Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 4 - Serial Number 22, Winter 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_226570.html?lang=en

Comparison of AHP and TOPSIS Methods in Zoning Lands Suitable For Rainfed Wheat Cultivation in the Balekhlo-Chai Basin of Ardabil

Roghaye Azari Sanjebad [1], **Bromand Salahi** [*2]
1. MSc Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
ID: https://orcid.org/0009-0001-4395-1004
2. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
ID: https://orcid.org/0000-0003-4826-6185

Received Date: 01 May 2025 **Accepted Date:** 03 August 2025

Abstract

Background and Objective: Wheat, as one of the strategic agricultural products and staple grains in the global food basket, plays a key role in ensuring food security and livelihoods of human societies. According to the report of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), wheat is the third most important cereal crop in terms of production in the world after corn and rice, which plays a fundamental role in providing calories and protein needed by humans. Considering the strategic importance of wheat and the increasing need to increase its production, locating and optimally allocating suitable lands for cultivating this crop is considered one of the main priorities in the agricultural sector. The aim of this study is to compare the AHP and TOPSIS methods in order to zone lands suitable for rainfed wheat cultivation in the Balekhlo-Chai watershed of Ardabil.

Methodology: In this study, precipitation, temperature, altitude, slope and soil depth data of the Balekhlo-Chai watershed of Ardabil were used. Then, by processing the data in a GIS environment, a map of information layers was prepared for each of the criteria. The AHP method was used to determine the weight of the criteria and the TOPSIS model was used to prioritize the options. Then, by overlapping and combining the studied criteria, the final map of areas susceptible to rainfed wheat cultivation was determined.

Findings and Results: The results of data analysis using the AHP method showed that about 37 percent of the land in the Balekhlo-Chai watershed is very suitable for rainfed wheat cultivation, 22 percent suitable, 24 percent slightly suitable, and 17 percent unsuitable. Also, based on the TOPSIS method, about 37 percent of the area of the Balekhlo-Chai watershed is suitable, 32 percent slightly suitable, and 31 percent unsuitable for rainfed wheat cultivation. The results of the AHP method indicate that the slope criterion with a weight of 0.220, the height with a weight of 0.144, the annual precipitation with a weight of 0.122, and the precipitation during the ripening and grain-setting stages with a weight of 0.106 are the most important criteria in the stages of wheat cultivation in the Balekhlo-Chai watershed. Also, the results of the TOPSIS model prioritization showed that Nir station is the closest option to the positive ideal, followed by Sarein and Ardabil, respectively.

Keywords: Agroclimate, AHP, Balekhlo-Chai, Rainfed Wheat, TOPSIS, Zoning.

[*] **Corresponding Author:** Salahi@uma.ac.ir
Cite this article: Azari Sanjebad, R. and Salahi, B. (2026). Comparison of AHP and TOPSIS Methods in Zoning Lands Suitable For Rainfed Wheat Cultivation in the Balekhlo-Chai Basin of Ardabil. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(4), 202-221.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۴، شماره پیاپی ۲۲، زمستان۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_226570.html?lang=fa

مقایسه روش‌های AHP و TOPSIS در پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گندم دیم در حوضه بالخلوچای اردبیل

رقیه آذری سنجبد[1] برومند صلاحی [2*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
ID: https://orcid.org/0009-0001-4395-1004

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
ID: https://orcid.org/0000-0003-4826-6185

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۵/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی و غلات پایه در سبد غذایی جهانی، نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی و معیشت جوامع انسانی ایفا می‌کند. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، گندم پس از ذرت و برنج، سومین محصول غلات مهم از نظر تولید در جهان است که نقش اساسی در تأمین کالری و پروتئین مورد نیاز انسان دارد. با عنایت به اهمیت راهبردی گندم و نیاز روزافزون به افزایش تولید آن، مکان‌یابی و اختصاص بهینه اراضی مستعد برای کشت این محصول، از اولویت‌های اصلی در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. هدف این پژوهش مقایسه روش‌های AHP و TOPSIS به‌منظور پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گندم دیم در حوضه آبریز بالخلوچای اردبیل است.

روش‌شناسی: در این تحقیق از داده‌های بارش، دما، ارتفاع، شیب و عمق خاک حوضه آبریز بالخلوچای اردبیل استفاده گردید. سپس با پردازش داده‌ها در محیط GIS، نقشه لایه‌های اطلاعاتی برای هر یک از معیارها تهیه گردید. برای مشخص شدن وزن معیارها از روش AHP و برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از مدل TOPSIS استفاده گردید. سپس با هم‌پوشانی و تلفیق معیارهای مورد مطالعه، نقشه نهایی مناطق مستعد کشت گندم دیم تعیین گردید.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با روش AHP نشان داد که برای کشت گندم دیم در حوضه آبریز بالخلوچای حدود ۳۷ درصد اراضی، خیلی مناسب، ۲۲ درصد مناسب، ۲۴ درصد کمی مناسب و ۱۷ درصد نامناسب است. همچنین بر اساس روش TOPSIS، حدود ۳۷ درصد از مساحت حوضه بالخلوچای مناسب، ۳۲ درصد کمی مناسب و ۳۱ درصد نامناسب برای کشت گندم دیم است. نتایج بررسی با روش AHP بیانگر آن است که معیار شیب با وزن ۰/۲۲۰، ارتفاع با وزن ۰/۱۴۴، بارندگی سالانه با وزن ۰/۱۲۲ و بارش مرحله رسیدگی و دانه‌دهی با وزن ۰/۱۰۶ مهم‌ترین معیار در مراحل کشت گندم در حوضه آبریز بالخلوچای هستند. همچنین نتایج اولویت‌بندی حاصل از مدل تاپسیس نشان داد که ایستگاه نیر نزدیک‌ترین گزینه به ایده‌آل مثبت و بعد از آن به ترتیب سرعین و اردبیل قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: اقلیم کشاورزی، بالخلوچای اردبیل، پهنه‌بندی، گندم دیم، TOPSIS، AHP.

* **نویسنده مسئول:** salahi@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: آذری سنجبد, رقیه و صلاحی, برومند . (۱۴۰۴). ۱۴.مقایسه روش‌های AHP و TOPSIS در پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گندم دیم در حوضه بالخلوچای اردبیل. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۴), ۲۰۲-۲۲۱.

۱- مقدمه و بیان مسأله

یکی از ارکان مهم رشد متوازن هر کشور، عرضه غذای کافی و به‌صرفه برای مردم آن جامعه می‌باشد (رسولی و همکاران، ۱۳۸۴). در شرایط کنونی مطابق با محدودیت منابع و رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضای محصولات غذایی، ایجاب کرده که از منابع موجود به نحو مطلوب استفاده گردد (میلاد قبادی راد، ۱۴۰۰). کشاورزی از ارکان اساسی توسعه اقتصاد کشور است که هم‌اکنون، بیش از ۲۵ درصد از تولیدات ناخالص داخلی، ۲۵ درصد مربوط به شغل، ۸۰ درصد از مصرف غذایی، ۳۵ درصد از نیازهای صنایع کشور از مسیر فعالیت‌های کشاورزی فراهم می‌شود (مؤمن پور و بازگیر، ۱۴۰۰).

بنابراین برای تأمین غذا و خودکفایی کشاورزی، باید به بهره‌برداری بهینه از زمین‌های کشاورزی با توجه به شرایط طبیعی و اقلیمی هر منطقه پرداخت. یکی از اهداف مهم برنامه‌های توسعه کشور، بهبود وضعیت تغذیه و کاهش واردات محصولات کشاورزی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ لذا شناخت پتانسیل اقلیمی و نیازهای آب و هوایی گیاهان، یکی از عوامل مهم در افزایش کارایی و بهره‌وری تولیدات کشاورزی به شمار می‌رود. آگاهی از پارامترهای اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان، نقش بسزایی در افزایش تولیدات کشاورزی دارد. این موضوع به‌ویژه در شیوه‌های کشاورزی دیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. (عباسی و همکاران، ۱۳۹۲) با توجه به سهم بالای کشت گندم دیم در کشور، آگاهی از ویژگی‌های دما و بارش مناطق مختلف که دو عامل تأثیرگذار برکشت دیم هستند، بسیار حائز اهمیت است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۹). گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک و مهم‌ترین محصول زراعی، نقش بسزایی در تأمین امنیت غذایی کشور دارد؛ بنابراین شناخت دقیق نیازهای اکو فیزیولوژیکی گندم و شناسایی عوامل محیطی و ویژگی‌های اقلیمی مناطق مستعد کشت گندم دیم، می‌تواند در شناسایی محدودیت‌ها و ظرفیت‌های محیطی برای تولید این محصول مهم کمک شایانی نماید (اصغری و همکاران، ۱۴۰۳) (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۴). کشت محصولات زراعی دیم در مناطقی که فاقد شرایط مناسب برای این نوع کشت هستند، در سال‌های اخیر موجب بروز بحران‌هایی برای جوامع روستایی و محیط‌زیست شده است. تنها راه جلوگیری از ادامه این روند، شناسایی دقیق پهنه‌های مستعد کشت محصولات دیم است. هرساله تعداد زیادی از کشاورزان بدون توجه به ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های اقلیمی و زیست‌محیطی منطقه، اقدام به کشت محصولات دیم می‌کنند که منجر به شکست و زیان سنگین می‌شود. ضروری است پهنه‌بندی دقیق مناطق مستعد کشت دیم صورت گیرد و کشاورزان تنها در این مناطق، کشت دیم را آغاز کنند. با توجه به اینکه تاکنون تفکیک مناطق کشت در کشورمان عمدتاً بر اساس روش‌های سنتی صورت گرفته است، در این پژوهش سعی شده است بر پایه پارامترهای اقلیمی و زمینی، نواحی مناسب برای کشت و تولید گندم دیم، با استفاده روش‌های نوین GIS و مدل‌های AHP و TOPSIS مشخص گردد. همچنین در پژوهش حاضر سعی بر آن است که راهکارهای کاربردی جهت بهره‌برداری بهینه از استعداد منطقه جهت کشت گندم دیم ارائه گردد.

۲- مبانی نظری

گندم بانام علمی (Triticum[1]) یکی از مهم‌ترین غلات در سطح جهان است که بخش عمده‌ای از رژیم غذایی مردم را تشکیل می‌دهد. گندم در گونه‌های وحشی و اهلی وجود دارد، اما گندمی که امروزه به‌طور گسترده توسط کشاورزان کشت می‌شود، گونه اصلاح‌شده‌ای است که توسط محققان آمریکایی ایجادشده است؛ زیرا شکل واقعی گندم امروزی با گندم وحشی درگذشته، کاملاً متفاوت است؛ بنابراین، گندم کنونی نتیجه تلاش‌های مداوم بشر در اهلی‌سازی و اصلاح گونه‌های وحشی این گیاه در طول تاریخ است. این محصول بیشترین مساحت زیر کشت محصولات غذایی را به خود اختصاص داده است (کاوالن جیورسا و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۱- مراحل فنولوژی

فنولوژی زراعی، به‌عنوان یکی از حوزه‌های وابسته به هواشناسی کشاورزی، به بررسی نقش شرایط اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی خاک در تعیین زمان و کیفیت رخدادهای زیستی مرتبط با رشد گیاهان زراعی می‌پردازد (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۳).

1-Triticum Avestivum

مراحل فنولوژیکی گندم به شرح زیر است :جوانه‌زنی، سبز شدن، مرحله سه برگی، مرحله پنجه‌زنی، مرحله خواب زمستانه، مرحله ساقه رفتن، مرحله سنبله رفتن (خوشه‌دهی)، مرحله گل‌دهی و مرحله رسیدن دانه (شیری شدن، خمیری شدن، رسیدن کامل) (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷). این مراحل به ترتیب طی شده و چرخه رشد گندم را تشکیل می‌دهند. شناخت دقیق این مراحل و تأثیرپذیری آن‌ها از شرایط محیطی، از اهمیت بالایی در مدیریت زراعی گندم برخوردار است (Zadoks Scale, 1974).

