA	Difference between Temperature of North Atlantic than South Atlantic	تفاضل دمای آب شمال اقیانوس اطلس از جنوب آن
۶	IOD	Indian Ocean Dipole	دوقطبی اقیانوس هند
۷	NAO	North Atlantic Oscillation	شاخص نوسان اطلس شمالی
۸	EAWR	East Atlantic-West Russian pattern	الگوی شرق اطلس - غرب روسیه
۹	SCND	Scandinavian Index	الگوی اسکاندیناوی
۱۰	EA	East Atlantic Pattern	الگوی شرق اطلس
۱۱	EMED	East Mediterranean Temperature Index	دمای آب شرق مدیترانه
۱۲	CSP	Caspian Sea Temperature Index	دمای آب دریای خزر
۱۳	BLK	Black Sea temperature Index	دمای آب دریای سیاه
۱۴	PRS	Persian Gulf Temperature Index	دمای آب خلیج فارس
۱۵	RDS	Red Sea Temperature Index	دمای آب دریای سرخ
۱۶	NIND	Northern Indian Ocean Temperature Index	دمای آب شمال اقیانوس هند

رابطه زیر محاسبه گردیده است:

(۱)

$$r_{\text{Pearson}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}}$$

در این رابطه x و y سنج‌های مستقل و وابسته و $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین سنج‌های مستقل و وابسته هستند؛ r

تعریف هندسی ضریب همبستگی بین دو متغیر عبارت است از مقدار کوسینوس زاویه‌ای که دو متغیر نسبت به هم تشکیل می‌دهند و تعیین‌کننده ارتباط متغیرها می‌باشد (منصورفر، ۱۳۸۸). برای محاسبه مقدار همبستگی بین دمای ژرفاهای خاک و شاخص‌های دورپیوندی، ضریب همبستگی به‌روش گشتاور حاصل‌ضرب پیرسون در دوره آماری مورد مطالعه از

جزئی شاخص‌های وارد شده به مدل رگرسیونی آن‌ها نیز نمایش داده شده است. در ادامه پژوهش نیز به‌اختصار با استفاده از شاخص‌هایی که بار عاملی و همبستگی بیشتری داشته‌اند، سازوکار همدید مؤثر بر دمای خاک، با رویکرد محیطی به گردشی و بررسی الگوهای گردش میانگین در دو تراز استاندارد اتمسفر (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا) تفسیر شده است. نخست از مقادیر دمای شش لایه خاک سه ایستگاه میانگین‌گیری شد، سپس این دمای میانگین کل، از دمای بیشتر به کمتر مرتب و طبقه‌بندی شدند، در ادامه ۵ سال فرین سرد و ۵ سال فرین گرم برگزیده شده و نقشه‌های هوای دو تراز معیار ترسیم گردید؛ همچنین در این پژوهش برای واکاوی آماری از محیط نرم افزاری اکسل و اس پی اس اس نسخه ۱۸ استفاده شده است.

نتایج و بحث

در شکل ۳ سری زمانی ماهانه ایستگاه‌های کنگاور، سرارود و سرپل‌ذهاب نشان‌دهنده شده است. دمای میانگین ماهانه تنها در ژرفاهای ۵ و ۱۰ سانتی‌متر و در اوج فصل سرد، به‌ویژه در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ میلادی صفر و زیر صفر بوده و در باقی ژرفاها بالای صفر درجه سلسیوس بوده است. طبق نمودارهای سری زمانی، چرخه فصلی دما به‌خوبی نمایان است طبق این نمودارها روند افزایش دما در ژرفای ۵ سانتی‌متر در هر سه ایستگاه دیده شده است. البته با توجه به مقادیر پایین آماره R^2 روند در هیچ‌یک معنی‌دار نیست، از طرفی روند افزایش دمای ژرفای ۵ سانتی‌متر ایستگاه سرارود بیشتر از دو ایستگاه دیگر است، همچنین روند دمای ایستگاه‌های سرارود و کنگاور در ابتدای سری زمانی نزدیک به هم بوده است که در انتهای سری دورتر شده است، به‌نوعی گرایش به رژیم دمای گرمسیری ایستگاه سرارود بیشتر از کنگاور است. با توجه به سری زمانی ژرفای ۵ سانتی‌متر ایستگاه‌ها اختلاف دمای میانگین ماه‌های تابستان ایستگاه‌ها کاهش یافته است. سری زمانی دمای ژرفاهای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر ایستگاه‌ها پایدارتر بوده و دامنه نوسان کمتری داشته‌اند، به‌طور کلی با نفوذ به لایه‌های پایین‌تر خاک دامنه نوسان ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌ها کاهش یافته و رفتار سری زمانی دو ایستگاه نماینده نواحی سردسیر و معتدل به هم نزدیک‌تر می‌شود و برعکس. در یک دهه گذشته آهنگ افزایش دمای ژرفاهای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر خاک، از غرب به شرق استان کرمانشاه شتاب بیشتری گرفته است.

به‌دست آمده عددی بین $1+$ و $1-$ خواهد بود که هر چه به $1\pm$ نزدیک‌تر باشد، رابطه قوی‌تر است (عساکره و اشرفی، ۱۳۹۰). رابطه موجود بین سه متغیر یا بیشتر را رگرسیون چند متغیری می‌نامند. اصول اساسی رگرسیون چند متغیری مانند اصول مربوط به مسائل رگرسیون دو متغیری می‌باشد. در رگرسیون چند متغیره، یک متغیر را وابسته و متغیرهای دیگر را مستقل می‌نامند. طبق رابطه ۲، هر معادله‌ای که توان متغیرهای مستقل و وابسته یک باشد را معادله خطی می‌نامند.

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_kx_k \quad (2)$$

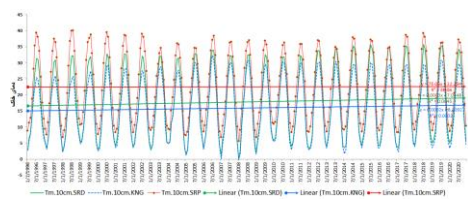
با توجه به معادله بالا می‌توان گفت چه متغیرهایی دارای قوی‌ترین رابطه با متغیر وابسته‌اند و همچنین می‌توان دید که کدام متغیر دارای بیشترین تأثیر بر Y است و سرانجام می‌توان از آن برای پیش‌بینی Y استفاده کرد. هدف از رگرسیون چند متغیره این است که بتوان متغیر وابسته Y را از روی اطلاعات مربوط به مقادیر دو یا چند متغیر مستقل $x_1, x_2, \dots, x_k$ و... پیش‌بینی کرد (منصورفر، ۱۳۸۸).

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA): یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بین مجموعه فراوانی از متغیرها که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. بنابراین از میان روش‌هایی که داده‌های آماری را تحلیل می‌کنند روش تحلیل عاملی کاربرد زیادی دارد. اگر فقط سه عامل وجود داشته باشد، نمره سؤال i ام x_i را می‌توان به‌صورت الگوی زیر نوشت:

$$X_i=b_{i1}F_1+b_{i2}F_2+b_{i3}F_3+\epsilon \quad (3)$$

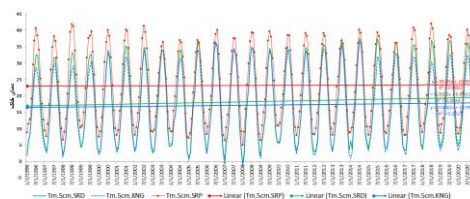
که در آن ϵ_i و $i=1, 2, 3, \dots, 100$ دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس معین است. فرمول بالا مشابه یک مسئله رگرسیون خطی چندگانه است که تنها مقادیر F_1, F_2 و F_3 مجهول هستند، پارامترهای مرتبط با اندیس b که متغیر i ام را به عامل ۱، ۲ و ۳ مرتبط می‌سازد بار عاملی نامیده می‌شود (Mansurfar, 2009). همچنین در تحلیل نهایی از آماره کایزر-مایر-الکین نیز استفاده شده است.

در ادامه، از روش رگرسیون گام به گام با تأخیر یک فصل، برای امکان‌سنجی پیش‌بینی دمای خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود با توجه به مبنا بودن، آمار قابل استناد تر و تخصصی بودن، استفاده شده است. در این بخش آمارهای موردنیاز برای ارزیابی مدل آورده شده‌اند، همچنین برای مواردی که بیش از یک مدل برازش شده نمودار همبستگی



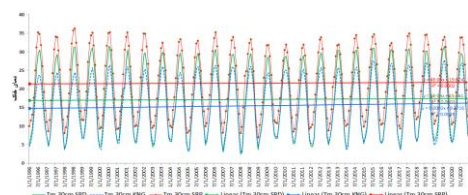
b. ژرفای خاک ۱۰ سانتی‌متر

b. Depth of 10 cm



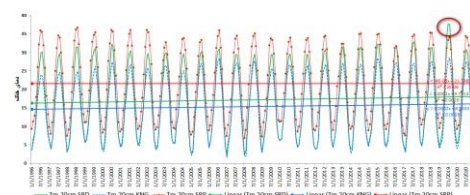
a. ژرفای خاک ۵ سانتی‌متر

a. Depth of 5 cm



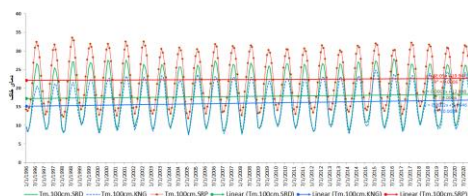
d. ژرفای خاک ۳۰ سانتی‌متر

d. Depth of 30 cm



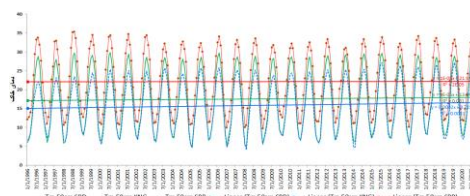
c. ژرفای خاک ۲۰ سانتی‌متر

c. Depth of 20 cm



f. ژرفای خاک ۱۰۰ سانتی‌متر

f. Depth of 100 cm



e. ژرفای خاک ۵۰ سانتی‌متر

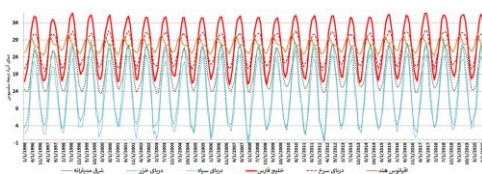
e. Depth of 50 cm

شکل ۳- سری‌های زمانی دمای ژرفاهای خاک ایستگاه‌های مطالعه حاضر

Fig 3. Time series of soil depth and temperature at the stations of the present study

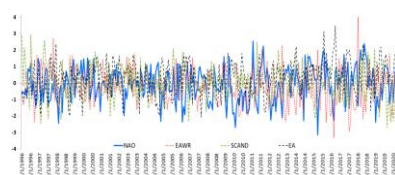
آزاد و گسترده است، این ویژگی دامنه نوسان فصلی دما، در شمال اقیانوس هند، دریای سرخ و مدیترانه، از همه کمتر است. خلیج فارس بیشترین و دریای سیاه و خزر کمترین دماها را در فصول گرم و سرد تجربه می‌کند.

در شکل‌های ۴ تا ۶ نیز سری زمانی شاخص‌های دورپیوندی به‌کار رفته در پژوهش حاضر نشان‌داده شده‌اند. طبق نمودارهای سری زمانی، چرخه فصلی دما در حوضه‌های کوچک‌تر بسته و شمال سوتر آبی، بسیار بیشتر از حوضه‌های



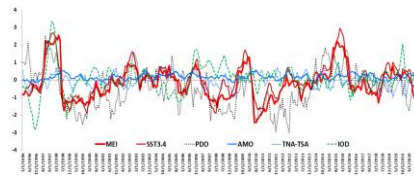
شکل ۴. سری‌های زمانی دمای آب پهنه‌های آبی همسایه

Fig 4. Time series of water temperature from neighboring water basins



شکل ۵. سری‌های زمانی شاخص‌های فشاری / گردشی

Fig 5. Time series of pressure/circulation indices



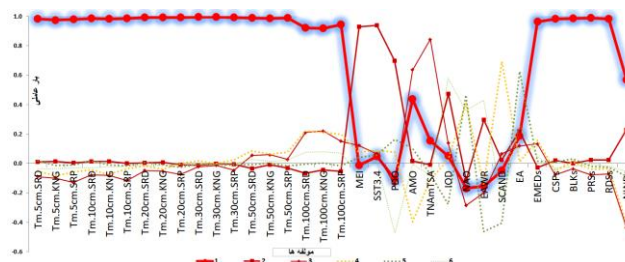
شکل ۶. سری‌های زمانی شاخص‌های خانواده انسو

Fig 6. Time series of ENSO family indices

داده است. در فاز مثبت دو قطبی اقیانوس هند نیز مشابه فاز گرم انسو، قدری کاهش دما در لایه‌های ژرف‌تر خاک روی داده است. در فاز مثبت شاخص شرق اطلس غرب روسیه نیز مشابه فاز گرم انسو، قدری کاهش دما در لایه‌های ژرف‌تر خاک روی داده است. با استناد بر منحنی مؤلفه سوم، افزایش دمای شمال اقیانوس اطلس موجب کاهش دمای ژرفای بالای ۳۰ سانتی‌متر همه ایستگاه‌ها و افزایش دمای ژرفاهای کمتر از ۳۰ سانتی‌متر شده است. با استناد بر منحنی مؤلفه سوم، شاخص منفی (مثبت) نوسان اطلس شمالی موجب افزایش (کاهش) دمای ژرفاهای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر همه ایستگاه‌ها شده است (برای لایه‌های بالاتر برعکس) این یافته قدری با واکاوی مؤلفه دوم متفاوت است ولی با توجه به بار عاملی انباشته دوطرفه بیشتر، دارای عدم قطعیت کمتری است. به‌طور کلی به‌عنوان یک یافته فراگیر هر چه اقیانوس آرام مرکزی گرم‌تر، اقیانوس اطلس شمالی سرد تر، اقیانوس هند غربی گرم‌تر، پهنه‌های آبی همسایه سرد تر، فرارفت سرد غرب اورال شرق اروپا بیشتر (فاز مثبت شاخص EAWR) و فاز شاخص نوسان اطلس شمالی مثبت‌تر باشد، دمای ژرفاهای خاک ایستگاه‌ها به‌ویژه لایه‌های ژرف‌تر، معمولاً کاهش خواهد یافت.

نکته مهم همدید، ابهام در مورد تأثیر شاخص مثبت یا منفی نوسان اطلس شمالی است، آن‌هم به‌دلیل تأثیرات متفاوت در فصول گرم و سرد است، به‌نحوی که شاخص مثبت معمولاً در فصل سرد با کاهش دما و افزایش بارش همراه می‌گردد در حالی که گرایش به شاخص مثبت آن در فصل سرد معمولاً با تقویت پر فشارهای جنب حاره و گرمای بیشتر همراه است. طبق شکل ۷، نام‌گذاری هر مؤلفه انجام گرفته است، مؤلفه نخست نمایه دمای آب / خاک، مؤلفه دوم انسو، مؤلفه سوم نوسان دمای آب اقیانوس اطلس، مؤلفه چهارم نمایه توزیع مداری جرم و فشار هوای اوراسیا، مؤلفه پنجم توزیع نیم روزی جرم و فشار هوای اوراسیا و مؤلفه ششم شیب مداری دمای آب اقیانوس هند هستند. در این پژوهش تنها هدف

با هدف آشکارسازی و شناخت روابط و همبستگی‌های پنهان بین شاخص‌های پیوند از دور و دمای ژرفاهای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، در ادامه از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. آماره کایزر-مایر-الکین آزمون ۰/۹۵۱ و نزدیک به ۱ بوده و نشان می‌دهد که داده‌های مورد نظر (اندازه نمونه) برای تحلیل عاملی مناسب هستند، همچنین آماره بارتلت نیز نشان می‌دهد که این آزمون نیز معنی‌دار است. طبق برون‌داد پراش کل، از بین همه شاخص‌های وارد شده به واکاوی (۳۴)، شش مؤلفه استخراج گردید (نزدیک ۹۰ درصد پراش کل) که حدود ۶۶ درصد پراش را مؤلفه نخست، ۷/۲ درصد مؤلفه دوم و ۵/۷ درصد را مؤلفه سوم توجیه کرده‌اند. با هدف آشکارسازی پسخورندها و ارتباط‌ها، نمودار شش مؤلفه اصلی به‌دست آمده با استفاده از بارهای عاملی آن‌ها نشان‌داده شده است. طبق نمودار شکل ۷، بیشترین ارتباط مستقیم مؤلفه نخست (دمای لایه‌های خاک هر سه ایستگاه) با دمای آب پهنه‌های آبی منطقه، رتبه دوم با دمای شمال اقیانوس هند، رتبه سوم با دمای آب شمال اقیانوس اطلس (شاخص AMO) آشکارسازی شده است. نکته بسیار مهم در واکاوی ارتباط سه رتبه نخست، نوع آن‌ها است که همگی مؤلفه دمای آب هستند. این نشان می‌دهد که احتمالاً رژیم دمای خاک استان کرمانشاه بیشتر زیر تأثیر گرمایش جهانی و احتمالاً گرمایش اقیانوس‌ها است. رتبه‌های بعدی که از معنی‌داری کمتری برخوردار هستند، عمدتاً شاخص‌های اتمسفری و گردش جو و با ارتباطی معکوس می‌باشند، از جمله شاخص شرق اقیانوس اطلس، شاخص نوسان شمالی و شاخص شرق اطلس- غرب روسیه. منحنی بار عاملی مؤلفه دوم نشان‌دهنده تأثیر بیشتر پدیده انسو و نوسان اطلس شمالی روی ژرفاهای ۳۰ سانتی‌متر به پایین است که معمولاً در فازهای گرم انسو (النینو) دمای این ژرفاها قدری کاهش می‌یابد و در فازهای سرد انسو (لانینا) برعکس به نظر می‌رسد. در فاز منفی نوسان اطلس شمالی مشابه فاز گرم انسو، قدری کاهش دما در لایه‌های ژرف‌تر خاک روی



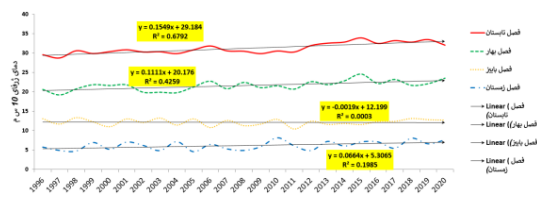
شکل ۷. نمودار ارتباط فضایی همه ماتریس مؤلفه‌ها با توجه به مقادیر بار عاملی شش مؤلفه اصلی استخراج شده، مؤلفه نخست بر جسته‌تر نمایش داده شده است.

Fig 7. Spatial relationship diagram of all components' matrix regarding the load with 6 extracted components, the first component being displayed more prominently.

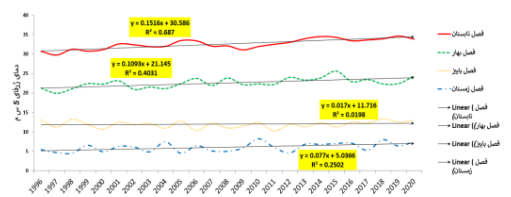
ایستگاه با جزئیات بیشتری بررسی شده است (شکل ۸). طبق نمودار سری زمانی، روند افزایشی نسبتاً معنادار در حدود ۰/۱۵ درجه سلسیوس در هر سال (۱/۵ درجه سلسیوس در هر دهه) و بیشتر در دمای فصل تابستان ژرفای ۵ سانتی متر دیده می شود. از مهم ترین تأثیرات این افزایش دمای ژرفای سطحی خاک، افزایش تبخیر و کاهش رطوبت خاک می باشد که می تواند روی پوشش گیاهی ناحیه نیز تأثیر منفی بگذارد. طبق نمودارها نوسان دما در ژرفاهای بیشتر، کمتر می گردد، به طور کلی میانگین دمای همه ژرفاها در تابستان بیشینه و در زمستان کمینه است، تنها تفاوت در فصول گذار بهار و پاییز است، نکته قابل توجه این است که تا ژرفای ۵۰ سانتی متر معمولاً دمای میانگین همه لایه های بهار بیشتر از پاییز است، این در حالی است که در لایه ۱۰۰ سانتی متر منحنی دمای فصل پاییز بالاتر از فصل بهار قرار می گیرد. روند دمای همه لایه ها افزایشی است، اگر چه بیشتر آن ها معنی دار نیستند، تنها در لایه های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر فصل پاییز و دمای لایه ۳۰ سانتی متر فصل بهار، روند کاهش مختصر دما (غیر معنی دار) دیده شده است.

به دلیل جایگاه و اهمیت فصل پاییز در آغاز سال زراعی، روابط همبستگی در این فصل و ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود با جزئیات بیشتری بررسی شده است. در مجموعه شکل ۹ یافته‌های واکاوی همبستگی نشان داده شده‌اند، در شکل ۹-a یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۵ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط سه شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۵ سانتی‌متر با شاخص‌های دور پیوندی، به ترتیب دمای

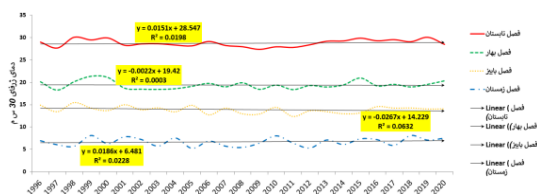
بررسی مؤلفه نخست بوده که به خوبی درهم تنیدگی و ارتباط یا هم‌فازی دمای خاک با دمای آب اقیانوس‌ها نشان داده شده است. در ادامه سری زمانی ۳۱۲ ماه دمای ژرفاهای خاک سه ایستگاه با ۱۶ شاخص دورپیوندی وارد آنالیز همبستگی شده‌اند، طبق جداول ماتریس همبستگی و آماره‌های سطح معنی‌داری (نشان داده نشده‌اند)، به دلیل هم‌فازی، شاخص‌های دمای آب پهنه‌های دریایی همسایه، بیشترین همبستگی را با دمای خاک همه ژرفاهای ایستگاه‌ها داشته‌اند، به‌طوری‌که بیشترین ضریب همبستگی میانگین سه ایستگاه به‌ترتیب ژرفای ۵ سانتی‌متر با دمای آب دریای خزر، ژرفاهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ سانتی‌متر با دمای آب خلیج فارس و ژرفای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر با دمای آب شرق دریای مدیترانه به‌دست آمده است. با این روش، شاخص‌های خانواده انسو، در هیچ ژرفایی همبستگی معنی‌دار نداشته‌اند. شاخص نوسان اطلس شمالی تنها با دمای ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متر ارتباط معنی‌دار نداشته است، به نظر می‌رسد به این دلیل بوده که الگوی نوسان اطلس شمالی در دوره‌های یکی دو هفتگی در گذر سامانه‌های جوی بیشتر نوسان دارد و تأثیر آن در ژرفاهای پایین‌تر خاک به روشنی آشکار نمی‌شود. همبستگی شاخص اسکاندیناوی نیز تنها با ژرفای ۲۰ سانتی‌متر و ایستگاه‌های کنگاور و سرپل‌ذهاب معنی‌دار بوده و با افزایش شاخص یاد شده، دمای این ژرفا کاهش یافته است، در این حالت معمولاً با مثبت‌تر شدن شاخص اسکاندیناوی روی شمال اروپا بلوکینگ روی می‌دهد که موجب جریانات شمالی روی شرق مدیترانه و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی خاورمیانه و کاهش دما می‌شود. به دلیل جایگاه میانی با رویکرد جغرافیایی-اقلیمی، نوع تخصصی ایستگاه موقعیت منحصربه‌فرد ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود، واکاوی‌های آماری در این



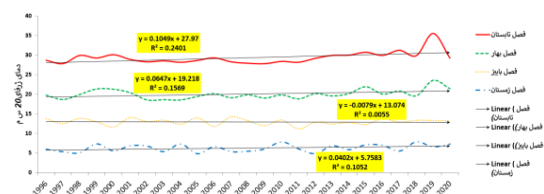
شکل b. ژرفای خاک ۱۰ س. م.
b. Depth of 10 cm



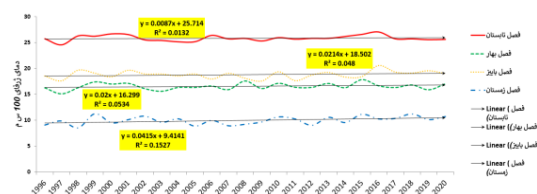
شکل a. ژرفای خاک ۵ س. م.
a. Depth of 5 cm



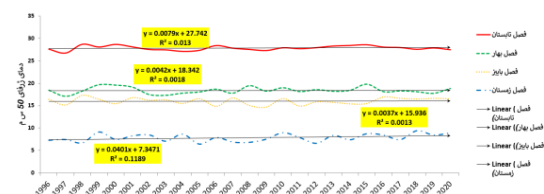
شکل d. ژرفای خاک ۳۰ س. م.
d. Depth of 30 cm



شکل c. ژرفای خاک ۲۰ س. م.
c. Depth of 20 cm



شکل f. ژرفای خاک ۱۰۰ س. م.
f. Depth of 100 cm



شکل e. ژرفای خاک ۵۰ س. م.
e. Depth of 50 cm

شکل ۸. سری زمانی دمای ژرفاهای خاک ایستگاه سرارود

Fig 8. Time series of soil temperature depths at the Sararoud station

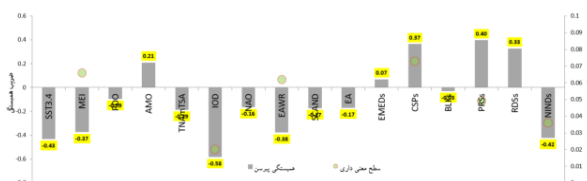
هیچ کدام از شاخص‌ها با دمای این ژرفا معنی‌دار نیست، اگر چه بیشترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۲۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب الگوی شرق اطلس (۰/۳۹-)، دمای آب دریای سرخ (۰/۳۸) و دمای آب خلیج فارس (۰/۳۸) می‌باشند. در شکل ۹-d یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۳۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط دو شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۳۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۵۸-) و دمای شمال اقیانوس هند (۰/۴۲-) می‌باشند. در شکل ۹-e یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۵۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط چهار شاخص با دمای

آب دریای سرخ (۰/۵۴-)، خلیج فارس (۱/۵) و الگوی دوقطبی اقیانوس هند (۰/۴۹-) می‌باشند. به واقع هم‌زمان با افزایش دمای آب دریای سرخ، خلیج فارس و شرق اقیانوس هند ($IOD > 0$) در فصل پاییز، معمولاً دمای ژرفای ۵ س. م. خاک سرارود نیز افزایش یافته است. در شکل ۹-b یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۱۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری (مانند ژرفای ۵ سانتی‌متر)، ارتباط سه شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۱۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب دمای آب دریای سرخ (۰/۵۶-)، خلیج فارس (۰/۵۵-) و الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۴۳-) می‌باشند. در شکل ۹-c یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۲۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط

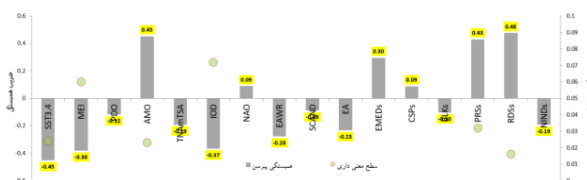
سطح معنی‌داری، ارتباط چهار شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی به‌ترتیب دمای آب دریای سرخ (۰/۴۸)، الگوی چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (۰/۴۵)، دمای ناحیه مرکزی اقیانوس آرام، موسوم به نینو ۳٫۴ (۰/۴۵) و خلیج فارس (۰/۴۳) می‌باشند.



شکل ۹(b): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۱۰ س.م.
b. Correlation test of soil temperature at a depth of 10 cm

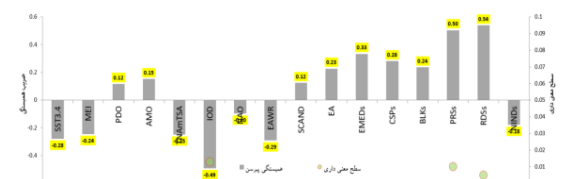


شکل ۹(d): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۳۰ س.م.
d. Correlation test of soil temperature at a depth of 30 cm

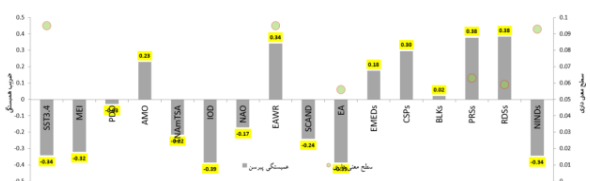


شکل ۹(f): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۱۰۰ س.م.
f. Correlation test of soil temperature at a depth of 100 cm

خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۵۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی به‌ترتیب نینو ۳٫۴ (۰/۵۱)، دمای آب دریای سرخ (۰/۴۸)، الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۴۷)، خلیج فارس (۰/۴۶) و شاخص چند متغیره انسو (۰/۴۵) می‌باشند. در شکل ۹-f یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۱۰۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان‌دهنده شده است. طبق نمودار همبستگی



شکل ۹(a): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۵ س.م.
a. Correlation test of soil temperature at a depth of 5 cm



شکل ۹(c): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۲۰ س.م.
c. Correlation test of soil temperature at a depth of 20 cm



شکل ۹(e): آزمون همبستگی دمای ژرفای خاک ۵۰ س.م.
e. Correlation test of soil temperature at a depth of 50 cm

شکل ۹. آزمون‌های همبستگی بین دمای ژرفاهای خاک ایستگاه سرارود با شاخص‌های دورپیوندی، فصل پاییز

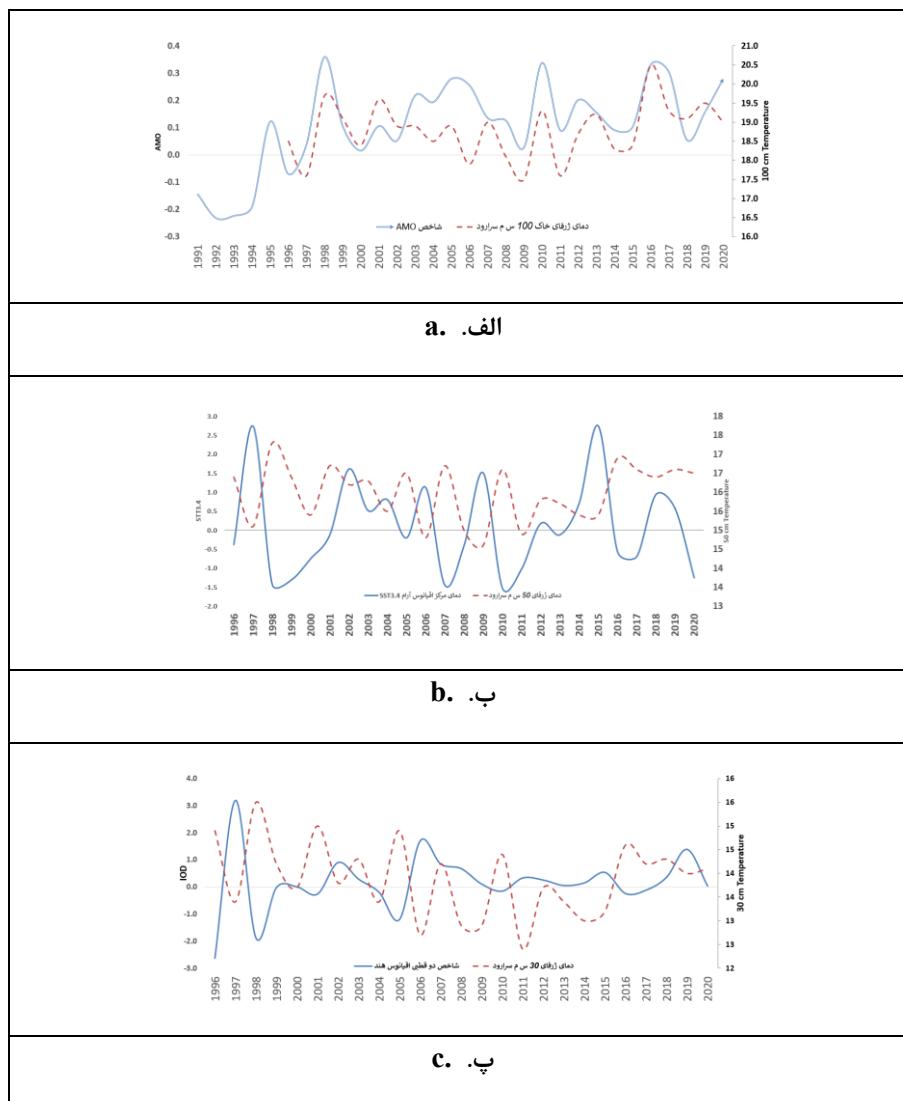
Fig 9. Correlation test between soil temperature depths and teleconnection indices at Sararoud station, autumn season

سانتی‌متر با دمای شمال اقیانوس اطلس (الگوی چند دهه‌ای اطلس) می‌باشد که در هیچ‌کدام از ژرفاهای بالاتر دیده نشده است، نکته مهم‌تر این‌است که الگوی چند دهه‌ای اقیانوس اطلس به‌عنوان یک الگوی کم‌بسامد و کند نوسان اقیانوسی بارز شناخته می‌شود و ارتباط آن با دمای ژرفای خاک یک

بررسی مقادیر همبستگی به‌دست‌آمده در فصل پاییز نشان‌دهنده ارتباط و احتمالاً تأثیر قابل ملاحظه نوسان دمای آب پهنه‌های جنوبی کشور روی وردایی دمای ژرفاهای خاک سرارود به‌ویژه روی ژرفاهای بالای ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. یافته جالب‌توجه این‌بخش ارتباط دمای ژرفای ۱۰۰

ایران و غرب کشور روی داد و روند دمای هوا افزایش بیشتری یافت و به‌ویژه بارش برف به‌شدت کاهش یافته است به نظر می‌رسد این رویدادها با افزایش معنادار دمای خاک ژرفای ۱۰۰ سانتیمتری سرارود نیز مرتبط باشد (شکل ۱۰).

متری که آن هم کم‌نوسان‌ترین لایه در بین لایه‌های مورد بررسی است قابل تأمل و تفسیر ژرف‌تر است. به‌واقع با شیفت و شیب مثبت الگوی چند دهه‌ای اطلس از سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ تاکنون، تحولات زیادی در اقلیم منطقه خاورمیانه،



شکل ۱۰. هارمونی نسبی بین سری زمانی دمای خاک ژرفاهای متفاوت ایستگاه سرارود با شاخص‌های دورپیوندی، فصل پاییز:

الف. هارمونی (هم‌فازی) نسبی بین سری زمانی دمای خاک ژرفای یک متری ایستگاه سرارود با شاخص AMO

ب. هارمونی نسبی وارون بین سری زمانی دمای خاک ژرفای ۵۰ س.م. ایستگاه سرارود با شاخص SST3.4

پ. هارمونی نسبی وارون بین سری زمانی دمای خاک ژرفای ۳۰ س.م. ایستگاه سرارود با شاخص IOD

Fig 10. Relative harmony between the time series of soil temperature at some depths at Sararoud station with, autumn season:

a. Relative harmony (homophase) between time series of soil temperature at a depth of 1 m in Sararoud station with the AMO index.

b. Relative inverse harmony between the time series of soil temperature at a depth of 50 cm at Sararoud station with SST index 3.4.

c. Relative inverse harmony between the time series of soil temperature at a depth of 30 cm at Sararoud station with the IOD index, autumn season

سرد هم‌خوانی دارد. در این الگو در بیشتر فلات ایران بیش از ۱۵ متر ارتفاع ژئوپتانسیلی کمتر از نرمال بوده و در سطح زمین نیز مرکز پرفشار سردی با هم‌فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال روی شمال غرب کشور (ماکو- وان) بسته شده است که با الگوی سرد ژرفای خاک ایستگاه‌ها انطباق دارد. در الگوی دمای بیشینه خاک در تابستان، محور پشته پر ارتفاع نزدیک گرمسیر (واچرخند عربستان)، از دریای سرخ تا دریای خزر کشیده شده است (پرند ۵۹۰۰ متر) و به‌ویژه در شمال غرب کشور بیش از ۳۰ متر تقویت شده است. میانگین شاخص NAO در گروه خاک سرد، ۱۹/۰+ و در گروه خاک گرم، ۷۸/۱- و میانگین شاخص PDO در گروه سرد ۶۲/۰- و در گروه گرم، ۰۳/۰- بوده‌اند. این یافته با یافته‌های بخش‌های پیشین که رویکردی شبه‌گردشی (بررسی فاز شاخص) به محیطی (دمای خاک) داشت نیز هم‌خوانی دارد. از نکات قابل توجه دیگر، تقویت فشار فلات مرکزی در هر دو الگوی فرین سرد و گرم است. به نظر می‌رسد در فصل سرد افزایش فشار به دلیل هجوم هوای سرد شمالی، نفوذ پرفشار سیبری و ادغام با پر فشارهای مهاجر همراه با پوشش برف و سرمایش تابشی ناشی از آن بوده باشد. هم‌چنین به نظر می‌رسد در فصل گرم تقویت فشار فلات مرکزی به دلیل شیفت شمال‌سوی محور واچرخند تابستانه و تقویت واگرایی و فرو نشینی دینامیکی و در نهایت افزایش جرم زیر بازوی شرقی آن بوده باشد. هم‌زمان فشار منطقه میان رودان عراق افزایش نیافته، این سازوکار تقویت شیو فشار، فرارفت هوای گرم به غرب کشور را تشدید کرده باشد (شکل‌های ۱۱ تا ۱۴).

مقادیر همبستگی شاخص‌های مرتبط با انسو و دمای خاک دو ژرفای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر بیانگر تأثیر وارونه انسو بر دمای خاک این ژرفاها است، به‌طوری‌که معمولاً در فازهای سرد انسو (لانینا) دمای خاک افزایش می‌یابد (همبستگی وارون شاخص چند متغیره انسو و دمای آب مرکز اقیانوس آرام با دمای خاک). این شرایط با توجه به تأثیر لانینا بر کم بارشی و استیلای جریانات پایدار بر بیشتر مناطق غربی کشور، قابل توجیه همدید است (شکل ۱۱). از نظر قدر مطلق همبستگی همه لایه‌های مورد بررسی در فصل پاییز، بزرگ‌ترین مقدار همبستگی (۵۸/۰-) بین ژرفای ۳۰ سانتی‌متر و شاخص دو قطبی هند به‌دست آمده است. به‌واقع ارتباطی وارون بین ژرفای خاک ۳۰ سانتی‌متر و شاخص یاد شده به‌دست آمده است که بیانگر افزایش (کاهش) دمای خاک این ژرفا در فازهای منفی (سرد) شاخص دوقطبی اقیانوس هند است. این‌یافته با کاهش بارش (تقویت جریانات پایدار) و افزایش دمای معمول پاییز غرب کشور در فازهای منفی دوقطبی اقیانوس هند منطبق و هم‌راستا است (شکل ۱۲). به‌دلیل برونادهای نرم‌افزاری با حجم بالا و کاستن از حجم مقاله، در این بخش جداول آماره‌ها و واکاوی آنها نشان‌داده نشده‌اند و تنها خلاصه‌ای از روابط و یافته‌ها ارائه شده است (جدول ۲) طبق این جدول و آماره تعداد مدل رگرسیونی برازش‌شده (N) و بیشینه ضریب تبیین (R^2)، به‌ترتیب تابستان، پاییز و زمستان از قابلیت پیش‌بینی‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند، این در حالی است که دمای ژرفاهای خاک فصل بهار با این روش و تنها با دو مدل رگرسیونی تک متغیره معنی‌دار برای دو ژرفای ۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تقریباً قابل پیش‌بینی (تخمین اقلیمی) نیست.

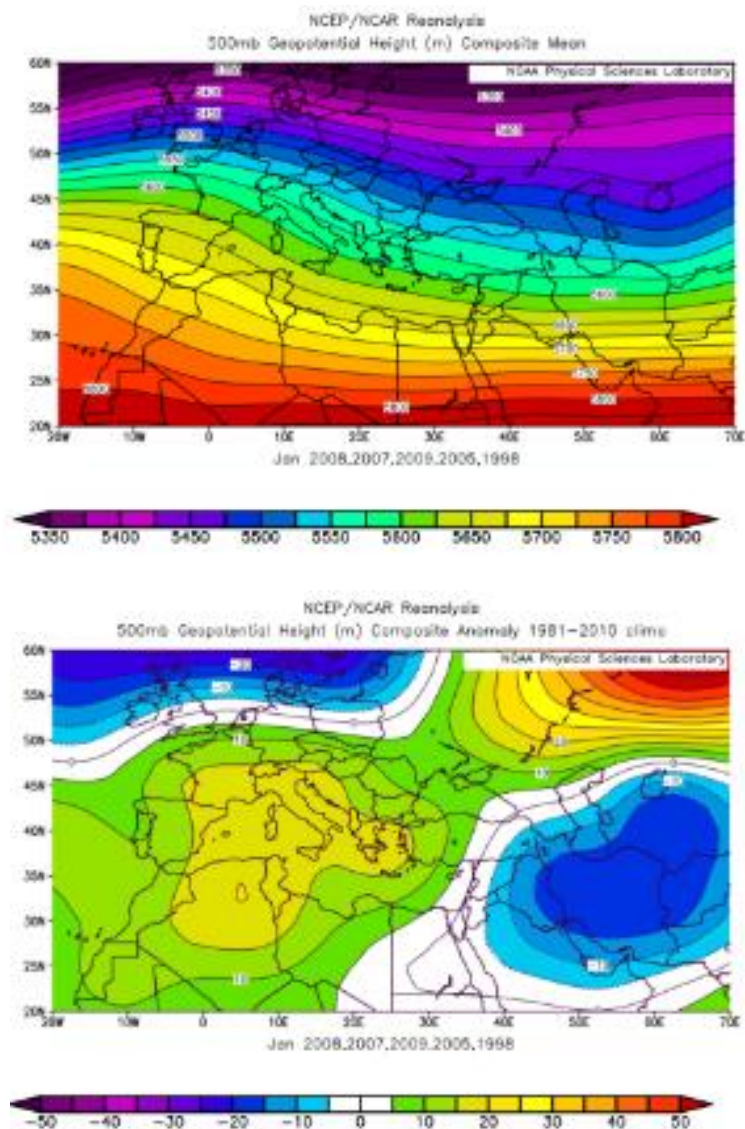
در دوره آماری ۲۵ ساله، سردترین دمای میانگین خاک ایستگاه‌ها به‌ترتیب ماه ژانویه سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۸ و گرم‌ترین دمای میانگین خاک ایستگاه‌ها به‌ترتیب ماه آگوست سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۹، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ بوده‌اند. با تقسیم دوره آماری ۲۶ ساله به دو دوره ۱۳ ساله، همه ۵ سال فرین سرد یاد شده در بالا، در دوره نخست قرار گرفته‌اند، این در حالی است که چهار سال از پنج سال فرین گرم در دوره ۱۳ ساله دوم قرار گرفته‌اند. این گویای گرم شدن قابل توجه دمای خاک یک دهه گذشته ایستگاه‌های مورد مطالعه است (شکل‌های ۱۱ تا ۱۴).