شرایط آب و هوا یکی از پارامترهای بسیار مهم و مؤثر در طول حیات بشر بوده است. این مسئله ریشه در تأثیرگذاری تعیین‌کننده پارامترهای اقلیمی بر سیستم‌های زیستی، به‌ویژه در حوزه تولیدات زراعی و باغی دارد (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۳). عملکرد محصولات کشاورزی تحت تأثیر مستقیم شرایط آب و هوایی ازجمله بارش، دما، نور خورشید و رطوبت قرار دارد؛ بنابراین عوامل آب و هوایی نقش تعیین‌کننده‌ای در بهره‌وری و راندمان تولیدات کشاورزی ایفا می‌کنند. شناخت و بررسی الگوهای آب و هوایی همواره از اهمیت ویژه‌ای برای فعالیت‌های کشاورزی و تأمین امنیت غذایی برخوردار بوده است (Tubiello, 2007).

هر گیاهی مراحل یا دوره‌های حساسی نسبت به عوامل آب و هوایی مانند گرما، سرما، رطوبت و غیره دارد. شناخت این مراحل حساس، امکان تصمیم‌گیری مناسب برای کشت محصولات را فراهم می‌کند. یکی از مشکلات کشاورزی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، نوسان عملکرد تولیدات دیم در سال‌های مختلف و مناطق متفاوت می‌باشد که علت اصلی آن تحولات آب و هوایی سالانه است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷). مطالعات فیزیولوژی رشد گندم نشان می‌دهد برخی پارامترهای اقلیمی در مراحل خاص رشد مانند جوانه‌زنی، ساقه رفتن و گلدهی، تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد دارند؛ بنابراین شناخت دقیق مراحل حساس رشد و تأثیرپذیری آن‌ها از عوامل اقلیمی، برای مدیریت بهینه کشاورزی دیم حائز اهمیت است (اکبری، ۱۳۹۵).

تنظیم شرایط اقلیمی بهینه برای رشد گیاهان کشاورزی و باغی، یکی از عوامل کلیدی در تبیین الگوی توزیع فعلی آن‌ها به شمار می‌رود. شرایط اقلیمی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد و توسعه گیاهان زراعی و باغی محسوب می‌شود. مؤلفه‌هایی نظیر میزان تابش روزانه، مقدار بارش، نوسانات دمایی طی فصل رشد و شدت دریافت انرژی خورشیدی، همگی به‌صورت مستقیم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیرگذار هستند. اگرچه کشاورزان در برخی شرایط امکان مدیریت و اصلاح برخی از این عوامل را دارند، اما فراهم‌سازی تمامی شرایط مطلوب اقلیمی در محیط طبیعی، مستلزم صرف هزینه‌های بالایی است. در مقیاس جهانی نیز، تفاوت‌های اقلیمی نقش تعیین‌کننده‌ای در تنوع مکانی پراکنش محصولات کشاورزی ایفا می‌کنند. (ذکی‌زاده، ۱۳۹۰) در حدود ۱۵ درصد از اراضی کشاورزی استان اردبیل زیر کشت گندم دیم قرار دارد؛ در حالی‌که بهره‌وری این محصول راهبردی به شرایط اقلیمی حاکم و ویژگی‌های پستی و بلندی منطقه وابسته است (رسولی و همکاران، ۱۳۸۴). حوضه آبخیز بالخلوچای برای کشت این محصول از نظر شرایط اقلیمی و توپوگرافی ارزیابی شد.

۳- پیشینه پژوهش

طی سال‌های اخیر، شمار زیادی از پژوهشگران ایرانی و خارجی به بررسی الگوهای مکان‌یابی بهینه برای کشت محصولات زراعی، با استفاده از پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی اراضی، پرداخته‌اند. (ذکی‌زاده، ۱۳۹۰) که برخی از آن‌ها بررسی می‌شوند. در پژوهشی که توسط Sathiyamurthi و همکاران (۲۰۲۴) در ناحیه کریشناگیری هند انجام شد، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS در محیط GIS به‌منظور پهنه‌بندی اراضی مستعد برای کشت گندم استفاده گردید. در این مطالعه، پارامترهای اقلیمی مانند بارندگی سالانه و دمای متوسط سالانه، همراه با عوامل توپوگرافی، به‌عنوان معیارهای اصلی در تحلیل به کار گرفته شدند. یافته‌ها حاکی از آن بود که حدود ۴۳,۲ درصد از منطقه در طبقه «بسیار مناسب»، نزدیک به ۳۰ درصد «مناسب»، حدود ۱۵,۲ درصد در رده «محدود» و بخش باقی‌مانده در طبقه «نامناسب» برای کشت گندم قرار گرفتند. Yaman & Mert(۲۰۲۵) در پژوهشی که در منطقه konay در ترکیه انجام دادند، از روش تلفیقی AHP و TOPSIS در محیط GIS جهت پهنه‌بندی اراضی کشت گندم دیم استفاده نمودند در این پژوهش از داده‌های اقلیمی مانند؛ بارندگی و دما، از معیارهای زمینی مثل شیب، ارتفاع، بافت خاک و PH استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد اراضی که در منطقه مناسب و بسیار مناسب قرار گرفتند، بیش از ۴۰ درصد و در حالی که نزدیک به ۲۵ درصد اراضی در طبقه نامناسب قرار گرفتند. در ایران نیز تحقیقات زیادی در این رابطه صورت گرفته است. در پژوهشی که توسط سبحانی و کریم‌زاده (۱۳۹۴) در استان

کردستان انجام شد، قابلیت اراضی برای کشت گندم دیم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که حدود ۲۵ درصد از مساحت استان، عمدتاً در بخش‌های شمال غربی و غربی، به دلیل برخورداری از شرایط رطوبتی مطلوب، در طبقه اراضی مناسب قرار دارند. در مقابل، ۴۷ درصد از نواحی شرقی استان دارای شرایط نسبتاً مناسب بوده و ۲۸ درصد از اراضی واقع در مناطق قروه و بیجار به‌عنوان نواحی نامناسب برای کشت این محصول شناخته شدند. رستگار محمدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز با هدف پهنه‌بندی قابلیت کشت گندم دیم در استان کرمانشاه، مطالعه‌ای را در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام دادند. نتایج این بررسی نشان داد که نواحی جنوب غرب، شمال غرب و غرب استان از بالاترین میزان شایستگی برای کشت گندم دیم برخوردار هستند. در مطالعه‌ای که توسط امیری کیا و ناجی دومیرانی (۱۳۹۶) در استان فارس انجام شد، هدف اصلی تعیین مناطق دارای پتانسیل مناسب برای تولید گندم بود. آن‌ها با به‌کارگیری تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHPو TOPSIS در محیطGIS ، به تحلیل تناسب اراضی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که نواحی شمال غربی و غربی استان دارای شرایط بسیار مطلوب برای کشت گندم هستند. افزون بر این، در این پژوهش با بهره‌گیری از مدل TOPSIS و با در نظر گرفتن شاخص‌هایی نظیر بارندگی، دمای هوا، ارتفاع، شیب و عمق خاک، قابلیت کشت گندم دیم در حوضه آبریز بالخلوچای مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین با استفاده هم‌زمان از دو مدل تحلیلی و گستره وسیع‌تری از معیارها، رویکرد جامع‌تری را دنبال کرده است.

۴- روش پژوهش

۴-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های اقلیمی (دمای سالانه، بارندگی سالانه، بارندگی جوانه‌زنی، بارندگی پنجه‌زنی، بارندگی زمستانه، بارندگی گل‌دهی و بارندگی دانه‌دهی) و داده‌های زمینی شامل توپوگرافی (ارتفاع، شیب) و خاک (عمق خاک) است. با وجود محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها، برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطحی و پوشش کامل حوضه، از درون‌یابی مکانی بهره بردیم. این کار به‌منظور تخمین مقادیر اقلیمی (مانند بارش) در نقاط فاقد ایستگاه انجام شده است. روش IDW به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در این پژوهش انتخاب شده و روش IDW برای تخمین سطحی پارامترهای اقلیمی در GIS استفاده شده و سپس نتایج حاصل، طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شده‌اند. در این تحقیق، ترکیبی از مدل‌های AHP و TOPSISدر محیط نرم‌افزار ArcGIS برای تلفیق و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی به کار گرفته شده است. روند کار به‌صورت زیر انجام شده:

۱. جمع‌آوری و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی شامل متغیرهای اقلیمی (مثل بارندگی، دما) و زمینی (مثل شیب، ارتفاع، عمق خاک) در محیط GIS انجام شد.
۲. ابتدا، وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفت. در این مرحله، ماتریس مقایسه زوجی تشکیل و وزن هر معیار محاسبه شد.
۳. روش TOPSIS برای تلفیق لایه‌ها و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها (پیکسل‌ها یا مناطق) استفاده شد. این روش با محاسبه فاصله هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، امتیاز نهایی هر پیکسل را تعیین کرد.
۴. در مرحله نهایی، با استفاده از تحلیل فضایی (Spatial Analysis) و ابزار همپوشانی (Overlay Analysis) در نرم‌افزار ArcMap، لایه‌های وزنی تلفیق شدند تا نقشه نهایی پهنه‌بندی اراضی تهیه شود

پایگاه داده‌های اقلیمی از آمار و گزارشات ۳ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی استان، برای ناحیه مورد مطالعه گردآوری شده‌اند. در ادامه با نرمالیزه کردن و اجرای محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel شروع به تشکیل پایگاه داده در محیط GIS گردید (مؤمن پور و بازگیر، ۱۴۰۰). مشخصات ایستگاه‌های اخذ پارامترهای اقلیمی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ایستگاه‌های اقلیمی مورداستفاده در پژوهش

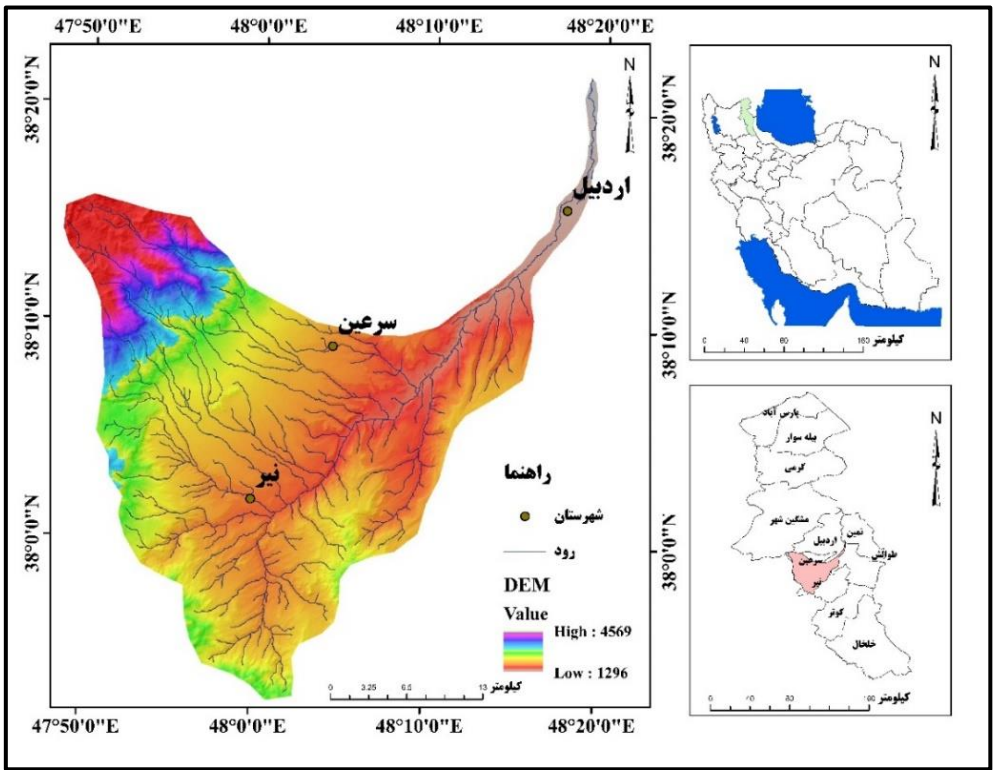
ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اردبیل	سینوپتیک	۳۸ ۱۹	۴۸ ۰۲	۱۳۳۵
نیر	سینوپتیک	۳۸ ۰۲	۴۸ ۰۳	۱۵۹۳
سرعین	سینوپتیک	۳۸ ۰۹	۴۸ ۰۵	۱۷۵۰

منبع: نگارندگان.

پایگاه داده‌های منابع زمینی نیز شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM) که از تصاویر SRTM استخراج گردید. با توجه به قابلیت این داده اطلاعاتی، لایه‌های شیب و سطوح ارتفاعی در محیط GIS از آن مشتق شد و به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورداستفاده قرار گرفتند. استفاده توأم از داده‌های اقلیمی و زمینی امکان تحلیل جامع‌تری را فراهم می‌کند. داده‌های اقلیمی بیانگر شرایط آب و هوایی و داده‌های زمینی نشان‌دهنده ویژگی‌های فیزیکی منطقه هستند. تلفیق این دو دیدگاه برای دستیابی به اهداف پژوهش ضروری است.

۴-۲- موقعیت جغرافیایی

رودخانه بالخلوچای یکی از رودخانه‌های مهم قره‌سو در استان اردبیل است. این رود از نواحی جنوبی کوه سبلان سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهرهای نیر و اردبیل، درنهایت به رود اصلی قره‌سو ملحق می‌شود. حوضه آبریز رودخانه بالخلوچای در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه ۲ دقیقه تا ۳۸ درجه ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۸ درجه ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت این حوضه آبریز بر اساس مطالعات انجام‌شده، حدود ۹۰۵ کیلومترمربع برآورد می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز بالخلوچای، منبع: نگارندگان

۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۵-۱- پارامترهای اقلیمی

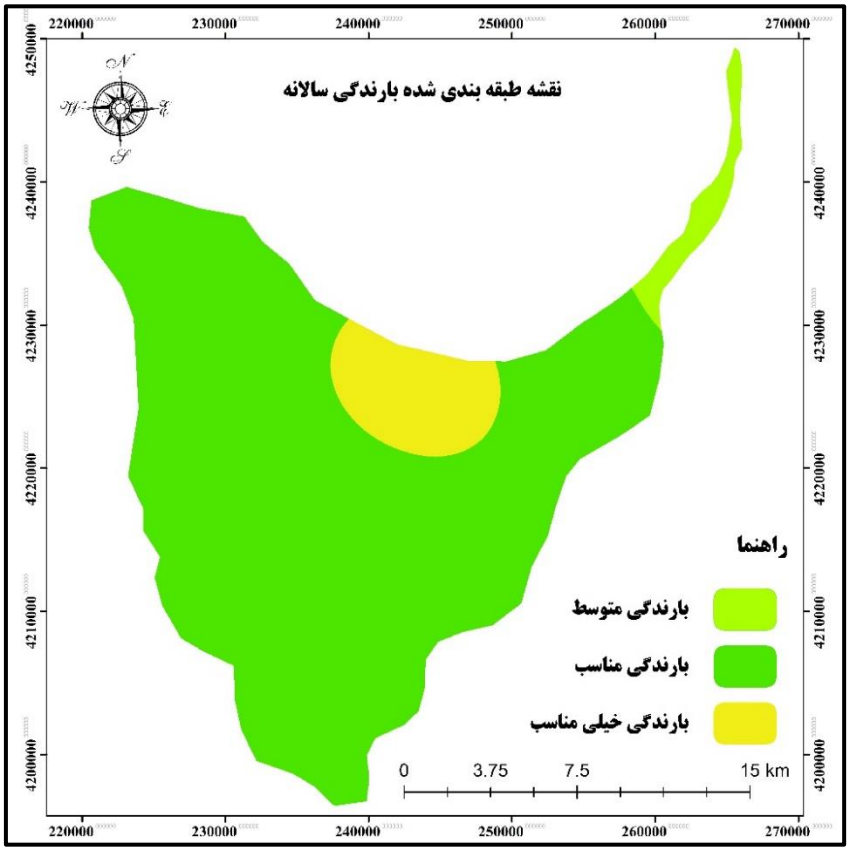
یکی از عوامل نشان دهنده استعداد دیم‌کاری، مجموع بارندگی سالیانه می‌باشد. کمترین مقدار نیاز بارش برای گندم دیم ۳۰۰ میلی‌متر در طول دوره رشد می‌باشد (محمدی، ۱۳۹۳). به‌منظور تهیه نقشه بارندگی سالیانه، مجموعه بارندگی ۳ ایستگاه محدوده مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نیازهای رویشی گندم دیم سالانه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. نیازهای رویشی گندم دیم سالانه

طبقه	بارش سالانه (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۲۸۷ تا ۳۰۰	۲۶	۲/۸۸
مناسب	۳۰۰ تا ۳۸۰	۸۰۲	۸۸/۶۶
خیلی مناسب	۳۸۰ به بالا	۷۶,۵۳	۸

منبع: نگارندگان

بر اساس جدول ۲ و شکل ۲، حدود ۸ درصد از مساحت حوضه آبریز بالخلوچای دارای بارندگی بسیار مناسب برای کشت گندم دیم است که ۷۶،۵۳ کیلومترمربع است. از نظر توصیف قابلیت اراضی برای کشت گندم دیم ۸۸/۶۶ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه «مناسب» قرار می‌گیرد. علاوه بر این ۲/۸۸ درصد از منطقه دارای شرایط بارندگی «متوسط» برای کشت این محصول زراعی طبقه‌بندی‌شده است. داده‌های بارش سالانه حوضه بالخلوچای نشانگر این مهم است که ۹۶/۷۳ درصد حوضه بالخلوچای از شرایط بارندگی سالانه مطلوبی برای کشت گندم دیم برخوردار است.



شکل ۲. نقشه طبقه‌بندی‌شده بارندگی سالانه، منبع: نگارندگان

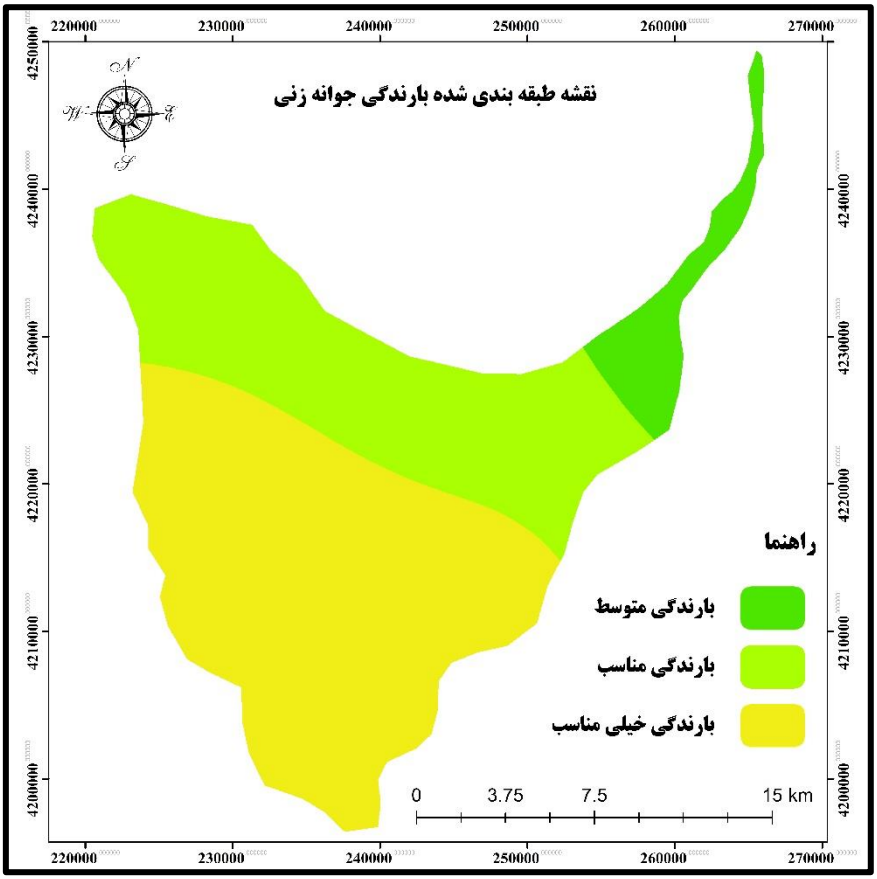
۲-۵- بارش در مرحله جوانه‌زنی

بر اساس مستندات تحقیقاتی، عملیات کاشت گندم دیم در استان اردبیل معمولاً در ماه آبان صورت می‌پذیرد؛ بنابراین، داده‌های بارندگی ثبت‌شده در ۳ ایستگاه هواشناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جدول ۳، نیازهای رویشی گندم دیم در مرحله جوانه‌زنی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نیازهای رویشی گندم دیم در مرحله جوانه‌زنی

طبقه	بارش در جوانه‌زنی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۳۳ تا ۴۰	۶۳	۶/۹۴
مناسب	۴۰ تا ۴۵	۳۳۹	۳۷/۴۹
خیلی مناسب	۴۵ تا ۵۱	۵۰۳	۵۵/۵۵

منبع: نگارندگان



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی‌شده بارندگی در مرحله جوانه‌زنی، منبع: نگارندگان

بر اساس نقشه طبقه‌بندی شده بارش جوانه‌زنی شکل (۳)، حدود ۵۵/۵۵ درصد از مساحت حوضه آبریز بالخلوچای، معادل با ۵۰۳ کیلومترمربع، دارای میزان بارندگی بسیار مناسب برای کشت گندم دیم است. این یافته نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از این حوضه آبریز از نظر میزان بارش، پتانسیل مطلوبی برای توسعه کشاورزی گندم دیم را دارا است. علاوه بر این، بر اساس ارزیابی قابلیت اراضی برای کشت گندم دیم، ۳۷/۴۹ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه «مناسب» قرار می‌گیرد. این امر بیانگر آن است که اکثریت اراضی این منطقه از لحاظ شرایط بارندگی در مرحله جوانه‌زنی، برای کشت گندم دیم مناسب ارزیابی شده است.