لگوی سرد ژرفای خاک ایستگاه‌ها با تقویت فرارفت هوای

جدول ۲. خلاصه شمار و ضریب تبیین مدل‌های رگرسیونی برازش شده در پژوهش حاضر، توضیح: در این جدول، منظور از تعداد مدل به‌واقع تعداد متغیر در معادله رگرسیون خطی است.

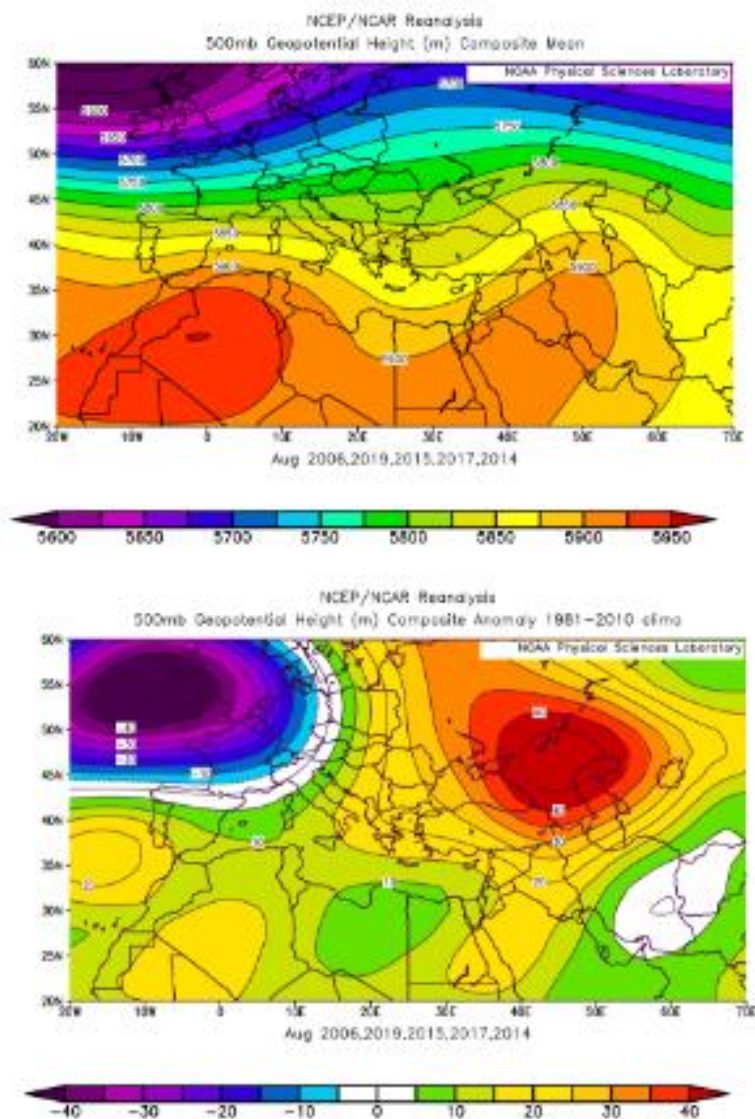
Table 2. Summary of the number and determination coefficients of the fitted regression models in the current study-In this table, the number of models refers to the number of variables in the linear regression equation.

مجموع / میانگین Total / Average	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Autumn	آماره Statistics	ژرفا Depth
۱۰	۴	---	۲	۴	N	۵
۰.۶۵۹	۰.۸۴۸	---	۰.۴۱۴	۰.۶۸۷	R ² max	
۱۱	۶	---	۲	۳	N	۱۰
۰.۶۲۹	۰.۹۵۱	---	۰.۴۲۵	۰.۵۱۲	R ² max	
۶	۳	۱	۱	۱	N	۲۰
۰.۳۸۲	۰.۹۱۳	۰.۱۷	۰.۲۸۶	۰.۱۵۸	R ² max	
۵	۲	---	۱	۲	N	۳۰
۰.۴۱۲	۰.۵۳	---	۰.۲۴۹	۰.۴۵۹	R ² max	
۷	۳	---	۲	۲	N	۴۰
۰.۵۰۴	۰.۶۵۲	---	۰.۴۶۸	۰.۳۹۴	R ² max	
۸	۳	۱	۱	۳	N	۱۰۰
۰.۴۷۱	۰.۶۶۹	۰.۲۸۲	۰.۳۴	۰.۵۹۶	R ² max	
۴۷	۲۱	۲	۹	۱۵	N	مجموع / میانگین
۰.۴۵۵	۰.۷۶۸	۰.۲۲۶	۰.۳۶۶	۰.۴۶۷	R ² max	Total / Average



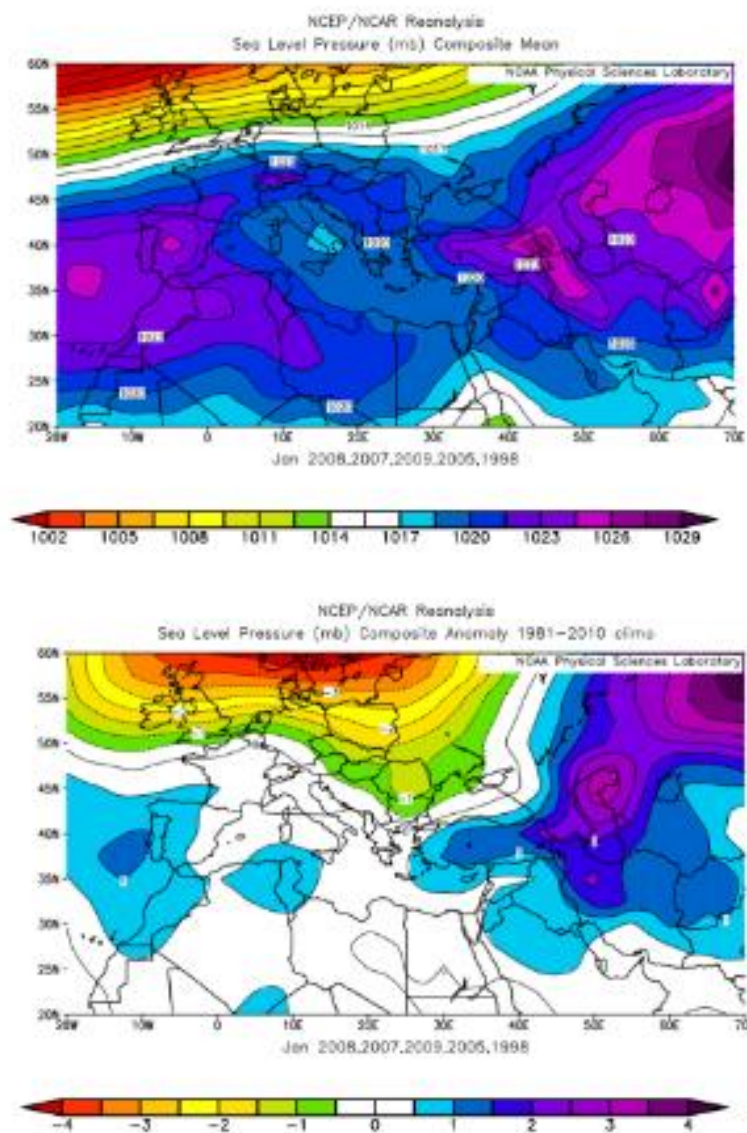
شکل ۱۱. توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سال‌های نماینده سرد (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 11. Topography of the 500 hectopascal level in the representative cold years (top) and its anomaly (bottom)



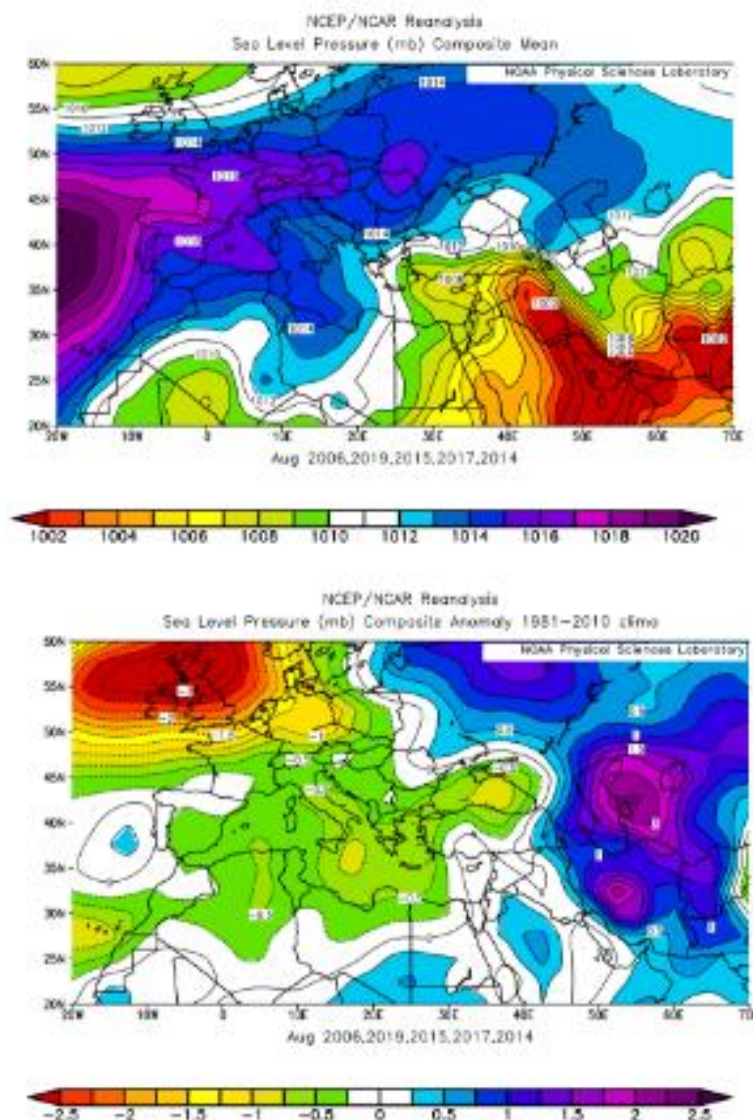
شکل ۱۲. توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سال‌های نماینده گرم (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 12. Topography of the 500 hectopascal level in the representative warm years (top) and its anomalous (bottom) years



شکل ۱۳. نقشه فشار سطح دریا در سال‌های نماینده سرد (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 13. Sea surface pressure map in the representative cold years (top) and its anomaly (bottom)



شکل ۱۴. نقشه فشار سطح دریا در سال‌های نماینده گرم (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 14. Sea surface pressure map in the representative warm years (top) and its anomaly (bottom)

نتیجه‌گیری

این پژوهش برای نخستین بار با یک رویکرد ویژه در کشور و با توجه به کمبود مطالعات مشابه در سطح جهانی، انجام شد. به دلیل نبود پژوهش‌های مشابه، مقایسه با دیگر مطالعات دشوار است. در این تحقیق، داده‌های دمای خاک سه ایستگاه هواشناسی اصلی استان کرمانشاه که دارای آمار بلندمدت و کامل‌تری بودند، جمع‌آوری شد. سپس داده‌های شاخص‌های پیوند از دور جهانی و منطقه‌ای و دمای آب دریاهای اطراف نیز مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، روابط میان این شاخص‌ها و دمای خاک در شش ژرفا مختلف واکاوی شد. یافته‌های اصلی و کلیدی این پژوهش به شرح ادامه است:

وجود همبستگی‌های معنادار: بین دمای خاک در شش ژرفا مختلف و شاخص‌های پیوند از دور، روابط قابل قبولی مشاهده شد. بررسی‌های عاملی و آزمون همبستگی نشان داد که بیشتر ژرفاها، همبستگی قوی و معناداری با دمای آب دریاهای اطراف منطقه دارند. همچنین تأثیر گرمایش جهانی: همبستگی قوی بین دمای آب دریاهای اطراف و دمای خاک ایستگاه‌ها، به ویژه با توجه به محدوده‌های کوچک آنها و نبود دلایل فیزیکی مشخص، نشان‌دهنده ارتباط هم‌فازی است که بیشتر تابع گرمایش جهانی اقیانوس‌ها است. ارتباط با پدیده انسو: همبستگی بین دمای خاک و دمای اقیانوس اطلس شمالی، شاخص دوقطبی هند و دمای اقیانوس آرام مرکزی، به ویژه در ابعاد همدید و نیم‌کره‌ای، مرتبط با گردش

period 1971-2000, *Physics of Earth and Space*,
DOR:20.1001.1.2538371.1388.35.4.7.0

Ahmadi, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Poorantiyosh, H., & Bayat, A. (2019). Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF), *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 85, 41-56.
DOI:10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001

Alijani, B. (2002). Synoptic Climatology, First Edition, Tehran, *Samt Publications*.

Alai Taleghani M. (2003). *Geomorphology of Iran*, Qoms Publications.

Asakereh, H., & Ashrafi, S. (2011). Modeling the Number of Annual Rainy Days Based on Relative Humidity and Annual Temperature of Zanjan, *Sepehr Journal*, 20(80), 13-18.

Behyar, M. & Kamali, G. (2007). The relationship between air temperature and surface temperature & different depths of soil, *Geographical Research*, 23(3), 81-102.

Bridgman, A., Howard, O., John, E. (2006). The global climate system patterns, processes, and teleconnections. *Cambridge University Press*.

Chase, N., Apielke, S. & Avissar, R. (2005). Teleconnections in the Earth System, *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Edited by M. Anderson. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa190>

Dayan, U., Nissen, K. & Ulbrich, U. (2016). Review Article: Atmospheric conditions inducing precipitation over the eastern and western Mediterranean, *Journal of the European Geosciences*, 15, 525-544. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2525-2015>

Ding, Q., & Wang, B. (2005). Circumglobal teleconnection in the Northern hemisphere summer, American meteorological society, *Journal of climate*, 18, 3483-3505. <https://doi.org/10.1175/JCLI1705>

میان‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس جو-اقیانوس است و تابع پدیده انسو می‌باشد. در ارتباط با شاخص‌های منطقه‌ای: همبستگی بین دمای خاک و شاخص‌های منطقه‌ای، که بیشتر به‌صورت فشاری و جوی هستند، از نوع همدید در مقیاس منطقه‌ای است. این ارتباط‌ها با آرایش سیاره‌ای امواج بلند راسبی و نوسان واچرخند دائمی آזור مرتبط بوده و در فازهای مثبت و منفی، تأثیرات مشخصی بر دما و رطوبت خاک دارند. در ارتباط با ثبات دما در ژرفاهای بیشتر: به‌طور کلی، دماهای خاک در ژرفاهای زیر ۵۰ سانتی‌متر از ثبات و پایداری بیشتری برخوردارند و کمتر تحت تأثیر نوسانات روزانه و هفتگی قرار می‌گیرند. بنابراین، نتایج آزمون‌های آماری برای این ژرفاها معتبر تر است. در ارتباط با تأثیر دماهای آب دریاها و پیرامون: در مجموع، زمانی که دمای آب دریاها اطراف منطقه کمتر و دمای اقیانوس هند بیشتر باشد، دماهای خاک ایستگاه‌های سه‌گانه کمتر خواهد بود، به‌ویژه در فاز گرم انسو و فاز مثبت شاخص‌های NAO و EWAR. در ارتباط با پیش‌بینی فصلی: در آزمون همبستگی و رگرسیون بین دمای خاک و شاخص‌های یک فصل با فصل‌های پیشین یا بعد، نتایج جالب توجهی به‌دست آمد؛ به‌ویژه اینکه امکان پیش‌بینی دمای خاک برای فصل‌های آینده وجود دارد. این یافته‌ها به‌عنوان یک شاخص دورپیوندی می‌تواند در پیش‌بینی و ارزیابی وضعیت دمای خاک در فصل‌های بعدی استفاده شود و کاربردهای مهمی در تولید محصولات کشاورزی و کنترل آفات دارد. در ارتباط با پیش‌بینی‌پذیری فصل‌ها: مدل‌سازی رگرسیونی نشان داد که فصل بهار پیش‌بینی‌پذیری کمتری نسبت به سایر فصل‌ها دارد. همچنین، به‌دلیل پیچیدگی فرآیندهای بیولوژیکی خاک تحت تأثیر عوامل جوی و اقیانوسی، هرگونه تغییر یا نوسان در این فرآیندها می‌تواند بر تغذیه و حیات بشر تأثیرگذار باشد. به‌طور کلی، این پژوهش نشان‌دهنده تأثیرات گسترده و پیچیده عوامل جوی و اقیانوسی بر دمای خاک و فرآیندهای مرتبط با آن است و می‌تواند به‌عنوان مبنای اطلاعاتی برای پیش‌بینی وضعیت خاک و بهینه‌سازی بخش کشاورزی در مقیاس‌های مختلف استفاده شود.

منابع

Ahmadi-Givi, F., Parhiz-Gar, D., & Hijam, S. (2008). Study of the effect of ENSO on the seasonal precipitation distribution of Iran in the

(2020) Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds. *Arab J Geoscience*. 13(8),1–24, DOI:10.1007/s12517-020-05840-7

Helali, J., Momenzadeh, H. & Salimi, S. (2021). Synoptic-dynamic analysis of precipitation anomalies over Iran in different phases of ENSO. *Arab J Geoscience* 14, 2322. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08644-5>

Latif, M., Dommenges, D., Dima, M., & Grotzner, A. (1999). The Role of Indian Ocean Sea Surface Temperature in Forcing East African Rainfall Anomalies during December – January 1997/98, *Journal of climate*, 12, 3497-3509.

Quiring S. (2002). A Teleconnection Primer, p5 2002. http://geog.tamu.edu/~squiring/html/tele_primer.htm

Rowell, D.. The impact of Mediterranean SSTs on the Sahelian rainfall season, *Journal of Climate*, 16, 849-862. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-04420849>016:/TIOMSO>2.0.CO;2>

Schwing, F., Mendelssohn, B., Bograd, S., Overland, J., Wang, M. & Ito, S.I. (2009). Climate change, Teleconnection patterns, and regional processes forcing marine populations in the pacific, *Journal of Marine Systems*, 79, 245-257, doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.027.

Rezaei B., Jahanbakhsh-Asl M., , Bayati-Khatibi S. & Zeinali M. (2009). Forecasting autumn and winter precipitation in the western half of Iran using Mediterranean SST in summer and autumn, *Natural Geographical Research*, 4, 62-47.

Ranjebar Saadatabadi, A. & Izadi, P. (2013). Relationship between Water Surface Temperature Anomalies of the Indian Ocean and the Arabian Sea and Precipitation Anomalies of the Southern Half of Iran, *Physics of Earth and Space*, 39(4),

[org/10.1175/JCLI3473.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3473.1)

Jahanbakhsh-Asl, S., Zeinali, B., Rezaei-Bonfash, M., & Babaian, I. (2012). The effect of the surface temperature of the Mediterranean Sea on the precipitation of the western half of Iran. *Scientific Research Quarterly of the Iranian Geographical Society*, 34, 177-161.

Khosh-Rafatar, F. (1998). The ENSO phenomenon and its effects on Iranian precipitation, *Geographical Research*, 51, 121-140. DOR: 20.1001.1.2538371.1388.35.4.7.0

Mojard, F., & Sadeghi, H. (2013). Studying the relationship between surface temperature and soil depth (case study of Kermanshah province), *Natural Geographical Research*, 45(1), 101-118.

Mansourfar, K. (2009). Advanced Statistical Methods with Computer Programs, Third Edition, Tehran University Press, pp. 254 and 261-260.

NazimoSadat, S. M. J. & Ghasemi, A. R. (2004). The effect of fluctuations in the Caspian Sea surface temperature on the winter and spring precipitation of the northern and southern regions of Iran, *Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources*, 8(4), 14. DOR:20.1001.1.24763594.1383.8.4.1.8

Mofidi A., & Zarrin-A. (2005). Synoptic analysis of the nature of Sudanese low-pressure systems, *Quarterly Geographical Journal of the Land*, Issue 6.

Nazari, S. & Daneshvar, S. (2013). Investigation of the vegetation cover of Zagros forests in Kermanshah province, *National Conference on Zagros Environmental Hazards*, Khorramabad. Akbari Hamid, Master's thesis, Supervisor: Mir Mousavi, M.H., & Ahadi Nejad, M. (2012). <https://civilica.com/doc/253540>.

Helali J., Salimi S., Lotfi M., Hosseini S.A., Bayat A, Ahmadi M., & Naderi-Zadeh S.

135-157. DOI: 10.22059/jesphys.2013.35986.

Uvo, CB., Repelli, CA., Zebiak, SE. & Kushnir, Y. (1998). The monthly patterns of northeast Brazil (NEB) precipitation are analyzed about sea surface temperature (SST) in the tropical pacific and Atlantic Oceans, using singular value decomposition, *Journal of climate*, 11, 551-562. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2).

Wang, Y., Chen, W., Zhang, J. & Nath, D. (2013). Relationship between soil temperature in may over Northwest China and the East Asian summer monsoon precipitation, *Journal of Meteorological Research*, 27, 716–724. <https://doi.org/10.1007/s13351-013-0505-0>.

Xue, J., Li, J. & Sun, C. (2018). Decadal-scale teleconnection between South Atlantic SST and southeast Australia surface air temperature in austral summer. *Clim Dyn* 50, 2687–2703. <https://doi.org/10.1007 / s00382-017-3764-0>

Yuan, Y., Zhou, W., Johnny, C., Chan, L., & Li, C. (2008). Impacts of the basin-wide Indian Ocean SSTA on the South China Sea summer monsoon onset 2008, *International Journal of Climatology*, 28, 1579-1587. DOI:10.1002/joc.1671.



Feasibility study of the cultivation changes from agronomy to medicinal plants in drought conditions: the case of Margoon region

Seyyed Abi Talib Mousavi Moayed¹, Mehdi Nooripoor^{2*}, Maryam Sharifzadeh³ & Maryam Afereydouni⁴

1. MSc. Graduated in Agricultural Extension, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2. Professor, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

3- Associate Professor, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

4. PhD. Student of Agricultural Development, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*Corresponding Author: mnooripoor@yu.ac.ir

Keywords:

Drought, Crop change, Medicinal plants, Diffusion of innovation theory, Margoon.

Extended abstract

Introduction

Water shortage, as a global challenge, has widespread impacts on societies and ecosystems around the world. This issue is not only the result of reduced rainfall and frequent droughts but is also exacerbated by population growth, increased water consumption in the agricultural, industrial, and domestic sectors, and inefficient water resource management. This crisis not only limits access to safe drinking water but also threatens food security, heightens social and political tensions, and causes serious environmental damage. Iran, located in the arid and semi-arid regions of the world, faces a severe water shortage that has become a national crisis. In light of population growth and the ongoing water shortage, changing the cultivation pattern and adopting crops with lower water requirements, such as medicinal plants, offers a fundamental solution for managing water resources. Medicinal plants, particularly perennial species, have low water requirements and high adaptability to ecological conditions, enabling them to play a significant role in optimizing water use and promoting appropriate cropping patterns in agriculture. They also serve as a suitable alternative to water-intensive crops and contribute to agricultural sustainability. Cropping patterns refer to the planning of crop cultivation in a way that prioritizes higher yields and lower water consumption. This research aimed to evaluate the feasibility of changing the cultivation pattern from conventional crops to medicinal plants in the Margoon region

Received:

23 Nov 2024

Revised:

1 Jan 2025

Accepted:

2 Jan 2025

How to cite this article:

Mousavi Moayed, S.A., Nooripoor, M., Sharifzadeh, M., & Afereydouni, M. (2025). Feasibility study of the cultivation changes from agronomy to medicinal plants in drought conditions: the case of Margoon region. *Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)*, 3(9), 63-82. [10.22077/jdcr.2025.8474.1086](https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.8474.1086)



of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. Shifting the cultivation pattern in Margoon toward medicinal plants responds to the challenges of water scarcity while creating sustainable livelihoods for farmers in the region. It also presents new opportunities for economic development and improving farmers' incomes. The research was conducted in two stages: the first involved selecting the most suitable medicinal plant, and the second assessed the feasibility of transitioning from traditional crops to the selected medicinal plant. The statistical population in the first stage included experts from the Agricultural Jihad of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, while the second stage involved agricultural beneficiaries (farmers) from the Margoon region.

Materials and Methods

In this research, the data collection tool was a researcher-created questionnaire, which underwent face validity assessment by experts in rural development and agricultural extension. Its reliability was confirmed through a pilot study, with Cronbach's alpha coefficients ranging from 0.72 to 0.86. The sampling technique for the first stage was purposive, while the second stage used random sampling. Participants in the first stage numbered 15, and in the second stage, the sample size was 145. The results of the first stage showed that among the six medicinal plants—thyme, bon-sorkh, rose, anguzeh, shallot, and saffron—anguzeh was identified as the most appropriate medicinal plant for cultivation in the Margoon region. The assessment of the potential for changing cultivation, based on five innovation characteristics, indicated a favorable perception of the change. Regarding characteristics such as relative advantage, adaptability, and testability, it should be noted that the current conditions meet the minimum expected (desirable) level, suggesting that cultivation can indeed be changed in these aspects.

Results and Discussion

The results of the first stage of the research indicated that, among the six medicinal plants, anguzeh was selected as the most suitable for the Margoon region based on characteristics such as agricultural operations, maintenance, growth, and adaptability. Following this, a questionnaire based on the theory of diffusion of innovation was used to assess the feasibility of changing the cultivation pattern from common crops in the region, such as wheat and barley, to the cultivation of the medicinal plant anguzeh. The results of the feasibility study, from the farmers' perspective, indicated that the shift from crop plants to the medicinal plant anguzeh could be implemented in the Margoon region in terms of relative advantage. The analysis of the potential for changing the cultivation pattern, based on five innovation characteristics, showed that visibility was in a favorable condition. Regarding characteristics such as comparative advantage, compatibility, and testability, it should be noted that the existing conditions are at the minimum expected level. However, in terms of complexity, a desirable situation was not achieved, and the current conditions exceeded the respondents' expectations. Based on the findings, it was suggested that Extension Education Classes and visits to model farms be utilized to address the complexities of anguzeh cultivation and enhance farmers' awareness.



امکان‌سنجی تغییر کشت از گیاهان زراعی به دارویی در شرایط خشک‌سالی: مورد منطقه مارگون

سید ابی طالب موسوی مؤید^۱، مهدی نوری پور^{۲*}، مریم شریف زاده^۳ و مریم آفریدونی^۴

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد ترویج کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
 - ۲- استاد گروه مدیریت توسعه روستایی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
 - ۳- دانشیار گروه مدیریت توسعه روستایی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
 - ۴- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- *نویسنده مسئول: mnooripoor@yu.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی تغییر الگوی کشت از گیاهان زراعی به دارویی در منطقه مارگون استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گردید. این تحقیق در دو مرحله انجام شد به این صورت که نتایج مرحله اول (انتخاب مناسب‌ترین گیاه دارویی) مورد استفاده مرحله دوم (امکان‌سنجی تغییر کشت از گیاهان زراعی به گیاه منتخب) قرار گرفت. جامعه آماری دو مرحله، به ترتیب شامل کارشناسان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد و بهره‌برداران کشاورزی منطقه مارگون بودند. ابزار جمع‌آوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای محقق ساخته بود. روایی صوری آن با استفاده از پانل متخصصان، و پایایی آن از طریق مطالعه پیش‌آهنگ (ضریب آلفای کرونباخ ۰/۷۲-۰/۸۶) تأیید شد. نمونه‌گیری مرحله اول هدفمند و مرحله دوم به صورت تصادفی بود. مشارکت‌کنندگان در مرحله اول ۱۵ نفر و در مرحله دوم حجم نمونه برابر ۱۴۵ نفر بود. نتایج مرحله اول پژوهش نشان داد، از بین شش گیاه دارویی، آنگوزه به لحاظ ویژگی‌هایی هم‌چون عملیات کشاورزی، نگهداری، رشد و سازگاری به عنوان مناسب‌ترین گیاه دارویی برای منطقه مارگون انتخاب شد. نتایج مرحله امکان تغییر الگوی کشت به لحاظ پنج ویژگی نوآوری نشان داد که قابلیت رؤیت با میانگین ۳/۴۹ و ضریب معناداری ۰/۰۱ در شرایط مناسبی قرار داشت. در رابطه با ویژگی‌هایی نظیر مزیت نسبی، سازگاری، آزمون‌پذیری با سطح معناداری بزرگتر از ۰/۰۵ باید اشاره شود که شرایط موجود در حد حداقل مورد انتظار هستند. نهایتاً، از لحاظ ویژگی پیچیدگی با میانگین ۳/۲۳ وضعیت مطلوبی فراهم نبود و وضعیت موجود، فراتر از حد مورد انتظار پاسخگویان بود. همچنین نتایج آزمون همبستگی نشان داد که سن و تحصیلات نقش مهمی در درک و پذیرش گیاه جایگزین ایفا می‌کنند. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد شد در راستای رفع پیچیدگی‌های کشت آنگوزه و افزایش آگاهی کشاورزان از کلاس‌های آموزشی و ترویجی و بازدید از مزارع نمونه استفاده شود.

خشک‌سالی، تغییر کشت، گیاهان دارویی، نظریه نشر نوآوری، مارگون.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۰۳

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۱۳

مقدمه

در ایران کم‌آبی و خشک‌سالی یک واقعیت اقلیمی است و در سال‌های آینده با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل نیز حادتر خواهد شد. میانگین بارندگی درازمدت کشور ۲۴۳ میلی‌متر (یک‌سوم میانگین جهانی) و پتانسیل تبخیر در کشور حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال (سه برابر متوسط جهانی) است. حجم کل منابع آب ناشی از بارش در کشور ۴۰۳ میلیارد مترمکعب است که بیش از ۷۰ درصد آن از طریق تبخیر از دسترس خارج می‌شود. حجم منابع آب تجدیدپذیر حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب است که ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Nasseri and Hedayati, 2017). حدود ۴۵ میلیون نفر در ۲۹ کشور جهان با کمبود آب مواجه‌اند و دوسوم جمعیت دنیا تا سال ۲۰۲۵ تحت فشارهای ناشی از کمبود آب خواهند بود (Kazemi et al., 2019). بر اساس گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور ایران تا سال ۲۰۲۵ برای حفظ و پایداری وضعیت فعلی خود باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود اضافه نماید (Saidan and Firouzabadi, 2019). از آنجایی که این امر امکان‌پذیر نیست، راهکارهای مؤثر و عملی، استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب بخش‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی خواهد بود (Droogers and Kit, 2001).

الگوی کشت به معنی تعیین و ابلاغ برنامه کشت در سطح ملی، منطقه‌ای و محلی در قالب برنامه‌های استراتژیک کشور و بر اساس شاخص‌های فنی و اقتصادی است. در سال‌های اخیر مبحث مهم و اساسی ضرورت وجود الگوی کشت در بخش کشاورزی مطرح شده است. در سالیان اخیر معضل جدی کم‌آبی و بیابانی و پایین بودن سطح درآمد مردم مناطق روستایی موجب شد تا صاحب‌نظران، کارشناسان و حتی مدیران بخش کشاورزی نیز به‌ضرورت تعیین الگوی کشت برای بخش کشاورزی واقف شوند. لذا آنچه مهم و ضروری به نظر می‌رسد، فقط تعیین الگوی کشت از سوی دولت نیست، بلکه رعایت الگوی کشت و پذیرش آن از سوی کشاورزان نیز، از الزامات برای اجرای این پروژه به نظر می‌رسد (Bozorgnia, 2009). در این خصوص یکی از اساسی‌ترین آثار محدودیت آب در مناطق روستایی، تغییر در کشت محصول است که به‌عنوان راهکاری مؤثر جهت مقابله با خشک‌سالی بدون رها کردن فعالیت‌های کشاورزی و تداوم آن به‌حساب می‌آید.

اگرچه حفظ پایداری تولید در کنار منابع محدود آب برای آبیاری که به‌عنوان عاملی محدودکننده است نخست می‌تواند این پایداری را به مخاطره اندازد، اما استفاده از محصولات زراعی با نیاز آبی کمتر، تغییر در ساختار کشت مناطق و توسعه روش‌های نوین آبیاری که می‌تواند کارایی مصرف آب را بالا ببرد و پایداری در مناطق روستایی را محقق سازد ضروری به نظر می‌رسد (Heidari Sarban, 2013).

گیاهان دارویی موجود در طبیعت چنانچه در شرایط اکولوژیک متناسب با رویشگاه خود کاشت و زراعت شوند تا حد زیادی ترکیبات و خواص خود را حفظ می‌کنند. این گیاهان به اقتضای شرایط رویشگاهی، آب و عناصر غذایی خود را در حد نیاز طبیعی در مزرعه دریافت کرده و قابلیت رشد کمی و کیفی طبیعی خود را در شرایط همسان با رویشگاه مطلوب بروز می‌دهند. امروزه اصلاح ارقامی با عملکرد بالا صورت گرفته که می‌تواند جایگاه و نقش تعیین‌کننده صنعت گیاهان دارویی را در راستای برنامه‌های راهبردی کشاورزی و اقتصاد کلان معرفی و هدایت کند، اغلب گیاهان دارویی نیاز آبی محدودی دارند. این گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی چندساله ظرفیت جایگزینی مناسبی را در برنامه‌های بهینه‌سازی الگوی کشت با محصولات زراعی و باغی با مصرف زیاد آب داشته و گزینه مناسبی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی خواهند بود (Koocheki et al., 2004; Labaschi, 2018).

به‌طوری‌که اغلب گیاهان دارویی را در شرایط دیم با بارندگی متوسط نیز می‌توان جایگزین برخی گیاهان زراعی حساس به کم‌آبی کرد. گونه‌هایی چندساله باریشه‌های قوی و گسترده مانند انواع آویشن، مرزه، موسیر، زرین گیاه، زوفا، زعفران، اسطوخودوس، رازیانه و کلوس در شرایط دیم با بارندگی‌های متوسط (حدود ۳۰۰ میلی‌متر) در مناطق مساعد دیم‌کاری و سطوح شیب‌دار حساس به فرسایش و البته با روش‌های علمی دیم‌کاری می‌توانند تولید اقتصادی داشته باشند (Labaschi, 2018).

در استان کهگیلویه و بویراحمد بر اساس آمار هواشناسی متوسط بارش بلندمدت سالیانه ۸۰۴ میلی‌متر بوده است که همین امر باعث شده است در گذشته مشکلات و محدودیت‌های آبی چندانی در این استان وجود نداشته باشد میزان بارندگی سال زراعی جاری در کهگیلویه و بویراحمد نسبت به مدت مشابه سال‌های قبل حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. حجم آب تجدید پذیر کهگیلویه و بویراحمد ۸ میلیارد و ۵۱۳ هزار

در این منطقه نیز نسبت به سال‌های قبل کاهش یافته است. با توجه به مصرف بیشتر آب‌های موجود در بخش کشاورزی، مشکلات متعددی در زمینه‌ی کشت و عملکرد گیاهان زراعی و باغی از جمله کاهش عملکرد محصولات زراعی روی داده است، به عنوان مثال طبق پیش‌بینی‌های صورت گرفته برای محصول گندم میزان تولید می‌بایست حدود ۹۱۲۹/۷۸ تن به‌دست آید درحالی‌که مقدار تولید آن به میزان ۴۸۲۶/۸۴ تن رسیده است. یکی از راهکارهایی که برای حل این معضل وجود دارد، تغییر الگوی کشت است. کاهش کشت محصولات پرآب مانند برنج و همچنین تغییر کشت و کاشت گیاهان دارویی و کم‌آبر به دلیل برخورداری از مزایای اقتصادی و همچنین به‌خاطر کم‌آبر بودن از جمله راهکارهایی است که برای به حداقل رساندن مشکل کم‌آبی در منطقه مارگون مطرح است. همچنین، با توجه به توضیحات فوق و بر اساس صحبت با کارشناسان ادارات مستقر و متصدی در منطقه نظیر مارگون و بویراحمد به نظر می‌رسد یکی از گزینه‌های مناسب در این زمینه، تغییر الگوی کشت از گیاهان زراعی به گیاهان دارویی باشد. در این راستا، کاهش کشت محصولات پرآب مانند برنج و جایگزینی آن‌ها با گیاهان دارویی و کم‌آبر بر اساس مزایای اقتصادی و سازگاری با شرایط آبی منطقه مورد تأکید قرار گرفته است. با مشاوره از کارشناسان محلی و توجه به شرایط خاص منطقه مارگون و بویراحمد، پیشنهاد شده که تغییر الگوی کشت از محصولات زراعی به گیاهان دارویی می‌تواند یکی از گزینه‌های مؤثر باشد. این مطالعه درصدد بررسی امکان این تغییر و شناسایی گیاهان دارویی مناسب منطقه است، که بتوانند ویژگی‌های لازم برای جایگزینی محصولات فعلی را نیز داشته باشند.

به عقیده راجرز (Rogers, 1995) نوآوری می‌تواند ایده، شیوه یا شیء تازه و بکری باشد یا اینکه تازه به نظر آید. علاوه بر این وی بیان داشته است، نیازی نیست که نوآوری یک ایده بسیار تازه باشد، فقط لازم است این ایده، شیوه یا شیء از دیدگاه افرادی که آن را می‌پذیرند، بدیع و نو به نظر آید. بدین‌صورت مبنای نوآوری به شخص و یا اشخاصی برمی‌گردد که موضوع مطروحه برایشان بدیع است. راجرز و شومیکر بیان داشتند که هر یک از این پنج ویژگی با دیگر ویژگی‌ها ارتباط دارد ولی به‌لحاظ تعریف و مفهوم از همدیگر قابل تمیز هستند. نکته قابل‌ذکر دیگر این است که از دیدگاه راجرز در بین این ویژگی‌ها همگی با نرخ پذیرش رابطه مثبت دارند

مترمکعب معادل ۸/۵ درصد کل آب ایران است. ۱۰ درصد از منابع آبی کشور در استان کهگیلویه و بویراحمد وجود دارد اما متأسفانه عدم مدیریت صحیح منابع آبی در این استان باعث شده تا همواره در بخش‌های مختلف، کمبود آب، مردم این استان را چالش‌های جدی روبه‌رو کند. امسال کمبود بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد باعث شد تا حجم آب ذخیره‌شده در پشت سد‌هایی مانند کوثر، تنگ سرخ، سقاوه و سد آبریز این استان کاهش چشم‌گیری پیدا کند و بیش از ۱۲۰ روستا و منطقه عشایری در این استان با تنش کم‌آبی روبه‌رو شوند (Sanaei et al., 2019).

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از آب سه رودخانه کارون، مارون و زهره از استان کهگیلویه و بویراحمد تأمین می‌شود، بررسی خشک‌سالی در این استان ضروری است (Razmkhah et al., 2022). در کنار کاهش بارندگی سالیانه ۱۷۴۹ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها و چشمه‌های استان تخلیه می‌شود؛ که از این میزان ۲۳۸ میلیون مترمکعب از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق استان است. از مجموع آب برداشتی از چاه‌ها ۲۱۱/۳ میلیون مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد که در بعضی موارد از بازدهی اقتصادی مناسبی نیز برخوردار نبوده و موجبات افت سطح آب‌های زیرزمینی استان و خشک شدن ۲۸ درصد از چشمه‌های مناطق را فراهم کرده است. افت سطح آب‌های زیرزمینی در برخی دشت‌های استان از قبیل دشت امامزاده جعفر به ۱۵ متر و در دشت‌هایی چون دهدشت، کلاچو و مارگون به ۱۰ متر رسیده است. برداشت بی‌رویه آب از چاه‌ها و بازدهی پایین بخش کشاورزی از مهم‌ترین علل افت سطح آب‌های زیرزمینی استان می‌باشند. تعداد چاه‌های غیرمجاز موجود در استان بین ۱۲۸ تا ۹۰۸ حلقه بیان‌شده است که با در نظر گرفتن کمترین تعداد، سالیانه در حدود ۲۰ میلیون مترمکعب آب از آن‌ها برداشت می‌شود (Fattahi and Khoshdeli, 2016). هم‌راستا با این هجوم سرسام‌آور به منابع آبی منطقه، عملکرد پایین مزارع کشاورزی و نبود کارایی اقتصادی برای کشت زراعی پر آب‌بر در منطقه سبب شده است که میزان سطح اشتغال و درآمد پایدار نیز در این مناطق به‌شدت روند کاهشی به خود بگیرد. منطقه مارگون در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز از این قاعده مستثنا نیست و بر اساس آمار موجود، وضعیت بارندگی

به‌جز پیچیدگی که رابطه منفی با نرخ پذیرش دارد راجرز نظریه نشر نوآوری فرآیند پذیرش را برداشتی سنتی از فرآیند تصمیم نوآوری می‌داند که شامل سلسله‌مراحل است که عبارت‌اند از: فرآیند آگاهی: آگاهی فرد از وجود ایده جدیدی که در مورد آن اطلاعات کافی در اختیار ندارد. مرحله علاقه: ابراز علاقه فرد به نوآوری و ایجاد روحیه جستجو برای کسب اطلاعات بیشتر. مرحله ارزشیابی: فرد کاربرد اثر ایده جدید را در موقعیت کنونی و آینده به‌طور ذهنی ارزشیابی کرده و تصمیم می‌گیرد ایده جدید را امتحان کند یا خیر. مرحله آزمون: فرد ایده جدید را در مقیاس کوچکی به کار می‌گیرد تا کاربرد آن را در شرایط خود تعیین کند. مرحله پذیرش: فرد ایده جدید را به‌طور مداوم و کامل مورد استفاده قرار می‌دهد (Ebadolahi et al., 2014). از آنجا که مطالعه حاضر به دنبال انتخاب بهترین کشت جایگزین در منطقه مورد مطالعه و سپس بررسی چگونگی ترویج و نشر آن است، لذا در این بخش به معرفی برخی مطالعات در زمینه تغییر کشت یا الگوی کشت، عوامل مؤثر بر تغییر کشت و تصمیم‌گیری (مثلاً با کمک الگوی تحلیل سلسله مراتبی) پرداخته می‌شود. در مطالعه‌ای ناصری و حیدری (Nasseri and Hedayati, 2017) کشت گیاهان دارویی در منطقه ارسباران را با استفاده از ترکیب تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی کردند. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوطه، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی توانستند مناطق مناسب را شناسایی کنند. نوری و نوری‌پور (Noori and Nooripoor, 2015) در پژوهشی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به اولویت‌بندی بخش‌های مختلف اقتصادی کشور مبادرت نمودند. برای این منظور با ۲۵ خبره و متخصص مصاحبه انجام دادند. سپس با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به تحلیل داده‌ها اقدام کردند. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که ایجاد روحیه کارآفرینی، اشتغال و عدالت اجتماعی مهم‌ترین شاخص‌هایی هستند که باید در انتخاب بخش‌های اقتصادی مدنظر قرار گیرند. همچنین، بر اساس جمع‌بندی نظرات پاسخگویان، بخش تعاونی مطلوب‌ترین بخش برای نیل به هدف توسعه کشاورزی است، هرچند که تفاوت مطلوبیت بخش‌های تعاونی و خصوصی ناچیز است.