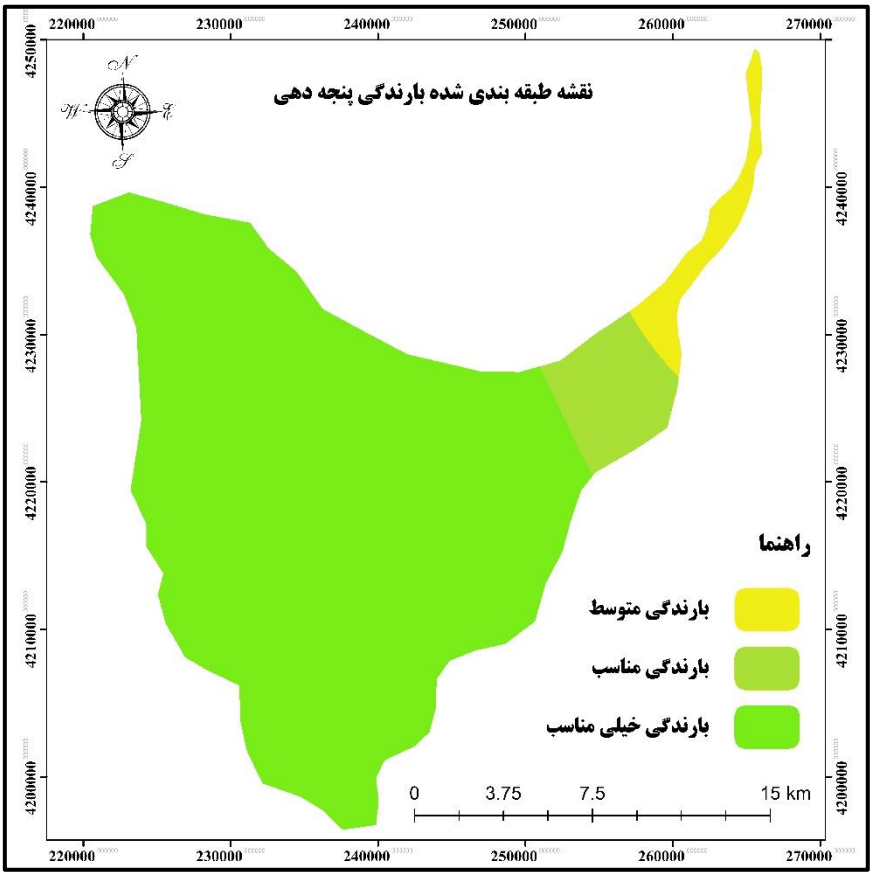
۵-۳- بارش در مرحله پنجه‌زنی

داده‌های بارندگی در ماه در مرحله پنجه‌زنی در محدوده مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نقشه طبقه‌بندی‌شده بارش ماه آذر در شکل ۴، حدوداً ۸۹/۶۶ درصد از وسعت حوضه آبریز بالخلوچای، معادل ۸۱۲ کیلومترمربع، دارای میزان بارندگی بسیار مطلوب در مرحله پنجه‌زنی برای کشت گندم دیم است.

جدول ۴. نیازهای رویشی گندم دیم در مرحله پنجه‌زنی

طبقه	بارش در پنجه‌زنی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۲۱ تا ۲۵	۳۴	۳/۷۵
مناسب	۲۵ تا ۳۰	۶۰	۶/۵۷
خیلی مناسب	۳۰ تا ۳۵	۸۱۲	۸۹/۶۶

، منبع: نگارندگان



شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی بارندگی در مرحله پنجه‌زنی، مأخذ: منبع: نگارندگان

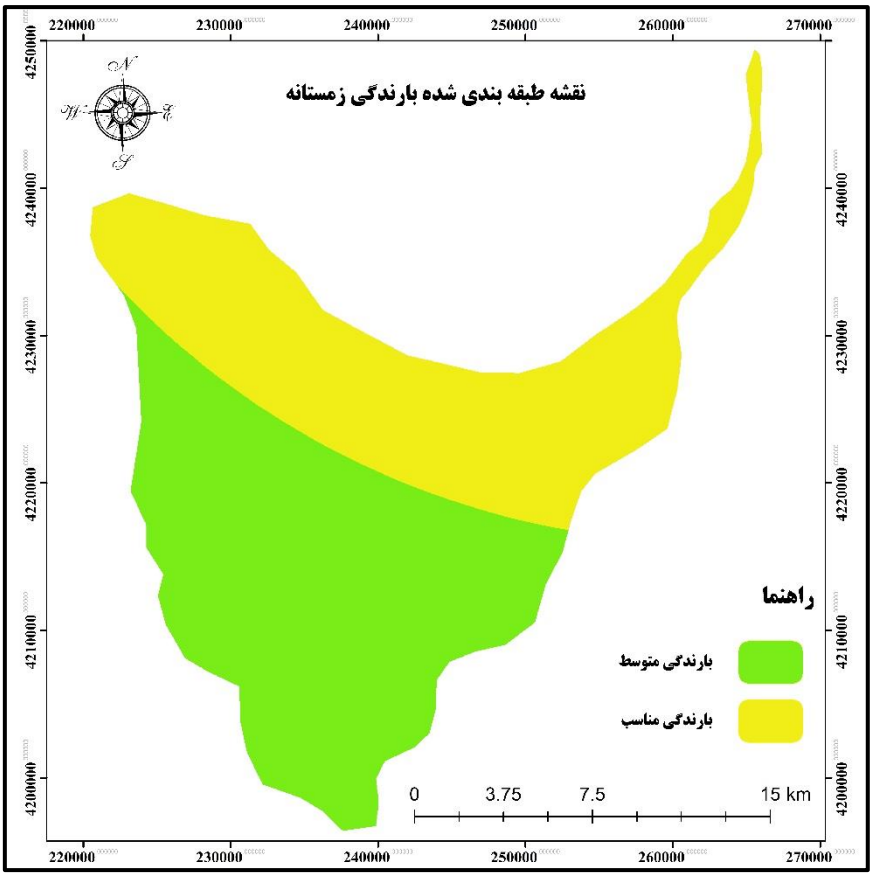
۵-۴- بارش زمستانه

میزان بارندگی سه ایستگاه مورد مطالعه در فصل زمستان در جدول ۵ ارائه گردید. بر اساس نقشه طبقه‌بندی‌شده بارش در فصل زمستان در شکل ۵، حدود ۵۶/۱۵ درصد از مساحت حوضه آبریز بالخلوچای، معادل با ۵۰۸ کیلومترمربع، دارای میزان بارندگی متوسط برای کشت گندم دیم است. علاوه بر این، بر اساس ارزیابی قابلیت اراضی برای کشت گندم دیم، ۴۳/۸۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه، معادل با ۳۹۷ کیلومترمربع، در طبقه «مناسب» قرارگرفته است.

جدول ۵. نیازهای رویشی گندم دیم در فصل زمستان

طبقه	بارش در پنجه‌زنی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۹۵ تا ۱۰۰	۵۰۸	۵۶/۱۵
مناسب	۱۰۰ تا ۱۰۵	۳۹۷	۴۳/۸۴

منبع: نگارندگان



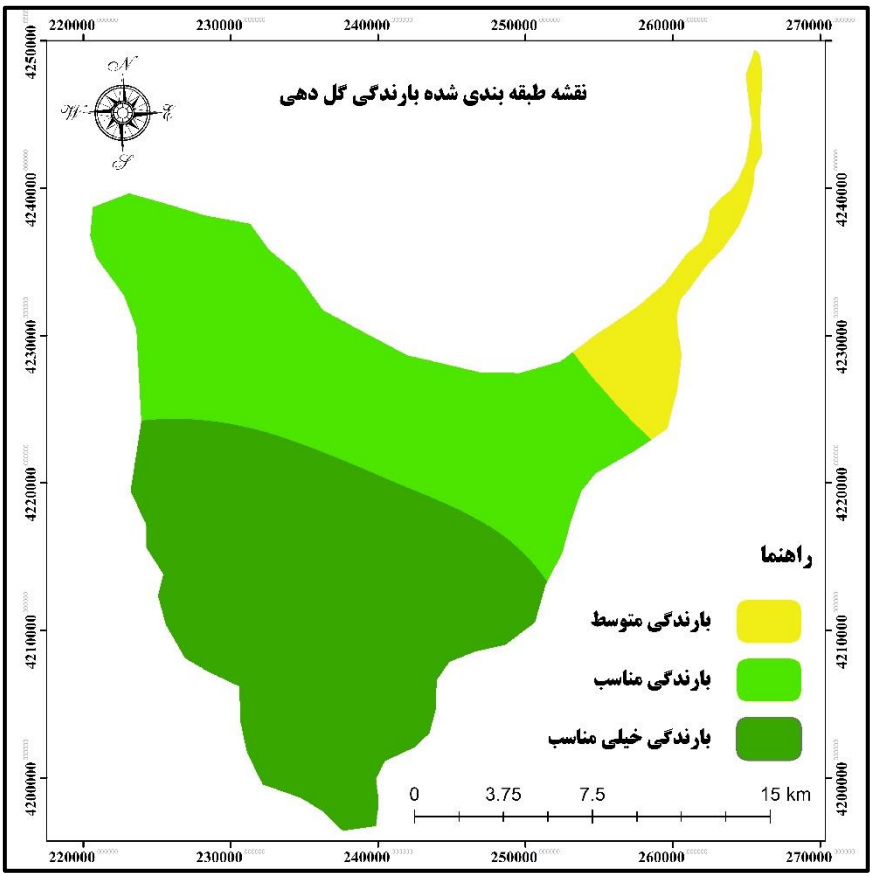
شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی بارندگی در مرحله زمستانه، منبع: نگارندگان

۵-۵- بارش در مرحله گل‌دهی

دوره گل‌دهی گندم دیم در استان اردبیل معمولاً در ماه اردیبهشت اتفاق می‌افتد. بررسی الگوی بارش در این ماه، برای شناسایی مناطق مساعد جهت کشت این محصول، حائز اهمیت فراوانی است. در این پژوهش مقادیر بارش در ۳ ایستگاه مورد مطالعه مورد تجزیه تحلیل قرار گرفتند (جدول ۶).

جدول ۶. نیازهای رویشی گندم دیم در مرحله گل‌دهی، منبع: نگارندگان

طبقه	بارش در گل‌دهی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۳۹ تا ۵۵	۶۶	۷/۲۷
مناسب	۵۵ تا ۷۰	۳۸۶	۴۲/۶۲
خیلی مناسب	۷۰ تا ۸۸	۴۵۴	۵۰/۱۰



شکل ۶. نقشه طبقه‌بندی‌شده بارندگی در مرحله گل‌دهی، منبع: نگارندگان

بر پایه نقشه طبقه‌بندی شده بارش ماه اردیبهشت در شکل (۶)، حدوداً ۹۲/۳ درصد از وسعت حوضه آبریز بالخلوچای، معادل ۸۳۹/۳۱ کیلومترمربع، دارای میزان بارندگی مطلوب برای کشت گندم دیم است. این یافته نشان می‌دهد بخش قابل‌توجهی از این حوضه آبریز، از نظر میزان بارش، پتانسیل مناسبی برای گسترش کشاورزی گندم دیم در مرحله گل‌دهی رادار است. علاوه بر این، بر اساس ارزیابی توانایی اراضی برای کشت گندم دیم، ۷/۲۶ درصد از مساحت منطقه مطالعه شده، معادل ۶۵/۸۱ کیلومترمربع، در طبقه «متوسط» قرار می‌گیرد. این امر بیانگر آن است که اکثر اراضی این ناحیه ازلحاظ شرایط بارندگی در مرحله گلدهی، برای کشت گندم دیم مناسب ارزیابی‌شده است.

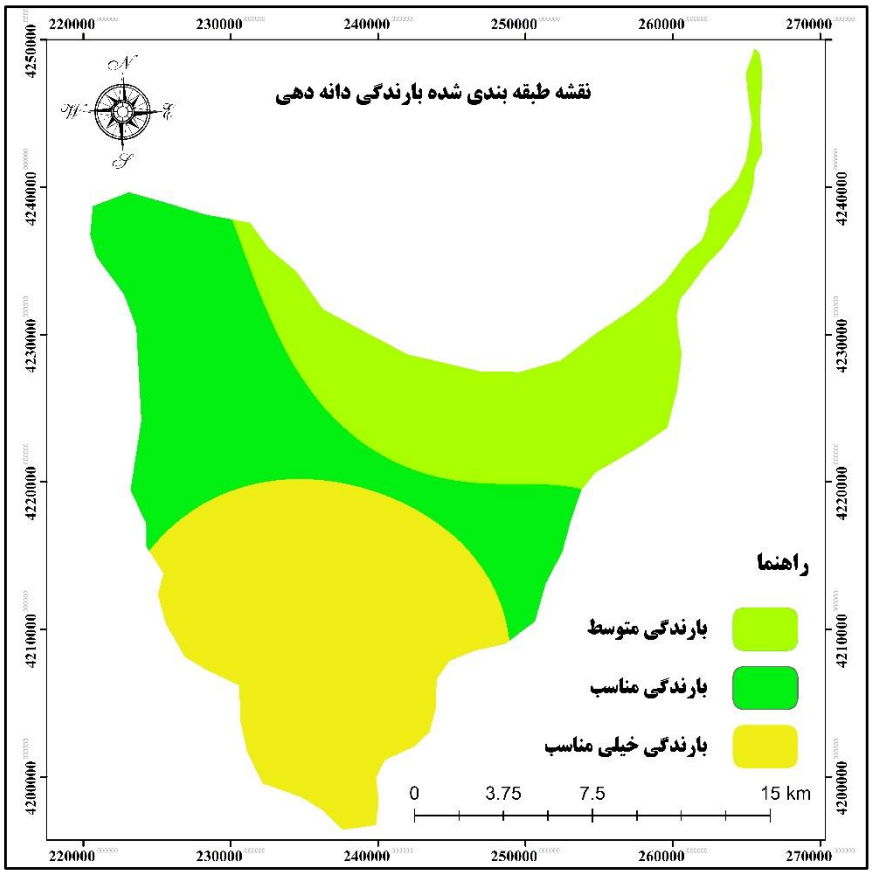
۵-۶- بارش در دوره دانه‌دهی

مرحله پر شدن دانه گندم در استان اردبیل معمولاً در ماه خرداد رخ می‌دهد. برای تحلیل و ارزیابی بارندگی در مرحله دانه‌دهی، داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه ارزیابی گردید (جدول ۷).

جدول ۷. نیازهای رویشی گندم دیم در مرحله دانه‌دهی

طبقه	بارش دانه‌دهی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
متوسط	۱۵ تا ۲۵	۲۵۱	۲۷/۶۷
مناسب	۲۵ تا ۳۵	۳۰۰	۳۳/۱۸
خیلی مناسب	۳۵ تا ۴۵	۳۵۴	۳۹/۱۳

منبع: نگارندگان



شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی‌شده بارندگی در ماه خرداد، منبع: نگارندگان

بر پایه نقشه طبقه‌بندی‌شده بارش مرحله دانه‌دهی در ماه خرداد در شکل ۷، حدود ۳۹/۱۳ درصد از وسعت حوضه آبریز بالخلوچای، معادل ۳۵۴/۲۴۴ کیلومترمربع، دارای رژیم بارشی خیلی مطلوب برای کشت گندم دیم است. علاوه بر این، بر اساس ارزیابی توانایی اراضی برای کشت گندم دیم، ۳۳/۱۸ درصد از مساحت منطقه مطالعه شده، معادل ۳۰۰/۳۷۹ کیلومترمربع، در طبقه «مناسب» قرار می‌گیرد. نتایج این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از منطقه مورد مطالعه، از نظر شرایط اقلیمی (بارندگی) و خصوصیات اراضی، ظرفیت مناسب یا حدود مناسب را در محله رسیدگی و یا دانه‌دهی دارا است.

۶- ارزیابی شرایط دمایی حوضه بالخلوچای برای کشت گندم

بر اساس شواهد علمی موجود در منابع معتبر، محدوده دمایی مطلوب برای رشد و نمو مناسب این محصول بین ۱۰ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در این مطالعه، با بررسی دمای سه ایستگاه موجود در حوضه بالخلوچای مشخص گردید که میانگین سالانه دمای هر سه ایستگاه ۱۰ است که با توجه به نیاز رویشی گندم دارای دمای مطلوب برای کاشت گندم دیم است (جدول ۸).

جدول ۸. نیازهای رویشی گندم دیم، دمای مطلوب سالانه

طبقه	دمای جوانه‌زنی (mm)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
خیلی مناسب	۱۰ – ۱۵	۹۰۵/۱۷۶	۱۰۰

منبع: نگارندگان

۷- طبقات ارتفاعی

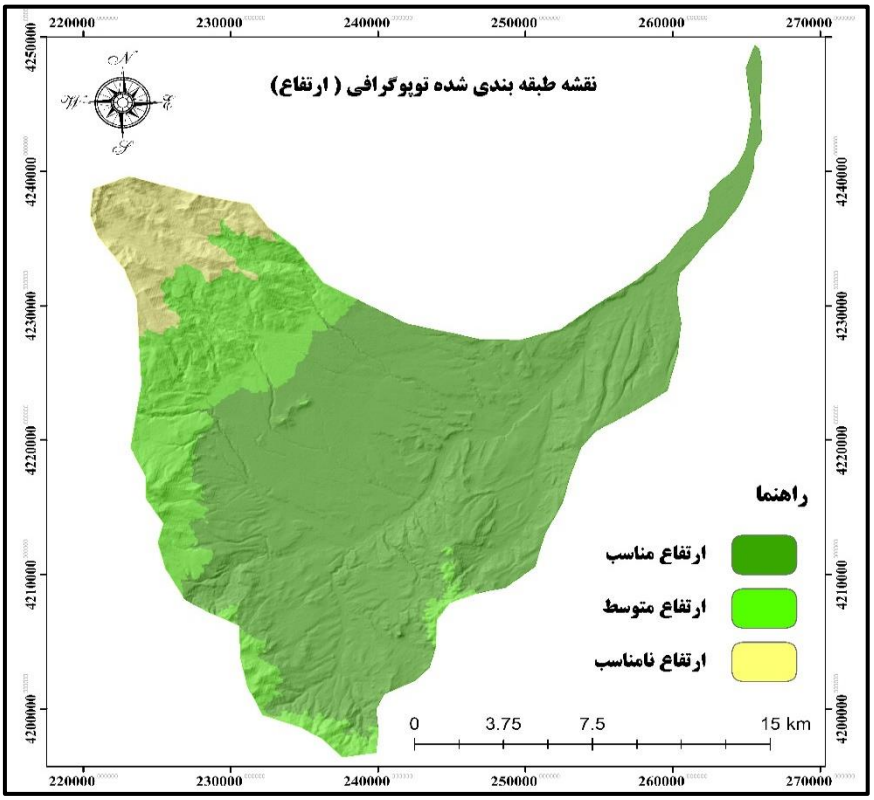
ارتفاع و شکل زمین یک منطقه یک عامل تعیین‌کننده برای فعالیت‌های کشاورزی است. متناسب با شرایط سازگاری گندم در رابطه با ارتفاع و بر اساس جدول ۹، اقدام به طبقه‌بندی سطوح ارتفاعی منطقه شد (محمدی، ۱۳۹۳).

جدول ۹. نیازهای رویشی گندم دیم_ طبقات ارتفاعی

طبقه	طبقات ارتفاعی (متر)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
مناسب	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰	۶۴۳/۷۸	۷۱/۱۲
متوسط	۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰	۱۹۰/۴۹۷	۲۱/۰۴
نامناسب	۲۲۰۰ به بالا	۷۰/۸۸۹	۷/۸۳

منبع: نگارندگان

با توجه به نقشه ارتفاعی (شکل ۹) منطقه مشخص گردید که تغییرات ارتفاعی منطقه از ۱۳۳۵ متر تا ۴۵۶۹ متر متغیر است. بر اساس این نقشه ۷۱/۱۲ درصد از مساحت منطقه برای کاشت گندم مناسب، ۲۱/۰۴ در طبقه متوسط و ۷/۸۳ درصد از منطقه برای گشت این محصول نامساعد تشخص داده‌شده است. با توجه به داده‌های ارتفاعی، بیش از ۹۲ درصد از منطقه مورد مطالعه ازلحاظ ارتفاع، شرایط مناسب یا نسبتاً مناسبی برای کشت گندم دیم دارد و تنها ۷/۸۳ درصد آن به دلیل ارتفاع زیاد، برای این کشت نامساعد است.



شکل ۹. نقشه طبقه‌بندی شده طبقه ارتفاعی حوضه آبریز بالخلوچای، منبع: نگارندگان

۸- شیب زمین

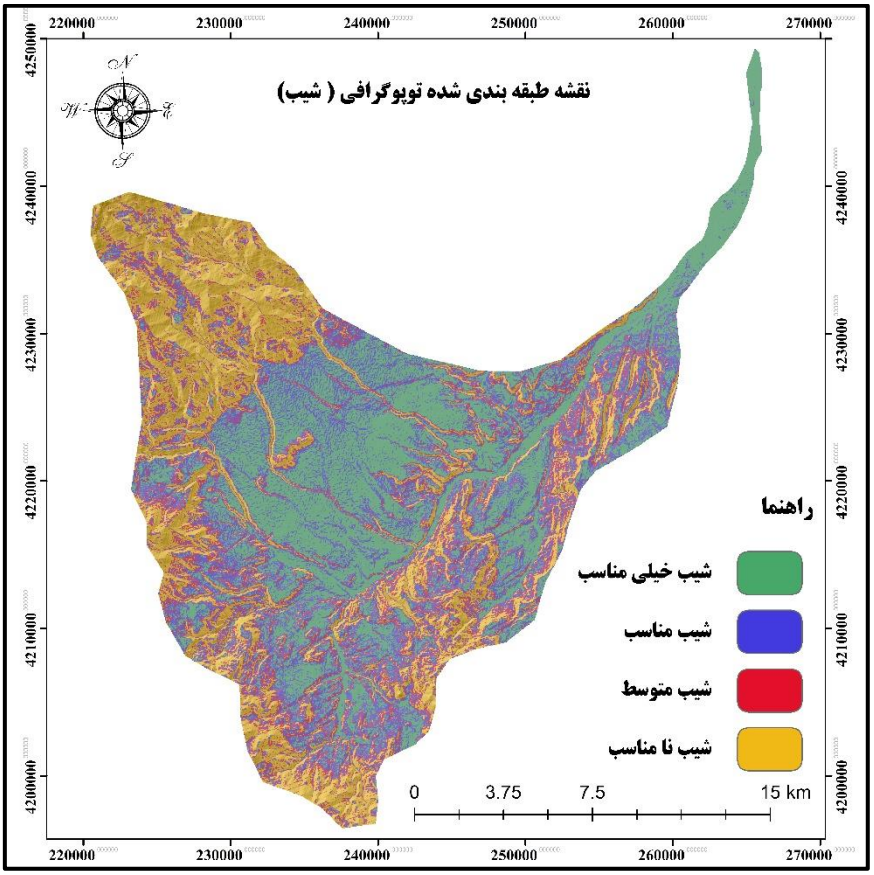
کارشناسان توصیه می‌کنند زمین‌هایی با شیب بیشتر از ۱۲ درصد برای اهداف کشاورزی تخصیص داده نشوند. در این پژوهش به‌منظور سنجش شیب منطقه، بر اساس شرایط سازگاری گندم در ارتباط با شب و بر اساس جدول ۱۰، اقدام به طبقه‌بندی سطوح شیب منطقه شد.