همچنین، نتایج پژوهش ترقی و همکاران (Taraghi et al., 2017) نشان داد، می‌توان با افزایش آگاهی کشاورزان از پیامدهای بی‌توجهی به مبانی توسعه پایدار، اصلاح الگوی کشت از گیاهان پرآب‌بر به کم‌آب‌بر و همچنین اصلاح روش آبیاری، از آبیاری غرقابی سنتی به آبیاری‌های با بازدهی بیشتر، به میزان شایان توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. بدین‌منظور باید سیاست‌گذاران، برنامه‌های آموزشی و ترویجی را در دستور کار قرار داده و با توجه به اقلیم منطقه و ظرفیت منابع آب آن و نیز با ایجاد بستر اقتصادی مناسب و یافتن بازار هدف با بازتعریف الگوی کشت جدید، کشاورزان را تشویق به کشت گیاهان کم‌آب‌بر و پربازده اقتصادی کنند. نتایج پژوهش جوادزاده (Javadzadeh, 2019) با عنوان تعیین عوامل تأثیرگذار بر میزان تمایل کشاورزان به کشت گیاه دارویی چای ترش در روستاهای استان سیستان و بلوچستان، نشان داد که عملکرد محصول اصلی‌ترین عامل کشت چای ترش هست. نیاز آبی کم از مهم‌ترین ویژگی مثبت چای ترش در مقایسه با محصولات رقیب آن هست؛ مهم‌ترین مانع توسعه کشت این محصول نیز سرمازدگی است. نبود زیرساخت‌های لازم از جمله بازار فروش، ماشین‌آلات برداشت، خدمات مشاوره‌ای فنی و آموزشی و ترویجی و کمبود نیروی کارگری مهم‌ترین موانع توسعه کشت چای ترش در استان سیستان و بلوچستان هست. در پژوهشی جعفری و همکاران (Jafari et al., 2017) تولید گیاهان دارویی را در روستاهای شهرستان قوچان بررسی کردند. طبق نظر آن‌ها، مسائل و مشکلاتی در توسعه کاشت گیاهان دارویی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده که با پیشنهادهایی از جمله برگزاری کلاس‌های آموزشی و ترویجی گیاهان دارویی بین جوامع روستایی منطقه و ایجاد بازار مناسب خرید و غیره می‌توان در جهت رفع آن‌ها و کارایی بیشتر در کاشت گیاهان دارویی گام برداشت. در مطالعه‌ای کرانی (Karani, 2017) به بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کشت گیاهان دارویی در میان کشاورزان تولیدکننده‌ی نعنای استان کرمانشاه پرداخت، نتایج نشان داد پارامترهایی چون سن، جنسیت، تجربه، تأهل، سکونت، میزان تحصیلات، شغل، منبع درآمد، وضع دارایی، میزان زمین اختصاص داده به گندم، جو، ذرت، وضعیت کاربردی زمین، نوع شیب زمین، منابع و کانال‌های ارتباطی، عضو تعاونی، عضو شورا، مسائل عام‌المنفعه، ترغیب در کلاس آموزش کشاورزی، جهان شهری، نوگرایی با پذیرش کشت گیاهان دارویی رابطه مثبت و معنی‌داری دارند. در این بین

به‌جز پیچیدگی که رابطه منفی با نرخ پذیرش دارد راجرز نظریه نشر نوآوری فرآیند پذیرش را برداشتی سنتی از فرآیند تصمیم نوآوری می‌داند که شامل سلسله‌مراحل است که عبارت‌اند از: فرآیند آگاهی: آگاهی فرد از وجود ایده جدیدی که در مورد آن اطلاعات کافی در اختیار ندارد. مرحله علاقه: ابراز علاقه فرد به نوآوری و ایجاد روحیه جستجو برای کسب اطلاعات بیشتر.

مرحله ارزشیابی: فرد کاربرد اثر ایده جدید را در موقعیت کنونی و آینده به‌طور ذهنی ارزشیابی کرده و تصمیم می‌گیرد ایده جدید را امتحان کند یا خیر. مرحله آزمون: فرد ایده جدید را در مقیاس کوچکی به کار می‌گیرد تا کاربرد آن را در شرایط خود تعیین کند.

مرحله پذیرش: فرد ایده جدید را به‌طور مداوم و کامل مورد استفاده قرار می‌دهد (Ebadolahi et al., 2014). از آنجا که مطالعه حاضر به دنبال انتخاب بهترین کشت جایگزین در منطقه مورد مطالعه و سپس بررسی چگونگی ترویج و نشر آن است، لذا در این بخش به معرفی برخی مطالعات در زمینه تغییر کشت یا الگوی کشت، عوامل مؤثر بر تغییر کشت و تصمیم‌گیری (مثلاً با کمک الگوی تحلیل سلسله مراتبی) پرداخته می‌شود. در مطالعه‌ای ناصری و حیدری (Nasseri and Hedayati, 2017) کشت گیاهان دارویی در منطقه ارسباران را با استفاده از ترکیب تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی کردند. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوطه، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی توانستند مناطق مناسب را شناسایی کنند. نوری و نوری‌پور (Noori and Nooripoor, 2015) در پژوهشی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به اولویت‌بندی بخش‌های مختلف اقتصادی کشور مبادرت نمودند. برای این منظور با ۲۵ خبره و متخصص مصاحبه انجام دادند. سپس با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به تحلیل داده‌ها اقدام کردند. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که ایجاد روحیه کارآفرینی، اشتغال و عدالت اجتماعی مهم‌ترین شاخص‌هایی هستند که باید در انتخاب بخش‌های اقتصادی مدنظر قرار گیرند. همچنین، بر اساس جمع‌بندی نظرات پاسخگویان، بخش تعاونی مطلوب‌ترین بخش برای نیل به هدف توسعه کشاورزی است، هرچند که تفاوت مطلوبیت بخش‌های تعاونی و خصوصی ناچیز است.

همچنین، نتایج پژوهش ترقی و همکاران (Taraghi et al., 2017)

داد که در کشور چین مناطق مستعد برای کشت گیاهان دارویی در مرکز، شمال شرقی و شمال غربی کشور قرار دارند. نتایج آن‌ها می‌تواند در حفاظت از زیستگاه و استفاده از منابع گیاهان دارویی در معرض خطر مؤثر باشد. همان‌گونه که از مرور پژوهش‌های پیشین مشخص شد، اکنون تغییر کشت از گیاهان زراعی به گیاهان دارویی به‌عنوان یکی از راهکارهای مقابله با بحران کم‌آبی، افزایش درآمد مناطق محروم و درنهایت دستیابی به توسعه پایدار است. پژوهش حاضر، طبق مرور پژوهش‌های پیشین به دنبال ارزیابی تغییر کشت از گیاهان زراعی به گیاهان دارویی است. برای این منظور، پژوهش حاضر طی دو مرحله انجام خواهد شد. در مرحله اول با استفاده از الگوهای تصمیم‌گیری نظیر تحلیل سلسله مراتبی به انتخاب مناسب‌ترین گیاه دارویی برای منطقه مورد مطالعه اقدام می‌شود و مرحله دوم با استفاده از نظریه نشر نوآوری به بررسی امکان کشت گیاه دارویی منتخب در مرحله اول، با توجه به ویژگی‌های آن پرداخته خواهد شد (شکل ۱).

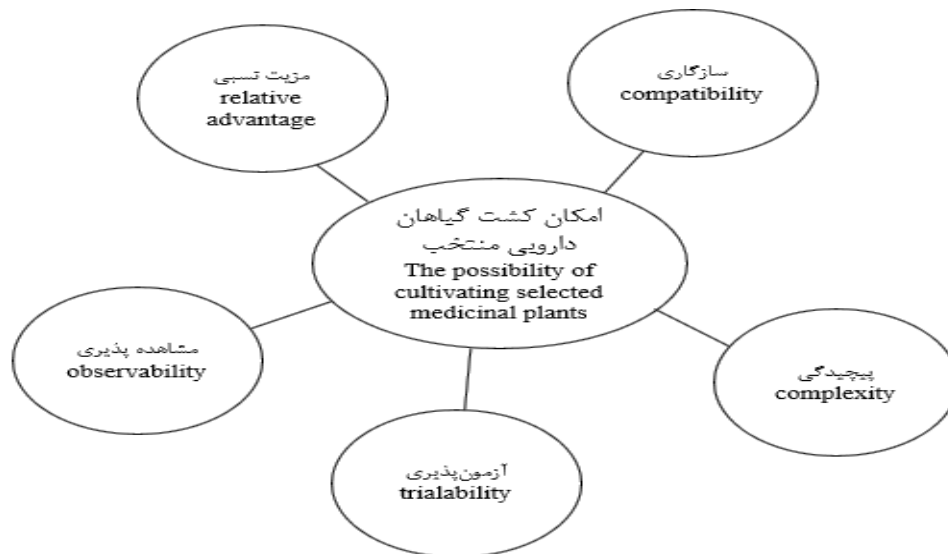
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

شهرستان مارگون بین محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 59'23''$ شمالی و $51^{\circ}44'51''$ طول شرقی قرار دارد که در شمال غرب و در فاصله ۷۰ کیلومتری شهر یاسوج مرکز کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است (شکل ۲). حداقل ارتفاع از سطح دریا ۲۲۰۰ m و حداکثر آن ۲۴۹۰ m از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط منطقه ۲۲/۴٪ است که قسمت زیادی از منطقه دارای شیبی کمتر از ۳۰٪ و بیش‌تر دارای جهت جنوبی است. رژیم بارندگی منطقه مدیترانه‌ای بوده و دارای متوسط بارندگی سالانه ۵۸۵ mm می‌باشد که بخش اعظم آن در ماه‌های آذر تا فروردین نازل می‌شود (بهنام و همکاران، ۱۴۰۳). بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، این شهرستان ۲۱ هزار نفر جمعیت دارد که حدود ۱۷ هزار نفر از جمعیت این شهرستان، روستایی هستند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شغل اکثر افراد ساکن در منطقه مارگون کشاورزی است به‌طوری‌که بالغ بر ۴۱۶۲ کشاورز طبق آخرین گزارش جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد در منطقه مارگون وجود دارد.

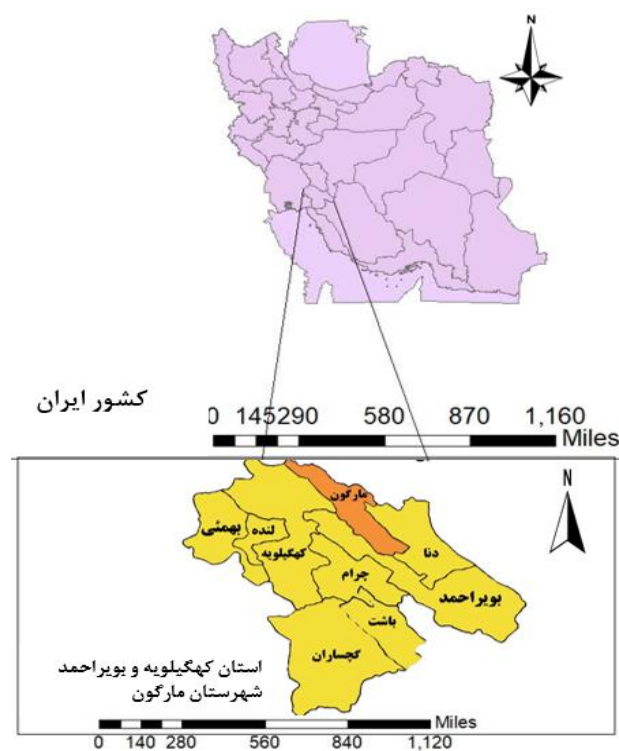
بیشترین میزان همبستگی متعلق به متغیر نوگرایی و کمترین میزان همبستگی متعلق به متغیر تحصیلات بوده است.

در پژوهشی بویی و نگوین (Bui and Nguyen., 2021) عوامل مؤثر بر تصمیم کشاورزان برای تبدیل الگوی کشت به کشت چای ارگانیک (گیاه دارویی) در مناطق کوهستانی شمال ویتنام را مورد بررسی قرارداد. نتایج نشان داد به‌منظور گسترش فعالیت‌های تولید چای ارگانیک در شمال ویتنام، افزایش دانش کشاورزان چای در مورد کشاورزی ارگانیک و همچنین مزایای اقتصادی بالقوه برای کشاورزی ارگانیک در طولانی‌مدت ضروری است. در مطالعه‌ای پورن‌پراتانسومبات و همکاران (Pornpratansombat et al., 2015) نشان دادند که متغیرهایی مانند دسترسی به آب و قیمت سر مزرعه و همچنین نگرش نسبت به مشکلات کشاورزی رایج بر تغییر کشت به کشت ارگانیک در بین کشاورزان اثرگذار است. در پژوهشی نورحسینی و همکاران (Nourhosseini et al., 2020) با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل محرک و مؤثر بر کشت گیاهان دارویی و معطر در رشت، با استفاده از روش دلفی انجام دادند. نتایج نشان داد، عوامل مهم ترویج کشت گیاهان دارویی و معطر در منطقه عبارت بودند از: (۱) شناسایی گونه‌های دارویی بومی مهم سازگار با شرایط اکولوژیکی استان (۲) ایجاد امکانات برای فرآوری گیاهان دارویی و معطر و (۳) ایجاد فضاهای آزمایشی برای اهلی کردن گونه‌های دارویی وحشی و از سوی دیگر، مهم‌ترین موانع کشت این گیاهان در منطقه عبارت بودند از: (۱) فقدان اطلاعاتی که برای کشاورزان، انگیزه‌ای برای کشت گیاهان دارویی ایجاد نمی‌کند. (۲) فقدان شرکت‌های دارویی گیاهی در استان. (۳) عدم هماهنگی بین مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های محیط‌زیست در زمینه تصمیم‌گیری. یافته‌های آن‌ها عواملی را نشان می‌دهد که می‌تواند به سیاست‌گذاران در سطح ملی و بین‌المللی برای ترویج کشت گیاهان دارویی و معطر کمک کند. در تحقیق دیگر دادجو و همکاران (Dadjo et al., 2020) به مطالعه عوامل اقتصادی - اجتماعی تعیین‌کننده حفاظت و کشت *Garcinia kola* یک گیاه دارویی منقرض‌شده پرداختند. نتایج نشان داد که احتمال داشتن درخت *G. kola* برای کشاورزان بیشتر از غیر کشاورز بود و با سن پاسخ‌دهندگان ارتباط مثبت داشت. علاوه بر این، مردان تمایل بیشتری به حفظ و پرورش *G. kola* داشتند. نتایج پژوهش ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2016) نشان



شکل ۱. الگوی امکان سنجی کشت گیاهان دارویی در منطقه مارگون استان کهگیلویه و بویراحمد

Fig 1. Feasibility pattern of medicinal plant cultivation in the Margoon region of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province



شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان مارگون

Fig 2. Geographical location map of Margoon County

روش تحقیق

در مطالعات امکان‌سنجی موضوعات مختلفی مورد توجه هستند، اما با توجه به اصل بومی‌سازی نمی‌توان الگو و یا چارچوب کلی و جهان‌شمولی را برای یک منطقه در نظر گرفت. پژوهش حاضر نیز در دو مرحله انجام شده است، در مرحله اول با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با توجه به معیارهای مناسب برای کشت جایگزین که از سمت متخصصین برای شش محصول آویشن شیرازی، زعفران، گل محمدی، بن سرخ، موسیر و آنغوزه ارائه شدند این معیارها شامل:

۱. معیار عملیات کشاورزی

این معیار به جنبه‌های اجرایی و عملیاتی کشت محصولات در مزارع پرداخته و بر عواملی که کارایی و راحتی کشاورزان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تمرکز دارد. زیر معیارهای آن شامل سهولت کاشت، سهولت تهیه بستر، سهولت برداشت و نیاز کمتر به کود شیمیایی می‌باشند زیرا محصولاتی که کمتر به کود شیمیایی نیاز دارند، نه تنها از نظر محیط زیستی مزیت دارند بلکه از نظر هزینه‌ها نیز برای کشاورز مقرون به صرفه‌تر خواهند بود.

۲. معیار اقتصادی

این معیار به ابعاد اقتصادی و درآمدزایی کشت جایگزین می‌پردازد. برخی از زیر معیارهای مرتبط با این معیار عبارتند از: بهبود صادرات محصولات، سهولت بازاریابی، اشتغال‌زایی زنان روستایی که می‌توان گفت یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار در مناطق روستایی، ایجاد اشتغال برای زنان است. محصولاتی که در کشت و فراوری آن‌ها زنان نقش فعال‌تری دارند، می‌توانند به بهبود وضعیت اقتصادی این گروه کمک کنند.

۳. معیار نگهداری

این معیار به جنبه‌های نگهداری و حفظ محصول پس از برداشت می‌پردازد. برخی از زیر معیارهای مرتبط با آن عبارتند از: سهولت انبارداری محصولات، سهولت بسته‌بندی محصولات و عدم فسادپذیری که محصولاتی که نسبت به شرایط محیطی مقاوم‌تر هستند و مدت زمان طولانی‌تری بدون فساد نگهداری می‌شوند، در بازارهای داخلی و خارجی پتانسیل بیشتری برای فروش دارند.

۴. معیار رشد

این معیار به رشد و توسعه پایدار محصول اشاره دارد. زیر

معیارهای آن شامل: عدم نیاز به کشت مجدد، میزان نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات و امکان کشت در بین درختان میوه که برخی محصولات به راحتی در زمین‌هایی که درختان میوه کاشته شده‌اند، قابل کشت هستند. این ویژگی به کشاورزان این امکان را می‌دهد که از فضای اضافی درختان میوه بهره‌برداری کنند.

۵. معیار سازگاری

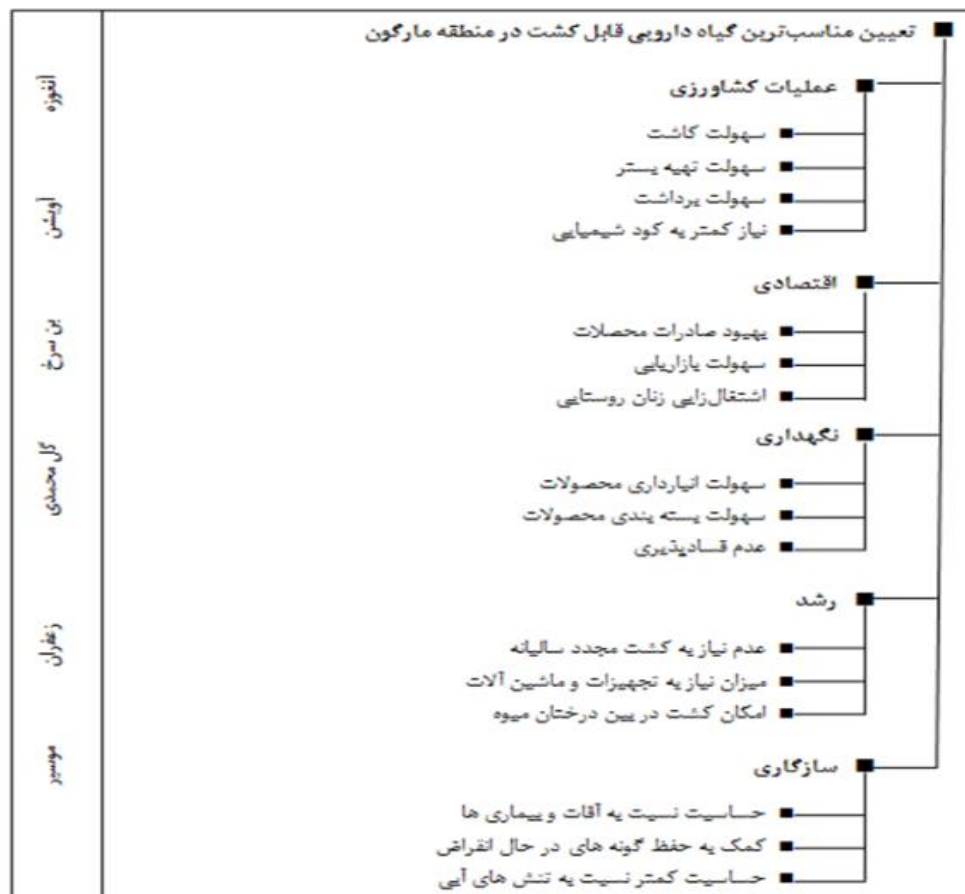
این معیار به میزان سازگاری محصول با شرایط محیطی و اقلیمی منطقه اشاره دارد. زیر معیارهای این معیار عبارتند از: حساسیت نسبت به آفات و بیماری‌ها، کمک به حفظ گونه‌های در حال انقراض و حساسیت کمتر نسبت به تنش‌های آبی در مناطق خشک و کم‌آب به این مفهوم که محصولاتی که نسبت به کمبود آب مقاوم‌تر هستند، می‌توانند کشت شوند و به این ترتیب از فشارهای اقتصادی ناشی از کمبود آب کاسته خواهند شد.

در نهایت از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی مناسب‌ترین گیاه دارویی از نظر متخصصین (۱۵ نفر) انتخاب شد و سپس امکان کشت محصول مورد نظر از لحاظ ۵ پنج ویژگی نظریه نشر نوآوری (مزیت نسبی، سازگاری، پیچیدگی، آزمون‌پذیری و قابلیت رؤیت) در منطقه مورد نظر بررسی گردید. جامعه آماری مرحله امکان‌سنجی را بهره‌برداران منطقه تشکیل دادند که با استفاده از فرمول کوکران ۱۴۵ نفر به عنوان نمونه انتخاب شدند. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه محقق‌ساخته براساس طیف لیکرت پنج سطحی (۱ تا ۵) تهیه شد و برای تعیین حد معیار، از روش میانگین استفاده شد بنابراین، برای هر گویه، در صورتی که میانگین نمرات داده شده به آن گویه بالاتر از ۳ باشد، به عنوان وضعیت مطلوب (یا بالاتر از حد معیار) در نظر گرفته می‌شود. گویه‌های این پرسش‌نامه از طریق مصاحبه با ۱۵ نفر از متخصصین حوزه کشاورزی و محصولات دارویی و بر اساس بحث‌های گروهی و همچنین بررسی مقالات و مطالعات پیشین و اقتباس شده از نظریه نشر نوآوری، برای هر یک از ویژگی‌های مرتبط با نظریه نشر نوآوری انتخاب شدند. بر اساس ۵ ویژگی نوآوری نظریه راجرز و شومیکر انجام گرفت. روایی صوری پرسش‌نامه به وسیله کارشناسان جهاد کشاورزی و اساتید دانشگاهی و پایایی آن از طریق مطالعه پیش‌آهنگ (ضریب آلفای کرونباخ ۰/۷۲-۰/۸۶) تأیید شد. نرم‌افزارهای مورد استفاده عبارت از Spss و Expert Choice بودند.

نتایج و بحث

نرم افزار Expert Choice به دست آمد. در ابتدا، درخت تصمیم گیری با هدف تعیین مناسب ترین گیاه دارویی قابل کشت در منطقه مارگون با در نظر گرفتن ۵ معیار، ۱۶ زیر معیار و ۶ گزینه ترسیم و تحلیل بر اساس آن انجام گرفت.

به منظور تعیین مناسب ترین گیاه دارویی در منطقه مارگون از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج بر اساس درخت تصمیم گیری که در شکل ۳ قابل مشاهده است، از طریق



شکل ۳. درخت تصمیم گیری تعیین مناسب ترین گیاه دارویی در منطقه مارگون (منبع: یافته های تحقیق)

Fig 3. Decision tree for the determination of the most suitable medicinal plant in the Margon region (source: research findings)

(ضریب ۰/۱۸۷). بعد از آنغوزه به ترتیب گیاهان زعفران با ضریب ۰/۱۸۰، گل محمدی با ضریب ۰/۱۸۰، موسیر با ضریب ۰/۱۶۵، بن سرخ با ضریب ۰/۱۶۳ و در نهایت آویشن با ضریب ۰/۱۲۴ قرار گرفتند.

در شکل ۴، برتری نسبی شش گیاه دارویی مورد بررسی بر اساس تمامی معیارها، نشان داده شده است. طبق یافته های حاصل از تحلیل سلسله مراتبی گیاه دارویی آنغوزه مناسب ترین گیاه برای کشت در منطقه مارگون انتخاب شد



شکل ۴. تعیین مناسب ترین گیاه دارویی برای مارگون (منبع: یافته های تحقیق)

Fig 4. Determination of the most suitable medicinal plant for the Margon region (source: research findings)

میانگین ۱۰ سال تحصیلی هستند. میانگین درآمد سالانه پاسخگویان برابر ۱/۷۷ میلیون ریال بود. همچنین، مطابق جدول ۴-۲، میانگین سابقه کاری پاسخگویان برابر با ۲۹/۵۶ سال به‌دست آمد. میانگین مساحت زمین در اختیار افراد برابر با ۲/۳۴ هکتار بود و نوع مالکیت زمین‌ها به این صورت بود که ۸۲ درصد ملکی و حدود ۱۸ درصد استیجاری بود.

در بررسی امکان کشت گیاه دارویی منتخب (آنغوزه) متناسب با پنج ویژگی نوآوری همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، از جمع ۱۴۵ نفر پاسخ‌گو ۱۰۰ درصد را مردان و صفر درصد را زنان تشکیل دادند. میانگین سن افراد پاسخ‌گو، برابر ۴۵/۸۹ سال با انحراف معیار ۱۰/۷۴ برآورد شد. میانگین سطح تحصیلی پاسخگویان نشان می‌دهد که آن‌ها دارای

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخگویان

Table 1. Demographic characteristics of the respondents

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد فراوانی	میانگین	انحراف معیار
Variable	Variable levels	Frequency	Percent Frequency	Mean	Standard deviation
جنسیت Gender	مرد Male	145	100	45.89	10.74
	زن Female	0	0		
سن (سال) Age					
وضعیت تأهل marital status	متاهل Married	127	87.5	10.57	4.74
	مجرد Single	18	12.5		
تحصیلات (سال) Education					
درآمد Income					
سابقه کار Work experience					
میزان سطح زمین (هکتار) Land surface (ha)					
نوع مالکیت زمین Land ownership types	ملکی Personal	120	82.7	2.34	1.25
	استیجاری Rental	25	17.3		

بودن برداشت زود هنگام، درآمدزایی بیشتر، امکان برداشت مکانیزه، هزینه کمتر برداشت و بسته‌بندی محصول و سهولت در فروش محصول با حد معیار به‌دست نیامد. بنابراین، با توجه به نتایج این آزمون، نمی‌توان گفت که این گویه‌ها به‌طور معنی‌داری با حد معیار تفاوت دارند، اما این بدان معنا نیست که در سطح حد معیار قرار دارند. امکان مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز مزرعه توسط فاروئر و برداشت سریع و آسان با حد معیار تفاوت معنی‌داری داشتند ولی مقدار آن منفی بود، در نتیجه از لحاظ این دو بعد مزیت نسبی برای کشت آنغوزه نمی‌توان در نظر گرفت. نهایتاً، همان‌گونه که در جدول شماره ۲ نیز ملاحظه می‌گردد، مجموع کل وضعیت مزیت نسبی نشان می‌دهد که از لحاظ مزیت نسبی، تفاوت

نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای حاکی از آن است که از بین گویه‌های مزیت از دیدگاه بهره‌برداران کشاورزی، داشتن فرصت کافی برای آماده‌سازی زمین و کاشت، تحمل به تنش خشکی در بهار و بالاتر بودن کیفیت محصول و بازار پسندی بهتر آن تفاوت معنی‌داری با حد معیار داشتند و در وضعیت بالاتر از وضعیت مطلوب هستند. در نتیجه، به نظر می‌رسد برای تغییر الگوی کشت به محصول مورد نظر، از لحاظ موارد اشاره‌شده، مزیت نسبی از دیدگاه کشاورزان برخوردار است و لذا، به نظر نمی‌رسد از این لحاظ مشکلی وجود داشته باشد. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که بر اساس آزمون تی تک نمونه‌ای، شواهد کافی برای رد فرض تفاوت معنی‌دار بین میانگین نمرات گویه‌های تولید و عملکرد بالاتر، امکان‌پذیر

Mahboubi et al., 2019)، محبوبی و همکاران (et al., 2019)، جعفری و همکاران (Jafari et al., 2017) و جوادزاده (Javadzadeh, 2019) مطابقت داشت، آنان نیز به بررسی امکان تغییر کشت پرداختند و امکان تغییر کشت به لحاظ مزیت نسبی را تأیید کردند.

معنی‌داری بین وضعیت موجود و حداقل مورد انتظار وجود ندارد و به عبارت دیگر، وضعیت موجود (۳/۰۳) تقریباً در همان اندازه حداقل مورد انتظار (۳) است و لذا از این لحاظ، مشکلی برای تغییر کشت ملاحظه نمی‌گردد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش چراغ ویسی و همکاران (CheraghVeisi)

جدول ۲. امکان‌سنجی کشت گیاه دارویی آنگوزه از بعد مزیت نسبی

Table 2. Feasibility of the anguzeh medicinal plant cultivation after the relative cultivation

معنی‌داری Sig	مقدار تی t value	تفاوت میانگین Mean difference	میانگین Mean	گویه* Item
۰.۷۸	۰.۲۷	-۰.۰۲	۲.۹۷	تولید و عملکرد بالاتر Higher production and yield
۰.۰۱	-۷.۹۶	-۰.۶۶	۲.۳۳	امکان مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز مزرعه توسط فاروئر The possibility of mechanical control against field weeds by Faroer
۰.۴۷	۰.۷۱	۰.۰۶	۳.۰۶	امکان پذیر بودن برداشت زودهنگام Possibility of early withdrawal
۰.۷۰	-۰.۳۸	۰.۰۳	۲.۹۷	درآمدزایی بیشتر More revenue generation
۰.۰۱	۲.۶۳	۰.۵۱	۳.۵۱	داشتن فرصت کافی برای آماده‌سازی زمین و کاشت Having enough time to prepare the land and plant
۰.۰۱	۳.۴۸	۰.۴۱	۳.۴۱	تحمل به تنش خشکی در بهار Tolerance to drought stress in spring
۰.۳۶	۰.۹۰	-۰.۱۶	۲.۸۳	امکان برداشت مکانیزه Possibility of mechanized harvesting
۰.۰۱	۵.۶۰	-۰.۵۰	۲.۴۹	برداشت سریع و آسان Quick and easy withdrawal
۰.۱۰	۱.۶۵	۰.۲۰	۳.۲۰	نیاز به نیروی کار کمتر Less labor required
۰.۴۰	-۰.۸۳	-۰.۱۳	۲.۸۶	هزینه کمتر برداشت و بسته‌بندی محصول Lower cost of harvesting and product packing
۰.۰۱	۶.۳۳	۰.۵۹	۳.۵۹	بالاتر بودن کیفیت محصول و بازار پسندی بهتر آن High product quality and better marketability
۰.۰۹	-۱.۶۶	-۰.۱۹	۲.۸۰	سهولت در فروش محصول Simplicity of product sales
۰.۵۷	۰.۵۶	۰.۰۴	۳.۰۳	مجموع Total

*حد معیار برابر با ۳

*Standard limit equal to 3

اراضی (پستی و بلندی) کشاورزی منطقه، موافق بودن نظرات کشاورز و خانواده او با کشت این گیاه و سازگاری آن با آب و هوای منطقه جهت کشت گسترده تفاوت معنی‌داری با حد معیار داشتند و در وضعیت بالاتر از وضعیت مطلوب ارزیابی شدند. در نتیجه، به نظر می‌رسد برای تغییر کشت به محصول مورد نظر، از لحاظ موارد اشاره‌شده، از دیدگاه کشاورزان، سازگاری کشت جدید با شرایط منطقه، فراهم است. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که در مجموع کشت گیاه آنگوزه به لحاظ سازگاری در منطقه در حد معیار مهیا است. نتایج حاضر با نتایج پژوهش‌های بویی و نگوین (Bui

جدول (۳) نتایج مربوط به آزمون تی تک نمونه‌ای سازگاری کشت گیاه دارویی آنگوزه را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که از بین گویه‌های سازگاری از دیدگاه بهره‌برداران کشاورزی، سازگاری با توان کارشناسان موجود در منطقه، برخورداری کشاورزان از دانش و اطلاعات مورد نیاز برای کشت آنگوزه و متناسب بودن با توان مالی کشاورز تفاوت معنی‌داری با حد معیار داشتند و در وضعیت پایین‌تر از وضعیت مطلوب هستند. در نتیجه در حال حاضر از لحاظ دو مورد یاد شده وضعیت مطلوب مورد نظر، برقرار نیست. این در حالی است که گویه‌های سازگاری آنگوزه با شرایط فیزیکی

and Nguyen., 2021) و محبوبی و همکاران (Mahboubi et al., 2004) همخوانی داشت.

جدول ۳. امکان‌سنجی کشت گیاه دارویی آنغوزه از بعد سازگاری

Table 3. Feasibility assessment of the Anghuzeh medicinal plant after compatibility

معنی‌داری Sig	t مقدار تی value	تفاوت میانگین Mean difference	میانگین Mean	گویه* Item
۰.۰۱	-۱۲.۹۸	-۰.۹۵	۲.۰۴	برخورداری کارشناسان منطقه از دانش و اطلاعات مورد نیاز برای کشت آنغوزه The region's experts have the knowledge and information needed to cultivate Ferula
۰.۰۱	-۷.۳۰	-۱.۰۹	۱.۹۰	متناسب بودن با توان مالی کشاورز Proportional to the farmer's financial capacity
۰.۰۱	-۶.۴۰	-۰.۷۰	۲.۲۹	برخورداری کشاورزان از دانش و اطلاعات مورد نیاز برای کشت آنغوزه Farmers have the necessary knowledge and information to cultivate Ferula
۰.۰۱	۶.۰۰	۱.۰۸	۳.۵۸	سازگاری آنغوزه با شرایط فیزیکی اراضی (پستی و بلندی) کشاورزی منطقه Ferula's adaptation to the physical conditions of agricultural land (lowland and highland) in the region
۰.۰۱	۴.۴۷	۰.۶۰	۳.۶۰	موافق بودن نظرات کشاورز و خانواده او با کشت این گیاه The opinions of the farmer and his family agree with the cultivation of this plant
۰.۹۴	-۰.۰۷	-۰.۰۱	۲.۹۹	سازگاری با مهارت و تجربه کشاورز Compatibility with the skill and experience of the farmer
۰.۰۱	۴.۵۸	۰.۵۶	۳.۵۶	سازگاری آن با آب و هوای منطقه جهت کشت گسترده Its compatibility with the climate of the region for extensive cultivation
۰.۷۴	۰.۳۲	۰.۰۴	۳.۰۴	نیاز نداشتن به ماشین‌آلات خاص و سازگاری با ادوات و ماشین‌آلات موجود منطقه Not requiring special machinery and compatibility with existing equipment and machinery in the region
۰.۴۷	۰.۷۱	۰.۰۶	۳.۰۶	سازگاری با وقت و زمان‌بندی فعالیت‌های کشاورزی کشاورزان Compatibility to the time and scheduling of farmers agricultural activities
۰.۰۹	-۱.۶۷	-۰.۰۹	۲.۹۱	مجموع Total

*حد معیار برابر با ۳

*Standard limit equal to 3

که درمجموع کشت گیاه آنغوزه به‌لحاظ پیچیدگی وضعیتی فراتر از حداقل مورد انتظار دارد و این تفاوت، به‌لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد؛ به‌عبارت دیگر، درک کشاورز، این است که در صورت روی آوردن به کشت آنغوزه، احتمالاً با دشواری و پیچیدگی‌هایی روبه‌رو خواهد شد. لذا، این عامل می‌تواند بازدارنده پذیرش کشت محصول مورد نظر باشد از آنجاکه پیچیدگی بازدارنده پذیرش کشت گیاه آنغوزه است، اقداماتی در راستای رفع پیچیدگی‌های کشت آنغوزه به‌ویژه ارتقا دانش و اطلاعات تخصصی و کسب مهارت‌های کشت اصولی گیاه می‌بایست صورت پذیرد. نتایج حاضر با نتایج پژوهش افشار و رضوانی مقدم (Afshar and Rezvani Moghadam, 2022)، ترقی و همکاران (Tarqi et al., 2018) و قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2020) در یک راستا بودند.

جدول شماره ۴ نتایج مربوط به آزمون تی تک نمونه‌ای پیچیدگی کشت آنغوزه را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که از بین گویه‌های پیچیدگی از دیدگاه بهره‌برداران کشاورزی، نیاز بیشتر به دانش و اطلاعات تخصصی، ایجاد سفتی و کوبیده شدن زمین و در نتیجه سخت‌تر شدن شرایط کشت، نیاز به مهارت‌های ویژه (کشت اصولی گیاه و جمع‌آوری شیر گیاه)، دشواری تهیه ادوات و ماشین‌های مناسب برای برداشت محصول، مشکلات پیدا کردن مشتری و فروش محصول و سخت بودن فرآیند آماده‌سازی مزرعه برای کاشت با حد معیار تفاوت معنی‌داری داشتند در نتیجه، به نظر می‌رسد برای تغییر کشت به محصول مورد نظر، از لحاظ موارد اشاره‌شده، از دیدگاه کشاورزان، پیچیدگی یک معضل و مسئله نیازمند توجه است. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند

جدول ۴. امکان‌سنجی کشت گیاه دارویی آنگوزه از بعد پیچیدگی

Table 4. Feasibility of the cultivation of the Anguzeh medicinal plant after complexity

معنی‌داری Sig	مقدار تی t value	تفاوت میانگین Mean difference	میانگین Mean	گویه* Item
۰.۰۱	۷.۰۳	۰.۵۳	۳.۵۳	نیاز بیشتر به دانش و اطلاعات تخصصی Increased demand for specialized knowledge and information.
۰.۰۱	۳.۰۰	۰.۴۴	۳.۴۴	ایجاد سفتی و کوبیده شدن زمین و در نتیجه سخت‌تر شدن شرایط کشت Making the ground hard and compacted, and as a result, the cultivation conditions become more difficult
۰.۰۱	۶.۳۰	۰.۵۳	۳.۵۳	نیاز به مهارت‌های ویژه (کشت اصولی گیاه و جمع‌آوری صمغ گیاه) The need for special skills (basic plant cultivation and plant resin collection)
۰.۰۱	۲.۸۹	۰.۴۷	۳.۴۷	دشواری تهیه ادوات و ماشین‌های مناسب برای برداشت محصول Challenges in acquiring appropriate harvesting tools and machines.
۰.۰۱	۲.۱۹	۰.۱۸	۳.۱۸	مشکلات پیدا کردن مشتری و فروش محصول Challenges in customer acquisition and product sales.
۰.۰۶	-۱.۸۵	۰.۱۵	۲.۶۵	علت جدید بودن محصول دشواری در مبارزه با آفات و بیماری‌ها به Challenges in controlling pests and diseases from the new product
۰.۳۱	۱.۰۰	۰.۰۹	۳.۰۹	سخت بودن فرآیند آماده‌سازی مزرعه برای کاشت Challenges in field preparation for planting
۰.۰۱	۳.۲۵	۰.۲۳	۳.۲۳	مجموع Total

*حد معیار برابر با ۳

*Standard limit equal to 3

می‌توان آزمون‌پذیری کشت گیاه آنگوزه را از طریق جمع‌آوری و معرفی ارقام مختلف گیاه آنگوزه و فراهم نمودن امکان بررسی، مقایسه و انتخاب بهترین آن‌ها افزایش داد.

در نهایت، جدول ۶ نتایج مربوط به آزمون تی تک نمونه‌ای در ارتباط با مشاهده‌پذیری را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که از بین گویه‌های قابلیت رؤیت از دیدگاه بهره‌برداران کشاورزی، بزرگی و ارتفاع بوته و امکان ملاحظه کیفیت و کمیت محصول، امکان کاشت در ردیف‌های منظم و فواصل مناسب و در نتیجه برخورداری مزرعه از ظاهر منظم و مرتب، رشد سریع بوته در بهار و در نتیجه تمایز و تفکیک آن با علف هرز، سهولت، سادگی و سرعت برداشت محصول و در نتیجه امکان مشاهده و الگوپذیری توسط دیگران با حد معیار تفاوت معنی‌داری داشتند به این معنی که از وضعیت مطلوب فراتر هستند. در نتیجه، به نظر می‌رسد برای تغییر کشت به محصول مورد نظر، از لحاظ موارد اشاره‌شده، مشاهده‌پذیری از دیدگاه کشاورزان فراهم است. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که در مجموع کشت گیاه آنگوزه به لحاظ مشاهده‌پذیری در منطقه فراهم است. نتایج حاضر با یافته‌های نورحسینی و همکاران (Nourhosseini et al., 2020)، چراغ‌ویسی و همکاران (CheraghVeisi et al., 2019) مطابقت داشت.

جدول ۵ نتایج مربوط به آزمون تی تک نمونه‌ای متغیر آزمون‌پذیری را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که از بین گویه‌های آزمون‌پذیری از دیدگاه بهره‌برداران کشاورزی، امکان‌پذیری کشت دستی آنگوزه در سطوح کوچک به منظور بررسی میزان تولید و عملکرد آن با حد معیار تفاوت معنی‌داری داشتند به این معنی که از وضعیت مطلوب فراتر است. در نتیجه به نظر می‌رسد امکان تغییر کشت به لحاظ موارد ذکر شده وجود دارد. امکان‌پذیری کشت مکانیزه آنگوزه در سطح کوچک به منظور بررسی میزان تولید و عملکرد آن، امکان بررسی نحوه مبارزه با علف‌های هرز توسط فاروئر قبل از پذیرش و کشت نهایی و وجود ارقام مختلف گیاه آنگوزه و امکان بررسی، مقایسه و انتخاب بهترین آن‌ها به طور معنی‌داری از حد معیار پایین‌تر هستند. همچنین نتایج در رابطه با مجموع آزمون‌پذیری برای کشت گیاه مورد نظر به شکل معنی‌داری فراهم نیست ولی با اختلاف ناچیزی در سطح معیار برآورد شده است. این نشان می‌دهد که هنوز برخی ابهامات و نواقص در روش‌های مورد استفاده وجود دارد و نیاز به بهبود و اصلاح بیشتر است. در کل، و با توجه به جمیع نتایج، به نظر می‌رسد که می‌توان تغییر کشت را در منطقه اعمال کرد. از آنجاکه با افزایش قابلیت آزمون نوآوری، میزان پذیرش نوآوری در میان جامعه بیشتر می‌شود،

جدول ۵. امکان‌سنجی کشت گیاه دارویی آنغوزه از بعد آزمون‌پذیری

Table 5. Feasibility of cultivation of the medicinal plant Ferula from the aspect of trialability

معنی‌داری Sig	مقدار تی t value	تفاوت میانگین Mean difference	میانگین Mean	گویه* Item
۰.۰۱	۳.۲۵	۰.۸۵	۳.۸۶	امکان‌پذیری کشت دستی آنغوزه در سطوح کوچک به منظور بررسی میزان تولید و عملکرد آن Feasibility of manual cultivation of Ferula in small areas in order to evaluate its production and performance
۰.۱۳	-۱.۵۰	-۰.۱۳	۲.۸۶	امکان‌پذیری کشت مکانیزه آنغوزه در سطح کوچک به منظور بررسی میزان تولید و عملکرد آن Feasibility of small-scale mechanized cultivation of Ferula in order to study its production and performance
۰.۰۱	-۴.۶۴	-۰.۳۱	۲.۶۸	امکان بررسی نحوه مبارزه با علف‌های هرز توسط فاروئر قبل از پذیرش و کشت نهایی The potential to assess how effectively a Faroer controls weeds before final acceptance and cultivation.
۰.۰۱	-۳.۸۲	-۰.۴۳	۲.۵۷	وجود ارقام مختلف گیاه آنغوزه و امکان بررسی، مقایسه و انتخاب بهترین آن‌ها The existence of various Ferula plant varieties and the ability to evaluate, compare, and select the best ones
۰.۸۵	-۰.۸	-۰.۰۱	۲.۹۸	مجموع Total

*حد معیار برابر با ۳ است.