جدول ۱۰. نیازهای رویشی گندم دیم، شیب زمین

طبقه	شیب (درصد)	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
خیلی مناسب	۱-۵	۲۹۴	۳۲/۶۹
مناسب	۵-۹	۲۲۰	۲۴/۴۶
کمی مناسب	۹-۱۳	۱۳۴	۱۴/۸۵
نامناسب	>۱۳	۲۵۳	۲۷/۹۹

منبع: نگارندگان

نقشه شیب طبقه‌بندی حوضه بالخلوچای در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است. با توجه به جدول ۱۰ مشخص گردید که ۳۲/۶۹ درصد از مساحت منطقه دارای شیب بسیار مناسب (۰ تا ۵ درصد) و ۲۴/۴۶ درصد از مساحت حوضه دارای شیب مناسب جهت گشت گندم دیم است و حدوداً ۲۸ درصد از مساحت منطقه دارای شیب بیش از ۱۳ درصد است که از نظر توصیف قابلیت جزء منطقه غیر مستعد برای کاشت گندم به‌حساب می‌آید.



شکل ۱۰. نقشه طبقه‌بندی‌شده شیب حوضه آبخیز بالخلوچای. منبع: نگارندگان

۹- نتایج حاصل از فرایند سلسله مراتبی AHP

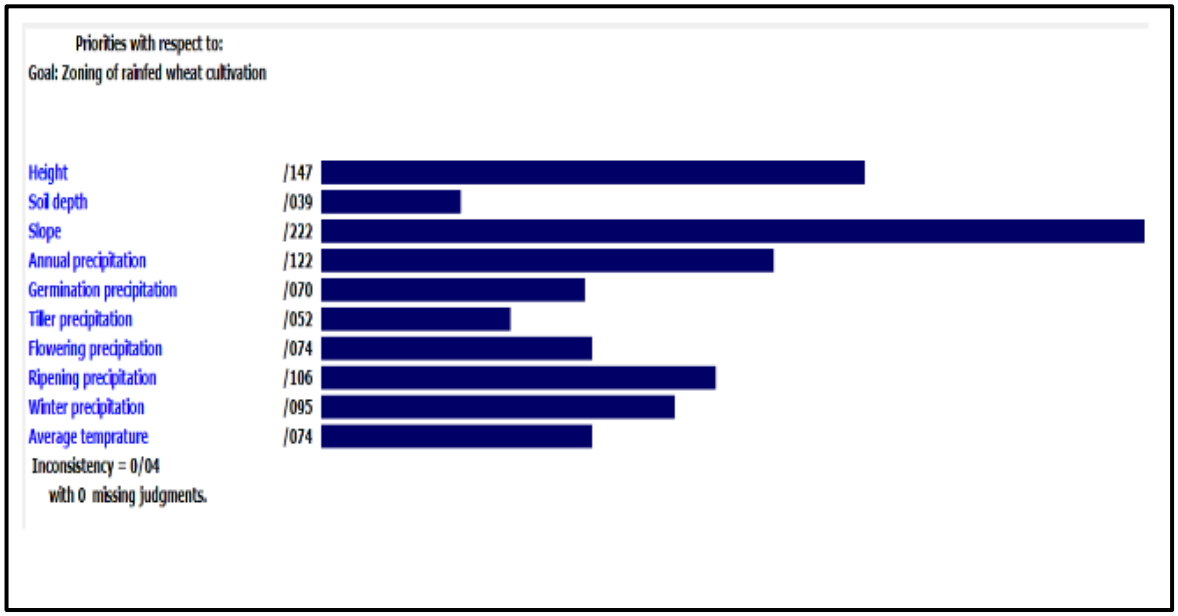
در این پژوهش به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی از نظر شرایط اقلیمی برای کشت گندم دیم، ابتدا داده‌های مربوط به عوامل اقلیمی تأثیرگذار دما و بارندگی از سازمان‌های ذی‌ربط تهیه گردید. این داده‌ها پس از ورود به محیط GIS، با توجه به نیازهای اقلیمی مطلوب برای کشت گندم دیم، پردازش و آماده‌سازی شدند. در مرحله بعد، به‌منظور تعیین اهمیت نسبی هر یک از معیارهای اقلیمی، مقایسات زوجی آن‌ها در قالب ماتریس‌های مقایسه‌ای توسط کارشناسان انجام گرفت. وزن نهایی هر معیار از این مقایسات استخراج گردید.

جدول ۱۱. وزن معیارهای حاصل از روش سلسله مراتبی (AHP)

معیارها	شیب	ارتفاع	بارندگی سالانه	جوانه‌زنی	پنجه‌زنی	زمستانه	دما	گل‌دهی	دانه‌دهی	عمق خاک
وزن	۰/۲۲	۰/۱۴۷	۰/۱۲۲	۰/۰۷۴	۰/۰۵۲	۰/۰۹۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴	۰/۱۰۶	۰/۰۳۲

منبع: نگارندگان

بر اساس بررسی و تحلیل جدول ۱۱، مشخص شد که در میان معیارهای مختلف، شیب بیشترین وزن و اهمیت را به خود اختصاص داده است. پس‌ازآن، به ترتیب نزولی اهمیت، معیارهای ارتفاع، بارش سالانه، بارش دانه‌دهی و بارش گل‌دهی قرارگرفته‌اند. دما در رتبه ششم از نظر اهمیت واقع شده و در نهایت، معیار خاک کمترین وزن را در این ارزیابی به خود اختصاص داده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. وزن معیارها با استفاده از روش سلسله مراتبی. منبع: نگارندگان

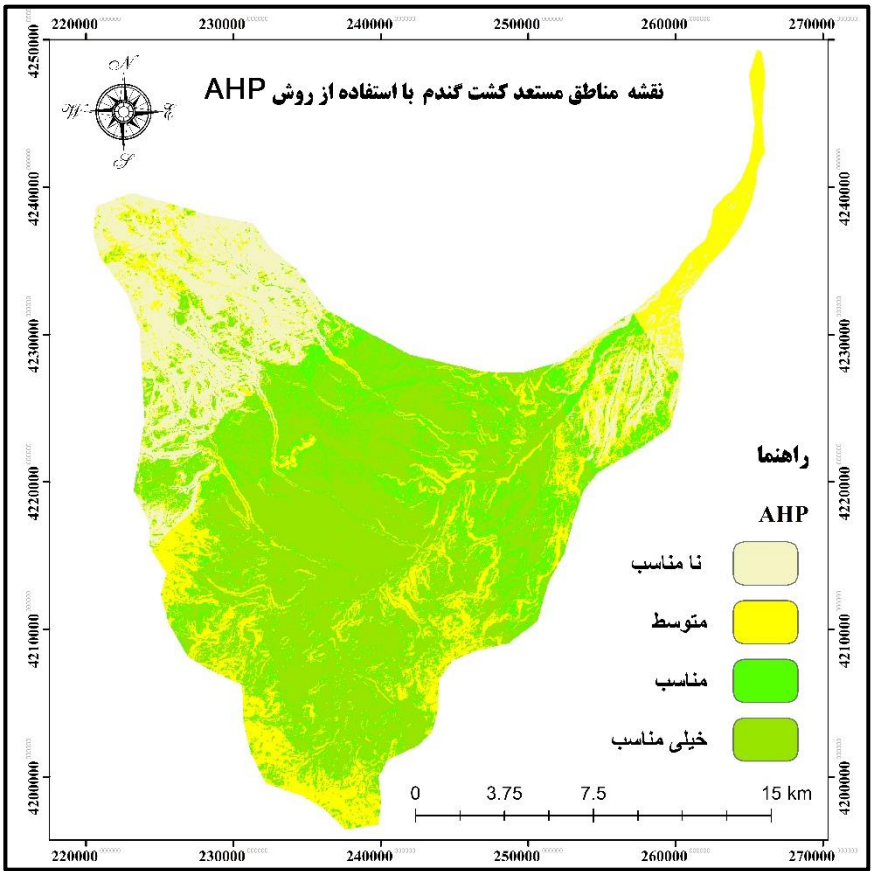
وزن معیارها در روش AHP از طریق تشکیل ماتریس مقایسه زوجی بر اساس نظر کارشناسان و محاسبه بردار ویژه ماتریس به‌دست آمده است. به‌عنوان نمونه، معیار شیب دارای وزن نهایی ۰/۲۲۰ بوده که بیشترین اهمیت را در بین سایر معیارها داشته است. همچنین به‌منظور اطمینان از صحت و دقت قضاوت‌ها، نرخ ناسازگاری (Consistency Ratio) محاسبه شده و مقدار آن کمتر از ۰/۱ به‌دست آمد. این مقدار نشان‌دهنده سازگاری منطقی بین مقایسات زوجی و اعتبار نتایج به‌دست آمده است.

۱۰- سنجش تناسب اراضی برای کشت گندم دیم بر اساس داده‌های اقلیمی و زمینی

پارامترهای اقلیمی شامل دما، بارندگی در مراحل مختلف رشد (سالانه، جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، زمستانه، رویش مجدد، گل‌دهی، دانه‌دهی)، همچنین پارامترهای زمینی نظیر ارتفاع، شیب، به‌صورت جداگانه در ارتباط با نیازهای مطلوب اقلیمی و زمینی برای کشت گندم دیم بررسی شدند. در ادامه، به‌منظور تعیین اهمیت پارامترهای تأثیرگذار، از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده گردید تا وزن هر یک از معیارها مشخص گردد. بر این اساس، وزن پارامترهای اقلیمی ۰/۶۳، توپوگرافی ۰/۳۵۸۵ محاسبه شد. در مرحله نهایی، با همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن‌های به دست آمده، نقشه مناطق مستعد کشت گندم دیم تهیه گردید.

جدول ۱۲. سنجش تناسب اراضی برای کشت گندم دیم بر اساس داده‌های اقلیمی و زمینی (AHP)، منبع: نگارندگان

ردیف	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
نامناسب	۱۵۰/۸۰	۱۶/۷۴
متوسط	۲۱۷/۷۱	۲۴/۱۷
مناسب	۱۹۶/۴۲	۲۱/۸۱
خیلی مناسب	۳۳۵/۴۷	۳۷/۲۵



شکل ۱۲. نقشه طبقه‌بندی‌شده مناطق مستعد کاشت گندم دیم بر اساس عوامل زمینی و اقلیمی، منبع: نگارندگان

نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم دیم در حوضه بالخلوچای که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی و زمینی، مشخص گردید که ۱۶/۷۴ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی، در طبقه نامناسب ۲۴/۱۷ درصد در طبقه حدوداً مناسب، ۲۱/۸۱ درصد در طبقه مناسب و ۳۷/۲۵ درصد در طبقه خیلی مناسب برای کشت گندم دیم قرار گرفتند؛ بنابراین، تقریباً ۶۰ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه در طبقات مناسب تا خیلی مناسب برای کشت گندم دیم جای می‌گیرد (جدول ۱۲) (شکل ۱۲).

۱۱- سنجش تناسب اراضی برای کشت گندم دیم بر اساس روش TOPSIS

با کاربرد مدل تاپسیس، مناطق مستعد کاشت گندم در حوضه بالخلوچای بر اساس شاخص‌های اقلیمی و زمینی اولویت‌بندی گردیدند که نتایج آن به شرح زیر است.

۱۱-۱- شناسایی راه‌حل‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل

در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از روش تاپسیس، پس از نرمال‌سازی داده‌ها و محاسبه وزن شاخص‌ها، گام بعدی تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (A+) و ایده‌آل منفی (A-) برای هر یک از عوامل می‌باشد. این کار از روش ماتریس نرمال وزنی (ماتریس V) انجام می‌شود. در این ماتریس طبق نوع معیارها یعنی مثبت یا منفی بودن آن‌ها، گزینه‌های ایده‌آل (بهترین مقدار ممکن) و غیرایده‌آل (بدترین مقدار ممکن) مشخص می‌گردند (جدول ۱۳).