*Standard limit equal to 3

جدول ۶. امکان‌سنجی کشت گیاه دارویی آنغوزه از بعد قابلیت مشاهده

Table 6. Feasibility of cultivation of the Anguzeh medicinal plant after observability

معنی‌داری Sig	مقدار تی t value	تفاوت میانگین Mean difference	میانگین Mean	گویه* Item
۰.۰۱	۵.۹۴	۰.۷۳	۳.۷۳	بزرگی و ارتفاع بوته و امکان ملاحظه کیفیت و کمیت محصول Plant size and height, along with the visibility of product quality and quantity.
۰.۰۳	-۲.۱۲	-۰.۲۴	۲.۷۵	مشاهده رشد مناسب بوته به واسطه بهره‌مندی از بارش پاییز و زمستان Observing the proper growth of the plant by benefiting from autumn and winter rain
۰.۰۱	۷.۶۳	۰.۶۷	۳.۶۷	امکان کاشت در ردیف‌های منظم و فواصل مناسب و در نتیجه برخورداری مزرعه از ظاهر منظم و مرتب The ability to plant in neat rows and at appropriate distances results in a tidy and organized farm appearance
۰.۰۱	۴.۵۰	۰.۶۷	۳.۶۷	رشد سریع بوته در بهار و در نتیجه تمایز و تفکیک آن با علف هرز The rapid growth of the shrub in the spring, and as a result, its differentiation and separation from weeds
۰.۰۱	۷.۳۳	۰.۷۱	۳.۷۱	سهولت، سادگی و سرعت برداشت محصول و در نتیجه امکان مشاهده و الگوپذیری توسط دیگران The ease, simplicity, and speed of picking the product and, as a result, the possibility of observation and imitation by others
۰.۰۱	۸.۱۴	۰.۴۹	۳.۴۹	مجموع Total

*حد معیار برابر با ۳ است.

*Standard limit equal to 3

تحصیلات با مزیت نسبی رابطه مثبت و معناداری در سطح ۱ درصد دارد، در حالی که با پیچیدگی نوآوری رابطه منفی و معناداری در همان سطح وجود دارد. این یافته منطقی به نظر می‌رسد، زیرا به‌طور معمول، افراد با تحصیلات بالاتر تمایل بیشتری به پذیرش تغییرات و نوآوری‌ها دارند و این می‌تواند به پذیرش نوآوری‌هایی با مزیت نسبی بیشتر و پیچیدگی کمتر منجر شود. با این حال، باید تأکید کرد که وجود این همبستگی‌ها به‌معنای علیت نیست و عوامل دیگری نیز ممکن است در این رابطه نقش داشته باشند. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که درآمد ماهانه با ویژگی‌های مزیت نسبی، سازگاری و مشاهده‌پذیری رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد دارد. به‌عبارت دیگر، هرچه درآمد ماهانه بالاتر باشد، این ویژگی‌ها (مزیت نسبی، سازگاری و مشاهده‌پذیری) از نگاه کشاورزان به‌طور مثبت و قابل توجهی افزایش می‌یابند. با این حال، این نتایج نشان‌دهنده وجود یک ارتباط هم‌جهت و معنی‌دار است.

نتایج همبستگی بین دیدگاه پاسخگویان در مورد ویژگی‌های نوآوری (کشت گیاه دارویی) و متغیرهای جمعیت‌شناختی (سن، سطح زمین و سطح تحصیلات، درآمد ماهانه) در جدول ۷ نمایش داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که افزایش سن با پیچیدگی رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و با آزمون‌پذیری و مشاهده‌پذیری رابطه معکوس و معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ دارد. نتایج همبستگی در رابطه با سطح زمین نیز نشان داد که تنها دیدگاه در مورد سطح زمین با مزیت نسبی رابطه معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد دارد. شایان ذکر است که همبستگی بین سطح زیر کشت و مزیت نسبی محصول جایگزین لزوماً به‌معنای وجود رابطه علیتی مستقیم نیست. عوامل متعددی می‌توانند به این پدیده‌ها کمک کنند به‌عبارت دیگر، از نظر پاسخگویان، هر چه سطح زیر کشت کمتر شود، کاشت محصول جایگزین مورد نظر، مزیت بیشتری پیدا خواهد کرد تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های نوآوری و سطح تحصیلات کشاورزان نشان می‌دهد که سطح

جدول ۷. نتایج همبستگی بین ویژگی‌های نوآوری و جمعیت‌شناختی

Table 7. Correlation results between innovation and demographic characteristics

دیدگاه پاسخگویان در مورد ویژگی‌های مختلف گیاه جایگزین

Respondents' opinions on the different characteristics of the alternative plant

متغیر Variable	مزیت نسبی Relative advantage	سازگاری Compatibility	پیچیدگی Complexity	آزمون‌پذیری Trialability	مشاهده‌پذیری Observability
سن Age	۰.۱۴	۰.۰۲	۰.۲۴*	-۰.۳۹**	-۰.۴۴**
سطح زمین Ground surface	-۰.۱۷۴**	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۵	۰.۱۹
سطح تحصیلات Education	۰.۴۶**	۰.۰۱	-۰.۳۳**	۰.۰۸	۰.۰۱
درآمد ماهانه Monthly income	۰.۱۸*	۰.۲۱*	۰.۱۳	۰.۰۱	۰.۱۶*

***، ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵

***, ** and * significant at the level of 0.001, 0.01 and 0.05 respectively.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده گیاه دارویی آنگوزه به‌لحاظ ویژگی‌هایی هم‌چون عملیات کشاورزی، اقتصادی، نگهداری، رشد و سازگاری به‌عنوان مناسب‌ترین گیاه دارویی برای منطقه مارگون انتخاب شد. سپس با استفاده از پرسش‌نامه اقتباس‌شده از نظریه نشر نوآوری اقدام به بررسی امکان تغییر الگوی کشت از گیاهان رایج در منطقه مانند گندم و جو به کشت گیاه دارویی آنگوزه اقدام شد. نتایج حاصل از بررسی

امکان بعد از مزیت‌های تغییر کشت از گیاه زراعی به گیاه دارویی آنگوزه با میانگین ۳/۰۳ از دیدگاه کشاورزان نشان داد که می‌توان به‌لحاظ مزیت نسبی این تغییر کشت را در منطقه مارگون اعمال کرد. با این حال، از آنجا که سطح معناداری برابر با ۰/۵۷ بوده و از ۰/۰۵ بیشتر است، این نتیجه از نظر آماری معنادار نیست. نتایج حاصل از بررسی امکان بعد از سازگاری تغییر کشت از گیاه زراعی به گیاه دارویی آنگوزه با میانگین ۲/۷۹ از دیدگاه کشاورزان نشان داد که تفاوت

باعث شده است که کمتر به دنبال یافتن گیاهان جایگزین و آشنایی با ویژگی‌های و شرایط آن‌ها باشند.

نتایج مرحله اول پژوهش نشان داد، از بین شش گیاه دارویی آویشن، بن سرخ، گل محمدی، آنگوزه، موسیر و زعفران، آنگوزه مناسب‌ترین گیاه دارویی برای کشت در منطقه مارگون تعیین شد، نتایج مرحله امکان تغییر کشت به لحاظ ۵ ویژگی نوآوری نشان داد که قابلیت رؤیت در شرایط مناسبی قرار داشت. در رابطه با ویژگی‌هایی نظیر مزیت نسبی، سازگاری، آزمون‌پذیری باید اشاره شود که شرایط موجود در حد حداقل مورد انتظار (مطلوب) هستند و لذا از لحاظ این موارد نیز امکان تغییر کشت وجود دارد. نهایتاً از دیدگاه کشاورزان، پیچیدگی یک معضل و مسئله نیازمند توجه است به همین منظور، می‌توان از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های عملی، دانش تخصصی و مهارت‌های لازم در زمینه آماده‌سازی مزرعه با توجه به شرایط خاص منطقه، برای کاشت، داشت و برداشت آنگوزه را در اختیار کشاورزان قرار داد. همچنین، ارائه تسهیلات برای تهیه ادوات و ماشین‌آلات مناسب که این ادوات را به کشاورزان اجاره دهند، می‌تواند تا حد زیادی از دشواری‌های این فرایند بکاهد. علاوه بر این، ایجاد زنجیره ارزش برای محصول آنگوزه از تولید تا بازاریابی و فروش و ارائه اطلاعات دقیق به کشاورزان در مورد بازارهای هدف و قیمت‌های مناسب نقش مهمی در ایجاد انگیزه و اطمینان خاطر برای کشت این گیاه ایفا می‌کند. با اجرای این توصیه‌ها، می‌توان به طور موثرتری به ترویج کشت آنگوزه در منطقه مارگون پرداخت و از مزایای اقتصادی و اجتماعی آن بهره‌مند شد.

منابع

- Afshar, Z., Ghasemi, M. Rezvani, & Moghadam, P. (2022). Feasibility of introducing medicinal plants into the cultivation pattern and feasibility assessment based on Bolin's logic (Chenaran county, Razavi Khorasan province), *Geographical Studies of Arid Regions*, 14(52), 0-41. [In Persian] DOI:10.22034/JARGS.2023.377583.0
- Akhavan Kazemi, M., Sadat Hosseini, T. & Bahramipour, F. (2019). Analysis of the impact of climate change on international security,

معنی‌داری با حد معیار نداشتند و در وضعیت مطلوب ارزیابی شدند. در حال حاضر از لحاظ دو مورد یاد شده امکان کشت وجود نداشت و باید برای محقق شدن هر چه بهتر کشت، این موارد را بهبود و تقویت نمود. نتایج حاصل از بررسی امکان بعد پیچیدگی تغییر کشت از گیاه زراعی به گیاه دارویی آنگوزه از دیدگاه کشاورزان نشان داد که گویه‌های نیاز بیشتر به دانش و اطلاعات تخصصی، ایجاد سفتی و کوبیده شدن زمین و در نتیجه سخت‌تر شدن شرایط کشت، نیاز به مهارت‌های ویژه، دشواری تهیه ادوات و ماشین‌های مناسب برای برداشت محصول، مشکلات پیدا کردن مشتری و فروش محصول و سخت بودن فرایند آماده‌سازی مزرعه برای کاشت با حد معیار تفاوت معنی‌داری داشتند و در مجموع بعد پیچیدگی با میانگین ۳/۲۳ بیشتر از حد متوسط بوده بر اساس یافته‌ها، تجزیه و تحلیل با آزمون موردنظر نشان می‌دهد که متغیر پیچیدگی با سطح ۰/۰۱ دارای تفاوت معنی‌داری با نمره معیار بوده است که نشان می‌دهد می‌توان تغییر کشت به گیاه دارویی آنگوزه را در منطقه مارگون تنها بعد از برطرف نمودن این پیچیدگی‌ها برای کشاورزان تقویت نمود. نتایج حاصل از بررسی امکان بعد آزمون‌پذیری تغییر کشت از گیاه زراعی به گیاه دارویی آنگوزه با میانگین ۲/۹۸ و سطح معناداری ۰/۸۵ نشان می‌دهد که تفاوت معناداری با نمره معیار وجود ندارد. به طور خلاصه، از دیدگاه کشاورزان نشان داد که در منطقه مارگون به لحاظ آزمون‌پذیری کشت آنگوزه وجود نداشت. ولی به صورت دستی امکان آزمون کشت آنگوزه در منطقه قابل اجراست. نتایج حاصل از بررسی امکان بعد مشاهده‌پذیری تغییر کشت از گیاه زراعی به گیاه دارویی آنگوزه با میانگین ۳/۴۹ و سطح معناداری ۰/۰۱ حاکی از آن بود که در منطقه مارگون امکان رؤیت و مشاهده کشت آنگوزه وجود داشت. همچنین نتایج همبستگی بین دیدگاه پاسخگویان در مورد ویژگی‌های نوآوری (کشت گیاه دارویی) و متغیرهای جمعیتی شناختی نشان می‌دهد که هر چه سن افراد مورد مطالعه بیشتر شده است، از نظر آن‌ها گیاه مورد نظر، مشاهده‌پذیری با (ضریب همبستگی ۰/۴۴-) و آزمون‌پذیری (۰/۳۹-) کمتر ولی پیچیدگی (۰/۲۴) بیشتری دارد. شاید دلیل این موضوع، این باشد که به موازات افزایش سن، تمایل فرد به ریسک و تغییر در زمینه‌های مختلف از جمله کشت محصولی که سال‌های متمادی و نسل‌های مختلف با آن سروکار داشته‌اند، کمی مشکل باشد. از طرف دیگر، تمایل آن‌ها به عدم تغییر

conservation and cultivation of *Garcinia kola* Heckel—a medicinal plant extinct in the wild in Benin. *Economic Botany*, 74, 115-125.

DOI:10.1007/s12231-020-09495-z

Droogers, P. & Kite, G. W. (2001). *Estimating water productivity at different spatial scales using simulation modeling* (Vol. 53). IWMI. 324. <https://hdl.handle.net/10568/39840>

Ebadollahi, N., Cheshmeh Sohrabi, M., & Nooshinfard, F. (2014). Analysis of technological factors influencing on adoption based on Rogers' diffusion of innovation theory: Case study Namaye Nashryat software. *Journal of Knowledge Studies*, 7(26), 79-92. [In Persian] DOI:10.30495/jss.2019.666669

Ghasemi, N., Raheli, H., Kohistani, H., & Kazemieh, F. (2017). Analysis of Unauthorized land-Use Change in East Azarbaijan Province Using Grounded Theory. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 31(2), 317-338. [In Persian] DOI: 10.22034/saps.2021.13113

Heydari Sareban, V. (2013). Surveying of Factors which Influence to Wheat Grover's Skills, Regarding Farmers' Soil Management (Case Study: Ardabil Province). *Journal of Rural Research*, 4(1), 189-218. [In Persian] DOI:10.22059/jrrr.2013.31976

Jafari, H., Ahmadian, M. A. & Tarhani, A. (2017). Production of medicinal herbs, an approach to sustain the rural economy (Case Study: Villages in Ghochan County). *Journal of Research and Rural Planning*, 6(1), 173-187. [In Persian] DOI:10.22067/JRRP.V6I1.56119

Javadzadeh, S. M. (2019). Determining the Effective Factors on willingness of farmers for growing Roselle in the villages of Sistan and Baluchestan Province. *Technology of Medicinal*

Quarterly Journal of International Relations Studies, 12(46), 9-39. [In Persian] [DOR:20.1001.1.24234974.1398.12.46.1.4](https://doi.org/10.1007/s12231-020-09495-z)

Al- Razgan, M., Alrowily, A., Al-Matham, R. N., Alghamdi, K. M., Shaabi, M., & Alssum, L. (2021). Using diffusion of innovation theory and sentiment analysis to analyze attitudes toward driving adoption by Saudi women. *Technology in Society*, 65, 101558. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101558>

Behnam, V., Karami, A., & Shirazi, S. S. (2024). Investigation of Spatial Variation of Some Soil Properties Using Geostatistical Methods (Case study: Margon Town, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Iran). *Environment and Water Engineering*, 10(4), 558-571. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.418442.1893>

BozorgNia, A. (2009). Modifying the cultivation pattern, a step towards the sustainability of production, preserving the basic resources and welfare of the agricultural society, Shirinbian, 3(2), 7-12. [In Persian].

Bui, H. T. M., & Nguyen, H. T. T. (2021). Factors influencing farmers' decision to convert to organic tea cultivation in the mountainous areas of northern Vietnam. *Organic Agriculture*, 11, 51-61. <https://www.doi.org/10.1007/S13165-020-00322-2>

Chiragh Visi, S., Zarafshani, K. & Sharfi, L. (2019). Investigating the innovation characteristics of autumn chickpea cultivation adoption in Ravansar city, Kermanshah (application of Rogers' theory). *Agricultural Extension and Education Sciences of Iran*, 16(1), 113-130. [In Persian] DOI:0.22034/iaeej.2020.223735.1511

Dadjo, C., Nyende, A. B., Salako, K. V., Hounkpèvi, A., & Assogbadjo, A. E. (2020). Socio-economic factors determining

medicinal plant cultivation in the Arsbaran region using GIS, the first national conference on protection and protection of Arsbaran forests, Tabriz, East Azerbaijan, Agriculture and Natural Resources Research and Training Center. [In Persian]

Noorhosseini, S. A., Fallahi, E. & Damalas, C. A. (2020). Promoting the cultivation of medicinal and aromatic plants for natural resource management and livelihood enhancement in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(5), 4007-4024. DOI: 10.1007/s10668-019-00368-7

Noori, M., and Nooripoor, M. (2015). Analysis of the Utility of Economic Sectors in Achieving Agricultural Development: Applying an Analytic Hierarchy Process. *Iran Agricultural Research*, 33(2), 63-82. doi:10.22099/iar.2015.2863

Pornpratansombat, P., Bauer, B. & Boland, H. (2011). The adoption of organic rice farming in Northeastern Thailand. *Journal of Organic Systems*, 6(3), 4-12.

Razmkhah, H., Ghahremani, E., Fararouie, A., & Rostami Ravari, A. (2022). Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river). *Integrated Watershed Management*, 2(3), 58-81. [In Persian] doi:10.22034/iwm.2022.563458.1047

Rogers, A. & Shoemaker, F. (2000). Communication of innovations: an intercultural approach. Translated by Ezzatullah Karami and Abutaleb Fanai, Shiraz University.

Seidan, M. & Firoozabadi, A. (2019). Comparison of water use efficiency in drip and sprinkler irrigation systems in potato crop in Hamedan province, *Applied Potato Sciences*, 3(1), 17-24. [In Persian]. DOI:10.22092/aj.2014.100927

Statistical Center of Iran. (2016). General

and Aromatic Plants of Iran, 2(1), 15-33. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1046333>

Karani, Z. (2017). Factors affecting the acceptance of medicinal plant cultivation among the farmers of the medicinal plant (mint) of Kermanshah province, *the first national conference on the role of medicinal plants in the resilience economy, Fereydounshahr, Isfahan*. [In Persian] <https://civilica.com/doc/653932/>

Komasi, M., Malekmahmoudi, M. & Montaseri, H. (2017). Drought forecasting by SPI and EDI indices using ANFIS method based on C-mean and SC clustering (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province). *Journal of agricultural meteorology*, 5(1), 36-47. [In Persian] doi:10.22125/agmj.2017.54982

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. & Nadjafi, F. (2004). The agrobiodiversity of medicinal and aromatic plants in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 2(2), 208-216. [In Persian] DOI:10.22067/gsc.v2i2.1256

Lebaschi, M. (2018). Water crisis and the need to develop the cultivation of medicinal plants, *Iranian Nature*, 3(3), 11-6. [In Persian] DOI: 2018.116776irn10.22092/

Mahboubi, M., Irvani, H., Rizvanfar, A., Kalantari, Kh, and Mohseni Saravi, M. (2004). Factors affecting the adoption behavior of soil protection technologies in Zarin Gol watershed of Golestan province. *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(4), 595-605. [In Persian].

Moghadam, S. S., Rahmani, B. & Pegah, M. S. (2020). Evaluation of quality of life indicators in rural areas (case study: Poshteh Zilaei village, Kohgiluyeh & Boyerahmad), *Human Settlements Planning Studies*, 15(4), 1061049-. [In Persian]. <http://jshsp.iaurasht.ac.ir>

Naseri, d. & Hedayati, S. (2017). Zoning of

Population and Housing Census, <https://faslejonooob.ir/?p=2630>

Taraghi, M., Montaseri, M., Zarghami, M., & Mianabadi, H. (2017). Conflict Resolutions for Sustainable Water Resource Management; Case Study. *Agricultural Economics*, 11(3), 131-160. [In Persian] [doi:10.22034/iaes.2017.26335](https://doi.org/10.22034/iaes.2017.26335)

Zhang, L., Cao, B., Bai, C., Li, G., & Mao, M. (2016). Predicting suitable cultivation regions of medicinal plants with Maxent modeling and fuzzy logics: a case study of Scutellarin baicalinase in China. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 1-12. [DOI:10.1007/s12665-015-5133-9](https://doi.org/10.1007/s12665-015-5133-9).



Meteorological Drought Risk Monitoring and Zoning Using Random Forest Model(Case Study: Ardabil Province)

Ahmad Hajarian^{1*} 

1. PhD in Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author: a.hajarian@ltr.ui.ac.ir

Keywords:

Climatic factors, Hybrid models, Drought, Natural hazards, Permutation index.

Extended abstract

Introduction

Natural hazards are an inseparable part of human life and have existed continuously since the creation of mankind. Any unexpected and sudden natural event that causes the weakening and destruction of economic, social, and cultural capabilities, such as loss of life and property, destruction of infrastructure, financial resources, and areas of decline in employment in society, is considered a natural disaster. Preparing risk maps and assessing the susceptibility of the basin to drought can improve the preparedness of a region and reduce the effects of drought by publishing drought mitigation plans at the national and regional levels. Ardabil province, like other provinces in the country, has been experiencing climate change in recent years. Abstract: A 10-year survey and analysis of the Standardized Permeability Index (SPEI) in Ardabil shows that mild to very severe (long-term) droughts occur in many areas of the province, with 68 percent of the province experiencing mild to very severe droughts and only 32 percent experiencing normal to moderate drought conditions. Of the drought-affected area, 19.07 percent is mild, 24.42 percent moderate, 22.56 percent severe, and 72.23 percent very severe. Therefore, it is essential to examine its drought situation in the coming years, considering the need for water resources management in the region.

Received:

13 Dec 2024

Revised:

20 Jan 2025

Accepted:

20 Jan 2025

How to cite this article:

Hajarian, A. (2025). Meteorological Drought Risk Monitoring and Zoning Using Random Forest Model(Case Study: Ardabil Province). *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 3(9), 83-94. [10.22077/jdcr.2025.8551.1093](https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.8551.1093)



Materials and Methods

To prepare a map of drought-prone areas, annual statistics from the rain gauge and synoptic stations of this province and the DSI index were used. In this study, based on previous studies, a combination of natural factors (slope, rainfall, temperature, etc.), human factors (land cover changes), and morphometric indices involved in the occurrence of drought, including the topographic wetness index, mass balance index, geographical location index, and wind shelter index, are considered. After collecting and extracting data, maps of information layers will be prepared in ArcGIS and SAGA_GIS software.

Results and Discussion

The present study was conducted with the aim of zoning and predicting drought-sensitive areas using a bagging-random forest hybrid machine learning model in Ardabil province. After preparing a map of the distribution of droughts and identifying the factors affecting their occurrence, a map of the region's susceptibility to drought was prepared using the above method. The results of evaluating the models using the ROC curve show that the model's performance with an area under the curve ($AUC > 0.9$) is excellent in predicting drought-sensitive areas. The results of the permutation study in the above model to determine the factors affecting the occurrence of drought in Ardabil province show that atmospheric factors, including rainfall, temperature, and climate, have the highest and lowest impact on the wind shelter index and mass balance index, respectively. The two wetness indices and geographical location were eliminated due to their very small impact (near zero) on the model in the process of preparing drought sensitivity prediction maps.

Conclusion

Maintaining and increasing vegetation cover in these areas could be a reason for reducing the occurrence of this phenomenon. The results of the final drought prediction map in Ardabil province showed that about 60 percent of this province is very sensitive to droughts and is in critical conditions. The results of the ROC curve and the area under the curve (AUC) showed that this model has provided very acceptable results in terms of separating risk categories (above 60 percent in classes with high and very high sensitivity) and in terms of evaluating models with a performance level of 0.911. Given the high sensitivity of this province to droughts, it is necessary to take the necessary measures to deal with these events to prevent the worsening of conditions in this province. The results of such research can help managers and officials of micro-national planning largely prevent possible future risks by making correct and implementable decisions in the short term.

Due to the complexity of drought phenomena, simple drought indices cannot properly describe the relationships between climatic, topographic, and anthropogenic factors that affect natural

phenomena, especially drought events. To reduce the effects of drought and improve management, it is very important to develop a spatial framework for identifying drought-prone areas at a regional scale. By integrating the results of the drought index with drought prediction models, the factors that affect the development of drought will be significantly revealed. The results of the bagging random forest hybrid model for Ardabil province showed that areas with high sensitivity to drought are more in the south and, to some extent, in the central parts of this province. The presence of low rainfall along with arid and semi-arid climates will lead to an increase in temperature and evapotranspiration, accompanied by a decrease in vegetation cover. The southern part of the province will be less sensitive to future drought than other regions. In general, the decrease in rainfall is one of the main factors affecting and intensifying drought in this province.



پایش و پهنه‌بندی خطر خشک‌سالی با استفاده از مدل جنگل تصادفی (مورد مطالعه: استان اردبیل)

احمد حجاریان^{۱*}

۱- دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

*نویسنده مسئول: a.hajarian@ltr.ui.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

خشک‌سالی یک پدیده طبیعی است که در هر نوع آب و هوایی امکان وقوع آن وجود دارد و آثار زیانبار آن به مراتب گسترده‌تر و عمیق‌تر از دیگر بلای طبیعی است. این پدیده طبیعی یکی از مضرترین و از لحاظ اقتصادی، اجتماعی، کالبدی و محیط زیستی زیانبارترین بلای طبیعی به شمار می‌رود. این مطالعه با هدف پیش‌بینی و تهیه نقشه خطر، شناسایی مناطق حساس به منظور توسعه پایداری که خطرات را کاهش و انعطاف‌پذیری را ارتقا می‌دهد، انجام شده است. در این مطالعه از لایه‌های بارندگی، دما، اقلیم، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و شاخص‌های موفومتری از جمله شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص تعادل جرم، شاخص موقعیت جغرافیایی و شاخص پناهگاه بادی به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اردبیل از مدل جنگل تصادفی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل اهمیت متغیر با استفاده از شاخص جایگشت نشان داد که به ترتیب بارندگی، دما، اقلیم از مهمترین عوامل موثر بر خشک‌سالی استان اردبیل هستند. بررسی نقشه پهنه‌بندی حساسیت این استان به خشک‌سالی با استفاده از مدل ترکیبی فوق نشان داد که حدود ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه در رده مناطق دارای حساسیت زیاد و بسیار زیاد به رخداد خشک‌سالی می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی منحنی ROC با سطح زیر منحنی بالای ۰/۹ برای این مدل نشان دهنده دقت بالای این مدل در ارائه نتایج است.

عوامل اقلیمی، مدل‌های ترکیبی، خشک‌سالی، مخاطرات طبیعی، شاخص جایگشت.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۲۳

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۲/۰۱

مقدمه

مخاطرات طبیعی بخش جدانشدنی از زندگی بشر است و پیوسته از زمان خلقت بشر تاکنون وجود داشته است. هر حادثه طبیعی غیرمترقبه و در مواردی ناگهانی که موجبات تضعیف و نابودی توانمندی‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مانند: خسارات جانی و مالی، تخریب تأسیسات زیربنایی، منابع اقتصادی و زمینه‌های زوال اشتغال جامعه را فراهم آورد، به‌عنوان بلایای طبیعی قلمداد می‌شود (Wossen et al., 2017). بی‌گمان خشک‌سالی از جمله اصلی‌ترین و قدیمی‌ترین بلایای طبیعی است که انسان‌ها از دیرباز با آن آشنا بوده‌اند. خشک‌سالی یک رویداد اقلیمی شدید در نظر گرفته می‌شود که به تدریج افزایش می‌یابد و ممکن است پیامدهای عمده‌ای داشته باشد (Zhoolideh et al., 2024). بنابراین به عنوان پرهزینه‌ترین خطر طبیعی شناخته می‌شود (Mishra & Singh, 2010). خشک‌سالی یک بلای طبیعی خزنده است (Karimi et al., 2018). خشک‌سالی یک بلیه طبیعی تکرارپذیر و غیرقابل پیش‌بینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که در نتیجه تغییر الگوهای جهانی متغیرهای آب و هوایی، به ویژه دما و بارندگی به وقوع می‌پیوندد (Khorrami & Gündüz, 2022). اثرات پدیده خشک‌سالی از نظر فراوانی، شدت، مدت و اثرات اجتماعی درازمدت در جامعه، بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است (Malekan et al., 2021). خشک‌سالی یکی از فاجعه‌بارترین مخاطرات است که با پیامدهای مخرب و گسترده مستقیم یا غیرمستقیم بر جامعه، می‌تواند محیط زیست و اقتصاد آن را تحت تاثیر خود قرار دهد (Sivakumar et al., 2022; Burka et al., 2024). در حال حاضر اثرات مخرب خشک‌سالی با روند صعودی تغییرات آب و هوایی، اقلیم و رشد جمعیت در ارتباط می‌باشد (Gerdener et al., 2020). با این‌وجود تعریف خشک‌سالی و چگونگی ارتباط آن با پدیده‌های هیدرولوژی بسیار مشکل است؛ زیرا اولاً خشک‌سالی ممکن است به طور هم‌زمان تمام اجزاء سیستم هیدرولوژی را تحت‌تاثیر قرار ندهد ثانیاً خشک‌سالی یک پدیده مطلق نبوده؛ بلکه کمبود نسبی رطوبت است در این صورت تقاضای زیاد برای

آب نیز می‌تواند خشک‌سالی ایجاد کند (IPCC, 2007). پدیده خشک‌سالی به صورت دوره‌ای رخ داده و حتی مناطق دوردست را نیز تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (Mao et al., 2015; Song and Park, 2020; Li et al., 2023). خشک‌سالی با تأثیرات مختلفی که بر روی کره‌های مختلف می‌گذارد به‌عنوان یک پدیده مخرب‌آمیز و فاجعه‌ای علیه بشریت نامبرده می‌شود (Savari and Shokati Amghani, 2023). بنابراین پایش و ارزیابی خشک‌سالی و تحلیل پویایی مکانی و زمانی در مقیاس‌های زمانی متعدد برای حفاظت از محیط زیست و احیای مراتع و تعادل منابع زمین و آب در برابر شرایط خشک‌سالی ضروری می‌باشد (Fakhar & Nazari, 2024). پیش‌بینی مکانی و زمانی دقیق خسارات احتمالی خشک‌سالی در سطح جهانی و کشورمان بسیار دشوار است (Mogholi, 2023). ناهنجاریها و نوسانات در روند پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما یکی از ویژگیهای طبیعی چرخه اتمسفری می‌باشد (Adeniji et al., 2022). این ناهنجاری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌گردد. خشک‌سالی‌ها نشانه روشنی از این نوسانات می‌باشند که بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا را با شدت‌های زیاد هر چند سال یکبار در بر می‌گیرند. کاهش شدید بارندگی و دوره‌های خشک ناشی از آن تاثیرهای منفی بسیاری بر مدیریت منابع آب می‌گذارد. ایران کشور پهناوری است که به دلیل موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافی، آب‌وهوای متفاوتی دارد. میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۲۲۰ تا ۲۹۵ میلی‌متر گزارش شده است (Afsari et al., 2024). با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی ایران و قرار داشتن در کمربند خشک آب‌وهوایی جهان و کمبود نزولات جوی، بایستی اذعان داشت که بروز بحران‌های آبی و خشک‌سالی از مشخصه‌های اصلی آب‌وهوای ایران به شمار می‌آید (Khoshnodifar et al., 2023). محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی و تشخیص شدت خشک‌سالی‌ها ارائه داده‌اند (Soureh & safarpour, 2024). از این رو اجرای اقدامات سازگار و متناسب با منطقه مستلزم شناسایی اجزای

توجه به لزوم مدیریت منابع آب در منطقه، ضروری می‌باشد.

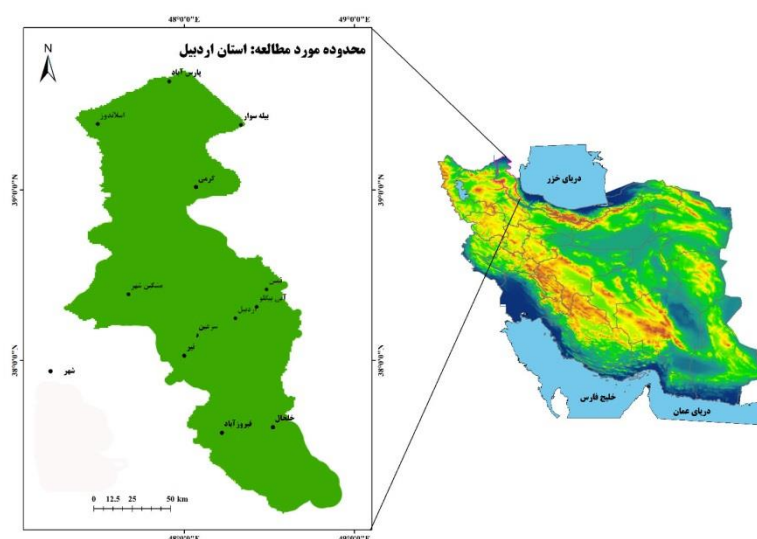
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با مساحت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران بین مختصات ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. جمعیت کل این استان از یک میلیون و ۲۷۰ هزار نفر بر اساس مرکز آمار این کشور در سال ۲۰۲۱ فراتر رفته است. این استان بخشی از فلات مثلثی شکل ایران در شرق فلات آذربایجان بوده که حدود دو سوم آن دارای بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل می‌دهند. اراضی شمالی و هم مرز با جمهوری آذربایجان را در امتداد ارس، زمین‌های پست و جلگه‌ای تشکیل می‌دهند که کمتر از ۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد ارتفاع دارند. در جنوب نیز قسمت‌های اصلی مرکز استان با دره رود قزل اوزن که بین منحنی ۱۴۰۰ – ۸۰۰ متر قرار گرفته است. تعداد روزهای یخبندان ۱۳۰ روز و میزان بارندگی سالانه در شرایط عادی اقلیمی برای تمام استان معادل ۶۰۰ میلی‌متر است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی استان اردبیل را نشان می‌دهد.

اصلی، تشخیص روابط پیچیده و درک کامل عوامل موثر و ارزیابی خطرات خشک‌سالی از طریق تهیه نقشه‌های خطرپذیری و حساسیت خشک‌سالی است (Ahmadalipour & Moradkhani, 2018; Hedayat & Kaboli, 2024). تهیه نقشه‌های خطرپذیری و ارزیابی حساسیت حوزه به خشک‌سالی می‌تواند آمادگی یک منطقه را بهبود بخشد و اثرات خشک‌سالی را با انتشار برنامه‌های کاهش خشک‌سالی در سطوح ملی و منطقه‌ای کاهش دهد (Singh et al., 2023).

استان اردبیل نیز همانند سایر استان‌های کشور، طی سال‌های گذشته دچار تغییرات آب و هوایی شده است. چکیده بررسی و تحلیل شاخص (SPEI) (تبخیر و تعرق استاندارد شده) در دوره ۱۰ ساله در اردبیل نشان می‌دهد که درجات خفیف تا بسیار شدید خشک‌سالی (بلندمدت) در بسیاری از مناطق استان وجود دارد، به طوری که ۶۸ درصد از مساحت استان درگیر خشک‌سالی خفیف تا بسیار شدید است و فقط ۳۲ درصد از مساحت استان در شرایط طبیعی تا ترسالی متوسط قرار دارد. از مساحت درگیر خشک‌سالی ۱۹/۰۷ درصد دارای خشک‌سالی خفیف، ۲۴/۴۲ درصد متوسط، ۲۲/۵۶ درصد شدید و ۷۲/۲۳ درصد خشک‌سالی بسیار شدید است. بنابراین بررسی وضعیت خشک‌سالی آن در سال‌های آینده با



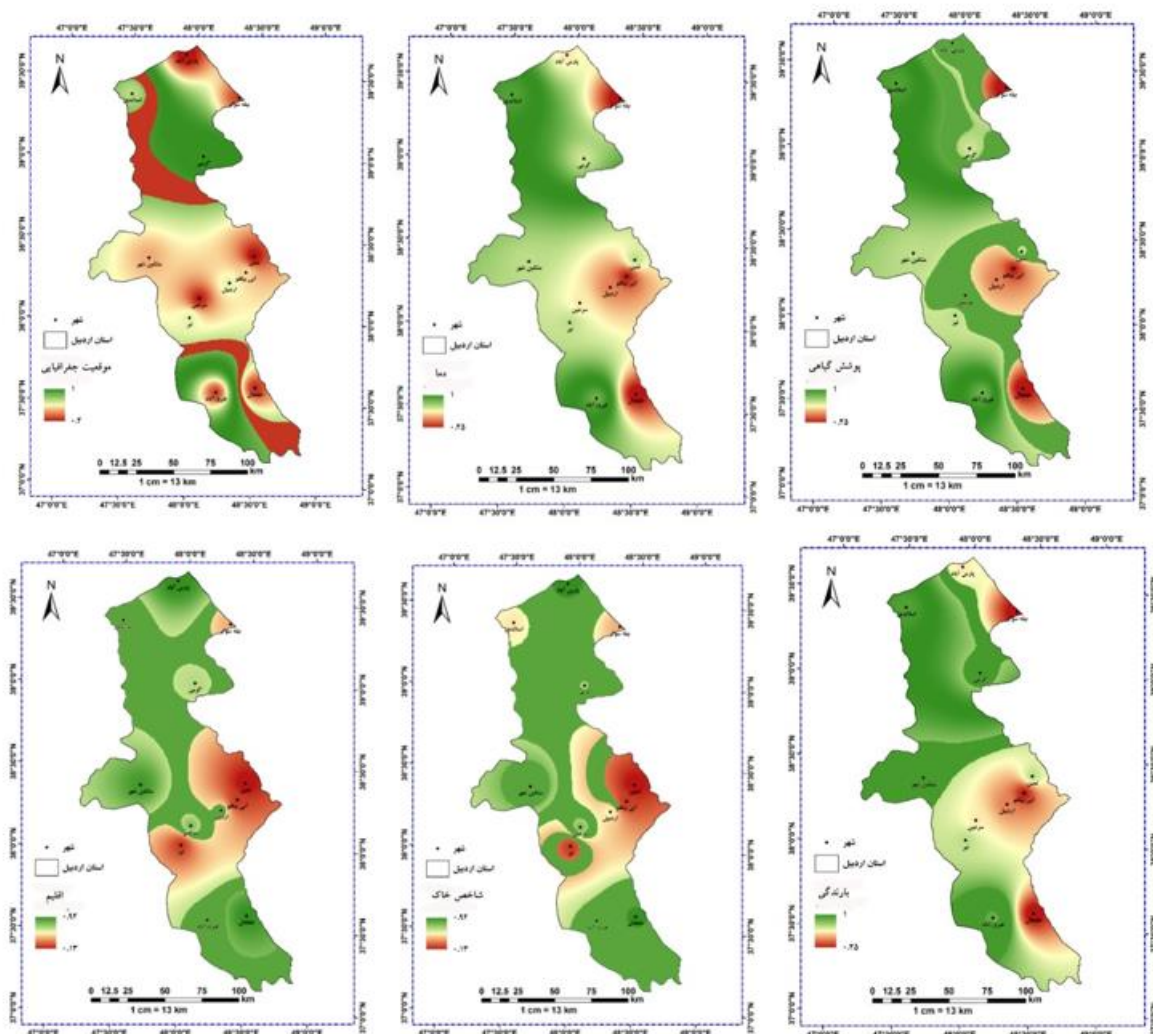
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان اردبیل در تقسیمات کشوری

Fig 1. Geographical Location of Ardabil Province in National Divisions

و شاخص‌های موفومتری دخیل در وقوع خشک‌سالی از جمله شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص تعادل جرم، شاخص موقعیت جغرافیایی و شاخص پناهگاه بادی در نظر گرفته می‌شوند. بعد از گردآوری و استخراج داده‌ها، نقشه‌های لایه‌های اطلاعاتی در نرم افزار ArcGIS و SAGA_GIS تهیه خواهد شد.

جمع‌آوری داده‌ها و تهیه لایه‌های عوامل موثر بر وقوع خشک‌سالی

برای تهیه نقشه پهنه‌های دارای خشک‌سالی از آمار سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک این استان و شاخص (SPI) استفاده شد. در این پژوهش بر اساس مطالعه پژوهش‌های پیشین ترکیبی از عوامل طبیعی (شیب، بارندگی، دما و غیره)، عوامل انسانی (تغییرات پوشش زمین)



شکل ۲. نقشه‌های عوامل اصلی موثر بر رخداد خشک‌سالی در استان اردبیل

Fig 2. Maps of The Main Factors Affecting Drought Occurrence in Ardabil Province

ایستگاه‌های باران‌سنجی، سینوپتیک و اقلیماتولوژی برای کل استان تهیه و از طریق درون‌یابی با روش کریجینگ آماده شد. لایه شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی از تصاویر Sentinel_2 برای ماه خرداد سال ۱۴۰۳ و نقشه خاک استان اردبیل از نقشه جهانی خاک که توسط سایت فائو تهیه شده بود، دانلود و

نقشه مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سایت زمین‌شناسی آمریکا دانلود و به منظور تهیه لایه‌های مربوط به شاخص‌های موفومتری از جمله شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص تعادل جرم و شاخص پناهگاه بادی استفاده گردید. لایه بارندگی، دما و اقلیم از داده‌های

پارامترهای کلیدی برای مدل جنگل تصادفی، تعداد درختان و تعداد متغیرهای برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند (Bordbar et al., 2022).

در این مطالعه مدل‌سازی و ارزیابی مدل با استفاده از سطح زیر منحنی (AUC) و منحنی ROC این مدل در بسته نرم‌افزاری R Studio انجام شده است.

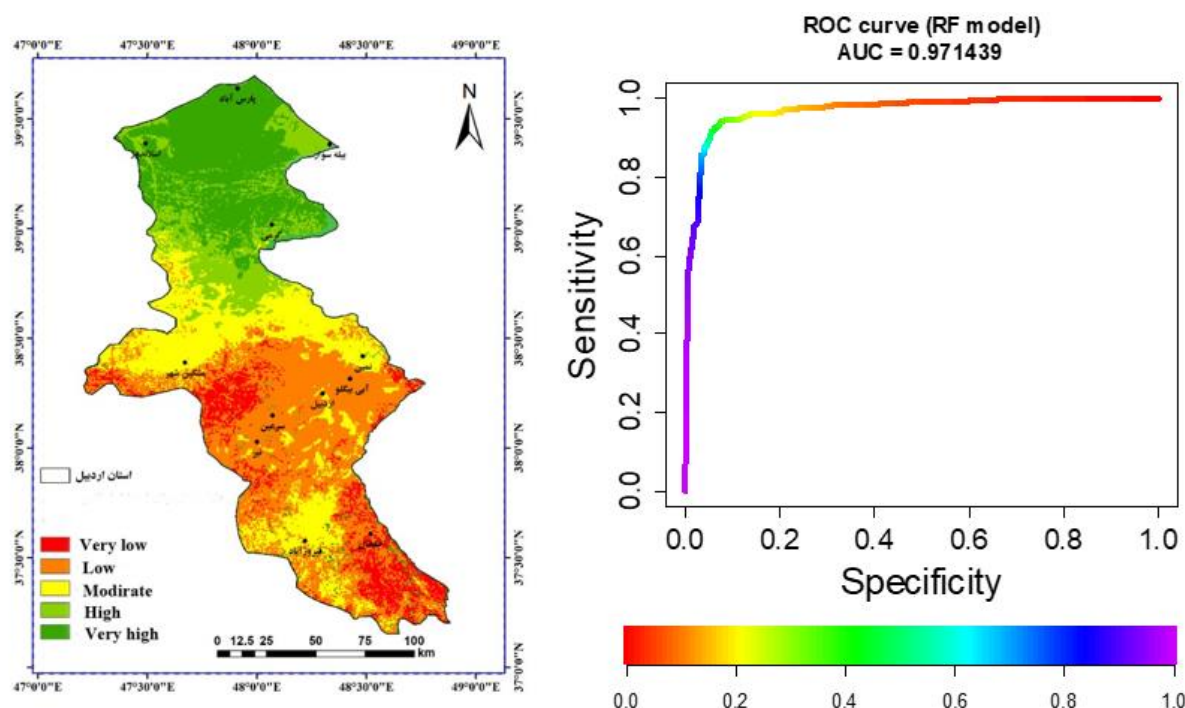
نتایج و بحث

تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی و پیش‌بینی مناطق حساس به خشک‌سالی با استفاده از مدل یادگیری ماشین ترکیبی Bagging – Random Forest در استان اردبیل انجام شد. پس از تهیه نقشه پراکنش خشک‌سالی‌های رخ داده و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع، نقشه حساسیت‌پذیری منطقه به وقوع خشک‌سالی با روش فوق تهیه گردید. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها با استفاده از منحنی ROC نشان می‌دهد که عملکرد مدل با مقدار سطح زیرمنحنی ($AUC > 0.9$) در پیش‌بینی مناطق حساس به رخداد خشک‌سالی عالی می‌باشد (شکل ۳).

برای این استان استخراج گردید. نقشه لایه‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرند در شکل (۲) تنظیم شده‌اند.

مدل جنگل تصادفی

برای استفاده موثر از مدل‌های ماشینی ترکیبی، نیاز به داده‌های کیفیت بالا و متنوع است. همچنین، پیش پردازش داده‌ها و انتخاب ویژگی‌های مناسب نیز از اهمیت بالایی برخوردار است (Talukdar et al., 2021). جنگل تصادفی^{۱۴} یک روش جدید و قدرتمند یادگیری ماشینی است که توسعه بسیاری در فناوری داشته است (Park et al., 2019)، ولی در تحقیقات اکولوژیک شناخته نیستند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای دسته‌بندی و هم رگرسیون، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود. رویکرد جنگل تصادفی بر پایه روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری به وجود آمده است، سپس تمام درختان باهم برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند.



شکل ۳. نقشه‌های حساسیت‌پذیری و نتایج منحنی ROC برای مدل Bagging – Random Forest در استان اردبیل

Fig 3. Sensitivity Maps and ROC Curve Results For The Bagging – Random Forest Model in Ardabil Province

^{۱۴} Random Forest

مناطق از استان که میزان بارندگی کم بوده است، همسو با آن بر میزان دما افزوده شده است که بر اساس نقشه پیش‌بینی حساسیت استان با روش Bagging – Random Forest این مناطق دارای خطر بالا به وقوع خشک‌سالی می‌باشند. یکی دیگر از عوامل بسیار موثر و کارآمد بر رخداد خشک‌سالی مربوط به اقلیم منطقه می‌باشد که در این استان پنج نوع از رده‌های اقلیم وجود دارد. در این حوضه مناطقی که دارای اقلیم مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب هستند به لحاظ رخداد خشک‌سالی دارای کمترین خطر می‌باشند. تنوع و تراکم بالای پوشش گیاهی بنابر دلایلی همچون حفظ رطوبت خاک (جذب آب و نگهداشت از طریق ترانسپیراسیون خاکی)، پایداری و افزایش قابلیت نگهداشت آب، تاثیر بر الگوهای بارش یک منطقه (کمک به توزیع و پراکنش مناسب ابرها)، تاثیر بر کاهش دما (متعادل سازی میزان دی اکسید کربن) می‌تواند بر کاهش رخداد و تاثیرات خشک‌سالی موثر باشد. نتایج بررسی لایه پوشش گیاهی با نقشه حساسیت پذیری خطر رخداد خشک‌سالی نشان داد که در مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم میزان رخداد خشک‌سالی کم و عکس آن میز یعنی در مناطق دارای پوشش گیاهی تنک میزان خطر رخداد خشک‌سالی نیز بیشتر است که در راستای نتایج تحقیق Soureh and Safarpour (2024) حفظ و افزایش پوشش گیاهی در این مناطق می‌تواند دلیلی بر کاهش وقوع این پدیده باشد. نتایج نقشه نهایی پیش‌بینی رخداد خشک‌سالی در سطح استان اردبیل نشان داد که حدود ۶۰ درصد این استان به رخداد خشک‌سالی‌ها بسیار حساس و در شرایط بحرانی قرار دارد. نتایج منحنی ROC و مقدار سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که این مدل از لحاظ تفکیک رده‌های خطر (بالای ۶۰ درصد در کلاس‌های دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد) و هم از لحاظ ارزیابی مدل‌ها با سطح عملکرد ۰/۹۱۱ نتایج بسیار قابل قبولی را ارائه کرده است. با توجه به حساسیت بالای این استان به رخداد خشک‌سالی ضروری است به جهت جلوگیری از وخیم‌تر شدن

نتایج حاصل از بررسی جایگشت^۱ در مدل فوق برای تعیین عوامل موثر بر رخداد خشک‌سالی در استان اردبیل نشان می‌دهد که عوامل جوی از جمله بارندگی، دما، اقلیم به ترتیب بیشترین تاثیر و کمترین تاثیر مربوط شاخص پناهگاه بادی و شاخص تعادل جرم می‌باشد. دو شاخص خیسی و موقعیت جغرافیایی به دلیل تاثیر بسیار ناچیز (در حد صفر) بر مدل در روند تهیه نقشه‌های پیش‌بینی حساسیت به خشک‌سالی حذف شدند.

نتیجه‌گیری

عوامل جوی عوامل کلیدی و اصلی در وقوع خشک‌سالی هستند (Nunes, 2022). بر اساس نتایج مدل مناطق جنوبی و مرکزی استان نسبت به سه جهت اصلی دیگر به خشک‌سالی حساس‌تر می‌باشد. در این استان هرچه از مناطق شمالی به طرف جنوب فاصله می‌گیریم، از میزان بارش، رطوبت و پوشش گیاهی کاسته و بر عواملی مانند دما و تبخیر و تعرق افزوده می‌گردد. بررسی نقشه ارتفاع این استان نشان داد که اغلب مناطق مرتفع و کوهستانی در شمال این استان قرار دارند. وجود مناطق کوهستانی به لحاظ رخداد بارش و تعدیل آب و هوای یک منطقه بسیار کارآمد می‌باشد. لذا نبود این ناهمواری‌ها در مناطق جنوبی دلیلی بر کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق در این مناطق است. نتایج پژوهش Qubati و همکاران (۲۰۲۳) نیز این دلیل را تایید کرده است (Qubati et al., 2023). بررسی نقشه درونیابی لایه بارندگی این منطقه نشان داد که اختلاف بارش در مناطق شمالی این استان نسبت به سایر مناطق بخصوص به جنوب بیش از ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد که به دلیل وسعت زیاد این استان یک امر بدیهی است. چه در پژوهش‌های داخلی از قبیل مصطفی‌زاده و همکاران (Mostafazadeh et al., 2015) و چه در سطح بین الملل (Mani et al., 2023)، نبود بارندگی و رطوبت و دمای بالاتر از حد معمول، از مهم‌ترین دلایل رخداد خشک‌سالی هستند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطالعه هم راستا می‌باشد. در این مطالعه در

^۱ Permutation

Change Impacts on the Number of Dry and Very Heavy Precipitation Days by Century's End: A Case Study of Iran's Metropolises. *Water*, 16(16), 2226. <https://doi.org/10.3390/w16162226>

Ahmadalipour, A., & Moradkhani, H. (2018). Multi-dimensional assessment of drought vulnerability in Africa: 1960–2100. *Science of the total environment*, 644, 520-535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.023>

Al-Qubati, A., Zhang, L., & Pyarali, K. (2023). Climatic drought impacts on key ecosystem services of a low mountain region in Germany. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(7), 800. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11397-1>

Bordbar, M., Aghamohammadi, H., Pourghasemi, H. R., & Azizi, Z. (2022). Multi-hazard spatial modeling via ensembles of machine learning and meta-heuristic techniques. *Scientific Reports*, 12(1), 1451. <https://doi.org/s41598-022-05364-y>

Burka, A., Biazin, B., & Bewket, W. (2024). Drought susceptibility modeling with geospatial techniques and AHP model: a case of Bilate River Watershed, Central Rift Valley of Ethiopia. *Geocarto International.*, 39(1), 2395319. <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2395319>

Fakhar, M. S. and Nazari, B. (2024). Multitemporal Analysis of Drought in Iran: Monitoring and Evaluation of Spatial and Temporal Characteristics Using MODIS Indices. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 2(1), 39-58. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7011.1050>

Gerdener H, Engels O, Kusche J. 2020. A framework for deriving drought indicators from the Gravity Recovery and Climate Experiment

شرایط در این استان تمهیدات لازم در جهت مقابله با این رخدادها صورت گیرد. نتایج تحقیقات این چینی می‌تواند به مدیران و مسئولان برنامه‌ریز کشوری کمک کند تا با اتخاذ تصمیمات درست و قابل اجرا در کوتاه مدت تا حدود زیادی از خطرات احتمالی پیش رو جلوگیری کنند.

شاخص‌های ساده خشک‌سالی به دلیل پیچیدگی پدیده‌های خشک‌سالی نمی‌توانند روابط بین عوامل اقلیمی، توپوگرافی و انسان‌زایی را که بر پدیده‌های طبیعی بالاخص رویداد خشک‌سالی تأثیر می‌گذارند، را به درستی توصیف کنند. برای کاهش اثرات خشک‌سالی و بهبود مدیریت، توسعه یک چارچوب فضایی برای شناسایی مناطق مستعد خشک‌سالی در مقیاس منطقه‌ای بسیار مهم است. از طریق ادغام نتایج شاخص خشک‌سالی با مدل‌های پیش‌بینی این پدیده، عواملی که بر توسعه خشک‌سالی اثر دارند به طور قابل توجهی نمایان خواهند شد.

نتایج مدل ترکیبی Bagging Random Forest برای استان اردبیل نشان داد که مناطق دارای حساسیت بالا به خشک‌سالی بیشتر در جنوب و تا حدودی قسمت‌های مرکزی این استان را در بر می‌گیرد. وجود بارندگی کم همراه با اقلیم خشک و نیمه خشک منجر به افزایش دما و تبخیر و تعرق توام با کاهش پوشش گیاهی خواهد بود. محدوده جنوب استان به وقوع خشک‌سالی در آینده نسبت به سایر مناطق دارای حساسیت کمتری خواهد داشت. در حالت کلی کاهش بارندگی از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار و تشدید خشک‌سالی در این استان می‌باشد.

منابع

Adeniji, O. D., Adeyemi, S. O., & Ajagbe, S. A. (2022). An improved bagging ensemble in predicting mental disorder using a hybridized random forest-artificial neural network model. *Informatica*, 46(4). <https://doi.org/10.31449/inf.v46i4.3916>

Afsari, R., Nazari-Sharabian, M., Hosseini, A., & Karakouzian, M. (2024). Projected Climate

- (2023). Mechanisms to change farmers' drought adaptation behaviors in Sistan and Baluchistan province, Iran. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1121254. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1121254/full>
- Li, Y., Huang, Y., Fan, J., Zhang, H., Li, Y., Wang, X., & Deng, Q. (2023). Meteorological and Hydrological Drought Risks under Future Climate and Land-Use-Change Scenarios in the Yellow River Basin. *Atmosphere*, 14(11), 1599. <https://doi.org/10.3390/atmos14111599>
- Malekan, A., Dadvarkhani, F., & darban astane, A. (2021). Drought management in rural areas with emphasis on the resilience approach, studied in Kangavar city. *Human Geography Research*, 53(2), 717-732. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jhgr.2021.310008.1008169>
- Mao, Y.; Nijssen, B.; Lettenmaier, D.P. Is climate change implicated in the 2013–2014 California drought? A hydrologic perspective. *Geophys. Res. Lett.* 2015, 42, 2805–2813. <https://doi.org/10.1002/2015GL063456>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Mogholi, M. (2024). Evaluation and Modeling of Land Use Changes of Firozabad Using Multitemporal Satellite Imagery. *Human Geography Research*, 56(2), 191-212. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jhgr.2023.346292.1008526>
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M., & Zabihi, M. (2015). Analysis of meteorological drought using the Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140. [In Persian]
- Nunes, L. J. (2022). Analysis of the temporal (GRACE). *Hydrol Earth Syst Sci.* 24(1):227–248.
- He, S., Chen, K., Liu, Z., & Deng, L. (2023). Exploring the impacts of climate change and human activities on future runoff variations at the seasonal scale. *Journal of Hydrology*, 619, 129382. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129382>
- Hedayat, H., & Kaboli, H. S. (2024). Drought risk assessment: The importance of vulnerability factors interdependencies in regional drought risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 100, 104152. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104152>
- IPCC. 2007. Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland: 104.
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Integrative Agriculture*, 17, 1-15 [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- Khorrami, B., & Gündüz, O. (2022). Detection and analysis of drought over Turkey with remote sensing and model-based drought indices. *Geocarto International.*, 37(26), 12171-12193. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2066197>
- Mani, Z. A., Khorram-Manesh, A., & Goniewicz, K. (2024). Global health emergencies of extreme drought events: Historical impacts and future preparedness. *Atmosphere*, 15(9), 1137. <https://doi.org/10.3390/atmos15091137>
- Khoshnodifar, Z., Karimi, H., & Ataei, P.

(Case Study: Kurdistan Province). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*. [In Persian]

Wossen, T., Abdoulaye, T., Alene, A., Feleke, S., Menkir, A., & Manyong, V. (2017). Measuring the impacts of adaptation strategies to drought stress: The case of drought-tolerant maize varieties. *Journal of Environmental Management*, 203, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.058>

Zhoolideh, M., Motee, N., & Asadi, A. (2024). Monitoring and Predicting Land Use Changes in Kurdistan Province by GIS and CA-Markov Model. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(2), 379-395. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.335433.669110>.

evolution of climate variables such as air temperature and precipitation at a local level impacts the definition of strategies for adaptation to climate change. *Climate*, 10(10), 154. <https://doi.org/10.3390/cli10100154>

Park, H., Kim, K., & Lee, D. K. (2019). Prediction of severe drought area based on random forest: Using satellite image and topography data. *Water*, 11(4), 705. <https://doi.org/10.3390/w11040705>

Savari, M., & Shokati Amghani, M. (2023). Effects of small-scale farmers' adaptation behaviors in drought conditions on household food security level in West Azerbaijan province. *Journal of Geography and Planning*, 27(86), 71-92. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gp.2023.14973>

Singh, P., Kannaujiya, A. K., Deep, A., Singh, S., Mohanty, T., & Prakash, K. (2023). Spatio-temporal drought susceptibility assessment of Ken River Basin, Central India, and its evaluation through river's morphometry. *Geological Journal*, 58(2), 755-779. <https://doi.org/10.1002/gj.4622>

Sivakumar, V. L., Krishnappa, R. R., & Nallanathel, M. (2021). Drought vulnerability assessment and mapping using Multi-Criteria decision making (MCDM) and application of Analytic Hierarchy Process (AHP) for Namakkal District, Tamil Nadu, India. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1592-1599. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.657>

Song, Y., & Park, M. (2020). Assessment of quantitative standards for mega-drought using data on drought damages. *Sustainability*, 12(9), 3598. <https://doi.org/10.3390/su12093598>

Soureh, E., & Safarpour, F. (2025). Assessing the Performance of Vegetation Indices in Drought Analysis Using Remote Sensing Techniques



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

Samar Behrouzinia¹, Samira Vahedi², Nader Abbasi³, Farshid Taran^{*4}

1. Researcher, Zanzan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanzan, Iran.
2. Researcher, Zanzan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanzan, Iran.
3. Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4. 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

Keywords:

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

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. Zanzan 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, Zanzan province, by analyzing key meteorological parameters and applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) methodology.

Received:

12 Jan 2025

Revised:

3 Feb 2025

Accepted:

3 Feb 2025

Materials and Methods

This study utilizes a 21-year meteorological dataset (2001-2021) obtained from Zanzan

How to cite this article:

Behrouzinia, S., Vahedi, S., Abbasi, N. & Taran, F. (2025). Feasibility Study for the Development of Greenhouse Complexes from a Climatic Perspective. *Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)*, 3(9), 95-114. [10.22077/jdcr.2025.8737.1105](https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.8737.1105)



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.



امکان سنجی توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای از منظر اقلیمی

ثمر بهروزی نیا^۱، سمیرا واحدی^۲، نادر عباسی^۳، فرشید تاران^{۴*}

- ۱- محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، ایران.
 - ۲- محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، ایران.
 - ۳- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
 - ۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- *نویسنده مسئول: s_behrouzinia@yahoo.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

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.

پارامترهای هواشناسی، تحلیل سلسله مراتبی، تولیدات کشاورزی، کشت گلخانه‌ای

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۱۵

مقدمه

ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی و محدودیت منابع آبی از جمله کشورهای 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 به عنوان یک راهکار مناسب مطرح شود. در سال‌های اخیر، با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، کشت محصولات گلخانه‌ای به عنوان یک راه حل کارآمد برای تولید محصولات خارج از فصل و بهبود کیفیت تولیدات کشاورزی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. کشت گلخانه‌ای، به دلیل 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 به شدت ضروری است.

با این حال، احداث گلخانه‌ها با چالش‌های متعددی روبه‌رو است و به دلیل 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. رضانی 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 به ترتیب 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؛ به دلیل 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. به طوری که به ازای 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 سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی گلخانه بود. زارعی

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.

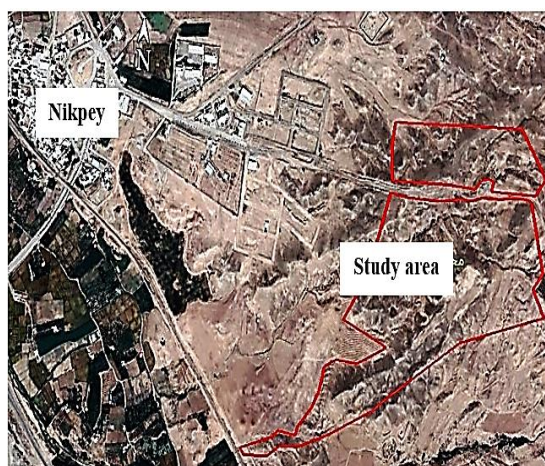
مواد و روش‌ها

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.

(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، امکان‌سنجی احداث شهرک گلخانه‌ای ۳۴ هکتاری در شهر نیک‌پی استان زنجان از منظر شرایط اقلیمی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، شاخص‌های



شکل ۱. الف- موقعیت شهر نیک‌پی در استان زنجان، ب- موقعیت محدوده گلخانه‌ای نیک‌پی

Fig 1. a). The Location of Nikpey City in Zanjan Province, b). The Location of The Nikpey Greenhouse Area

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

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.

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 (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 (Thorntwait, 1984) استفاده شد. جدول ۲، طبقه‌بندی دوره‌های ترسالی، نرمال و خشک‌سالی را در ۹ کلاس و بر اساس مقادیر SPEI نشان می‌دهد.

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 $T_{mean i} = (T_{max i} + T_{min i}) / 2$ تعریف می‌شود،

$T_{max i}$ و $T_{min i}$ به ترتیب میانگین کمینه و بیشینه دمای روزانه هستند،

T_{bh} و T_{bc} 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

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

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

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \quad (4)$$

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

این مطالعه، روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی دو مارتن، آمبرژه 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 آمبرژه 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 دومارتن: 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):

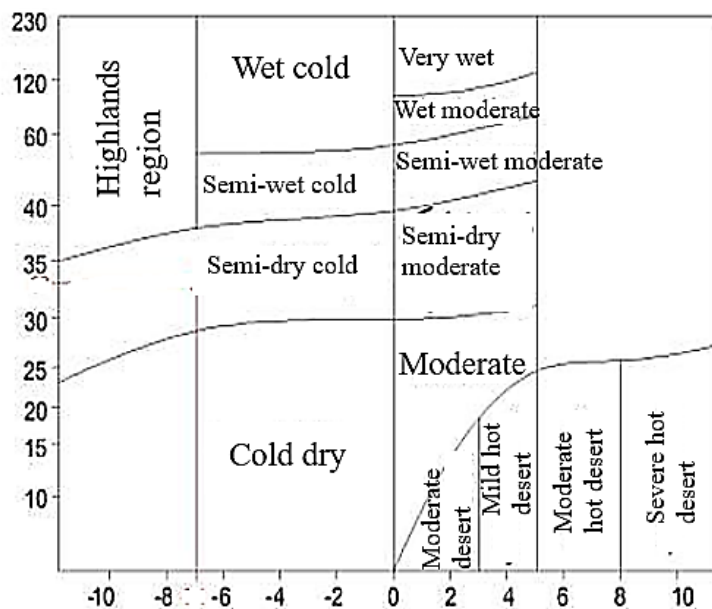
$$I = \frac{P}{t + 10} \quad (3)$$

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

جدول ۳. طبقه‌بندی دومارتن

Table 3. The De Martonne Climate Classification

شاخص دومارتن De Martonne index	اقلیم Climate
$I < 10$	خشک Arid
$10 \leq I < 20$	نیمه‌خشک Semi-arid
$20 \leq I < 24$	مدیترانه‌ای Mediterranean
$24 \leq I < 28$	نیمه‌مرطوب Semi-humid
$28 \leq I < 35$	مرطوب Humid
$35 \leq I$	بسیار مرطوب Very humid



شکل ۲. نمودار اقلیمی آمبرژه (Citaristi, 2022)

Fig 2. Emberger Climatic Diagram (Citaristi, 2022)

روش تحلیل نتایج (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

روش تحلیل نتایج

در این پژوهش، از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) به‌منظور بررسی تناسب پارامترهای اقلیمی برای احداث گلخانه در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، 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

² Consistency Ratio (CR)¹ Analytical Hierarchy Process (AHP)

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.

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

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	۷-۵	۵-۳	<۳	ماه	تعداد ماه‌های نیازمند گرمایش Number of months requiring heating
>۵	۵-۳	۳-۲	<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	۴۰-۳۵	۳۵-۳۰	<۳۰	درجه سلسیوس	میانگین حداکثر سالیانه Annual average maximum temperature
>۲۱	۲۱-۱۶	۱۵-۶	<۶	متر بر ثانیه	سرعت سریع‌ترین باد سالانه Fastest annual wind speed
>۷	۷-۵	۵-۳	<۲	متر بر ثانیه	سرعت باد غالب سالیانه Annual prevailing wind speed
>۹۰	۹۰-۵۰	۵۰-۳۰	<۳۰	روز	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days

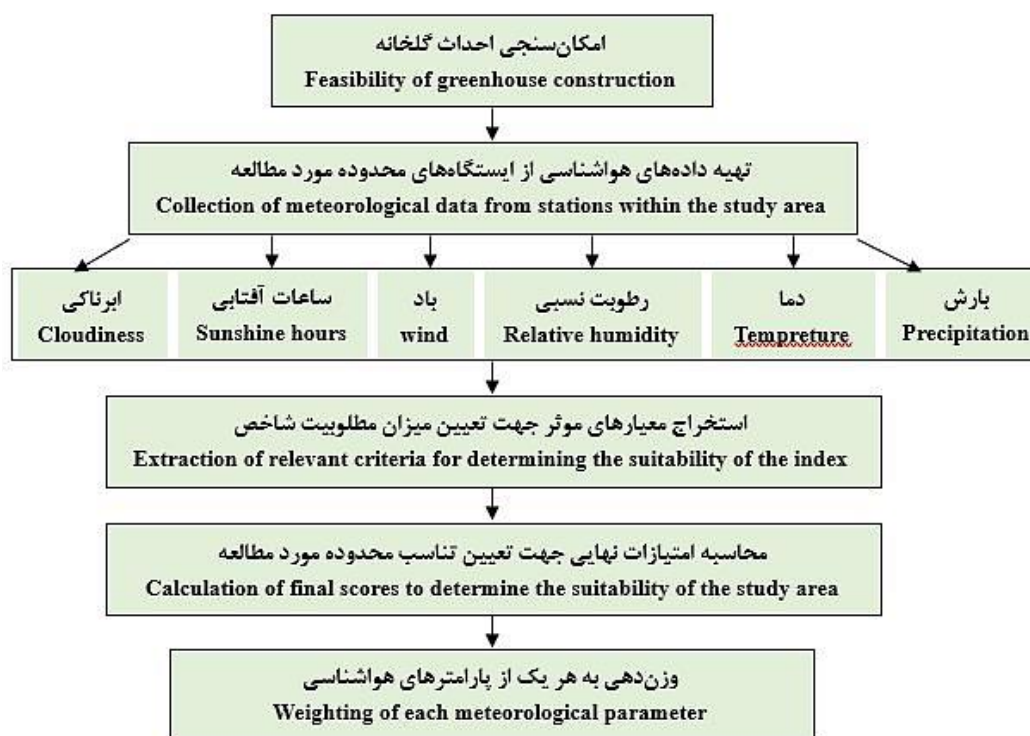
در سال‌های آبی ۱۳۸۵-۸۶ تا ۱۳۹۲-۹۳ و روند افزایشی آن در سال‌های آبی ۱۳۹۲-۹۳ تا ۱۳۹۷-۹۸ است. این چرخه‌های سینوسی چندساله بارش به‌ویژه در منطقه شمال غرب ایران توسط محققانی مانند عساکره و رزمی (Asakereh and Razmi, 2012) گزارش شده است، که آن را می‌توان به عواملی مانند تغییرات الگوی بزرگ‌مقیاس گردش عمومی جو و جریانات مداری نسبت داد.

بررسی تغییرات زمانی شاخص خشکسالی SPEI منطبق بر جدول ۵، حاکی از تغییرپذیری شاخص مذکور در سال‌های مورد بررسی است؛ به‌نحوی که به‌صورت 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.

مراحل انجام امکان‌سنجی احداث گلخانه از منظر اقلیمی در منطقه نیک‌پی در قالب یک فلوچارت در شکل ۳ ارائه شده است. این فلوچارت 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.

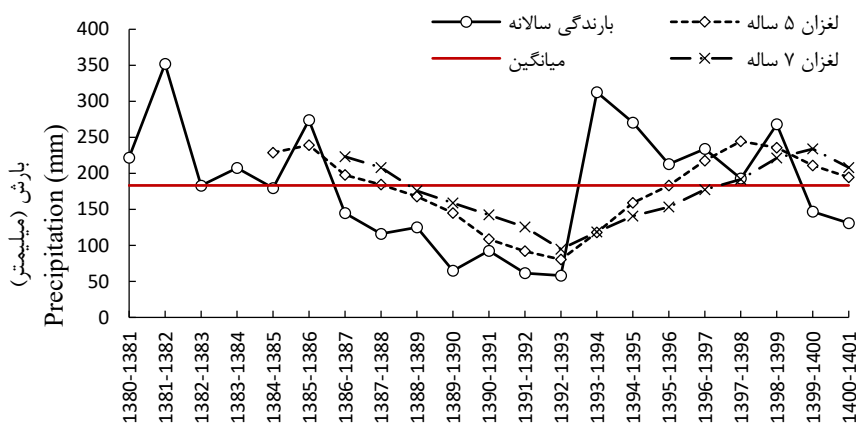
نتایج و بحث

بارش در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری منتخب (سال‌های ۱۳۸۰-۸۱ تا ۱۴۰۱-۰۱) 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



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

Fig. 3. The Flowchart of Feasibility Assessment Stages in The Establishment of A Greenhouse From The Climatic Perspective in The Nikpey Region



شکل ۴. میانگین‌های لغزان بارش در ایستگاه نیک‌پی

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

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. 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 ۸/۷۹ و ۴/۸۹ درجه / روز است. نیاز

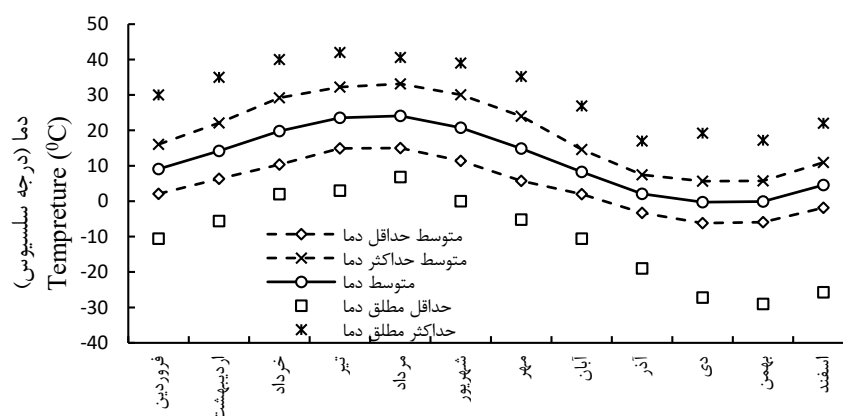
دما

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 ۳/۴ و ۳/۱۹ درجه سلسیوس است.

جدول ۵. طبقه‌بندی بارش محاسبه شده بر اساس SPEI

Table 5. The classification of precipitation calculated from SPEI

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



شکل ۵. رژیم دمایی در ایستگاه نیک‌پی

Fig 5. The temperature regime at the Nikpey station

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 به موجب 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).

به سرمایش سالانه در نیک‌پی برابر با $245/1$ درجه / روز می‌باشد. از سوی دیگر، بیشترین نیاز به گرمایش در ماه‌های دی و بهمن با مقادیر به ترتیب 566 و $561/4$ درجه / روز است. همچنین نیاز به گرمایش سالانه در ایستگاه هدف برابر با $2883/3$ درجه / روز می‌باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در محدوده مطالعاتی نیک‌پی، نیاز به گرمایش بیشتر از نیاز به سرمایش است. این موضوع

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	۰	۱/۳	۲۹/۲	۸۹/۴	۷۹/۸	۳۹/۷	۴/۹	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۲۴۵/۱
Cooling													
گرمایش	۲۷۵/۶	۱۲۵/۴	۲۱	۳	۰/۵	۹/۴	۱۱۳/۱	۳۰۰/۹	۴۹۴/۷	۵۶۶	۵۶۱/۴	۴۱۷/۴	۲۸۸۳/۳
Heating													

رطوبت نسبی

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، به دلیل کاهش سطح تماس گلخانه‌ها با هوای اطراف، رطوبت نسبی در مقایسه با گلخانه‌های هم‌سطح با زمین بیشتر است (Goodarzi et al., 2023).

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

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

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

باد

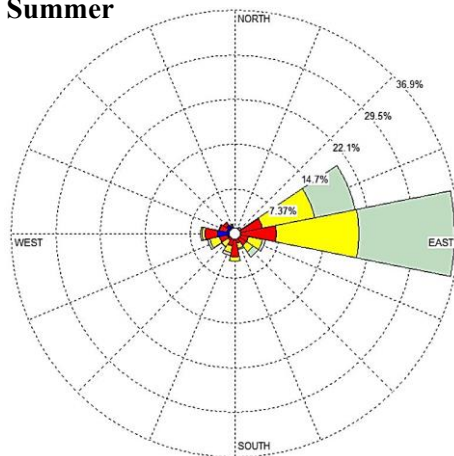
فصل پاییز مربوط به جهت بین شمال و شمال شرقی است. در تابستان، بادهای شرقی غالب است. جهت بین شرق و شمال شرق نیز باد درجه دوم را تشکیل می‌دهد. بادهای شدید نیز بادهایی هستند که در جهت شرقی می‌وزند. بادهای شمال غربی، کم‌تعدادترین بادهای را تشکیل می‌دهند. پس از آنها، بادهای غربی، جنوبی و جنوب غربی نیز جزو کم‌تعدادترین بادهای هستند. باد غالب پاییز از جهت شرق است و باد شمال شرقی نیز باد درجه دوم به حساب می‌آید. شدیدترین بادهای هم مربوط به جهت شرق و سپس جهت شمال شرقی ایستگاه است. در زمستان، بادهای جنوبی حاکم است. باد درجه دوم

ارزایی 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 بادهای برای

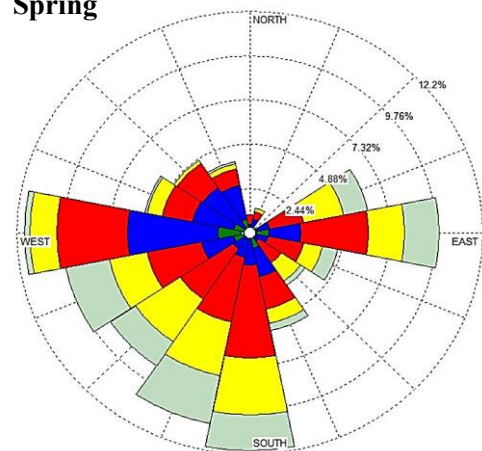
شمال و شمال شرقی است و پس از آن در جهت بین شمال شرقی و شرق است.

هم، جهتی بین جنوب شرقی و شرق دارد. سریع‌ترین بادهای کم‌تعدادترین بادهای زمستانه در جهت بین

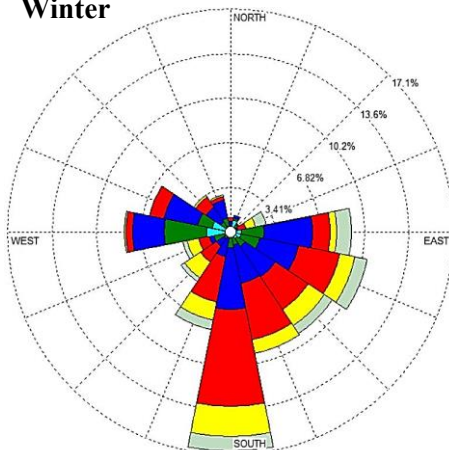
Summer



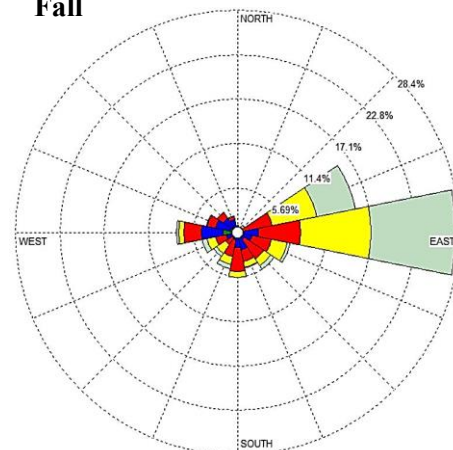
Spring



Winter



Fall



WIND SPEED
(Knots)

- >= 21.58
- 17.11 - 21.58
- 11.08 - 17.11
- 7.00 - 11.08
- 4.08 - 7.00
- 0.97 - 4.08
- Calms: 0.10%

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

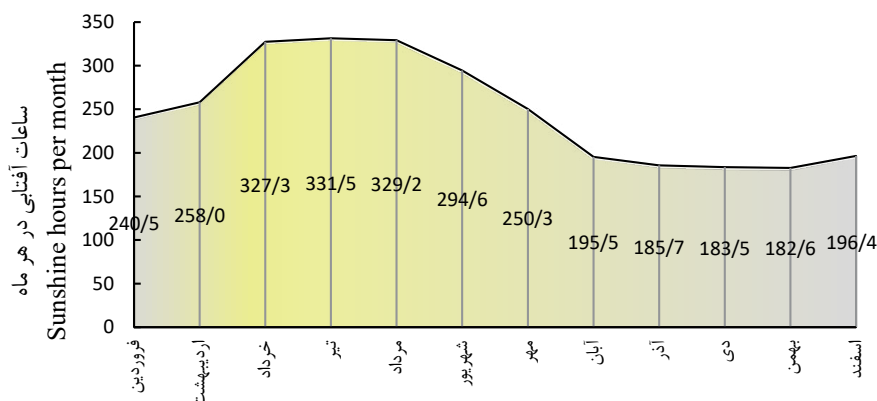
(et al., 2016). بنابراین، ساعات آفتابی منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر حدود ۳۲ درصد کمتر از متوسط کشوری است که، همان‌طور که ذکر شد، باعث نیاز به گرمایش بیشتر در منطقه در مقایسه با نیاز به سرمایش می‌شود.

ابرناسی

ابرناسی پارامتری است که برحسب اکتا بیان می‌شود. میزان ابرناسی 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 ابرناسی مربوط به آبان تا اسفند است (شکل ۸).

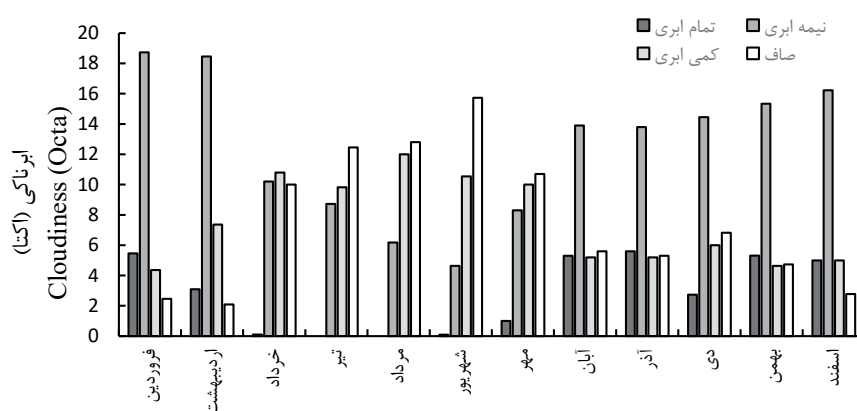
ساعات آفتابی

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



شکل ۷. میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه نیک‌پی

Fig 7. The Monthly Average Sunshine Hours at The Nikpey Station



شکل ۸. مؤلفه‌های ابرناکی در محدوده هدف

Fig 8. The Cloudiness Components in The Target Area

اساس، ماه‌های خرداد تا مهر (۵ ماه) جزو دوره خشک و سایر ماه‌ها (۷ ماه) جزو دوره مرطوب هستند (شکل ۹).

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.

اقلیم

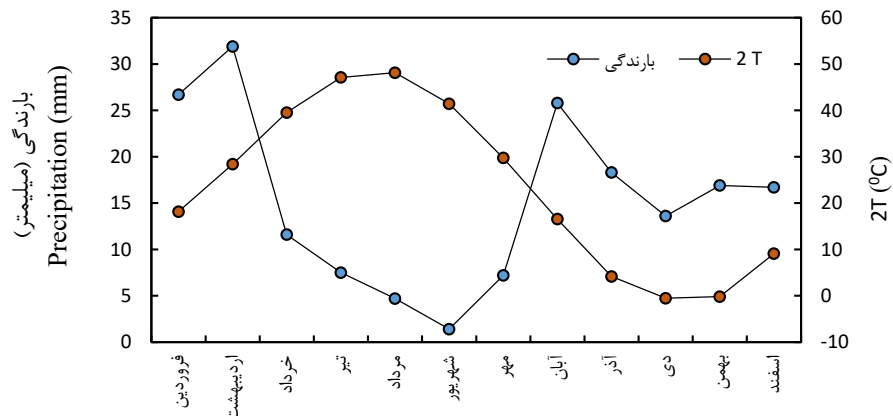
بر مبنای روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی مورد استفاده در این مطالعه (جدول ۸)، اقلیم منطقه از نظر شاخص دومارتن در گروه خشک و از نظر شاخص آمبرژه، در گروه خشک سرد قرار می‌گیرد.

براساس 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

جدول ۸. نتایج طبقه‌بندی دومارتن و روش اقلیم‌نمای آمبرژه

Table 8. The Results of The De Martonne Climate Classification and Emberger Climate Method

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



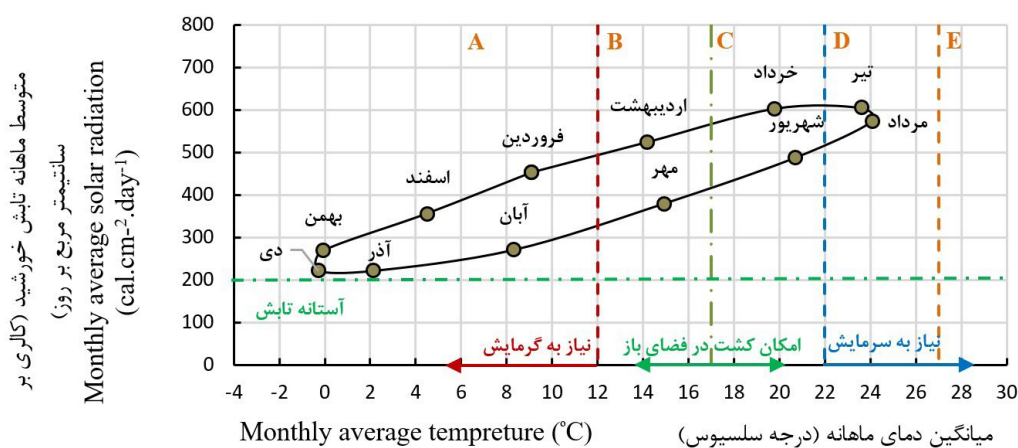
شکل ۹. منحنی آمبروترمیک ایستگاه نیک‌پی

Fig 9. The Ombrothermic Curve of the Nikpey Station

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 (اردیبهشت، خرداد، شهریور و مهر) نیز تنها نیازمند تهویه طبیعی هستند. بدیهی است سرمایش 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.

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 سانتی‌متر 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

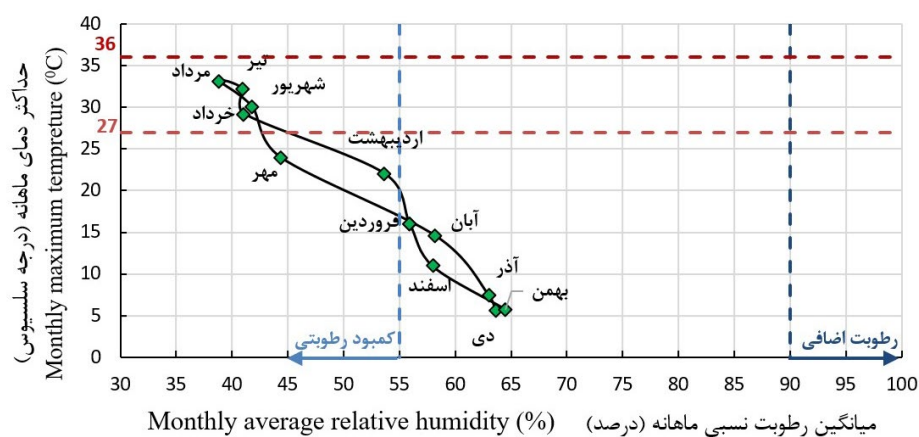


شکل ۱۰. بررسی اقلیمی نیک‌پی برای کشت محصولات گلخانه‌ای (تشعشع - دما)

Fig 10. The Climatic Assessment of Nikpey For Greenhouse Crop Cultivation (Radiation-Temperature)

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.