جدول ۱۳. راه‌حل‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A+	۰/۱۱۶۸	۰/۰۹۸۳۳	۰/۰۹۰۰۲	۰/۰۸۳۱۵	۰/۰۹۰۴	۰/۰۵۲۳	۰/۰۴۶۶۶	۰/۰۶۹۷	۰/۰۴۲۱	۰/۰۳۶۱۶
A-	۰/۱۳۳۴	۰/۰۶۵۵	۰۵۱۴۴	۰/۰۲۰۷	۰/۰۱۲۹۳	۰/۰۳۱۴	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۷۴۴	۰/۰۱۶۸۷	۰/۰۱۰۳۳

منبع: نگارندگان

۱۱-۲- محاسبه فاصله هر شاخص نسبت به راه‌حل ایده‌آل و غیر ایده‌آل

در روش TOPSIS، ابتدا ماتریس تصمیم نرمال‌شده و وزنی تهیه شد. سپس برای هر معیار، بیشترین مقدار به‌عنوان راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+) و کمترین مقدار به‌عنوان راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) انتخاب شد. معیارهایی مانند عمق خاک، بارندگی سالانه، بارندگی در مراحل فنولوژیکی که افزایش آن‌ها موجب افزایش تناسب کشت می‌شود، در دسته معیارهای مثبت (سودمند) در نظر گرفته شده‌اند. معیارهایی نظیر شیب زیاد یا ارتفاع بالا که افزایش آن‌ها می‌تواند تأثیر منفی بر کشاورزی دیم داشته باشد، به‌عنوان معیارهای منفی (هزینه‌ای) تلقی شده‌اند.

در این مرحله از روش تاپسیس، با توجه به نوع شاخص‌ها (مثبت یا منفی بودن آن‌ها)، فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل مثبت (A+)و راه‌حل ایده‌آل منفی (A-) محاسبه گردید. برای محاسبه+S ، ابتدا مقدار راه‌حل ایده‌آل مثبت هر شاخص از مقادیر نرمال شده وزنی همان شاخص کسر شد. سپس مقادیر حاصل به توان دو رسیده و درنهایت جذر مجموع مقادیر ستون‌های جدید به‌عنوان +S محاسبه گردید. برای محاسبه-S، همین فرایند با استفاده از مقادیر راه‌حل ایده‌آل منفی شاخص‌ها انجام پذیرفت. نتایج محاسبات +S و -S برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۱۴ ارائه شده است.

جدول ۱۴. راه‌حل ایده‌آل و غیر ایده‌آل

ردیف	گزینه‌ها	+S	-S
۱	B1	۰/۰۷۹۸۸	۰/۱۰۶۷
۲	B2	۰/۰۸۷۵۸	۰/۲۱۵۸
۳	B3	۰/۱۷۸۸	۰/۱۷۸۸

منبع: نگارندگان

۱۱-۳- محاسبه نزدیکی تا راه‌حل ایده‌آل

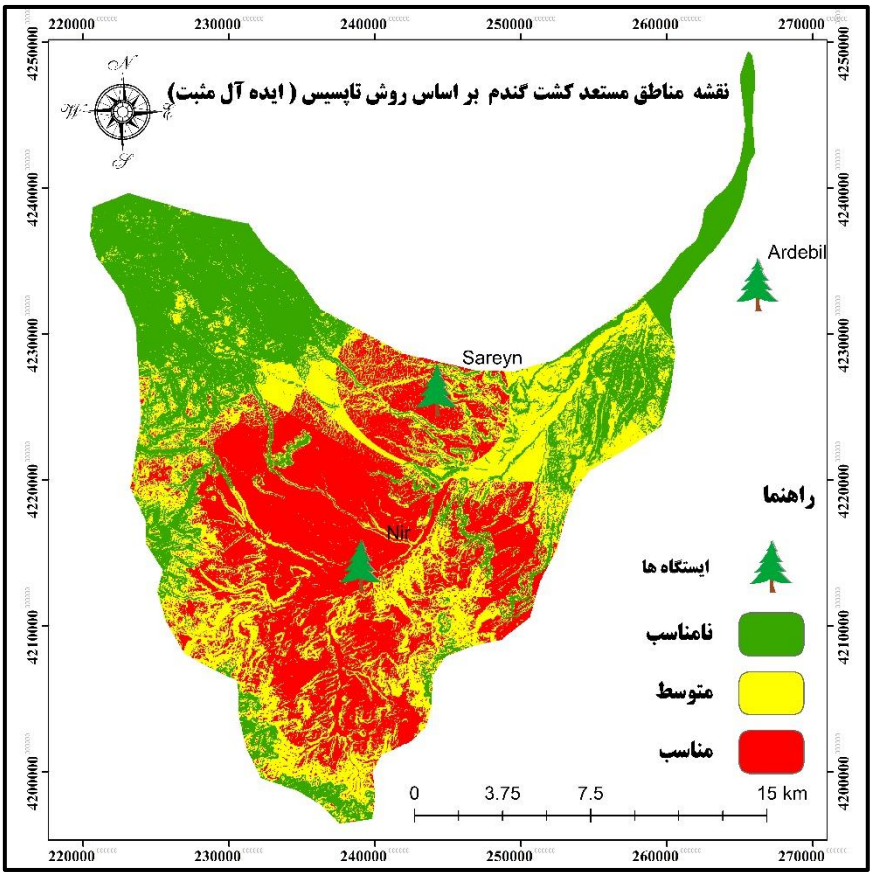
درروش تاپسیس، شاخص نزدیکی نسبی CI برای هر گزینه محاسبه می‌شود که مقادیری بین صفر و یک را شامل می‌گردد. این شاخص میزان نزدیکی یک گزینه را به راه‌حل ایده‌آل نشان می‌دهد. هرچقدر مقدار CI یک گزینه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، آن گزینه از برتری بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها برخوردار است و نزدیکی بیشتری به راه‌حل ایده‌آل دارد؛ بنابراین، گزینه‌ای که بالاترین CI را داشته باشد، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب خواهد شد. نتایج محاسبات شاخص نزدیکی نسبی برای گزینه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱۵ ارائه گردیده است که بر اساس آن، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها صورت می‌پذیرد.

جدول ۱۵. شاخص نزدیکی نسبی CI و رتبه‌بندی گزینه‌ها

ردیف	گزینه‌ها	CI	رتبه
۱	B1	۰/۵۷۱۹۷	۲
۲	B2	۰/۷۱۱۳۵	۱
۳	B3	۰/۵۰۱	۳

منبع: نگارندگان

نتایج حاصل از روش تاپسیس برای اولویت‌بندی نشان داد به ترتیب ۲B ایستگاه نیر، ۱B: ایستگاه سرعین،B3 : ایستگاه اردبیل قرارگرفته است. در ادامه بر اساس راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت نقشه مناطق مستعد کشت گندم دیم استخراج گردید (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نقشه طبقه‌بندی‌شده مناطق مستعد کاشت گندم دیم بر اساس روش TOPSIS (ایده‌ال مثبت)، منبع: نگارندگان

جدول ۱۶. سنجش تناسب اراضی برای کشت گندم دیم بر اساس داده‌های اقلیمی و زمینی (TOSIS)

ردیف	مساحت طبقات (کیلومترمربع)	درصد
نامناسب	۲۸۵/۰۵	۳۱/۳۲
متوسط	۲۸۹/۱۴	۳۲/۱۱
مناسب	۳۲۹/۲۹	۳۶/۵۷

منبع: نگارندگان

با توجه به جدول ۱۶، نتایج حاصل از روش تاپسیس ۳۱/۳۲ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی، در طبقه نامناسب، ۳۲/۱۱ درصد در طبقه متوسط، ۳۶/۵۷ درصد در طبقه مناسب برای کشت گندم دیم قرار گرفتند. با توجه به نتایج طبقه‌بندی حاصل از روش تاپسیس ۳۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه در طبقات مناسب برای کشت گندم دیم جای می‌گیرد و حدود ۳۲ درصد اراضی حوضه به دلیل شرایط نامناسب توپوگرافیک و اقلیمی، برای کشت گندم دیم مستعد نیست، نتایج کلی نشان می‌دهد، بخش قابل‌توجهی از این حوضه دارای پتانسیل مناسبی برای توسعه کشت گندم دیم است (شکل ۱۳).
می‌توان گفت تفاوت‌ها ناشی از هر دو مورد است چرا که مدلAHP تحلیل سلسله‌مراتب بر پایه قضاوت‌های کارشناسی در قالب مقایسه‌های زوجی است. این مدل بیشتر به اهمیت نسبی معیارها تکیه دارد. در مقابل، مدل TOPSIS بر مبنای فاصله هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی عمل می‌کند و به‌صورت عددی و بی‌طرفانه، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. نوع و شیوه وزن‌دهی معیارها درAHP ، این وزن‌ها مستقیماً در فرآیند ترکیب معیارها اعمال می‌شوند. درTOPSIS ، وزن‌ها در ماتریس نرمال‌شده موزون وارد شده و سپس گزینه‌ها بر اساس فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی رتبه‌بندی می‌شوند؛ بنابراین گرچه وزن‌دهی یکسان است، اثرگذاری آن‌ها در رتبه‌بندی نهایی در هر مدل متفاوت است و این می‌تواند منجر به تغییر درصد طبقات، به‌ویژه طبقه «نامناسب»، شود.

۱۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، باهدف اولویت‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم در حوضه آبریز بالخلوچای، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس استفاده شد. با توجه به وسعت محدود حوضه، سه ایستگاه هواشناسی داخل حوضه به‌عنوان گزینه‌های موردبررسی انتخاب شدند. ده معیار اقلیمی و زمینی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در نظر گرفته‌شده و بر اساس قابلیت‌های منطقه از نظر اقلیم و استعداد اراضی، وزن دهی شدند. نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم دیم در حوضه بالخلوچای که با استفاده از روش تاپسیس (TOPSIS) و با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی و زمینی منطقه ایده‌آل برای کاشت گندم دیم، مشخص گردید که حدود ۳۱/۳۲ درصد از مساحت منطقه در نامناسب، ۳۲/۱۱ درصد در متوسط و ۳۶/۵۷ درصد در مناسب برای کشت گندم دیم قرار گرفتند. با توجه به نتایج طبقه‌بندی حاصل از روش تاپسیس ۳۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه در طبقات مناسب برای کشت گندم دیم جای می‌گیرد و حدوداً ۳۲ درصد اراضی حوضه به دلیل شرایط نامناسب توپوگرافی و اقلیمی، برای کشت گندم دیم مستعد نیست که این نتیجه با مطالعه سبحانی و کریم‌زاده (۱۳۹۴) همسو است. نتایج کلی نشان می‌دهد، بخش قابل‌توجهی از این حوضه دارای پتانسیل مناسبی برای توسعه کشت گندم دیم است و همچنین نتایج اولویت‌بندی حاصل از مدل تاپسیس نشان داد که ایستگاه نیر نزدیک‌ترین گزینه به ایده‌آل مثبت و بعد از آن به ترتیب سرعین و اردبیل قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل، نیر در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها دارای پارامترهای اقلیمی و زمینی مطلوب‌تری بوده که آن را به گزینه‌ای نزدیک به حالت ایده‌آل تبدیل کرده است. به‌طور کلی، ایستگاه نیر بیشترین امتیاز را در میان ایستگاه‌های مورد بررسی در مدل TOPSIS به دست آورده، زیرا بیشترین شباهت را به منطقه ایده‌آل برای کشت دیم گندم داشته و از شرایط نامطلوب فاصله بیشتری گرفته است. به همین دلیل، بعد از نیر نیز ایستگاه‌های سرعین و اردبیل به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.
با توجه به نتایج پهنه‌بندی اراضی، پیشنهاد می‌شود نقشه‌های مناطق مستعد کشت گندم دیم به‌صورت کاربردی در اختیار کشاورزان قرار گیرد تا بهره‌برداری بهینه از اراضی صورت گیرد. همچنین، به‌کارگیری نتایج مدل‌های AHP و TOPSIS در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای می‌تواند زمینه‌ساز تخصیص هدفمند منابع، یارانه‌ها و آموزش‌های فنی در نواحی دارای بالاترین تناسب کشاورزی باشد. با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی و نقش آن در تغییر الگوهای بارندگی، دما و منابع آب، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از مدل‌های اقلیم پیش‌بینی مانند مدل‌های CMIP6 یا سناریوهای RCP/SSP استفاده شود تا بتوان پایداری کشت دیم در این حوضه را در شرایط آینده نیز ارزیابی کرد. چنین رویکردی می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا تصمیم‌گیری بهتری در زمینه مدیریت منابع آب، انتخاب ارقام مقاوم به تنش و زمان‌بندی کشت در شرایط آینده اقلیمی داشته باشند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از فعالیت پژوهشی به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند سپاسگذاری می‌کنیم.