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



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)

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).

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

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

Table 9. 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 سالانه Annual absolute minimum temperature
۰/۳۷۲				۴	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 سالانه Annual prevailing wind speed
۰/۳۴۶	۱			۰/۳۴۶	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days
۱/۹۲۹	۳	۲	۶	۴	جمع

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, 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

نتیجه‌گیری

کشت گلخانه‌ای به دلیل امکان کنترل مطلوب شرایط محیطی، به عنوان 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 بادهای 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

- <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].
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical 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., Sheikh Davoodi, 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.

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].



Urban Heat Island Mitigation Strategies: Solutions and Challenges in Improving the Urban Environment

Hossein Mansourian ^{*1}, Raziye Askarzadeh Torghabeh ²

1. Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. PhD Student in Spatial Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: h.mansourian59@ut.ac.ir

Keywords:

Urban heat island, climate, cities, urban planning, strategies

Extended Abstract

Introduction:

The phenomenon of the Urban Heat Island (UHI) exerts significant influences on urban climate and the environment, particularly during summer periods, causing elevated temperatures in urban areas compared to their surroundings. This phenomenon can lead to public health concerns, increased energy consumption, and air pollution. This research investigates strategies to mitigate these effects using a bibliometric approach.

Materials and Methods:

For data analysis, VOSviewer software, an advanced analytical tool in the field of bibliometrics, was employed. Data were extracted from scientific articles published between 2000 and 2024, and subsequent analysis identified distinct clusters related to urban heat island mitigation strategies.

Results and Discussion:

Findings indicate that a variety of strategies exist to reduce the Urban Heat Island effect. These encompass the utilization of vegetation cover, reflective materials, and innovative technologies such as green roofs and cool pavements. Furthermore, optimizing urban design and implementing policies related to stormwater management are also considered effective approaches for mitigating this phenomenon. The results of

Received:

23 Mar 2024

Revised:

4 Jun 2024

Accepted:

4 Jun 2024

How to cite this article:

Mansourian, H. & Askarzadeh Torghabeh, R. (2025). Urban Heat Island Mitigation Strategies: Solutions and Challenges in Improving the Urban Environment. *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 3(9), 115-134. [10.22077/jdcr.2024.7450.1064](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7450.1064)



the bibliometric analyses reveal that extensive research is underway within four main clusters: green infrastructure, reflective materials, climate modeling, and urban policy. These investigations not only emphasize the improvement of air quality and reduction of energy consumption, but also address mitigating the negative impacts of UHI on urban health and well-being. Successful implementation of these strategies necessitates coordination among policymakers, experts, and citizens to contribute to the enhancement of the urban environment. This research is particularly relevant for countries facing severe Urban Heat Island challenges, as it can offer effective mitigation strategies.

Conclusion

The bibliometric analysis revealed that urban heat island mitigation strategies are concentrated around four main thematic clusters: green infrastructure, reflective materials, spatial-climatic modeling, and urban policy. Among these, vegetation coverage, cool roofs, reflective pavements, and climate-responsive urban planning emerged as the most prominent approaches. The findings also highlight the growing research interest in emerging technologies and integrated strategies. Coordinated efforts between researchers, policymakers, and urban planners are essential for the effective implementation of these solutions, especially in regions experiencing intense urban heat effects.



استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری: راهکارها و چالش‌ها در بهبود محیط زیست شهری

حسین منصوریان^{۱*}، راضیه عسکرزاده^۲

۱. گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: h.mansourian59@ut.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

جزیره گرمایی شهری، محیط زیست شهری، برنامه‌ریزی شهری، VOSviewer

اگرچه پدیده جزیره گرمایی شهری بیش از یک قرن پیش ثبت شده است، اما تأثیر آن بر اقلیم و محیط شهری، به‌ویژه در طول تابستان، تنها در سه دهه گذشته مورد توجه جدی محققان قرار گرفته است. شهرها به دلیل فعالیت‌هایی مانند گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، حمل‌ونقل شهری، فعالیت‌های تجاری و صنعتی، نسبت به مناطق روستایی انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. این سطح بالای مصرف انرژی، تحت تأثیر جزیره گرمایی شهری قرار دارد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی راهبردهای کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری است. در این راستا، پژوهش حاضر یک مطالعه مروری کتاب‌سنجی در نرم‌افزار VOSviewer از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است تا شکاف‌های پژوهشی و پیشرفت‌های علمی در این زمینه را شناسایی کند. راهکارهای مختلفی برای کاهش اثرات این پدیده پیشنهاد شده است که شامل استفاده از پوشش گیاهی، بام‌های سبز و توسعه فضاهای سبز شهری، بهبود زیرساخت‌های شهری مانند روسازی‌های خنک و سیاست‌های مدیریت رواناب، توسعه سیاست‌ها و مقررات مرتبط با مصالح ساختمانی بازتابنده، و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای کاهش اثرات گرمایش جهانی می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که موضوعات مربوط به جزایر گرمایی شهری را می‌توان در چهار خوشه اصلی طبقه‌بندی کرد. خوشه نخست به زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده، و تحلیل‌های اقلیمی و فضایی جزیره گرمایی شهری می‌پردازد. خوشه دوم بر فناوری‌های ساختمانی، بهینه‌سازی انرژی، و مدل‌سازی ریز اقلیم تمرکز دارد. خوشه سوم بر تحلیل‌های فضایی، داده‌های اقلیمی، و تأثیرات رشد شهری بر جزیره گرمایی شهری تأکید دارد. خوشه چهارم دربرگیرنده سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی شهری، و مدیریت جزیره گرمایی شهری است. این دسته‌بندی می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری در توسعه راهبردهای مؤثر و پایدار برای کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری کمک کند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۰۴

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۳/۱۵

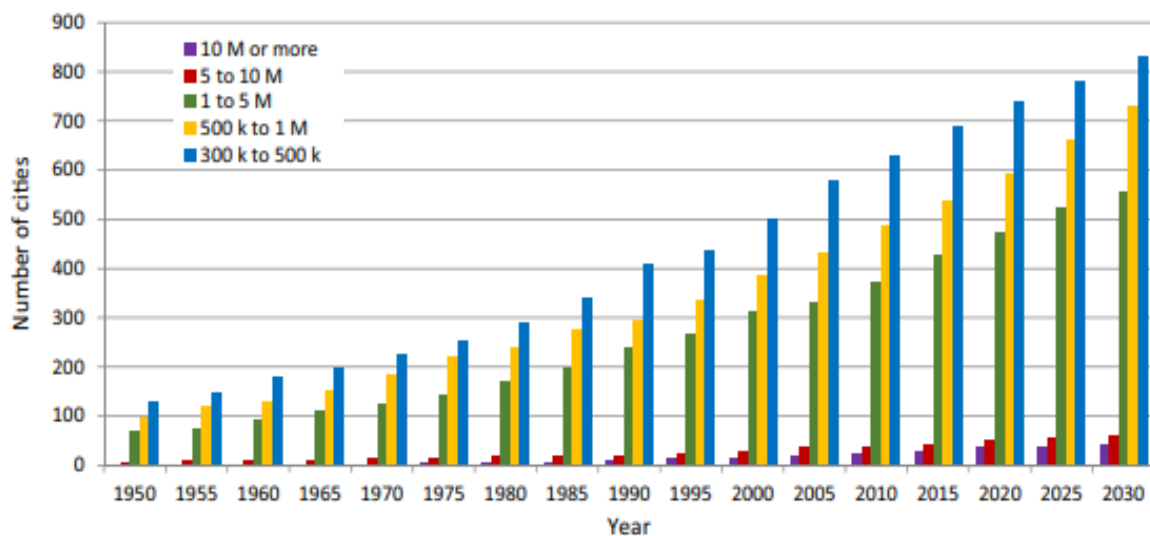
تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۳/۱۵

مقدمه

جذابیت شهرها و تنوع فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی موجود در آن، محرک‌های اصلی افزایش پیوسته نرخ رشد مناطق شهری در قرن‌های اخیر بوده است. پیش‌بینی‌های کنونی نشان می‌دهد که شهرنشینی ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به ۶۶ درصد افزایش یابد (Leal Filho et al., 2017). در شکل شماره ۱، در سال‌های اخیر افزایش شدیدی در جمعیت جهان مشاهده شده است؛ کلان‌شهرهای جدید

متولد می‌شوند و کلان‌شهرهای موجود پرجمعیت‌تر می‌شوند (Mirzaei, 2015). شهرها با اشغال تنها ۳ درصد از مساحت سطح زمین، ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل مصرف انرژی و ۷۵ درصد از انتشار کربن را تشکیل می‌دهند. علاوه بر تأثیر مستقیم و قابل توجه شهرها بر تغییرات آب و هوای جهانی، به دلیل انتشار گاز CO₂، اثرات غیر مستقیم دیگری نیز به دلیل مصرف ناپایدار، آلودگی و تولید زباله وجود دارد (Leal Filho et al., 2017).



شکل ۱. نرخ رشد در تعداد شهرهای با جمعیت‌های مختلف در طول سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۳۰ (Mirzaei, 2015).

Fig 1. Rate of growth in the number of cities with different population sizes from 1950 to 2030

از جمله آسیب‌های سیستم تنظیم کننده حرارت ناشی از استرس گرمایی که به شکل استرس قلبی و عروقی، خستگی حرارتی، سکته قلبی و بیماری‌های قلبی تنفسی ظاهر می‌شود. امواج گرمای شدید، اغلب همراه با جزیره گرمایی شهری شدید، می‌تواند تقاضا برای تهویه مطبوع در ساختمان‌ها را افزایش دهد، به‌ویژه در میان افرادی که به گرما حساس‌تر هستند (یعنی سالمندان و کودکان). بنابراین، افزایش مصرف انرژی در نتیجه استفاده بیش از حد از سیستم‌های تهویه مطبوع مکانیکی، یک نگرانی عمده است. تغییر اقلیم‌های خرد و کلان محلی (مانند الگوهای باد، تغییرات رطوبت، طوفان، سیل، و تغییر در اکوسیستم‌های محلی) را نیز در برمی‌گیرد (Aflaki et al., 2017). جزیره گرمایی شهری مصرف انرژی خنک کننده و اوج تقاضای برق را در طول دوره تابستان افزایش می‌دهد، غلظت آلاینده‌های مضر مانند ازن تروپوسفر و VOC ها را افزایش می‌دهد، انتشار CO₂ را به اتمسفر

جزیره گرمایی شهری، پدیده‌ای است که ارتباط تنگاتنگی با توسعه شهرها و گسترش شهری دارد (Aflaki et al., 2017). در اکثر شهرهای بزرگ، درجه حرارت در قلب یا مرکز شهر بالاتر از محیط اطراف یا حومه شهر است. این پدیده، اثر جزیره گرمایی شهری نامیده می‌شود. شهرها دمای بیشتری را در مرکز خود نسبت به مناطق روستایی اطراف نشان می‌دهند؛ هنگامی که حجم عظیمی از زمین طبیعی با سطح ساخته شده مصنوعی جایگزین می‌شود که تابش خورشیدی را جذب می‌کند و در شب دوباره آن را تابش می‌کند. عوامل متعددی از جمله انتشار گرمای انسانی، پوشش سطح، شرایط آب و هوایی، آلاینده‌های هوا و غیره مسئول شناخته می‌شوند (Nuruzzaman, 2015). درجه حرارت بالا باعث بیماری‌های مرتبط با گرما و مرگ و میرهای زودرس در شهرها می‌شود (Mirzaei, 2015). افزایش شدت جزیره گرمایی شهری می‌تواند به طرق مختلف بر رفاه شهروندان تأثیر منفی بگذارد،

جزیره گرمایی شهری است. می‌توان استراتژی‌هایی را برای کاهش اثرات جزیره گرمایی در مراحل طراحی و برنامه‌ریزی شهری اعمال کرد (Gago et al., 2013: 756). در عصر تأثیرات ویرانگر تغییرات آب و هوایی، بسیاری از شهرهای جهان تلاش‌های جدی برای یافتن راهبردهای سازگاری مناسب و پایدار برای مقابله با خطرات اقلیمی انجام می‌دهند (Abdulateef & Al-Alwan, 2022). اثربخشی استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری تا حد زیادی به شرایط محیطی از جمله اقلیم محلی، جغرافیا و توپولوژی سطح بستگی دارد. قابل توجه است که بسیاری از استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری وابسته به مقیاس هستند (Aflaki et al., 2017). توجه به راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری، مانند افزایش پوشش گیاهی و استفاده از مصالح بازتابنده، می‌تواند با کاهش دمای محیط، بهبود کیفیت هوا و کاهش مصرف انرژی، اثرات گرمایی و خطرات بهداشتی را کاهش دهد (Solecki et al., 2005). مسئله کاهش اثر جزیره گرمایی شهری با توجه به افزایش شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، به‌طور فزاینده‌ای ضروری شده است.

محققان به بررسی راهکارهای گوناگونی برای کاهش اثر جزیره حرارتی شهری پرداخته‌اند که شامل بهینه‌سازی طراحی شهری، استفاده از مصالح با قابلیت بازتابش بالا، و گسترش فضای سبز شهری می‌شود. تیم برنامه اقلیم و سلامت نیویورک از مدل‌سازی رشد شهری مبتنی بر سلول‌های شبکه‌ای (SLEUTH) برای ارزیابی تأثیرات جزیره گرمایی شهری بر تغییرات محیط زیستی و آب‌وهوایی جهانی استفاده کرده است. پژوهش‌های نوین در این حوزه عمدتاً بر بررسی تعاملات دمایی میان مناطق مرکزی و حومه‌ای شهرها در فرآیند گسترش شهری متمرکز شده‌اند. پیشرفت فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، از جمله استفاده از اتوماتای فرا سلولی و شبکه‌های عصبی، موجب افزایش دقت تحلیل‌ها در مطالعات مرتبط با جزیره گرمایی شهری شده است. یافته‌ها حاکی از آن هستند که تغییرات کاربری اراضی و میزان پوشش گیاهی تأثیر مستقیمی بر شدت این پدیده دارند و از عوامل کلیدی در شکل‌گیری آن محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر، بررسی هم‌بستگی بین پوشش زمین و دمای سطح شهری با لحاظ پارامترهای

بیشتر می‌کند، آسایش حرارتی داخلی و خارجی را در طول دوره‌های گرم‌تر می‌کند و بر شرایط سلامتی تأثیر می‌گذارد و مرگ و میر را افزایش می‌دهد (Picari & Dervishi, 2019). در مقیاس جهانی، شواهد تغییرات آب و هوایی در حال حاضر بسیار آشکار است. در طول قرن بیستم، جهان شاهد افزایش متوسط دما به میزان ۰٫۷۴ درجه سانتیگراد، کاهش ۴۰ درصدی پوشش یخ و افزایش ۱۷ سانتی متری سطح طبیعی دریاها بود. تغییر اقلیم، نتیجه اجتناب‌ناپذیر افزایش گازهای گلخانه‌ای طولانی مدت در جو است. گازهای گلخانه‌ای تابش خورشیدی را که از زمین منعکس می‌شود به دام می‌اندازد و آن را به سمت سطح باز می‌گرداند. در نتیجه، تغییرات آب و هوایی به یکی از مبرم‌ترین مسائل جهانی زمان ما تبدیل شده است. بر این اساس، کنترل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به یک تقاضای مهم برای رسیدگی به این موضوع تبدیل شده است. در عین حال، بسیاری از شهرهای جهان از پدیده "جزیره گرمایی شهری" رنج می‌برند. به‌طور کلی، فرآیندهای شهرنشینی منجر به تغییر اقلیم در سطح شهرها و شکل‌گیری آن چیزی می‌شود که اقلیم شهری نامیده می‌شود (Abdulateef & Al-Alwan, 2022).

یکی از دلایل حیاتی برای تشکیل جزیره گرمایی شهری، حجم زیاد سطوح ساخته‌شده مانند بتن و آسفالت است که ظرفیت گرمایی بالایی دارد. مواد آلدوی پایین به‌دتر شدن این پدیده کمک می‌کند. یکی دیگر از دلایل تشدید اثر جزیره گرمایی شهری، برنامه‌ریزی نادرست شهرها است (Nuruzzaman, 2015). تعدادی از عوامل وجود دارد که به شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری کمک می‌کند از جمله مواد آلدوی کم، تجمع انسان‌ها، تخریب درختان، افزایش استفاده از تهویه‌کننده‌های هوا، سایبان شهری، انسداد باد و آلاینده‌های هوا (Nuruzzaman, 2015). این پدیده با عوامل مختلفی همراه است که از جمله آنها می‌توان به تغییرات رواناب، تغییرات در آلودگی و ذرات معلق در هوا و غیره اشاره کرد (Leal Filho et al., 2017). شهرها به دلیل فعالیت‌هایی مانند گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، حمل و نقل شهری، فعالیت‌های تجاری و صنعتی و غیره نسبت به مناطق روستایی انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. این سطح بالای مصرف تحت تأثیر اثر

"استراتژی‌های کاهش و سازگاری اقلیمی برای سقف‌ها و روسازی‌ها" با مدل ENVI-met، اثر پوشش‌های خنک و فضای سبز را در پردیس ساپینزا رم شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که پوشش‌های خنک و سقف‌های سبز دمای سطح را تا ۲.۵ درجه کاهش می‌دهند، اما تأثیر پیاده‌روهای نفوذپذیر در مناطق سایه‌دار بیشتر است. این پژوهش طراحی ترکیبی پایدار را پیشنهاد می‌کند.

شیونگ و هی (Xiong & He, 2022) در مقاله "چارچوب تحلیلی برای تجزیه و تحلیل هم‌افزایی‌ها، تضادها و موازنه‌های راهبردهای کاهش گرمای شهری" با رویکرد تحلیلی، چهار دسته استراتژی (زیرساخت‌های سبز، آبی، سفید / خاکستری و طراحی شهری) را ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که زیرساخت‌های سبز بیشترین مزایا را دارند، اما تضادهای مانند هزینه نگهداری آبی و اثر منفی مواد بازتابنده بر عابران وجود دارد.

گاگو و همکاران (Gago et al., 2013) در مقاله‌ای درباره استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری، با تحلیل برنامه‌ریزی شهری، اثر پارک‌ها و بهینه‌سازی طراحی را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که فضاهای سبز و طراحی بهینه تا ۳۰ درصد مصرف انرژی را کاهش می‌دهند و شرایط محیطی را بهبود می‌بخشند.

ایرفی و همکاران (Irfeey et al., 2023) در پژوهشی با عنوان استراتژی‌های کاهش پایدار برای اثرات جزیره گرمایی شهری در مناطق شهری به نتایجی رسیدند که موادی مانند سنگ فرش‌های بازتابنده خیابان‌ها، مواد پوشش‌دهنده شامل رنگ روشن، مواد تغییر فاز دهنده، مواد تغییر رنگ‌پذیر^۱، رنگ فلورسانس و وسایل کم مصرف به عنوان مواد پایدار در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که زیرساخت‌های سبز مانند بام‌های سبز، دیوارهای سبز، پارکینگ سبز و سنگ فرش‌ها و خیابان‌های سایه‌دار برای کاهش اثر جزیره گرمایی شهری در نظر گرفته می‌شوند. موانع پذیرش گسترده چنین شیوه‌هایی عبارتند از فقدان قوانین دولتی، توسعه فناوری ناکافی، برآورد اشتباه سود اقتصادی و عدم تمایل طرف‌های تحت تأثیر را شامل می‌شود.

اکبری و کولوکوتسا (Akbari & Kolokotsa, 2017) در مقاله "سه دهه تحقیقات جزایر گرمایی شهری" با

بیوفیزیکی متنوع، به درک عمیق‌تر از روند تغییرات اثر جزیره گرمایی شهری کمک کرده است (Liu et al., 2024). بیبلیومتریک به عنوان یک روش تحلیلی قدرتمند، امکان بررسی کمی و نظام‌مند رشد و توسعه حوزه‌های تحقیقاتی مختلف را فراهم می‌کند. این روش با بهره‌گیری از تکنیک‌های ریاضی و آماری، ویژگی‌های گوناگون آثار علمی نظیر مقالات، کتاب‌ها و ارائه‌های کنفرانسی را مورد تحلیل قرار می‌دهد. از طریق بررسی الگوهای توزیع و تغییرات این آثار، بیبلیومتریک نه تنها تصویری از وضعیت فعلی علوم و فناوری ارائه می‌دهد، بلکه قادر به پیش‌بینی روندها و موضوعات آینده نیز هست. امروزه، بیبلیومتریک به عنوان یکی از پرکاربردترین و قابل اعتمادترین ابزارهای تحلیلی در محیط‌های دانشگاهی و پژوهشی شناخته می‌شود (Hatami et al., 2022). تحلیل کتاب‌سنجی در ثبت حجم زیادی از ادبیات و ارائه توضیحات قابل اعتماد از تکامل حوزه‌های دانشگاهی از سایر روش‌های مروری (به عنوان مثال، مرور روایتی، مرور سیستماتیک و فرا تحلیل) عملکرد بهتری دارد. این نوع مرور، می‌تواند یک دوره طولانی، ابعاد فضایی گسترده و دامنه وسیعی از موضوعات را فراهم کند (He et al., 2023). کتاب‌سنجی یک روش مؤثر برای ارزیابی تولید علمی و روندهای تحقیقاتی در یک زمینه خاص است و به‌طور گسترده در بسیاری از رشته‌ها استفاده شده است. کتاب‌سنجی بر استناد و تحلیل محتوای تحقیق متمرکز است، که می‌تواند روندهای جهانی یا پیش‌بینی‌های آینده را برای یک حوزه تحقیقاتی خاص روشن کند (Huang & Lu, 2018).

سولکی و همکاران (Solecki et al., 2005) در مقاله "کاهش اثر جزیره حرارتی در مناطق شهری نیوجرسی" با استفاده از مدل‌سازی CITYgreen مبتنی بر GIS، تأثیر افزایش پوشش گیاهی و مواد بازتابنده را در نیوارک و کمدن بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی دما و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد و کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد، در حالی که سقف‌های بازتابنده اثر کمتری دارند. این مطالعه بر ضرورت سیاست‌گذاری برای افزایش فضای سبز در مناطق کم‌درآمد تأکید دارد.

باتیستی و همکاران (Battisti et al., 2018) در مقاله

^۱ Chromatic Materials

۸ و داده‌های میدانی در تبریز، اثر مصالح را تحلیل کردند. یافته‌ها نشان داد که مصالح بازتابنده و بام‌های سبز دما را کاهش می‌دهند و تهویه شهری را بهبود می‌بخشند.

توفیقی و همکاران در مقاله "شناخت پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری" با روش‌های پیمایشی و آزمایشات میدانی، روسازی‌های خنک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مصالح روشن و نفوذپذیر دما را تا ۱۳ درجه کاهش می‌دهند و مدیریت حرارتی را بهبود می‌بخشند.

سیلور در مطالعه‌ای با عنوان "کاهش اثر جزیره گرمایی شهری" با رویکرد تحلیلی، دو روش اصلی شامل افزایش آلودگی و تبخیر و تعرق را بررسی کرد. یافته‌ها نشان داد که این استراتژی‌ها می‌توانند دمای شهری را کاهش دهند و اثرات جزیره گرمایی شهری را تعدیل کنند. این پژوهش بر اهمیت انتخاب روش‌های مناسب کاهش گرما تأکید دارد (Nuruzzaman, 2015).

او و همکاران در مطالعه سیاست "شهرهای اسفنجی" (۲۰۱۹) با تحلیل چندبعدی، مزایای مشترک روسازی‌های خنک و زیرساخت سبز را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این رویکرد فنی، اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش داده و مدیریت رواناب را بهبود می‌بخشد (Degirmenci et al., 2021).

تحقیقات ارائه‌شده بر استراتژی‌های کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری تمرکز دارند و به‌طور کلی نشان‌دهنده تنوع روش‌ها و راهکارهای مورد استفاده در این حوزه هستند. این مطالعات از رویکردهای متنوعی از قبیل مدل‌سازی مانند CITYgreen و ENVI-met، تحلیل تجربی، بررسی کتاب‌سنجی، و مرور ادبیات استفاده کرده‌اند تا اثربخشی راهکارهایی نظیر افزایش پوشش گیاهی، استفاده از مصالح بازتابنده (با آلودگی بالا)، بام‌ها و روسازی‌های خنک، زیرساخت‌های سبز و آبی، و طراحی شهری بهینه را ارزیابی کنند. نتایج کلی این تحقیقات حاکی از آن است:

- پوشش گیاهی و زیرساخت‌های سبز: به‌طور مداوم به‌عنوان مؤثرترین راهکار شناخته شده‌اند. مطالعات سولکی، باتیستی، گاکو، لیل فیلهو، و دیگران نشان می‌دهند که کاشت درختان، بام‌های سبز، و فضاهای سبز، دما را کاهش می‌دهند (۲.۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد بسته به شرایط)، مصرف انرژی را بهبود

مروار ۳۰ سال پژوهش، سقف‌ها و روسازی‌های خنک و پوشش گیاهی را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که این راهکارها دما را کاهش داده و مصرف انرژی را بهبود می‌بخشند.

لیل فیلهو و همکاران (Leal Filho et al., 2017) در مقاله‌ای درباره استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری، با تحلیل چند مقیاسی، راهکارهایی در سطح ساختمان، شهر و منطقه پیشنهاد کردند. در مقیاس ساختمان، اقداماتی نظیر انتخاب مواد با بازتابش بالا برای سقف، استفاده از بام‌های سبز جهت کاهش جذب حرارت و کاهش انتشار حرارت انسانی از تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی پیشنهاد می‌شود. در مقیاس شهری، افزایش پوشش گیاهی در فضاهای عمومی، انتخاب مصالح روسازی با خاصیت بازتابش بالا، طراحی بهینه ساختار شهری برای بهبود جریان هوای طبیعی، افزایش دسترسی به فضاهای خنک‌کننده، توسعه زیرساخت‌های مدیریت رواناب برای کاهش اثرات گرمایی و کاهش تولید گرمای انسانی از فعالیت‌های شهری مورد توجه قرار می‌گیرد. در مقیاس منطقه‌ای، گسترش پوشش گیاهی در پیرامون شهرها، ایجاد و حفظ مسیرهای جریان باد، بهره‌گیری از قابلیت‌های اکولوژیکی بدنه‌های آبی برای تعدیل دما و در نظر گرفتن اصول کاربری زمین با تأکید بر کاهش اثرات جزیره حرارتی و بهبود آسایش اقلیمی، از جمله راهکارهای کلیدی محسوب می‌شوند.

پینهیرو و همکاران (Pinheiro et al., 2023) در مقاله "پیشرفت‌ها در مواد تغییر فاز در روسازی‌های آسفالت" با تحلیل کتاب‌سنجی و بررسی سیستماتیک، اثر PCM ها را ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که PEG2000 و PEG4000 گرما را کاهش می‌دهند، اما چالش‌هایی مانند نشت و حفظ خواص مکانیکی وجود دارد.

لیو و همکاران (Liu et al., 2024) در بررسی جامع تحقیقات جزیره گرمایی شهری با تحلیل کتاب‌سنجی ۸۲۶۰ مقاله و مدل‌سازی محاسباتی، تأثیر کاربری اراضی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی و مواد با آلودگی بالا شدت جزیره گرمایی شهری را کاهش می‌دهند و شکاف‌های دانش را شناسایی کردند.

عابدینی و همکاران در مقاله "کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح روسازی خنک" با تصاویر لندست

سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران حوزه مدیریت شهری در جهت توسعه و اجرای مؤثرتر راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری ترسیم نماید. باتوجه به اهمیت این موضوع برای اولین بار در کشور ایران انجام می‌شود.

با توجه به اهمیت روزافزون کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری در بهبود محیط زیست شهری، این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به سؤالات کلیدی زیر با استفاده از تحلیل بیلومتری و نرم‌افزار VOSviewer است: کدام نویسندگان در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری بیشترین تأثیر را از نظر تعداد مقالات و استنادها داشته‌اند؟ کدام کشورها در تولید دانش مرتبط با استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری پیشرو هستند و الگوهای جغرافیایی انتشارات چیست؟ روند زمانی انتشار مقالات کلیدی در این زمینه چگونه بوده و کدام دوره‌ها اوج تولید دانش را نشان می‌دهند؟ خوشه‌های موضوعی اصلی در این حوزه چیست و کدام زمینه‌ها در حال گسترش یا کم‌رنگ شدن هستند؟

مواد و روش‌ها

داده‌های موردنیاز برای تحلیل‌های بیلومتری را می‌توان از پایگاه‌های داده متنوعی نظیر Web of Science، Scopus، Google Scholar و ResearchGate استخراج کرد (Hatami et al., 2022). این مطالعه با رویکرد کتاب‌سنجی انجام شده و هدف آن شناسایی تمامی پژوهش‌های مرتبط با راهبردهای کاهش جزایر گرمایی شهری است. داده‌ها از پایگاه Scopus با فرمت CSV استخراج گردیده‌اند. تحلیل‌ها منجر به شناسایی چهار خوشه شد که هر خوشه نمایانگر مجموعه‌ای از کلیدواژه‌های مرتبط و نزدیک به هم است. در نهایت، این خوشه‌ها برای بررسی و تحلیل استراتژی‌های کاهش جزایر گرمایی شهری مورد ارزیابی قرار گرفتند. عبارت جستجو به صورت زیر تعریف شده است.

(TITLE-ABS-KEY ("Urban Heat Island" OR "UHI") AND TITLE-ABS-KEY ("Mitigation Strategies" OR "Cooling Techniques" OR "Urban Cooling Strategies"))

در ابتدا ۶۹۵ مقاله یافت شد، اما برای دستیابی به نتایج

می‌بخشند، و کیفیت هوا را از طریق کاهش آلاینده‌ها و جذب CO2 ارتقا می‌دهند.

- مصالح بازتابنده و آلبدو بالا: استفاده از سقف‌ها و روسازی‌های خنک مانند مواد با آلبدوی بالا یا PCM ها در مطالعات سیلور، پینه‌یرو، عابدینی، و توفیقی به کاهش دمای سطح و جذب گرما کمک کرده، اما اثرات آن‌ها معمولاً کمتر از پوشش گیاهی است و گاهی با چالش‌هایی مانند تأثیر محدود بر آسایش عابران یا نشت مواد همراه است.

- طراحی شهری و سیاست‌گذاری: تحقیقات یاماموتو، شیونگ و هی، و او و همکاران نشان می‌دهند که چیدمان بهینه ساختمان‌ها، مدیریت رواناب (مانند شهرهای اسفنجی)، و سیاست‌های سبزی‌سازی می‌توانند جریان هوا را بهبود بخشیده و اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش دهند، اما نیازمند هماهنگی چندبعدی و توجه به شرایط محلی هستند.

- مزایا و محدودیت‌ها: در حالی که این استراتژی‌ها به کاهش دما، مصرف انرژی، و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند، چالش‌هایی مانند هزینه‌های نگهداری (درختان و زیرساخت‌های آبی)، کمبود فضا در مناطق متراکم، و موانع اجرایی (قوانین ناکافی یا عدم پذیرش اجتماعی) نیز شناسایی شده‌اند (ایرفی، شیونگ و هی). به‌طور کلی، این تحقیقات توافق دارند که رویکردهای ترکیبی (مانند ترکیب پوشش گیاهی با مصالح بازتابنده) مؤثرتر از تک‌راهکارها هستند و اجرای موفق آن‌ها به عوامل محلی مانند اقلیم، جغرافیا، و بافت شهری بستگی دارد. همچنین، تأکید بر پایداری و تاب‌آوری شهری در برابر گرما و تغییرات اقلیمی در این مطالعات برجسته است. این پژوهش می‌تواند شکاف روش‌شناختی (عدم استفاده گسترده از تحلیل بیلومتری) و شکاف دانش (شناسایی روندها و شکاف‌های کلان) را پر کند.

مقاله حاضر، با هدف ارائه یک دیدگاه جامع و مبتنی بر شواهد از چشم‌انداز تحقیقاتی حوزه، به انجام یک تحلیل کتاب‌سنجی از ادبیات علمی موجود در این زمینه می‌پردازد. این تحلیل، با بررسی روند انتشار مقالات، شناسایی مجلات و نویسندگان کلیدی، تحلیل شبکه‌های همکاری و بررسی موضوعات و کلیدواژه‌های پرکاربرد، تلاش دارد تا نقشه راهی روشن برای محققان،

مورد تحلیل هستند و اندازه‌ی آنها نشان‌دهنده‌ی اهمیت یا فراوانی آن مؤلفه است. پیوندها نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین مؤلفه‌ها هستند و ضخامت آنها نشان‌دهنده‌ی شدت ارتباط است. رنگ‌های مختلف نیز برای تفکیک خوشه‌ها استفاده می‌شوند که نشان‌دهنده‌ی گروه‌های موضوعی یا ارتباطی هستند. نوار رنگی در پایین تصویر (از آبی تیره در ۲۰۱۷ تا زرد روشن در ۲۰۲۲) نشان‌دهنده تکامل زمانی موضوعات است. کلیدواژه‌هایی با رنگ روشن‌تر مثلاً "surface urban heat island (SUHI)" یا "land surface temperature (LST)" موضوعات نوظهور یا پر رشد در سال‌های اخیر هستند. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، به‌ویژه با تمرکز بر کلیدواژه‌های نوظهور، امکان شناسایی روندهای جدید و شکاف‌های پژوهشی را فراهم می‌کند. مثلاً کاهش توجه به برخی کلیدواژه‌ها مانند "albedo" در مقایسه با "climate change adaptation" می‌تواند نشان‌دهنده تغییر اولویت‌های تحقیقاتی باشد.

بر اساس جدول ارائه‌شده که چهار خوشه موضوعی از تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در نرم‌افزار VOSviewer را نشان می‌دهد، در ادامه هر خوشه به‌صورت تفصیلی توضیح داده شده و حیطه موضوعی آن مشخص می‌شود.

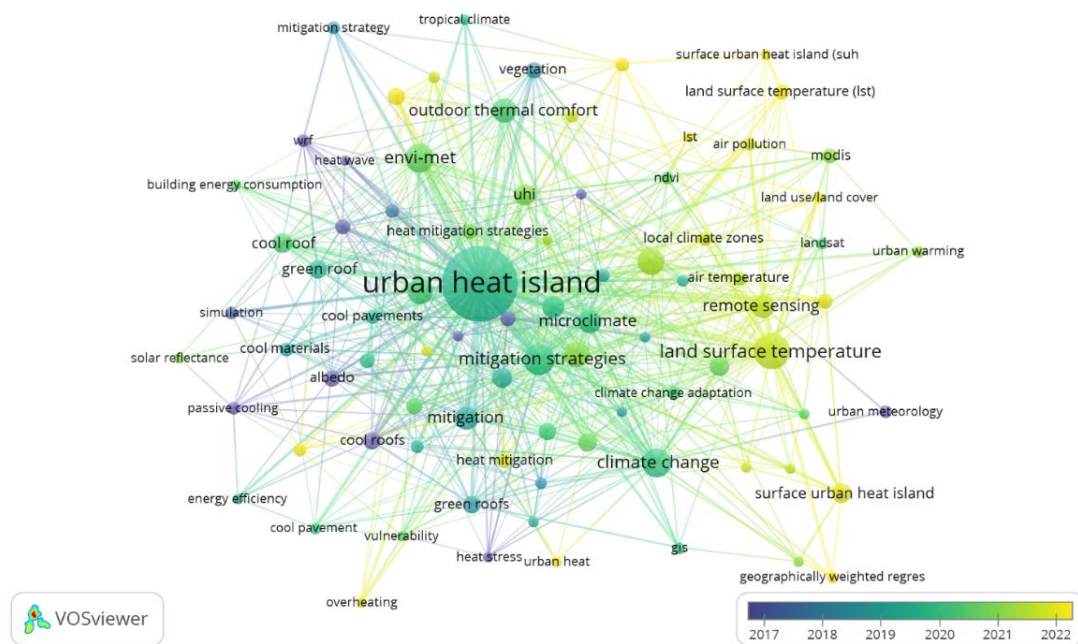
دقیق‌تر، فیلترگذاری و محدودسازی بر اساس معیارهای مختلف انجام گرفت. از نظر حوزه‌های کلیدی، مقالات مرتبط با علوم محیطی و مهندسی که بیشترین هم‌خوانی را با موضوع تحقیق داشتند، انتخاب شدند. همچنین، بازه زمانی به ۲۴ سال گذشته محدود شد تا پیشرفت‌های مدرن را منعکس کند و از غرق شدن در مطالعات قدیمی جلوگیری شود. در نهایت، تنها مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ بررسی شدند که تعداد اسناد را به ۶۷۷ کاهش داد. پس از اعمال فیلتر بر اساس حوزه موضوعی، تعداد مقالات به ۶۵۳ رسید و با محدودسازی بر اساس نوع سند، این تعداد به ۶۴۴ کاهش یافت. سپس، با در نظر گرفتن زبان مقالات، تعداد آن‌ها به ۶۳۳ رسید و در نهایت، با اعمال فیلتر بر اساس مرحله انتشار، تعداد اسناد نهایی به ۶۲۹ مقاله محدود شد.

VOSviewer یکی از نرم‌افزارهای پیشرفته در حوزه تحلیل‌های بیبلیومتریک است که توسط Van Eck و Waltman از دانشگاه لیدن هلند توسعه یافته است. این نرم‌افزار با قابلیت‌های گرافیکی بالا و ساختار منظم، امکان نمایش نقشه‌های علمی را به‌شکلی واضح و کاربرپسند فراهم می‌کند. یکی از مزایای برجسته‌ی آن توانایی در پردازش و نمایش نقشه‌های مبتنی بر داده‌های حجیم است، ویژگی که بسیاری از نرم‌افزارهای مشابه فاقد آن هستند. این ابزار به محققان اجازه می‌دهد تا با ایجاد نقشه‌های شبکه‌ای، ارتباطات پیچیده میان استنادات، انتشارات علمی، نویسندگان، مؤسسات و کشورها را کشف و تجسم کنند، که این امر درک جامع‌تری از ساختار و روندهای حوزه‌های تحقیقاتی مختلف ارائه می‌دهد (Hatami et al., 2022). این داده‌ها برای به‌کارگیری در نرم‌افزار VOSviewer و نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. ارزیابی این داده‌ها با تحلیل‌های ریاضی و آماری و نقشه‌های تجسم شبکه انجام شده است.

نتایج و بحث

تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها

تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها کمک می‌کند تا خوشه‌های موضوعی و روندهای جدید شناسایی شوند، به‌ویژه با تمرکز بر کلیدواژه‌هایی که در سال‌های اخیر بیشتر ظاهر شده‌اند. گره‌ها نشان‌دهنده‌ی مؤلفه‌های



شکل ۲. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها: شناسایی خوشه‌های موضوعی و روندهای نوظهور

Fig2. Co-occurrence analysis. Keywords: Identifying thematic clusters and emerging trends

جدول ۱. خوشه‌های موضوعی چهارگانه حاصل از تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها

Table 1. Four thematic clusters resulting from co-occurrence analysis of keywords

نام خوشه	کلیدواژه‌ها
Cluster Name	Keywords
خوشه ۱	air pollution, climate change, climate change adaptation, cool pavements, cool roofs, green infrastructure, green roofs, heat island, heat mitigation, land cover, land surface temperature, land use, microclimate, remote sensing, surface temperature, surface urban heat island, thermal comfort, urban cooling, urban heat island, heat island effect, urban heat island mitigation, urban meteorology, urban morphology, urban resilience, weather research and forecasting model
خوشه ۲	albedo, anthropogenic heat, building energy consumption, cool materials, cool pavement, cool roof, energy consumption, energy efficiency, Envi-met, green roof, heat wave, human thermal comfort, mitigation strategies, mitigation strategy, outdoor thermal comfort, passive cooling, solar reflectance, tropical climate, mitigation, canopy model, urban heat island, urban microclimate, urban vegetation, UTCI, vegetation, WRF
خوشه ۳	Air temperature, geographically weighted regression, GIS, heat waves, land surface temperature, land use/land cover, Landsat, local climate zone, local climate zones, LST, Modis, NDVI, surface urban heat island, thermal remote sensing, urban climate, urban form, urban heat island intensity, urban thermal environment, urbanization, urban warming
خوشه ۴	climate adaptation, heat mitigation strategies, heat stress, mitigation, overheating, simulation, urban heat islands, urban overheating, urban planning, vulnerability

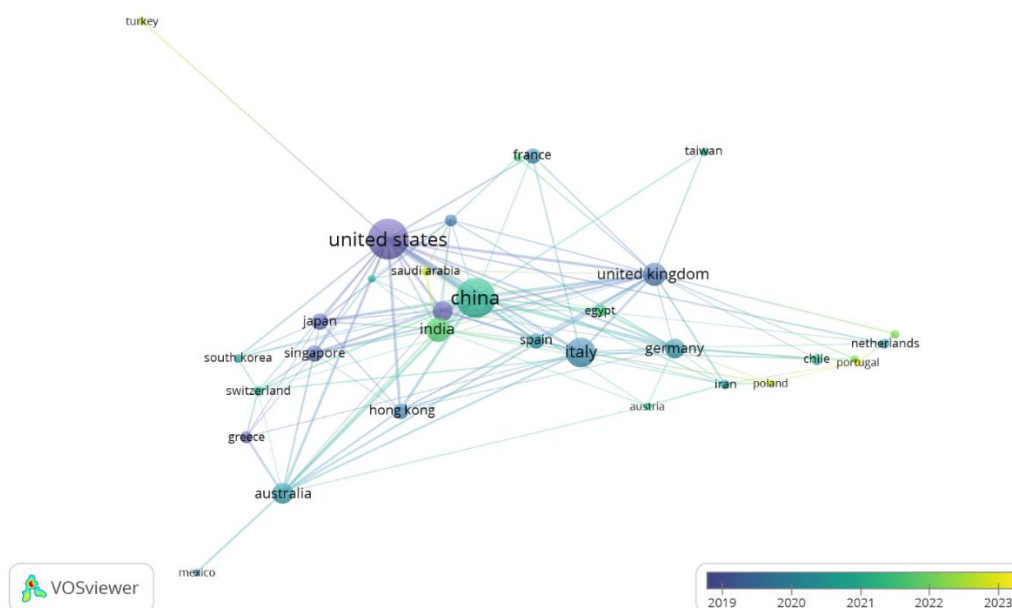
شهری، و مدیریت اثرات اجتماعی-اقلیمی جزیره گرمایی شهری تمرکز دارد. حیطه آن شامل انطباق با تغییرات اقلیمی، کاهش آسیب‌پذیری، و طراحی شهری پایدار است.

همکاری نویسندگان براساس کشورها

این تحلیل به شناسایی و ترسیم شبکه همکاری بین نویسندگان مقالات علمی بر اساس کشورهای آن‌ها می‌پردازد. ایالات متحده، چین، ایتالیا و بریتانیا به دلیل اندازه گره‌ها و پیوندهای متعدد، پیشروترین کشورها در تحقیقات جزیره گرمایی شهری هستند. همکاری‌های قوی بین ایالات متحده و چین، و همچنین بین کشورهای اروپایی می‌باشد. نبود گره‌های بزرگ یا پیوندهای قوی برای کشورهای آفریقایی، آمریکای لاتین، یا برخی کشورهای آسیایی نشان‌دهنده کمبود تحقیقات یا همکاری در این مناطق است.

خوشه ۱، شامل کلیدواژه‌هایی است که بر راهکارهای کاهش جزیره گرمایی شهری از طریق زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده، و تحلیل‌های اقلیمی و فضایی تمرکز دارد. حیطه آن شامل پایداری محیطی، مدیریت دمای سطح، و انطباق با تغییرات اقلیمی در شهرها است. خوشه ۲ به‌طور خاص بر راهکارهای کاهشی مبتنی بر مصالح ساختمانی، بهینه‌سازی انرژی، و مدل‌سازی ریز اقلیمی تمرکز دارد. حیطه آن شامل فناوری‌های خنک‌کننده، مدیریت انرژی شهری، و آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف مثلاً "Tropical Climate" است.

در خوشه ۳، بر تحلیل‌های فضایی و اقلیمی جزیره گرمایی شهری، تأثیرات رشد شهری، و استفاده از فناوری‌های سنجش از راه دور و جغرافیایی تمرکز دارد. حیطه آن شامل پایش دمای سطح، مدل‌سازی اقلیمی، و بررسی اثرات توسعه شهری بر گرمایش است. خوشه ۴ به‌طور خاص بر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی



شکل ۳. تحلیل شبکه همکاری نویسندگان بر اساس کشور

Fig3. Author collaboration network analysis based on country

ارجاعات دریافتی، و مجموع شدت پیوندها می‌باشد که نشان‌دهنده میزان همکاری‌های بین‌المللی کشورها است.

براساس جدول شماره ۲، این خروجی براساس سه شاخص مهم است: تعداد اسناد منتشر شده، تعداد

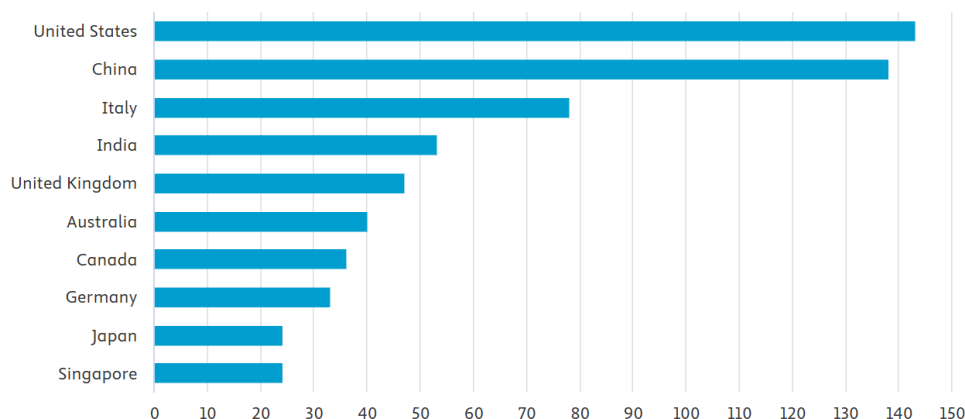
جدول ۲. ارزیابی عملکرد علمی کشورها: شاخص‌های کلیدی (اسناد، ارجاعات، قدرت ارتباطات)

(Table 2. Evaluation of countries' scientific performance: Key indicators (Documents, Citations, Link Strength)

کشور	اسناد	استنادات	مجموع شدت پیوندها
Country	Documents	Citations	Total Link Strength
United States	۱۴۲	۸۷۷۰	۶۴
China	۱۳۸	۵۷۸۲	۶۲
Italy	۷۸	۲۸۸۹	۲۰
Canada	۳۶	۲۸۶۹	۱۸
Australia	۴۰	۲۸۴۴	۲۳
United Kingdom	۴۷	۲۲۱۳	۳۱
Hong Kong	۲۱	۱۶۶۸	۱۶
Greece	۱۳	۱۵۵۶	۵
Singapore	۲۴	۱۴۴۶	۱۴
Japan	۲۴	۱۱۲۹	۱۲
India	۵۳	۱۰۲۶	۱۵
Germany	۳۳	۸۸۸	۲۱
Spain	۲۱	۸۴۷	۱۱
Malaysia	۱۳	۷۰۳	۹
France	۲۱	۵۲۴	۵
Netherlands	۹	۴۲۷	۴
Switzerland	۹	۳۵۲	۷
Iran	۱۰	۲۷۷	۷
South Korea	۸	۲۷۷	۴
Egypt	۱۴	۲۷۱	۷
Taiwan	۷	۲۶۰	۲
Saudi Arabia	۷	۲۰۵	۶
Bangladesh	۵	۱۸۶	۴
Chile	۱۱	۱۷۰	۵
Philippines	۵	۱۵۴	۳
Austria	۵	۸۲	۳
Mexico	۵	۸۰	۲
Poland	۵	۷۵	۳
Turkey	۶	۶۴	۱
Indonesia	۷	۵۸	۲
Brazil	۵	۴۸	۳
Portugal	۵	۴۳	۳

شهری است. ایالات متحده و چین به‌عنوان پیشروترین کشورها با بیشترین اسناد شناخته می‌شوند.

همچنین براساس نمودار زیر، تعداد اسناد براساس ۱۰ کشور برتر آورده شده است. این نمودار نشان‌دهنده توزیع جغرافیایی تولید دانش در حوزه جزیره گرمایی



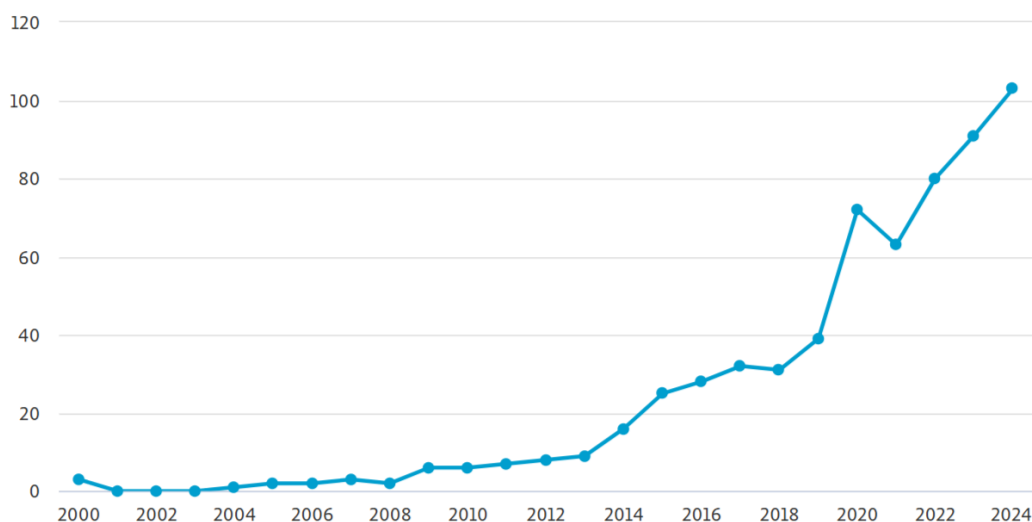
شکل ۴. توزیع جغرافیایی اسناد جزیره گرمایی شهری ده کشور برتر تولیدکننده

Fig 4. Geographical distribution of urban heat island documents for the top 10 producing countries

مشاهده می‌شود. در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴، افزایش چشمگیر و ناگهانی در انتشار مقالات، بیشترین جهش در حدود سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱ اتفاق افتاده، کاهش جزئی پس از ۲۰۲۱، اما روند کلی همچنان صعودی است.

تکامل مطالعات در طول زمان

اسناد بر اساس سال در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در نمودار زیر آورده شده است. در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۰، تعداد اسناد علمی بسیار پایین و تقریباً بدون تغییر می‌باشد. در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، رشد تدریجی در تعداد مقالات



شکل ۵. روند انتشار اسناد علمی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۴

Fig5. Trend of scientific document publication in the time period 2000-2024

سه معیار کلیدی نشان می‌دهد: تعداد اسناد، تعداد استنادات و مجموع شدت پیوندها. نویسندگان تأثیرگذار از جمله "Pisello, Anna Laura" (۱۲ سند، ۶۲۴ استناد)،

شبکه همکار نویسندگان

جدول ارائه‌شده اطلاعاتی درباره نویسندگان فعال در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری بر اساس

M. با ۶ سند و ۱۱۲۳ استناد تأثیرگذاری بالایی دارند، اما تعداد اسناد کمتری تولید کرده‌اند، در حالی که “Pisello, Anna Laura” با ۱۲ سند فعالیت بیشتری دارد اما استنادات کمتری (۶۲۴) دریافت کرده است. این نشان‌دهنده تفاوت بین کمیت و کیفیت مقالات است.

“Wang, Zhi-Hua” (۹ سند، ۱۱۸۲ استناد) و “Akbari, Hashem” (۹ سند، ۱۱۲۵ استناد) به‌عنوان تأثیرگذارترین نویسندگان از نظر تعداد اسناد و استنادات شناخته می‌شوند. همچنین “Bou-Zeid, Elie” با ۱۶۰۷ استناد، علی‌رغم تعداد اسناد کمتر، از نظر تأثیرگذاری علمی، برجسته است. برخی نویسندگان از جمله “Santamouris”

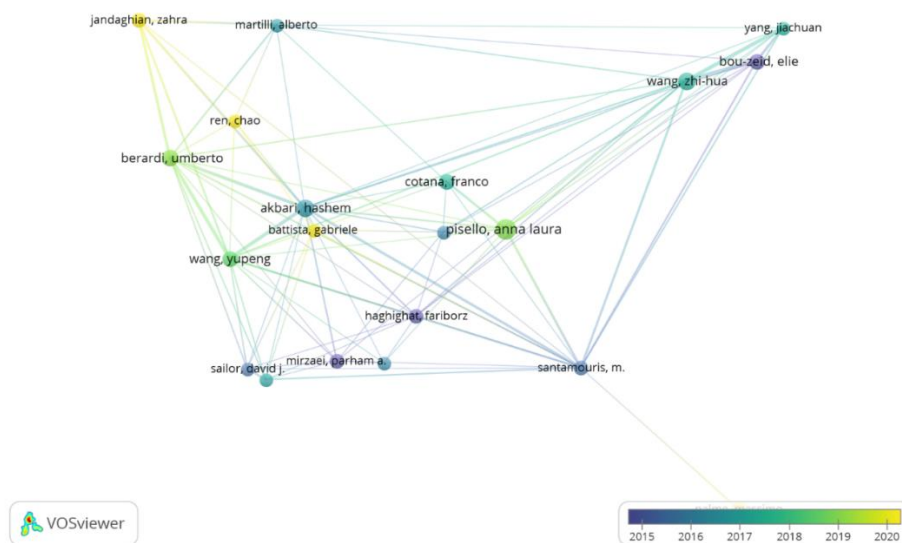
جدول ۳. نویسندگان فعال در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری: رتبه‌بندی بر اساس اسناد، استنادات و شدت پیوندها

Table 3. Active authors in the field of urban heat island mitigation: Ranking by documents, citations, and link strength

نویسنده	اسناد	استنادات	مجموع شدت پیوندها
Author	Documents	Citations	Total Link Strength
Bou-Zeid, Elie	۷	۱۶۰۷	۳۸
Wang, Zhi-Hua	۹	۱۱۸۲	۶۲
Akbari, Hashem	۹	۱۱۲۵	۶۵
Santamouris, m.	۶	۱۱۲۳	۴۸
Berardi, Umberto	۸	۸۴۹	۴۹
Haghighat, Fariborz	۶	۸۳۲	۱۵
Mirzaei, Parham a.	۶	۸۲۹	۱۲
Wang, Yupeng	۷	۶۹۵	۵۳
Pisello, Anna Laura	۱۲	۶۲۴	۲۴
Wong, Nyuk Hien	۵	۶۲۳	۱۰
Taleghani, Mohammad	۵	۵۱۱	۱۵
Yang, Jiachuan	۵	۵۱۱	۳۲
Cotana, Franco	۷	۴۷۱	۱۱
Martilli, Alberto	۵	۴۴۳	۱۴
Ren, Chao	۵	۲۵۴	۵
Sailor, David J.	۵	۲۰۱	۱۳
Jandaghian, Zahra	۶	۱۹۵	۲۳
Battista, Gabriele	۵	۱۶۶	۹
Noro, Marco	۵	۸۰	۵
Palme, Massimo	۶	۴۴	۱

همکاری‌ها دارند. این نشان‌دهنده پروژه‌های مشترک گسترده با نویسندگان دیگر است.

شکل شماره ۶، نشان‌دهنده شدت همکاری‌های هر نویسنده با سایر نویسندگان است که در VOSviewer محاسبه شده است. این معیار نشان‌دهنده جایگاه نویسنده در شبکه همکاری‌های علمی است. نویسندگانی چون “Wang, Zhi-Hua” و “Akbari, Hashem” با شدت پیوند بالا (به ترتیب ۶۵ و ۶۲)، نقش محوری در شبکه



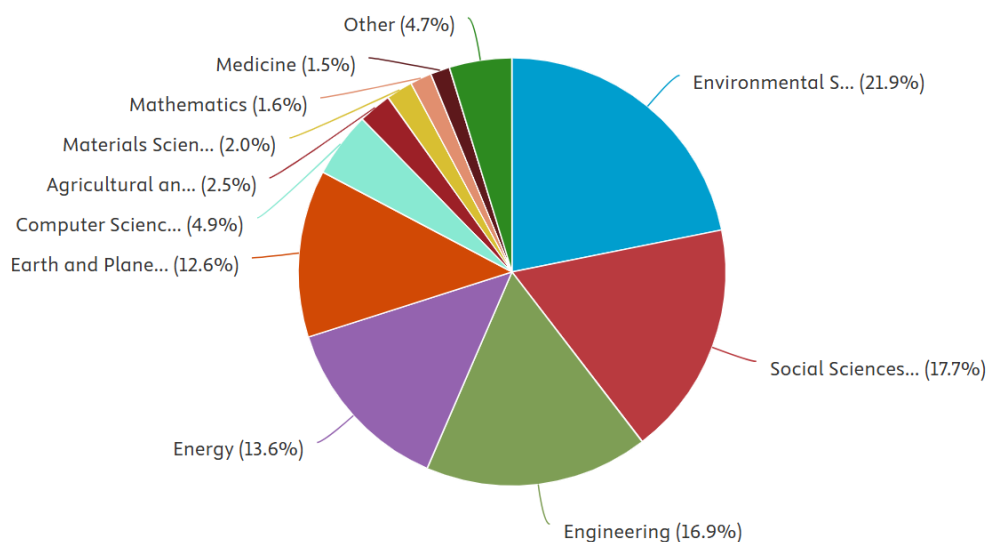
شکل ۶. تحلیل شبکه همکاری نویسندگان بر اساس شدت پیوند

Fig6. Analysis of author collaboration network based on the strength of ties

ابعاد محیط زیستی و اجتماعی بیشترین سهم را دارند، که بیانگر اهمیت راهبردهای پایدار و سیاست‌گذاری‌های شهری برای کاهش گرمای شهری است. استفاده از علوم مهندسی و انرژی در کنار مدل‌سازی‌های زمین‌شناسی و علوم کامپیوتر نشان می‌دهد که مقابله با جزایر گرمایی شهری نیازمند یک رویکرد بین رشته‌ای است.

حیطه حوزه مطالعاتی

براساس حوزه مطالعاتی این موضوع، در نمودار زیر فراوانی آن آورده شده است. بیشترین فراوانی آن مربوط به علوم محیط زیستی می‌باشد. بیشترین تمرکز مقالات در حوزه علوم محیط زیستی، علوم اجتماعی، مهندسی، و انرژی است، که نشان‌دهنده چندبُعدی بودن موضوع است.



شکل ۷. حوزه‌های مطالعاتی پیشرو در تحقیقات جزایر گرمایی شهری

Fig7. Leading study areas in urban heat island research

جدول ۴. پراستنادترین مقالات در زمینه راهکارهای نوین کاهش جزایر گرمایی شهری

Table 4. Highly cited articles in the field of innovative solutions for urban heat island mitigation

تعداد استنادات	نام مقاله	سال	نام نویسنده
Number of Citations	Article Title	Year	Author(s)
۷۴۵	A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong	۲۰۱۲	Ng et al
۷۱۶	The urban heat island effect, its causes, and mitigation, concerning the thermal properties of asphalt concrete	۲۰۱۷	Mohajerani et al
۶۸۴	Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments	۲۰۱۳	Santamouris
۶۶۲	Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts	۲۰۱۳	Li & Bou-Zeid
۵۸۹	Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations	۲۰۱۰	Mirzaei & Haghighat

جدول ۵. مجلات پراستناد در حوزه تحقیقات جزایر گرمایی شهری

Table 5. Highly cited journals in the field of urban heat island research

تعداد استنادات	تعداد اسناد	نام مجلات
Number of Citations	Number of Documents	Journal Name
۳۱۹۷	۶۶	Sustainable cities and society
۲۲۳۳	۲۲	building and environment
۲۰۳۲	۱۹	science of the total environment
۱۸۲۱	۷	renewable and sustainable energy reviews
۱۶۹۶	۲۳	energy and buildings
۱۵۲۵	۱۱	journal of applied meteorology and climatology
۱۱۱۲	۴۱	urban climate
۱۰۸۷	۱۰	Environmental Research Letters
۶۰۲	۷	solar energy
۴۸۹	۲۵	sustainability (Switzerland)
۴۰۵	۷	landscape and urban planning
۳۷۶	۱۳	remote sensing
۳۱۲	۵	Urban Forestry and Urban Greening
۱۶۰	۶	Theoretical and applied climatology

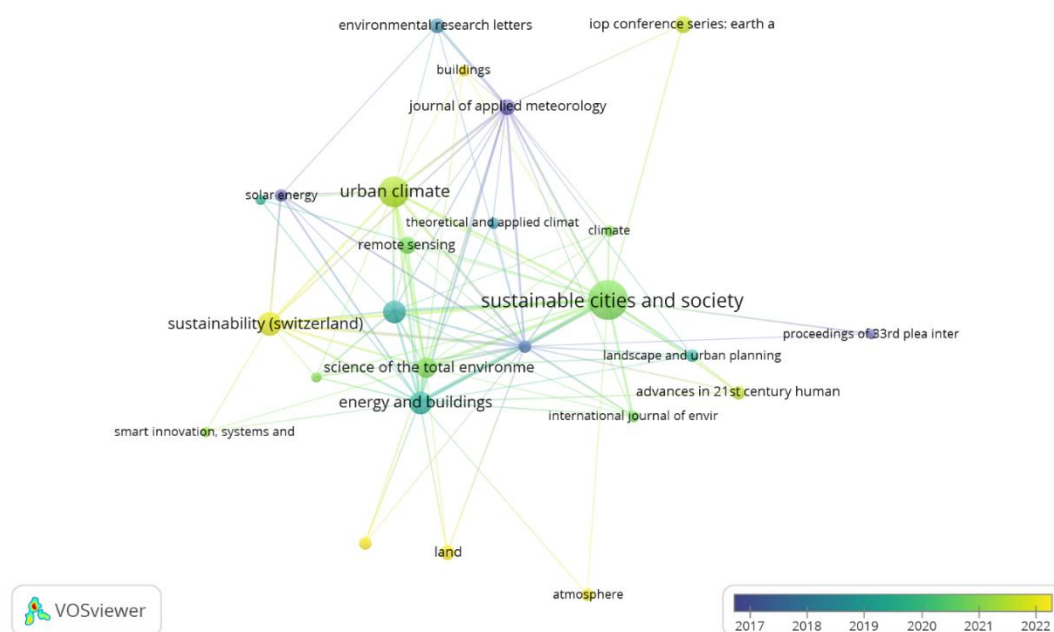
شکل ارائه شده یک نقشه شبکه همکاری میان مجلات علمی است که با استفاده از نرم افزار VOSviewer ترسیم شده است. این نقشه، ارتباطات و همکاری‌های میان مجلات مختلف را نشان می‌دهد. در این نقشه، هر دایره نمایانگر یک مجله علمی است، و اندازه دایره معمولاً نشان‌دهنده تعداد مقالات منتشر شده و اهمیت آن مجله در این حوزه است. رنگ دایره‌ها بر اساس سال انتشار مقالات متغیر است؛ طیف رنگی از آبی تیره (سال ۲۰۱۷) تا زرد روشن (سال ۲۰۲۲) نشان می‌دهد که فعالیت‌های پژوهشی هر مجله در چه بازه زمانی متمرکز بوده‌اند. خطوط متصل‌کننده بین دایره‌ها نمایانگر ارتباطات یا همکاری‌های میان مجلات است.

پراستنادترین مقالات

جدول شماره ۴، نشان‌دهنده پراستنادترین مقالات در حوزه جزیره گرمایی شهری است، که تمرکز آن‌ها بر راهکارهای سبزشازی، مصالح خنک‌کننده و غیره می‌باشد.

شبکه همکار مجلات

در اینجا هدف شناسایی مجلاتی که بیشترین استناد را در حوزه تحقیقاتی موردنظر دریافت کرده‌اند، می‌باشد. این جدول نشان‌دهنده توزیع استنادات و انتشارات در مجلات مرتبط با جزیره گرمایی شهری است. به ترتیب "Sustainable Cities and Society"، "Building and Environment" و "Science of the Total Environment" به‌عنوان تأثیرگذارترین مجلات شناخته می‌شوند.



شکل ۸. تجسم شبکه همکاری بین مجلات علمی

Fig8. Visualization of scientific journal collaboration network

علاوه بر این، انتظار می‌رود ترکیبی نزدیک‌تر از سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی همراه با مدل‌ها ایجاد شود. ترتیبات پوشش گیاهی، تحقیقات در مورد مواد روسازی و ساختمانی، طراحی خنک‌کننده سقف و برنامه‌ریزی شهری به‌طور فعال مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Huang & Lu, 2018). از سوی دیگر ساختمان‌های جدید و موجود باید شامل زیرساخت‌هایی با بام‌های سبز، دیوارها، نماها، پارکینگ‌های سبز، پیاده‌روهای نگهدارنده آب و راه‌های

نتیجه‌گیری

برای نظم و پیش‌بینی، مدل‌سازی همچنان روش تحقیق پیشرو خواهد بود و انتظار می‌رود مدل‌های مقیاس خرد و میانی به‌طور مؤثر تری با هم ترکیب شوند. سنجش از دور، اندازه‌گیری‌های سنتی نقطه‌ای را به تحقیقات سطحی گسترش می‌دهد و دستیابی به داده‌ها را به‌طور کارآمدتر و جامع‌تر با کیفیت بالاتر محقق می‌کند؛ بنابراین، این تکنیک قابل توجه، به‌طور گسترده‌تری استفاده خواهد شد.

از نظر تأثیرگذاری علمی برجسته است. تحلیل co-author by country نشان می‌دهد که ایالات متحده (۱۴۲ سند، ۸۷۷۰ استناد)، چین (۱۳۸ سند، ۵۷۸۲ استناد)، و ایتالیا (۷۸ سند، ۲۸۸۹ استناد) بیشترین کشورها هستند. همکاری‌های قوی بین ایالات متحده و چین، و همچنین بین کشورهای اروپایی (مثل بریتانیا و آلمان) وجود دارد. الگوی جغرافیایی نشان‌دهنده تمرکز تحقیقات در مناطق توسعه‌یافته (آمریکای شمالی، اروپا، و آسیای شرقی) است. رشد تدریجی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ (کمتر از ۱۰ سند)، رشد شتابان از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ (تا ۸۰ سند)، و اوج‌گیری شدید از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ (تا بیش از ۱۲۰ سند) است. دوره‌های اوج تولید دانش در ۲۰۲۰-۲۰۲۱ و ۲۰۲۳-۲۰۲۴ هستند، که با افزایش توجه به تغییرات اقلیمی و راهکارهای پایدار هم‌راستا است.

منابع

- Abdulateef, M. F., & Al-Alwan, H. A. (2022). The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101526. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>
- Abedini, Asghar, Azmoon, Mojtaba, Azarkish, Kiarash, & Moshtaghi, Sina. (2023). Reducing the Effects of Urban Heat Islands through Cool Pavement Materials (Case Study: Region 8 of Tabriz Metropolis). *Urban Sustainable Development*, 4(13), 105-128. <https://doi.org/10.22034/usd.2024.2008122.1092>
- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z. H., & Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and buildings*, 133, 834-842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Battisti, A., Laureti, F., Zinzi, M., & Volpicelli, G.

سایه‌دار باشند که مزایای ثابت شده‌ای در کاهش جزیره گرمایی شهری دارند. ادغام مواد پایدار و سازگار با محیط زیست در محیط ساخته‌شده، مانند سیستم‌های نوآورانه خیابان‌ها و روسازی‌ها، انواع مواد پوشش‌دهنده، و استفاده از وسایل کارآمد انرژی، مزایای متعددی را در کاهش جزیره گرمایی شهری را به‌همراه داشته است و بسیار مؤثر بودن آنها ثابت شده است (Irfeey et al., 2023). درختان و پوشش گیاهی، بام سبز، پیاده‌رو و آلبیدو در نواحی شهری همه اقداماتی هستند که به کاهش اثر جزیره گرمایی شهری کمک می‌کنند (Gago et al., 2013). به‌طور کلی راهکارهای مختلفی برای مدیریت جزیره گرمایی شهری پیشنهاد شده است، از جمله استفاده از پوشش گیاهی، بام‌های سبز و افزودن فضاهای سبز در شهرها، بهبود زیرساخت‌های شهری مانند روسازی‌های خنک و سیاست‌های مدیریت رواناب، توسعه سیاست‌ها و مقررات مرتبط با استفاده از مصالح ساختمانی با خاصیت بازتابندگی بالا و استفاده از فناوری‌های کاهنده اثرات گرمایش جهانی و در نهایت مهم است تمامی این اقدامات تحت پوشش سیاست‌های هماهنگ و تعاملی قرار گیرند و با مشارکت افراد، سازمان‌ها و دولت‌ها به اجرایی شدن بپردازند.

- این پژوهش با استفاده از تحلیل بیبلیومتریک و نرم‌افزار VOSviewer، به بررسی جامع راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری پرداخته و یافته‌های مهمی را در بخش‌های مختلف ارائه کرده است. بر اساس خوشه‌های موضوعی، راهبردهای اصلی کاهش جزیره گرمایی شهری شامل زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده و خنک‌کننده، تحلیل‌های فضایی و اقلیمی، و سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری است. این راهبردها در مقالات پراستناد و کلیدواژه‌های نوظهور برجسته هستند و نشان‌دهنده رویکرد ترکیبی برای کاهش دما، مصرف انرژی، و بهبود کیفیت هوا است. نویسندگان تأثیرگذار از جمله "Pisello, Anna Laura" (۱۲ سند، ۶۲۴ استناد)، "Wang, Zhi-Hua" (۹ سند، ۱۱۸۲ استناد) و "Akbari, Hashem" (۹ سند، ۱۱۲۵ استناد) به‌عنوان تأثیرگذارترین نویسندگان از نظر تعداد اسناد و استنادات شناخته می‌شوند. همچنین "Bou-Zeid" و "Elie" با ۱۶۰۷ استناد، علی‌رغم تعداد اسناد کمتر،

[org/10.3390/su151410767](https://doi.org/10.3390/su151410767)

Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Emanche, V. O., & Quasem Al-Amin, A. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1600. DOI: 10.3390/ijerph14121600

Liu, C., Lu, S., Tian, J., Yin, L., Wang, L., & Zheng, W. (2024). Research Overview on Urban Heat Islands Driven by Computational Intelligence. *Land*, 13(12), 2176. <https://doi.org/10.3390/land13122176>

Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in the modeling of urban heat islands. *Sustainable cities and society*, 19, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>

Nuruzzaman, M. (2015). Urban heat island: causes, effects and mitigation measures review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67-73. DOI:10.11648/j.ijema.20150302.15

Picari, V., & Dervishi, S. (2019). Analysis of urban heat Island phenomenon and mitigation strategies for Tirana, Albania. In *Proceedings of the 16th IBPSA Conference* (pp. 2-4). DOI:10.26868/25222708.2019.211334

Pinheiro, C., Landi Jr, S., Lima Jr, O., Ribas, L., Hammes, N., Segundo, I. R., ... & Carneiro, J. (2023). Advancements in phase change materials in asphalt pavements for mitigation of urban heat island effect: Bibliometric analysis and systematic review. *Sensors*, 23(18), 7741. DOI: 10.3390/s23187741

Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.002>

(2018). Climate mitigation and adaptation strategies for roofs and pavements: A case study at Sapienza University Campus. *Sustainability*, 10(10), 3788. <https://doi.org/10.3390/su10103788>

Degirmenci, K., Desouza, K. C., Fieuw, W., Watson, R. T., & Yigitcanlar, T. (2021). Understanding policy and technology responses in mitigating urban heat islands: A literature review and directions for future research. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102873. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102873>

Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>

Guindon, S. M., & Nirupama, N. (2015). Reducing risk from urban heat island effects in cities. *Natural Hazards*, 77, 823-831. DOI: 10.1007/s11069-015-1627-8

Hatami, M., Sabour, M. R., & Nikrouvan, M. (2022). A bibliometric analysis of research conducted on incineration ash during 2000 to 2020. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 54(8), 3025-3040. <https://doi.org/10.22060/ceej.2022.20084.7339>

He, B. J., Wang, W., Sharifi, A., & Liu, X. (2023). Progress, knowledge gap and future directions of urban heat mitigation and adaptation research through a bibliometric review of history and evolution. *Energy and Buildings*, 287, 112976. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112976>

Huang, Q., & Lu, Y. (2018). Urban heat island research from 1991 to 2015: a bibliometric analysis. *Theoretical and applied climatology*, 131, 1055-1067. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2025-1>

Irfeey, A. M. M., Chau, H. W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttill, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas. *Sustainability*, 15(14), 10767. <https://doi.org/10.3390/su151410767>

Tofighi, Armin, Tanzadeh, Rashid, & Moghadas Nejad, Fereydoon. (2023). Understanding and Mitigating the Destructive Phenomenon of Urban Heat Islands with an Approach to Investigating Road Pavement. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 55(9), 1733-1752. <https://doi.org/10.22060/ceej.2023.21359.7694>

Xiong, L., & He, B. J. (2022, September). Analytical framework for the analysis of co-benefits, conflicts, and trade-offs of urban heat mitigation strategies. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1078, No. 1, p. 012133). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012133>



Examining of the Role of Environmental Issues and Climate Change in the Migration of Border Residents and National Security

Ahmad Anarki Mohammadi^{1,*} 

1. PhD student of the Faculty of Strategic Management, Supreme National Defense University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: ahmadanaraki.m@gmail.com

Keywords:

National security, environmental
crises,, global warming,
migration, border points.

Extended abstract

Introduction

Environmental issues in the country, stemming from a combination of natural factors, climate change, and human activities, are on the rise and have become one of the nation's most pressing challenges. These problems are particularly pronounced in border regions, where the local economy largely depends on agriculture and livestock. Decreased rainfall, water shortages, soil erosion, and environmental degradation are among the key factors reducing agricultural and livestock productivity in these areas. The direct result of these conditions is a decline in agricultural and livestock production, leading to the migration of border residents to central regions of the country. This migration is not solely due to the depletion of natural resources; harsh economic conditions, water and land shortages for agriculture and livestock, and inadequate access to sufficient food are also significant factors driving the migration. These displacements can have considerable social and economic consequences for the country. Such consequences include social tensions in the destination areas, increased pressure on urban infrastructure, and depopulation of border areas, which are typically of strategic importance to national security. Moreover, as water resources diminish and fertile lands become scarce, conflicts between regions and

Received:

23 Jul 2024

Revised:

21 Sep 2024

Accepted:

21 Sep 2024

How to cite this article:

Anarki Mohammadi, A. (2025). Examining of the Role of Environmental Issues and Climate Change in the Migration of Border Residents and National Security. *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 2(9), 135-148. [10.22077/jdcr.2024.7957.1073](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7957.1073)



local populations are expected to rise, potentially leading to internal strife. In such circumstances, national security is jeopardized, as border areas become more vulnerable due to depopulation and social and economic instability. This paper examines the relationship between environmental issues, migration, and national security in both Iran and the world. After providing precise definitions of concepts such as environmental issues, migration drivers, and national security, the analysis focuses on the consequences of environmental problems on the migration of border residents and its impact on national security. The paper is regarded as a valuable study in terms of both its topic and content, as it not only explores how environmental problems influence migration and national security but also offers strategic measures for policymakers to address these challenges. Therefore, the present study stands out as a novel contribution in the field of environmental issues and migration, capturing the attention of policymakers and decision-makers.

Materials and Methods

This study employed a library-based research method, using note-taking to gather relevant information. The research aimed to investigate the impact of environmental issues on border residents' migration and national security. The main variables identified were environmental problems, border residents' migration, and national security. Data were collected from sources such as Google Scholar, the Islamic World Science Citation Center, Magiran, the National Library of Iran, and Civilica. The most relevant and up-to-date resources, including books and articles, were reviewed. For each source, details such as the author, publication year, content, and key findings were recorded. Using a descriptive-analytical method, the data were analyzed to examine the patterns and relationships between environmental issues, migration, and national security. The VOSviewer software was used to visualize and graphically represent data extracted from databases like Web of Science, Science Direct, and Google Scholar.

Results and Discussion

Environmental problems such as water scarcity and drought can make life in rural areas challenging, reducing available economic and agricultural opportunities. Climate change exacerbates these issues, with more severe droughts affecting crops and agricultural productivity. Inefficient resource management and neglect of environmental conservation can further worsen environmental problems and encourage migration. Migration is typically driven by a combination of factors, and environmental issues are just one dimension of this phenomenon. A visual network of keywords, generated using VOSviewer software, demonstrates the relationships between concepts like water scarcity, climate change, migration, and border populations. In this network, climate change is central, indicating its pivotal role in creating and intensifying other issues. Border insecurity can deeply affect migration

patterns, as individuals may feel compelled to leave due to economic decline, reduced educational and healthcare services, and general instability. Specific environmental issues like water scarcity, soil degradation, and global warming (climate change) significantly threaten border regions and contribute to migration. For instance, water scarcity, exacerbated by climate change, can lead to droughts that make agriculture unsustainable in many areas, driving people to seek better livelihoods elsewhere. In Iran, as in other countries, water resources are limited, and persistent droughts are creating severe water shortages for agriculture, industry, and domestic use. Water scarcity also affects food security, as diminishing fertile land leads to lower agricultural yields, resulting in hunger and poverty, further driving migration. The impact of soil degradation is similarly significant. The loss of fertile soil, necessary for agriculture, can lead to widespread economic decline in rural communities, pushing people toward urban areas where opportunities are perceived to be greater. For instance, over-exploitation of natural resources, such as forests for timber, can accelerate soil erosion, leaving lands unproductive. Moreover, global warming is expected to exacerbate these issues further, as higher temperatures and increased greenhouse gas emissions lead to more severe droughts, desertification, and water shortages. These environmental changes directly impact human settlements, particularly in vulnerable border areas where economic and social infrastructures are already fragile. In addition to environmental causes, migration is heavily influenced by political and economic factors. Border areas, often economically marginalized, suffer from underdevelopment and poverty, making them vulnerable to external influences such as drug trafficking, terrorism, and sectarian violence. In some regions near Iran's borders, for instance, the threat of terrorism and organized crime creates insecurity, which further motivates migration as individuals seek safety in more stable regions.

Conclusion

Migration is driven by a combination of environmental, economic, social, and political factors. Environmental challenges such as water scarcity and climate change are increasingly contributing to migration, particularly in rural and border areas. These factors, along with economic underdevelopment, political instability, and social tensions, create a complex web of causes that compel people to move. Addressing these challenges will require coordinated efforts to ensure sustainable development, environmental conservation, and economic growth, especially in vulnerable border regions. Effective management of natural resources, along with investments in infrastructure and social services, can help mitigate the root causes of migration and promote stability.



بررسی نقش مشکلات محیط‌زیستی و تغییرات اقلیم در مهاجرت مرزن‌نشینان و امنیت ملی

احمد انارکی محمدی^۱

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: ahmadanaraki.m@gmail.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

مشکلات محیط‌زیستی در کشور به‌خاطر عوامل محیطی، تغییر اقلیم و انسانی رو به افزایش است. با توجه به اینکه معیشت مناطق مرزی کشور بیشتر از راه فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری تأمین می‌شود بنابراین وابستگی بیشتری به محیط‌زیست و منابع طبیعی دارد. از این رو هدف از مقاله حاضر بررسی پیامدهای مشکلات محیط‌زیستی (فرصت‌ها و چالش‌ها) در مهاجرت مرز نشینان و امنیت ملی است. نرم‌افزار VOSviewer برای تحلیل داده‌های استخراج‌شده از پایگاه‌های اطلاعاتی و استنادی مانند Web of Science، ScienceDirect و Google Scholar استفاده و نتایج به صورت گرافیکی و بصری ارائه شد. برای انجام این تحقیق، ابزار گردآوری اطلاعات به‌روش کتابخانه‌ای با استفاده از فیش برداری اطلاعات جمع‌آوری شد و با رویکرد کیفی و با استفاده از روش توصیفی - تحلیلی تلاش دارد که نقش مشکلات محیط‌زیستی در مهاجرت مرز نشینان و امنیت ملی را مورد بررسی قرار دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که از آنجایی که شغل اکثر مرزن‌نشینان کشاورزی و دامپروری می‌باشد کمبود زمین‌های مناسب برای کشاورزی و کمبود آب باعث از بین رفتن کشاورزی و دامپروری در این مناطق شده‌است. عدم دسترسی مرزن‌نشینان به آب و غذای کافی منجر به ایجاد تنش و به خطر افتادن امنیت ملی و همچنین باعث مهاجرت مرزن‌نشینان به مناطق مرکزی کشور می‌شود. در عین حال مهاجرت مرزن‌نشینان می‌تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی گوناگونی در مبداء و مقصد داشته‌باشد. می‌توان بیان نمود که مسائل محیط‌زیستی ارتباط بسیار نزدیکی با امنیت ملی دارند و کم توجهی به موضوع مهاجرت مرزن‌نشینان می‌تواند صدمات جدی برای کشور داشته‌باشد.

امنیت کشور، بحران‌های محیط‌زیستی، شغل، گرمایش جهانی، مهاجرت، نقاط مرزی.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۵/۰۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۶/۳۱

مقدمه

محیط‌زیست به‌عنوان پایه و اساس زندگی انسان، امکان رشد و بالندگی انسان را فراهم می‌کند لذا حفظ و صیانت از محیط‌زیست نیازمند برنامه ریزی مسئولان و مردم می‌باشد. انسان بدون در نظر گرفتن محیط‌زیست، نمی‌تواند زندگی و امرار معاش کند و تمام دستاوردهای انسانی وابسته به محیط‌زیست سالم می‌باشد. تا قبل از صنعتی‌شدن جوامع بشری، تهدیدی برای محیط‌زیست انسانی وجود نداشت اما با آغاز صنعتی‌شدن، بشر به‌طور فزاینده‌ای از منابع طبیعی نظیر آب، خاک، زغال سنگ و مواد معدنی بهره برداری نمود و زمینه تخریب محیط‌زیست را فراهم کرد. یکی از نتایج بسیار مهم تخریب محیط‌زیست، ایجاد مشکلات اجتماعی برای انسان می‌باشد در واقع بخش زیادی از مشکلات اجتماعی انسان مربوط به تخریب محیط‌زیست ناشی از صنعتی‌شدن و شهری‌شدن می‌باشد. در صنعتی‌شدن و شهری‌شدن به واقعیت‌های جهانی تبدیل شدند و تخریب محیط‌زیست با گذر زمان افزایش پیدا کرد (Sayadi et al., 2010). از مهمترین مشکلات محیط‌زیست در مقیاس جهانی می‌توان به پدیده گرمایش جهانی، کمبود آب شیرین، کمبود خاک مرغوب، آلودگی هوا، بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی، افزایش جمعیت و مهاجرت اشاره کرد. امروزه تغییرات محیط‌زیستی از قبیل تغییرات آب و هوایی باعث ایجاد مشکلات بسیار بزرگی برای امنیت انسانی شده‌است که مهمترین تأثیر آن، بحران کمیابی منابع زیستی می‌باشد و باعث ایجاد برخوردهای قومی، آشوب و اضطراب می‌شود. امروزه برخورداری از امنیت و ثبات برای انسان در همه زمینه‌ها امری بسیار مهم می‌باشد (Paleri, 2022). مشکلات محیط‌زیستی در ایران ناشی از عوامل متعددی هستند که به‌عنوان یک چالش جدی برای دولت و جامعه مطرح شده‌اند. یکی از چالش‌های بزرگ محیط‌زیستی در ایران، کمبود منابع آب است. تغییرات اقلیمی، برخی از روش‌های غیر پایدار بهره‌برداری از آب، و کاهش بارش در برخی نقاط، باعث کاهش منابع آبی و ایجاد مشکلات جدی برای کشاورزی و سایر بخش‌ها شده‌است (Tahbaz, 2016). به‌دنبال کاهش منابع آب‌های زیر زمینی فرونشست زمین به‌عنوان یک مشکل محیط‌زیستی مهم مطرح است. فرونشست زمین

به‌علت برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، کاهش توازن آبی، و سایر عوامل به وجود می‌آید که می‌تواند منجر به مشکلات جدی مانند تخریب خاک، فرسایش، و تخریب زیرساخت‌ها شود (Haghshenas Haghighi and Motagh, 2024). نابودی تالاب‌ها و گسترش بیابان‌زایی نیز از دیگر مشکلات محیط‌زیستی در ایران محسوب می‌شود. این امور معمولاً به‌دلیل تخریب بی‌رویه محیط‌زیست و نادرست استفاده از منابع طبیعی رخ می‌دهند (Ostad-Ali-Askari, 2022). آلودگی هوا نیز از جمله چالش‌های محیط‌زیستی است که به‌علت استفاده افزایشی از سوخت‌های فسیلی، تولیدات صنعتی، و وسایل نقلیه ناپاک رخ می‌دهد. این مشکل می‌تواند بر سلامت افراد و کیفیت زندگی تأثیر منفی بگذارند. برای حل این مشکلات، دولت‌ها می‌توانند برنامه‌ها و سیاست‌هایی را اجرا کنند که به بهبود مدیریت منابع طبیعی، کاهش آلودگی، و ارتقا حفاظت از محیط‌زیست کمک کنند. همچنین، نقش فعال جامعه و افراد در حفاظت از محیط‌زیست و اجرای نگرش‌های مثبت نیز اهمیت زیادی دارد (Taghizadeh et al., 2023). ایران یکی از کشورهای است که مرزهایی طولانی با همسایگانی متعدد دارد. حدود ۶ هزار کیلومتر مرز خشکی ایران و بیش از ۲ هزار کیلومتر مرز آبی، مجموع طول خط مرزی ایران را به حدود ۸ هزار کیلومتر رسانده و ایران را با کشورهای مختلفی همسایه کرده است. اگر استان‌های مجاور خطوط مرزی آبی و خشکی کشور به عنوان استان‌های مرزنشین در نظر گرفته شود، باید گفت که ایران دارای شانزده استان مرزی است که از این تعداد سه استان بوشهر، هرمزگان و مازندران تنها دارای خط مرزی دریایی هستند، چهار استان خوزستان، سیستان و بلوچستان، گیلان و گلستان دارای هر دو مرز دریایی و زمینی هستند و ۹ استان دیگر یعنی استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی تنها در کنار مرزهای زمینی قرار گرفته‌اند. زندگی در مناطق مرزی و مرزنشینی، شرایط خاصی دارد این مناطق مرزی هستند که بار اصلی کم آبی و کمبود زمین‌های کشاورزی را به دلیل تخریب محیط زیست و تغییر اقلیم تحمل می‌کنند. شغل اکثر مرزنشینان کشاورزی و دامپروری می‌باشد کمبود زمین‌های مناسب

برای کشاورزی و کمبود آب باعث از بین رفتن کشاورزی و دامپروری در این مناطق شده است. عدم دسترسی مرزنشینان به آب و غذای کافی منجر به ایجاد تنش و به خطر افتادن امنیت ملی و همچنین باعث مهاجرت مرزنشینان به مناطق مرکزی کشور می‌شود. با کاهش میزان بارندگی، نبود زمین‌های حاصلخیز، فرسایش خاک، افزایش میزان مصرف آب و ناکارآمدی مدیریت منابع آب در کشور انتظار می‌رود که مهاجرت مرزنشینان شدت پیدا کند و به دنبال آن امنیت ملی به خطر خواهد افتاد. یافته‌ها نشان می‌دهند که کمبود آب در برخی مناطق کشور باعث بروز تنش و درگیری بین نواحی و مردم شده است. در نتیجه همین چالش‌ها است که می‌توان گفت استان‌های مرزی ایران، اغلب با چالش‌ها و بحران‌های جدی در مقایسه با استان‌های غیر مرزی کشور مواجه هستند و مسائل و مشکلات بیشتری دارند که نیازمند توجه بیشتر مسئولان و مدیران دولتی به این استان‌ها و ساکنان مناطق مرزی آن است (Ettaat and Mousavi, 2011).