منابع و مأخذ

اصغری، صیاد؛ پسنده، امیرحسین؛ خاوریان، حسن. (۱۴۰۳). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با استفاده از پردازش تصاویر لندست ۸ و تحلیل اثرات آن (مطالعه موردی: شهر میاندوآب). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، (۴)۵، ۳۲۹-۳۴۶. https://www.srds.ir/article_222189.html?lang=en

اکبری، حسن. (۱۳۹۵). اقلیم و کشاورزی دیم: اصول، مخاطرات و مدیریت .تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

امیری کیا، فرزانه؛ ناجی دومیرانی، صادق. (۱۳۹۶). ارزیابی تناسب اراضی استان فارس برای کشت گندم دیم بر اساس عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی و مدل تلفیقی TOPSIS-AHP در محیط .GIS پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۰(۴)، ۷۴–۹۲. doi: 10.22092/aj.2018.120139.1239

حسینی، سیدصفدر؛ پاکروان، محمدرضا؛ اتقایی، محمد. (۱۳۹۲). اثر حمایت از بخش کشاورزی بر امنیت غذایی در ایران .تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴۴(۴)، ۵۳۳–۵۴۴. doi: 10.22059/ijaedr.2013.50957

ذکی‌زاده، میربهروز. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کشت بادام با استفاده از مدل AHP در محیط GIS در استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی. استاد راهنما: بهروز سبحانی، مشاور: برومند صلاحی.

رستگار محمدی؛ جواد خوشحال دستجردی، جواد؛ رحیمی، داریوش؛ نوری، راضیه. (۱۳۹۶). پهنه بندی آگروکلیمایی کشت گندم دیم در استان کرمانشاه، نشریه سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی، (۸)۳، ۳۶-۱۵. http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1396.8.3.2.9

رسولی، علی‌اکبر؛ قاسمی گلغذانی، کاظم؛ سبحانی، بهروز. (۱۳۸۴)، نقش بارش و ارتفاع در تعیین مناطق مساعد برای کشت گندم دیم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی: مورد مطالعه استان اردبیل، مجله جغرافیا و توسعه، ۵، ۱۸۳–۲۰۰. https://elmnet.ir/doc/1306182-32690

زرعکانی، فاطمه؛ کمالی، غلامعلی؛ چیذری، امیرحسین. (۱۳۹۳). اثر تغییر اقلیم بر اقتصاد گندم دیم (مطالعه موردی خراسان شمالی) .فصلنامه بوم‌شناسی کشاورزی، ۶(۲)، ۳۰۱–۳۱۰. doi: 10.22067/jag.v6i2.39370

سبحانی، بهروز؛ کریم زاده، سارا. (۱۳۹۴). تعیین نواحی آگروکلیمایی کشت گندم دیم بر مبنای شاخص‌های اقلیمی در استان کردستان. *نشریه جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، (۱۵)۵، ۱۷-۳۲*. doi: 10.22111/gaij.2015.2069

عابدینی، موسی؛ رنجبر، سارا؛ بهرامی، سولماز. (۱۴۰۴). بررسی و اولویت‌بندی جاذبه‌های گردشگری با استفاده از مدل F-TOPSIS مطالعه موردی: شهرستان بستان‌آباد استان آذربایجان شرقی، فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، (۳)۶، ۱۳۹-۱۵۳. https://www.srds.ir/article_216865.html?lang=fa%20

عباسی، فاطمه؛ احترامیان، کوروش؛ خزانه‌داری، لیلی؛ محمد نیا قرایی، سهراب؛ اثمری، مرتضی. (۱۳۹۲). مکان‌یابی مناسب‌ترین مناطق کشت گندم دیم (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۱۳)۴، ۵۷-۷۲*. https://clima.irimo.ir/article_14146.html?lang=en

قبادی‌راد، میلاد. (۱۴۰۰). امنیت غذایی و نقش آن در توسعه پایدار .تهران: انتشارات آوای علم.

کمالی، غلامعلی؛ صدیقانی‌پور، علی؛ صداقت‌کردار، عبدالله. (۱۳۸۷). بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی .مجله آب و خاک ایران، ۲۲(۲)، ۴۸۳-۴۶۷. doi: 10.22067/jsw.v0i22.1045

کمالی، غلامعلی؛ ملائی، پگاه؛ بهیار، محمدباقر. (۱۳۸۹). تهیه اطلس گندم دیم استان زنجان با استفاده از داده‌های اقلیمی و GIS. نشریه آب‌وخاک، (۲۴)۵، ۸۹۴-۹۰۷.doi: 10.22067/jsw.v0i0.5281

محمدی، مسیح‌اله. (۱۳۹۳). تأثیر پارامترهای اقلیمی بر عملکرد غلات پاییزه (گندم و جو) در استان البرز (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، رشته جغرافیای طبیعی – گرایش هواشناسی کشاورزی.

مؤمن‌پور، سید عرفان؛ بازگیر، سعید. (۱۴۰۰). توان‌سنجی اقلیمی–کشاورزی مناطق مستعد کشت گندم دیم و نیشکر: مطالعه موردی استان خوزستان .فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۲)، ۱۵–۳۰. https://journals.iau.ir/article_683497.html

Abbasi, F., Ehteramian, K., Khazanedari, L., Gharaei, S. & Asmari, M. (2013). Locating the Most Suitable Dry Land Wheat Areas (Case Study: North Khorasan Province). *Journal of Climate Research*, *1392*(13), 57-72. https://clima.irimo.ir/article_14146.html?lang=en. [In Persian]

Abedini, M., Ranjbar, S. & Bahrami, S. (2025). Investigating and prioritizing tourist attractions using the F-TOPSIS model Case study: Bostan Abad city In East Azerbaijan Province. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(3), 139-153. https://www.srds.ir/article_216865.html?lang=fa%20. [In Persian]

Akbari, H. (2016). Climate and Rainfed Agriculture: Principles, Risks and Management. Tehran: *Tehran University Press*. [In Persian]

Amirikia, F. & Naji Domirani, S. (2018). Land Suitability Evaluation for Dryland Wheat Production in Fars Province based on Climatic and Physiographic Factors and Integrated TOPSIS-AHP Model in GIS Environment. *Applied Field Crops Research*, *30*(4), 74-92. doi: 10.22092/aj.2018.120139.1239. [In Persian]

Asghari Saraskanroud, S., Pasandeh, A. & Khavarian, H. (2025). Detection of Land Use Changes in the 2013-2024 Period Using Landsat 8 Image Processing and Analyzing its Effects (Case Study: Miandoab City). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, *5*(4), 329-346. https://www.srds.ir/article_222189.html?lang=en. [In Persian]

Cavalet-Giorsa, E., González-Muñoz, A., & Athiyannan, N. (2024). Origin and evolution of the bread wheat D genome. *Nature*, *633*(8012), 848–855. DOI:10.1038/s41586-024-07808-z

Ghobadirad, M. (2021). Food Security and Its Role in Sustainable Development. Tehran: *Avaye Alam Publications*. [In Persian]

Hosseini, S. S., Pakravan, M. R. & Etghaei, M. (2013). Effects of Agriculture Sector Total Support Estimate on Food Security in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *44*(4), 533-544. doi: 10.22059/ijaedr.2013.50957. [In Persian]

Kamali, G., Mollaei, P. & Behyar, M. (2010). Development of Zanjan Province Dry Land Wheat Atlas by using Climatic Data and GIS. *Water and Soil*, *24*(5), 894-907. doi: 10.22067/jsw.v0i0.5281. [In Persian]

Kamali, G., Sedghiani, A. & Sedaghat kerdar, A. (2008). The climatic zoning of dryland wheat in Eastern Azerbaijan. *Water and Soil*, *22*(2), 467-483. doi: 10.22067/jsw.v0i22.1045. [In Persian]

Mohamadi, R., Khoshhal Dstjerdi, J., Rahimi, D., & Nouri, R. (2017). An agro-climatic zoning of wheat cultivation in the Kermanshah province, *RS & GIS for Natural Resources, 3*(8), 15-36. http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1396.8.3.2.9. [In Persian]

Mohammadi, M. (2014). The effect of climatic parameters on the yield of autumn cereals (wheat and barley) in Alborz province *(Master's thesis). University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Social Sciences, Department of Physical Geography - Agricultural Meteorology*. [In Persian]

Momenpour, S. E., & Bazgir, S. (2021). Climatic-agricultural potential assessment of areas suitable for rainfed wheat and sugarcane cultivation: A case study of Khuzestan Province. *Quarterly Journal of Physical Geography*, *14*(52), 15–30.https://journals.iau.ir/article_683497.html. [In Persian]

Rasouli, A. A., Ghasemi Golghazani, K., & Sobhani, B. (2005), The role of precipitation and altitude in determining favorable areas for rainfed wheat cultivation using geographic information system: A case study of Ardabil province, *Journal of Geography and Development, 5*, 183–200. https://elmnet.ir/doc/1306182-32690. [In Persian]

Sathiyamurthi, S., Sivasakthi, M., Subbarayan, S., Gobi, R., Praveen Kumar, S., & Karuppannan, S. (2024). Assessment of crop suitability analysis using AHP–TOPSIS and geospatial techniques: A case study of Krishnagiri District, India. *Environmental and Sustainability Indicators, 24*, 100466. https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100466

Sobhani, B., & Karimzadeh, S. (2015). Determination of Areas Agroclimatic plant drylnd Wheat on Climatic Parameters in Kurdistan Province. *Geography and Territorial Spatial Arrangement, 5*(15), 17-32. doi: 10.22111/gaij.2015.2069. [In Persian]

Tubiello, F. N., Soussana, J. F., & Howden, S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 104*(50), 19686–19690. https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104

Yaman, A., & Mutlu, M. (2025). Hybrid GIS-MCDM based modeling approach for determination of land suitability of wheat cultivation in Konya Closed Basin, Türkiye. *Journal of Agricultural Sciences, 31*(2), 427–446. https://doi.org/10.15832/ankutbd.1550882

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research, 1*4(6), 415–421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

Zakizadeh, M. (2011). Agroclimatic zoning of almond cultivation using the AHP model in a GIS environment in Ardabil province, *Master's thesis, University of Mohaghegh Ardabili*. Supervisor: Behrouz Sobhani, Advisor: Bromand Salahi. [In Persian]

Zarakani, F., Kamali, G. & Chizari, A. (2014). The effect of climate change on the economy of rain fed wheat (a case study in Northern Khorasan). *Journal of Agroecology, 6*(2), 301-310. doi: 10.22067/jag.v6i2.39370. [In Persian]