در این مقاله، به بررسی ارتباط بین مشکلات محیط زیست، مهاجرت، و امنیت ملی در ایران و جهان پرداخته شده است. پس از برشمردن تعاریف دقیق از مشکلات محیط زیست، انگیزه‌های مهاجرت، و امنیت ملی، تحلیلی انجام شده است که به بررسی پیامدهای مشکلات محیط زیست بر مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی متمرکز است. این مقاله به لحاظ موضوعی، محتوایی، و سطح تحلیل به عنوان یک مطلب با ارزش درک می‌شود. از این دیدگاه، مقاله نه تنها به نحوه تأثیرگذاری مشکلات محیط زیست بر مهاجرت و امنیت ملی می‌پردازد بلکه تدابیر راهبردی برای مقابله با این چالش‌ها را نیز به مسئولین تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌دهد. از این حیث، مقاله حاضر هم به لحاظ موضوعی، هم محتوایی و نیز سطح تحلیل اثری بدیع محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی تحقیق

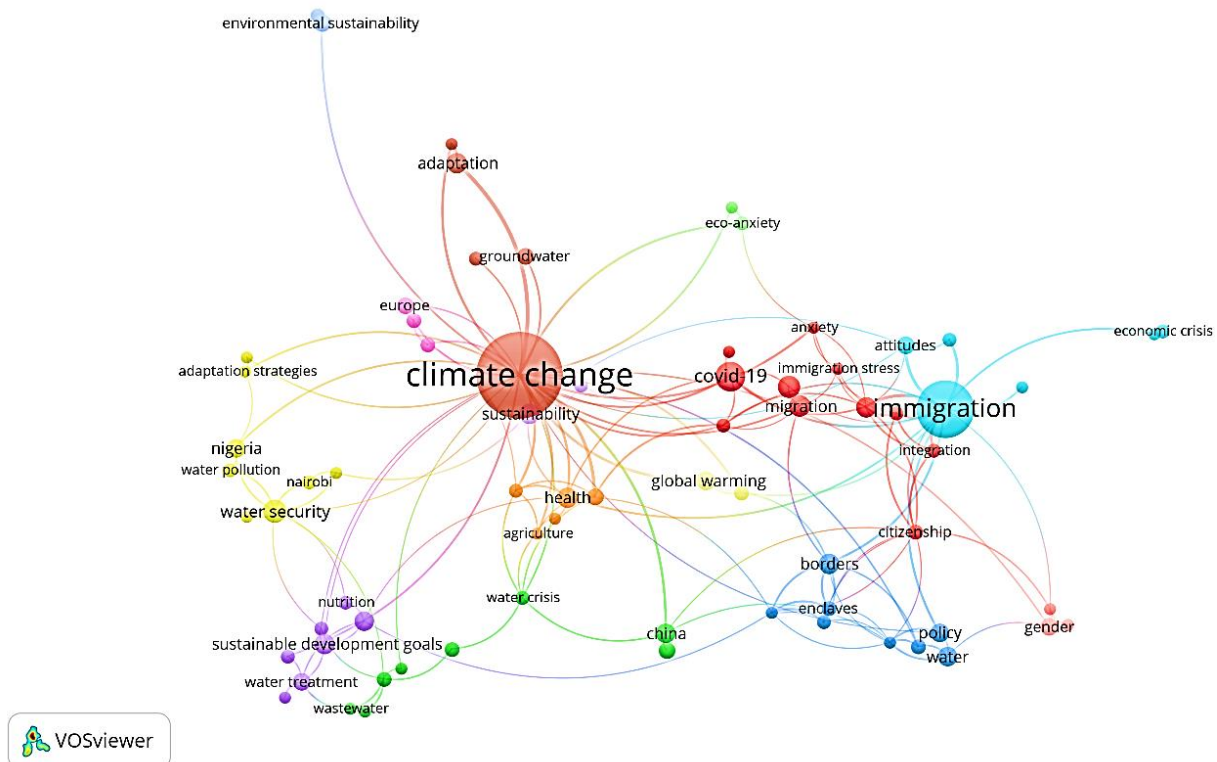
برای انجام این تحقیق مروری از ابزار گردآوری اطلاعات در روش کتابخانه‌ای با استفاده از فیش برداری اطلاعات گردآوری شد که از منظر گردآوری اطلاعات تحقیقی

توصیفی است. برای آغاز تحقیق، موضوعات و مباحث مرتبط با تأثیر مشکلات محیط زیستی بر مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی را مشخص و متغیرهای اصلی مانند مشکلات محیط زیستی، مهاجرت مرزنشینان، و امنیت ملی تعیین گردید. در موتور جستجوی گوگل اسکولار و پایگاه‌های استنادی علوم جهان اسلام، مگیران، سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران و سیویلیکا نقش مشکلات زیست‌محیطی در مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی مورد بررسی قرار گرفت و مرتبط‌ترین و به‌روزترین منابع از جمله کتب و مقالات، مطالعه گردیدند. برای هر منبع، یک فیش برداری اطلاعات تدوین و اطلاعاتی چون نویسنده، سال انتشار، محتوا، و نتایج مهم ثبت شد. سپس از روش توصیفی - تحلیلی برای تحلیل محتوای گردآوری شده استفاده شد. اطلاعات را با دقت مطالعه و الگوها، ارتباطات، و تأثیرات مشکلات محیط زیستی بر مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی تجزیه و تحلیل گردید. از آنجایی که نرم‌افزار VOSviewer یک ابزار کاربردی برای ترسیم شبکه‌های علمی و مطالعات علم‌سنجی است. از این نرم‌افزار برای تحلیل داده‌های استخراج‌شده از پایگاه‌های اطلاعاتی و استنادی مانند، Web of Science، Science Direct و Google Scholar استفاده شد و نتایج به صورت گرافیکی و بصری ارائه شده است. برای دستیابی به هدف پژوهش، مجموعه‌ای از ۴۴۵ متن علمی که در مورد تغییرات اقلیم و مهاجرت بودند در مطالعه گنجانده شد. ۲۰۶ مقاله علمی پژوهشی، فصول کتاب (۷۱)، دایره المعارف (۹)، گزارش‌های موردی (۱۴)، مقاله کنفرانس (۱۴۵) گردآوری گردید. پس از غربالگری، در نهایت ۱۰۵ متن علمی با در نظر گرفتن هدف مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. یک گزارش جامع از نتایج بررسی مشکلات محیط زیستی، تأثیرات آن بر مهاجرت و امنیت ملی، و الگوها و روابط میان این متغیرها تهیه شد. در پایان گزارش، پیشنهادات برای مقابله با مشکلات محیط زیستی، بهبود مدیریت مهاجرت، و تقویت امنیت ملی ارائه گردید. لازم به ذکر است برای قسمت پیشنهادات از اساتید فن کمک گرفته شد. با اجرای این مراحل، توانایی تحلیل ژرف و کسب دیدگاه‌های بیشتری در خصوص تأثیر مشکلات محیط زیستی بر مهاجرت مرزنشینان و امنیت ملی خواهیم داشت.

نتایج و بحث

مهاجرت یک پدیده پیچیده و چند عاملی است که از عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، و محیط زیستی تأثیر می‌پذیرد. در اینجا، علل مختلف مهاجرت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نقش مشکلات محیط زیستی در مهاجرت از روستاها بررسی شده است. کمبود فرصت‌های شغلی در روستاها و شهرهای کوچک ممکن است افراد را به مهاجرت به شهرها ترغیب کند، به‌علاوه آنکه افزایش جمعیت در روستاها و شهرهای کوچک ممکن است باعث بروز مشکلات اقتصادی و اجتماعی شود و افراد را به مهاجرت ترغیب کند. فرصت‌های شغلی در شهرها، امکانات بیشتر و فرصت‌های شغلی در شهرها ممکن است به دلایل اقتصادی افراد را به سمت مهاجرت حرکت دهد. تخصیص ناکافی اعتبارات و برنامه‌ریزی نادرست ممکن است باعث عدم توسعه اقتصادی و اجتماعی در مناطق مرزی و ناکارآمدی توسعه در مناطق مرزی شود. کمبود آب و مشکلات زیست‌محیطی مانند خشکسالی می‌توانند تأثیر گذار باشند و زندگی در روستاها را دشوار کنند. کمبود منابع طبیعی مانند آب و خاک حاصلخیز می‌تواند به کاهش فرصت‌های اقتصادی و کشاورزی در روستاها منجر شود. تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث شدت بیشتر مشکلات زیست‌محیطی شود، مانند خشکسالی‌ها که می‌توانند بر مزارع و برداشت‌های کشاورزی تأثیر بگذارند. ناکارآمدی در مدیریت منابع طبیعی و عدم توجه به حفظ محیط زیست می‌تواند باعث افزایش مشکلات زیست‌محیطی شود و به مهاجرت ترغیب کند. مهاجرت ناشی از عوامل مختلف و در بسیاری از موارد به ترکیب این عوامل باز می‌گردد. بنابراین، تأثیر مشکلات زیست‌محیطی در مهاجرت، تنها یکی از ابعاد این پدیده است و تداخل با دیگر عوامل اقتصادی و اجتماعی نیز وجود دارد. توسعه مناطق مرزی و مدیریت مؤثر منابع طبیعی می‌تواند به کاهش فشار مهاجرت از روستاها به شهرها کمک کند. همان گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، شبکه‌ای از کلمات کلیدی است که با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer ایجاد شده است. این شبکه به صورت بصری روابط بین مفاهیم مختلف مرتبط با کمبود آب، تغییرات اقلیمی، مهاجرت و مرزنشینان را نمایش می‌دهد. تغییرات اقلیمی به عنوان هسته مرکزی مفهوم "تغییرات

اقلیمی" در مرکز شبکه قرار دارد که نشان‌دهنده اهمیت مرکزی آن در ایجاد و تشدید سایر مسائل است. کلمات کلیدی "کمبود آب"، "آب‌های زیرزمینی"، "آلودگی آب" و "امنیت آبی" به‌طور مستقیم به "تغییرات اقلیمی" متصل هستند، که نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی به‌طور مستقیم بر منابع آبی تأثیر می‌گذارد. مفاهیمی مانند "مهاجرت"، "پناهنده"، "مهاجرت اجباری" و "مرزنشینان" نیز به‌طور گسترده با "تغییرات اقلیمی" مرتبط هستند. این ارتباط نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی یکی از عوامل اصلی مهاجرت و جابه‌جایی جمعیت است. ابعاد اجتماعی و اقتصادی مهاجرت: کلمات کلیدی "بحران اقتصادی"، "تنش‌های اجتماعی"، "سیاست"، "حکمرانی" و "توسعه پایدار" به مفاهیم مرتبط با مهاجرت متصل هستند. این نشان می‌دهد که مهاجرت تنها یک پدیده زیست‌محیطی نیست، بلکه ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی نیز دارد. تأثیر مهاجرت بر جوامع میزبان و مبدأ: کلمات کلیدی "ادغام"، "شهروندی"، "مرزها" و "تنوع فرهنگی" به مفاهیم مرتبط با مهاجرت متصل هستند. این نشان می‌دهد که مهاجرت بر جوامع میزبان و مبدأ تأثیر می‌گذارد و مسائل مربوط به ادغام، شهروندی و تنوع فرهنگی را با خود به همراه دارد. "بحران زیست‌محیطی"، "سلامت" و "بیماری" به صورت مستقیم یا غیرمستقیم با تغییرات اقلیمی و مهاجرت مرتبط هستند. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و مهاجرت بر سلامت انسان و محیط زیست تأثیر می‌گذارند. "آفریقا" و "چین" نیز به‌طور خاص در این شبکه ذکر شده‌اند که نشان‌دهنده این است که این مناطق به‌ویژه تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، کمبود آب و مهاجرت قرار دارند. شکل ۱ نمای کلی از چالش‌های پیچیده و به‌هم پیوسته تغییرات اقلیمی، کمبود آب و مهاجرت را ارائه می‌دهد. تغییرات اقلیمی به عنوان عامل اصلی کمبود آب و مهاجرت شناخته می‌شود. مهاجرت ناشی از تغییرات اقلیمی، علاوه بر چالش‌های زیست‌محیطی، مسائل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی را نیز به‌همراه دارد. این تصویر همچنین نشان می‌دهد که این چالش‌ها در سطح جهانی و منطقه‌ای وجود دارند و برای مقابله با آنها نیاز به همکاری بین‌المللی است.



شکل ۱. تجزیه و تحلیل و ارتباط کلمات کلیدی تغییرات اقلیم و مهاجرت با استفاده از نرم افزار VOS Viewer

Fig1. Analysis and correlation of keywords climate change and migration using VOS Viewer software

ترک مناطق خطرناک و جستجوی محل زندگی امن تر در مناطق دیگر سوق دهد. ناامنی در مرزها ممکن است افراد را به مهاجرت غیرقانونی و استفاده از مسیرهای غیررسمی برای عبور از مرزها ترغیب کند. ناامنی مرزی می تواند به تضعیف اقتصاد مناطق مرزی و افت وضعیت اقتصادی افراد در این مناطق منجر شود. این افت اقتصادی می تواند افراد را به جستجوی فرصت های شغلی بهتر در مناطق دیگر هدایت کند. ناامنی ممکن است به تضعیف سیستم تحصیلاتی و سلامت در مناطق مرزی منجر شود. این موضوع نیز ممکن است افراد را به ترک این مناطق و جستجوی شرایط بهتر تحصیلی و سلامتی در مناطق دیگر سوق دهد. ناامنی مرزی ممکن است باعث محدودیت در توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق مرزی شود، و این محدودیت ها می توانند به تحریم مردم از فرصت ها و خدمات مختلف در این مناطق منجر شود. به طور کلی، ناامنی مرزی می تواند به گونه های مختلفی بر مهاجرت مرزنشینان تأثیر بگذارد و نقش مهمی در تصمیمات افراد برای تغییر محل زندگی خود ایفا کند. مهاجرت به دنبال ناامنی ممکن است یکی از راه های افراد برای حفظ امنیت

امنیت محیط زیستی جزء لاینفک امنیت ملی می باشد و رابطه بسیار نزدیکی با یکدیگر دارند در بعد امنیت زیست محیطی، مسئولان حکومتی و مردم موظف هستند که نسبت به حفظ صیانت از محیط زیست و استفاده اصولی از منابع طبیعی به صورت متمرکز و هماهنگ متعهد شوند لذا حفظ و نگهداری محیط زیست از طریق فرایند توسعه پایدار می تواند تأمین کننده نیازهای مردم در زمان حاضر و آینده باشد. علاوه بر این مدیران و مردم موظف هستند نسبت به حفظ تنوع زیستی، حفظ و نگهداری زیست بوم های مختلف کوشا باشند (Safavi and Guya, 2022).

با توجه به توضیحات ارائه شده می توان نتیجه گرفت که ناامنی محیط زیستی سبب ناامنی در مناطق خصوصاً مرزها خواهد شد. ناامنی مرزی می تواند تأثیرات عمیقی بر مهاجرت مرزنشینان داشته باشد. این تأثیرات می تواند به عنوان عوامل مهم در تصمیمات افراد برای ترک مناطق مرزی و مهاجرت به مناطق دیگر تأثیر بگذارند. ناامنی در مناطق مرزی می تواند ترس و نگرانی امنیتی در مردم ایجاد کند. این ترس ممکن است افراد را به

به سال در حال کاهش می‌باشد به گونه‌ای که از حدود ۷۰۰۰ متر مکعب در ۵۰ سال قبل به حدود ۱۹۰۰ متر مکعب در حال حاضر رسیده است. با وجود افزایش جمعیت انتظار می‌رود که این مقدار آب تا سال ۲۰۲۵ به حدود ۱۳۰۰ متر مکعب برسد (Akhavan Kazemi and Veici, 2016). مناطق مرزی کشور (از جمله سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خوزستان) در بین مناطق مختلف کشور از خشکسالی و کمبود آب بیشتری رنج می‌برند. خشکسالی‌های پی در پی در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خوزستان مهمترین دلیل مهاجرت مردم می‌باشد. جمعیت هر کشوری مهمترین سرمایه ملی آن کشور می‌باشد که هم منبع تولید و هم عامل مصرف آن کشور می‌باشند و در عین حال عامل به گردش درآوردن چرخ تولید، اقتصاد و پاسداری از کشور می‌باشند و پدیده مهاجرت مردم از مناطق مرزی کشور به مناطق مرکزی کشور می‌تواند تبعات امنیتی گوناگونی را به دنبال داشته باشد (Kheyruri et al., 2023).

امنیت غذایی وابستگی زیادی به کمیت و کیفیت خاک دارد. از بین رفتن خاک مرغوب و حاصلخیز برای کشاورزی می‌تواند سبب فقر، گرسنگی و تهدید امنیت غذایی کشور شود. نابودی خاک مرغوب باعث مشکلات بسیار زیادی می‌شود. تأمین نیازهای جامعه از طریق جنگل و به تبع آن نابودی و بهره برداری بی رویه از جنگل‌ها سبب افزایش سرعت فرسایش خاک شده است به گونه‌ای که سرعت فرسایش خاک در ایران چند برابر استانداردهای جهانی می‌باشد. یک درصد حجم مخازن سدهای کشور به‌طور سالانه به دلیل رسوب‌گذاری ناشی از فرسایش خاک کم می‌شود در عین حال در شبکه آبیاری و زهکشی نیز خاک رسوب می‌کند و مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (Hosseinzadeh, 2004).

اکوسیستم‌ها، محصولات کشاورزی، توسعه اقتصادی و زندگی روزمره انسان تحت تأثیر گرما می‌باشد. دانشمندان پیش بینی می‌کنند که متوسط درجه حرارت زمین تا سال ۲۱۰۰ از ۱/۴ درجه به ۶/۳ درجه فارنهایت برسد و به‌طور میانگین بین ۳/۵ - ۸ درجه سانتی‌گراد به دلیل افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای (متان، دی‌اکسید کربن و مونوکسید کربن) افزایش پیدا کند. در سطح بین‌المللی، توافقنامه ای به‌منظور کاهش انتشار گازهای

شخصی و بهبود شرایط زندگی باشد.

از جمله مشکلات و معضلات محیط زیستی که می‌توانند سبب مهاجرت مرزنشینان و از طرفی سبب تهدید امنیت ملی شوند می‌توان به کمبود آب، کمبود خاک مرغوب، گرم شدن زمین (تغییر اقلیم)، افزایش جمعیت و مهاجرت اشاره نمود.

زندگی انسان وابسته به آب می‌باشد. در بعضی از کشور مانند ایران آب به میزان کافی وجود ندارد لذا در این کشورها سعی می‌شود از منابع آب حداکثر بهره برداری انجام شود تنها ۲/۶ درصد آب موجود بر روی کره زمین را آب شیرین تشکیل می‌دهد و مابقی آب به صورت شور و غیر قابل شرب می‌باشد. حدود نیمی از آب شیرین در یخچال‌های طبیعی در قطب شمال، جنوب و مناطق مرتفع وجود دارند و از دسترس انسان خارج هستند (Singh et al., 2021). کشور ایران مانند سایر کشورهای جهان با کمبود منابع آب و بارندگی روبه‌رو می‌باشد و دچار خشکسالی‌های پی در پی شده است. خشکسالی نتیجه کاهش پی در پی بارش برای یک بازه زمانی طولانی مدت می‌باشد که سبب بحران آب در مصارف مختلف از قبیل کشاورزی، صنعت، بهداشت می‌شود (Khasraei et al., 2024). متوسط بارندگی سالانه در کشور ایران حدود ۲۵۰ میلی‌لیتر می‌باشد که یک سوم متوسط بارندگی در جهان می‌باشد. کل مساحت کشور حدود ۱۶۵ میلیون هکتار می‌باشد که حدود ۳۷ میلیون هکتار آن اراضی حاصلخیز، ۹۰ میلیون هکتار مراتع، ۱۳ میلیون هکتار جنگل و مابقی آن اراضی بی‌ثمر، صحرا و کوهستان می‌باشند. به دلیل کمبود آب فقط ۱۸/۵ میلیون هکتار از مجموع ۳۷ میلیون هکتار کشت می‌شود که از این مقدار حدود ۸/۵ میلیون هکتار کشت آبی و ۱۰ میلیون هکتار کشت دیم می‌شوند. لازم به ذکر است که کشت آبی حدود ۸۴ میلیارد متر مکعب از مجموع ۹۳ میلیارد متر مکعب موجودی آب کشور را مصرف می‌کند که حدود ۹۳ درصد ذخایر آبی کشور می‌باشد. بخش کشاورزی، علی‌رغم خشکسالی‌های پی در پی و کمبود آب یکی از مهمترین فعالیت‌های اقتصادی کشور می‌باشد. این بخش ۱۸ درصد تولید ناخالص داخلی، ۲۵ درصد اشتغال، ۸۵ درصد تولید غذا و ۲۵ درصد تولیدات غیر نفتی را تشکیل می‌دهد. متوسط میزان سرانه آب در کشور سال

گلخانه‌ای بین کشورهای عضو امضا شده است تا از انتشار بیش از اندازه گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر جلوگیری شود. کشور ایران نیز پایبند به این توافقنامه می‌باشد. افزایش جمعیت باعث افزایش قابل توجه شهرنشینی خواهد شد. روستاییان و مرزنشینان به دلیل اینکه اکثر امکانات در مناطق شهری وجود دارد به طرف شهرها مهاجرت می‌کنند. مهاجرت مشکلات بسیار زیادی را در سطح محلی، ملی و بین‌المللی برای کشور ایجاد می‌کند در عین حال مهاجرت می‌تواند تأثیرات زیادی بر روی مرزها، اقتصاد و سیاست‌های کشور داشته باشد. افراد بومی در مناطق مرزی کشور به دلیل کمبود امکانات آموزشی، مسکن، خدمات بهداشتی و اشتغال مجبور به مهاجرت به مناطق مرکزی کشور می‌شوند که باعث خالی از سکنه شدن روستاهای مرزی کشور می‌شود که می‌تواند امنیت کشور را به خطر اندازد. علاوه بر این، مهاجرت مرزنشینان به شهرهای مرکزی کشور باعث افزایش تجمع خرده‌فرهنگ‌ها و سلاقی مختلف ایرانی در شهرهای مرکزی می‌شود که این امر می‌تواند سبب ایجاد اختلاف بین فرهنگ‌های مختلف شود (Hafeznia et al., 2009).

ایران به لحاظ قرار گرفتن در مرکز قاجاق، تروریسم، توزیع مواد مخدر و درگیری‌های فرقه‌ای و مذهبی دارای یک موقعیت ژئوپولیتیک قرار گرفته است. خشونت‌آمیزترین درگیری‌های تروریستی جهان در نزدیکی مرزهای ایران انجام می‌شود. در حال حاضر در نزدیکی مرزهای شرقی ایران، بزرگ‌ترین سیستم‌های آموزشی تروریسم در حال آموزش سرباز برای ضربه زدن به ایران می‌باشند. تغییرات آب و هوایی و بیابانی شدن گذرگاه‌های مرزی می‌تواند زمینه را برای گسترش تعارضات فرقه‌ای به داخل کشور فراهم آورد. امروزه به دلیل شرایط نامناسب اقلیمی، پاسداری و دیده بانی از مرزهای کشور بسیار مشکل می‌باشد. متأسفانه مناطق مرزی کشور در معرض خشکسالی‌های پی در پی، کمبود آب و زمین‌های کشاورزی می‌باشند و موقعیت شکننده‌ای دارند و خیم‌تر شدن این موضوع باعث مهاجرت مردم بومی از روستاها و خالی از سکنه شدن مناطق مرزی کشور خواهد شد که می‌تواند امنیت کشور را به خطر اندازد. مهاجرت سبب می‌شود تا مردم با فرهنگ و آداب و رسوم‌های مختلف

در یک جا جمع شوند و این تفاوت در بسیاری از مواقع باعث ایجاد اختلاف و آشفتگی در بین مردم می‌شود. پرداختن به پیامدهای مهاجرت به صورت جداگانه کاری خطا می‌باشد لذا پیامدهای مهاجرت بایستی در مبدأ و مقصد مورد بررسی قرار گیرند. ممکن است مهاجرت دارای آثار مثبت در نقطه مبدأ باشد اما در نقطه مقصد دارای آثار منفی باشد. مهاجرت‌ها غالباً از روستا به سمت شهرها می‌باشد یکی از تفاوت‌های بسیار زیاد مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی، وجود خدمات شهری بیشتری از قبیل بهداشت، درمان، آموزش و امکانات رفاهی در شهرها می‌باشند. هنگامی که جوان روستایی به شهر مهاجرت می‌کند در اثر رفت و آمد با شهروندان نسبت به حقوق و مطالبات خود آگاه می‌باشد و این آگاهی سبب بی‌اعتمادی و عدم پایبندی به تعهدات شهروندی و در برخی از موارد خراب‌کاری می‌شود از طرف دیگر جدا شدن جوانان از خانواده خود باعث از دست دادن حامی خود می‌شود و با توجه با عدم نظارت والدین پیامدهای حاد اجتماعی بروز خواهد کرد همچنین وجود خرده فرهنگ‌های مختلف در نقاط شهری و ضعف اعتقادات باعث انحرافات اجتماعی خواهد شد (Zali et al., 2021).

مهاجرت باعث می‌شود ترکیب سنی و جنسی جمعیت نقاط شهری از حالت تعادل خارج شود و همچنین سالخورده‌سازی روستاها سبب می‌شود امکان ازدواج دختران کاهش پیدا کند (Okah et al., 2024).

از مهمترین پیامدهای اقتصادی مهاجرت می‌توان به تفاوت دستمزدها و شرایط کاری مهاجران و کارگران بومی اشاره نمود که یک نوع دوگانگی ایجاد می‌کند و در برخی از موارد می‌تواند سبب نزاع و درگیری شود. از طرفی در بعضی از نقاط امکان کار کردن برای همگی مهاجران وجود ندارد. مهاجرت می‌تواند الگوی اشتغال و فعالیت مهاجران را تغییر دهد. باید توجه نمود در بسیاری از نقاط افراد مهاجر نسبت به بومی‌ها از دستمزد پایین‌تری برخوردار هستند ساعات بیشتری کار می‌کنند و از تسهیلات و حمایت‌های قانونی کمتری برخوردار هستند لذا باعث درگیری و نزاع می‌شود. مناطق مرزی کشور به دلایلی از قبیل رکود اقتصادی، خشکسالی‌های پی‌درپی، نیروی مازاد کار و وجود زمینه‌های اشتغال بهتر در مناطق شهری باعث مهاجرت مرزنشینان به مناطق مرکزی کشور

مسائل مشترک می‌باشد. این اقدامات می‌توانند بهبود وضعیت اقتصادی و محیط زیستی مناطق مرزی را فراهم کنند و به کاهش فشارهای اقتصادی و اجتماعی در این مناطق کمک نمایند. همچنین، همکاری میان مرزنشینان، جوانان، و سازمان‌های دولتی و غیردولتی می‌تواند نقش مهمی در حل مسائل و توسعه پایدار مناطق مرزی ایفا کند. مهاجرت از مناطق مرزی به دلیل مجموعه‌ای از عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی، و اجتماعی به‌ویژه کمبود آب و خاک حاصلخیز، خشکسالی‌های مکرر، و ناامنی مرزی رخ می‌دهد. این عوامل نه‌تنها زندگی مردم این مناطق را تحت تأثیر قرار داده‌اند، بلکه تهدیداتی برای امنیت ملی و اجتماعی کشور ایجاد کرده‌اند. برای کاهش فشار مهاجرت، راه‌حل‌های پایدار مانند بهینه‌سازی مصرف آب، تقویت کشاورزی پایدار، و ایجاد فرصت‌های شغلی محلی ضروری است. همکاری بین‌المللی و تلاش برای حفظ منابع طبیعی نیز می‌تواند به توسعه مناطق مرزی و کاهش مهاجرت کمک کند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، مشکلات محیط‌زیستی، کمبود آب، و تغییرات اقلیمی در ایران و جهان به تهدیدی جدی برای امنیت ملی و اجتماعی تبدیل شده‌اند. این مشکلات نه‌تنها باعث کاهش منابع طبیعی و کاهش کیفیت زندگی در مناطق مرزی و شهری شده‌اند، بلکه مهاجرت‌های ناشی از آنها می‌تواند به بحران‌های اجتماعی و اقتصادی در داخل کشورها و حتی بین‌المللی منجر شود. برای مقابله با این چالش‌ها، لازم است اقدامات مؤثری در زمینه مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیستی انجام شود. دولت‌ها باید برنامه‌های جامع و پایدار برای حفظ منابع آبی، کنترل آلودگی هوا، و مدیریت صحیح خاک اجرا کنند. همچنین، تقویت آموزش عمومی و افزایش آگاهی مردم درباره اهمیت حفظ محیط‌زیست می‌تواند نقش مهمی در کاهش آسیب‌ها و افزایش مشارکت مردم در حفاظت از محیط‌زیست داشته باشد. علاوه بر این، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و پایدار مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت هوشمند آب، و افزایش بهره‌وری کشاورزی از طریق تکنیک‌های مدرن، می‌تواند به کاهش فشار بر منابع طبیعی کمک کند. همچنین، ترویج

می‌شود و می‌تواند پیامدهای مختلفی برای مناطق مبداء و مقصد داشته باشد (Adeniran, 2020). مشکلات مختلف محیط زیستی از قبیل خشکسالی‌های پی‌درپی، کمبود آب و زمین‌های حاصلخیز اثرات نامطلوب بسیار زیادی در بخش‌های اقتصادی کشور دارد. آب کافی از ملزومات بسیار اساسی برای تولید محصولات کشاورزی و زراعی می‌باشد. کمبود آب و زمین‌های حاصلخیز سبب کاهش سطح زیر کشت و تولید محصولات زراعی می‌شود و به‌تبع آن درآمد کشاورزان و شاغلین این بخش به‌طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. امروزه کمبود آب و زمین‌های مرغوب کشاورزی در مناطق مرزی کشور به بحران تبدیل شده است به‌گونه‌ای که مرزنشینان به دلیل کاهش قابل توجه درآمدشان مجبور به مهاجرت به مناطق مرکزی کشور می‌شوند (Sobczak-Szelc and Fekih, 2020) و این امر سبب خالی از سکنه شدن بسیاری از روستاهای مرزی کشور می‌شود که تبعات امنیتی گوناگونی برای کشور دارد. از طرفی مهاجرت مرزنشینان می‌تواند پیامدهای مختلفی نظیر پیامدهای اجتماعی و فرهنگی چه در نقطه مبدأ و چه در نقطه مقصد داشته باشد لذا بایستی برای جلوگیری از بروز هر گونه بحران و ناامنی ناشی از مهاجرت مرزنشینان، برنامه ریزی و مدیریتی انجام شود. این مسائل نشان‌دهنده نیاز به راه‌حل‌های جدی در زمینه‌های مختلف می‌باشند. برخی از اقدامات ممکن برای مقابله با این چالش‌ها عبارتند از: ارتقا سیستم‌های آبیاری بهینه و استفاده از تکنولوژی‌های آبیاری نوین برای کاهش مصرف آب، اجرای طرح‌ها و پروژه‌های حفاظت از آب و جلوگیری از فرسایش خاک، ترویج روش‌های مدیریت منابع آب درست و پایدار در کشاورزی. توسعه کشاورزی پایدار و ارائه حمایت‌ها و تسهیلات به کشاورزان برای استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار و مدیریت هوشمند منابع، ارتقا صنایع محلی و اشتغال‌زایی به‌منظور کاهش فشار مهاجرت از مناطق مرزی به شهرها، سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری‌های جدید و ایجاد شرایط مناسب برای رشد اقتصاد دانش‌بنیان در مناطق مرزی، استفاده از مناظر طبیعی و فرهنگ محلی برای توسعه گردشگری مسئولانه و پایدار و تشویق به همکاری بین ایران و همسایگان در زمینه‌های مختلف به‌منظور مدیریت مشترک منابع و حل

in the metropolises of Iran. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 72, 1-9. DOI:10.2495/SC040191

Khasraei, A., Zare Abyaneh, H., Jovzi, M., & Albaji, M. (2024). Long-term monitoring and evaluation of drought and determining the accuracy of its indicators in western Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-24. DOI: 10.1007/s10668-024-04608-3

Kheyri, Y., Sharafati, A., Neshat, A. (2023). The socioeconomic impact of severe droughts on agricultural lands over different provinces of Iran. *Agricultural Water Management*, 289, 108550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108550>

Okah, P. S., Okwor, R. O., Aghedo, G. U., Iyiani, C. C., Onalu, C. E., Abonyi, S. E., & Chukwu, N. E. (2024). Perceived Factors Influencing Younger Adults' Rural-Urban Migration and its Implications on Left Behind Older Parents in Nsukka LGA: Practice Considerations for Gerontological Social Workers. *Journal of Population Ageing*, 17(1), 91-109. DOI: 10.1007/s12062-023-09414-9

Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Review of the effects of the anthropogenic on the wetland environment. *Applied Water Science*, 12(12), 260. DOI: 10.1007/s13201-022-01767-4

Paleri, P. (2022). Health Security (Healthsec) (hs). In *Revisiting National Security: Prospecting Governance for Human Well-Being* (pp. 773-813). Singapore: Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-16-8293-3_19

Sayadi, M. H., Sayyed, M. R. G., & Kumar, S. (2010). Short-term accumulative signatures of heavy metals in river bed sediments in the industrial area, Tehran, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 162, 465-473. DOI: 10.1007/s10661-009-0810-3

سیاست‌های پایدار در سطح جهانی و منطقه‌ای می‌تواند به مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش مهاجرت‌های ناشی از محیط‌زیست کمک کند. در نهایت، امنیت ملی و محیط‌زیستی به‌طور جدی به یکدیگر وابسته هستند. بدون توجه به حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت صحیح منابع طبیعی، نمی‌توان امنیت پایدار و رفاه اجتماعی را تضمین کرد. از این رو، تدوین سیاست‌ها و راهبردهای مشترک بین‌المللی و ملی برای مقابله با این چالش‌ها امری ضروری است.

منابع

Adeniran, A. I. (2020). *Migration crises in 21st century Africa: Patterns, processes and projections*. Springer Nature. Doi:10.1007/978-981-15-6398-0

Akhavan Kazemi, M., and Veici, S. (2016). Analysis of the Impacts of Climate Change and its Challenges and Opportunities on Regional Crisis. *Human Geography Research*, 48(1), 69-87 [In Persian]. DOI: 10.22059/jhgr.2016.51588

Ettaat, J., and Mousavi, Z. (2011). The Relationship between Regional Security and Development of Political Spaces Case Study: Sistan and Baluchistan Province in Iran. *Geopolitics Quarterly*, 7(21), 70-87. Dor: 20.1001.1.17354331.1390.7.21.3.4

Hafeznia, M.R., Ahmadipour, Zahra, & Gholizadeh, A.V. (2009). Study and Analysis of The Role Of Population In Geopolitical Weight Iran. *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 13(1 (60)), 129-136. URL: <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-6671-en.html>

Haghshenas Haghighi, M., and Motagh, M. (2024). Uncovering the impacts of depleting aquifers: A remote sensing analysis of land subsidence in Iran. *Science Advances*, 10(19), eadk3039. doi:10.1126/sciadv.adk3039

Hosseinzadeh, S. R. (2004). Environmental crises

- Singh, G., Singh, A., Singh, P., & Mishra, V. K. (2021). *Impact of climate change on freshwater ecosystem. In Water Conservation in the Era of Global Climate Change* (pp. 73-98). Elsevier. DOI: [10.1016/B978-0-12-820200-5.00017-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00017-8)
- Sobczak-Szelc, K., & Fekih, N. (2020). Migration as one of several adaptation strategies for environmental limitations in Tunisia: evidence from El Faouar. *Comparative Migration Studies*, 8(1), 1-20. DOI: [10.1186/s40878-019-0163-1](https://doi.org/10.1186/s40878-019-0163-1)
- Taghizadeh, F., Mokhtarani, B., & Rahmanian, N. (2023). Air pollution in Iran: The current status and potential solutions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6), 737. DOI: [10.1007/s10661-023-11296-5](https://doi.org/10.1007/s10661-023-11296-5)
- Tahbaz, M. (2016). Environmental challenges in today's Iran. *Iranian Studies*, 49(6), 943-961. <https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1241624>
- Zali, N., Heydari, S., & Abizade, S. (2021). Investigating the interrelationship between security and development in Iran's border regions (Case study: counties of Sistan and Balouchestan province). *Human Geography Research*, 53(3), 1143-1163 [In Persian]. DOI: [10.22059/jhgr.2020.307177.1008156](https://doi.org/10.22059/jhgr.2020.307177.1008156)



Scientific Journal

Journal of Drought and Climate change Research

Volume 3, Issue 5, Serial Number 9, Spring 2025, 1-148.

Print ISSN: 2980-9819

Online ISSN: 3092-6076

license number of the Ministry of Culture and Islamic Guidance: 92041

Editor-in-Chief: Dr. Abolfazl Akbarpour

English Text Editor: Dr. Ali Mohtashami

Manager: Dr. Farhad Azarmi-Atajan

Executive Director: Saeide Hoseinabadi

Director-in-Charge: Dr. Mostafa Yaghoobzadeh

Publisher: University of Birjand-Research Group of Drought and Climate Change and Iranian water resources association (IR-WRA)

Assistant Editor: Dr. Fatemeh Poursalehi

Page Layout: Azar Mehr Nonegah Company

International Editorial Board:

Dr. Sangam Shrestha, Professor, Water Engineering and Management, Asian Institute of Technology.

Dr. Karim Abbaspour, 2w2e Environmental Consulting GmbH, Duebendorf, Switzerland.

Dr. Nasrin Salehnia, Department of Natural Resource Ecology And Management, Iowa State University, Ames, Iowa, United States.

Editorial Board:

Dr. Kumars Ebrahimi, Professor, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran.

Dr. Saeid Eslamian, Professor of Water Engineering, Dept., Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Dr. Abolfazl Akbarpour, Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

Dr. Morteza Esmailnejad, Department of Geography, University of Birjand, Birjand, Iran.

Dr. Omid Bozorg-Haddad, professor Water Engineering Group, University of Tehran. Tehran, Iran.

Dr. Bahram Saghafian, Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Dr. Ali Shahnazari, Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Dr. Ali Shahidi, Professor of Irrigation and Drainage, University of Birjand, Birjand, Iran.

Dr. Mohammad Hossein Sayadi, professor, Environmental Sciences Department, Shahid Bahonar University of Kerman.

Dr. Reza Kerachian, Professor, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Dr. Saeed Morid, Professor. Department of Water Engineering. Modares University Tehran. Iran.

Dr. Ali Reza Massah Bavani, Associate Professor, Department of Water Engineering. University of Tehran. Tehran. Iran.

Dr. S. Aboalfazl Masoodian, Professor, Department of Natural Geography-University of Isfahan.

Dr. Seyed Mohammad Jafar Nazemosadat, Professor of Department of Water Engineering. Director of Oceanic and Atmospheric Research Center. Shiraz University, Shiraz, Iran.

Dr. Mostafa Yaghoobzadeh, Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

International Advisory Board:

Dr. Mojtaba Sadegh, Department of Civil Engineering, Boise State University Senior Fellow, United Nations University Institute for Water, Environment and Health.

Address: Iran-South Khorasan - Birjand - 5th km of Kerman road - Agricultural Science and Natural Resources Campus, University of Birjand, Birjand, Iran

Tel: +98 56 31027609

Email: jdcir@birjand.ac.ir

Web: <https://jdcir.birjand.ac.ir/>

Journal of Drought and Climate change Rrsearch JDCR



Spring, 2025, Vol. 3, No.9

- The effect of different biological manure treatments on the viability and growth rate of gum tree and hybrid poplar seedlings in an arid area** 1
Hanieh Shahghobadi, Sanam Sharifi Tabesh, Vahid Etemad, Mohsen Javanmiri Pour, Anoushirvan Shirvany, Mohammad Matinizadeh
- Investigation the Impact of Climate Change on the Aridity in Iran with Population Exposure Approach** 17
Hadi Ramezani Etedali, Sakine Koohi
- Analyzing the Relationship between Soil Temperature parameters of Meteorological stations of Kermanshah Province with Teleconnection Patterns** 39
Firooz Mojarrad, Mohammad Ahmadi, Rasool Najafi
- Feasibility study of the cultivation changes from agronomy to medicinal plants in drought conditions: the case of Margoon region** 63
Seyyed Abi Talib Mousavi Moayed, Mehdi Nooripoor, Maryam Sharifzadeh, Maryam Afereydouni
- Meteorological Drought Risk Monitoring and Zoning Using Random Forest Model(Case Study: Ardabil Province)** 83
Ahmad Hajarian
- Feasibility Study for the Development of Greenhouse Complexes from a Climatic Perspective** 95
Samar Behrouzinia, Samira Vahedi, Nader Abbasi, Farshid Taran
- Urban Heat Island Mitigation Strategies: Solutions and Challenges in Improving the Urban Environment** 115
Hossein Mansourian, Raziye Askarzadeh Torghabeh
- Examining of the Role of Environmental Issues and Climate Change in the Migration of Border Residents and National Security** 135
Ahmad Anarki Mohammadi